





Telecommunications Program

ANTEN  
&  
TRUYỀN SÓNG

Dương Hiền Thuận  
Mobile: 0918486000  
E-mail: [dhthuan@ptithcm.edu.vn](mailto:dhthuan@ptithcm.edu.vn)



## Telecommunications Program

### Mục đích:

Tìm hiểu các đặc điểm, tính chất cũng như ảnh hưởng của môi trường vô tuyến đối với các mạng không dây (wireless), bản chất và các thông số cơ bản của anten.

### Nội dung:

- **Truyền sóng**: các khái niệm, công thức cơ bản trong truyền sóng, đặc điểm của sóng truyền lan trong môi trường tầng đối lưu và tầng điện ly.
- **Anten** : nguyên lý bức xạ, các thông số và đặc tính cơ bản của anten, một số anten thường gặp và anten thông minh

### Yêu cầu:

- Hiểu rõ về bản chất của sóng điện từ.
- Hiểu bản chất của kỹ thuật siêu cao tần
- Hiểu kỹ toán học (giải tích và hình học)
- Hiểu về xác suất, thống kê



## Telecommunications Program

### Tài liệu tham khảo:

- [1] Antenna and Radiowave Propagation – Robert E. Collin – McGraw Hill 1986.
- [2] Lý thuyết và kỹ thuật Anten – GS TS Phan Anh – Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật Hà Nội – 1997.
- [3] Antenna – John D. Kraus – McGraw Hill
- [4] Antenna theory analysis and design – Constantine A. Balanis – Jhon Wiley & Sons – 1997



## Telecommunications Program

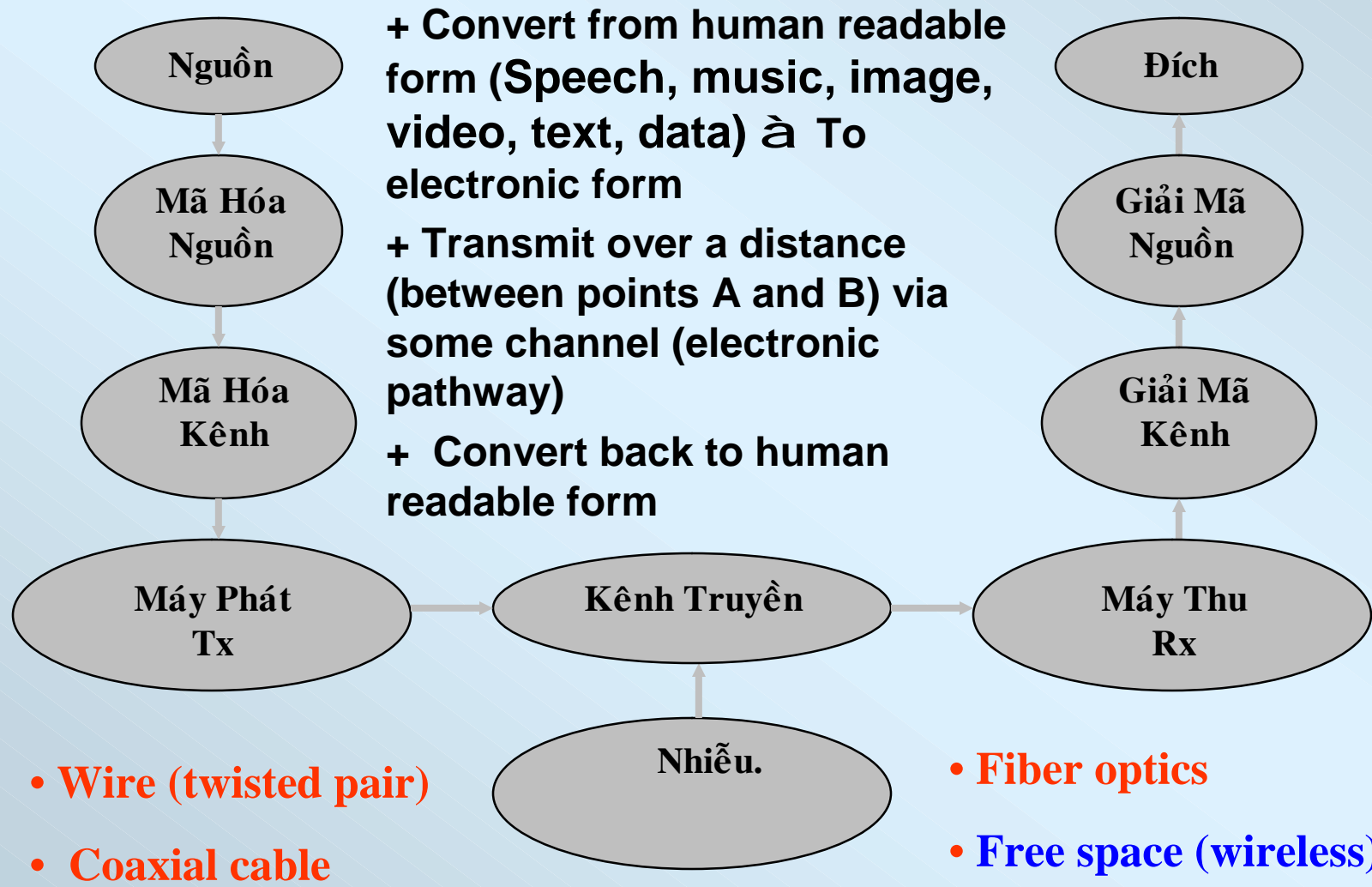
### Vấn đề thi cử:

- + Thi Viết (90 phút)
- + Thi giữa kỳ (**không báo trước**) được tính vào cuối kỳ (tỷ lệ theo qui định)
- + Nhiều đề (được xem tất cả các loại tài liệu)
- + Tuyệt đối không được trao đổi khi thi (-2đ/lần)
- + Trong khi thi tài liệu ai nấy dùng, không được mượn bút, máy tính, bút xóa,...
- + Khi hết giờ làm bài phải xếp gọn bài thi và không được viết bất cứ nội dung gì (nếu bài thi không được xếp gọn hoặc còn chép nội dung gì thì sẽ **được cộng -2 điểm**)
- + Không thi lần 3, đề thi lần 2 ở mức độ bằng hoặc khó hơn đề thi lần 1
- + Trong giờ học: điện thoại di động tắt hoặc để chế độ rung
- + Mọi thắc mắc trao đổi trực tiếp qua email



## Telecommunications Program

### Giới thiệu: Hệ thống viễn thông (Telecommunication system)



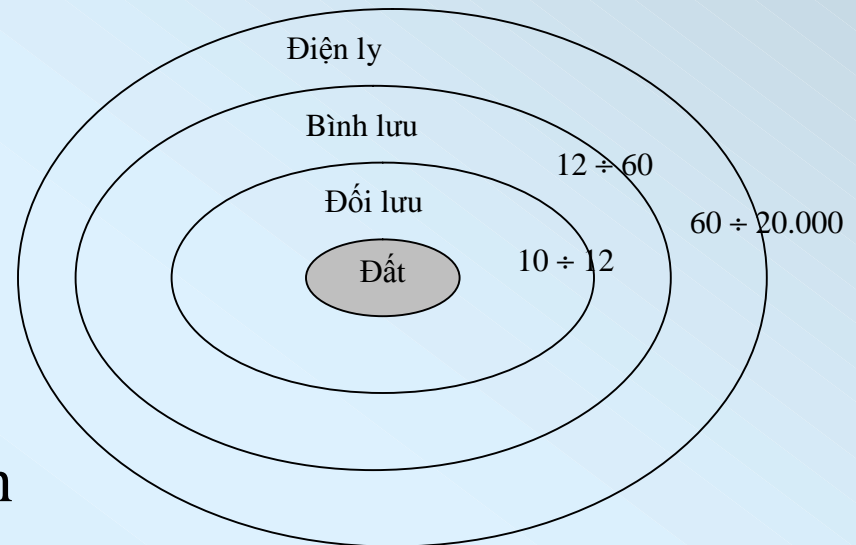


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

#### + Môi trường truyền sóng

- Đất
- Khí quyển
  - Tầng đối lưu
  - Tầng bình lưu
  - Tầng điện ly
- Không gian giữa các hành tinh



#### + Phân loại sóng điện từ

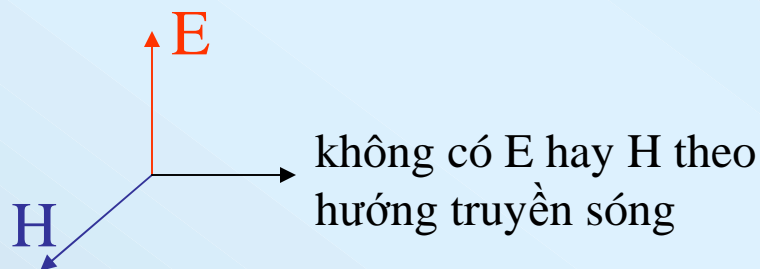
- Theo đặc tính điện-từ
- Theo băng sóng
- Theo phương thức truyền sóng



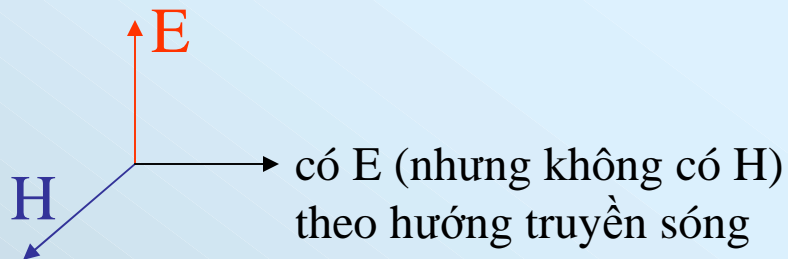
# Telecommunications Program

## Truyền sóng

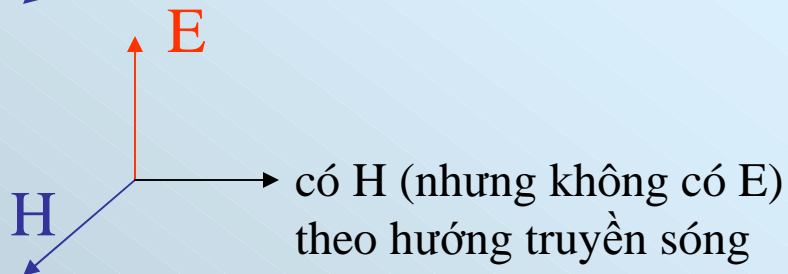
- Theo đặc tính điện-từ



TEM  
(Transverse Electromagnetic)



TM  
(Transverse magnetic)



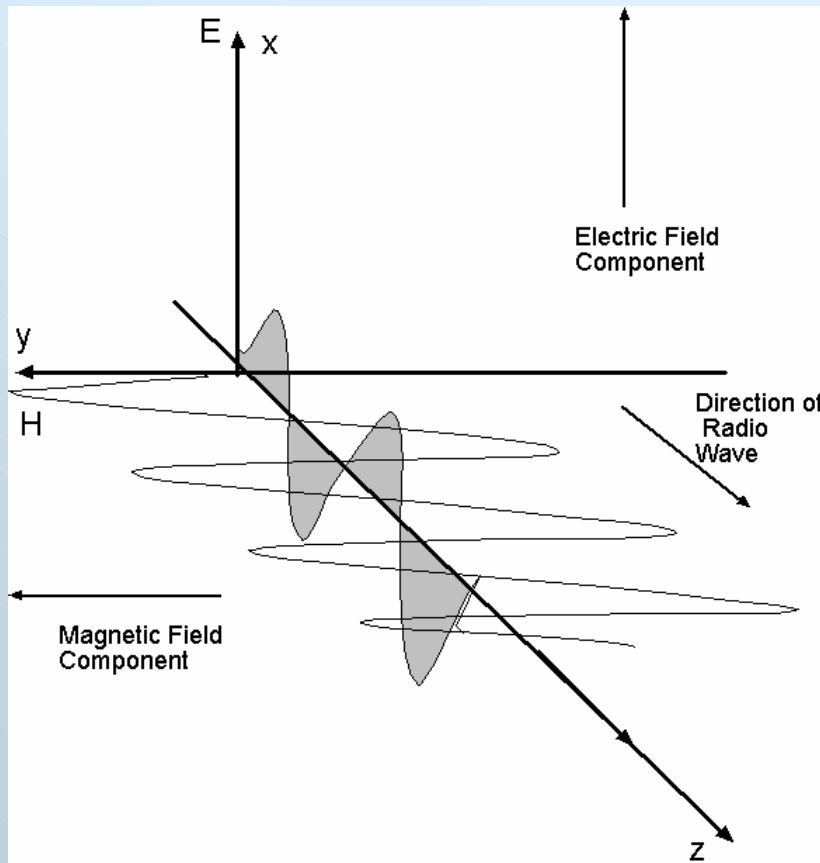
TE  
(Transverse electric)





## Truyền sóng

- Phân cực sóng điện từ: thể hiện phương của véc tơ cường độ điện trường dọc theo phương truyền sóng hay xét sự thay đổi phương hướng của véc tơ cường độ điện trường theo thời gian



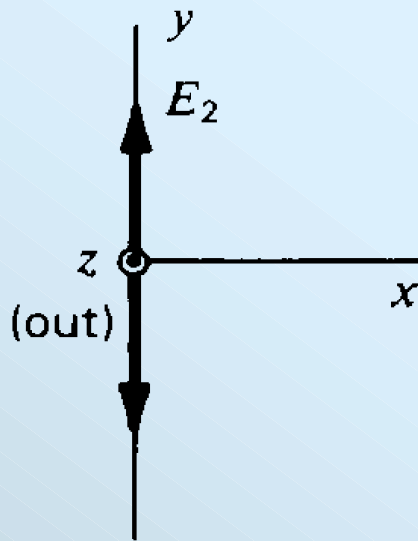
$$E_2 = E_{2m} \cos(\omega t + j_2)$$
$$E_1 = E_{1m} \cos(\omega t + j_1)$$



# Telecommunications Program

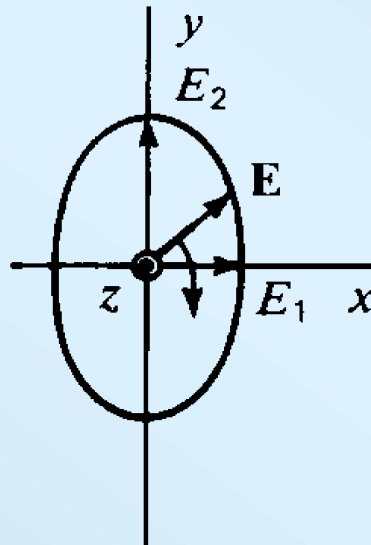
## Truyền sóng

Linear polarization



$$j_1 - j_2 = \pm kp$$

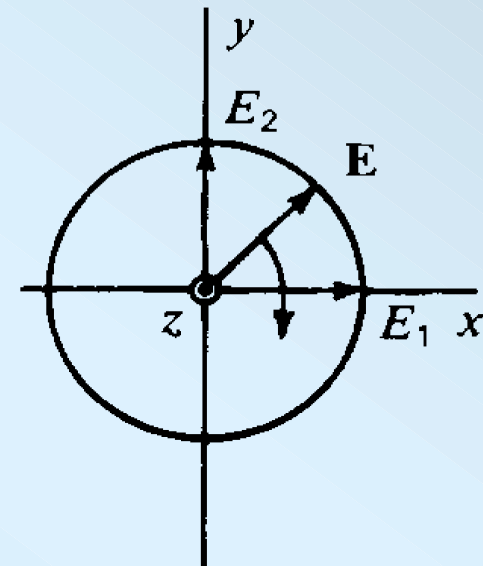
Elliptical polarization



$$j_1 - j_2 = (2k + 1)p/2$$

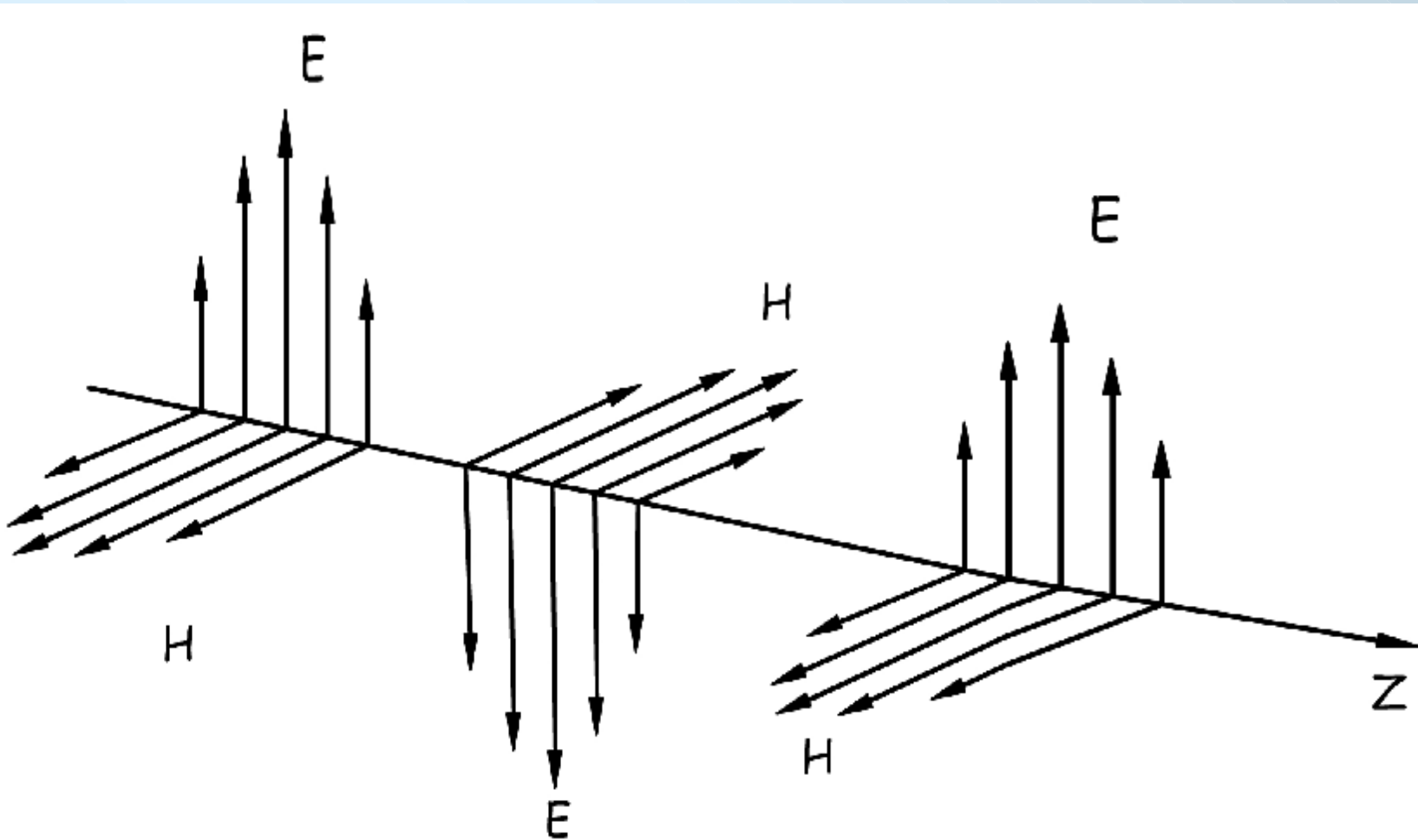
$$E_{1m} = E_{2m}$$

Circular polarization





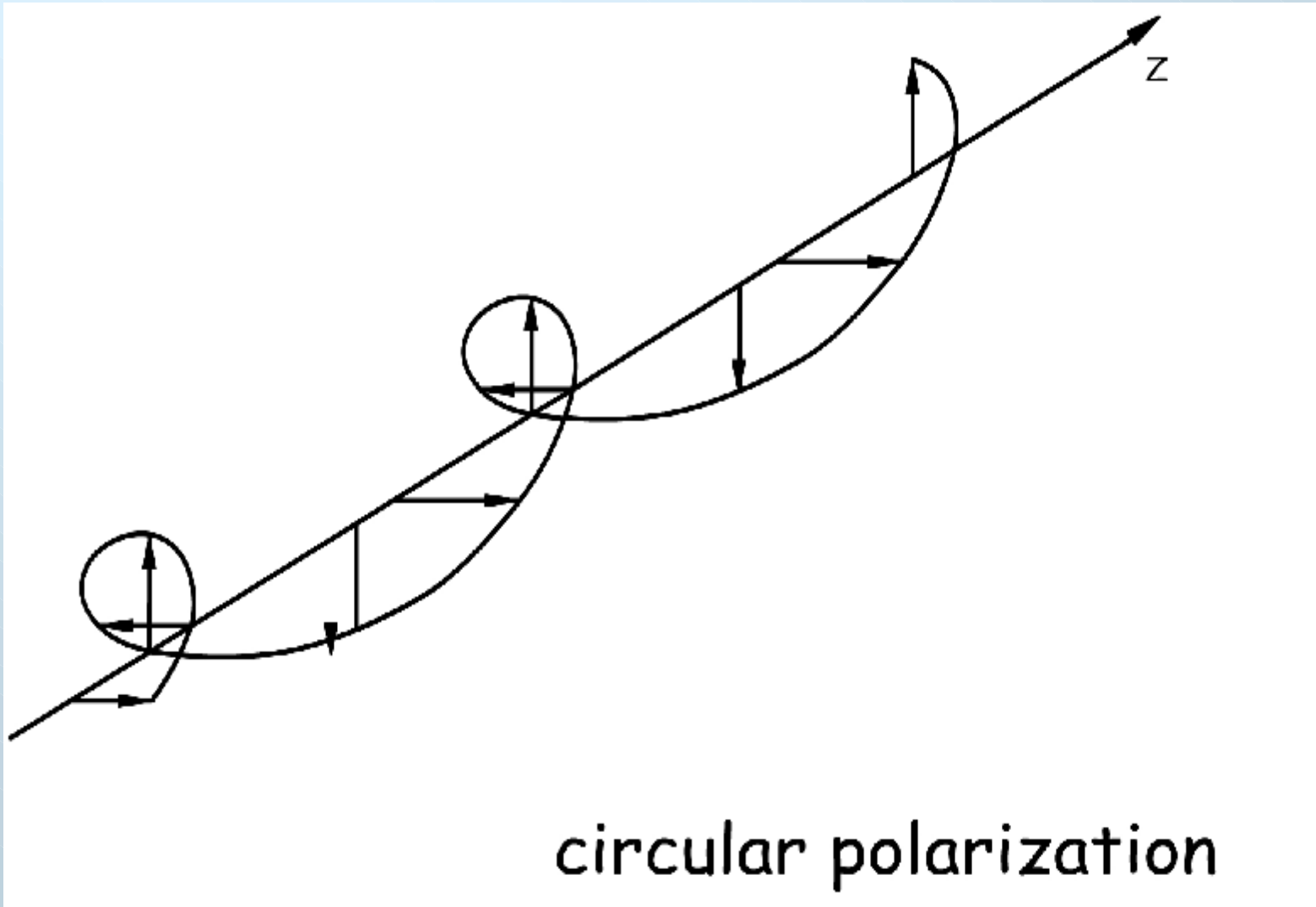
## Truyền sóng



Linear polarization



Truyền sóng

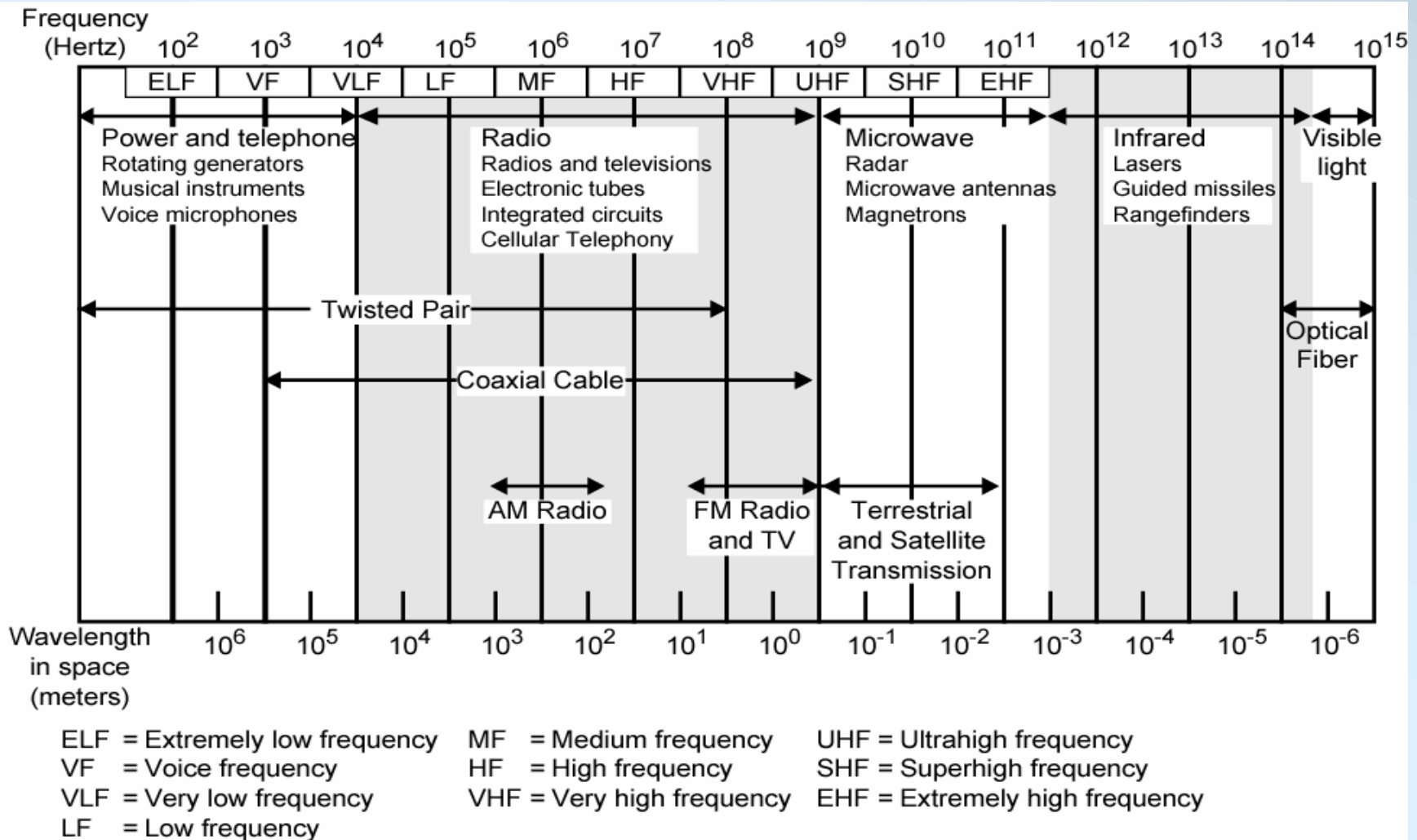




# Telecommunications Program

## Truyền sóng

### - Theo băng sóng

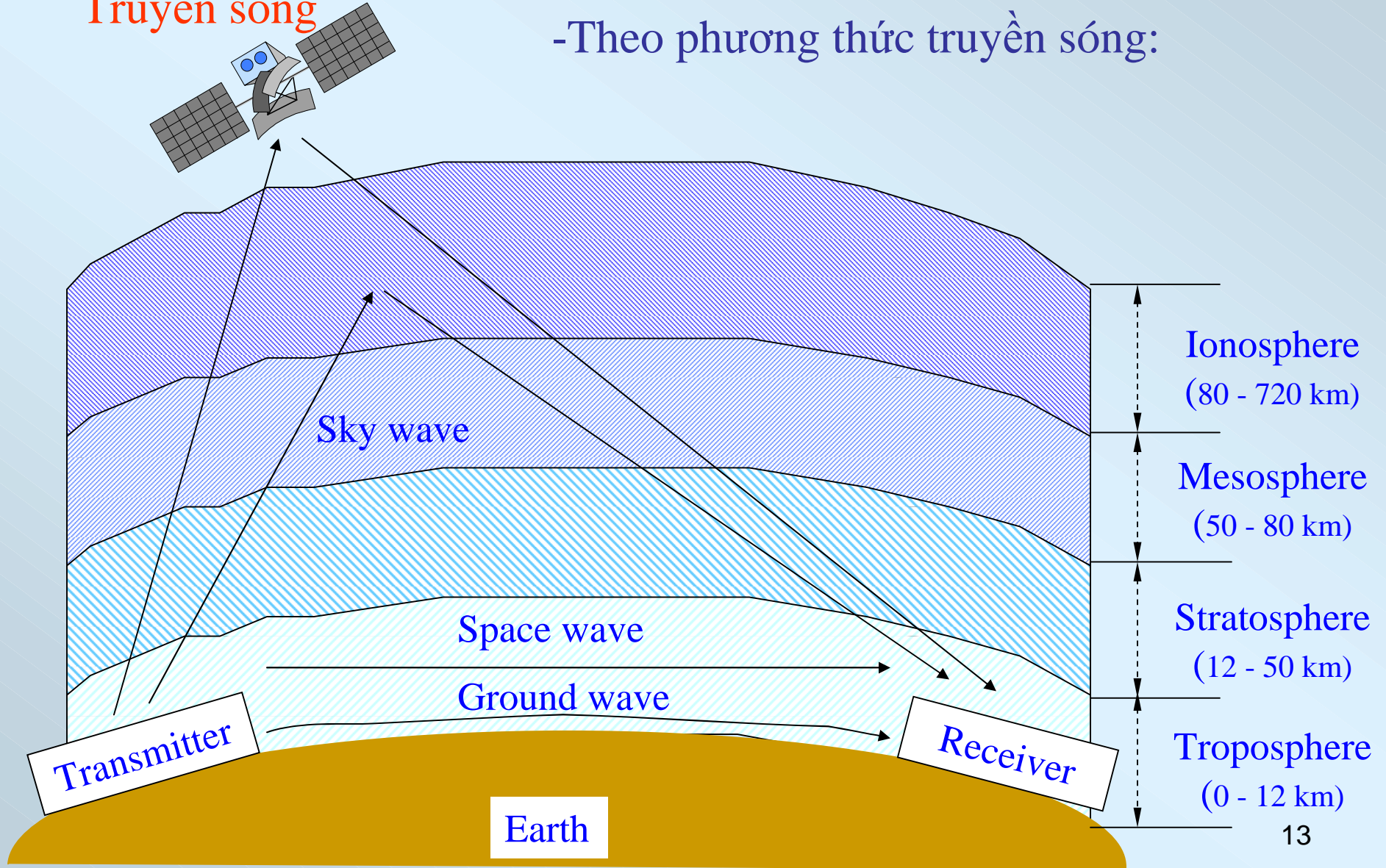




# Telecommunications Program

Truyền sóng

-Theo phương thức truyền sóng:



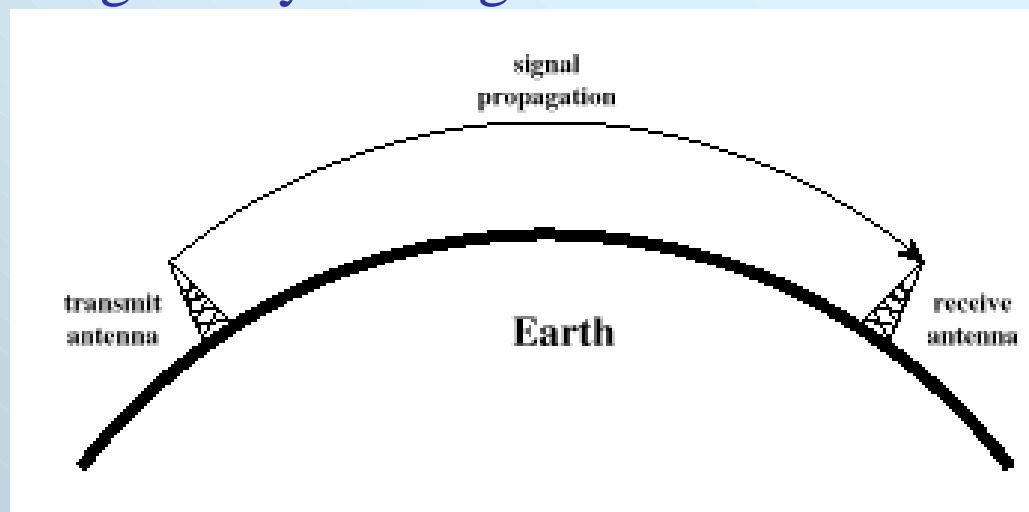


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

-Theo phương thức truyền sóng

+ **Sóng đất (ground wave):** sóng vô tuyến truyền là là mặt đất, thường được phân cực đứng, thay đổi nhiều với đất có ảnh hưởng lớn, đất có tính dẫn điện càng cao thì suy hao càng nhiều, truyền tốt trên mặt nước, tần số càng tăng thì suy hao tăng không tốt với những sóng có tần số lớn hơn 2MHz, độ tin cậy cao không bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi thời tiết trong ngày, mùa. Thường được dùng trong vô tuyến hàng hải



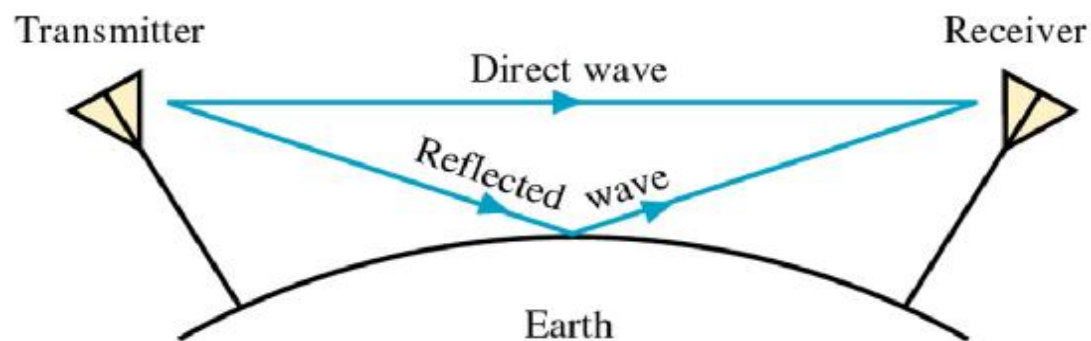


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

-Theo phương thức truyền sóng

+ **Sóng không gian (space wave):** sóng gồm những tia đến trực tiếp và những tia gián tiếp. Tia trực tiếp giới hạn bởi chiều cao anten, độ cong mặt đất, khoảng cách tuyến thường phải nhỏ hơn 80% tầm nhìn thẳng





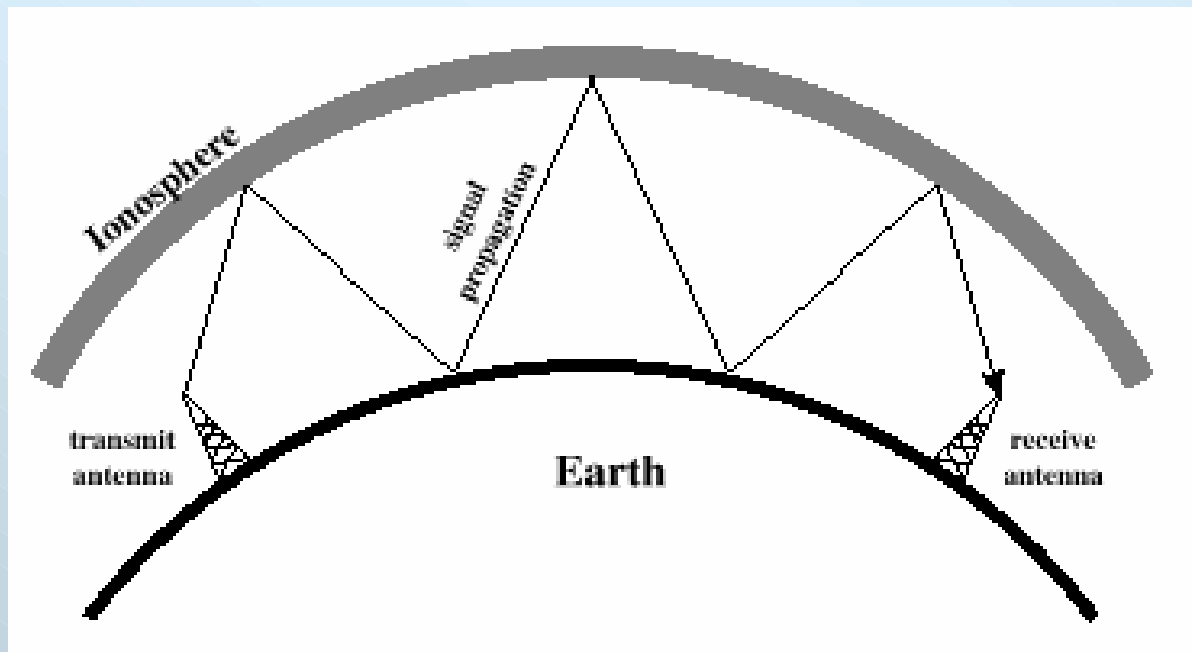


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

-Theo phương thức truyền sóng

+ **Sóng trời (sky wave):** sóng phản xạ từ tầng điện ly, có thể truyền từ anten phát đến anten thu bằng phản xạ ở tầng điện ly và mặt đất nhiều lần, thường sử dụng ở băng tần HF

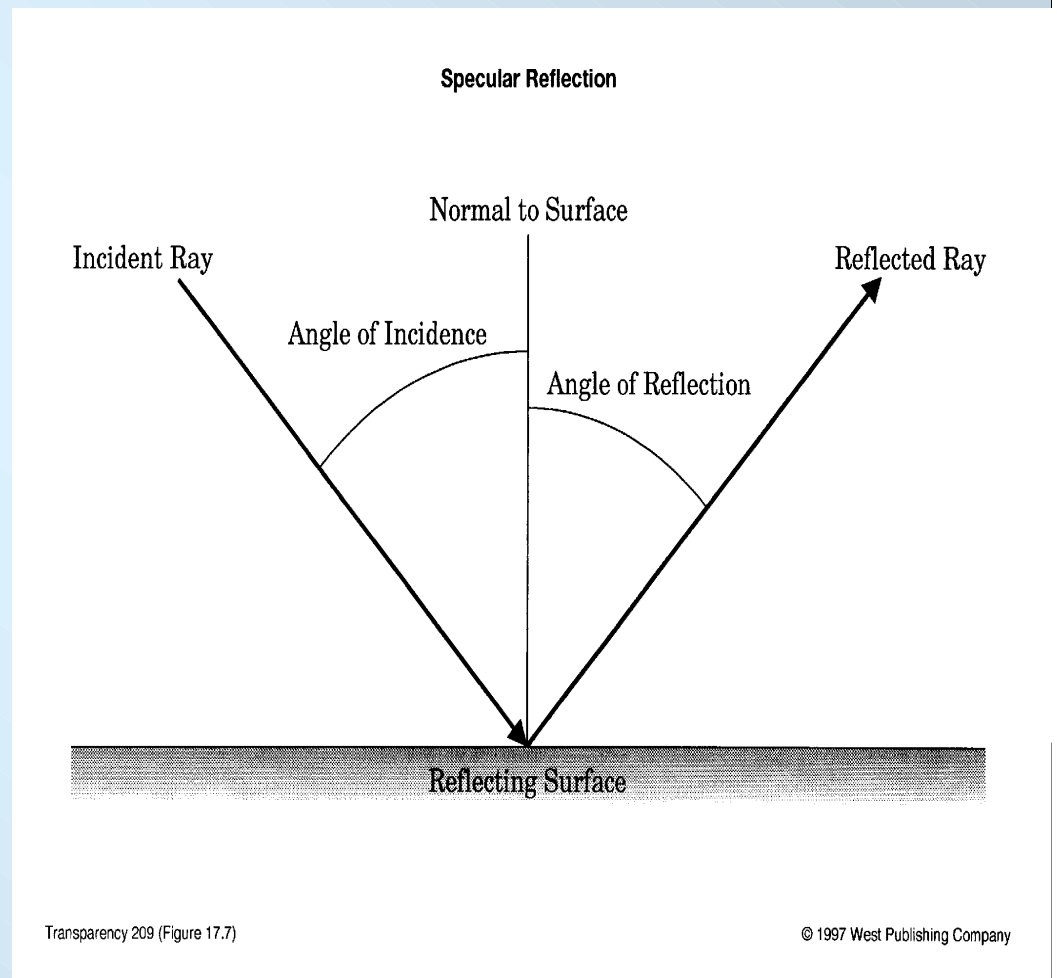




### Truyền sóng

- Các hiện tượng trong truyền sóng

+ **Phản xạ (Reflection):** hiện tượng phản xạ xuất hiện khi tia sóng gặp mặt chắn dẫn có kích thước so sánh được với bước sóng như các bề mặt kim loại hay mặt đất, hệ số phản xạ là tỷ số giữa tia phản xạ và tia tới luôn nhỏ hơn 1. Nếu mặt phản xạ dẫn hoàn toàn thì hệ số phản xạ bằng 1





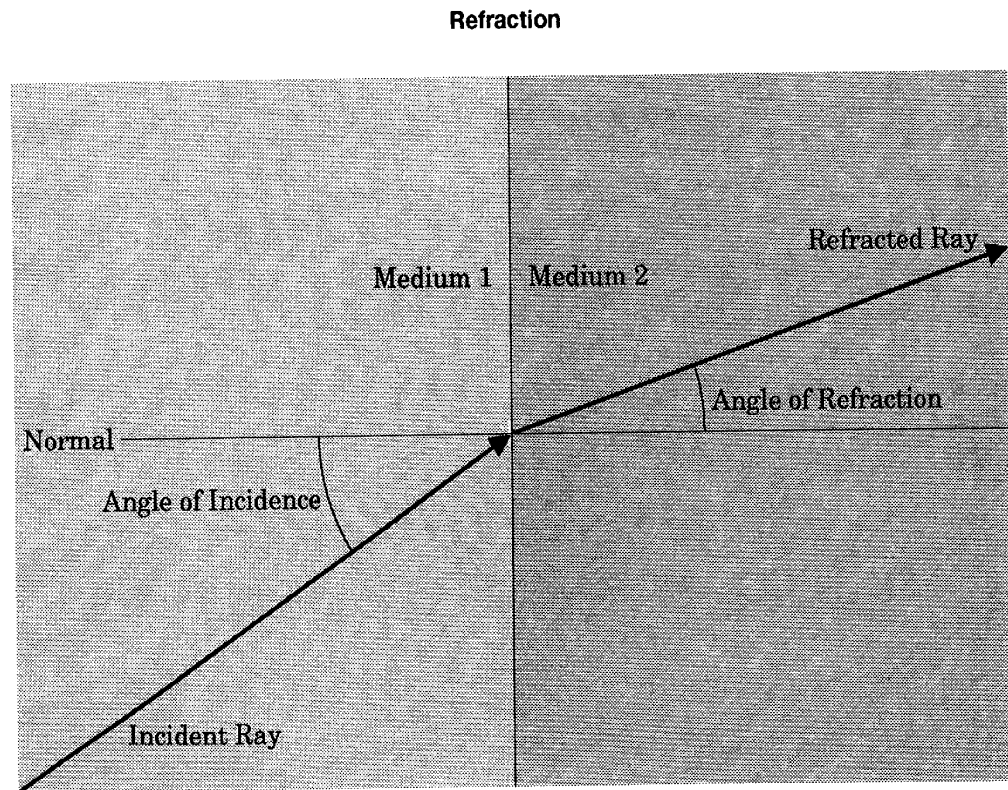
## Telecommunications Program

### Truyền sóng

- Các hiện tượng trong truyền sóng

+ Khúc xạ

(Refraction): hiện tượng khúc xạ xuất hiện khi tia sóng truyền từ một môi trường này sang một môi trường khác. Lúc này tia sóng tuân theo định luật Snell



Transparency 213 (Figure 17.11)

© 1997 West Publishing Company



Truyền sóng

$$n_1 \sin q_1 = n_2 \sin q_2$$

với:  $n = \sqrt{m_r e_r}$

$$\frac{\sin q_1}{\sin q_2} = \frac{\sqrt{e_{r2}}}{\sqrt{e_{r1}}}$$

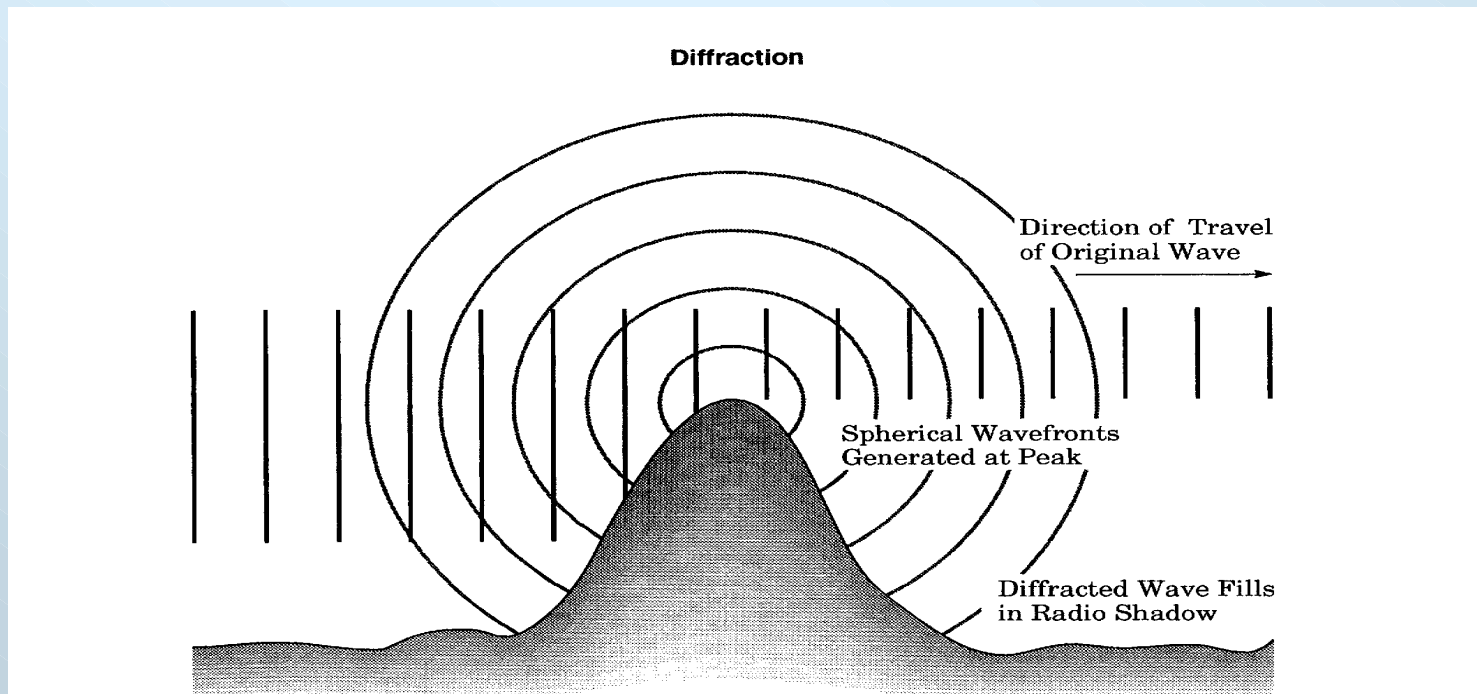


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

#### - Các hiện tượng trong truyền sóng

+ **Nhiều xạ (Diffraction)**: hiện tượng nhiễu xạ xuất hiện tại cạnh chắn của vật thể có kích thước có thể so sánh được với bước sóng, tia sóng bị uốn cong theo độ cong của bề mặt vật chắn



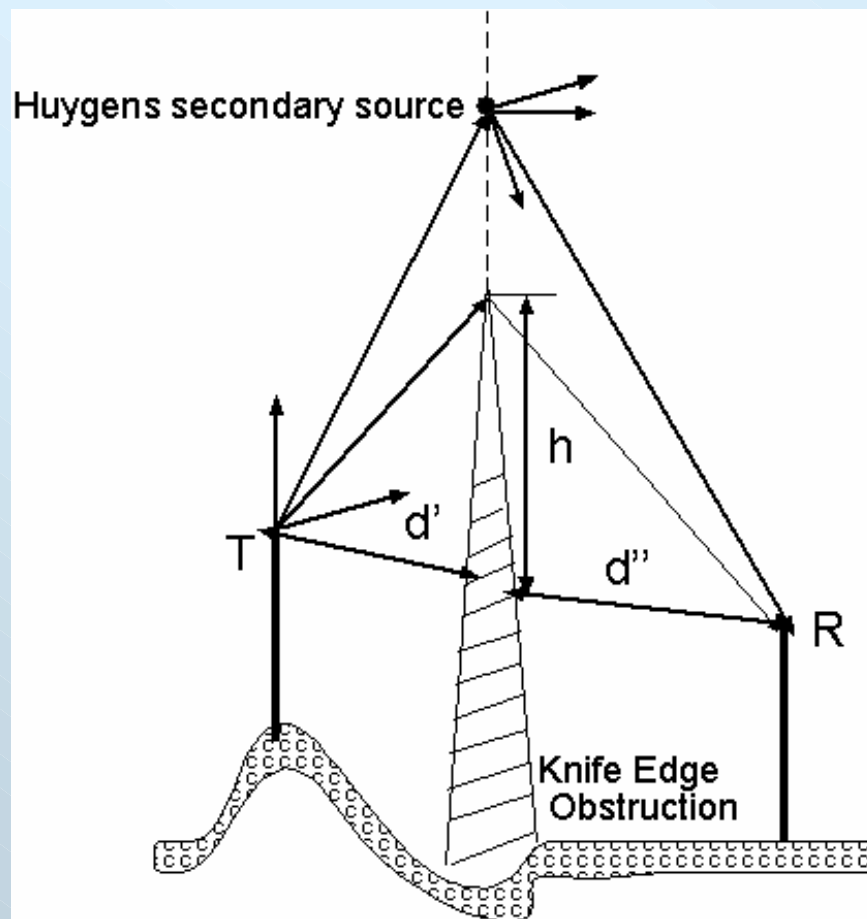


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

- Các hiện tượng trong truyền sóng

+ Nhiễu xạ bờ sắc (Knife Edge - Diffraction):



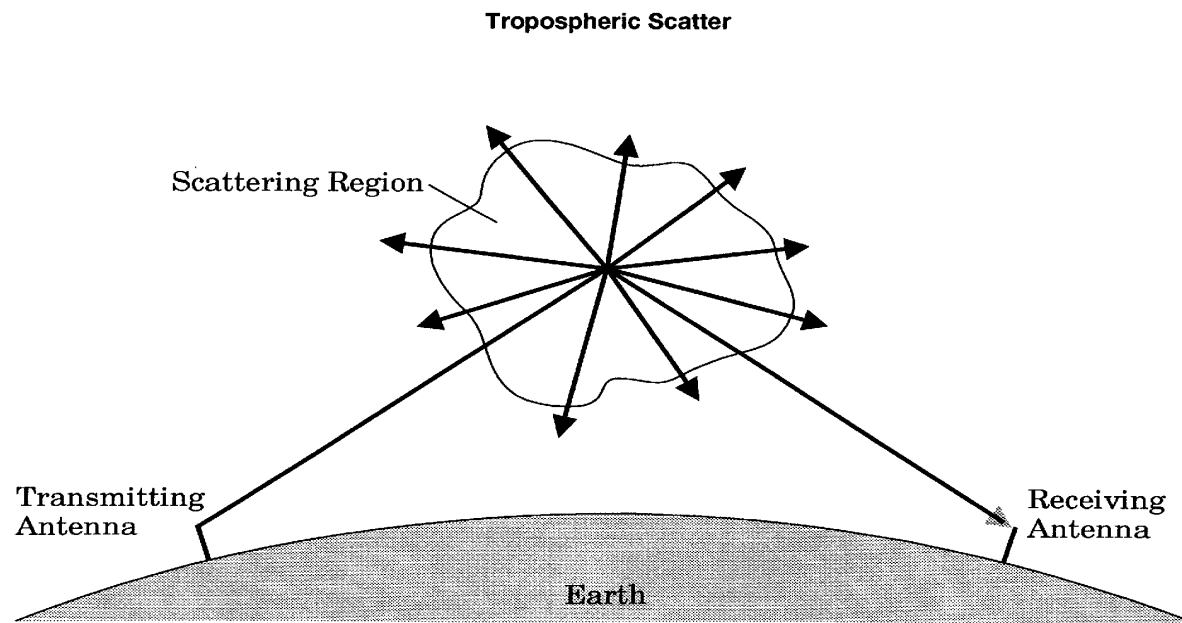


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

#### - Các hiện tượng trong truyền sóng

+ **Tán xạ (scattering):** hiện tượng tán xạ xuất hiện khi tia sóng gặp vùng bất đồng nhất hay các vật thể có kích thước bé hơn nhiều so với bước sóng



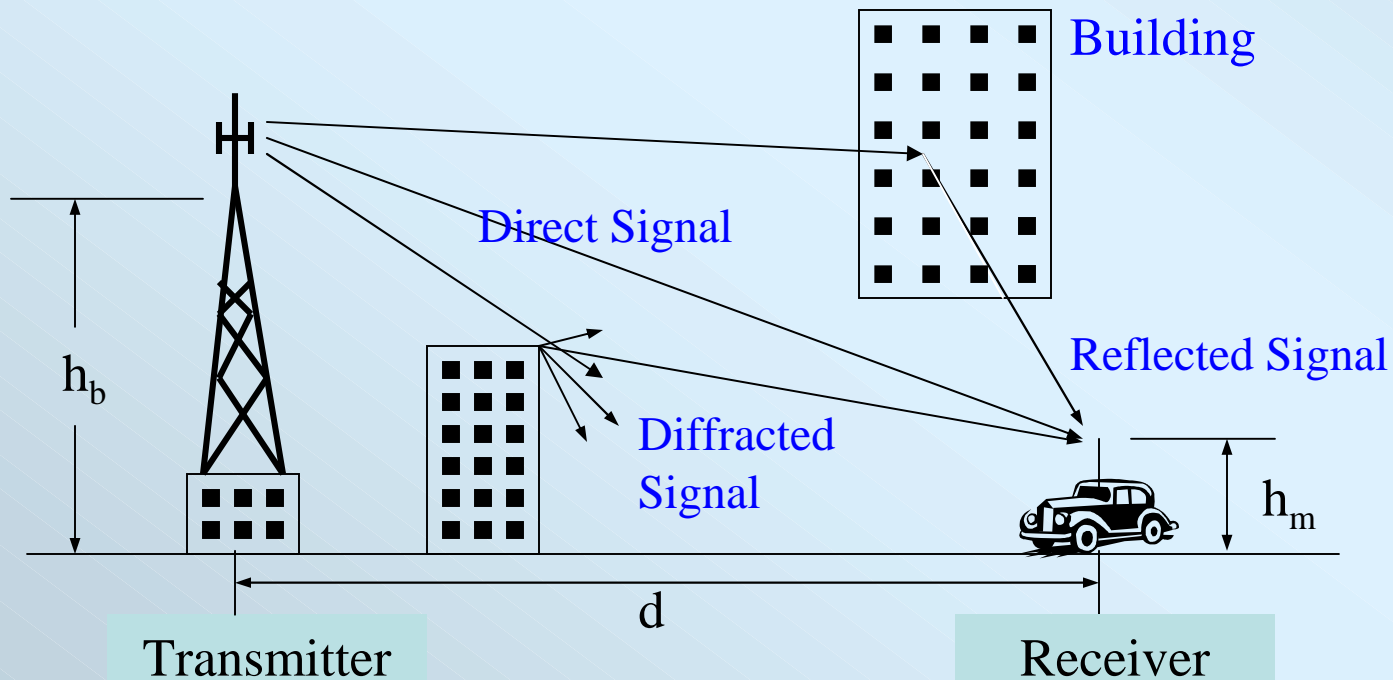


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

#### - Các hiện tượng trong truyền sóng

+ Đa đường (Multipath): hiện tượng đa đường do tín hiệu từ nguồn phát đến máy thu đi theo nhiều đường khác nhau do các hiện tượng phản xạ, tán xạ, nhiễu xạ, khúc xạ, truyền thẳng. Tín hiệu thu được là tập hợp của nhiều tín hiệu nên có thể làm cho tín hiệu có biên độ thay đổi liên tục theo thời gian và không gian

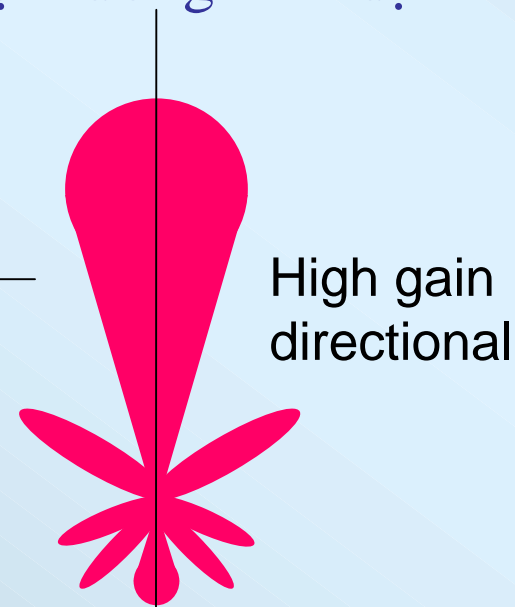
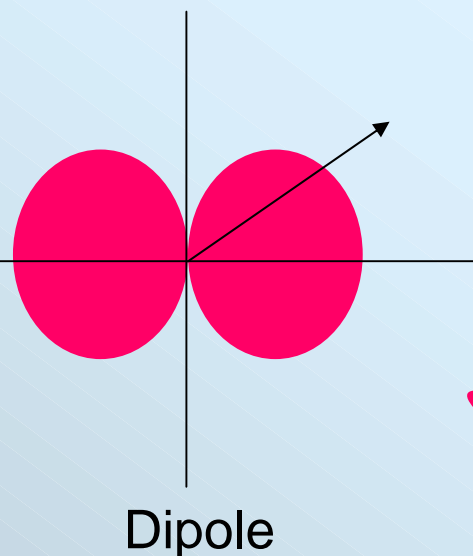
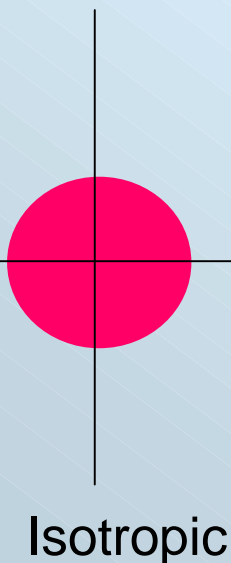






### Truyền sóng

- + Truyền sóng trong không gian tự do – công thức cơ bản
  - Nguồn bức xạ vô hướng (isotropic radiator) là một anten bức xạ sóng điện từ ra không gian tự do bằng nhau theo mọi hướng
  - Nguồn bức xạ đẳng hướng (omnidirectional radiator) là một anten bức xạ sóng điện từ đều trong một mặt phẳng nào đó
  - Nguồn bức xạ có hướng (directional radiator) là một anten bức xạ sóng điện từ tập trung vào một hướng nhất định nào đó





## Telecommunications Program

### Truyền sóng

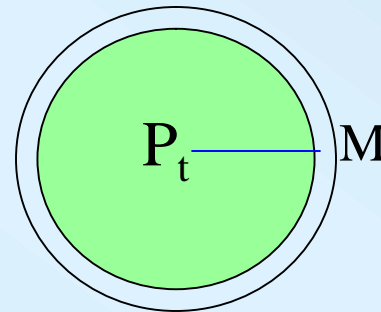
- Xét nguồn bức xạ vô hướng

Công suất và nguồn bức xạ  $P_t$

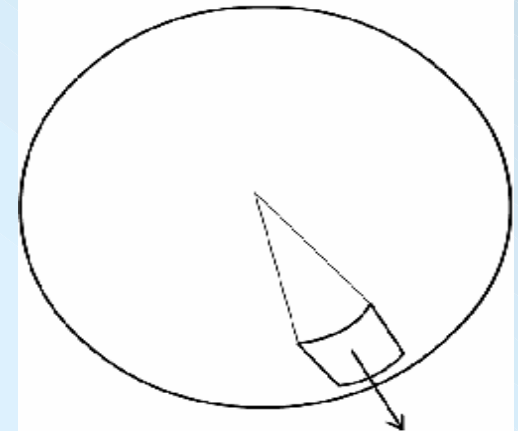
Điểm khảo sát M cách nguồn bức xạ một khoảng R

Mật độ công suất tại M

$$\mathbf{p}_0 = \frac{P_t}{4\pi R^2} \mathbf{i}_R$$



Densita' di potenza o Poynting  $P = E \times H$



Theo định lý Pointing

$$\mathbf{p}_0 = \frac{1}{2} \text{Re} \left( \mathbf{E} \times \mathbf{H}^* \right) = \frac{1}{2W} \mathbf{E}_m^2 \mathbf{i}_R$$

$$W = W_0 = \sqrt{\frac{m_0}{e_0}} = 120\phi$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

Cường độ điện trường tại M

$$E_m^2 = \frac{2WP_t}{4\pi R^2} \Rightarrow E_m = \frac{\sqrt{60P_t}}{R} \quad \left[ \frac{V}{m} \right]$$

- Xét nguồn bức xạ có hướng - Hệ số hướng tính

Công suất và nguồn bức xạ  $P_t$

Điểm khảo sát M cách nguồn bức xạ một khoảng R

Hệ số hướng tính là tỷ số giữa mật độ công suất bức xạ tại điểm khảo sát của nguồn bức xạ có hướng với mật độ công suất tại cùng điểm khảo sát của nguồn bức xạ vô hướng với cùng công suất đưa vào  $\Rightarrow$  nguồn bức xạ có hướng với công suất đưa vào  $P_t$  và hệ số hướng tính D được xem tương đương với nguồn bức xạ vô hướng có công suất đưa vào  $P_t D$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

### Hệ số hướng tính

$$D(q, j) = \frac{p(q, j)}{p_0} = \frac{\frac{1}{2W} E_m^2(q, j)}{\frac{P_t}{4\pi R^2}}$$

$$E_m(q, j) = \frac{\sqrt{60 P_t D(q, j)}}{R} \quad \left[ \frac{V}{m} \right]$$

- Độ lợi anten là hệ số hướng tính của anten thật, nếu anten có hiệu suất là  $\eta$

$$G = \eta D$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

- Tổn hao trên đường truyền sóng

Diện tích hiệu dụng: là tỷ số giữa công suất ngõ ra anten thu với mật độ công suất ở ngõ vào máy thu. Diện tích hiệu dụng phụ thuộc vào tần số sử dụng và hệ số hướng tính của anten

$$S_{hd} = \frac{P_r}{p_r} = \frac{D_r}{4p} I^2$$

- Xét hệ thống gồm anten phát có hệ số hướng tính  $D_t$ , công suất đưa vào  $P_t$ , Anten thu đặt cách anten phát một khoảng  $R$  với hệ số hướng tính  $D_r$  thì tổn hao trên đường truyền sóng là

$$L_{cb} = 10 \log P_t - 10 \log P_r = 10 \log \left[ \left( \frac{4pR}{I} \right)^2 \frac{1}{D_t} \frac{1}{D_r} \right]$$

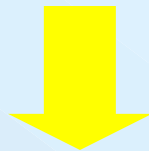


## Telecommunications Program

### Truyền sóng

- Tổn hao trên đường truyền sóng có hấp thụ

$$E_m = \frac{\sqrt{60P_t D_t}}{R} F \left[ \frac{V}{m} \right]$$



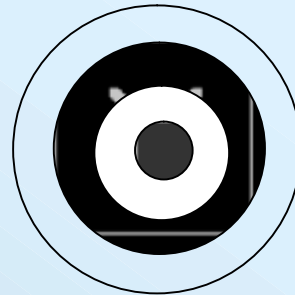
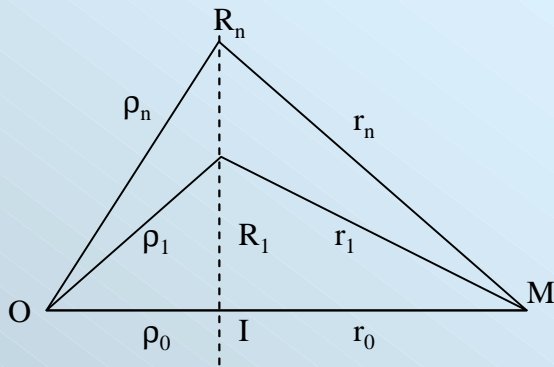
$$L = 10 \log P_t - 10 \log P_r = 10 \log \left[ \left( \frac{4pR}{l} \right)^2 \frac{1}{D_t} \frac{1}{D_r} \frac{1}{F^2} \right]$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

- + Không gian ảnh hưởng đến quá trình truyền sóng – vùng Fresnel
  - Nguyên lý Huygen: ta có thể xác định trường tại một điểm bất kỳ trong không gian nếu ta biết được qui luật phân bố trường trên một mặt kín  $S$  bất kỳ bao quanh nguồn bức xạ. Nguồn bức xạ này được xem là nguồn bức xạ thứ cấp



$$r_1 + r_1 - (r_0 + r_0) = l/2$$

$$r_2 + r_2 - (r_1 + r_1) = l/2$$

$$r_2 + r_2 - (r_0 + r_0) = 2l/2$$

$$r_n + r_n - (r_0 + r_0) = n l/2$$

$$E \approx \frac{E_1}{2} + \left( \frac{E_1}{2} - \frac{E_2}{2} \right) + \left( \frac{-E_2}{2} + \frac{E_3}{2} \right) + \left( \frac{E_3}{2} - \frac{E_4}{2} \right) + \mathbf{L} \approx \frac{E_1}{2}$$



## Truyền sóng

- Bán kính vùng Fresnel

$$r_n = \sqrt{r_0^2 + R_n^2} = r_0 \sqrt{1 + \left(\frac{R_n}{r_0}\right)^2}$$

$$r_0 + \frac{1}{2} \frac{R_n^2}{r_0} + r_0 + \frac{1}{2} \frac{R_n^2}{r_0} - (r_0 + r_0) = n \frac{l}{2}$$

$$R_n = \sqrt{\frac{nl r_0 r_0}{r_0 + r_0}}$$

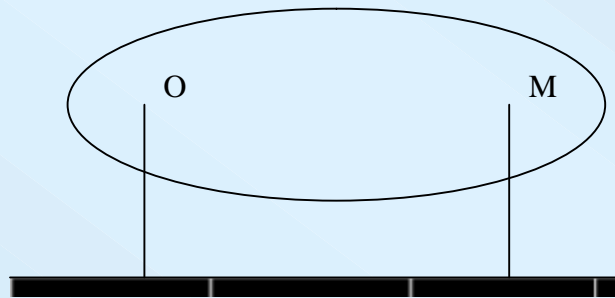




## Telecommunications Program

### Truyền sóng

- Khoảng gian Fresnel thứ nhất



+ Sự truyền lan của sóng phẳng đơn sắc trong môi trường điện môi lý tưởng

$\sigma$  Điện dẫn suất [ $1/\Omega\text{m}$ ]

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$  Hệ số điện môi [ $\text{F/m}$ ]

$\mu = \mu_0 \mu_r$  Hệ số từ thẩm [ $\text{H/m}$ ]

$$\begin{cases} \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} & \left[ \frac{\text{F}}{\text{m}} \right] \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} & \left[ \frac{\text{H}}{\text{m}} \right] \end{cases}$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

+ Hệ phương trình Maxwell tổng quát

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{rot} \mathbf{H} = e \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + s \mathbf{E} \\ \mathbf{rot} \mathbf{E} = -m \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \mathbf{div} \mathbf{H} = 0 \\ \mathbf{div} \mathbf{E} = \frac{r}{e} \end{array} \right.$$

+ Môi trường điện môi lý tưởng

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{rot} \mathbf{H} = e \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \\ \mathbf{rot} \mathbf{E} = -m \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \mathbf{div} \mathbf{H} = 0 \\ \mathbf{div} \mathbf{E} = 0 \end{array} \right.$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

+ Môi trường điện môi lý tưởng tại nguồn bức xạ chỉ có thành phần thẳng đứng theo trục  $z$ , giả thiết sóng truyền theo trục  $x$

$$\begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = 0 \\ E_z = E_m e^{j\omega(t - \frac{x}{v})} \end{cases} \quad \left[ \frac{V}{m} \right]$$

$$\begin{cases} H_x = 0 \\ H_y = -\frac{\sqrt{\epsilon'}}{120\pi} E_m e^{j\omega(t - \frac{x}{v})} = -H_m e^{j\omega(t - \frac{x}{v})} \\ H_z = 0 \end{cases}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu_0}} \quad \text{là vận tốc truyền sóng}$$

$$H_m = \frac{\sqrt{\epsilon'}}{120\pi} E_m$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

+ Truyền sóng trong môi trường bán dẫn  $\sigma \neq 0$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{rot} \mathbf{H} = e \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + s \mathbf{E} \\ \mathbf{rot} \mathbf{E} = -m \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \mathbf{div} \mathbf{H} = 0 \\ \mathbf{div} \mathbf{E} = \frac{r}{e} \end{array} \right.$$

$$\mathbf{E} = -\frac{j}{w} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

$$\mathbf{rot} \mathbf{H} = \left( e - j \frac{s}{w} \right) \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

$$e_p = e - j \frac{s}{w} \quad \left[ \frac{F}{m} \right]$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

+ Truyền sóng trong môi trường bán dẫn  $\sigma \neq 0$ .

$$e'_p = \frac{e_p}{e_0} = e' - j \frac{s}{\omega e_0} = e' - j60ls$$

$$E_z = E_m e^{-dx} e^{j\omega \left( t - \frac{x}{c/n} \right)}$$

$$\sqrt{e'_p} = n - jp$$

$$H_y = -\frac{\sqrt{e'_p}}{120p} E_m e^{-dx} e^{j\omega \left( t - \frac{x}{c/n} \right)}$$

$$E_z = E_m e^{-\frac{w}{c} px} e^{j\omega \left( t - \frac{x}{c/n} \right)}$$

$$= -\frac{\sqrt{n^2 + p^2}}{120p} E_m e^{-dx} e^{j \left[ \omega \left( t - \frac{x}{c/n} - \text{artg} \frac{p}{n} \right) \right]}$$

$$n = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ e' + \sqrt{e'^2 + (60ls)^2} \right]}$$

$$d = \frac{w}{c} p = \frac{2p}{l} p$$

$$p = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ -e' + \sqrt{e'^2 + (60ls)^2} \right]}$$



## Telecommunications Program

### Truyền sóng

+ Môi trường có tính chất gần với môi trường điện môi lý tưởng  $\epsilon' \gg 60 \text{ l s}$

$$n \approx \sqrt{\epsilon'}$$

$$p \approx \frac{60 \text{ l s}}{2\sqrt{\epsilon'}}$$

$$v = \frac{c}{n} \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}}$$

$$d = \frac{w}{c} p \approx \frac{60 \text{ p s}}{\sqrt{\epsilon'}}$$

+ Môi trường có tính chất gần với môi trường **điện môi lý tưởng**  $\epsilon' \ll 60 \text{ l s}$

$$n \approx \sqrt{30 \text{ l s}}$$

$$p \approx \sqrt{30 \text{ l s}}$$

$$v \approx \frac{c}{\sqrt{30 \text{ l s}}}$$

$$d \approx 2p \sqrt{\frac{30 \text{ s}}{l}}$$



# Giáo trình

## Cơ sở mạng thông tin



....., tháng ... năm .....

---

---

# Cơ sở mạng thông tin

---

Giáo trình dành cho sinh viên đại học ngành  
Điện tử - Viễn thông

**Khoa Điện tử Viễn Thông**  
**Trường Đại học Bách khoa Hà nội**



---

## Các từ viết tắt

<b>FAS</b>	<b>Frame Alignment Signal</b>
<b>IEEE</b>	<b>Institute of Electronics and Electrical Engineering</b>
<b>ITU</b>	<b>International Telecommunication Union</b>
<b>MFAS</b>	<b>Multi-Frame Alignment Signal</b>
<b>PDF</b>	<b>Probability Density Function</b>
<b>pdf</b>	<b>probability distribution function</b>
<b>TDMA</b>	<b>Time Division Multiple Access</b>

---

# Bảng đối chiếu thuật ngữ Anh - Việt

Tiếng Việt	Tiếng Anh
Băng tần thông dải	Band Pass
Băng tần cơ sở	Baseband
Trạm gốc	Base Station
Kênh	Channel
Va đập	Collision
Cuộc nối	Connection
Mã hoá điều khiển lỗi	Error Control Coding
Mật độ phổ năng lượng	Energy Spectral Density
Khung	Frame
Đáp ứng tần số	Frequency Response
Giao thoa giữa các ký tự	Intersymbol Interference
Đa khung	Multi-frame
Đa truy nhập	Multiple Access
Bộ ghép kênh, bộ hợp kênh	Multiplexer
Hiệu ứng xa - gần	Near – Far Effect
Kết nối, liên kết	Link
Đầu thu, phần thu	Sender
Đầu thu, phần thu, đích	Sink
Mã hoá nguồn	Source Coding
Ghép kênh phân chia theo thời gian	Time Division Multiplexing
Bộ phát, khối phát	Transmitter

---

# Mục lục

<i>Các từ viết tắt</i>	3
<i>Bảng đối chiếu thuật ngữ Anh - Việt</i>	4
<i>Mục lục</i>	5
<i>Mục lục hình vẽ</i>	7
<i>Mục lục bảng biểu</i>	8
<b>Chương 1 Giới thiệu</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Mục đích của việc mô hình hóa và đánh giá đặc tính hoạt động của hệ thống</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Các khái niệm cơ bản trong hệ thống thông tin</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Các bước và phương pháp đánh giá một mạng thông tin</b>	<b>1</b>
1.3.1. Đo đạc, thu thập kế quả thống kê	1
1.3.2. Mô hình hóa toán học	1
1.3.3. Mô phỏng	1
<b>1.4. Các công cụ phục vụ cho việc đánh giá chất lượng hoạt động của mạng</b>	<b>1</b>
<b>Chương 2 Hàng đợi – Các hệ thống thời gian liên tục</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Giới thiệu lý thuyết hàng đợi</b>	<b>2</b>
2.1.1. Hàng đợi và đặc điểm	2
2.1.2. Các tham số hiệu năng trung bình	5
<b>2.2. Nhắc lại các khái niệm thống kê cơ bản</b>	<b>10</b>
2.2.1. Tiến trình điểm	10
2.2.2. Tiến trình Poisson	12
<b>2.3. Định luật Little</b>	<b>14</b>
2.3.1. Công thức Little	14
2.3.2. Chứng minh công thức Little	15
<b>2.4. Các mô hình hàng đợi</b>	<b>16</b>
2.4.1. Ký hiệu Kendall	16
2.4.2. Quá trình Sinh-Tử (Birth-Death)	17
2.4.3. Hàng đợi M/M/1	17
2.4.4. Hàng đợi M/M/1/K	20
2.4.5. Hàng đợi M/M/C	20
<b>2.5. Lý thuyết lưu lượng</b>	<b>21</b>
2.5.1. Khái niệm về lưu lượng và đơn vị Erlang	21
2.5.2. Hệ thống tổn thất (Loss System) và công thức Erlang B	24
2.5.3. Hệ thống trễ (Delay) và công thức Erlang C	27
<b>2.6. Hệ thống hàng đợi có ưu tiên</b>	<b>29</b>
2.6.1. Qui tắc và tổ chức hàng đợi	29
2.6.2. Độ ưu tiên của khách hàng trong hàng đợi ưu tiên	32
2.6.3. Duy trì qui tắc hàng đợi, luật Kleinrock	33
2.6.4. Một số hàng đợi đơn server	34
2.6.5. Kết luận	34
<b>2.7. Bài tập (Pending)</b>	<b>35</b>
<b>Chương 3 Mạng hàng đợi</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Mạng nối tiếp</b>	<b>36</b>

<b>Chương 4 Định tuyến trong mạng thông tin</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Yêu cầu về định tuyến trong mạng thông tin</b>	<b>37</b>
4.1.1. Vai trò của định tuyến trong mạng thông tin	37
4.1.2. Các khái niệm trong lý thuyết graph	37
<b>4.2. Các mô hình định tuyến quảng bá (broadcast routing)</b>	<b>39</b>
4.2.1. Lan tràn gói (flooding)	39
4.2.2. Định tuyến bước ngẫu nhiên (random walk)	40
4.2.3. Định tuyến khoai tây nóng (hot potato)	40
4.2.4. Định tuyến nguồn (source routing) và mô hình cây (spanning tree)	41
4.2.5. Duyệt cây	41
<b>4.3. Các mô hình định tuyến thông dụng</b>	<b>62</b>
4.3.1. Định tuyến ngắn nhất (Shortest path Routing)	62
<b>4.4. Bài tập (Pending)</b>	<b>85</b>
<b>Chương 5 Điều khiển luồng và chống tắc nghẽn</b>	<b>86</b>
<b>5.1. Tổng quan</b>	<b>86</b>
5.1.1. Mở đầu	86
5.1.2. Khái niệm điều khiển luồng	89
5.1.3. Khái niệm chống tắc nghẽn	90
5.1.4. Nhiệm vụ chủ yếu của điều khiển luồng và chống tắc nghẽn	90
5.1.5. Phân loại điều khiển luồng và tránh tắc nghẽn	91
<b>5.2. Tính công bằng</b>	<b>92</b>
5.2.1. Định nghĩa	92
5.2.2. Tính công bằng về mặt băng truyền	92
5.2.3. Tính công bằng về mặt bộ đệm	92
5.2.4. Cơ chế phát lại ARQ	94
5.2.5. Stop-and-Wait ARQ	95
5.2.6. Go-back-N ARQ	101
5.2.7. Selective repeat ARQ	107
<b>5.3. Điều khiển luồng và tránh tắc nghẽn theo phương pháp cửa sổ</b>	<b>109</b>
5.3.1. Điều khiển luồng theo cửa sổ (Window Flow Control)	110
5.3.2. Điều khiển tắc nghẽn sử dụng cửa sổ thích ứng (adaptive window)	115
<b>5.4. Điều khiển luồng và chống tắc nghẽn dựa trên băng thông (rate-based flow control)</b>	<b>120</b>
5.4.1. Khái niệm	120
5.4.2. Điều khiển băng thông theo thuật toán gáo rò (leaky bucket)	121
5.4.3. Thuật toán GPS (pending)	125
<b>5.5. Bài tập (Pending)</b>	<b>125</b>
<b>Chương 6 Kỹ thuật mô phỏng</b>	<b>126</b>
<b>6.1. Giới thiệu</b>	<b>126</b>
<b>6.2. Mô phỏng dựa trên các sự kiện rời rạc và các công cụ</b>	<b>126</b>
6.2.1. Phương pháp mô phỏng dựa trên sự kiện rời rạc	126
6.2.2. Các công cụ mô phỏng thông dụng dựa trên sự kiện rời rạc	129
<b>6.3. Công cụ mô phỏng mạng NS2</b>	<b>130</b>
6.3.1. Cấu trúc	130
6.3.2. Các tiện ích trong NS hỗ trợ cho mô phỏng mạng [Pending]	132
6.3.3. Thí dụ (Pending)	132
<b>6.4. Kết luận (Pending)</b>	<b>132</b>
<b>6.5. Bài tập (Pending)</b>	<b>133</b>
<b>Tài liệu tham khảo</b>	<b>134</b>
<b>Phụ lục 1</b>	<b>135</b>

---

## Mục lục hình vẽ

Hình 1-1 Đường truyền, kết nối và cuộc nối <Caption>**Error! Bookmark not defined.**

Hình 1-2 Ghép kênh và đa truy nhập**Error! Bookmark not defined.**

---

# Mục lục bảng biểu

Bảng 1-1. Độ rộng băng tần của một số tín hiệu cơ bản <Caption>

**Error! Bookmark not defined.**

# Chương 1 Giới thiệu

1.1. Mục đích của việc mô hình hóa và đánh giá đặc tính hoạt động của hệ thống

1.2. Các khái niệm cơ bản trong hệ thống thông tin

1.3. Các bước và phương pháp đánh giá một mạng thông tin

1.3.1. Đo đạc, thu tập kết quả thống kê

1.3.2. Mô hình hóa toán học

1.3.3. Mô phỏng

1.4. Các công cụ phục vụ cho việc đánh giá chất lượng hoạt động của mạng

---

# Chương 2 Hàng đợi – Các hệ thống thời gian liên tục

## 2.1. Giới thiệu lý thuyết hàng đợi

### 2.1.1. Hàng đợi và đặc điểm

Trong bất cứ một hệ thống nào thì khách hàng đi đến các điểm cung cấp dịch vụ và rời khỏi hệ thống khi dịch vụ đã được cung cấp.

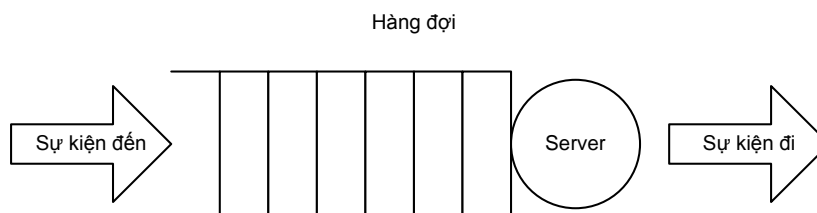
#### Ví dụ:

Các hệ thống điện thoại: khi số lượng lớn khách hàng quay số để kết nối đến một trong những đường ra hữu hạn của tổng đài.

Trong mạng máy tính: khi mà gói tin được chuyển từ nguồn tới đích và đi qua một số lượng các nút trung gian. Hệ thống hàng đợi xuất hiện tại mỗi nút ở quá trình lưu tạm thông tin tại bộ đệm.

Hệ thống máy tính: khi các công việc tính toán và tuyến làm việc của hệ thống yêu cầu dịch vụ từ bộ xử lý trung tâm và từ các nguồn khác.

Những tình huống này được diễn tả bằng hình vẽ sau:



Hình 2-1 Mô hình chung của hệ thống hàng đợi

Người ta mô tả tiến trình đến và tiến trình phục vụ như thế nào?

Hệ thống có bao nhiêu server?

Có bao nhiêu vị trí đợi trong hàng đợi?

Có bất kỳ quy tắc nội bộ đặc biệt nào không (yêu cầu dịch vụ, mức độ ưu tiên, hệ thống còn rỗi không)?

#### **Đặc điểm của hệ thống hàng đợi**

Miêu tả của tiến trình đến (phân bố khoảng thời gian đến)

Miêu tả của tiến trình phục vụ (phân bố thời gian phục vụ)

Số lượng server

Số lượng các vị trí đợi

Các quy tắc hàng đợi đặc biệt:



Quy tắc phục vụ (FCFS, LCFS, RANDOM)

Thời gian rỗi (phân bố thời gian rỗi, khi mà thời gian rỗi bắt đầu )

Mức độ ưu tiên

Những luật khác

Với một mạng cụ thể của hàng đợi gồm có các thông tin sau:

Sự kết hợp giữa các hàng đợi

Chiến lược định tuyến:

Xác định (Deterministic)

Dựa vào một lớp

Thống kê

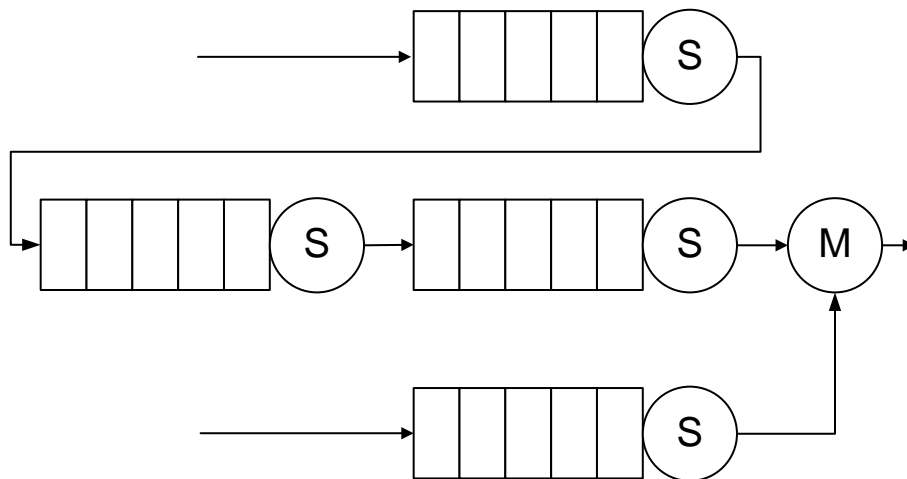
Xử lý nghẽn mạng (khi bộ đệm tại đích bị đầy)

Số lượng khách hàng bị suy giảm

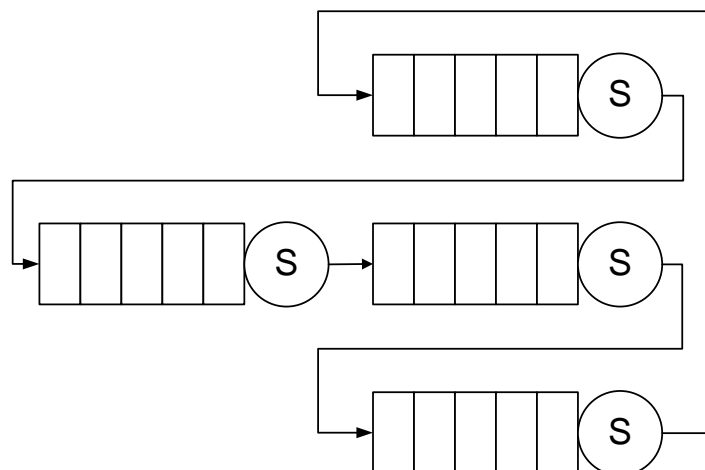
Hàng đợi gốc bị nghẽn

Tái định tuyến

Chúng ta sẽ xem xét ví dụ về các mạng hàng đợi đơn giản khác



Hình 2-2: Ví dụ về mạng hàng đợi mở



Hình 2-3 Ví dụ về mạng hàng đợi đóng

**Phân tích hệ thống hàng đợi hoặc mạng hàng đợi bao gồm:**

Phân tích giải tích  
Quá trình mô phỏng  
Cả hai phương pháp trên

**Kết quả giải tích đạt được:**

Yêu cầu ít tính toán  
Đưa ra kết quả chính xác (không xảy ra lỗi xác suất)

**Những kết quả thu được (các thông số dịch vụ) được chia thành hai nhóm lớn:**

Dành cho người sử dụng  
Dành cho các nhà cung cấp phục vụ  
Thông số quan trọng cho người sử dụng:  
Trễ hàng đợi  
Tổng trễ (bao gồm trễ hàng đợi và trễ phục vụ )  
Số lượng khách hàng trong hàng đợi  
Số lượng khách hàng trong hệ thống (gồm khách hàng chờ và khách hàng đang được phục vụ )  
Xác suất nghẽn mạng (khi kích thước bộ đệm hữu hạn)  
Xác suất chờ để phục vụ  
Thông số quan trọng cho các nhà cung cấp dịch vụ:  
Khả năng sử dụng server  
Khả năng sử dụng bộ đệm  
Lợi ích thu được (thông số dịch vụ và các xem xét về kinh tế)  
Lợi ích bị mất (thông số dịch vụ và các xem xét về kinh tế)  
Đáp ứng nhu cầu của người sử dụng  
Chất lượng dịch vụ (QoS):  
Tổn thất (PDF, mean)  
Trễ (PDF, mean)  
Jitter (PDF, mean)

**Đưa ra các thông số trên để thu được:**

Hàm phân bố xác suất  
Các giá trị trung bình  
Đo được các thời điểm cực đại, cực tiểu

Các hàm phân bố xác suất chứa đựng đầy đủ các thông tin liên quan đến các thông số quan tâm. Tuy nhiên, việc thiết lập được các hàm này là khó thực hiện.

Phân tích hệ thống hàng đợi được chia thành:

Phân tích ở thời gian ngắn (dựa trên một thời điểm nhất định)

Phân tích trong một khoảng thời gian (trạng thái ổn định) – (dựa trên tham số vô hạn)

Cấu trúc logic của phân tích hệ thống hàng đợi

Đo được nhiều thông số thống kê: mean-mean, moments, transform, pdf

Phân tích thời gian ngắn sử dụng cho các trường hợp đơn giản- sử dụng các phương pháp mô phỏng hay xấp xỉ

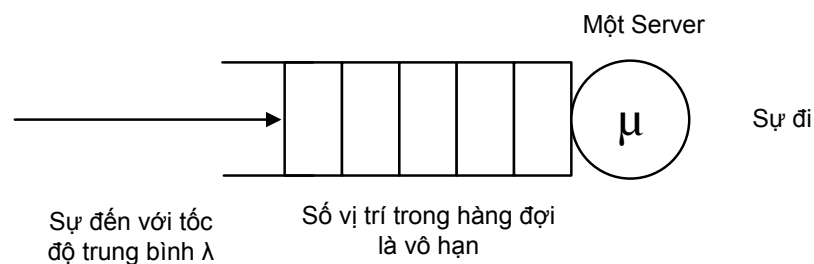
Việc phân tích chính xác không thể cho áp dụng cho quá trình ổn định- sử dụng các phương pháp xấp xỉ, nếu không thì dùng các phương pháp mô phỏng.

Tiếp theo chúng ta sẽ có các kết luận sau:

**Kết luận chung:** các giả thiết liên quan đến đặc tính và cấu trúc của hệ thống hàng đợi đạt được kết quả chính xác ít nhất là cho các thông số hiệu năng trung bình với điều kiện ổn định.

## 2.1.2. Các tham số hiệu năng trung bình

### Ví dụ về hệ thống hàng đợi đơn giản



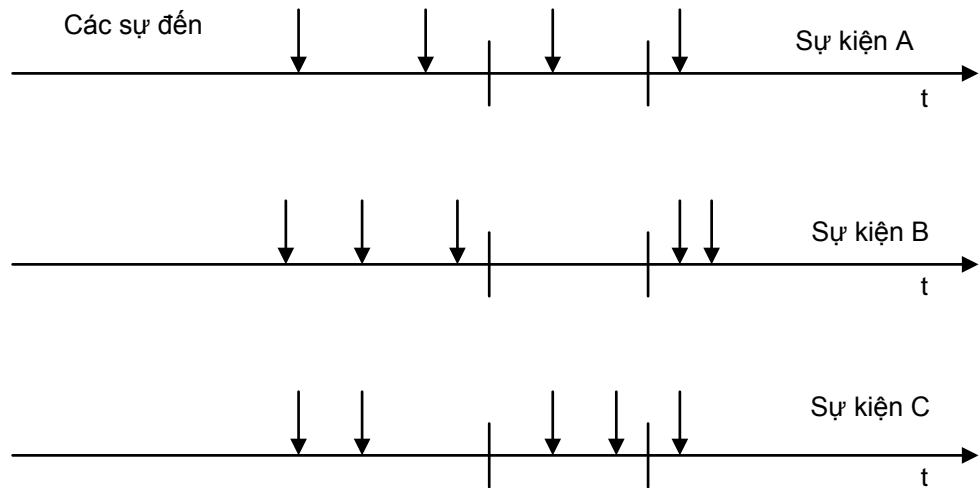
Hình 2-4 Hệ thống hàng đợi đơn giản

$\lambda$  - tốc độ đến trung bình, thời gian đến trung bình -  $1/\lambda$

$\mu$  - tốc độ phục vụ trung bình, thời gian phục vụ trung bình  $1/\mu$

**Với kích thước của bộ đệm là vô hạn, quy tắc phục vụ là FCFS (đến trước phục vụ trước)**

Xét khoảng thời gian  $\Delta t$ , và xét những sự kiện đến trong khoảng thời gian này:



Hình 2-5. Các sự kiện đến trong thời gian  $\Delta t$

Sự kiện A: Có 1 sự kiện đến trong  $\Delta t$

Sự kiện B: không có sự kiện đến trong  $\Delta t$

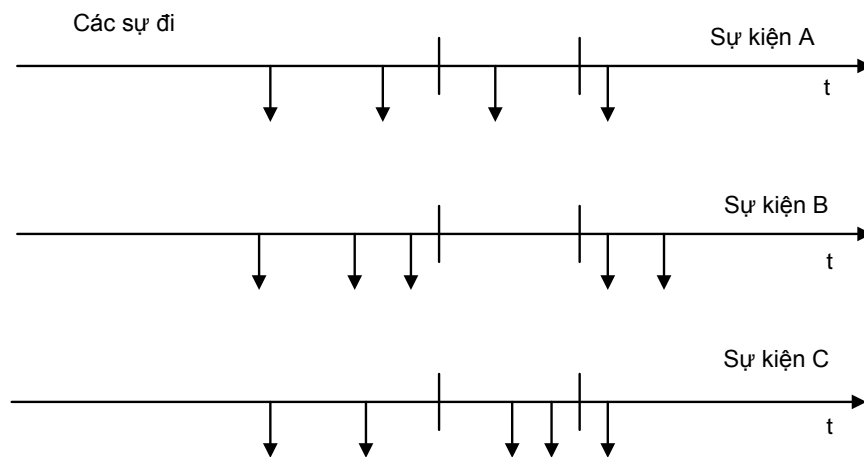
Sự kiện C: Có nhiều hơn 1 sự kiện đến trong  $\Delta t$

Giả sử rằng  $\Delta t \rightarrow 0$ . Như vậy ta sẽ có:

- $Pr\{A\} = \lambda \Delta t$
- $Pr\{B\} = 1 - \lambda \Delta t$
- Giả thiết  $Pr\{C\} = 0$ ,

với  $1/\lambda$  là khoảng thời gian đến trung bình (thực tế được phân bố theo hàm mũ của tiến trình đến Poisson).

Xét khoảng thời gian  $\Delta t$  và xét những sự kiện đi trong khoảng thời gian này



Hình 2-6: Các sự kiện đi trong thời gian  $\Delta t$

Sự kiện A: Có 1 sự kiện đi trong  $\Delta t$

Sự kiện B: không có sự kiện đi nào trong  $\Delta t$

Sự kiện C: Có nhiều hơn 1 sự kiện đi trong  $\Delta t$

Giả sử rằng  $\Delta t \rightarrow 0$ . Như vậy ta sẽ có:

$$Pr\{A\} = \mu \Delta t$$

$$Pr\{B\} = 1 - \mu\Delta t$$

Giả thiết  $Pr\{C\} = 0$ , với  $1/\mu$  là thời gian phục vụ trung bình (thực tế được phân bố theo hàm mũ).

$D$  là sự kiện của 1 hoặc nhiều sự đến AND với sự kiện của 1 hoặc nhiều sự đi trong khoảng  $\Delta t$

Giả sử  $Pr\{D\} = 0$ , (2-1)

Thực ra, nó chỉ ra rằng khi  $\Delta t$  nhỏ, sự kiện nhân (vừa đi vừa đến) là không xảy ra.

Ngoài các giả thiết trên về đặc tính của tiến trình đến và tiến trình phục vụ, còn có thêm các giả thiết sau:

Tiến trình đến là tiến trình Poisson với tham số  $\lambda$

Khoảng thời gian đến phân bố theo hàm mũ với tham số  $1/\lambda$

Thời gian phục vụ phân bố theo hàm mũ với tham số  $1/\mu$

Tiến trình đến là độc lập với tiến trình phục vụ và ngược lại

Để phân tích hệ thống hàng đợi cần hiểu khái niệm “Trạng thái hệ thống”. Có thể định nghĩa thông qua biến thích hợp mô tả “ Sự phát triển theo thời gian” của hệ thống hàng đợi. Để thuận tiện cho hệ thống hàng đợi biến được chọn sẽ là số khách hàng trong hệ thống tại thời điểm  $t$ .

Trạng thái hệ thống tại  $t = N(t) =$  Số lượng khách hàng tại thời điểm  $t$  (2-2)

Tức là :

$$p_N(t) = Pr\{N(t) = N\} \quad (2-3)$$

với

$p_N(t)$  là ký hiệu của trạng thái thứ  $N$  của hệ thống tại thời điểm  $t$ .

$Pr\{N(t) = N\}$  là xác suất có  $N$  khách hàng trong hệ thống tại thời điểm  $t$ .

Có nghĩa là có  $N$  khách hàng trong hệ thống tại thời điểm  $t$ .

Sử dụng trạng thái đầu tiên tại  $t=0$ , nếu ta có thể tìm  $p_N(t)$  thì có thể mô tả hệ thống có quan hệ về mặt thời gian như thế nào?

Tiếp theo, cho thời gian  $\Delta t \rightarrow 0$ .

Xét các trạng thái có thể của hệ thống  $\{0, 1, \dots\}$  (bằng đúng số lượng khách hàng trong hệ thống) tại thời điểm  $t$  ta có thể tìm trạng thái của hệ thống tại thời điểm  $t + \Delta t$  như sau:

$$p_0(t + \Delta t) = p_0(t)(1 - \lambda\Delta t) + p_1(t)\mu\Delta t, \quad N=0.$$

$$N > 0 \quad p_N(t + \Delta t) = p_N(t)(1 - \lambda \Delta t - \mu \Delta t) + p_{N-1}(t)\lambda \Delta t + p_{N+1}(t)\mu \Delta t, \quad (2-4)$$

ta luôn có điều kiện phân bố chuẩn:

$$p_i(t) \geq 0, \quad t \geq 0 \quad (2-5)$$

Tức là chuẩn hóa các  $p_i(t)$ ,  $t \geq 0$ , thành các tính chất phân bố rời rạc theo thời gian.

Ta có thể tính giới hạn khi  $\Delta t \rightarrow 0$  và có hệ phương trình vi phân:

$$\begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \quad N > 0 \\ \frac{dp_N(t)}{dt} &= \lambda p_{N-1}(t) - \mu p_N(t), \quad N > 0 \end{aligned} \quad (2-6)$$

Để giải ta phải cho điều kiện ban đầu.

Giả sử rằng hệ thống hàng đợi bắt đầu tại thời điểm  $t=0$  với  $N$  khách hàng ở trong hệ thống, điều kiện ban đầu được viết như sau:

$$p_i(0) = 0, \quad \text{với } i \neq N$$

$$p_N(0) = 1, \quad \text{với } i = N \quad (2-7)$$

Sử dụng điều kiện ban đầu phù hợp hệ thống có thể được giải để được giải pháp thời gian ngắn (transient solution), một giải pháp phức tạp thậm chí cho các hệ đơn giản nhất.

Bây giờ ta xét giải pháp trạng thái ổn định (equilibrium solution),  $t \rightarrow \infty$ . Khi đó ta có:

$$\begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= 0, \quad N > 0 \\ \frac{dp_N(t)}{dt} &= 0, \quad N > 0 \end{aligned} \quad (2-8)$$

Vì vậy,

$$\begin{aligned} p_0(t) &= p_0, \quad \text{với } N=0 \\ p_N(t) &= p_N, \quad \text{với } N > 0 \end{aligned} \quad (2-9)$$

Định nghĩa  $\rho = \lambda / \mu$  với ngụ ý rằng hệ thống hàng đợi ổn định với  $\rho < 1$ , ta có:

$$\begin{aligned} p_1 &= \rho p_0 \\ p_{N+1}(t) &= (1 + \rho)p_N - \rho p_{N-1} = \rho p_N = \rho^{N+1} p_0, \quad N > 0 \end{aligned} \quad (2-10)$$

Giả sử tuân theo điều kiện phân bố chuẩn, ta có:

$$p_i = \rho^i (1 - \rho), \quad i = 0, 1, \dots \quad (2-11)$$

với giải pháp trạng thái ổn định cho phân bố trạng thái với  $\rho < 1$ .

giải pháp trạng thái ổn định không phụ thuộc điều kiện phân bố ban đầu. Tuy nhiên, nó cần điều kiện rằng tốc độ đến nhỏ hơn tốc độ phục vụ.

**Các tham số hiệu năng trung bình**

**Số lượng trung bình của khách hàng trong hệ thống**

Nhắc lại rằng phân bố của trạng thái ổn định cho số lượng khách hàng trong hệ thống khi  $t \rightarrow \infty$ . Ví vậy, có thể suy ra số khách hàng trung bình trong hệ thống từ phân bố trạng thái ổn định của hệ thống như sau:

$$E[N] = \sum_{i=0}^{\infty} i p_i = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i \quad (2-12)$$

Kết quả trên không áp dụng cho số trung bình khách hàng trong hệ thống tại một khoảng thời gian ngắn  $t$  (arbitrary time  $t$ ).

**Số lượng trung bình của khách hàng trong hàng đợi**

Chú ý rằng số lượng khách hàng trong hàng đợi thì bằng với số lượng khách hàng trong hệ thống trừ đi 1. Sử dụng cùng các giả thiết ta có:

$$E[N_q] = \sum_{i=1}^{\infty} (i-1) p_i = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i - \sum_{i=1}^{\infty} p_i = E[N] - p_0 \quad (2-13)$$

Chú ý rằng tổng bắt đầu từ  $i=1$ , do sự kiện khách hàng đợi chỉ đúng khi có nhiều hơn 0 khách hàng trong hệ thống.

Chú ý rằng  $(i-1)!$ , do đang tìm số lượng khách hàng trung bình trong hàng đợi.

**Thời gian trung bình trong hệ thống**

Thời gian này có thể được phân chia thành hai thành phần :

Thời gian đợi

Thời gian phục vụ

Tính toán các tham số hiệu năng này đòi hỏi những giả thiết thêm dựa trên đặc tính của hệ thống hàng đợi :

Quy tắc phục vụ khách hàng : Giả sử quy tắc “ first-come, first served” là khách hàng được phục vụ theo thứ tự như khi đến hệ thống

Phân bố trạng thái ổn định  $p_k, k=0,1,\dots$ , cũng giống như phân bố xác suất của số lượng khách hàng trong hệ thống.

Thời gian phục vụ dự trung bình của khách hàng sẽ dùng để phục vụ khi tiến trình đến xảy ra với tốc độ  $1/\mu$ , cũng giống như vậy. Vì vậy được gọi là đặc tính không nhớ.

Sử dụng các giả thiết cho thời gian trung bình trong hệ thống của khách hàng :

$$E[V] = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} (i+k) p_{i+k} = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} i p_{i+k} + \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} k p_{i+k} = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k + \sum_{k=0}^{\infty} k p_k = 2 \sum_{k=1}^{\infty} k p_k \quad (2-14)$$

Thời gian trung bình trong hàng đợi (thời gian đợi để được phục vụ)

Với các giả thiết trên ta có:

$$E[V_Q] = \sum_{k=0}^{\infty} p_k \cdot \frac{1}{1 - \rho_k} \quad (2-15)$$

Chú ý rằng thời gian trung bình trong hàng đợi bằng với thời gian trung bình hệ thống trừ đi thời gian phục vụ:

$$E[V_Q] = E[V] - \frac{1}{\mu} \quad (2-16)$$

Có thể có khả năng rằng khách hàng phải chờ để được phục vụ

Sử dụng phân bố trạng thái ổn định  $p_k, k=0,1,\dots$  ta chú ý rằng lượng khách hàng đến luôn phải đợi để được phục vụ nếu số lượng khách hàng lớn hơn 0 trong hệ thống.

Vì vậy,

$$P_{wait} = 1 - p_0 = \rho \quad (2-17)$$

Sử dụng server

Ý nghĩa vật lý của tham số hiệu năng là nó đưa ra khoảng thời gian khi server bận. vì vậy,

$$P_{busy} = 1 - p_0 = \rho \quad (2-18)$$

Các cách tiếp cận đã trình bày được sử dụng để phân tích bất kỳ một hệ thống hàng đợi đều phải có các giả thiết sau:

Tiến trình đến là tiến trình poisson, có nghĩa là khoảng thời gian đến được phân bố theo hàm mũ.

Tiến trình đến với tốc độ đến thay đổi.

Hệ thống có một hoặc nhiều server

Thời gian phục vụ có dạng phân bố hàm mũ

Tiến trình đến là độc lập với các tiến trình phục vụ và ngược lại

Có vô hạn các vị trí đợi hữu hạn trong hệ thống

Tất cả các giả thiết tạo thành lớp đơn giản nhất của hệ thống hàng đợi.

## 2.2. Nhắc lại các khái niệm thống kê cơ bản

### 2.2.1. Tiến trình điểm

Các tiến trình đến là một tiến trình điểm ngẫu nhiên, với tiến trình này chúng ta có khả năng phân biệt hai sự kiện với nhau. Các thông tin về sự đến riêng lẻ (như thời gian phục vụ, số khách hàng đến) không cần biết, do vậy thông tin chỉ có thể dùng để quyết định xem một sự đến có thuộc quá trình hay không.



## Mô tả tiến trình

Chúng ta xem xét qui luật của tiến trình điểm thông thường, nghĩa là loại trừ các tình huống đến kép. Xét số lần cuộc gọi đến với cuộc gọi thứ  $i$  tại thời điểm  $T_i$ :

$$0 = T_0 < T_1 < T_2 < \dots < T_i < T_{i+1} < \dots \quad (2-19)$$

Lần quan sát thứ nhất tại  $T_0 = 0$ .

Số các cuộc gọi trong nửa khoảng thời gian mở  $[0, t]$  là  $N_t$ , ở đây  $N_t$  là một biến ngẫu nhiên với các tham số thời gian liên tục và thời gian rời rạc, khi  $t$  tăng thì  $N_t$  không bao giờ giảm.

Khoảng thời gian giữa hai lần đến là:

$$X_i = T_i - T_{i-1} \quad (2-20)$$

Khoảng thời gian này gọi là khoảng thời gian giữa hai lần đến. Sự phân bố của tiến trình này gọi là sự phân bố khoảng đến.

Tương ứng với hai biến ngẫu nhiên  $N_t$  và  $X_i$ , hai tiến trình này có thể được mô tả theo hai cách:

Cách biểu diễn số  $N_t$ : khoảng thời gian  $t$  giữ không đổi, và ta xét biến ngẫu nhiên  $N_t$  cho số cuộc gọi trong khoảng thời gian  $t$ .

Cách biểu diễn khoảng  $t_i$ : số các cuộc gọi đến là hằng số ( $n$ ), và ta xét biến ngẫu nhiên  $t_i$  là khoảng thời gian để ra  $n$  cuộc gọi.

Mối quan hệ căn bản giữa hai cách biểu diễn thể hiện đơn giản như sau:

$$Nt < n \text{ khi và chỉ khi } T_n < t$$

Điều này được biểu diễn bằng đẳng thức Feller - Jensen:

$$P\{N_t = n\} = P\{t_i \leq T_n\} \quad \text{với } n = 1, 2, \dots \quad (2-21)$$

Phân tích tiến trình điểm có thể dựa trên cả hai cách này, về nguyên tắc chúng tương đương với nhau. Cách biểu diễn khoảng thời gian tương ứng với việc phân tích chuỗi thời gian thông thường.

Cách biểu diễn số không song song với phân tích chuỗi thời gian. Số liệu thống kê được tính toán trên mỗi đơn vị thời gian và ta có các mức trung bình thời gian.

## Đặc tính của tiến trình điểm

Phần này chúng ta xem xét đặc tính của nó thông qua cách biểu diễn số.

**Tính dừng (tính đồng nhất thời gian) (Stationarity-time homogeneity):**

Tính chất này có thể mô tả là cho dù ở vị trí nào trên trục thời gian cũng vậy, phân bố xác suất tiến trình điểm là độc lập với thời điểm quan sát. Định nghĩa sau đây được sử dụng trong thực tế:

**Định nghĩa:** Cho tùy ý  $t_2 > 0$  và với mỗi  $k \in \mathbb{N}$ . Xác suất mà  $k$  cuộc gọi đến trong khoảng thời gian  $[t_1, t_1+t_2]$  là độc lập với  $t_1$ , nghĩa là với mọi  $t, k$  ta có:

$$P\{N_{t_1+t_2} = k | N_{t_1} = j\} = P\{N_{t_1+t_2} = k\} P\{N_{t_1} = j\} \quad (2-22)$$

Đây là một trong nhiều định nghĩa về tính dừng của tiến trình điểm các cuộc gọi đến.

### Tính độc lập (Independence)

Tính chất này thể hiện là: tương lai của tiến trình chỉ phụ thuộc vào trạng thái hiện tại.

**Định nghĩa:** xác suất có  $k$  sự kiện (với  $k$  nguyên và lớn hơn hoặc bằng 0) trong khoảng  $[t_1, t_1+t_2]$  là độc lập với các sự kiện trước thời điểm  $t_1$ :

$$P\{N_{t_1+t_2} = k | N_{t_1} = j\} = P\{N_{t_1+t_2} = k\} P\{N_{t_1} = j\} \quad (2-23)$$

Nếu điều này đúng với mọi  $t$  thì tiến trình này là tiến trình Markov: trạng thái tiếp theo chỉ phụ thuộc vào trạng thái hiện tại, nhưng độc lập với việc nó đã có được như thế nào. Đây chính là tính chất không nhớ. Nếu tính chất này chỉ xảy ra tại các thời điểm nào đó (ví dụ thời điểm đến), thì những điểm này được gọi là các điểm cân bằng hay các điểm tái tạo. Khi đó tiến trình có nhớ giới hạn, và ta cần lưu lại điểm tái tạo gần nhất.

### Tính đều đặn (Regularity)

Như đã nói ta loại trừ các tiến trình của nhiều cuộc gọi vào một thời điểm, vậy ta có định nghĩa sau:

**Định nghĩa:** một tiến trình điểm được gọi là đều đặn nếu xác suất xảy ra với nhiều hơn một sự kiện ở cùng một thời điểm bằng không:

$$P\{N_{t_1+t_2} = k | N_{t_1} = j\} = P\{N_{t_1+t_2} = k\} P\{N_{t_1} = j\}, \text{ khi: } P\{N_{t_1+t_2} = k\} = 0 \quad (2-24)$$

## 2.2.2. Tiến trình Poisson

Tiến trình Poisson là *tiến trình điểm* quan trọng nhất bởi vì vai trò của nó cũng quan trọng như vai trò của phân bố chuẩn trong phân bố thống kê. Tất cả những tiến trình điểm ứng dụng khác đều là dạng tổng quát hoá hay dạng sửa đổi của tiến trình Poisson. Tiến trình Poisson mô tả rất nhiều tiến trình trong đời sống thực tế, do nó có tính ngẫu nhiên nhất.

**Đặc tính của tiến trình Poisson :**

Những đặc tính cơ bản của tiến trình Poisson là:

Tính dừng

Tính độc lập tại mọi thời điểm

Tính đều đặn

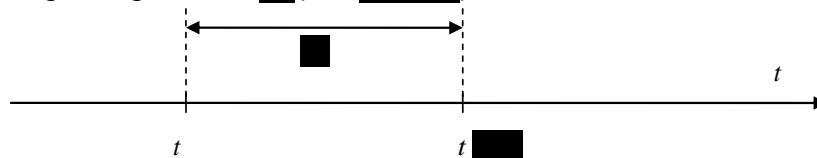
Hai tính chất sau là tính chất cơ bản, từ đó tiến trình Poisson có cường độ phụ thuộc thời gian. Từ các tính chất trên người ta có thể đưa ra các tính chất khác đủ để biểu diễn tiến trình Poisson, đó là:

Biểu diễn số: là số các sự kiện đến trong một khoảng thời gian với độ dài cố định được phân bố theo tiến trình Poisson.

Biểu diễn khoảng thời gian: là các khoảng thời gian  $X_i$  giữa các sự kiện liên tiếp nhau được phân bố theo hàm mũ.

Tiến trình đến Poisson sử dụng trong lưu lượng viễn thông của mạng chuyển mạch gói và mạng máy tính. Thêm vào đó tiến trình Poisson đã được sử dụng để mô tả các tiến trình nhiễu và để nghiên cứu hiện tượng các hồ điện tử xuất hiện trong chất bán dẫn, và trong các ứng dụng khác ...

Ba vấn đề cơ bản được sử dụng để định nghĩa tiến trình đến Poisson. Xét một khoảng thời gian nhỏ  $\Delta t$  (với  $\Delta t \ll T$ ), như Hình 2-7.



Hình 2-7 Khoảng thời gian sử dụng để định nghĩa tiến trình

Đó là:

Xác suất của một tiến trình đến trong khoảng thời gian  $\Delta t$  được định nghĩa là  $\lambda \Delta t$ , với  $\lambda$  và  $\Delta t$  là hằng số tỷ lệ lý thuyết.

Xác suất không có tiến trình đến nào trong khoảng thời gian  $\Delta t$  là  $1 - \lambda \Delta t$

Tiến trình đến không có nhớ: một tiến trình đến trong khoảng thời gian  $\Delta t$  là độc lập với các tiến trình trước đó và các tiến trình trong tương lai.

Nếu lấy một chu kỳ  $T$ , tìm xác suất  $p(k)$  của  $k$  tiến trình đến trong thời gian  $T$  được cho bởi:

$$p(k) = \frac{e^{-\lambda T} (\lambda T)^k}{k!} \quad \text{với } k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2-25)$$

Nó được gọi là phân bố Poisson. Đây là một phân bố chuẩn  $p(k)$  và giá trị kỳ vọng là :

$$E(k) = \sum_{k=0}^{\infty} k P(k) \quad (2-26)$$

Phương sai :  $\sum_{k=0}^{\infty} k^2 P(k) - E^2(k)$  hay:

$$\sum_{k=0}^{\infty} k(k-1) P(k) + E(k) - E^2(k) \quad (2-27)$$

Tham số  $\lambda$  là hằng số tỷ lệ, được xem là tham số tốc độ:  $\lambda = \frac{E(k)}{T}$

Phương trình (2-25) mô tả tốc độ đến trung bình của tiến trình Poisson. Bình thường giá trị trung bình  $E(k)$  tiến tới không tương đương với  $\lambda T$  lớn:  $\lambda T / E(k) \approx \lambda T / \sqrt{\lambda T}$  với nghĩa là  $\lambda T$  lớn, phân bố có quan hệ chặt chẽ với giá trị trung bình  $\lambda T$ . Do đó nếu một thông số (ngẫu nhiên) số các tiến trình đến  $n$  trong khoảng thời gian  $T$  lớn ('lớn' theo nghĩa  $\lambda T \gg 1$ , hoặc  $T \gg 1/\lambda$ ),  $n/T$  có thể đánh giá  $\lambda$ . Cũng chú ý là  $p(0) = e^{-\lambda T}$ . Khi  $\lambda T$  tăng với phân bố đỉnh  $E(k) = \lambda T$ , xác suất không có tiến trình đến nào trong khoảng thời gian  $T$  tiến đến không với  $e^{-\lambda T}$ .

## 2.3. Định luật Little

Xem xét một hệ thống hàng đợi, khách hàng đến là một tiến trình ngẫu nhiên. Các khách hàng đến hệ thống ở các thời điểm ngẫu nhiên và chờ được phục vụ thì khách hàng sẽ rời khỏi hệ thống.

### 2.3.1. Công thức Little

Chúng ta có ký hiệu như sau:

$N(t)$  = Số cuộc gọi đến hệ thống tại thời điểm  $t$ .

$N_{in}(t)$  = Số cuộc gọi đi đến hệ thống trong khoảng thời gian từ  $(0, t)$ .

$N_{out}(t)$  = Số cuộc gọi rời khỏi hệ thống trong khoảng thời gian từ  $(0, t)$ .

$T_i$  = Thời gian của cuộc gọi thứ  $i$  trong hệ thống (thời gian phục vụ).

Như vậy:

$N_t$  - Số lượng cuộc gọi trung bình đến hệ thống trong  $(0, t)$  là :

$$N_t = \frac{1}{t} \int_0^t N_t dt$$

$\lambda$  - Mật độ cuộc gọi trong khoảng  $(0, t)$  là :  $\lambda = \frac{N_{in}(t)}{t}$

$T_t$  - Thời gian trung bình của cuộc gọi trong hệ thống là :

$$T_t = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} T_i$$

Giả sử các giới hạn sau đây tồn tại :

$$\bar{N} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t N(t) dt ; \quad \bar{N} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t N_i(t) dt ; \quad \bar{T} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^t T_i(t) dt$$

Có công thức sau:

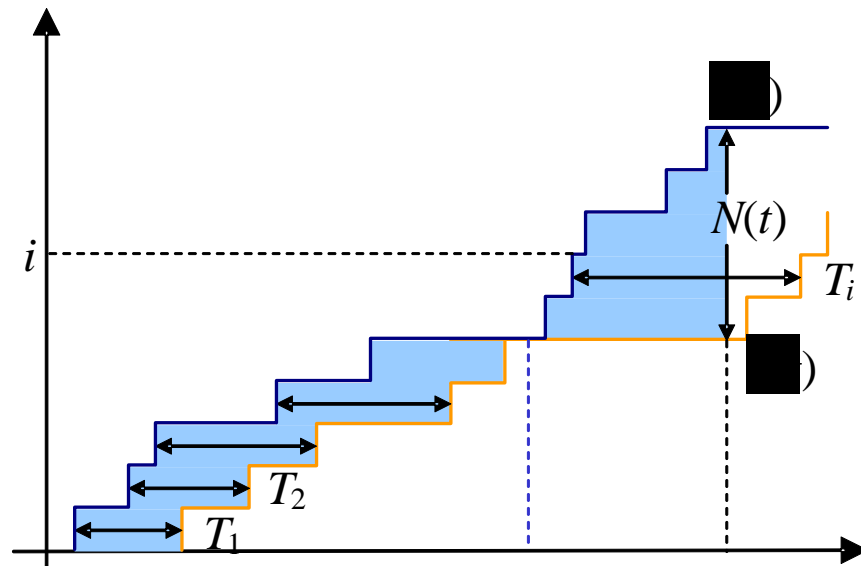
$$\bar{N} = \lambda \bar{T} \quad (2-28)$$

Công thức trên có tên gọi là **Định lý Little**

Số cuộc gọi trung bình trong hệ thống bằng tích mật độ cuộc gọi với thời gian chiếm kênh trung bình.

### 2.3.2. Chứng minh công thức Little

Chứng minh công thức Little bằng phương pháp hình học theo như minh họa dưới đây.



Hình 2-8

Xét trong khoảng  $(0, t)$  :

Diện tích phần gạch chéo:  $S = \int_0^t N_i(t) dt$

Mặt khác diện tích này cũng bằng :  $S = \int_0^t N(t) dt$

Như vậy  $\int_0^t N(t) dt = \int_0^t N_i(t) dt$   $\Rightarrow$   $\frac{1}{t} \int_0^t N(t) dt = \frac{1}{t} \int_0^t N_i(t) dt$

tức là :  $\bar{N} = \lambda \bar{T}$  (\*)

Nếu giới hạn sau đây tồn tại :

$$\bar{N} = \lim_{t \rightarrow \infty} N_t ; \bar{L} = \lim_{t \rightarrow \infty} L_t ; \bar{T} = \lim_{t \rightarrow \infty} T_t (**)$$

Từ (\*) và (\*\*)  $\rightarrow$   $\bar{N} = \bar{L} + \bar{T}$  Công thức được chứng minh

## 2.4. Các mô hình hàng đợi

### 2.4.1. Ký hiệu Kendall

Bất kỳ hệ thống xếp hàng nào cũng được mô tả bởi :

#### Tiến trình đến

Nếu các khách hàng đến vào các thời điểm  $t_1, t_2 \dots t_j$  thì các biến số ngẫu nhiên  $P_j = t_j - t_{j-1}$  được gọi là các thời điểm giữa các lần đến. Các thời điểm này thường được giả thiết là các biến số ngẫu nhiên độc lập và được phân bố đồng nhất IID (Independent and Identically distributed). Các tiến trình đến thông dụng nhất là :

- M*: Tiến trình mũ (là tiến trình Markov hay tiến trình không nhớ)
- E<sub>r</sub>*: Tiến trình Erlang bậc  $r$
- H<sub>r</sub>*: Tiến trình siêu số mũ bậc  $r$
- D*: Tiến trình tất định (deterministic)
- G*: Tiến trình chung

#### Tiến trình phục vụ

Thời gian mà mỗi công việc tiêu tốn cần thiết tại server gọi là thời gian phục vụ. Các thời gian phục vụ thường giả thiết là các biến số ngẫu nhiên IID. Các tiến trình phục vụ thông dụng nhất cũng giống như thời gian đến.

Số lượng các bộ server: Số lượng các server phục vụ cho hàng đợi

#### Dung lượng hệ thống

Kích thước bộ nhớ đệm cực đại

#### Qui mô mật độ

Số lượng các công việc đến tại hàng đợi. Qui mô mật độ luôn là hữu hạn trong các hệ thống thực. Tuy nhiên phân tích hệ thống với qui mô mật độ lớn sẽ dễ dàng hơn nếu giả thiết rằng qui mô mật độ là vô hạn.

#### Qui tắc phục vụ

Thứ tự mà theo đó các công việc trong hàng xếp được phục vụ. Các qui tắc phổ biến nhất là đến trước phục vụ trước FCFS (First Come First Served), đến sau phục vụ trước LCFS (Last Come First Served), theo vòng tròn RR (Round Robin), thời gian xử lý ngắn nhất phục vụ trước SPT (Shortest Processing Time First) và thời gian xử lý ngắn nhất được đề cử SRPT (Shortest Remaining Processing Time First)

#### Ký hiệu Kendall

$A/S/m/B/K/SD$  được sử dụng rộng rãi để mô tả hệ thống xếp hàng

A: Phân bố thời gian giữa các lần đến

S: Phân bố thời gian phục vụ

$m$ : Số lượng server

$B$ : Kích thước bộ đệm

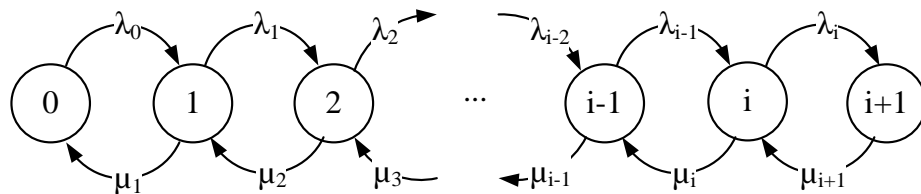
$K$ : Quy mô mật độ

$SD$ : Quy tắc phục vụ

Ví dụ hàng đợi  $M/D/1$ :  $M$  có nghĩa tiến trình đến là tiến trình Markov không nhớ (với thời gian giữa các lần đến theo hàm mũ);  $D$  thời gian phục vụ luôn như nhau (tất định); 1 có một server duy nhất phục vụ. Phần  $B/K/SD$  của ký hiệu bị loại trừ để cho thấy rằng dung lượng của hệ thống và qui mô mật độ là vô hạn và qui tắc phục vụ là FCFS.

### 2.4.2. Quá trình Sinh-Tử (Birth-Death)

Trạng thái của hệ thống được biểu diễn bằng số các khách hàng  $n$  trong một hệ thống. Khi có một khách hàng mới đến thì trạng thái của hệ thống sẽ thay đổi sang  $n+1$ , khi có một khách hàng ra đi thì trạng thái hệ thống sẽ thay đổi sang  $n-1$ , ta có lược đồ chuyển tiếp trạng thái là quá trình sinh tử.



Hình 2-9. Chuỗi Markov của một quá trình sinh-tử

■: Tốc độ của lần đến  $n$

■: Tốc độ của lần đi

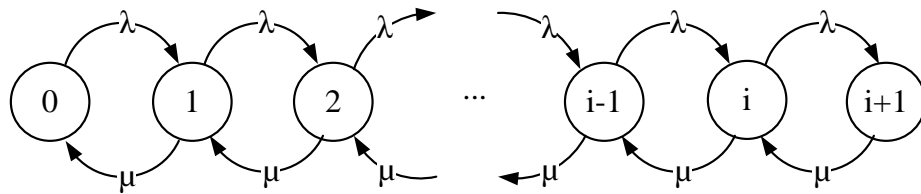
$P_n$ : Xác suất ổn định trạng thái  $n$  của quá trình sinh – tử tại trạng thái  $n$

$$P_n = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n} \cdot P_0 \quad (2-29)$$

$P_0$  - xác suất ở trạng thái 0,  $P_n$  - xác suất ở trạng thái  $n$

### 2.4.3. Hàng đợi M/M/1

Lược đồ trạng thái



Hình 2-10 Chuỗi Markov của hàng đợi M/M/1

Tất cả các tốc độ đến đều là  $\lambda$ ,  $\mu$

$\lambda$ : Tốc độ của lần đến

$\mu$ : Tốc độ của lần đi

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 = \rho^n P_0 \quad (2-30)$$

$P_n$ : Xác suất ổn định trạng thái  $n$

$P_0$ : Xác suất ổn định trạng thái 0

$\rho$ : Mật độ lưu lượng  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$

Trong trường hợp này số kênh phục vụ bằng 1, chỉ có 1 server

Các công thức tính toán:

Xác suất có  $n$  khách hàng trong hệ thống

$$P_n = (1 - \rho) \rho^n ; n=1,2,\dots \quad (2-31)$$

$$P_0 = (1 - \rho) \quad (2-32)$$

Số lượng trung bình các khách hàng trong hệ thống

$$L = E(n) = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (2-33)$$

Phương sai:  $\sigma^2 = \frac{\rho}{(1 - \rho)^2}$  (2-34)

### Tham số thời gian

Thời gian trung bình của 1 khách hàng trong hệ thống:  $W$

$$W = \frac{L}{\mu} = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2-35)$$

Thời gian phục vụ trung bình cho một khách hàng:  $W_s$

$$W_s = \frac{1}{\mu} \quad (2-36)$$

Thời gian trung bình của khách hàng trong hàng đợi



$$W_q = W - W_s = \frac{\lambda}{\mu^2} - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu^2} \left( \frac{1}{\mu} - 1 \right) \quad (2-37)$$

**Chiều dài hàng đợi**

Số lượng trung bình các khách hàng trong hệ thống

$$L = \frac{\lambda}{1 - \rho} \quad (2-38)$$

Số lượng trung bình các job trong server:  $L_s$

$$L_s = 1P(n \geq 1) = 1 - P(n=0) = 1 - (1 - \rho) = \rho \quad (2-39)$$

Số lượng trung bình của các công việc trong hàng đợi  $L_q$

$$L_q = L - L_s = \frac{\lambda}{1 - \rho} - \rho = \frac{\lambda}{1 - \rho} \left( 1 - \rho \right) \quad (2-40)$$

**Ví dụ:** Cho Switch nhận các bản tin đến tốc độ 240 bản tin/phút. Độ dài bản tin có phân bố hàm mũ với chiều dài trung bình là 100 ký tự. Tốc độ truyền bản tin đi khỏi hệ thống là 500 ký tự/giây. Tính các tham số sau :

Thời gian trung bình của bản một tin trong hệ thống

Số bản tin trung bình trong hệ thống

Tính chiều dài hàng đợi và thời gian đợi trung bình

**Bài giải:** Xét hệ thống  $M/M/1$ :

Tốc độ đến  $\lambda = \frac{240}{60} = 4$  bản tin/giây

Tốc độ phục vụ  $\mu = \frac{500}{100} = 5$

Mật độ lưu lượng  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{4}{5} = 0.8$

→ Số bản tin trong hệ thống

$$L = E(n) = \frac{\lambda}{1 - \rho} = \frac{4}{1 - 0.8} = 20 \text{ bản tin}$$

→ Thời gian trung bình của bản tin trong hệ thống

$$W = \frac{L}{\mu} = \frac{20}{5} = 4 \text{ (s)}$$

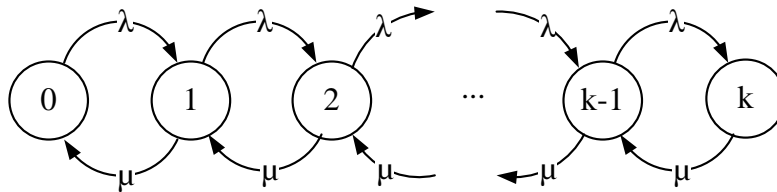
→ Chiều dài hàng đợi  $L_q$

$$L_q = \frac{0,8 \cdot 0,8}{1 - 0,8} = 3,2 \text{ bản tin}$$

→ Thời gian đợi trung bình  $W_q$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{3,2}{4} = 0,8 \text{ (s)}$$

#### 2.4.4. Hàng đợi M/M/1/K



Hình 2-11

Với số khách hàng là k

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \cdot P_0 ; 0 \leq n \leq k \quad (2-41)$$

$$P_n = \frac{\lambda^n}{\mu^n} \cdot (1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1}) \quad (2-42)$$

$$L = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{(k+1) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1}} \quad (2-43)$$

Xác suất khách hàng đến hệ thống bị từ chối là  $P_k$

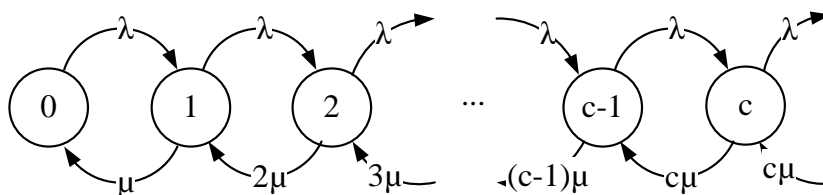
Tốc độ thực tế đến hệ thống

$$\lambda_{\text{thực}} = (1 - P_k) \lambda \quad (2-44)$$

Mật độ lưu lượng

$$\rho = \frac{\lambda_{\text{thực}}}{\mu} = \frac{\lambda (1 - P_k)}{\mu} \quad (2-45)$$

#### 2.4.5. Hàng đợi M/M/C



Hình 2-12

$$P_n = \frac{1}{n!} \left( \frac{c}{c-n} \right)^n P_0 \quad ; 0 \leq n \leq c \quad (2-46)$$

$$P_n = \frac{1}{c! C^n} \left( \frac{c}{c-n} \right)^n P_0 \quad \text{với } n > c \quad (2-47)$$

$$P_0 = \left[ \sum_{n=0}^c \frac{1}{n!} \left( \frac{c}{c-n} \right)^n \right]^{-1} \quad (2-48)$$

Xác suất xuất hiện hàng đợi

$$P_q = \frac{P_0 (c^n - c^{n-1})}{c! (1 - \frac{c}{c-n})} \quad (\text{công thức Erlang}) \quad (2-49)$$

Độ dài hàng đợi:

$$L_q = P_q \cdot \frac{c}{1 - \frac{c}{c-n}} \quad (2-50)$$

Thời gian đợi:

$$W_q = \frac{L_q}{c} \quad (2-51)$$

## 2.5. Lý thuyết lưu lượng

### 2.5.1. Khái niệm về lưu lượng và đơn vị Erlang

#### Định nghĩa

Trong lý thuyết lưu lượng viễn thông chúng ta thường sử dụng thuật ngữ *lưu lượng* để biểu thị cường độ lưu lượng, tức là lưu lượng trong một đơn vị thời gian. Thuật ngữ về lưu lượng có nguồn gốc từ tiếng ý và có nghĩa là “độ bận rộn”.

Theo (ITU-T, 1993) định nghĩa như sau:

**Cường độ lưu lượng:** Mật độ lưu lượng tức thời trong một nhóm tài nguyên dùng chung là số tài nguyên bận tại thời điểm đó.

Nhóm tài nguyên dùng chung có thể là một nhóm phục vụ như đường trung kế. Tiến hành thống kê mật độ lưu lượng hiện tại có thể tính toán cho một chu kỳ T, ta có cường độ lưu lượng trung bình là:

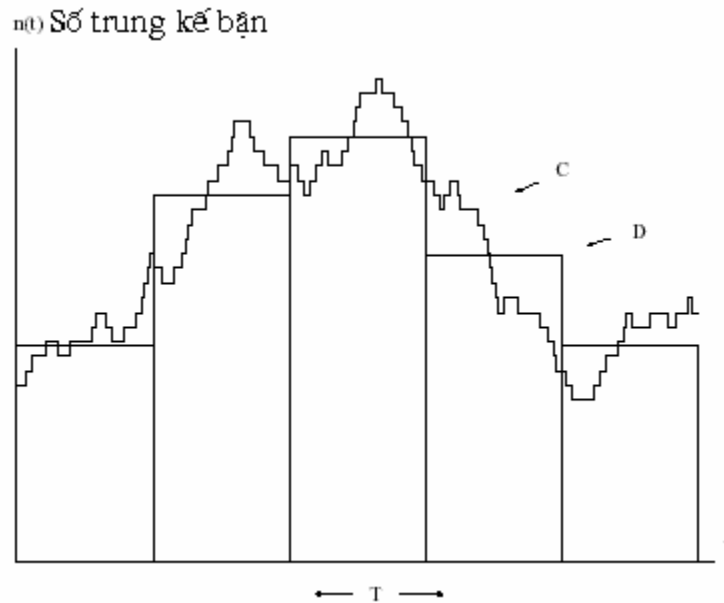
$$Y(T) = \frac{1}{T} \int_0^T n(t) dt \quad (2-52)$$

Với  $n(t)$  là số thiết bị sử dụng tại thời điểm t

## Lưu lượng mang

$A_c = Y = A'$  được gọi là lưu lượng được thực hiện bởi một nhóm phục vụ trong khoảng thời gian  $T$  (hình 3.1).

Trong thực tế, thuật ngữ cường độ lưu lượng thường có nghĩa là cường độ lưu lượng trung bình.



Hình 2-13 Lưu lượng mang (mật độ) (bằng số thiết bị bận) là một hàm thời gian (đường cong C). Lưu lượng trung bình trong khoảng thời gian  $T$  (đường cong D)

**Đơn vị** của cường độ lưu lượng là **Erlang** (kí hiệu là **Erl**), đây là đơn vị không có thứ nguyên. (Ra đời 1946 để ghi nhớ công ơn của nhà toán học người Đan mạch A.K Erlang (1878-1929), người đã tìm ra lý thuyết lưu lượng điện thoại).

**Khối lượng lưu lượng**: là tổng lưu lượng mang trong chu kỳ  $T$  và được đo bằng đơn vị Erlang - giờ (Eh) (theo như tiêu chuẩn ISO những đơn vị tiêu chuẩn có thể là Erlang giây, nhưng thông thường đơn vị Erlang giờ thường sử dụng nhiều hơn).

Lưu lượng mang không thể vượt quá số lượng của đường dây. Một đường dây chỉ có thể mang nhiều nhất một Erlang. Doanh thu của các nhà khai thác tỷ lệ với lưu lượng mang của mạng viễn thông.

Đối với điện thoại cố định thường thì có  $A_c = 0,01 \blacksquare,04 \text{ Erl}$

Đối với cơ quan :  $0,04 \blacksquare 0,06 \text{ Erl}$

Tổng đài cơ quan:  $0,6 \text{ Erl}$

Điện thoại trả tiền :  $0,7 \text{ Erl}$

### **Lưu lượng phát sinh A**

Lưu lượng phát sinh là lưu lượng được mang nếu không có cuộc gọi nào bị từ chối do thiếu tài nguyên, ví dụ như với số kênh không bị giới hạn.

Lưu lượng phát sinh là một giá trị lý thuyết không đo lường được chỉ có thể ước lượng thông qua lưu lượng mang.

Ta gọi mật độ cuộc gọi là  $\lambda$ , là số cuộc gọi trung bình đến trong một đơn vị thời gian và gọi  $s$  là thời gian phục vụ trung bình. Khi đó lưu lượng phát sinh là:

$$A = \lambda s \quad (2-53)$$

Từ phương trình này ta thấy rằng đơn vị lưu lượng không có thứ nguyên. Định nghĩa này phù hợp với định nghĩa trên với điều kiện kênh phục vụ không bị giới hạn. Nếu sử dụng cho một hệ thống với năng lực giới hạn ta có sự xác định phụ thuộc vào hệ thống.

Ngoài ra có thể được tính:  $A = \lambda s$  tốc độ phục vụ)

### **Lưu lượng tổn thất $A_r$**

Lưu lượng tổn thất là độ chênh lệch giữa lưu lượng phát sinh và lưu lượng mang. Giá trị này của hệ thống giảm khi năng lực của hệ thống tăng.

$$A_r = A - A_c \quad (2-54)$$

Lưu lượng phát sinh là một tham số sử dụng trong tính toán lý thuyết định cỡ. Tuy nhiên, chỉ có lưu lượng mang thường phụ thuộc vào hệ thống thực mới là tham số đo lường được trong thực tế.

Trong hệ thống truyền dẫn số ta không nói về thời gian phục vụ mà chỉ nói về các tốc độ truyền dẫn. Một cuộc giao dịch có thể là quá trình truyền  $s$  đơn vị (như bits hay bytes).

Năng lực hệ thống là  $\mu$ , nghĩa là tốc độ báo hiệu số liệu, được tính bằng đơn vị trên giây (ví dụ bit/s). Như vậy thời gian phục vụ cho một giao dịch như thế tức là thời gian truyền sẽ là  $s/\mu$  đơn vị thời gian (ví dụ như giây-s); nghĩa là phụ thuộc vào  $\mu$ .

Nếu trung bình có  $\lambda$  cuộc giao dịch đến trong một đơn vị thời gian, thì độ sử dụng hệ thống sẽ là:

$$\rho = \lambda s \quad (2-55)$$

Với:  $\rho$  (độ sử dụng).

## 2.5.2. Hệ thống tổn thất (Loss System) và công thức Erlang B

### Công thức Erlang B

Công thức Erlang được mô tả bằng ba thành phần: cấu trúc, chiến lược và lưu lượng:

**Cấu trúc:** Ta xem xét một hệ thống có  $n$  kênh đồng nhất hoạt động song song và được gọi là nhóm đồng nhất (các server, kênh trung kế, khe slot).

**Chiến lược:** Một cuộc gọi tới hệ thống được chấp nhận nếu còn ít nhất một kênh rỗi (mọi cuộc gọi chỉ cần một kênh rỗi). Nếu tất cả các kênh đều bận thì cuộc gọi sẽ bị huỷ bỏ và nó sẽ bị loại bỏ mà không gây một ảnh hưởng nào sau đó (cuộc gọi bị loại bỏ có thể được chấp nhận trên một tuyến khác). Chiến lược này được gọi là mô hình **Loss** (tổn thất) Erlang hay mô hình **LCC** (Lost Calls Cleared).

**Lưu lượng:** Giả sử rằng trong khoảng thời gian dịch vụ được phân bố theo hàm mũ (số mũ  $\lambda$ ), và tiến trình sử dụng là tiến trình Poisson với tốc độ  $\lambda$ . Loại lưu lượng này được gọi là PCT -I (Pure Chance Traffic Type I). Tiến trình lưu lượng này sẽ trở thành tiến trình Markov đơn giản xử lý bằng toán học.

Công thức Erlang B biểu thị mối quan hệ giữa lưu lượng xuất hiện, lượng thiết bị, và xác suất tổn hao như một hàm số được sử dụng rộng rãi như là lý thuyết tiêu chuẩn cho việc lập kế hoạch trong hệ thống viễn thông, vì vậy công thức Erlang B chứa đựng những tiêu chuẩn sau:

Các cuộc gọi xuất hiện một cách ngẫu nhiên:

Xác suất xảy ra sự cố cuộc gọi là luôn cố định bất chấp thời gian (xác suất cố định xảy ra sự cố của cuộc gọi).

Xác suất xảy ra sự cố của cuộc gọi không bị ảnh hưởng bởi các cuộc gọi trước (không còn sót lại những đặc điểm của cuộc gọi trước).

Trong thời gian rất ngắn, không có cuộc gọi nào xuất hiện hoặc chỉ có một cuộc gọi xuất hiện (các cuộc gọi rải rác).

Dạng tổn hao trong khi vận hành khi tất cả các mạch đều bận:

Trong dạng tổn hao vận hành này, cuộc gọi không thể liên lạc được khi tất cả các mạch đều bận. Trong trường hợp đó tín hiệu được gửi ra ngoài và dù đường ra trở nên thông suốt sau khi tín hiệu bận được gửi ra thì cuộc gọi vẫn không được kết nối.

Nhóm mạch ra là nhóm trung kế có khả năng sử dụng hết.

Thời gian chiếm dụng của các cuộc gọi gần đúng với phân bố hàm mũ.

Các mạch vào thì vô hạn, còn các mạch ra thì hữu hạn.

Xác suất tổn hao cuộc gọi trong công thức Erlang B được trình bày trong công thức sau:

$$E_n(A) = E_{1,n}(A) = P(n) = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^n}{n!}} = \frac{A^n}{n! \left( 1 + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^n}{n!} \right)}$$

(2-56)

Với A - Lưu lượng phát sinh (A=...) s

n - Số kênh

Việc tính toán công thức trên không phù hợp cả khi cả An và n! tăng quá nhanh, khi đó máy tính sẽ bị tràn số do vậy người ta thường áp dụng một số kết quả tính toán và đưa ra công thức sau:

$$E_x(A) = \frac{A \cdot E_{x-1}(A)}{x + A \cdot E_{x-1}(A)} \quad \text{với } E_0(A) = 1 \quad (2-57)$$

Từ quan điểm toán ứng dụng, hàm tuyến tính có độ ổn định cao nhất ta có:

$$I_x(A) = \frac{1}{A} \frac{d}{dx} I_{x-1}(A) \quad \text{với } I_0(A) = 1 \quad (2-58)$$

Ở đây  $I_n(A) = 1/E_n(A)$  (2-59)

Công thức này hoàn toàn chính xác, thậm chí với các giá trị (n.A) lớn vẫn không xuất hiện lỗi. Đây là công thức cơ bản cho rất nhiều bảng số của công thức Erlang B

**Ví dụ :** Cho tốc độ gọi đến bằng một cuộc gọi trên 1 phút, thời gian trung bình của 1 cuộc gọi là 3 phút, số kênh phục vụ bằng 4. Tính xác suất tổn thất P theo 2 công thức trên.

Cách 1:

Lưu lượng phát sinh A = ... Erl

$$P(n) = \frac{\frac{3^4}{4!}}{1 + \frac{3}{1!} + \frac{3^2}{2!} + \frac{3^3}{3!} + \frac{3^4}{4!}} = 0,206$$

Ý nghĩa : có 1/5 các cuộc gọi tới số thuê bao bị tổn thất (bị bận)

Cách 2:

$$E_4(A) = \frac{A \cdot E_3(A)}{4 + A \cdot E_3(A)}$$

$$E_0(A) = 1$$

$$E_1(A) = \frac{A \cdot E_0(A)}{1 + A \cdot E_0(A)} = \frac{3}{1 + 3} = \frac{3}{4}$$

$$E_2(A) = \frac{A \cdot E_1(A)}{2 \cdot A \cdot E_1(A)} = \frac{3 \cdot \frac{3}{4}}{2 \cdot \frac{3}{4}} = \frac{9}{17}$$

$$E_3(A) = \frac{A \cdot E_2(A)}{3 \cdot A \cdot E_2(A)} = \frac{3 \cdot \frac{9}{17}}{3 \cdot \frac{9}{17}} = \frac{27}{78}$$

$$E_4(A) = \frac{A \cdot E_3(A)}{4 \cdot A \cdot E_3(A)} = \frac{3 \cdot \frac{9}{17}}{4 \cdot \frac{9}{17}} = \frac{81}{393} = 0.2061$$

### Các đặc tính lưu lượng của công thức Erlang B

Biết được xác suất trạng thái ta có thể biết được các số đo hiệu năng.  
**Độ nghẽn theo thời gian:** là xác suất mà tất cả các trung kế bị chiếm tại một thời điểm bất kỳ bằng với phần thời gian tất cả các trung kế bị chiếm trên tổng thời gian (3.13)

**Độ nghẽn theo cuộc gọi:** xác suất mà một cuộc gọi bất kỳ bị mất bằng tỷ lệ số cuộc gọi bị chặn trên tổng các cuộc gọi.

**Độ nghẽn lưu lượng:**  $C = \frac{A \cdot r}{A} = E_n(A)$

Ta có  $E = B = C$ , bởi vì cường độ cuộc gọi độc lập với trạng thái, đây chính là tính chất PASTA (Poisson Arrival See Time Average), nó phù hợp với tất cả các hệ thống tuân theo tiến trình Poisson. Trong tất cả các trường hợp khác, ít nhất có ba tham số đo tắc nghẽn là khác nhau.

**Ví dụ :** Cho thời gian xem xét  $T$  là 1h ,lưu lượng phát sinh  $A$  là 1 Erl, số kênh là  $n=3$ , thời gian phục vụ trung bình cho một cuộc gọi là 3 phút. Tính số lượng cuộc gọi bị nghẽn trong khoảng thời gian  $T$ , tính lưu lượng tổn thất, lưu lượng mang?

Bài giải :

Số cuộc gọi tổn thất :

$$N_{\text{loss}} = B \cdot N = P(n) \cdot N$$

$$N = \frac{A}{S} \cdot T = \frac{1}{3} \cdot 60 = 20 \text{ cuộc gọi}$$

$$\frac{A}{S} = \frac{1}{3} \text{ cuộc gọi/phút}$$

$$B = P(n) = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!}} = \frac{\frac{1^3}{3!}}{1 + \frac{1}{1!} + \frac{1^2}{2!} + \frac{1^3}{3!}} = \frac{1}{16}$$



$$\rightarrow N_{loss} = \frac{1}{16} \cdot 20 \cdot 1.25 \text{ cuộc gọi}$$

Ý nghĩa : Trong 20 cuộc gọi đến có 1.25 cuộc gọi bị nghẽn không được phục vụ.

Lưu lượng tổn thất :

$$Ar = A \cdot C = 1 \cdot \frac{1}{16} \cdot 1.25 \text{ (Erl)}$$

Lưu lượng mang

$$Ac = Y = A(1 - P(n)) = 1 \cdot (1 - \frac{1}{16}) = 15/16 \text{ (Erl)}$$

### 2.5.3. Hệ thống trễ (Delay) và công thức Erlang C

Xét lưu lượng với tiến trình poisson (Không giới hạn về tài nguyên). Phân bố thời gian phục vụ là PCT-1. Hệ thống hàng đợi này có tên là hệ thống trễ Erlang. Trong hệ thống này thì lưu lượng mang sẽ bằng lưu lượng phát sinh và không có khách hàng nào bị nghẽn.

#### Công thức Erlang C

Gọi  $w$  là biến ngẫu nhiên của thời gian đợi thì ta có xác suất để biến  $w$  là:

$$E_{2,n}(A) = P(w > 0) = \frac{\frac{A^n}{n!} \cdot \frac{n}{n-A}}{1 + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^n}{(n-1)!} + \frac{A^n}{n!} \cdot \frac{n}{n-A}} \quad (A < n) \quad (2-60)$$

Cho biết xác suất cuộc gọi đến hệ thống thì nó phải bị xếp vào hàng đợi (do số kênh giới hạn).

Xác suất để 1 khách hàng đợi phục vụ ngay :

$$S_n = E_{2,n}(A) \quad (2-61)$$

Công thức hồi quy:

$$\frac{1}{E_{2,n}(A)} = \frac{1}{E_{1,n}(A)} - \frac{1}{E_{1,n-1}(A)} \quad (2-62)$$

$$I_{2,n}(A) = I_{1,n}(A) - I_{1,n-1}(A) \quad (2-63)$$

$$I_{2,n}(A) = \frac{1}{E_{2,n}(A)} \quad (2-64)$$

Lưu lượng phát sinh = lưu lượng mang:  $A=Y$  (Chỉ áp dụng cho mô hình trễ).

**Ví dụ :** Cho hệ thống trễ tốc độ các cuộc gọi đến  $\lambda = 20$  cuộc/giờ, thời gian chiếm kênh của cuộc gọi là 6 phút .Tính lưu lượng mang, lưu lượng phát sinh. Xác suất cuộc gọi bất kỳ phải vào hàng đợi, xác suất cuộc gọi đi được phục vụ ngay, cho  $n=3$ . (Tính theo hai cách)

Bài giải:

Lưu lượng mang = lưu lượng phát sinh;  $A=Y$

$$A = \lambda \cdot \frac{20}{60} = 6.67 \text{ Erl}$$

Cách 1:

Xác suất cuộc gọi vào hàng đợi

$$E_{2,n}(A) = \frac{\frac{2}{3!} \cdot \frac{3}{3!}}{1 + \frac{2}{2!} + \frac{3^2}{3!} + \frac{3}{3!}} = 4/9$$

Xác suất cuộc gọi được phục vụ:

$$S_n = 1 - E_{2,n}(A) = 5/9$$

Cách 2:

$$\frac{1}{E_{2,3}(A)} = \frac{1}{E_{1,3}(A)} + \frac{1}{E_{1,2}(A)}$$

$$E_{1,0}(A) = 1$$

$$E_{1,1}(A) = \frac{2 \cdot E_{1,0}(A)}{1 + 2 \cdot E_{1,0}(A)} = \frac{2}{1+2} = \frac{1}{3}$$

$$E_{1,2}(A) = \frac{2 \cdot E_{1,1}(A)}{2 + 2 \cdot E_{1,1}(A)} = \frac{2 \cdot \frac{1}{3}}{2 + 2 \cdot \frac{1}{3}} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}$$

$$E_{1,3}(A) = \frac{A \cdot E_{1,2}(A)}{3 + A \cdot E_{1,2}(A)} = \frac{2 \cdot \frac{1}{5}}{3 + 2 \cdot \frac{1}{5}} = \frac{2}{19}$$

$$\rightarrow \frac{1}{E_{2,3}(A)} = \frac{1}{E_{1,3}(A)} + \frac{1}{E_{1,2}(A)} = \frac{19}{4} + \frac{5}{2} = \frac{29}{4}$$

$$\rightarrow E_{2,3}(A) = \frac{4}{29}$$

## 2.6. Hệ thống hàng đợi có ưu tiên

Các khách hàng sau khi đến hệ thống có thể phải đứng vào hàng đợi, do đó cần có các qui tắc nhất định để đảm bảo khách hàng được phục vụ một cách nhanh nhất. Tuy nhiên kích thước của hàng đợi không phải là một giá trị vô hạn, chính nguyên nhân này là nguồn gốc của các thông số khác liên quan đến hàng đợi và tổ chức hàng đợi.

Hàng đợi là một quan điểm toán học về tình huống trong thế giới thực, nó đưa ra các phân tích có khả năng đánh giá hiệu suất lưu lượng của khách hàng (như các cuộc gọi, các tế bào ATM, hay các mạng LAN) khi đi qua hàng đợi.

Có ít nhất 7 tham số thường sử dụng trong hệ thống đó là:

Kết cấu các mức ưu tiên (các lớp) của khách hàng đến, nếu có hơn một mức ưu tiên trong hàng đợi (ví dụ trong cửa hàng thì nam giới và phụ nữ là hai lớp) do đó thời gian phục vụ trong các mức ưu tiên là khác nhau.

Với mỗi mức ưu tiên khách hàng có phân bố tiến trình đến riêng.

Với mỗi mức ưu tiên, kích thước hay số khách hàng tạo ra lưu lượng.

Phân bố thời gian phục vụ của Server hàng đợi (hành động của Server). Trong nhiều mạng truyền thông thường gọi là phân bố chiều dài.

Các qui tắc của hàng đợi.

Chiều dài tối đa của hàng đợi (phụ thuộc vào kích thước của Buffer).

Phản ứng của khách hàng khi bị trễ, tắc nghẽn, ...

### 2.6.1. Qui tắc và tổ chức hàng đợi

Một cách để các phần tử mạng xử lý các dòng lưu lượng đến là sử dụng các thuật toán xếp hàng để sắp xếp các loại lưu lượng.

Khách hàng đang đợi trong hàng đợi để được phục vụ có thể được lựa chọn theo nhiều cách, đầu tiên chúng ta quan tâm đến 3 loại qui tắc sau:

FCFS (First Come First Served ) nó thường được gọi là hàng đợi công bằng hay hàng đợi gọi và qui tắc này thường xuất hiện trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta. Nó được xem như là FIFO, chú ý là FIFO chỉ sử dụng trong hàng đợi không sử dụng cho toàn hệ thống.

LCFS ( Last Come First sever) đó là chu trình ngăn xếp, như việc xếp hàng trên giá của cửa hàng.v.v ... qui tắc này cũng xem như LIFO ( Last In First Out)

SIRO (Sevice In Random Order) tất cả các khách hàng đang đợi trong hàng đợi có xác suất để được chọn phục vụ như nhau. Nó còn được gọi là RANDOM hay RS (Random Selection).

Hai qui tắc đầu tiên chỉ sử dụng trong lần đến mà được xét, trong khi qui tắc thứ 3 không được xem như tiêu chuẩn và không yêu cầu nhớ. (Ngược với hai qui tắc đầu).

Như ba trường hợp đề cập ở trên tổng thời gian đợi cho tất cả các khách hàng là như nhau. Qui tắc của hàng đợi chỉ quyết định làm sao để xác định tổng thời gian đợi của khách hàng. Trong chương trình điều khiển hệ thống hàng đợi có thể có nhiều qui tắc phức tạp. Trong lý thuyết hàng đợi chúng ta giả thiết là tổng lưu lượng phát sinh là độc lập với qui tắc của hàng đợi.

Với hệ thống máy tính chúng ta thường cố gắng giảm tổng thời gian đợi, nó có thể thực hiện khi sử dụng thời gian phục vụ như là tiêu chuẩn:

SJF (Shortest Job First): Việc đầu tiên ngắn nhất.

SJN (Shortest Job Next): Việc tiếp theo ngắn nhất.

SPF (Shortest Processing Time First): Thời gian xử lý đầu tiên ngắn nhất.

Qui tắc này được giả thiết như là chúng ta biết thời gian phục vụ trong sự phát triển, qui tắc hàng đợi này tiểu hình hoá tổng thời gian đợi cho tất cả các khách hàng.

Như nói ở trên qui tắc ảnh hưởng tới thời gian đến hoặc thời gian phục vụ. Một sự thỏa hiệp giữa các qui định có được bởi:

RR (Round Robin): một khách hàng được phục vụ cho trong một khoảng thời gian cố định (Time slice). Nếu dịch vụ không hoàn thành trong khoảng thời gian này, thì khách hàng trở lại hàng đợi là FCFS.

PS (Processor Sharing): tất cả khách hàng chia sẻ dung lượng dịch vụ bằng nhau.

FB (Foreground-Background): qui tắc này cố gắng thực hiện SJF mà không biết đến thời gian phục vụ sau này. Server sẽ cung cấp dịch vụ để khách hàng có thời gian phục vụ ít nhất. Khi tất cả các khách hàng có được thời gian phục vụ giống nhau, FB được xác định như là PS.

Qui tắc cuối cùng là qui tắc động do qui tắc hàng đợi phụ thuộc vào lượng thời gian sử dụng trong hàng đợi.

Từ các qui tắc trên những thuật toán xếp hàng hay dùng là:

Xếp hàng vào trước ra trước (FIFO Queuing).

Xếp hàng theo mức ưu tiên (PQ - Priority Queuing).

Xếp hàng tùy biến (CQ - Custom Queuing).

Xếp hàng theo công bằng trọng số (WFQ - Weighted Fair Queuing).

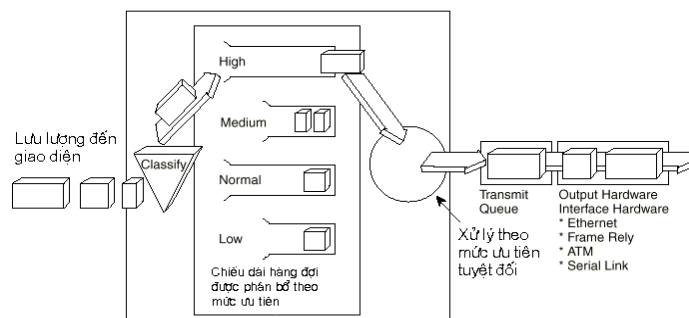
### ***Xếp hàng vào trước ra trước (FIFO Queuing)***

Trong dạng đơn giản nhất, thuật toán vào trước ra trước liên quan đến việc lưu trữ gói thông tin khi mạng bị tắc nghẽn và rồi chuyển tiếp các

gói đi theo thứ tự mà chúng đến khi mạng không còn bị tắc nữa. FIFO trong một vài trường hợp là thuật toán mặc định vì tính đơn giản và không cần phải có sự thiết đặt cấu hình nhưng nó có một vài thiếu sót. Thiếu sót quan trọng nhất là FIFO không đưa ra sự quyết định nào về tính ưu tiên của các gói cũng như là không có sự bảo vệ mạng nào chống lại những ứng dụng (nguồn phát gói) có lỗi. Một nguồn phát gói lỗi phát quá ra một lưu lượng lớn đột ngột có thể là tăng độ trễ của các lưu lượng của các ứng dụng thời gian thực vốn nhạy cảm về thời gian. FIFO là thuật toán cần thiết cho việc điều khiển lưu lượng mạng trong giai đoạn ban đầu nhưng với những mạng thông minh hiện nay đòi hỏi phải có những thuật toán phức tạp hơn, đáp ứng được những yêu cầu khắt khe hơn.

### **Xếp hàng theo mức ưu tiên (PQ - Priority Queuing)**

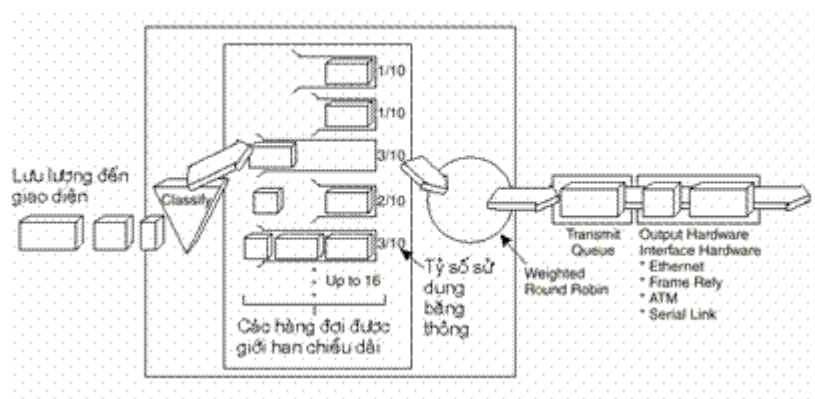
Thuật toán PQ đảm bảo rằng những lưu lượng quan trọng sẽ có được sự xử lý nhanh hơn. Thuật toán được thiết kế để đưa ra tính ưu tiên nghiêm ngặt đối với những dòng lưu lượng quan trọng. PQ có thể thực hiện ưu tiên căn cứ vào giao thức, giao diện truyền tới, kích thước gói, địa chỉ nguồn hoặc địa chỉ đích ... Trong thuật toán, các gói được đặt vào 1 trong các hàng đợi có mức ưu tiên khác nhau dựa trên các mức độ ưu tiên được gán (Ví dụ như bốn mức ưu tiên là High, Medium, Normal, và Low) và các gói trong hàng đợi có mức ưu tiên cao sẽ được xử lý để truyền đi trước. PQ được cấu hình dựa vào các số liệu thống kê về tình hình hoạt động của mạng và không tự động thích nghi khi điều kiện của mạng thay đổi. (Hình 2.14)



Hình 2-14 Thuật toán xếp hàng theo mức ưu tiên

### **Xếp hàng tùy biến (Custom Queuing)**

CQ được tạo ra để cho phép các ứng dụng khác nhau cùng chia sẻ mạng với các yêu cầu tối thiểu về băng thông và độ trễ. Trong những môi trường này, băng thông phải được chia một cách tỉ lệ cho những ứng dụng và người sử dụng. CQ xử lý lưu lượng bằng cách gán cho mỗi loại gói thông tin trong mạng một số lượng cụ thể không gian hàng đợi và phục vụ các hàng đợi đó theo thuật toán round-robin (round-robin fashion). Cũng giống như PQ, CQ không tự thích ứng được khi điều kiện của mạng thay đổi. (hình 2.15)



Hình 2-15 Xếp hàng cân bằng trọng số

### Xếp hàng công bằng trọng số (WFQ - Weighted Fair Queuing)

Trong trường hợp muốn có một mạng cung cấp được thời gian đáp ứng không đổi trong những điều kiện lưu lượng trên mạng thay đổi thì giải pháp là thuật toán WFQ. Thuật toán WFQ tương tự như CQ nhưng các giá trị sử dụng bằng thông gán cho các loại gói không được gán một các cố định bởi người sử dụng mà được hệ thống tự động điều chỉnh thông qua hệ thống báo hiệu Qos.

WFQ được thiết kế để giảm thiểu việc thiết đặt cấu hình hàng đợi và tự động thích ứng với sự thay đổi điều kiện lưu lượng của mạng. Thuật toán này phù hợp với hầu hết các ứng dụng chạy trên những đường truyền không quá 2Mbps.

#### 2.6.2. Độ ưu tiên của khách hàng trong hàng đợi ưu tiên

Khách hàng được chia thành  $p$  lớp ưu tiên. Khách hàng ở lớp ưu tiên  $k$  có độ ưu tiên cao hơn so với khách hàng ở lớp ưu tiên  $k+1$ . Hàng đợi ưu tiên lại được chia thành các nhóm sau:

**Không ưu tiên phục vụ trước** (Non-preemptive hay là HOL - Head of the Line): Khách hàng đến với mức độ ưu tiên cao hơn so với khách hàng đang được phục vụ thì vẫn phải chờ cho đến khi server phục vụ xong khách hàng này (và phục vụ xong tất cả các khách hàng khác có mức độ ưu tiên cao hơn nó).

**Ưu tiên phục vụ trước** (preemptive): Việc phục vụ khách hàng có quyền ưu tiên thấp sẽ bị ngừng lại khi có một khách hàng mà quyền ưu tiên của nó cao hơn đến hệ thống. Ưu tiên phục vụ trước lại có thể chia thành các nhóm nhỏ sau:

Phục hồi ưu tiên (preemptive resume), khi mà sự phục vụ được tiếp tục từ thời điểm mà nó bị ngắt quãng trước đó.

Ưu tiên không lấy mẫu lại (preemptive without resampling), khi mà sự phục vụ bắt đầu lại từ đầu với khoảng thời gian phục vụ không đổi.

Ưu tiên lấy mẫu lại (preemptive with resampling), khi mà sự phục vụ bắt đầu lại với khoảng thời gian phục vụ mới.

### 2.6.3. Duy trì qui tắc hàng đợi, luật Kleinrock

Giả thiết thời gian phục vụ của khách hàng là độc lập với qui tắc của hàng đợi. Do dung lượng của Server là hạn chế và độc lập (chiều dài hàng đợi) và sau một thời gian Server đạt đến ngưỡng và tốc độ phục vụ bị giảm.

Chúng ta giới thiệu hai hàm thường áp dụng rộng rãi trong lý thuyết hàng đợi:

#### **Hàm tải $U(t)$**

Là hàm phụ thuộc thời gian, nó phục vụ khách hàng đã đến tại thời điểm  $t$ , hàm  $U(t)$  độc lập với qui tắc của hàng đợi. Giá trị trung bình của hàm tải là  $U(t) = E\{U(t)\}$ .

#### **Thời gian đợi ảo $W(t)$**

Là thời gian đợi của khách hàng khi anh ta đến tại thời điểm  $t$ , thời gian đợi ảo phụ thuộc vào qui tắc hàng đợi, giá trị trung bình là  $W = E\{W(t)\}$ . Nếu qui tắc hàng đợi là FCFS thì  $U(t) = W(t)$ , trong tiến trình Poisson thì thời gian đợi ảo sẽ bằng thời gian đợi thực tế.

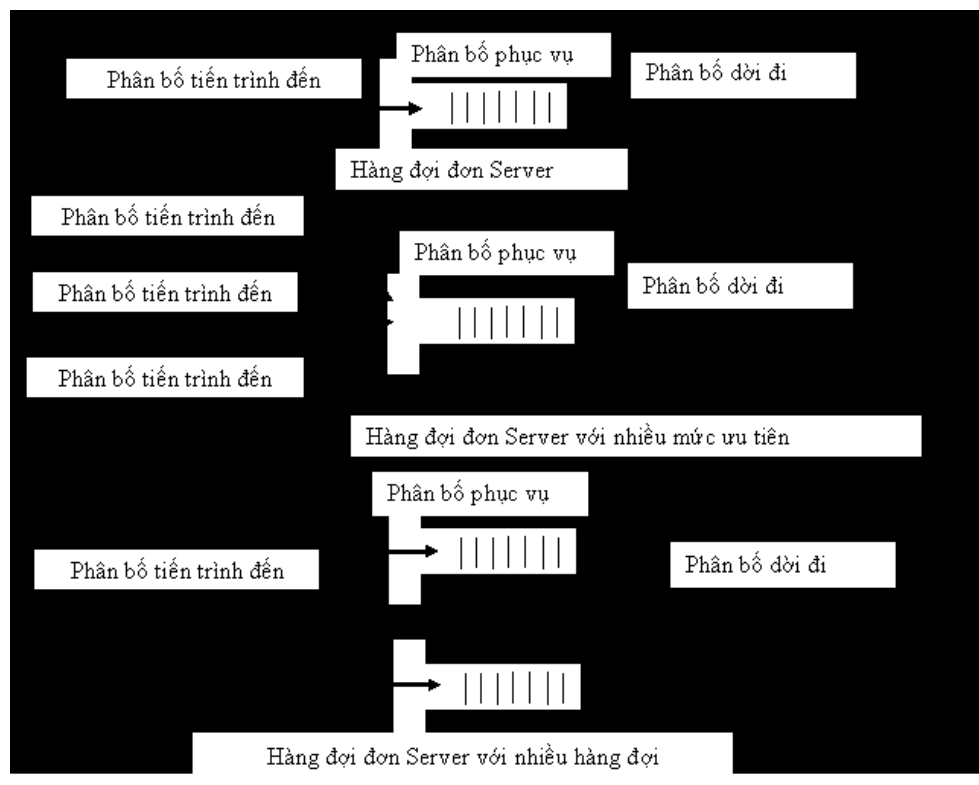
**Định lý:** Luật Kleinrock:

$$\sum_i W_i \frac{A_i V}{1 - A_i} = \text{const}$$

( $V$  là thời gian phục vụ trung bình ở thời điểm bất kỳ)

Thời gian đợi trung bình cho tất cả các loại khách hàng (lớp) bị tác động bởi lưu lượng tải của lớp đang xét là độc lập với qui tắc của hàng đợi.

## 2.6.4. Một số hàng đợi đơn server



Hình 2-16 Một số loại hàng đợi đơn server thường gặp

## 2.6.5. Kết luận

Lý thuyết hàng đợi đã được nghiên cứu ngay từ trong mạng chuyển mạch kênh, tuy nhiên việc áp dụng trong mạng chuyển mạch kênh còn hạn chế, sau đó đã được nghiên cứu sâu rộng trong mạng chuyển mạch gói với việc đóng gói dữ liệu. Các tín hiệu thoại truyền thống được số hoá, đóng gói và chuyển tải trong mạng gói như là một phần cơ sở của mạng dữ liệu.

Tiến trình điểm là tiến trình quan trọng nó cho phép phân biệt các khách hàng đến (các sự kiện) và nó là một tiến trình ngẫu nhiên với các tính chất như: tính độc lập, tính đều đặn tại mọi thời điểm và tính dừng. Tiến trình Poisson là một tiến trình điểm và là tiến trình quan trọng nhất. Các tiến trình khác chỉ là rút gọn hay phát triển của tiến trình Poisson. Tiến trình Poisson là tiến trình mô tả nhiều tiến trình trong đời sống thực tế nên nó là tiến trình ngẫu nhiên nhất do vậy nó đóng vai trò như là một tiến trình chuẩn trong phân bố thống kê.

Các khách hàng đến (gói hay cuộc gọi) một Server nó có thể được phục vụ ngay hoặc phải mất một khoảng thời gian chờ nào đó cho đến khi Server rỗi và thực hiện tiếp nhận xử lý. Các qui tắc phục vụ các khách hàng đợi được phục vụ được thiết lập cho các Server qua đó các khách hàng lần lượt được phục vụ theo mức ưu tiên của mình do vậy các khách hàng có độ ưu tiên khác nhau thì có thời gian chờ khác nhau. Các thông số này được quyết định bởi thuật toán xếp hàng của



hàng đợi và cũng từ đó ảnh hưởng tới QoS của các loại dịch vụ cung cấp trên mạng.

Các thông số của hàng đợi được xác định thông qua lý thuyết xác suất thống kê, định lý Little, qui tắc duy trì hàng đợi Kleinrock và quan trọng hơn cả là các tiến trình đi - đến của khách hàng là các tiến trình Poisson với phân bố hàm mũ cùng với thuật toán xếp hàng của nó.

Xác định các thông số hàng đợi như: chiều dài hàng đợi ở các thời điểm bất kỳ hoặc ngay cả khi có khách hàng, ... qua đó đưa ra các phương án điều khiển lưu lượng trên mạng cho phù hợp nhằm giảm thiểu các sự cố trên mạng đánh giá được hiệu suất sử dụng tài nguyên đồng thời xác định được cấp QoS mà có thể cung cấp trên mạng, đó là cơ sở cho việc thiết kế các mạng hệ thống viễn thông sau này.

## 2.7. Bài tập (Pending)

# Chương 3 Mạng hàng đợi

## 3.1. Mạng nối tiếp



# Chương 4 Định tuyến trong mạng thông tin

## 4.1. Yêu cầu về định tuyến trong mạng thông tin

### 4.1.1. Vai trò của định tuyến trong mạng thông tin

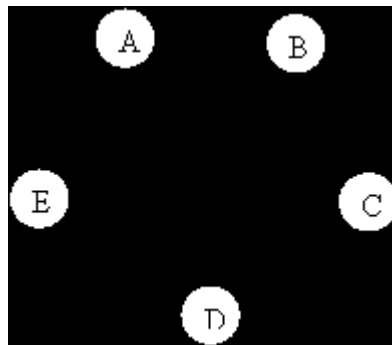
### 4.1.2. Các khái niệm trong lý thuyết graph

Phần này giới thiệu các thuật ngữ và các khái niệm cơ bản nhằm mô tả các mạng, graph, và các thuộc tính của nó. Lý thuyết graph là một môn học xuất hiện từ lâu, nhưng lý thuyết này có một số thuật ngữ được chấp nhận khác nhau dùng cho các khái niệm cơ bản. Vì thế có thể sử dụng một số thuật ngữ khác nhau để lập mô hình graph cho mạng. Các thuật ngữ được trình bày dưới đây này là các thuật ngữ đã được công nhận và được sử dụng thường xuyên xuyên chương này.

Một *graph*  $G$ , được định nghĩa bởi tập hợp các đỉnh  $V$  và tập hợp các cạnh  $E$ . Các đỉnh thường được gọi là các **nút** và chúng biểu diễn vị trí (ví dụ một điểm chứa lưu lượng hoặc một khu vực chứa thiết bị truyền thông). Các cạnh được gọi là các **liên kết** và chúng biểu diễn phương tiện truyền thông. Graph có thể được biểu diễn như sau:

$$G=(V, E)$$

Hình 4.1 là một ví dụ của một graph.



Hình 4.1. Một graph đơn giản

Mặc dù theo lý thuyết,  $V$  có thể là tập hợp rỗng hoặc không xác định, nhưng thông thường  $V$  là tập hợp xác định khác rỗng, nghĩa là có thể biểu diễn

$$V=\{v_i \mid i=1,2,\dots,N\}$$

Trong đó  $N$  là số lượng nút. Tương tự  $E$  được biểu diễn:

$$E=\{e_i \mid i=1,2,\dots,M\}$$

Một liên kết,  $e_j$ , tương ứng một kết nối giữa một cặp nút. Có thể biểu diễn một liên kết  $e_j$  giữa nút  $i$  và  $k$  bởi

$$e_j = (v_i, v_k)$$

hoặc bởi

$$e_j = (i, k)$$

Một liên kết gọi là **đi tới một nút** nếu nút đó là một trong hai điểm cuối của liên kết. Nút  $i$  và  $k$  gọi là **kề nhau** nếu tồn tại một liên kết  $(i, k)$  giữa chúng. Những nút như vậy được xem là các nút **láng giềng**. Bậc của nút là số lượng liên kết đi tới nút hay là số lượng nút láng giềng. Hai khái niệm trên là tương đương nhau trong các graph thông thường. Tuy nhiên với các graph có nhiều hơn một liên kết giữa cùng một cặp nút, thì hai khái niệm trên là không tương đương. Trong trường hợp đó, bậc của một nút được định nghĩa là số lượng liên kết đi tới nút đó.

Một liên kết có thể có hai hướng. Khi đó thứ tự của các nút là không có ý nghĩa. Ngược lại thứ tự các nút có ý nghĩa. Trong trường hợp thứ tự các nút có ý nghĩa, một liên kết có thể được xem như là một **cung** và được định nghĩa

$$a_j = [v_i, v_k]$$

hoặc đơn giản hơn

$$a_j = [i, k]$$

$k$  được gọi là **cận kề hướng ra** đối với  $i$  nếu một cung  $[i, k]$  tồn tại và **bậc hướng ra** của  $i$  là số lượng các cung như vậy. Khái niệm **cận kề hướng vào** và **bậc cận kề hướng vào** cũng được định nghĩa tương tự.

Một graph gọi là một **mạng** nếu các liên kết và các nút có mặt trong liên kết có các thuộc tính (chẳng hạn như độ dài, dung lượng, loại...). Các mạng được sử dụng để mô hình các vấn đề cần quan tâm trong truyền thông, các thuộc tính riêng biệt của nút và liên kết thì liên quan đến các vấn đề cụ thể trong truyền thông.

Sự khác nhau giữa các liên kết và các cung là rất quan trọng cả về việc lập mô hình cho mạng lẫn quá trình hoạt động bên trong của các thuật toán, vì vậy sự khác nhau cần phải luôn được phân biệt rõ ràng. Về mặt hình học các liên kết là các đường thẳng kết nối các cặp nút còn các cung là các đường thẳng có mũi tên ở một đầu, biểu diễn chiều của cung.

Một graph có các liên kết gọi là **graph vô hướng**, tuy nhiên một graph có các cung gọi là **graph hữu hướng**. Một graph hữu hướng có thể có cả các liên kết vô hướng. Thông thường, các graph được giả sử là vô hướng, hoặc sự phân biệt đó là không có ý nghĩa.

Có thể có khả năng xảy ra hiện tượng xuất hiện nhiều hơn một liên kết giữa cùng một cặp nút (điều này tương ứng với việc có nhiều kênh thông tin giữa hai chuyển mạch). Những liên kết như vậy được gọi là các **liên kết song song**. Một graph có liên kết song song gọi là một **multigraph**.

Cũng có khả năng xuất hiện các liên kết giữa một nút nào đó và chính nút đó. Những liên kết đó được gọi là các **self loop**. Chúng ít khi xuất hiện và thường xuất hiện do việc xem hai nút như là một nút trong quá trình lập mô hình graph cho một mạng hoặc phát sinh trong quá trình thực hiện một thuật toán có việc hợp nhất các nút. Hình 4.2 minh họa một graph có các liên kết song song và các self loop. Một graph không có các liên kết song song hoặc các self loop gọi là một **graph đơn giản**. Việc biểu diễn và vận dụng các graph đơn giản là tương đối dễ dàng, vì vậy giả thiết rằng các graph được xem xét là các graph đơn giản. Nếu có sự khác biệt với giả thiết này, chúng sẽ được chỉ ra.

## 4.2. Các mô hình định tuyến quảng bá (broadcast routing)

### 4.2.1. Lan tràn gói (flooding)

Một dạng mạnh hơn của định tuyến riêng biệt đó là lan tràn gói. Trong phương thức này, mỗi gói đi đến router sẽ được gửi đi trên tất cả các đường ra trừ đường mà nó đi đến. Phương thức lan tràn gói này hiển nhiên là tạo ra rất nhiều gói sao chép (duplicate). Trên thực tế, số gói này là không xác định trừ khi thực hiện một số biện pháp để hạn chế quá trình này.

Một trong những biện pháp đó là sử dụng bộ đếm bước nhảy trong phần tiêu đề của mỗi gói. Giá trị này sẽ bị giảm đi một tại mỗi bước nhảy. Gói sẽ bị loại bỏ khi bộ đếm đạt giá trị không. Về mặt lý tưởng, bộ đếm bước nhảy sẽ có giá trị ban đầu tương ứng với độ dài từ nguồn đến đích. Nếu như người gửi không biết độ dài của đường đi, nó có thể đặt giá trị ban đầu của bộ đếm cho trường hợp xấu nhất. Khi đó giá trị ban đầu đó sẽ được đặt bằng đường kính của mạng con.

Một kỹ thuật khác để ngăn sự lan tràn gói là thêm số thứ tự vào tiêu đề các gói. Mỗi router sẽ cần có một danh sách theo nút nguồn để chỉ ra những số thứ tự từ nguồn đó đã được xem xét. Để tránh danh sách phát triển không giới hạn, mỗi danh sách sẽ tăng lên bởi số đếm  $k$  để chỉ ra rằng tất cả các số thứ tự đến  $k$  đã được xem. Khi một gói đi tới, rất dễ dàng có thể kiểm tra được gói là bản sao hay không. Nếu đúng gói là bản sao thì gói này sẽ bị loại bỏ.

Lan tràn gói có ưu điểm là lan tràn gói luôn luôn chọn đường ngắn nhất. Có được ưu điểm này là do về phương diện lý thuyết nó chọn tất cả các đường có thể do đó nó sẽ chọn được đường ngắn nhất. Tuy nhiên nhược điểm của nó là số lượng gói gửi trong mạng quá nhiều.

Sử dụng lan tràn gói trong hầu hết các ứng dụng là không thực tế. Tuy vậy lan tràn gói có thể sử dụng trong những ứng dụng sau.

Trong ứng dụng quân sự, mạng sử dụng phương thức lan tràn gói để giữ cho mạng luôn luôn hoạt động tốt khi đối mặt với quân địch.

Trong những ứng dụng cơ sở dữ liệu phân bố, đôi khi cần thiết phải cập nhật tất cả cơ sở dữ liệu. Trong trường hợp đó sử dụng lan tràn gói là cần thiết. Ví dụ sử dụng lan tràn gói để gửi cập nhật bản định tuyến bởi vì cập nhật không dựa trên độ chính xác của bảng định tuyến.

Phương pháp lan tràn gói có thể được dùng như là đơn vị để so sánh phương thức định tuyến khác. Lan tràn gói luôn luôn chọn đường ngắn nhất. Điều đó dẫn đến không có giải thuật nào có thể tìm được độ trễ ngắn hơn.

Một biến đổi của phương pháp lan tràn gói là lan tràn gói có chọn lọc. Trong giải thuật này, router chỉ gửi gói đi ra trên các đường mà đi theo hướng đích. Điều đó có nghĩa là không gửi gói đến những đường mà rõ ràng nằm trên hướng sai.

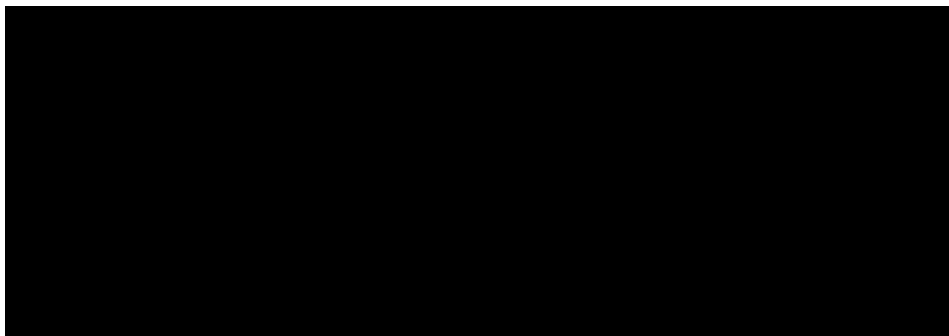
#### 4.2.2. Định tuyến bước ngẫu nhiên (random walk)

Trong phương pháp định tuyến này, router sẽ chuyển gói đi đến trên một đường đầu ra được chọn một cách ngẫu nhiên. Mục tiêu của phương pháp này là các gói lang thang trong mạng cuối cùng cũng đến đích. Với phương pháp này giúp cho quá trình cân bằng tải giữa các đường. Cũng giống như phương pháp định tuyến lan tràn gói, phương pháp này luôn đảm bảo là gói cuối cùng sẽ đến đích. So với phương pháp trước thì sự nhân rộng gói trong mạng sẽ ít hơn. Nhược điểm của phương pháp này là đường từ nguồn đến đích có thể dài hơn đường ngắn nhất. Do đó trễ đường truyền sẽ dài hơn sẽ trễ ngắn nhất thực sự tồn tại trong mạng.

#### 4.2.3. Định tuyến khoai tây nóng (hot potato)

Định tuyến riêng biệt là loại định tuyến mà router quyết định tuyến đi chỉ dựa vào thông tin bản thân nó lượm lặt được.

Đây là một thuật toán tương thích riêng biệt (isolated adaptive algorithm). Khi một gói đến một nút, router sẽ cố gắng chuyển gói đó đi càng nhanh càng tốt bằng cách cho nó vào hàng chờ đầu ra ngắn nhất. Nói cách khác, khi có gói đi đến router sẽ tính toán số gói được nằm chờ để truyền trên mỗi đường đầu ra. Sau đó nó sẽ gán gói mới vào cuối hàng chờ ngắn nhất mà không quan tâm đến đường đó sẽ đi đâu. Hình 4-1 biểu diễn các hàng chờ đầu ra bên trong một router tại một thời điểm nào đó. Có ba hàng chờ đầu ra tương ứng với 03 đường ra. Các gói đang xếp hàng trên mỗi đường để chờ được truyền đi. Trong ví dụ ở đây, hàng chờ đến *F* là hàng chờ ngắn nhất với chỉ có một gói nằm trên hàng chờ này. Giải thuật khoai tây nóng do đó sẽ đặt gói mới đến vào hàng chờ này.



Hình 4-1. Hàng chờ bên trong router

Có thể biến đổi ý tưởng này một chút bằng cách kết hợp định tuyến tĩnh với giải thuật khai tây nóng. Khi gói đi đến, router sẽ tính đến cả những trọng số tĩnh của đường dây và độ dài hàng chờ. Một khả năng là sử dụng lựa chọn tĩnh tốt nhất trừ khi độ dài hàng chờ lớn hơn một ngưỡng nào đó. Một khả năng khác là sử dụng độ dài hàng chờ ngắn nhất trừ trọng số tĩnh của nó là quá thấp. Còn một cách khác là sắp xếp các đường theo trọng số tĩnh của nó và sau đó lại sắp xếp theo độ dài hàng chờ của nó. Sau đó sẽ chọn đường có tổng vị trí sắp xếp là nhỏ nhất. Dù giải thuật nào được chọn đi chăng nữa cũng có đặc tính là khi ít tải thì đường có trọng số cao nhất sẽ được chọn, nhưng sẽ làm cho hàng chờ cho đường này tăng lên. Sau đó một số lưu lượng sẽ được chuyển sang đường ít tải hơn.

#### 4.2.4. Định tuyến nguồn (source routing) và mô hình cây (spanning tree)

Chúng ta sẽ xét một số thuật toán cơ bản dùng cho việc tìm kiếm các cây được sử dụng để thiết kế và phân tích mạng. Một cây là một graph không có các vòng; bất kỳ một cặp nút nào cũng chỉ có duy nhất một đường đi. Ở đây chủ yếu xem xét các graph vô hướng, những graph đó có các liên kết được sử dụng cả hai chiều trong quá trình tạo ra các đường đi.

Vì một số lý do, các cây rất hữu dụng và được sử dụng như là graph cơ bản cho các thuật toán và các kỹ thuật phân tích và thiết kế mạng. Thứ nhất, các cây là mạng tối thiểu; cung cấp một sự kết nối mà không một liên kết nào là không cần thiết. Thứ hai, do việc chỉ cung cấp duy nhất một đường đi giữa một cặp nút bất kỳ, các cây giải quyết các vấn đề về định tuyến (nghĩa là quyết định việc chuyển lưu lượng giữa hai nút). Điều đó làm đơn giản mạng và dạng của nó. Tuy nhiên, vì các cây liên thông tối thiểu nên cũng đơn giản và có độ tin cậy tối thiểu. Đó là nguyên nhân tại sao các mạng thực tế thường có tính liên thông cao hơn. Chính vì vậy, việc thiết kế một mạng thường bắt đầu bằng một cây.

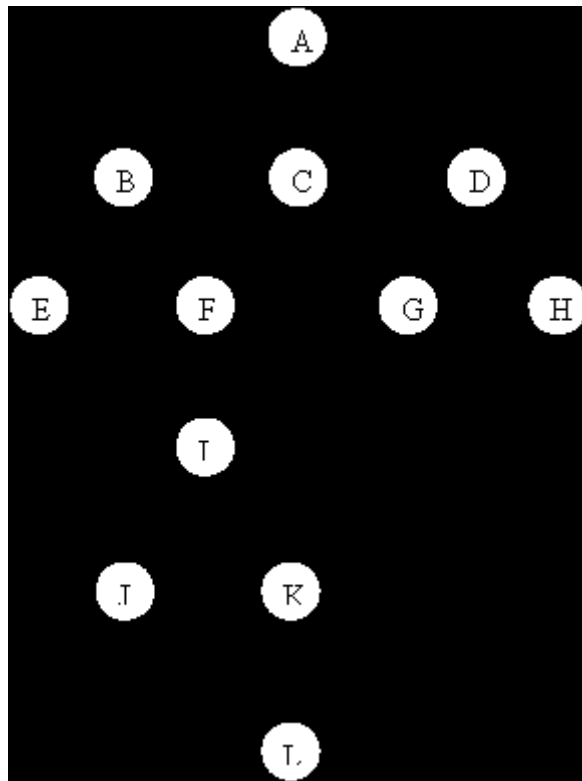
#### 4.2.5. Duyệt cây

Cho trước một cây nào đó, chúng ta có thể đi tới mọi nút của nó. Quá trình đó gọi là một quá trình duyệt cây. Trong quá trình thực hiện, các cạnh trong cây được duyệt hai lần, mỗi lần theo một hướng khác nhau. Có nhiều cách duyệt khác nhau. Đầu tiên, chỉ ra một nút của cây làm nút gốc. Việc duyệt được thực hiện xoay quanh nút đó. Có một số điều kiện để lựa chọn nút gốc này (chẳng hạn nút gốc là một khu vực máy tính trung tâm). Ngoài ra, nút gốc có thể được chọn một cách ngẫu nhiên.

Giả sử nút A trong hình 4.1 là nút gốc của cây. Từ A chúng ta có thể lần lượt đi tới các nút kề cận của nó như là B, C hoặc D. Sau đó, lại đi theo các nút kề cận của chúng (B, C và D) là E, F, G và H. Tiếp tục đi tới lần lượt các nút kề cận khác bên cạnh các nút này. Khi đó, việc duyệt này sẽ kết thúc khi tới các nút I, J, K và L. Quá trình này được gọi là tìm kiếm theo chiều rộng. Trong quá trình tìm kiếm theo chiều rộng một đặc điểm cần chú ý là những nút gần nút gốc nhất sẽ được

tới trước. Việc tìm kiếm sẽ thực hiện theo mọi hướng cùng lúc. Điều đó đôi khi có ích và được thực hiện dễ dàng.

Một thuật toán nhằm đi tới mọi nút của cây thì được gọi là thuật toán duyệt cây. Thuật toán sau đây, *Bfstree*, thực hiện một quá trình tìm kiếm theo chiều rộng. (Chúng ta quy ước rằng, các tên hàm có ký tự đầu tiên là ký tự hoa để phân biệt chúng với các tên biến). *Bfstree* sẽ sử dụng một danh sách kề cận *n\_adj\_list*, danh sách này liệt kê tất cả các nút kề cận của mỗi nút thuộc cây. Để đơn giản hơn, giả sử rằng cây này là một cây hữu hướng hướng ra nhìn từ gốc và do đó *n\_adj\_list* sẽ chỉ bao gồm các nút kề cận với một nút nào đó mà các nút kề cận đó xa gốc hơn so với nút đang xét.



Hình 4-2. Duyệt cây

```
void <-BfsTree ( n, root, n_adj_list ):
dcl n_adj_list [n, list ]
scan_queue [queue ]

InitializeQueue (scan_queue )
Enqueue( root, scan_queue )
while (NotEmpty(scan_queue))
node <- Dequeue (scan_queue)
Visit(node )
for each (neighbor , n_adj_list [node ])
Enqueue(neighbor, scan_queue)
```



Visit là một thủ tục trong đó thực hiện một số quá trình nào đó đối với mỗi nút (chẳng hạn như in lên màn hình các thông tin của mỗi nút .v.v).

Thuật toán này được thực hiện cùng một hàng đợi. Hàng đợi là một FIFO; trong đó các phần tử được thêm vào từ phía sau hàng đợi và chuyển ra từ phía trước. Các thủ tục *InitializeQueue*, *Enqueue*, *Dequeue*, *NotEmpty* làm việc trên các hàng đợi. *InitializeQueue* thiết lập một hàng đợi rỗng. *Enqueue*, *Dequeue* là các thủ tục để thêm một phần tử vào cuối hàng đợi và chuyển một phần tử ra từ đầu hàng đợi. Hàm *NotEmpty* trả về TRUE hoặc FALSE tùy thuộc vào hàng đợi có rỗng hay không.

*n\_adj\_list* là một chuỗi mà mỗi phần tử của chuỗi là một danh sách. *n\_adj\_list[n]* là một danh sách các nút kề cận nút *n*. Như đã nói ở chương trước, *for\_each(element, list)*, là một cấu trúc điều khiển thực hiện vòng lặp đối với tất cả các phần tử của *list* và thực hiện các mã ở bên trong vòng lặp, trong vòng lặp đó các phần tử của *list* lần lượt được sử dụng. Thủ tục trên hoạt động với giả thiết là *n\_adj\_list* đã được thiết lập trước khi thủ tục *BfsTree* được gọi.

Tương tự, ta có thể định nghĩa một quá trình tìm kiếm theo chiều sâu. Quá trình này cũng bắt đầu từ nút gốc. Quá trình duyệt tiếp tục thực hiện nút láng giềng chưa được duyệt của nút vừa mới được duyệt. Ta cũng giả sử rằng cây bao gồm các liên kết có hướng đi ra xa nút gốc.

#### Ví dụ 4.1:

Trở lại với graph trong hình 4.1, ta có thể tới nút *B* từ nút *A*. Sau đó, ta tới nút *E*, kề cận với nút *B*-nút được duyệt gần thời điểm hiện tại nhất. Nút *E* này không có nút kề cận chưa duyệt nào, do vậy ta phải quay trở lại nút *B* để đi sang nút *F*. Ta tiếp tục đi tới các nút *I*, *J*, *K* (cùng với việc quay lại nút *I*), và nút *L*. Sau đó ta quay trở về nút *A*, tiếp tục tới các nút còn lại là *C*, *D*, *G* và *H*. Do vậy, toàn bộ quá trình duyệt là:

*A, B, E, F, I, J, K, L, C, D, G, H*

Nhớ rằng thứ tự của quá trình duyệt là không duy nhất. Trong quá trình duyệt trên ta chọn các nút kề cận để xâm nhập theo thứ tự từ trái qua phải. Nếu chọn theo thứ tự khác, quá trình duyệt là:

*A, B, F, I, J, K, L, E, D, H, G, C*

Trật tự thực tế của quá trình duyệt phụ thuộc vào từng thuật toán cụ thể. Điều này cũng đúng với một quá trình tìm kiếm theo chiều rộng. Kiểm tra thuật toán *BfsTree*, trật tự này là một hàm của trật tự các nút cận kề trong *n\_adj\_list*.

Thuật toán *DfsTree* sau sẽ thực hiện một quá trình tìm kiếm theo chiều sâu.

```
void <- DfsTree(n, root, n_adj_list):
  dcl n_adj_list [n, list]

  Visit(root)
  for each(neighbor, n_adj_list[node])
```

```
DfsTree(n, neighbor, n_adj-list)
```

Quá trình tìm kiếm này sẽ được thực hiện với sự trợ giúp của một ngăn xếp theo kiểu LIFO, nghĩa là phần tử được thêm vào và chuyển ra từ đỉnh ngăn xếp. Trong trường hợp này, chúng ta thường gọi đệ quy *DfsTree*, thực tế chúng ta đã sử dụng ngăn xếp hệ thống, nghĩa là sử dụng loại ngăn xếp mà hệ thống sử dụng để lưu giữ các lời gọi hàm và đối số.

Cả hai loại duyệt trình bày ở trên đều là quá trình duyệt thuận (nghĩa là các quá trình này duyệt một nút rồi sau đó duyệt tới nút tiếp theo của nút đó). Quá trình duyệt ngược đôi khi cũng rất cần thiết, trong quá trình duyệt ngược một nút được duyệt sau khi đã duyệt nút tiếp của nút đó. Dĩ nhiên, cũng có thể thành lập một danh sách thuận và sau đó đảo ngược danh sách đó. Cũng có thể thay thế trật tự tìm kiếm một cách trực tiếp như thủ tục sau:

```
void <- PostorderDfsTree(n, root, n_adj_list):  
  decl n_adj_list [n, list]  
  
  for each(neighbor, n_adj_list[node])  
    PostorderDfsTree(n, neighbor,  
n_adj_list)  
  Visit (root)
```

### Các thành phần liên thông trong các graph vô hướng

Ta có thể áp dụng khái niệm duyệt các nút vào một graph vô hướng, đơn giản chỉ bằng cách theo dõi các nút đã được duyệt và sau đó không duyệt các nút đó nữa.

Có thể duyệt một graph vô hướng như sau:

```
void <- Dfs(n, root, n_adj_list):  
  decl n_adj_list [n, list]  
  visited [n]  
  
  void <- DfsLoop (node)  
  if (not(visited [node]))  
    visited [node]<-TRUE  
    visit [node]  
  for each(neighbor, n_adj_list[node])  
    DfsLoop (neighbor)  
  visited <-FALSE  
  DfsLoop (root)
```

Chú ý rằng câu lệnh

```
Visited <-FALSE
```

khởi tạo toàn bộ các phần tử mảng được duyệt bằng FALSE. Cũng cần chú ý rằng thủ tục *DfsLoop* được định nghĩa bên trong thủ tục *Dfs* nên *DfsLoop* có thể truy cập tới *visited* và *n\_adj\_list* (Lưu ý rằng cách dễ nhất để đọc các giả mã cho các hàm có dạng hàm *Dfs* ở trên là trước tiên hãy đọc thân của hàm chính rồi quay trở lại đọc thân của các hàm nhúng như hàm *DfsLoop*).

Chú ý rằng trong quá trình duyệt chúng ta đã ngầm kiểm tra tất cả các cạnh trong graph, một lần cho mỗi đầu cuối của mỗi cạnh. Cụ thể, với mỗi cạnh  $(i, j)$  của graph thì  $j$  là một phần tử của *n\_adj\_list[i]* và  $i$  là một thành phần trong *n\_adj\_list[j]*. Thực tế, có thể đưa chính các cạnh đó vào các danh sách kề cận của nó và sau đó tìm nút ở điểm cuối khác của cạnh đó bằng hàm:

```
node <- OtherEnd(node1, edge)
```

Hàm này sẽ trả về một điểm cuối của *edge* khác với *node1*. Điều đó làm phức tạp quá trình thực hiện đôi chút. Có thể dễ dàng thấy rằng độ phức tạp của các thuật toán duyệt cây này bằng  $O(E)$ , với  $E$  là số lượng cạnh trong graph.

Bây giờ chúng ta có thể tìm được các thành phần liên thông của một graph vô hướng bằng cách duyệt mỗi thành phần. Chúng ta sẽ đánh dấu mỗi nút bằng một chỉ số thành phần khi chúng ta tiến hành. Các biến *n\_component* sẽ theo dõi bất kỳ thành phần nào mà chúng ta đi tới

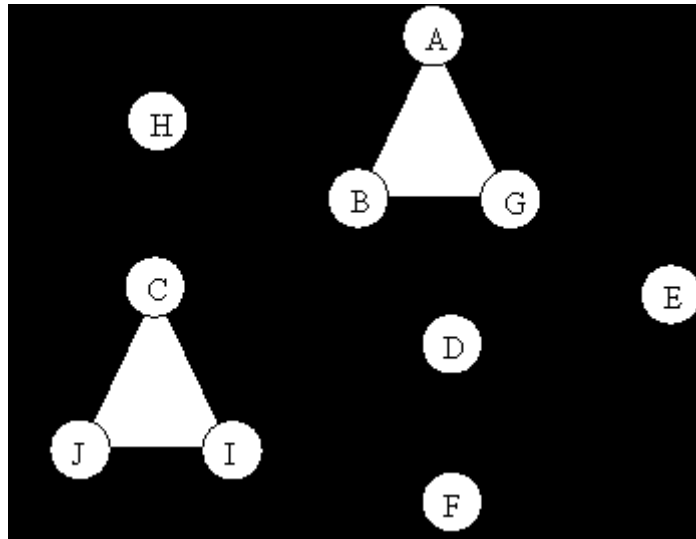
```
void <- LabelComponent (n, n_adj_list):
  decl n_component_number [n],
  n_adj_list[n,list]

  void <- Visit [node]
    n_component_number [node]<- ncomponents

n_component_number<-0
ncomponent<-0
for each(node, node_set)
  if (n_component_number [node]=0)
    ncomponent +=1
    Dfs (node, n_adj_list)
```

Chúng ta định nghĩa một hàm *Visit* để thiết lập một chỉ số thành phần các nút được duyệt. Hàm này nằm bên trong thủ tục *LabelComponent* và chỉ có thể được gọi từ trong thủ tục đó. Mặt khác, *Dfs* còn được định nghĩa ở bên ngoài, vì thế nó có thể được gọi từ bất kỳ đâu.

Trong khi thực hiện quá trình duyệt theo chiều rộng và chiều sâu một graph vô hướng, những cạnh nối một nút với một nút láng giềng chưa duyệt trước khi duyệt nút đó tạo ra một cây, nếu graph là không liên thông thì tạo ra một rừng.



Hình 4-3. Các thành phần

Hình 4-3 biểu diễn một graph có 4 thành phần. Giả sử vòng trên tập các nút đi theo tuần tự alphabet, các thành phần được đánh số theo trật tự các nút có chữ cái "thấp nhất" và chỉ số thành phần được biểu diễn ở bên cạnh nút.

Với mỗi thành phần, thuật toán trên sẽ gọi  $Dfs$  để kiểm tra thành phần đó. Trong đó, thuật toán cũng kiểm tra các cạnh, mỗi cạnh một lần. Vì thế, độ phức tạp của nó có bậc bằng bậc của tổng số các nút cộng với số các cạnh trong tất cả các thành phần (nghĩa là độ phức tạp của thuật toán bằng  $O(N+E)$ ).

### **Cây bắc cầu tối thiểu (Minimum Spanning Tree)**

Có thể sử dụng  $Dfs$  để tìm một cây bắc cầu nếu có một cây bắc cầu tồn tại. Cây tìm được thường là cây vô hướng. Việc tìm cây "tốt nhất" thường rất quan trọng. Chính vì vậy, chúng ta có thể gán một "độ dài" cho mỗi cạnh trong graph và đặt ra yêu cầu tìm một cây có độ dài tối thiểu. Thực tế, "độ dài" có thể là khoảng cách, giá, hoặc là một đại lượng đánh giá độ trễ hoặc độ tin cậy. Một cây có tổng giá là tối thiểu được gọi là cây bắc cầu tối thiểu.

Nói chung, nếu graph là một graph không liên thông, chúng ta có thể tìm được một rừng bắc cầu tối thiểu. Một rừng bắc cầu tối thiểu là một tập hợp các cạnh nối đến graph một cách tối đa có tổng độ dài là tối thiểu. Bài toán này có thể được xem như là việc lựa chọn một graph con của graph gốc chứa tất cả các nút của graph gốc và các cạnh được lựa chọn. Đầu tiên, tạo một graph có  $n$  nút,  $n$  thành phần và không có cạnh nào cả. Mỗi lần, chúng ta chọn một cạnh để thêm vào graph này hai thành phần liên thông trước đó chưa được kết nối được liên kết lại với nhau tạo ra một thành phần liên thông mới (chứ không chọn các cạnh thêm vào một thành phần liên thông trước đó và tạo ra một vòng). Vì vậy, tại bất kỳ giai đoạn nào của thuật toán, quan hệ:

$$n=c+e$$

luôn được duy trì, ở đây  $n$  là số lượng nút trong graph,  $e$  là số cạnh được lựa chọn tính cho tới thời điểm xét và  $c$  là số lượng thành phần trong graph tính cho tới thời điểm xét. Ở cuối thuật toán,  $e$  bằng  $n$  trừ đi số thành phần trong graph gốc; nếu graph gốc là liên thông, chúng ta sẽ tìm được một cây có  $(n-1)$  cạnh. Như đã giải thích ở trên, DFS sẽ tìm ra một rừng bắc cầu. Tuy nhiên, chúng ta thường không tìm được cây bắc cầu có tổng độ dài tối thiểu.

### Thuật toán "háu ăn"

Một cách tiếp cận khả dĩ để tìm một cây có tổng độ dài tối thiểu là, ở mỗi giai đoạn của thuật toán, lựa chọn cạnh ngắn nhất có thể. Thuật toán đó gọi là thuật toán "háu ăn". Thuật toán này có tính chất "thiên cận" nghĩa là không lường trước được các kết quả cuối cùng do các quyết định mà chúng đưa ra ở mỗi bước gây ra. Thay vào đó, chúng chỉ đưa ra cách chọn tốt nhất cho mỗi quá trình lựa chọn. Nói chung, thuật toán "háu ăn" không tìm được lời giải tối ưu cho một bài toán. Thực tế thuật toán thậm chí còn không tìm được một lời giải khả thi ngay cả khi lời giải đó tồn tại. Tuy nhiên chúng hiệu quả và dễ thực hiện. Chính vì vậy chúng được sử dụng rộng rãi. Các thuật toán này cũng thường tạo cơ sở cho các thuật toán có tính hiệu quả và phức tạp hơn.

Vì thế, câu hỏi đầu tiên đặt ra khi xem xét việc ứng dụng một thuật toán để giải quyết một bài toán là liệu bài toán ấy có hay không cấu trúc nào đó đảm bảo cho thuật toán hoạt động tốt. Hy vọng rằng thuật toán ít ra cũng đảm bảo được một lời giải khả thi nếu lời giải đó tồn tại. Khi đó, nó sẽ đảm bảo tính tối ưu và đảm bảo yêu cầu nào đó về thời gian thực hiện. Bài toán tìm các cây bắc cầu tối thiểu thực sự có một cấu trúc mạnh cho phép thuật toán "háu ăn" đảm bảo cả tính tối ưu cũng như đảm bảo độ phức tạp tính toán ở mức độ vừa phải.

Dạng chung của thuật toán "háu ăn" là:

Bắt đầu bằng một lời giải rỗng  $s$ .

Trong khi vẫn còn có các phần tử cần xét,

Tìm  $e$ , phần tử "tốt nhất" vẫn chưa xét

Nếu việc thêm  $e$  vào  $s$  là khả thi thì  $e$  được thêm vào  $s$ , nếu việc thêm đó không khả thi thì loại bỏ  $e$ .

Các yêu cầu các khả năng sau:

So sánh giá trị của các phần tử để xác định phần tử nào là "tốt nhất"

Kiểm tra tính khả thi của một tập các phần tử

Khái niệm "tốt nhất" liên quan đến mục đích của bài toán. Nếu mục đích là tối thiểu, "tốt nhất" nghĩa là bé nhất. Ngược lại, "tốt nhất" nghĩa là lớn nhất.

Thường thường, mỗi giá trị gắn liền với một phần tử, và giá trị gắn liền với một tập đơn giản chỉ là tổng các giá trị đi cùng của các phần tử trong tập đó. Đó là trường hợp cho bài toán cây bắc cầu tối thiểu được xét trong phần này. Tuy nhiên, đó không phải là trường hợp chung. Chẳng hạn, thay cho việc tối thiểu tổng độ dài của tất cả các cạnh trong một cây, mục đích của bài toán là tối thiểu hoá độ dài các cạnh dài nhất trong cây. Trong trường hợp đó, giá trị của một cạnh là độ dài của cạnh đó và giá trị của một tập sẽ là độ dài của cạnh dài nhất nằm trong tập.

Muốn tìm được cạnh "tốt nhất" để bổ sung, hãy đánh giá các cạnh theo độ ảnh hưởng về giá trị của nó tới giá trị của tập. Giả sử  $V(S)$  là giá trị của tập  $S$  và  $v(e,S)$  là giá trị của một phần tử  $e$  thì  $v(e,S)$  có quan hệ với tập  $S$  bởi công thức

$$v(e,S) = V(S \cup \{e\}) - V(S)$$

Trong trường hợp tối thiểu độ dài của cạnh dài nhất trong một cây.  $v(e,S)$  bằng 0 đối với bất kỳ cạnh nào không dài hơn cạnh dài nhất đã được chọn. Ngược lại, nó sẽ bằng hiệu độ dài giữa cạnh với cạnh dài nhất đã được chọn, khi hiệu đó lớn hơn 0.

Trong trường hợp chung, giá trị của tập có thể thay đổi một cách ngẫu nhiên khi các phần tử được bổ sung vào nó. Chúng ta có thể gán giá trị 1 cho các tập có số lượng phần tử là chẵn và 2 cho các tập có số lượng phần tử là lẻ. Điều đó làm cho các giá trị của các phần tử chỉ là một trong hai giá trị +1 và -1. Trong trường hợp này, thuật toán "háu ăn" không được sử dụng. Bây giờ giả sử rằng "trọng lượng" của một tập biến đổi theo một cách hợp lý hơn thì khi đó, sẽ có một cơ sở hợp lý hơn cho việc chỉ ra phần tử "tốt nhất". Một điều quan trọng cần chú ý đó là, khi tập lớn lên, giá trị của phần tử mà trước đó không được xem xét có thể thay đổi do các phần tử thêm vào tập đó. Khi điều này xảy ra, thuật toán "háu ăn" có thể mắc lỗi trong các lựa chọn của nó và sẽ ảnh hưởng tới chất lượng của lời giải mà chúng ta nhận được.

Tương tự, trong hầu hết các trường hợp, tính khả thi có thể bị ảnh hưởng một cách ngẫu nhiên do sự bổ sung phần tử. Chính vì vậy, trong các bài toán mà những tập có số lượng phần tử chẵn có thể được xem là khả thi và những tập có số phần tử là lẻ có thể được xem là không khả thi thì thuật toán "háu ăn" hoặc bất kỳ thuật toán nào có bổ sung các phần tử, mỗi lần một phần tử, sẽ không hoạt động. Vì vậy chúng ta sẽ giả thiết các tính chất sau, những tính chất này luôn được duy trì trong mọi trường hợp xem xét:

### **Tính chất 1:**

Bất kỳ một tập con nào của một tập khả thi thì cũng khả thi, đặc biệt tập rỗng cũng là một tập khả thi.

Ngoài ra giả thiết rằng độ phức tạp của thuật toán để tính toán giá trị của một tập và kiểm tra sự khả thi của chúng là vừa phải, đặc biệt, khi độ phức tạp này là một đa thức của số nút và cạnh trong graph.

```

list<-Greedy (properties)
  dcl properties [list, list]
      candidate_set[list]
      solution[list]

  void<-GreedyLoop ( *candidate_set,
*solution)
dcl test_set[list], solution[list],
  candidate_set[list]
  element <-
SelectBestElement(candidate_set)
  test_set <-Append(element, solution)
  if(Test(test_set))
    solution<-test_set
  candidate_set<-
Delete(element, candidate_set)
  if(not (Empty(candidate_set)))
    Greedy_loop(*candidate_set,
*solution)

  candidate_set<-ElementsOf(properties)
solution<-
  if(! (Empty(element_set)))
    GreedyLoop(*candidate_set, *solution)
return(solution)

```

Bây giờ ta đã có thể xem xét sâu hơn các câu lệnh của thuật toán "hầu ăn". Các câu lệnh của thuật toán hơi khó hiểu vì chúng dựa trên định nghĩa của hai hàm, *Test* và *SelectBestElement* (là hàm kiểm tra tính khả thi và đánh giá các tập). Chúng ta cũng giả sử rằng có một cấu trúc *properties*, là một danh sách của các danh sách chứa tất cả các thông tin cần thiết để kiểm tra và đánh giá tất cả các tập. Một danh sách của các danh sách đơn giản chỉ là một danh sách liên kết, mà mỗi thành viên của nó là một danh sách. Thậm chí cấu trúc đó có thể được lồng vào nhau sâu hơn, nghĩa là có các danh sách nằm bên trong các danh sách nằm bên trong các danh sách. Cấu trúc như vậy tương đối phổ biến và có thể được sử dụng để biểu diễn hầu hết các kiểu thông tin. Có thể lưu giữ độ dài, loại liên kết, dung lượng, hoặc địa chỉ. Bản thân các mục thông tin này có thể là một cấu trúc phức tạp; nghĩa là cấu trúc đó có thể lưu giữ giá và các dung lượng của một vài loại kênh khác nhau cho mỗi liên kết.

Trên thực tế, điều đó rất có ích cho việc duy trì các cấu trúc dữ liệu trợ giúp để cho phép thuật toán thực hiện hiệu quả hơn. Bài toán về cây bắc cầu tối thiểu là một ví dụ. Tuy nhiên, để rõ ràng, giả sử rằng tất cả quá trình tính toán được thực hiện trên một cấu trúc *properties* sẵn có (đã được khởi tạo). Được sử dụng để biểu diễn tập rỗng. *Append* và *Delete* là các hàm bổ sung và chuyển đi một phần tử khỏi một danh sách. *ElementsOf* chỉ đơn giản để chỉ ra các phần tử của một danh sách; vì vậy, ban đầu tất cả các phần tử trong *properties* là các ứng

cử. Có rất nhiều cách thực hiện các quá trình này. *properties* có thể là một dãy và các hàm *Append*, *Delete* và *ElementsOf* có thể hoạt động với các danh sách chỉ số (danh sách mà các phần tử là các chỉ số mạng). Trong thực tế cách thực hiện được chọn là cách làm sao cho việc thực hiện các hàm *Test* và *SelectBestElement* là tốt nhất.

Đoạn giả mã trên giả thiết rằng thuật toán "háu ăn" sẽ dừng lại khi không còn phần tử nào để xem xét. Trong thực tế, có nhiều nguyên nhân để thuật toán dừng lại. Một trong những nguyên nhân là khi kết quả xấu đi khi các phần tử được tiếp tục thêm vào. Điều này xảy ra khi tất cả các phần tử còn lại đều mang giá trị âm trong khi chúng ta đang cố tìm cho một giá trị tối đa. Một nguyên nhân khác là khi biết rằng không còn phần tử nào ở trong tập ứng cử có khả năng kết hợp với các phần tử vừa được chọn tạo ra một lời giải khả thi. Điều này xảy ra khi một cây bắc cầu toàn bộ các nút đã được tìm thấy.

Giả sử rằng thuật toán dừng lại khi điều đó là hợp lý, còn nếu không, các phần tử không liên quan sẽ bị loại ra khỏi lời giải.

Giả thiết rằng, các lời giải cho một bài toán thoả mãn tính chất 1 và giá trị của tập đơn giản chỉ là tổng các giá trị của các phần tử trong tập. Ngoài ra, giả thiết thêm rằng tính chất sau được thoả mãn:

### Tính chất 2:

Nếu hai tập  $S_p$  và  $S_{p+1}$  lần lượt có  $p$  và  $p+1$  phần tử là các lời giải và tồn tại một phần tử  $e$  thuộc tập  $S_{p+1}$  nhưng không thuộc tập  $S_p$  thì  $S_p \cup \{e\}$  là một lời giải.

Chúng ta thấy rằng, các cạnh của các rừng thoả mãn tính chất 2, nghĩa là nếu có hai rừng, một có  $p$  cạnh và rừng kia có  $p+1$  thì luôn tìm được một cạnh thuộc tập lớn hơn mà việc thêm cạnh đó vào tập nhỏ hơn không tạo ra một chu trình.

Một tập các lời giải thoả mãn các tính chất trên gọi là một matroid. Định lý sau đây là rất quan trọng (chúng ta chỉ thừa nhận chứ không chứng minh).

#### Định lý 4.1

Thuật toán "háu ăn" đảm bảo tìm một lời giải tối ưu cho một bài toán khi và chỉ khi các lời giải đó tạo ra một matroid.

Có thể thấy rằng, tính chất 1 và tính chất 2 là điều kiện cần và đủ để đảm bảo tính tối ưu của thuật toán "háu ăn". Nếu có một lời giải cho một bài toán nào đó mà nó thoả mãn hai tính chất 1 và 2 thì cách đơn giản nhất là dùng thuật toán "háu ăn" để giải quyết nó. Điều đó đúng với một cây bắc cầu.

Sau đây là một định lý không kém phần quan trọng.

#### Định lý 4.2



Nếu các lời giải khả thi cho một bài toán nào đó tạo ra một matroid thì tất cả các tập khả thi tối đa có số lượng phần tử như nhau.

Trong đó, một tập khả thi tối đa là một tập mà khi thêm các phần tử vào thì tính khả thi của nó không được bảo toàn; Nó không nhất thiết phải có số lượng phần tử tối đa cũng như không nhất thiết phải có trọng lượng lớn nhất.

Định lý đảo của định lý trên cũng có thể đúng nghĩa là nếu tính chất 1 được thoả mãn và mọi tập khả thi tối đa có cùng số lượng phần tử, thì tính chất 2 được thoả mãn.

Định lý 4.2 cho phép chúng ta chuyển đổi một bài toán tối thiểu  $P$  thành một bài toán tối đa  $P'$  bằng cách thay đổi các giá trị của các phần tử. Giả thiết rằng tất cả  $v(x_j)$  trong  $P$  có giá trị âm. Lời giải tối ưu cho bài toán  $P$  có số lượng phần tử tối đa là  $m$  thì chúng ta có thể tạo ra một bài toán tối đa  $P'$  từ  $P$  bằng cách thiết lập các giá trị của các phần tử trong  $P'$  thành  $-v(x_j)$ . Tất cả các phần tử đều có giá trị dương và  $P'$  có một lời giải tối ưu chứa  $m$  phần tử. Thực ra, thứ tự của các lời giải tối đa phải được đảo lại: lời giải có giá trị tối đa trong  $P'$  cũng là lời giải có giá trị tối thiểu trong  $P$ .

Giả sử lúc nay ta cần tìm một lời giải có giá trị tối thiểu, tuân theo điều kiện là có số lượng tối đa các phần tử. Sẽ tính cả các phần tử có giá trị dương. Có thể giải quyết bài toán  $P$  như là một bài toán tối đa  $P'$  bằng cách thiết lập các giá trị của các phần tử thành  $B-v(x_j)$  với  $B$  có giá trị lớn hơn giá trị lớn nhất của  $x_j$ . Khi đó các giá trị trong  $P'$  đều dương và  $P'$  là một lời giải tối ưu có  $m$  phần tử. Thứ tự của tất cả các tập khả thi tối đa đã bị đảo ngược: một tập có giá trị là  $V$  trong  $P$  thì có giá trị là  $mB-V$  trong lời giải  $P'$ . Một giá trị tối đa trong  $P'$  thì có giá trị tối thiểu trong  $P$ . Quy tắc này cũng đúng với các cây bắc cầu thoả mãn tính chất 1 và tính chất 2 và có thể tìm một cây bắc cầu tối thiểu bằng cách sử dụng một thuật toán “háu ăn”.

### Thuật toán Kruskal

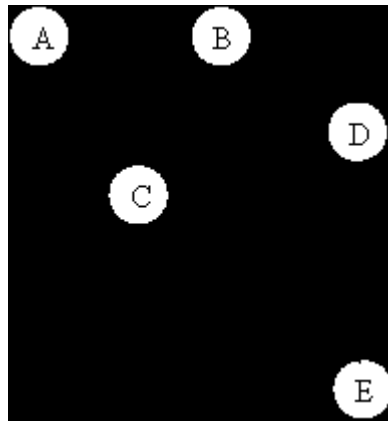
Thuật toán Kruskal là một thuật toán “háu ăn” được sử dụng để tìm một cây bắc cầu tối thiểu. Tính đúng đắn của thuật toán dựa trên các định lý sau:

#### Định lý 4.3

Các rừng thì thoả mãn tính chất 1 và 2.

Như chúng ta đã biết, một rừng là một tập hợp các cạnh mà tập hợp đó không chứa các chu trình. Rõ ràng là bất kỳ một tập con các cạnh nào của một rừng (thậm chí cả tập rỗng) cũng là một rừng, vì vậy tính chất 1 được thoả mãn.

Để thấy rằng tính chất 2 cũng thoả mãn, xét một graph được biểu diễn trong hình 4.4.



Hình 4.3.

Giả sử có một rừng  $F1$  có  $p$  cạnh. Rừng  $\{2,4\}$  là một ví dụ với  $p=2$ , và nó được biểu diễn bằng nét đứt trong hình 4.4. Khi đó xét một rừng khác  $F2$  có  $p+1$  cạnh. Có hai trường hợp được xét.

Trường hợp 1:  $F2$  đi tới một nút  $n$ , nhưng  $F1$  không đi tới nút đó. Một ví dụ của trường hợp này là rừng  $\{1, 4, 6\}$ , rừng này đi tới  $E$  còn  $F1$  thì không. Trong trường hợp này, có thể tạo ra rừng  $\{2, 4, 6\}$  bằng cách thêm cạnh 6 vào rừng  $\{2,4\}$ .

Trường hợp 2:  $F2$  chỉ đi tới các nút mà  $F1$  đi tới. Một ví dụ của trường hợp này là rừng  $\{1, 4, 5\}$ . Xét  $S$ , một tập các nút mà  $F1$  đi tới. Cho rằng có  $k$  nút trong tập  $S$ . Vì  $F1$  là một rừng nên mỗi cạnh trong  $F1$  giảm số lượng thành phần trong  $S$  đi một, do đó tổng số lượng thành phần là  $k-p$ . Tương tự,  $F2$  tạo ra  $k-(p+1)$  thành phần từ  $S$  (số lượng thành phần vừa nói bé hơn với số lượng thành phần của  $F1$ ). Vì vậy, một cạnh tồn tại trong  $F2$  mà các điểm cuối của nó nằm ở các thành phần khác nhau trong  $F1$  thì có thể thêm cạnh đó vào  $F1$  mà không tạo ra một chu trình. Cạnh 3 là một cạnh có tính chất đó trong ví dụ này (cạnh 1 và 5 cũng là những cạnh như vậy).

Vì thế, chúng ta thấy rằng nếu tính chất 1 và 2 được thoả mãn thì một thuật toán “háu ăn” có thể tìm được một lời giải tối ưu cho cả bài toán cây bắc cầu tối thiểu lẫn bài toán cây bắc cầu tối đa. Chú ý rằng một cây bắc cầu là một rừng có số cạnh tối đa  $N-1$  cạnh với  $N$  là số nút trong mạng. Sau đây chúng ta sẽ xét bài toán tối thiểu.

Thuật toán Kruskal thực hiện việc sắp xếp các cạnh với cạnh đầu tiên là cạnh ngắn nhất và tiếp theo chọn tất cả các cạnh mà những cạnh này không cùng với các cạnh được lựa chọn trước đó tạo ra các chu trình. Chính vì thế, việc thực hiện thuật toán đơn giản là:

```
list <- kruskal_1( n, m, lengths )
```

```

    decl length[m], permutation[m],
    solution[list]

    permutation <- VectorSort( n , lengths )
    solution <-       
    for each ( edge , permutation )
        if ( Test(edge , solution ) )
            solution <- Append ( edge , solution )
    return( solution )

```

*VectorSort* có đầu vào là một vector có độ dài là  $n$  và kết quả trả về là thứ tự sắp xếp các số nguyên từ 1 tới  $n$ . Sự sắp xếp đó giữ cho giá trị tương ứng trong vector theo thứ tự tăng dần.

#### **Ví dụ 4.2:**

Giả sử rằng  $n=5$  và giá trị của một vector là

31, 19, 42, 66, 27

*VectorSort* sẽ trả về thứ tự sắp xếp như sau:

2, 5, 1, 3, 4

Test nhận một danh sách các cạnh và trả về giá trị TRUE nếu các cạnh đó không chứa một chu trình. Vì Test được gọi cho mỗi nút, sự hiệu quả của toàn bộ thuật toán tùy thuộc vào tính hiệu quả của việc thực hiện Test. Nếu mỗi khi các cạnh được thêm vào cây, chúng ta theo dõi được các nút của cạnh thuộc các thành phần nào thì Test trở nên đơn giản; đó đơn giản chỉ là việc kiểm tra xem các nút cuối của các cạnh đang được xét có ở cùng một thành phần không. Nếu cùng, cạnh sẽ tạo ra một chu trình. Ngược lại, cạnh đó không tạo nên chu trình.

Tiếp đó là xem xét việc duy trì cấu trúc thành phần. Có một số cách tiếp cận. Một trong các cách đó là ở mỗi nút duy trì một con trỏ đến một nút khác trong cùng một thành phần và có một nút ở mỗi thành phần gọi là nút gốc của thành phần thì trỏ vào chính nó. Vì thế lúc đầu, bản thân mỗi nút là một thành phần và nó trỏ vào chính nó. Khi một cạnh được thêm vào giữa hai nút  $i$  và  $j$ , trỏ  $i$  tới  $j$ . Sau đó, khi một cạnh được thêm vào giữa một nút  $i$  trong một thành phần có nút gốc là  $k$  và một nút  $j$  trong một thành phần có nút gốc là  $l$  thì trỏ  $k$  tới  $l$ . Vì vậy, chúng ta có thể kiểm tra một cạnh bằng cách dựa vào các con trỏ từ các nút cuối của nó và xem rằng chúng có dẫn đến cùng một nơi hay không. Chuỗi các con trỏ càng ngắn, việc kiểm tra càng dễ dàng. Nhằm giữ cho các chuỗi các con trỏ đó ngắn, Tarjan gợi ý nên làm gọn các chuỗi khi chúng được duyệt trong quá trình kiểm tra. Cụ thể, ông gợi ý một hàm *FindComponent* được tạo ra như sau:

```

index <- FindComponent( node , *next)
decl next[]

```

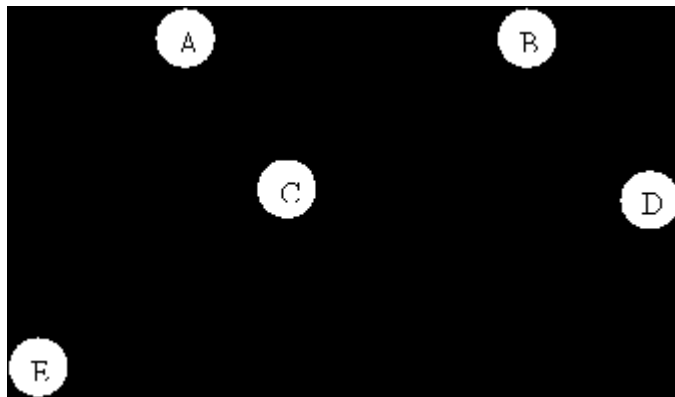
```

p=next[node]
q=next[p]
while ( p!=q )
    next[node]= q
    node = q
p=next[node]
q=next[p]
return (p)

```

*FindComponent* trả về nút gốc của thành phần chứa *node*. Hàm này cũng điều chỉnh *next*, nút hướng về nút gốc chứa nút đó. Đặc biệt, hàm này điều chỉnh *next* hướng tới điểm ở tầng cao hơn. Tarjan chỉ ra rằng, bằng cách đó, ta làm gọn đường đi tới nút gốc một cách hoàn toàn còn hơn là không làm gọn một chút nào cả và toàn bộ kết quả trong việc tìm kiếm và cập nhật *next* chỉ lớn hơn so với  $O(n+m)$  một chút với  $n$  là số lượng nút và  $m$  là số lượng cạnh được kiểm tra.

#### Ví dụ 4.3:



Hình 4-4. Phép tính Minimum Spanning Tree (MST)

Xét một mạng được biểu diễn trong hình 4.4. các dấu \* trong hình được giải thích dưới đây. Đầu tiên, sắp xếp các cạnh và sau đó lần lượt xem xét từng cạnh, bắt đầu từ cạnh nhỏ nhất. Vì thế, chúng ta xem (A, C) là cạnh đầu tiên. Gọi *FindComponent* cho nút A ta thấy cả *p* lẫn *q* đều là A nên *FindComponent* trả về A như là nút gốc của thành phần chứa nút A. Tương tự, *FindComponent* trả về C như là nút gốc của thành phần chứa nút C. Vì thế, chúng ta mang A và C vào cây và thiết lập *next[A]* bằng C. Sau đó, xét (B, D). Hàm cũng thực hiện tương tự và B, D được thêm vào cây, *next[B]* bằng D. Chúng ta xét (C, E), chấp nhận nó và thiết lập *next[C]* bằng E.

Bây giờ, xét (A, E). Trong *FindComponent*, *p* là C còn *q* là E. Vì thế chúng ta chạy vào vòng lặp *while*, thiết lập *next[A]* bằng E và rút ngắn đường đi từ A tới E với E là nút gốc của thành phần chứa chúng. *Node, p* và *q* được thiết lập thành E và *FindComponent* trả về E như là nút gốc của thành phần chứa nút A. *FindComponent* cũng trả về E như là nút gốc của thành phần chứa E. Vì thế, cả hai điểm cuối của (A, E) là cùng một thành phần nên (A, E) bị loại bỏ.

Tiếp đến, xét  $(A, B)$ . Trong quá trình gọi *FindComponent* đối với nút  $A$ , chúng ta thấy rằng  $p=q=E$  và *next* không thay đổi. Tương tự, quá trình gọi *FindComponent* đối với nút  $B$  ta được  $p=q=D$ . Vì thế, chúng ta thiết lập  $next[E]$  bằng  $D$ . Chú ý rằng, chúng ta không thiết lập  $next[A]$  bằng  $B$ , mà lại thiết lập *next* đối với nút gốc của thành phần của  $A$  bằng với nút gốc của thành phần của  $B$ .

Cuối cùng,  $(C, D)$  được kiểm tra và bị loại bỏ.

Trong hình 4.4 những cạnh trong cây bắc cầu được phân biệt bởi một dấu \* ở ngay bên cạnh các cạnh đó. Nội dung các *next* được chỉ ra bằng các cung (các cạnh hữu hướng) có mũi tên. Chẳng hạn,  $next[B]$  bằng  $D$  được chỉ ra bằng một mũi tên từ  $B$  tới  $D$ . Chú ý rằng, các cung được định nghĩa bởi *next* tạo ra một cây, nhưng nói chung cây đó không phải là một cây bắc cầu tối thiểu. Thực vậy, với trường hợp có một cung  $(E, D)$ , ngay cả khi các cung đó không cần thiết phải là một phần graph. Vì vậy, bản thân *next* chỉ định nghĩa cấu trúc thành phần khi tiến hành thực hiện thuật toán. Chúng ta tạo một danh sách hiện các cạnh được chọn dành cho việc bao gộp trong cây. Giá của cây được định nghĩa bởi *next* tương đối bằng phẳng, nghĩa là các đường đi tới các nút gốc của các thành phần là ngắn khiến *FindComponent* hoạt động hiệu quả.

Hiển nhiên, sự phức tạp của thuật toán Kruskal được quyết định bởi việc sắp xếp các cạnh, sự sắp xếp đó có độ phức tạp là  $O(m \log m)$ . Nếu có thể tìm được cây bắc cầu trước khi phải kiểm tra tất cả các cạnh thì chúng ta có thể cải tiến quá trình đó bằng cách thực hiện sắp xếp phân đoạn. Cụ thể, chúng ta có thể lưu giữ các cạnh trong một khối (heap) và sau đó lấy ra, kiểm tra mỗi cạnh cho đến khi một cây được tạo ra. Chúng ta dễ dàng biết được quá trình đó dừng vào lúc nào; chỉ đơn giản là theo dõi số lượng cạnh đã được xét và dừng lại khi đã có  $n-1$  cạnh được chấp nhận.

Chúng ta giả sử rằng, các quá trình quản lý khối (heap) như thiết lập, bổ xung và lấy dữ liệu ra là đơn giản. Điều quan trọng cần chú ý ở đây là độ phức tạp của việc thiết lập một khối (heap) có  $m$  phần tử là  $O(m)$ , độ phức tạp của việc tìm phần tử bé nhất là  $O(1)$  và độ phức tạp của việc khôi phục một khối (heap) sau khi bổ xung, xoá, hoặc thay đổi một giá trị là  $O(\log m)$ . Chính vì vậy, nếu chúng ta xét  $k$  cạnh để tìm cây bắc cầu, độ phức tạp trong việc duy trì một khối (heap) bằng  $O(m+k \log m)$ , độ phức tạp này bé hơn  $O(m \log m)$  nếu  $k$  có bậc bé hơn bậc của  $m$ .  $k$  tối thiểu bằng  $O(n)$  nên nếu graph là khá mỏng thì việc sử dụng khối (heap) sẽ không có lợi. Nếu graph là dày đặc thì việc lưu trữ đó có thể được xem xét. Đây là phiên bản cuối cùng của thuật toán Kruskal, thuật toán này tận dụng các hiệu ứng nói trên.

```
list <- Kruskal_1( n, m, lengths )
```

```

dcl length[m], ends[m,2], next[n],
solution[list],          l_heap[heap]

for each ( node , n )
    next[node]<-node

l_heap <-HeapSet(m, lengths)
#_accept <-0
solution <- ■■■■

while ( (#_accept < n-1) and
!(HeapEmpty(l_heap))
    edge <- HeapPop(*l_heap)
    c1=FindComponent(ends[edge,1], *next)
    c2=FindComponent(ends[edge,2], *next)
    if (c1 !=c2 )
next[c2] <- c1
solution <- Append ( edge , solution )
    #_accept=#_accept+1
return( solution )

```

*HeapSet* tạo ra một khối (heap) dựa vào các giá trị cho trước và trả về chính khối (heap) đó. *HeapPop* trả về chỉ số của giá trị ở đỉnh của khối (heap) chứ không phải bản thân giá trị đó. Điều này có lợi hơn việc trả về một giá trị vì từ chỉ số luôn biết được giá trị có chỉ số đó chứ từ giá trị không thể biết được chỉ số của giá trị đó. Cũng cần chú ý rằng *HeapPop* làm khối (heap) thay đổi. *HeapEmpty* trả về giá trị TRUE nếu khối (heap) rỗng. Mảng *ends* chứa các điểm cuối của các cạnh.

### Thuật toán Prim

Thuật toán này có những ưu điểm riêng biệt, đặc biệt là khi mạng dày đặc, trong việc xem xét một bài toán tìm kiếm các cây bắc cầu tối thiểu (MST). Hơn nữa các thuật toán phức tạp hơn được xây dựng dựa vào các thuật toán MST này; và một số các thuật toán này hoạt động tốt hơn với các cấu trúc dữ liệu được sử dụng cho thuật toán sau đây, thuật toán này được phát biểu bởi Prim. Tóm lại, các thuật toán này phù hợp với các quá trình thực hiện song song bởi vì các quá trình đó được thực hiện bằng các toán tử vector. Thuật toán Prim có thể được miêu tả như sau:

Bắt đầu với một nút thuộc cây còn tất cả các nút khác không thuộc cây (ở ngoài cây).

Trong khi còn có các nút không thuộc cây

    Tìm nút không thuộc cây gần nhất so với cây

    Đưa nút đó vào cây và ghi lại cạnh nối nút đó với cây

Thuật toán Prim dựa trên những định lý sau đây:

#### **Định lý 4.4.**

Một cây là một MST nếu và chỉ nếu cây đó chứa cạnh ngắn nhất trong mọi cutset chia các nút thành hai thành phần.

Để thực hiện thuật toán Prim, cần phải theo dõi khoảng cách từ mỗi nút không thuộc cây tới cây và cập nhật khoảng cách đó mỗi khi có một nút được thêm vào cây. Việc đó được thực hiện dễ dàng; đơn giản chỉ là duy trì một dãy  $d\_tree$  có các thông tin về khoảng cách đã nói ở trên. Quá trình đó tuân theo:

```
array[n] <- Prim( n , root , dist )
  dcl dist[n,n] , pred[n], d_tree[n],
  in_tree[n]

index <- FindMin()
  d_min <- INFINITY
  for each( i , n )
    if(!(in_tree[j]) and (d_tree[i]<
d_min))
      i_min <- i
      d_min <- d_tree[i]
  return ( i_min )

void <-Scan(i)
  for each ( j , n )
    if(!(in_tree[j]) and
(d_tree[j]>dist{i,j}))
      d_tree[j]<- dist[i,j]
      pred[j]<-i

  d_tree <- INFINITY
  pred <- -1
  in_tree <- FALSE
  d_tree(root)<-0
  #_in_tree <-0
  while (#_in_tree < n)
    i <- FindMin()
    in_tree[i]<- TRUE
  Scan(i)
  #_in_tree =#_in_tree + 1
  return (pred)
```

*FindMin* trả về một nút không thuộc cây và gần cây nhất. *Scan* cập nhật khoảng cách tới cây đối với các nút không thuộc cây.

Có thể thấy rằng độ phức tạp của thuật toán này là  $O(n^2)$ ; cả hai hàm *FindMin* và *Scan* có độ phức tạp là  $O(n)$  và mỗi hàm được thực hiện  $n$  lần. So sánh với thuật toán Kruskal ta thấy rằng độ phức tạp của thuật toán Prim tăng nhanh hơn so với độ phức tạp của thuật toán Kruskal nếu  $m$ , số lượng các cạnh, bằng  $O(n^2)$ , còn nếu  $m$  có cùng bậc với  $n$  thì độ phức tạp của thuật toán Kruskal tăng nhanh hơn.

Có thể tăng tốc thuật toán Prim trong trường hợp graph là một graph mỏng bằng cách chỉ quan tâm đến các nút láng giềng của nút  $i$  vừa được thêm vào cây. Nếu sẵn có các thông tin kề liền, vòng lặp *for* trong *Scan* có thể trở thành.

```
for each (j , n_adj_list[i] )
```

Độ phức tạp của *Scan* trở thành  $O(d)$  với  $d$  là bậc của nút  $i$ . Chính vì thế độ phức tạp tổng cộng của *Scan* giảm từ  $O(n^2)$  xuống  $O(m)$ .

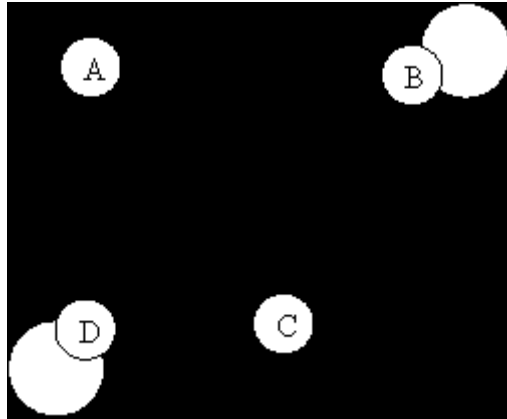
Thiết lập một tập kề liền cho toàn bộ một graph là một phép toán có độ phức tạp bằng  $O(m)$ :

```
index[n, list] <- SetAdj(n ,m, ends)
dcl ends[m,2], n_adj_list[n, list]

for node = 1 to n
    n_adj_list[node] <- ■
for edge = 1 to m
    Append(edge, n_adj_list[end[edge,1]])
    Append(edge, n_adj_list[end[edge,2]])
```

Có thể tăng tốc *FindMin* nếu ta thiết lập một khối (heap) chứa các giá trị trong  $d\_tree$ . Vì thế, chúng ta có thể lấy ra giá trị thấp nhất và độ phức tạp tổng cộng của quá trình lấy ra là  $O(n \log n)$ . Vấn đề ở chỗ là chúng ta phải điều chỉnh khối (heap) khi một giá trị trong  $d\_tree$  thay đổi. Quá trình điều chỉnh đó có độ phức tạp là  $O(m \log n)$  trong trường hợp xấu nhất vì có khả năng mỗi cạnh sẽ có một lần cập nhật và mỗi lần cập nhật đòi hỏi một phép toán có độ phức tạp là  $O(\log n)$ . Do đó, độ phức tạp của toàn bộ thuật toán Prim là  $O(m \log n)$ . Qua thí nghiệm có thể thấy rằng hai thuật toán Prim và Kruskal có tốc độ như nhau, nhưng nói chung, thuật toán Prim thích hợp hơn với các mạng dày còn thuật toán Kruskal thích hợp hơn đối với các mạng mỏng. Tuy vậy, những thuật toán này chỉ là một phần của các thủ tục lớn và phức tạp hơn, đó là những thủ tục hoạt động hiệu quả với một trong những thuật toán này.





Hình 4.2. Graph có liên kết song song và self loop

Bảng 4.1

Nút	init.	A	C	E	B	D
A	0	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)
B	100	10(A)	10(A)	10(A)	10(A)	10(A)
C	100	2(A)	2(A)	2(A)	2(A)	2(A)
D	100	100(-)	11(A)	11(A)	5(B)	5(B)
E	100	7(A)	6(C)	6(C)	6(C)	6(C)

**Ví dụ 4.4:**

Trở lại hình 4.4, giả sử rằng các cạnh không được biểu diễn có độ dài bằng 100. Thuật toán Kruskal sẽ chọn  $(A, C)$ ,  $(B, D)$ ,  $(C, E)$ , và loại  $(A, E)$  bởi vì nó tạo ra một chu trình với các cạnh đã được chọn là  $(A, C)$  và  $(C, E)$ , chọn  $(A, B)$  sau đó dừng lại vì một cây bắc cầu hoàn toàn đã được tìm thấy.

Thuật toán Prim bắt đầu từ nút A, nút A sẽ được thêm vào cây. Tiếp theo là các nút C, E, B và D. Bảng 4.1 tổng kết các quá trình thực hiện của thuật toán Prim, biểu diễn  $d_{tree}$  và  $pred$  khi thuật toán thực hiện. Cuối thuật toán,  $pred[B]$  là A, tương ứng với  $(A, B)$  là một phần của cây. Tương tự,  $pred$  chỉ ra  $(A, C)$ ,  $(B, D)$  và  $(C, E)$  là các phần của cây. Vì vậy, thuật toán Prim sẽ lựa chọn được cây giống với cây mà thuật toán Kruskal nhưng thứ tự các liên kết được lựa chọn là khác nhau.

Một *đường đi* trong một mạng là một chuỗi liên tiếp các liên kết bắt đầu từ một nút s nào đó và kết thúc tại một nút t nào đó. Những đường đi như vậy được gọi là một *đường đi s, t*. Chú ý rằng thứ tự các liên kết trong đường đi là có ý nghĩa. Một đường đi có thể là hữu hướng hoặc vô hướng tùy thuộc vào việc các thành phần của nó là các liên kết hay là các cung. Người ta gọi một đường đi là đường đi đơn giản nếu không có nút nào xuất hiện quá hai lần trong đường đi đó. Chú ý rằng một đường đi đơn giản trong một graph đơn giản có thể được biểu

diễn bằng chuỗi liên tiếp các nút mà đường đi đó chứa vì chuỗi các nút đó biểu diễn duy nhất một chuỗi các liên kết .

Nếu  $s$  trùng với  $t$  thì đường đi đó gọi là một **chu trình**, và nếu một nút trung gian xuất hiện không quá một lần thì chu trình đó được gọi là **chu trình đơn giản**. Một chu trình đơn giản trong một graph đơn giản có thể được biểu diễn bởi một chuỗi các nút liên tiếp.

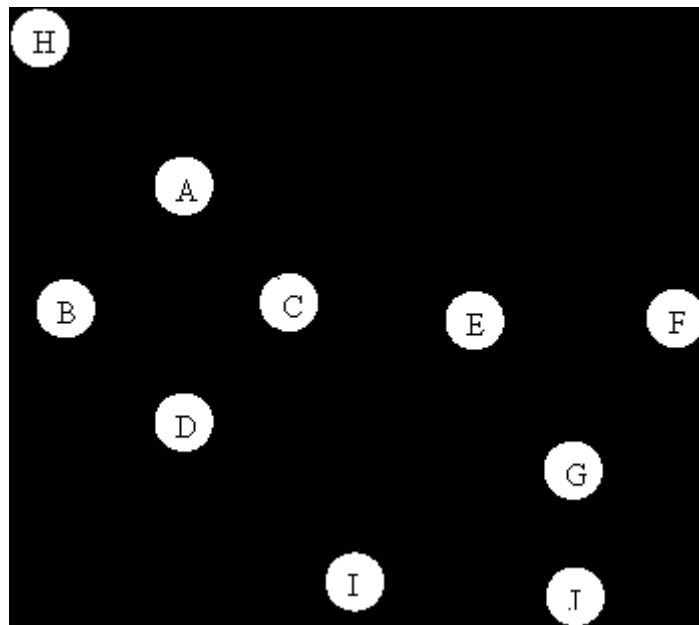
**Ví dụ 4.5:**

Xét graph hữu hướng trong hình 4.4. Các thành phần liên thông bền được xác định bởi

$$\{A B C D\} \{E F G\} \{H\} \{I\} \{J\}$$

Các cung  $(A, H)$ ,  $(D, I)$ ,  $(I, J)$  và  $(J, G)$  không là một phần một thành phần liên thông bền nào cả. Xem graph trong hình 4.3 là một graph vô hướng (nghĩa là xem các cung là các liên kết vô hướng), thì graph này có một thành phần duy nhất, vì thế nó là một graph liên thông.

Cho một graph  $G = (V, E)$ ,  $H$  là một **graph con** nếu  $H = (V', E')$ , trong đó  $V'$  là tập con của  $V$  and  $E'$  là tập hợp con của  $E$ . Các tập con này có thể có hoặc không tuân theo quy định đã nêu.



Hình 4.4. Graph hữu hướng

Một graph không hề chứa các chu trình gọi là một **cây**. Một **cây bắc cầu** là một graph liên thông không có các chu trình. Những graph như vậy được gọi một cách đơn giản là cây. Khi graph không liên thông hoàn toàn được gọi là một **rừng**. Chúng ta thường đề cập các cây trong các graph vô hướng.

Trong các graph hữu hướng, có một cấu trúc tương tự với cây gọi là **cây phân nhánh**. Một cây phân nhánh là một graph hữu hướng có các đường đi từ một nút (gọi là **nút gốc của cây phân nhánh**) tới tất cả các nút khác hoặc nói một cách khác là graph hữu hướng có các

đường đi từ tất cả các nút khác đến nút gốc. Một cây phân nhánh sẽ trở thành một cây nếu nó là vô hướng.

Các cây bắc cầu có rất nhiều thuộc tính đáng quan tâm, những thuộc tính đó khiến cho các cây bắc cầu rất hữu ích trong quá trình thiết kế mạng truyền thông. Thứ nhất, các cây bắc cầu là liên thông tối thiểu có nghĩa là: chúng là các graph liên thông nhưng không tồn tại một tập con các cạnh nào trong cây tạo ra một graph liên thông. Chính vì vậy, nếu mục đích chỉ đơn giản là thiết kế một mạng liên thông có giá tối thiểu thì giải pháp tối ưu nhất là chọn một cây. Điều này có thể hiểu được vì trong một cây luôn có một và chỉ một đường đi giữa một cặp nút. Điều đó không gây khó khăn đáng kể trong việc định tuyến trong cây và làm đơn giản các thiết bị truyền thông liên quan đi rất nhiều.

Chú ý rằng một graph có  $N$  nút thì bất kỳ một cây nào bắc cầu tất cả các nút thì có đúng  $(N-1)$  cạnh. Bất kỳ một rừng nào có  $k$  thành phần thì chứa đúng  $(N-k)$  cạnh. Nhận xét này có thể suy ra từ lập luận sau: khi có một graph có  $N$  nút và không có cạnh nào thì có  $N$  thành phần, và cứ mỗi cạnh thêm vào nhằm kết nối hai thành phần thì số lượng thành phần giảm đi một.

Một tập hợp các cạnh mà sự biến mất của nó chia cắt một graph (hay nói một cách khác là làm tăng số lượng thành phần của graph) được gọi là một **tập chia cắt**. Một tập chia cắt nào đó chia cắt các nút thành hai tập  $X$  và  $Y$  được gọi là một **cutset** hoặc một **XY-cutset**. Hầu hết các vấn đề cần quan tâm đều liên quan đến các cutset tối thiểu (nghĩa là các cutset không phải là tập con của một cutset khác). Trong một cây, một cạnh bất kỳ là một cutset tối thiểu. Một tập tối thiểu các nút mà sự biến mất của nó phân chia các nút còn lại thành hai tập gọi là một **cut**. Các vấn đề cần quan tâm cũng thường liên quan đến các **cut** tối thiểu.

#### Ví dụ 4.6:

Hình 4.4 biểu diễn một graph vô hướng. Các tập các liên kết

$$\{(A, C), (B, D)\}$$

và

$$\{(C, E), (D, E), (E, F)\}$$

là các ví dụ của các cutset tối thiểu.

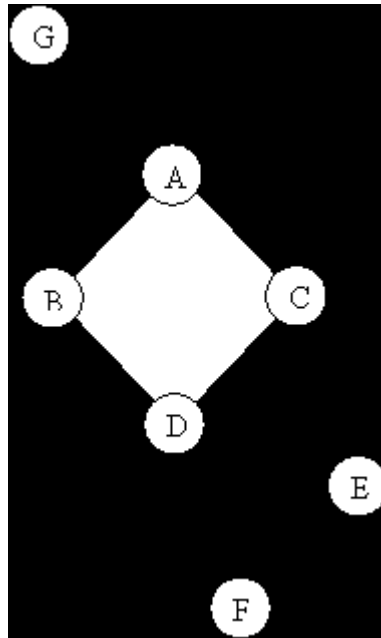
Tập cuối cùng là một ví dụ về một loại tập trong đó tập các liên kết đi tới một nút thành viên bất kỳ đều là một cutset và các cutset đó chia cắt nút đó ra khỏi các nút khác.

Tập  $(C, D)$  là một cut. Nút  $A$  cũng là một cut. Một nút duy nhất mà sự biến mất của nó chia cắt graph gọi là một điểm khớp nối.

Tập hợp các liên kết:

$$\{(A, B), (A, C), (A, G), (C, D), (C, E), (E, F)\}$$

là một cây. Bất kỳ tập con nào của tập này, kể cả tập đầy hay tập rỗng, đều là một rừng.



Hình 4.4. Các cutset, các cut, các cây

### 4.3. Các mô hình định tuyến thông dụng

#### 4.3.1. Định tuyến ngắn nhất (Shortest path Routing)

Bài toán tìm các đường đi ngắn nhất là một bài toán khá quan trọng trong quá trình thiết kế và phân tích mạng. Hầu hết các bài toán định tuyến có thể giải quyết như giải quyết bài toán tìm đường đi ngắn nhất khi một "độ dài" thích hợp được gắn vào mỗi cạnh (hoặc cung) trong mạng. Trong khi các thuật toán thiết kế thì cố gắng tìm kiếm cách tạo ra các mạng thoả mãn tiêu chuẩn độ dài đường đi.

Bài toán đơn giản nhất của loại toán này là tìm đường đi ngắn nhất giữa hai nút cho trước. Loại bài toán này có thể là bài toán tìm đường đi ngắn nhất từ một nút tới tất cả các nút còn lại, tương đương bài toán tìm đường đi ngắn nhất từ tất cả các điểm đến một điểm. Đôi khi đòi hỏi phải tìm đường đi ngắn nhất giữa tất cả các cặp nút. Các đường đi đôi khi có những giới hạn nhất định (chẳng hạn như giới hạn số lượng các cạnh trong đường đi).

Tiếp theo, chúng ta xét các graph hữu hướng và giả sử rằng đã biết độ dài của một cung giữa mỗi cặp nút  $i$  và  $j$  là  $l_{ij}$ . Các độ dài này không cần phải đối xứng. Khi một cung không tồn tại thì độ dài  $l_{ij}$  được giả sử là rất lớn (chẳng hạn lớn gấp  $n$  lần độ dài cung lớn nhất trong mạng). Chú ý rằng có thể áp dụng quá trình này cho các mạng vô hướng bằng cách thay mỗi cạnh bằng hai cung có cùng độ dài. Ban đầu giả sử rằng  $l_{ij}$  là dương hoàn toàn; sau đó giả thiết này có thể được thay đổi.

## Thuật toán Dijkstra

Tất cả các thuật toán tìm đường đi ngắn nhất đều dựa vào các nhận xét được minh họa trên hình 4.5, đó là việc lồng nhau giữa các đường đi ngắn nhất nghĩa là một nút  $k$  thuộc một đường đi ngắn

nhất từ  $i$  tới  $j$  thì đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $j$  sẽ bằng đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $k$  kết hợp với đường đi ngắn nhất từ  $j$  tới  $k$ . Vì thế, chúng ta có thể tìm đường đi ngắn nhất bằng công thức đệ quy sau:

$$d_{ij} = \min_k (d_{ik} + l_{kj})$$

$d_{xy}$  là độ dài của đường đi ngắn nhất từ  $x$  tới  $y$ . Khó khăn của cách tiếp cận này là phải có một cách khởi động đệ quy nào đó vì chúng ta không thể khởi động với các giá trị bất kỳ ở vế phải của phương trình 4.2. Có một số cách để thực hiện việc này, mỗi cách là cơ sở cho một thuật toán khác nhau.



Hình 4.5. Các đường ngắn nhất lồng nhau

Thuật toán Dijkstra phù hợp cho việc tìm đường đi ngắn nhất từ một nút  $i$  tới tất cả các nút khác. Bắt đầu bằng cách thiết lập

$$d_{ii} = 0$$

và

$$d_{ij} = \begin{cases} l_{ij} & \text{if } i \text{ and } j \text{ are adjacent} \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

sau đó thiết lập

$$d_{ij} \text{ là nút } j \text{ là nút kề cận của } i$$

Sau đó tìm nút  $j$  có  $d_{ij}$  là bé nhất. Tiếp đó lấy chính nút  $j$  vừa chọn để khai triển các khoảng cách các nút khác, nghĩa là bằng cách thiết lập

$$d_{ik} = \min (d_{ik}, d_{ij} + l_{jk})$$

Tại mỗi giai đoạn của quá trình, giá trị của  $d_{ik}$  là giá trị ước lượng hiện có của đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $k$ , và thực ra là độ dài đường đi ngắn nhất đã được tìm cho tới thời điểm đó. Xem  $d_{jk}$  như là nhãn trên nút  $k$ . Quá trình sử dụng một nút để triển khai các nhãn cho các nút khác gọi là quá trình quét nút.

Thực hiện tương tự, tiếp tục tìm các nút chưa được quét có nhãn bé nhất và quét nó. Chú ý rằng, vì giả thiết rằng tất cả các  $l_{jk}$  đều dương do đó một nút không thể gán cho nút khác một nhãn bé hơn chính nhãn của nút đó. Vì vậy, khi một nút được quét thì việc quét lại nó nhất thiết không bao giờ xảy ra. Vì thế, mỗi nút chỉ cần được quét một lần. Nếu nhãn trên một nút thay đổi, nút đó phải được quét lại. Thuật toán Dijkstra có thể được viết như sau:

```

array[n] <-Dijkstra (n, root, dist)
  dcl dist[n,n], pred[n], sp_dist[n],
  scanned[n]

  index <- FindMin( )
  d_min <- INFINITY
  for each (i , n )
    if (!(scanned[j])&& (sp_dist[i]<
d_min) )
      i_min <- i
      d_min <- sp_dist[i]
  return (i_min)

void <- Scan( i )
  for each ( j , n)
    if((sp_dist[j] > sp_dist[i] +
dist[i,j]))
      sp_dist[j]<- sp_dist[i] +
dist[i,j]
      pred[j]<- i

  sp_dist<- INFINITY
  pred <- -1
  scanned <-FALSE
  sp_dist[root]<- 0
  #_scanned <- 0

  while (#_scanned < n )
    i <- FindMin()
    Scan( i )
    #_scanned= #_scanned + 1
return ( pred )

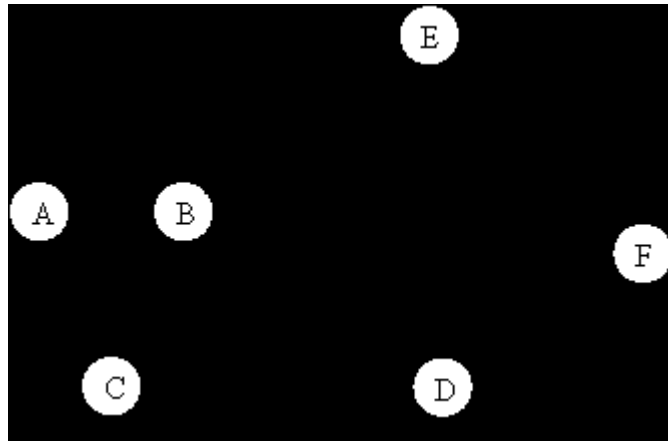
```

Trong thuật toán đã viết ở trên, hàm chỉ trả về dãy *pred* , dãy này chứa tất cả các đường đi. Hàm cũng có thể trả về dãy *sp\_dist*, dãy này chứa độ dài của các đường đi, hoặc hàm trả về cả hai dãy nếu cần thiết.

Thuật toán trông rất quen thuộc. Nó gần giống với thuật toán tìm cây bắc cầu tối thiểu Prim. Chỉ khác nhau ở chỗ, các nút trong thuật toán này được gắn nhãn là độ dài của toàn bộ đường đi chứ không phải là độ dài của một cạnh. Chú ý rằng thuật toán này thực hiện với graph hữu hướng trong khi thuật toán Prim chỉ thực hiện với graph vô hướng. Tuy nhiên về mặt cấu trúc, các thuật toán là rất đơn giản. Độ phức tạp của thuật toán Dijkstra, cũng giống như độ phức tạp của thuật toán Prim , là  $O(N^2)$ .

Cũng giống như thuật toán Prim, thuật toán Dijkstra thích hợp với các mạng dày và đặc biệt thích hợp với các quá trình thực hiện song song (ở đây phép toán scan có thể được thực hiện song song, về bản chất độ phức tạp của quá trình đó là  $O(1)$  chứ không phải là  $O(N)$ ). Hạn chế

chủ yếu của thuật toán này là không có được nhiều ưu điểm khi mạng là mỏng và chỉ phù hợp với các mạng có độ dài các cạnh là dương.



Hình 4.6. Các đường đi ngắn nhất từ A

**Ví dụ 4.7:**

Xét một mạng trong hình 4.6. Mục tiêu ở đây là tìm các đường đi ngắn nhất từ nút A tới các nút khác. Khởi đầu, A được gán nhãn 0 và các nút khác được gán nhãn là vô cùng lớn. Quét nút A, B được gán bằng 5 và C được gán là 1. C là nút mang nhãn bé nhất nên sau đó C được quét và B được gán bằng 4 ( $=1+3$ ), trong khi D được gán bằng 6. Tiếp theo B (có nhãn bằng 4) được quét; D và E được gán lần lượt là 5 và 10. Sau đó D (có nhãn bằng 5) được quét và F được gán bằng 9. E được quét và dẫn đến không có nhãn mới. F là nút có nhãn bé nhất nên không cần phải quét vì không có nút nào phải đánh nhãn lại. Mỗi nút chỉ được quét một lần. Chú ý rằng việc quét các nút có các nhãn theo thứ tự tăng dần là một điều cần lưu ý vì trong quá trình thực hiện thuật toán một số nút được đánh lại số. Các nút được quét ngay tức thì hoặc là phải được quét lại sau đó.

Chú ý rằng các đường đi từ A đến các nút khác (nghĩa là (A, C), (C, B), (B, D), (B, E) và (D, F)) tạo ra một cây. Điều này không là một sự trùng hợp ngẫu nhiên. Nó là hệ quả trực tiếp từ việc lồng nhau của các đường đi ngắn nhất. Chẳng hạn, nếu k thuộc đường đi ngắn nhất từ i tới j thì đường đi ngắn nhất từ i tới j sẽ là tổng của đường đi ngắn nhất từ i tới k và đường đi ngắn nhất từ k tới j.

Tương tự như trong ví dụ minh họa cho thuật toán Prim, kết quả của ví dụ trên có thể được trình bày một cách ngắn gọn như bảng sau:

Bảng 4.2

Nút	init.	A(0)	C(1)	B(4)	D(5)	F(9)	E(10)
A	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)
B	■(-)	5(A)	4(C)	4(C)	4(C)	4(C)	4(C)
C	■(-)	1(A)	1(A)	1(A)	1(A)	1(A)	1(A)
D	■(-)	■(-)	6(C)	5(B)	5(B)	5(B)	5(B)
E	■(-)	■(-)	■(-)	10(B)	10(B)	10(B)	10(B)
F	■(-)	■(-)	■(-)	■(-)	9(D)	9(D)	9(D)

### Thuật toán Bellman

Một thuật toán khác của dạng thuật toán Dijkstra do Bellman phát biểu và sau đó được Moore và Page phát triển, đó là việc quét các nút theo thứ tự mà chúng được đánh nhãn. Việc đó loại trừ việc phải tìm nhãn nhỏ nhất, nhưng tạo ra khả năng; một nút có thể cần quét nhiều hơn một lần.

Trong dạng đơn giản nhất, thuật toán Bellman duy trì một hàng đợi các nút để quét. Khi một nút được đánh nhãn nó được thêm vào hàng đợi trừ khi nó đã tồn tại trong hàng đợi. Hàng đợi được quản lý theo quy tắc vào trước, ra trước. Vì thế các nút được quét theo thứ tự mà chúng được đánh nhãn. Nếu một nút được đánh nhãn lại sau khi nút đó được quét thì nó được thêm vào sau hàng đợi và được quét lần nữa.

#### Ví dụ 4.8:

Trong ví dụ ở hình 4.6, chúng ta bắt đầu quá trình bằng các đặt nút A vào hàng đợi. Quét A các nhãn 5 và 1 lần lượt được gán cho nút B và C, đồng thời các nút B và C được đưa vào hàng đợi (vì các nút này nhận giá trị mới và chưa có mặt trong hàng đợi). Tiếp đó chúng ta quét nút B và các nút E và D được đánh nhãn lần lượt là 11 và 6. D và E cũng được đặt vào hàng đợi. Sau đó chúng ta quét C, khi đó B được gán nhãn là 4 và lại được đặt vào sau hàng đợi. E được quét và F được gán nhãn 13 và đưa vào hàng đợi. D được quét và F được gán nhãn là 10; F vẫn còn ở trong hàng đợi nên F không được đưa vào hàng đợi. B được quét lần thứ hai. trong lần quét này E và D lần lượt được đánh nhãn là 10 và 5 đồng thời cả hai nút được đặt vào hàng đợi. F được quét và không đánh nhãn nút nào cả. E được quét không đánh nhãn nút nào cả. D được quét và F được đánh nhãn 9 và được đưa vào hàng đợi. F được quét và không đánh dấu nút nào cả.

Các nút B, C, D và F được quét hai lần. Đó là cái giá phải trả cho việc không quét các nút theo thứ tự. Mặt khác trong thuật toán này không cần thiết phải tìm kiếm các nút có nhãn nhỏ nhất.

Cũng như trong hai ví dụ 4.4 và 4.5 cho thuật toán Prim và thuật toán Dijkstra, chúng ta có thể trình bày kết quả của các quá trình trong ví dụ này như trong bảng sau



Bảng 4.3

Nút	init.	A(0)	B(5)	C(1)	E(11)	D(6)
A	0(-)	A 0(-)	B 0(-)	C 0(-)	E 0(-)	D 0(-)
B	■(-)	5(A)	C 5(A)	E 4(C)	D 4(C)	B 4(C)
C	■(-)	1(A)	1(A)	D 1(A)	B 1(A)	F 1(A)
D	■(-)	■(-)	6(B)	6(B)	6(B)	6(B)
E	■(-)	■(-)	11(B)	11(B)	11(B)	11(B)
F	■(-)	■(-)	■(-)	■(-)	13(E)	10(D)
		B(4)	F(10)	E(10)	D(5)	F(9)
A		0(-)	F 0(-)	E 0(-)	D 0(-)	F 0(-)
B		4(C)	E 4(C)	D 4(C)	4(C)	4(C)
C		1(A)	D 1(A)	1(A)	1(A)	1(A)
D		5(B)	5(B)	5(B)	5(B)	5(B)
E		10(B)	10(B)	10(B)	10(B)	10(B)
F		10(D)	10(D)	10(D)	9(D)	9(D)

Thuật toán có thể viết như sau:

```

array[n]<-Bellman (n, root, dist)
dcl dist[n][n], pred[n], sp_dist[n],
in_queue[n]
    scan_queue[queue]

void <- Scan( i )
    in_queue[i]<- FALSE
for j=1 to n
    if((sp_dist[j] > sp_diat[i] +
dist[i,j]))
        sp_dist[j]<- sp_diat[i] +
dist[i,j]
        pred[j]<- i
        if ( not ( in_queue[j] ) )
            Push(scan_queue, j )
            in_queue[j]<- TRUE

sp_dist<- INFINITY
pred <- -1
in_queue <-FALSE
initialize_queue( scan_queue )
sp_dist[root]<- 0
Push(scan_queue , root )
in_queue <-TRUE
    
```

```
while (not (Empty( scan_queue ))
      i <- Pop(scan_queue)
      Scan( i )

return ( pred )
```

Một hàng đợi chuẩn được sử dụng quá trình trên. Có thể sử dụng dãy *in\_queue* để theo dõi nút nào đang hiện có trong hàng đợi.

Theo quá trình được viết ở trên thì thuật toán Bellman là một quá trình tìm kiếm theo chiều rộng. Người ta đã chứng minh được rằng trong trường hợp xấu nhất, một nút được quét  $n-1$  lần. Vì vậy quá trình quét trong trường hợp xấu nhất có độ phức tạp là  $O(n)$  với  $n$  là số lượng các nút. Từ đó suy ra rằng độ phức tạp của toàn bộ thuật toán là  $O(n^3)$ . Tuy nhiên trong thực tế các nút không thường xuyên được quét lại nhiều lần.

Trong hầu hết các trường hợp thực tế, số lần quét trung bình trên một nút là rất nhỏ, tối đa là 3 hoặc 4, ngay cả khi mạng có hàng ngàn nút. Nếu bậc trung bình của nút nhỏ, điều này thường xảy ra trong các mạng thực tế, thì thời gian cho việc tìm kiếm nút chưa quét bé nhất là phần có ảnh hưởng nhất của thuật toán Dijkstra. Vì vậy trong thực tế thuật toán Bellman được xem là nhanh hơn so với thuật toán Dijkstra mặc dù độ phức tạp trong trường hợp xấu nhất của thuật toán Bellman lớn hơn.

Tương tự có thể cải tiến độ phức tạp của thủ tục *Scan* bằng cách duy trì một danh sách kề cận cho mỗi nút. Độ phức tạp của *Scan* trở thành  $O(d)$  thay vì  $O(n)$  với  $d$  là bậc của nút đang quét. Vì vậy, trên thực tế độ phức tạp của thuật toán Bellman thường bằng  $O(E)$  với  $E$  là số cạnh của graph.

Ngoài việc có thể cải thiện chất lượng trung bình của thuật toán trong nhiều trường hợp, thuật toán Bellman còn có một ưu điểm nữa đó là thuật toán hoạt động ngay cả khi độ dài các cạnh là các giá trị âm. Thuật toán Dijkstra dựa vào quy tắc: một nút không thể gán cho nút khác một nhãn bé hơn nhãn của chính nút. Điều đó chỉ đúng khi không có các cung có độ dài là âm trong khi thuật toán Bellman không cần phải giả thiết như vậy và quét lại các nút mỗi khi nút đó được gán nhãn lại. Vì thế, thuật toán này rất phù hợp khi xuất hiện các cung có độ dài âm. Tuy nhiên cần chú ý rằng khi graph có một chu trình có tổng độ dài âm thì thậm chí thuật toán Bellman cũng không khả dụng. Trong trường hợp này, thuật toán không kết thúc và các nút tiếp tục đánh nhãn các nút khác một cách vô hạn. Có một số dạng khác nhau của thuật toán Bellman, ngoài thuật toán này ra còn có một số các thuật toán tìm đường đi ngắn nhất từ một điểm tới các điểm khác trong trường hợp khác nhau.

### **Thuật toán Floyd**

Có thể thấy rằng bài toán tìm kiếm đường ngắn nhất giữa mọi cặp nút nặng nề gấp  $N$  lần bài toán tìm đường đi ngắn nhất từ một nút đến tất

cả các nút khác. Một khả năng có thể đó là sử dụng thuật toán Bellman hoặc thuật toán Dijkstra  $N$  lần, bắt đầu từ mỗi nút nguồn. Một khả năng khác, đặc biệt thích hợp với các mạng dày, là sử dụng thuật toán Floyd.

Thuật toán Floyd dựa vào quan hệ đệ quy đã được trình bày trong phần giới thiệu thuật toán Dijkstra, nhưng thuật toán này sử dụng quan hệ đệ quy đó theo một cách khác. Lúc này,  $d_{ij}(k)$  được định nghĩa là đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $j$  sử dụng các nút được đánh số là  $k$  hoặc thấp hơn như là các nút trung gian. Vì thế  $d_{ij}(0)$  được định nghĩa như là  $l_{ij}$ , độ dài của liên kết từ nút  $i$  tới nút  $j$ , nếu liên kết đó tồn tại hoặc  $d_{ij}(0)$  sẽ bằng vô cùng nếu liên kết đó không tồn tại. Vì vậy,

$$d_{ij}(k) = \min (d_{ij}(k-1), d_{ik}(k-1) + d_{kj}(k-1))$$

nghĩa là, chúng ta chỉ quan tâm đến việc sử dụng nút  $k$  như là một điểm quá giang cho mỗi đường đi từ  $i$  tới  $j$ . Thuật toán có thể được viết như sau:

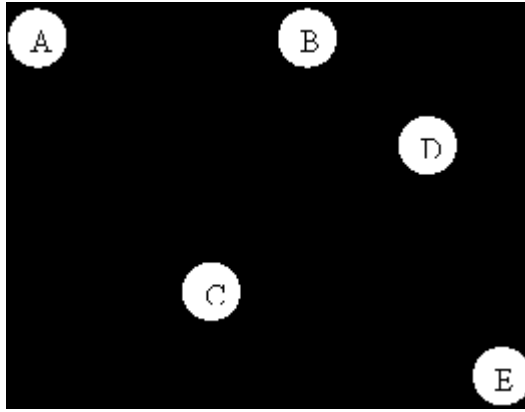
```
array[n] <-Floyd (n, dist)
  dcl dist[n][n], pred[n][n], sp_dist[n,n]

  for each (i , n )
    for each (i , n )
      sp_dist[i,j] <- dist[i, j]
      pred[i, j]<- i

  for each (k , n )
    for each (i , n )
      for each (j , n )
        if((sp_dist[i,j]> sp_dist[i,k] +
dist[k,j]))
          sp_dist[i,j]<- sp_dist[i,k] +
dist[k,j]
          pred[i, j]<- pred[k,j]

  return ( pred )
```

$pred[i, j]$  chứa nút trung gian cuối cùng của đường đi từ  $i$  tới  $j$  và có thể được sử dụng để khôi phục đường đi từ  $i$  tới  $j$ . Giống như thuật toán Bellman, thuật toán Floyd hoạt động cả với các độ dài cung là âm. Nếu xuất hiện các chu trình có tổng độ dài âm thì thuật toán Floyd dừng lại nhưng không bảo đảm các đường đi là ngắn nhất. Các chu trình có tổng độ dài âm có thể được nhận biết nhờ sự xuất hiện của các con số âm trên đường chéo chính của dãy  $sp\_dist$ .



Hình 4.7: Ví dụ graph

**Ví dụ 4.9:**

Xét graph trong hình 4.7. Bảng chứa khoảng cách ban đầu và bảng chứa nút trung gian cuối cùng của mỗi đường đi được cho trước như sau:

		Đến							Đến				
		A	B	C	D	E			A	B	C	D	E
T ừ	A	0	3	2	-	-	T ừ	A	A	A	A	A	A
	B	-	0	-	2	-		B	B	B	B	B	B
	C	-	5	0	-	2		C	C	C	C	C	C
	D	-	-	1	0	1		D	D	D	D	D	D
	E	-	-	-	-	0		E	E	E	E	E	E
<i>sp_dist</i>						<i>pred</i>							

Chú ý rằng *sp\_dist* có các giá trị 0 trên đường chéo chính và vô cùng lớn (được biểu diễn là dấu "-") nếu giữa hai nút không tồn tại một liên kết. Ngoài ra vì graph là graph hữu hướng và không đối xứng nên *sp\_dist* cũng không đối xứng.

Xét A ta thấy A là một nút trung gian không ảnh hưởng đến các dãy này vì không có cung nào đi tới nó và vì thế không có đường đi nào đi qua A. Tuy nhiên, xét nút B ta thấy rằng nút B gây nên sự thay đổi ở vị trí (A, D) và (C, D) trong các dãy trên, cụ thể như sau :

		Đến							Đến				
		A	B	C	D	E			A	B	C	D	E
T ừ	A	0	3	2	5	-	T ừ	A	A	A	A	B	A
	B	-	0	-	2	-		B	B	B	B	B	B
	C	-	5	0	7	2		C	C	C	C	B	C

D	-	-	1	0	1
E	-	-	-	-	0
<i>sp_dist</i>					

D	D	D	D	D	D
E	D	D	D	D	D
<i>pred</i>					

Tiếp tục xét các nút *C*, *D* và *E* thì gây nên sự thay đổi cụ thể như sau:

		Đến				
		A	B	C	D	E
T ừ	A	0	3	2	5	4
	B	-	0	3	2	3
	C	-	5	0	7	2
	D	-	6	1	0	1
	E	-	-	-	-	0
		<i>sp_dist</i>				

		Đến				
		A	B	C	D	E
T ừ	A	A	A	A	B	C
	B	B	B	D	B	D
	C	C	C	C	B	C
	D	D	C	D	D	D
	E	E	E	E	E	E
		<i>pred</i>				

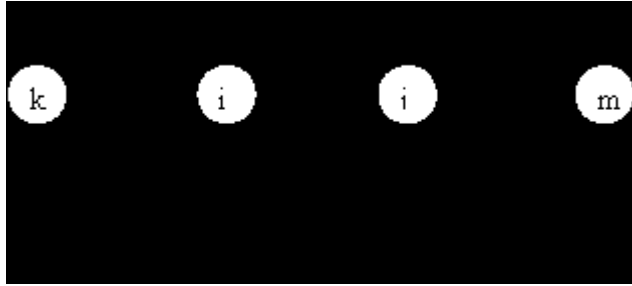
### Các thuật toán tìm đi ngắn nhất mở rộng

Trong quá trình thiết kế và phân tích mạng đôi khi chúng ta phải tìm đường đi ngắn nhất giữa mọi cặp các nút (hoặc một số cặp) sau khi có sự thay đổi độ dài một cung. Việc thay đổi này bao gồm cả việc thêm hoặc loại bỏ một cung (trong trường hợp đó độ dài của cung có thể được xem như là chuyển từ không xác định thành xác định hoặc ngược lại). Vì thế ta giả thiết rằng đường đi ngắn nhất giữa tất cả các cặp nút là biết trước và bài toán đặt ra ở đây là xác định (nếu có) những sự thay đổi do việc thay đổi độ dài của một cung nào đó. Thuật toán sau đây được Murchland phát biểu, trong đó xem xét riêng rẽ cho từng trường hợp: tăng và giảm độ dài của các cung. Những thuật toán này hoạt động với các graph hữu hướng và có thể hoạt động với các độ dài cung là âm, tuy nhiên thuật toán này vẫn không giải quyết các chu trình có tổng độ dài là âm.

#### Độ dài cung giảm

Giả sử rằng độ dài cung  $(i, j)$  được giảm. Vì sự lồng nhau trong các đường đi ngắn nhất (nghĩa là một nút  $k$  thuộc một đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $j$  thì đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $j$  sẽ bằng đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $k$  hợp với đường đi ngắn nhất từ  $j$  tới  $k$ ) nên nếu cung  $(i, j)$  không phải là đường đi ngắn nhất sau khi cung này được làm ngắn (trong trường hợp này cung  $(i, j)$  có thể không phải là đường đi ngắn nhất trước khi độ dài của cung  $(i, j)$  bị thay đổi) thì nó không phải là một phần của đường đi ngắn nhất nào cả và sự thay đổi được bỏ qua. Tương tự, nếu  $(i, j)$  là một phần của đường đi ngắn nhất từ  $k$  tới  $m$  thì nó phải là một phần của đường đi ngắn nhất từ  $k$  tới  $j$  và đường đi ngắn nhất từ  $i$  tới  $m$ . Thực ra, đường đi ngắn nhất từ  $k$  tới  $m$  mới phải

chuyển các đường đi từ  $k$  tới  $i$  cũ, liên kết  $(i, j)$  và đường đi từ  $j$  tới  $m$ . Điều này được biểu diễn trong hình 4.8.



Hình 4.8. Đường đi ngắn nhất mở rộng khi  $(i, j)$  được làm ngắn

Vì thế cần phải quét các nút  $i$  và  $j$  để tìm các tập  $K$  và  $M$  thích hợp chứa các nút  $k$  và  $m$  như trong hình 4.8 và thực hiện việc xét các cặp nút, mỗi nút từ một tập ( $K$  hoặc  $M$  đã nói ở trên). Với  $i$  thuộc  $K$  và  $j$  thuộc  $M$  thực hiện việc kiểm tra điều kiện sau

$$d_{km} > d_{ki} + d_{jm}$$

nếu đúng, cập nhật  $d_{km}$  và nút trung gian cuối cùng của đường đi này. Thuật toán này có thể được viết như sau:

```
(array[n,n], array[n,n]) <-
  sp_decrease(n,i,j,length,*dist,sp_dist,pred )

dcl dist[n,n], pred[n,n], sp_dist[n,n],
     setk[set], setm[set]

dist[i, j]<- length
if(length >=sp_dist[i,j])
  return( sp_dist, pred )

setk <- 
setm <- 
for each (k, n)
  if(sp_dist[k,j]> sp_dist[k,i] + length)
    append(k, setk )

for each (m, n)
  if(sp_dist[i,m]> sp_dist[j,m] + length)
    append(m, setm )

for each (k , setk )
  for each (m , setm )
    if(sp_dist[k,m]>
sp_dist[k,i] + length + sp_dist[j,m])
      sp_dist[k,m]<-
sp_dist[k,i] + length + sp_dist[j,m]
      if ( j = m )
pred[k, m]<- i
```

```

else
pred[k, m] <- pred[j, m]
return ( sp_dist , pred )

```

Thuật toán trả về *sp\_dist* và *pred*, đường đi ngắn nhất đã được cập nhật và các dãy chứa nút trung gian cuối cùng của mỗi đường đi ngắn nhất. Hàm được xây dựng trong đoạn giả mã trên có đầu vào là dãy chứa các độ dài của các liên kết hiện có *dist*, điểm cuối (*i* và *j*) của liên kết mới được làm ngắn và độ dài mới của liên kết được làm ngắn *length*. ████ là danh sách rỗng.

Có thể thấy rằng, trong trường hợp xấu nhất độ phức tạp của thủ tục trên là  $O(n^2)$  vì trong thủ tục trên có hai vòng lặp có độ phức tạp trong trường hợp xấu nhất là  $O(n)$ . Trong thực tế, trường hợp cả hai tập đều có độ phức tạp là  $O(n)$  là ít khi gặp và vì thế độ phức tạp thực tế của thuật toán thường thấp hơn nhiều.

### Độ dài cung tăng

Bây giờ xét trường hợp một liên kết (*i, j*) được kéo dài hoặc bị loại bỏ khỏi graph (trong trường hợp này độ dài của liên kết được xem là vô cùng lớn). Nếu (*i, j*) không phải là một phần của đường đi ngắn nhất từ *k* tới *m* trước khi độ dài liên kết (*i, j*) được tăng lên thì sau đó liên kết này chắc chắn cũng không thuộc đường đi ngắn nhất từ *k* tới *m*. Vì vậy cần kiểm tra cặp (*k, m*) có đường đi ngắn nhất thỏa mãn điều kiện:

$$d_{km} = d_{ki} + l_{ij} + d_{jm}$$

Chú ý rằng, nếu  $l_{ij}$  không phải là một phần của đường đi ngắn nhất từ *i* tới *j* thì không có thay đổi nào xảy ra. Thuật toán này có thể được viết như sau:

```

(array[n,n], array[n,n]) <-
  sp_increase(n,i,j,*dist,length,
  sp_dist,pred )

dcl dist[n,n], pred[n,n], pairs[set]

if(length > sp_dist[i,j])
  dist[i,j] <- length
return( sp_dist, pred )

pairs <- ████
for each (k, n)
  for each (m, n)
if(sp_dist[k,m]=
  sp_dist[k,i] + dist[i,j] + sp_dist[i,m])
  append( (k,m), pairs )
  sp_dist[k,m] <- dist[k,m]

dist[i,j] <- length

```

```

for each ( a , n )
  for each ((k,m) , pairs )
    if(sp_dist[k,m] > sp_dist[k,a]+
sp_dist[a,m])
      sp_dist[k,m]<- sp_dist[k,a]+
sp_dist[a,m]
      pred[k, m]<- pred[a, m]

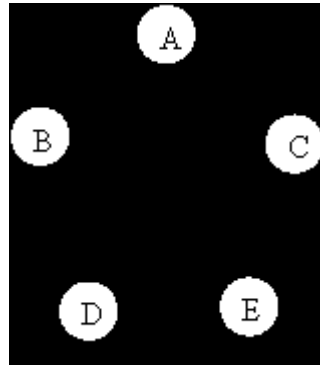
return ( sp_dist , pred )

```

Trong trường hợp này, *pairs* là một tập các cặp nút cần phải được kiểm tra. Vì vậy, các phần tử của *pairs* là các cặp nút. Thuật toán này có các tham số vào ra giống như thuật toán cập nhật các đường đi ngắn nhất khi giảm độ dài một cung.

Về bản chất thuật toán này giống như thuật toán Floyd, chỉ khác nhau ở chỗ thuật toán này chỉ hoạt động với các cặp được chọn chứa liên kết bị thay đổi trước khi liên kết này được kéo dài.

Độ phức tạp của thủ tục này là  $O(np)$  với  $p$  là số cặp nút trong tập *pairs*. Trong trường hợp xấu nhất, tập *pairs* có thể chứa  $n(n-1)$  cặp nút và vì thế độ phức tạp là  $O(n^3)$ , giống với độ phức tạp của thuật toán Floyd. Tuy nhiên trong thực tế  $p$  thường rất bé.



Hình 4.9

**Ví dụ 4.10:** (ví dụ cho trường hợp độ dài cung giảm)

Xét một mạng trong hình 4.9. Các cạnh trong mạng này là các liên kết hai hướng. Độ dài của các đường đi ngắn nhất giữa các cặp nút được cho trước trong bảng 4.4.

Bây giờ thêm một cung  $(B, E)$  có  $l_{BE} = 1$ . Vì

$$d_{BE} > l_{BE}$$

chúng ta thực hiện quá trình. Ngoài ra vì

$$d_{BC} > l_{BE} + d_{EC}$$

nhưng

$$d_{Bx} \geq l_{BE} + d_{Ex}$$



đối với tất cả các nút khác. Vì vậy

$$set_m = C, E$$

Tương tự,

$$set_k = A, B$$

Bảng 4.4

	A	B	C	D	E
A	0	2	3	5	4
B	2	0	5	3	6
C	3	5	0	5	1
D	5	3	5	0	4
E	4	6	1	4	0

Bây giờ chúng ta xét các cặp nút

$(k, m)$  với  $k \in set_k$  và  $m \in set_m$ , (nghĩa là các cặp  $(A, C)$ ,  $(A, E)$ ,  $(B, C)$  và  $(B, E)$ ). Chúng ta thấy rằng tất cả các cặp trừ cặp  $(A, C)$  đều bị thay đổi nên chúng ta cập nhật các đường đi ngắn nhất và nút trung gian cuối cùng của mỗi đường đi ngắn nhất giữa các cặp nút này. Ma trận đường đi ngắn nhất bây giờ được biểu diễn trong bảng 4.3

Bảng 4.5

	A	B	C	D	E
A	0	2	3	5	3
B	2	0	2	3	1
C	3	5	0	5	1
D	5	3	5	0	4
E	4	6	1	4	0

Chú ý rằng, ma trận này không còn đối xứng nữa vì một cung  $(B, E)$  vừa mới được thêm vào mạng.

Bây giờ giả sử rằng  $l_{BE} = 5$  (ví dụ cho bài toán có sự tăng độ dài một cung). Kiểm tra ma trận đường đi ngắn nhất, ta thấy rằng trước khi thay đổi  $l_{BE}$  thì

$$d_{BE} = l_{BE}$$

Chúng ta kiểm tra tất cả các cặp nút  $(k, m)$  và thấy rằng điều kiện

$$d_{km} = d_{ki} + l_{ij} + d_{jm}$$

chỉ có các cặp  $(A, E)$ ,  $(B, C)$  và  $(B, E)$  thoả mãn. Vì thế chúng ta thực hiện phép gán sau

```
pairs <- {(A, E), (B, C), (B, E)}
```

và sau đó thực hiện lặp trên tất cả các nút trung gian, kiểm tra các đường đi ngắn nhất đối với các cặp này. Khi thực hiện quá trình này, chú ý rằng đường đi ngắn nhất từ  $A$  tới  $E$  trở thành 4 (qua nút  $C$ ) và đường đi ngắn nhất từ  $B$  tới  $C$  trở thành 5 (qua  $A$ ). Tuy nhiên, đối với đường đi ngắn nhất từ  $B$  tới  $E$  thì cung  $(B, E)$  được giữ nguyên. Độ dài các đường đi ngắn nhất giữa các cặp nút được chỉ ra trong bảng 4.6.

Bảng 4.6

	A	B	C	D	E
A	0	2	3	5	4
B	2	0	5	3	5
C	3	5	0	5	1
D	5	3	5	0	4
E	4	6	1	4	0

### Flow Network

Cho một tô-pô mạng và một yêu cầu duy nhất từ một nút nguồn  $s$  tới một nút đích  $d$ , yêu cầu đặt ra ở đây là tìm một dạng luồng khả thi, nghĩa là tìm một tập các luồng liên kết thoả mãn yêu cầu duy nhất nói trên mà không có bất kỳ luồng của liên kết nào có giá trị vượt quá dung lượng của chính liên kết đó. Tô-pô mạng được biểu diễn dưới dạng tập các liên kết  $l_{ij}$ , đi cùng với các dung lượng  $c_{ij}$ . Vì trong thực tế các mạng là các mạng thừa nên có thể lưu trữ topo mạng dưới dạng các danh sách hiện và khai thác các tính chất của mạng thừa. Ngoài ra có thể lưu trữ các dung lượng dưới dạng một ma trận, trong đó  $c_{ij}$  được gán bằng 0 khi  $l_{ij}$  không tồn tại.

Bài toán vì thế trở thành bài toán tìm một hoặc nhiều đường đi từ  $s$  tới  $d$  rồi gửi luồng đi qua các đường này đồng thời đảm bảo yêu cầu đã cho. Tổng các luồng bằng với giá trị yêu cầu và tổng luồng trên mỗi liên kết không vượt quá dung lượng của liên kết.

Có một số dạng của bài toán này. Dạng đầu tiên, như đã nói ở trên, là bài toán tìm các luồng thoả mãn một yêu cầu nào đó. Một dạng khác đó là bài toán tối đa hoá giá trị luồng từ  $s$  tới  $d$  đồng thời thoả mãn điều kiện dung lượng. Dạng cuối cùng là khi chúng ta biết được giá trên một đơn vị luồng dành cho mỗi liên kết, bài toán đặt ra là tìm một luồng thoả mãn yêu cầu cho trước có giá tối thiểu. Các lời giải cho các bài toán này liên hệ chặt chẽ với nhau và sẽ được xem xét sâu hơn. Hơn nữa, lời giải cho bài toán này là cơ sở cho việc giải quyết các bài toán phức tạp hơn gọi là bài toán luồng đa hạng, bài toán có rất nhiều yêu

cầu giữa các nguồn và các đích. Đây là bài toán hết sức quan trọng trong việc thiết kế mạng và sẽ được nói kỹ ở chương sau.

Chú ý rằng trong trường hợp này ta đang xét các liên kết hữu hướng (nghĩa là có sự khác nhau giữa  $c_{ij}$  và  $c_{ji}$ ). Tuy nhiên có thể giải quyết các mạng vô hướng bằng cách thay thế mỗi liên kết vô hướng  $l_{ij}$  bằng hai liên kết hữu hướng có các dung lượng riêng rẽ. Như chúng ta sẽ thấy, trong bất kỳ liên kết nào và ở đâu trong quá trình tìm lời giải cho bài toán này, chỉ có luồng theo một hướng.

Có thể biểu diễn bài toán này dưới dạng bài toán tìm các luồng  $f_{ij}$  thỏa mãn các điều kiện sau:

$$\sum_j f_{ij} \leq c_{ij};$$

$$\sum_j f_{ji} \leq c_{ji};$$

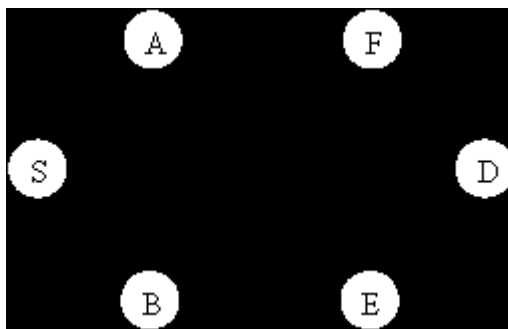
$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = b_i;$$

$$f_{ij} \geq 0;$$

$$f_{ij} \geq 0; f_{ji} \geq 0$$

### Thuật toán Ford-Fulkerson

Thuật toán tốt nhất cho việc giải bài toán luồng đơn hạng là thuật toán Ford-Fulkerson. Thuật toán này chỉ ra các đường đi từ nguồn  $s$  tới đích  $d$  và gửi các luồng lớn nhất có thể qua mỗi đường mà không vi phạm giới hạn dung lượng. Thực ra thuật toán được điều khiển nhằm chỉ ra các đường đi và điền đầy chúng bằng các luồng.



Hình 4.10. Mạng đơn giản

Chẳng hạn xét một mạng trong hình 4.10. Giả sử tất cả các liên kết có dung lượng là 1. Chúng ta có thể gửi một đơn vị luồng trên đường đi  $SABD$  và một trên đường đi  $SEFD$ . Vì tổng dung lượng của các liên kết rời  $S$  là 2 và mỗi đơn vị luồng từ  $S$  tới  $D$  phải sử dụng một đơn vị dung lượng rời khỏi  $S$  này do đó không có luồng nào khác nữa thỏa mãn yêu cầu. Ngoài ra, vì mỗi đơn vị luồng phải sử dụng ít nhất một đơn vị dung lượng của một  $SD$ -cut bất kỳ (với  $SD$ -cut là một tập các liên kết mà sự biến mất của nó phân tách  $S$  khỏi  $D$ ) nên luồng từ  $S$  tới  $D$  lớn nhất không thể lớn hơn dung lượng của bất kỳ cut nào (dung

lượng của cut là tổng dung lượng của tất cả các liên kết thuộc cut). Do đó ta có bổ đề sau:

#### **Bổ đề 4.1 (Ford-Fulkerson)**

Luồng từ S tới D lớn nhất không thể lớn hơn dung lượng của cut có dung lượng nhỏ nhất

Thực ra, luồng từ S tới D lớn nhất chính bằng dung lượng của *SD-cut* có dung lượng bé nhất. Đó chính là định lý **Luồng Lớn nhất- Cutset Bé nhất** nổi tiếng của Ford-Fulkerson.

Giới hạn (1) đã nêu trên gọi là điều kiện giới hạn bảo toàn luồng. Điều kiện này đảm bảo rằng với các nút khác với nút nguồn và nút đích thì luồng vào bằng với luồng ra. Trong trường hợp này, các nút nguồn (đích) có luồng ra (vào) phải bằng luồng từ nguồn tới đích. Bất kỳ *SD-cut* nào cũng phân chia các nút thành hai tập X và Y với S thuộc X và D thuộc Y. Nếu điều kiện (1) đối với tất cả các nút thuộc tập X được cộng lại thì ta thấy rằng luồng tổng từ X tới Y trừ đi luồng tổng từ Y tới X có kết quả bằng luồng từ S tới D. Chú ý rằng tổng các phần ở vế trái chính bằng tổng các luồng trong các liên kết có một đầu thuộc X còn đầu kia thuộc Y, trừ đi tổng các luồng trong các liên kết có một đầu thuộc Y còn đầu kia thuộc X. Các liên kết có hai đầu cùng thuộc X không tham gia vào tổng này vì chúng xuất hiện trong tổng nhưng có dấu ngược nhau. Các liên kết không có đầu nào thuộc X cũng không xuất hiện ở trong tổng. S tham gia vào vế phải của điều kiện; tất cả các nút khác không tham gia.

Vì thế, để thoả mãn định lý trên cần phải:

Luồng tổng đi qua cut có dung lượng bé nhất phải bằng dung lượng của cut đó nghĩa là tất cả các liên kết thuộc cắt phải ở trạng thái bão hoà (luồng bằng dung lượng).

Luồng đi ngược cut này phải bằng 0.

Thực ra, tất cả các cut có dung lượng bé nhất phải là bão hoà và điều đó xảy ra vào cuối thuật toán. Thuật toán thực hiện bằng cách chỉ ra các đường đi có dung lượng bé và gửi luồng đi qua toàn bộ các đường đi đó. Khi không tìm ra một đường đi nào cả có dung lượng bé, một cut bão hoà được chỉ ra và thuật toán kết thúc. Các cut có dung lượng bé khác cũng bão hoà nhưng chúng không được thuật toán chỉ ra.

```
number <- FFflow(n , s , d , cap , *flow )
  decl cap[n][n] , flow[n][n] , pred[n] ,
  sign[n] , mxf[n] , scan_queue[queue]

  void <-Scan( i )
    for each( j , n )
      if( predd[j] = U )
        if(flow[i,j] < cap[i,j])
```

```

                                mxflow <- min(mxf[i],cap[i,j])-
flow[i,j])
                                mxf[j],pred[j],sign[j] <-
mxfflow,i,+                                else if (
flow[j,i] > 0)
                                mxflow <- min(mxf[i],flow[j,i])
                                mxf[j],pred[j],sign[j] <-
mxfflow,i,-
                                Push(scan_queue, j)

void <-Backtrack( )
n <- d
tot_flow <- tot_flow + mxf[d]
while ( n != s )
    p <- pred[n]
    if (sign[n] = + )
        flow[p,n]<- flow[p,n] +
mxf[d]
    else
        flow[n,p]<- flow[n,p] +
mxf[d]

tot_flow <- 0
flow <- 0
flag <- TRUE

while ( flag )
    pred <- U
Initialize_queue ( scan_queue )
Push( scan_queue , s )
mxf[s] <-INFINITY
while( !(Empty(scan_queue) &&(pred[d] = U) )
    i<- Pop(scan_queue)
    Scan( i )
if( pred[d] != U )
    Backtrack( )
flag <- (pred[d] !=U)
return( tot_flow )

```

Trong trường hợp đơn giản nhất, thuật toán Ford-Fulkerson được viết như trong đoạn giả mã trên với  $n$  là số nút,  $m$  là số liên kết. Mỗi nút có một nhãn:

$(maxflow, pred, sign)$

Nhãn này biểu diễn giá trị luồng lớn nhất có thể trên đường đi hiện hành tính cho tới thời điểm đang xét, nút liền trước của nút đang xét trong đường đi hiện hành và chiều của luồng đi qua liên kết. Giá trị tượng trưng  $U$  là không xác định; giá trị thực sự của  $U$  nên được phân biệt với bất kỳ giá trị hợp lệ nào khác.

Thuật toán trả về luồng trong mỗi liên kết. Tổng luồng đi từ nguồn tới đích có thể được tính bằng tổng các luồng đi ra khỏi nguồn (hoặc đi tới đích). Thuật toán chỉ ra đường đi từ nguồn tới đích bằng cách sử dụng một thuật toán được cải biến từ thuật toán Bellman. Thuật toán này cho phép sử dụng một liên kết  $(i,j)$  theo hướng tới (nghĩa là từ  $i$  tới  $j$ ) nếu luồng từ  $i$  tới  $j$  là  $f_{ij}$  bé hơn dung lượng của liên kết đó  $c_{ij}$ . Nó cũng cho phép sử dụng liên kết theo chiều ngược lại (nghĩa là liên kết  $(i,j)$  được sử dụng để đưa luồng từ  $j$  tới  $i$ ), nhưng điều này chỉ xảy ra nếu trước đó có một luồng từ  $i$  tới  $j$  là dương. Trong trường hợp này, luồng được loại ra khỏi liên kết  $(i,j)$ .

Luồng lớn nhất theo chiều từ  $i$  tới  $j$  là  $c_{ij} - f_{ij}$ . Luồng lớn nhất theo chiều từ  $j$  tới  $i$  là  $f_{ij}$ . Đại lượng  $\max$ , trong các nhãn của mỗi nút, chỉ ra luồng lớn nhất có thể được gửi đi trên một đường đi.

Bên trong vòng *while* ở trên, chúng ta bắt đầu từ nút nguồn  $s$  và thực hiện việc tìm kiếm nhãn  $d$ . Nếu thành công, chúng ta có thể quan sát ngược từ  $d$  về  $s$  theo *pred* từ  $d$ . Thực ra quá trình này bao gồm việc tăng luồng trong mỗi liên kết theo hướng thuận và giảm luồng trong mỗi liên kết theo hướng ngược lại. Nếu không có nhãn cho  $d$ , thuật toán kết thúc. Khi đó thuật toán chỉ ra luồng lớn nhất; các liên kết  $(i,j)$  có  $i$  được gán nhãn và  $j$  không được gán nhãn tạo ra các cut bão hoà.

Hàm *Scan* có độ phức tạp là  $O(n)$ . Một dạng khác của thuật toán này hoạt động có hiệu quả hơn, đó là dạng có hàm *Scan* có độ phức tạp là  $O(d)$  với  $d$  là bậc của nút, hàm này tạo ra một danh sách chứa các nút kề cận cho mỗi nút nút. Trong *Scan*( $i$ ) thay thế

*for j=1 to n*

bằng

*for each ( j , adj\_set[i] )*

Khi thuật toán dừng lại, một cut hoàn toàn được định nghĩa. Các nút có nhãn khác  $U$  thì thuộc tập  $X$  và các nút còn lại thì thuộc  $Y$ , với  $X$  và  $Y$  được định nghĩa như trước đây. Việc đánh nhãn bảo đảm rằng tất cả các cung trong  $X,Y$ -cut là bão hoà, và tất cả các cung trong  $Y,X$ -cut có luồng bằng 0. Điều này có thể thấy rõ khi chú ý rằng thuật toán dừng lại khi việc đánh nhãn không được tiếp tục nữa. Bất kỳ cung chưa bão hoà nào thuộc  $S,D$  cut hoặc bất kỳ cung nào thuộc  $D,S$  cut có luồng khác không thì có thể được sử dụng để tiếp tục việc đánh nhãn. Khi chúng ta không tiếp tục đánh nhãn nghĩa là khi đó không có những cung như vậy. Vì vậy, luồng từ  $S$  tới  $D$  bằng với dung lượng của  $X,Y$ -cut và định lý **Luồng lớn nhất- Cut bé nhất** đã ngầm được chứng minh.

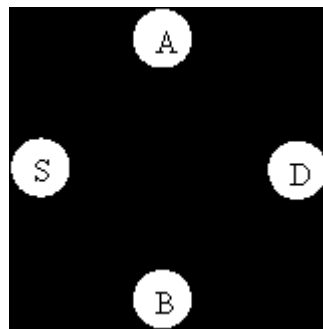
#### **Ví dụ 4.11:**

Xem xét việc sử dụng các cung theo chiều ngược cũng là một việc quan trọng. Nếu việc này không được thực hiện thì sẽ không đảm bảo rằng luồng là lớn nhất. Xét một mạng trong hình 4.10. Giả sử rằng, đường đi đầu tiên là *SAFD*. một đơn vị luồng được gửi đi trên toàn bộ đường đi. Tiếp đó một đường đi khác được tìm kiếm.  $S$  không thể đánh nhãn  $A$  bởi vì  $SA$  là một cung bão hoà.  $S$  đánh nhãn  $E$  và  $E$  đánh

nhãn  $F$ ,  $F$  không thể đánh nhãn  $D$  vì  $FD$  là một cung bão hoà. Chú ý rằng, không tồn tại một cung từ  $F$  tới  $A$ ; cung  $FA$  chỉ có hướng từ  $A$  tới  $F$ . Điều cần chú ý ở đây là thuật toán phải sử dụng cung  $FA$  theo chiều ngược, do đó loại bỏ một đơn vị luồng khỏi cung đó. Điều đó cho phép  $F$  đánh nhãn  $A$ ,  $A$  đánh nhãn  $B$  và  $B$  đánh nhãn  $D$ . Vì thế một đường đi thứ hai được tìm thấy, đó là đường đi  $SEFABD$  có cung  $FA$  được sử dụng theo chiều ngược. Kết quả của việc gửi luồng trên hai đường đi là gửi một đơn vị luồng từ  $S$  tới  $E$ , tới  $F$ , tới  $D$  và một đơn vị luồng như vậy từ  $S$  tới  $A$ , tới  $B$  và tới  $D$ . Đơn vị luồng ban đầu trên liên kết  $AF$  được loại trừ trong đường đi thứ hai và luồng mạng trên cung này bằng 0. Hai đường đi được tìm thấy bằng thuật toán có thể kết hợp tạo thành hai đường đi mới.

Như đã trình bày ở trên, đối với một mạng có  $N$  nút và  $E$  cạnh, một lần sử dụng thuật toán này để tìm một đường đi đơn thì có độ phức tạp bằng  $O(N^2)$  vì mỗi nút được quét tối đa một lần (các nút không được đánh lại nhãn), và độ phức tạp của phép quét là  $O(N)$ . Với thuật toán đã được sửa đổi từ thuật toán Bellman có sử dụng danh sách kề cận, mỗi nút được kiểm tra tối đa một lần từ mỗi đầu và một lần thực hiện việc đó có độ phức tạp bằng  $O(E)$ . Độ phức tạp trong việc thiết lập danh sách kề cận là  $O(E)$  vì chỉ cần đi qua các cung một lần duy nhất cùng với việc chèn các nút vào danh sách kề cận. Vì vậy, đối với các mạng thưa, độ phức tạp không quá lớn.

Có thể thấy rằng độ phức tạp của toàn bộ thuật toán bằng tích của độ phức tạp khi tìm một đường đi đơn và số đường đi tìm được. Nếu dung lượng của các cung là các số nguyên thì mỗi đường đi cộng thêm ít nhất một đơn vị luồng vào mạng. Vì thế số lượng đường đi được giới hạn bởi luồng cuối cùng  $F$ . Do đó độ phức tạp toàn bộ của thuật toán là  $O(EF)$ .



Hình 4.11. Mạng đơn giản

Nói chung,  $F$  có thể rất lớn. Xét một mạng trong hình 4.11. Tất cả các cung ngoại trừ cung  $(A, B)$  đều có dung lượng bằng  $K$ , một số rất lớn.  $(A, B)$  có dung lượng bằng 1. Giả sử đường đi đầu tiên là  $SABD$ . Vì cung  $(A, B)$  có dung lượng bằng 1, nên chỉ có một đơn vị luồng có thể chuyển qua đường đi này. Tiếp đó, giả sử rằng  $SBAD$  là đường đi được tìm thấy. Vì chỉ có một đơn vị luồng được loại khỏi  $(A, B)$  nên cũng chỉ có duy nhất một đơn vị luồng được gửi trên đường đi này. Thuật toán thực hiện tìm kiếm được  $2K$  đường đi, các đường đi  $SABD$  và  $SBAD$  được lặp đi lặp lại, trong đó mỗi đường đi có một đơn vị

luồng được gửi đi, vì thế độ phức tạp đạt tới độ phức tạp trong trường hợp xấu nhất.

Các bài toán tương tự như bài toán nêu trên sẽ không thể xảy ra nếu thuật toán tìm các đường đi tìm được các đường đi có số bước tối thiểu. Thuật toán tìm kiếm theo chiều rộng sẽ thực hiện việc này. Từ trước tới nay, bài toán luồng lớn nhất đã được tìm hiểu khá kỹ và có rất nhiều thuật toán cũng như các thuật toán cải tiến từ các thuật toán đó dùng để giải quyết bài toán này.

Trong thực tế, quá trình thực hiện thuật toán đã nêu trên có thể hoạt động để giải quyết hoặc là bài toán luồng lớn nhất hoặc là bài toán tìm một luồng có một giá trị cụ thể nào đó. Bây giờ chúng ta sẽ xem xét bài toán tìm các luồng có giá nhỏ nhất.

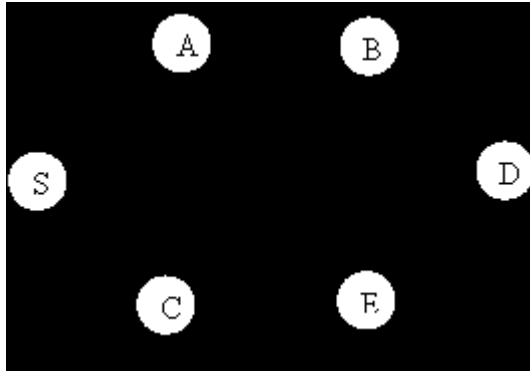
### **Các luồng có giá nhỏ nhất**

Giả thiết rằng chúng ta đã biết giá của một đơn vị luồng  $c_{ij}$  trên mỗi liên kết. Yêu cầu đặt ra là tìm một luồng từ nguồn tới đích với giá trị cho trước có giá bé nhất, trong đó giá của một luồng được định nghĩa bằng tổng tất cả các tích của luồng trên mỗi liên kết nhân với giá của một đơn vị luồng trên liên kết đó. Tương tự, có thể chúng ta cần tìm một luồng với trị số lớn nhất có giá bé nhất. Chẳng hạn, chúng ta cần tìm một giá tối thiểu, nhưng vẫn đảm bảo là có thể tạo ra một luồng có trị số lớn nhất.

Cách đơn giản nhất để tìm một luồng có giá tối thiểu đó là sửa đổi thuật toán Ford-Fulkerson để tìm các đường đi ngắn nhất thay vì tìm các đường đi có bước nhỏ nhất với giá của một đơn vị luồng được sử dụng như các độ dài. Thuật toán Bellman hoặc bất kỳ thuật toán tìm đường ngắn nhất nào cũng có thể được làm cho tương thích với mục đích này. Yêu cầu đặt ra là phải theo dõi được luồng trên mỗi liên kết và giống như trong thuật toán Ford-Fulkerson, ở đây chỉ sử dụng các liên kết chưa bão hòa theo chiều thuận, và chỉ sử dụng các liên kết theo chiều ngược nếu các liên kết đó đang có luồng theo chiều thuận dương.

Cách thực hiện trên có thể được xem như là việc thực hiện thuật toán Ford-Fulkerson với một vài sửa đổi. Lúc này, mỗi nhãn có thêm một đại lượng thứ tư  $p$ , đó là độ dài của đường đi. Giá trị đó được cập nhật giống như cách đã làm trong thuật toán Bellman. Chẳng hạn, một nút có độ dài là  $p$  sẽ gán cho nút láng giềng của nó một độ dài đường đi là  $q$  với  $q$  bằng tổng của  $p$  và độ dài của liên kết nối hai nút.





Hình 4.12. Luồng có giá thấp nhất

**Ví dụ 4.12:**

Trong hình 4.12 mỗi liên kết được gán một nhãn (giá của một đơn vị luồng, dung lượng). Các liên kết là các liên kết hai hướng. Chẳng hạn, giá của việc chuyển một đơn vị luồng giữa A và B theo một trong hai hướng là 4. Sử dụng thuật toán Ford-Fulkerson, sửa đổi cách theo dõi độ dài các đường đi và cho phép một nút được đánh nhãn lại nếu độ dài đường đi trong nhãn của nút này được cải tiến (tích cực hơn) để giải quyết bài toán. Vì thế, mỗi nút có một nhãn

$(\text{pathlength}, \text{maxflow}, \text{pred}, \text{sign})$

S có nhãn  $(0, \text{INFINITY}, \text{PHI}, \text{PHI})$ , nhãn này chỉ ra rằng có một giá (độ dài đường đi) bằng 0 tính từ nguồn, không có giới hạn về luồng, và không có nút liền trước. Tất cả các nút khác ban đầu không có nhãn hoặc có nhãn gần giống với nhãn sau

$(\text{INFINITY}, \text{INFINITY}, \text{PHI}, \text{PHI})$

Một nhãn có độ dài đường đi không xác định tương đương với việc không có nhãn nào vì bất kỳ khi nào đánh nhãn, cũng có một nhãn có độ dài đường đi xác định thay thế một nhãn như vậy.

S được đặt vào danh sách quét và nó là nút đầu tiên được quét, S đánh nhãn C bằng  $(2, 4, S, +)$  và C được đặt vào danh sách quét. Vì độ dài giữa S và chính nó bằng 0 và không có giới hạn về luồng mà nó có thể chuyển qua, nên độ dài đường đi chỉ đơn giản là độ dài của liên kết từ S tới C và luồng lớn nhất chính là dung lượng của liên kết (S, C). S gán nhãn A bằng  $(2, 3, S, +)$  và A được đặt vào danh sách quét. Việc chọn nút nào được đánh nhãn trước mang tính ngẫu nhiên. Điều này tùy thuộc vào thứ tự được thiết lập trong danh sách kề cận.

Sau đó C được quét, C thử đánh nhãn S nhưng điều đó là không thể vì S đã có một nhãn có độ dài đường đi bằng 0, trong khi C được gán một nhãn có độ dài đường đi bằng 4. Tuy nhiên C có thể đánh nhãn E bằng  $(8, 3, C, +)$ . Độ dài đường đi bằng 8 chính là tổng của 2 (độ dài đường đi trong nhãn hiện có của C) và 6 (độ dài của liên kết từ C tới E). Luồng lớn nhất chính là giá trị bé nhất của 4 (luồng lớn nhất trong nhãn của C) và 3 (dung lượng của liên kết từ C tới E trừ đi luồng

hiện tại là 0).  $E$  được đưa vào danh sách quét. Tương tự  $C$  gán nhãn  $B$  bằng  $(11, 4, C, +)$  và  $B$  được đưa vào danh sách quét.

Sau đó  $A$  được quét.  $A$  có thể gán lại nhãn cho  $B$  bằng nhãn có độ dài đường đi bé hơn và  $B$  có nhãn bằng  $(6, 2, A, +)$ . Chú ý rằng  $B$  được gán lại nhãn có độ dài đường đi bé hơn, mặc dù điều đó dẫn đến luồng lớn nhất trong nhãn bé hơn. Điều này có thể giảm luồng trên đường đi đó nhưng không làm giảm tổng luồng được gửi tới  $D$ ; sự đánh nhãn kiểu này chỉ đơn giản là yêu cầu cần thêm đường đi để chuyển luồng đó. Mặc dù  $B$  được gán lại nhãn nhưng không được đưa vào danh sách quét vì  $B$  đã tồn tại trong danh sách quét.

$E$  sau đó được quét, nút này gán nhãn  $D$  bằng  $(11, 3, C, +)$ .  $D$  là nút đích nên không cần phải đưa vào danh sách quét. Mặc dù  $D$  được gán nhãn nhưng vẫn phải tiếp tục đánh nhãn cho đến khi danh sách thành rỗng bởi vì vẫn có thể có một đường đi tốt hơn.  $E$  không thể gán nhãn  $B$  lần nữa vì nhãn của  $B$  có độ dài đường đi bằng 6 trong khi  $E$  chỉ có thể gán 9 cho  $B$ . Tiếp đó  $B$  được quét và  $D$  được đánh nhãn bằng  $(9, 2, B, +)$ .

Lúc này, danh sách quét đã rỗng. Đi ngược đường đi từ  $D$ , đường đi này có các nút sau:  $B$  (nút trước của  $D$ ),  $A$  (nút trước của  $B$ ) và  $S$ . Thêm 2 đơn vị luồng (luồng lớn nhất trong nhãn của  $D$ ) vào các liên kết  $(S, A)$ ,  $(A, B)$  và  $(B, D)$ . Lúc này cả ba liên kết đó có các luồng có luồng dương, vì thế chúng đủ điều kiện để sử dụng theo chiều ngược lại. Liên kết  $(A, B)$  bão hòa theo chiều thuận và chỉ đủ điều kiện để sử dụng theo chiều ngược.

Lần tìm thứ hai có kết quả là đường đi  $SCED$  có độ dài là 11 và luồng bằng 3. Lần tìm thứ ba có kết quả là đường đi  $SCEBD$  có độ dài là 12 và luồng bằng 1.

Trong lần tìm thứ tư, tất cả mọi nút đều được gán nhãn trừ nút  $D$ , nhưng  $D$  không thể được gán nhãn nên thuật toán kết thúc. Điều này tương ứng với các cut có dung lượng bằng 6 giữa các nút còn lại và nút  $D$ . Vì thế có một luồng lớn nhất bằng với dung lượng của một cut tối thiểu. Điều này tạo ra tổng giá trị bằng

$$(9 \times 2 + 11 \times 3 + 12 \times 1) = 63$$

Nếu chỉ muốn gửi ba đơn vị luồng thì điều đó có thể thực hiện với giá bằng

$$(9 \times 2 + 11 \times 1) = 29$$

với đường đi đầu tiên và đường đi thứ hai. Chính vì vậy, thuật toán này có thể được sử dụng để giải quyết bài toán luồng lớn nhất, giá bé nhất lẫn bài toán tìm luồng với giá trị cho trước có giá bé nhất. Trong bài toán tìm luồng với giá trị cho trước có giá bé nhất, thuật toán có thể dừng lại khi luồng đạt tới giá trị mong muốn. Trong bài toán luồng lớn nhất, giá bé nhất, như đã nói ở trên, thuật toán được thực hiện cho đến khi không có đường đi nào nữa được tìm thấy.

Sự mở rộng thuật toán Ford-Fulkerson là đúng đắn. Điều bất lợi duy nhất đó là việc phải mất sự đảm bảo về độ phức tạp tính toán. Không

còn có việc tìm kiếm theo chiều sâu nữa, và có thể phải tìm một đường đi mà phép tìm kiếm có độ phức tạp bằng  $O(L)$  với luồng có độ lớn là  $L$ . Trong thực tế, các đường đi có độ dài bé nhất có xu hướng có bước nhỏ nhất và ít khi có sự thay đổi đáng kể về thời gian hoạt động. Thế nhưng, theo định lý điều đó có thể xảy ra. Điều này đặt ra yêu cầu về sự phát triển các thuật toán phức tạp hơn có độ phức tạp trong trường hợp xấu nhất bé hơn. Những thuật toán như thế gọi là thuật toán kép, rất nhiều trong số chúng bắt đầu bằng việc sử dụng thuật toán Ford-Fulkerson để tìm một luồng tối đa (hoặc một luồng có giá trị cho trước) và sau đó tìm kiếm đường chuyển luồng khác theo một chu trình có độ dài âm, chuyển luồng khỏi đường đi có giá cao hơn tới đường đi có giá thấp hơn.

#### 4.4. Bài tập (Pending)

# Chương 5 Điều khiển luồng và chống tắc nghẽn

## 5.1. Tổng quan

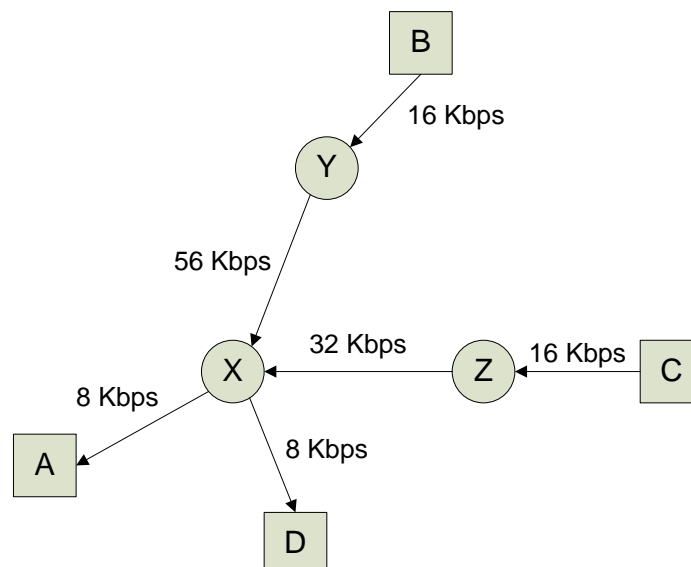
### 5.1.1. Mở đầu

Trong trao đổi thông tin, khi phía phát truyền dữ liệu đến phía thu thì dữ liệu đầu tiên được lưu trong bộ đệm phía thu. Dữ liệu trong bộ đệm này sau khi được xử lý và chuyển lên các lớp phía trên thì sẽ được xóa đi, để dành bộ đệm cho các dữ liệu kế tiếp.

Trên thực tế trao đổi thông tin trong mạng, có thể xảy ra tình trạng phía phát truyền dữ liệu với tốc độ cao hơn khả năng xử lý của phía thu, dẫn đến bộ đệm của phía thu sẽ đầy dần và bị tràn. Trong trường hợp này, phía thu không thể nhận thêm các gói dữ liệu từ phía phát dẫn đến việc phía phát phải thực hiện truyền lại dữ liệu, gây lãng phí băng thông trên đường truyền.

Nhằm giảm thiểu việc phải truyền lại thông tin vì mất gói do tràn hàng đợi, cần có cơ chế thực hiện kiểm soát và điều khiển lưu lượng thông tin đi đến một thiết bị/mạng. Chức năng này được thực hiện bởi kỹ thuật điều khiển luồng và kiểm soát tắc nghẽn.

**Ví dụ 5.1:** hoạt động của mạng khi không có sự kiểm soát



Hình: Hoạt động của mạng khi không có sự kiểm soát

Trên hình vẽ này các số trên mỗi liên kết thể hiện tốc độ truyền dữ liệu trên đường đó. Giả sử có hai kết nối từ B đến A (theo đường B – Y – X

– A, tốc độ  $\blacksquare$  Kbps) và từ C đến D (theo đường C – Z – X – D, tốc độ  $\blacksquare$  Kbps).

Giả thiết hệ thống mạng không được kiểm soát, nghĩa là tất cả các gói tin đều có thể truy cập tài nguyên của mạng, và bộ đệm tại các nút X, Y và Z có thể được sử dụng bởi bất kỳ gói tin nào. Giả thiết môi trường truyền không có lỗi, lúc này các gói tin không bị sai nhưng vẫn có thể phải được truyền lại nếu nó bị nút mạng hủy do không còn dung lượng bộ đệm để lưu gói tin tạm thời trước khi xử lý. Giả thiết khi gói tin bị mất vì không được lưu trong bộ đệm thì nút phát nó sẽ thực hiện phát lại nhằm đảm bảo việc truyền tin tin cậy.

Để minh họa cho việc điều khiển trong mạng, ta tìm hiểu các trường hợp sau:

1) Trường hợp 1:  $\blacksquare$  và  $\blacksquare$ .

Trong trường hợp này không xảy ra tắc nghẽn vì lưu lượng từ B đến A sẽ được mạng trung chuyển hết. Tốc độ thông tin đến nút A chính bằng tốc độ thông tin nút B đưa vào mạng, các đường B-Y, Y-X và X-A đều có tốc độ 7 Kbps

2) Trường hợp 2:  $\blacksquare$  Kbps ( $\blacksquare > 0$ ) và  $\blacksquare$

Trong trường hợp này, tốc độ thông tin từ B đến A lớn hơn tốc độ hoạt động của đường từ X đến A. Vì lý do này, tốc độ thông tin từ Y đến X lớn hơn từ X đến A, lượng thông tin dư thừa sẽ phải được lưu trong bộ đệm của X. Bộ đệm của X sẽ dần bị đầy và tràn dẫn đến các gói thông tin từ Y đến sẽ không được lưu và bị hủy. Vì bộ đệm của Y lưu lại các gói tin chưa được báo nhận (để truyền lại) nên bộ đệm của Y cũng dần bị đầy và tràn.

Nút X có thể chuyển 8 Kbps khi lưu lượng đầu vào của nó là  $8 + \blacksquare$  Kbps (X hủy  $\blacksquare$  Kbps). Lúc này, đường Y – X sẽ có tốc độ  $8 + 2\blacksquare$  Kbps (trong đó  $8 + \blacksquare$  Kbps là thông tin từ B đến và  $\blacksquare$  Kbps là thông tin phát lại). Nhưng vì nút X chỉ có thể truyền 8 Kbps nên nó hủy  $2\blacksquare$  Kbps và Y lại phải truyền lại lượng thông tin này. Quá trình này cứ tiếp diễn và cuối cùng đường nối Y – X sẽ hoạt động với tốc độ 56 Kbps. Tương tự như vậy, đường liên kết từ B đến Y cũng sẽ hoạt động với tốc độ 16 Kbps (bao gồm cả các gói mới và các gói được phát lại)

Để giải quyết vấn đề này, có thể làm theo hai cách:

Xây dựng hệ thống mạng có khả năng đáp ứng tốc độ của thông tin từ X đến A ( $8 + \blacksquare$  Kbps) nhằm đáp ứng với yêu cầu về tốc độ của B – giải pháp này chỉ thực sự khả thi và hiệu quả khi tốc độ phát tin của B là ổn định trong một thời gian dài, nếu không hiệu quả sử dụng tài nguyên rất thấp nếu xây dựng hệ thống mạng có khả năng đáp ứng lưu lượng lớn nhưng lại chỉ hoạt động với các yêu cầu trao đổi lưu lượng nhỏ.

Giới hạn tốc độ truyền tin của B xuống còn 8 Kbps – phương án này khả thi khi yêu cầu truyền tin của B trong phần lớn thời gian  $< 8$  Kbps và tốc độ vượt 8 Kbps chỉ diễn ra trong thời gian ngắn.

Trong hai phương án này, trên thực tế người ta sử dụng phương án 2 với sự hỗ trợ của các giao thức mạng.

3) Trường hợp 3: [ ] và [ ]

Tương tự như trường hợp 1, trường hợp 3 không xảy ra tắc nghẽn trong mạng. Thông tin được chuyển đến  $A$  và  $D$  với tốc độ 7Kbps cho mỗi nút. Mỗi một liên kết trong mạng sẽ hoạt động với tốc độ 7Kbps

4) Trường hợp 4: [ ] Kbps và [ ] Kbps ( $\rightarrow 0$ )

Trong trường hợp này, đường đi từ  $C$  đến  $D$  có đủ dung lượng (tốc độ) để đáp ứng yêu cầu cho kết nối  $C-D$ ; tuy nhiên yêu cầu truyền thông tin trên đường  $B-A$  vượt quá khả năng xử lý của tuyến truyền này.

Trong trường hợp này, hai kết nối  $B-A$  và  $C-D$  chia sẻ bộ đệm của nút  $X$ . Như đã xét trong trường hợp 2, lưu lượng thông tin từ  $B$  đến  $A$  làm tràn bộ đệm của  $X$ , điều này dẫn đến thông tin từ  $B$  và  $C$  khi đến  $X$  đều bị hủy. Hiện tượng này xảy ra đối với tất cả các gói tin (cả  $B$  và  $C$ ) cho dù nguyên nhân gây ra là do  $B$ . Hệ quả là nút  $Y$  và  $Z$  cũng bị tràn bộ đệm và tất cả các đường liên kết sẽ hoạt động với tốc độ cực đại của chúng.

Do trước khi chuyển gói tin từ  $B$  và  $C$  đến  $A$  và  $D$  tương ứng, nút  $X$  phải lưu các gói tin này vào bộ đệm để xử lý nên trong trường hợp bộ đệm  $X$  bị tràn,  $X$  sẽ phải hủy các gói tin này. Do tốc độ thông tin  $Y-X$  gấp đôi tốc độ thông tin  $Z-X$  (khi các liên kết này hoạt động với tốc độ đỉnh) nên số lượng gói tin từ  $Y$  đến  $X$  sẽ gấp đôi từ  $Z$  đến  $X$ . Nói một cách khác,  $X$  sẽ hủy (hay chấp nhận) các gói tin từ  $Y$  và  $Z$  đến theo tỷ lệ 2:1. Lúc này thông tin từ  $B$  đến  $A$  hoạt động với tốc độ 8 Kbps trong khi thông tin từ  $C$  đến  $D$  chỉ hoạt động với tốc độ 4 Kbps.

So với trường hợp 3, ta thấy:

Thông lượng tổng cộng của mạng giảm từ 14 Kbps xuống còn 12 Kbps.

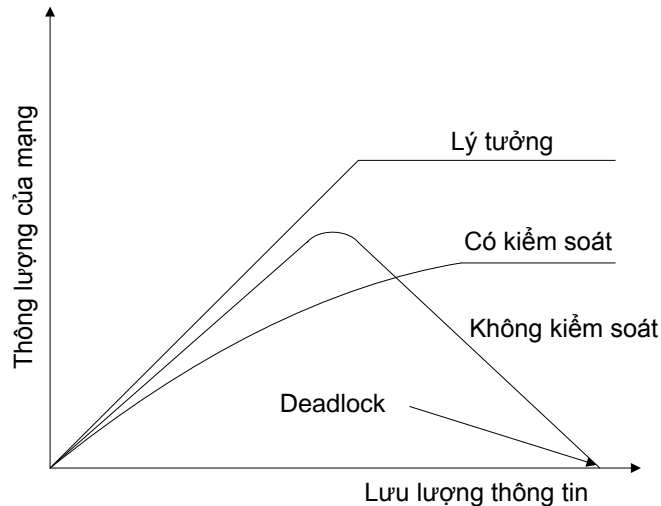
Nút  $C$  bị đối xử không công bằng vì tốc độ truyền thông tin của nó đến  $D$  bị giảm từ 7 Kbps xuống còn 4 Kbps trong khi nút  $B$  không bị ảnh hưởng nhiều (giảm từ 8+ [ ] Kbps xuống 8 Kbps). Ngoài ra, nguyên nhân gây ra tắc nghẽn lại là do nút  $B$ .

Để giải quyết vấn đề này, người ta có thể dành một phần dung lượng bộ đệm tại  $X$  cho các gói tin từ  $C$  đi đến. Việc dành trước tài nguyên này có vẻ như trái ngược với nguyên tắc của chuyển mạch gói khi tài nguyên trong mạng được chia sẻ bởi tất cả các nút và người dùng. Tuy nhiên, trên thực tế người ta có thể đánh đổi điều này để đảm bảo tính công bằng ở trong mạng.

Hình dưới đây mô tả thông lượng của mạng trong mối quan hệ với lưu lượng đầu vào.

Thông lượng: là tốc độ chuyển thông tin của mạng tính theo gói /s

Lưu lượng: là tốc độ thông tin đi đến mạng (bao gồm cả thông tin mới và thông tin được truyền lại)



Hình: Thông lượng của mạng trong mối quan hệ với lưu lượng đầu vào

Trong trường hợp lý tưởng, mạng sẽ thực hiện chuyển tất cả các gói đi vào mạng trong trường hợp tốc độ đến của các gói này nhỏ hơn khả năng trung chuyển của mạng (lưu lượng nhỏ hơn thông lượng). Khi lưu lượng thông tin đến vượt quá thông lượng của mạng, trong trường hợp lý tưởng thì mạng phải có khả năng chuyển các gói với tốc độ bằng thông lượng của mạng (theo đường lý tưởng trên hình vẽ)

Trong trường hợp thực tế, nếu hệ thống mạng không được kiểm soát và có các cơ chế điều khiển, mạng sẽ thực hiện chuyển tất cả các gói tin khi lưu lượng nhỏ hơn một ngưỡng nào đó. Khi lưu lượng vượt quá giá trị ngưỡng thì thông lượng bắt đầu giảm. Lưu lượng đến càng nhiều thì thông lượng càng giảm. Trong một số trường hợp dẫn đến tình trạng deadlock nghĩa là mạng hầu như không chuyển được gói tin nào nữa.

Trong trường hợp có thực hiện điều khiển luồng và điều khiển tắc nghẽn, hệ thống mạng sẽ được kiểm soát và có khả năng hoạt động tốt ngay cả khi có trường hợp quá tải xảy ra (lưu lượng đi vào mạng lớn hơn thông lượng của mạng). Tuy nhiên, do việc thực hiện điều khiển luồng và tắc nghẽn đòi hỏi phải có các thông tin điều khiển nên thông lượng thực tế (trong trường hợp mạng chưa quá tải) sẽ nhỏ hơn trường hợp lý tưởng, thậm chí nhỏ hơn so với trường hợp không có điều khiển.

### 5.1.2. Khái niệm điều khiển luồng

**Định nghĩa – Điều khiển luồng** là cơ chế nhằm đảm bảo việc truyền thông tin của phía phát không vượt quá khả năng xử lý của phía thu.

Trong kỹ thuật mạng, điều khiển luồng được chia làm hai loại.

Điều khiển luồng giữa hai nút đầu cuối (end-to-end): nhằm đảm bảo nút nguồn (nơi khởi tạo phiên thông tin) thực hiện truyền thông tin

không vượt quá khả năng xử lý của nút đích (nơi kết thúc phiên thông tin).

Điều khiển luồng giữa hai nút trong mạng (hop-by-hop): là việc thực hiện điều khiển luồng giữa hai nút liên tiếp trên đường đi từ nguồn đến đích.

### 5.1.3. Khái niệm chống tắc nghẽn

**Định nghĩa – Chống tắc nghẽn** là cơ chế kiểm soát thông tin đi vào mạng nhằm đảm bảo tổng lưu lượng thông tin đi vào mạng không vượt quá khả năng xử lý của toàn mạng.

Chống tắc nghẽn được chia làm hai loại:

**Điều khiển truy nhập mạng** (network access): kiểm soát và điều khiển lượng thông tin có thể đi vào trong mạng.

**Điều khiển cấp phát bộ đệm** (buffer allocation): là cơ chế thực hiện tại các nút mạng nhằm đảm bảo việc sử dụng bộ đệm là công bằng và tránh việc không truyền tin được do bộ đệm của tất cả các nút bị tràn (deadlock).

Chống tắc nghẽn liên quan đến việc kiểm soát thông tin trên toàn mạng, trong khi điều khiển luồng là việc kiểm soát thông tin giữa hai đầu cuối cụ thể. Hai kỹ thuật này có điểm tương đồng là phải giới hạn lưu lượng thông tin nhằm tránh khả năng quá tải của hệ thống đích. Do tính chất gắn kết của hai khái niệm này, đa phần các tài liệu đều sử dụng lẫn (hoặc kết hợp) các khái niệm điều khiển luồng (flow control) và điều khiển tắc nghẽn (congestion control).

Vì lý do đó, trong tài liệu này, chúng tôi sử dụng khái niệm điều khiển luồng để diễn tả cả hai phạm trù. Trong những trường hợp cụ thể cần phải phân biệt làm rõ hai khái niệm, chúng tôi sẽ có những chú thích rõ ràng.

### 5.1.4. Nhiệm vụ chủ yếu của điều khiển luồng và chống tắc nghẽn

Điều khiển luồng và chống tắc nghẽn được sử dụng khi có sự giới hạn về tài nguyên (thường là băng thông) giữa điểm truy nhập thông tin. Khái niệm điểm truy nhập ở đây có thể là giữa hai người sử dụng, giữa người sử dụng với điểm truy nhập mạng hay giữa hai thiết bị mạng

Mục đích chính của việc sử dụng điều khiển luồng và chống tắc nghẽn trong mạng là nhằm:

**Tối ưu hóa thông lượng sử dụng của mạng:** trong trường hợp thông tin chỉ truyền giữa hai người dùng, việc tối ưu hóa tốc độ truyền tin không cần đặt ra. Tuy nhiên, trong một hệ thống mạng với sự tham gia trao đổi thông tin của nhiều nút mạng, việc tối ưu hóa thông lượng của hệ thống mạng phức tạp hơn nhiều.



**Giảm trễ gói khi đi qua mạng:** đứng trên phương diện người sử dụng, trễ gói từ đầu cuối đến đầu cuối càng nhỏ càng tốt. Tuy nhiên, điều khiển luồng (ở lớp mạng) không nhằm thực hiện điều đó. Điều khiển luồng chỉ đảm bảo trễ của gói tin khi đi qua mạng nằm ở một mức chấp nhận được thông qua việc giới hạn số lượng gói tin đi vào mạng (và do đó, giảm trễ hàng đợi). Vì lý do đó, điều khiển luồng không có tác dụng với những ứng dụng đòi hỏi trễ nhỏ trong khi lại truyền trên hệ thống hạ tầng tốc độ thấp. Trong trường hợp này, việc đáp ứng yêu cầu của người sử dụng chỉ có thể được thực hiện thông qua việc nâng cấp hệ thống hay sử dụng các giải thuật định tuyến tối ưu hơn. Mục đích chính của việc giảm trễ gói là để giảm sự lãng phí tài nguyên khi phải truyền lại gói. Việc truyền lại có thể do hai nguyên nhân: (1) hàng đợi của các nút mạng bị đầy dẫn đến gói thông tin bị hủy và phải truyền lại; (2) thông tin báo nhận quay trở lại nút nguồn quá trễ khiến phía phát cho rằng thông tin truyền đi đã bị mất và phải truyền lại

**Đảm bảo tính công bằng cho việc trao đổi thông tin trên mạng:** đảm bảo tính công bằng trong trao đổi thông tin là một trong những yếu tố tiên quyết của kỹ thuật mạng. Việc đảm bảo tính công bằng cho phép người sử dụng được dùng tài nguyên mạng với cơ hội như nhau. Trong trường hợp người sử dụng được chia thành các nhóm với mức độ ưu tiên khác nhau thì bảo đảm tính công bằng được thực hiện đối với các người dùng trong cùng một nhóm.

**Đảm bảo tránh tắc nghẽn trong mạng:** tắc nghẽn là hiện tượng thông lượng của mạng giảm và trễ tăng lên khi lượng thông tin đi vào mạng tăng. Điều khiển luồng cung cấp cơ chế giới hạn lượng thông tin đi vào mạng nhằm tránh hiện tượng tắc nghẽn kể trên. Có thể hình dung điều khiển luồng như hoạt động của cảnh sát giao thông trên đường phố vào giờ cao điểm.

Như trên đã trình bày, điều khiển luồng và tránh tắc nghẽn thường được sử dụng kết hợp với nhau để kiểm soát thông tin trên mạng. Điều khiển luồng và tránh tắc nghẽn được sử dụng nhiều nhất tại các lớp liên kết dữ liệu (data link), lớp mạng (network) và lớp giao vận (transport) trong đó điều khiển luồng hop-by-hop được sử dụng ở lớp liên kết dữ liệu, điều khiển luồng end-to-end được sử dụng ở lớp giao vận và điều khiển tắc nghẽn được sử dụng ở lớp mạng.

#### 5.1.5. Phân loại điều khiển luồng và tránh tắc nghẽn

Trong các phần tới, chúng ta sẽ lần lượt tìm hiểu các cơ chế và chính sách thực hiện điều khiển luồng và tránh tắc nghẽn. Các cơ chế này được phân ra làm ba loại chính:

Các cơ chế cấp phát bộ đệm

Các cơ chế cửa sổ

Các cơ chế điều khiển truy nhập mạng

## 5.2. Tính công bằng

### 5.2.1. Định nghĩa

**Định nghĩa – Tính công bằng** là khả năng đảm bảo cho các người dùng, các ứng dụng khác nhau được sử dụng tài nguyên mạng với cơ hội như nhau.

Đảm bảo tính công bằng là một trong những tiêu chí hàng đầu của kỹ thuật mạng.

**Ví dụ:** xem lại ví dụ đầu chương (ví dụ số...) để thấy được tính công bằng.

### 5.2.2. Tính công bằng về mặt băng truyền

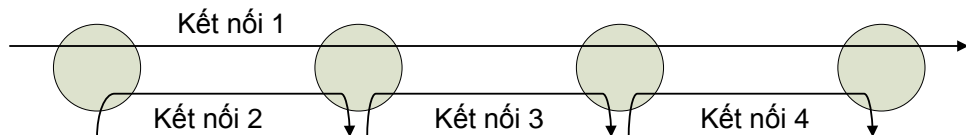
**Định nghĩa – Tính công bằng về mặt băng truyền** thể hiện ở khả năng chia sẻ băng truyền công bằng cho tất cả người dùng hoặc kết nối.

**Ví dụ 5.2:** Xét mô hình mạng như trên hình vẽ dưới đây. Liên kết giữa các nút có tốc độ 1Mbps.

Thông lượng của mạng sẽ đạt cực đại (bằng 3Mbps) nếu các kết nối 2, 3 và 4 được sử dụng toàn bộ 1 Mbps băng thông và kết nối 1 không được cung cấp lượng băng thông nào cả

Một khái niệm khác của tính công bằng là cho mỗi kết nối sử dụng 0,5Mbps băng thông. Lúc này tổng thông lượng của mạng sẽ là 2Mbps.

Nếu cung cấp lượng tài nguyên mạng (băng thông) cho tất cả các kết nối là như nhau, lúc ấy các kết nối 2, 3, 4 sẽ được sử dụng 0,75Mbps và kết nối 1 sử dụng 0,25 Mbps (và được sử dụng trên toàn bộ đường truyền)



Hình: Minh họa sự đánh đổi giữa thông lượng và tính công bằng

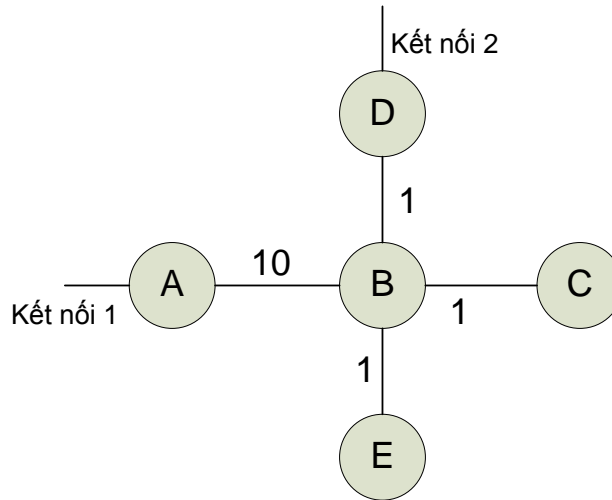
### 5.2.3. Tính công bằng về mặt bộ đệm

Hình vẽ dưới minh họa khái niệm sử dụng bộ đệm

Giả sử nút mạng B có dung lượng bộ đệm hữu hạn

Liên kết 1 (từ A đến B) có tốc độ 10Mbps, liên kết 2 (từ D đến B) có tốc độ 1 Mbps.

Nếu không có cơ chế điều khiển luồng và quản lý bộ đệm, tỷ lệ sử dụng dung lượng bộ đệm tại B của hai liên kết 1 và 2 sẽ là 10:1 (do tốc độ thông tin đến B tương ứng là 10Mbps và 1Mbps)

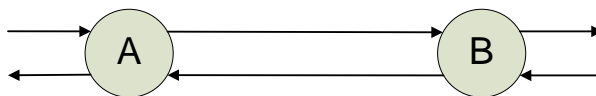


Hình: Minh họa về sự không công bằng khi sử dụng bộ đệm

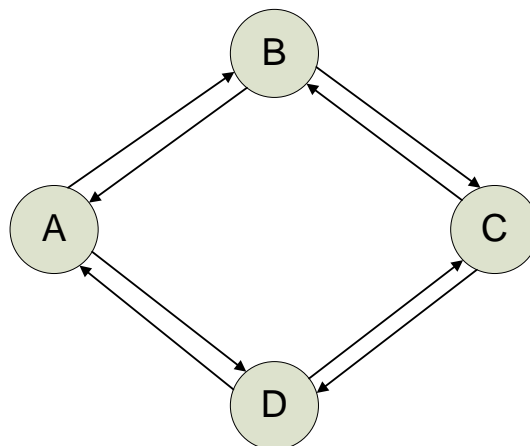
Hình vẽ dưới minh họa hiện tượng tắc nghẽn xảy ra do tràn bộ đệm.

Trong hình (a), bộ đệm của nút A đã được điền đầy bởi thông tin đến từ B và ngược lại. Hệ quả là A và B không nhận được thêm thông tin từ nhau và việc truyền thông tin là không thực hiện được (deadlock)

Trong hình (b), giả sử bộ đệm của A đầy các gói thông tin của B, bộ đệm của B đầy thông tin của C và bộ đệm của C đầy các thông tin của A. Tương tự như trường hợp hình A, trong trường hợp này, việc truyền tin cũng không thực hiện được do tràn bộ đệm.



(a): Direct Deadlock



(b): Indirect Deadlock

Hình: Tắc nghẽn do tràn bộ đệm

**Định nghĩa – Tính công bằng về mặt bộ đệm** là khả năng đảm bảo việc sử dụng bộ đệm của các người dùng, các ứng dụng hay kết nối là công bằng.

Với việc sử dụng cơ chế điều khiển luồng và các cơ chế quản lý bộ đệm, việc phân chia sử dụng bộ đệm giữa các người dùng, ứng dụng hay các kết nối sẽ được thực hiện công bằng hơn.

#### 5.2.4. Cơ chế phát lại ARQ

Các cơ chế điều khiển luồng và điều khiển tắc nghẽn theo phương pháp cửa sổ được hoạt động tương tự như các cơ chế phát lại ARQ (Automatic Repeat Request). Vì lý do đó, trong phần này, chúng tôi trình bày các khái niệm cơ bản về các cơ chế ARQ làm nền tảng cho việc tìm hiểu về điều khiển luồng và điều khiển tắc nghẽn ở các phần sau.

Khi truyền thông tin trong mạng, thông tin truyền từ phía phát sang phía thu có thể bị sai lỗi hoặc mất. Trong trường hợp thông tin bị mất, cần phải thực hiện truyền lại thông tin. Với trường hợp thông tin bị sai, có thể sửa sai bằng một trong hai cách:

Sửa lỗi trực tiếp bên thu: phía thu sau khi phát hiện lỗi có thể sửa lỗi trực tiếp ngay bên thu mà không yêu cầu phải phát lại. Để có thể thực hiện được điều này, thông tin trước khi truyền đi phải được cài các mã sửa lỗi (bên cạnh việc có khả năng phát hiện lỗi, cần có khả năng sửa lỗi).

Yêu cầu phía phát truyền lại: phía thu sau khi kiểm tra và phát hiện có lỗi sẽ yêu cầu phía phát truyền lại thông tin.

Đặc điểm của hai phương pháp sửa lỗi trên:

Sửa lỗi trực tiếp bên thu (Forward Error Correction – FEC): chỉ cần truyền thông tin một lần, không yêu cầu phải truyền lại thông tin trong trường hợp có lỗi. Tuy nhiên, số lượng bit thông tin có thể sửa sai phụ thuộc vào số loại mã sửa sai và số bit thông tin thêm vào cho mục đích sửa sai. Nhìn chung, số bit thông tin thêm vào càng lớn thì số bit có thể sửa sai càng nhiều, tuy nhiên hiệu suất thông tin (số bit thông tin hữu ích trên tổng số bit truyền đi) lại thấp.

Sửa lỗi bằng cách truyền lại: khác với sửa lỗi trực tiếp bên thu, trong trường hợp sửa lỗi bằng cách truyền lại, thông tin trước khi phát chỉ cần thêm các bit thông tin phục vụ cho mục đích phát hiện lỗi (số bit thêm vào ít hơn so với trường hợp sửa lỗi) do đó hiệu suất truyền thông tin cao hơn so với trường hợp trên. Tuy nhiên, trong trường hợp có lỗi xảy ra với khung thông tin thì toàn bộ khung thông tin phải được truyền lại (giảm hiệu suất truyền tin).

Với ưu nhược điểm của các phương pháp trên, sửa lỗi bằng cách truyền lại thường được dùng trong môi trường có tỷ lệ lỗi bit thấp (truyền dẫn hữu tuyến) trong khi sửa lỗi bên thu thường được dùng trong trường hợp môi trường truyền dẫn có tỷ lệ lỗi bit cao (vô

tuyến). Để có thể đối phó với trường hợp lỗi chùm (burst noise), có thể áp dụng một số cơ chế như ghép xen kẽ thông tin (interleaving).

Trong khuôn khổ chương này, chúng tôi trình bày việc điều khiển lỗi theo cơ chế phát lại. Các cơ chế này được gọi là ARQ (Automatic Repeat Request). Cơ chế sửa lỗi trực tiếp bên thu được trình bày trong các nội dung của môn học khác.

Các cơ chế phát lại được chia ra làm 3 loại chính:

**Cơ chế phát lại dừng và đợi** (Stop-and-Wait ARQ)

**Cơ chế phát lại theo nhóm** (Go-back-N ARQ)

**Cơ chế phát lại có lựa chọn** (Selective repeat ARQ)

Phần dưới đây sẽ lần lượt trình bày nguyên tắc hoạt động cũng như đánh giá hiệu năng của mỗi phương pháp.

### 5.2.5. Stop-and-Wait ARQ

#### Cơ chế hoạt động

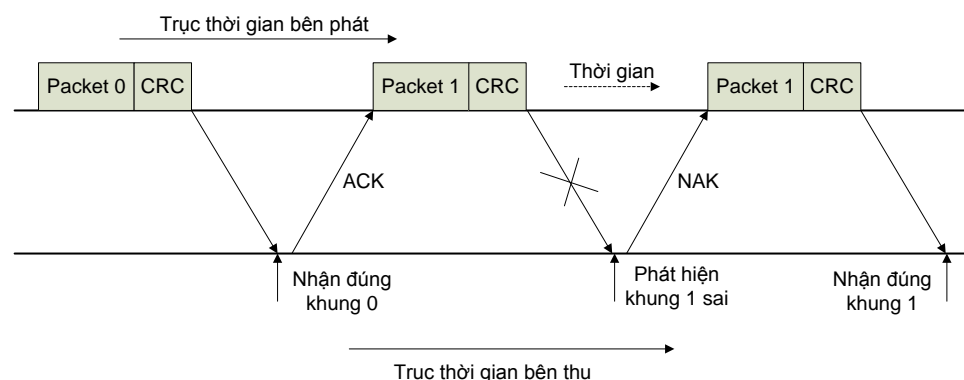
Trong cơ chế phát lại theo phương pháp dừng và đợi (Stop-and-Wait ARQ), phía phát sẽ thực hiện phát một khung thông tin sau đó dừng lại, chờ phía thu báo nhận.

Phía thu khi nhận đúng khung thông tin và xử lý xong sẽ gửi báo nhận lại cho phía phát. Phía phát sau khi nhận được báo nhận sẽ phát khung thông tin tiếp theo.

Phía thu khi nhận khung thông tin và phát hiện sai sẽ gửi báo sai lại cho phía phát. Phía phát sau khi nhận được báo sai sẽ thực hiện phát lại khung thông tin.

Báo nhận được sử dụng cho khung thông tin đúng và được gọi là **ACK** (viết tắt của chữ Acknowledgement). Báo sai được sử dụng cho khung thông tin bị sai và được gọi là **NAK** (viết tắt của chữ Negative Acknowledgement).

Hình vẽ dưới đây mô tả nguyên tắc hoạt động cơ bản của cơ chế phát lại dừng và đợi.



Hình: Phát lại theo cơ chế dừng và đợi

**5) Câu hỏi:** Trong trường hợp phía phát không nhận được thông tin gì từ phía thu, phía phát sẽ làm gì?

Phía phát không nhận được thông tin từ phía thu trong hai trường hợp:

Khung thông tin bị mất, phía thu không nhận được gì và cũng không gửi thông báo cho phía phát.

Phía thu đã nhận được đúng khung thông tin và gửi ACK rồi, nhưng ACK bị mất; hoặc phía thu nhận được khung thông tin và phát hiện sai và đã gửi NAK nhưng khung này bị mất.

Để tránh tình trạng phía phát không phát thông tin do chờ ACK (hoặc NAK) từ phía thu, mỗi khi phát một khung thông tin, phía phát sẽ đặt một đồng hồ đếm ngược (time-out) cho khung thông tin đó. Hết khoảng thời gian time-out, nếu phía phát ko nhận được thông tin gì từ phía thu thì nó sẽ chủ động phát lại khung thông tin bị time-out.

**6) Câu hỏi:** Trong trường hợp phía phát phải phát lại khung thông tin do time-out, nhưng khung thông tin đó đã được nhận đúng ở phía thu rồi (time-out xảy ra do ACK bị mất), phía thu làm thế nào để có thể phân biệt là khung thông tin này là khung phát lại hay khung thông tin mới?

Để có thể phân biệt được các khung thông tin với nhau, cần đánh số khác khung. Trong trường hợp này, chỉ cần dùng một bit để đánh số khung (0 hoặc 1).

Để tránh tình trạng các nhầm lẫn giữa các khung thông tin được phát và báo nhận tương ứng, tất cả các khung được truyền đi giữa hai phía phát – thu đều được đánh số (0, 1) luân phiên. Số thứ tự khung thông tin từ phía phát sang phía thu nằm trong trường SN (Sequence Number) và số thứ tự của báo nhận từ phía thu sang phía phát nằm trong trường RN (Request Number). SN là số thứ tự được khởi tạo ở bên phát, trong khi đó, RN là số thứ tự của khung tiếp theo mà phía thu muốn nhận.  $RN = SN + 1$  trong trường hợp khung đúng (ứng với ACK),  $RN = SN$  trong trường hợp phía thu yêu cầu phát lại do khung sai (ứng với NAK).

Trên thực tế, thông tin trao đổi giữa hai điểm thường được truyền theo hai chiều, nghĩa là đồng thời tồn tại hai kênh truyền từ phát đến thu và ngược lại. Trong trường hợp này, khung ACK/NAK (hay trường RN) không cần nằm trong một khung báo nhận độc lập mà có thể nằm ngay trong tiêu đề của khung thông tin được truyền theo chiều từ thu đến phát. Một số giao thức có khung thông tin báo nhận độc lập (ACK/NAK) trong khi một số giao thức khác lại sử dụng luôn khung thông tin truyền theo chiều ngược lại (từ thu sang phát) để thực hiện báo nhận (hay báo lỗi) cho khung thông tin từ phát sang thu

### **Tóm tắt cơ chế hoạt động của Stop-and-Wait ARQ**

Phía phát – giả sử tại thời điểm đầu  $SN = 0$

- 1) Nhận gói tin từ lớp phía trên và gán SN cho gói tin này
- 2) Gửi gói tin SN này trong một khung thông tin có số thứ tự là SN

3) Chờ khung thông tin (không có lỗi, đóng vai trò là khung báo nhận) từ phía thu.

Nếu khung nhận được không có lỗi, và trong trường *Request* có  $RN > SN$  thì đặt giá trị  $SN = RN$  và quay lại bước 1

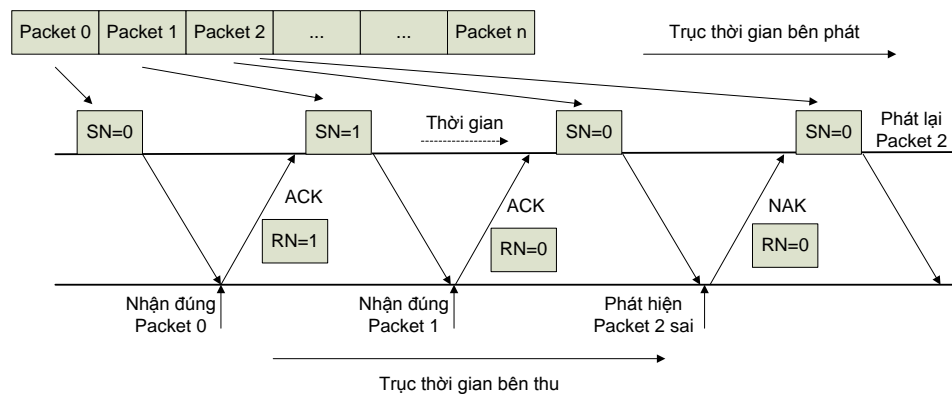
Nếu không nhận được khung thông tin trong một khoảng thời gian định trước (time-out), thì thực hiện bước 2

Phía thu – giả sử tại thời điểm đầu  $RN = 0$

4) Khi nhận được một khung thông tin (không có lỗi) từ phía phát, chuyển khung này lên lớp phía trên và tăng giá trị  $RN$  lên 1

5) Trong trường hợp nhận được khung thông tin có lỗi, gửi lại một khung thông tin cho phía phát với  $RN$  được giữ nguyên (khung báo sai - NAK). Khung được gửi từ phía thu này có thể chứa cả thông tin từ phía thu sáng phía phát chứ không đơn thuần chỉ dùng cho mục đích báo sai.

Hình dưới đây mô tả nguyên tắc hoạt động của cơ chế Stop-and-Wait ARQ khi có sử dụng  $SN$  và  $RN$ .



Hình: Stop-and-Wait ARQ có sử dụng  $SN/RN$

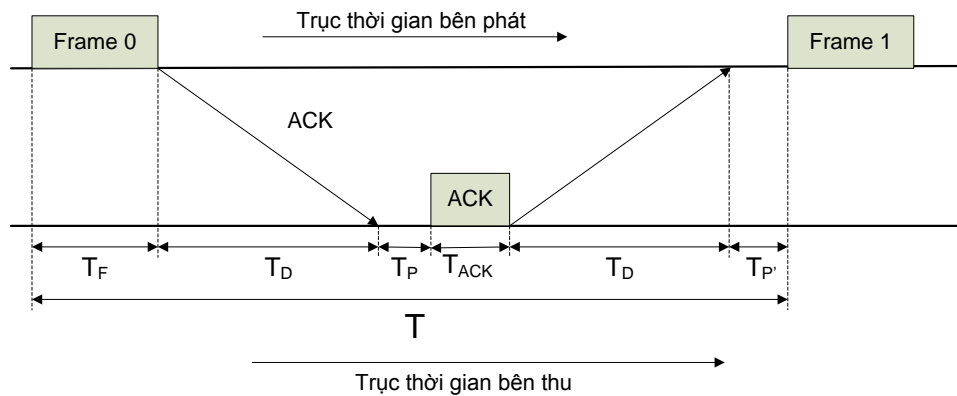
### Hiệu suất của phương pháp Stop-and-Wait ARQ

**Định nghĩa** – Hiệu suất của việc truyền tin giữa phía phát và thu là tỷ lệ giữa thời gian phía phát cần để phát xong lượng thông tin đó trên tổng thời gian cần thiết để truyền lượng thông tin đó.

Tổng thời gian cần thiết ở đây bao gồm thời gian trễ khi truyền tín hiệu từ phát sang thu (và ngược lại) cũng như thời gian xử lý thông tin và thời gian chờ báo nhận từ phía thu.

Để tính hiệu suất tính cho phương pháp ARQ dừng và đợi, người ta tính cho một khung thông tin điển hình, hiệu suất của cả một phiên truyền cho nhiều khung thông tin về bản chất chính bằng hiệu suất khi tính cho một khung (vì cả tử số và mẫu số cùng nhân với một hệ số tỷ lệ là số khung thông tin được truyền)

**Trường hợp 1:** Giả thiết môi trường không có lỗi, thông tin từ truyền từ phía phát sang phía thu chỉ chịu ảnh hưởng của trễ



Hình: Giảm đồ thời gian khi truyền tin từ phát sang thu, không có lỗi

Trong đó:

$T_F$  = thời gian phát khung thông tin

$T_D$  = trễ truyền sóng giữa phía phát và phía thu

$T_P$  = thời gian xử lý khung thông tin ở phía thu

$T_{ACK}$  = thời gian phát khung ACK

$T_{P'}$  = thời gian xử lý khung ACK ở phía phát

Ta có:

Thời gian phía phát cần để phát xong khung thông tin là  $T_F$

Tổng thời gian cần thiết để truyền khung thông tin là  $T = T_F + T_D + T_P + T_{ACK} + T_D + T_{P'}$ . Vì thời gian xử lý khung thông tin  $T_P$  và  $T_{P'}$  là khá nhỏ nên có thể bỏ qua. Trong trường hợp kích thước khung thông tin  $F$  lớn hơn khung báo nhận ACK rất nhiều thì có thể bỏ qua cả  $T_{ACK}$ . Như vậy  $T = T_F + 2T_D$ .

Hiệu suất truyền:

$$\frac{T}{T_F} = \frac{1}{1 - a} \text{ với } a = \frac{T_D}{T_F}$$

Trong đó:

$T_D = \frac{d}{v}$  với  $d$  là khoảng cách giữa hai trạm phát và thu;  $v$  là vận tốc truyền sóng trong môi trường.  $v = 3 \cdot 10^8$  m/s khi truyền trong không gian tự do.

$T_F = \frac{L}{R}$  với  $L$  là kích thước khung thông tin và  $R$  là tốc độ đường truyền

Khi đó  $a = \frac{dR}{vL}$ ,  $a$  càng nhỏ thì hiệu suất truyền càng lớn

**Ví dụ 5.3:** tính hiệu suất của phương pháp phát lại theo cơ chế ARQ dừng và đợi cho tuyến thông tin vệ tinh. Giả thiết khoảng cách từ vệ tinh tới mặt đất là 36.000 km, vận tốc truyền sóng trong không khí là



$3 \cdot 10^8$  m/s, tốc độ thông tin là 56 Kbps và khung có kích thước 4000 bits.

Giải: Ta có

$$a = \frac{R \cdot L}{vL} = \frac{56 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^3}$$

Do đó hiệu suất

$$\frac{1}{1 + a}$$

Hiện tại, các dịch vụ thông tin vệ tinh có tốc độ lớn hơn nhiều ( $R$  lớn) nên hệ số  $a$  càng lớn và hiệu suất sẽ còn nhỏ hơn trường hợp ví dụ này.

**Ví dụ 5.4:** tính hiệu suất của phương pháp phát lại theo ví dụ trên nhưng sử dụng cơ kết nối trong mạng LAN với khoảng cách giữa hai trạm là 100 m, vận tốc truyền sóng trên cáp đồng là  $2 \cdot 10^8$  m/s, tốc độ truyền thông tin là 10 Mbps và khung có kích thước 500 bits.

Giải: tính tương tự như trường hợp trên, ta có

$$a = \frac{R \cdot L}{vL} = \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 100}{2 \cdot 10^8 \cdot 500}, \text{ hiệu suất } \frac{1}{1 + a}$$

Như vậy, với thông tin trong mạng LAN, do cự ly nhỏ nên hiệu suất được cải thiện so với trường hợp truyền thông tin vệ tinh.

**6) Trường hợp 2:** ở phần trên, để tính toán hiệu suất, chúng ta đã giả thiết môi trường truyền lý tưởng (không có lỗi). Tuy nhiên, môi trường truyền thực tế luôn có lỗi và được đặc trưng bởi xác suất lỗi  $p$ , do đó, hiệu suất truyền trên thực tế sẽ nhỏ hơn so với trường hợp lý tưởng.

**Định nghĩa xác suất lỗi** – Xác suất lỗi  $p$  ( $0 \leq p \leq 1$ ) là xác suất phía thu nhận được bit 0 khi phía phát truyền bit 1 (hoặc ngược lại).

Xác suất lỗi càng lớn thì môi trường truyền càng không tốt, khi  $p = 0$  thì môi trường truyền không có lỗi (lý tưởng);  $p = 1$  là khi môi trường truyền luôn luôn có lỗi (sẽ không dùng để truyền tin).

Khi  $0,5 < p < 1$  tức là khả năng phía thu nhận được thông tin có lỗi sẽ lớn hơn nhận được thông tin đúng, trong trường hợp này, chỉ cần đảo bit luồng thông tin thu được là ta có thể chuyển thành trường hợp  $0 < p < 0,5$ . Vì lý do đó, trong lý thuyết thông tin, người ta chỉ tìm hiểu các môi trường truyền dẫn có xác suất lỗi  $0 \leq p \leq 0,5$ .

Như trên đã trình bày, khi truyền thông tin trong môi trường có lỗi, có thể xảy ra trường hợp phải truyền lại khung thông tin (do lỗi), do đó, hiệu suất trong trường hợp này nhỏ hơn trường hợp lý tưởng. Gọi  $N_R$  là số khung thông tin phải truyền cho đến khi đúng ( $1 \leq N_R \leq \infty$ ), khi

Ấy, hiệu suất của trường hợp không lý tưởng sẽ là  $\frac{1}{N_R}$ . Vấn

đề ở đây là tính được giá trị  $N_R$ . Để đơn giản hóa, ta giả thiết ACK và NAK không bị lỗi. Ta thấy, với xác suất lỗi là  $p$  thì:

Xác suất để truyền khung thành công ngay lần đầu là  $1-p$

Xác suất để truyền khung đến lần thứ hai mới thành công là  $p(1-p)$

Tổng quát hoá: xác suất để truyền khung đến lần thứ  $i$  mới thành công là  $p^{i-1}(1-p)$

Vậy:

$$N_R = \frac{1}{1-p}$$

Hiệu suất của phương pháp ARQ dừng và đợi trong trường hợp thực tế:

$$a = \frac{R}{vL}$$

### Nhận xét

Như phần trên đã trình bày, hiệu suất của phương pháp truyền theo cơ chế dừng và đợi phụ thuộc vào hệ số  $a = \frac{R}{vL}$ ,  $a$  càng nhỏ thì hiệu suất càng lớn. Ta thấy  $a$  sẽ nhỏ khi  $vL$  lớn hoặc khi  $R$  nhỏ.

$R$  nhỏ – đây là điều không mong muốn khi truyền thông tin vì trên thực tế, người ta mong muốn truyền tin với tốc độ đường truyền càng cao càng tốt.

$d$  nhỏ – tham số khoảng cách giữa phía phát và phía thu thường không thay đổi được do phụ thuộc vào những yêu cầu khách quan bên ngoài.

$v$  lớn – vận tốc truyền sóng trong môi trường có các giá trị nhất định và rất khó có thể thay đổi.

$L$  lớn – có thể tăng kích thước khung để tăng hiệu suất. Tuy nhiên phương pháp này có nhược điểm là thông tin truyền lại sẽ lớn nếu khung thông tin ban đầu bị sai. Cũng vì lý do này mà mỗi môi trường truyền dẫn nhất định sẽ có kích thước khung tối ưu tương ứng.

Như vậy, hệ số  $a$  gần như không thể thay đổi dẫn đến phương pháp truyền lại theo cơ chế dừng và đợi không được sử dụng phổ biến do hiệu quả sử dụng đường truyền không cao. Để nâng hiệu suất lên, cần có những cơ chế mới nhằm đảm bảo phía phát có thể tận dụng được thời gian rảnh rỗi trong khi chờ báo nhận từ phía thu. Người ta đã dựa trên cơ chế dừng và đợi này để tạo ra các cơ chế mới cho hiệu quả truyền cao hơn, cụ thể là cơ chế truyền lại theo nhóm (Go-back-N ARQ) và cơ chế phát lại theo yêu cầu (Selective Repeat ARQ).

## 5.2.6. Go-back-N ARQ

### Cơ chế hoạt động

Với cơ chế phát lại Go-back-N, phía phát sẽ được phát nhiều hơn một khung thông tin trước khi nhận được báo nhận từ phía thu. Số khung thông tin cực đại mà phía phát có thể phát (ký hiệu là  $W$ ) được gọi là kích thước cửa sổ. Với cơ chế hoạt động này, Go-back-N (và cả phương pháp selective repeat trình bày ở phần sau) được gọi là cơ chế cửa sổ trượt (sliding window)

Mỗi khi phát xong một khung thông tin, phía phát giảm kích thước cửa sổ đi 1, khi kích thước cửa sổ bằng 0, phía phát sẽ không được phát thêm khung thông tin nào nữa (điều này đảm bảo số khung thông tin đồng thời đến phía thu không vượt quá  $W$ , và do đó, không vượt quá khả năng xử lý của phía thu).

Mỗi khi phía thu nhận được một khung thông tin đúng và xử lý xong, phía thu sẽ gửi lại một báo nhận ACK cho phía phát. Khi nhận được báo nhận này, phía phát sẽ tăng kích thước cửa sổ  $W$  lên 1. Điều này đồng nghĩa với việc phía phát sẽ được phát thêm một khung nữa, ngoài  $W$  khung đã phát trước đó, vì phía thu đã xử lý xong một khung, và như vậy, tổng số khung mà phía thu phải xử lý tại một thời điểm vẫn không vượt quá  $W$ .

Để có thể phân biệt các khung trên đường truyền, các khung cần được đánh số thứ tự. Nếu dùng  $k$  bit để đánh số thì tổng số khung được đánh số sẽ là  $2^k$  (từ 0 đến  $2^k - 1$ ) và do đó, kích thước cửa sổ tối đa  $W_{max} = 2^k$  (về mặt lý thuyết).

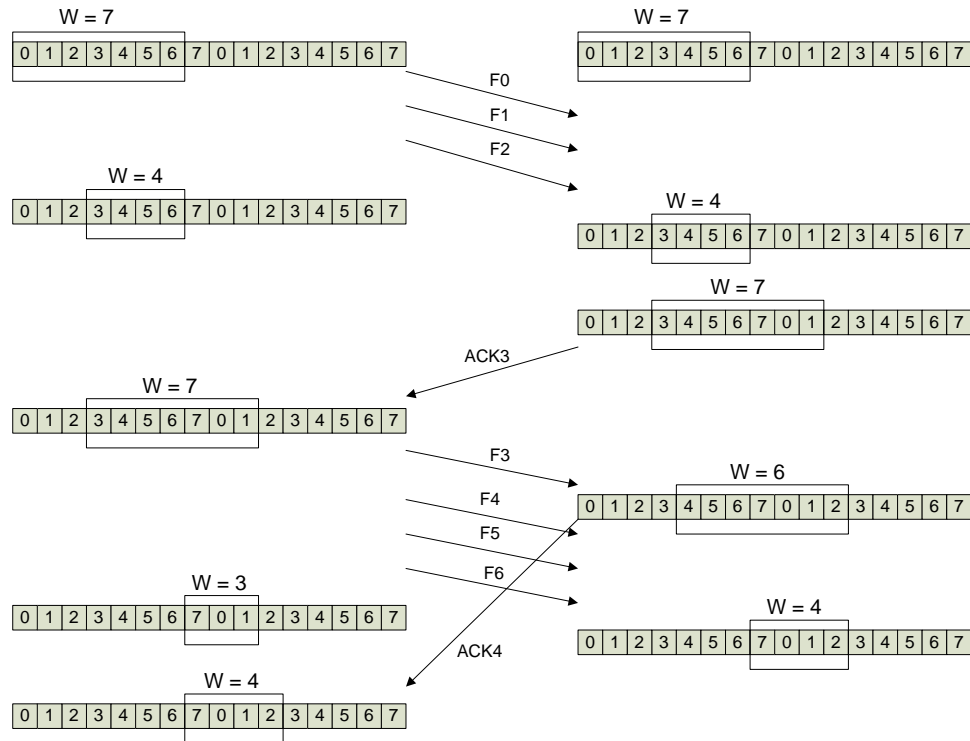
Ví dụ sử dụng 3 bit để đánh số thứ tự cho các khung thông tin. Lúc này kích thước cửa sổ cực đại sẽ là 7 (yêu cầu sinh viên giải thích lý do). Tại thời điểm ban đầu, cả phía phát và thu đều có kích thước cửa sổ là 7 thể hiện rằng phía phát được phép phát tối đa là 7 khung (bắt đầu từ khung  $F_0$ ). Sau khi phía phát đã phát được ba khung ( $F_0, F_1, F_2$ ) và chưa nhận được ACK, phía phát giảm kích thước cửa sổ xuống còn 4. Lúc này cửa sổ phía phát bao gồm các khung từ  $F_3$  đến  $F_6$  thể hiện rằng phía phát còn được phép truyền tối đa là 4 khung nữa, bắt đầu từ khung  $F_3$ .

Ở phía thu, sau khi đã nhận đúng và xử lý xong ba khung  $F_0, F_1$  và  $F_2$  thì sẽ gửi lại ACK3 cho phía phát. ACK3 nhằm ám chỉ rằng: "Phía thu đã nhận và xử lý xong các khung cho đến  $F_2$  và phía thu đang sẵn sàng nhận khung 3." Thực tế, phía thu sẵn sàng nhận 7 khung bắt đầu từ khung  $F_3$ . Phía thu đồng thời tăng kích thước cửa sổ bên thu lên 7, bao các khung từ  $F_3$  cho đến  $F_1$ .

Phía phát sau khi nhận được ACK3 sẽ tăng kích thước cửa sổ thêm 3 đơn vị. Lúc này cửa sổ phía phát  $W = 7$  và bao các khung từ  $F_3$  đến  $F_1$ . Giả sử lúc này phía phát thực hiện phát các khung từ  $F_3$  đến  $F_6$  (4 khung). Sau khi phát, phía phát sẽ giảm kích thước cửa sổ đi 4 ( $W = 3$ ), lúc này cửa sổ chỉ còn bao các khung  $F_7, F_0$  và  $F_1$ .

Phía thu gửi lại  $ACK4$ , báo rằng nó đã nhận và xử lý xong khung  $F3$ ,  $ACK4$  ám chỉ rằng phía phát được phép phát tối đa là 7 khung bắt đầu từ  $F4$ . Tuy nhiên khi  $ACK4$  về đến phía phát thì phía phát đã thực hiện phát các khung  $F4$ ,  $F5$  và  $F6$  rồi, như vậy, phía phát sẽ chỉ còn phát được tối đa là 4 khung bắt đầu từ  $F7$ .

Hình dưới đây minh họa nguyên tắc hoạt động của cơ chế cửa sổ trượt.



Hình: Nguyên tắc hoạt động của cơ chế cửa sổ trượt

Trong trường hợp lý tưởng (không có lỗi xảy ra) thì cơ chế cửa sổ trượt đảm bảo số khung thông tin từ phía phát đến phía thu không vượt quá kích thước cửa sổ. Trong trường hợp này, không có sự phân biệt giữa Go-back-N và selective repeat (và chúng được gọi chung là sliding window).

Khi có lỗi xảy ra, việc truyền lại các khung lỗi của cơ chế cửa sổ trượt được thực hiện theo hai cách khác nhau:

Go-back-N: phía phát sẽ thực hiện phát lại khung thông tin bị sai và tất cả các khung thông tin khác đã được truyền, tính từ khung bị sai.

Selective repeat: phía phát sẽ chỉ phát lại các khung thông tin bị sai

Để có thể hiểu rõ hơn về cơ chế hoạt động của Go-back-N, ta xét một số trường hợp cụ thể sau:

1) Khung thông tin bị lỗi – có thể xảy ra một trong ba trường hợp:

Phía phát đã phát khung  $i$ , phía thu đã thu đúng các khung từ  $i-1$  trở về trước. Lúc này phía thu sẽ gửi  $NAK\ i$  ( $RN = i$ ) cho phía phát để báo lỗi cho khung  $i$ . Khi phía phát nhận được  $NAK\ i$ , nó sẽ thực

hiện phát lại khung  $i$  và tất cả các khung sau  $i$  (nếu các khung đó đã được phát).

Khung thông tin  $i$  bị mất trên đường truyền, giả sử phía thu nhận được khung  $i+1$ , lúc này phía thu thấy các khung đến không theo thứ tự (nhận được  $i+1$  trước khi nhận được  $i$ ) và hiểu rằng khung  $i$  đã mất. Phía thu sẽ gửi lại  $NAK\ i$  cho phía phát.

Khung thông tin  $i$  bị mất trên đường truyền và phía phát không gửi thêm khung thông tin nào nữa. Lúc này phía thu không nhận được gì và không gửi lại ACK hay NAK. Phía phát chờ đến time-out của khung thông tin  $i$  và thực hiện truyền lại khung này.

2) Khung ACK bị lỗi – ACK bị lỗi có thể xảy ra một trong hai trường hợp:

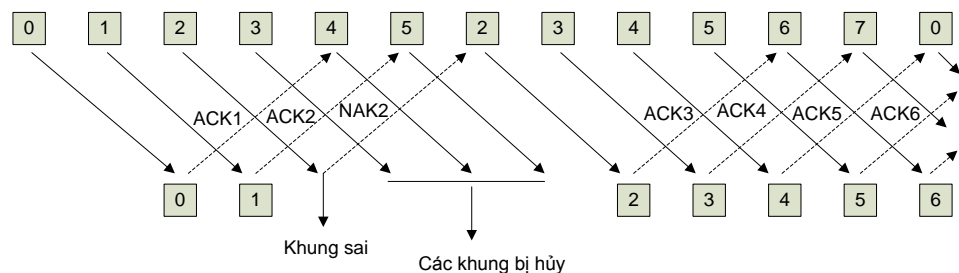
Phía thu nhận được khung  $i$  và gửi  $ACK(i+1)$  về phía phát và ACK này bị mất trên đường truyền. Giả sử trước khi time-out của khung  $i$  xảy ra, phía phát nhận được  $ACK(i+2)$  (hoặc  $ACK(i+n)$  với  $n > 1$ ) thì phía phát hiểu rằng khung  $i$  đã được nhận đúng. Kết luận này được giải thích như sau: khi phía thu gửi  $ACK(i+2)$  nghĩa là phía thu đã nhận đúng (và chấp nhận) khung  $i+1$ , điều đó cũng đồng nghĩa với việc phía thu đã nhận đúng khung  $i$ . Người ta nói cơ chế của Go-back-N sử dụng **cummulative ACK** (nghĩa là các ACK sau cũng đồng thời báo nhận cho các khung trước đó)

Nếu trong khoảng thời gian time-out của khung  $i$ , phía phát không nhận được  $ACK(i+n)$  nào cả thì sau time-out, phía phát sẽ phải phát lại khung  $i$  (và tất cả các khung sau đó).

3) Khung NAK bị lỗi – trong trường hợp NAK bị lỗi, nghĩa là khung  $i$  bị lỗi, lúc này phía thu sẽ không nhận thêm một khung nào sau khung  $i$  (và cũng sẽ không gửi báo nhận). Với trường hợp này phía phát bắt buộc phải chờ đến time-out và thực hiện phát lại khung thông tin  $i$ .

4) Để đơn giản vấn đề, chúng ta không xem xét trường hợp ACK và NAK bị sai (nếu xét thì sẽ như thế nào???)

Hình 1-8 đây trình bày nguyên tắc phát lại của ARQ Go-back-N khi có lỗi xảy ra với khung thông tin



Hình 5-8: Minh họa cơ chế Go-back-N ARQ

### **Một số chú ý của cơ chế hoạt động ARQ Go-back-N**

Bên cạnh nguyên tắc hoạt động và minh họa đã trình bày trên đây, cần chú ý một số điểm sau khi tìm hiểu hoạt động của Go-back-N

Trong trường hợp phía thu có khả năng xử lý  $W$  khung thông tin thì không cần bộ đệm. Phía thu chỉ nhận và xử lý thông tin theo đúng thứ tự (dựa trên số thứ tự đánh trên các khung)

Phía thu chuyển các gói thông tin lên lớp cao hơn theo thứ tự

Phía thu sẽ không nhận khung  $i+1$  nếu chưa nhận được khung  $i$ . Điều này là nguyên nhân khiến phía thu không cần phải có bộ đệm

Phía phát phải lưu tối đa là  $W$  khung thông tin trong bộ đệm để chờ ACK

### **Hiệu suất của cơ chế ARQ Go-back-N**

Tương tự như trường hợp ARQ dừng và đợi, khi tính hiệu suất của phương pháp phát lại ARQ Go-back-N, chúng ta cũng tính trong hai trường hợp: trường hợp lý tưởng và trường hợp thực tế.

#### **1) Trường hợp 1:** trong điều kiện lý tưởng

Để có thể tính được hiệu suất của phương pháp ARQ Go-back-N trong trường hợp lý tưởng, chúng ta dựa trên hiệu suất của phương pháp dừng và đợi đã biết. Đó là:  $\frac{1}{1+a}$  trong đó  $a = \frac{T_D}{T_F}$ . Nếu chuẩn

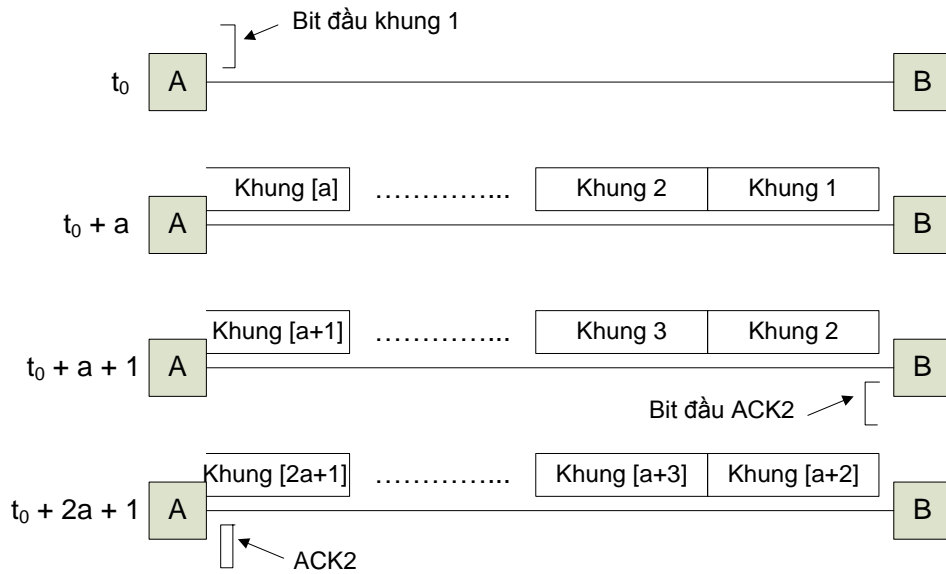
hóa đơn vị  $T_F = 1$  đơn vị thời gian (giả thiết thời gian phát khung là 1 đơn vị chuẩn) thì trễ truyền sóng từ giữa hai trạm thu phát là  $a$  đơn vị thời gian. Nói một cách khác, khung thông tin truyền từ phát sang thu và khung ACK/NAK truyền từ thu về phát mất một khoảng thời gian là  $a$  đơn vị thời gian.

Hình 1-9 trình bày về giản đồ thời gian của phương pháp cửa sổ trượt. Hình 1-9(a) minh họa trong trường hợp kích thước cửa sổ  $W > 2a + 1$  và hình 1-9 (b) minh họa trong trường hợp kích thước cửa sổ  $W < 2a + 1$ .

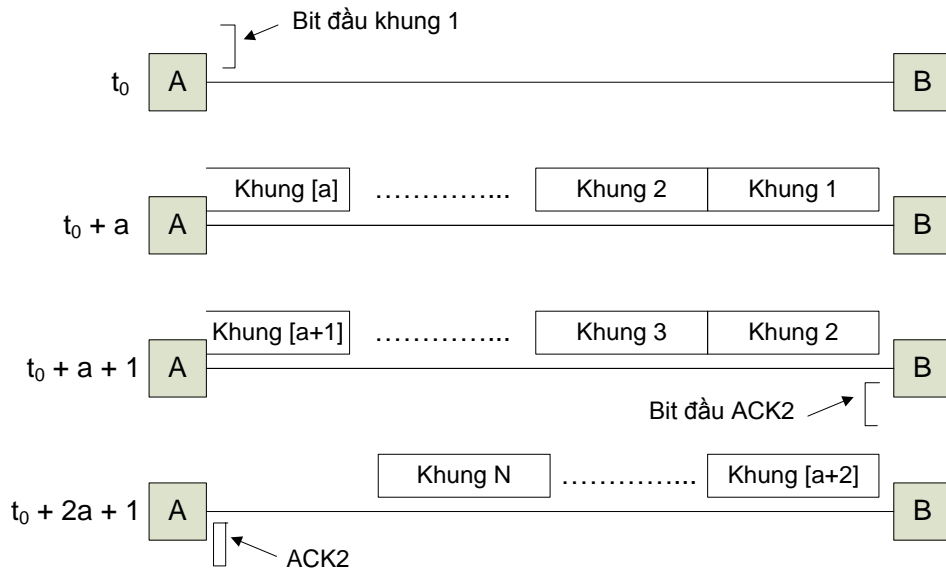
Quy ước:

[ $X$ ] là số nguyên nhỏ nhất lớn hơn hay bằng  $X$ .

$A$  là phía phát,  $B$  là phía thu



Hình 5-9(a): Giảm đồ thời gian phương pháp cửa sổ trượt,  $W > 2a+1$



Hình 5-9(b): Giảm đồ thời gian phương pháp cửa sổ trượt,  $W < 2a+1$

Hiệu suất của phương pháp này phụ thuộc vào kích thước cửa sổ  $W$  và giá trị  $a$ . Trên hình 1-9(a) và 1-9(b), phía phát A thực hiện truyền các khung tại thời điểm  $t_0$  (bit đầu tiên của khung đầu tiên). Bit đầu tiên này đến phía thu B tại thời điểm  $t_0+a$ . Toàn bộ khung đầu tiên đến B tại thời điểm  $t_0+a+1$ . Giả thiết bỏ qua thời gian xử lý, như vậy B cũng có thể gửi báo nhận ACK tại thời điểm  $t_0+a+1$ . Trong trường hợp kích thước báo nhận nhỏ thì đây cũng là thời điểm toàn bộ báo nhận ACK rời khỏi phía thu. Báo nhận này đến phía phát A tại thời điểm  $t_0+2a+1$ . Giả thiết phía phát luôn có dữ liệu để có thể truyền liên tục, khi ấy có hai trường hợp xảy ra.

Nếu  $W \geq 2a+1$ : báo nhận đầu tiên đến phía phát trước khi  $W = 0$ . Kể từ thời điểm A nhận được báo nhận đầu tiên, cứ mỗi một đơn vị thời gian A phát được một khung thông tin và cũng đồng thời nhận được một báo nhận, như vậy A có thể phát tin liên tục

Nếu  $W < 2a+1$ : kích thước cửa sổ phía phát  $W = 0$  đạt tại thời điểm  $t_0+W$  (xảy ra trước thời điểm  $t_0+2a+1$ ) và phía phát không thể phát khung trong khoảng thời gian từ  $t_0+W$  đến  $t_0+2a+1$ .

Hiệu suất của phương pháp cửa sổ trượt lúc này:

$$\frac{W}{2a} \text{ khi } W < 2a+1 \text{ và } \frac{2a+1}{2a} \text{ khi } W \geq 2a+1$$

**2) Trường hợp 2:** trong trường hợp thực tế, do có lỗi xảy ra nên hiệu suất thực tế nhỏ hơn hiệu suất trong trường hợp lý tưởng

$N_R$  trong đó  $N_R$  là số là phát trung bình cho đến khi thành công.

Với trường hợp Go-back-N, mỗi khi có lỗi xảy ra, phía phát sẽ phải phát lại  $K$  khung (việc xác định  $K$  sẽ được tính ở phần sau).

Xác suất để khung thông tin được truyền đến lần thứ  $i$  thì đúng

$p(i)$  (trong đó  $p^{i-1}$  là xác suất để  $i-1$  lần truyền đầu tiên bị sai) và  $1-p$  là xác suất để lần truyền thứ  $i$  đúng.

Với trường hợp này, tổng số khung phải truyền lại sẽ là  $f(i) = 1 + (i-1) \cdot K$  trong đó  $(i-1) \cdot K$  là tổng số khung phải truyền lại cho  $i-1$  lần truyền sai.

Vậy số khung trung bình cần truyền trong trường hợp truyền đến lần thứ  $i$  mới đúng là  $N(i) = f(i) \cdot p(i)$

Số khung trung bình cần truyền cho đến khi thành công:

$$N_R = \sum_{i=1}^{\infty} N(i) \cdot p^{i-1}$$

$$N_R = \sum_{i=1}^{\infty} [1 + (i-1)K] p^i$$

Sử dụng các kết quả sau:

$$\sum_{i=1}^{\infty} p^i = \frac{p}{1-p}$$

Và:

$$\sum_{i=1}^{\infty} i p^i = \frac{p}{(1-p)^2}$$

Ta có:

$$N_R = \frac{p}{(1-p)^2} + K \frac{p^2}{(1-p)^2}$$

Tính  $K$ :

Để tính hiệu suất của phương pháp Go-back-N, ta giả thiết phía phát luôn có dữ liệu để phát (thực hiện phát liên tục, trừ khi phải dừng lại do kích thước cửa sổ = 0). Như vậy,



Nếu  $W \geq 2a + 1$  thì  $K = 2a + 1$  – do khi NAK của khung  $i$  về thì phía phát đã phát thêm được  $2a + 1$  khung

Nếu  $W < 2a + 1$  thì  $K = W$  – do khi NAK của khung  $i$  về thì phía phát đã phát xong kích thước cửa sổ ( $W$  khung) và đang chờ báo nhận cho khung  $i$  để phát tiếp.

Hiệu suất:

$$\frac{W}{2a+1} \text{ khi } W \geq 2a+1$$

Và:

$$\frac{W(1-p)}{(2a+1)(1-p+Wp)} \text{ khi } W < 2a+1$$

### **Nhận xét**

Ưu điểm của phương pháp ARQ Go-back-N là hiệu suất cao hơn so với phương pháp ARQ dừng và đợi. Bên cạnh đó, cơ chế xử lý thông tin ở phía thu khá đơn giản và không cần bộ đệm.

Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là cần truyền lại quá nhiều khung thông tin trong trường hợp khung thông tin bị lỗi. Để khắc phục nhược điểm này, người ta đề xuất sử dụng cơ chế ARQ phát lại theo yêu cầu (Selective repeat ARQ)

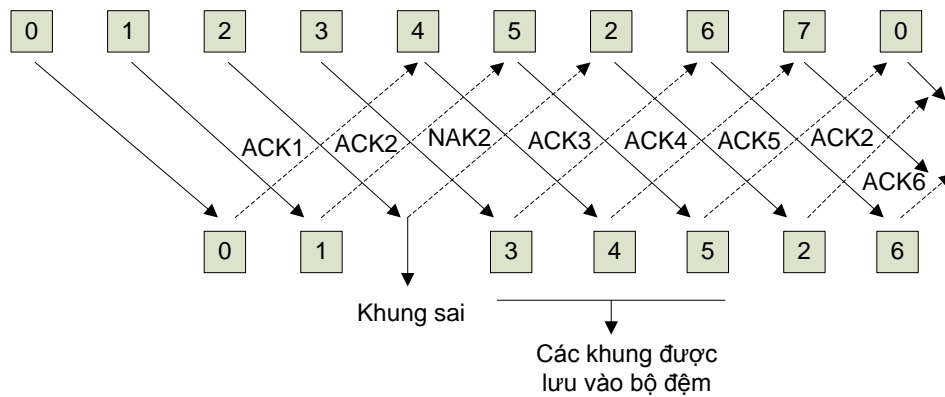
## **5.2.7. Selective repeat ARQ**

### **Cơ chế hoạt động**

Tương tự như cơ chế phát lại Go-back-N, cơ chế phát lại có lựa chọn (selective repeat ARQ) cũng dựa trên phương pháp cửa sổ trượt. Phía phát được phép phát tối đa  $W$  khung thông tin (kích thước cửa sổ) trước khi nhận được báo nhận.

Điểm khác biệt giữa selective repeat và Go-back-N nằm ở cách hai phương thức này xử lý khung thông tin bị lỗi. Với trường hợp selective repeat, phía phát sẽ chỉ thực hiện phát lại khung thông tin bị lỗi mà không cần phát lại tất cả các khung khác sau khung lỗi nếu như các khung đó không bị sai. Cơ chế này giúp tăng hiệu quả sử dụng đường truyền so với cơ chế Go-back-N.

Hình 5-10 mô tả nguyên tắc hoạt động của selective repeat



Hình 1-10: Nguyên tắc hoạt động của selective repeat

### Một số chú ý của selective repeat ARQ

Do phía phát chỉ thực hiện phát lại các khung bị lỗi, do đó các khung đến phía thu có thể không theo thứ tự như khi được phát đi ở phía phát

Phía thu phải có khả năng xử lý các khung thông tin không theo thứ tự.

Do các khung thông tin phải được đưa lên lớp trên theo đúng thứ tự nên phía thu phải có bộ đệm để lưu tạm các khung thông tin trong khi chờ các khung bị mất hoặc lỗi được phát lại.

Phía phát phải thực hiện báo nhận cho tất cả các khung thông tin mà nó nhận đúng. Các khung thông tin không được báo nhận trong khoảng thời gian time-out tương ứng sẽ được coi là bị mất hoặc lỗi

Trong trường hợp phía thu nhận được một khung thông tin sai, phía thu có thể gửi NAK để báo lỗi và yêu cầu truyền lại khung đó (selective reject)

### Hiệu suất của cơ chế selective repeat ARQ

Tương tự như trường hợp Go-back-N, hiệu suất của cơ chế selective repeat cũng được tính cho hai trường hợp: lý tưởng và không lý tưởng

#### 1) Trường hợp 1: lý tưởng.

Do bản chất của selective repeat là cũng hoạt động dựa trên phương pháp cửa sổ trượt (giống Go-back-N) nên trong trường hợp lý tưởng (không có lỗi), hiệu suất của selective repeat cũng chính là hiệu suất của Go-back-N và là hiệu suất của phương pháp cửa sổ trượt khi môi trường không có lỗi.

Hiệu suất:

$$\frac{W}{2a} \text{ khi } W < 2a+1$$

và

$$\frac{2a+1}{2a} \text{ khi } W \geq 2a+1$$

#### 2) Trường hợp 2: không lý tưởng

Trong trường hợp này, hiệu suất của phương pháp selective repeat sẽ bằng hiệu suất của phương pháp cửa sổ trượt trong trường hợp lý tưởng chia cho số lần phát lại trung bình  $N_R$  (tương tự như trường hợp Go-back-N). Hiệu suất  $\frac{1}{N_R}$ . Tuy nhiên  $N_R$  trong trường hợp selective repeat khác với trường hợp Go-back-N.

Tính  $N_R$  – do bản chất của việc truyền lại trong selective repeat hoàn toàn tương tự như trong phương pháp dừng và đợi nên với cách tính tương tự,  $N_R = \frac{1}{1 - P}$ .

Hiệu suất:

$$\frac{W(1-P)}{2a} \text{ khi } W < 2a+1$$

và

$$\frac{1}{2} \text{ khi } W \geq 2a+1$$

### Nhận xét

Cơ chế selective repeat cho hiệu suất hoạt động trên đường truyền cao hơn so với Go-back-N do cơ chế này sử dụng đường truyền hiệu quả hơn. Tuy nhiên, cơ chế selective repeat hoạt động phức tạp hơn do nó yêu cầu phía thu phải có khả năng xử lý các khung thông tin đến phía thu không theo thứ tự. Ngoài ra, phía thu cần phải có bộ đệm để có thể lưu tạm thời các khung thông tin này.

### 5.3. Điều khiển luồng và tránh tắc nghẽn theo phương pháp cửa sổ

Cơ chế điều khiển luồng và chống tắc nghẽn dựa trên phương pháp cửa sổ được thực hiện bởi việc giới hạn số lượng gói tin được truyền ở phía phát nhằm đảm bảo thông tin này không vượt quá khả năng xử lý của phía thu.

Theo cơ chế này, phía phát sẽ không thực hiện phát tin chừng nào phía thu còn chưa xử lý xong gói tin (hoặc một số gói tin) trước đó. Khi phía thu xử lý xong thông tin do phía phát gửi đến thì nó sẽ báo cho phía phát biết và lúc này, phía phát sẽ tiếp tục gửi các gói tin tiếp theo. Cơ chế này đảm bảo việc truyền tin không bao giờ vượt quá khả năng xử lý của phía thu.

Với việc kết hợp hoạt động nhịp nhàng giữa phía phát và phía thu (có sử dụng báo nhận), số lượng gói tin đồng thời tồn tại trên đường truyền nằm trong giới hạn nhất định. Nếu phía thu có bộ đệm với dung lượng lớn hơn tổng kích thước các gói tin này thì bộ đệm phía thu sẽ không bao giờ bị tràn.

Các tiến trình thông tin có thể chịu sự ảnh hưởng của điều khiển luồng gồm có các kênh ảo độc lập, một nhóm các kênh ảo hay toàn bộ luồng thông tin từ một nút mạng này đến một nút mạng khác.

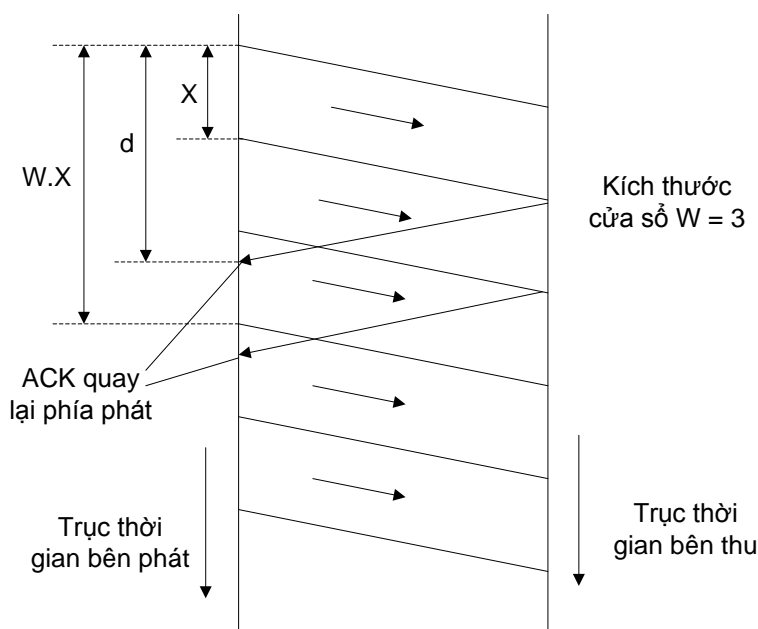
Các phương pháp điều khiển luồng được dựa trên các phương pháp điều khiển lỗi và phát lại ARQ ở lớp 2 của mô hình OSI (đã được trình bày ở phần trên).

### 5.3.1. Điều khiển luồng theo cửa sổ (Window Flow Control)

Phương pháp điều khiển luồng theo cửa sổ trượt là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất ở thời điểm hiện tại. Trong phần này, chúng tôi sẽ lần lượt trình bày việc điều khiển luồng theo cửa sổ trượt theo hai cơ chế end-to-end (điều khiển luồng giữa điểm phát và điểm thu trong mạng) và hop-by-hop (điều khiển luồng giữa hai nút mạng liên tiếp).

#### Cửa sổ End-to-End

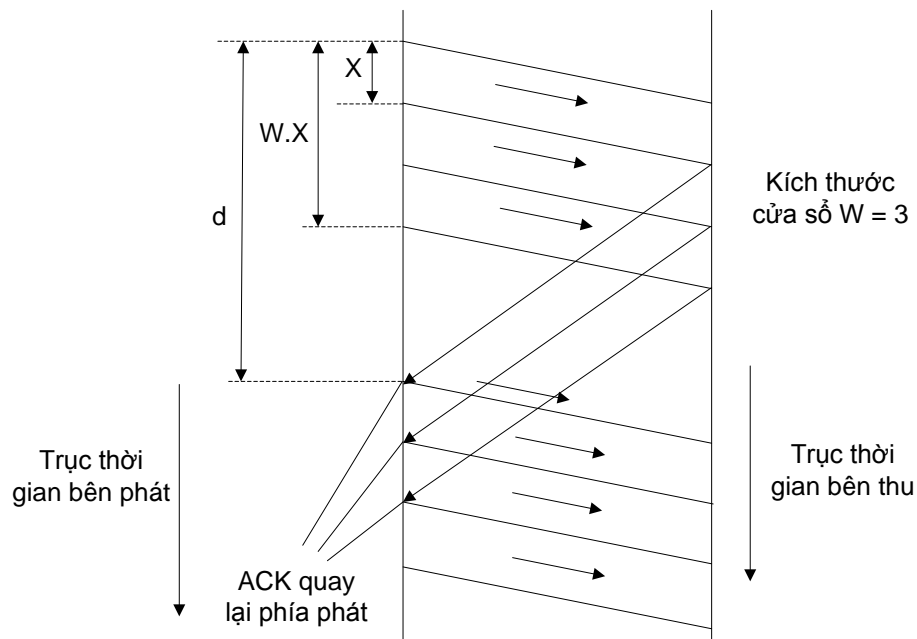
Như phần trên đã nói, phương pháp điều khiển luồng theo cửa sổ dựa trên cơ sở phương pháp cửa sổ trượt ARQ làm việc tại lớp liên kết dữ liệu. Các khung thông tin từ phát sang thu và khung báo nhận, báo lỗi truyền từ thu sang phát được đánh số thứ tự để phân biệt, kích thước cửa sổ  $W < 2^k$  với  $k$  là số bit dùng đánh số phân biệt các khung.



Hình 5-11: Ví dụ phía phát truyền tin liên tục khi  $W = 3$

Hình 1-11 trình bày mối liên hệ giữa kích thước cửa sổ và tốc độ truyền thông tin. Gọi  $X$  là thời gian phát một khung thông tin,  $W$  là kích thước cửa sổ và  $d$  là tổng trễ từ phát đến thu (dùng cho khung thông tin) và từ thu đến phát (dùng cho báo nhận), round-trip delay.

Trong hình vẽ này, kích thước cửa sổ  $W = 3$ ,  $d \leq W.X$ . Như lý luận trong phần ARQ, lúc này phía phát có thể truyền thông tin liên tục mà không cần phải dừng lại đợi. Tốc độ phát thông tin  $r = 1/X$  và trong trường hợp này, điều khiển luồng không có ý nghĩa (vì phía phát có thể phát tin với tốc độ cao nhất mà không bị hạn chế)



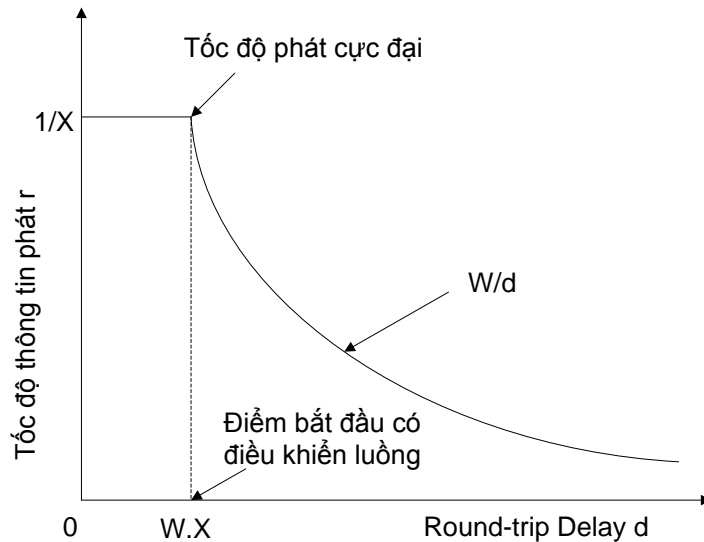
Hình 5-12: Ví dụ phía phát truyền tin không liên tục khi  $W = 3$

Hình 1-12 trình bày trường hợp  $d > W.X$ , trong trường hợp này, ta thấy được vai trò của điều khiển luồng. Phía phát thực hiện phát  $W$  khung thông tin sau đó dừng lại chờ báo nhận ở phía thu, rồi mới được phát tiếp. Nói một cách khác, lượng thông tin đến phía thu (hay lượng thông tin đi vào mạng) đã bị hạn chế nhỏ hơn khả năng phát cực đại của phía phát. Điều này xảy ra khi round-trip delay lớn nên khi phía phát thực hiện phát xong  $W$  gói tin rồi nhưng báo nhận đầu tiên vẫn chưa quay trở lại. Lúc này phía phát phải ngừng phát và chờ báo nhận vì  $W$  đã giảm xuống 0 (xem lại phân nguyên tắc hoạt động của cửa sổ trượt). Nếu phía phát luôn có thông tin để phát thì tốc độ phát tin trung bình sẽ là  $W/d$  gói/s

Kết hợp cả hai trường hợp hình 5-11 và 5-12, ta tính được tốc độ phát tin cực đại khi kể đến round-trip delay sẽ là  $r$  [redacted]

Khi  $d$  tăng (có tắc nghẽn), điều khiển luồng sẽ thực hiện vai trò của nó và giới hạn tốc độ truyền tin

Khi không có tắc nghẽn xảy ra,  $d$  giảm và  $r$  tăng lên



Hình 5-13: Quan hệ giữa tốc độ truyền dẫn và round-trip delay trong điều khiển luồng

Hình 5-13 trình bày quan hệ của tốc độ truyền dẫn và round-trip delay trong cơ chế điều khiển luồng. Tốc độ truyền tin sẽ bị giảm khi xảy ra tắc nghẽn (trễ tăng). Ngoài ra, cơ chế cửa sổ phản ứng khá nhanh với tắc nghẽn (trong khoảng thời gian truyền  $W$  gói). Sự phản ứng nhanh với tắc nghẽn kết hợp với thông tin điều khiển ít là ưu điểm chính của cơ chế cửa sổ so với các cơ chế khác.

Nguyên tắc chọn kích thước cửa sổ:

- 1) Trong trường hợp không có tắc nghẽn xảy ra, kích thước cửa sổ được chọn đủ lớn để đảm bảo tốc độ truyền thông tin đạt  $r = 1/X$  gói/s.

Quy ước:

$d'$  = round-trip delay khi trễ hàng đợi xấp xỉ 0 (không có tắc nghẽn) – đây là trễ tính từ lúc phát gói thông tin ở bên phát và nhận ACK từ phía thu

$N$  = số nút mạng dọc theo đường truyền từ phát đến thu

$D$  = trễ truyền sóng dọc theo đường truyền

$$d' = 2.N.X + 2.D$$

Để đảm bảo tốc độ truyền tin tối đa (khi không có tắc nghẽn), cần đảm bảo  $W.X \geq d'$  hay  $W \geq 2.N + 2.D/X$ . Ta nhận thấy:

Khi  $D < X$  thì  $W \geq 2.N$  – kích thước cửa sổ không phụ thuộc vào trễ truyền sóng.

Khi  $D \gg X$  thì  $W \geq 2.D/X$  – kích thước cửa sổ không phụ thuộc vào chiều dài đường đi.

- 2) Trong trường hợp có tắc nghẽn xảy ra, thì trễ round-trip  $d > d'$  (đây bao gồm cả trễ hàng đợi do tắc nghẽn)

Phương pháp cửa sổ End-to-End có những hạn chế nhất định. Đó là:

Khó đảm bảo trễ nằm trong giới hạn cho phép khi lưu lượng vào mạng tăng

Giả sử trong mạng có  $n$  tiến trình điều khiển luồng với kích thước cửa sổ tương ứng là  $W_1, W_2, \dots, W_n$ . Lúc này, tổng số gói tin trong mạng sẽ là  $\sum_{i=1}^n W_i$  trong đó  $\rho$  là một hệ số trong khoảng 0 đến 1 phụ thuộc vào thời gian trễ của ACK. Theo định luật Little's thì trễ trung bình của gói tin trong mạng sẽ là  $T \cdot \sum_{i=1}^n W_i$  trong đó  $\rho$  là thông lượng.

Khi số lượng các tiến trình cần điều khiển luồng tăng lên ( $n$  tăng) thì  $\rho$  tiến đến giá trị cực đại là tốc độ của các đường liên kết và do đó, là giá trị không đổi (giá trị này phụ thuộc vào mạng, vị trí của điểm phát và thu cũng như giải thuật định tuyến). Như vậy giá trị trễ  $T$  sẽ tăng tỷ lệ với số lượng tiến trình được điều khiển luồng (chính xác ra là kích thước cửa sổ của chúng). Như vậy, nếu số lượng tiến trình là rất lớn thì hệ thống mạng không đảm bảo giữ giá trị  $T$  nằm trong một giới hạn nhất định và không có khả năng tránh tắc nghẽn một cách triệt để.

Một giải pháp có thể sử dụng là giảm kích thước cửa sổ để có thể giảm trễ khi mạng hoạt động ở tình trạng nặng tải (có thể xảy ra tắc nghẽn). Giải pháp này có thể áp dụng ở một mức độ nào đó tuy nhiên nó nếu giá trị này quá nhỏ thì việc truyền thông tin lại không hiệu quả.

Trên thực tế, người ta sử dụng phương pháp cửa sổ thích ứng (adaptive window) để thực hiện truyền tin. Trong phương pháp này, kích thước cửa sổ có thể thay đổi tùy thuộc tình trạng của mạng. Trong trường hợp mạng ít tải, kích thước cửa sổ có thể lớn để cho phép truyền thông tin với tốc độ cao. Khi tải trên mạng tăng, kích thước cửa sổ được giảm đi nhằm tránh tắc nghẽn. Phương pháp cửa sổ thích ứng sẽ được trình bày trong phần sau.

Khó đảm bảo tính công bằng cho tất cả người dùng.

Một hạn chế nữa của phương pháp cửa sổ end-to-end là chưa đảm bảo được tính công bằng cho người dùng trong tất cả các trường hợp. Như phần trên đã nói, để đảm bảo truyền tin tốt nhất cho một kết nối, kích thước cửa sổ tỷ lệ với số nút mạng trên đường đi từ nguồn đến đích cũng như tỷ lệ với trễ truyền sóng dọc theo đường truyền (cũng phụ thuộc vào khoảng cách). Như vậy, trong trường hợp có tắc nghẽn, nếu trên một đường truyền có nhiều kết nối cùng hoạt động thì kết nối nào có khoảng cách nguồn – đích lớn sẽ được sử dụng tài nguyên nhiều hơn (do kích thước cửa sổ lớn hơn và số lượng gói tin đến nút đó và được chấp nhận sẽ nhiều hơn).

Để đảm bảo được tính công bằng, người ta dùng cơ chế round-robin (xử lý vòng) cho tất cả các kết nối cùng sử dụng tài nguyên của một nút mạng. Lúc này, các kết nối được coi như có độ ưu tiên như nhau và được xử lý luân phiên dựa theo kết nối chứ không dựa trên tỷ lệ gói tin đến.

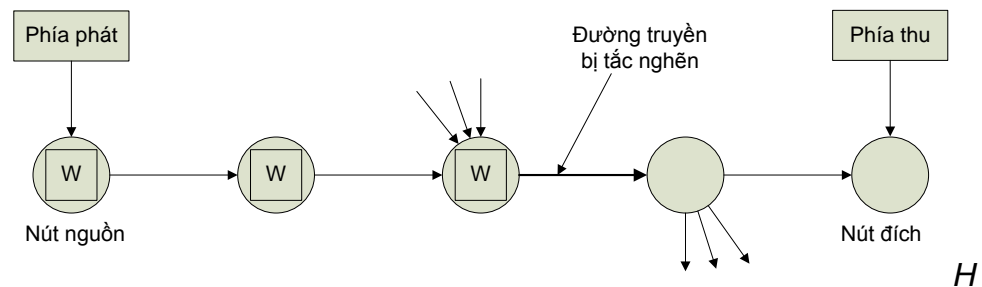
## Cửa sổ Hop-by-Hop

Trong cơ chế điều khiển luồng hop-by-hop, việc điều khiển luồng được thực hiện giữa hai nút mạng kế tiếp trên đường truyền. Mỗi nút mạng có các cửa sổ độc lập dùng cho các kênh làm việc khác nhau (kênh ảo). Nguyên tắc hoạt động của cơ chế này tương tự như điều khiển luồng kiểu end-to-end nhưng chỉ áp dụng cho một chặng. Trong trường hợp truyền thông tin cự ly không quá xa (với đa phần các cơ chế truyền tin, trừ thông tin vệ tinh) kích thước cửa sổ thường là 2 hoặc 3 (do số nút mạng thông tin phải đi qua là 1, trễ truyền sóng không đáng kể).

Ta tạm gọi nút có thông tin cần truyền là nút nguồn, nút có nhận thông tin là nút đích (các nút dọc trên đường truyền, và có thể bao gồm cả phía phát và phía thu). Mục đích chính của điều khiển luồng hop-by-hop là đảm bảo bộ đệm của nút đích không bị quá tải bởi quá nhiều gói tin đến (như trong trường hợp end-to-end). Điều này được thực hiện với việc nút đích giảm tốc độ gửi ACK về cho nút nguồn. Trong trường hợp tổng quát, nút đích có bộ đệm với dung lượng  $W$  gói cho mỗi liên kết và nó sẽ gửi ACK cho nút nguồn nếu trong bộ đệm còn chỗ trống. Nút đích sẽ xóa gói tin trong bộ đệm nếu nó đã được truyền thành công đến nút kế tiếp trên đường truyền hay đã đi ra khỏi mạng.

Giả sử có ba nút liên tiếp trên mạng là  $(i-1, i, i+1)$ . Giả sử bộ đệm của  $i$  đã bị đầy với  $W$  gói tin. Nút  $i$  sẽ gửi ACK cho nút  $i-1$  nếu nó đã gửi thành công một gói tin cho nút  $i+1$  (lúc đó bộ đệm của nút  $i$  mới được giải phóng và có chỗ cho một gói tin). Nút  $i$  thực hiện được điều này nếu nó nhận được một ACK từ nút  $i+1$ .

Trong trường hợp có tắc nghẽn xảy ra tại một nút nào đó, bộ đệm của nút này bị đầy bởi  $W$  gói tin và theo hệ quả, bộ đệm của các nút phía trước nút đó cũng sẽ dần dần bị đầy. Hiện tượng này được gọi là **backpressure** và được trình bày trên hình 1-14.



Hình 5-14: Cơ chế backpressure trong điều khiển luồng hop-by-hop

Ưu điểm của phương pháp hop-by-hop được trình bày trên hình 1-14. Trong trường hợp xấu nhất, giả sử tắc nghẽn xảy ra tại đường nối cuối cùng của tuyến truyền (đường nối thứ  $n$ ) thì tổng số gói tin nằm trong mạng sẽ là  $n.W$  (bộ đệm của mỗi nút sẽ bị điền đầy bởi  $W$  gói tin). Trong trường hợp này, số lượng gói tin sẽ được phân bố đều ở bộ đệm của các nút và do đó dung lượng bộ đệm cần thiết ở mỗi nút sẽ nhỏ hơn trường hợp end-to-end rất nhiều (chú ý rằng trong trường hợp end-to-end, nếu tổng số gói tin vào mạng, hay kích thước cửa sổ, là  $n.W$  thì dung lượng bộ đệm tương ứng ở mỗi nút cũng phải là  $n.W$ ).



Một ưu điểm khác nữa của phương pháp hop-by-hop chính là cho phép thực hiện tính công bằng. Với việc phân các gói tin của một kết nối dọc theo các nút mạng mà kết nối phải đi qua, ta có thể tránh được tình trạng ở tại một nút, kết nối với khoảng cách nguồn – đích lớn sẽ chiếm hết tài nguyên của các kết nối khác. Trong trường hợp hop-by-hop, kích thước cửa sổ của các kết nối là xấp xỉ bằng nhau do đó tốc độ thông tin đến là không chênh lệch và việc sử dụng tài nguyên được đảm bảo công bằng. Điều này không đúng trong trường hợp kết nối giữa hai nút dùng cho truyền vệ tinh. Trong trường hợp này, do trễ truyền dẫn khá lớn nên kích thước cửa sổ của kết nối vệ tinh có thể lớn hơn kích thước cửa sổ của các kết nối khác dẫn đến tình trạng không công bằng.

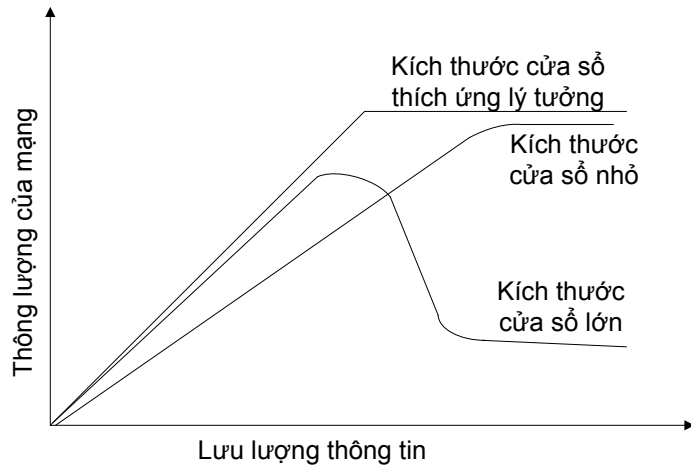
### ***Phương thức Isarithmic***

Phương thức này cũng được coi là một biến thể của cơ chế điều khiển luồng theo cửa sổ với một cửa sổ duy nhất được dùng cho toàn mạng. Việc điều khiển luồng được thực hiện bởi việc giới hạn số lượng gói tin đi vào mạng thông qua việc cấp phát một số lượng hạn chế thẻ bài. Mỗi một gói tin muốn đi vào mạng cần phải nhận được một thẻ bài ở nút mà gói tin đó vào và trả lại thẻ bài ở nút mà gói tin đó ra khỏi mạng. Như vậy, tổng số gói tin tồn tại đồng thời trong mạng luôn nhỏ hơn hoặc bằng tổng số lượng thẻ bài, và việc điều khiển luồng được thực hiện.

Tuy nhiên, phương pháp này có những hạn chế nhất định. Nó không đảm bảo tính công bằng cho tất cả người dùng vì không có những cơ chế nhất định để quản lý vị phân phối thẻ bài. Ngoài ra, các thẻ bài có thể bị mất vì những lý do nhất định mà hiện tại chưa có cơ chế để quản lý số lượng thẻ bài tồn tại trong mạng. Vì những lý do đó, phương thức Isarithmic ít được sử dụng trong thực tế.

### **5.3.2. Điều khiển tắc nghẽn sử dụng cửa sổ thích ứng (adaptive window)**

Bên cạnh việc sử dụng cơ chế cửa sổ để thực hiện điều khiển luồng, người ta có thể sử dụng cơ chế cửa sổ để thực hiện điều khiển và tránh tắc nghẽn ở trong mạng. Khi mạng có khả năng mang thông tin của người dùng, kích thước cửa sổ sẽ được đặt ở một mức nào đó. Khi mạng nặng tải và có tắc nghẽn xảy ra, phía phát sẽ giảm kích thước cửa sổ để giảm số lượng gói tin đi vào mạng, do đó, thực hiện chức năng điều khiển tắc nghẽn cho mạng. Kích thước cửa sổ chính là nhân tố quyết định tốc độ thông tin từ phía phát đi vào mạng.



Hình: Mối quan hệ giữa kích thước cửa sổ và lưu lượng mạng

Hình trên đây trình bày mối quan hệ giữa kích thước cửa sổ và thông lượng của mạng. Khi lưu lượng vào mạng nhỏ, kích thước cửa sổ lớn tỏ ra tối ưu do tận dụng được thời gian truyền gói tin, tuy nhiên, khi lưu lượng vào mạng tăng lên, việc sử dụng kích thước cửa sổ lớn sẽ gây ra tắc nghẽn do có quá nhiều gói tin có thể được gửi cùng lúc vào mạng. Trong trường hợp này, người ta sử dụng các cửa sổ có kích thước nhỏ để đáp ứng với tình trạng của mạng.

Việc thay đổi kích thước cửa sổ một cách mềm dẻo cho phù hợp với tình trạng lưu lượng của mạng chính là cách thức điều khiển tắc nghẽn của các thiết bị đầu cuối (phía phát và phía thu). Cơ chế thay đổi kích thước cửa sổ theo tình trạng lưu lượng mạng được gọi là cơ chế cửa sổ thích ứng (adaptive window).

Vấn đề của điều khiển tắc nghẽn theo phương pháp cửa sổ thích ứng là điều kiện quyết định việc tăng và giảm kích thước cửa sổ. Để có thể thực hiện được điều này, phía phát dựa trên các thông tin phản hồi từ phía thu hoặc các thiết bị trên đường truyền từ phát đến thu để thực hiện điều chỉnh kích thước cửa sổ.

Khi xét đến các thiết bị mạng trung gian giữa phát và thu (tạm gọi là thiết bị mạng), người ta chia làm hai loại:

Thiết bị mạng thông minh (active intermediate system) – là các thiết bị mạng có khả năng phát hiện tắc nghẽn đang xảy ra hoặc có thể xảy ra và có khả năng thông báo cho phía phát

Thiết bị mạng không thông minh (passive intermediate system) – các thiết bị này không có khả năng phát hiện tắc nghẽn, việc xác định tình trạng tắc nghẽn hoàn toàn được thực hiện bởi phía phát.

Trong các phần dưới đây, chúng tôi sẽ trình bày hoạt động của cơ chế cửa sổ thích ứng cho cả hai loại thiết bị mạng này

### **Thiết bị mạng thông minh**

Kỹ thuật điều khiển tắc nghẽn sử dụng thiết bị mạng thông minh hoạt động như sau:

Thiết bị mạng phát hiện tình trạng tắc nghẽn xảy ra hoặc sắp xảy ra (ví dụ: dung lượng bộ đệm vượt quá một ngưỡng nào đó)

Khi phát hiện tắc nghẽn, thiết bị mạng thông báo cho tất cả các nút nguồn (phía phát) thực hiện phát thông tin qua thiết bị mạng này

Các nút nguồn thực hiện giảm kích thước cửa sổ để giảm tắc nghẽn (với việc giảm kích thước cửa sổ, phía phát giảm số lượng gói tin có thể đi vào mạng)

Các nút nguồn có thể tăng kích thước cửa sổ nếu chúng xác định được rằng tình trạng tắc nghẽn đã được giải quyết.

Chú ý rằng, khái niệm kích thước cửa sổ ở đây là kích thước cửa sổ cực đại, hay số lượng gói tin có thể đồng thời được phát đi mà không cần báo nhận. Trên thực tế, kích thước cửa sổ hoạt động của nút nguồn luôn thay đổi (giảm nếu phía nguồn phát gói tin và tăng nếu nút nguồn nhận được báo nhận).

Các tham số có thể dùng để xác định tắc nghẽn tại nút mạng là dung lượng bộ đệm (còn trống nhiều hay ít), khả năng hoạt động của CPU (nhiều hay ít) hoặc mức độ sử dụng băng thông của đường truyền.

Để có thể cảnh báo cho phía phát, nút mạng có thể sử dụng một trong hai cơ chế:

Sử dụng một gói tin cảnh báo độc lập – phương pháp này cho phép phía phát nhanh chóng nhận được thông tin tắc nghẽn và phản ứng kịp thời. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là phải sử dụng gói tin độc lập gây lãng phí băng thông và phức tạp hóa việc quản lý

Sử dụng một bit chỉ thị tắc nghẽn nằm trong trường điều khiển của gói tin mang dữ liệu từ phía thu sang phía phát. Bit chỉ thị tắc nghẽn bằng 0 thể hiện tắc nghẽn không xảy ra và bit này bằng 1 khi tắc nghẽn xảy ra.

Phía phát sẽ dựa trên thông tin cảnh báo nào để quyết định việc tăng giảm kích thước cửa sổ.

Nếu việc thay đổi kích thước cửa sổ chỉ được dựa trên một gói tin phản hồi thì có thể xảy ra tình trạng hệ thống hoạt động không hiệu quả (nếu nút mạng gửi một gói tin cảnh báo tắc nghẽn rồi lại gửi một gói thông báo không tắc nghẽn). Vì vậy, trên thực tế, phía phát sẽ dựa trên một số lượng thông báo nhất định từ phía nút mạng rồi mới kết luận về tình trạng tắc nghẽn. Thông thường, với một số lượng thông báo nhận được, nếu số gói tin cảnh báo tắc nghẽn vượt quá một giới hạn nào đó thì phía phát sẽ coi là có tắc nghẽn xảy ra và giảm kích thước cửa sổ. Nếu số lượng cảnh báo này nhỏ hơn giới hạn cho phép thì phía phát sẽ coi là không có tắc nghẽn và tăng kích thước cửa sổ.

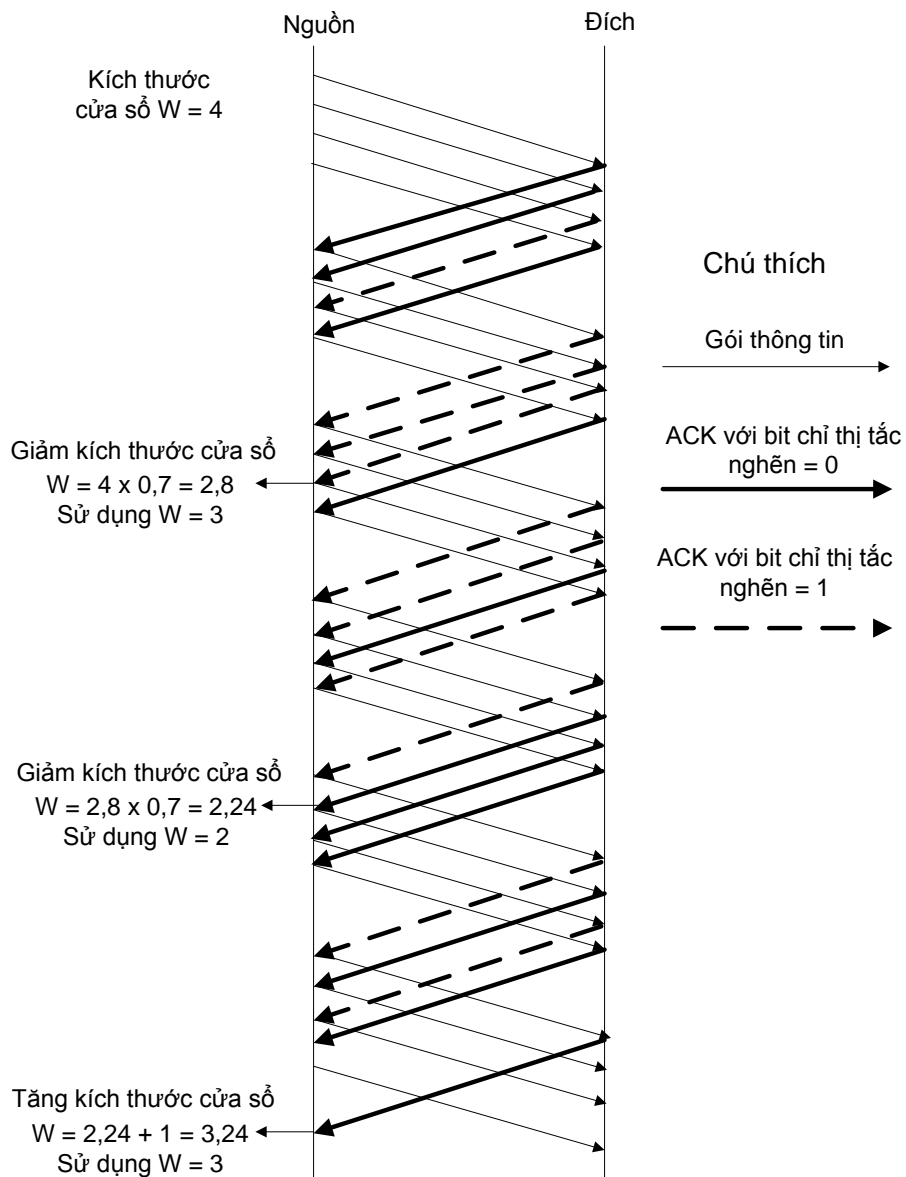
Việc tăng và giảm kích thước cửa sổ có thể tuân theo một trong hai quy tắc: phép cộng và phép nhân.

Phép cộng:  $W_{new} = W_{old} + I$  trong đó  $W_{new}$  và  $W_{old}$  là kích thước cửa sổ mới và cũ,  $I$  là hệ số tăng giảm. Khi  $I > 0$  là tăng kích thước cửa sổ và  $I < 0$  là giảm kích thước cửa sổ

Phép nhân:  $W_{new}$  với các quy ước tương tự như trên. Khi  $\alpha > 1$  là tăng kích thước cửa sổ và  $\alpha < 1$  là giảm kích thước cửa sổ. Trong trường hợp kích thước cửa sổ không phải số nguyên thì kích thước đó sẽ được quy về số nguyên gần nhất.

Trong ứng dụng cụ thể, người ta thường dùng phép cộng khi tăng và dùng phép nhân khi giảm.

Hình dưới đây trình bày nguyên tắc tăng giảm kích thước cửa sổ dựa trên bit chỉ thị tắc nghẽn được gửi đi từ nút mạng có tắc nghẽn. Trong ví dụ này, kích thước cửa sổ ban đầu là  $W = 4$ , việc kết luận về tình trạng tắc nghẽn được dựa trên các nhóm 7 báo nhận gửi về. Trong 7 báo nhận đó, nếu có lớn hơn hoặc bằng 4 báo nhận có bit chỉ thị tắc nghẽn bằng 1 thì nút nguồn coi là có tắc nghẽn và giảm kích thước cửa sổ, ngược lại thì nút nguồn coi là không có tắc nghẽn và tăng kích thước cửa sổ. Trong trường hợp này, việc giảm được thực hiện theo phép nhân với  $\alpha = 0,7$  và việc tăng được thực hiện theo phép cộng với  $l = 1$ .



Hình: Sử dụng bit chỉ thị tắc nghẽn để thay đổi kích thước cửa sổ

### **Thiết bị mạng không thông minh**

Trong trường hợp này, các thiết bị mạng không có khả năng cảnh báo cho phía phát về tình trạng tắc nghẽn và việc xác định tắc nghẽn trong mạng hoàn toàn dựa trên việc suy đoán của nút nguồn. Thiết bị mạng không thông minh là các thiết bị mạng đơn giản, không có khả năng xác định trạng thái bộ đệm, trạng thái CPU hay trạng thái sử dụng đường truyền. Trong một số trường hợp khác, do yêu cầu hoạt động với tốc độ cao nên các thiết bị mạng có thể cũng không kiểm tra về tình trạng tắc nghẽn có thể xảy ra mỗi khi gói tin đi qua thiết bị.

Khi không có sự hỗ trợ của thiết bị mạng, nút nguồn kết luận về trạng thái tắc nghẽn hoàn toàn dựa trên báo nhận được gửi về. Trong trường hợp mạng bị tắc nghẽn, báo nhận có thể bị trễ lớn (trễ báo nhận hoặc trễ gói đến phía thu) hoặc có thể bị mất (mất báo nhận hoặc mất gói nên không có báo nhận). Trong trường hợp mất báo nhận hoặc báo nhận đến quá trễ, nút nguồn sẽ phải phát lại gói và việc phát lại này có thể coi là một tín hiệu để kết luận về tình trạng tắc nghẽn.

Cơ chế tắc nghẽn này gọi là cơ chế điều khiển tắc nghẽn dùng cửa sổ thích ứng dựa trên time-out và hoạt động như sau:

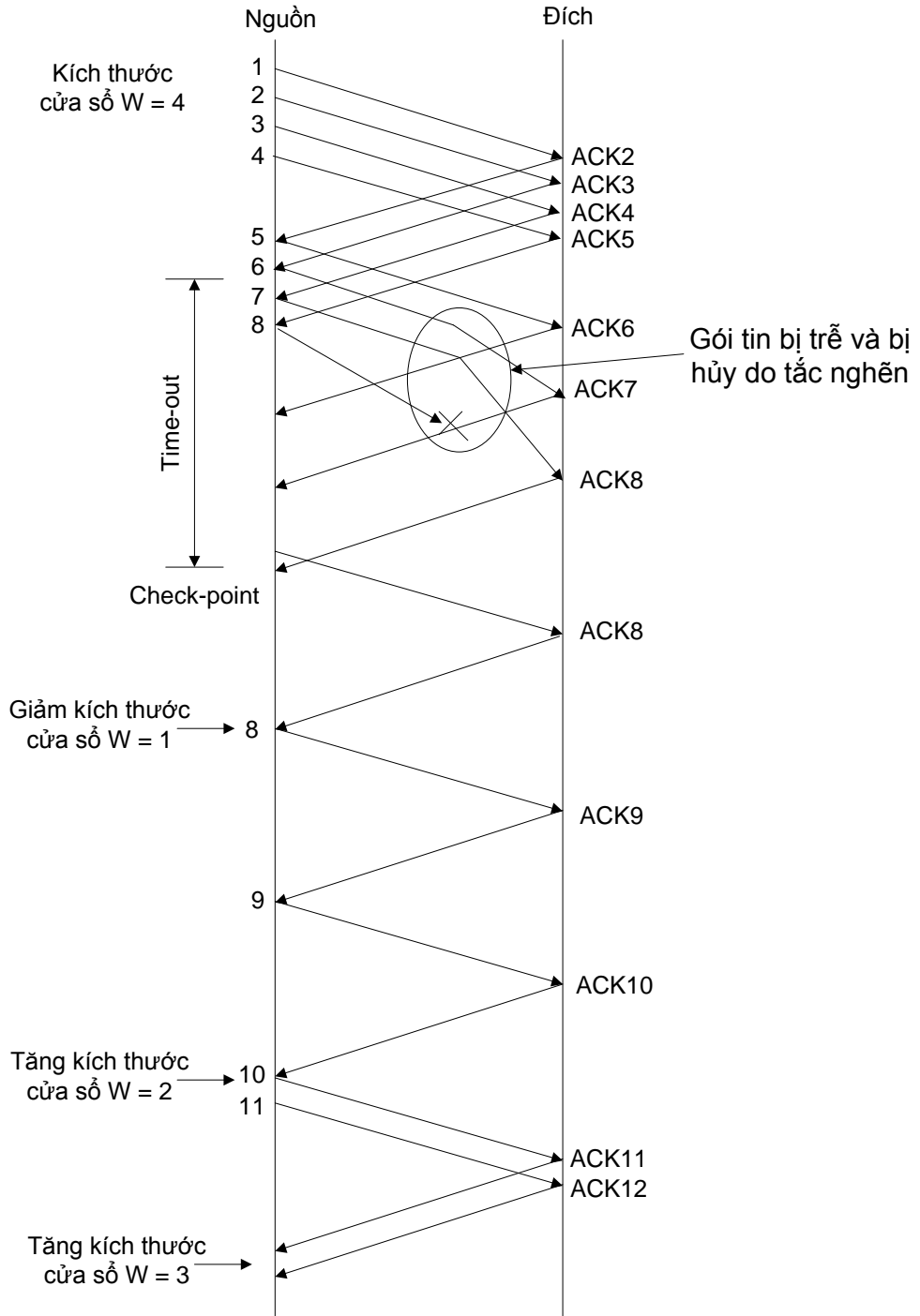
Tại thời điểm ban đầu, nút nguồn đặt kích thước cửa sổ bằng  $W_{max}$

Mỗi khi có time-out xảy ra và phía phát phải thực hiện phát lại gói tin thì nút nguồn sẽ đặt  $W = 1$

Mỗi khi nhận được  $n$  báo nhận từ nút đích, phía phát lại tăng kích thước cửa sổ lên 1. Kích thước cửa sổ sẽ không bao giờ vượt quá kích thước cửa sổ  $W_{max}$ . Với việc thay đổi giá trị  $n$ , người ta có thể thực hiện điều khiển tắc nghẽn ở nhiều mức độ khác nhau.

Trong trường hợp này, chúng ta giả thiết tỷ lệ lỗi bit là khá nhỏ và time-out xảy ra hoàn toàn là do trễ chứ không phải do mất gói vì lỗi bit.

Ví dụ trên hình dưới đây minh họa cơ chế điều khiển tắc nghẽn theo cửa sổ thích ứng dựa trên time-out. Trong ví dụ này, kích thước cửa sổ ban đầu  $W_{max} = 4$ , và giá trị  $n = 2$ . Giả thiết rằng các nút mạng trung gian có thể gây ra trễ hoặc hủy gói tin hoặc báo nhận nếu tắc nghẽn xảy ra. Điều này dẫn đến hệ quả là có time-out xảy ra tại nút nguồn cho các gói tin đó.



Hình: Sử dụng time-out và ACK để tăng/giảm kích thước cửa sổ

## 5.4. Điều khiển luồng và chống tắc nghẽn dựa trên băng thông (rate-based flow control)

### 5.4.1. Khái niệm

Trong phần trên, chúng ta đã thấy hạn chế cơ bản của điều khiển luồng theo phương pháp cửa sổ là trễ gói sẽ tăng tỷ lệ với số lượng kết nối cần thực hiện điều khiển luồng. Mặc dù có thể giảm kích thước

cửa sổ để có thể giảm trễ gói tuy nhiên phương pháp này không dễ thực hiện.

Để có thể đáp ứng được yêu cầu của điều khiển luồng, người ta đề xuất các phương pháp thực hiện điều khiển luồng và chống tắc nghẽn dựa trên việc hạn chế băng thông. Cơ chế kiểm soát băng thông đảm bảo lượng thông tin của người dùng đưa vào mạng không vượt quá một mức nào đó nhằm tránh tắc nghẽn trong mạng. Trong một số trường hợp cụ thể, thông tin của người dùng đưa vào mạng có thể vượt quá lượng thông tin giới hạn ở một mức độ nào đó cho phép.

Cơ chế kiểm soát băng thông của thông tin đi vào mạng chia làm hai loại:

**Kiểm soát chặt** (strict implementation) – với tốc độ thông tin vào mạng trung bình là  $r$  gói/s, thì hệ thống kiểm soát sẽ chỉ cho một gói vào cứ sau mỗi  $1/r$  giây. Phương pháp này không phù hợp cho các thông tin có thay đổi với biên độ lớn (bursty traffic). Ví dụ điển hình của phương pháp này là cơ chế TDMA.

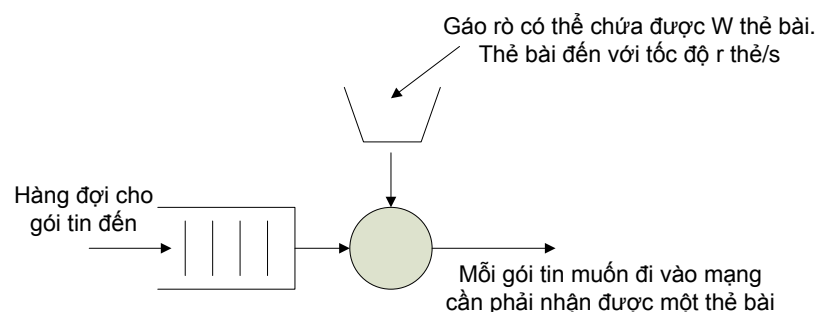
**Kiểm soát lỏng** (less-strict implementation) – với tốc độ thông tin vào mạng trung bình là  $r$  gói/s thì hệ thống kiểm soát sẽ cho  $W$  gói vào mạng trong khoảng thời gian  $W/r$  giây. Trong phương pháp này, tốc độ dữ liệu trung bình là không đổi nhưng cho hệ thống cho phép nhận tối đa  $W$  gói tại một thời điểm (bursty traffic). Cơ chế này thường được triển khai với việc sử dụng gáo rò (leaky bucket)

Trong phần dưới đây, chúng tôi sẽ trình bày nguyên tắc hoạt động của gáo rò.

#### 5.4.2. Điều khiển băng thông theo thuật toán gáo rò (leaky bucket)

##### *Nguyên tắc hoạt động của leaky bucket*

Hình 5-15 dưới đây minh họa mô hình gáo rò



Hình 5-15: Mô hình gáo rò

Trong mô hình này, nút mạng được trang bị một gáo rò dùng kiểm soát lưu lượng thông tin đi vào mạng. Gáo là một bộ đệm có khả năng lưu trữ tối đa là  $W$  thẻ bài. Các thẻ bài được điền vào gáo với tốc độ  $r$  thẻ bài/s. Khi gáo đã đầy thẻ bài thì thẻ bài sẽ không được điền thêm vào gáo.

Mỗi khi một gói tin đến và để có thể được vào được mạng thì gói tin đó phải nhận được một thẻ bài. Tốc độ trung bình của thông tin vào mạng là  $r$  gói tin/s và bằng tốc độ điền thẻ bài vào gáo.

Trong trường hợp gáo rò đầy thẻ bài, nút mạng có thể cho tối đa  $W$  gói tin vào mạng tại một thời điểm (burst size). Nếu  $W$  nhỏ thì khả năng kiểm soát tốc độ luồng thông tin vào là tốt, nếu  $W$  lớn thì khả năng hỗ trợ burst tốt.

Với việc sử dụng gáo rò, luồng thông tin vào mạng có tốc độ không vượt quá  $r$  gói/s. Nếu mạng có nhiều nút mạng để giao tiếp với bên ngoài (entry point), mỗi nút mạng được trang bị một gáo rò để kiểm soát lưu lượng thông tin vào mạng thì cho dù tốc độ thông tin của đến các nút có thể thay đổi, nhưng tốc độ thông tin trong mạng khá ổn định. Với đặc điểm này, người ta nói gáo rò thực hiện chức năng định dạng lưu lượng.

### Tính toán hiệu năng của leaky bucket (pending)

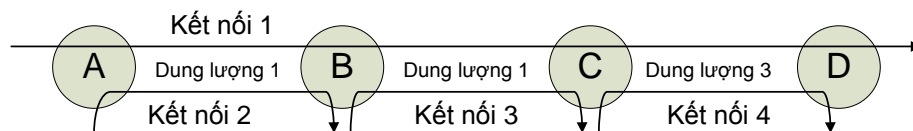
Trễ trung bình của gói khi đi qua leaky bucket

Độ dài hàng đợi gói trung bình

### Chọn các tham số của leaky bucket (pending)

### Mô hình công bằng cực đại – cực tiểu (max-min fairness)

Một trong những vấn đề khó khăn nhất của thực hiện điều khiển luồng và kiểm soát tắc nghẽn là đảm bảo tính công bằng cho các kết nối hoặc người dùng khi xảy ra tắc nghẽn. Khái niệm tính công bằng thể hiện ở chỗ các kết nối, người dùng được sử dụng tài nguyên mạng với cơ hội như nhau. Để có thể hiểu rõ hơn về tính công bằng, xét mô hình mạng trên hình vẽ 5-16 dưới đây



Hình 5-16: Tính công bằng

Trên hình 1-16, đường nối  $A - B$  và  $B - C$  có dung lượng 1 và đường nối  $C - D$  có dung lượng 3. Kết nối 1 đi qua tất cả các nút  $A, B, C, D$ ; kết nối 2 đi qua  $A, B$ ; kết nối 3 đi qua  $B, C$ ; kết nối 4 đi qua  $C, D$ .

Ta thấy, có tốc độ của các kết nối 1, 2 và 3 đều là  $1/2$  để đảm bảo các kết nối này sử dụng băng thông trên các đường  $A - B$  và  $B - C$  là công bằng. Tuy nhiên, trên đường liên kết  $C - D$ , mặc dù nó được chia sẻ bởi kết nối 1 và kết nối 4, tuy nhiên băng thông của kết nối 4 có thể đạt đến  $5/2$  vì kết nối 1 chỉ sử dụng hết  $1/2$  mà thôi.

Như vậy, tính công bằng không chỉ đơn thuần là chia sẻ băng thông bình đẳng cho các kết nối/người dùng trên tất cả các phân vùng trong mạng mà nó được hiểu và sử dụng mềm dẻo trong từng trường hợp cụ thể.



Việc sử dụng tài nguyên mạng hiệu quả nhất có thể trong khi vẫn có thể đảm bảo được tính công bằng cho các kết nối được thực hiện bởi cơ chế điều khiển luồng cực đại – cực tiểu (max–min flow control). Cơ chế này được xây dựng trên mô hình công bằng cực đại – cực tiểu (max-min fairness).

Nguyên tắc hoạt động cơ bản của cơ chế điều khiển luồng cực đại – cực tiểu như sau:

**Nguyên tắc** – Sau khi người dùng với yêu cầu ít nhất về tài nguyên đã được đáp ứng công bằng, các tài nguyên còn lại được tiếp tục phân chia (một cách công bằng) cho những người dùng còn lại. Trong nhóm người dùng này, tài nguyên lại được phân chia sao cho người dùng có yêu cầu ít nhất được đáp ứng, và quá trình cứ tiếp tục đến hết. Nói một cách khác, việc cấp phát tài nguyên mạng cho một người dùng  $i$  không được làm ảnh hưởng đến tài nguyên đã cấp các người dùng khác với yêu cầu ít hơn  $i$ .

Một số quy ước và định nghĩa:

Giả thiết mạng là một đồ thị có hướng  $G = (N, A)$  trong đó  $N$  là tập hợp các nút và  $A$  là tập hợp các đường liên kết giữa các nút

$P$  là tập hợp các kết nối hiện sử dụng trong mạng, một kết nối bất kỳ trong tập hợp các kết nối được ký hiệu là  $p$ .

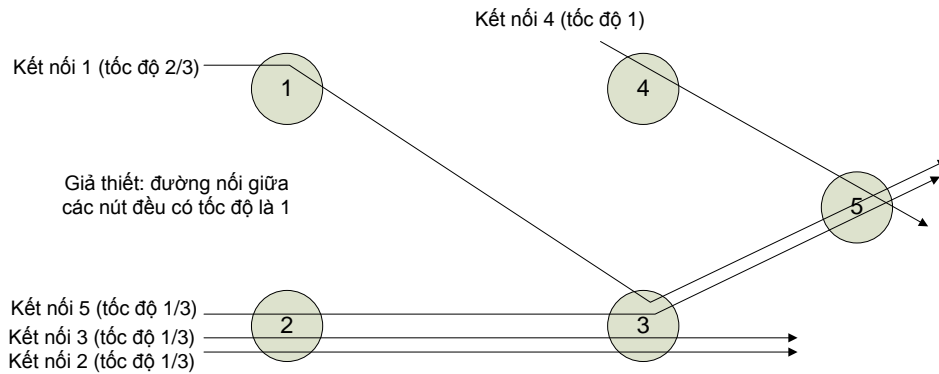
$r_p$  là tốc độ (hay băng thông) dùng cho kết nối  $p$ .

Với một đường liên kết  $a$  bất kỳ ( $a \in A$ ) thì lưu lượng thông tin trên liên kết  $a$  là  $F_a$  trong đó nếu kết nối  $p$  đi qua liên kết

$a$  và bằng 0 trong trường hợp ngược lại. Gọi  $C_a$  là dung lượng của liên kết  $a$ , khi ấy ta có:  $r_p \geq 0$  với  $p \in P$  và  $F_a \leq C_a$  với  $a \in A$  (\*)

Mục đích của cơ chế công bằng cực đại – cực tiểu là tìm được tập hợp các giá trị  $r_p$  (với  $p \in P$ ) thỏa mãn (\*) đồng thời thỏa mãn nguyên tắc của quy chế công bằng cực đại – cực tiểu. Tập hợp các giá trị  $r_p$  tạo thành vector công bằng cực đại – cực tiểu, ký hiệu là  $r$ .

Một đặc điểm quan trọng của vector công bằng cực đại – cực tiểu là với mỗi một kết nối  $p$  bất kỳ thuộc  $P$ , có ít nhất một liên kết  $a$  mà  $p$  đi qua sao cho  $F_a = C_a$  và  $r_p$  không nhỏ hơn tốc độ của bất kỳ kết nối nào trên liên kết đó. Liên kết đó gọi là điểm nghẽn của  $p$  (bottleneck arc). Hình 1-17 minh hoạt khái niệm vector công bằng cực đại – cực tiểu và khái niệm điểm nghẽn.



Hình 5-17: Ví dụ về tính công bằng cực đại – cực tiểu

Trên hình 5-17, điểm nghẽn của các kết nối 1, 2, 3, 4 và 5 lần lượt là (3,5), (2,3), (2,3), (4,5) và (2,3). Liên kết (3,5) không phải điểm nghẽn cho kết nối 5 vì liên kết này được chia sẻ bởi hai kết nối 1 và 5 trong đó kết nối 1 có tốc độ cao hơn kết nối 5 trên liên kết này. Liên kết (1,3) không phải là điểm tắc nghẽn của tất cả các kết nối vì tài nguyên trên liên kết này chưa được sử dụng hết (còn dư thừa 1/3 tốc độ)

### Thuật toán tìm giá trị bằng thông tối ưu (max-min fair algorithm)

Phần này sẽ trình bày thuật toán tìm giá trị bằng thông tối ưu.

- 1) Khởi tạo tất cả các kết nối với tốc độ = 0

Tăng tốc độ của tất cả các kết nối với một lượng nhỏ bằng nhau. Lặp lại quá trình này cho đến khi tồn tại các liên kết có tổng bằng thông đạt đến giá trị bằng thông cực đại ( $F_a = C_a$ ). Lúc này:

Tất cả các kết nối chia sẻ liên kết này đều sử dụng bằng thông bằng nhau

Liên kết này là điểm tắc nghẽn đối với tất cả các kết nối sử dụng liên kết này

Ngừng việc tăng bằng thông cho các kết nối này vì các kết nối này đã đạt đến trạng thái cân bằng cực đại – cực tiểu

- 2) Lặp lại quá trình tăng tốc độ cho các kết nối khác chưa đạt đến điểm tắc nghẽn cho đến khi lại tìm thấy các điểm tắc nghẽn ứng với các kết nối khác (lặp lại bước 2)
- 3) Thuật toán kết thúc khi tất cả các kết nối đều đã tìm được điểm tắc nghẽn.

Có cần phải minh họa bằng công thức không???

Ví dụ: xét trường hợp tìm bằng thông tối ưu trong phương pháp công bằng cực đại – cực tiểu như trên hình 1-17. Giả thiết tất cả các liên kết đều có tốc độ là 1.

Bước 1: tất cả các kết nối đều có tốc độ 1/3, liên kết (2,3) bão hòa (đạt giá trị cực đại) và tốc độ của ba kết nối (2, 3 và 5) đi trên liên kết này được đặt ở giá trị 1/3.

Bước 2: hai kết nối 1 và 4 được tăng thêm một lượng băng thông là  $1/3$  và đạt giá trị  $2/3$ . Lúc này liên kết (3,5) bão hòa và tốc độ của kết nối 1 đặt ở giá trị  $2/3$

Bước 3: kết nối 4 được tăng thêm một lượng là  $1/3$  và đạt đến giá trị 1. Liên kết (4,5) lúc này trở nên bão hòa và tốc độ của kết nối 4 đạt được là 1.

Bước 4: lúc này tất cả các kết nối đều đã đi qua các liên kết bão hòa (điểm nghẽn) nên giải thuật dừng lại đây và kết quả của giải thuật tìm giá trị băng thông tối ưu chính là băng thông của các kết nối cho ở phần trên.

Dưới đây là thuật toán tìm giá trị băng thông tối ưu. Quy ước:

$A^k$  là tập hợp các liên kết chưa bão hòa (chưa hoạt động với tốc độ cực đại của liên kết) tại lúc bắt đầu bước  $k$ .

$P^k$  là tập hợp các kết nối không đi qua liên kết bão hòa nào, tính tại lúc bắt đầu của bước  $k$

$n_a^k$  là số lượng kết nối trong  $P^k$  sử dụng liên kết  $a$ . Đây là số kết nối sẽ chia sẻ phần dung lượng đường truyền còn chưa dùng hết của liên kết  $a$ .

$\tilde{r}^k$  là phần băng thông tăng lên cho mỗi kết nối trong  $P^k$  tại bước thứ  $k$

Tại điều kiện ban đầu:  $k = 1$ ,  $F_a^0 = 0$ ,  $r_p^0 = 0$ ,  $P^1 = P$  và  $A^1 = A$

Thuật toán hoạt động như sau:

$n_a^k :=$  số lượng đường  $p$  [redacted] với [redacted]

$\tilde{r}^k$  : [redacted]

$r_p^k$  [redacted]

$F_a^k$  : [redacted]

$A^{k+1}$  : [redacted]

$P^k$  [redacted]

$k$  : [redacted]

Nếu  $P^k$  là tập hợp rỗng thì dừng lại, nếu không thì quay lại bước 1.

### 5.4.3. Thuật toán GPS (pending)

## 5.5. Bài tập (Pending)

# Chương 6 Kỹ thuật mô phỏng

## 6.1. Giới thiệu

Công cụ NS2 (network simulator version 2) [5] được phát triển bởi trường Đại học Berkeley (Mỹ) là một công cụ cho phép mô phỏng và đánh giá đặc tính của mạng máy tính và viễn thông thay thế cho việc tiến hành thực nghiệm trên thiết bị thực tế. Do có một số ưu điểm như mã nguồn mở, có các module ứng dụng phong phú, NS2 hiện là một trong những công cụ mô phỏng được phổ biến rộng rãi nhất hiện nay trên thế giới, đặc biệt là trong các viện nghiên cứu và trường đại học.

Trong chương này, trước tiên chúng tôi sẽ trình bày khái niệm chung về phương pháp mô phỏng dựa trên các sự kiện rời rạc (discrete event simulation). Tiếp theo, nhằm cung cấp cho người đọc một cái nhìn tổng quan về các công cụ mô phỏng cho mạng, chúng tôi sẽ giới thiệu một số công cụ mô phỏng mạng thông dụng hiện nay và phân tích các ưu nhược điểm của chúng. Cấu trúc của NS2, các module có sẵn cũng như ứng dụng của chúng sẽ được trình bày trong phần tiếp theo. Sau cùng là một số kết luận chung về phạm vi ứng dụng cũng như ưu nhược điểm của NS2.

## 6.2. Mô phỏng dựa trên các sự kiện rời rạc và các công cụ

### 6.2.1. Phương pháp mô phỏng dựa trên sự kiện rời rạc

Trước khi đi vào trình bày khái niệm mô phỏng dựa trên sự kiện rời rạc, chúng tôi định nghĩa một số khái niệm sau:

**Định nghĩa 6.1 - Mô hình (Model):** là sự biểu diễn một hệ thống cần mô phỏng bằng cách mô tả các mối quan hệ toán học, logic hoặc cấu trúc của nó về mặt trạng thái, các thực thể làm nên hệ thống, sự kiện làm thay đổi trạng thái hệ thống, các tiến trình hoặc các hoạt động của hệ thống đó.

**Định nghĩa 6.2 - Trạng thái hệ thống (System State):** là tập hợp các biến cần thiết chứa đựng đầy đủ thông tin để mô tả một hệ thống tại một thời điểm bất kỳ.

**Định nghĩa 6.3 - Thực thể (Entity):** Một mô hình của hệ thống cần mô phỏng được chia nhỏ thành các thực thể với các chức năng khác nhau (thí dụ hàng đợi, server, gói dữ liệu .v.v.)

**Định nghĩa 6.4 - Thuộc tính (Attributes):** Mỗi thực thể trong một hệ thống sẽ có các thuộc tính khác nhau đặc trưng cho thực thể đó, thí dụ như luật phục vụ các gói trong một hàng đợi .v.v..

**Định nghĩa 6.5 - Sự kiện (Event):** Sự xuất hiện của một sự kiện sẽ làm thay đổi trạng thái của một hệ thống (thí dụ sự kiện xuất hiện của gói mới sẽ làm tăng số gói đang chờ trong một hàng đợi).

**Định nghĩa 6.6 - Bản ghi sự kiện (Event Notice):** Là một bản ghi có gắn thời gian sẽ xảy ra một sự kiện trong tương lai, cùng với nó là những dữ liệu cần thiết để thực hiện sự kiện đó, thí dụ như kiểu sự kiện và thời gian xảy ra sự kiện.

**Định nghĩa 6.7 - Danh sách sự kiện (Event List):** Là một danh sách chứa nhiều bản ghi sự kiện được sắp xếp theo trình tự thời gian xảy ra các sự kiện đó.

**Định nghĩa 6.8 - Hoạt động (Activity):** là một quãng thời gian với độ dài **được xác định** (khoảng thời gian truyền một gói tin, thời gian đến giữa hai gói tin liên tiếp) và thời điểm bắt đầu của hoạt động đó cũng đã được xác định.

**Định nghĩa 6.9 - Trễ (Delay):** là một quãng thời gian với độ dài **không xác định** (như khoảng thời gian đợi của một gói tin trong một hàng đợi khi đằng trước nó còn  $n$  gói đang đợi).

**Định nghĩa 6.10 - Đồng hồ (Clock):** Là một biến số thể hiện thời gian mô phỏng của một hệ thống.

Từ những khái niệm cơ bản trên, phương pháp mô phỏng dựa trên sự kiện rời rạc được xây dựng bằng cách mô hình hoá một hệ thống mà trạng thái của nó thay đổi tại các thời điểm rời rạc, tức là thời điểm xảy ra một sự kiện nào đó. Như vậy quá trình chạy một mô phỏng thực chất là quá trình khảo sát một hệ thống khi trạng thái của nó thay đổi từ thời điểm này sang thời điểm khác, tương ứng với thời điểm xảy ra các sự kiện theo trình tự thời gian tăng dần.

#### **Thí dụ 6.1:**

Để dễ hiểu có thể lấy một thí dụ về một hệ thống bao gồm một hàng đợi  $Q$  và hai thực thể phục vụ (server)  $A$  và  $B$  cùng phục vụ các gói đang đợi ở  $Q$ . Đầu tiên các gói sẽ đi vào hàng đợi  $Q$  và đợi cho đến lượt mình được phục vụ. Thực thể  $A$  và  $B$  có thời gian phục vụ gói trung bình là  $t_{sa}$  và  $t_{sb}$  (đây chính là hai thuộc tính tương ứng với  $A$  và  $B$ ). Khi có một gói đến, nếu  $A$  đang rỗi thì  $A$  sẽ phục vụ gói đó, nếu  $A$  bận  $B$  rỗi thì  $B$  phục vụ, nếu không gói sẽ đợi tại hàng đợi  $Q$  (Hình 6.1).



Hình 6.1. Hệ thống gồm 1 hàng đợi và 2 thực thể phục vụ

Có thể mô hình hoá hệ thống này bằng 3 trạng thái thể hiện bằng 3 tham số:

$L_Q$ : độ dài hàng đợi (số gói hiện tại có trong Q)

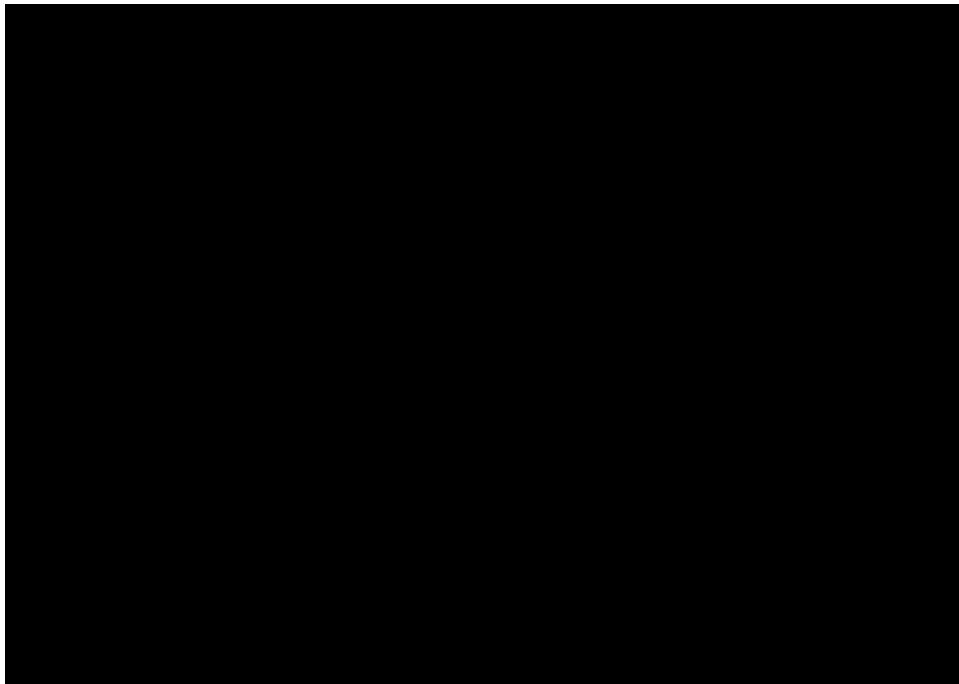
$S_A$ : 0 – A bận; 1 – A rỗi

$S_B$ : 0 – B bận; 1 – B rỗi

Ngoài ra cũng có thể định nghĩa 3 kiểu sự kiện làm thay đổi trạng thái của hệ thống như sau:

- 1) Sự kiện  $E_1$ : một gói  $P_i$  nào đó đi vào hàng đợi;
- 2) Sự kiện  $E_2$ : gói  $P_i$  bắt đầu được phục vụ bởi A hoặc B;
- 3) Sự kiện  $E_3$ : gói  $P_i$  được phục vụ xong.

Giả sử tại thời điểm  $t_1$  gói  $P_n$  được A phục vụ xong,  $P_{n+1}$  bắt đầu được phục vụ, tại thời điểm  $t_2$  gói  $P_i$  đi vào hàng đợi Q.



Hình 6.2. Mô phỏng hệ thống với trình tự thời gian tăng dần

Hình 6.2 thể hiện quá trình mô phỏng một hệ thống theo trình tự thời gian của đồng hồ và quá trình thay đổi, bổ sung các bản ghi sự kiện trong bản danh sách sự kiện. Việc xử lý danh sách sự kiện là một trong những nhiệm vụ chính của bất kỳ một chương trình mô phỏng nào. Do các bản ghi sự kiện là một chuỗi được sắp xếp theo trình tự thời gian, một danh sách sự kiện bao giờ cũng có hai con trỏ: một con trỏ trỏ vào đầu bản danh sách và con trỏ thứ hai trỏ vào bản ghi cuối cùng trong danh sách. Mỗi bản ghi cũng phải có các con trỏ trỏ đến bản ghi tiếp theo nằm trong bản danh sách. Các thao tác liên quan đến danh sách sự kiện bao gồm:

- 1) Xoá bản ghi đầu danh sách;
- 2) Xoá bản ghi ở vị trí bất kỳ trong danh sách;
- 3) Thêm một bản ghi vào đầu hoặc cuối danh sách;
- 4) Thêm một bản ghi vào vị trí bất kỳ trong danh sách phụ thuộc vào thời gian xảy ra sự kiện. Các phương pháp mô hình hoá một hệ thống thông tin cũng như các chi tiết về kỹ thuật mô phỏng có thể tìm thấy trong [1][2][3].

#### 6.2.2. Các công cụ mô phỏng thông dụng dựa trên sự kiện rời rạc

Trước khi đi vào trình bày cấu trúc của công cụ NS2, phần này sẽ điểm lại một số công cụ mô phỏng thông dụng hiện nay và nhận xét ưu nhược điểm của chúng.

OPNET [8] là một sản phẩm thương mại tương đối nổi tiếng của công ty OPNET, bao gồm hai phần chính là OPNET Modeler và phần mở rộng cho mạng không dây OPNET Wireless Module. OPNET chạy dưới môi trường Windows cũng như Unix/Linux. OPNET rất thích hợp cho các tổ chức công nghiệp trong việc quy hoạch và đánh giá chất lượng dịch vụ của mạng thực tế bởi nó có sẵn một thư viện rất phong phú với các module mô phỏng thiết bị của nhiều nhà sản xuất khác nhau như Cisco, Lucent, Juniper. Tuy nhiên đối với các cơ sở nghiên cứu và trường đại học, có lẽ OPNET không phù hợp do giá tương đối đắt, mặt khác khi mô hình hoá một hệ thống, OPNET yêu cầu phải sử dụng thư viện với các thiết bị cụ thể nên việc xây dựng các mô hình tổng quát sẽ gặp khó khăn.

Ptolemy II [9] là một bộ công cụ mô phỏng trên nền Java được phát triển bởi trường Berkeley (Mỹ). Ptolemy II có thể được tải xuống miễn phí, tuy nhiên Ptolemy II chỉ cung cấp môi trường mô phỏng dựa trên sự kiện rời rạc nói chung, các module hỗ trợ cho mô phỏng hệ thống mạng không có nhiều nên người lập trình phải tự phát triển các ứng dụng của riêng mình.

OMNET++ [10] là chương trình mô phỏng cho hệ thống mạng được phát triển bởi Andras Varga, trường Đại học Bách khoa Budapest. OMNET++ được viết bằng ngôn ngữ C++ và hỗ trợ cả Windows lẫn Unix/Linux. OMNET++ có thể tải xuống miễn phí. Ngoài ra OMNET++ sử dụng giao diện đồ hoạ thân thiện với người sử dụng (như trong môi trường phát triển của OPNET), do đó khối lượng công việc và độ phức

tập khi phát triển một module mới được giảm nhẹ khá nhiều. Tuy nhiên OMNET++ vẫn còn khá mới trong cộng đồng nghiên cứu nên các module có sẵn vẫn chưa nhiều.

NS2 [5] là công cụ mô phỏng mạng được sử dụng khá rộng rãi hiện nay trong các trường đại học và viện nghiên cứu. NS2 được phát triển trong khuôn khổ của dự án VINT, kết hợp giữa trường Berkeley, Viện Khoa học thông tin ISI, Xerox PARC và phòng thí nghiệm quốc gia Lawrence Berkeley. NS2 là công cụ mô phỏng hướng đối tượng, được phát triển dựa trên hai ngôn ngữ là C++ và OTcl (Object-oriented Tcl), chủ yếu chạy trong môi trường Unix/Linux. Ưu điểm của NS2 là mã nguồn mở, có cộng đồng sử dụng và phát triển khá đông đảo nên các module hỗ trợ cho mô phỏng mạng (như các giao thức, các cơ chế đảm bảo chất lượng dịch vụ, các công nghệ mạng lớp 2, 3) rất phong phú. Tuy nhiên nó cũng có một số nhược điểm:

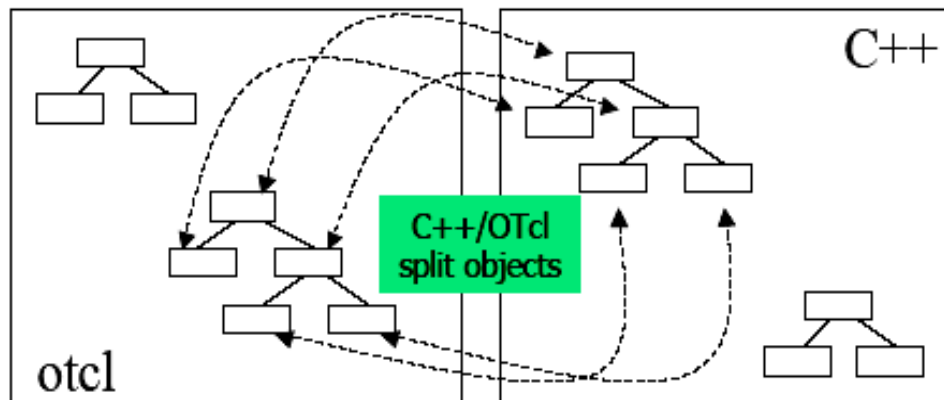
Do không có giao diện đồ họa với người sử dụng nên việc tạo các kịch bản mô phỏng cũng như phát triển các module mới phức tạp hơn các công cụ khác như OPNET hoặc OMNET++;

Khả năng hỗ trợ các hệ điều hành khác như Windows kém;

Do được phát triển bởi nhiều cá nhân và tổ chức khác nhau nên cấu trúc NS2 tương đối phức tạp, sau một thời gian làm quen và dùng thử nhất định người sử dụng mới có khả năng làm chủ chương trình, đặc biệt khi phải tạo ra các module chức năng mới. Sau đây chúng tôi sẽ tập trung giới thiệu công cụ NS2. Việc so sánh và liệt kê công cụ mô phỏng và đánh giá hoạt động của mạng có thể tìm thấy trong [2][11][12].

### 6.3. Công cụ mô phỏng mạng NS2

#### 6.3.1. Cấu trúc



Hình 3. Cấu trúc của công cụ mô phỏng NS

Mô phỏng NS được xây dựng trên cơ sở hai ngôn ngữ:

**C++:** NS có một thư viện phong phú về đối tượng mạng và giao thức được mô tả bằng C++ (thí dụ như các nút mạng, đường nối, nguồn, hàng đợi .v.v.).



**OTcl:** Ngoài ra chương trình thông dịch OTcl (OTcl là ngôn ngữ mở rộng các chức năng hướng đối tượng của Tcl) cho phép người sử dụng xây dựng các kịch bản mô phỏng cụ thể và truyền tham số cho các thực thể C++. Mỗi đối tượng (tương ứng với từng thực thể) trong C++ sẽ có một đối tượng tương ứng ở lớp OTcl như thể hiện ở Hình 3.

Như vậy C++ là phần cho dữ liệu và là lõi của NS còn OTcl là phần đặt cấu hình cho chương trình mô phỏng. NS phải sử dụng 2 ngôn ngữ là do có hai nhiệm vụ khác nhau khi tiến hành mô phỏng. Một mặt, mô tả chi tiết các giao thức, các khối hoặc cơ chế của mạng yêu cầu phải sử dụng các ngôn ngữ bậc cao để xử lý số liệu, thực hiện các thuật toán. Đối với nhiệm vụ này do yêu cầu về tính hiệu quả của chương trình mô phỏng (như khoảng thời gian chạy chương trình, quản lý bộ nhớ .v.v.), các thực thể bắt buộc phải được viết dưới C++. Mặt khác, các quá trình xây dựng một kịch bản mô phỏng như đặt cấu hình cho các phần tử mạng, truyền các tham số cụ thể, thiết lập topo cho mạng thì chỉ sử dụng các phần tử đã có sẵn nên yêu cầu ở khâu này là thời gian thiết lập một cấu hình phải thấp (vì các kịch bản mô phỏng có thể lặp đi lặp lại). Vì vậy, một chương trình thông dịch như OTcl là thích hợp.

Trong một kịch bản mô phỏng dưới dạng OTcl do người dung đưa ra, chúng ta có thể thiết lập một topo mạng, những giao thức và ứng dụng cụ thể mà chúng ta muốn mô phỏng và mẫu của đầu ra mà chúng ta mong nhận được từ mô phỏng, OTcl có thể sử dụng những đối tượng được biên dịch trong C++ qua một liên kết OTcl (sử dụng tcICL là thư viện gắn kết để dễ dàng chia sẻ chức năng và biến) để tạo ra một ánh xạ 1-1 của đối tượng OTcl cho mỗi đối tượng C++ cũng như định nghĩa sự liên hệ giữa các đối tượng đó.

Như đã trình bày ở trên, một trong những phần cơ bản của NS cũng là bản danh sách sự kiện mà ở đây người ta gọi là *bộ phân hoạch sự kiện* (event scheduler). NS sử dụng 4 phương pháp phân hoạch sự kiện khác nhau, được trình bày cụ thể trong [4]. Một sự kiện là một đối tượng trong C++ bao gồm một số hiệu nhận dạng (ID) duy nhất, thời gian được phân hoạch và con trỏ trỏ đến một đối tượng thực thi sự kiện đó.

Cấu trúc của một sự kiện và bộ phân hoạch sự kiện được định nghĩa như sau:

```
class Event {
public:
    Event* next_; /* event list */
    Handler* handler_; /* handler to call when
event ready */
    double time_; /* time at which event is ready
*/
    int uid_; /* unique ID */
    Event() : time_(0), uid_(0) {}
};
```

```

};
/*
 * The base class for all event handlers. When
 * an event's scheduled
 * time arrives, it is passed to handle which
 * must consume it.
 * i.e., if it needs to be freed it, it must be
 * freed by the handler.
 */
class Handler {
public:
virtual void handle(Event* event);
};

```

Các gói tin trong NS được định nghĩa từ lớp `Event` như sau:

```

class Packet : public Event {
private:
friend class PacketQueue;
u_char* bits_;
...
protected:
static Packet* free_;
public:
Packet* next_; /* for queues and the free list
*/
static int hdrlen_;
Packet() : bits_(0), datalen_(0), next_(0) {}
u_char* const bits() { return (bits_); }
static void free(Packet*);
...
};

```

### 6.3.2. Các tiện ích trong NS hỗ trợ cho mô phỏng mạng [Pending]

Các module phục vụ cho mô phỏng mạng máy tính và viễn thông: Mobile networks, mobile IP, DiffServ, IntServ, MPLS, UDP/TCP/IP, SCTP, routing protocols (mobile ad-hoc, unicast, multicast), RED, RIO, WFQ, CSMA/CD, ON/OFF source, Pareto .v.v.

Các chương trình trợ giúp trong việc khai thác số liệu mô phỏng: Nam, XGraph .v.v.

### 6.3.3. Thí dụ (Pending)

## 6.4. Kết luận (Pending)

## 6.5. Bài tập (Pending)

---

## Tài liệu tham khảo

- [1] John S. Carson II, Barry L. Nelson, *Discrete-Event System Simulation*, Jerry Banks, Prentice Hall 1996
- [2] Richard Blum, *Network Performance Open Source Toolkit Using Netperf, tcptrace, NIST Net, and SSFNet*, Wiley Publishing 2003
- [3] Raj Jain, *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling*, John Wiley and Sons 1991
- [4] Kannan Varadhan, Kevin Fall, *NS Manual*, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
- [5] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [6] Marc Greis, *NS Tutorial*, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/index.html>
- [7] Eintan Altman, Tania Jiménez, *NS for Beginners*, <http://www-sop.inria.fr/maestro/personnel/Eitan.Altman/COURS-NS/n3.pdf>
- [8] <http://www.opnet.com>
- [9] <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/ptolemyII/index.htm>
- [10] <http://www.omnetpp.org/>
- [11] <http://www.inrialpes.fr/planete/people/ernst/Documents/simulator.html>
- [12] <http://www.topology.org/soft/sim.html>
- [13] Kishor Shridharbhai Trivedi, *Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications*, Wiley-Interscience, 2001
- [14] Donald Gross, Carl M. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, Wiley-Interscience, 1998
- [15] Dimitri Bertsekas, Robert Gallager, *Data Networks*, Prentice-Hall International Editions, 1987
- [16] Andrew S. Tanenbaum, *Computer Networks*, Prentice-Hall, 2003
- [17] Joseph L. Hammond, Peter J.P.O' Reilly, *Performance Analysis of Local Computer Networks*, Addison-Wesley, 1988

---

## Phụ lục 1

GIÁO TRÌNH

# KỸ THUẬT CHUYỂN MẠCH

# MỤC LỤC

MỤC LỤC .....	1
CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ MẠNG VIỄN THÔNG.....	5
1.1. Các mạng viễn thông truyền thống.....	5
1.1.1. Khái niệm về mạng viễn thông.....	5
1.1.2. Các đặc điểm của mạng viễn thông hiện nay .....	7
1.1.3. Sơ lược mạng viễn thông Việt Nam .....	9
1.1.4. Các công cụ hoạch định mạng.....	13
1.1.5. Hoạch định mạng.....	21
1.2. Mạng viễn thông thế hệ mới NGN(Next Generation Network) .....	22
1.2.1. Khái niệm.....	22
1.2.2. Đặc điểm của mạng NGN .....	23
1.2.3. Các công nghệ trong mạng NGN .....	25
CHƯƠNG II: KHÁI QUÁT HỆ THỐNG CHUYỂN MẠCH SỐ .....	27
2.1. Phân tích một cuộc gọi. ....	27
2.1.1. Tín hiệu nhắc máy ( off-hook) .....	27
2.1.2. Sự nhận dạng thuê bao gọi.....	28
2.1.3. Sự phân phối bộ nhớ và kết nối các thiết bị dùng chung .....	29
2.1.4. Các chữ số địa chỉ.....	29
2.1.5. Phân tích chữ số.....	30
2.1.6. Thiết lập đường dẫn chuyển mạch.....	31
2.1.7. Dòng chuông và âm hiệu chuông .....	31
2.1.8. Tín hiệu trả lời .....	31
2.1.9. Giám sát .....	31
2.1.10. Tín hiệu xóa kết nối .....	32
2.2. Kỹ thuật báo hiệu trong hệ thống chuyển mạch số .....	32
2.2.1. Giới thiệu chung .....	32
2.2.1.1. Khái niệm .....	32
2.2.1.2. Các chức năng báo hiệu .....	32
2.2.1.3. Đặc điểm các hệ thống báo hiệu.....	33
2.2.1.4. hệ thống thông tin báo hiệu .....	33
2.2.1.5. Kỹ thuật báo hiệu .....	34
2.2.2. Nội dung của báo hiệu .....	34
2.2.2.1. Phân tích cuộc gọi.....	34
2.2.2.2. Phân loại báo hiệu.....	34
2.2.3. Phương pháp truyền dẫn báo hiệu .....	39
2.2.3.1. Báo hiệu kênh kết hợp .....	40
2.2.3.2. Báo hiệu kênh chung.....	42
2.2.4. Báo hiệu số 7.....	44
2.2.4.1. Khái niệm chung.....	44
2.2.4.2. Phân mức trong báo hiệu số 7 .....	47
2.2.5. Xử lý báo hiệu trong tổng đài .....	48
2.2.5.1. Giới thiệu.....	48
2.2.5.2. Sự định tuyến trong tổng đài .....	49
2.2.5.3. Các bộ thu phát báo hiệu.....	53
2.2.5.4. Các bộ tạo tone và bản tin thông báo.....	55
2.4. Chuyển mạch.....	58
2.4.1. Chuyển mạch phân chia theo tầng.....	59

2.4.2. Kỹ thuật chuyển mạch .....	62
2.5. Điều khiển tổng đài .....	63
2.5.1. Hiện thực trong các tổng đài nhân công .....	64
2.5.2. Điều khiển chung.....	65
2.6. Giới thiệu tổng quan một tổng đài kỹ thuật số SPC.....	65
<b>CHƯƠNG III: KỸ THUẬT CHUYỂN MẠCH SỐ .....</b>	<b>69</b>
3.1. Giới thiệu chung.....	69
3.2. Chuyển mạch không gian kỹ thuật số.....	71
3.3. Chuyển mạch thời gian số.....	75
3.4. Các cấu trúc của các khối chuyển mạch số dung lượng lớn .....	79
3.4.1. Giới thiệu chung .....	79
3.4.2. Khối chuyển mạch T-S-T.....	81
3.4.3. Khối chuyển mạch kênh 2 hướng .....	83
3.5. Điều khiển các khối chuyển mạch số .....	85
3.5.1. Sơ đồ khối và các chức năng.....	85
3.5.2. Thuật toán chọn đường rỗi.....	94
3.5.3. Độ tin cậy và an toàn khối chuyển mạch .....	96
<b>CHƯƠNG IV: KỸ THUẬT CHUYỂN MẠCH GÓI.....</b>	<b>99</b>
4.1. Những khái niệm chuyển mạch gói.....	99
4.1.1. Khái niệm về chuyển mạch gói (packet switching).....	99
4.1.2. Mạng chuyển mạch gói PSN (Packet Switching Network) .....	100
4.2. Phương thức hoạt động cơ bản của mạng chuyển mạch gói PSN.....	103
4.2.1. Khái quát .....	103
4.2.2. Các chế độ làm việc của mạng chuyển mạch gói.....	104
4.2.3. Những sự cố và chiến lược khắc phục .....	107
4.3. Đóng gói thông tin.....	111
4.3.1. Cấu trúc gói .....	111
4.3.2. Phương pháp kiểm tra sai CRC (Cyclic Redundancy Check).....	113
4.3.3. Kích thước gói.....	114
4.4. Kỹ thuật ghép kênh trong mạng chuyển mạch gói.....	117
4.4.1. Sơ lược về kỹ thuật STDM (Statistical Time – Division Multiplexing) .....	117
4.4.2. Hoạt động ghép kênh trên mạch ảo ở mạng TYMNET.....	120
4.5. Định tuyến trong mạng PSN .....	122
4.5.1. Giới thiệu .....	122
4.5.2. Các phương pháp định tuyến cơ bản .....	122
4.5.3. Một vài giải thuật tìm đường ngắn nhất thông dụng .....	130
4.6. Điều khiển luồng dữ liệu .....	131
4.6.1. Giới thiệu .....	131
4.6.2. Phương pháp cửa sổ dịch .....	131
4.7. Một số giao thức chuyển mạch gói .....	134
4.7.1. Giao thức X.25 .....	134
4.7.2. Giao thức TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) .....	135
<b>CHƯƠNG V: CÔNG NGHỆ CHUYỂN MẠCH ATM.....</b>	<b>141</b>
5.1. Tổng quan về ATM .....	141
5.1.1. Giới thiệu về ATM .....	141
5.1.2. Cấu trúc và giao diện người sử dụng mạng .....	142
5.1.3. Tế bào ATM.....	145
5.1.4. Sự mô tả và xáo trộn tế bào.....	150
5.1.5. Phân lớp ATM và BISDN.....	150
5.1.6. Các dịch vụ: hướng kết nối và không kết nối.....	157



5.1.7. Chuyển mạch và định tuyến trong B – ISDN/ ATM .....	159
5.1.8. Các yêu cầu báo hiệu .....	162
5.1.9. Chất lượng dịch vụ .....	163
5.1.10. Sự truyền tải các tế bào ATM.....	167
5.2. Các hệ thống chuyển mạch ATM.....	172
5.2.1. Tổng quan về mạng ATM.....	172
5.2.2. Cấu trúc tầng chuyển mạch ATM .....	175
5.3. Các khái niệm trong chuyển mạch ATM.....	178
5.3.1. Hiện tượng Blocking liên kết nội (bên trong) .....	178
5.3.2. Sự tranh chấp cổng ra (Output Port Contention).....	179
5.3.3. Head-of-Line Blocking .....	179
5.3.4. Kỹ thuật truyền Multicasting.....	180
5.3.5. Sự phân đôi cuộc gọi (Call Splitting) .....	180
5.4. Phân loại kiến trúc chuyển mạch ATM .....	182
5.4.1. Chuyển mạch phân chia theo thời gian.....	183
5.4.2. Chuyển mạch phân chia theo không gian .....	186
<b>CHƯƠNG VI: CÔNG NGHỆ CHUYỂN MẠCH MPLS .....</b>	<b>197</b>
6.1. Khái niệm cơ bản về chuyển mạch nhãn .....	197
6.2. Tổng quan về công nghệ chuyển mạch nhãn đa giao thức .....	200
6.2.1. Các đặc điểm cơ bản của công nghệ MPLS .....	200
6.2.2. Cách thức hoạt động của MPLS .....	201
6.2.3. Các thuật ngữ trong MPLS .....	204
6.2.4. Các đặc tính hoạt động, điều hành của MPLS .....	210
6.2.5. Kiến trúc ngăn xếp trong MPLS.....	211
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>213</b>

# CHƯƠNG I

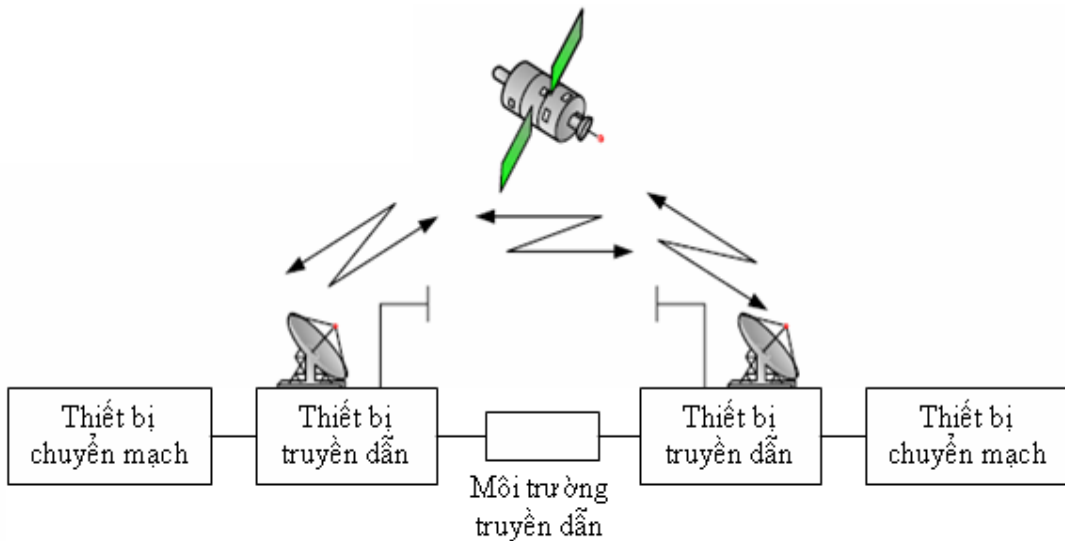
## TỔNG QUAN VỀ MẠNG VIỄN THÔNG

### 1.1. Các mạng viễn thông truyền thống

#### 1.1.1. Khái niệm về mạng viễn thông

Mạng viễn thông là phương tiện truyền đưa thông tin từ đầu phát tới đầu thu. Mạng có nhiệm vụ cung cấp các dịch vụ cho khách hàng.

Mạng viễn thông bao gồm các thành phần chính: thiết bị chuyển mạch, thiết bị truyền dẫn, môi trường truyền và thiết bị đầu cuối.

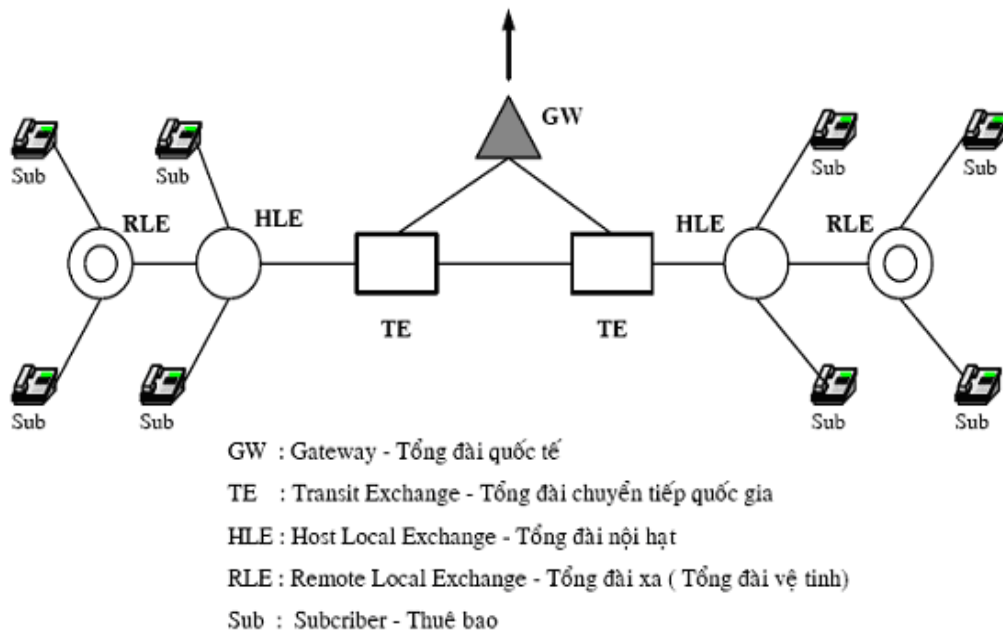


Hình 1.1. Các thành phần chính của mạng viễn thông

- Thiết bị chuyển mạch gồm có tổng đài nội hạt và tổng đài quá giang. Các thuê bao được nối vào tổng đài nội hạt và tổng đài nội hạt được nối vào tổng đài quá giang. Nhờ các thiết bị chuyển mạch mà đường truyền dẫn được dùng chung và mạng có thể được sử dụng một cách kinh tế.
- Thiết bị truyền dẫn dùng để nối thiết bị đầu cuối với tổng đài, hay giữa các tổng đài để thực hiện việc truyền đưa các tín hiệu điện. Thiết bị truyền dẫn chia làm hai loại: thiết bị truyền dẫn phía thuê bao và thiết bị truyền dẫn cáp quang. Thiết bị truyền dẫn phía thuê bao dùng môi trường thường là cáp kim loại, tuy nhiên có một số trường hợp môi trường truyền là cáp quang hoặc vô tuyến.
- Môi trường truyền bao gồm truyền hữu tuyến và vô tuyến. Truyền hữu tuyến bao gồm cáp kim loại, cáp quang. Truyền vô tuyến bao gồm vi ba, vệ tinh.

■ Thiết bị đầu cuối cho mạng thoại truyền thống gồm máy điện thoại, máy Fax, máy tính, tổng đài PABX(Private Automatic Branch Exchange).

Mạng viễn thông cũng có thể được định nghĩa như sau: Mạng viễn thông là một hệ thống gồm các nút chuyển mạch được nối với nhau bằng các đường truyền dẫn. Nút được phân thành nhiều cấp và kết hợp với các đường truyền dẫn tạo thành các cấp mạng khác nhau.

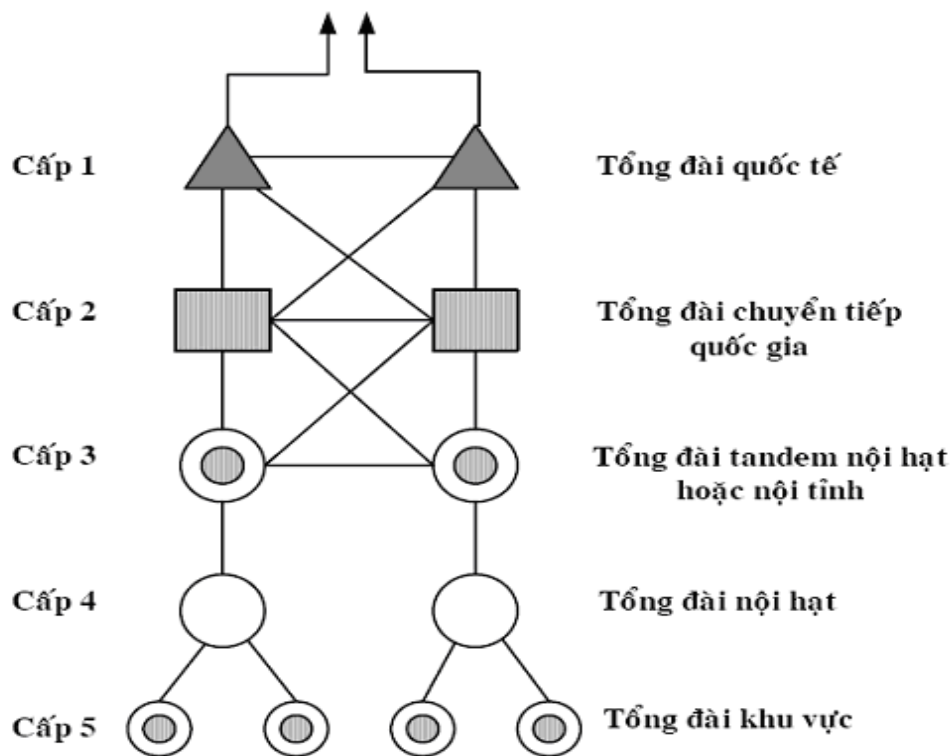


Hình 1.2. Cấu hình mạng cơ bản

Mạng viễn thông hiện nay được chia thành nhiều loại. Đó là mạng mắc lưới, mạng sao, mạng tổng hợp, mạng vòng kín và mạng thang. Các loại mạng này có ưu điểm và nhược điểm khác nhau để phù hợp với các đặc điểm của từng vùng địa lý (trung tâm, hải đảo, biên giới,...) hay vùng lưu lượng (lưu thoại cao, thấp,...). Mạng viễn thông hiện nay được phân cấp như hình 1.3

Trong mạng hiện nay gồm 5 nút:

- Nút cấp 1: trung tâm chuyển mạch quá giang quốc tế.
- Nút cấp 2: trung tâm chuyển mạch quá giang đường dài.
- Nút cấp 3: trung tâm chuyển mạch quá giang nội hạt.
- Nút cấp 4: trung tâm chuyển mạch nội hạt.
- Nút cấp 5: trung tâm chuyển mạch từ xa.



Hình 1.3. Cấu trúc mạng phân cấp

### 1.1.2. Các đặc điểm của mạng viễn thông hiện nay

Các mạng viễn thông hiện tại có đặc điểm chung là tồn tại một cách riêng lẻ, ứng với mỗi loại dịch vụ thông tin lại có ít nhất một loại mạng viễn thông riêng biệt để phục vụ dịch vụ nó.

- Mạng Telex: dùng để gửi các bức điện dưới dạng ký tự đã được mã hoá bằng 5 bit (mã Baudot). Tốc độ truyền rất thấp (từ 75 tới 300 bit/s).
- Mạng điện thoại công cộng, còn gọi là mạng POTS (Plain Old Telephone Service): ở đây thông tin tiếng nói được số hóa và chuyển mạch ở hệ thống chuyển mạch điện thoại công cộng PSTN.
- Mạng truyền số liệu: bao gồm các mạng chuyển mạch gói để trao đổi số liệu giữa các máy tính dựa trên giao thức của X.25 và hệ thống truyền số liệu chuyển mạch kênh dựa trên các giao thức X.21.
- Các tín hiệu truyền hình có thể được truyền theo ba cách: truyền bằng sóng vô tuyến, truyền qua hệ thống mạng truyền hình cáp CATV (Community Antenna Television) bằng cáp đồng trục hoặc truyền qua hệ thống vệ tinh hay còn gọi là truyền hình trực tiếp DBS (Direct Broadcast System).

- Trong phạm vi cơ quan, số liệu giữa các máy tính được trao đổi thông qua mạng cục bộ LAN (Local Area Network) mà nổi tiếng nhất là mạng Ethernet, Token Bus và Token Ring.

Mỗi mạng được thiết kế cho các dịch vụ riêng biệt và không thể sử dụng cho các mục đích khác. Ví dụ ta không thể truyền tiếng nói qua mạng chuyển mạch gói X.25 vì trễ qua mạng này quá lớn. Người ta chia mạng Viễn thông theo các khía cạnh sau:

- Xét về góc độ kỹ thuật bao gồm các mạng chuyển mạch, mạng truyền dẫn, mạng truy nhập, mạng báo hiệu và mạng đồng bộ.
- Xét về góc độ dịch vụ thì mạng Viễn thông gồm các mạng sau: mạng điện thoại cố định, mạng điện thoại di động và mạng truyền số liệu

### ***PSTN (Public Switching Telephone Network)***

Là mạng chuyển mạch thoại công cộng. PSTN phục vụ thoại và bao gồm hai loại tổng đài: tổng đài nội hạt (cấp 5), và tổng đài tandem (tổng đài quá giang nội hạt, cấp 4). Tổng đài tandem được nối vào các tổng đài Toll để giảm mức phân cấp. Phương pháp nâng cấp các tandem là bổ sung cho mỗi nút một ATM core. Các ATM core sẽ cung cấp dịch vụ băng rộng cho thuê bao, đồng thời hợp nhất các mạng số liệu hiện nay vào mạng chung ISDN. Các tổng đài cấp 4 và cấp 5 là các tổng đài loại lớn. Các tổng đài này có kiến trúc tập trung, cấu trúc phần mềm và phân cứng độc quyền.

### ***ISDN (Integrated Service Digital Network)***

Là mạng số tích hợp dịch vụ. ISDN cung cấp nhiều loại ứng dụng thoại và phi thoại trong cùng một mạng và xây dựng giao tiếp người sử dụng – mạng đa dịch vụ bằng một số giới hạn các kết nối ISDN cung cấp nhiều ứng dụng khác nhau bao gồm các kết nối chuyển mạch và không chuyển mạch. Các kết nối chuyển mạch của ISDN bao gồm nhiều chuyển mạch thực, chuyển mạch gói và sự kết hợp của chúng. Các dịch vụ mới phải tương hợp với các kết nối chuyển mạch số 64 kbit/s. ISDN phải chứa sự thông minh để cung cấp cho các dịch vụ, bảo dưỡng và các chức năng quản lý mạng, tuy nhiên tính thông minh này có thể không đủ để cho một vài dịch vụ mới và cần được tăng cường từ mạng hoặc từ sự thông minh thích ứng trong các thiết bị đầu cuối của người sử dụng. Sử dụng kiến trúc phân lớp làm đặc trưng của truy xuất ISDN. Truy xuất của người sử dụng đến nguồn ISDN có thể khác nhau tùy thuộc vào dịch vụ yêu cầu và tình trạng ISDN của từng quốc gia.

### ***PSDN (Public Switching Data Network)***

Là mạng chuyên mạch số liệu công cộng. PSDN chủ yếu cung cấp các dịch vụ số liệu. Mạng PSDN bao gồm các PoP (Point of Presence) và các thiết bị truy nhập từ xa. Hiện nay PSDN đang phát triển với tốc độ rất nhanh do sự bùng nổ của dịch vụ Internet và các mạng riêng ảo (Virtual Private Network).

### ***Mạng di động GSM (Global System for Mobile Telecom)***

Là mạng cung cấp dịch vụ thoại tương tự như PSTN nhưng qua đường truy nhập vô tuyến. Mạng này chuyên mạch dựa trên công nghệ ghép kênh phân thời gian và công nghệ ghép kênh phân tần số. Các thành phần cơ bản của mạng này là: BSC (Base Station Controller), BTS (Base Transfer Station), HLR (Home Location Register), VLR (Visitor Location Register) và MS (Mobile Subscriber).

Hiện nay các nhà cung cấp dịch vụ thu được lợi nhuận phần lớn từ các dịch vụ như leased line, Frame Relay, ATM, và các dịch vụ kết nối cơ bản. Tuy nhiên xu hướng giảm lợi nhuận từ các dịch vụ này bắt buộc các nhà khai thác phải tìm dịch vụ mới dựa trên IP để đảm bảo lợi nhuận lâu dài. VPN là một hướng đi của các nhà khai thác. Các dịch vụ dựa trên nền IP cung cấp kết nối giữa một nhóm các user xuyên qua mạng hạ tầng công cộng. VPN có thể đáp ứng các nhu cầu của khách hàng bằng các kết nối dạng any-to-any, các lớp đa dịch vụ, các dịch vụ giá thành quản lý thấp, riêng tư, tích hợp xuyên suốt cùng với các mạng Intranet/Extranet. Một nhóm các user trong Intranet và Extranet có thể hoạt động thông qua mạng có định tuyến IP. Các mạng riêng ảo có chi phí vận hành thấp hơn hẳn so với mạng riêng trên phương tiện quản lý, băng thông và dung lượng. Hiểu một cách đơn giản, VPN là một mạng mở rộng tự quản như một sự lựa chọn cơ sở hạ tầng của mạng WAN. VPN có thể liên kết các user thuộc một nhóm kín hay giữa các nhóm khác nhau. VPN được định nghĩa bằng một chế độ quản lý. Các thuê bao VPN có thể di chuyển đến một kết nối mềm dẻo trải dài từ mạng cục bộ đến mạng hoàn chỉnh. Các thuê bao này có thể dùng trong cùng (Intranet) hoặc khác (Extranet) tổ chức. Tuy nhiên cần lưu ý rằng hiện nay mạng PSTN/ISDN vẫn đang là mạng cung cấp các dịch vụ dữ liệu.

### **1.1.3. Sơ lược mạng viễn thông Việt Nam**

#### ***Cấu trúc mạng***

Để phục vụ cho các dịch vụ thông tin như thoại, số liệu, fax, telex và các dịch vụ khác như điện thoại di động, nhắn tin,... nên nước ta hiện nay ngoài mạng chuyên mạch công cộng còn có các mạng của một số dịch vụ khác. Riêng mạng Telex không kết nối với mạng thoại của VNPT, còn các mạng khác đều được kết nối vào mạng của VNPT thông qua các kênh trung kế hoặc các bộ MSU

(Main Switch Unit), một số khác lại truy nhập vào mạng PSTN qua các kênh thuê bao bình thường, sử dụng kỹ thuật DLC(Digital Loop Carrier), kỹ thuật truy nhập vô tuyến,...

Về cấu trúc mạng, mạng viễn thông của VNPT hiện nay chia thành 3 cấp: cấp quốc tế, cấp quốc gia, cấp nội tỉnh/thành phố.

Xét về khía cạnh các chức năng của các hệ thống thiết bị trên mạng thì mạng viễn thông bao gồm: mạng chuyển mạch, mạng truy nhập, mạng truyền dẫn và các mạng chức năng.

### ***Mạng chuyển mạch***

Mạng chuyển mạch có 4 cấp (dựa trên các cấp tổng đài chuyển mạch): quá giang quốc tế, quá giang đường dài, nội tỉnh và nội hạt. Riêng tại thành phố Hồ Chí Minh có thêm cấp quá giang nội hạt.

Hiện nay mạng VNPT đã có các trung tâm chuyển mạch quốc tế và chuyển mạch quốc gia ở Hà Nội, Đà Nẵng, Thành phố Hồ Chí Minh. Mạch của các bưu điện tỉnh cũng đang phát triển mở rộng. Nhiều tỉnh, thành phố xuất hiện các cấu trúc mạng với nhiều tổng đài Host, các thành phố lớn như Hà Nội, Thành phố Hồ Chí Minh đã và đang triển khai các Tandem nội hạt.

Mạng viễn thông của VNPT hiện tại được chia làm 5 cấp, trong tương lai sẽ được giảm từ 5 cấp xuống 4 cấp.

Mạng này do các thành viên của VNPT điều hành: đó là VTI, VTN và các bưu điện tỉnh. VTI quản lý các tổng đài chuyển mạch quá giang quốc tế, VTN quản lý các tổng đài chuyển mạch quá giang đường dài tại 3 trung tâm Hà Nội, Đà Nẵng và TpHCM. Phần còn lại do các bưu điện tỉnh quản lý.

Các loại tổng đài có trên mạng viễn thông Việt Nam: A1000E của Alcatel, NEAX61Σ của NEC, AXE10 của Ericsson, EWSD của Siemens.

Các công nghệ chuyển mạch được sử dụng: chuyển mạch kênh (PSTN), X.25 relay, ATM (số liệu).

Nhìn chung mạng chuyển mạch tại Việt Nam còn nhiều cấp và việc điều khiển bị phân tán trong mạng (điều khiển nằm tại các tổng đài).

### ***Mạng truy nhập***

Với từng mạng cung cấp dịch vụ khác nhau mà có mạng truy nhập tương ứng. Việc tìm hiểu mạng truy nhập là phần SV tự nghiên cứu.

### ***Mạng truyền dẫn***

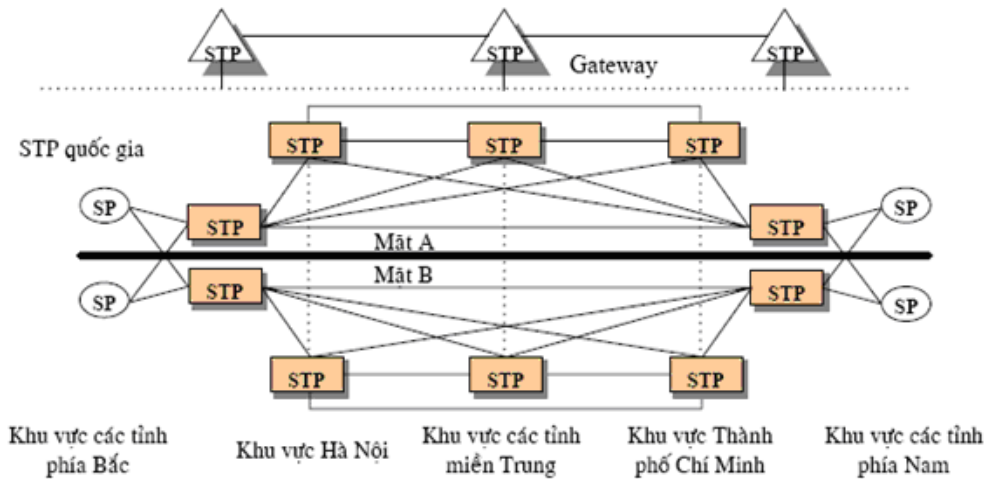
Các hệ thống thiết bị truyền dẫn trên mạng viễn thông VNPT hiện nay chủ yếu sử dụng hai loại công nghệ là: cáp quang SDH và viba PDH. Mạng truyền dẫn có 2 cấp: mạng truyền dẫn liên tỉnh và mạng truyền dẫn nội tỉnh.

- Mạng truyền dẫn liên tỉnh: Bao gồm các hệ thống truyền dẫn bằng cáp quang, bằng vô tuyến.
  - Mạng truyền dẫn liên tỉnh bằng cáp quang: Mạng truyền dẫn đường trục quốc gia nối giữa Hà Nội và TpHCM dài 4000km, sử dụng STM-16/2F-BSHR, được chia thành 4 vòng ring tại Hà Tĩnh, Đà Nẵng, Qui Nhơn và TpHCM.
    - Vòng 1: Hà Nội – Hà Tĩnh (884km)
    - Vòng 2: Hà Tĩnh – Đà Nẵng (834km)
    - Vòng 3: Đà Nẵng – Qui Nhơn (817km)
    - Vòng 4: Qui Nhơn – TpHCM (1424km)
 Các đường truyền dẫn khác: Hà Nội – Hải Phòng, Hà Nội – Hòa Bình, TpHCM – Vũng Tàu, Hà Nội – Phú Lý – Nam Định, Đà Nẵng – Tam Kỳ. Các tuyến truyền dẫn liên tỉnh này dùng STM-4. Riêng tuyến Hà Nội – Nam Định, Đà Nẵng – Tam Kỳ vẫn còn sử dụng PDH, trong tương lai sẽ thay thế bằng SDH.
  - Mạng truyền dẫn liên tỉnh bằng vô tuyến: Dùng hệ thống vi ba SDH (STM-1, dung lượng 155Mbps), PDH (dung lượng 4Mbps, 6Mbps, 140Mbps). Chỉ có tuyến Bãi Cháy – Hòn Gai dùng SDH, các tuyến khác dùng PDH.
- Mạng truyền dẫn nội tỉnh: Khoảng 88% các tuyến truyền dẫn nội tỉnh sử dụng hệ thống viba. Trong tương lai khi nhu cầu tải tăng thì các tuyến này sẽ được thay thế bởi hệ thống truyền dẫn quang.

### ***Mạng báo hiệu***

Hiện nay trên mạng viễn thông Việt Nam sử dụng cả hai loại báo hiệu R2 và SS7. Mạng báo hiệu số 7 (SS7) được đưa vào khai thác tại Việt Nam theo chiến lược triển khai từ trên xuống dưới theo tiêu chuẩn của ITU (khai thác thử nghiệm từ năm 1995 tại VTN và VTI). Cho đến nay, mạng báo hiệu số 7 đã hình thành với một cấp STP (Điểm chuyển mạch báo hiệu) tại 3 trung tâm (Hà Nội, Đà Nẵng, Hồ Chí Minh) của 3 khu vực (Bắc, Trung, Nam) và đã phục vụ khá hiệu quả.





Hình 1.4. Mạng báo hiệu Việt Nam

Báo hiệu cho PSTN ta có R2 và SS7, đối với mạng truyền số liệu qua IP có H.323, đối với ISDN có báo hiệu kênh D, Q.931, ...

### ***Mạng đồng bộ***

Mạng đồng bộ của VNPT đã thực hiện xây dựng giai đoạn 1 và giai đoạn 2 với ba đồng hồ chủ PRC tại Hà Nội, Đà Nẵng, TP Hồ Chí Minh và một số đồng hồ thứ cấp SSU. Mạng đồng bộ Việt Nam hoạt động theo nguyên tắc chủ tứ có dự phòng, bao gồm 4 cấp, hai loại giao diện chuyên giao tín hiệu đồng bộ chủ yếu là 2 MHz và 2 Mb/s. Pha 3 của quá trình phát triển mạng đồng bộ đang được triển khai nhằm nâng cao hơn nữa chất lượng mạng và chất lượng dịch vụ.

Các cấp của mạng đồng bộ được phân thành 4 cấp như sau:

- Cấp 0: cấp đồng hồ chủ.
- Cấp 1: cấp nút quốc tế và nút quốc gia.
- Cấp 2: cấp nút nội hạt.
- Cấp 3: cấp nút nội hạt.

Mạng được phân thành 3 vùng độc lập, mỗi vùng có 2 đồng hồ mẫu, một đồng hồ chính (Cesium) và một đồng hồ dự phòng (GSP). Các đồng hồ này được đặt tại trung tâm của 3 vùng và được điều chỉnh theo phương thức cân đồng bộ.

Các tổng đài quốc tế và Toll trong vùng được điều khiển bởi đồng hồ chủ theo phương pháp chủ tứ.

Các tổng đài Tandem và Host tại các tỉnh hoạt động bám theo các tổng đài Toll theo phương pháp chủ tứ. Các tổng đài huyện (RSS) cũng hoạt động bám theo các Host theo phương pháp chủ tứ.

### ***Mạng quản lý***

Dự án xây dựng trung tâm quản lý mạng viễn thông quốc gia đang trong quá trình chuẩn bị để tiến tới triển khai.

### ***Các nhà cung cấp dịch vụ***

Tại nước ta có 2 dạng nhà cung cấp dịch vụ: đó là các nhà cung cấp dịch vụ truyền thống (chủ yếu là thoại) và nhà cung cấp dịch vụ mới (các dịch vụ số liệu, Internet, ...).

Các nhà khai thác dịch vụ truyền thống bao gồm tổng công ty bưu chính viễn thông Việt Nam (VNPT), công ty viễn thông quân đội (Vietel), công ty cổ phần viễn thông Sài Gòn (SPT), công ty viễn thông điện lực (ETC).

Các nhà khai thác dịch vụ mới bao gồm FPT, SPT, Netnam, ...

### **1.1.4. Các công cụ hoạch định mạng**

#### ***Kế hoạch đánh số***

Trong phần này chúng ta sẽ tìm hiểu về các định dạng của các con số (thỉnh thoảng gọi là các địa chỉ) dùng để nhận dạng các thuê bao của các mạng Viễn thông.

■ Số thuê bao (số thư mục): Vùng địa lý của một quốc gia được chia thành các vùng đánh số riêng rẽ và các số thuê bao (SN – Subscriber numbers) nhận dạng các đường dây thuê bao trong một vùng đánh số cụ thể. Một SN bao gồm một mã tổng đài (EC – Exchange Code) để nhận dạng một tổng đài trong một vùng đánh số, được biểu diễn bởi một số đường truyền (LN) như sau:  $SN = EC + LN$

■ Số quốc gia: Trong một nước, một thuê bao được nhận dạng bởi một số quốc gia (NN – National Number), bao gồm một mã vùng (AC – Area Code), mã vùng là mã dùng để nhận dạng vùng đánh số, được biểu diễn bởi một số thuê bao như sau:  $NN = AC + SL = AC + EC + LN$

■ Số quốc tế: Trên thế giới một thuê bao được nhận dạng bởi một số quốc tế (IN – International Number). Số này bao gồm một mã quốc gia (CC – Country Code), được biểu diễn theo một số quốc gia như sau:

$$IN = CC + NN = CC + AC + EC + LN$$

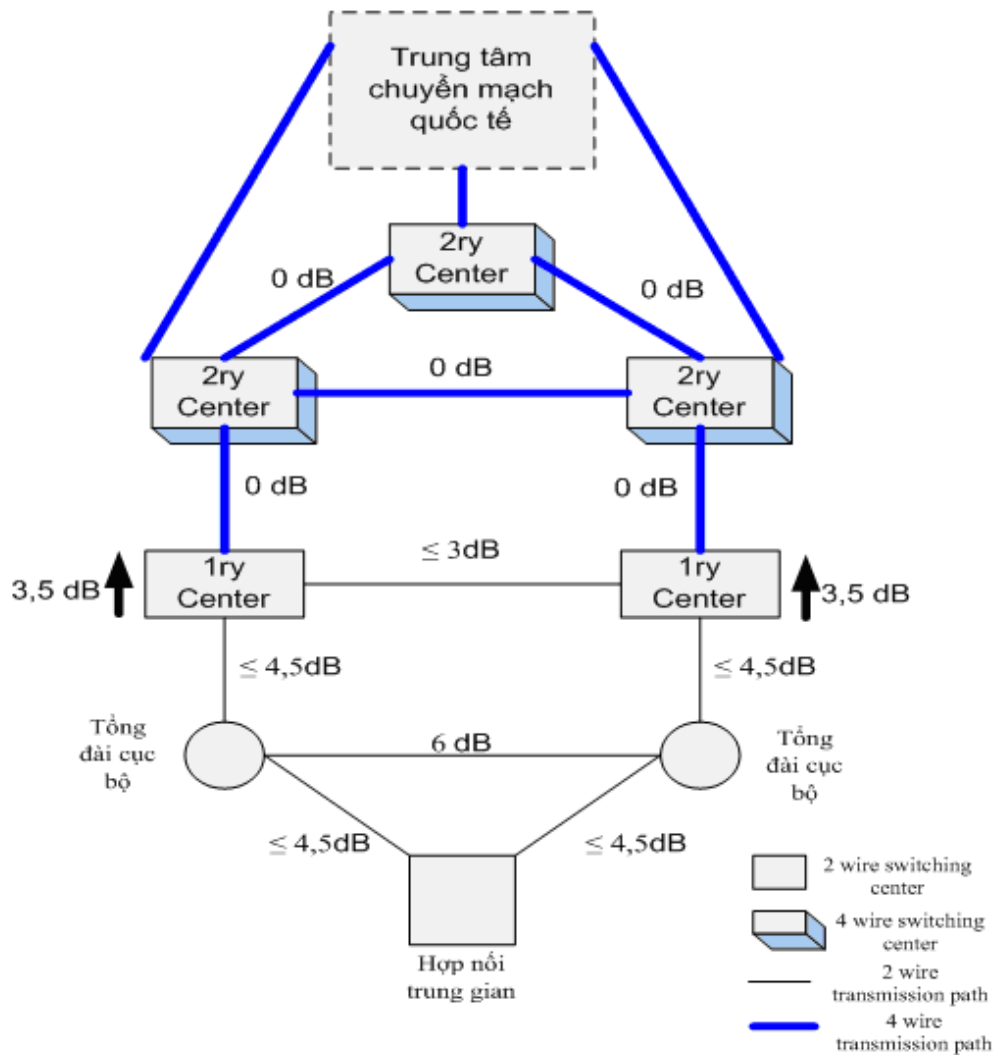
Khi một thuê bao S1 gọi một thuê bao được đặt ở cùng một vùng đánh số, thì thuê bao S1 không quay số thuê bao SN. Nếu thuê bao được gọi sống ở cùng một nước nhưng ở một vùng khác thì S1 quay số NN và nếu thuê bao được gọi sống ở một nước khác thì S1 cần phải quay số IN

Kế hoạch đánh số quốc gia thì định nghĩa các định dạng của thuê bao và của số quốc gia. Hầu hết các quốc gia đều có kế hoạch đánh số của riêng mình.

### ***Kế hoạch truyền dẫn***

Kiến trúc thực tế của bất kỳ một mạng đều phụ thuộc vào một số các yếu tố, một trong những yếu tố quan trọng nhất là các tiêu chuẩn truyền dẫn. Bất kỳ một tín hiệu nào được truyền đều mắc phải hiện tượng suy giảm, mức độ suy giảm tỉ lệ với chiều dài của đường truyền dẫn. Quá trình chuyển mạch trong tổng đài cũng làm suy giảm tín hiệu. Để tất cả các cuộc gọi được chấp nhận cần phải giữ sự đồng dạng của tiếng nói để người nghe hiểu được, vì vậy một kế hoạch truyền dẫn cho mạng luôn luôn được yêu cầu. Một kế hoạch truyền dẫn tính toán các thất thoát tối đa cho phép của tất cả các loại đường truyền, đồng thời cũng tính toán các thất thoát tối thiểu, bởi vì những tiếng lào xào do suy giảm trong tín hiệu tiếng nói là không thể chấp nhận được. Hình 1.9 trình bày một ví dụ của một kế hoạch truyền, trên đó chỉ ra các thất thoát thông qua đại lượng Decibels(dB). Các thất thoát này có được bằng nhiều phương pháp đo đạc khác nhau trong nhiều mạng khác nhau.

Trong các mạng nội hạt, các kết nối của thuê bao bao gồm các cặp dây đồng, mỗi thuê bao được cấp một cặp. Chúng được coi như là phần đầu tư quan trọng và kém hiệu quả vì lượng tải trung bình hàng ngày trên mỗi thuê bao là rất thấp. Giá thành được giảm tối thiểu bằng cách dùng các dây có chỉ số gauge thấp. Tuy nhiên, các dây mảnh hơn có độ suy giảm lớn hơn trên một đơn vị chiều dài. Vì vậy cần phải giới hạn chiều dài các kết nối thuê bao. Điều này ảnh hưởng vị trí của các tổng đài và hoạch định vùng mạng nội hạt.



Hình 1.5. Ví dụ về một kế hoạch truyền dẫn

Trong mạng hợp nối, các tuyến giữa các tổng đài được dùng phù hợp với yêu cầu của tải, và cường độ tải trên chúng cao hơn trong mạng nội hạt. Vì vậy phải dùng các dây có chỉ số gauge cao hơn để giảm thiểu mức suy giảm tín hiệu trên một đơn vị chiều dài. Vì suy giảm không ổn định nên một vài tuyến có qui mô lớn hơn so với khuếch đại tỏ ra không kinh tế và ít được dùng. Trong những năm gần đây người ta dùng truyền dẫn số trong mạng hợp nối, dùng kỹ thuật điều chế xung theo mã(PCM) khắc phục được vấn đề nêu trên. Thuộc tính vốn có của PCM là dùng các đường dẫn riêng biệt cho mỗi hướng truyền, tái tạo tín hiệu thay vì khuếch đại đem đến chất lượng truyền dẫn cao hơn cũng như ổn định hơn.

Cường độ tải trung bình trên các tuyến trung kế lớn hơn hoặc bằng với cường độ tải trên mạng hợp nối. Tải trung kế được tập trung từ số lớn các thuê bao, và các tuyến được hỗ trợ một cách chính xác để phù hợp với nhu cầu thực tế( ngược

lại các mạch nội hạt phải được hỗ trợ một cách tùy ý không phụ thuộc vào tải trên chúng). Hơn nữa, mạng trung kế thực hiện một số lượng lớn cả các điểm chuyển mạch và các đường truyền dẫn. Do đó nó trở thành một thành phần cần làm việc khẩn trương và hiệu quả cao tránh tình trạng thất thoát trong việc xử lý các cuộc gọi. Điều này có thể thực hiện được bằng cách xây dựng các chiến lược định tuyến để giới hạn số lượng các liên kết trung kế trong mỗi cuộc gọi, bằng cách khuếch đại trên các tuyến analog và dùng kỹ thuật truyền dẫn số.

Vì các bộ khuếch đại là các thiết bị không định hướng nên các mạch 4 dây được dùng trên các tuyến analog có khuếch đại. Bộ chuyển đổi 2 dây sang 4 dây được dùng ở những nơi mạch trung kế khuếch đại 4 dây được nối với các trung tâm chuyển mạch 2 dây. Do đó, một khi sự truyền 4 dây đang được sử dụng thì các trung tâm chuyển mạch 4 dây trở nên được ưa chuộng hơn. Một chiến lược định tuyến thường được dùng nhất là nếu một cuộc gọi yêu cầu nhiều hơn hai liên kết trung kế, chúng sẽ được định tuyến qua tầng cao nhất của mạng trung kế trùng với các tổng đài 4 dây và các đường truyền dẫn riêng. Sự khuếch đại giảm thất thoát qua mạng tạo điều kiện mức thất thoát có thể bằng không.

Vấn đề suy giảm được khắc phục một cách đáng kể trong các mạng truyền dẫn số và có ưu thế về chuyển mạch. Bản chất tự nhiên của truyền dẫn số có thể đạt được sự ổn định trong công tác truyền dẫn, nhờ có các bộ lặp(repeater) tái hình tín hiệu số, hơn hẳn phương pháp khuếch đại trong truyền dẫn tương tự về khả năng kháng nhiễu(noise). Thực vậy, trong mạng số hóa hoàn toàn, sự suy giảm còn được xem như một phương pháp nhân tạo để tạo cảm giác dễ chịu cho người nghe. Do đó, trong môi trường số hóa tất cả các kết nối là rất tốt. Hơn nữa hiện nay chuyển mạch số rẻ hơn chuyển mạch tương tự. Tất cả hệ thống mạng hiện đại đều dựa trên cả chuyển mạch số và truyền dẫn số. Thực tế hiện tại cáp quang đã được thay thế cho các môi trường truyền dẫn khác.

Rõ ràng trong tất cả các cuộc gọi quốc tế sẽ dùng một số các liên kết truyền dẫn ít nhất là của hai quốc gia, nó đòi hỏi phải có khuếch đại và tái sinh tín hiệu. Tất cả các cuộc gọi quốc tế do đó sẽ được hỗ trợ các đường truyền 4 dây cũng như chuyển mạch 4 dây ngay tại tổng đài chuyển mạch quốc tế. Các đường cáp xuyên đại dương và các đường viba được cung cấp bởi các vệ tinh hình thành nên các đường truyền quốc tế cơ bản, và các cầu vi ba được dùng phủ kín trong các mạng châu lục. Sự phản xạ tín hiệu ở tầng đối lưu được dùng để thông tin với những vùng nằm bên kia chân trời. Ví dụ giữa một quốc gia trên đất liền với các đảo xa hay các tàu dầu. Tất cả các đường truyền dẫn quốc tế mới thông qua vệ

tin và đường cáp xuyên biển đều là đường truyền dẫn số, ứng dụng nhiều kỹ thuật mới như cáp quang làm gia tăng chất lượng đường truyền quốc tế.

### ***Kế hoạch định tuyến***

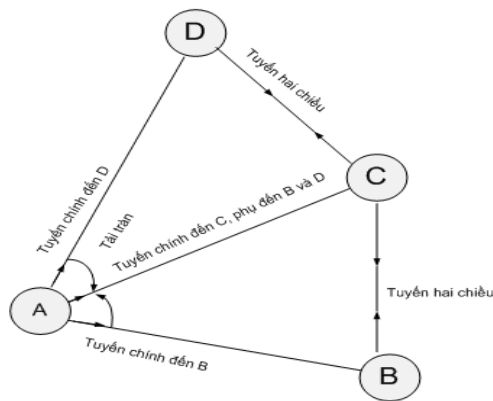
Kế hoạch thứ 3 rất quan trọng để điều hành mạng, nó quyết định tính hiệu quả hoạt động của mạng, đó là kế hoạch định tuyến. Kế hoạch này định ra tất cả các tiêu chuẩn định tuyến cho các cuộc gọi dưới mọi tình huống. Nó chỉ ra rằng trong một mạng hợp nối một cuộc gọi có thể được định tuyến giữa hai tổng đài hoặc qua một liên kết trực tiếp hay qua một hay nhiều điểm trung gian. Liên kết trực tiếp được cung cấp tùy theo một tiêu chuẩn nào đó, chẳng hạn như nếu tải lớn hơn một mức qui định giữa hai tổng đài và các qui định này là cụ thể hóa các tiêu chuẩn, là một phần của kế hoạch định tuyến.

Tương tự, trong mạng trung kế, kế hoạch định tuyến bao gồm các luật xác định nhiệm vụ cần thiết của các tổng đài trung kế, làm thế nào chúng nối với nhau, chúng có kiến trúc phân cấp hay không hay tất cả trên một mạng ngang hàng. Trong các mạng tương tự, kế hoạch định tuyến bị ảnh hưởng bởi kế hoạch truyền, nó định ra số tối đa các liên kết không cần khuyếch đại có thể được dùng trên một cuộc gọi, và cho đó chỉ ra số liên kết hợp nối tối đa, vì tất cả các liên kết trung kế đều được khuyếch đại, và cũng chỉ ra số tối đa các liên kết khuyếch đại 4 dây khi chuyển mạch 2 dây được dùng. Bởi vì mỗi liên kết phải có một thất thoát xác định (tiêu biểu là 3 dB) để đảm bảo tính ổn định. Trong một mạng số có nhiều điều lưu ý khác trong kế hoạch định tuyến.

Có nhiều khía cạnh về kế hoạch định tuyến. Ví dụ các mạch trên bất kỳ một tuyến nào là “một hướng” hay “hai hướng”; điều này có nghĩa là chúng có thể tiếp nhận cuộc gọi trên một hướng hay cả hai hướng. Kế hoạch định tuyến phải có các luật cho các quyết định phù hợp với tính kinh tế và kỹ thuật, và xem các mạch hai hướng có hữu ích trên mọi tuyến hay không.

Một lưu ý khác là định tuyến dự phòng có được dùng hay không. Định tuyến dự phòng là quá trình cung cấp một sự lựa chọn thứ hai cho các cuộc gọi khi chúng vấp phải sự tắc nghẽn trên lựa chọn thứ nhất. Ví dụ trên hình 1.10 có một tuyến trực tiếp giữa hai tổng đài A và B, tải giữa hai tổng đài thông thường được cung cấp một tuyến. Tuy nhiên, nếu không có mạch nào rảnh trên tuyến trực tiếp này thì bất kỳ một cuộc gọi mới nào sẽ bị mất trừ khi có một tuyến thứ 2 để chọn. Trong hình, một chọn lựa thứ 2 như vậy được chỉ qua tổng đài C. Định tuyến dự phòng không những cung cấp một tuyến dự phòng trong dịch vụ tổng quát mà còn

được thiết kế với mục tiêu đảm bảo sử dụng hiệu quả cả hai tuyến( tuyến thứ nhất và tuyến thứ 2). Có thể chỉ định tuyến có hiệu quả cao hơn là tuyến đầu tiên, trong trường hợp này là tuyến có ít mạch phục vụ cho tải. Lượng tải thừa ra được chia cho tuyến thứ 2. Cả hai tuyến luôn được sử dụng một cách có hiệu quả. Các tuyến AB và AD là tuyến hiệu quả cao, và tuyến AC là tuyến hỗ trợ lượng tải thừa từ AB và AD cũng như trực tiếp từ A đến C.



Hình 1.6. Định tuyến tự động có hai lựa chọn

Với các thiết bị điều khiển cơ, các chỉ thị định tuyến được xây dựng sẵn với các dây dẫn phức tạp. Do đó rất khó và tốn nhiều thời gian để thay đổi chúng. Các tổng đài số hiện đại linh hoạt hơn; các chỉ thị định tuyến tồn tại dưới dạng phần mềm trong bộ nhớ máy tính được thay đổi dễ dàng và nhanh chóng. Do đó, các tuyến dự phòng động được cung cấp cho phép định tuyến lại tức thời( trên cơ sở tạm thời) ngay khi có tắc nghẽn nghiêm trọng xảy ra hay khi các thành phần của mạng bị hư. Định tuyến động trở thành một đối tượng của hệ thống quản lý mạng, mục tiêu của nó là tối ưu việc sử dụng mạng dưới mọi điều kiện.

### ***Tải trên mạng điện thoại***

Số lượng các cuộc gọi mà một mạch hay một nhóm mạch có thể tải trong một khoảng thời gian cho trước phụ thuộc vào các thời gian nắm giữ và các mẫu cuộc gọi đến. Ví dụ nếu thời gian nắm giữ cuộc gọi là 3 phút, và các cuộc gọi đến định kỳ mỗi 3 phút 1 lần, giả sử mỗi khoảng thời gian đến của một cuộc gọi tiếp ngay sau khi kết thúc khoảng thời gian trước đó, một mạch đơn theo lý thuyết có thể mang 20 cuộc gọi trong một giờ sẽ gần như toàn bộ 60 phút một cách chính xác, hay 100% thời gian. Nếu một cuộc gọi thứ 21 đến trong khoảng thời gian một giờ đó, nó sẽ vấp phải sự tắc nghẽn và thất bại.

Mặt khác, nếu thời gian giữ mỗi cuộc gọi là 2 phút, mạch này có thể thực hiện tối đa 30 cuộc gọi theo lý thuyết. Tuy nhiên trong thực tế, các cuộc gọi có các

khoảng thời gian chiếm mạch khác nhau, và tốc độ truy cập không ổn định. Thật vậy nếu 20 cuộc gọi đến trong khoảng thời gian một giờ, thì vẫn có thể bị chồng lấn lên nhau ngay cả thời gian giữ mạch trung bình là 3 phút hay ít hơn, một số sẽ bị thất bại. Vì vậy bất kể các cuộc gọi bị mất, thời gian chiếm mạch hiệu quả cũng nhỏ hơn 100%.

Trong khi có thể hiểu thời gian sở hữu mạch liên hệ với số lượng các cuộc được thực hiện không được liên hệ một cách đơn giản với số lượng các cuộc gọi được thực hiện không được liên hệ một cách đơn giản với số cuộc gọi cung cấp. Thời gian chiếm hữu là một thực thể có thể đo lường và được xem như là tải được chuyển. Tổng thời gian của các cuộc gọi chia cho khoảng thời gian giám sát (với các đơn vị tính trước) gọi là cường độ tải. Đơn vị tính là erlang(E).

Trong ví dụ ở trên, một mạch được gán 60 phút chiếm hữu mạch trong khoảng thời gian 1 giờ, do đó cường độ tải là một erlang.

Tương tự, cường độ tải có thể được tính toán cho một nhóm mạch. Ví dụ trên hình 1.7 trình bày một nhóm 5 mạch, mỗi mạch thực hiện một số các cuộc gọi trong khoảng thời gian 2 giờ. Các cuộc gọi bị thất bại do tắc nghẽn không tính đến.

Trong nhóm này:

Tổng thời gian gọi= 349 phút

Cường độ tải=  $349/(2 \times 60) = 2,9$  erlang(E)

Cường độ tải trên một mạch =  $2,9/5 = 0,58E$

Cường độ tải cũng có thể được tính bằng cách đo lường ngay tức thời, trong trường hợp này nó bằng số cuộc gọi trung bình được xử lý.

$$A = Cxh/T$$

Trong đó: C là số cuộc gọi được xử lý trong thời gian cho trước;

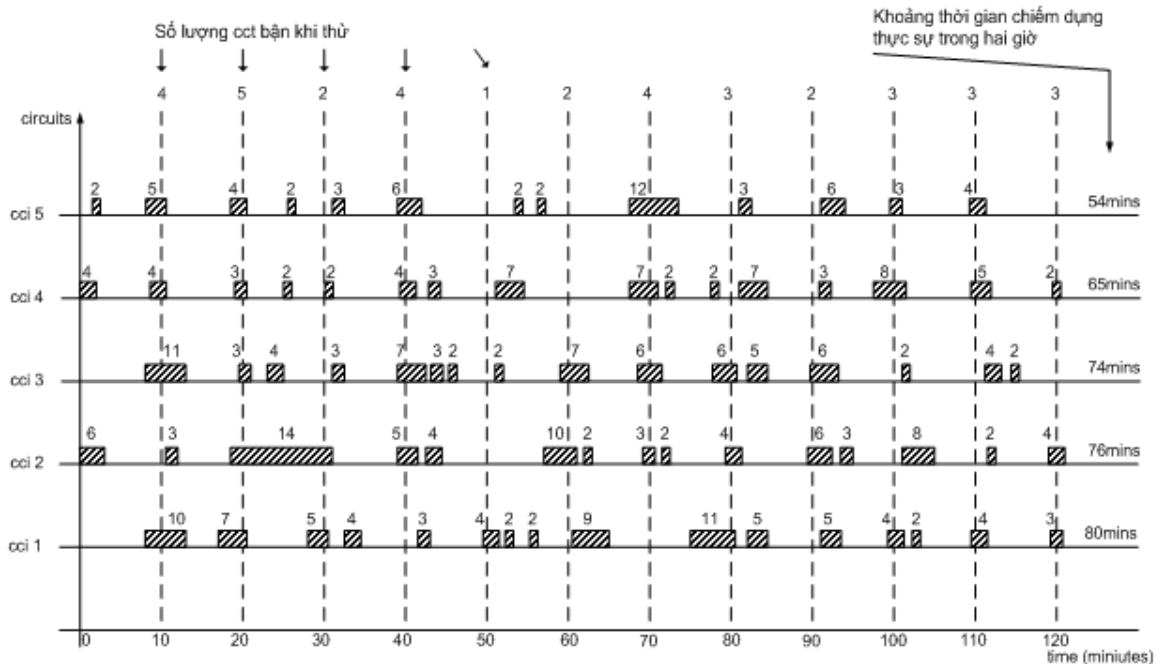
h là thời gian gọi trung bình trên một cuộc gọi;

T là thời gian xem xét.

Để xác định một cách chính xác khả năng của các tổng đài và các tuyến, đồng thời dự đoán cường độ tải trong tương lai khi xét duyệt các kế hoạch mạng, cần phải đo lường tải tại các điểm khác nhau trong mạng. Trong khi mong muốn đạt được các kết quả chính xác hoàn hảo thì việc gắn các đồng hồ đo tải vào mỗi mạch đầu cuối trên tổng đài là không kinh tế. Một phương pháp lấy mẫu thuận



tiện hơn sẽ được dùng. Trong tổng đài SPC việc ghi được thực hiện qua phần mềm, nó có thể thực hiện giám sát toàn bộ. Tuy nhiên việc xử lý dữ liệu có thể rất nặng nề và đắt tiền.



Hình 1.7. Lược đồ biểu diễn sự chiếm giữ của các cct trong một nhóm gồm 5 mạch được giám sát định kỳ 10 giây

Các ý nghĩa chủ yếu của việc lấy mẫu là kiểm tra các mạch trong khoảng thời gian chiếm hữu theo định kỳ. Tổng số thời gian gọi được phát hiện được chia cho số lần kiểm thử để có được thời gian gọi trung bình. Ví dụ, nếu kiểm thử nhóm của các mạch như trong hình 1.7 được thực hiện mỗi 10 phút, như trình bày bằng các đường dọc, thời gian các mạch bận là 36 phút trong khoảng 2 giờ. Vì có 12 mẫu, tải trung bình được thực hiện bởi nhóm được tính bằng  $36/12 = 3,0E$ . Điều này rất giống với giá trị trung bình  $349/120 = 2,9E$  đạt được bằng cách chia tổng thời gian bận thực tế với khoảng thời gian xem xét tính bằng phút.

Tải thay đổi tùy vào thời gian trong ngày, các ngày trong tuần, mùa và vị trí địa lý. Các thuê bao cá nhân thực hiện cuộc gọi một cách ngẫu nhiên, mỗi tổng đài và mỗi tuyến trải qua các khoảng thời gian cao điểm sử dụng trong mỗi ngày. Trong các tổng đài thuộc vùng kinh tế trọng điểm, giờ cao điểm thường là buổi sáng. Trong các vùng dân cư có thể xảy ra vào buổi tối. Trong các vùng trọng điểm kinh tế, tải giảm vào ngày chủ nhật và thường cao điểm vào giữa tuần. Mặt khác tải quốc nội cao điểm vào cuối tuần khi các gia đình sum họp và giá cước giảm. Tải quốc tế thường gia tăng vào mùa hè.

Tương tự, tải từ các thuê bao cá nhân thì yếu hơn. Trong một ngày chỉ vài cuộc gọi, tải trên các thuê bao này chỉ có cường độ khoảng 0,33 erlang. Tuy nhiên, vì tải từ nhiều thuê bao đổ về một tổng đài, mức trung bình tải lớn hơn có thể dự đoán được trong bất cứ thời gian cho trước nào. Khi tải qua quá trình xử lý của tổng đài nó trở nên trong suốt hơn. Trên các tuyến hợp nối cũng như các đường trung kế tải trở nên thuần thực và trong suốt. Các tuyến này có khả năng vận chuyển lớn hơn mức tối đa có thể. Cũng tương tự, một tổng đài được thiết kế với các thiết bị có khả năng thực thi cho lượng tải dự đoán thay vì căn cứ trên tổng tải của thuê bao trong trường hợp cùng khởi động đồng thời. Điều này nhận ra rằng sẽ có trường hợp một cuộc gọi đến tổng đài sẽ không được đáp ứng.

Khả năng thực thi tải lớn nhất vấp phải sự giám sát liên tục bởi các thiết bị sử dụng theo chế độ ngắn hạn, vì vậy mức thất thoát cho phép được chọn và khả năng tải đạt đến một mức độ cho trước với mức thất thoát qui định trong giờ cao điểm. Ví dụ, nếu một cuộc gọi thất bại trong một trăm cuộc gọi thì hoàn toàn có thể chấp nhận được.

Các nghiên cứu toán học về lưu thoại hay lý thuyết về lưu lượng trên mạng Viễn thông được dùng để đảm bảo khả năng thất thoát cuộc gọi ở một mức độ có thể chấp nhận được đối với các thuê bao, đồng thời có tính kinh tế đối với sự giám sát. Tuy nhiên, cần nhớ rằng các đường nội hạt phải được cung cấp trên mỗi thuê bao và đây là các nguồn phát cơ bản của tất cả tải.

Số lượng chính xác của thiết bị, hay mạch được cung cấp bằng cách tính toán từ các bảng được dẫn xuất từ lý thuyết lưu lượng. Như trong tất cả các ứng dụng toán học, tính chất thay đổi cần phải được xem xét các điều kiện bên trong tổng đài, tải ngẫu nhiên, và dùng phép phân bố xác suất để xấp xỉ số lượng tải.

Để kế hoạch đầy đủ thì cần đo lường tải trong suốt thời gian bận. Trong những năm gần đây, nhằm gia tăng việc dùng điện thoại, cả trong phạm vi quốc gia cũng như các vùng kinh tế trọng điểm, thời gian bận được tăng thêm một số giờ và khoảng thời gian đo lường phù hợp không phải luôn luôn trùng một cách chính xác với thời gian cao điểm. Đôi khi các kết quả là không đầy đủ nhưng hoạt động ghi trong các tổng đài SPC có thể hạn chế được vấn đề này.

### **1.1.5. Hoạch định mạng**

Nhu cầu trên các mạng luôn thay đổi. Một hoạt động kinh tế mới phát triển sẽ tạo ra một lượng tải mới. Các khách hàng mới yêu cầu kết nối trên các tổng đài nội hạt. Các ý tưởng mới có thể tạo ra các cao điểm tải trên mạng, cũng có thể

là một yêu cầu một sắp xếp đặc biệt nào đó, nếu chúng không gây ra tắc nghẽn mạng. Các dịch vụ mới dùng điện thoại, như là thư điện tử, facsimile và truyền dữ liệu có thể có các đặc tính tải khác nhau so với tải truyền thống trên mạng điện thoại.

Để các mạng khác nhau có thể tiếp tục với các yêu cầu thay đổi các mẫu tải, chúng phải thường xuyên được chỉnh lại. Chúng phải được nhìn nhận tổng quát dưới dạng các câu hỏi sau:

- Khi nào cần cung cấp một tuyến trực tiếp giữa hai tổng đài hay gia tăng số lượng các mạch trên một tuyến có sẵn?
- Khi nào cần lắp thêm tổng đài mới?
- Nơi nào sẽ lắp đặt?

Các quyết định này cấu thành một nguyên tắc hoạch định mạng. Nó yêu cầu các sự kiện, các luật điều hành và một cơ cấu để thực thi. Các sự kiện có được từ việc đo lường tải trên tất cả các tổng đài. Các luật điều hành bao gồm các chỉ dẫn theo lý thuyết, các khía cạnh chọn lựa kinh tế, và khả năng của tổng đài cũng như của thiết bị truyền dẫn. Các luật được thiết kế để tối ưu giá thành và năng lực kiểm soát tải của mạng. Cơ cấu phải xác định được phạm vi mà luật áp dụng, và cung cấp các kế hoạch như đã thảo luận ở trên cũng như công tác báo hiệu và một kế hoạch tính cước. Công việc xác định sau cùng là giá cả dịch vụ, bảo trì giám sát mạng thu từ thuê bao như thế nào.

Các kế hoạch rõ ràng có ảnh hưởng với nhau, trong mỗi tương quan chúng kết hợp các chỉ tiêu kỹ thuật (như các giới hạn truyền dẫn) với các chính sách và cân nhắc về kinh tế (ví dụ như giá cước). Tuy nhiên, tất cả các quyết định đều phải có hiệu quả về giá thành. Do đó, không những cần phải biết một tổng đài mới cần thiết cho một vùng nào đó, mà còn cần thiết xác định chính xác vị trí nào tổng đài sẽ được đặt. Tổng giá thành của thiết bị chuyển mạch, kế hoạch truyền dẫn, và sự điều tiết phải là tối ưu. Việc cân đối dựa trên giá cả hiện hành, kỹ thuật được dùng. Do đó một kỹ thuật mới được đưa ra không những do lợi ích của nó mà còn hiệu quả về kinh tế.

## **1.2. Mạng viễn thông thế hệ mới NGN(Next Generation Network)**

### **1.2.1. Khái niệm**

Mạng viễn thông thế hệ mới có nhiều tên gọi khác nhau, chẳng hạn như:

- Mạng đa dịch vụ (cung cấp nhiều loại dịch vụ khác nhau)

- Mạng hội tụ (hỗ trợ cho cả lưu lượng thoại và dữ liệu, cấu trúc mạng hội tụ)
- Mạng phân phối (phân phối tính thông minh cho mọi phần tử trong mạng)
- Mạng nhiều lớp (mạng được phân phối ra nhiều lớp mạng có chức năng độc lập nhưng hỗ trợ nhau thay vì một khối thống nhất như trong mạng TDM).

Cho tới hiện nay, mặc dù các tổ chức viễn thông quốc tế và cùng các nhà cung cấp thiết bị viễn thông trên thế giới đều rất quan tâm và nghiên cứu về chiến lược phát triển NGN nhưng vẫn chưa có một định nghĩa cụ thể và chính xác nào cho mạng NGN. Do đó định nghĩa mạng NGN nêu ra ở đây không thể bao hàm hết mọi chi tiết về mạng thế hệ mới, nhưng nó có thể tương đối là khái niệm chung nhất khi đề cập đến NGN.

Bắt nguồn từ sự phát triển của công nghệ thông tin, công nghệ chuyển mạch gói và công nghệ truyền dẫn băng rộng, mạng thông tin thế hệ mới (NGN) ra đời là mạng có cơ sở hạ tầng thông tin duy nhất dựa trên công nghệ chuyển mạch gói, triển khai các dịch vụ một cách đa dạng và nhanh chóng, đáp ứng sự hội tụ giữa thoại và số liệu, giữa cố định và di động.

Như vậy, có thể xem mạng thông tin thế hệ mới là sự tích hợp mạng thoại PSTN, chủ yếu dựa trên kỹ thuật TDM, với mạng chuyển mạch gói, dựa trên kỹ thuật IP/ATM. Nó có thể truyền tải tất cả các dịch vụ vốn có của PSTN đồng thời cũng có thể nhập một lượng dữ liệu rất lớn vào mạng IP, nhờ đó có thể giảm nhẹ gánh nặng của PSTN.

Tuy nhiên, NGN không chỉ đơn thuần là sự hội tụ giữa thoại và dữ liệu mà còn là sự hội tụ giữa truyền dẫn quang và công nghệ gói, giữa mạng cố định và di động. Vấn đề chủ đạo ở đây là làm sao có thể tận dụng hết lợi thế đem đến từ quá trình hội tụ này. Một vấn đề quan trọng khác là sự bùng nổ nhu cầu của người sử dụng cho một khối lượng lớn dịch vụ và ứng dụng phức tạp bao gồm cả đa phương tiện, phần lớn trong đó là không được trì hoãn khi xây dựng các hệ thống mạng hiện nay.

### **1.2.2. Đặc điểm của mạng NGN**

*Mạng NGN có bốn đặc điểm chính:*

- Nền tảng là hệ thống mạng mở.
- Mạng NGN là do mạng dịch vụ thúc đẩy, nhưng dịch vụ phải thực hiện độc lập với mạng lưới.

- Mạng NGN là mạng chuyển mạch gói, dựa trên một giao thức thống nhất.
- Là mạng có dung lượng ngày càng tăng, có tính thích ứng cũng ngày càng tăng, có đủ dung lượng để đáp ứng nhu cầu.

Trước hết, do áp dụng cơ cấu mở mà :

- Các khối chức năng của tổng đài truyền thống chia thành các phần tử mạng độc lập, các phần tử được phân theo chức năng tương ứng, và phát triển một cách độc lập.
- Giao diện và giao thức giữa các bộ phận phải dựa trên các tiêu chuẩn tương ứng.

Việc phân tách làm cho mạng viễn thông vốn có dần dần đi theo hướng mới, nhà kinh doanh có thể căn cứ vào nhu cầu dịch vụ để tự tổ hợp các phần tử khi tổ chức mạng lưới. Việc tiêu chuẩn hóa giao thức giữa các phần tử có thể thực hiện nối thông giữa các mạng có cấu hình khác nhau.

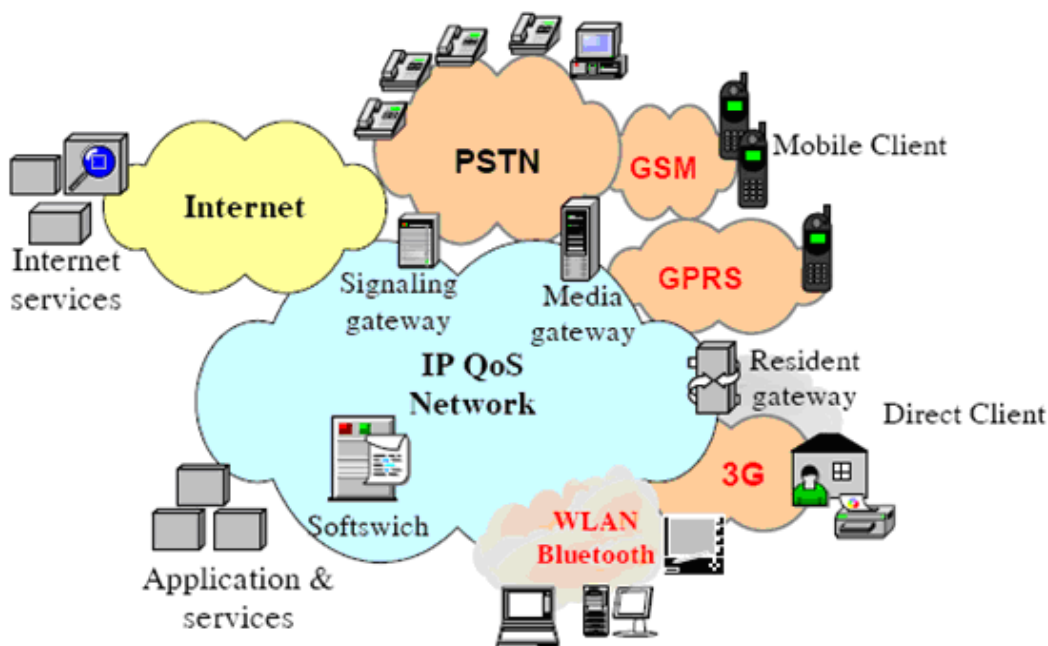
Thứ hai, mạng NGN là mạng dịch vụ thúc đẩy, với đặc điểm của:

- Chia tách dịch vụ với điều khiển cuộc gọi
- Chia tách cuộc gọi với truyền tải

Mục tiêu chính của chia tách là làm cho *dịch vụ thực sự độc lập với mạng*, thực hiện một cách linh hoạt và có hiệu quả việc cung cấp dịch vụ. Thuê bao có thể tự bố trí và xác định đặc trưng dịch vụ của mình, không quan tâm đến mạng truyền tải dịch vụ và loại hình đầu cuối. Điều đó làm cho việc cung cấp dịch vụ và ứng dụng có tính linh hoạt cao.

Thứ ba, NGN là mạng chuyển mạch gói, giao thức thống nhất. Mạng thông tin hiện nay, dù là mạng viễn thông, mạng máy tính hay mạng truyền hình cáp, đều không thể lấy một trong các mạng đó làm nền tảng để xây dựng cơ sở hạ tầng thông tin. Nhưng mấy năm gần đây, cùng với sự phát triển của công nghệ IP, người ta mới nhận thấy rõ ràng là mạng viễn thông, mạng máy tính và mạng truyền hình cáp cuối cùng rồi cũng tích hợp trong một mạng IP thống nhất, đó là xu thế lớn mà người ta thường gọi là “dung hợp ba mạng”. Giao thức IP làm cho các dịch vụ lấy IP làm cơ sở đều có thể thực hiện nối thông các mạng khác nhau; con người lần đầu tiên có được giao thức thống nhất mà ba mạng lớn đều có thể chấp nhận được; đặt cơ sở vững chắc về mặt kỹ thuật cho hạ tầng cơ sở thông tin quốc gia (NII). Giao thức IP thực tế đã trở thành giao thức ứng dụng vạn năng và bắt đầu được sử dụng làm cơ sở cho các mạng đa dịch vụ, mặc dù hiện tại vẫn còn ở thế bất lợi so với các chuyển mạch kênh về mặt khả năng hỗ trợ lưu lượng thoại và cung cấp chất lượng dịch vụ đảm bảo cho số liệu. Tốc độ đổi mới nhanh chóng

trong thế giới Internet, mà nó được tạo điều kiện bởi sự phát triển của các tiêu chuẩn mở sẽ sớm khắc phục những thiếu sót này.



Hình 1.8. Topo mạng thế hệ mới NGN

### 1.2.3. Các công nghệ trong mạng NGN

#### ***Công nghệ chuyển mạch***

Chuyển mạch cũng là một thành phần trong lớp mạng chuyển tải của cấu trúc NGN nhưng có những thay đổi lớn về mặt công nghệ so với các thiết bị chuyển mạch TDM trước đây. Công nghệ chuyển mạch của mạng thế hệ mới là IP, ATM, ATM/IP hay MPLS thì hiện nay vẫn chưa xác định rõ, tuy nhiên nói chung là dựa trên công nghệ chuyển mạch gói, cho phép hoạt động với nhiều tốc độ và dịch vụ khác nhau.

#### ***Công nghệ truyền dẫn***

Trong cấu trúc mạng thế hệ mới, truyền dẫn là một thành phần của lớp kết nối (bao gồm chuyển tải và truy nhập). Công nghệ truyền dẫn của mạng thế hệ mới là SDH, WDM với khả năng hoạt động mềm dẻo, linh hoạt, thuận tiện cho khai thác và điều hành quản lý.

Các tuyến truyền dẫn SDH hiện có và đang được tiếp tục triển khai rộng rãi trên mạng viễn thông là sự phát triển đúng hướng theo cấu trúc mạng mới. Cần tiếp tục phát triển các hệ thống truyền dẫn công nghệ SDH và WDM, hạn chế sử dụng công nghệ PDH.

## ■ Cáp quang:

- Hiện nay trên 60% lưu lượng thông tin được truyền đi trên toàn thế giới được truyền trên mạng quang. Công nghệ truyền dẫn quang SDH cho phép tạo trên đường truyền dẫn tốc độ cao ( $n \times 155 \text{ Mb/s}$ ) với khả năng bảo vệ của các mạch vòng đã được sử dụng rộng rãi ở nhiều nước và ở Việt Nam.
- WDM cho phép sử dụng độ rộng băng tần rất lớn của sợi quang bằng cách kết hợp một số tín hiệu ghép kênh theo thời gian với độ dài các bước sóng khác nhau và ta có thể sử dụng được các cửa sổ không gian, thời gian và độ dài bước sóng. Công nghệ WDM cho phép nâng tốc độ truyền dẫn lên 5Gb/s, 10Gb/s và 20Gb/s.

## ■ Vô tuyến:

- Viba: Công nghệ truyền dẫn SDH cũng phát triển trong lĩnh vực vi ba, tuy nhiên do những hạn chế của môi trường truyền dẫn sóng vô tuyến nên tốc độ và chất lượng truyền dẫn không cao so với công nghệ truyền dẫn quang.
- Vệ tinh: Vệ tinh quỹ đạo thấp (LEO – Low Earth Orbit), vệ tinh quỹ đạo trung bình (MEO – Medium Earth Orbit). Các loại hình dịch vụ vệ tinh đã rất phát triển như: DTH tương tác, truy nhập Internet, các dịch vụ băng rộng, HDTV... Ngoài các ứng dụng phổ biến đối với nhu cầu thông tin quảng bá, viễn thông nông thôn, với sự kết hợp sử dụng các ưu điểm của công nghệ CDMA, thông tin vệ tin ngày càng có xu hướng phát triển đặc biệt trong lĩnh vực thông tin di động, thông tin cá nhân,...

### ***Công nghệ mạng truy cập***

Trong xu hướng phát triển NGN sẽ duy trì nhiều loại hình mạng truy nhập vào một môi trường truyền dẫn chung như:

- Mạng truy nhập quang
- Mạng truy nhập vô tuyến
- Các phương thức truy nhập cáp đồng: HDSL, ADSL.
- Xu hướng phát triển mạng truy nhập băng rộng.

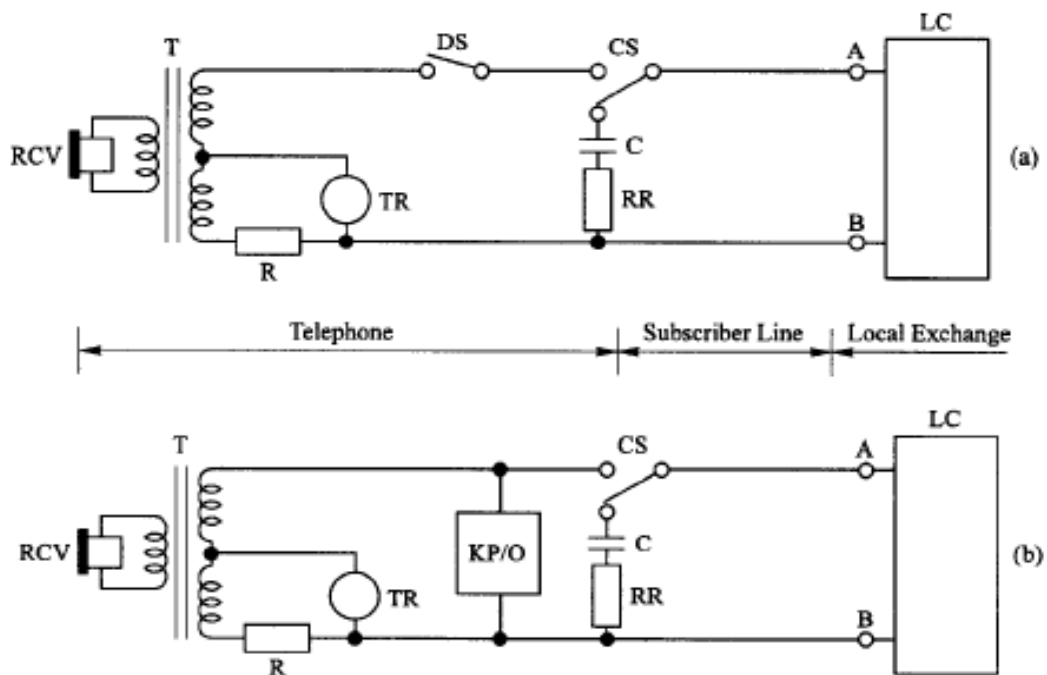
## CHƯƠNG II

### KHÁI QUÁT HỆ THỐNG CHUYỂN MẠCH SỐ

#### 2.1. Phân tích một cuộc gọi.

Để mô tả hệ thống chuyển mạch, tiến trình của một cuộc gọi xem như trải qua 10 tầng. Các tầng này được minh họa dưới đây và được tóm tắt trong hai lược đồ. Trong đó hình 2.1 mô tả tiến trình của một cuộc gọi nội hạt nhìn từ thuê bao gọi và tổng đài nội hạt. Hình 2.3 mô tả các tầng của một cuộc gọi liên quan đến tổng đài thứ hai, từ góc nhìn của tổng đài thứ nhất.

##### 2.1.1. Tín hiệu nhắc máy ( off-hook)



Hình 2.1. Components in a telephone, shown in the on-hook state. (a): dial telephone. (b): keypad telephone. C: capacitor. KP/O: keypad and oscillator. CS: cradle switch. DS: dial switch. LC: line circuit. RCV: receiver. TR: transmitter. R: resistor. T: transformer. RR: ringer.

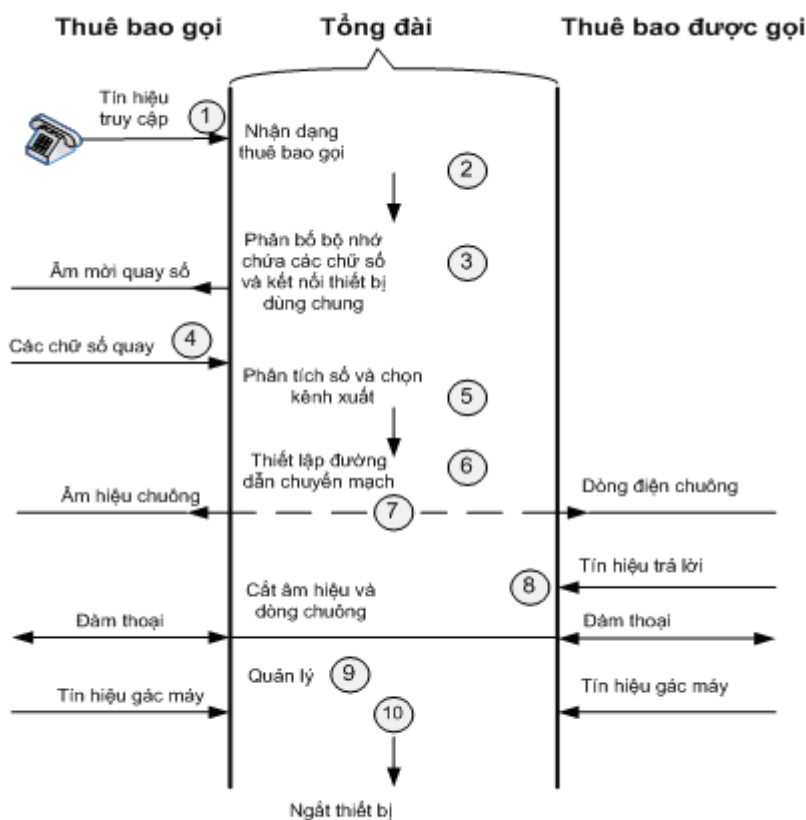
Một thuê bao muốn thực hiện một cuộc gọi trước hết phải nhắc ống nghe. Thủ tục cần thiết này phát ra tín hiệu nhắc máy còn gọi là tín hiệu truy cập đường truyền, nó thông báo với tổng đài để chuẩn bị điều khiển cuộc gọi. Việc nhắc ống nghe làm giải phóng một tiếp điểm, điều này tạo thành một mạch vòng giữa tổng đài và điện thoại. Khi mạch này hình thành, một thiết bị bên trong tổng đài được kích hoạt và một loạt các tín hiệu hướng đến các phần thích hợp của tổng đài được khởi phát. Khi ống nghe được đặt xuống ở trạng thái rảnh rỗi, tiếp điểm bị ấn xuống tín hiệu truy cập gửi đến tổng đài không còn nữa, mạch vòng bị cắt và cuộc gọi không còn thực thi, nhờ vậy tiết kiệm được năng lượng. Hình 2.1 chỉ ra mô



hình mạch điện vòng giữa điện thoại và tổng đài nội bộ. Năng lượng trên đường dây thuê bao được cấp bởi nguồn pin trong tổng đài, vì nó yêu cầu dòng một chiều. Nguồn pin được sạc bởi nguồn điện xoay chiều thông qua bộ chỉnh lưu, và là nguồn duy trì cung cấp điện cho tổng đài trong một thời gian xác định khi nguồn điện chính bị hư.

### 2.1.2. Sự nhận dạng thuê bao gọi

Cuộc gọi được phát hiện tại đơn vị kết cuối đường thuê bao thực hiện gọi (SLTU – Subscriber Line Terminal Unit) trong tổng đài, đơn vị này đã được quy định chỉ số thiết bị( EN – Equipment Number). Chỉ số này cần được dịch sang chỉ số thư mục của thuê bao( DN – Directory Number). Do đó, cần phải dùng các bảng dịch. Trong tổng đài cơ, chúng được giữ trong bộ dây nối logic. Trong tổng đài SPC, chúng được giữ trong bộ nhớ của máy tính.



Hình 2.2. Trình tự của một cuộc gọi nội hạt

Hệ thống điều khiển cũng cần phải nhận dạng thuê bao gọi vì hai lý do. Thứ nhất, thuê bao cần phải trả cước cho cuộc gọi. Thứ hai, cần tiến hành thủ tục kiểm tra xem thuê bao có được phép thực hiện một cuộc gọi đường dài hay không. Thông tin cần thiết được lưu trữ trong các record (một phần tử của một tổ chức

lưu trữ) mô tả chủng loại dịch vụ của thuê bao. Có một record phân loại dịch vụ cho mỗi kết cuối trên tổng đài nhằm lưu trữ các dạng thông tin về kết cuối.

### **2.1.3. Sự phân phối bộ nhớ và kết nối các thiết bị dùng chung**

Một chức năng thuộc về nguyên lý bên trong tổng đài là điều khiển. Một vài yếu tố logic phải làm sáng tỏ các sự kiện trong quá trình thực thi cuộc gọi, đưa ra các quyết định hành động cần thiết và khởi động các hoạt động khác. Khi tổng đài nhận một tín hiệu truy cập (off-hook signal), hệ thống điều khiển phải phân phối thiết bị dùng chung cho cuộc gọi và cung cấp một đường dẫn cho nó bắt đầu từ đường dây gọi. Điều này hình thành nên nhóm thiết bị bị chiếm dụng lâu, thiết bị này cần thiết trong suốt cuộc gọi và loại thiết bị sử dụng ngắn hạn chỉ cần trong giai đoạn thiết lập cuộc gọi mà thôi. Trong các tổng đài tương tự, cầu truyền dẫn phân tách đường tiếng mang tín hiệu xoay chiều với thành phần một chiều xuyên qua tổng đài là một ví dụ về loại thiết bị thứ nhất. Trong các tổng đài SPC là record của cuộc gọi, nó là một vùng của bộ nhớ bị chiếm giữ trong suốt tiến trình cuộc gọi. Loại thiết bị thứ hai gồm bộ thu và lưu trữ các chữ số cấu thành địa chỉ của thuê bao được gọi. Các chữ số này không những nhận dạng thuê bao được gọi mà còn cung cấp thông tin cần thiết để định tuyến cuộc gọi xuyên qua mạng.

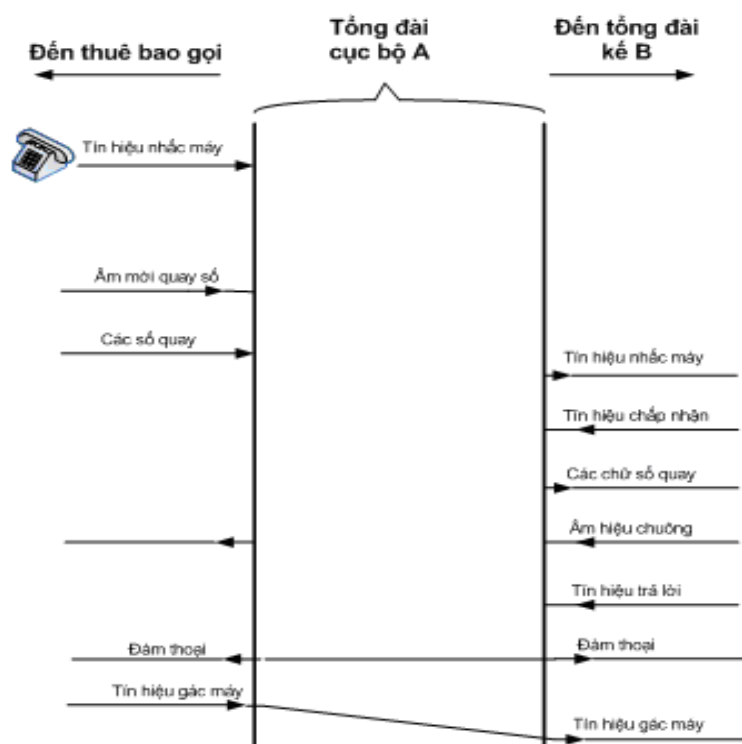
Trong một tổng đài cơ, các chữ số được lưu giữ trong thanh ghi và trong tổng đài SPC được lưu trữ trong bộ nhớ. Khi bộ nhớ đã được phân phối, một âm hiệu mời quay số (dial tone) được gửi đến thuê bao gọi để báo rằng tổng đài sẵn sàng tiếp nhận các chữ số địa chỉ. Vì tổng đài được thiết kế với các thiết bị lưu trữ trên cơ sở dự báo lưu lượng gọi đến thay cho lưu lượng tổng cộng tối đa khi các thuê bao thực hiện đồng loạt cuộc gọi, do đó có lúc thiếu bộ nhớ. Tuy nhiên, thuê bao sẽ được thông báo điều này qua sự kiện tạm thời không có âm hiệu mời quay số được gửi từ tổng đài. Trong tổng đài SPC, khả năng này được giảm thiểu bằng cách gia tăng kích thước bộ nhớ, mặc dù vậy điều này chỉ có ích khi năng lực xử lý bắt kịp với sự gia tăng tốc độ cuộc gọi đến.

### **2.1.4. Các chữ số địa chỉ**

Sau khi nhận được âm hiệu mời quay số, thuê bao nhập vào các chữ số địa chỉ bằng cách quay số. Các chữ số được gửi dưới dạng các tín hiệu đến tổng đài và được lưu trữ tại đó. Hoạt động báo hiệu là khía cạnh hết sức quan trọng trong hệ thống điện thoại và sẽ được trình bày ở các mục sau.

### 2.1.5. Phân tích chữ số

Hệ thống điều khiển phải phân tích các chữ số để xác định tuyến đi ra từ tổng đài cho cuộc gọi. Nếu cuộc gọi hướng đến thuê bao thuộc tổng đài nội bộ thì chỉ có một mạch có thể được định tuyến là đường dây thuê bao được gọi. Nếu đường dây đang làm việc với cuộc đàm thoại khác thì cuộc gọi không thể thực hiện và tín hiệu bận được gửi đến thuê bao gọi. Mặt khác nếu cuộc gọi hướng đến một thuê bao thuộc tổng đài ở xa, nó có thể được phân phối bất kỳ một mạch nào trên tuyến thích hợp đi ra khỏi tổng đài gốc, việc phân phối bao gồm cả tuyến dự phòng. Nếu tất cả các mạch đều bận, tín hiệu báo bận cũng được gửi đến thuê bao và cuộc gọi bị từ chối. Nếu có một mạch thích hợp đang rảnh, nó sẽ bị bắt lấy và sẽ không thể sử dụng cho bất kỳ cuộc gọi nào khác. Trong các tổng đài cơ điện, việc chiếm giữ này tác động một điều kiện về mức điện vào thiết bị kết cuối của mạch và thường được xem như thao tác đánh dấu (marking). Điều này cũng tương tự như trong các tổng đài SPC. Tuy nhiên thông tin về mạch thường được lưu giữ trong các bảng dưới dạng phần mềm, trong trường hợp này một mã chỉ định trong vùng dữ liệu cho trước chỉ ra trạng thái của một mạch.



Hình 2.3. Tiến trình của một cuộc gọi được định tuyến qua một tổng đài thứ hai

### **2.1.6. Thiết lập đường dẫn chuyển mạch**

Lúc này hệ thống điều khiển biết được các danh định của mạch nhập và mạch xuất. Nhiệm vụ kế tiếp của nó là chọn đường dẫn giữa chúng thông qua các chuyển mạch của tổng đài. Bên trong các hệ thống chuyển mạch có các giải thuật chọn các đường dẫn chuyển mạch thích hợp. Mỗi điểm chuyển mạch trên đường dẫn đã chọn phải được kiểm tra để đảm bảo rằng nó không trong trạng thái phục vụ cho cuộc gọi khác và chiếm lấy nếu nó rảnh. Một lần nữa, điều này được thực hiện trong các tổng đài cơ điện bằng cách kiểm tra các điều kiện điện, và trong các tổng đài SPC bằng cách dò và chèn vào các mục nhập trong các bảng đã được sắp xếp. Trong các tổng đài cơ điện, thanh ghi(được dùng để nhận và lưu trữ các chữ số) phải thôi kết nối khi đường dẫn đã được thiết lập.

### **2.1.7. Dòng chuông và âm hiệu chuông**

Một tín hiệu phải được gửi đến đầu xa để tiến hành cuộc gọi. Nếu thuê bao được gọi là cục bộ, điều này được thực hiện thông qua việc gửi dòng điện chuông đến kích hoạt chuông trong máy điện thoại được gọi. Nếu thuê bao không phải cục bộ, một tín hiệu truy cập phải được gửi đến tổng đài kế tiếp, như trình bày trên *hình 2.3*, nhằm kích hoạt nó tiến hành các thao tác riêng. Các thao tác này tương tự như những gì được mô tả trong các phần trên đây, bao gồm các tín hiệu gửi lại tổng đài nguồn. Khi tất cả các kết nối đã được thiết lập cho phép cuộc gọi tiến hành trên mạng nội hạt hoặc mạng hợp nối hoặc mạng trung kế, dòng điện chuông được gửi đến thuê bao đầu xa và âm hiệu chuông được gửi đến thuê bao gọi.

### **2.1.8. Tín hiệu trả lời**

Một tín hiệu trả lời nhận từ thuê bao đầu xa (trong trường hợp này là tín hiệu truy cập) hay từ tổng đài khác, được nhận biết bởi hệ thống điều khiển của tổng đài cục bộ. Sự truyền phải được chấp thuận trên đường truyền dẫn chuyển mạch đã chọn xuyên qua tổng đài. Dòng điện chuông và âm hiệu chuông phải được xóa trên đường dây thuê bao đầu xa và thuê bao gọi. Sau đó hai phần này được nối với nhau và công việc tính cước cuộc gọi này đối với thuê bao gọi được khởi động.

### **2.1.9. Giám sát**

Trong khi cuộc gọi đang được tiến hành, công việc giám sát cũng được thực thi để tính cước và phát hiện tín hiệu xóa cuộc gọi. Công việc giám sát cũng thực hiện quét tất cả các dây kết cuối trên tổng đài để phát hiện tín hiệu truy cập của cuộc gọi mới.

### **2.1.10. Tín hiệu xóa kết nối**

Khi nhận tín hiệu xóa kết nối (được phát ra bởi thuê bao gọi hoặc thuê bao được gọi), thiết bị tổng đài hay bộ nhớ được dùng trong kết nối phải được giải phóng và sẵn sàng sử dụng cho các cuộc gọi khác.

Trong các mạng được quản lý và bảo trì một cách hiệu quả, hệ thống giám sát yêu cầu thu thập dữ liệu trên mỗi cuộc gọi. Khi cuộc gọi thất bại do thiết bị hỏng hoặc các mạch hay thiết bị không đủ để đáp ứng, thông tin này được yêu cầu cho công tác bảo trì quản lý và hoạch định mạng. Dữ liệu trên các cuộc gọi thành công dùng để tính cước. Vì vậy công tác quản lý giám sát rất có ý nghĩa trong mạng điện thoại. Trong các tổng đài cơ điện, điều này chịu ảnh hưởng của các kết nối dây giữa các thành phần thiết bị riêng và các điểm giám sát. Trong tổng đài SPC, vì điều khiển được thực hiện bởi các máy tính nên dữ liệu được thu thập và lưu giữ trong phần mềm. Việc xử lý sau đó được thực hiện bởi các bộ xử lý hay chuyển đến các máy tính bên ngoài tổng đài.

## **2.2. Kỹ thuật báo hiệu trong hệ thống chuyển mạch số**

### **2.2.1. Giới thiệu chung**

#### **2.2.1.1. Khái niệm**

Một mạng viễn thông có nhiệm vụ chủ yếu là thiết lập, giải tỏa và duy trì kênh giữa thuê bao với node chuyển mạch hay giữa các node chuyển mạch với nhau. Để thực hiện được điều này, cần phải có một hệ thống thông tin hỗ trợ được trao đổi giữa hệ thống chuyển mạch với các thiết bị đầu cuối và giữa các hệ thống chuyển mạch với nhau, hệ thống thông tin này gọi là hệ thống báo hiệu. Thông tin báo hiệu có thể có nhiều dạng khác nhau để thuận tiện cho việc điều khiển các thao tác chuyển mạch, xử lý gọi...

Thực chất, một sự trao đổi tin giữa người sử dụng và các thiết bị trong mạng cần phải có một sự tổ chức để chúng có thể liên lạc với nhau một cách an toàn. Cho nên, thông tin báo hiệu có trước, trong và sau một cuộc gọi. Để tăng hiệu suất làm việc, thời gian làm việc của hệ thống báo hiệu càng nhỏ càng tốt, nó phụ thuộc vào các thiết bị hiện đại trong mạng.

#### **2.2.1.2. Các chức năng báo hiệu**

Ta có thể nêu các chức năng báo hiệu tổng quát như sau:

##### ***Chức năng giám sát***

Chức năng giám sát được sử dụng để nhận biết và phản ánh sự thay đổi về

trạng thái hoặc về điều kiện của một số phần tử (đường dây thuê bao, trung kế...).

### **Chức năng tìm chọn**

Chức năng này liên quan đến việc thiết lập cuộc gọi và được khởi đầu bằng thuê bao chủ gọi gửi thông tin địa chỉ của thuê bao bị gọi. Các thông tin địa chỉ này cùng với các thông tin của chức năng tìm chọn được truyền giữa các tổng đài để đáp ứng quá trình chuyển mạch. Chức năng này phải có tính hiệu quả, độ tin cậy cao để đảm bảo việc thực hiện chính xác các chức năng chuyển mạch.

### **Chức năng vận hành**

Nhận biết và chuyển thông tin về trạng thái tắc nghẽn trong mạng, thông thường là trạng thái đường cho thuê bao chủ gọi. Thông báo về các thiết bị, các trung kế không bình thường hoặc đang ở trạng thái bảo dưỡng. Cung cấp các thông tin tính cước. Cung cấp các phương tiện để đánh giá, đồng chỉnh, cảnh báo từ tổng đài khác.

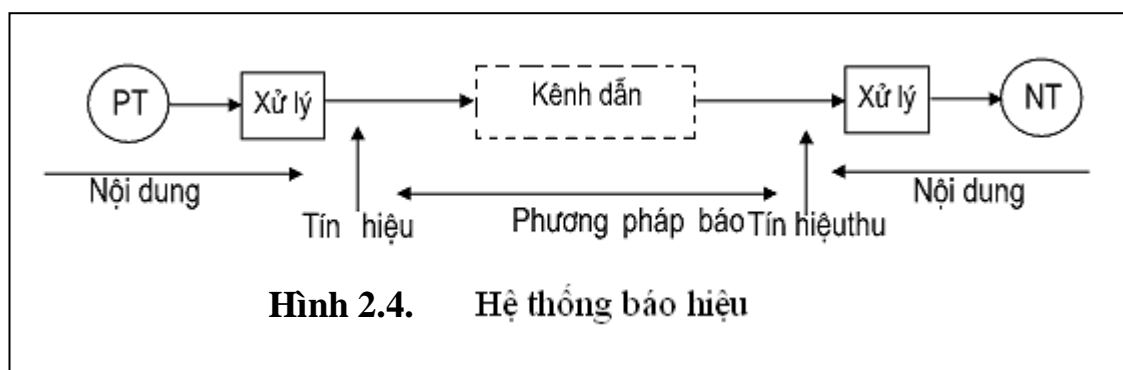
#### **2.2.1.3. Đặc điểm các hệ thống báo hiệu**

- Một hệ thống báo hiệu có đặc điểm chung như sau:
- Có tính quốc tế
- Phù hợp với các thiết bị mà nó phục vụ
- Khả năng phối hợp với các hệ thống báo hiệu khác.

#### **2.2.1.4. hệ thống thông tin báo hiệu**

Hệ thống thông tin báo hiệu cũng là một hệ thống thông tin điện, nó cũng gồm :

- Nguồn tất cả các tín hiệu cần thiết cho việc thiết lập cuộc gọi và cung cấp các dịch vụ khác.
- Công việc truyền dẫn để chuyển tín hiệu từ nguồn tới đích.



**Hình 2.4. Hệ thống báo hiệu**

### **2.2.1.5. Kỹ thuật báo hiệu**

Như vậy, kỹ thuật báo hiệu nghiên cứu về:

- Nội dung báo hiệu.
- Phương pháp truyền báo hiệu.
- Kỹ thuật xử lý báo hiệu.

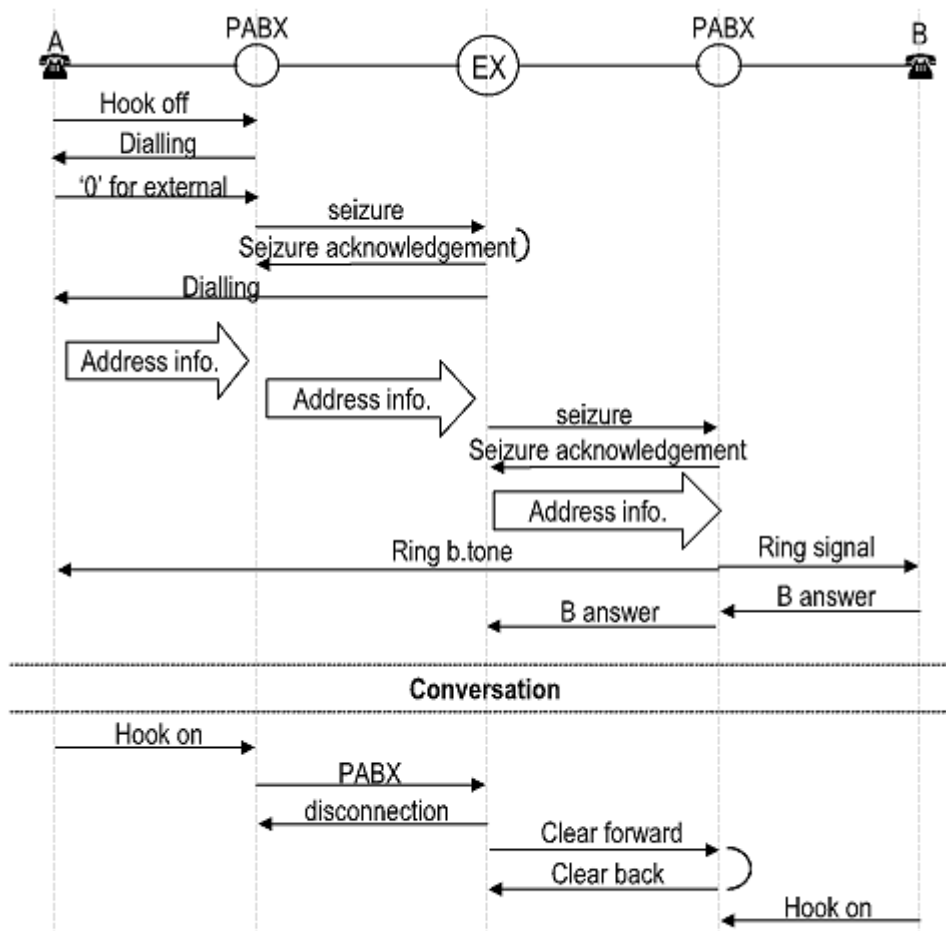
### **2.2.2. Nội dung của báo hiệu**

#### **2.2.2.1. Phân tích cuộc gọi**

Trong mạng điện thoại, khi một thuê bao muốn nói với một thuê bao khác bất kỳ trong mạng thì báo hiệu sẽ thông báo cho mạng chuyển mạch biết rằng thuê bao đó yêu cầu phục vụ, và sau đó trao cho chuyển mạch nội hạt các số liệu cần thiết để nhận biết thuê bao ở xa cần đến và từ đó định tuyến cuộc gọi một cách chính xác. Báo hiệu còn giám sát cuộc gọi và trao cho thuê bao các thông tin trạng thái như mời quay số, âm báo bận, hồi âm chuông...

#### **2.2.2.2. Phân loại báo hiệu**

Có thể phân loại báo hiệu theo các cách như sau :



**Hình 2.5.** . Phân tích một cuộc gọi thành công thông thường

**Phân theo chức năng**

**Báo hiệu nghe - nhìn :**

Là loại báo hiệu nghe thấy được đối với thuê bao trong tiến trình cuộc gọi. Đó là các loại thông tin như sau chủ yếu từ tổng đài đến thuê bao như sau:

- Âm mời quay số: Khi thuê bao nhắc tổ hợp, trở kháng đường dây giảm xuống đột ngột. Dẫn đến dòng điện trên dây tăng lên. Điều này được tổng đài nhận biết thuê bao yêu cầu thiết lập cuộc gọi và nó phát cho thuê bao âm mời quay số với tần số khoảng 425Hz liên tục.
- Âm báo bận hoặc thông báo: Trường hợp 1 thuê bao bận, hay sau khi kết thúc cuộc gọi, thuê bao này đã đặt máy, tổng đài phát âm báo bận cho thuê bao kia với tần số 425 HZ, tỷ lệ 1:1. Âm báo bận còn được gửi cho thuê bao chủ gọi khi thuê bao này sau 1 khoảng thời gian sau khi đã nhận được âm mời quay số mà vẫn chưa quay số. Trường hợp thuê bao bị gọi đi vắng hoặc có các dịch vụ đặc biệt của nó thì tổng đài thông báo cho thuê bao chủ gọi các bản tin



tương ứng.

- Dòng chuông: dòng chuông được phát cho thuê bao bị gọi khi thuê bao này rời với tín hiệu xoay chiều khoảng 75VAC, 25Hz.
- Hồi âm chuông: Hồi âm chuông được phát cho thuê bao chủ gọi qua tuyến thoại từ tổng đài khi đang đổ chuông cho thuê bao bị gọi. Tín hiệu hồi âm chuông có tần số 425Hz, tỷ lệ 1:3.
- Các bản tin thông báo khác: Nếu trong tổng đài có các bản tin đặc biệt được ghi sẵn về các lý do cuộc gọi không thành như tình trạng ứ tuyến, hỏng hóc... thì tổng đài phát cho thuê bao chủ gọi các bản tin tương ứng. Trường hợp này là do cuộc gọi không thành không phải bởi các lý do của thuê bao bị gọi.
- Tín hiệu phục hồi và giữ máy quá lâu: Tín hiệu này truyền tới thuê bao chủ gọi khi thuê bao bị gọi đã đặt máy và tổng đài đã gửi tín hiệu báo bận mà thuê bao chủ gọi không nghĩ đến việc giải tỏa tuyến gọi. Sau đó một khoảng thời gian trễ thì tuyến mới được thực sự giải tỏa. Tín hiệu này cũng được phát khi thuê bao duy trì trạng thái chọn số quá lâu. Tín hiệu này thường là sau âm báo bận.

■ **Báo hiệu trạng thái (báo hiệu giám sát):** Xác định trạng thái đường dây của thuê bao và cuộc gọi.

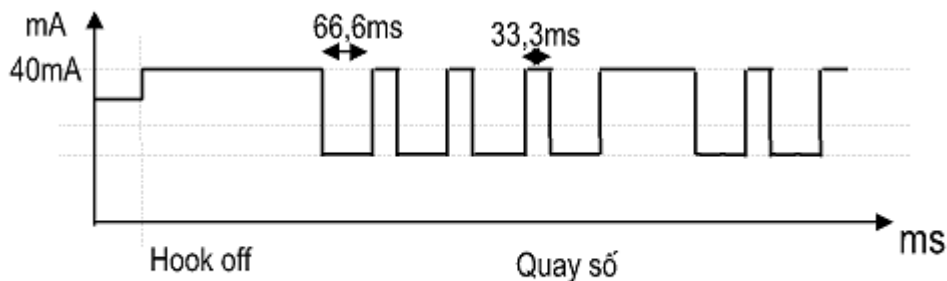
- Trạng thái nhắc tổ hợp: Xuất hiện khi thuê bao nhắc tổ hợp hoặc tín hiệu chiếm dùng từ một đường trung kế gọi vào; nó biểu thị yêu cầu thiết lập cuộc gọi mới. Sau khi thu được tín hiệu này, tổng đài sẽ đấu nối với một thiết bị thích hợp để thu thông tin địa chỉ từ thuê bao chủ gọi hoặc từ đường trung kế.
- Trạng thái đặt tổ hợp: Xuất hiện khi thuê bao đặt tổ hợp hoặc tín hiệu yêu cầu giải tỏa từ đường trung kế đưa tới. Thông tin này chỉ rằng cuộc gọi đã kết thúc, yêu cầu giải tỏa tuyến gọi. Khi nhận được thông tin này, tổng đài giải phóng tất cả các thiết bị dùng để đấu nối cuộc gọi này và xóa các thông tin dùng để thiết lập và duy trì cuộc gọi, đồng thời thiết lập thông tin tính cước.
- Trạng thái rời – bận: Dựa vào tình trạng tổ hợp của thuê bao bị gọi hoặc đường trung kế là rời hay bận hoặc ứ tuyến để tổng đài phát thông tin về trạng thái của thuê bao bị gọi hoặc đường truyền cho thuê bao chủ gọi.
- Tình trạng hỏng hóc: Bằng các phép thử tổng đài xác định tình trạng của đường dây để có thể thông báo cho thuê bao hoặc cho bộ

phận điều hành và bảo dưỡng.

- Tín hiệu trả về: Khi đổ chuông, ngay sau khi thuê bao bị gọi nhắc máy, một tín hiệu ở dạng đảo nguồn được truyền theo đường dây tới thuê bao chủ gọi. Tín hiệu này dùng để thao tác một thiết bị đặt ở thuê bao chủ gọi như bộ tính cước hoặc đối với thuê bao dùng thẻ.

■ **Báo hiệu địa chỉ:** Thông tin địa chỉ gồm một phần hoặc toàn bộ địa chỉ của thuê bao bị gọi, đôi khi còn kèm theo các số liệu khác. Sau khi nhận được âm mời quay số, thuê bao tiến hành phát các chữ số địa chỉ của thuê bao bị gọi. Các chữ số này có thể được phát dưới dạng thập phân hay ở dạng mã đa tần.

- Tín hiệu xung thập phân: Các chữ số địa chỉ được phát dưới dạng chuỗi của sự gián đoạn mạch vòng một chiều (DC) nhờ đĩa quay số hoặc hệ thống phím thập phân. Số lượng các lần gián đoạn chỉ thị chữ số địa chỉ trừ số '0' ứng với 10 lần gián đoạn. Tốc độ gián đoạn là 10 lần mỗi giây và tỷ số xung là 1:2. Có một khoảng thời gian giữa các số liên tiếp khoảng vài trăm ms trước chữ số kế tiếp để tổng đài phân biệt các chữ số với nhau. Chú ý: Phương pháp phát các chữ số thập phân này không thể phát khi đang hội thoại.

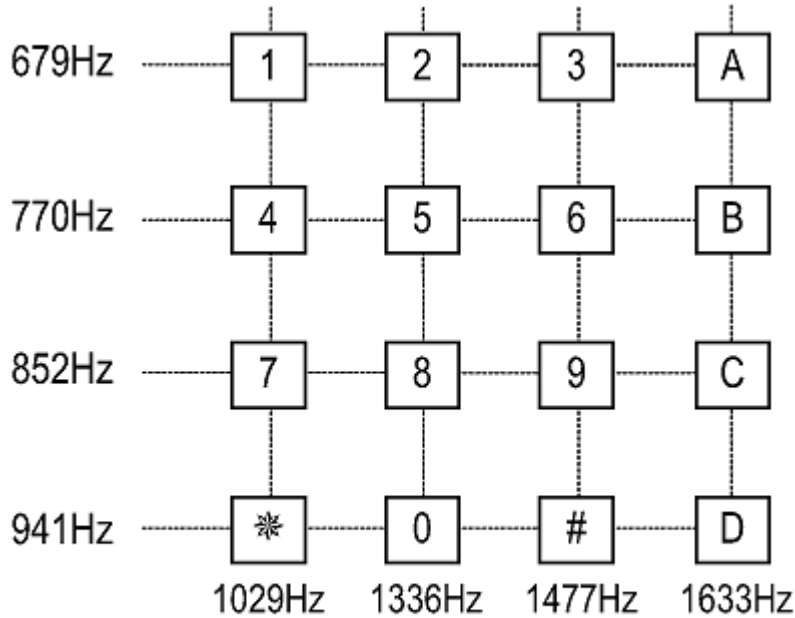


**Hình 2.6.** Quay số bằng xung thập phân

- Tín hiệu mã đa tần ghép cặp (DTMF): Phương pháp này khắc phục được nhược điểm của phương pháp trên. Nó sử dụng 2 trong 6 tần số âm tần để chuyển các chữ số địa chỉ. Khi ấn một phím, ta nhận được một tín hiệu bao gồm sự kết hợp của hai tần số: một ở nhóm này và một ở nhóm kia gọi là đa tần ghép cặp (Dual Tone Multifrequency: DTMF). Các tần số được chọn sao cho sự phỏng tạo tín hiệu là bé nhất. Tín hiệu truyền đi dài hay ngắn phụ thuộc và thời gian ấn phím. Thời gian này chính là thời gian kéo dài của tín

hiệu.

Phương pháp này có ưu điểm là: Thời gian quay số nhanh hơn. Có thể quay số trong khi đàm thoại (sử dụng cho điện thoại hội nghị).



Hình 2.7. Quay số bằng mã đa tần

### Phân theo tổng quan

#### ■ Báo hiệu giữa tổng đài với thuê bao

- Tín hiệu đường dây thuê bao chủ gọi:
  - Tín hiệu yêu cầu gọi.
  - Tín hiệu yêu cầu giải tỏa tuyến gọi.
  - Tín hiệu địa chỉ.
  - Tín hiệu báo bận.
  - Tín hiệu báo rỗi.
  - Hồi âm chuông.
  - Tín hiệu trả lời về.
  - Tín hiệu giữ máy quá lâu.
- Tín hiệu đường dây thuê bao bị gọi:
  - Tín hiệu chuông.
  - Tín hiệu trả lời.
  - Tín hiệu phục hồi
- Tín hiệu đường dây thuê bao thứ 3: Giống như tín hiệu đường dây thuê bao bị gọi. Được sử dụng cho điện thoại hội nghị. Nó làm gián

đoạn thuê bao chủ gọi trong một khoảng thời gian nhỏ hơn tín hiệu giải tỏa gọi khoảng 200ms đến 320ms.

■ **Báo hiệu liên tổng đài:** Có thể được truyền dẫn tín hiệu báo hiệu theo đường dây báo hiệu riêng hoặc đi chung với đường dây thoại. Chúng sử dụng tần số trong băng tần tiếng nói (trong băng) hoặc ở ngoài dải tần tiếng nói (ngoài băng). Thường sử dụng 2 kỹ thuật truyền sau :

- Báo hiệu kênh kết hợp (CAS).
- Báo hiệu kênh chung (CCS).

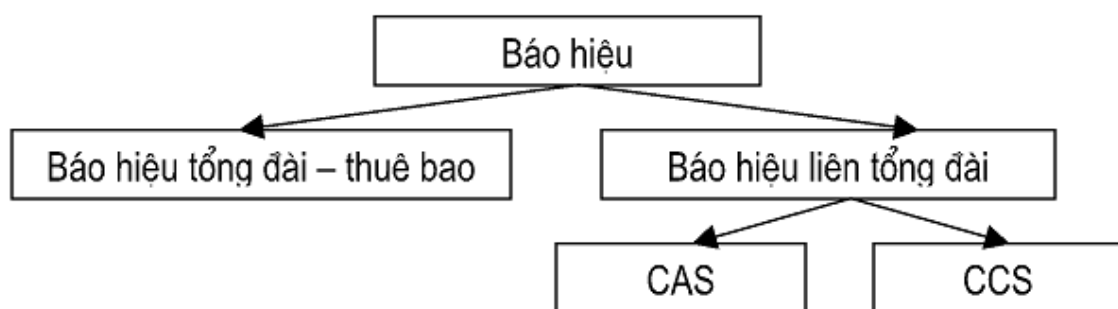
Dạng của tín hiệu :

- Dạng xung : Tín hiệu được truyền đi dưới dạng xung, ví dụ như tín hiệu địa chỉ.
- Dạng liên tục : Truyền liên tục về mặt thời gian nhưng thay đổi về trạng thái đặc trưng như tần số ...
- Dạng áp chế : Tương tự như truyền xung nhưng khoảng truyền dẫn không ấn định trước mà kéo dài cho đến khi có sự xác nhận của phía thu qua một thiết bị xác nhận truyền về.

### 2.2.3. Phương pháp truyền dẫn báo hiệu

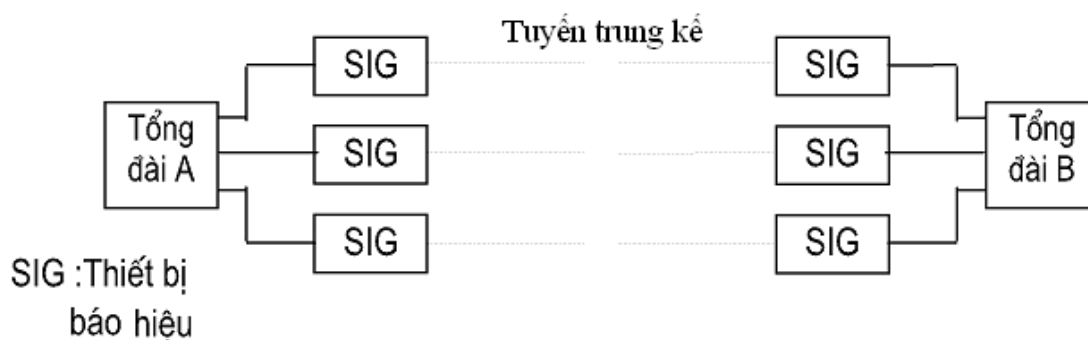
Có nhiều cách phân loại phương pháp truyền báo hiệu, nhưng ở đây, ta phân thành hai loại sau :

- Báo hiệu kênh kết hợp (CAS : Chanel Associated Signalling).
- Báo hiệu kênh chung (CCS : Common Chanel Signalling).



Hình 7.5. Phương pháp truyền báo hiệu

### 2.2.3.1. Báo hiệu kênh kết hợp



**Hình 2.8.** Báo hiệu kênh kết hợp

Báo hiệu kênh kết hợp là loại báo hiệu mà trong đó, các đường báo hiệu đã được ấn định trên mỗi kênh thông tin và các tín hiệu này có thể được truyền theo nhiều cách khác nhau. Có hai loại thông tin báo hiệu trong báo hiệu kênh kết hợp là : Báo hiệu đường dây và báo hiệu thanh ghi (địa chỉ).

- Báo hiệu đường dây: là phương pháp báo hiệu được truyền dẫn giữa các thiết bị kết cuối và thường xuyên kiểm tra đường truyền hoặc tất cả các mạch kết cuối, ví dụ các trạng thái bận, rỗi...
- Báo hiệu thanh ghi: Báo hiệu thanh ghi là sự truyền tất cả các thông tin có liên quan đến tuyến nối cuộc gọi bao gồm các con số thuê bao bị gọi, những đặc tính của thuê bao đó.

#### **Phương pháp truyền:**

- Điểm nối điểm (end – to – end): Theo phương pháp báo hiệu này, thông tin luôn được truyền đi giữa các đầu cuối của tuyến nối theo tiến triển của nó. Ví dụ khi thiết lập tuyến nối qua 3 tổng đài A-B-C, thông tin báo hiệu đầu tiên được truyền từ A tới B và sau khi quảng nối B-C được thiết lập thì báo hiệu lại được truyền từ A tới C.
- Đường tiếp đường (link – to – link): Tín hiệu luôn được truyền đi và tạm lưu từng quảng của tuyến nối. Đầu tiên thông tin báo hiệu được truyền đi từ A đến B và sau khi quảng nối từ B đến C được thiết lập thì thông tin báo hiệu tiếp tục truyền đi từ B đến C.

Nói chung, thông tin báo hiệu giám sát và các kiểu thuê bao được truyền dẫn theo phương thức đường tiếp đường còn thông tin địa chỉ thì được truyền đi theo phương pháp điểm nối điểm hoặc đường tiếp đường tùy thuộc và cấu trúc mạng.

### ***Các kỹ thuật truyền các tín hiệu báo hiệu trong CAS***

Một cách chính xác, báo hiệu kênh kết hợp phải là một sự kết hợp vĩnh viễn với kênh mang cuộc gọi thật sự. Từ đó, ta có các dạng khác nhau của tín hiệu báo hiệu:

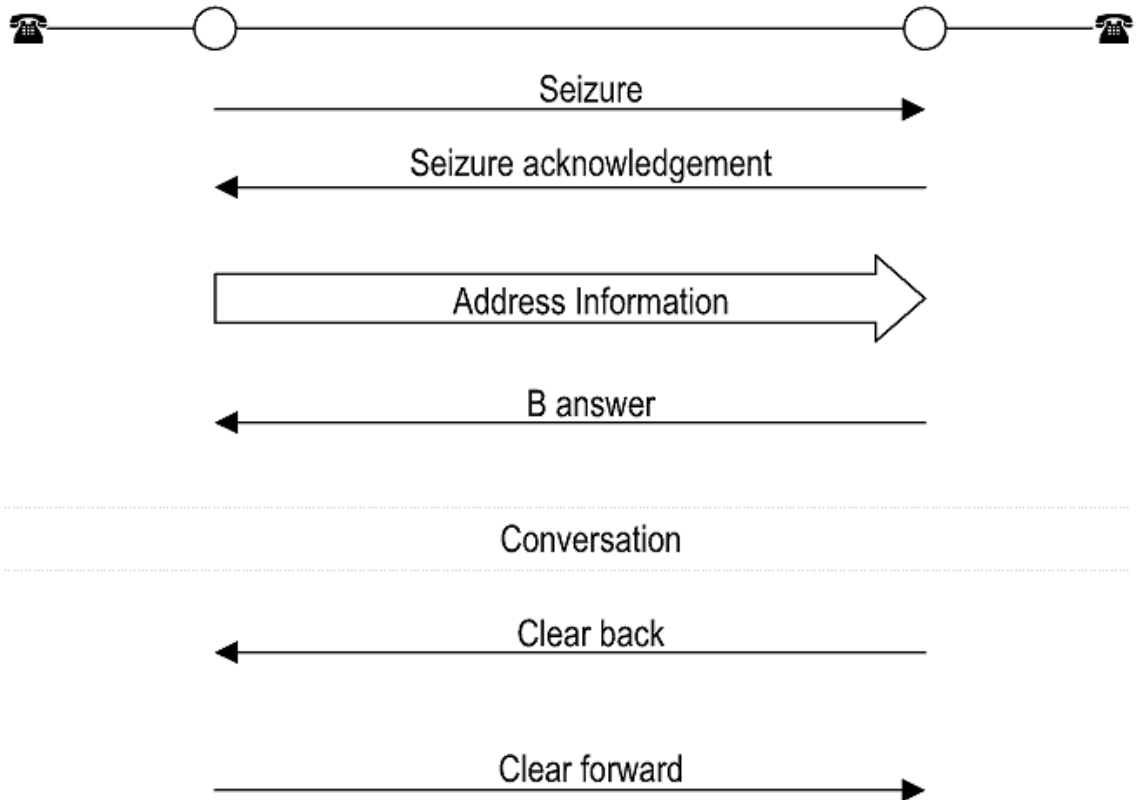
- Tín hiệu báo hiệu nằm trong kênh thoại (DC, trong băng).
- Tín hiệu báo hiệu nằm trong kênh thoại nhưng phạm vi tần số khác (ngoài băng).
- Tín hiệu báo hiệu ở trong 1 khe thời gian, mà trong đó, các kênh thoại được phân chia một cách cố định theo chu kỳ (báo hiệu PCM trong TS16).

Báo hiệu kênh kết hợp có thể sử dụng giữa các loại tổng đài khác nhau. Như vậy, kỹ thuật truyền báo hiệu này gồm các tín hiệu báo hiệu :

- Báo hiệu DC.
- Báo hiệu AC.
- Báo hiệu PCM.

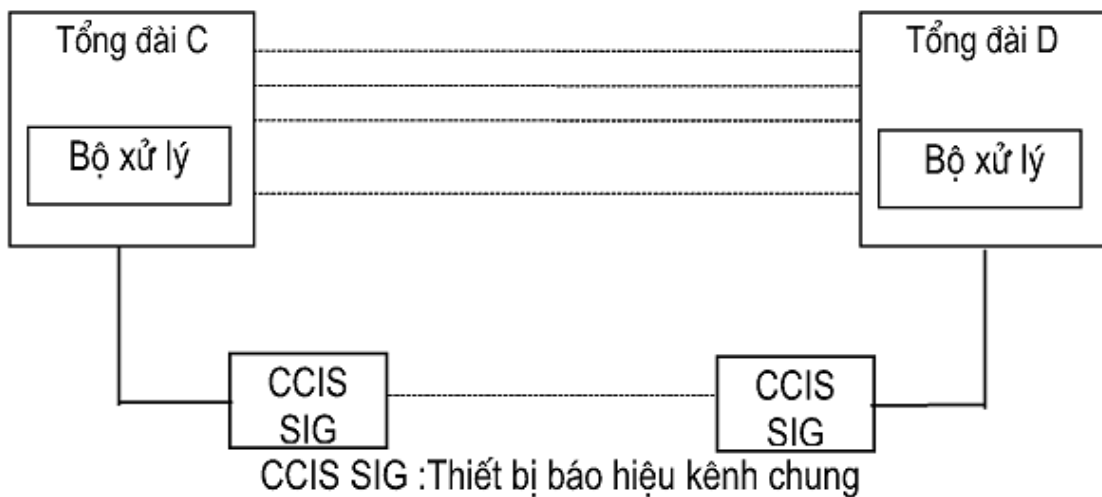
■ Các tín hiệu báo hiệu cơ bản: Các tín hiệu báo hiệu giữa tổng đài với tổng đài bao gồm một số tín hiệu cơ bản sau cho một cuộc gọi hoàn thành:

- Tín hiệu chiếm dụng (Seizure) : Yêu cầu chiếm dụng một đường vào tổng đài B (1 kênh thoại) và các thiết bị để nhận thông tin địa chỉ.
- Tín hiệu xác nhận chiếm dụng (Seizure acknowledgement): Thông báo cho tổng đài A biết rằng tổng đài B đã nhận được tín hiệu chiếm dụng từ A.
- Thông tin địa chỉ (Address Information): Số địa chỉ của thuê bao B.
- Tín hiệu trả lời (B answer): Tổng đài B báo cho tổng đài A biết thuê bao B nhắc máy.
- Xóa về (Clear back): Tổng đài B báo cho tổng đài A biết B đã gác máy.
  - Xóa đi (Clear forward): Tổng đài B nhận thông báo cuộc gọi đã kết thúc, giải tỏa thiết bị và đường dây.



**Hình 2.9.** Các tín hiệu báo hiệu cơ bản của một cuộc gọi thành công

### 2.2.3.2. Báo hiệu kênh chung



**Hình 2.10.** Báo hiệu kênh chung

Báo hiệu kênh chung (Common Channel Signalling) khắc phục được nhược điểm của báo hiệu kênh kết hợp về hiệu suất sử dụng kênh báo hiệu. Đối với báo hiệu kênh chung, kênh báo hiệu được phân phát cho kênh tiếng nói chỉ trong một khoảng thời gian báo hiệu. Người ta sử dụng một tuyến riêng biệt cho kênh báo

hiệu. Nói cách khác, hệ thống báo hiệu kênh chung có một chùm kênh báo hiệu. Chùm kênh này chỉ được cấp cho kênh tiếng nói khi có nhu cầu báo hiệu trước nhất. Vì vậy, kênh tiếng nói cần xếp hàng chờ kênh báo hiệu rồi. Do đó, dung lượng chùm kênh báo hiệu phụ thuộc vào cấp phục vụ có thể chấp nhận được, nội dung báo hiệu, tần suất sử dụng mỗi kênh tiếng nói. Nhờ sử dụng kỹ thuật này, thiết bị có thể tập trung hóa và chế tạo gọn gàng hơn. Điều này tạo ra ưu điểm về mặt kinh tế và tiết kiệm được không gian lắp đặt thiết bị. Tuy nhiên, phương thức này chỉ có thể sử dụng cho các tổng đài SPC để trao đổi báo hiệu liên tổng đài giữa các bộ xử lý.

Trong hệ thống PCM, kênh báo hiệu có thể sử dụng bất kỳ khe thời gian nào mà không nhất thiết phải là khe thời gian TS16. Các bản tin báo hiệu được truyền đi dưới dạng các gói, tốc độ kênh truyền là 64Kbps.

***Cấu trúc bản tin CCS như sau:***

Địa chỉ đích	Địa chỉ nguồn	Số gói	Trường số liệu	Trường kiểm tra
--------------	---------------	--------	----------------	-----------------

- Địa chỉ đích: Địa chỉ này được phân tích tại bất kỳ máy thu nào và được so sánh với địa chỉ của nó. Nếu không trùng thì bản tin đó được truyền đến điểm khác cho đến khi đến đích thực của nó.
- Địa chỉ nguồn: Địa chỉ này giúp cho máy tính biết được để khi có nhu cầu cấp phát lại bản tin thì có địa chỉ để yêu cầu phát lại.
- Số gói: Số gói chỉ ra tất cả các số liệu của bản tin được sắp xếp lần lượt một cách chính xác. Số liệu này được kiểm tra liên tục và chỉ được lấy ra khi có chỉ dẫn.
- Trường số liệu: Chứa những thông tin của báo hiệu.
- Trường kiểm tra lỗi: Cho phép số liệu được kiểm tra trước khi truyền đến đích. Đặc điểm nổi bật của báo hiệu kênh chung là các đầu cuối không chỉ dành riêng cho một cuộc nói mà một bản tin tuần tự có thể được trang bị bất cứ đầu cuối nào với những cuộc gọi khác nhau và đích khác nhau. Tất cả các bản tin của cuộc gọi không nhất thiết phải cùng hướng. Các bản tin tiêu biểu được truyền đi một cách phù hợp với những tuyến được định ra bằng thuật toán dựa trên cơ sở đích, tính sẵn sàng và tải của mạch. Khi bản tin được thu thập, nó được truyền đến những điểm đã chọn trên mạng. Khi tới đích, nó được tiến hành, so sánh và điều chỉnh, kiểm tra lỗi. Nếu có lỗi, nó yêu cầu phát lại bản tin. Vì CCS không chuyển báo hiệu trên các trung



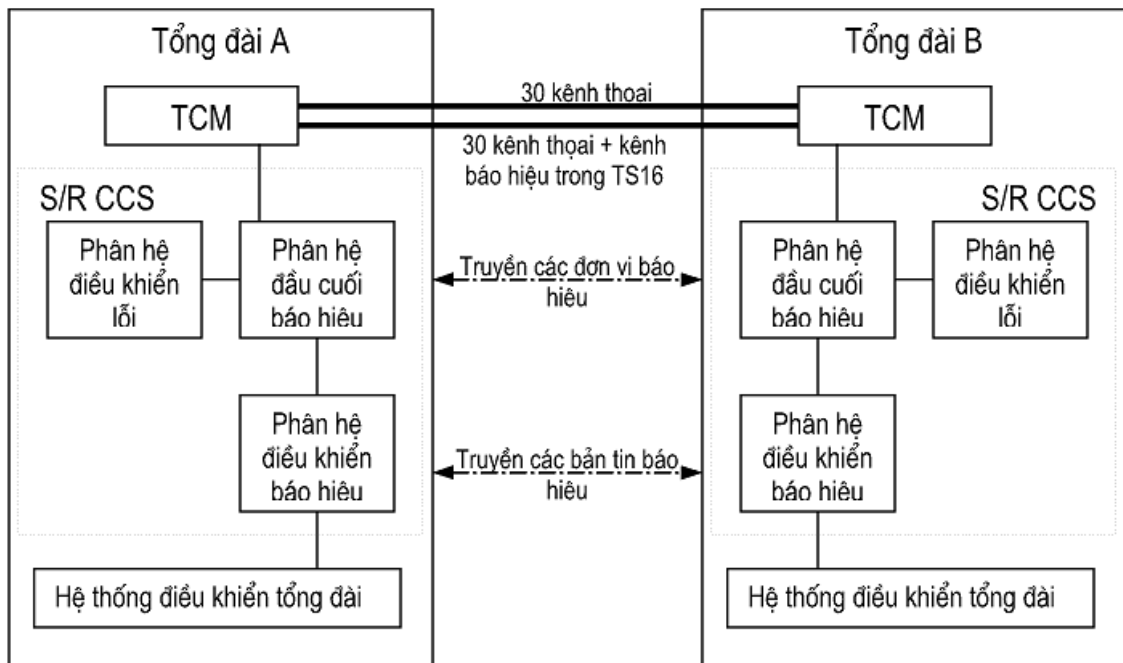
kế đàm thoại đã thiết lập và giám sát, nên tuyến gọi phải được kiểm tra liên tục mỗi khi cuộc gọi đang thiết lập. Điều này được thực hiện nhờ bộ thu phát âm thanh được nối tại thời điểm thiết lập nhằm đảm bảo sự liên tục của tuyến.

*Ưu điểm:* Kinh tế, Nhanh, Tin cậy, Dung lượng cao, Linh hoạt.

## 2.2.4. Báo hiệu số 7

### 2.2.4.1. Khái niệm chung

Báo hiệu số 7 được quốc tế công nhận là hệ thống CCS giữa các tổng đài để sử dụng trong mạng quốc gia và quốc tế. Thông tin báo hiệu được truyền đi trên một khe thời gian được phân phát trên 1 trong các tuyến PCM mang các kênh thoại.



**Hình 2.11.** . Sơ đồ tiêu biểu hệ thống báo hiệu số 7

Ví dụ : Hai tổng đài trao đổi với nhau bằng 2 luồng 2 Mbps, như vậy, khả năng dung lượng kênh thông tin giữa 2 tổng đài này là 60 kênh, trong đó, 1 luồng 2 Mbps mang báo hiệu số 7 trong TS16 của nó. Thông tin báo hiệu được tách, ghép qua trường chuyển mạch của tổng đài hoặc ở DLTU (Digital Line Terminal Unit).

Thông tin báo hiệu được gửi từ tổng đài này sang tổng đài khác được xác định bởi hệ thống điều khiển qua S/R CCS cho báo hiệu số 7. S/R CCS bao gồm 3 phân hệ trên cơ sở của các bộ xử lý. Thông tin từ hệ thống điều khiển tổng đài nhận từ phân hệ điều khiển báo hiệu dưới dạng thức thích hợp. Các bản tin được xếp hàng ở đây, cho đến khi có thể được truyền đi. Khi không có các bản tin để truyền

đi thì phân hệ điều khiển báo hiệu phát các bản tin chọn lọc để giữ tuyến luôn ở trạng thái tích cực.

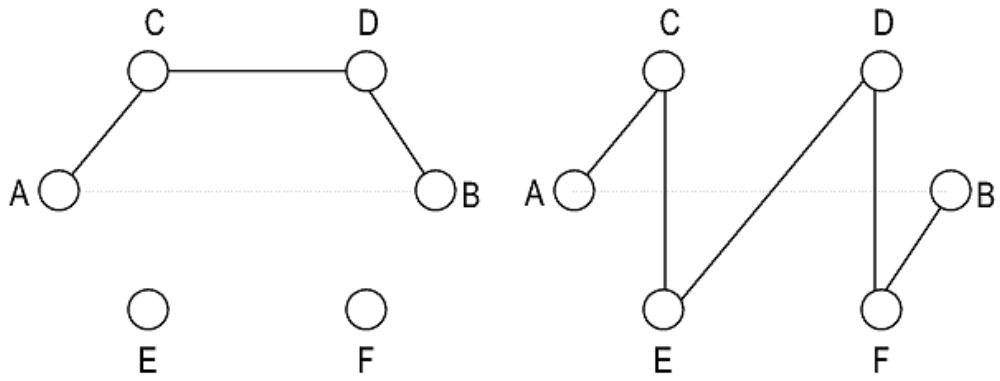
Các bản tin được gửi qua phân hệ đầu cuối báo hiệu, ở đó sử dụng các bits kiểm tra được phát đi từ phân hệ điều khiển lỗi để tạo thành các đơn vị báo hiệu số 7 hoàn chỉnh. Tại tổng đài thu, quá trình ngược lại được thực hiện.

- Điểm báo hiệu (SP : Signal Point): Điểm báo hiệu là một node chuyên mạch hoặc một node xử lý trong mạng báo hiệu, có khả năng thực hiện các chức năng báo hiệu. Điểm chuyển tiếp báo hiệu (STP: Signal Transport Point): Là điểm báo hiệu mà thông tin báo hiệu thu được trên một kênh báo hiệu và sau đó chuyển giao cho kênh khác mà nó không xử lý được nội dung của tin báo.
- Kênh báo hiệu: Báo hiệu số 7 sử dụng các kênh báo hiệu để chuyển tải thông tin báo hiệu giữa hai điểm báo hiệu. Về mặt vật lý, kênh báo hiệu bao gồm kết cuối báo hiệu ở mỗi đầu kênh và vài loại môi trường truyền dẫn (thường là các khe thời gian ở đường truyền PCM). Một số các kênh báo hiệu đấu song song trực tiếp giữa 2 điểm báo hiệu tạo thành chùm kênh báo hiệu.
- Các phương thức báo hiệu:
  - Kiểu kết hợp (Associated): Các tín hiệu báo hiệu liên quan đến sự kết nối các kênh giao thông giữa hai tổng đài A, B được truyền trên các tuyến báo hiệu trực tiếp giữa chúng.



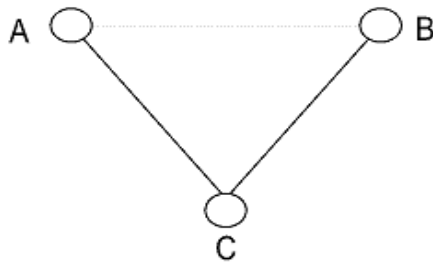
**Hình 2.12.** Kiểu kết hợp

- Kiểu không kết hợp (Non-Associated): Các tín hiệu báo hiệu liên quan đến sự kết nối các kênh giao thông giữa hai tổng đài A, B được định tuyến qua một vài tuyến trung kế tùy thuộc vào mạng ở những thời điểm khác nhau, trong khi kênh giao thông được nối trực tiếp giữa A và B. Các thời điểm khác nhau thì sự định tuyến của các tín hiệu báo hiệu có thể theo các đường dẫn khác nhau. Phương pháp này ít được sử dụng vì nó khó xác định được sự định tuyến một cách chính xác của các bản tin báo hiệu ở mọi thời điểm.



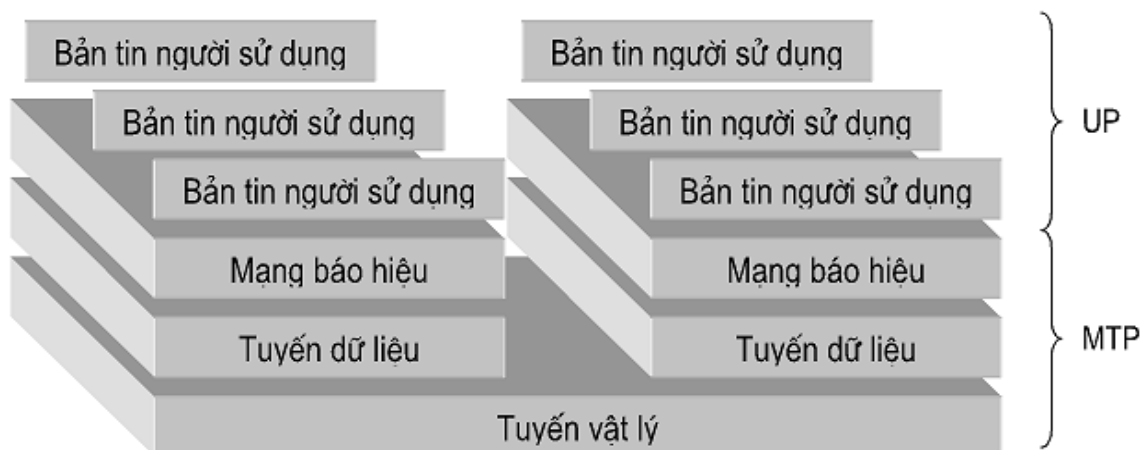
**Hình 2.13.** Kiểu không kết hợp

- Kiểu tựa kết hợp (Quasi-Associated): Kiểu này là trường hợp giới hạn bởi kiểu không kết hợp, thông tin báo hiệu giữa hai node A và B được định tuyến xác định trước qua 1 tuyến báo hiệu node trung chuyển (tandem) trong khi các kênh giao thông được định tuyến trực tiếp giữa A và B. Điểm quan trọng nổi bật nhất của kiểu tựa kết hợp là tính sao lưu dự phòng.



**Hình 2.14.** Kiểu tựa kết hợp

### 2.2.4.2. Phân mức trong báo hiệu số 7



UP (User part): Phần người sử dụng

MTP (Message transfer Part): Phần truyền bản tin báo hiệu

**Hình 2.15.** Cấu trúc 4 mức của báo hiệu số 7

- Mức 1: Mức tuyến vật lý: đây là mức đáy của chồng phương thức. Tổng quan, nó là phương tiện để gửi dòng các bits của thông tin từ điểm này đến điểm khác trên một nối kết vật lý. Mức này định nghĩa các đặc tính vật lý, điện và các chức năng của tuyến số liệu báo hiệu và phương tiện để truy cập nó hoặc yêu cầu 1 cấu trúc thông tin mà nó được cung cấp bởi thiết bị truyền dẫn hoặc tìm lỗi cơ khí. Trong môi trường mạng số liệu, CCS7 thường được sử dụng khe thời gian báo hiệu TS16/PCM32 hoặc TS24/PCM24 với tốc độ kênh báo hiệu 64Kbps. Trong môi trường tương tự, CCS7 có thể truyền trên các đường modem với tốc độ thấp khoảng 4,8Kbps.
- Mức 2: Mức tuyến dữ liệu: Cung cấp các chức năng và các thủ tục cho việc truyền thông tin báo hiệu. Một bản tin báo hiệu được truyền trên tuyến theo các đơn vị báo hiệu với chiều dài thay đổi. Một đơn vị báo hiệu bao gồm thông tin điều khiển truyền tin thêm vào trong nội dung của bản tin báo hiệu. Chức năng bao gồm :
  - Giới hạn nội dung đơn vị báo hiệu bằng các cờ.
  - Chèn thêm bits để chống nhầm lẫn với cờ.
  - Sử dụng các bits kiểm tra.
  - Chống lỗi bởi phương thức tự động hỏi lại.
  - Dò tìm đường báo hiệu sai bằng cách giám sát tốc độ lỗi trên các đường báo hiệu.
- Mức 3: Mức mạng báo hiệu: Định nghĩa các chức năng và thủ tục truyền

chung và độc lập các tuyến báo hiệu riêng lẻ. Các chức năng chính sau :

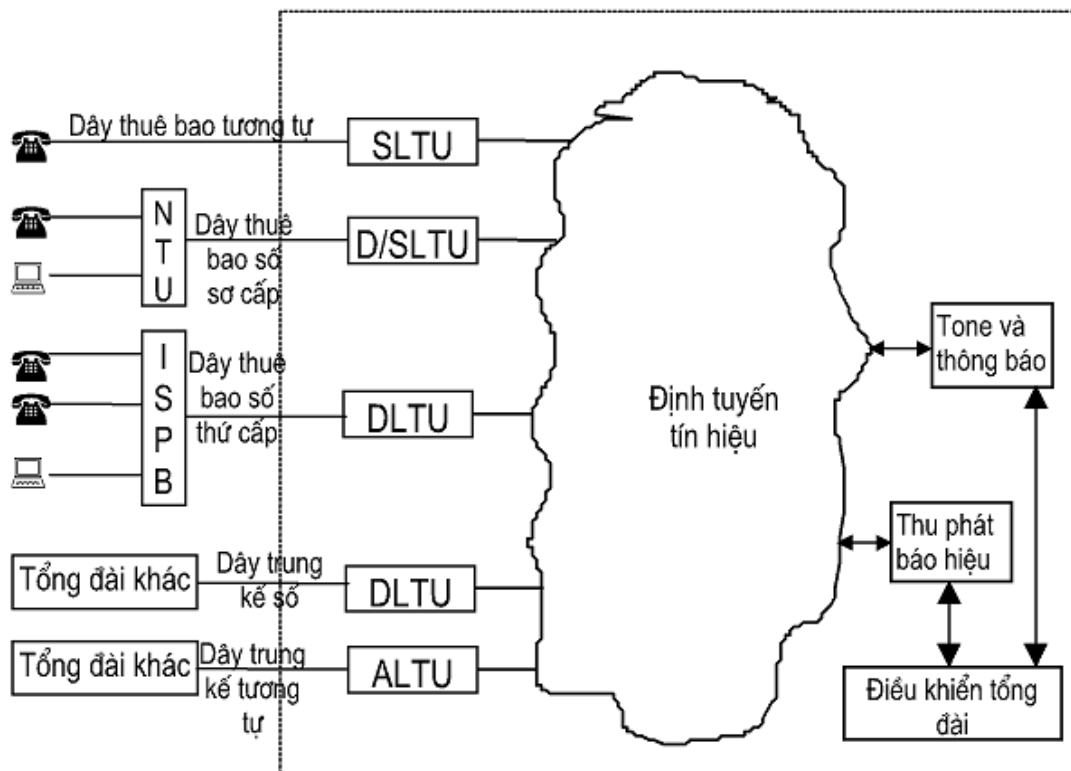
- Xử lý bản tin báo hiệu: Trong khi truyền bản tin báo hiệu, những chức năng này hướng tới tuyến báo hiệu hoặc phần người sử dụng tương ứng.
- Quản lý mạng báo hiệu: Điều khiển xác định hướng theo thời gian thực, điều khiển và tái tạo lại cấu hình mạng khi cần thiết.
- Mức 4: Mức người sử dụng: Mỗi phần cho người sử dụng xác định các chức năng và các thủ tục đặc trưng cho từng người sử dụng riêng biệt.

## **2.2.5. Xử lý báo hiệu trong tổng đài**

### **2.2.5.1. Giới thiệu**

Hệ thống báo hiệu được sử dụng như một ngôn ngữ cho 2 thiết bị trong hệ thống chuyên mạch trao đổi với nhau để thiết lập tuyến nối cho cuộc gọi. Giống như bất kỳ ngôn ngữ nào, chúng cũng có từ vựng với những chiều dài khác nhau và độ chính xác khác nhau. Tức là các báo hiệu cũng có thể thay đổi về kích thước và dạng cú pháp của nó theo các quy luật để ghép nối và tạo thông tin báo hiệu.

Xử lý báo hiệu trong tổng đài là sự xử lý các dạng tín hiệu báo hiệu thuê bao và tổng đài trên các đường dây thuê bao và trung kế trong tổng đài. Báo hiệu trong tổng đài điện thoại bao gồm không chỉ là báo hiệu giữa tổng đài với thuê bao và báo hiệu liên đài mà còn mang các thông tin về trạng thái cuộc gọi bằng các tones và các bản tin thông báo khác



DLTU (Digital Line Termination Unit) : Đơn vị đường dây đầu cuối số.  
 SLTU (Subscriber Line Termination Unit) : Đơn vị đường dây đầu cuối thuê bao.  
 NTU (Network Termination Unit) : Đơn vị mạng đầu cuối.  
 ISPBX (Integrated services PBX) : Các dịch vụ tích hợp tổng đài cơ quan.

**Hình 2.16.** Tổng quan xử lý báo hiệu trong tổng đài

Như vậy, ta thấy rằng quá trình xử lý báo hiệu bao gồm các phần chính sau:

- Định tuyến trong tổng đài.
- Các bộ thu phát báo hiệu.
- Tạo tones và các bản tin thông báo.

### 2.2.5.2. Sự định tuyến trong tổng đài

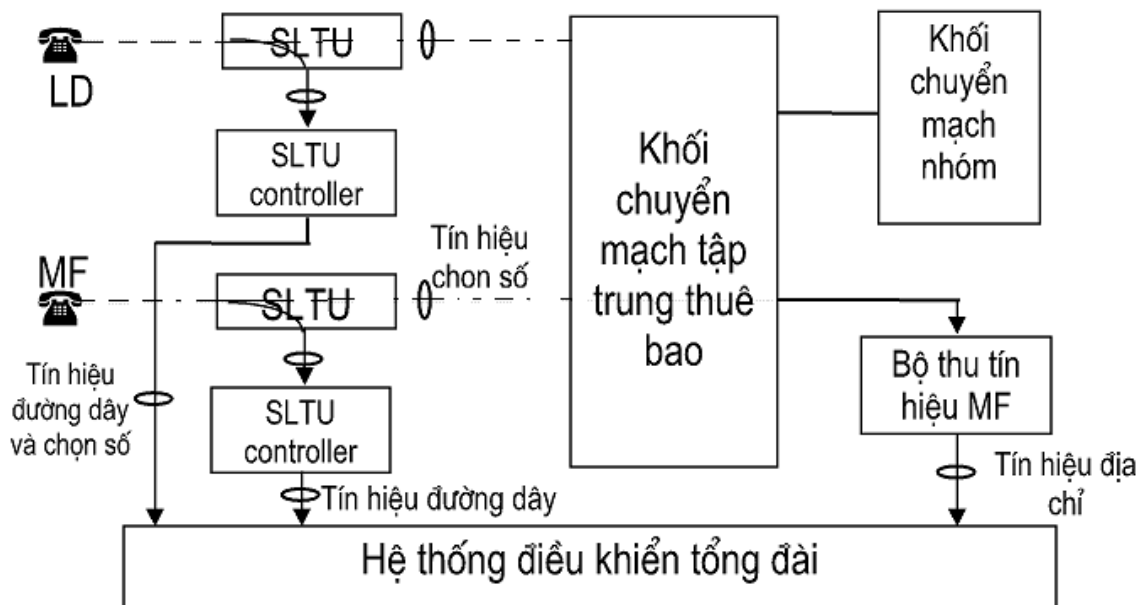
■ Báo hiệu tổng đài - thuê bao: Trong tổng đài SPC có khả năng cho phép hai loại thuê bao tương tự và thuê bao số ứng với mỗi loại, ta có các tín hiệu, phương pháp định tuyến khác nhau.

- Thuê bao tương tự: Trên mạng điện thoại hiện nay, vì lý do kinh tế thường sử dụng thuê bao tương tự. Sự định tuyến thuê bao tương tự như hình dưới đây. Sự định tuyến gồm hai thành phần báo hiệu:

- Tín hiệu báo hiệu đường dây (giám sát): mang trạng thái của mạch điện.
- Tín hiệu báo hiệu địa chỉ (chọn số): chỉ thị số thuê bao bị gọi.

Tín hiệu báo hiệu đường dây có nhiệm vụ giám sát mạch điện đường

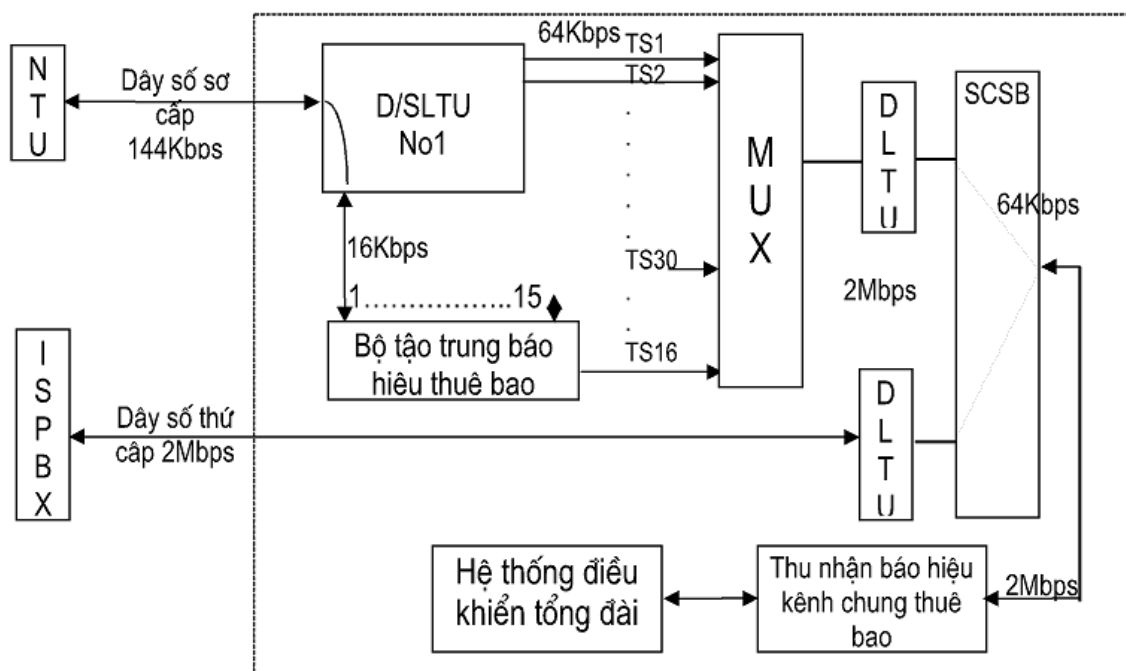
dây thuê bao. Với các thuê bao tương tự, dạng tín hiệu này ở dạng LD (cắt mạch vòng). Tín hiệu báo hiệu chọn số (địa chỉ) có thể được thuê bao phát bằng 2 cách: LD hoặc MF (mã đa tần). Đối với điện thoại dùng đĩa quay số, cả báo hiệu đường dây và chọn số đều được thực hiện theo kiểu cắt mạch vòng (Loop – disconnection). Các tín hiệu báo hiệu này được tách ra từ đường dây thuê bao bởi SLTU. Sau đó, chúng được thu thập tại khối điều khiển SLTU để biến đổi từ trạng thái LD sang các tín hiệu trạng thái và chữ số địa chỉ rồi gửi đến hệ thống điều khiển taeng đài để xử lý và từ đó đưa ra những thao tác thích hợp. Đối với điện thoại ấn phím, tín hiệu đường dây được tiến hành theo kiểu LD còn tín hiệu chọn số theo kiểu MF. Như vậy, tín hiệu đường dây được tách ra khỏi SLTU và qua bộ SLTU đến hệ thống điều khiển tổng đài như điện thoại đĩa quay số. Sự truy cập đến bộ thu MF thông thường qua khối chuyên mạch tập trung thuê bao. Bộ thu MF có thể dùng chung cho 1 số lớn đường dây thuê bao với mục đích giảm chi phí thiết bị.



**Hình 2.17.** Định tuyến báo hiệu của thuê bao tương tự đến thiết bị thu tương ứng

- Thuê bao số: Đây là sự định tuyến báo hiệu đến 2 “kiểu” thuê bao số ISDN và ISPBX trên sự truy cập đường dây sơ cấp và thứ cấp. Trong sự truy cập sơ cấp, 1 kênh báo hiệu 16Kbps kết hợp với 2 kênh giao thông 64Kbps tạo thành tốc độ 144kbps dạng (2B+D) cho mỗi hướng. Kênh báo hiệu mang thông tin báo hiệu đường dây và chọn số cho cả 2 kênh giao thông như thông tin xử lý cuộc gọi và

các thông tin bảo dưỡng. Trong sự truy cập thứ cấp bao gồm 1 đường dẫn 2Mbps từ 1 ISPBX, 1 kênh báo hiệu kênh chung tốc độ 64kbps cho 30 kênh giao thông 64Kbps được mang trong TS16.



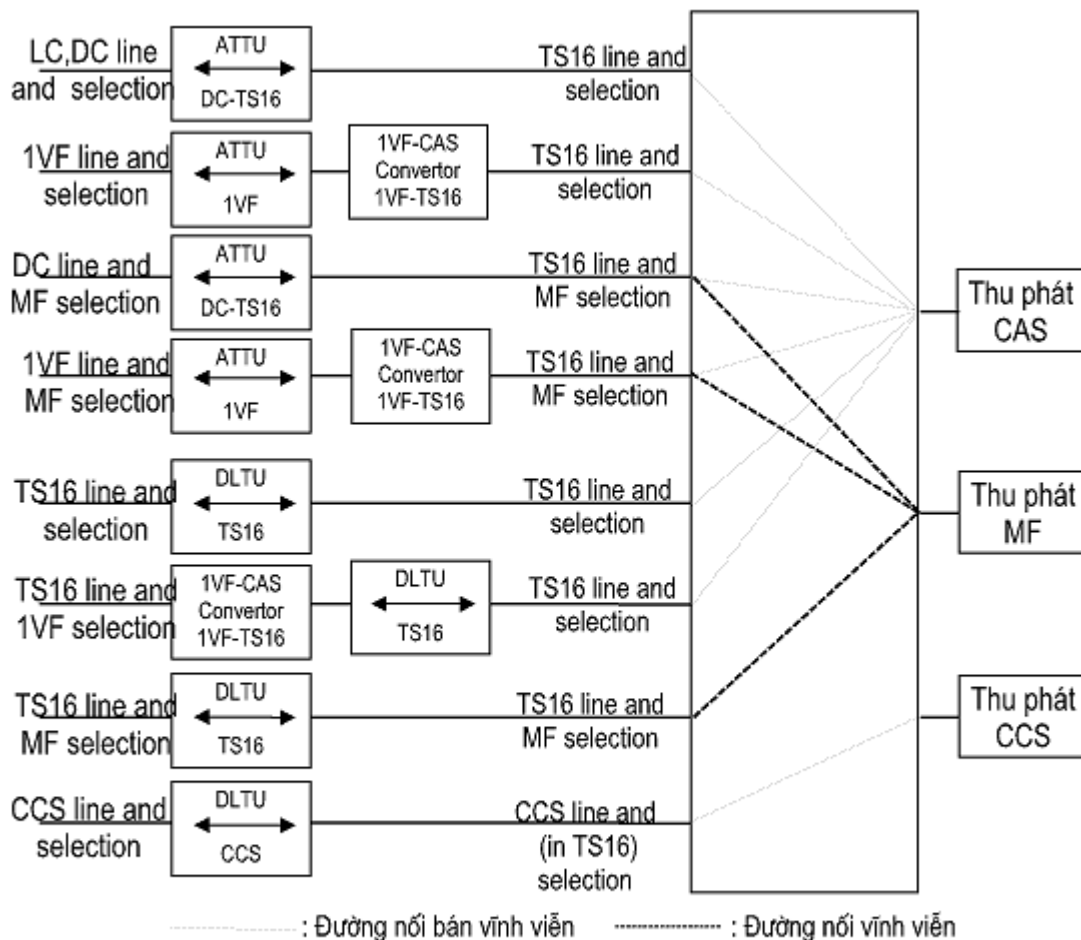
SCSB (Subscriber Concentrator Switching Block) : Khối chuyển mạch tập trung thuê bao.  
D/SLTU (Digital / Subscriber Line Terminal Unit) : Đơn vị kết cuối đường dây thuê bao số

**Hình 2.18.** Định tuyến thuê bao số

■ Báo hiệu liên tổng đài: Các hệ thống báo hiệu khác nhau trên các đường trung kế được định tuyến đến các bộ thu phát báo hiệu tương ứng được thực hiện nhờ bộ chuyển đổi tín hiệu hoặc kết hợp trong ATTU (Analogue Trunk Terminaling Unit) cho các kiểu báo hiệu LD, DC và 1VF. Hệ thống báo hiệu 1VF là hệ thống báo hiệu đơn tần trong băng, nó có thể là báo hiệu đường dây hoặc báo hiệu địa chỉ (nhưng chủ yếu là đường dây). Sự chuyển đổi báo hiệu trong băng sang dạng thích hợp để đưa đến các bộ thu phát báo hiệu (thường là CAS) có thể được thực hiện bởi một thiết bị kết hợp ở mỗi ngõ vào tương tự đến 1 ATTU hoặc sử dụng một đơn vị đơn giản mà nó tách các tones từ dòng số 2Mbps. Phương thức thứ 2 thường được sử dụng nhiều hơn vì tính kinh tế của nó. Bộ chuyển đổi thực hiện chia một ngõ vào 2Mbps chứa 30 kênh với âm báo hiệu đơn tần 1VF thành ngõ ra 2Mbps với báo hiệu mang trong TS16. Thiết bị do đó phải có khả năng tìm kiếm sự xuất hiện của các tones được mã hóa số (ví dụ 2280). Điều này được thực hiện bởi kỹ thuật lọc số. Đối với hướng ngược lại, thiết bị chuyển đổi các bits CAS trong TS16 thành các tones tương ứng chèn vào



luồng 2Mbps. Báo hiệu MF được định tuyến trên cơ sở call-by-call qua khối chuyển mạch nhóm từ đường dây đang gọi đến bộ thu phát MF bằng nối kết thời gian giữ ngắn (short-holding-time). Nối kết thời gian giữ ngắn là một nối kết trong thời gian rất ngắn thường với mục đích thu nhận các chữ số địa chỉ, nối kết này được giải phóng ngay sau khi tín hiệu địa chỉ đã kết thúc. Lúc này một đường dẫn thoại được thiết lập qua trường chuyển mạch đến ngõ ra yêu cầu. Tùy theo phương thức truyền thông tin báo hiệu mà có phương pháp biến đổi khác nhau. Để truy nhập tới bộ thu phát báo hiệu CAS là các đường nối bán cố định. Còn các đường nối tới các bộ thu phát MF là các tuyến cố định thực hiện nguyên tắc trao đổi giữa các khe thời gian TS16 với nhau và nội dung các TS này có chứa thông tin báo hiệu. Đối với báo hiệu kênh chung, thông tin báo hiệu được chứa trong các TS16 của các luồng 2Mbps để truy nhập đến bộ thu phát CCS qua đường nối bán vĩnh viễn (semi-permanent) qua trường chuyển mạch. Nối kết này cho phép các khe thời gian từ luồng 2Mbps truy cập đến CCS S/R qua 1 cổng 2Mbps. Nối kết này là bán vĩnh viễn vì nó duy trì trong một thời gian dài (có thể là vài năm) cho đến khi có sự cố hoặc có sự thay đổi lớn trong tổng đài thì hệ thống điều khiển sẽ thiết lập trở lại.



**Hình 2.19.** Định tuyến báo hiệu với các đường trung kế

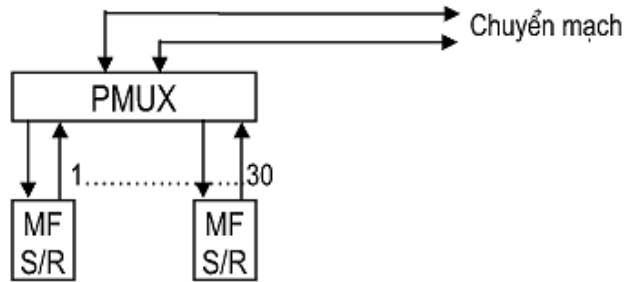
### 2.2.5.3. Các bộ thu phát báo hiệu

#### *Thu phát MF*

Để định tuyến báo hiệu MF từ thuê bao hoặc các đường trung kế tới bộ thu phát MF, yêu cầu ở mỗi bộ thu phát cần phải giao tiếp với 30 kênh thoại và số bộ thu phát yêu cầu phụ thuộc vào tốc độ sử dụng và thời gian chiếm dùng của mỗi cuộc gọi. Đối với báo hiệu thuê bao, một đường dẫn đơn hướng được thiết lập qua bộ tập trung thuê bao giữa SLTU đang gọi và 1 khe thời gian rỗi trong đường cao tốc tới bộ thu phát MF, trong khi tone mời quay số được đưa đến thuê bao qua 1 đường thoại đơn hướng khác qua bộ tập trung. Đơn vTH MF phải có khả năng xác nhận được chữ số đầu trong tone mời quay số. Khi các số quay là đầy đủ, hệ thống điều khiển taeng đài sẽ giải phóng đường dẫn qua bộ tập trung thuê bao này. Khe thời gian trong đường cao tốc lúc này là rỗi và có thể được sử dụng cho các cuộc gọi khác. Quá trình báo hiệu liên đài cũng diễn ra tương tự.

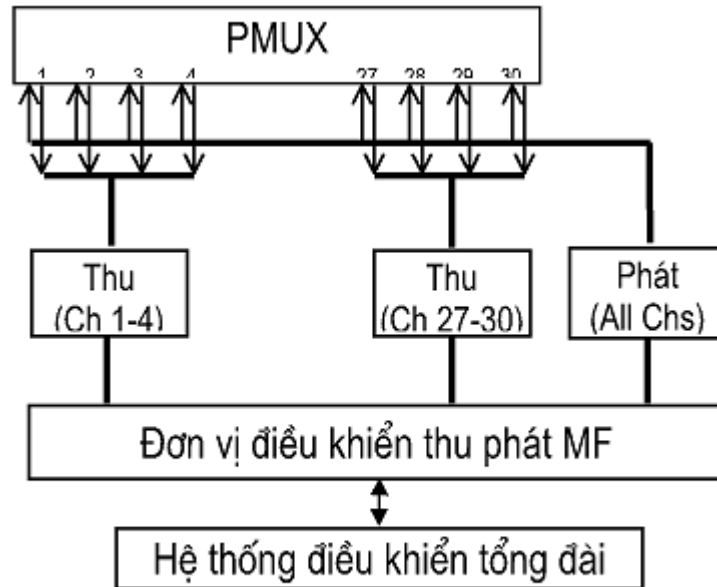
Bộ thu phát MF có thể sử dụng kỹ thuật tương tự hoặc kỹ thuật số.

■ *Bộ thu phát MF ở dạng tương tự*: Phương pháp này sử dụng nhiều trong các tổng đài thế hệ đầu vì tính kinh tế cao. 30 bộ thu phát MF được nối và biến đổi tại PMUX (MUX thứ cấp) để tạo ra luồng số 2,048Mbps theo cấu trúc khung. Trong đó, TS0 chứa tín hiệu đồng bộ khung và TS16 báo hiệu cho các kênh còn lại.



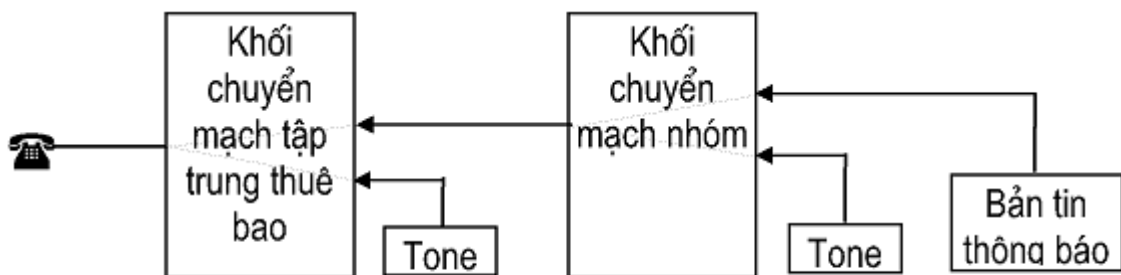
**Hình 2.20.** Các bộ thu phát MF tương tự

■ *Bộ thu phát báo hiệu MF ở dạng số*: Bộ thu làm việc theo nguyên tắc phân chia theo thời gian cho một số kênh (ở đây là 4). Các số thu được từ mỗi kênh qua bộ thu đến đơn vị điều khiển, ở đó, chúng được định dạng vào trong một bản tin rồi gửi đến hệ thống điều khiển taeng đài. Bộ phát MF thì làm việc một cách đơn giản hơn, mình nó được sử dụng cho tất cả các kênh thoại và trong TS16 của luồng 2Mbps. Với kiểu thu phát MF số, chỉ cần 8 bộ thu MF cho 30 kênh đầu vào và một bộ phát cho tất cả các kênh. Bộ thu MF số dựa trên cơ sở bộ lọc số. Yêu cầu khả năng nhận biết và phân tích 2 tone từ một tổ hợp đa tần (2 tần số), bỏ qua các tín hiệu ngoài băng tần 4Khz để xác định được các tín hiệu báo hiệu khác nhau để suy ra ý nghĩa của nó. Sau đó, bộ thu sẽ tìm ra tín hiệu có tổ hợp tần số tương ứng gửi đến bộ điều khiển thu phát MF để đưa đến hệ thống điều khiển tổng đài có những xử lý thích hợp. Bộ phát MF có thể thực hiện bằng các tổ hợp tần số được mã hóa và lưu trữ trong ROM và được đọc ra ở các đường vào thời điểm thích hợp.



**Hình 2.21.** Các bộ thu phát MF số

#### 2.2.5.4. Các bộ tạo tone và bản tin thông báo



**Hình 2.22.** Sự định tuyến cho tone và bản tin thông báo

#### ***Sự định tuyến tones và các bản tin thông báo:***

Tổng đài cần phải báo cho thuê bao về trạng thái cuộc gọi cũng như các tiến trình của nó từ khi bắt đầu đến khi kết thúc. Tức là một thuê bao bình thường muốn trao đổi thông tin thì phải được đáp ứng âm xác nhận yêu cầu hoặc yêu cầu không được chấp thuận và nhiều âm khác nhau trong tiến trình xử lý cuộc gọi như thông báo, trợ giúp... Thông thường, thông tin trạng thái có thể nghe thấy được ở dạng tones hoặc lời thoại thông báo. Do đó, mọi thuê bao cũng như các đường trung kế và các đơn vị khác thuộc tổng đài phải được truy nhập đến các bộ tạo tone và thông báo.

Để đạt hiệu quả kinh tế và kỹ thuật cho việc phân phối các âm báo đến từng thuê bao, cần phải phân loại theo chức năng của từng dạng âm mà phân bố vị trí của các bộ tạo âm. Ví dụ: các tình trạng thông thường được báo hiệu bằng các

tones, còn các trường hợp đặc biệt thì bằng các bản tin. Trong tổng đài SPC, các bộ âm báo thường được phân bố tại các bộ tập trung thuê bao theo phương pháp 1 đường phân bố tới nhiều đường. Còn bộ lưu trữ bản tin thông báo được phân bố tại khối chuyển mạch chính, vì các bản tin này mang tính chất dịch vụ, ít liên quan đến tiến trình xử lý cuộc gọi.

Việc định tuyến cho các âm báo tới các thuê bao được thực hiện bằng luồng số PCM. Như vậy, tại đầu ra của thiết bị tạo âm là các tín hiệu số, mỗi 1 âm báo khác nhau được chứa trong một TS riêng và nó được qua khối chuyển mạch tập trung thuê bao hay khối chuyển mạch nhóm như quá trình chuyển đaei tín hiệu thoại. Sự khác biệt ở đây là tín hiệu từ bộ tạo âm phải đảm bảo về độ lớn để nó thực hiện chuyển mạch tới nhiều đầu ra có yêu cầu cùng lúc.

Với các bản tin thông báo, thông thường nó được truy cập tới khe thời gian trung gian của khối chuyển mạch chính và được thực hiện chuyển mạch như tín hiệu thoại.

### ***Các tones xử lý cuộc gọi***

Trong tổng đài số, có hai cách tạo tones xử lý cuộc gọi để đưa vào đường dẫn thoại, đó là:

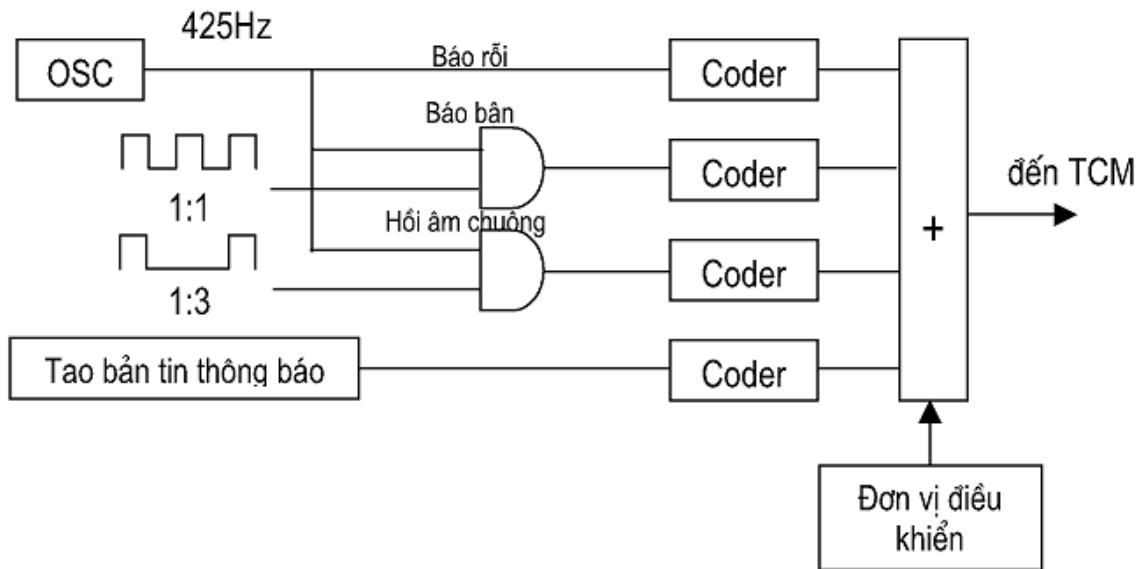
- Phát liên tục các tones ở dạng tương tự, rồi sau đó đưa qua bộ chuyển đổi A/D.
- Phát liên lục các tín hiệu số tương ứng với các tones báo hiệu khác nhau.

Phương thức đầu tiên được sử dụng cho các hệ tổng đài trước đây vì nó khai thác thiết bị tạo tones trong tổng đài tương tự mà chưa thay bằng kỹ thuật số được. Sự lai tạp giữa các bộ phát tones cơ-điện tử trong taeng đài điện tử số gây nên sự công kênh về kích thước và kém hiệu quả về mặt kinh tế. Khi kỹ thuật số là phát triển thì phương thức thứ 2 được sử dụng nhiều hơn với các tính năng cao hơn.

Các bộ tạo tones phục vụ cho chuyển mạch tập trung thuê bao được yêu cầu trong thời gian đầu trước thiết lập cuộc gọi, còn bộ tạo tone phục vụ chuyển mạch nhóm dùng để mang đáp ứng của thuê bao trong thời gian thiết lập cuộc gọi.

### ***Bộ tạo tone và các bản tin thông báo***

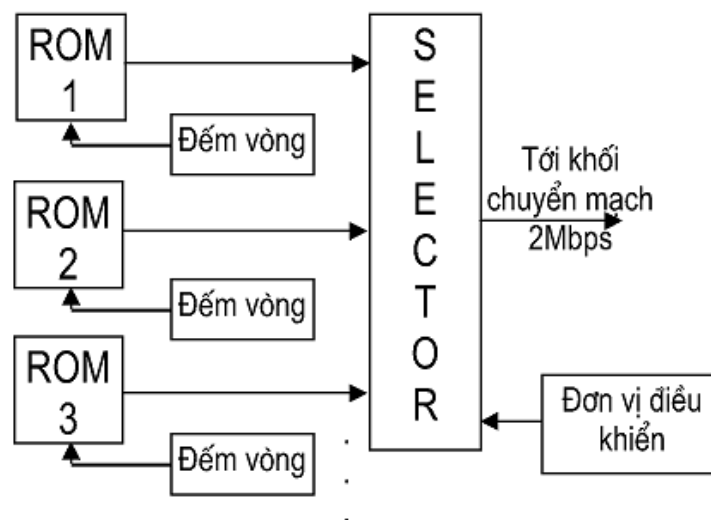
■ ***Dùng kỹ thuật tương tự:*** Có nhiều loại cấu trúc bộ tạo tone. Với các tổng đài analog thì ta có các bộ tạo tone analog với cấu trúc đơn giản là các bộ tạo dao động với các mạch điều khiển ngắt nhịp khác nhau như role hoặc các cổng điện tử. Các tín hiệu báo hiệu này phải được chuyển đổi sang dạng số để chèn vào các khe thời gian trong các tuyến PCM đưa đến các đầu cuối qua trường chuyển mạch. Nhược điểm: Kích thước lớn, công kênh, không kinh tế, không có độ tin cậy cao.



**Hình 2.23.** Sử dụng kỹ thuật tương tự

■ **Dùng kỹ thuật số:**

- *Tạo tones:* Đối với tổng đài SPC hiện nay thì các bộ tạo âm thường là bộ tạo tone số. Các bộ tạo tone này có khả năng cho ra nhiều loại tone khác nhau. Việc phân biệt cho các loại tone này cho tiến trình xử lý cuộc gọi được thực hiện bằng cách thiết lập các độ dài ngắt nhịp khác nhau cho các tone. Cấu trúc này phụ thuộc vào cách quản lý khác nhau. Các phần tử bộ tạo tone số bao gồm: Các bộ nhớ ROM dùng để lưu trữ các loại tone tương ứng bằng các tín hiệu số, mạch điều khiển tone theo chu kỳ, bộ điều khiển đọc ROM và các thiết bị điều khiển khác.



**Hình 2.24.** Sơ đồ bộ tạo âm báo số

Các bộ nhớ ROM lưu các loại tones tương ứng đã mã hóa và đọc ra với địa chỉ do bêm chu kỳ xác định. Thời điểm phát tones qua trường chuyển mạch do đơn vị điều khiển điều khiển bộ SELECTOR. Bộ SELECTOR bao gồm các bộ ghép kênh logic số mà chuyển mạch giữa ngõ vào và ngõ ra phụ thuộc vào địa chỉ được cung cấp bởi đơn vị điều khiển. Như vậy, các tones khác nhau được số hóa (với tần số lấy mẫu là 8Khz) và nạp vào ROM, sau đó được đọc ra ở thời điểm thích hợp theo yêu cầu của thuê bao. Đối với tín hiệu có chu kỳ thì chỉ cần nạp vào chu kỳ là đủ. Đối với tín hiệu không có chu kỳ thì phải nạp tất cả tín hiệu đó. Điều này làm giảm dung lượng của ROM, do đó, tính kinh tế phương pháp này rất cao.

■ *Tạo các bản tin thông báo:* Một trong khả năng cung cấp dịch vụ của tổng đài SPC là việc cung cấp các bản tin thông báo với những nội dung mang tính chất thông báo chỉ dẫn... Các bản tin thông báo được lưu trữ trong các thiết bị băng từ, đĩa từ, bộ nhớ ...sao cho khả năng truy cập được dễ dàng. Trên thực tế có hai phương pháp lưu trữ sau:

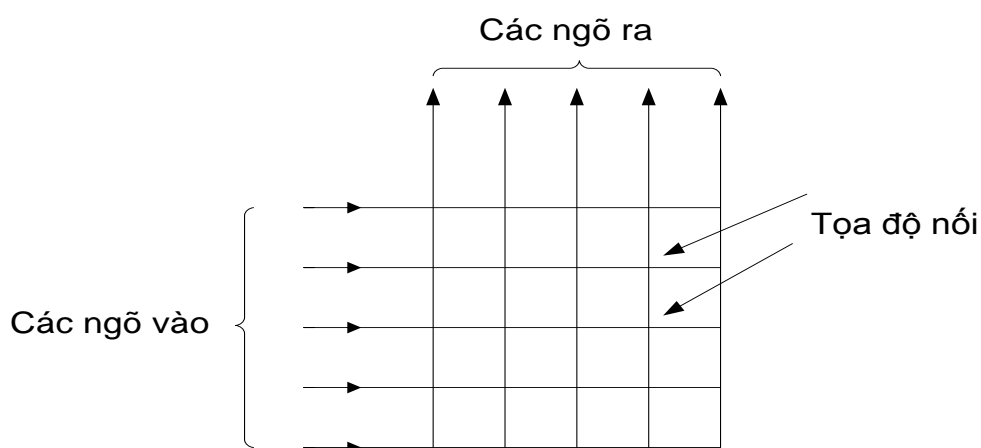
- Phương pháp 1: Tất cả các bản tin được số hóa với từng bit nhị phân và ghi vào thiết bị lưu trữ.
- Phương pháp 2 : Kiểu của bản tin thông báo có dạng các câu, các tổ hợp chữ cái có chung nhất một âm tiết, các từ vựng chung được ghi vào vi mạch ROM, RAM để truy xuất theo một địa chỉ thích hợp.

Phương pháp 1 đơn giản nhưng tốn kém về không gian bộ nhớ, phương pháp 2 kinh tế hơn, nhưng vấn đề điều khiển lại phức tạp hơn rất nhiều. Các bản tin cố định thì có thể lưu vào trong ROM, còn các bản tin có thể thay đổi hoặc các dịch vụ mới thì thường được lưu vào RAM để tăng tính linh hoạt, thuận tiện trong việc sửa đổi bổ sung.

## **2.4. Chuyển mạch**

Mỗi tổng đài đều có các ngõ nhập và ngõ xuất, bao gồm các thiết bị kết cuối đường dây thuê bao, các mạch hợp nối, mạch trung kế và quốc tế. Trong khi một tổng đài có thể được xem như một chuyển mạch thì thực tế nó bao gồm một số lớn các chuyển mạch tách biệt hay còn gọi là các tọa độ nối (crosspoints). Chúng có thể được sắp xếp theo nhiều cách khác nhau nhằm đạt được tính hiệu quả và kinh tế.

Mỗi crosspoint là một tiếp điểm điện, có thể đóng mở linh hoạt, khi đóng, nó hình thành nên bộ phận của đường dẫn của cuộc gọi xuyên qua tổng đài. Một phương pháp thực hiện các crosspoint trong một tổng đài là dùng một khối chuyển mạch dạng ma trận điều như hình 2.25. Các crosspoint trong tổng đài cơ truyền thống chiếm chi phí lớn (trên hình 2.25 không có ý trình bày mỗi điểm nối bao chỉ của một dây đơn, mà gồm 2 hoặc 4 dây cũng như một số các dây điều khiển được hệ thống điều khiển sử dụng để điều hành việc chọn các crosspoint). Việc dùng ma trận đơn



Hình 2.25. Một chuyển mạch bao gồm một ma trận điểm

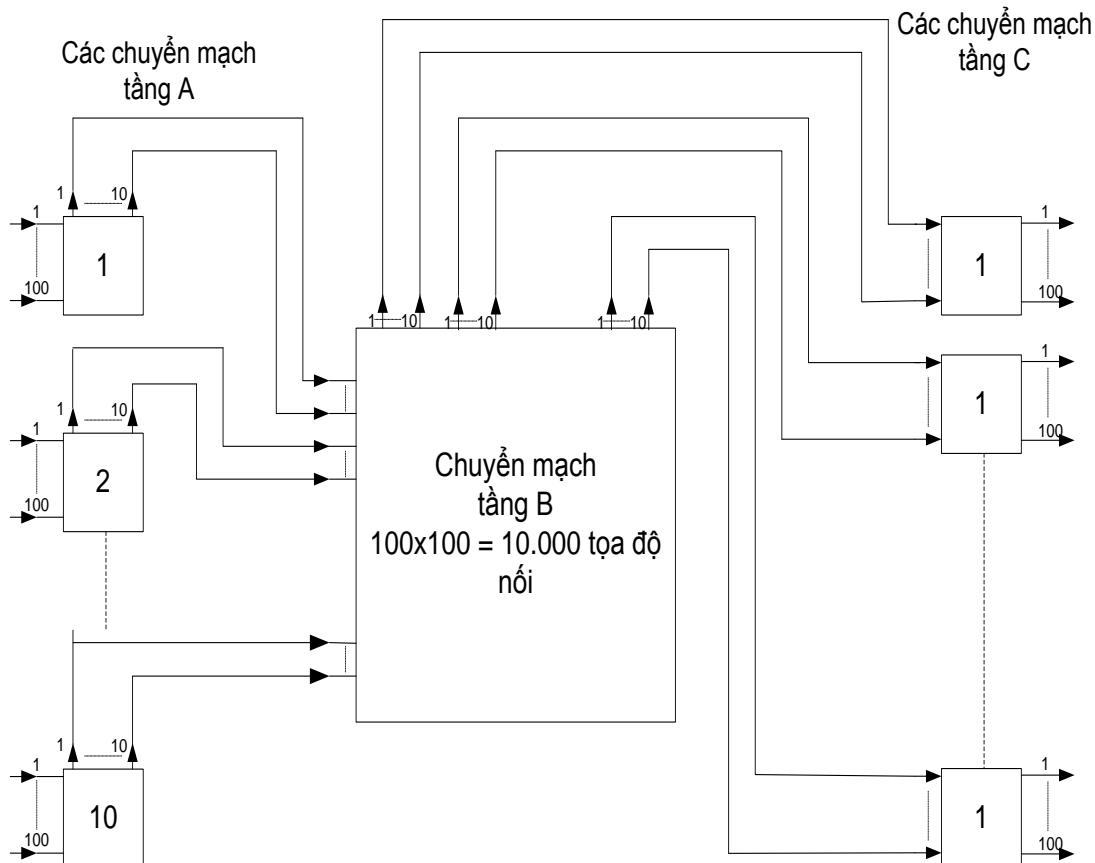
là một phương thức mang tính ý tưởng đơn giản nhất để xây dựng khối chuyển mạch và sự tiết kiệm số điểm nối là một ưu điểm. Giảm số crosspoint trong ma trận chỉ đơn thuần là giảm kích thước tổng đài, vì vậy có thể tiết kiệm chi phí bằng cách dùng một số các tầng chuyển mạch thay cho một ma trận đơn.

#### 2.4.1. Chuyển mạch phân chia theo tầng

Một ví dụ đơn giản của chuyển mạch theo tầng được trình bày trên hình 2.26. Trong hình này các mạch đến tổng đài được nối thành nhóm 100, các nhóm nối đến các chuyển mạch tầng A chỉ có 10 ngõ ra. Do đó có sự tập trung bên trong tổng đài và giảm số crosspoint. Tuy nhiên, điều này sẽ dẫn đến tình trạng một cuộc gọi đến có thể không kết nối được do không có sẵn đường dẫn chuyển mạch. Tình trạng này được gọi là “blocking”. Bởi vì tất cả các ngõ vào không thể gọi một cách đồng thời, điều này cũng hợp lý vì trên thực tế tăng hiệu quả sử dụng chuyển mạch được thực hiện bằng cách phân phối một tỉ lệ dịch vụ chấp nhận được cho một tổng đài (không cấp đủ).



Trong hình 2.26 các chuyển mạch tầng A chỉ đơn giản là các bộ tập trung, nó cho phép tiết kiệm số crosspoint. Tương tự, các chuyển mạch tầng C mở rộng số lượng đầu ra trên tổng đài. Các chuyển mạch tầng C cũng hỗ trợ định tuyến đến các mạch ngõ ra đặc biệt. Tầng B hỗ trợ định tuyến xuyên tổng đài.



Hình 2.26. Nguyên lý chuyển mạch phân tầng

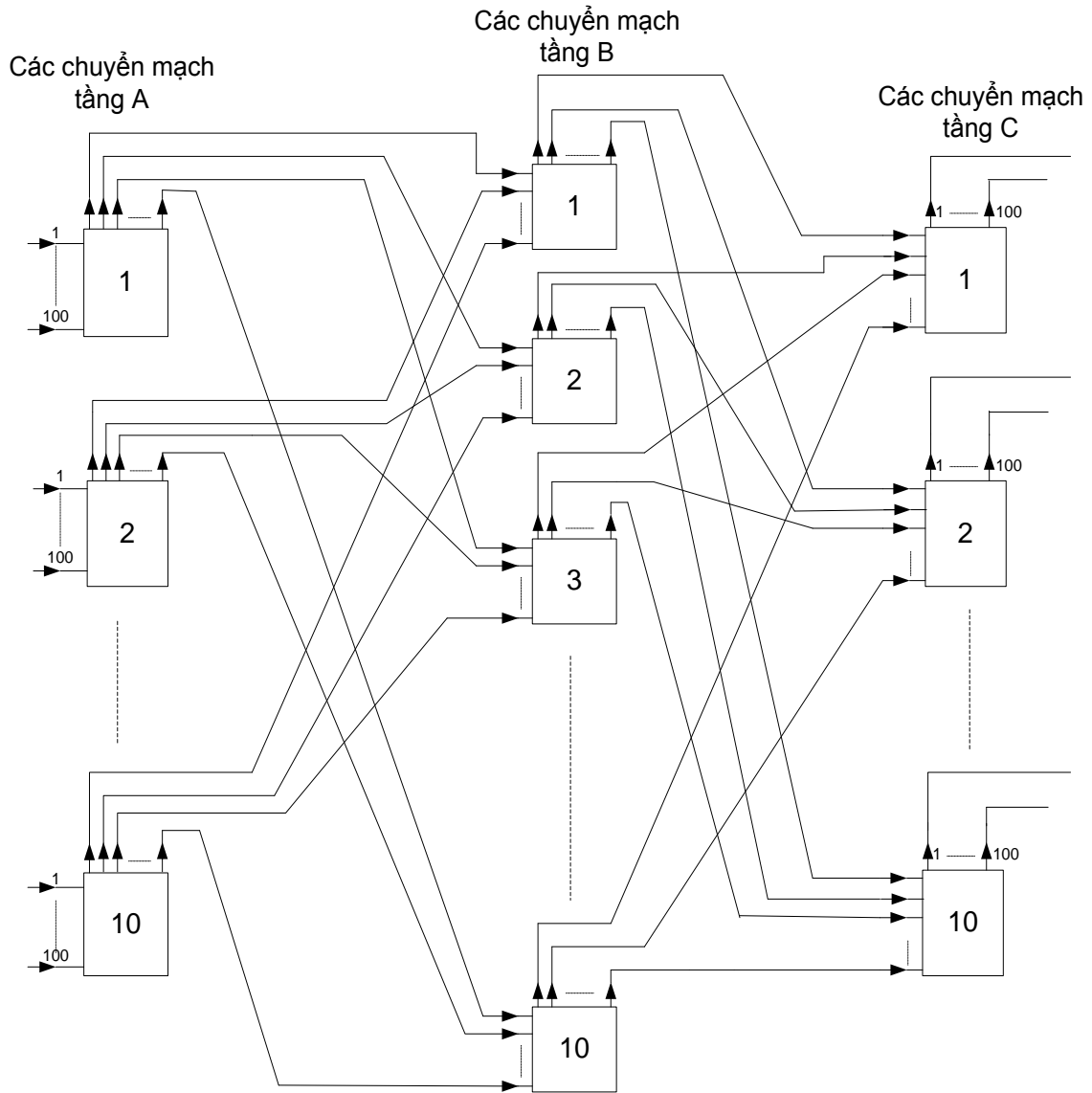
Khi một cuộc gọi đến tại một chuyển mạch tầng A, tại đây chỉ xảy ra một hoạt động cần thiết, đó là tìm một ngõ ra cho nó đến B. Tầng B phải đóng các crosspoint thích hợp cho cuộc gọi được định tuyến đến đúng một chuyển mạch ở tầng C. Tổng số crosspoint cho 1000 mạch vào và 1000 mạch ra là (cộng lần lượt các tầng A, B và C).

$$10(100 \times 10) + 100 \times 100 + 10(10 \times 100) = 30\,000$$

Số lượng này rõ ràng nhỏ hơn nhiều so với 1000 000 nếu dùng một ma trận đơn.

Một dạng cải tiến tốt hơn được mô tả trên hình 2.27. Ở đây tất cả các tầng chuyển mạch đều thực hiện định tuyến. Mỗi chuyển mạch ở tầng B chỉ xử lý một ngõ ra đến mỗi chuyển mạch tầng C. Nếu chuyển mạch A chỉ đơn giản phân phối một cuộc gọi đến một ngõ ra bất kỳ đến B, sẽ có một khả năng đáng kể không thể

chấp nhận được là ngõ ra được yêu cầu từ chuyển mạch B đã bị chiếm dụng. Hệ thống trong hình yêu cầu sắp xếp lại công tác chọn lựa các ngõ ra xuyên toàn bộ hệ thống chuyển mạch. Trong khi sự điều khiển các tầng chuyển mạch trong hệ thống hình 2.26 có thể kiểm soát theo từng bước, thì điều khiển trong hệ thống này phải sắp xếp sao cho



Hình 2.27. Chuyển mạch phân tầng có điều kiện

ngõ ra từ tầng chuyển mạch A đến một tầng chuyển mạch đến một tầng chuyển mạch B được chọn chỉ khi biết rằng ngõ ra từ chuyển mạch tầng B đến chuyển mạch yêu cầu ở tầng C đang ở trạng thái nhàn rỗi. Trong phương pháp này các đường dẫn chuyển mạch không được nối từng phần cục bộ; nếu không có đường dẫn hoàn chỉnh, thiết bị chuyển mạch không bị chiếm dụng một cách không cần

thiết. Chuyển mạch có điều kiện này là cơ sở cho tất cả các hệ thống chuyển mạch hiện đại.

Số lượng các crosspoint trong hệ thống chuyển mạch ở hình 2.27 là:

$$10(100 \times 10) + 10(10 \times 10) + 10(10 \times 100) = 21\ 000$$

#### 2.4.2. Kỹ thuật chuyển mạch

Trong các tổng đài tương tự chuyển mạch được chia theo không gian: một đường dẫn chuyển mạch dành riêng được thiết lập để phục vụ cho một cuộc gọi và bị chiếm dụng trong suốt thời gian đàm thoại. Trong các tổng đài chuyển mạch số, việc chuyển mạch cho các cuộc gọi được thực hiện bằng cách mở hay đóng thường xuyên các cổng logic theo từng khoảng thời gian, cho phép các tín hiệu điện dưới dạng các chữ số nhị phân đi qua các đường dẫn chuyển mạch vật lý. Bằng cách này một số các cuộc gọi chia sẻ thời gian để sử dụng cùng một đường dẫn chuyển mạch; các tín hiệu của nó không được truyền một cách liên tục, nhưng được truyền trong các khe thời gian được chọn dưới dạng một chuỗi xung hỗn hợp.

Một điều cần phải xác định ở đây là các đặc điểm giữa các chế độ chuyển mạch. Các tham số này rất quan trọng để định nghĩa chính xác một công tác chuyển mạch (hay tầng chuyển mạch, vì bất kỳ một hệ thống chuyển mạch nào đều có thể bao gồm một hỗn hợp các loại): đặc tính truyền, sự cấp đường dẫn và kiểu chuyển mạch.

■ **Đặc tính truyền:** Đặc tính truyền (cũng được gọi là chế độ chuyển mạch) của một tầng chuyển mạch có thể hoặc tương tự hoặc số. Một chuyển mạch tương tự có thể chuyển bất kỳ mức điện thế tín hiệu trong dải làm việc. Thông thường các chuyển mạch như vậy chuyển các tín hiệu tương tự thay đổi đúng như các thay đổi gốc của tiếng nói. Tuy nhiên một chuyển mạch tương tự cũng có thể chuyển được tín hiệu số. Một chuyển mạch số chỉ chuyển các tín hiệu có điện thế tại  $n$  mức xác định. Trong chuyển mạch số nhị phân,  $n=2$ .

■ **Sự cấp đường dẫn:** Một chuyển mạch bao gồm một số các điểm nối (crosspoint) có khả năng cung cấp một số các kết nối đồng thời, và dùng hai phương pháp:

- Trong phương pháp phân chia không gian (Space Division – SD), mỗi cuộc gọi hay kênh được phân phối một đường dẫn vật lý riêng

xuyên qua chuyên mạch trong suốt thời gian của cuộc gọi. Các đường dẫn xuyên qua chuyên mạch được nhận dạng bởi vị trí của nó.

- Trong phương pháp phân chia thời gian (Time Division – TD), một chuyên mạch chia sẻ thời gian cho một số các kênh. Mỗi kênh được phân phối định kỳ một khe thời gian ngắn, trong thời gian này nó truy xuất độc quyền đến một đường dẫn chung xuyên qua chuyên mạch. Trước khi các kênh thoại được chuyển xuyên qua một mạng chuyên mạch số TD, chúng được chuyển sang dạng số.

■ **Kiểu chuyên mạch:** Kiểu chuyên mạch mô tả chức năng đặc biệt của chuyên mạch. Có hai loại: chuyên mạch không gian và chuyên mạch thời gian. Trong chuyên mạch không gian, các kết nối được thực hiện giữa các vị trí vật lý khác nhau (giữa một liên kết này với một liên kết khác) không có hiện tượng trễ của tín hiệu thoại được truyền. Trong chuyên mạch thời gian các kết nối được thực hiện tại các thời điểm khác nhau. Thông tin trong khe thời gian cho trước trên ngõ nhập chuyên mạch được truyền vào một khe thời gian đã chọn trên ngõ ra. Điều này cần đến việc lưu trữ các tín hiệu thoại trong một khoảng thời gian xác định và sẽ xuất hiện hiện tượng trễ. Tuy nhiên thuê bao không thể nhận biết được. Sự khác nhau giữa hai loại chuyên mạch có thể phân biệt một cách chính xác bằng cách dùng 3 yếu tố trên. Do đó, một chuyên mạch có thể là tương tự hay số, SD hay TD, không gian hay thời gian. Ví dụ, một khối chuyên mạch cơ có thể được mô tả như là tương tự/SD/không gian. Cần chú ý rằng chuyên mạch không gian có thể hoặc tương tự hoặc số, trong khi vì các lý do thực tế nên chuyên mạch thời gian phải là số.

## 2.5. Điều khiển tổng đài

Hệ thống điều khiển là bộ não của tổng đài. Nó chứa đựng các khả năng logic để quyết định các hoạt động cần thiết, nhằm thực hiện và truyền các tín hiệu cần thiết để khởi động. Ví dụ khi nhận tín hiệu truy cập, hệ thống điều khiển tìm một vùng nhớ trống để dành lưu giữ các chữ số, và khi tìm thấy nó sẽ khởi phát tín hiệu báo nhận (âm mời quay số nếu tín hiệu truy cập ở trên một đường dây nội bộ). Khi nhận các chữ số, hệ thống điều khiển dịch chúng, xác định mạch ngõ ra nào cuộc gọi sẽ phải dùng, và chọn một đường dẫn chuyên mạch thích hợp xuyên qua tổng đài. Khi có tín hiệu xóa đến, hệ thống điều khiển sẽ giải phóng đường

dẫn chuyên mạch và cung cấp các thiết bị cho các cuộc gọi khác. Điều khiển cũng có liên quan đến sự giám sát tổng đài, bao gồm thu thập dữ liệu tính cước, bảo trì và hoạch định.

### **2.5.1. Hiện thực trong các tổng đài nhân công**

Trong các tổng đài nhân công, điều khiển và chuyển mạch đều được thực hiện bởi điện thoại viên. Trong khi số mạch vẫn còn giới hạn, điều này thỏa mãn tính linh hoạt tối đa. Chỉ cần có một đầu dây nối rảnh, điện thoại viên có thể nối bất kỳ đường dây thuê bao nào, hay bất kỳ đường hợp nối nào. Điện thoại viên cũng chọn các tuyến khi biết rằng là đường tốt nhất có nhiều cơ hội kết nối thành công nhất, khi mạng không thể xuyên qua được (do nghẽn hay hư hỏng) có thể tránh được các nỗ lực lặp lại bằng cách giải thích cho các thuê bao tại sao cuộc gọi của họ không thể thực hiện được trong một thời gian cho trước. Bằng cách dùng hiểu biết mang tính nội bộ của mạng để thực hiện chức năng chuyển mạch, điện thoại viên tương đương như thành phần điều khiển trung tâm và một dạng quản lý mạng hiệu quả.

Dạng điều khiển cơ bản này sắp xếp tất cả các chức năng điều khiển trong đầu và tay của điện thoại viên. Điện thoại viên tiếp nhận thông tin định tuyến qua đàm thoại với thuê bao dưới dạng tên của phần được gọi, dịch chúng để xác định đường ra nào được yêu cầu, kiểm tra đường dây, thiết lập một cuộc nối xuyên bảng chuyển mạch qua các đầu nối dây, giám sát đường dẫn truyền để đảm bảo các phần đang liên lạc với nhau, ghi lại cuộc gọi để tính cước, giám sát sự xóa cuộc nối và sau cùng ngắt mạch bằng cách gỡ đầu nối ra.

Trong khi hỗ trợ sự điều khiển hiệu quả thì lại phung phí tài nguyên. Một cuộc gọi yêu cầu sự tiếp đón riêng của điện thoại viên trong suốt quá trình thiết lập cuộc gọi, có nghĩa là tất cả các cuộc gọi khác đến trong khoảng thời gian này đều phải xếp hàng đợi. Tuy nhiên, rất bất tiện nếu tối ưu bằng cách dùng một số thích hợp các điện thoại viên.

Trong một tổng đài nhỏ, ở đó tốc độ đến của các cuộc gọi chỉ phù hợp cho một điện thoại viên, có điều khiển tập trung đầy đủ. Đặc tính nhận biết nó là tất cả các chức năng điều khiển các đường dây được cung cấp bởi một đơn vị, trong trường hợp này là điện thoại viên. Một điều bất lợi trong việc gán tất cả các chức năng điều khiển vào một đơn vị đơn là có thể toàn bộ mạng không hoạt động khi đơn vị điều khiển này không thực hiện chức năng của mình, ví dụ như vì lý do này hay lý do khác điện thoại viên không trực tại vị trí của mình. Điều này có thể được

khắc phục bằng cách cung cấp một điện thoại viên dự phòng. Điều bất tiện khác là có khả năng các cuộc gọi phải đợi hay bị thất bại bởi vì đơn vị điều khiển quá bận không giải quyết kịp. Điều này có thể điều chỉnh đến một giá trị có thể chấp nhận được bằng cách tối ưu số các đơn vị điều khiển căn cứ vào tốc độ cuộc gọi trên đường dây và giá cả sự cấp phát đường dây.

### **2.5.2. Điều khiển chung**

Sự chia sẻ tài nguyên điều khiển giữa các cuộc gọi được gọi là sự điều khiển chung. Nó có thể là tập trung giống trong trường hợp nhân công, hay phân tán. Trong quá trình phát triển của điều khiển, cả hai loại điều khiển được dùng. Trong các hệ thống tổng đài “maker –based” được dùng trước khi xuất hiện tổng đài SPC, kết hợp cả điều khiển tập trung và phân tán.

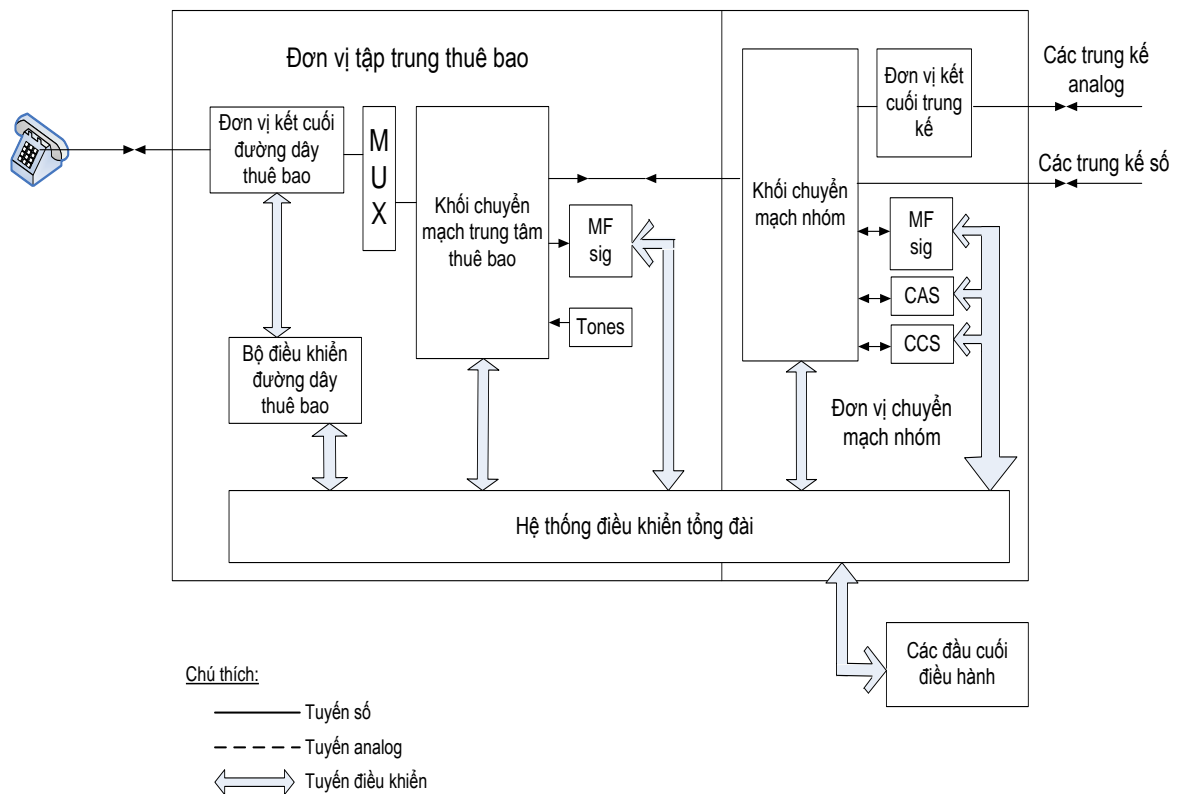
Trong các tổng đài SPC đầu tiên, các chức năng điều khiển tập trung trong một máy tính đơn, và được dự phòng để bảo mật. Ngày nay, với sự giảm giá thành và gia tăng khả năng của các bộ xử lý, trong các tổng đài thế hệ mới một lần nữa điều khiển phân tán lại phát huy ưu điểm. Các chức năng như điều khiển báo hiệu, kiểm soát dữ liệu, tiếp nhận chữ số và điều khiển chuyển mạch đều được giao phó (trong nhiều mức độ phụ thuộc vào thiết kế) cho các bộ xử lý phân phối bên trong tổng đài, có một bộ xử lý trung tâm làm nhiệm vụ giao quyền điều khiển cho các vi xử lý khác. Do đó điều khiển hiện đại được thiết kế trong hầu hết các phần mềm riêng biệt.

## **2.6. Giới thiệu tổng quan một tổng đài kỹ thuật số SPC**

Trong các phần trước đã giới thiệu khái niệm về SPC và sự khác nhau giữa chuyển mạch số (digital switching) và chuyển mạch tương tự (analog switching). Các tổng đài SPC hiện đại dùng kỹ thuật chuyển mạch số và có vị trí chắc chắn trong mạng viễn thông quốc tế. Dù được xem như thành phần của các mạng chuyển mạch và truyền dẫn số tích hợp hay sự thay thế cho các đơn vị chuyển mạch tương tự, các chuyển mạch như vậy đều có nhiều ưu điểm. Công tác quản lý viễn thông tiết kiệm được chi phí và thu được các đặc trưng sẵn có từ các hệ thống này, nhất là trong bối cảnh thuê bao đòi hỏi chất lượng dịch vụ ngày càng cao cũng như hàng loạt các dịch vụ và tiện ích khác mới ra đời. Vì thế phần này sẽ trình bày một cái nhìn tổng quan về tổng đài điện thoại số SPC.

*Hình 2.28* là một sơ đồ khối trình bày khái quát một tổng đài cục bộ kỹ thuật số SPC. Cần lưu ý rằng hình vẽ trình bày các phần tử chức năng của một tổng đài thay cho các đơn vị vật lý có thể được dùng trong bất cứ hệ thống đặc biệt nào.

Có nhiều chủng loại hệ thống tổng đài kỹ thuật số SPC đang được sản xuất, mỗi loại có một kiến trúc đặc trưng. Đó là kết quả từ sự phân bố khác nhau của các phần tử chức năng vào trong các hệ thống con. Tuy nhiên, *hình 2.28* được thiết kế với các nét tương quan gần gũi với hầu hết các hệ thống tổng đài có sẵn. Cũng cần chú ý rằng các thuật ngữ và các nguyên lý được dùng trong hình, và các ký hiệu là tổng quát và không có chủ ý đề cập đến bất kỳ một thiết kế đặc biệt nào của hệ thống chuyển mạch. Tổng đài cục bộ gồm hai loại đơn vị: một hay nhiều đơn vị tập trung thuê bao và một đơn vị chuyển mạch nhóm. Một vài đơn vị tập trung thuê bao ở xa đơn vị chuyển mạch nhóm, nhưng để đơn giản, tất cả các đơn vị trong *hình 2.28* được xếp vào một chỗ nhằm mục đích miêu tả. Các đơn vị này chứa chuyển mạch số, mạch kết cuối đường dây, thiết bị điều khiển và báo hiệu. Hình mô tả một tổng đài cục bộ chỉ với một bộ tập trung thuê bao (Subscriber – Concentrator Unit – SCU) và một đơn vị chuyển mạch nhóm (Group Switch Unit – GSU); các SCU thêm vào được kết nối đến GSU theo phương pháp tương tự. Thông thường thiết bị điều khiển trong SCU thực hiện vài chức năng điều khiển gọi, trong mối liên hệ với thiết bị điều khiển chính trong GSU. Mức độ tự động của thiết bị điều khiển trong CSU phụ thuộc vào thiết kế của hệ thống tổng đài. Do đó, hệ thống điều khiển tổng đài nơi cung cấp các chức năng SPC được mô tả trong *hình 2.28* bao gồm cả hai đơn vị tổng đài. Các tổng đài trung kế kỹ thuật số SPC không kết cuối các đường dây thuê bao và do đó chỉ bao gồm một GSU.



Hình 2.28. Sơ đồ tổng quát của một tổng đài cục bộ kỹ thuật số

Cả hai đơn vị của tổng đài đều chứa các khối chuyển mạch (thuật ngữ “khối chuyển mạch” được dùng để mô tả một hệ thống chuyển mạch bao gồm vài tầng chuyển mạch). Khối chuyển mạch tập trung thuê bao chuyển các cuộc gọi bắt đầu từ một số lớn các đường dây thuê bao với lưu lượng tải thấp đến trung kế nội bộ có khả năng tải cao, dẫn đến khối chuyển mạch nhóm. Điều này tạo nên một liên kết giữa các trung kế từ các đơn vị tập trung thuê bao, các trung kế bên ngoài và các tuyến hợp nối. Các cuộc gọi kết cuối trên SCU được chuyển bởi khối chuyển mạch tập trung thuê bao từ trung kế GSU đến các đường thuê bao thích hợp.

Các khối chuyển mạch số với các đặc tính cấu tạo của bán dẫn số và chế độ hoạt động của TDM, chỉ có thể làm việc với các tín hiệu dạng số. Do đó bất kỳ một đường analog nào kết cuối trên tổng đài phải được chuyển sang dạng số (đó là dạng PCM 24/30 kênh) tại bộ phận ngoại vi của khối chuyển mạch. Công việc chuyển đổi này (cho các đường trung kế) được thực hiện bởi đơn vị kết cuối trung kế analog tại bộ phận ngoại vi của khối chuyển mạch định tuyến; Sự chuyển đổi cho các đường dây thuê bao được thực hiện bởi các đơn vị kết cuối đường dây thuê bao (subscriber line – termination units\_SLTU) và các bộ ghép kênh tại bộ phận ngoại vi của khối chuyển mạch tập trung thuê bao.

SLTU cũng hỗ trợ tất cả các chức năng liên quan đến các đường dây thuê bao. Các chức năng này bao gồm cấp nguồn cho bộ truyền thoại, phát hiện vòng



DC được tạo cho thuê bao nhắc ống nghe, phát hiện các xung quay số, bảo vệ thiết bị chuyển mạch chống lại hiện tượng quá áp trên đường dây, chuyển đổi giữa đường dây thuê bao analog 2 dây với hệ thống chuyển mạch số 4 dây, cấp dòng điện chuông lên đường dây, và một số các chức năng kiểm thử nào đó. Việc tiết kiệm khi thiết kế tổng đài đạt được bằng cách tối thiểu thiết bị trong SLTU, vì chúng cung cấp trên từng đường dây thuê bao. Do đó, một vài thiết bị cũng hỗ trợ các chức năng kết cuối đường dây thuê bao được đặt chung trong các đơn vị điều khiển đường dây thuê bao, mỗi bộ điều khiển phục vụ cho một số các SLTU. Các bộ điều khiển đường dây hỗ trợ giao tiếp giữa các SLTU và hệ thống điều khiển tổng đài bằng cách tác động như các đầu cuối truyền tin. Do đó, các khoảng nghỉ của xung quay số được phát hiện bởi các SLTU được chuyển đổi sang các chữ số bởi các bộ điều khiển.

Một dạng khác của SLTU cần thiết kết cuối các đường dây thuê bao số, nó vận chuyển một số các kênh từ các đơn vị kết cuối ISDN đặc biệt hay các đơn vị PABX số. Mặc dù các SLTU số không cần hỗ trợ các chuyển đổi analog sang digital hay từ 2 sang 4 dây, nhưng chúng phải kết cuối đường truyền dẫn số và chịu trách nhiệm kiểm thử cũng như các chức năng tách tín hiệu. Trung kế số và các mạch hợp nối số trong chuẩn PCM 24 hay 30 kênh kết cuối một cách trực tiếp trên khối chuyển mạch nhóm. Tuy nhiên, các tuyến số hoạt động qua các hệ thống truyền có thứ tự cao hơn trước hết phải được phân giải kênh xuống dạng PCM chuẩn tại các trạm truyền dẫn liên quan với tổng đài số SPC trước khi được kết cuối trên khối chuyển mạch nhóm (điều này không được trình bày trên hình 2.28).

Với các điều kiện ngoại lệ của thành phần một chiều DC (vòng và cắt vòng), nó được phát hiện bởi các SLTU và các bộ điều khiển của nó, tất cả các báo hiệu được kiểm soát bởi các nhóm truyền nhận chung. Truy cập giữa các đường dây thuê bao và các bộ thu đa tần (MF) được hỗ trợ qua khối chuyển mạch tập trung thuê bao. Điều này cũng hỗ trợ truy cập giữa một nhóm nhỏ các đơn vị âm hiệu (như các thông báo được ghi lại) và các đường dây thuê bao. Truy cập giữa các đường trung kế và các nhóm báo hiệu truyền nhận khác nhau trong báo hiệu đa tần, báo hiệu kênh liên kết (CAS) và báo hiệu kênh chung (CCS), được hỗ trợ bởi các khối chuyển mạch nhóm.

Thông tin giữa hệ thống tổng đài kỹ thuật số SPC và ban điều hành quản trị được hỗ trợ bởi các đầu cuối hoạt động theo chế độ lệnh, dùng phần mềm giao tiếp người máy – chạy trên hệ thống điều khiển tổng đài. Các đầu cuối này (ví dụ như VDUs và máy in) có thể đặt chung một chỗ với tổng đài hay đặt từ xa ngay tại các trung tâm bảo trì và điều hành.

## CHƯƠNG III

### KỸ THUẬT CHUYỂN MẠCH SỐ

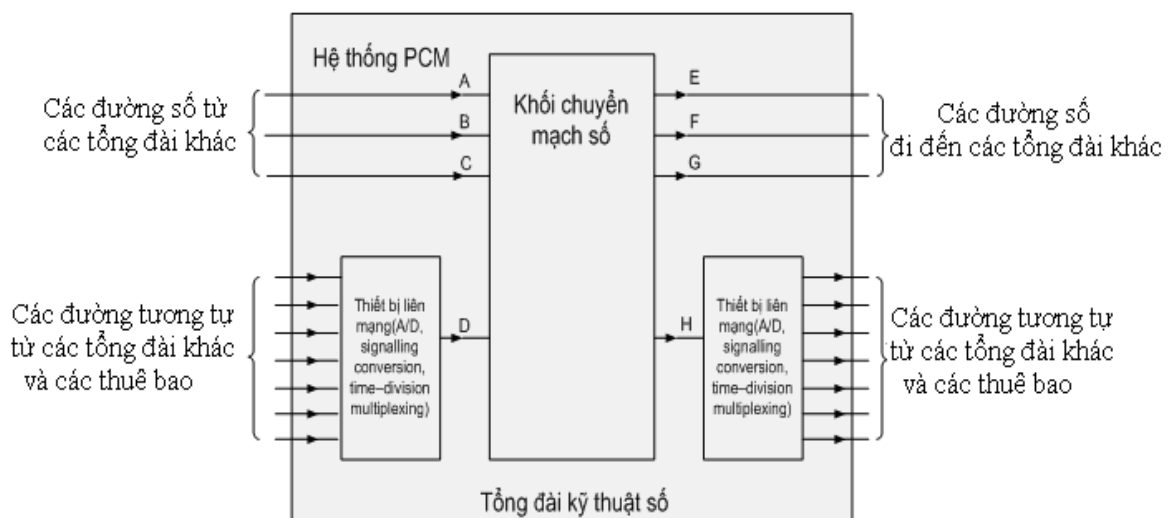
#### 3.1. Giới thiệu chung

Chuyển mạch số là quá trình liên kết các khe thời gian giữa một số các liên kết truyền dẫn kỹ thuật số TDM. Điều này cho phép các tuyến số 2Mbps hay 1,5 Mbps từ các tổng đài khác hay các PABX kỹ thuật số được kết cuối một cách trực tiếp trên chuyển mạch số, không cần chuyển đổi sang các kênh thoại thành phần cho chuyển mạch giống như trong một tổng đài tương tự. Sự bỏ bớt thiết bị như thế trên mỗi kênh làm cho chuyển mạch số được xem là có ưu điểm về giá cả và kích thước. Dĩ nhiên, bất cứ một mạch tương tự nào kết cuối trên tổng đài chuyển mạch số hoặc là các đường thuê bao hoặc là các mạch trung kế hay hợp nối, đều phải được chuyển sang dạng PCM trước khi vào các chuyển mạch số. Tương tự các mạch rời khỏi tổng đài trên các phương tiện truyền dẫn tương tự cũng phải được chuyển từ số sang tương tự ngay tại ngoại vi của khối chuyển mạch. Các chuyển đổi A/D và D/A này, cùng với bất kỳ sự chuyển đổi báo hiệu cần thiết nào được đảm trách bởi “*thiết bị liên mạng*”

Vai trò của thiết bị liên kết mạng được mô tả trong một kiến trúc tổng quát ở *hình 3.1*. Hình này trình bày các luồng số PCM nhập vào khối chuyển mạch một cách trực tiếp ngay mức ghép kênh, trong khi các mạch tương tự kết cuối tại mức mạch riêng trên thiết bị liên kết mạng. Do đó, thiết bị liên kết mạng đành phải chịu sự thất thoát ưu điểm về giá cả và kích thước so với một tổng đài chuyển mạch số. Đối với các tổng đài trong môi trường truyền dẫn tương tự chiếm ưu thế, điều này có thể là rất quan trọng. Giá cả liên kết mạng cao do các bộ A/D và D/A đắt tiền, khiến các ứng dụng thực tiễn đầu tiên của chuyển mạch số chỉ áp dụng trong các tổng đài trung kế và hợp nối suốt thời gian từ cuối thập niên 60 đến đầu thập niên 70. Các tổng đài như vậy hoạt động như là các mode chuyển mạch trung gian giữa các hệ thống đường truyền PCM, sau đó phát triển trong các mạng trung kế và hợp nối. Sự phát triển của các tổng đài cục bộ kỹ thuật số giá cả phù hợp phải đợi cho đến khi các hệ thống mã hóa tiếng nói rẻ tiền xuất hiện vào cuối thập niên 70, nhờ tối thiểu được giá cả liên mạng trên mỗi đường dây thuê bao.

Chương này tập trung chủ yếu vào cơ cấu của chuyển mạch số và cấu trúc của các khối chuyển mạch số thực tế. Các chức năng ngoại vi kết cuối thuê bao và các đường trung kế sẽ được xem xét chi tiết trong chương kế tiếp.

Trước khi xem xét chuyển mạch số, cần cân nhắc lại một số các thuật ngữ. Hệ thống chuyển mạch trong một tổng đài tùy trường hợp được gọi với tên khác nhau “chuyển mạch”, “mạng chuyển mạch”, “mạng chuyển mạch trung tâm” hay “khối chuyển mạch”. Để tránh nhầm lẫn với các thuật ngữ được dùng để mô tả các mạng điện thoại, trong tài liệu này dùng ‘chuyển mạch’ để mô tả một phần tử chuyển mạch, và ‘khối chuyển mạch’ để mô tả một nhóm các chuyển mạch. Ví dụ như ‘khối chuyển mạch’ tập trung thuê bao.



Hình 3.1. Vai trò của một khối chuyển mạch số

Một khối chuyển mạch số cung cấp các kết nối giữa một số các hệ thống PCM, mỗi hệ thống thuê bao gồm 30 hay 24 kênh trong một khung TDM. Các hệ thống PCM kết thúc tại khối chuyển mạch trên các ‘bus’ tốc độ cao. Trong môn ‘Kỹ thuật truyền dẫn’ đã mô tả các mẫu từ mỗi kênh hình thành nên các từ mã PCM 8 bit như thế nào, các từ mã này được truyền trong các khe thời gian trên một bus ngõ nhập vào một khe thời gian trên một bus ngõ ra. Mặc dù thuật ngữ “kênh” và “khe thời gian” là riêng biệt, nhưng chúng được dùng đồng nghĩa với nhau trong tài liệu. Để cho rõ ràng, sự mô tả này xem chuyển mạch số đơn giản như là các liên kết khe thời gian, tạm để lại phía sau các mô tả các dạng khác (như dữ liệu, báo hiệu, kiểm tra, quản trị) được truyền qua khe thời gian của kênh.

Ngay lúc này rất hữu ích khi xem xét một ví dụ đơn giản về kết nối xuyên qua một khối chuyển mạch. Tham khảo hình 3.1, xem xét một cuộc gọi được mang trong khe TS6 của hệ thống PCM A, nó yêu cầu kết nối đến tổng đài qua tuyến trung kế của hệ thống PCM F. Nếu TS6 rảnh trên hệ thống PCM F, thì kết nối có thể được thiết lập bằng cách liên kết hai hệ thống PCM trong khoảng thời

gian khi TS6 đến một cách đồng thời trên cả hai hệ thống. Quá trình này là một cuộc nối không gian đơn giản và được gọi là “chuyển mạch không gian số”.

Tuy nhiên, chỉ dựa vào chuyển mạch không gian trong một khối chuyển mạch số sẽ làm xuất hiện các vấn đề tắc nghẽn nghiêm trọng do nhiều khả năng hai hay nhiều cuộc gọi tranh chấp cùng một khe thời gian ngõ ra. Ví dụ tắc nghẽn sẽ xảy ra nếu TS6 của hệ thống PCM F đang bận (giả sử đang kết nối với TS6 của hệ thống PCM C) và do đó không sẵn sàng cho kết nối với TS6 của hệ thống PCM A. Sự tắc nghẽn này có thể tránh được bằng cách chọn một khe thời gian khác TS6 trên hệ thống PCM F cho cuộc gọi từ hệ thống A. Thông thường điều này có thể, bởi vì bất cứ khe thời gian tự do nào trên một tuyến đến một tổng đài đều thích hợp cho việc mang thông tin cuộc gọi. Kết nối giữa khe thời gian TS6 trên hệ thống PCM A với một vài khe thời gian khác trên hệ thống PCM F liên hệ không chỉ chuyển mạch không gian số giữa hai hệ thống PCM mà còn liên hệ với “chuyển mạch thời gian” giữa các khe thời gian khác nhau ở ngõ nhập và ngõ xuất. Các khối chuyển mạch thực tế thông thường dùng một tổ hợp chuyển mạch không gian và chuyển mạch thời gian.

Trong các phần sau đây, các chuyển mạch không gian và chuyển mạch thời gian được mô tả một cách riêng biệt trước khi sự tổ hợp chúng vào các khối chuyển mạch được xem xét. Các mô tả này giả sử rằng tất cả các hệ thống PCM kết thúc khối chuyển mạch được đồng bộ để tất cả các khe thời gian tương ứng đến một cách đồng thời xuyên qua các chuyển mạch. Do đó, trên hình 3.1 TS1 của hệ thống PCM A xảy ra đồng thời với các TS1 của các hệ thống B, C, D, E, F, G, H và TS1 của khối chuyển mạch. Chắc chắn hơn, giả sử rằng các kết nối xuyên qua các chuyển mạch đã được thiết lập; sự thiết lập đường dẫn chuyển mạch được xem ở mục 3.8

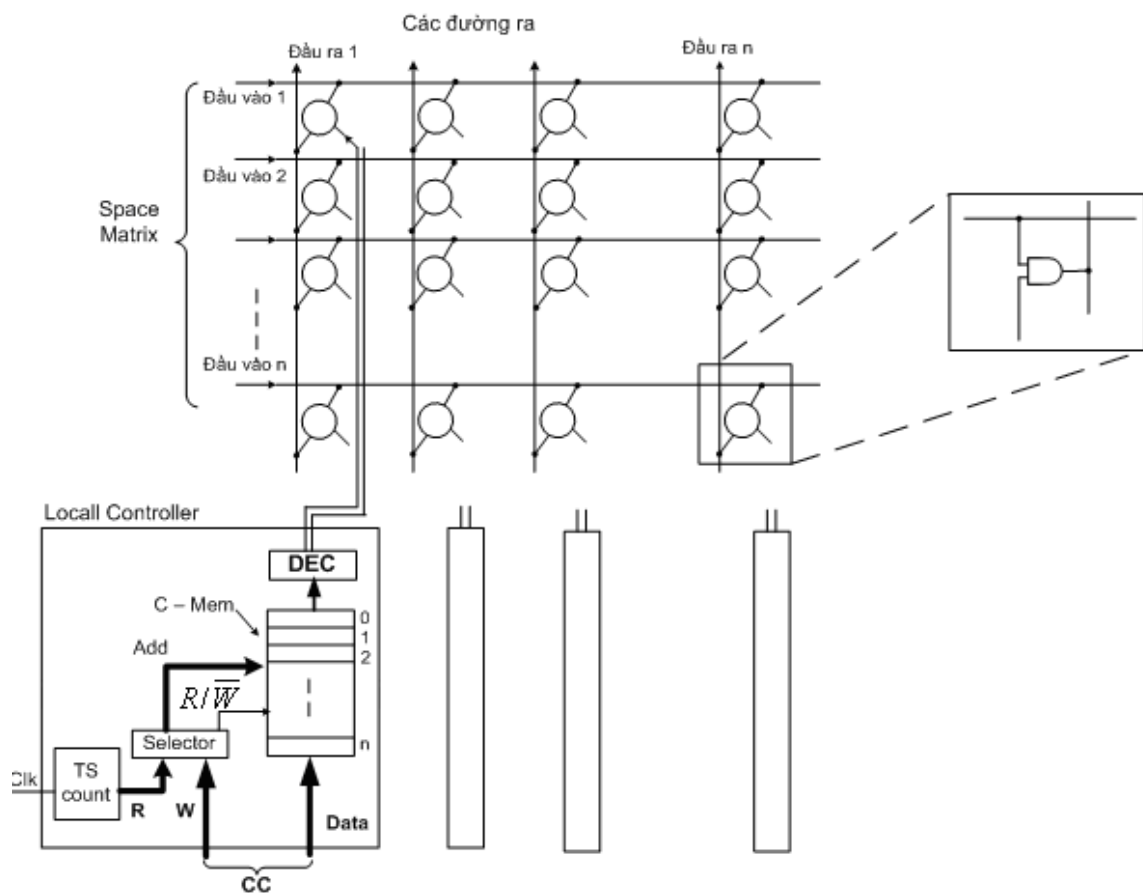
### 3.2. Chuyển mạch không gian kỹ thuật số

Tầng chuyển mạch không gian số S(Space Switch Stage) cấu tạo từ một ma trận chuyển mạch kích thước N đầu vào và M đầu ra vật lý. Lưu ý rằng đây là hệ thống TDM – số, do đó mỗi đường vật lý chứa n kênh thời gian mà chúng mang các tín hiệu PCM. Như vậy để kết nối một khe thời gian bất kỳ nào trong một đường PCM bất kỳ phía đầu vào của ma trận chuyển mạch tới khe thời gian tương ứng (nghĩa là có cùng mã số TS) của một đường PCM bất kỳ phía đầu ra của ma trận thì một điểm chuyển mạch thích hợp của ma trận chuyển mạch cần phải hoạt động trong suốt thời gian của TS đó và lặp lại với chu kỳ  $T = 125 \mu\text{s}$  trong suốt

quá trình tạo kênh. Trong các thời gian khác, vẫn điễm chuyển mạch đó có thể sử dụng cho các quá trình nối khác. Tương tự như vậy đối với tất cả các điễm chuyển mạch khác của ma trận có thể được sử dụng để thiết lập kênh nối cho các cuộc gọi khác nhau.

Chuyển mạch không gian tín hiệu TDM-số thường thiết lập đồng thời một số lượng lớn các cuộc nối qua ma trận với tốc độ tức thì trong một khung tín hiệu 125  $\mu$ sec, trong đó mỗi cuộc nối qua ma trận tồn tại trong thời gian của một khe thời gian TS. Một cuộc gọi điện thoại có thể kéo dài trong khoảng thời gian nhiều khung tín hiệu PCM (thông thường khoảng 1,2 – 2 triệu khung và tương ứng với khoảng từ 3-5 phút). Do vậy một kiểu điều khiển theo chu kỳ đơn giản cho một mẫu nối là cần thiết. Điều này dễ dàng đạt được nhờ một bộ nhớ RAM điều khiển cục bộ liên quan tới ma trận chuyển mạch không gian.

Hình 3.2 minh họa nguyên tắc cấu tạo và hoạt động của một tầng chuyển mạch không gian S. Chuyển mạch tầng S cấu tạo từ 2 thành phần cơ bản – Ma trận chuyển mạch và khối điều khiển chuyển mạch cục bộ.



Hình 3.2. Nguyên lý chuyển mạch tầng S

Ma trận chuyển mạch vuông kích thước  $N \times N$ , trong đó hàng dùng cho các đường PCM phía đầu vào và cột dùng cho các đường PCM phía đầu ra. Tại giao điểm của hàng và cột dấu nối điểm chuyển mạch và thông thường đó là cổng logic AND hay cổng logic 3 trạng thái. Chú ý rằng AND hay cổng logic ba trạng thái là mạch logic không nhớ, do vậy chuyển mạch cho cùng một khe thời gian giữa đầu vào và đầu ra của phần tử chuyển mạch. Các điểm chuyển mạch trong mỗi cột được điều khiển bởi một bộ nhớ điều khiển C-Mem(Control Memory).

Khối điều khiển cục bộ bao gồm bộ đếm khe thời gian TS-Counter, bộ chọn địa chỉ Selector và bộ nhớ điều khiển C-Mem để thực hiện chức năng điều khiển cục bộ ma trận chuyển mạch. Bộ nhớ C-Mem lưu trữ các số liệu liên quan tới các điểm chuyển mạch tương ứng với các khe thời gian TS trong khung tín hiệu đã cho.

Mã địa chỉ nhị phân được gán cho mỗi điểm chuyển mạch trong một cột. Mỗi địa chỉ thích hợp sau đó sẽ được sử dụng để chọn một điểm chuyển mạch yêu cầu để thiết lập cuộc nối giữa một đầu vào với một đầu ra của ma trận chuyển mạch. Các địa chỉ chọn này được nhớ trong bộ nhớ điều khiển C-Mem theo thứ tự khe thời gian tương ứng với với biểu đồ thời gian kết nối hiện thời. Như vậy đối với cột 1, địa chỉ của điểm chuyển mạch sẽ được thông mạch trong thời gian TS0 sẽ được nhớ trong ô nhớ có địa chỉ 0 của C-Mem cho cột, địa chỉ của điểm chuyển mạch sẽ thông mạch trong khe thời gian TS1 sẽ được nhớ trong ô nhớ địa chỉ 1. Tương tự như vậy đối với tất cả các địa chỉ khác trong tầng chuyển mạch.

Độ dài của các ô nhớ C-Mem được xác định trên cơ sở địa chỉ nhị phân của các điểm chuyển mạch trong cột, nghĩa là có  $\log_2 N$  (số nguyên lớn hơn nhỏ nhất) bits, còn số lượng ô nhớ của C-Mem bằng số lượng khe thời gian TS có trong một khung tín hiệu của đường TDM số. Ngay sau khi bộ nhớ điều khiển C-Mem được nạp số liệu các địa chỉ của các điểm chuyển mạch trong cột, thì quá trình điều khiển chuyển mạch có thể thực hiện bằng cách đọc các nội dung của mỗi ô nhớ C-Mem trong thời gian thích hợp tương ứng với khe thời gian yêu cầu, sử dụng các số liệu địa chỉ đó để chọn điểm chuyển mạch cần thiết mà nó sẽ thông mạch trong thời gian của TS nêu trên. Quá trình này sẽ được tiếp tục lặp lại cho tới khi tất cả các ô nhớ của C-Mem được đọc và các điểm chuyển mạch được điều khiển một cách thích hợp. Tiếp theo thủ tục này sẽ được lặp lại với số chu kỳ  $T = 125 \mu\text{s}$ , bắt đầu với ô nhớ đầu tiên của C-Mem. Mỗi chu kỳ là một khung của Format tín hiệu số sử dụng và trong thời gian đó tổ hợp mã tín hiệu PCM từ mỗi khe thời

gian đầu vào có thể sẽ được chuyển mạch tới một khe thời gian thích hợp tại một đầu ra xác định.

Từ hình vẽ *Hình 3.2* ta có thể nhận thấy rằng mỗi C-Mem chỉ điều khiển một cột của ma trận và do đó cách trang bị này gọi là điều khiển đầu ra. Tất nhiên cũng có thể trang bị điều khiển theo đầu vào.

Khảo sát phân tích cấu tạo và hoạt động của chuyển mạch số tầng S trên đây đã chỉ rõ rằng chuyển mạch tầng S có vấn đề nghiêm trọng do hiện tượng blocking gây ra do xác suất tranh chấp lớn khi có hai hay nhiều cuộc gọi cùng xuất hiện ở các đầu vào khác nhau nhưng cùng muốn chiếm cùng một khe thời gian trong luồng PCM đầu ra của ma trận chuyển mạch. Hiện tượng blocking có thể được khắc phục bằng cách tìm chọn các khe thời gian rỗi khác nhau, điều này có thể thực hiện được bởi vì bất kỳ khe thời gian rỗi nào trong hướng đã cho cũng có thể dùng cho cuộc gọi xác định. Ngoài ra dùng kết hợp giữa chuyển mạch tầng S với chuyển mạch tầng T (Time Switch Stage) vừa có thể phát triển dung lượng khối chuyển mạch vừa giảm được hiện tượng blocking.

Sau đây chúng ta sẽ khảo sát một ví dụ để mô tả nguyên tắc hoạt động chuyển mạch tạo kênh của tầng S. Ví dụ mô tả hoạt động của tầng S phục vụ cho một cuộc nối giữa TS0 của luồng tín hiệu PCM1 đầu vào với TS0 của luồng tín hiệu PCM1 phía đầu ra. Căn cứ vào yêu cầu chuyển mạch cụ thể đã cho, trước hết hệ thống điều khiển trung tâm CC(Central Control) của tổng đài sẽ tạo các số liệu điều khiển để nạp vào bộ nhớ C-Mem của tầng S. Từ *hình 4.2* ta thấy điểm chuyển mạch duy nhất có thể đảm bảo cho yêu cầu kết nối PCM1 phía đầu vào với PCM1 phía đầu ra là  $AND_{11}$ , do đó CC tạo mã địa chỉ nhị phân cho phần tử  $AND_{11}$  này. Mà theo yêu cầu phải thực hiện chuyển mạch cho khe thời gian TS0 do vậy CC sẽ chiếm ô nhớ có địa chỉ mã nhị phân 0 tương ứng của C-Mem. Các số liệu cơ bản đã có CC nạp địa chỉ nhị phân  $AND_{11}$  vào ô nhớ 0 của C-Mem tầng S, xong rồi nó giao quyền điều khiển cho khối điều khiển cục bộ(Locall Controller) điều khiển trực tiếp quá trình tiếp theo.

Để đảm bảo cho tầng chuyển mạch S hoạt động chính xác, yêu cầu tín hiệu đồng hồ phải hoàn toàn đồng bộ với thời điểm bắt đầu của mỗi khe thời gian TS trong khung tín hiệu PCM được sử dụng.

Như vậy, khi bắt đầu một khung tín hiệu PCM tín hiệu đồng hồ thứ nhất tác động vào bộ đếm khe thời gian TS-Counter làm cho bộ đếm này thiết lập trạng thái 0 có mã nhị phân tương ứng với địa chỉ ô nhớ 0 của C-Mem, nhờ bộ chọn địa

chỉ Selector mã trạng thái này được đưa tới BUS địa chỉ của bộ nhớ C-Mem. Đồng thời với việc tạo mã địa chỉ, Selector tạo ra tín hiệu điều khiển đọc đưa tới C-Mem, do đó nội dung chứa trong ô nhớ 0 được đưa ra thanh ghi giải mã. Vì nội dung này lại chính là địa chỉ của phần tử chuyển mạch  $AND_{11}$ , do đó đã tạo được tín hiệu điều khiển đi kèm chuyển mạch này, nhờ đó tín hiệu PCM chứa trong khe thời gian TS0 của PCM1 phía đầu vào được chuyển qua phần tử chuyển mạch  $AND_{11}$  để hướng tới PCM1 ở phía đầu ra của ma trận chuyển mạch S, tức là đã thực hiện chức năng chuyển mạch.

Kết thúc thời gian của TS0, xung đồng hồ thứ 2 tác động vào TS-Counter làm nó chuyển sang trạng thái 1 có mã nhị phân tương ứng với địa chỉ ô nhớ 1 của C-Mem. Như vậy kết thúc việc tạo tín hiệu điều khiển cho  $AND_{11}$  đối với quá trình chuyển mạch cho TS0 theo yêu cầu. Tương tự như vậy đối với các khe thời gian tiếp theo và thủ tục được lặp lại với chu kỳ  $T = 125 \mu s$  trong suốt quá trình thiết lập nối cho cuộc gọi đang xét.

Khi cuộc gọi kết thúc CC nhận biết và nó sẽ giải phóng cuộc nối một cách đơn giản bằng hoạt động xóa số liệu đã ghi vào C-Mem như đã nêu khi bắt đầu cuộc gọi. Trong các tầng chuyển mạch S thực tế, các bits tín hiệu PCM thường được ghép kênh tạo luồng tốc độ cao và biến đổi thành dạng song song trước khi qua tầng S. Ví dụ như luồng tín hiệu số PCM 32 với tốc độ truyền bit nổi tiếng là 2,048 Mbit/s được mang trong đôi dây đơn đưa tới bộ biến đổi nối tiếp – song song.

### 3.3. Chuyển mạch thời gian số

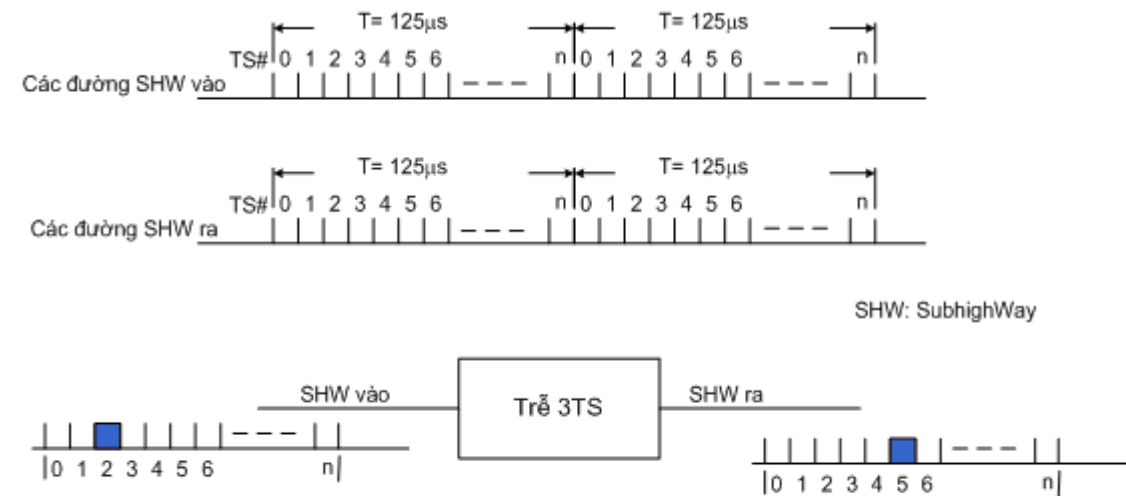
Chúng ta nhận thấy rằng cấu tạo và hoạt động của chuyển mạch tầng S chỉ thực hiện cho các quá trình chuyển mạch có cùng chỉ số khe thời gian giữa đường PCM vào và đường PCM ra. Trong trường hợp tổng quát có yêu cầu trao đổi khe thời gian giữa đầu vào và đầu ra khác nhau thì phải ứng dụng tầng chuyển mạch thời gian T (Time Switch Stage)

Trên hình 3.3 dưới đây minh họa quá trình trao đổi khe thời gian giữa TS2 và TS5 cho hai khung liên tiếp nhau giữa đường PCM vào và PCM ra của tầng chuyển mạch T.

Vì các khe thời gian TS được sắp xếp liên tiếp nhau theo thứ tự tăng dần, do vậy để trao đổi thông tin giữa các khe thời gian TS2 và TS5, tín hiệu PCM trong TS2 cần phải được lưu tạm thời tại tầng T trong khoảng thời gian 3 TS trong cùng



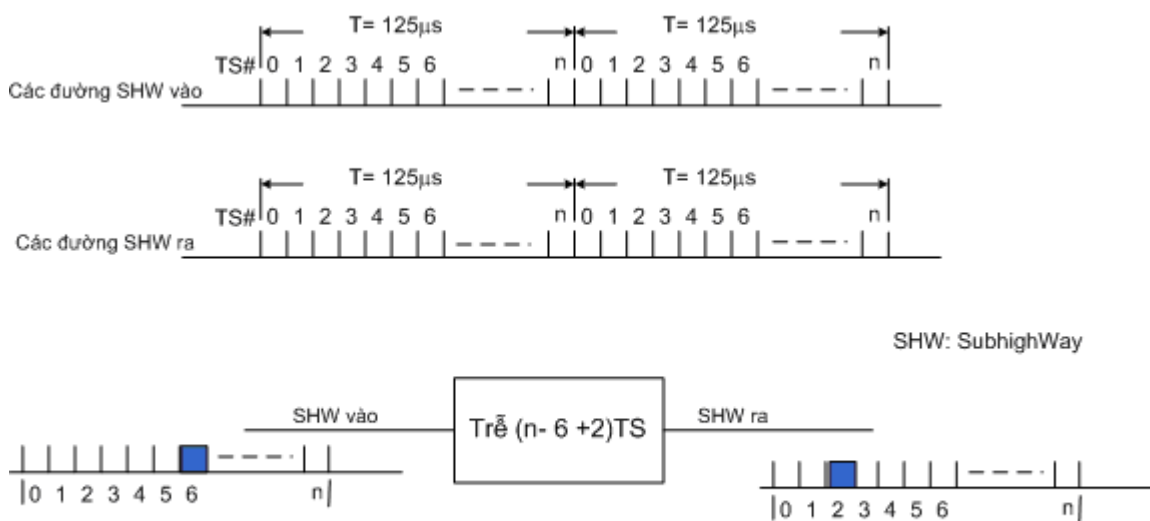
một khung, sau đó vào khe thời gian của TS5, tín hiệu PCM được đưa ra đường PCM phía đầu ra của tầng chuyển mạch.



**Hình 3.3. Trao đổi khe thời gian**

Trong trường hợp nếu cần chuyển mạch giữa khe thời gian ở đầu ra với khe thời gian có chỉ số lớn hơn ở phía đầu vào, ví dụ TS6 và TS2 như minh minh họa trên *hình 3.4* thì tín hiệu không thể trễ trong cùng một khung mà phải trễ tới khung tiếp theo, cụ thể là  $(n-6) + 2$  khe thời gian.

Như vậy, về nguyên tắc đối với tín hiệu số có nhiều cơ chế để tạo độ trễ thời gian theo yêu cầu song với những tính năng ưu việt của công nghệ vi mạch hiện đại về tốc độ và giá thành, ngày nay bộ nhớ RAM được sử dụng trong tất cả các hệ thống chuyển mạch số DSS(Digital Switching System)



**Hình 3.4. Nguyên lý chuyển mạch thời gian**

Nguyên lý cấu tạo của chuyển mạch tầng T bao gồm 02 thành phần chính là bộ nhớ tin S-Mem (Speak Memory) và bộ nhớ điều khiển C-Mem như hình 3.5 minh họa dưới đây. Chức năng cơ bản của S-Mem là để nhớ tạm thời các tín hiệu PCM chứa trong mỗi khe thời gian phía đầu vào để tạo độ trễ thích hợp theo yêu cầu mà nó có giá trị từ nhỏ nhất là  $1TS$  tới cực đại là  $(n-1)TS$ .

Nếu việc ghi các tín hiệu PCM chứa trong các khe thời gian TS phía đầu vào của tầng chuyển mạch T vào S-Mem được thực hiện một cách tuần tự thì có thể sử dụng một bộ đếm nhị phân Module(n) cùng với bộ chọn rất đơn giản để điều khiển. Lưu ý rằng khi đó tín hiệu đồng hồ phải hoàn toàn đồng bộ với các thời điểm đầu của TS trong khung tín hiệu PCM được sử dụng trong hệ.

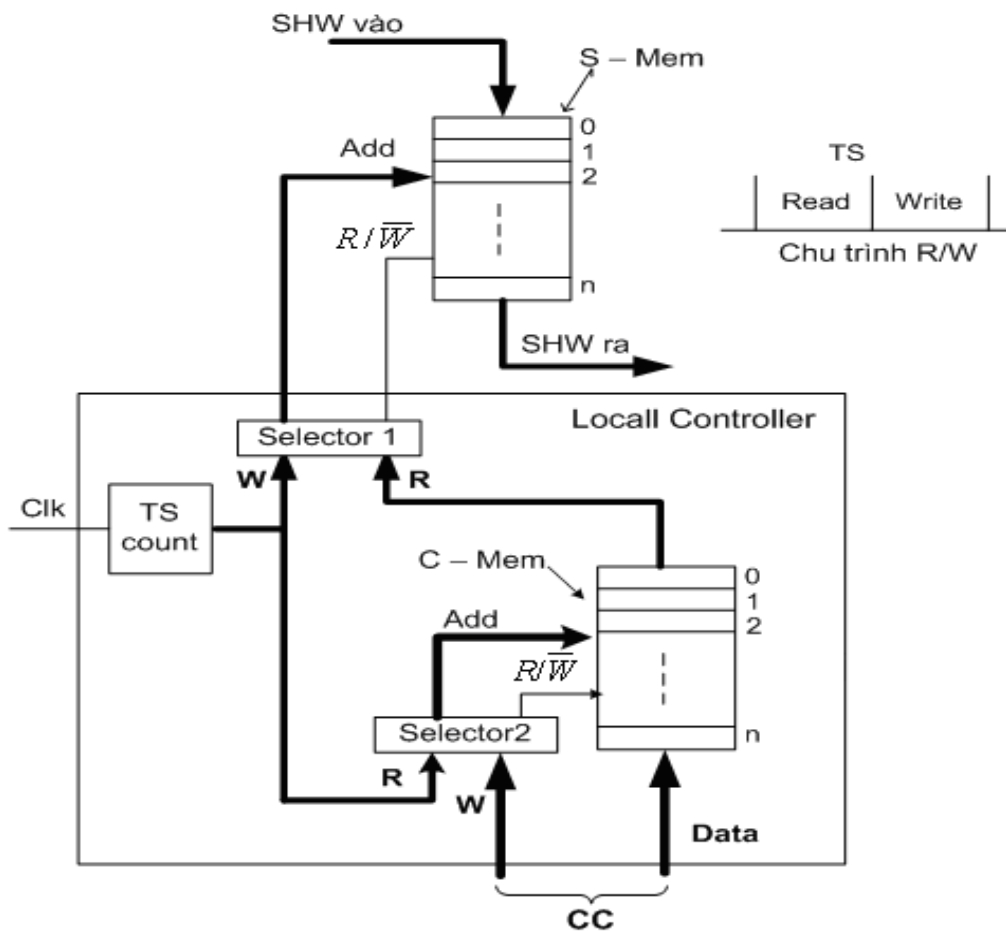
Bộ nhớ C-Mem có chức năng dùng để điều khiển quá trình đọc thông tin đã lưu đệm tại S-Mem. Cũng như C-Mem trong chuyển mạch tầng S, bộ nhớ C-Mem của tầng T cũng có n ô nhớ bằng số lượng khe thời gian trong khung tín hiệu PCM sử dụng. Trong thời gian mỗi TS, C-Mem điều khiển quá trình đọc một ô nhớ tương ứng thích hợp trong T-Mem. Như vậy hiệu quả trễ của tín hiệu PCM của T-Mem được xác định một cách rõ ràng rành mạch bởi hiệu số giữa các khe thời gian ghi và đọc tín PCM ở bộ nhớ S-Mem. Thật là thú vị từ cơ chế chuyển mạch nêu trên ta nhận thấy rằng tầng chuyển T hoạt động không bình thường trong cách phân chia thời gian. Cùng một bộ nhớ C-Mem, các ô nhớ được sử dụng một cách độc quyền cho một cuộc gọi xác định trong suốt thời gian của cuộc nói. Như vậy chúng ta có điều nghịch lý rằng chuyển mạch không gian S được phân chia thời gian trong khi đó chuyển mạch thời gian T lại được phân chia theo không gian.

Để hiểu nguyên lý hoạt động của chuyển mạch thời gian T, ta sẽ xét ví dụ sau đây. Giả sử có yêu cầu chuyển mạch phục vụ cho cuộc nói giữa TS5 của luồng tín hiệu PCM đầu vào với TS9 của luồng tín hiệu PCM đầu ra của chuyển mạch tầng T như minh họa hình 3.5.

Căn cứ yêu cầu chuyển mạch, hệ thống điều khiển trung tâm CC của tổng đài sẽ tạo các số liệu điều khiển cho tầng T. Để thực hiện điều này CC của tổng đài sẽ nạp số liệu về địa chỉ nhị phân ô nhớ số 5 của T-Mem vào ô nhớ số 9 của C-Mem, sau đó CC giao quyền điều khiển cục bộ cho chuyển mạch tầng T trực tiếp thực hiện quá trình trao đổi khe thời gian theo yêu cầu chuyển mạch.

Tiếp theo để cho quá trình mô tả được hoàn toàn xác định và dễ theo dõi, chúng ta khảo sát từ thời điểm bắt đầu TS0 của khung tín hiệu PCM. Quá trình ghi thông tin PCM chứa trong các khe thời gian phía đầu vào bộ nhớ S-Mem được

thực hiện một cách lần lượt và đồng bộ nhờ hoạt động phối hợp giữa bộ đếm khe thời gian TS-Counter và bộ chọn địa chỉ Selector1. Cụ thể là khi bắt đầu khe thời gian TS0, tín hiệu đồng hồ tác động vào TS-Counter làm nó thiết lập trạng thái 0 để tạo tổ hợp mã nhị phân tương ứng với địa chỉ mã nhị phân ô nhớ 0 của S-Mem. Bộ chọn địa chỉ Selector 1 được sử dụng để điều khiển đọc hay ghi bộ nhớ S-Mem(RAM), trong trường hợp này nó chuyển mã địa chỉ này vào Bus địa chỉ Add của S-Mem đồng thời tạo tín hiệu điều khiển ghi W, do vậy tổ hợp mã tín hiệu PCM chứa trong khe thời gian TS0 của luồng số đầu



Hình 3.5. Chuyển mạch tầng T

vào được ghi vào ô nhớ số 0 của S-Mem. Kết thúc thời gian TS0 cũng là bắt đầu TS1 song đồng hồ lại tác động vào TS-Counter làm cho nó chuyển sang trạng thái 1 để tạo địa chỉ nhị phân cho ô nhớ số 1 của S-Mem. Selector1 chuyển số liệu này vào Bus địa chỉ của S-Mem, đồng thời tạo tín hiệu điều khiển ghi W do đó tổ hợp mã tín hiệu PCM trong khe thời gian TS1 của luồng số đầu vào được ghi vào ô nhớ 1 của S-Mem. Quá trình xảy ra tương tự đối với các khe thời gian TS2, TS3, TS4, TS5 và tiếp theo cho tới khe thời gian cuối cùng TS<sub>n</sub> của khung. Sau đó tiếp tục lặp lại cho các khung tiếp theo trong suốt thời gian thiết lập cuộc nối yêu cầu.

Bắt đầu khe thời gian TS9, tín hiệu đồng hồ tác động vào TS-Counter làm nó chuyển trạng thái tạo mã nhị phân tương ứng địa chỉ ô nhớ số 9 của C-Mem. Bộ chọn địa chỉ Selector2 chuyển số liệu này vào Bus địa chỉ của C-Mem đồng thời tạo tín hiệu điều khiển đọc R cho bộ nhớ C-Mem; kết quả là nội dung chứa trong ô nhớ số 9 của C-Mem được đưa ra ngoài hướng tới Bus địa chỉ đọc phía đầu vào của Selector1. Vì nội dung của ô nhớ số 9 C-Mem là địa chỉ nhị phân của ô nhớ số 5 của S-Mem do vậy bộ chọn địa chỉ Selector1 chuyển địa chỉ này vào Bus địa chỉ của S-Mem, đồng thời nó tạo được tín hiệu điều khiển đọc R của S-Mem. Kết quả là nội dung chứa trong ô nhớ số 5 của S-Mem được đưa ra ngoài vào khoảng thời gian của khe thời gian TS9, nghĩa là đã thực hiện đúng chức năng chuyển mạch yêu cầu cho trước. Quá trình tiếp tục lặp lại như trên với chu kỳ 125 ns với các khung tiếp theo cho tới khi kết thúc cuộc nói.

Cơ chế hoạt động của chuyển mạch tầng T như đã trình bày trên đây là quá trình ghi tín hiệu PCM vào S-Mem được thực hiện một cách tuần tự, còn quá trình ghi tín hiệu PCM vào S-Mem được thực hiện theo yêu cầu theo cách ngẫu nhiên. Chế độ làm việc như vậy của chuyển mạch tầng T gọi là “ghi tuần tự đọc ngẫu nhiên” viết tắt là SWRR(Sequential Write Random Read). Ngoài chế độ SWRR trong thực tiễn còn phải sử dụng chế độ “ghi ngẫu nhiên, đọc tuần tự” RWSR(Random Write Sequential Read) mà chúng ta sẽ khảo sát khi mô tả cấu trúc và hoạt động của tầng chuyển mạch số ghép kết hợp T-S-T sau này.

### **3.4. Các cấu trúc của các khối chuyển mạch số dung lượng lớn**

#### **3.4.1. Giới thiệu chung**

Trong các ứng dụng thực tế của các khối chuyển mạch tín hiệu số ta thường phải giải quyết hai vấn đề quan trọng là chất lượng dịch vụ QoS(Quality of Service) và dung lượng cần thiết của khối chuyển mạch yêu cầu. Chất lượng phục vụ chủ yếu phụ thuộc vào hiện tượng blocking và hiện tượng này với xác suất khá lớn khi chỉ sử dụng các chuyển mạch tầng S. Đối với tầng T như đã mô tả trên đây nó có thể đảm bảo chức năng chuyển mạch không blocking cho tất cả các khe thời gian trong luồng tín hiệu tốc độ cao PCM mà nó đảm nhiệm phục vụ. Ví dụ với hệ thống 32 luồng PCM 30/32 được ghép kênh số thành một luồng cao tốc PCM 1024 TS hướng tới chuyển mạch tầng T đơn lẻ thì tất cả 1024 TS có thể được kết nối một cách tự do mà không gây hiện tượng blocking. Nếu một trường chuyển mạch được xây dựng bằng một tầng T như vậy thì dung lượng thực tế của nó là 512 TS( $1024/2$ ) để thực hiện kết nối các kênh PCM theo cả hai chiều thu/phát.

Tuy vậy, trong các ứng dụng thực tế ở tổng đài nội hạt, trường chuyển mạch ngoài việc tạo kênh cho kênh thoại còn phải tạo kênh cho báo hiệu và điều khiển. Do đó, với một tầng T đơn thì trường chuyển mạch chỉ bảo đảm được khoảng 450 thuê bao nghĩa là dung lượng tổng đài quá nhỏ.

Ngoài ra đối với công nghệ chế tạo khi kích thước tầng S tăng lên thì số lượng chân ra của vi mạch cũng sẽ rất lớn gây khó khăn chế tạo vi mạch. Còn việc tăng dung lượng của trường chuyển mạch tầng T thì bị hạn chế bởi công nghệ chế tạo vi mạch nhớ RAM và các mạch logic điều khiển liên quan. Như vậy việc tăng dung lượng trường chuyển mạch số để đảm bảo cho số lượng thuê bao và trung kế lớn tùy ý theo yêu cầu chỉ còn cách phải xây dựng trường chuyển mạch sử dụng kết hợp sử dụng kết hợp các trường chuyển mạch tầng T và S tiêu chuẩn. Có rất nhiều phương pháp ghép kết hợp giữa các trường chuyển mạch tầng S và T, ví dụ như T-S, S-T, S-T-S, T-S-T, T-S-S-T,...

Do có khả năng tiếp thông hoàn toàn và không có hiện tượng blocking nên người ta mong muốn chỉ sử dụng một tầng T. Tuy vậy một tầng T chỉ dùng làm khối chuyển mạch không blocking có dung lượng tối đa 1024TS. Với cấu trúc hai tầng T-S và S-T chỉ thích hợp cho các tầng chuyển mạch dung lượng nhỏ và vừa. Nhưng với phương án này xác suất blocking sẽ tăng nhanh cùng với sự gia tăng dung lượng của tầng chuyển mạch S. Do vậy ở các tổng đài dung lượng vừa và lớn nhằm mục tiêu giảm blocking và tăng dung lượng khối chuyển mạch người ta thường dùng cấu trúc ba tầng.

Trước đây, cấu trúc S-T-S được sử dụng nhưng từ cuối thập niên 70 trở lại đây cấu trúc T-S-T chiếm ưu thế hơn và ngày nay cấu trúc này được sử dụng rộng rãi nhất. Sở dĩ trước đây người ta sử dụng S-T-S là vì với trình độ công nghệ lúc đó để tránh chi phí lớn cho tốc độ hoạt động cao của vi mạch. Ngày nay các ưu điểm về tốc độ cao của RAM đã bù lại được về chi phí giá thành cho cả hai công nghệ chuyển mạch S và chuyển mạch T do đó mà cấu trúc T-S-T được ưa chuộng hơn.

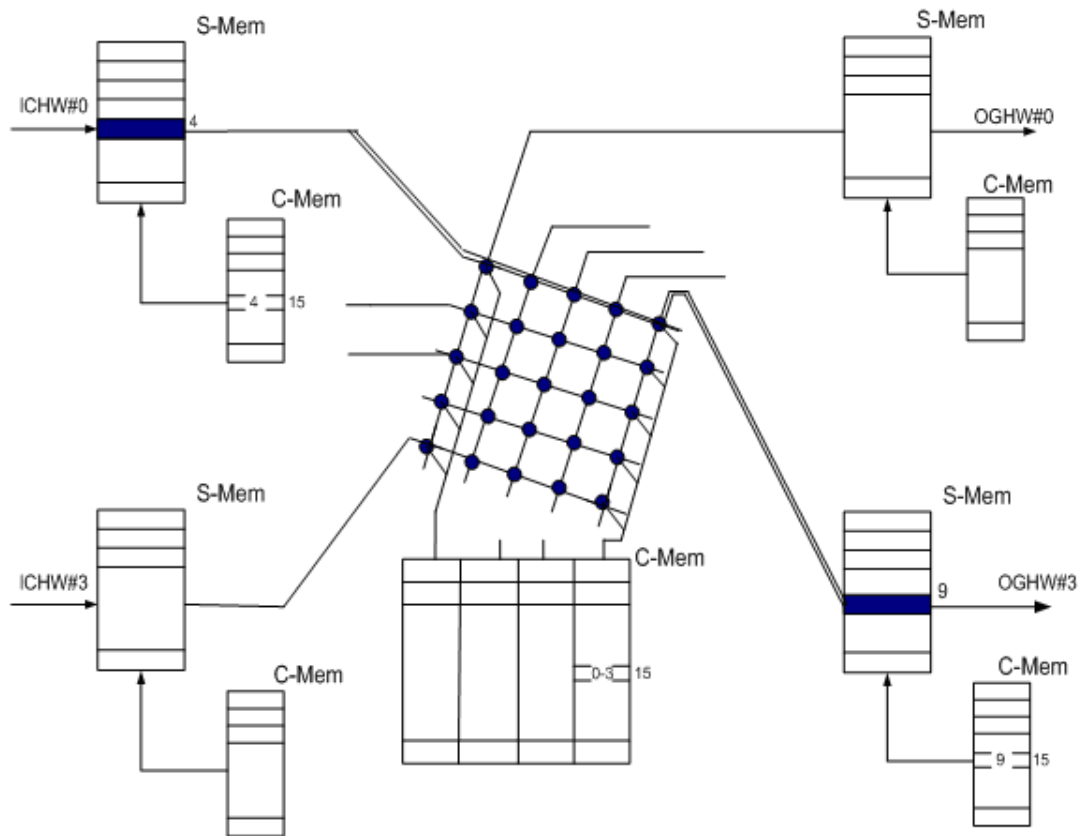
Trong các tổng đài dung lượng cực lớn, các trường chuyển mạch tầng S có tác dụng chia nhỏ trường chuyển mạch thành một số tầng thành phần nhằm hạn chế kích thước của chúng do đó các cấu trúc 4 hoặc 5 tầng T-S-S-T hoặc T-S-S-S-T đã được ứng dụng. Lưu ý rằng việc sử dụng cấu trúc trường chuyển mạch tầng S đa tầng giảm được tổng chi phí giá thành nhưng sẽ tăng chi phí để giải quyết vấn đề blocking.

Theo lý thuyết cấu trúc chuyển mạch T-S-T có hệ số tập trung là 1:1 có thể bảo đảm không xảy ra blocking nếu số lượng khe thời gian nội bộ qua tầng chuyển mạch S là  $2n-1$ , trong đó  $n$  là số lượng khe thời gian ở trong các luồng PCM vào và ra của tầng chuyển mạch T ngoại vi. Tuy vậy thậm chí là cả khi mà số lượng khe thời gian trong và ngoài bằng nhau thì chất lượng phục vụ QoS vẫn rất tốt (khoảng  $3.10^{-17}$  cho kênh có lưu lượng 0,7 Erl và sẽ tăng lên tới  $4,7.10^{-8}$  khi lưu lượng kênh là 0,8 Erl). Hơn nữa, do không phải tất cả các khe thời gian ngoài ở luồng PCM được sử dụng để truyền tải lưu lượng mã số khe thời gian nội thường luôn luôn có sẵn cho việc định tuyến lưu lượng qua chuyển mạch tầng S và lớn hơn so với số lượng khe thời gian TS ngoài, nhờ đó mà thậm chí cả với những kênh lưu lượng cao 0,8 Erl chất lượng dịch vụ QoS của T-S-T vẫn có thể có giá trị từ  $10^{-8}$  đến  $10^{-10}$ .

Tóm lại việc lựa chọn cấu trúc cụ thể phụ thuộc vào nhiều yếu tố như độ phức tạp, kích thước trường chuyển mạch, lưu lượng phục vụ, kích thước Module, khả năng kiểm tra đo thử bảo dưỡng, mở rộng dung lượng,... Trong các cấu trúc ghép các tầng chuyển mạch thì cấu trúc T-S-T được sử dụng rộng rãi nhất và nó được thiết kế dưới dạng các Module có kích thước phù hợp với công nghệ, ứng dụng thực tế và dễ phát triển, dễ vận hành và bảo dưỡng.

#### **3.4.2. Khối chuyển mạch T-S-T**

Khối chuyển mạch số cấu trúc T-S-T cấu tạo từ 3 tầng chuyển mạch T1, S và T2 kết nối với nhau như minh họa trên *hình 3.6*.



Hình 3.6. Trường chuyển mạch số T-S-T

Tầng chuyển mạch thời gian T1 phía đầu vào kết nối khe thời gian vào với một khe thời gian rồi nào đó trong đường Bus dẫn tới đầu vào của tầng chuyển mạch không gian S. Trong khi đó tầng chuyển mạch thời gian T2 phía đầu ra kết nối khe thời gian đã được chọn từ chuyển mạch tầng S tới khe thời gian ra yêu cầu. Như vậy cuộc gọi được kết nối qua trường chuyển mạch có thể được định tuyến qua tầng S với bất kỳ khe thời gian thích hợp nào.

Phù hợp với tính chất ứng dụng của các luồng ghép kênh số cao tốc PCM từ bên ngoài vào/ra khỏi chuyển mạch T-S-T, các chuyển mạch thời gian ở tầng T1 làm việc theo chế độ SWRR còn các chuyển mạch thời gian tầng T2 ngược lại làm việc theo chế độ RWSR. Ngoài ra ưu điểm của chế độ hoạt động được lựa chọn trên đây làm cho việc điều khiển nội bộ khối chuyển mạch trở nên rõ ràng, đơn giản và dễ thực hiện hơn. Thông thường dung lượng của các chuyển mạch thời gian T khoảng 1024 TS, còn kích thước của ma trận chuyển mạch S là 8x8, 16x16 và 64x64 đường cao tốc HW(HighWay).

Để giải thích quá trình thực hiện nhiệm vụ chuyển mạch của khối chuyển mạch số cấu trúc T-S-T trên hình 3.6 đã chỉ rõ các số liệu điều khiển mà CC đã tạo và nạp vào các C-Mem để điều khiển quá trình chuyển mạch phục vụ cho cuộc

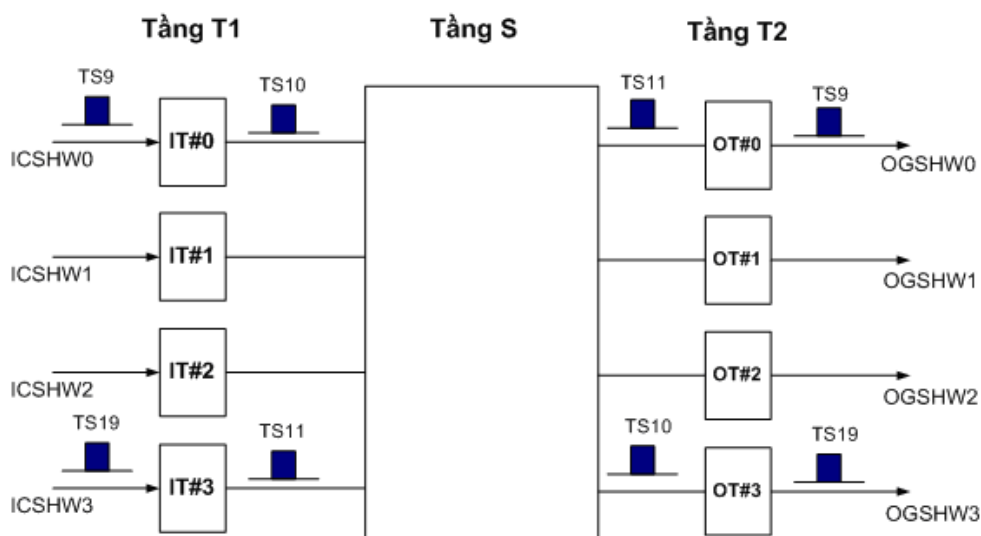
nối giữa khe thời gian TS4 của luồng số cao tốc đầu vào 0 ICHW#0 với khe thời gian TS9 của luồng tín hiệu PCM cao tốc đầu ra 2 OGHW#3 qua khe thời gian trung gian TS15 ở tầng chuyển mạch không gian S.

### 3.4.3. Khối chuyển mạch kênh 2 hướng

Ứng dụng các tầng chuyển mạch như đã trình bày trên đây có thể xây dựng khối chuyển mạch đơn hướng có kích thước bất kỳ. Tuy nhiên, trong thực tế luôn luôn có nhu cầu phải thiết lập kênh song hướng qua các tầng chuyển mạch chỉ dẫn tín hiệu một chiều. Để giải quyết yêu cầu này ngày càng cần phải sử dụng hai đường dẫn một chiều kết hợp để tạo thành một đường dẫn hai chiều. Có hai phương pháp được sử dụng để thực hiện nhiệm vụ nêu trên:

- Đường dẫn thứ hai được thiết kế một cách hoàn toàn độc lập với đường dẫn thứ nhất
- Cả hai đường dẫn được thiết lập phối hợp cùng nhau.

Để thấy rằng ở phương pháp thứ nhất sẽ cho độ linh hoạt của hệ thống cao hơn, trong khi đó phương pháp thứ hai lại làm cho hệ thống có khả năng tiết kiệm phần cứng hơn nhờ tính đối xứng của thiết bị chuyển mạch. Mặt khác điều khiển ở phương pháp thứ hai cũng đơn giản hơn vì việc tìm chọn đường nối cho cả hai hướng được thực hiện trong một phép tìm chọn trong khi đó với phương pháp thứ nhất yêu cầu hai phép tìm chọn riêng biệt cho mỗi hướng truyền dẫn. Hình 3.7 minh họa nguyên tắc của khối chuyển mạch theo phương án thứ nhất.



Hình 3.7. Khối chuyển mạch TST hai hướng



Giả sử theo yêu cầu phải chuyển mạch cho cuộc nối giữa TS9 ICHW#0 với TS19 OGHW#3 (như hình 3.7). Để thực hiện kết nối cho quá trình trên trước hết CC tìm chọn một khe thời gian trung gian (nội bộ) rồi để kết nối chuyển mạch thời gian phía đầu vào IT#0 với chuyển mạch thời gian phía đầu ra OT#3 qua chuyển mạch không gian S. Giả thiết tại thời điểm đó trong Bus PCM nội bộ tầng S các khe thời gian TS10 và TS11 là rỗi do vậy CC có thể chọn các khe thời gian này làm khe trung gian cho cuộc gọi. CC sẽ lệnh nạp các số liệu thích hợp vào các bộ nhớ C-Mem cụ thể như sau:

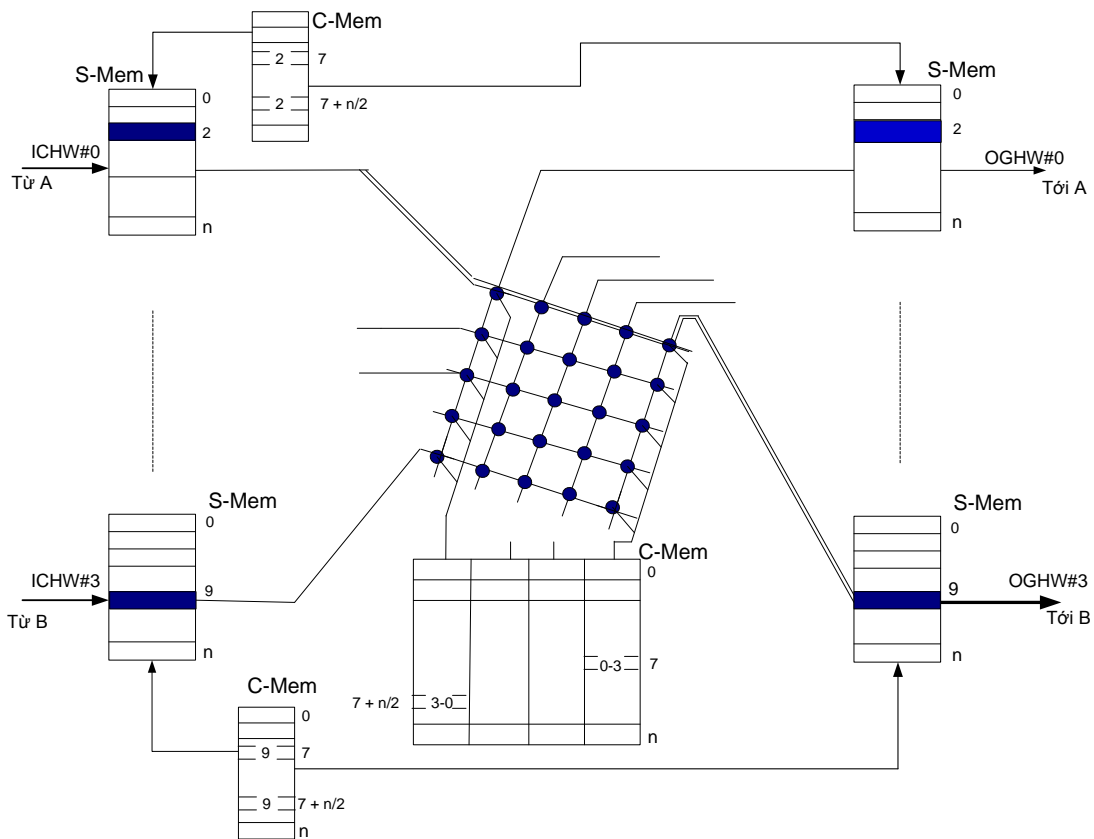
- Tại IT#0: Ô nhớ 10 của C-Mem địa chỉ ô nhớ 9 của S-Mem.
- Tại tầng S: Ô nhớ 10 của C-Mem cột 1 địa chỉ điểm chuyển mạch 0-3
- Tại OT#3: Ô nhớ 10 của C-Mem địa chỉ ô nhớ 19 của S-Mem.

Để tạo hướng ngược lại CC lệnh nạp các số liệu có thể như sau:

- Tại IT#3: Ô nhớ 11 của C-Mem địa chỉ ô nhớ 19 của S-Mem.
- Tại tầng S: Ô nhớ 11 của C-Mem cột 1 địa chỉ điểm chuyển mạch 3-0
- Tại OT#0: Ô nhớ 11 của C-Mem địa chỉ ô nhớ số 9 của S-Mem.

Kết thúc cuộc nối CC sẽ xóa các số liệu trên đây để kết thúc quá trình trao đổi khe thời gian và giải phóng cuộc nối, các ô nhớ và các khe thời gian trở về trạng thái rỗi để có thể phục vụ cho các cuộc gọi nối tiếp theo.

*Hình 3.8* minh họa một cách khác để điều khiển việc tạo kênh hai chiều thực hiện theo phương pháp thứ 2. Sơ đồ này còn có tên gọi là phương pháp đối pha. Theo phương pháp này nếu tìm được một đường nối từ A đến B trong một khe thời gian xác định thì đường ngược lại sẽ luôn luôn được đảm bảo ở nửa sau của khung thời gian được sử dụng. Trong ví dụ minh họa trên *hình 4.8* hướng thuận được sử dụng khe thời gian trung gian số 7 và tiếp theo đó hướng ngược sẽ chiếm dùng khe thời gian  $(7+n/2)$ . Phương pháp này kết hợp với việc giảm được số lượng bộ nhớ điều khiển.



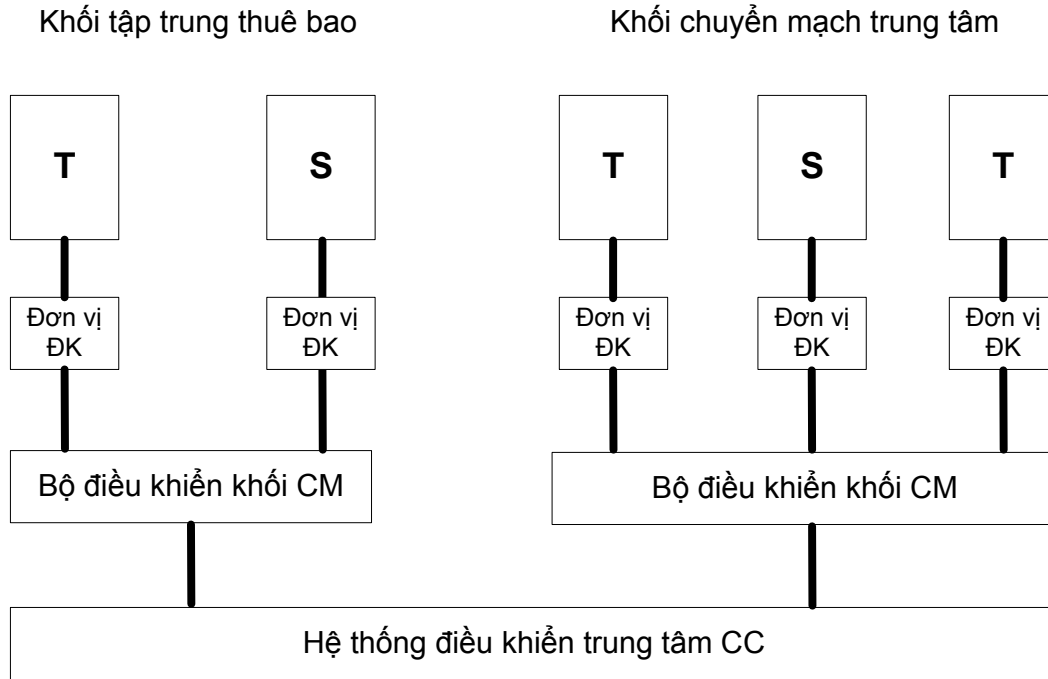
Hình 3.8. Trường chuyển mạch song hướng kiểu đối pha

### 3.5. Điều khiển các khối chuyển mạch số

Trong các mục trước đây đã trình bày các vấn đề liên quan tới các vấn đề liên quan tới các phương pháp quản lý khe thời gian qua các trường chuyển mạch số ở trạng thái bền vững xác lập, nghĩa là kênh đã được chọn và thiết lập xong. Còn trong phần này sẽ đề cập đến vấn đề tạo các số liệu điều khiển liên quan thích hợp cho các bộ nhớ điều khiển của khối chuyển mạch. Chức năng thiết lập hay giải phóng đường nối qua khối chuyển mạch thực chất là nạp vào hay xóa bỏ các số liệu địa chỉ liên quan trong các bộ nhớ điều khiển của khối chuyển mạch. Chức năng thiết lập hay giải phóng đường nối qua khối chuyển mạch thực chất là nạp vào hay xóa bỏ các số liệu địa chỉ liên quan trong các bộ nhớ điều khiển C-Mem. Hoạt động này là kết quả của các tác động tương tác giữa hệ thống điều khiển trung tâm CC của tổng đài và các khối điều khiển cục bộ chuyên dụng liên kết với các khối chuyển mạch.

#### 3.5.1. Sơ đồ khối và các chức năng

Thành phần điều khiển của khối chuyển mạch số theo chức năng có thể chia thành ba thành phần chính gồm hệ thống điều khiển trung tâm CC, bộ điều khiển khối chuyển mạch và điều khiển quá trình chuyển mạch như hình 4.9 minh họa.



Hình 3.9. Điều khiển khối chuyển mạch số

Hệ thống điều khiển trung tâm CC đảm bảo nhiệm vụ điều khiển chung mức cao cho tất cả các hoạt động của hệ thống chuyển mạch bao gồm các chức năng xử lý cuộc gọi. Trên hình 4.9 trình bày một hệ thống điều khiển mà như một thực thể tập trung đơn lẻ nhưng trong thực tế thì nó thường được thực hiện theo cấu trúc phân tán hơn là tập trung.

Trong một hệ thống chuyển mạch có thể chỉ có một hoặc có nhiều khối chuyển mạch, ví dụ như trong tổng đài Transit có một khối còn trong tổng đài nội hạt lại gồm một khối chuyển mạch trung tâm và một số khối chuyển mạch tập trung thuê bao. Mỗi khối chuyển mạch có bộ điều khiển khối chuyển mạch riêng của nó và mỗi chuyển mạch tầng S/T trong khối chuyển mạch đó lại có đơn vị điều khiển riêng cấu thành từ các bộ nhớ điều khiển liên kết với mạch logic điều khiển cục bộ. Dưới đây sẽ trình bày cách thức các hệ thống điều khiển thiết lập nối qua các khối chuyển mạch số.

Bộ điều khiển khối chuyển mạch có chức năng đảm bảo việc quản lý tất cả các khe thời gian qua khối chuyển mạch. Các công việc quản lý điển hình bao gồm:

- Thiết lập kênh nối
- Giải phóng kênh
- Chuẩn bị kết nối

- Theo dõi kênh nối
- Kiểm tra kênh nối
- Hỏi trạng thái kênh(bận, rỗi,...)

Các kênh nối qua khối chuyển mạch thông thường là kênh hai chiều. Tuy vậy, đôi khi các kênh một chiều cũng có thể được thiết lập để truyền các thông tin giám sát, điều khiển hoặc cảnh báo. Chẳng hạn như để xử lý việc thiết lập kênh và hỏi trạng thái kênh có liên quan tới cả hai kiểm kênh nối một chiều và hai chiều. Thành phần điều khiển khối chuyển mạch chỉ liên quan tới các nhiệm vụ quản lý các khe thời gian qua khối chuyển mạch số mà không quản lý toàn bộ quá trình phục vụ cuộc nối. Điều này do hoạt động xử lý cuộc gọi rất phức tạp được thực hiện tại hệ thống điều khiển trung tâm, trong khi đó hoạt động quản lý kênh của các khối chuyển mạch cụ thể được trao cho bộ điều khiển khối chuyển mạch.

Sự khởi đầu cho mọi yêu cầu của cuộc gọi về việc thiết lập kênh nối qua khối chuyển mạch số thuộc về hoạt động xử lý cuộc gọi xảy ra trong hệ thống điều khiển trung tâm. Một ví dụ cụ thể của hoạt động này là nhiệm vụ quét và xác định thuê bao chủ gọi để đưa ra yêu cầu kênh nối xác định giữa thuê bao với bộ thu xung mã âm tần kép DTMF(Dual Tone Multi-Frequency) qua khối tập trung thuê bao. Một ví dụ khác về hoạt động xử lý cuộc gọi là yêu cầu điều khiển khối chuyển mạch trung tâm để tạo kênh kết nối giữa đầu ra của bộ tập trung thuê bao với đường trung kế trong hướng liên lạc, hoạt động xử lý này dựa trên cơ sở biên dịch các chữ số do thuê bao chủ gọi phát(quay số) và các qui tắc định tuyến cuộc gọi của hệ thống chuyển mạch hiện hành. Trên cơ sở các kết quả của hoạt động xử lý cuộc gọi, hệ thống điều khiển trung tâm sẽ lệnh cho các bộ điều khiển khối chuyển mạch liên quan để thiết lập, duy trì hay giải phóng kênh nối giữa các khe thời gian xác định của khối chuyển mạch số.

Các lệnh điều khiển từ hệ thống điều khiển trung tâm tới bộ điều khiển khối chuyển mạch thông thường được truyền dưới dạng bản tin mức cao sao cho đạt được hiệu quả điều khiển cao và tối đa sử dụng các tính năng của các bộ xử lý trong hệ thống điều khiển trung tâm. Ví dụ về format bản tin của lệnh điều khiển được minh họa trên *hình 3.10* (bản tin loại 1). Cũng giống như bất kỳ một tín hiệu dựa trên cơ sở format bản tin nào khác, format bản tin *hình 3.10a* sử dụng một số trường số liệu đặc biệt. Mặc dù format bản tin thực tế kiểu bản tin loại 1 sẽ rất khác nhau tùy thuộc vào thiết kế của các nhà cung cấp khác nhau, song các trường số liệu dưới đây sẽ luôn luôn cần có:

- **Mã toán tác:** Số liệu này chỉ thị yêu cầu kênh nối sẽ được thiết lập, chuẩn bị, giám sát hay giải phóng,...Để mã hóa toán tác quản lý từ 1-6 đã nêu trên đây cho cả hai kiểu kênh đơn hướng hay song hướng các trường số liệu 4 bit được yêu cầu.
- **Nhóm trường số liệu khe thời gian đầu vào:** Nhóm trường số liệu này chỉ rõ địa chỉ kênh vào dưới dạng mã số tầng chuyển mạch S/T, mã số luồng PCM và mã số khe thời gian trong luồng tín hiệu số PCM. Mặc dù là một địa chỉ đơn lẻ nhưng nó nhận dạng cả hai khe thời gian thu và phát tại đầu vào của tầng chuyển mạch. Kích thước của hai trường số liệu đầu tiên phụ thuộc vào số lượng tầng chuyển mạch đầu vào và số lượng luồng PCM trong tầng chuyển mạch tương ứng. Trường số liệu mã số khe thời gian có dung lượng 5 bit đối với các luồng PCM32 và PCM24 kênh.
- **Nhóm trường số liệu khe thời gian ra:** Nhóm trường số liệu này chỉ rõ các địa chỉ khe thời gian ra trong khuôn dạng Format bản tin tương tự như format bản tin của nhóm trường số liệu khe thời gian đầu vào đã mô tả trên đây.
- **Mã phát hiện và sửa lỗi:** Trường số liệu này của format bản tin cho phép bộ điều khiển khối chuyển mạch phát hiện bất kỳ sự sai lỗi nào xảy ra trong bản tin mà nó gây ra trong quá trình truyền tin từ hệ thống điều khiển trung tâm đến bộ điều khiển khối chuyển mạch. Một kiểu mã như vậy có thể đơn giản là kiểm tra chẵn lẻ hay phức tạp hơn là mã CRC(Cyclic Redundance Code).
- **Mã bản tin:** Mỗi một bản tin cần được gán một nhãn với mã số đơn giản để đặc trưng cho việc xác định chuẩn chuỗi liên tiếp các bản tin đã phát và xử lý. Việc sử dụng mã bản tin như trên cho phép bộ điều khiển khối chuyển mạch có thể thông báo cho hệ thống điều khiển trung tâm biết có một bản tin cụ thể nào đó đã nhận được chứa sai lỗi và nhờ đó yêu cầu hệ thống điều khiển trung tâm phát lại bản tin. Khi thu bản tin loại 1, bộ điều khiển khối chuyển mạch thực thi các vi lệnh(instruction). Trong trường hợp yêu cầu thiết lập kênh bộ điều khiển khối chuyển mạch số sẽ thực hiện các thủ tục tìm đường và chọn một kênh nối qua trường chuyển mạch. Hệ thống điều khiển trung tâm sau đó sẽ phải đưa ra thông báo về việc đường nối đã tìm được. Tương tự như vậy, các bản tin cần phải chỉ thị rằng kênh nối đã

được giải phóng hay chuẩn bị sẵn sàng... Các bản tin ngược lại từ hệ thống điều khiển trung tâm tới bộ điều khiển khối chuyển mạch cần phải chứa các trường số liệu như hình 3.10b, mà được mô tả như trong các phần sau.

Mã bản tin	Mã toán tác	Khe thời gian gọi vào			Khe thời gian gọi ra			Mã sửa lỗi
		Mã tầng chuyển mạch IT#	Mã luồng PCM	Mã TS	Mã tầng chuyển mạch IT#	Mã luồng PCM	Mã TS	

a) Bản tin kiểu 1 (Từ CC đến bộ điều khiển khối Chuyển mạch)

Mã bản tin	Trường tin	Mã bản tin tham khảo	Mã sửa lỗi
------------	------------	----------------------	------------

b) Bản tin kiểu 2 (Từ bộ điều khiển khối CM đến CC)

Tầng chuyển mạch IT				Tầng chuyển mạch S		Tầng chuyển mạch OT			
Mã tầng chuyển mạch IT#	Nội dung C-Mem	B	P	Mã cột	Nội dung C-Mem	Mã tầng chuyển mạch OT#	Nội dung C-Mem	B	P

a) Bản tin kiểu 3 (Từ bộ điều khiển khối Chuyển mạch đến bộ điều khiển khối CM)

Hình 3.10. Các format bản tin điều khiển khối chuyển mạch

- Mã bản tin tham khảo: Trường số liệu này chứa mã nhận dạng của bản tin từ hệ thống điều khiển trung tâm mà bản tin này sẽ có quan hệ sau đó với nó.
- Trường tin: Trường số liệu này chứa các thông tin sẽ được giữ tới hệ thống điều khiển trung tâm. Bản tin được gửi theo kiểu như là “kênh đã được thiết lập”, “Không có kênh sẵn sàng”, “Đường dẫn đã được chuẩn bị” hoặc “Bản tin trước đã thu sai”,...
- Mã bản tin và mã sửa sai: Các trường số liệu này có ý nghĩa tương tự như đã mô tả trong bản tin loại 1.

Trong trường hợp thiết lập kênh nội phục vụ cuộc gọi, bộ điều khiển khối chuyển mạch sẽ cần phải xác định được các địa chỉ cần thiết mà chúng sẽ được ghi vào trong từng bộ nhớ điều khiển C-Mem của các tầng chuyển mạch sao cho các tầng chuyển mạch S/T sẽ đảm bảo cung cấp được các kênh theo yêu cầu, sau đó bộ điều khiển khối chuyển mạch sẽ nạp các số liệu yêu cầu cụ thể vào các địa chỉ ô nhớ cụ thể của các bộ nhớ điều khiển C-Mem.

Đơn vị điều khiển của chuyển mạch thời gian tầng T cấu tạo từ bộ nhớ điều khiển C-Mem, mạch Logic đếm khe thời gian TS-Counter và bộ chọn địa chỉ Selector còn đơn vị điều khiển của chuyển mạch không gian tầng S cấu tạo từ bộ nhớ điều khiển C-Mem và một số mạch phụ cận khác như đã mô tả ở phần 3.2. trên đây. Trước khi xem xét vấn đề thông tin cần thiết được ghi vào các bộ nhớ điều khiển C-Mem như thế nào, chúng ta hãy khảo sát format của bản tin cần gửi từ bộ điều khiển khối chuyển mạch tới mỗi một đơn vị điều khiển chuyển mạch tầng S hay tầng T tương ứng. Các thông tin chính bao gồm:

- Địa chỉ của bộ nhớ C-Mem
- Địa chỉ của ô nhớ C-Mem
- Nội dung số liệu trong ô nhớ C-Mem

Giả thiết rằng đối với khối chuyển mạch cấu trúc 3 tầng T-S-T thì 3 trường số liệu được yêu cầu trong bản tin cho mỗi đơn vị điều khiển chuyển mạch bao gồm trong quá trình thiết lập kênh nối. Tuy nhiên điều này cũng không nhất thiết phải thực hiện, ví dụ như với khối chuyển mạch biểu diễn trên hình 4.6, kênh nối được thực hiện giữa ICHW#0/TS4 với OCHW#0/TS6 sử dụng khe thời gian nội bộ là TS17 qua chuyển mạch tầng S. Điều cần lưu ý rằng các ô nhớ của tất cả 3 bộ nhớ điều khiển C-Mem đều có địa chỉ nhị phân là 0000010001(17). Đặc điểm ưu việt này có thể đảm bảo khả năng chỉ cần cung cấp một trường số liệu chung cho các ô nhớ của tất cả 3 bộ nhớ điều khiển C-Mem. Tuy nhiên, thậm chí có thể đạt được một cách kinh tế hơn bằng cách gửi các bản tin tới các bộ nhớ điều khiển C-Mem trong khoảng thời gian của khe thời gian TS17, nhờ vậy bản tin từ bộ nhớ điều khiển khối chuyển mạch không cần một địa chỉ nào cho các ô nhớ C-Mem và do đó tiết kiệm được 3 trường số liệu địa chỉ.

Một format bản tin có thể sử dụng cho bản tin loại III để trao đổi thông tin giữa điều khiển khối chuyển mạch và các đơn vị điều khiển chuyển mạch của các tầng S/T được minh họa trên hình 3.11. Cấu trúc bản tin gồm 3 nhóm trường số liệu để dùng cho việc điều khiển các tầng chuyển mạch thời gian phía đầu vào, chuyển mạch không gian S và các tầng chuyển mạch thời gian phía đầu ra tương ứng.

- Nhóm trường số liệu chuyển mạch tầng T đầu vào – Trường số liệu đầu tiên trong nhóm này xác định mã số một chuyển mạch thời gian tầng T cụ thể. Trường số liệu thứ 2 chứa nội dung cần phải ghi vào bộ nhớ điều khiển C-Mem tức là địa chỉ ô nhớ hay chỉ số khe thời gian đầu vào TS#. Có hai

trường số liệu 1 bit cần bổ sung liên quan tới đơn vị điều khiển chuyển mạch thời gian đầu vào đó là bit “Bận/Rỗi” và bit “Chặn” mà trên sơ đồ hình 3.11 biểu tượng bằng ký tự B và P tương ứng. Bit B bộ điều khiển khối chuyển mạch dùng để chỉ thị trạng thái Bận/Rỗi của các khe thời gian TS# ra của chuyển mạch thời gian tầng T phía đầu vào, còn bit P để dùng cho việc phát hiện sai lỗi khi thu bản tin. Các thông tin này sẽ được sử dụng để tìm một khe thời gian trung gian rồi để định tuyến qua chuyển mạch tầng S tới một chuyển mạch thời gian tầng T phía đầu ra. Mặc dù sự thiết lập một cách tách biệt các bộ nhớ trong bộ điều khiển khối chuyển mạch để bố trí sắp xếp trạng thái của các khe thời gian ra, bit “Bận/Rỗi” có thể dễ dàng truy cập được vào nội dung của các bộ nhớ điều khiển khối chuyển mạch để bố trí sắp xếp trạng thái của các khe thời gian ra, bit “Bận/Rỗi” có thể dễ dàng truy cập được vào nội dung của các bộ nhớ điều khiển C-Mem của các tầng chuyển mạch thời gian đầu vào. Do vậy khi được nạp bởi bản tin loại III, mỗi ô nhớ của C-Mem trong một chuyển mạch tầng T đầu vào sẽ chứa các địa chỉ các ô nhớ của bộ nhớ T-Mem và bit B sẽ lập giá trị 0 hoặc địa chỉ Zero. Bit B sẽ lập giá trị 1 tương ứng với việc cuộc gọi có sử dụng khe thời gian ra của nó trong quá trình hay không?

IT#				S#			OT#			
IT#	TS#	B	P	Cột#	Nội dung C-Mem	P	OT#	TS#	B	P

a) Thiết lập kênh nối

IT#	0	B	P	1	0	P	OT#	0	B	P
-----	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---

b) Giải phóng kênh

Hình 3.11. Ví dụ bản tin loại III

- Nhóm trường số liệu chuyển mạch không gian tầng S – Trường số liệu đầu tiên trong nhóm này xác định (nhận dạng) cột nào của chuyển mạch tầng S và bộ nhớ điều khiển C-Mem tương ứng liên quan sẽ được đánh địa chỉ (Nếu chuyển mạch không gian tầng S được điều khiển theo hàng thì trường số liệu đầu tiên sẽ chứa địa chỉ hàng). Đối với khối chuyển mạch số mà có sự tranh chấp một vài chuyển mạch tầng S thì phần đầu tiên của chỉ số mã



cột sẽ cần phải được chỉ rõ tầng chuyển mạch nào được địa chỉ hóa. Bit P ở đây cũng được dùng với mục đích như đã trình bày trên đây.

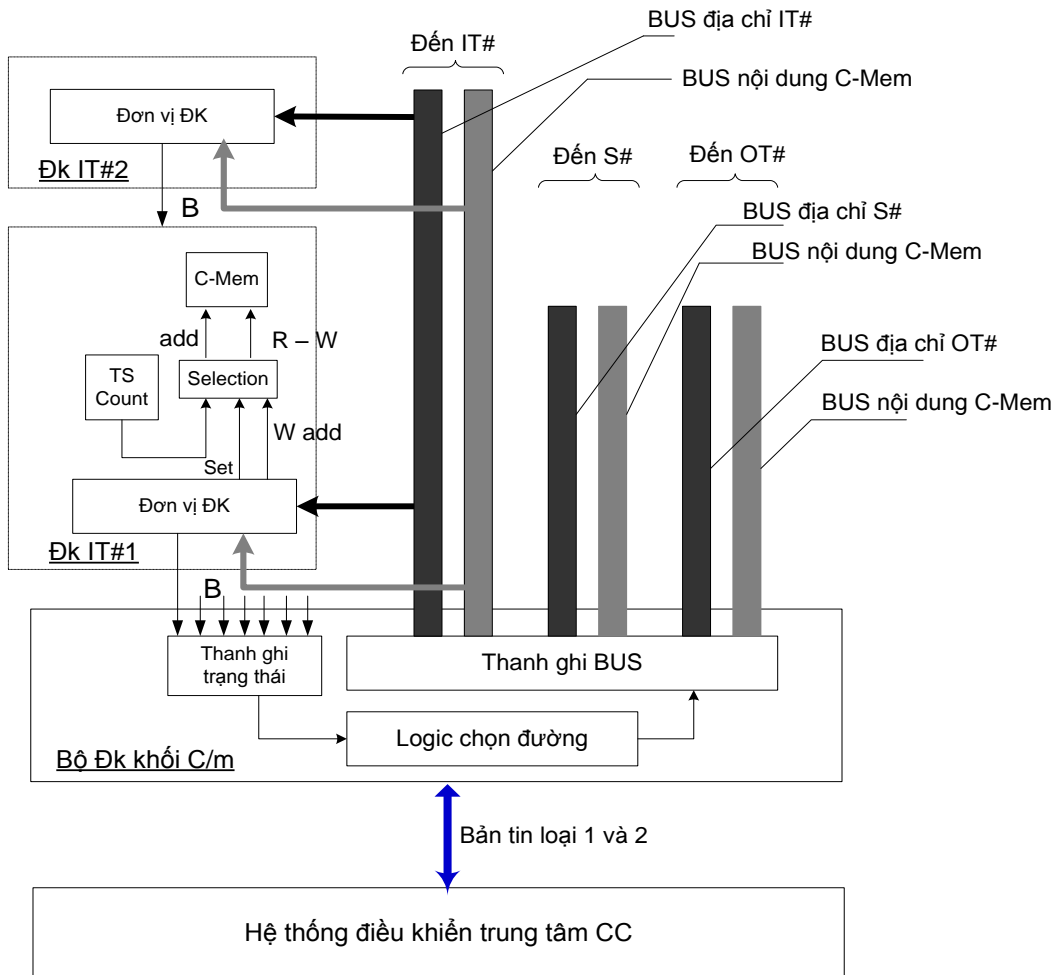
- Nhóm trường số liệu chuyển mạch thời gian T đầu ra – Format bản tin nhóm này chứa 4 trường số liệu tương tự như đối với đơn vị điều khiển chuyển mạch tầng T đầu vào đã thảo luận kỹ trên đây, ngoại trừ điều rằng bit B ở đây có liên quan tới trạng thái “Bận/Rỗi” của các khe thời gian ở đầu vào chứ không phải ở đầu ra như của chuyển mạch tầng T phía đầu vào của trường chuyển mạch số.

Một ví dụ minh họa cho việc sử dụng các bản tin loại III giữa bộ điều khiển khối chuyển mạch và 3 đơn vị điều khiển tầng chuyển mạch biểu diễn trên hình 3.11. Tiếp theo ta xét một ví dụ về việc xem xét yêu cầu cuộc nối qua mạng chuyển mạch cấu trúc T-S-T hình 3.6, với giả thiết kênh được thiết lập là ICHW#0/TS4 và OGHW/TS5 qua khe thời gian nội bộ là TS15 của điểm chuyển mạch hàng 0 cột 1 ma trận chuyển mạch S. Như đã trình bày trên đây, các thông tin thích hợp liên quan cần phải được cập nhật vào ô nhớ số 15 của các bộ nhớ điều khiển C-Mem tương ứng của các tầng chuyển mạch S-T. Như vậy format bản tin biểu diễn trên hình 3.10 sẽ được gửi tới 3 đơn vị điều khiển chuyển mạch trong thời gian xảy ra tiếp theo của khe thời gian TS15 để thiết lập kênh nối yêu cầu qua khối chuyển mạch. Các phần tử còn lại của bản tin sẽ được tách bởi các đơn vị điều khiển của 3 tầng chuyển mạch như đã được chỉ rõ trên hình 3.11a.

Bản tin cần để giải phóng kênh nối qua khối chuyển mạch được chỉ rõ trên hình 3.11b. Bản tin này được gửi đi trong thời gian diễn ra tiếp theo của khe thời gian TS15 sao cho các ô nhớ có địa chỉ nhị phân 0000001111(15) của các bộ nhớ điều khiển C-Mem của chuyển mạch thời gian phía đầu vào tầng IT0, cột 1 của chuyển mạch không gian tầng S và tần chuyển mạch thời gian đầu ra OT#1 sẽ được nạp với các địa chỉ Zero. Bit B của các ô nhớ số 15 của cả 3 bộ nhớ điều khiển C-Mem đều được lập giá trị 1 để chỉ rõ rằng khe thời gian nội bộ TS15 đã bị chiếm dùng không thể sử dụng cho các cuộc nối khác.

Hình 3.12. minh họa sử dụng các Bus và các dây điều khiển để kết nối các thành phần điều khiển chuyển mạch khác nhau với bộ điều khiển khối chuyển mạch. Để cho sơ đồ được đơn giản, rõ ràng và dễ hiểu, trên hình 3.12 chỉ biểu diễn đơn vị điều khiển chuyển mạch cho chuyển mạch đầu vào IT#0. Việc liên lạc giữa các thành phần được đảm bảo bởi 3 đôi Bus – một đôi cho việc liên kết tất cả các chuyển mạch thời gian đầu vào IT#, một đôi cho các tầng chuyển mạch không

gian S và một đôi dùng cho các chuyển mạch thời gian đầu ra OT#. Ngoài ra các dây điều khiển đơn sẽ kết nối các trường số liệu bit B từ tất cả các bộ nhớ điều khiển C-Mem của tất cả các IT# và OT# với thanh ghi trạng thái trong bộ điều khiển khối chuyển mạch số.



Hình 3.12. Điều khiển khối chuyển mạch số

Bus địa chỉ của IT# được đấu nối tới tất cả các đơn vị điều khiển chuyển mạch của chuyển mạch thời gian đầu vào IT. Mỗi đơn vị điều khiển liên tục tìm kiếm các nội dung của Bus về địa chỉ của một trong số các chuyển mạch tầng T của nó. Khi một địa chỉ thích hợp đã tìm được thì địa chỉ đó sẽ được sử dụng cho việc định tuyến số liệu từ Bus nội dung bộ nhớ điều khiển C-Mem tới ô nhớ của một bộ nhớ điều khiển. Các ứng dụng tương tự được sắp đặt như vậy đối với các Bus đấu nối chuyển mạch không gian tầng S với chuyển mạch thời gian đầu ra OT.

Có 3 đôi Bus kết cuối ở thanh ghi Bus trong bộ điều khiển khối chuyên mạch. Điều này cho phép các trường số liệu khác nhau của các bản tin loại III được đệm trong thanh ghi Bus sẽ được đưa ra ngoài tới các Bus liên quan. Các bản tin cần thiết được tạo ra bởi bộ điều khiển khối chuyên mạch số dựa trên cơ sở các lệnh điều khiển từ hệ thống điều khiển trung tâm và đối với một đường mới thiết lập sử dụng kết quả xử lý của mạch Logic chọn đường.

### **3.5.2. Thuật toán chọn đường rỗi**

Thủ tục chọn kênh rỗi cho khối chuyên mạch số cấu trúc T-S-T bao gồm việc tìm khe thời gian trung gian rỗi qua chuyên mạch không gian tầng S. Điều này có nghĩa rằng khe thời gian đó phải được lựa chọn sao cho nó là rỗi cả ở phía đầu ra của tầng chuyên mạch thời gian đầu vào IT# và cả ở phía đầu vào của tầng chuyên mạch thời gian đầu ra OT#. Trạng thái Bận/Rỗi của mỗi trong số hai tập khe thời gian được biểu thị bằng bit B trong các ô nhớ tương ứng của các bộ nhớ điều khiển C-Mem. Phương pháp chọn kênh rỗi sử dụng một cách đơn giản là xử lý tìm kiếm sự trùng khớp các khe thời gian rỗi nhờ việc kiểm tra các cặp bit Bận/Rỗi từ hai tập các chuyên mạch thời gian tầng T.

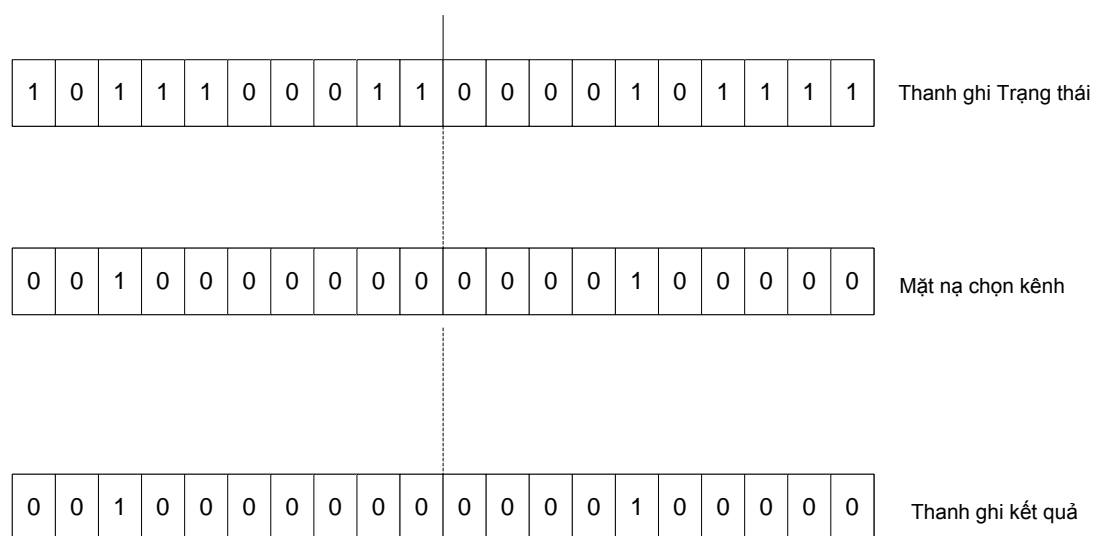
Cơ chế chọn đường nối được thực hiện trong phạm vi bộ điều khiển khối chuyên mạch mà nó thường được xây dựng trên cơ sở kỹ thuật vi xử lý và nó thực hiện việc tìm kiếm bằng cách tiến hành một số quá trình xử lý logic số. Phương pháp phổ biến nhất là sử dụng một mặt nạ như trình bày dưới đây:

Trạng thái Bận/Rỗi của mỗi ô nhớ của bộ nhớ điều khiển C-Mem của chuyên mạch tầng T sẽ được nhớ đệm trong khoảng mỗi khe thời gian trong thanh ghi trạng thái của bộ điều khiển khối chuyên mạch. Thanh ghi này chứa hai trường số liệu – Một trường để giữ đệm trạng thái cho các OT#. Trong khoảng thời gian của mỗi khe thời gian TS tất cả các bit bận tương ứng đều được trình diện trong thanh ghi trạng thái, ví dụ như trong thời gian TS19 tất cả các bit bận từ ô nhớ số 19 của tất cả các bộ nhớ C-Mem đều được trình diện. Việc lựa chọn đường tuy nhiên có liên quan với việc trùng hợp các khe thời gian rỗi chỉ xảy ra trong tầng chuyên mạch IT# và OT# mà chúng được chỉ rõ bởi hệ thống điều khiển trung tâm. Như vậy bộ điều khiển khối chuyên mạch số tạo một từ Logic nhị phân có độ dài bằng độ dài của thanh ghi trạng thái. Nó chứa các giá trị Zero trong tất cả các vị trí bit, trừ hai vị trí tương ứng với các bộ nhớ C-Mem của IT# và OT# yêu cầu. Từ logic này gọi là Mặt nạ và nó được lưu đệm trong thanh ghi chọn. Trong thời khoảng của mỗi khe thời gian các nội dung của thanh ghi trạng thái được thực hiện toán tử logic AND trên cơ sở từng bit một tương ứng với các nội dung của thanh ghi

chọn. Khi một khe thời gian rỗi (trạng thái 1) xuất hiện trong hai bộ nhớ C-Mem theo kiểm tra, kết quả của phép toán tử AND sẽ được đặt giá trị 1 trong cả hai nửa của thanh ghi kết quả. Ví dụ minh họa ở hình 3.13.

Như vậy sự có sẵn các kênh thời gian nội bộ rỗi khả dụng qua chuyển mạch tầng S được xác định bởi việc kiểm tra kết quả khác 0 trong cả hai trường số liệu của thanh ghi kết quả trong thời gian của mỗi khe thời gian hiện tại.

Khe thời gian nội bộ được chọn sau đó sẽ được sử dụng để tạo các bản tin loại III cần thiết để thiết lập kênh nối qua khối chuyển mạch. Bộ điều khiển khối chuyển mạch có thể yêu cầu chuẩn bị trước kênh nối. Trong trường hợp này bản tin loại III sẽ được tạo ra mà nó chứa các giá trị 0 trong hai trường số liệu B và đơn thuần nội dung Zero trong ba trường số liệu bộ nhớ C-Mem.



Hình 3.13. Ví dụ về chọn kênh rỗi

Cách thức hoạt động mà bộ điều khiển khối chuyển mạch sử dụng mặt nạ để tìm kiếm một kênh rỗi có ảnh hưởng tới mức phục vụ của hệ thống. Có một vài thuật toán tìm kiếm kênh rỗi được sử dụng trong các hệ thống chuyển mạch số hiện đại và mỗi thuật toán sẽ cho các đặc trưng lưu lượng cũng như độ phức tạp điều khiển khác nhau. Sau đây giới thiệu ba thuật toán ứng dụng cho cấu trúc khối chuyển mạch T-S-T:

- **Thuật toán 1:** Bắt đầu tìm liên tiếp ngẫu nhiên. Với thuật toán này việc tìm kiếm một khe thời gian nội bộ rỗi qua tầng S bắt đầu một cách ngẫu nhiên và truy tìm liên tiếp qua các khe thời gian. Điều này có hiệu ứng trải các khe thời gian chiếm dùng thành dải, ví dụ từ TS0 tới TS512 trong một

khung tín hiệu 1024 khe thời gian. Mức phục vụ GOS(Grade Of Service) kết quả làm tròn khoảng  $2,5.10^{-4}$  đối với lưu lượng 0,825 Erl/mạch.

■ **Thuật toán 2:** Bắt đầu tìm liên tiếp cố định. Theo phương pháp này việc tìm kênh luôn luôn được bắt đầu từ một khe thời gian nội bộ định trước và sau đó truy tìm một cách liên tiếp qua toàn dải. Thuật toán 2 có hiệu ứng “đóng gói” các khe thời gian được chiếm dùng bởi vì số lượng cuộc gọi lớn hơn sẽ được thiết lập qua các khe thời gian có chỉ số thấp hơn so với các khe thời gian có chỉ số cao hơn. Kết quả này sẽ làm tăng GOS so với phương pháp bắt đầu ngẫu nhiên. Ví dụ GOS có giá trị  $1,46.10^{-4}$  đối với lưu lượng 0,825 Erl/mạch.

■ **Thuật toán 3.** Thử lặp. Khi tìm kiếm kênh rỗi qua trường chuyển mạch tầng T, sự thử lặp lại việc tìm kiếm được khởi đầu sau một thời gian nào đó có thể sẽ cho phép tìm được một khe thời gian rỗi. Độ trễ giữa những lần tìm kiếm sẽ ảnh hưởng tới GOS, cụ thể thời gian chờ càng lâu thì xác suất số cuộc gọi giải phóng sẽ càng lớn. Chẳng hạn như có 50% cơ hội tìm kiếm kênh sau 1 giây chờ thử lặp lại có thể sẽ tạo thêm độ trễ nhận thấy được đối với thời gian thiết lập cuộc gọi mà nó bình thường chỉ cần 0,5 đến 1,0 giây qua hệ thống chuyển mạch số.

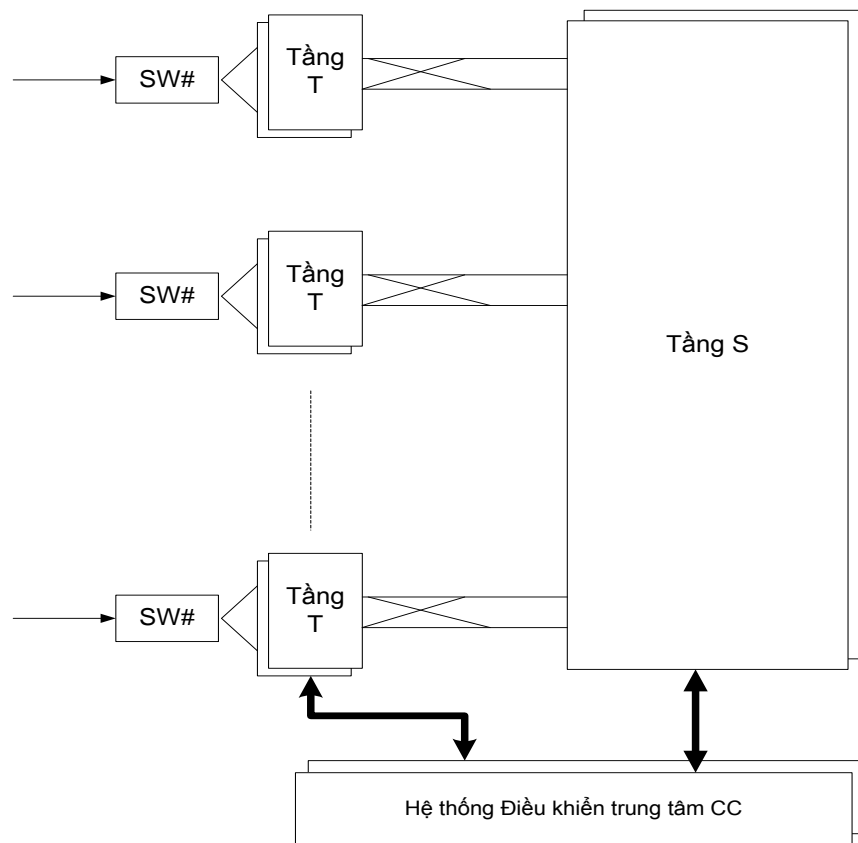
### 3.5.3. Độ tin cậy và an toàn khối chuyển mạch

Các khối chuyển mạch số hiện đại có dung lượng khổng lồ, do đó bản thân chúng cùng các thiết bị điều khiển liên quan cần phải được đảm bảo độ an toàn tin cậy cao bởi vì một hỏng hóc nhỏ có thể gây ra hậu quả nghiêm trọng cho toàn bộ hệ thống. Các hệ thống chuyển mạch đầu cuối công cộng hiện đại yêu cầu thời gian hỏng bình quân trong chu kỳ 20-40 năm phụ thuộc vào các tính năng quản lý. Vì rằng chỉ có một trong số các cấu kiện của hệ thống, khối chuyển mạch tự nó cần phải đảm bảo chỉ một phần nhỏ trong tỷ suất hỏng hóc toàn bộ hệ thống. Hơn nữa, hầu hết các doanh nghiệp điện thoại qui định xác suất thấp một hỏng hóc bất kỳ nào ảnh hưởng mạnh hơn một phần nhỏ mạch điện. Điều này yêu cầu phải xem xét cân nhắc thận trọng vấn đề đảm bảo độ tin cậy cao của các khối chuyển mạch số bởi vì dung lượng kênh của chúng khổng lồ và khối lượng cấu kiện phần cứng lớn. Ví dụ như nếu hỏng hóc phần cứng ở một Bus luồng PCM nội bộ giữa tầng T và tầng S có thể sẽ làm tổn thất 1024 kênh truyền dẫn.

Bảo vệ an toàn một cách có hiệu quả và đơn giản nhất cho trường chuyển mạch số có thể thực hiện bằng hai giải pháp: thiết kế chế tạo theo Module và trang bị dự phòng kép như sơ đồ minh họa trên hình 3.14.

Theo phương án dự phòng kép nghĩa là khối chuyển mạch được thiết kế chế tạo từ hai nửa khối hoàn toàn như nhau và mỗi nửa khối gọi là một “mặt”(plane hoặc side). Mỗi cuộc nối sẽ được thiết lập đồng thời với hai kênh dẫn song song đồng nhất qua các mặt A và B của khối chuyển mạch, trong đó một mặt làm việc thực sự(mặt tích cực) để kết nối kênh vào/ ra phục vụ cuộc gọi, còn mặt kia là để dự phòng sao cho nếu mặt tích cực có vấn đề thì nó sẽ tự động thay thế.

Để giải quyết vấn đề như nêu trên, bổ sung vào khối chuyển mạch an toàn cần phải có cơ chế giám sát, phát hiện sai lỗi và hồng học sao cho có thể cô lập



Hình 3.14. Trang bị dự phòng kép khối chuyển mạch số

được bộ phận thiết bị khi xảy ra sai lỗi. Đối với phương pháp trang bị kép đôi có thể sử dụng giải pháp kiểm tra tính chẵn lẻ đơn giản cả hai kênh song song tích cực/dự phòng để chỉ ra mặt bị sai lỗi, cụ thể là bit chẵn được bổ sung vào tổ hợp mã tín hiệu PCM 8bit trong hướng phát tại mỗi luồng kết cuối đầu vào của khối chuyển mạch. Luồng tín hiệu 9 bit sau đó được nhân đôi và đưa tới chuyển mạch tầng T đầu vào tương ứng của cả hai mặt của khối chuyển mạch. Phía đầu thu mỗi

tổ hợp mã PCM 9bit từ cả hai mặt sẽ được kiểm tra tính chẵn lẻ để phát hiện có sai lỗi hay không. Nếu phát hiện thấy lỗi ở mặt nào thì lập tức mặt đó sẽ bị cô lập khỏi khối chuyển mạch một cách tự động hoàn toàn.

Ngoài phương pháp trang bị dự phòng kép được sử dụng rất phổ biến nêu trên có thể sử dụng phương pháp dự phòng phức tạp hơn ví dụ như dự phòng theo Module  $n+1$  hay dự phòng “ $n$  trong  $m$ ”,...

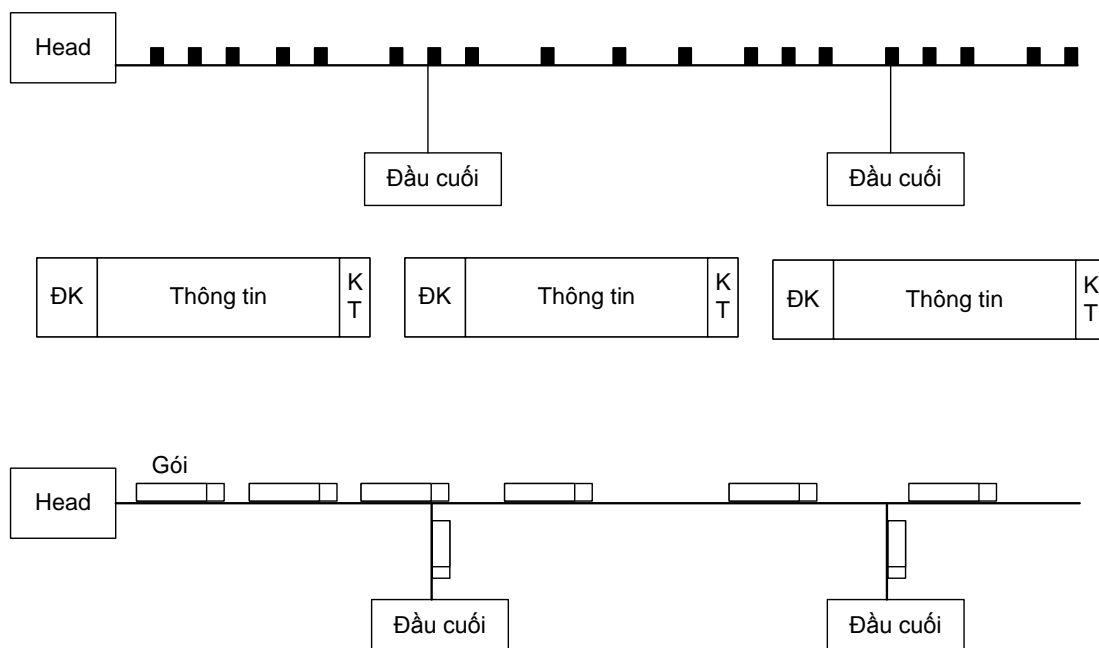
## CHƯƠNG IV

### KỸ THUẬT CHUYỂN MẠCH GÓI

#### 4.1. Những khái niệm chuyển mạch gói

##### 4.1.1. Khái niệm về chuyển mạch gói (packet switching)

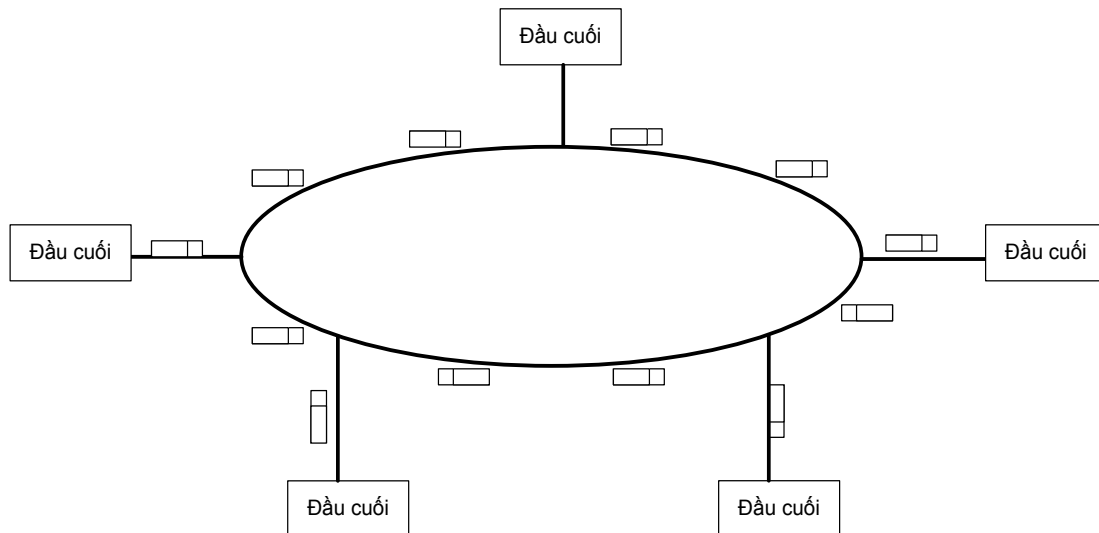
Trong chuyển mạch gói thông tin được truyền đi dưới dạng các gói, mỗi gói gồm một khối thông tin điều khiển, một vùng chứa thông tin truyền hữu ích và một vùng thông tin kiểm tra – sửa lỗi bổ sung. Như vậy, đơn vị dữ liệu (data unit) trong chuyển mạch gói là **gói**, trong đó ngoài dữ liệu cần truyền của nguồn phát tin còn có một số dữ liệu do mạng thêm vào. Một bản tin trọn vẹn của nguồn phát được chia thành nhiều gói, chuyển đi và được tái thiết tại nơi nhận.



Hình 4.1. Chuyển mạch trên Bus

Một tổ chức chuyển mạch thời gian có thể được dùng cho chuyển mạch gói. Thông thường gồm một kênh truyền dưới dạng một vòng hay một bus mà từ đó tín hiệu được đưa vào và lấy ra tùy thuộc vào một vài loại chuẩn. Các nhóm tín hiệu có thể được tiếp nhận và định tuyến đến các ngõ ra khác nhau tùy thuộc vào vị trí của chúng trong một tuần tự các tín hiệu. Trong các tiếp cận khác, mỗi nhóm tín hiệu chứa một địa chỉ chỉ ra nơi định tuyến cho nhóm. Trong *hình 4.1*, các tín hiệu số (các bit) đang chạy trên một bus qua hai đầu cuối số liệu. Các bit này được nhóm vào trong một vùng điều khiển, thông tin, và kiểm tra như trình bày ở giữa hình. Thay vì một bus, một trường truyền có thể là một vòng như *hình 4.2*.



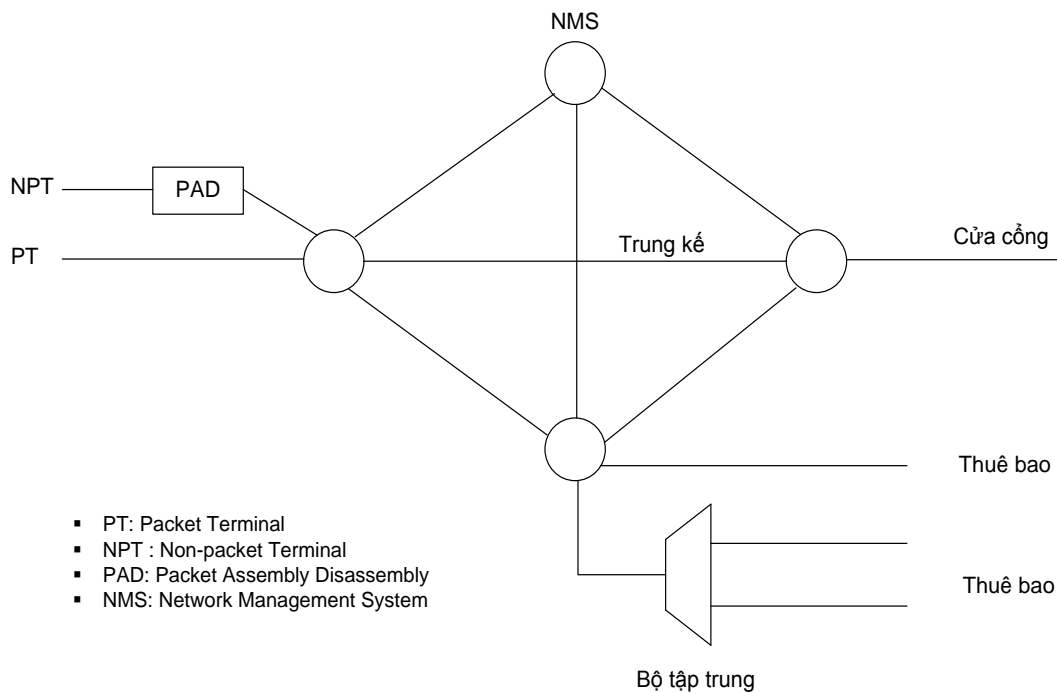


Hình 4.2. Chuyển mạch trên vòng

Các mạch nối đến một chuyển mạch số có thể là một dải từ các đường thuê bao có tốc độ 56kbps hay 64kbps đến các đường tầm xa chuẩn (T3) tốc độ 44Mbps. Các liên kết cáp quang có tốc độ độ bit cao, hiện nay khoảng 145 đến 155 Mbps. Các liên kết quang trong tương lai sẽ có tốc độ 1 Tbps hay cao hơn. Các tốc độ bit cao gây ra trở ngại cho các chuyển mạch số chuẩn. Các chuyển mạch không gian không thể hoạt động đủ nhanh để hoạt động các luồng thuộc giải gigabit và terabit. Cũng không có bộ nhớ nào trong các chuyển mạch thời gian ghi đọc thông tin với tốc độ nhanh như vậy. Chính vì vậy cần phải tìm ra giải pháp mới cho tương lai trong lĩnh vực chuyển mạch.

#### 4.1.2. Mạng chuyển mạch gói PSN (Packet Switching Network)

Một mạng chuyển mạch gói bao gồm các thành phần chính: các node mạng với các đầu cuối dạng gói PT (Packet Terminal), các bộ tập trung, các thiết bị đóng tách gói PAD kết nối các đầu cuối dị gói NPT (Non – packet Terminal) và hệ thống quản lý mạng, hình 4.3. Mỗi một thành phần trong mạng có một số đặc tính riêng của nó. Nắm được các đặc tính là điều cần thiết nhằm thực hiện ghép nối các thành phần với nhau để tạo nên mạng chuyển mạch gói.



Hình 4.3. Các thành phần cơ bản của mạng chuyển mạch gói

### Node mạng

Thực chất đây là những tổng đài hay thiết bị chuyển mạch gói. Các tổng đài trên thực tế như EWSP, Alcatel, XNet và một số tổng đài TPX của công ty SprintNet của Mỹ. Các node kết nối các thuê bao vào mạng, nối các đường dây trung kế. Qua đó node thực hiện các chức năng sau:

- Điều khiển các cổng đường dây
- Truyền đưa dữ liệu người dùng
- Chuyển đổi giao thức sử dụng trong mạng và liên kết với các mạng khác

Tùy thuộc vào vị trí của node trong mạng là một node có thể là:

- Node truy xuất cục bộ của thuê bao: cung cấp kết nối cho các thuê bao không đồng bộ (X.28), thuê bao Telex, những thuê bao và những máy chủ đồng bộ, máy chủ không đồng bộ thuê bao SNA/SDLC, hình 4.4.
- Node trung kế trung chuyển cho những node mạng khác.
- Node cửa cổng (gateway): cho phép liên lạc với mạng quốc tế và các quốc gia khác với những thuê bao đồng bộ hay bất đồng bộ của những mạng đó.

Mạng chuyển mạch gói có thể có những kết nối liên mạng như sau:

- Mạng điện thoại công cộng PSTN.

- Mạng số đa dịch vụ ISDN.
- Mạng số liệu công cộng chuyển mạch CSPDN.
- Các mạng số liệu công cộng chuyển mạch gói khác.

Tốc độ đường dây cho thiết bị đầu cuối bất đồng bộ thường nhỏ hơn 19,2 Kbit/s và những đường dây cho những thiết bị đầu cuối đồng bộ có tốc độ đến 2 Mbit/s.

### ***Các bộ tập trung***

Các bộ tập trung cung cấp một giải pháp tốt để giảm giá thành khi thiết kế mạng. Bộ tập trung hạn chế thời gian trễ ở mức thấp nhất và đơn giản hóa vận hành.

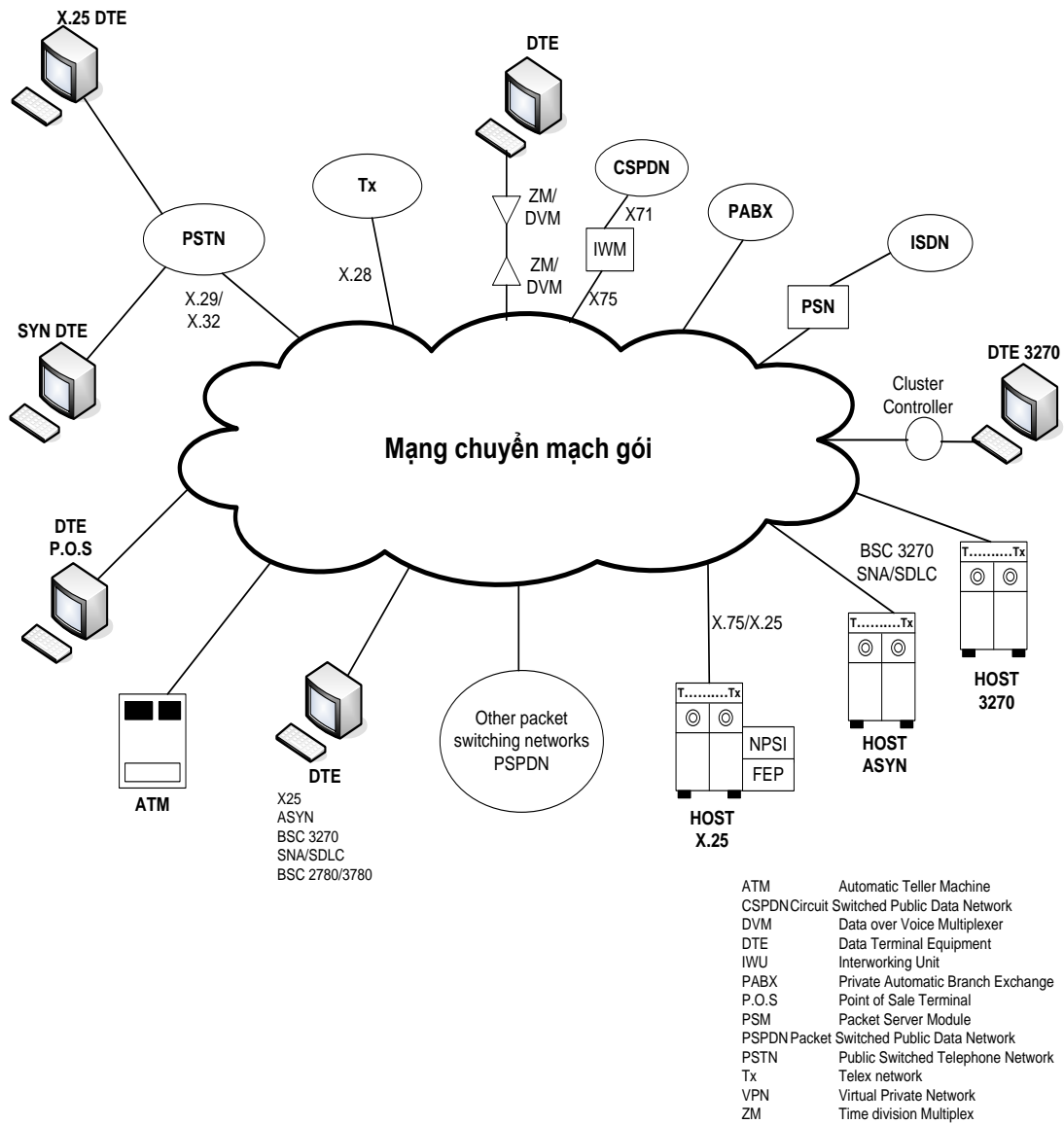
### ***Hệ thống quản lý mạng***

Hệ thống quản lý mạng thực hiện chức năng điều khiển toàn bộ mạng, hệ thống này được những người điều hành mạng quản lý, vận hành và bảo dưỡng một cách hiệu quả. Đây là bộ phận trung tâm của chuyển mạch gói, bất cứ mạng nào trừ các mạng rất nhỏ đều cần có hệ thống quản lý mạng (NMS).

Giám sát sự khai thác các thành phần mạng là chức năng quan trọng nhất của hệ thống NMS, xét theo quan điểm của người quản lý. Ở điều kiện lý tưởng NMS cần phải đáp ứng nhanh khi bất cứ thiết bị nào hoặc một tuyến thông tin nào trên mạng cần quản lý. Người quản lý mạng cần được thông báo theo cả hai phương thức nghe và nhìn để nắm bắt kịp thời, chính xác các sự cố xảy ra. Ngoài ra, quản lý cấu hình mạng cũng là một trong các nhiệm vụ của NMS. Ở một số mạng, các thiết bị mạng chứa phần mềm cho phép chúng có thể khởi tạo và gọi NMS, lúc đó NMS ở xa có thể yêu cầu được đáp ứng thông tin thời gian thực với tốc độ cao hơn so với khi chỉ sử dụng một NMS.

### ***Thiết bị PAD (Packet Assembly Disassembly)***

PAD là thiết bị đóng gói và tách gói. Các PAD dùng để nối các đầu cuối NPT vào mạng chuyển mạch gói vì chúng không thể đấu nối trực tiếp vào mạng. Các đầu cuối này là các thiết bị làm việc theo phương thức ký tự. Phương thức ký tự là phương thức trong đó từng ký tự được xử lý như là một đơn vị dữ liệu truyền. Các thiết bị làm việc theo phương thức gói lại xử lý các gói như là các đơn vị dữ liệu riêng lẻ. Trên thực tế các PAD thường được sử dụng để đấu nối các thiết bị đầu cuối, các máy tính cá nhân, các máy in... Như vậy PAD có một số giao tiếp ký tự bất đồng bộ ở một phía, còn phía kia là một giao tiếp gói.



Hình 4.4. Các loại đầu cuối nối vào mạng chuyển mạch gói

## 4.2. Phương thức hoạt động cơ bản của mạng chuyển mạch gói PSN

### 4.2.1. Khái quát

Ngay từ đầu, mạng Viễn thông chuyển mạch kênh chỉ được thiết kế để cung cấp dịch vụ đàm thoại. Khi xuất hiện các dịch vụ mới mà đặc biệt là các dịch vụ về dữ liệu, mạng chuyển mạch kênh trở nên bất tiện trong việc kết nối truyền dữ liệu giữa các thiết bị đầu cuối. Các lý do đều tập trung vào hai khuyết điểm chính như sau:

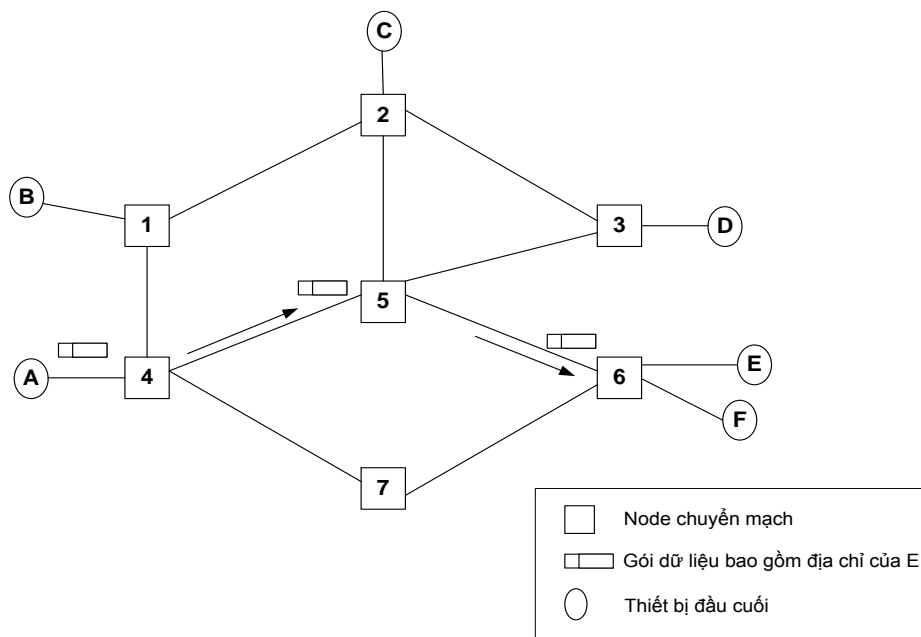
- Việc kết nối truyền nhận dữ liệu giữa thiết bị đầu cuối và máy tính chủ, nếu sử dụng mạng chuyển mạch kênh thì tỉ lệ thời gian đường dây rảnh rỗi là rất lớn, vì vậy phương pháp chuyển mạch kênh không có hiệu quả.

■ Trong mạng chuyên mạch kênh, vấn đề kết nối chỉ phục vụ cho những thiết bị có cùng tốc độ dữ liệu nghĩa là cùng tốc độ phát và thu, điều này hạn chế việc liên kết nhiều loại máy tính chủ và thiết bị đầu cuối khác nhau.

Mạng chuyên mạch gói khắc phục được hai khuyết điểm nói trên. Để hiểu rõ hơn kỹ thuật này, chúng ta sẽ lần lượt khảo sát các khía cạnh hoạt động của nó. Trước tiên sẽ tìm hiểu các chế độ làm việc trên mạng chuyên mạch gói.

#### 4.2.2. Các chế độ làm việc của mạng chuyên mạch gói

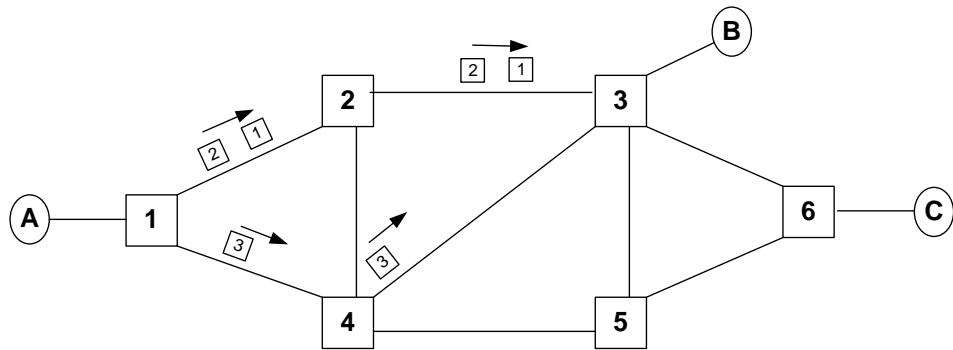
Trong kỹ thuật chuyên mạch gói, nguyên tắc hoạt động có thể được vắn tắt như sau: Khối dữ liệu cần phát sẽ được phân bố vào các gói nhỏ và được truyền đi trên mạng. Trong các gói này, ngoài dữ liệu còn có thêm vài tin tức điều khiển mà mạng yêu cầu để có thể định tuyến cho gói đi xuyên qua mạng đến đích. Nhằm đảm bảo việc chuyển dữ liệu đạt yêu cầu, mỗi mạng đều phải tuân thủ các chế độ làm việc nhất định. Có 2 chế độ làm việc căn bản trong mạng chuyên mạch gói, đó là chế độ không tạo cầu (Connectionless hay Datagram) và chế độ lập cầu (Virtual circuit).



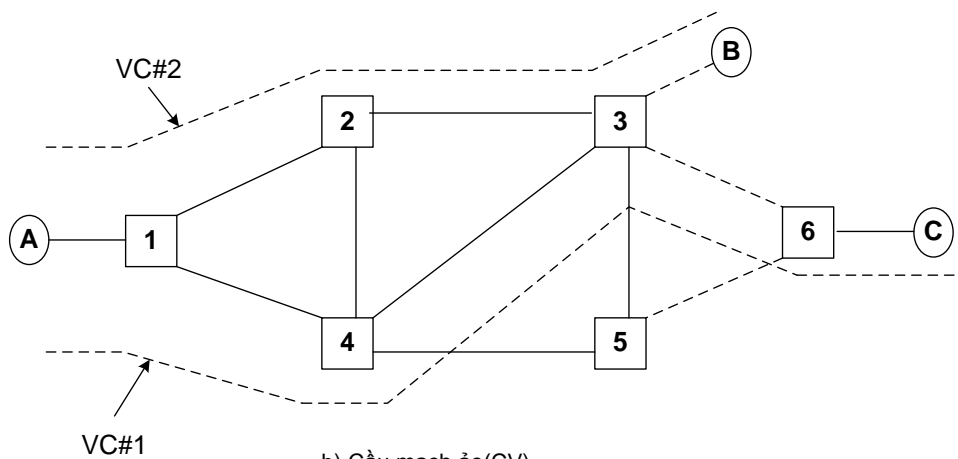
Hình 4.5. Ví dụ một mạng PSN gồm 7 node chuyển mạch

Trước khi mô tả hai chế độ hoạt động nói trên, cần xem xét hoạt động của từng gói đơn qua tham khảo hình 4.5. Giả sử dữ liệu được phát từ A tới E. A xây dựng các gói tin gồm dữ liệu và tin tức điều khiển bao gồm địa chỉ của E, trước

tiên gói được gửi tới node 4, node 4 tiếp nhận lưu gói vào bộ đệm và quyết định bước kế tiếp (tới node 5), node 4 xếp gói phát trên tuyến 4-5 theo chỉ định của thủ tục định tuyến tại đây, khi tuyến đã sẵn sàng, gói được phát đến node 5, nếu node 5 hoạt động bình thường và còn khả năng, gói sẽ được tiếp nhận và tiếp tục được định hướng truyền đến node 6, cuối cùng gói cũng đến được E.



a) Mạch không tạo cầu nối (datagram)



b) Cầu mạch ảo(CV)

Hình 4.6. Hoạt động tổng quát của hai chế độ trên mạng PSN

Trong hoạt động theo chế độ không tạo cầu, mỗi gói sẽ được xử lý độc lập. Có nghĩa là các gói của cùng một khối thông tin có thể đến đích theo nhiều đường khác nhau. Chúng ta sẽ xem xét chế độ này trên hình 4.6a. Giả sử trạm A có bản tin gồm 3 gói gửi tới B. Nó phát nhanh các gói 1,2,3 tới node 1. Mỗi gói sẽ được node 1 xử lý định tuyến như sau: node 1 hướng gói 1 đến node 2 vì thấy giá (cost) ngắn hơn giá tới node 4, tương tự gói 2 cũng được chuyển qua node 2, nhưng đến gói 3 thì node 1 nhận thấy rằng vào thời điểm này xếp nó theo node 4 là tuyến có giá ngắn nhất, vì thế node 1 truyền gói 3 đến node 4. Vậy các gói với địa chỉ đích giống nhau nhưng không đi theo 1 hướng giống nhau, mặt khác gói 3 có thể đến node 3 trước gói 2. Do đó thứ tự gói đến B đã khác trước. Nhiệm vụ của B là phải

sắp xếp lại trật tự của chúng. Trong chế độ này, mỗi gói được xử lý truyền một cách độc lập nên còn được gọi là datagram.

Với chế độ lập cầu (virtual circuit), một đường nối logic phải được thiết lập trước khi các gói được gửi đi. Ví dụ như A có một hoặc nhiều bản tin được gửi tới B, đầu tiên nó gửi *gói yêu cầu gọi* đến node 4, node 4 quyết định chuyển yêu cầu và tất cả dữ liệu tạm thời tới node 2, node 2 chuyển tất cả tới node 3. Node 3 chuyển *gói yêu cầu gọi* đến B, nếu B *chấp nhận kết nối* cuộc gọi thì nó sẽ gửi gói chấp nhận đến node 3 và gói này được phát tiếp qua node 2, node 1 rồi tới A. Host A và Host B có thể trao đổi dữ liệu trên đường kết nối logic đã được thiết lập, đường nối logic này thường được gọi là cầu ảo. Mỗi node trên cầu ảo được thiết lập sẽ biết nơi đến để hướng dẫn gói như thế nào. Vì vậy mỗi gói dữ liệu từ A qua node 1,2,3 và mỗi gói dữ liệu từ B qua node 3,2,1. Bất kỳ lúc nào một trong hai trạm ở hai đầu đều có thể xóa đường kết nối bằng một gói yêu cầu xóa (sau khi đã hoàn tất việc truyền). Mỗi trạm có thể có nhiều hơn một cầu đến bất cứ một trạm nào khác và cũng có nhiều cầu ảo đến từ nhiều trạm (hình 4.6.b). Đặc điểm chính của chế độ tạo cầu là sự định tuyến giữa các trạm được thiết lập trước để chuyển dữ liệu. Mỗi gói được đệm tại mỗi node, và được sắp xếp truyền trên đường dây. Sự khác biệt so với chế độ datagram là các node không cần phải định tuyến cho mỗi gói tin. Nó chỉ làm một lần cho mỗi một cuộc nối. Hình 4.6 minh họa một so sánh giữa hai chế độ hoạt động nói trên.

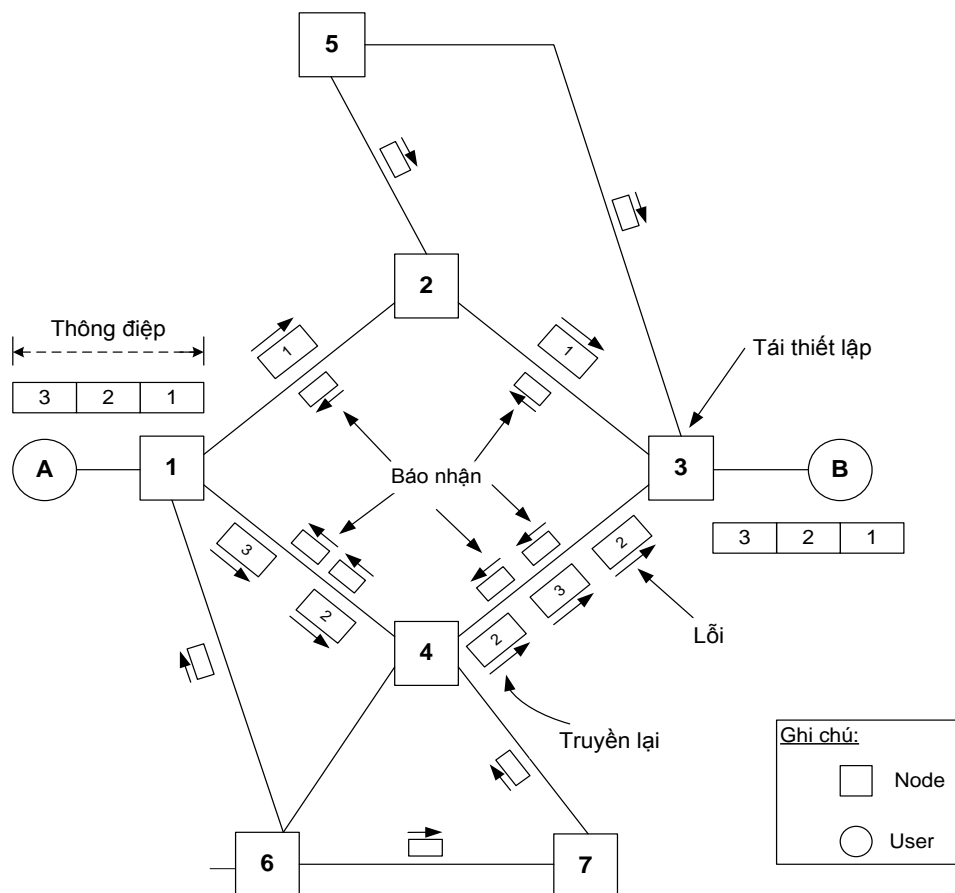
Nếu hai host muốn trao đổi dữ liệu trong một thời gian dài thì sử dụng chế độ lập cầu chắc chắn có lợi hơn. Phương thức lập cầu có thể cung cấp một số dịch vụ bao gồm *đánh số thứ tự, kiểm soát lỗi, điều khiển dòng*. Nói “có thể” bởi vì không phải tất cả các phương tiện tạo cầu đều cung cấp tất cả các dịch vụ này hoàn toàn tin cậy. Đánh số thứ tự để các gói đến trong một trật tự ban đầu.

Kiểm soát lỗi không chỉ để đảm bảo gói đến trong một trật tự thích hợp mà còn chính xác. Ví dụ nếu gói đến node 3 trong thứ tự bị sai hoặc đến với lỗi thì node 3 có thể yêu cầu phát lại gói đó từ node 1.

Điều khiển dòng là một kỹ thuật nhằm đảm bảo rằng nơi gửi không làm tràn ngập dữ liệu nơi nhận. Ví dụ như nếu trạm B đang đệm dữ liệu từ A gửi đến và nhận thấy sắp hết không gian đệm, ngay tức thời nó gửi báo hiệu thông qua phương tiện tạo cầu yêu cầu A ngưng phát cho đến khi có thông báo mới.

### 4.2.3. Những sự cố và chiến lược khắc phục

Hình 4.7 minh họa một phần của một mạng chuyển mạch gói, trong đó host A là thuê bao gắn vào node chuyển mạch 1, host B là thuê bao gắn vào node chuyển mạch 3. Giả sử A gửi bản tin gồm 3 gói tin tới B tập trung trên các node chuyển mạch 1, 2, 3, 4. Điều quan trọng cần phải biết là cũng có rất nhiều gói tin của các thuê bao khác đang di chuyển trong mạng.



Hình 4.7. Sự hoạt động cơ bản của mạng chuyển mạch gói

#### a. Quá trình phát tin cơ bản

Dòng thông tin được truyền đi như sau: thuê bao A gửi gói tin thứ nhất đến node chuyển mạch 1, khi node này nhận được gói thì theo luật định tuyến nó sẽ phát gói tin đến đích bằng cách gửi ngang qua node 2. Trong lúc gói tin thứ 2 đang di chuyển từ thuê bao A đến node 1 thì trạng thái trong mạng đã thay đổi (ví dụ có 1 dòng tin với lưu lượng lớn đang di chuyển từ node 5 đến node 2), vì thế gói tin thứ 2 từ thuê bao A đến thuê bao B được định tuyến qua node 4, gói tin thứ 3 cũng đến node 1 ngay sau gói tin thứ 2 và được định tuyến qua node 4 (giống gói tin 2). Sau khi node 4 đã nhận đầy đủ và chính xác, gói tin thứ 2 được gửi tới đích là node 3. Tuy nhiên, trong khi truyền gói 2 có một lỗi xảy ra. Khi node 3



nhận gói tin thứ 2, cơ cấu phát hiện lỗi tìm ra lỗi và yêu cầu phát lại gói tin thứ 2. Trong khi tiến trình khắc phục lỗi diễn ra, gói thứ 3 vẫn được chuyển bình thường và đến node 3, do đó gói tin thứ 2 phát lại đến sau gói tin thứ 3 tại node 3. Như vậy, tại B thứ tự các gói đã bị thay đổi khác với trật tự gửi từ A.

### ***Định thứ tự gói***

Kiểu hoạt động giữ và chuyển tiếp (hold and forward) có thời gian trễ khác nhau ở các tuyến khác nhau có thể làm cho các gói tin nhận không theo thứ tự thích hợp. Để khắc phục vấn đề này, trong các gói tin phải được gắn vào một chỉ số thứ tự bên cạnh thông tin thành phần của khối tin ban đầu trước khi bắt đầu phát qua mạng. Quá trình tập hợp gói tin và sắp xếp cho đúng được thực hiện tại node cuối. Node cuối trong trường hợp ở vị trí trên là node 3, sử dụng thông tin thứ tự gói xuyên qua mạng cùng với thông tin người dùng để sắp xếp các gói tin lại cho đúng thứ tự ban đầu trước khi chuyển giao cho host đích (B).

### ***Các báo nhận (acknowledgements)***

Một số báo nhận được minh họa trong *hình 4.7* di chuyển theo những tuyến khác nhau và ngược hướng với những gói tin trong mạng. Gói báo nhận này là điều đảm bảo chủ yếu cho sự trọn vẹn và chính xác của dữ liệu phát.

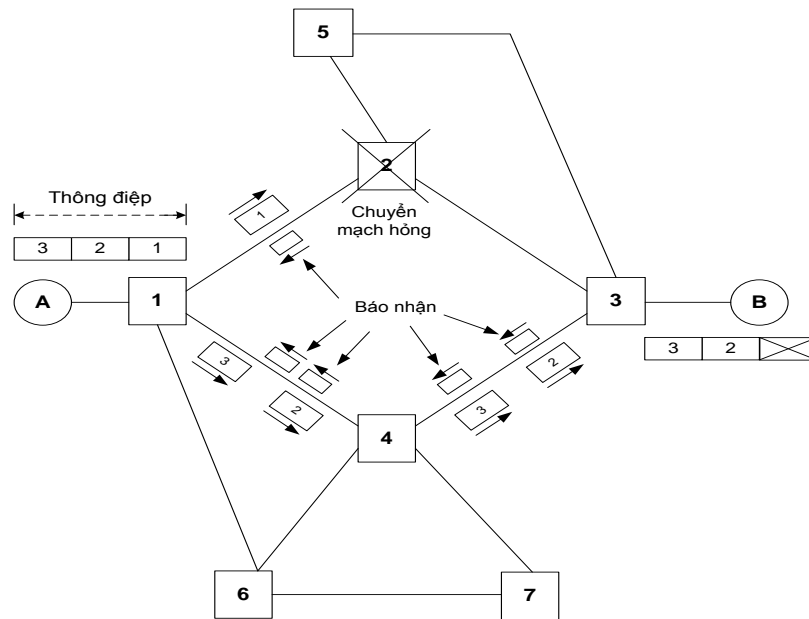
Bất cứ gói tin nào được nhận một cách chính xác thì ngay tức khắc nó sẽ được thông báo trở lại nơi gửi bằng một gói báo nhận. Có hai loại báo nhận, loại báo nhận thứ nhất có ý nghĩa thông báo nhận thành công như đã nói. Loại thứ hai là một báo nhận với ý nghĩa đề nghị truyền lại vì việc truyền/nhận đã bị lỗi, khi node nhận một gói, trước hết nó sẽ tiến hành kiểm tra, nếu thấy lỗi sẽ gửi ngay yêu cầu truyền lại đến node truyền. Bằng cách này, các node chuyển mạch biết được mình đã truyền gói tới node liên kết thành công hay không. Trong quá trình truyền gói tới node kế, nếu báo nhận không được nhận trong một khoảng thời gian qui định (time out) thì node truyền nghĩ rằng gói tin đã bị lỗi và có nhiệm vụ phát lại gói tin đó.

### ***b. Các lỗi***

Định thứ tự gói là một trong các nhiệm vụ của một giao thức mạng, rất cần thiết trong quá trình xác định trật tự gói nhằm khắc phục sự sai thứ tự gói nói trên. Ngoài ra, còn có hai vấn đề khá nghiêm trọng cũng xuất phát từ hoạt động cơ bản của mạng chuyển mạch gói, đó là khả năng không phát hiện được sự mất gói và sự nhân đôi gói khi muốn truyền thành công.

### ***Gói tin bị mất***

Sự thất thoát một gói tin có thể làm cho một cuộc nối không thể thiết lập được trong chế độ lập cầu (virtual circuit) hay không đảm bảo độ an toàn dữ liệu theo yêu cầu trên một mạng chuyển mạch gói. Khả năng xảy ra mất gói là có thể, tiềm ẩn ngay trong hoạt động căn bản của mạng. Nhiệm vụ của người thiết kế là phải phát hiện được tình huống để đề ra hướng khắc phục. Sau đây là một ví dụ về tình huống gây mất gói tin.



Hình 4.8. Mạng chuyển mạch gói có node chuyển mạch bị hỏng: sự mất gói tin

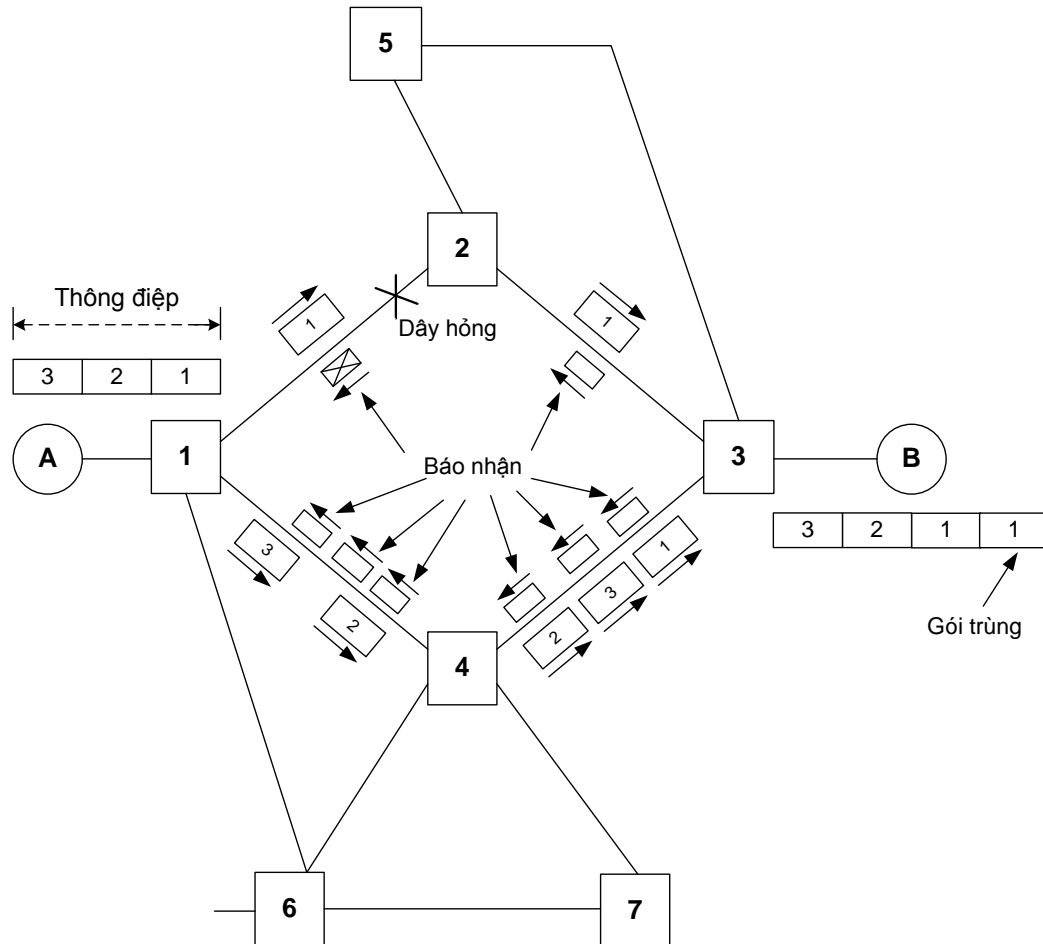
Theo hình 4.8, thuê bao A gửi gói tin thứ nhất qua node 2, node 2 nhận gói tin này chính xác và ngay sau đó báo nhận cho gói tin này. Tuy nhiên, trước khi gói tin thứ nhất được gửi từ node 2 qua node 3 thì node 2 bị trục trặc, ở node 1, sau khi nhận được báo nhận của gói tin thứ nhất sẽ không còn quan tâm đến gói tin này nữa và kế hoạch định tuyến thay đổi để tránh node hư số 2. Gói tin thứ 2 và thứ 3 vì thế được định tuyến đến node 4 rồi đến node 3. Kết quả gói tin thứ nhất đã bị mất vì node 2 bị hư trước khi nó có cơ hội gửi gói 1 đến node 3. Vì vậy thuê bao B chỉ nhận được gói tin thứ 2 và 3.

Có nhiều cách để khắc phục vấn đề này, ví dụ như:

- Node nhận sẽ gửi báo nhận cho node gửi khi đã chuyển tiếp đến node kế.
- Trách nhiệm cuối cùng của gói tin thuộc vào node đầu tiên phát đi, như dịch vụ D bit trong X25.
- Node cuối cùng yêu cầu node đầu tiên gửi lại gói bị mất.

### ***Nhân đôi gói tin***

Hiện tượng nhân đôi gói cũng gây ra sự phiền hà cho các node chuyển mạch, nhất là cùng một lúc có hai hay nhiều đối tượng giống hệt nhau trong dữ liệu được xử lý bởi các phần mềm tổng đài. Ngoài ra, sự nhân đôi gói cũng ảnh hưởng xấu đến độ chính xác dữ liệu nhận. Khả năng xảy ra hiện tượng này cũng không phải ít. Sau đây là một ví dụ về tình huống dẫn đến sự nhân đôi gói.



Hình 4.9. Mạng chuyển mạch gói có đường dây bị hỏng: hiện tượng nhân đôi gói.

Xem hình 4.9, gói tin được định tuyến qua node 2, gói tin này xem như được nhận chính xác tại node 2 và node này gửi báo nhận cho node 1, nhưng trước khi báo nhận gửi lại thì tuyến giữa node 2 và node 1 bị hư, vậy báo nhận gói thứ nhất bị mất mà node 2 không hề biết. Node 1 không nhận được báo nhận trong thời gian qui định (timeout) sẽ phát lại gói 1 cùng với gói tin thứ 2 và 3 đến node 4.

Nhưng thật ra gói thứ nhất đã được nhận hoàn hảo tại node 2. Vì báo nhận bị mất mà cả node 1 và node 2 đều không hay biết điều này, nên node 2 tiếp tục chuyển gói tin thứ 1 đến đích và gói tin này cũng được phát lại từ node 1. Cả hai gói 1 đến đích cùng với gói tin thứ 2 và 3. Vậy có sự lặp lại gói 1 tại thuê bao B. Để tránh vấn đề này, có thể xây dựng một thủ tục nhận dạng xem gói vừa nhận đã

có hay chưa, nếu có thực hiện xóa bớt đi một. Cách thứ 2 là có thể xây dựng cơ cấu báo nhận cho báo nhận. Nhờ vào cơ cấu này mà node 2 biết được báo nhận đã bị mất và sẽ không copy gói 1 lên tuyến 2 – 3. Tuy nhiên, cơ cấu này sẽ làm cho tải trên mạng trở nên nặng nề, hiệu suất mạng giảm xuống. Với cách thứ nhất, rõ ràng việc xử lý tại mỗi node chuyển mạch sẽ lâu hơn, thời gian trì hoãn truyền lớn hơn vì phải kiểm tra và so trùng từng gói một. Tuy nhiên, cũng có thể giao nhiệm vụ này cho host đích để giảm bớt thời gian xử lý tại mỗi node.

### 4.3. Đóng gói thông tin

#### 4.3.1. Cấu trúc gói

Để khắc phục các lỗi và truyền nhận chính xác cần có sự phối hợp với các chiến lược quản lý toàn cục, mỗi gói tin vì thế phải chứa các thông tin hỗ trợ, phần thông tin hỗ trợ này được gọi là *thông tin dẫn đường* (overhead). Overhead có những dạng khác nhau tùy thuộc vào kiểu mạng và kỹ thuật được dùng.

Overhead tồn tại dưới 2 dạng cơ bản: dạng kết hợp vào mỗi gói người dùng (user) và dạng gói chuyên xác nhận hoặc chuyên điều khiển.

Bản tin hoặc tin tức quản lý của thuê bao có chiều dài  $L$  tùy ý khoảng từ vài bit đến vài triệu bit. Hệ điều hành trong các mạng chuyển mạch gói không có khả năng hoặc không thuật lợi để phát hết bản tin có chiều dài tùy ý  $L$  trong một lần. Tùy vào giao thức, nhưng tổng quát với góc độ nhìn là mặt cắt giao tiếp người dùng mạng (user network), sẽ chia bản tin lớn  $L$  thành các đơn vị nhỏ có chiều dài tối đa là  $M$  gọi chung là segment. Bên trong mạng, trên các đường dây các node trao đổi với nhau các đơn vị nhỏ được chia từ segment gọi là gói (packet) có chiều dài tối đa  $N$  bit. Tùy theo thiết kế giao thức mạng mà giá trị  $M$  và  $N$  có thể bằng nhau hoặc  $M > N$ . Dĩ nhiên tin tức người dùng có chiều dài  $L$  tùy ý.

Biểu diễn toán học:  $L \blacksquare M \blacksquare N$

Nếu thủ tục mạng qui định  $M = N$ , thủ tục mạng thuộc lớp giao thức có một gói tin trong một segment (single-packet-per – segment). Nghĩa là mỗi segment chỉ chứa một gói tin và các node mạng không cần chia gói trên segment đến từ host.

Nếu  $M > N$ , có thủ tục nhiều gói tin trên một segment, mỗi segment người dùng có chiều dài  $M$ , khi đến mạng được các nút chia thành những gói tin có chiều dài  $N$ .

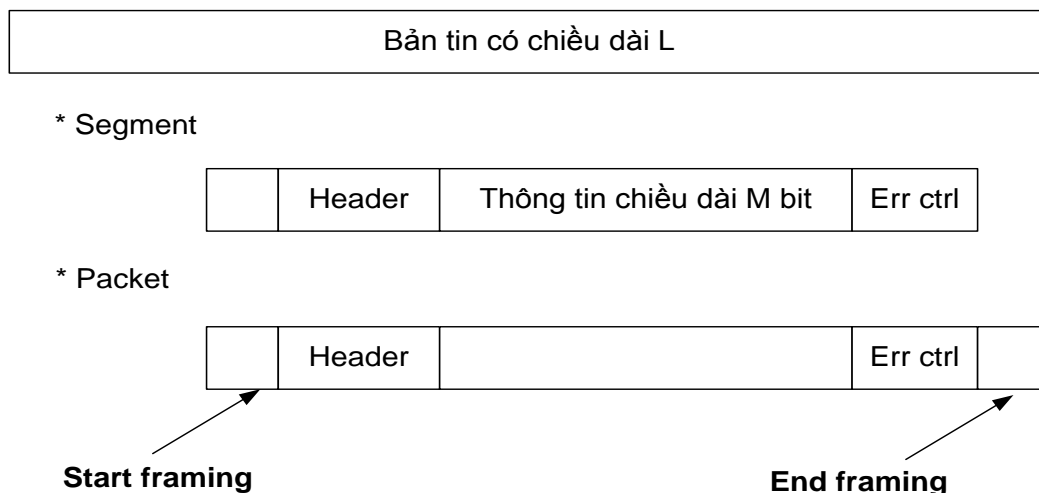
Thủ tục một gói tin trên một segment được sử dụng phổ biến trong mạng hoạt động datagram hay trên các lớp logic làm việc theo chế độ datagram.

Thủ tục nhiều gói tin trên một segment thường sử dụng trong mạng hoạt động theo chế độ cầu ảo (Virtual Circuit).

Trong bất cứ trường hợp nào, đơn vị dữ liệu mà thuê bao sử dụng để giao tiếp với node chuyển mạch trong mạng là các segment, trong khi đó giao tiếp giữa các node chuyển mạch là các gói tin. Tin tức chứa trong các gói tin và các segment có thể giống hoặc không giống nhau tùy thuộc vào giao thức đang sử dụng.

### ***Thông tin của giao thức (Protocol Information)***

Từ hình 4.10, ta thấy rằng segment thông tin của người dùng bao gồm ba vùng cơ bản, đó là vùng leader, vùng thông tin, và vùng kiểm soát lỗi (error control).



Hình 4.10. Cấu trúc overhead tổng quát của chuyển mạch gói

Leader chứa địa chỉ nơi đến cùng với tin tức điều khiển được mạng yêu cầu, ví dụ như là chỉ số thứ tự của segment, chỉ số kênh logic được dùng, đích đến của segment đầu hoặc cuối, và kích thước vùng thông tin.

Các gói tin gồm các vùng header, thông tin, khối điều khiển lỗi (error control) và mã đánh dấu đầu và kết thúc gói tin (start framing và end framing). Header chứa các thông tin giống như leader nhưng là những thông tin thuộc tính của gói trong một segment, cùng với các tin tức khác mà node cần để điều khiển sự di chuyển các gói xuyên qua mạng. Ví dụ như địa chỉ nguồn, chỉ số thứ tự gói tin và khối điều khiển (để ngăn ngừa việc looping, mất hoặc nhân đôi gói).

Vùng kiểm soát lỗi dùng nguyên lý mã hóa toán học cho phép các node nhận ra nếu bất cứ bit nào hoặc nhóm bit nào bị lỗi. Quá trình kiểm soát lỗi là một phần của thủ tục điều hành. Trong thực tế thường dùng mã CRC được trình bày ở mục dưới đây.

### 4.3.2. Phương pháp kiểm tra sai CRC (Cyclic Redundancy Check)

#### a. Giới thiệu

Trong vùng kiểm tra của gói tin chứa các thông tin phục vụ công tác kiểm soát lỗi, các thông tin này được tạo ra tùy thuộc vào từng phương pháp. Một trong những phương pháp thường được dùng là CRC (Cyclic Redundancy Check).

Ở phương pháp CRC, các bit của khối dữ liệu được dịch trái lần lượt và chia cho một giá trị số nhị phân, xác định bằng phép toán module 2. Kết quả phần dư của phép chia chính là giá trị CRC và được dùng làm BCC trong phương thức truyền đồng bộ. Ở đầu thu sẽ thực hiện phép chia tương tự đối với thông tin và so sánh phần dư của phép chia với giá trị BCC thu được, nếu giống nhau là không có sai. Mã CRC thường dài từ 12 đến 32 bits.

Nếu dùng phương pháp CRC với thủ tục tự động truyền lại (ARQ – Automatic Repeat Request) có thể giảm tốc độ bit sai (BER) rất nhiều. Ví dụ với 16 bit CRC cho phép chỉ có 1 bit sai không phát hiện được trong  $10^{14}$  bits truyền ( $BER = 1.10^{-14}$ ).

#### b. Cách tính CRC

Các bit dữ liệu sẽ được mô phỏng thành một đa thức theo trình tự truyền, ví dụ chuỗi bit truyền là 110101 thì ta có đa thức:

$$M(x) = (1).x^5 + (1)x^4 + (0)x^3 + (1)x^2 + (0)x^1 + (1)x^0 = x^5 + x^4 + x^2 + 1$$

Giả sử số bit CRC là C, ta sẽ chọn một đa thức bất kỳ G(x) có bậc C, ví dụ C=3, chọn  $G(x) = x^3 + 1$

Sau đó lần lượt thực hiện các phép tính sau:

■ Nhân M(x) cho  $x^c$        $x^c.M(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^3$

■ Chia  $x^c.M(x)$  cho G(x) ta sẽ có kết quả là Q(x) với phần dư là R(x)

$$x^c.M(x)/G(x) = Q(x) + R(x)/G(x)$$

Theo ví dụ trên ta sẽ có:

$$Q(x) = x^5 + x^4 + x^2 + 1$$

$$R(x) = x + 1$$

■ Tính đa thức  $T(x) = x^c \cdot M(x) + R(x)$

$$M(x) = (1) \cdot x^5 + (1)x^4 + (0)x^3 + (1)x^2 + (0)x^1 + (1)x^0 = x^5 + x^4 + x^2 + 1$$

$$T(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + x + 1$$

■ Đổi từ  $T(x)$  trở lại chuỗi bit theo nguyên tắc tương tự, kết quả chính là chuỗi bit truyền với các bit sau cùng là CRC.

Chuỗi bit truyền 110101011

Ở đầu cuối sau khi nhận được chuỗi bit đổi lại  $T(x)$  và dùng phép toán module 2 chia cho  $G(x)$ , nếu phần dư là 0 thì dữ liệu nhận không sai, khác không thì sai. Có thể dễ dàng chứng minh được.

Thật vậy  $T(x) = x^c M(x) + R(x)$

Và  $x^c \cdot M(x)/G(x) = Q(x) + R(x)/G(x)$

■  $T(x)/G(x) = Q(x) + R(x)/G(x) + R(x)/G(x)$

$= Q(x) + (1+1) R(x)/G(x)$

Vì đối với phép toán module 2 thì  $1+1 = 0$  nên  $T(x)/G(x) = Q(x)$

Hay  $R(x) = 0$ , vậy phép chia  $T(x)$  cho  $G(x)$  không có dư.

Đa thức  $G(x)$  còn gọi là đa thức sinh và có bốn đa thức thông dụng sau:

1 - C = 12  $X^{12} + X^{11} + X^3 + X + 1$

2 - C = 16  $X^{16} + X^{15} + X^5 + 1$

3 - C = 16  $X^{16} + X^{12} + X^3 + 1$

4 - C = 32  $X^{32} + X^{26} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^8 + X^4 + X^2 + X + 1$

### 4.3.3. Kích thước gói

Tổng số tin tức chứa trong leader của segment và header của packet là đáng kể. Đặc biệt nếu có tổng số 256 bit thông tin overhead được yêu cầu trong một gói kích thước N bằng 1000 bit thì lượng overhead chiếm đến 25 % tổng dữ liệu được được phát. Điều này cho thấy rằng có 25 % dung lượng xuyên mạng không có giá trị trong việc giao tiếp giữa các người dùng với nhau. Vì vậy tỉ lệ phần trăm của overhead liên quan đến việc so sánh hiệu quả của các kỹ thuật chuyển mạch.

Một ví dụ về cấu trúc overhead: bản tin người dùng có:

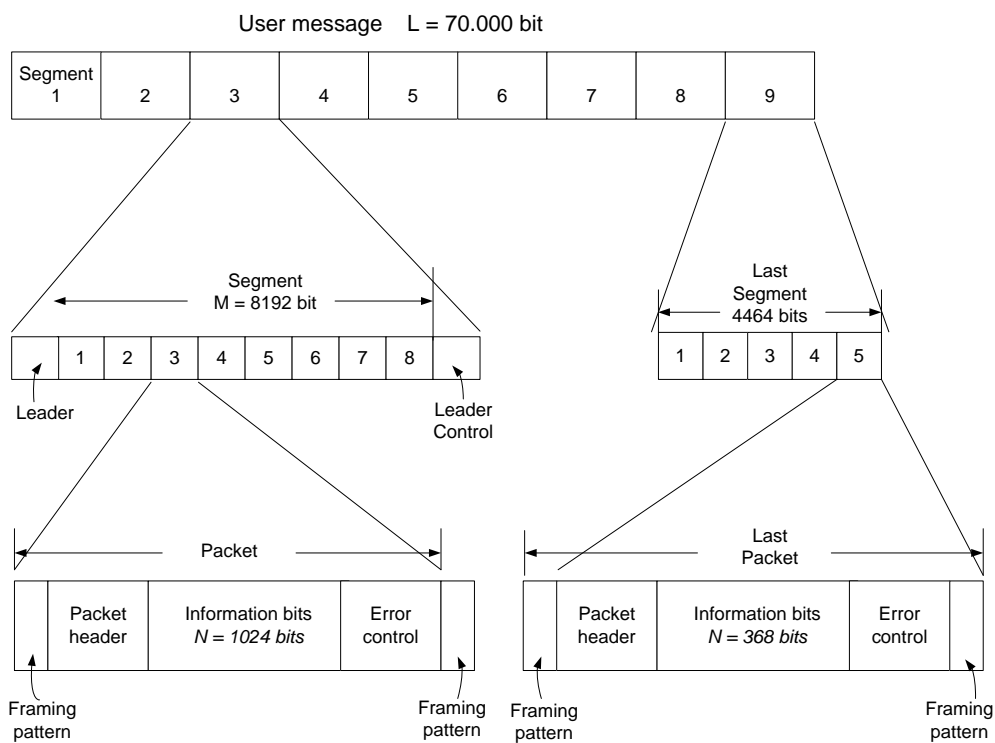
$$L = 70.000 \text{ bit}, M = 8192 \text{ bit}, N = 1024 \text{ bit}$$

Ta có:  $L = 8 \cdot M + 4464$  mà  $M = 8 N$ .

Trên hình 4.11 mô tả cấu trúc cơ bản của bản tin này, bản tin được chia làm 9 segment, mỗi segment trong 8 segment đầu được làm đầy với 8192 bit và 4464 bit còn lại ở trong segment thứ 9. Mỗi segment trong 8 segment đầu chia thành 8 gói, mỗi gói 1024 bit. Segment thứ 9 được chia thành 5 gói trong đó 4 gói đầu chứa 1024 bit còn gói thứ 5 chứa 368 bit còn lại.

Tỉ lệ của overhead trong gói còn là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian truyền. Đây là vấn đề được đặt ra và xem xét khi chọn kích thước cho gói tin. Để tiếp cận vấn đề này hãy tham khảo ví dụ ở hình 4.12.

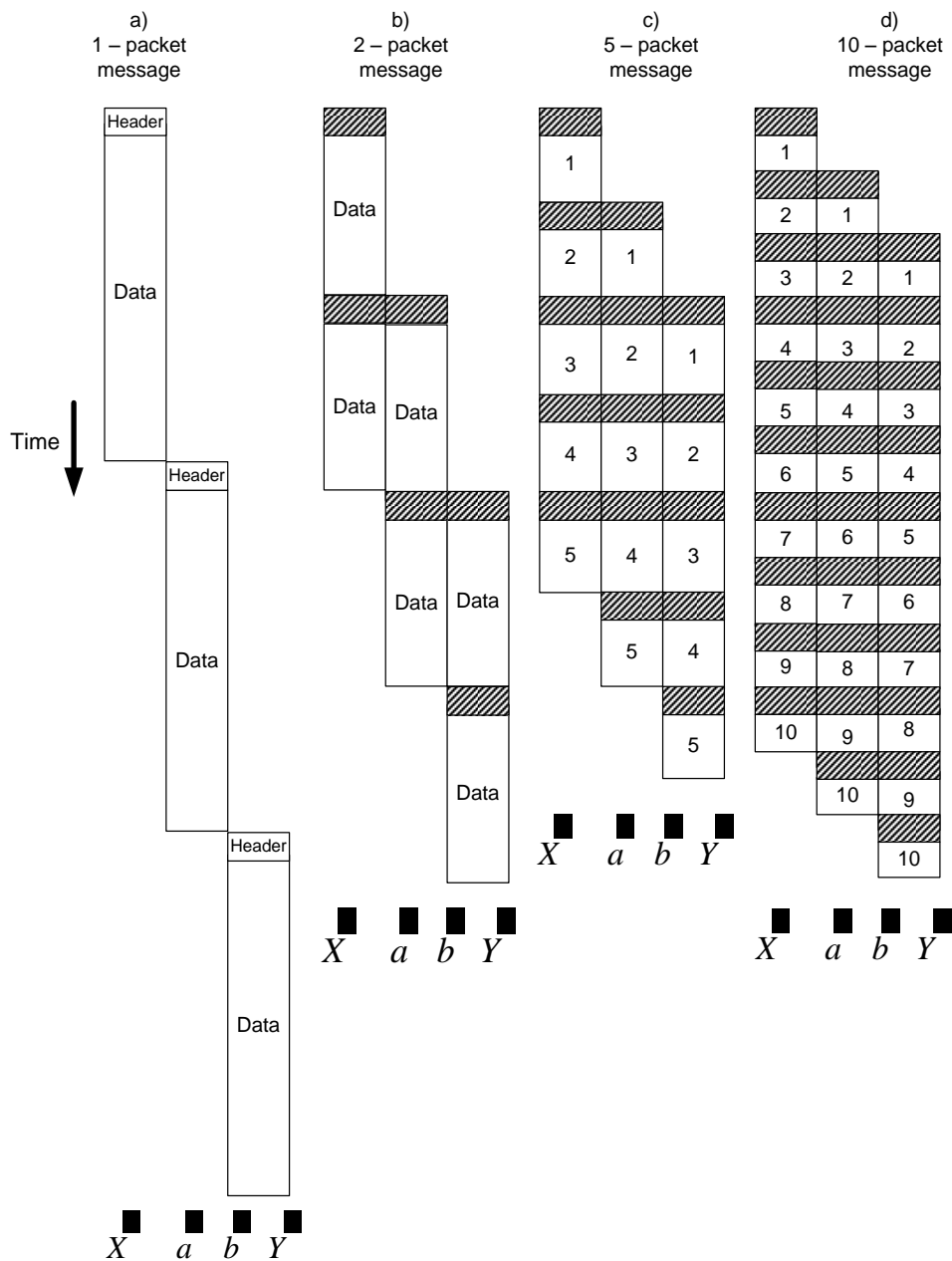
Trong hình 4.12 giả sử có một cầu ảo từ X đến Y thông qua 2 node a và b. Giả sử bản tin truyền bao gồm 30 byte, mỗi gói có 3 byte thông tin điều khiển; thông tin điều khiển được đặt đầu mỗi gói và gọi là header. Toàn bộ thông báo gửi dưới dạng một gói đơn 33 byte. Đầu tiên gói được truyền từ X đến a. Khi tất cả dữ liệu đã đến a thì mới chuyển tiếp đến b và cứ thế cho đến Y. Tổng thời gian truyền tại mỗi node thành ra 99 byte.



Hình 4.11. Sự chia bản tin thành cấu trúc segment và gói



Giả sử phân thành 2 gói, mỗi gói 15 byte và dĩ nhiên mỗi gói phải thêm vào 3 byte header. Trong trường hợp này a sẽ truyền gói đầu tiên khi đã nhận đầy đủ gói này mà không cần chờ nhận hết gói 2. Và vì vậy thời gian truyền tại mỗi node chỉ còn là thời gian truyền 72 byte. Nếu chia 5 gói thì thời gian chỉ còn là 63 byte. Tuy nhiên nếu tăng gói quá nhiều thì thời gian lại gia tăng bởi vì mỗi gói chứa một lượng header không đổi và nhiều gói có nghĩa là nhiều header dẫn đến hiệu suất thông tin giảm và thời gian truyền lại gia tăng trở lại. Do đó trong thiết kế gói cần xem xét kỹ các yếu tố trên.



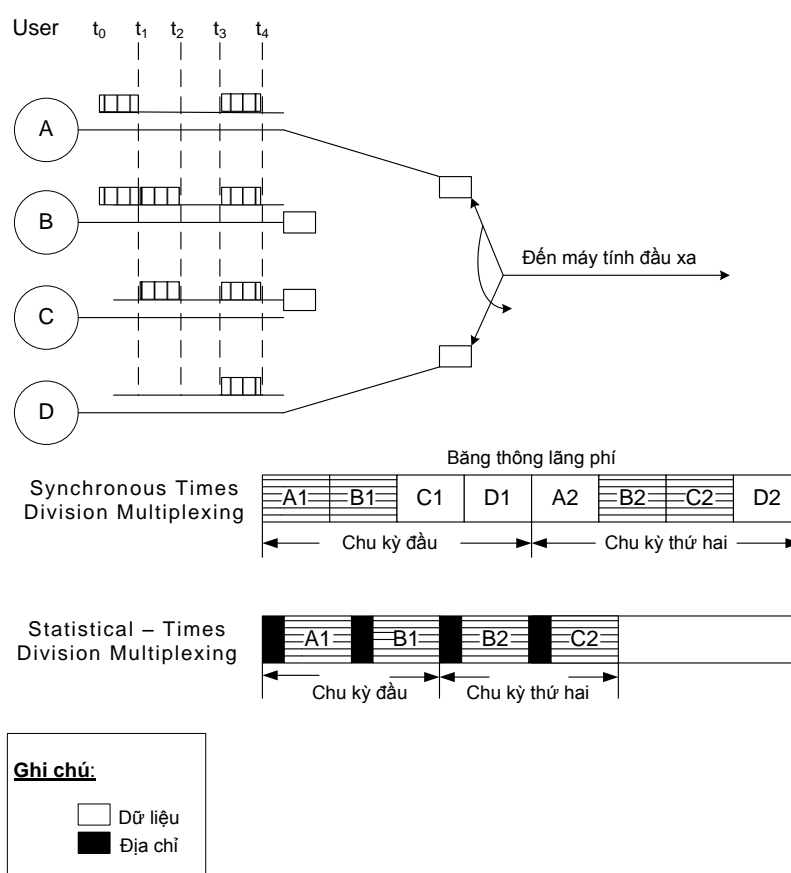
Hình 4.12. So sánh thời gian truyền giữa ba cách chia.

## 4.4. Kỹ thuật ghép kênh trong mạng chuyển mạch gói

### 4.4.1. Sơ lược về kỹ thuật STDM (Statistical Time – Division Multiplexing)

#### a. Đặc tính

Trong kỹ thuật TDM đồng bộ, có nhiều khe thời gian trong một khung bị lãng phí. Một ứng dụng tiêu biểu của TDM đồng bộ có liên quan đến việc liên kết một số các đầu cuối đến một công máy tính chủ chia sẻ thông tin. Ngay cả khi tất cả các đầu cuối đang trong trạng thái hoạt động, hầu hết thời gian là không có dữ liệu truyền tại bất kỳ một đầu cuối đặc biệt nào đó.



Hình 4.13. TDM đồng bộ ngược với TDM thống kê

Kỹ thuật TDM bất đồng bộ hay còn gọi là ghép kênh phân thời thống kê statistical TDM. Phương pháp ghép kênh này khai thác đặc tính chung nhất của truyền dữ liệu bằng cách phân phối các khe thời gian một cách linh động theo yêu cầu. Cũng giống như TDM đồng bộ, TDM bất đồng bộ cũng có một số các đường vào ra I/O trên một mặt và một đường ghép kênh tốc độ cao trên mặt kia. Mỗi đường xuất nhập có một bộ đệm (buffer) riêng. Trong trường hợp ghép kênh thống kê có n đường I/O nhưng chỉ có  $K < n$  khe thời gian trong một khung TDM. Để nhập dữ liệu, các buffer được quét và dữ liệu được nhập cho đến khi khung

(frame) được làm đầy, sau đó sẽ truyền đi. Tại đầu kia, bộ ghép kênh nhận một frame và phân phối các khe dữ liệu vào các bộ đệm xuất thích hợp.

Vì ghép kênh thống kê lợi dụng điều thực tế thường xảy ra là các user không truyền dữ liệu trong tất cả thời gian, nên tốc độ trên đường ghép kênh được thiết kế nhỏ hơn tổng tốc độ của các đường vào. Nhờ đó số đầu vào tăng hơn so với bộ ghép kênh TDM có cùng tốc độ.

Trên hình 4.13 mô tả 4 nguồn dữ liệu, và dữ liệu tạo ra trong 4 mốc thời gian  $t_0, t_1, t_2, t_3$ .

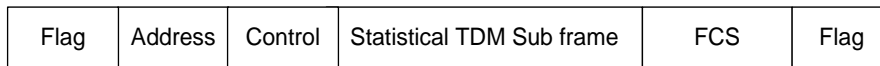
Trong trường hợp TDM đồng bộ, tốc độ trên đường ghép kênh phải bằng bốn lần. Trong suốt các khoảng thời gian, dữ liệu được lấy tuần tự từ tất cả bốn nguồn và gửi đi. Ví dụ trong khoảng thời gian thứ nhất, nguồn C và D không có dữ liệu, do đó 2 trong 4 khe thời gian được truyền đi là rỗng.

Ngược lại trong kỹ thuật TDM bất đồng bộ không gửi các khe trống đi (vì không có dữ liệu). Do đó trong khoảng thời gian thứ nhất (frame thứ nhất) chỉ có khe thời gian của A và B là được gửi đi.

Tuy nhiên ý nghĩa vị trí của các khe thì bị mất, không biết thời gian đầu của nguồn dữ liệu sẽ ở tại khe nào, vì không biết trước dữ liệu đến từ đâu và được phân phối vào đâu nên thông tin về địa chỉ phải được sử dụng. Do đó có nhiều overhead trong khe.

Cấu trúc khung được dùng có liên quan đến hoạt động. Rõ ràng cần tối thiểu overhead để tăng hiệu suất đường truyền. Thông thường, một hệ thống TDM thống kê sẽ dùng một giao thức như HDLC. Trong khung HDLC, khung dữ liệu phải chứa bit điều khiển hoạt động ghép kênh. Hình 4.14 trình bày hai dạng khung có thể:

- Dạng 1 chỉ một nguồn dữ liệu bao gồm trong một khung (a). Nguồn này được nhận dạng bởi một địa chỉ. Chiều dài của vùng dữ liệu thì thay đổi và kết thúc được đánh dấu bởi mã cuối của toàn bộ khung. Dạng này chỉ hữu hiệu cho tải nhẹ.
- Dạng 2 cho phép nhiều nguồn trong một khung đơn, nên cần chỉ ra chiều dài cho mỗi nguồn. Do đó các khung con TDM thống kê bao gồm một tuần tự các vùng dữ liệu, mỗi tuần tự được xác định bằng một vùng địa chỉ và một vùng chiều dài.



a) Khung tổng quát



b) Một nguồn trong một khung



b) Nhiều nguồn trong một khung

Hình 4.14. Các dạng khung của TDM thống kê

**b. Khảo sát hoạt động**

Tốc độ dữ liệu ở ngõ ra nhỏ hơn tổng tốc độ dữ liệu ở ngõ vào, bởi vì có thể đoán được trung bình số đầu vào nhỏ hơn hoặc bằng khả năng ghép kênh của đường truyền. Tuy nhiên, điều trở ngại là trong khi có thể tốc độ trung bình ngõ nhập nhỏ hơn khả năng ghép kênh nhưng cũng có khi đạt cao điểm khi tổng ngõ vào lớn hơn khả năng ghép kênh. Để giải quyết vấn đề này bộ đệm được dùng để lưu giữ tạm thời khi ngõ vào ở trạng thái cao điểm. Luôn mong muốn bộ đệm càng nhỏ và tốc độ xử lý dữ liệu chỉ cần vừa phải, nhưng cái này nhỏ thì cái kia phải tăng. Càng nhiều bộ đệm thì thời gian trì hoãn càng lớn. Do đó hai yếu tố cần so sánh là thời gian đáp ứng của hệ thống và tốc độ của đường ghép kênh.

- Gọi N: Số nguồn nối vào
- R: Tốc độ của mỗi nguồn bps
- M: Tốc độ tối đa của đường ghép kênh bps
- $\alpha$ : Tỷ lệ thời gian mà một nguồn đã truyền.

Ta có:  $0 < \alpha < 1$

Đặt  $K = M/NR$  : tỉ lệ giữa tốc độ tối đa của đường truyền và tổng tốc độ lối vào ở mức tối đa. K là tham số biểu thị khả năng nén dữ liệu.

**Ví dụ:** Nếu M là tốc độ tối đa của đường dây và  $K = 0,25$  thì số đầu vào ở TDM bất đồng bộ gấp 4 lần TDM đồng bộ (cùng M).

Ta có:  $\alpha \leq K$

■ Nếu  $\alpha > K$  tức là  $N' > N$  thì quá tải. Gọi tổng của trung bình tốc độ đầu vào là  $\alpha NR$ . Gọi  $S$  là thời gian truyền 1 bit:  $S = 1/M$ .

Đặt  $\beta = \alpha NR/M = \alpha / K = \beta M$

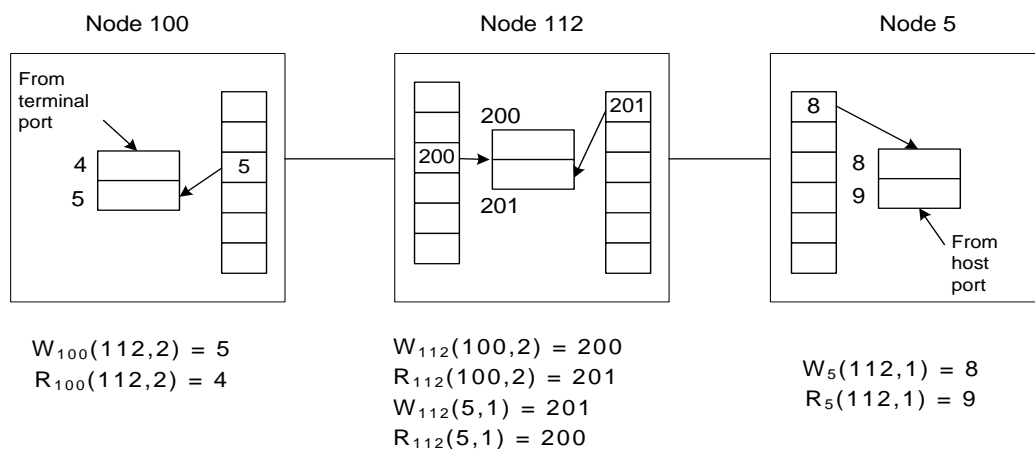
■ biểu thị tỉ lệ sử dụng tổng dung lượng của đường truyền.

■ Nếu  $M = 50$  Kbps và  $\beta = 0,5$  thì tải hiện hành là 25 Kbps.

Gọi  $q$  là kích thước vùng đệm,  $t_q$  là thời gian trễ. Quan hệ giữa  $q$  và  $\beta$  cũng như giữa  $t_q$  và  $\beta$  được cho bởi nhà chế tạo.

#### 4.4.2. Hoạt động ghép kênh trên mạch ảo ở mạng TYMNET

Mạng TYMNET dùng chế độ mạch ảo (virtual circuit) cả trong và ngoài mạng cơ bản dựa trên kỹ thuật ghép kênh gói. Dữ liệu từ các trạm được đệm vào các bộ đệm node dọc theo tuyến đã định. Một gói đơn được truyền giữa hai node có thể chứa dữ liệu của nhiều cầu nối ảo. Mỗi node được trang bị một bộ nhiều bộ đệm (buffer). Mỗi node gồm một số vector chỉ số. Một liên kết với node kế tiếp được chỉ định bởi một đôi vector.



Hình 4.15. Một mạch ảo trong TYMNET

Mỗi một thành phần liên kết hỗ trợ cho một số không đổi các kênh. Dùng kỹ thuật ghép kênh TDM thống kê.

$R_n(L,C) =$  Vector đọc của node  $n$  cho kênh  $C$  của liên kết  $L$ .

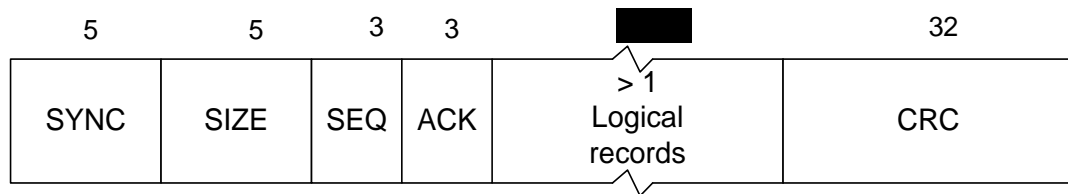
$W_n(L,C) =$  Vector ghi của node  $n$  cho kênh  $C$  của liên kết  $L$ .

**Ví dụ:**

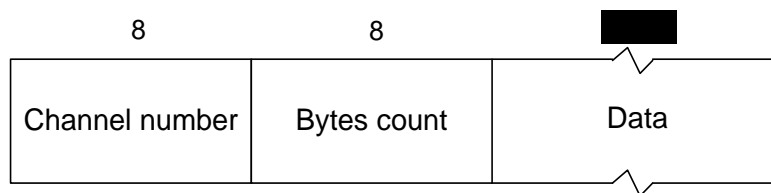
Dùng các vectơ này để xây dựng một mạch ảo giữa đầu cuối của node 100 và một host của node 5, hình 4.15.

Dữ liệu từ đầu cuối được giữ trong buffer 4 của node 100, node này đặt  $R_{100}(112,2) = 4$ , do đó node sẽ đọc dữ liệu từ buffer 4 của node 100 để truyền lên kênh 2 đến node 112. Tại node 112 có  $W_{112}(100,2) = 200$ , ra lệnh cho node này lưu giữ dữ liệu trên kênh 2 đến từ node 100 vào bộ đệm 200. Các dữ liệu này sau đó được truyền đến node 5 trên kênh 1. Cuối cùng dữ liệu được đặt vào buffer 8 của node 5 rồi cung cấp cho host.

Sự phân phối các buffer và các kênh vào một mạch ảo được thực hiện bởi node trung tâm gọi là supervisor. Các node không cần phải biết toàn bộ mạch ảo. Chúng chỉ cần theo dõi sự phân phối kênh hay vùng đệm là đủ.



a) Record vật lý



a) Record logic

Hình 4.16. Dạng khung liên kết node của TYMNET

Dữ liệu được truyền giữa các liên kết trong khung (frame), dùng khuôn dạng ở hình 4.16. Thực hiện truyền theo nghi thức đồng bộ hướng ký tự, dùng 3 bit đánh số tuần tự và 3 bit ACK. Mỗi frame chứa một hay nhiều gói dữ liệu và mỗi gói chứa đựng dữ liệu cho một kênh. Chú ý rằng có sự giống nhau giữa hình 4.16 và hình 4.14; rõ ràng thông tin giữa các node hình thành một liên kết TDM thống kê. Mỗi bản ghi (record) vật lý được thành lập bằng cách nhặt dữ liệu từ các kênh khác nhau dùng vectơ đọc. Tại đích các bản ghi vật lý được mở ra và đổ các gói vào các buffer bởi véc tơ ghi. Các dữ liệu đến trên cùng một liên kết, có thể được tỏa ra trên nhiều liên kết dựa vào thủ tục định tuyến của node. Kỹ thuật này rất giống với ghép kênh thống kê đã nói ở trên. Điểm mạnh của kỹ thuật này là ở định tuyến và điều khiển luồng.

## 4.5. Định tuyến trong mạng PSN

### 4.5.1. Giới thiệu

Định tuyến là một trong các công tác quan trọng của mỗi chuyển mạch trong mạng chuyển mạch gói. Sau khi tiếp nhận một gói tin trong bộ đệm, node chuyển mạch cần chỉ định tuyến tuyến lối ra nào để bộ phận chuyển mạch thực hiện thao tác chuyển mạch cho gói. Mục tiêu chủ yếu của định tuyến là tìm và chỉ ra con đường thích hợp để vận chuyển gói đến đích một cách chắc chắn và trong thời gian ngắn nhất.

Hiện nay có rất nhiều phương pháp định tuyến có tên khác nhau, tuy nhiên đều tồn tại dưới bốn dạng cơ bản: định tuyến lan tràn gói (packet flooding), định tuyến ngẫu nhiên (random routing), định tuyến trực tiếp theo bảng danh mục hay còn gọi là không thích nghi (directory routing hay nonadaptive routing), và định tuyến trực tiếp theo bảng danh mục thích nghi (adaptive directory routing). Mỗi phương pháp đều có khả năng giảm thời gian trì hoãn trong mạng, đây là đặc tính có ý nghĩa mà chuyển mạch gói cố gắng đảm bảo cho cộng đồng sử dụng. Tuy nhiên khả năng này phụ thuộc rất nhiều vào độ phức tạp của mỗi kỹ thuật trong phương pháp cũng như liên quan đến số lượng thành phần lưu thông trong mạng tại bất kỳ thời điểm nào.

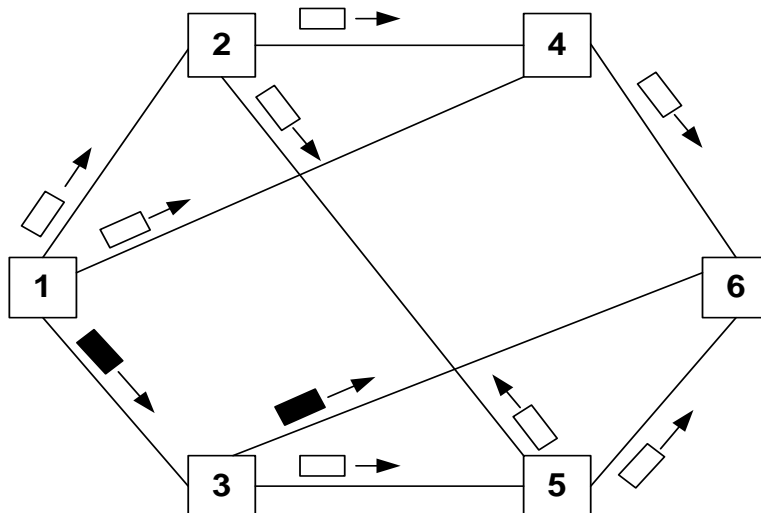
### 4.5.2. Các phương pháp định tuyến cơ bản

#### *Lan tràn gói*

Phương pháp này cố gắng truyền trong mọi đường có thể giữa nguồn và đích, do đó nó đảm bảo phần tử lưu thông cuối cùng rồi cũng xuyên được qua mạng, ngay cả trường hợp mạng có bị hư hỏng một cách nghiêm trọng hay là không. Với phương pháp này gói được gửi từ node nguồn đến tất cả các node kế nó. Mỗi node nhận một gói thì lập tức kiểm tra xem gói này đã nhận được lần nào trước đây chưa, nếu đã nhận rồi thì loại gói mới tới này, nếu chưa thì sau đó gửi gói đến tất cả các node kế đó. Trong phương pháp này mỗi con đường có thể xuyên qua mạng từ nguồn đến đích đều được thử, gói copy đầu tiên đến được đích là gói đi trên con đường có tổng thời gian trì hoãn là nhỏ nhất; bất kỳ gói được copy nào đến sau sẽ bị loại.

Để hiểu hoạt động của flooding xét ví dụ trong *hình 4.17*. Mỗi node trong mạng trên được nối với 3 node khác nhau (còn được gọi là mạng nối ba).

Mỗi gói phát ra từ node 1 có đích đến là node 6. Gói copy sẽ được gửi đi từ node 1 đến node 3 là 2, 4 và 3. Sau khi gói được nhận thành công ở node 2, các gói copy được gửi từ 4 và 5. Tuy nhiên gói copy từ 2 thì trùng với gói copy được nhận trực tiếp từ 1, do đó nó sẽ bị loại. Tại node 3 gói copy lại được gửi



Hình 4.17. Định tuyến theo phương pháp lan tràn gói

đến 5 và 6. Dĩ nhiên gói đến 6 thì hoàn tất việc truyền. Theo trạng thái thông thường của mạng thì đường đi nhanh nhất đến 6 là hoặc 1 qua 4 đến 6, hoặc 1 qua 3 đến 6. Trong hình 4.17 giả sử gói copy được truyền đến 6 qua 3.

Chú ý rằng sau khi gói đến tại đích của nó, vẫn còn nhiều gói copy tiếp tục xuyên qua mạng. Ví dụ các gói đến 4 từ 2 thì trùng với các gói đến 4 từ 1. Vì 4 nhận ra gói đã được trước nên sẽ loại gói đến sau. Các gói trùng đến sau sẽ từ từ biến mất trong mạng. Tương tự tại đích cũng có một số gói copy sau đến được và cũng sẽ bị loại. Kỹ thuật này tồn tại một số khuyết điểm như sau:

- Kỹ thuật này cơ bản dựa trên sự nhân rộng lưu lượng tải.
- Việc gia tăng cường độ lưu thông, gia tăng hàng loạt điểm trì hoãn, dẫn đến gia tăng trì hoãn điểm nối điểm, ngay cả khi gói được truyền trên tuyến nhanh nhất hiện hành.
- Mỗi gói phải chứa địa chỉ hoàn chỉnh và các thông tin nhận dạng.
- Mỗi chuyển mạch phải ghi lại tất cả các gói mà chúng bắt gặp trong thời gian đủ lớn để đảm bảo các gói trùng (của gói được nhận) được phát hiện và loại bỏ. Tương tự các chuyển mạch phải được cảnh báo thường xuyên về khả năng các gói copy sẽ đến rất nhiều sau khi gói copy đầu tiên đã chuyển giao thành công cho host đích.



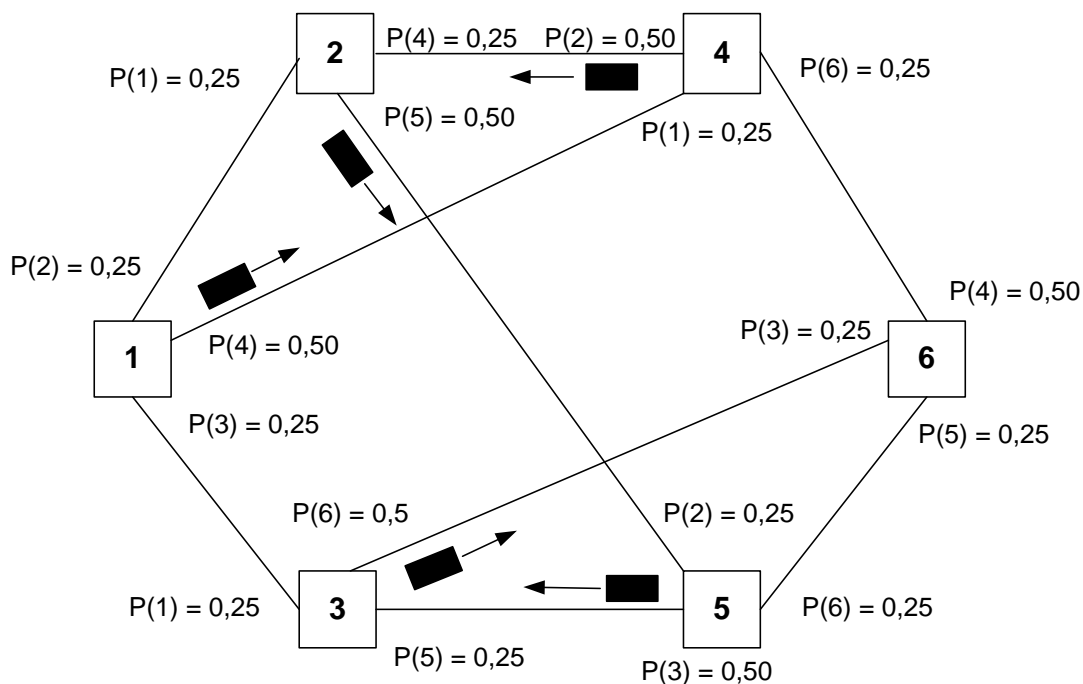
Tuy nhiên ưu điểm nổi bật của phương pháp này là chắc chắn sẽ truyền gói đến đích trên con đường tốt nhất hiện hành.

### ***Định tuyến ngẫu nhiên (random routing)***

Định tuyến ngẫu nhiên có ý tưởng cơ bản giống định tuyến lan tràn gói, ngoại trừ gói không được gửi đến mọi node kế được nối với node nguồn, thay vì vậy một tuyến từ mỗi node được chọn ngẫu nhiên và các gói được truyền chỉ trên đường này. Sự lựa chọn ngẫu nhiên của các tuyến phải bao gồm cả tuyến mà các gói đã được nhận.

Mục tiêu của phương pháp là các gói lang thang trong mạng, cuối cùng rồi cũng đến được đích. Có khả năng sự chọn tuyến đặc biệt từ một node được định hướng cơ bản dựa trên sự nạp tải, dung lượng đường truyền hay các điều kiện mạng khác nhưng thông thường thì không đoán trước được.

Cũng giống như phương pháp lan tràn gói, định tuyến ngẫu nhiên có ưu điểm là bằng một con đường tồn tại xuyên qua mạng, thành phần lưu thông cuối cùng rồi cũng sẽ đến được đích. Định tuyến ngẫu nhiên giảm bớt rắc rối của sự nhân rộng các thành phần lưu thông. Nếu tất cả các liên kết và node đồng dạng thì có thể phân phối cùng khả năng cho mỗi tuyến. Tuy nhiên do khác nhau về năng lực liên kết nên các khả năng giữa các tuyến không giống nhau. Trong trường hợp này một tuyến tại mỗi node sẽ được chọn là 50% khả năng và 2 tuyến khác mỗi tuyến 25% khả năng. Trên hình 4.18 trình bày gói hướng từ node 1 đến node 6 với toàn bộ các tuyến có thể, các tuyến 50% khả năng luôn được chọn. Do đó đường dẫn bắt đầu từ 1 đến 4, đến 2, đến 5, đến 3, rồi đến 6.



Hình 4.18. Định tuyến ngẫu nhiên

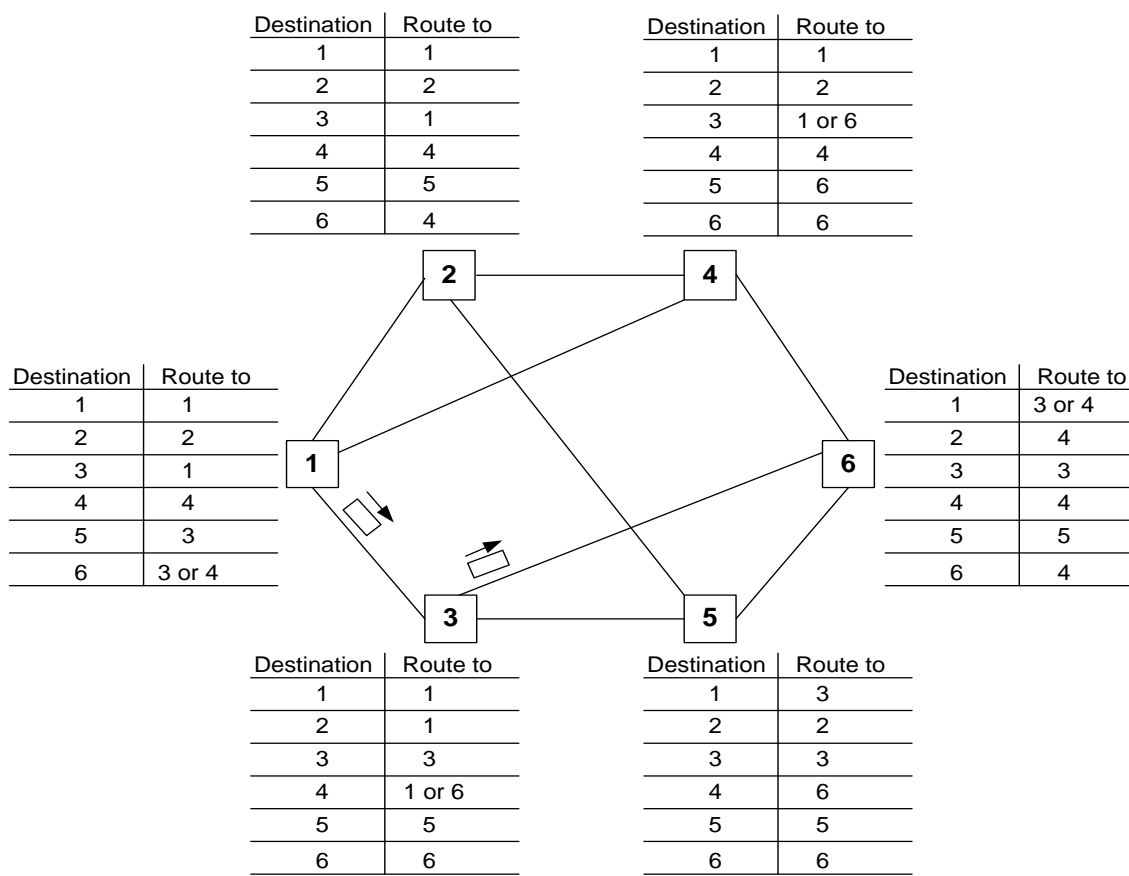
Tuy nhiên phương pháp này cũng còn tồn tại khuyết điểm là khi dữ liệu lưu thông theo các giá (cost) trung bình được phân phối tùy thuộc khả năng chọn lựa tuyến, chiều dài trung bình từ nguồn đến đích sẽ có khuynh hướng dài hơn hầu hết các đường có thể đi trực tiếp. Do đó các gói sẽ bị trì hoãn giữa các điểm lâu hơn so với thời gian trì hoãn ngắn nhất trên một đường truyền nào đó thực sự tồn tại trong mạng.

#### ***Định tuyến trực tiếp theo danh mục (Directory Routing)***

Trong phương pháp này tại mỗi node sẽ có một bảng định tuyến, chỉ đường dẫn để chọn bất kỳ đích nào trong mạng từ node hiện hành. Bảng được xây dựng trong bộ nhớ của chuyển mạch và được phát triển tùy thuộc vào bất kỳ tiêu chuẩn nào, có thể là đường ngắn nhất, đường có thời gian trì hoãn ngắn nhất, đường có dung lượng cao,...

Để hoạt động tin cậy, định tuyến trực tiếp theo danh mục còn bao gồm không chỉ đường chọn lựa chính mà còn có các chọn lựa thứ hai để dự phòng dưới các điều kiện chỉ định, như khi đường truyền bị hư, các chuyển mạch bị hư hay quá tải trong lưu thông.

**Hình 4.19** minh họa đơn giản về định tuyến trực tiếp. Trên đó một ma trận định tuyến ngắn nhất trình bày có 36 lối vào cho 6 node. Mỗi lối vào chỉ ra node kế tiếp dọc theo đường ngắn nhất từ node này đến node khác.



Ma trận định tuyến

		Đến node					
		1	2	3	4	5	6
Từ node	1	—	2	3	4	3	3 or 4
	2	1	—	1	4	5	4
	3	1	1	—	1 or 6	5	6
	4	1	2	1 or 6	—	5	6
	5	3	2	3	6	—	6
	6	3 or 4	4	3	4	5	—

Hình 4.19. Định tuyến trực tiếp theo danh mục

Ví dụ các gói đang ở tại node 6 có đích đến là node 2 sẽ được dẫn hướng đến node 4. Bảng định tuyến có đặc điểm:

- Trên bảng định tuyến chỉ có những hàng đơn liên hệ đến từng chuyển mạch riêng.
- Một vài lỗi vào trong bảng có hai tuyến có khả năng xảy ra, nhưng trong thực tế để đảm bảo tính rõ ràng thì chỉ một tuyến được chọn vào một thời điểm và được đặt vào bảng trong khi quá trình hoạt động.

Ưu điểm của định tuyến trực tiếp là hoạt động của nó được xác định rõ ràng, mọi gói lưu thông giữa nguồn và đích sẽ đi theo cùng một tuyến tùy thuộc vào bảng định tuyến. Khi một tuyến đã được thành lập trên cơ sở các tiêu chuẩn như đường ngắn nhất, đường có thời gian trì hoãn nhỏ nhất..., các gói sẽ đi theo một cách trung thành trừ phi bảng định tuyến được thay đổi bởi các hoạt động hay bởi trung tâm điều khiển mạng.

Bên cạnh đó phương pháp này cũng có một số hạn chế xuất phát từ việc sử dụng bảng định tuyến:

- Cấu trúc công kênh.
- Khó thích ứng với các thay đổi về cấu hình mạng, cũng như đáp ứng thích hợp với các hậu quả khi node hay đường dây bị hư hoặc quá tải.

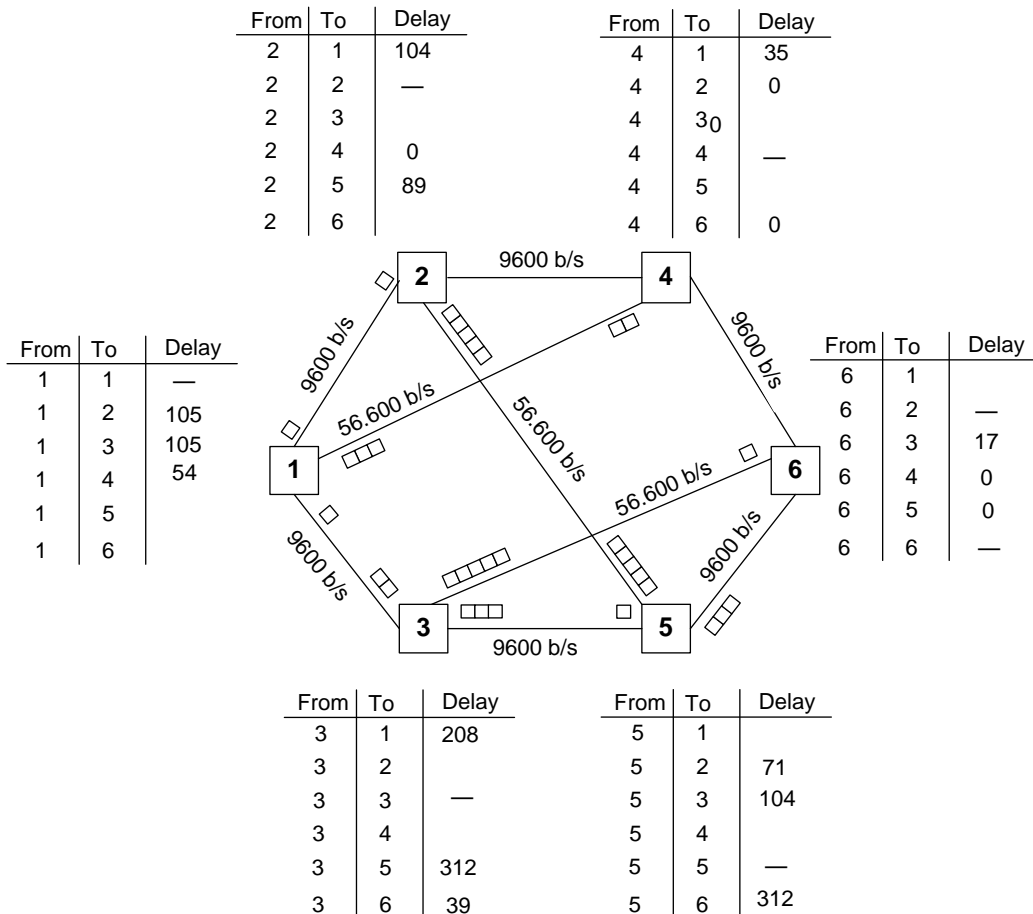
### ***Định tuyến theo danh mục thích nghi ( Adaptive Directory Routing)***

Hoàn toàn tương tự như định tuyến trực tiếp theo danh mục, trong đó mỗi chuyển mạch có một bảng định tuyến trong bộ nhớ để chỉ ra tuyến tối ưu đến đích. Tuy nhiên, các lối vào ở trong bảng có thể thay đổi trong thời gian thực thi tùy vào sự thay đổi các điều kiện hoạt động trong mạng như tắc nghẽn lưu thông hay sự cố đường truyền và chuyển mạch. Do đó các chọn lựa phụ không còn cần thiết nữa. Đường truyền hiện hành về nguyên tắc luôn là đại diện cho tuyến tối ưu nhất theo các tiêu chuẩn đã chọn vào thời điểm yêu cầu.

- **Tiêu chuẩn đánh giá:** Bởi vì mục tiêu chính của mạng chuyển mạch gói là làm sao truyền thông tin đi nhanh nhất và do đó việc trì hoãn truyền trở thành một tiêu chuẩn cần xét đến và được xem như là giá của liên kết (link cost). Giá của liên kết phụ thuộc vào tốc độ truyền trên liên kết, tỉ lệ lỗi, kích thước bộ đệm ở hai đầu. Một phương án định tuyến dựa trên việc tối thiểu trì hoãn truyền có thể thực hiện dễ dàng vì mỗi chuyển mạch trong mạng đủ thông minh để ước lượng khoảng thời gian để chuyển một gói mới đi đến chuyển mạch kế. Mỗi chuyển mạch có thể ước lượng chính xác nếu biết mỗi đường nối đến nó có tốc độ bit bao nhiêu, cũng như tỉ lệ lỗi và số lượng các bit trong hàng đợi muốn truyền qua đường này. Nếu các node trao đổi thông tin trì hoãn với các node kế nó thì mỗi node có thể ước lượng được toàn thể trì hoãn truyền đến tất cả các đích trong mạng.

- **Bảng trì hoãn truyền:** Để minh họa nguyên tắc bảng trì hoãn truyền ta xét *hình 4.20*. Tốc độ bit được chỉ định cho mỗi đường. Giả sử mỗi gói có 1000 bit, trên hình cũng trình bày số lượng các gói xếp hàng còn để lại tại mỗi

chuyển mạch. Tại mỗi node thấy có một bảng trì hoãn, nó được tính toán bởi mỗi node trên cơ sở tốc độ truyền và lưu lượng giao thông trên mỗi đường. Ở đây các bảng trì hoãn chỉ đề cập các đường dẫn đến các đích được nối trực tiếp với chuyển mạch mà thôi, nhằm làm cho sự ước lượng được xem là hoàn toàn chính xác.

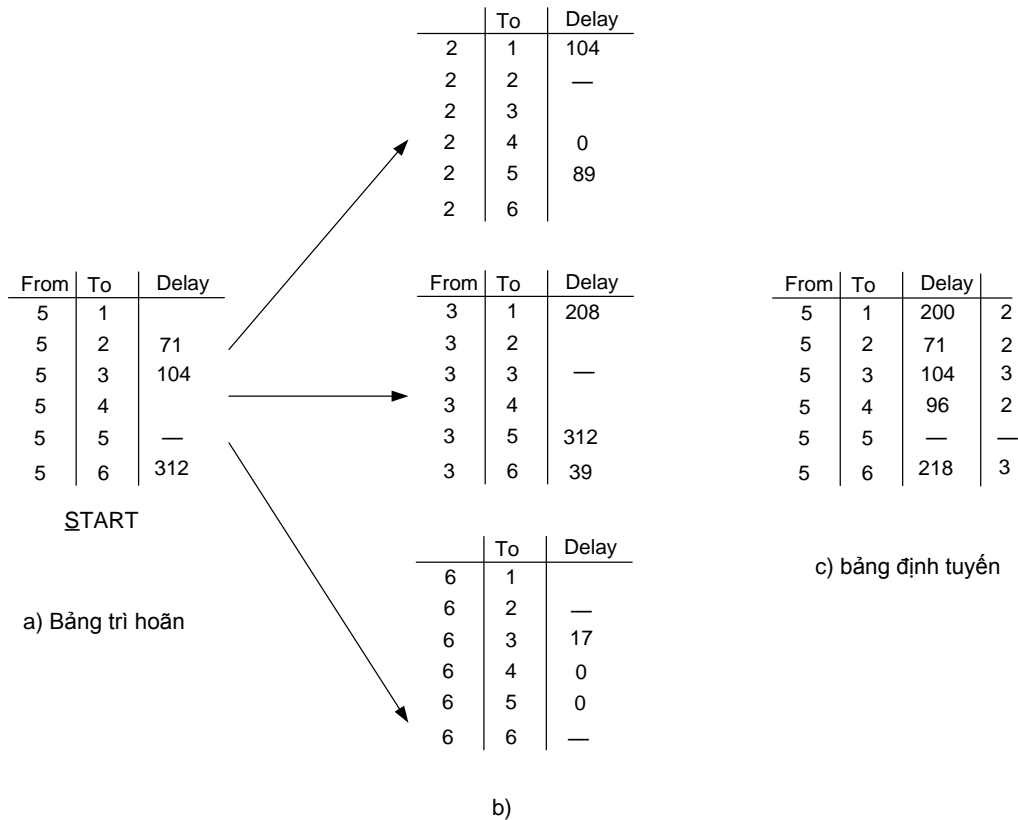


Ghi chú:  
Thời gian trễ tính bằng mili giây

Hình 4.20. Định tuyến thích nghi dùng một bảng trì hoãn

■ **Sự thiết lập bảng định tuyến:** Để hiểu rõ hơn về hoạt động của giải thuật định tuyến hãy tập trung tìm hiểu bảng định tuyến tại node 5 (hình 4.21). Bắt đầu là bảng trì hoãn truyền mà node 5 xây dựng cho chính nó từ các nhận biết về tốc độ định tuyến và lưu lượng giao thông. Bảng của 5 chỉ đề cập đến thời gian trì hoãn trên các đường nối trực tiếp với nó. Trì hoãn đến node 2 là 71ms; đến 3 là 104ms và đến 6 là 312ms. Mỗi node trao đổi bảng trì hoãn cho nhau để làm cơ sở ước lượng kế tiếp, trên đây node 5 kết hợp các thông tin từ các bảng và tính toán cho ra một bảng định tuyến sẵn có cho đến khi thông tin mới được cập nhật. Nếu ta giả sử rằng thời gian xử lý

cho một gói đến tại một node là 25ms, vậy thì thông tin định tuyến sẽ được xác định như thế nào từ node 5 sang node 1. Mặc dù node 5 không nối trực tiếp với node 1 nhưng được nối trực tiếp với node 2 và node 3. Node 5 sẽ chọn trì hoãn nào nhỏ nhất. Trong trường hợp này trì hoãn từ 2 đến 1 là 104ms, trì hoãn từ 5 đến 2 là 71ms, trì hoãn tại node 2 là 25ms, tổng trì hoãn là 200ms. Thời gian khi trì hoãn từ 3 đến 1 là 208ms lớn hơn nhiều nên bị loại.



Hình 4.21. Thiết lập bảng định tuyến tại node 5

Hàng cuối cùng của bảng định tuyến biểu hiện sự thích nghi linh hoạt của xử lý định tuyến. Node 5 nối trực tiếp đến node 6 với trì hoãn là 89ms. Trì hoãn từ 5 đến 3 là 104ms việc trì hoãn tại node 3 là 25ms. Tổng trì hoãn qua 3 chỉ có 218ms < 312ms do đó định tuyến từ 5 đến 6 sẽ không trực tiếp đến 6 mà qua 3 mới đến 6. Điều này chứng tỏ trong định tuyến đường dài vật lý chưa hẳn là đường dài logic.

Theo như trên thì cuối cùng bảng định tuyến chỉ ra rằng tại thời điểm hiện hành thông tin được định tuyến qua 2 hoặc 3. Vì trạng thái của mạng thay đổi thường xuyên nên trong một khoảng thời gian ngắn khoảng 200ms hay ít hơn nữa những thông tin trong bảng định tuyến sẽ trở nên lạc hậu. Ví dụ tất cả luồng thông tin đều được định tuyến qua 2 và 3 bởi vì trì hoãn đến 6 quá lớn so với các node

khác. Nhưng vì không có ai gọi đến 6 và hàng đợi trên đường này được giảm. Kết quả là sau khi bảng định tuyến được dùng trong 200ms, thì thời gian trì hoãn trên đường từ 5 đến 6 sẽ giảm đến 112ms.

Để kỹ thuật định tuyến thích nghi hoạt động tốt, hoặc các cập nhật tuyến phải được xác định một cách thường xuyên hoặc sự khác nhau giữa hai tuyến phải rõ ràng trước khi tuyến thích hợp được chọn.

Trong mạng ARPANET giải thuật được thực hiện với sự trao đổi đồng bộ các bảng định tuyến giữa các node chuyển mạch, khoảng 3 đến 5 lần trong 1 giây. Việc trao đổi đồng bộ đưa đến tính không ổn định (ví dụ 2 node đồng thời báo đường tốt nhất đi đến một điểm trong mạng là qua node kia). Nếu trao đổi bất đồng bộ thì mỗi node có dịp dùng các thông tin sau cùng sẵn có trong bảng định tuyến của nó trước khi chuyển thông tin kết hợp đến các node kế. Việc trao đổi rất thường xuyên các bảng cũng gây ra tình trạng bất ổn định trong mạng, tạo các vòng lặp gói và các gói con thoi đi lại giữa hai node. Do đó việc cập nhật bảng phải đủ lâu để sử dụng hiệu quả quá trình xử lý thích nghi. Tốt nhất là thiết lập bảng định tuyến tối ưu khoảng 10s một lần.

Từ giải thuật trên có thể khẳng định rằng thông tin sự cố trên đường dây hay node sẽ từ từ xuyên qua mạng. Một đường dây hư sẽ được chỉ ra bởi giá trị trì hoãn vô cùng lớn trong lối vào bảng định tuyến của node nối đến dây này. Một node bị hư sẽ không thông tin về bảng ước lượng trì hoãn cho các node kế, do đó nó được xem là node hư. Khi hoạt động trở lại nó dễ dàng tham gia vào mạng vì nó gửi các bảng ước lượng trì hoãn đến các node kế nó ngay sau đó.

Hạn chế chủ yếu có tính khách quan của phương pháp này là việc xử lý phức tạp, các chuyển mạch phải có thể phát hiện ra các điều kiện của mạng, đảm bảo năng lực xử lý để cập nhật và đưa ra hướng giải quyết tối ưu.

#### **4.5.3. Một vài giải thuật tìm đường ngắn nhất thông dụng**

Hầu hết các giải thuật tìm đường ngắn nhất được dùng trong mạng chuyển mạch gói đều thuộc một trong hai giải thuật thông dụng là Dijkstra và Bellman-Ford

■ **Giải thuật Dijkstra:** Nội dung của giải thuật có thể được tóm tắt như sau: Tìm các đường dẫn ngắn nhất từ node nguồn cho trước đến tất cả các node khác bằng cách phát triển các đường theo thứ tự gia tăng chiều dài. Giải thuật xử lý lần lượt qua các tầng. Ở tầng thứ k các đường dẫn ngắn nhất đến node k từ node nguồn được xác định; các node đã được xác định như

vậy nằm trong tập node M. Tại tầng thứ  $k + 1$ , node không ở trong M mà có đường dẫn ngắn nhất từ nguồn thì cho vào M. Khi tất cả các node đã có mặt trong M thì kết thúc giải thuật.

**Giải thuật Bellman-Ford:** Nội dung của giải thuật có thể mô tả như sau: Tìm các đường dẫn ngắn nhất từ một node nguồn cho trước bắt buộc chỉ chứa một liên kết; sau đó tìm các đường dẫn ngắn nhất với điều kiện chỉ chứa tối đa hai liên kết, và tiếp tục. Giải thuật sẽ tiến hành qua các tầng được hình thức hóa như sau:  $S =$  node nguồn.  $d_{ij}$  = giá liên kết từ node  $i$  đến node  $j$ ;  $d_{ij} = 0$  và  $d_{ij} = \infty$  nếu hai node không nối trực tiếp với nhau,  $d_{ij} = c_{ij}$  nếu hai node nối trực tiếp với nhau.  $h =$  số tối đa của liên kết trong một đường dẫn tại tầng hiện hành của giải thuật. Gồm hai bước:

- Khởi tạo:  $D_n^{(0)} = \begin{cases} 0 & \text{nếu } n = S \\ \infty & \text{trường hợp khác} \end{cases}$
- $D_s^{(h+1)} = 0$
- $h=0; D_n^{(h+1)} = \min [D_j^{(h)} + d_{jn}]$

## 4.6. Điều khiển luồng dữ liệu

### 4.6.1. Giới thiệu

Khi phân phối dữ liệu vào trong mạng, nếu không có sự cân đối giữa truyền dữ liệu nơi phát và nhận dữ liệu ở nơi thu sẽ gây nên tình trạng tắc nghẽn trong mạng, nguy hiểm hơn có thể làm mất dữ liệu. Khi số lượng gói đưa vào trong mạng nằm trong khả năng phân phối của mạng thì tất cả các gói được chuyển đi, tuy nhiên khi lưu lượng gia tăng, các node không thể đảm đương nổi sẽ bắt đầu xảy ra tình trạng tắc nghẽn. Đặc biệt khi một node nào đó hoạt động không bình thường mà dòng dữ liệu vẫn liên tục chảy đến khiến cho phần mạng ở đây cũng trở nên tắc nghẽn.

Mạng chuyển mạch gói phải có khả năng giảm tốc độ dòng thông tin nhập từ một node vào node khác. Điều này rất quan trọng vì nhờ đó ngăn chặn được tình trạng tắc nghẽn ở những nơi khả năng xử lý tải trở nên thất thường. Công việc này được gọi là *điều khiển luồng dữ liệu (flow control)*.

### 4.6.2. Phương pháp cửa sổ dịch

Nhìn chung, hiện nay có nhiều mức độ điều khiển luồng dữ liệu và có nhiều phương pháp điều khiển luồng trong kỹ thuật truyền số liệu, nhưng phương pháp



điều khiển luồng thường sử dụng trong mạng chuyển mạch gói là phương pháp cửa sổ dịch (slid window).

Chỉ số tuần tự của gói truyền là  $P(S)$  liên kết chặt chẽ với chỉ số tuần tự của gói nhận  $P(R)$  để điều khiển luồng dữ liệu trong mạng gói. Điều khiển luồng ngăn cản mạng chấp nhận lưu lượng đầu vào nhanh hơn khả năng phân phối ở đầu ra của node hay nói cách khác là ngăn ngừa hiện tượng nghẽn. Dòng được điều khiển sẽ đảm bảo tất cả các gói vào mạng sẽ được chuyển tới đích trong thời gian ngắn nhất. Thời gian phân phối thực sự phụ thuộc vào các dòng tải khác có cùng đích và phụ thuộc vào tốc độ đường phân phối tải đến user đích.

Phương pháp điều khiển cửa sổ dịch làm cho tốc độ dữ liệu vào phù hợp với tốc độ dữ liệu ra. Nó có tác dụng hạn chế tốc độ của gói mới tiếp tục đưa vào mạng khi mạng đang bị sự cố, ví dụ tuyến hoặc node chuyển mạch bị hư.

#### **a. Kích thước cửa sổ**

Kích thước cửa sổ xác định số lượng tối đa các gói chưa được truyền của một user có thể truyền lên kênh logic tại bất kỳ thời điểm nào. Khi một chuyển mạch của mạng truyền bất kỳ thông tin nào đến một user trên một kênh logic đặc biệt, giá trị của số tuần tự trong gói nhận được bớt đi 1  $\{P(R) - 1\}$  là số tuần tự của gói sau cùng được truyền thành công bởi mạng. Việc cập nhật tăng lên thành  $P(R)$  được thực hiện bởi mạng mang ý nghĩa báo nhận thành công cho các gói đã truyền.

Cơ cấu điều khiển luồng cửa sổ yêu cầu chỉ số tuần tự cao nhất được truyền bởi user phải nhỏ hơn tổng  $P(R)$  hiện hành cộng với kích thước cửa sổ truyền lớn nhất  $W$ . Ví dụ, giả sử  $W$  bằng 4, nghĩa là user có tối đa bốn gói được xử lý truyền qua mạng vào bất kỳ thời điểm nào. Nếu gói sau cùng được chấp nhận bởi mạng là  $P(R) = 16$ , thì  $P(R) + W = 16 + 4 = 20$ . Điều này có nghĩa bây giờ user được phép truyền các gói có số tuần tự là 17, 18, 19 nhưng không được truyền gói 20 (hay lớn hơn) cho đến khi giá trị của  $P(R)$  gia tăng một lần nữa. Bất kỳ nỗ lực nào truyền một gói vượt ra ngoài cửa sổ cho phép hiện hành đều bị xem là lỗi thủ tục, nó sẽ bị loại bỏ hoặc gây ra reset kênh logic.

Kích thước cửa sổ là một đặc trưng được thống nhất bởi các nhà cung cấp mạng và user vào thời điểm dịch vụ mạng được khởi động. Kích thước cửa sổ càng lớn, lượng tải của user cho phép đặt lên kênh logic càng lớn. Hơn thế nữa, khi kích thước cửa sổ gia tăng, nhiều tài nguyên mạng củ thể là dung lượng kênh và bộ đệm chuyển mạch phải được phân phối cho user này. Do đó, kích thước cửa

số phải được cân đối giữa lưu lượng yêu cầu tối đa của user và giá thành cung cấp dịch vụ.

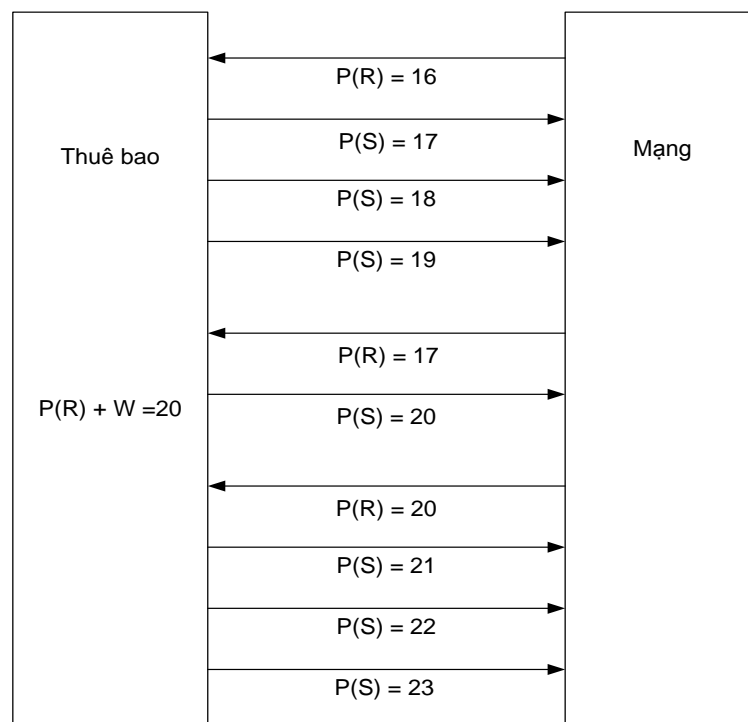
**b. Hoạt động của cơ cấu cửa sổ điều khiển luồng**

Cửa sổ  $W = 4$

$P(R) = 16$

$P(S) = 17$

Hoạt động của cơ cấu điều khiển luồng dựa trên nguyên tắc: nếu mạng phải giới hạn dòng các gói mới vào mạng, nó có thể làm giảm tốc độ nhờ tăng giá trị  $P(R)$  hay giảm tạm thời kích thước cửa sổ  $W$  bằng cách gửi một thông điệp điều khiển thích hợp đến user. Hoạt động của cơ cấu cửa sổ dịch được minh họa trên hình 4.22, trên hình trình bày gói 16 đã truyền thành công và kích thước cửa sổ  $W = 4$ . Lưu ý rằng giá trị  $P(R)$  không cần thiết phải tăng từng đơn vị tại một thời điểm. Ví dụ, chúng ta thấy  $P(R)$  tăng từ 17 lên 20 chỉ một bước. Hiện tượng này có thể xảy ra, ví dụ nếu tắc nghẽn tạm thời làm chậm sự phân phối gói, và ba gói được nhận và được báo nhận trong một thời gian rất ngắn thì có thể cho tất cả ba gói được kiểm soát bằng một sự gia tăng của  $P(R)$ .



Hình 4.22. Hoạt động của cửa sổ điều khiển luồng trên giao tiếp user-to -network

## **4.7. Một số giao thức chuyển mạch gói**

### **4.7.1. Giao thức X.25**

X.25 là một giao thức thực thi giao tiếp DTE/DCE, rộng hơn có thể xem X.25 như một giao thức hoạt động theo chế độ tạo cầu giữa hai đầu cuối DTE qua mạng chuyển mạch gói. Khuyến nghị X.25 của CCITT được phân chia vào ba lớp dưới cùng trong mô hình hệ thống mở OSI.

#### **a) Lớp vật lý**

Liên quan đến các mạch trong giao tiếp DTE/DCE, xác định các thành phần thuộc tính hiệu điện và các chuẩn đầu nối. Cho phép hai chuẩn giao tiếp tiêu biểu là X21 và X21bis. X21 quy định về giao tiếp vật lý giữa DTE và DCE thực hiện đồng bộ trên các mạng số liệu công cộng, các thiết bị này được thiết kế để giao tiếp với các modem đồng bộ họ V, X21bis tương đương với X21 nhưng chỉ khác ở chỗ nó qui định việc sử dụng các giao tiếp nối tiếp họ V để sử dụng cùng với mạng số liệu công cộng.

#### **b) Lớp liên kết dữ liệu**

Mô tả dòng số liệu giữa hai điểm trong mạng (các thủ tục đường dây), thực chất của lớp này là cung cấp một tuyến thông tin có thủ tục điều khiển luồng dữ liệu, hạn chế lỗi giữa hai đầu cuối. Điều này tạo điều kiện thuận lợi cho các lớp cao hơn làm việc mà không quản ngại về sai lạc số liệu. Giao thức lớp liên kết này dùng một số khía cạnh từ giao thức HDLC (giao thức điều khiển số liệu cấp cao)

Có hai loại giao thức X.25 lớp hai là LAP (thể thức xâm nhập tuyến) và LAPB (thể thức xâm nhập tuyến cân bằng). LAPB hoàn thiện hơn LAP một ít và là loại mà hầu hết các mạng đều sử dụng.

#### **c) Lớp mạng**

Mô tả việc gán địa chỉ và đóng gói thông tin. Các chức năng của X.25 tại mức ba có thể được tóm tắt như sau:

- Ghép các đường thông tin một kênh thành một số kênh logic
- Kiểm tra dòng số liệu và xử lý lỗi.
- Đánh số các gói.
- Các chức năng dừng.
- Các cuộc gọi ảo giữa các DTE.

- Nối mạch ảo cố định.
- Nối mạch ảo có gán địa chỉ điểm nối điểm.
- Trao đổi thông tin có tính đến kích cỡ gói giữa DTE.

X25 mức 3 trên thực tế định nghĩa là một giao thức giữa một DCE và một DTE đấu nối trực tiếp qua một tuyến thông tin. DTE có thể như là một PAD còn DCE có thể là thiết bị chuyên mạch gói X.25. Có thể có nhiều loại mạng khác nhau đang được sử dụng để cung cấp tuyến nối giữa hai DXE. Thế nhưng điều quan trọng là giao thức lớp mạng giữa DTE và DCE phải giữ giống nhau dù mạng truyền thuộc loại nào gồm cả tuyến truyền giữa DXE nội hạt và DXE ở xa.

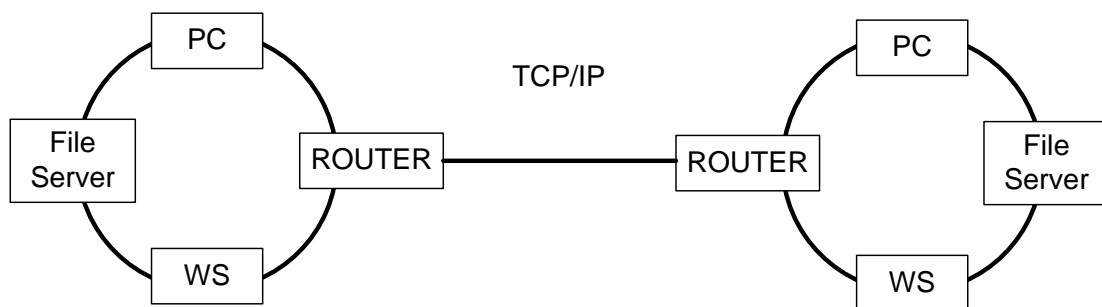
X25 cấp 2 tạo ra phương thức để chuyển lên giao thức cấp cao hơn (trong các khung tin) giữa hai đầu cuối của một liên kết thông tin nhằm đảm bảo tính chuẩn xác. Đơn vị số liệu ở lớp ba là gói tin.

#### 4.7.2. Giao thức TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol)

##### a) Khái quát

TCP/IP là một giao thức kết hợp giao thức TCP và giao thức IP nhằm quản lý và điều khiển việc trao đổi thông tin giữa các mạng, đảm bảo thông tin từ hệ thống đầu cuối này đến hệ thống đầu cuối kia an toàn và chính xác.

Internet có nghĩa là liên kết các mạng máy tính lại với nhau, là mạng của tất cả các mạng. TCP/IP là một tiêu chuẩn sử dụng trên phạm vi toàn cầu cho Internet. Thường hay gọi hai giao thức TCP và IP liền nhau nên có cảm giác đó là một giao thức, nhưng thực tế là hai.



Hình 4.23. Giao thức TCP/IP nối hai mạng với nhau qua hai router

TCP là giao thức end to end định ra nguyên tắc và thể lệ trao đổi thông tin giữa các đối tác ở các hệ thống đầu cuối, đảm bảo giao và nhận dữ liệu đầy đủ chính xác.

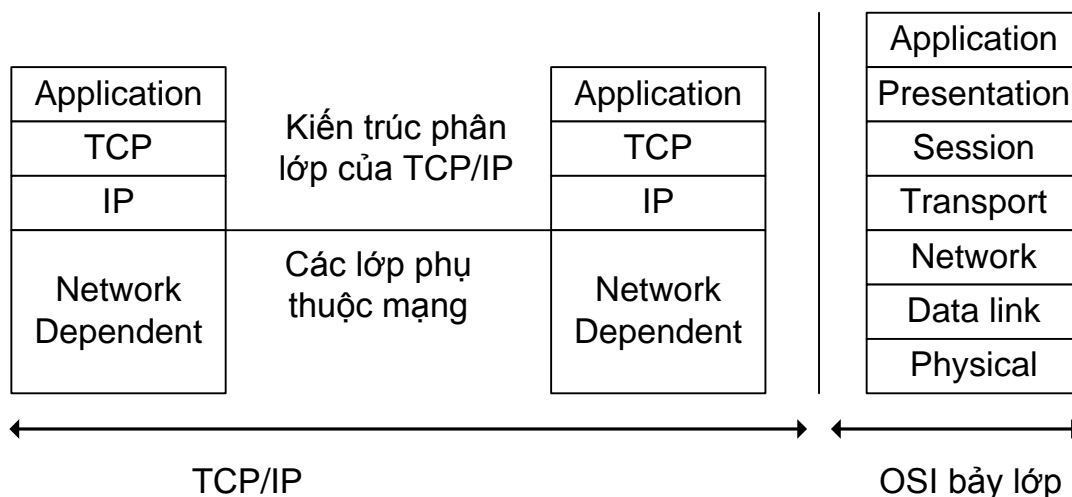
IP là giao thức định ra nguyên tắc và thể lệ để đảm bảo cho dữ liệu di chuyển giữa các mạng được an toàn, nói cách khác là định tuyến giữa các mạng để dữ liệu chuyển đến chính xác địa chỉ theo một đường ngắn nhất. Nhiệm vụ định tuyến do các router (bộ định tuyến) thực hiện, xem *hình 4.23*, vì vậy router thực hiện giao thức IP.

Ngoài ra giao thức TCP/IP còn dùng để kết nối giữa LAN và WAN hay đóng vai trò là một giao thức cho mạng LAN.

### b) Sự phân lớp

Như *hình 4.24* mô tả, ở mức độ đơn giản lớp chức năng của TCP/IP chỉ liên quan đến 4 lớp. Lớp phụ thuộc mạng (Network dependent) tương ứng với ba lớp vật lý (physical), liên kết dữ liệu (data link) và mạng (network) trong mô hình OSI bảy lớp. Do đó, tổng thể các lớp chức năng của TCP/IP có 6 lớp so với bảy lớp của OSI. Tổ chức Internet quốc tế cùng với tổ chức tiêu chuẩn quốc tế về Viễn Thông ITU đang có kế hoạch hợp nhất các lớp chức năng TCP/IP vào mô hình OSI bảy lớp.

Lớp trên cùng (application) của TCP và IP là lớp tập trung các dịch vụ và ứng dụng trên Internet như thư điện tử (SMTP – Simple Mail Transfer Protocol), truyền file (FTP), WWW, Go-pher.... Phần dưới là phần mạng nhằm vào chức năng định tuyến theo địa chỉ đích.

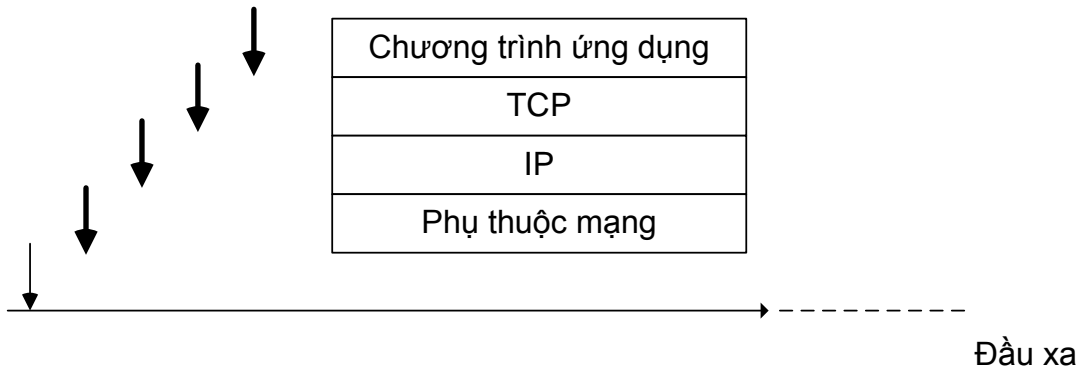


Hình 4.24. Mô hình phân lớp TCP/IP và OSI

### c) Tổ chức gói của TCP/IP

Thứ tự thực hiện các ứng dụng của Internet diễn ra theo 4 bước, như mô tả trên *hình 4.5*:

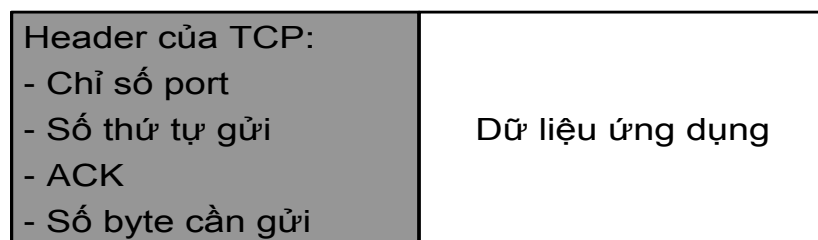
- Chương trình ứng dụng (dịch vụ) chuyển xuống giao thức TCP. Người sử dụng (end system) dùng dịch vụ (application) trên Internet ví dụ như thư điện tử (SMTP), truy cập host từ xa (Telnet), truyền file,... có nghĩa là đưa dữ liệu ứng dụng cho giao thức TCP, mà cụ thể là phần dữ liệu của TCP.



Hình 4.25. Thứ tự thực hiện ở nơi truyền

- Từ giao thức TCP chuyển xuống giao thức IP. Thủ tục TCP sẽ thêm vào khối dữ liệu từ lớp ứng dụng gửi xuống một header gồm các thông tin sau:
  - Chỉ số port theo qui định của Internet. Số port này giúp hai đầu cuối có thể nhận biết được đang dùng dịch vụ gì, ví dụ cổng chỉ số port là 20 chỉ định dịch vụ FTP, port 23 chỉ định Telnet,...
  - Số thứ tự gói gửi đi (Data sequence number). Ở đầu thu dùng số thứ tự này để kiểm soát làm cơ sở thông báo cho phía phát.
  - Thông báo cho phía kia biết đã nhận được gói thứ mấy (báo nhận ACK – ACKnowledgement).
  - Số byte cần truyền.

Phần header và phần dữ liệu của chương trình ứng dụng tạo nên một gói TCP như mô tả ở hình 4.26.



Hình 4.26. Cấu trúc gói của TCP

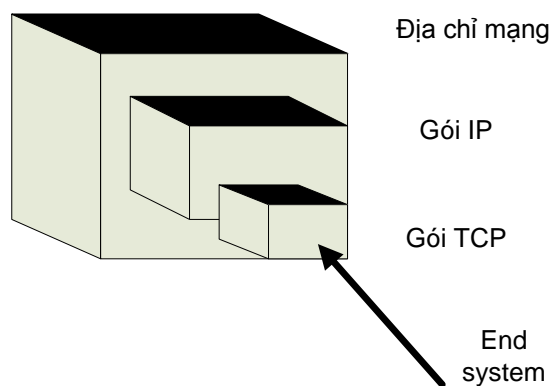
- Từ giao thức IP chuyển xuống lớp phụ thuộc mạng. Khi hoàn thành, gói TCP được lồng vào thủ tục IP. Trên cơ sở của gói TCP (header TCP và dữ liệu ứng dụng), IP xem gói TCP như là phần dữ liệu mà giao thức này cần truyền đi và thêm vào đó một số các thông tin giao thức của nó bao gồm:
  - Địa chỉ phát và nhận (source and destination address). Router sử dụng địa chỉ này để định tuyến.
  - Số thủ tục (protocol number for IP user). Định nghĩa thủ tục mà IP thực hiện.
  - Thời gian tồn tại (time to live). Định nghĩa số router bắt buộc gói IP phải đi qua trước khi nó bị hủy bỏ.
  - Các thông tin về các thành phần bị phân mảnh trong quá trình chuyển di trên mạng (fragmentation information): Để đầu thu biết mà tái thiết lập trở lại. Ví dụ kích thước gói (packet length) thay đổi tùy thuộc vào các mạng khác nhau, mạng Ethernet có cỡ gói là 1500 byte còn mạng X25 chỉ có 128 byte.
- Các thông tin tùy chọn:
  - Định tuyến phát (source routing): cung cấp danh sách các router sử dụng.
  - Ghi lại tuyến đường đã đi qua (route recording): thông tin này yêu cầu mỗi một router ghi lại địa chỉ IP khi nó chuyển gói IP qua, điều này có nghĩa sẽ thống kê được số liệu của đường dẫn trong Internet.
  - Giới hạn cần phân mảnh (fragmentation limit: Qui định kích thước lớn nhất của gói IP có thể chuyển đi mà không cần chia nhỏ.
  - Ưu tiên hoặc đảm bảo an toàn cho gói IP (Routing priority or security): chỉ rõ tuyến nào dành ưu tiên hay tuyến nào đảm bảo được an toàn cho gói IP.

Như vậy gói IP là một gói chứa dữ liệu thông tin được dùng trong Internet có dạng như *hình 4.27*.

Source and Destination address - Protocol number for IP user - Time to live - Fragmentation information * Source routing * Route recording * Fragmentation limit * Routing priority or security	Header của TCP: - Chỉ số port - Số thứ tự gửi - ACK - Số byte cần gửi	Dữ liệu ứng dụng
--	---	------------------

Hình 4.27. Cấu trúc gói IP

■ Từ lớp phụ thuộc mạng chuyển ra đường dẫn vật lý đến đích, hình 4.27.



Hình 4.27. Tổ chức đóng gói và truyền

Các gói IP chuyển qua các lớp dưới và định tuyến để tìm tới địa chỉ qua mạng (networking address) được ánh xạ vào địa chỉ vật lý của lớp MAC. Ví dụ địa chỉ của mạng X25, mạng frame relay hoặc ngay bản thân Internet. Tất cả các thông tin này đều nằm trong bảng định tuyến (routing table) trong các router. Các mạng X25 chỉ làm nhiệm vụ chuyển tải các gói IP.

#### d) Hoạt động phối hợp giữa TCP và IP

Sự kết hợp giữa thủ tục TCP và IP thực sự là sự kết hợp giữa các mạng máy tính kết nối với nhau cho phép người dùng các mạng khác nhau liên lạc, làm việc được với nhau.



Giao thức TCP là giao thức tại đầu cuối, còn IP là giao thức để truyền dữ liệu trên mạng. Khi người dùng với giao thức TCP tạo được gói TCP và lồng nó vào gói IP để tạo thành gói datagram IP. Router căn cứ vào địa chỉ có trong datagram IP và thông tin chứa trong bảng định tuyến để chuyển gói này đi tới các router sau. Khi datagram IP đến router cuối cùng, router này tìm và chuyển datagram đến địa chỉ hệ thống đầu cuối – end system.

Nếu gói IP không chuyển tới đầu cuối được vì một lý do nào đó, nó sẽ bị hủy bỏ và giao thức IP không thể thông báo điều này cho người sử dụng biết. Vì vậy người sử dụng muốn truyền các gói một cách chắc chắn và có thông báo lỗi phải dùng giao thức TCP hỗ trợ cho IP vì TCP cung cấp môi liên hệ tin cậy giữa các đầu cuối. TCP bảo đảm dữ liệu phát đi đúng địa chỉ, không sai sót và trùng gói, ngay tại đầu cuối giao thức TCP sẽ đọc số thứ tự trong gói TCP để biết thiếu gói hay gói đã nhận rồi và báo lại cho đầu phát biết.

Giao thức IP rất hiệu quả ở chỗ nó không quan tâm đến giao thức cụ thể của các mạng khác nhau mà nó đi qua (ví dụ X25, frame relay), với IP các mạng chỉ đơn thuần là đường dẫn giữa các router. Có thể xem IP như một phong bì mà người gửi thư không quan tâm bức thư đến được người nhận bằng phương tiện gì.

Tóm lại, sự kết hợp giữa hai giao thức TCP và IP đã giúp người dùng sử dụng được các dịch vụ trao đổi trên Internet qua các bước sau:

- Dữ liệu người dùng kết hợp với số thứ tự để hình thành đoạn TCP.
- Đoạn TCP kết hợp với phần header IP để tạo ra gói datagram IP.
- Router đọc địa chỉ IP trong phần header để chuyển gói đến đích.
- Tại đầu cuối thu, TCP bóc bỏ phần header của IP để lấy đoạn TCP, đối chiếu số thứ tự, phát hiện những gói thiếu hay đã nhận được rồi, đồng thời cũng nhận được thông báo (ACK) từ phía phát báo cho biết bên đó đã nhận được gói thứ mấy do bên này phát đi.
- Phía thu thông báo cho bên phát biết số gói dữ liệu đã nhận được đồng thời cũng phát lại những gói thiếu nếu có.

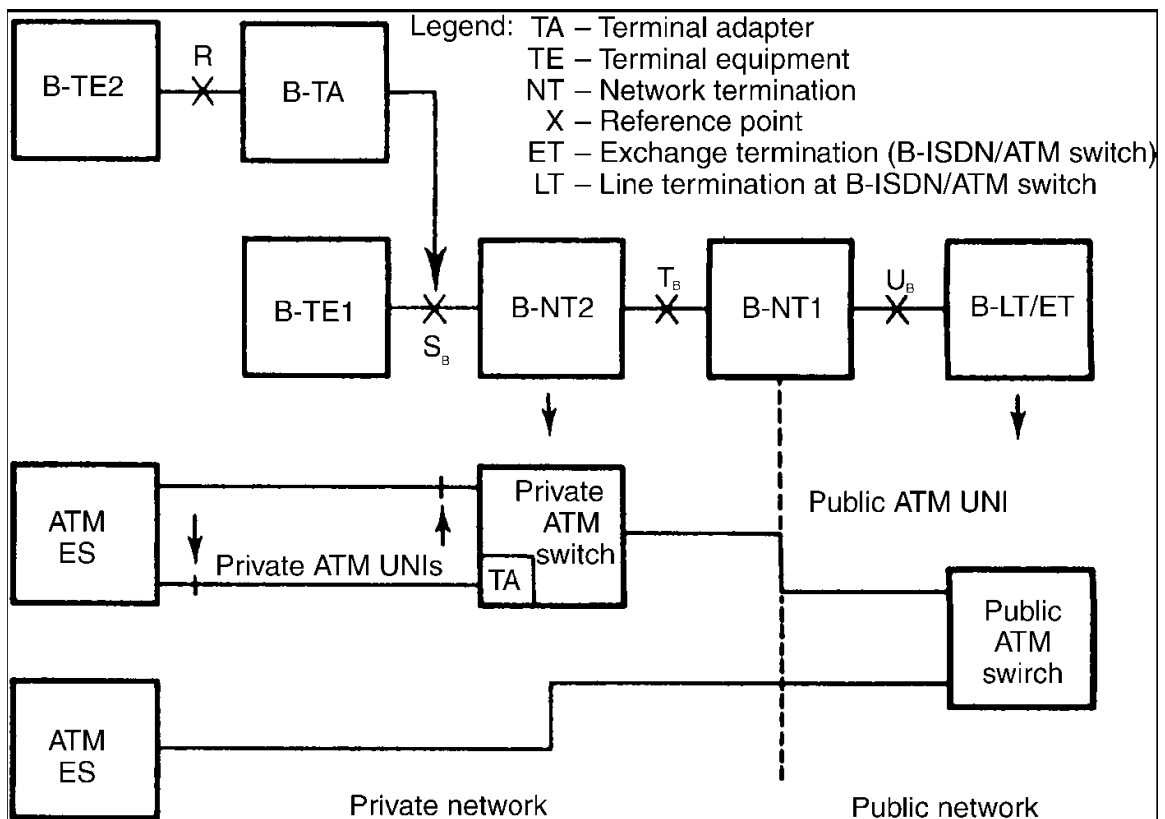
## CHƯƠNG V

### CÔNG NGHỆ CHUYỂN MẠCH ATM

#### 5.1. Tổng quan về ATM

##### 5.1.1. Giới thiệu về ATM

ATM là một kết quả tự nhiên của các hệ thống định dạng truyền dẫn dữ liệu khác nhau được đề cập trong phần trước, mặc dù có một vài tranh luận ở điểm này. Nhưng ngược lại các định dạng đã được mô tả thì thoả mãn những sự cần thiết của thế giới dữ liệu, ATM cung cấp một định dạng tối ưu hay là một dòng giao thức cho những truyền thông bằng dữ liệu, thoại và hình ảnh, nơi mà các tế bào của mỗi phương tiện có thể được trộn lẫn qua mạng, như được minh hoạ ở hình 5.1. Một cách điển hình, những tế bào ATM này có thể được truyền tải trên SONET, SDH, E1/DS1, và ở những định dạng số khác. Các tế bào có thể còn được truyền tải một cách liên tục mà không ở dưới định dạng mạng số.



Hình 5.1. Cấu hình giao diện người sử dụng – mạng và mô hình thao khảo ATM

Nói một cách lô gíc, dữ liệu và thoại là những thế giới liên quan đến độ nhạy của thời gian. Thoại không thể đợi sự xử lý dài và những sự trễ ARQ, còn hầu hết

các loại dữ liệu thì có thể. Vì thế ATM cần thiết phải so sánh giữa loại dịch vụ như là các dịch vụ tốc độ bit không đổi (CBR) và các dịch vụ tốc độ bit biến đổi (VBR). Dịch vụ thoại là một loại điển hình của dịch vụ CBR.

Báo hiệu là một miền khác của sự khác biệt chủ yếu. Ở trong truyền thông dữ liệu, “báo hiệu” được tiến hành trong đầu của mỗi khung dữ liệu (hay gói). Như là một “báo hiệu” tối thiểu có địa chỉ đích, và cả địa chỉ nguồn. Và thông tin báo hiệu này sẽ được lặp lại ở trên một tệp dữ liệu dài cái mà được chia đoạn một cách nặng nề. Ở trên một mạch thoại, một tính chất kết nối được cài đặt và địa chỉ đích, và có thể là địa chỉ nguồn, được gửi trong suốt quá trình thiết lập cuộc gọi. Không có một vài dạng của sự giám sát mạch để giữ mạch hoạt động trong suốt quá trình của một cuộc gọi.

Giống như công nghệ thoại truyền thống, ATM là hệ thống viễn thông hướng kết nối cơ bản. Ở đây có nghĩa rằng một kết nối cần được thiết lập giữa hai trạm trước khi dữ liệu được chuyển đổi giữa chúng. Một kết nối ATM xác định tuyến truyền dẫn, cho phép các tế bào ATM tự định tuyến qua một mạng ATM. Dạng hướng kết nối còn cho phép ATM xác định một chất lượng dịch vụ (QoS) đảm bảo cho mỗi kết nối.

Với sự tương phản, hầu hết các giao thức LAN là không kết nối. Điều này có nghĩa là các nút LAN truyền lưu lượng một cách đơn giản khi chúng cần, mà không hình thành thành một tuyến nối xác định trước hay định tuyến với nút đích.

ATM sử dụng một giao thức hướng kết nối, các tế bào được chỉ định chỉ khi người sử dụng cuối gốc yêu cầu một kết nối. Chúng được chỉ định từ một Pun tế bào rồi. Điều này cho phép ATM hỗ trợ đầy đủ một yêu cầu toàn thể của mạng bằng việc chỉ định dung lượng tế bào theo yêu cầu dự vào sự cần thiết của người sử dụng trung gian. Thực vậy nó là khái niệm nằm ở trái tim của từ không đồng bộ.

### **5.1.2. Cấu trúc và giao diện người sử dụng mạng**

ATM dựa trên công nghệ chuyển mạch gói của mạng ISDN băng rộng (B-ISDN). Trong phần này, chúng ta sẽ sử dụng có thể thay thế cho nhau các thuật ngữ ATM và B-ISDN. Hình 5.1 và 5.2 tương quan với nhau. Hình 5.1 liên quan đến cấu hình tham chiếu truy cập B-ISDN với giao diện người sử dụng - mạng ATM (UNI). Chú ý rằng những sự giống nhau mô hình này với mô hình tham chiếu cho ISDN. Sự khác nhau duy nhất là thuật ngữ tế bào là một ‘B’ đặt trước

để hiển thị là băng rộng. *Hình 5.2* là mô hình giao thức B-ISDN truyền thống CCITT Rec.I.121, chỉ ra sự cần thiết các lớp phụ cho các dịch vụ riêng rẽ.

Quay lại *hình 5.1*, chúng ta thấy có một phần bên trên và phần bên dưới. Phần thấp hơn chỉ ra các đường biên UNI. Phần bên trên là cấu hình tham chiếu B-ISDN với 4 điểm giao diện. Những giao diện này ở các điểm tham chiếu  $U_B$ ,  $T_B$ ,  $S_B$  đã được chuẩn hoá. Những giao diện này hỗ trợ tất cả các dịch vụ B-ISDN.

Chỉ có một giao diện trên mỗi B-NT1 ở  $U_B$  và một ở  $T_B$ . Phương tiện vật lý là điểm tới điểm (ở mỗi trường hợp), có nghĩa là có một bộ nhận ở trước một bộ truyền.

Một hay nhiều giao diện trên mỗi NT2 được thể hiện ở điểm tham chiếu  $S_B$ . Giao diện ở điểm tham chiếu  $S_B$  là điểm tới điểm ở lớp vật lý, trong trường hợp này chỉ có một bộ nhận trước một bộ truyền, và có lẽ điểm tới điểm ở các lớp khác. Coi như các nhóm chức năng trong *hình 5.1* bao gồm các chức năng tương ứng với OSI lớp 1, lớp vật lý. Những chức năng này bao gồm:

- Đầu cuối truyền dẫn đường (line transmission termination)
- Giao diện điều khiển ở  $T_B$  và  $U_B$ , và
- Các chức năng OAM

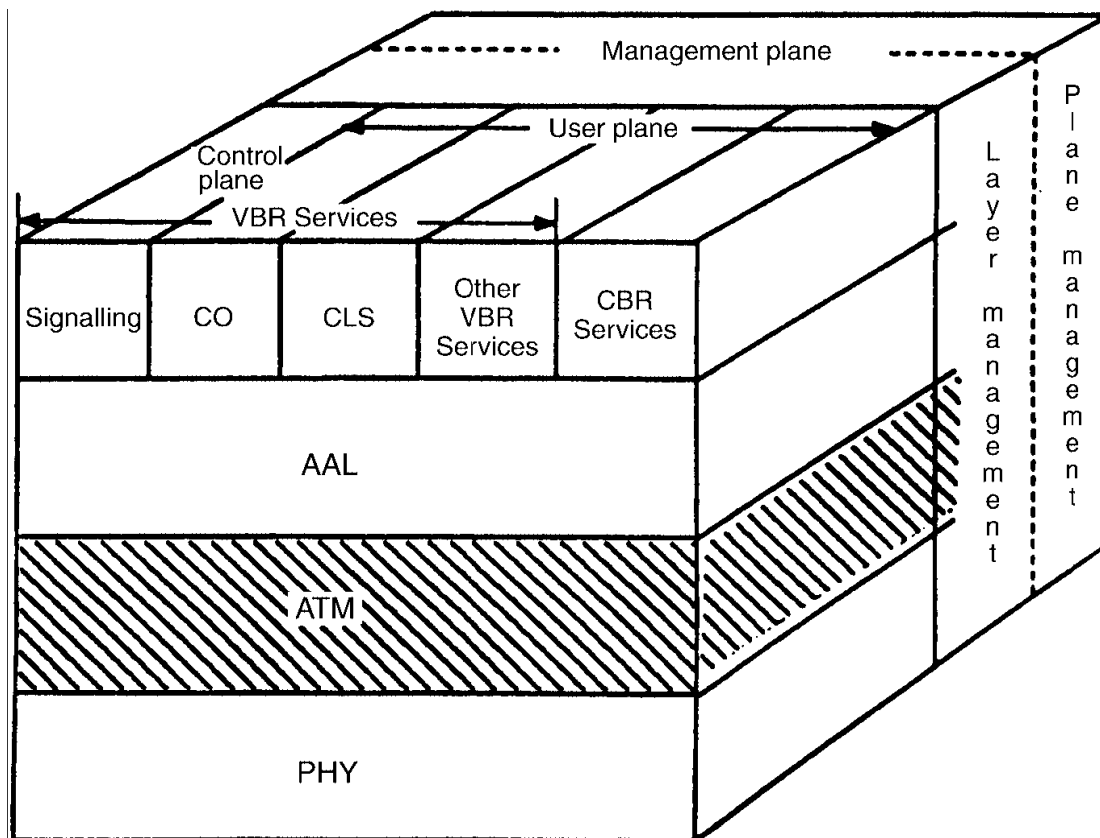
Nhóm chức năng B-NT2 bao gồm các chức năng tương ứng với lớp 1 và các lớp cao hơn của mô hình OSI. B-NT2 có thể là tập trung hoặc là phân bố. Ở một sự bố trí truy cập cụ thể, các chức năng của B-NT2 có thể bao gồm những kết nối vật lý. Ví dụ các chức năng của B-NT2 là:

- Các chức năng thích nghi cho những phương tiện và tô pô khác nhau;
- Sự mô tả tế bào;
- Sự tập trung; làm bộ đệm;
- Ghép kênh và phân kênh;
- Các chức năng OAM;
- Sự chỉ định nguồn;
- Điều khiển giao thức báo hiệu.

Nhóm chức năng B-TE( TE- Thiết bị đầu cuối) còn bao gồm các chức năng của lớp 1 và các lớp cao hơn của mô hình OSI. Một vài những chức năng này là:

Giao thức và cuộc đối thoại bằng máy giữa người sử dụng/người sử dụng và người sử dụng;

- Điều khiển giao thức cho báo hiệu;
- Điều khiển kết nối cho thiết bị khác;
- Đầu cuối giao diện và;
- Các chức năng OAM.



Hình 5.2. Mô hình tham chiếu B- ISDN

B-TE1 có một giao diện mà nó chiếu theo giao diện B- ISDN. Tuy nhiên B-TE2 còn có một giao diện không chiếu theo B-ISDN. Cái chiếu theo quy tới chuẩn ITU-T Recs. I.413 và I.432 cũng như ANSI T1.624-1993 (Refs. 4-6).

Bộ thích ứng đầu cuối(B-TA) chuyển đổi từ giao diện B-TE2 sang một giao diện người sử dụng mạng theo B-ISDN.

Bốn tốc độ bit được xác định ở giao diện  $U_B$ ,  $T_B$ , và  $S_B$  dựa vào tham chiếu Ref. 5 (ANSI T1.624-1993) như sau:

- 51.840 Mbps (SONET STS-1);
- 155.520 Mbps (SONET STS-3 and SDH STM-1);

- 622.080 Mbps (SONET STS-12 and SDH STM-4); and
- 44.736 Mbps (DS3).

Các giao diện này sẽ được thảo luận sau trong chương này. Dưới đây là những định nghĩa cho hình 5.2:

*User Plane (phía người sử dụng)* (ở một số sách khác gọi là U-plane) cung cấp cho việc chuyển đổi của thông tin ứng dụng người dùng. Nó bao gồm lớp vật lý, lớp ATM, và nhiều lớp thích ứng ATM mà được yêu cầu cho những người sử dụng dịch vụ khác nhau như là dịch vụ CBR và VBR.

*Control Plane (phía điều khiển)* (ở một số sách khác gọi là C-plane). Các giao thức mặt điều khiển đề cập đến sự thiết lập cuộc gọi và giải phóng cuộc gọi và các chức năng điều khiển kết nối cần thiết khác cho việc cung cấp các dịch vụ chuyển mạch. Cấu trúc C-plane chia sẻ các lớp vật lý và lớp ATM với U-Plane, như minh họa hình 2. Nó còn bao gồm các thủ tục lớp thích ứng ATM(AAL) và các giao thức báo hiệu lớp cao hơn.

*Management Plane( phía quản lý)*(Ở một số tài liệu khác gọi là the M-plane) cung cấp các chức năng quản lý và khả năng trao đổi thông tin giữa U-plane và C-plane. M-plane bao gồm hai phần: quản lý lớp và quản lý mặt. Quản lý lớp thực hiện các chức năng quản lý cụ thể lớp, trong khi đó quản lý mặt thực hiện các chức năng quản lý và chức năng coordination liên quan đến hệ thống đầy đủ.

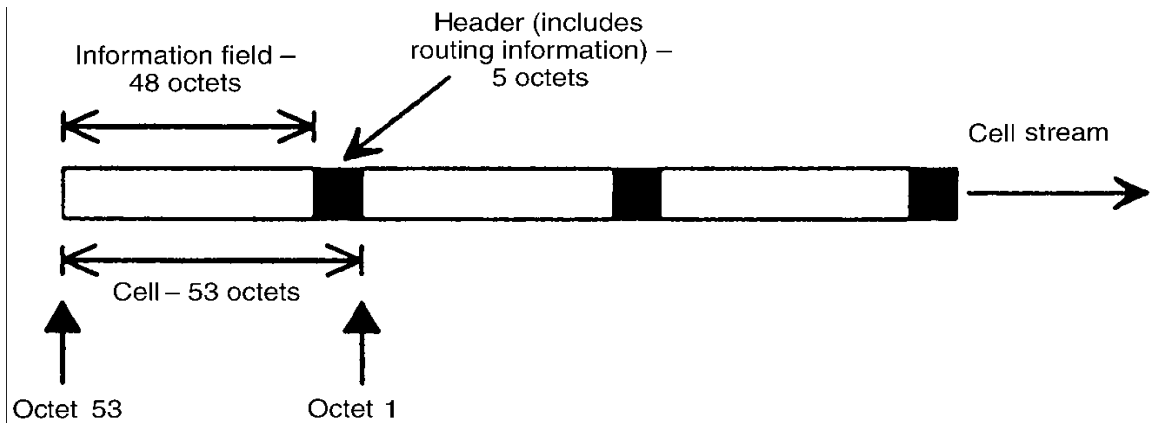
Chúng ta sẽ quay lại hình 5. 2 và việc phân lớp BISDN/ ATM và những sự mô tả lớp ở phần 5.1.5.

### **5.1.3. Tế bào ATM**

#### ***a. Cấu trúc của tế bào ATM***

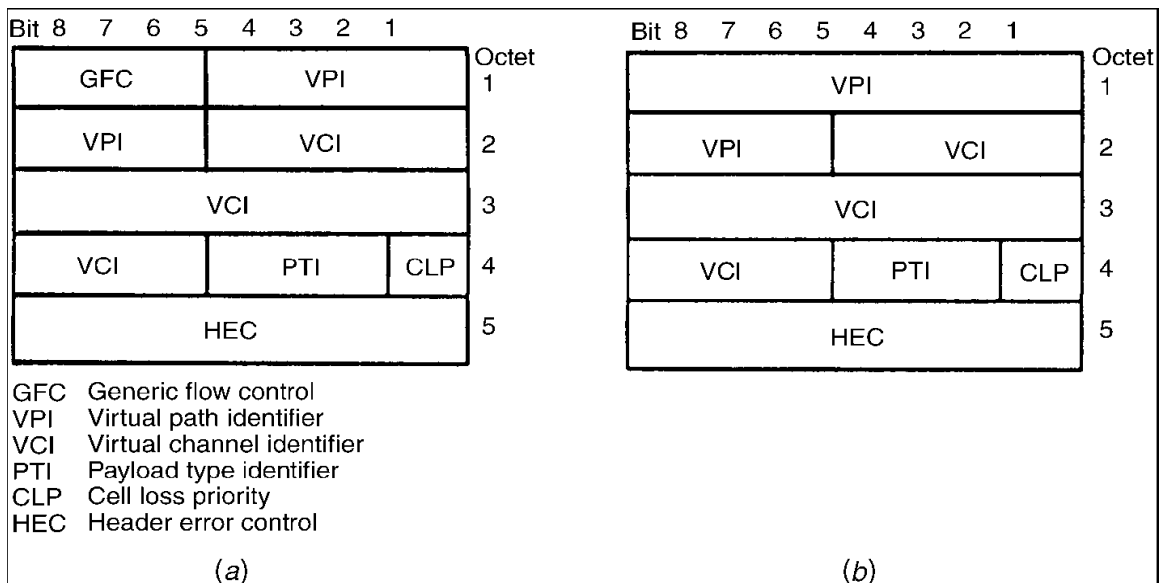
Như đã đề cập ở phần trước, tế bào ATM bao gồm 53 byte, trong đó 5 byte làm header và 48 byte làm vị trí tải trọng hay “thông tin” của tế bào. Hình 5.3 chỉ ra một dòng tế bào ATM, nó chỉ ra 5 byte cho trường header và 48 byte cho trường thông tin của mỗi tế bào.

Hình 5.4 chỉ ra cấu trúc chi tiết của các header tế bào ở giao diện người sử dụng - mạng(UNI) trong hình a và giao diện mạng – nút cho hình b. Chúng ta thảo luận một lúc về việc tại sao một tế bào được tiêu chuẩn hoá bằng 53 byte. Header của tế bào gồm chỉ 5 byte. Nó là sự lấy ngắn hết mức, được thiết kế để chứa hàm địa chỉ và điều khiển nhỏ nhất cho một hệ thống làm việc. Nó hiển nhiên cái phần đầu là



Hình 5.3. Một dòng ô ATM minh hoạ sự hình thành ô ATM cơ bản

phương diện không lợi tức. Nó là trường thông tin khi nó chứa tải trọng phương diện lợi tức. Để đầy đủ, chúng ta muốn tải trọng dài đến có thể. Đội thiết kế ATM được hướng để làm ngắn tải trọng đến có thể. Vấn đề trong trường hợp này là cái gì được gọi là sự trễ gói. Nó là một lượng thời gian được yêu cầu để điền đầy một tế bào ở tốc độ 64kbps- đây là tốc độ yêu cầu điền đầy với các mẫu thoại số hoá(PCM). Theo Ref.8, đội thiết kế bị giằng xé giữa hiệu quả và sự trễ gói. Một trường phái thì đưa ra là 64 byte cho kích cỡ của một tế bào, trường phái khác thì đấu tranh với 32 byte cho kích cỡ của tế bào. Vì thế tổ chức ITU-T lựa chọn với một thoả hiệp cho kích cỡ một tế bào có chiều dài cố định là 53 byte.



Hình 5.4. Cấu trúc phần đầu ATM cơ bản:

(a) cấu trúc phần đầu tế bào UNI;      (b) cấu trúc phần đầu NNI

Bây giờ thì chúng ta hãy quay lại nghiên cứu về tế bào ATM và các header của chúng. Ở phần bên trái của hình 5.4 chỉ ra cấu trúc của một header UNI, trong khi đó phần bên tay phải lại minh hoạ header của NNI. Sự khác biệt duy nhất là sự

có mặt của trường GFC(điều khiển luồng chung – generic flow control) ở trong header của UNI. Đoạn dưới đây sẽ định nghĩa mỗi trường header. Bằng việc di rời trường GFC, thì NNI có 4 bit thêm vào cho việc định địa chỉ.

### ***Điều khiển luồng chung(GFC)***

Trường điều khiển luồng chung chứa 4 bit. Khi mà chức năng GFC không được sử dụng, giá trị của trường là 0000. Trường này chỉ có ý nghĩa cục bộ và có thể được sử dụng để cung cấp các chức năng điều khiển dòng cục bộ được chuẩn hoá trên side khách hàng. Trong thực tế, giá trị được mã hoá trong GFC không được mang tới đầu cuối và sẽ bị viết đè bởi các chuyên mạch ATM(ví dụ như giao diện NNI)

Hai mode hoạt động đã được định nghĩa cho hoạt động của trường GFC. Có kiểu truy cập được điều khiển và không được điều khiển. Hoạt động của mode truy cập không được điều khiển được sử dụng trong môi trường ATM trước đây. Chế độ này không có ảnh hưởng lên lưu lượng mà một host tạo ra. Mỗi host truyền trường GFC sẽ đặt tất cả là 0(0000). Để tránh những tương tác không mong muốn giữa mode này và mode truy cập được điều khiển, nơi mà các host được mong đợi để sửa đổi những sự truyền dẫn của chúng theo hoạt động của trường GFC, thì yêu cầu tất cả CPE và thiết bị mạng công cộng giám sát trường GFC để đảm bảo con số của các trường GFC nonzero nên được đo lường cho những khoảng thời gian không trùng khớp của  $30\ 000 \pm 10\ 000$  tế bào times. Nếu 10 hay nhiều hơn các giá trị nonzero được nhận trong khoảng thời gian này, một lỗi được hiển thị tới sự quản lý lớp(Ref.3)

### ***Trường định tuyến(VPI/VCI)***

24 bit dành cho việc định tuyến một tế bào. Có 8 bit cho bộ nhận diện đường dẫn ảo(VPI) và 16 bit cho bộ nhận diện kênh ảo. Các sự kết hợp được gán trước của các giá trị VPI và VCI được đưa ra như *bảng 5.1(Combination of Preassigned VPI, VCI, and CLP Values at the UNI)*. Các giá trị được gán trước khác của VPI và VCI dành cho mục đích nghiên cứu sâu hơn, tùy theo tổ chức ITU-T. Giá trị 0 của VCI không sử dụng cho sự nhận diện kênh ảo người sử dụng. Những bit bên trong trường VPI và VCI được sử dụng cho định tuyến và chỉ định với các quy tắc sau:

- Các bit được gán của trường VPI là liên tục.
- Các bit được gán của trường VPI là bit ít ý nghĩa nhất của trường VPI, và bắt đầu ở bit thứ 5 của byte thứ 2.



■ Các bit được gán của trường VCI là liên tục.

■ Các bit được gán của trường VPI là bit ít ý nghĩa nhất của trường VCI, và bắt đầu từ bit thứ 5 của byte thứ 4.

### ***Trường loại tải trọng(PT)***

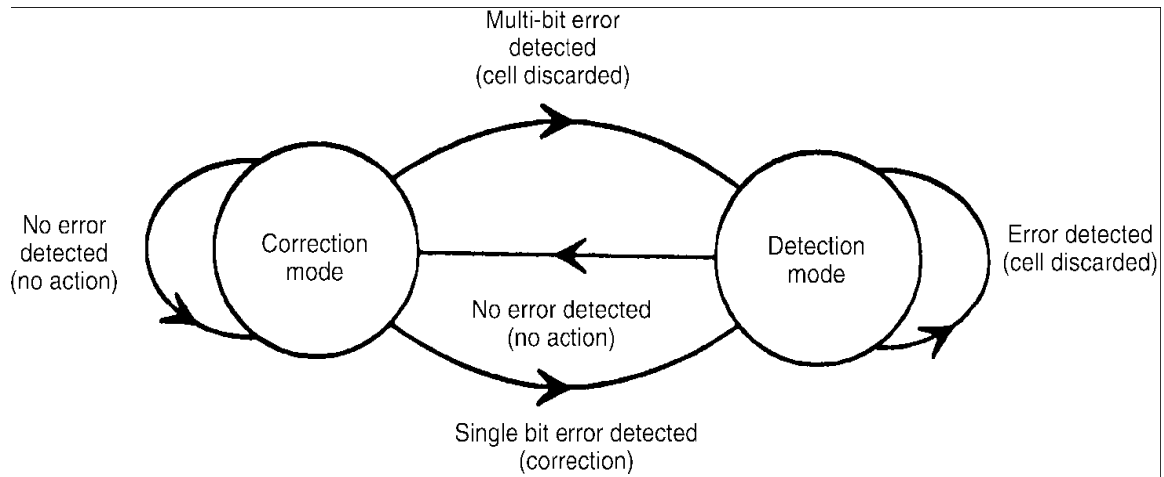
Ba bit dành cho sự nhận diện loại tải trọng, bảng 5.2 (PTI Coding) cho ta việc mã hoá bộ nhận diện loại tải trọng. Mục đích cơ bản của PTI là để phân biệt giữa các tế bào người sử dụng (như là, thông tin mang đi trong tế bào) và những tế bào không dành cho người sử dụng. Bốn nhóm mã hoá đầu tiên (000-001) được sử dụng để hiển thị các ô người sử dụng. Trong đó 4, 2 và 3 (010 và 011) được sử dụng để hiển thị rằng tắc nghẽn đã trải qua. Những nhóm 5 và 6 (100 và 101) được sử dụng cho các chức năng quản lý mức kết nối kênh ảo (VCC).

Bảng 5.1. Mã hóa PTI

PTI Coding	Interpretation
Bits	
4 3 2	
0 0 0	User data cell, congestion not experienced. ATM-user-to-ATM-user indication = 0
0 0 1	User data cell, congestion not experienced. ATM-user-to-ATM-user indication = 1
0 1 0	User data cell, congestion experienced. ATM-user-to-ATM-user indication = 0
0 1 1	User data cell, congestion experienced. ATM-user-to-ATM-user indication = 1
1 0 0	OAM F5 segment associated cell
1 0 1	OAM F5 end-to-end associated cell
1 1 0	Resource management cell
1 1 1	Reserved for future functions

Source: ITU-T Rec. I.361, p. 4, para. 2.2.4 (Ref. 9).

Một vài thành phần mạng bị tắc nghẽn, nhờ vào việc nhận một ô dữ liệu người sử dụng, có thể điều chỉnh PTI như sau: Các tế bào nhận với PTI = 000 hay PTI = 010 được truyền với PTI = 010. Các tế bào nhận với PTI = 001 hay 011 được truyền với PTI = 011. Các thành phần mạng không bị tắc nghẽn thì không đổi PTI.



Hình 5.5. HEC: Các chế hoạt động của bộ nhận(dựa theo ITU-T Rec.I.432, Ref.4).

### ***Độ ưu tiên tổn thất tế bào (CLP)***

Dựa vào các điều kiện mạng, các tế bào nơi mà CLP được đặt(thí dụ giá trị CLP là 1) là đối tượng để loại bỏ ưu tiên tới các tế bào nơi mà CPL không được đặt(CPL =0). Khái niệm ở đây là xác định với frame relay đó và bit DE(tính thích hợp loại bỏ) . Các chuyển mạch ATM có thể gán thẻ các tế bào có CLP =0 mà nó được dò bởi UPC( điều khiển tham số sử dụng) ở trong sự vi phạm của thoả thuận lưu lượng , việc gán này bằng cách đổi bit CLP từ 0 thành 1.

### ***Trường kiểm tra lỗi header(HEC)***

HEC là một trường 8 bit và nó bao trùm toàn bộ header của tế bào. Mã được sử dụng cho chức năng này có khả năng cho cả sửa lỗi bit đơn lẫn dò lỗi nhiều bit. Trong một thời gian ngắn, bên truyền tính toán giá trị trường HEC. Bên nhận có hai mode hoạt động được chỉ ra như hình 5. Ở chế độ mặc định có khả năng sửa lỗi đơn. Mỗi header tế bào được kiểm nghiệm và nếu có một lỗi được dò thấy, thì một trong hai hoạt động sẽ được đặt chỗ. Hoạt động nào được đặt thì phụ thuộc vào trạng thái của người. Ở chế độ sửa lỗi, chỉ những lỗi bit đơn có thể được sửa và bên nhận chuyển mạch tới mode dò. Ở mode dò, tất cả các tế bào với những lỗi header được dò thì bị loại bỏ. Cần có một chú ý rằng không có sự bảo vệ lỗi cho tải trọng của một tế bào. Nếu một lỗi được tìm thấy trong header của một tế bào mà không thể được sửa, thì tế bào đó sẽ bị loại bỏ. Chức năng bảo vệ khi có lỗi được cung cấp bởi HEC thì cho phép cả phục hồi những lỗi bit đơn và một xác suất thấp của sự phân phát tế bào với những header lỗi, dưới những điều kiện lỗi truyền loạt.

## ***b. Các tế bào rỗi***

Các tế bào rỗi là do không có hoạt động gì ở một node nhận ngoại trừ cho việc mô tả tế bào bao gồm cả sự xác nhận HEC. Nó được chèn và được rút trích bởi lớp vật lý để làm thích ứng với tốc độ trôi tế bào ở đường biên giữa lớp ATM và lớp vật lý cho dung lượng tải trọng sẵn sàng của phương tiện truyền dẫn. Đây được gọi là tách riêng tốc độ tế bào. Các tế bào rỗi được xác định bởi kiểu mẫu được chuẩn hoá cho phần đầu tế bào được minh hoạ ở bảng sau. Nội dung của trường thông tin là 01101010 được nhắc lại 48 lần cho một tế bào rỗi.

Bảng 5.3. Kiểu mẫu phần đầu cho sự nhận dạng tế bào rỗi

	Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4	Octet 5
Header pattern	00000000	00000000	00000000	00000001	HEC = Valid code 01010010

Source: ITU-T Rec. I.432, Table 4/I.432, p. 19 (Ref. 4).

### **5.1.4. Sự mô tả và xáo trộn tế bào**

Sự mô tả tế bào cho phép xác định những đường biên của tế bào. Trường HEC của tế bào hoàn thành sự mô tả tế bào. Tín hiệu ATM phải được giao chuyên thông suốt trên tất cả các giao diện mạng mà không có bất cứ ràng buộc từ những hệ thống truyền dẫn được sử dụng. Sự xáo trộn được sử dụng để nâng cao tính bảo mật và tính chất mạnh mẽ của cơ cấu mô tả tế bào HEC. Hơn nữa, nó giúp làm ngẫu nhiên dữ liệu trong trường thông tin cho những sự cải tiến có thể ở sự thực thi truyền dẫn.

Sự mô tả tế bào được thực hiện bằng việc sử dụng sự tương quan giữa các bit phần đầu (header) để được bảo vệ (4 octets đầu tiên trong phần đầu) và octet HEC. Octet này được cung cấp ở điểm cuối khởi đầu bằng cách sử dụng một đa thức sinh bao phủ 4 octet đầu tiên này của tế bào. Đa thức sinh là  $X^8 + X^2 + X + 1$ . Có một mối tương quan ở điểm cuối nhận giữa 4 octet đầu tiên này với octet HEC, cái mà chúng ta có thể gọi là *số dư*. Điều này chỉ đúng khi không có lỗi ở phần đầu. Khi có một lỗi, mối tương quan không còn hoàn toàn, và bộ xử lý sẽ đi đến tế bào tiếp theo.

### **5.1.5. Phân lớp ATM và BISDN**

#### ***a. Lớp vật lý***

Lớp vật lý bao gồm hai lớp phụ. Lớp phụ phương tiện truyền thông vật lý (PM) bao gồm chỉ các chức năng độc lập - phương tiện truyền thông vật lý. Lớp

hội tụ truyền dẫn (TC) thực hiện tất cả chức năng được yêu cầu để chuyển đổi một luồng các tế bào đến một luồng của các đơn vị dữ liệu (như là bit, cái mà có thể được truyền và nhận qua một phương tiện truyền thông vật lý. Đơn vị dữ liệu dịch vụ (SDU) đi qua đường biên giữa lớp ATM và lớp vật lý là một luồng những dữ liệu hợp lệ. Lớp ATM là độc nhất (độc lập với lớp vật lý phía dưới). Luồng dữ liệu chèn vào tải trọng hệ thống truyền dẫn là phương tiện truyền thông vật lý – độc lập và tự cung cấp. Lớp vật lý hợp nhất luồng tế bào ATM với thông tin thích hợp cho sự khắc họa tế bào và lớp vật lý còn mang theo thông tin quản lý vận hành và bảo dưỡng (OAM) liên quan đến luồng tế bào này.

Layer management	Higher layer functions		Higher layers	
	Convergence		CS	AAL
	Segmentation and reassembly		SAR	
	Generic flow control		ATM	
	Cell header generation/extraction			
	Cell VPI/VCI translation			
	Cell multiplex and demultiplex			
	Cell rate decoupling		TC	Physical layer
	HEC header sequence generation/verification			
	Cell delineation			
Transmission frame adaption				
Transmission frame generation/recovery				
Bit timing		PM		
Physical medium				
CS	Convergence sublayer			
PM	Physical medium			
SAR	Segmentation and reassembly sublayer			
TC	Transmission convergence			

Hình 5.6. Phân lớp chức năng B ISDN/ ATM

Lớp phụ PM cung cấp khả năng truyền dẫn bit bao gồm chuyển đổi bit và sự chuẩn trực bit, cũng như mã đường và sự biến đổi điện – quang. Chức năng

nguyên lý là sự tạo và nhận của những dạng sóng thích hợp với phương tiện truyền thông, và mã đường nơi nó được yêu cầu.

### ***Chức năng lớp phụ hội tụ truyền dẫn***

Giữa những chức năng quan trọng của lớp phụ này là sự tạo ra và khôi phục khung truyền dẫn. Một chức năng khác của nó là sự thích ứng khung truyền – nó bao gồm những hoạt động cần thiết tới cấu trúc của dòng tế bào tùy thuộc cấu trúc tải tin của khung truyền (hướng truyền), và lấy ra dòng tế bào này khỏi khung truyền (hướng nhận). Khung truyền có thể là một vật tương đương tế bào (ví dụ như lớp vỏ bọc ngoài được thêm vào dòng tế bào, một lớp vỏ SDH/ SONET, một lớp vỏ E1/ T1, ... Ở hướng truyền, chuỗi HEC được tính và đẩy vào phần đầu. Ở hướng nhận, chúng ta bao gồm sự kiểm tra phần đầu tế bào. Các phần đầu tế bào được kiểm lỗi và sửa lỗi nếu có thể. Các tế bào được loại bỏ nơi mà nó được xác định là các phần đầu bị lỗi và không thể sửa được.

Một chức năng hội tụ truyền dẫn khác là tách riêng tốc độ tế bào. Nó gồm việc đưa vào và loại bỏ những tế bào rồi để thích ứng với tốc độ của những tế bào ATM hợp lệ với dung lượng trọng tải của hệ thống truyền dẫn. Nói một cách khác, các tế bào phải được tạo ra để làm đầy một cách chính xác trọng tải của SDH/ SONET.

### ***b. Lớp ATM***

Lớp ATM độc lập hoàn toàn với lớp vật lý. Một chức năng quan trọng của lớp này là *sự đóng gói*. Nó bao gồm sự tạo ra và sự rút ra phần đầu. Ở phía truyền, chức năng tạo ra phần đầu nhận một trường thông tin tế bào từ một lớp cao hơn và nó tạo ra một phần đầu tế bào ATM thích hợp ngoại trừ dãy HEC. Chức năng này còn bao gồm sự phiên dịch từ một bộ nhận diện điểm truy cập dịch(SAP) vụ ra một VPI và VCI.

Ở phía nhận, chức năng lấy ra phần đầu tế bào thì rời bỏ phần đầu tế bào ATM và đưa trường thông tin lên lớp cao hơn. Như trong phía truyền, chức năng này còn bao gồm một sự phiên dịch VPI và VCI sang một bộ nhận dạng SAP.

Ở trong trường hợp của NNI, thì trường GFC được áp dụng ở lớp ATM. Thông tin điều khiển luồng được mang trong các tế bào được gán và không được gán. Các tế bào mang thông tin này thì được tạo ra ở lớp ATM.

Một bộ chuyển mạch lớp ATM thì xác định nơi mà các tế bào đi vào sẽ được chuyển tiếp, lập lại các định danh xác định kết nối tương ứng cho liên kết tiếp theo, và chuyển tiếp các tế bào. Lớp ATM còn điều khiển những chức năng quản

lý lưu lượng giữa các node ATM ở cả hai bên của UNI (như đoạn liên kết VP đơn) trong khi mà kênh ảo được xác định bằng một giá trị VCI = 4 có thể được sử dụng cho những chức năng quản lý điểm cuối điểm (người dùng người dùng) mức VP.

Những luồng như “luồng F4” là cái gì. Những luồng OAM xử lý những tế bào được dành cho quản lý thực thi và lỗi của hệ thống toàn bộ. Coi ATM như là hệ phân cấp của các mức – cụ thể trong SDH/ SONET, cái mà là những định dạng mang tính nguyên lý cho ATM. Lớp thấp nhất nơi mà chúng ta có những luồng F1 là phần tái tạo (được gọi là *mức đoạn* trong SONET). Điều này cho phép bởi những luồng mức F2 ở mức đoạn số (được gọi là *mức đường* trong SONET). Có những luồng F3 cho tuyến truyền dẫn (được gọi là *mức tuyến* trong SONET). ATM thêm những luồng F4 cho những tuyến ảo (VPs) và những luồng F5 cho những kênh ảo (VCs), nơi mà nhiều VCs chứa đầy đủ trong một VP đơn.

### ***c. Lớp thích ứng ATM***

#### ***Phân lớp phụ của ATM***

Để hỗ trợ các dịch vụ ở trên lớp AAL thì những chức năng độc lập được yêu cầu cho AAL. Những chức năng này được tổ chức trong hai lớp phụ logic: (1) là lớp phụ hội tụ (CS), và (2) là lớp phụ chia và hợp đoạn (SAR). Những chức năng đầu tiên của những lớp này là:

- SAR – Sự phân đoạn của thông tin lớp cao hơn thành một kích cỡ thích hợp cho trường thông tin của một tế bào ATM. Sự tập hợp lại những nội dung của những trường thông tin tế bào ATM đi vào thông tin lớp cao hơn.
- CS – Đây là chức năng chủ yếu được cung cấp cho dịch vụ AAL ở AAL – SAP. Lớp phụ này là lớp phụ thuộc dịch vụ.

#### ***Sự phân loại dịch vụ của AAL***

Sự phân loại dịch vụ được dựa theo những tham số sau:

- Thời gian giữa nguồn và đích (điều này được gán với sự yêu cầu của lưu lượng được yêu cầu hay không được yêu cầu);
- Tốc độ bit: không đổi hay biến đổi, và;
- Chế độ kết nối: là hướng kết nối hay không kết nối.

Khi chúng ta kết hợp những tham số này, bốn lớp dịch vụ được đưa ra như chỉ ra như hình 5.7. Ví dụ những dịch vụ ở hình 5.7 sẽ như sau:

- Lớp A: tốc độ bit không đổi như là thoại và hình ảnh không được nén;
- Lớp B: âm thanh và hình ảnh tốc độ bit biến đổi, lưu lượng đồng bộ hướng kết nối;
- Lớp C: truyền dữ liệu hướng kết nối, tốc độ bit biến đổi, lưu lượng không đồng bộ; và
- Lớp D: truyền dữ liệu không kết nối, lưu lượng không đồng bộ như SMDS. Với lưu ý là SMDS đại diện cho dịch vụ dữ liệu chuyên mạch multimegabit. Nó được tạo ra bởi BELL và được thiết kế chủ yếu cho liên kết LAN

### ***Các loại AAL***

Có 5 loại AAL khác nhau. Loại đơn giản nhất là AAL – 0. Nó chỉ truyền các tế bào dưới một ống dẫn. Ống dẫn đó thường là một liên kết sợi quang. Một cách lý tưởng thì tốc độ bit ở đây là bội số của  $53 \times 8\text{bit}$  hay 424 bits. Ví dụ như, 424 Mbps có thể điều khiển 100 triệu tế bào mỗi giây

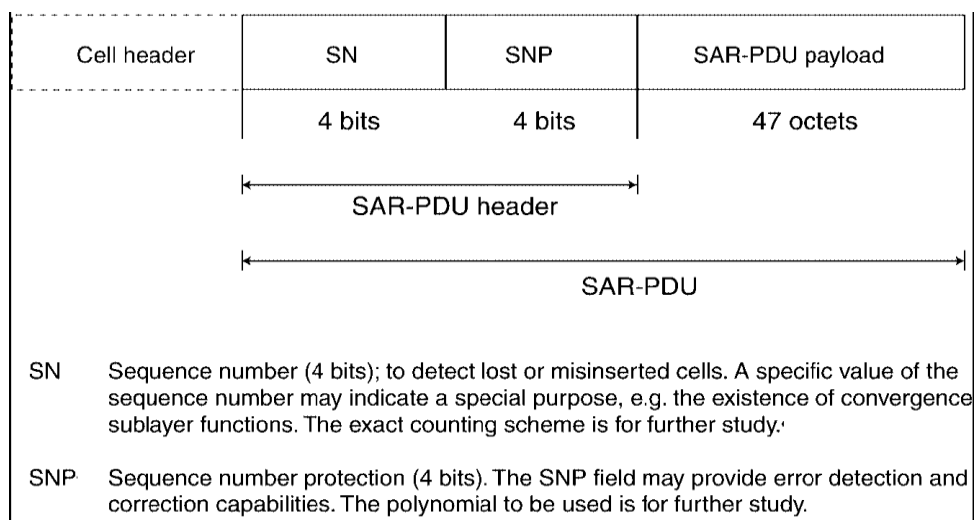
- **AAL – 1** được sử dụng để cung sự chuyển vận cho những dòng bit đồng bộ. Ứng dụng chủ yếu của nó là để thích ứng đường truyền tế bào ATM với các mạch điện hình E1/ DS1 và SDH/ SONET. AAL – 1 được sử dụng đặc biệt cho truyền thông thoại (POTS; dịch vụ điện thoại cũ). AAL – 1 lấy một octet ở trong header chứa hai trường chủ yếu: (1) số dãy (SN) và (2) sự bảo vệ số dãy (SNP).

Service Parameters	Class A	Class B	Class C	Class D
Timing Compensation	Required		Not Required	
Bit Rate	Constant	Variable		
Connection Mode	Connection-oriented			Connectionless
AAL Types	AAL1	AAL2	AAL3/4 or AAL5	AAL3/4 or AAL5
Examples	DS1, E1, $n \times 64\text{-kbps}$ emulation	Packet video, audio	Frame relay X.25	IP, SMDS

Hình 5.7. Những sự phân loại các dịch vụ của AAL (theo Refs.2.8, và 10)

Mục đích chính của hai trường này là để kiểm tra xem sự mất sắp xếp theo chuỗi của thông tin không xuất hiện - bằng việc kiểm tra một bộ đếm dãy 3 bit. Nó còn cho phép định thời gian đồng hồ gốc của dữ liệu được nhận ở điểm cuối xa của liên kết. Định dạng SAR-PDU của AAL – 1 được chỉ ra ở hình 5.8. Bốn bit SN

được phân nhỏ thành 1 bit CSI (Convergence Sublayer Indicator) và một dãy đếm. SNP gồm 3 bit CRC và một bit chẵn lẻ. Sự đồng bộ đầu cuối–đầu cuối (end to end) là một chức năng quan trọng cho loại lưu lượng được mạng trên AAL-1. Với một chế độ hoạt động, sự hồi phục đồng hồ có qua một time stamp còn dư thừa đồng bộ (SRTS) và đồng hồ mạng thông thường của một time stamp dư thừa 4 bit được rút ra từ CSI từ các tế bào với những số dãy cũ. Time stamp dư thừa được truyền qua 8 tế bào. Nó hỗ trợ những dòng số DS1, DS3, và E1. Một chế độ hoạt động khác là truyền dữ liệu cấu trúc (SDT). SDT hỗ trợ một octet - dịch vụ có cấu trúc  $n \times DS0$

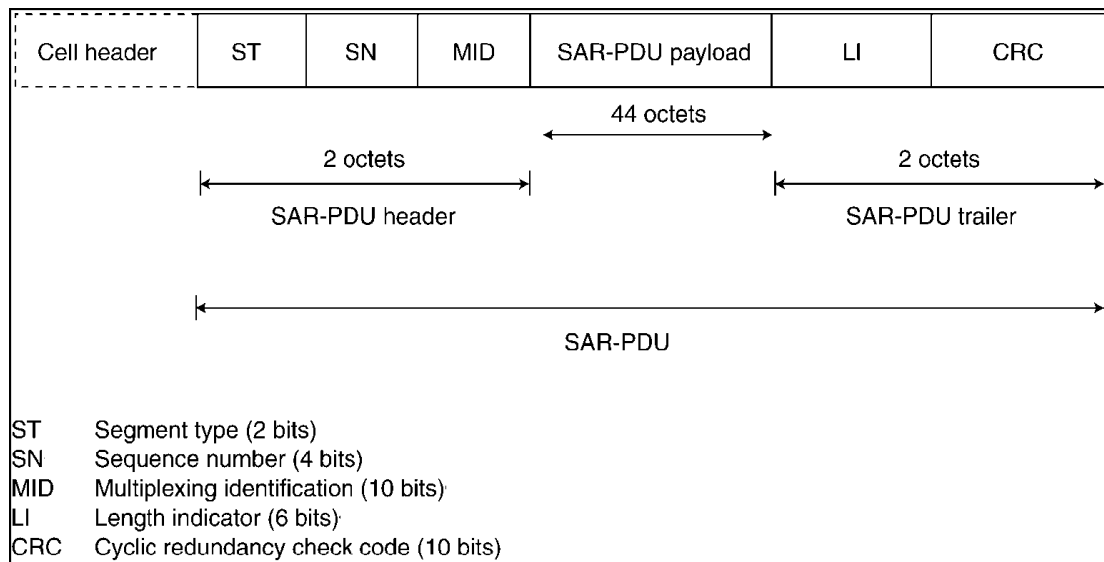


**Hình 5.8. Định dạng SAR-PDU cho AAL-1**

- **AAL – 2.** Điều khiển trường hợp tốc độ bit thay đổi (VBR) như là Video MPEG (Motion Picture Experts Group). Nó được định nghĩa bởi tổ chức ITU – T.
- **AAL-3/4.** Khởi đầu trong ITU-T Rec. I.363 (Ref. 10) có hai AALs riêng biệt, một cho những dịch vụ dữ liệu tốc độ thay đổi (AAL-3) và một cho dịch vụ không kết nối. Khi những thông số mở ra, những thủ tục tương tự được phát triển cần thiết cho cả các dịch vụ này, và những thông số được hợp lại để trở thành chuẩn AAL-3/4. Chuẩn này được sử dụng cho truyền vận ATM của SMDS, CBDS (các dịch vụ dữ liệu băng rộng không kết nối, một sáng kiến của ETSI), IP, và Frame relay. AAL-3/4 đã được thiết kế để mang những khung/gói có độ dài biến đổi và phân đoạn chúng thành những tế bào. Sự phân đoạn này được làm trong một cách mà bảo vệ dữ liệu truyền khỏi sự sai lạc nếu những tế bào bị mất hay không theo thứ tự. Hình 5.9 chỉ ra định dạng tế bào của một AAL-3/4. Những loại này của những tế bào chỉ có một trọng tải 44 octet, và những trường overhead thêm vào được thêm vào phần đầu (header) và đuôi (trailer). Những phần này



mang, lấy ví dụ như những bộ hiển thị BOM, COM và EOM (được mang trong loại đoạn – ST) cũng như một bộ định danh ghép kênh(MID) để mà thông điệp gốc có thể được phác họa. Phần đầu còn bao gồm một số dãy cho bảo vệ sự phân phát không theo yêu cầu. Có một trường phụ MID, là trường được sử dụng để xác định kết nối CPCS(lớp phụ kết hợp phần thông thường) trên một kết nối lớp ATM đơn. Nó cho phép nhiều hơn một kết nối CPCS cho một kết nối lớp ATM đơn.



Hình 5.9. Định dạng SAR-PDU cho AAL-3/4

(Từ ITU-T Rec. I.363, Figure 6I.363, p. 13 [Ref. 10].)

Lớp phụ SAR cung cấp nhiều khả năng chuyển đổi, nghĩa là độ dài CS – PDUs có khả năng biến đổi đồng thời qua một kết nối lớp ATM đơn giữa các thực thể AAL. Phần đuôi của SAR PDU gồm một bộ hiển thị độ dài (LI) để xác định xem bao nhiêu trọng tải tế bào được điền đầy. Trường kiểm lỗi CRC là một dãy 10 bit được sử dụng để dò những lỗi đi qua toàn bộ SAR PDU. Một thông điệp CS PDU hoàn chỉnh được chia ra thành một tế bào BOM, một số lượng các tế bào COM, và một tế bào EOM. Nếu một thông điệp hoàn chỉnh có thể vừa trong một tế bào, nó được gọi là một thông điệp đoạn đơn (SSM), nơi mà CS PDU là 44 octect hay ít hơn.

AAL-3/4 có những biện pháp khác nhau để đảm bảo tính trung thực của dữ liệu cái mà đã được phân đoạn và truyền đi như là các tế bào. Nội dung của tế bào được bảo vệ bởi CRC – 10; những số dãy bảo vệ sự không theo yêu cầu. Một biện pháp khác để đảm bảo các PDU bị sửa sai đang được phân phát là sự bảo vệ EOM/ BOM. Nếu EOM của một CPSP PDU và BOM của cái tiếp theo bị rớt vì một vài lí do thì dòng tế bào đó có thể được thể hiện như là PDU hợp lệ. Để bảo vệ những loại lỗi này thì những giá trị số Btag trong những phần đầu và phần

đuôi của CPCS PDU được so sánh để đảm bảo rằng chúng so khớp. Hai chế độ của dịch vụ được định nghĩa cho AAL-3/4 như sau:

- **Message Mode Service.** Loại này cung cấp cho sự truyền tải của một hay nhiều đơn vị dữ liệu dịch vụ AAL mà kích cỡ cố định ở trong một hay nhiều CS-PDU.
- **Streaming Mode Service.** Đơn vị dữ liệu dịch vụ AAL này được đưa qua giao diện AAL ở trong một hay nhiều đơn vị dữ liệu giao diện AAL (IDUs). Sự chuyển đổi AAL – IDU này qua giao diện AAL có thể xuất hiện tách biệt với thời gian, và dịch vụ này cung cấp sự truyền tải của những AAL – SDUs độ dài biến đổi. Dịch vụ chế độ dòng bao gồm một dịch vụ bãi bỏ, sự loại bỏ của một AAL – SDU đã chuyển đổi từng phần qua giao diện AAL thì có thể được yêu cầu. Nói một cách khác, ở chế độ dòng thì một gói đơn được đi qua đến lớp AAL và được truyền trong nhiều CPCS – PDUs khi và như là những phần của gói được nhận. Chế độ dòng có thể được sử dụng trong những bộ chuyển mạch trung gian hay những bộ Router ATM to SMDS vì thế chúng có thể bắt đầu truyền lại một gói đang được nhận trước khi toàn bộ gói đến. Điều này giảm độ trễ qua bởi toàn bộ gói.

#### **5.1.6. Các dịch vụ: hướng kết nối và không kết nối**

Các vấn đề như những sự quyết định và những kiến trúc định tuyến có một ảnh hưởng đến những dịch vụ hướng kết nối – nơi mà những node cuối B-ISDN/ATM phải bảo quản hay lấy truy cập để tra cứu những bảng, cái mà phiên dịch địa chỉ đích sang các đường dẫn mạch. Những đường dẫn mạch tra cứu những bảng là khác nhau ở tất cả node cần được bảo quản trong một kiểu gần như thời gian thực. Điều này sẽ phải được làm bởi một vài loại giao thức định tuyến.

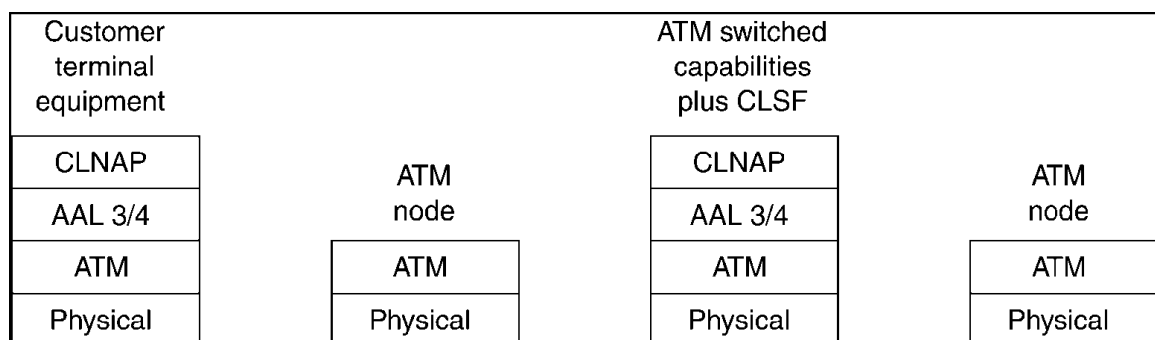
Một cách để giải quyết vấn đề này là để tạo ra một vấn đề mạng bên trong và sử dụng dịch vụ không kết nối như được miêu tả trong ITU-T Rec. I.364 (Ref. 11). Chúng ta cần nhớ rằng về cơ bản ATM là một dịch vụ hướng kết nối. Ở đây chúng ta sẽ làm thích ứng nó để cung cấp một dịch vụ không kết nối.

#### ***Kiến trúc chức năng***

Sự cung cấp dịch vụ dữ liệu không kết nối trong B-ISDN được tiến hành với những bộ chuyển mạch ATM và những chức năng dịch vụ không kết nối (CLSF). Các bộ chuyển mạch ATM hỗ trợ truyền tải của những khối dữ liệu không kết nối trong B-ISDN giữa những nhóm chức năng xác định nơi mà CLSF điều khiển

giao thức không kết nối và cung cấp cho sự thích ứng của những khối dữ liệu không kết nối thành những tế bào ATM để được chuyển trong một môi trường hướng kết nối. Với lưu ý rằng nhóm chức năng CLSF có thể được đặt ngoài B-ISDN, trong một mạng không kết nối riêng, với một nhà cung cấp dịch vụ đặc biệt hay bên trong B-ISDN.

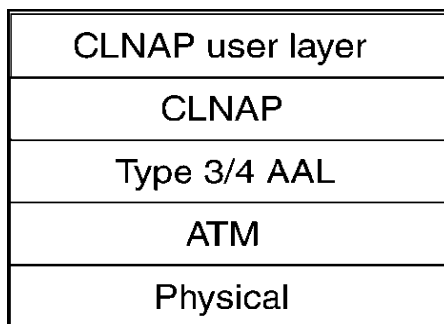
Chuyển mạch ATM được thực thi bởi những node ATM (bộ chuyển mạch ATM/ kết nối chéo), cái mà là một phần chức năng của mạng truyền tải ATM. Nhóm chức năng CLSF kết thúc giao thức không kết nối B-ISDN và bao gồm những chức năng cho sự thích ứng của những giao thức không kết nối cho giao thức lớp ATM về bản chất hướng kết nối. Những chức năng về sau này được thực thi bởi lớp thích ứng ATM loại 3/4 (AAL -3/4), trong khi những sự kết thúc nhóm CLSF được tiến hành bởi những dịch vụ lớp trên AAL được gọi là CLNAP (Connectionless Network Access Protocol). Giao thức không kết nối bao gồm những chức năng như là lựa chọn định tuyến, định địa chỉ, và QoS. Để thực thi định tuyến các đơn vị dữ liệu không kết nối (CL) thì CLSF phải tương tác với những mặt điều khiển/quản lý của mạng ATM nằm bên dưới.



Hình 5.10. Cấu trúc giao thức chung cho sự cung cấp dịch vụ dữ liệu CL trong B-ISDN

Cấu trúc giao thức nói chung cho việc cung cấp dịch vụ dữ liệu CL được minh họa ở hình 5.10. Hình 5.11 chỉ ra kiến trúc giao thức để hỗ trợ dịch vụ lớp không kết nối. Lớp CLNAP sử dụng loại AAL 3/4, dịch vụ không chắc chắn và bao gồm những chức năng cần thiết cho dịch vụ lớp CL.

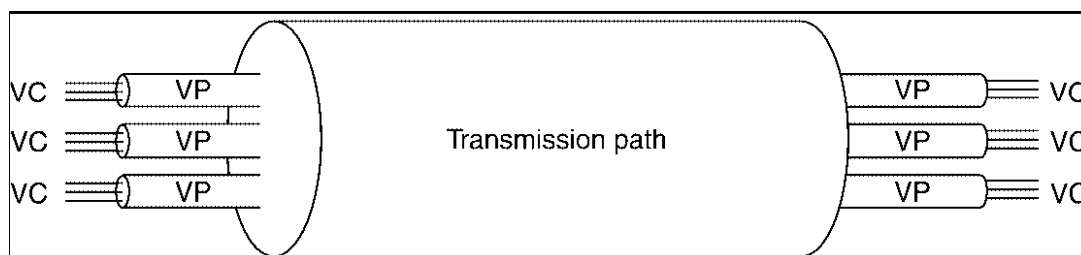
Lớp dịch vụ CL cung cấp cho sự truyền thông suốt các khối dữ liệu có kích thước biến đổi từ một nguồn tới một hay nhiều đích ở một kiểu để mà những khối dữ liệu bị mất hoặc bị sửa sai không được truyền lại. Sự truyền này được thực thi bằng cách sử dụng một kỹ thuật CL, bao gồm sự đưa vào các địa chỉ nguồn và đích vào trong mỗi khối dữ liệu.



Hình 5.11. Kiến trúc giao thức cho sự hỗ trợ dịch vụ không kết nối

### 5.1.7. Chuyển mạch và định tuyến trong B – ISDN/ ATM

Một tuyến truyền dẫn ATM hỗ trợ các tuyến ảo (VPs) và bên trong những tuyến ảo đó là những kênh ảo (VCs) như được minh họa ở hình 5.12. Ở phần IV chúng ta đã miêu tả phần đầu tế bào ATM. Mỗi phần đầu tế bào gồm một nhãn mà xác định rõ ràng tế bào thuộc kênh nào. Nhãn này bao gồm hai phần: (1) một bộ định danh kênh ảo (VCI) và (2) một bộ định danh tuyến ảo (VPI).



Hình 5.12. Mối quan hệ giữa VC và VP và tuyến truyền dẫn

#### a. Mức kênh ảo (Virtual Channel Level)

Kênh ảo là một thuật ngữ chung được sử dụng để miêu tả một khả năng truyền thông đơn hướng cho sự truyền tải của những tế bào ATM. Một VCI xác định một liên kết VC cụ thể cho một kết nối tuyến ảo (VPC) nhất định. Một giá trị xác định của VCI được gán ở mỗi thời điểm cho một VC được chuyển mạch trong mạng. Một kết nối VC là một khả năng đơn hướng cho sự truyền tải của các tế bào ATM giữa hai thực thể ATM liên tục nơi mà giá trị VCI được phiên dịch. Một liên kết VC được bắt đầu hay kết thúc bởi sự gán hay loại bỏ của giá trị VCI.

Các chức năng định tuyến của những kênh ảo được làm tại chuyển mạch VC/cross-connect (VC cross-connect là một thành phần mạng mà kết nối các tuyến VC. Nó kết thúc các VPC và phiên dịch các giá trị VCI, và được định hướng bằng các chức năng phía quản lý mà không phải bởi những chức năng phía điều khiển.). Sự định tuyến bao gồm sự phiên dịch của các giá trị VCI của những liên kết VCI đi vào sang những giá trị VCI của những liên kết VC đi ra.

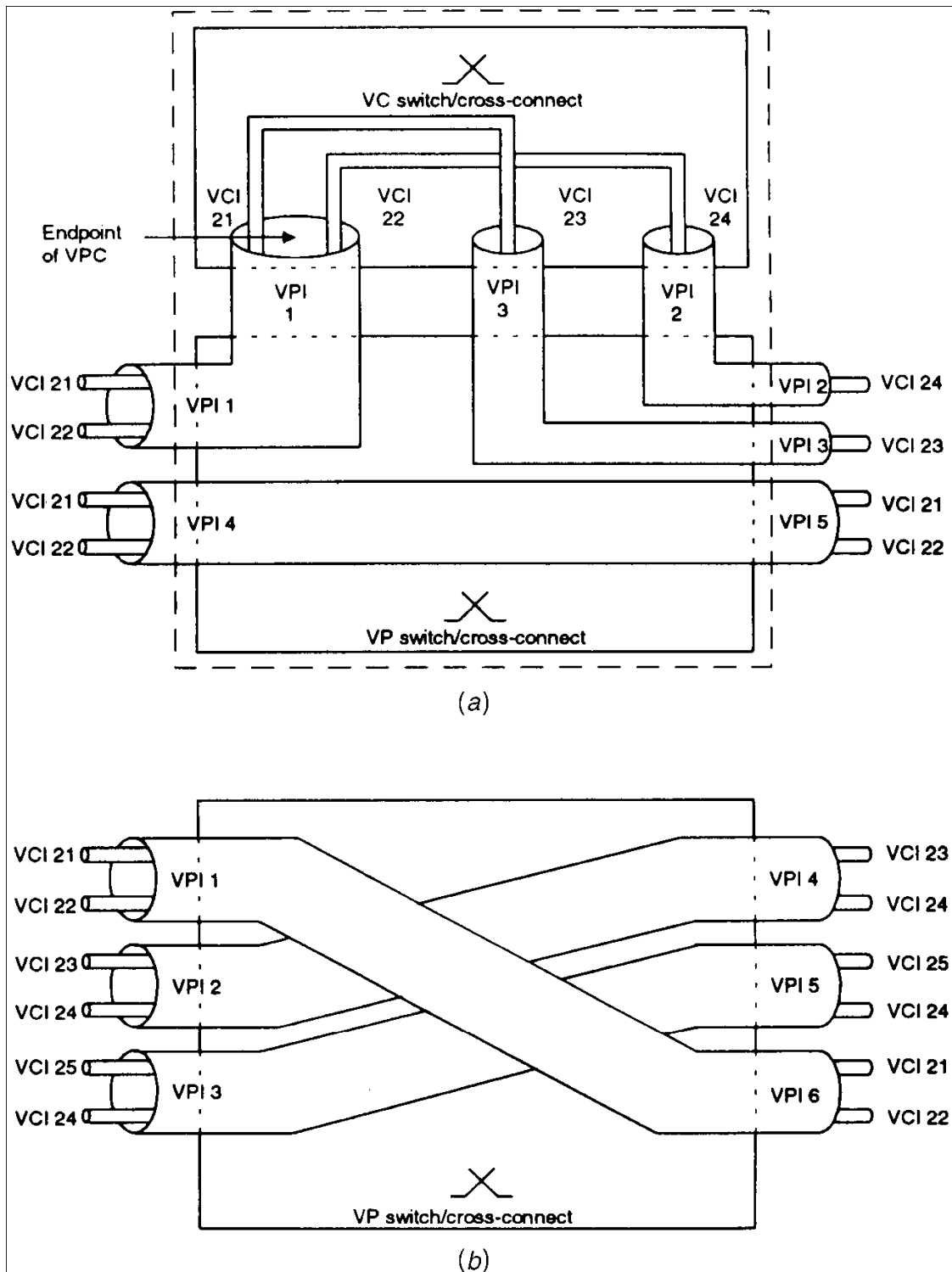
Các liên kết kênh ảo được nối vào nhau để hình thành một liên kết kênh ảo (VCC). Một VCC mở rộng giữa hai điểm cuối VCC (trong trường hợp của những sự sắp đặt điểm tới nhiều điểm) hay nhiều hơn hai điểm cuối VCC. Một điểm cuối VCC là một điểm mà nơi đó trường thông tin tế bào được chuyển đổi giữa lớp ATM và người sử dụng của dịch vụ lớp ATM.

Ở mức VC, các VCC được cung cấp cho mục đích của chuyển đổi thông tin giữa người sử dụng – người sử dụng, người sử dụng – mạng, hay mạng – mạng. Tính nguyên vẹn của dây tế bào được duy trì bởi lớp ATM cho những tế bào thuộc cùng VCC.

#### ***b. Mức đường ảo (Virtual Path Level)***

Tuyến ảo (VP) là một thuật ngữ chung cho một bó những liên kết kênh ảo; tất cả những liên kết trong một bó có cùng những điểm cuối giống nhau. Một VPI xác định một nhóm các liên kết VC (ở một điểm tham chiếu nhất định) mà chia sẻ cùng VPC. Một giá trị xác định của VPI được gán tại mỗi thời điểm cho một VP được chuyển mạch trong mạng. Một liên kết VP là một khả năng độc hướng cho sự truyền tải của các tế bào ATM giữa hai thực thể ATM liên tục nơi mà giá trị VPI được dịch. Một tuyến VP được bắt đầu và kết thúc bởi sự gán hay rời bỏ của giá trị VPI.

Những chức năng định tuyến cho các VP được thực thi ở một bộ chuyển mạch VP/ cross-connect. Việc định tuyến này gồm sự phiên dịch của những giá trị VPI của những tuyến VP đi vào vào trong những giá trị VPI của những tuyến nối VP đi ra. Những kết nối VP được nối liền nhau để hình thành nên một VPC. Một VPC mở rộng hai điểm cuối VPC (trong trường hợp của những sự sắp đặt điểm tới nhiều điểm) hay nhiều hơn hai điểm cuối VPC. Một điểm cuối VPC là một điểm nơi mà các VCI được bắt đầu, phiên dịch, hay kết thúc. Ở mức VP thì các VPC được cung cấp cho mục đích của chuyển đổi thông tin giữa người sử dụng – người sử dụng, người sử dụng – mạng, hay mạng – mạng.



Hình 5.13. Sự thể hiện của hệ phân cấp chuyển mạch VP và VC: (a) VC và VP; (b) chuyển mạch VP (Từ ITU-T Rec. I.311, Figure 4I.311, p. 5 [Ref. 12].)

Khi các VPC được chuyển mạch, VPC hỗ trợ các liên kết VC đi vào được kết thúc đầu tiên và một VPCC đi ra mới sau đó được tạo ra. Tính nguyên vẹn của dãy tế bào được đảm bảo bởi lớp ATM cho các tế bào thuộc về cùng VPC. Vì thế tính toàn vẹn dãy tế bào được duy trì cho mỗi liên kết VC trong một VPC.

*Hình 5.13* là một sự thể hiện của một hệ phân cấp chuyển mạch VP và VC, nơi mà lớp vật lý là lớp thấp nhất thì bao gồm một mức phân bộ tạo, một mức phần số, và một mức tuyến truyền. Lớp ATM cư trú ở trên lớp vật lý và bao gồm mức VP; trên cùng là mức VC.

### **5.1.8. Các yêu cầu báo hiệu**

#### ***a. Sự thiết lập và giải phóng của các VCC***

Thiết lập và giải phóng các VCC ở giao diện người sử dụng – mạng (UNI) có thể được thực hiện theo các cách khác nhau như sau:

- Những thủ tục không sử dụng báo hiệu. Các mạch được thiết lập ở phía thuê bao với những kết nối vĩnh cửu hay bán vĩnh cửu;
- Những thủ tục bằng siêu báo hiệu(meta-signalling), nơi mà một VCC đặc biệt được sử dụng để thiết lập hay giải phóng một VCC được sử dụng cho báo hiệu. Meta-signalling là một giao thức đơn giản được sử dụng để thiết lập và rời bỏ các kênh báo hiệu. Tất cả những sự trao đổi thông tin trong siêu báo hiệu được tiến hành qua những thông điệp tế bào đơn;
- Những thủ tục báo hiệu người sử dụng – mạng, như là một báo hiệu VCC để thiết lập hay giải phóng một VCC được sử dụng cho khả năng kết nối end to end;
- Những thủ tục báo hiệu người sử dụng – người sử dụng, như là một báo hiệu VCC để thiết lập hay giải phóng bên trong một CPC được thiết lập trước giữa hai UNI.

#### ***b. Báo hiệu các kênh ảo***

##### ***Những yêu cầu cho báo hiệu các kênh ảo***

Với một cấu hình báo hiệu điểm tới điểm, thì yêu cầu cho báo hiệu các kênh ảo như sau:

- Một kết nối kênh ảo ở mỗi hướng được chỉ định tới mỗi thực thể báo hiệu. Giá trị VPI/ VCI giống nhau được sử dụng ở cả cả các hướng. Một giá trị VCI chuẩn hóa được sử dụng cho kênh ảo báo hiệu (SVC) điểm tới điểm.
- Nói chung, một thực thể báo hiệu có thể điều khiển, với sự giúp đỡ của những SVC điểm tới điểm được kết hợp thì người dùng – VCs thuộc về một vài VP bị kết thúc trong cùng thành phần mạng.

- Như là một lựa chọn mạng, User – VCs được điều khiển bởi một thực thể báo hiệu có thể bị ép buộc để mà mỗi User – VC được điều khiển thì ở trong cả dòng lên và dòng xuống mà chứa các SVC điếm tới điếm của thực thể báo hiệu.
- Với những cấu hình báo hiệu điếm tới nhiều điếm thì những yêu cầu cho các kênh ảo báo hiệu như sau:
- *Point-to-Point Signaling Virtual Channels* (các kênh ảo báo hiệu điếm tới điếm). Cho báo hiệu điếm tới điếm thì một kết nối kênh ảo ở mỗi hướng được chỉ định cho mỗi thực thể báo hiệu. Giá trị VPI/ VCI giống nhau được sử dụng cho cả các hướng.
- *General Broadcast Signaling Virtual Channel* (kênh ảo báo hiệu quảng bá chung). Kênh ảo báo hiệu quảng bá chung (GBSVC) có thể được dùng cho sự đề nghị cuộc gọi trong tất cả các trường hợp. Trong những trường hợp nơi mà “điếm” không thực thi những miêu tả sơ lược dịch vụ hay những nơi “đa điếm” không hỗ trợ nhận dạng mô tả sơ lược (profile) dịch vụ thì GBSVC được sử dụng để đề nghị cuộc gọi. Giá trị VCI xác định cho báo hiệu quảng bá chung được dành bởi VP ở UNI. Chỉ khi siêu báo hiệu (meta - signalling) được sử dụng ở trong một VP là GBSVC mà đã kích hoạt trong VP.
- *Selective Broadcast Signaling Virtual Channels* ( Những kênh ảo báo hiệu quảng bá lựa chọn). Thay vì GBSVC một kết nối kênh ảo cho báo hiệu quảng bá lựa chọn (SBS) được sử dụng cho sự đề nghị cuộc gọi, trong những trường hợp nơi mà một sự miêu tả sơ lược dịch vụ cụ thể được sử dụng. Không một sự sử dụng nào cho các SBSVC được biết trước.

### 5.1.9. Chất lượng dịch vụ

#### a. Tổng quan về chất lượng dịch vụ của ATM

Một sự đo lường hiệu năng cơ bản cho một vài hệ thống truyền thông dữ liệu số là tốc độ lỗi bit (BER). Những kết nối sợi quang được thiết kế tốt sẽ chiếm ưu thế hiện nay và ở trong tương lai gần. Chúng ta có thể mong đợi những BER từ những liên kết này ở trong khoảng  $1 \times 10^{-12}$  và với sự thực thi end to end tốt hơn  $5 \times 10^{-10}$  (Ref.14). Do đó những vấn đề về sự thực thi khác có thể chi phối tình hình hiện



nay. Những điều này có thể được gọi là những mục QoS độc nhất ATM, có tên như sau:

- Độ trễ truyền tế bào – Cell transfer delay;
- Sự thay đổi độ trễ tế bào – Cell delay variation;
- Tỷ lệ mất tế bào – Cell loss ratio;
- Độ trễ truyền tế bào có ý nghĩa – Mean cell transfer delay;
- Tỷ lệ lỗi tế bào – Cell error ratio;
- Tỷ lệ ngăn chặn tế bào bị lỗi dữ dội – Severely errored cell block ratio;
- Tỷ lệ mất chèn tế bào – Cell misinsertion rate.

#### ***b. Những mô tả tham số QoS được lựa chọn***

##### ***❖ Cell Transfer Delay.***

Ngoài độ trễ thông thường qua các thành phần mạng và những tuyến truyền dẫn, có một độ trễ thêm vào được thêm vào một mạng ATM ở một bộ chuyển mạch ATM. Nguyên nhân của độ trễ này ở điểm này là sự ghép kênh không đồng bộ thống kê (statistical asynchronous multiplexing). Do điều này mà hai tế bào có thể bị định hướng đến cùng một lối ra của một bộ chuyển mạch ATM hay cross – connect, và kết quả là có sự tranh chấp ở lối ra.

Kết quả là một hay nhiều tế bào bị giữ ở bộ đệm đến khi cơ hội sẵn sàng tiếp theo để tiếp tục truyền. Chúng ta có thể thấy rằng tế bào thứ hai sẽ chịu đựng độ trễ thêm vào. Độ trễ này của một tế bào sẽ phụ thuộc vào số lượng lưu lượng bên trong một bộ chuyển mạch và do đó có thể xảy ra tranh chấp.

Tuyến không đồng bộ của mỗi tế bào ATM còn đóng góp vào độ trễ của tế bào. Các tế bào có thể bị trễ một hay nhiều chu kỳ tế bào tùy thuộc vào cường độ lưu lượng, kích thước chuyển mạch, và phụ thuộc vào tuyến truyền dẫn đi qua mạng.

##### ***❖ Cell Delay Variation (CDV)***

Được định nghĩa là độ trễ truyền dẫn phóng mở rộng (lưu lượng ATM là không đồng bộ). Độ trễ này còn là không nhất quán trên mạng. Nó có thể là một hàm của thời gian, hàm của thiết kế mạng/ bộ chuyển mạch ( như là kích thước bộ đệm), và các đặc tính lưu lượng ở khoảng thời gian đó. Kết quả sinh ra sự biến đổi trễ tế bào (CDV).

CVD có thể có các ảnh hưởng có hại khác nhau. Ảnh hưởng phân tán (hay trải ra) của những thời điểm đến của tế bào có thể tác động tới các chức năng báo hiệu hay sự tập hợp của dữ liệu người sử dụng tế bào. Một ảnh hưởng khác được gọi là *clumping*. Nó xuất hiện khi những thời điểm đến giữa các tế bào truyền ngắn. Chúng ta có thể hình dung ra điều này sẽ ảnh hưởng đến dung lượng mạng tức thời như thế nào và nó có thể ảnh hưởng đến các dịch vụ khác sử dụng mạng.

Có hai tham số thực thi liên quan đến độ biến đổi trễ tế bào: một là độ biến đổi trễ tế bào 1 điểm (1-point CDV) và độ biến đổi trễ tế bào 2 điểm (2-point CDV).

Độ biến đổi trễ tế bào 1 điểm miêu tả tính biến thiên trong kiểu mẫu những sự kiện đến của tế bào được quan sát ở một đường biên đơn với tham chiếu tới tốc độ đỉnh đàm phán  $1/T$  như được định nghĩa trong ITU-T Rec. I.371 (Ref. 13). Độ biến đổi trễ tế bào 2 điểm miêu tả tính biến thiên trong kiểu mẫu của các sự kiện đến của tế bào khi quan sát ở lối ra của phần kết nối ( $MP_1$ )

The 1-point CDV describes variability in the pattern of cell arrival events observed

#### ❖ *Cell Loss Ratio.*

Sự mất tế bào có thể không thông thường trong một mạng ATM. Có hai nguyên nhân mất gói cơ bản: (1) lỗi trong phần đầu tế bào hay (2) tắc nghẽn mạng.

Các tế bào với những lỗi phần đầu bị loại bỏ tự động. Điều này ngăn chặn sự mất định tuyến của những tế bào bị lỗi, cũng như khả năng vi phạm bảo mật và riêng tư.

Hiện tượng tràn bộ đệm chuyển mạch có thể còn gây ra mất tế bào. Nó ở trong các bộ đệm mà những tế bào được giữ trong các hàng đợi được dành ưu tiên. Nếu có tắc nghẽn, các tế bào trong một hàng đợi có thể bị loại bỏ một cách lựa chọn phù hợp với mức ưu tiên của nó. Ở đây đi vào bit CLP (Cell Loss Priority) đã được thảo luận ở trên. Những tế bào với bit này đặt lên 1 thì được loại bỏ hơn cái khác (nhiều tế bào tới hạn hơn). Theo cách này, sự đầy bộ đệm có thể được giảm để ngăn chặn hiện tượng tràn bộ nhớ (Ref. 1).

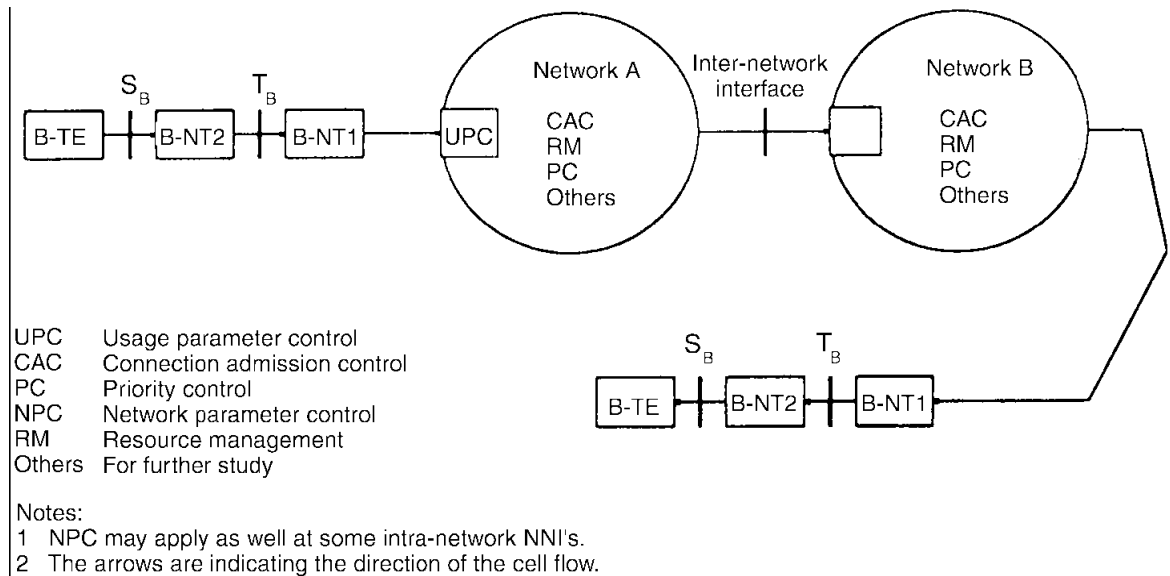
Tỉ lệ mất tế bào được định nghĩa cho một kết nối ATM như là : Các tế bào bị mất/ Tổng các tế bào đã truyền.

Các tế bào đã truyền và mất được đếm trong các khối tế bào bị lỗi rất lớn bị loại trừ từ mẫu tế bào trong việc tính tỉ lệ mất tế bào (Ref. 3).

#### ***c. Điều khiển lưu lượng và điều khiển tắc nghẽn***

Sau đây là các chức năng mà hình thành nên một framework cho quản lý, điều khiển lưu lượng và tắc nghẽn trong các mạng ATM, cũng như nó được sử dụng trong những sự kết hợp hợp lý từ quan điểm của ITU-T Rec. I.371 (Ref. 13):

- *Network Resource Management (NRM)*. Được sử dụng để chỉ định những tài nguyên mạng để tách riêng các luồng lưu lượng tương ứng với các đặc tính của dịch vụ.
- *Connection Admission Control (CAC)*. Chức năng này được định nghĩa như là một hệ các hoạt động được thực thi bởi mạng trong suốt giai đoạn cài đặt cuộc gọi hay là trong suốt giai đoạn thương lượng lại cuộc gọi để thiết lập xem một yêu cầu kết nối VC hoặc VP có thể được chấp nhận hay từ chối, hay để thiết lập xem một yêu cầu cho sự chỉ định lại có thể được điều chỉnh. Sự định tuyến là một phần của các hoạt động CAC.
- *Feedback Controls*. Những chức năng này là một hệ các hoạt động được thực hiện bởi mạng và những người dùng để điều chỉnh lưu lượng mà đã đi qua trên những kết nối ATM tùy theo trạng thái của các thành phần mạng.
- *Usage / Network Parameter Control (UPC/NPC)*. Chức năng này là một hệ các hoạt động được thực hiện bởi mạng để quan sát và điều khiển lưu lượng dưới dạng lưu lượng đã cung cấp và tính chất hợp lệ của kết nối ATM tại truy cập người dùng và truy cập mạng tương ứng. Mục đích chính là của chúng là để bảo vệ các nguồn tài nguyên mạng từ các hành động phá hoại có chủ tâm cũng như vô tình (những hành động này có thể ảnh hưởng đến QoS của những kết nối đã thiết lập sẵn khác).
- *Priority Control*. Người dùng có thể tạo ra những luồng lưu lượng ưu tiên khác nhau bằng việc sử dụng CLP. Một yếu tố mạng bị tắc nghẽn có thể loại bỏ một cách chọn lựa các tế bào với mức ưu tiên thấp nếu cần thiết để bảo vệ sự thực thi của mạng cho các tế bào với mức ưu tiên cao đến mức có thể (Ref. 13).



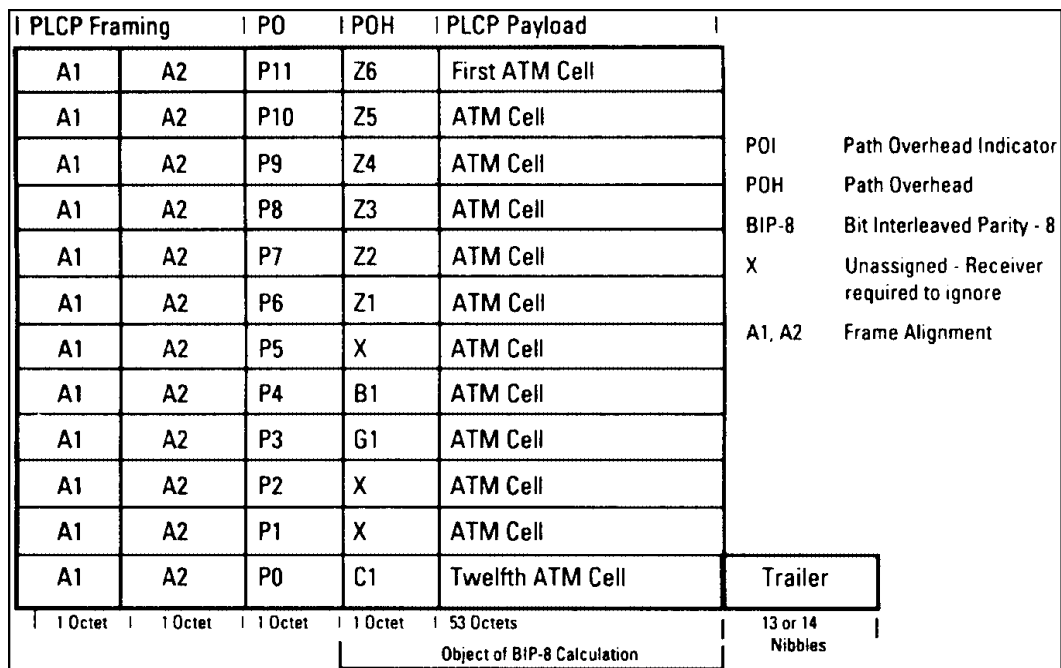
Hình 5.14 Cấu hình tham chiếu cho điều khiển tắc nghẽn và lưu lượng trên một mạng B-ISDN/ ATM (From ITU-T Rec. .371, Figure 1/ I.371, p. 3 [Ref. 13].)

### 5.1.10. Sự truyền tải các tế bào ATM

#### a. Trong khung của DS3

DS3 là một trong những hệ thống truyền dẫn số tốc độ cao phổ biến nhất ở Nam Mỹ hoạt động ở một tốc độ truyền dẫn trên danh nghĩa là 45 Mbps. Nó còn đang được thực thi rộng lớn cho truyền tải SMDS. Hệ thống được sử dụng để map các tế bào ATM sang định dạng DS3 là giống như được sử dụng cho SMDS. Để map các tế bào ATM vào trong một dòng bit DS3 thì giao thức hội tụ lớp vật lý (PLCP) được triển khai. Một khung PLCP DS3 được chỉ ra ở hình 18.16.

Từ hình vẽ ta thấy có 12 tế bào trong một khung PLCP. Mỗi tế bào đặt trước bởi một mẫu khung 2 octet (A1, A2) để cho phép bộ nhận đồng bộ các tế bào. Sau mẫu khung có một bộ hiển thị mà bao gồm 12 mẫu bit cố đã định được sử dụng để nhận dạng vị trí của tế bào trong khung (POI). Cái này được theo bởi một octet của thông tin overhead mà được sử dụng cho quản lý đường dẫn. Sau đó khung hoàn chỉnh được đệm với 13 nibble hay 14 nibble (1 nibble = 4 bits) của phần đuôi để đưa tốc độ truyền dẫn lên tốc độ bit của DS3 chính xác. Khung DS3 khi mà chúng ta nhận ra có thời gian hiệu lực là 125  $\mu$ s. DS3 phải vượt qua những sơ suất của mạng (những khung được thêm vào/ nhảy xuống để điều chỉnh sự liên kết đồng bộ). Do đó PLCP được đệm với một số biến đổi của các bit điều chỉnh để có thể điều chỉnh những sơ suất về thời gian. Octet overhead C1 hiển thị độ dài đệm. BIP (bit-interleaved parity) kiểm tra trọng tải và các chức năng overhead cho sự giám sát thực thi và các lỗi. Thông tin thực thi này được truyền trong overhead.



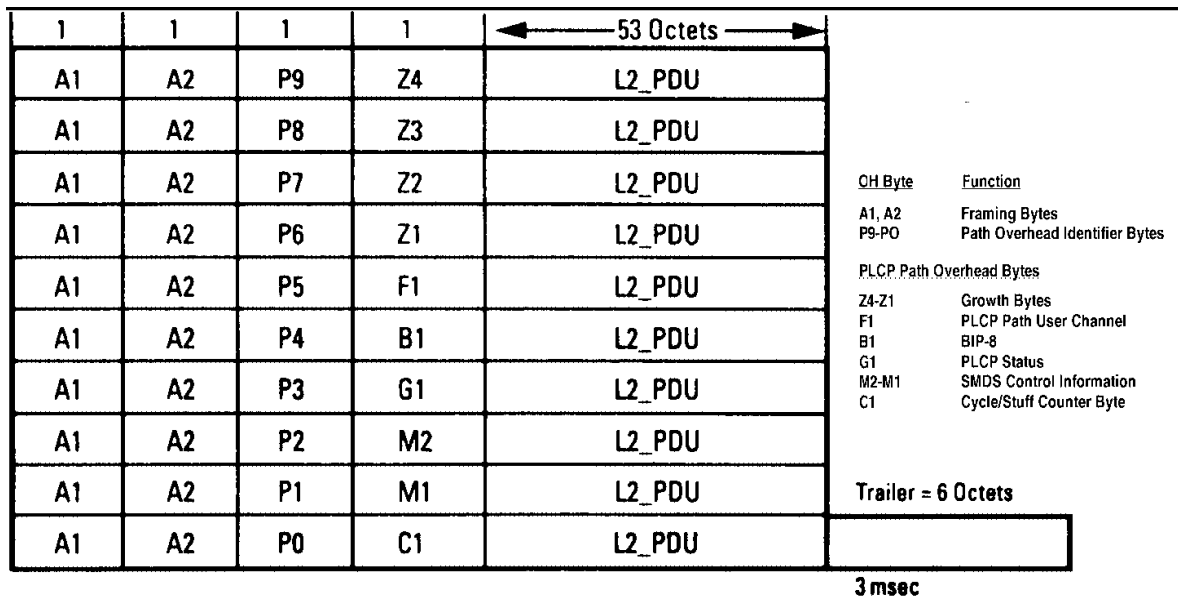
Hình 5.15. Định dạng của khung PLCP DS3

(From Ref. 1, courtesy of Hewlett-Packard.)

**b. Ảnh xạ DS1**

Một mục tiêu để map các tế bào ATM vào trong một khung DS1 là để sử dụng một thủ tục giống như khi được sử dụng với PLCP của DS3. Trong trường hợp này chỉ có 10 tế bào được bố bên trong một khung, và hai trong Z các octet của overhead bị rời bỏ. Việc độn vào của khung được đặt ở 6 octet. Khung toàn bộ mất 3 ms để truyền và kéo nhiều khung DS1 ESF (Extended SuperFrame). Việc map này được minh họa ở hình 18.17. PDU của L2 là một thuật ngữ được sử dụng với SMDS. Nó là khung mức cao hơn so với những tế bào ATM lấy được từ sự chia đoạn của nó.

Một điều còn phải quan tâm là số của vị trí. Mỗi khe thời gian DS1 có độ dài 8bit hay 1 octet. Theo định nghĩa có 24 octet trong một khung DS1. Tất nhiên điều này mang đến một phương pháp thứ 2 của việc truyền tải các tế bào ATM trong DS1 bằng cách map trực tiếp các tế bào ATm vào trong DS1. Điều này được làm bằng các nhóm của 53 octet (1cell) và chéo qua những đường biên khung DS1 để truyền tải một tế bào hoàn chỉnh.

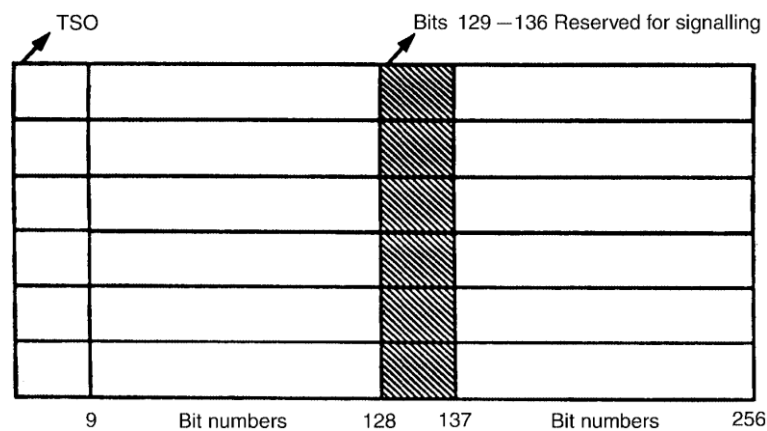


Hình 5.16. Ảnh xạ DS1 vào trong PLCP.

(From Ref. 1, courtesy of Hewlett-Packard.)

**c. Ảnh xạ E1**

E1 PCM có một tốc độ truyền là 2.048-Mbps. Một khung E1 có 256 bits thể hiện 32 kênh hay khe thời gian, trong đó có 30 kênh mang lưu lượng. Các khe thời gian (TS) 0 và 16 được để dành, trong đó TS0 được dùng để đồng bộ hóa và TS16 dùng cho báo hiệu. Khung E1 được minh họa như hình sau. Các dãy của các bit từ bit 9 đến bit 128 và từ bit 137 đến bit 256 có thể được dùng cho map tế bào ATM. Các tế bào ATM còn có thể được map trực tiếp vào trong các khung E3 và E4 đặc biệt. E3 thì có 530 octet sẵn sàng cho các tế bào (chính xác là 10 tế bào) và E4 có 2160 octet (không thể chia đều được).



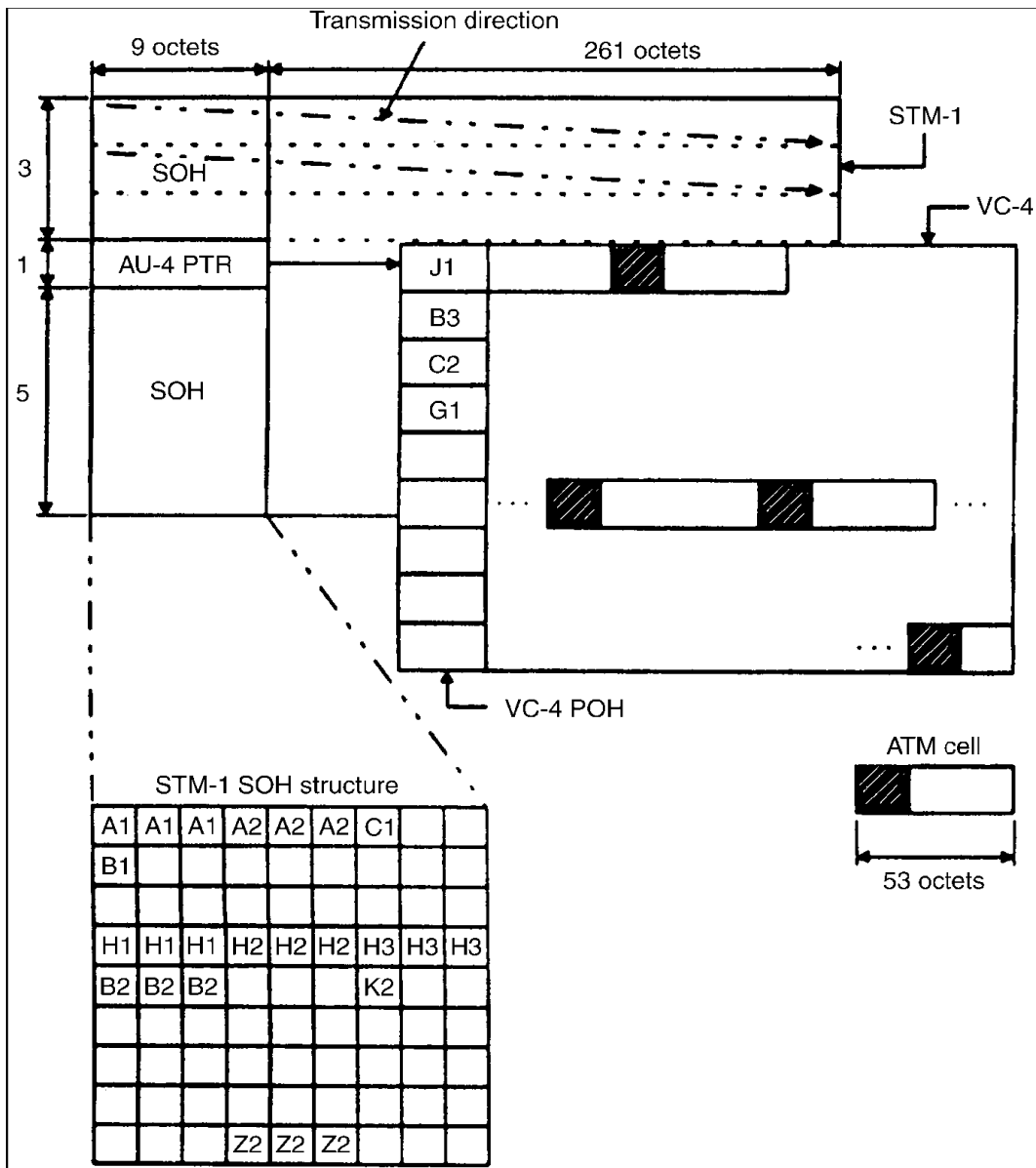
Hình 5.17. Ảnh xạ các tế bào ATM trực tiếp vào trong E1.

(From Ref. 1, courtesy of Hewlett-Packard.)

**d. Ánh xạ các tế bào ATM vào trong SDH**

**❖ Ở tốc độ STM-1 (155.520 Mbps)**

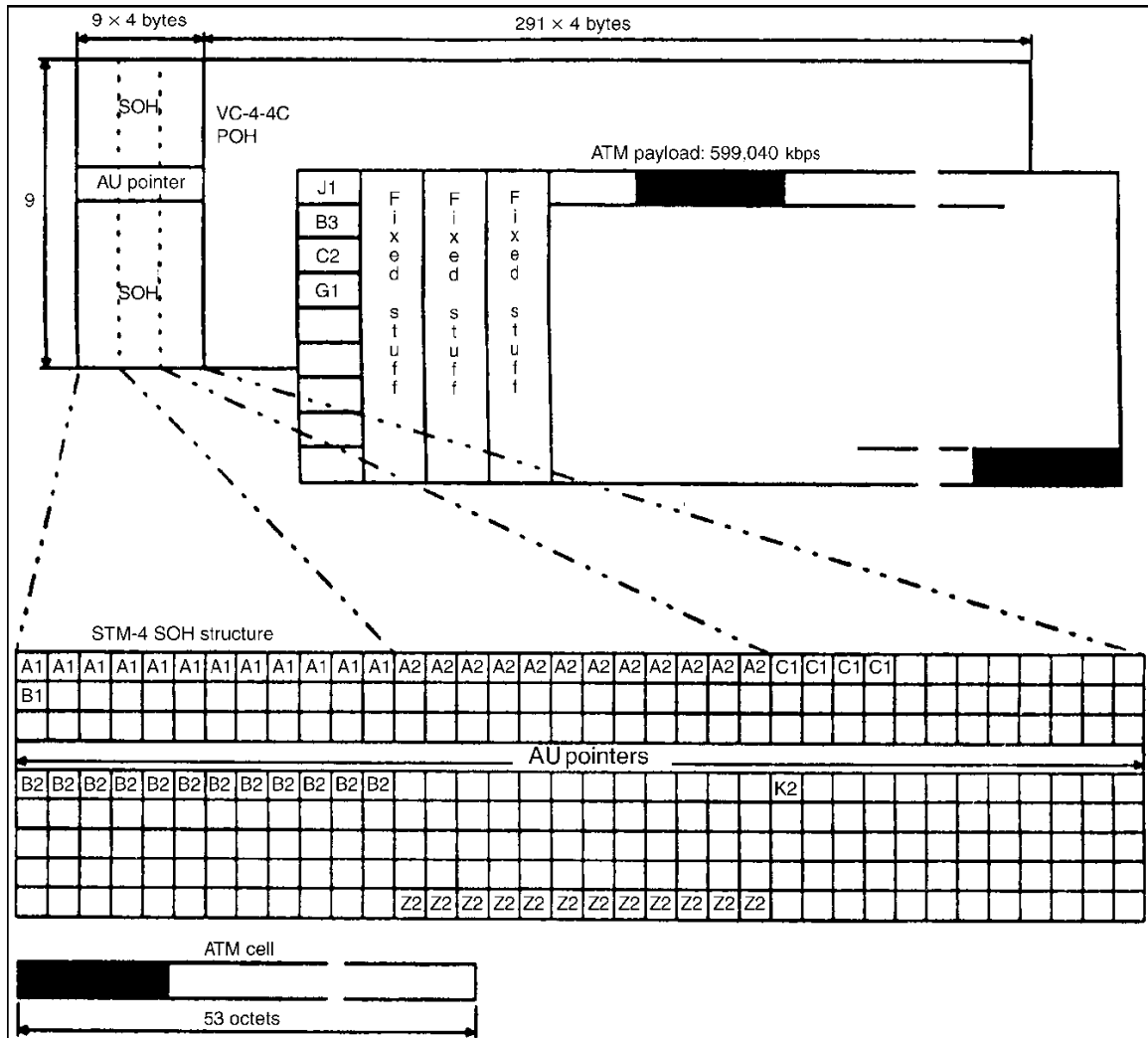
Hình 5.18 minh họa thủ tục mapping này. Dòng tế bào ATM đầu tiên được map vào trong C-4, sau đó đến lượt nó được map vào trong bộ chứa VC-4 cùng với overhead đường dẫn VC-4. Các đường biên tế bào ATM được sắp hàng với các đường biên octet STM. Khi mà dung lượng C-4 (2340) không là bội số nguyên của chiều dài tế bào (53 octets) thì một tế bào có thể đi qua các đường biên C-4. Con trỏ AU-4 ( các octet H1 và H2 trong SOH) được sử dụng để tìm kiếm octet đầu tiên trong VC-4.



Hình 5.18. Ánh xạ tế bào ATM vào trong STM-1 (155.520 Mbps rate) tại SDH-based UNI. (From ITU-TRec. I.432, Figure 8/ I.432, p. 13 [Ref. 4].)

❖ Ở tốc độ STM-4(622.080 Mbps).

Như chỉ ra ở hình 5.19, các dòng tế bào ATM được map đầu tiên vào trong C-4-4c và sau đó được đóng gói vào trong bộ chứa VC-4-4c cùng với overhead VC-4-4c. Các đường biên được xếp thẳng hàng với các đường biên của octet STM-4. Dung lượng C-4-4c (9360 octet) không là một bội số nguyên của chiều dài cell; do đó một cell có thể đi qua đường biên của C-4-4c. Các con trỏ AU được sử dụng để tìm kiếm octet đầu tiên của VC-4-4c.



Hình 5.19. Ánh xạ các tế bào ATM vào trong cấu trúc khung STM-4 (655.080 Mbps rate) cho SDH mà dựa trên

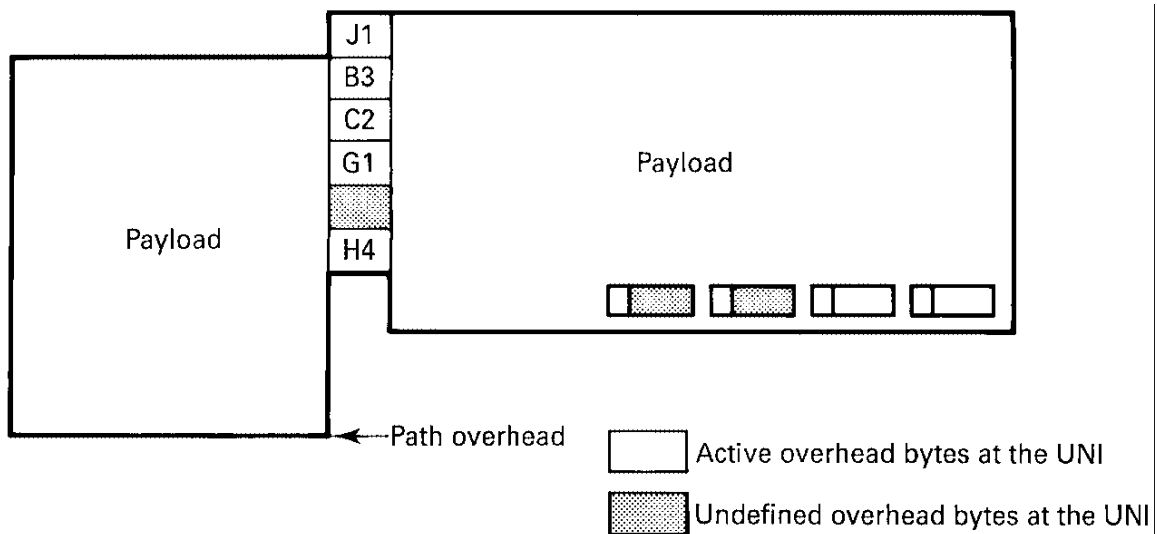
UNI. (From ITU-T Rec. I. 432, Figure 10I.432, p. 15 [Ref. 4].)

**e. Ánh xạ các tế bào ATM vào trong SONET**

Các tế bào ATM được ánh xạ trực tiếp vào trong trọng tải (tải tin) SONET (49,54 Mbps). Cũng giống với SDH, tải trọng trong các octet không là một bội số nguyên của chiều dài tế bào, và do đó một tế bào có thể qua một đường biên tế



bào STS. Khái niệm ánh xạ này được chỉ ra trong hình 18.21. Con trỏ H4 có thể hiển thị nơi mà các tế bào bắt đầu bên trong một khung STS. Một phương pháp tiếp cận khác là để xác định các phần đầu tế bào, và tế bào đầu tiên trong khung.



Hình 5.20. Ánh xạ các tế bào ATM trực tiếp vào trong một khung SONET STS-1. (From Ref. 1, courtesy of Hewlett-Packard.)

## 5.2. Các hệ thống chuyển mạch ATM

### 5.2.1. Tổng quan về mạng ATM

Giao thức ATM tương ứng với lớp 2 như được định nghĩa trong mô hình tham chiếu liên kết các hệ thống mở (OSI). ATM là loại hướng kết nối, có nghĩa là một liên kết end to end (hay kênh ảo) cần phải được thiết lập trước khi định tuyến các tế bào ATM. Các tế bào được định tuyến dựa theo hai giá trị quan trọng được chứa trong 5 byte phần đầu tế bào: *bộ định danh tuyến ảo* (VPI) và *bộ nhận danh kênh ảo* (VCI) – nơi mà một tuyến ảo bao gồm một số lượng các kênh ảo. Số lượng các bit được chỉ định cho một VPI tùy thuộc vào loại giao diện. Nếu nó là giao diện mạng người sử dụng (UNI) – giữa người dùng và bộ chuyển mạch ATM đầu tiên, còn 8 bit được cung cấp cho VPI. Điều này có nghĩa là tối đa  $2^8 = 256$  tuyến ảo có thể sử dụng được ở điểm truy cập người dùng. Mặt khác, nếu nó là giao diện giữa các node mạng (NNI) – giữa các bộ chuyển mạch trung gian thì 12 được cung cấp cho VPI. Điều này cho thấy có  $2^{12} = 4096$  tuyến ảo có thể giữa các ATM. Ở cả UNI và NNI đều có 16 bit cho VCI. Do đó sẽ có  $2^{16} = 65\,536$  kênh ảo cho mỗi tuyến ảo.

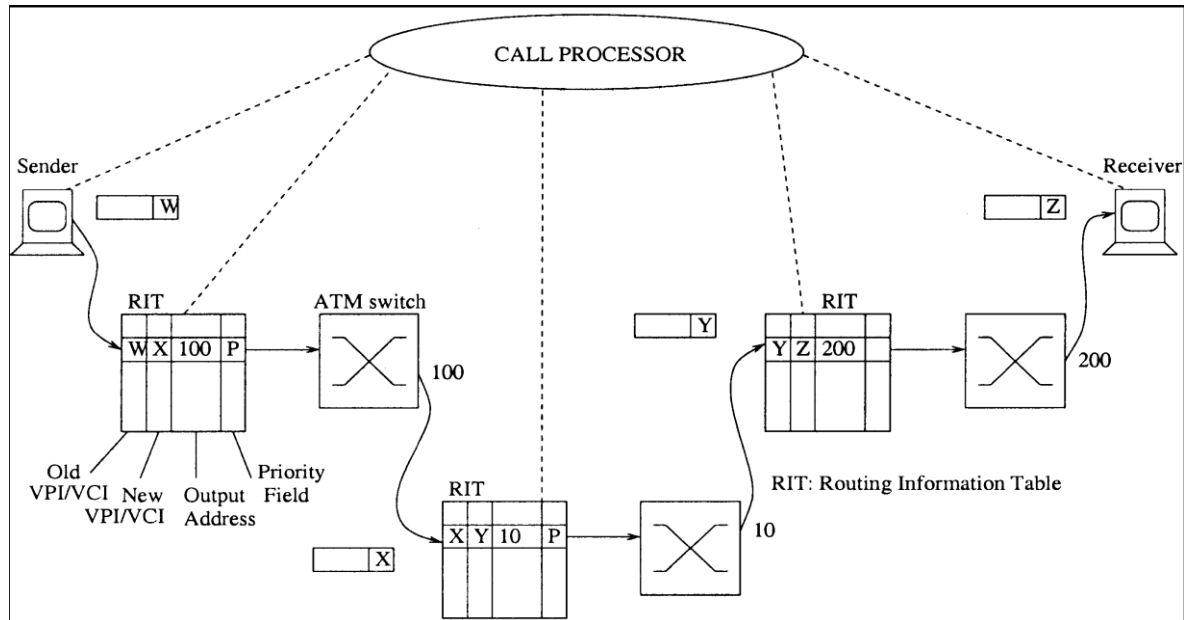
Sự kết hợp của VPI và VCI sẽ xác định một kết nối ảo cụ thể giữa hai điểm cuối. Thay vì có cùng VPI/ VCI cho toàn bộ tuyến định tuyến, mà VPI/ VCI được

xác định ở trên mỗi cơ sở tuyến nối và thay đổi ở mỗi bộ chuyển mạch ATM. Một cách cụ thể thì mỗi liên kết lối vào tới một node chuyển mạch, một VPI/ VCI có thể được thay thế với một VPI/ VCI khác ở liên kết lối ra với sự tham chiếu tới một bảng được gọi là bảng thông tin định tuyến (RIT) ở trong bộ chuyển mạch ATM. Điều này về căn bản làm gia tăng số lượng các đường dẫn định tuyến trong mạng ATM.

Hoạt động của các tế bào định tuyến như sau. Mỗi bộ chuyển mạch ATM có RIT của chính nó, và RIT bao gồm ít nhất các trường sau: trường VPI/ VCI cũ, trường VPI/ VCI mới, địa chỉ cổng lối ra, và trường ưu tiên (tùy chọn). Khi một tế bào ATM đến một lối vào của bộ chuyển mạch, nó được chia ra 5 byte phần đầu và 48 byte phần trọng tải (dữ liệu). Bằng việc sử dụng VPI/ VCI mà đã chứa trong phần đầu như là giá trị VPI/ VCI cũ thì bộ chuyển mạch nhìn vào RIT cho VPI/ VCI mới của tế bào đến. Khi giá trị này so khớp thì giá trị VPI/ VCI bị thay thế bằng giá trị cũ. Hơn nữa, địa chỉ cổng ra tương ứng và trường ưu tiên được đính kèm với tải tin 48 byte trước khi nó được gửi tới cơ cấu chuyển mạch. Địa chỉ cổng ra chỉ ra cổng ra mà tế bào nên được định tuyến tới. Có ba chế độ định tuyến trong cơ cấu chuyển mạch: chế độ unicast là chế độ trong đó một tế bào được định tuyến tới một cổng lối ra cụ thể, chế độ multicast là chế độ trong đó một tế bào được định tuyến đến một số lượng các cổng, và chế độ broadcast là chế độ trong đó một tế bào được định tuyến đến tất cả các cổng ra. Ở chế độ unicast,  $\log_2 N$  bit (trong đó N là số lượng các cổng vào/ ra) là đủ để cho biết số lượng cổng lối ra. Tuy nhiên, ở chế độ multicast/ broadcast, thì N bit (mỗi bit kết hợp với một cổng lối ra cụ thể) là cần thiết trong một bộ chuyển mạch tầng đơn. Trường ưu tiên cho phép bộ chuyển mạch truyền các tế bào một cách lựa chọn tới các cổng lối ra hay loại bỏ chúng khi bộ nhớ đệm tràn tùy thuộc vào các yêu cầu của dịch vụ.

Các kết nối ATM được thiết lập trước qua việc cung cấp hay được cài đặt động tùy theo yêu cầu bằng cách sử dụng báo hiệu (như báo hiệu UNI và báo hiệu định tuyến giao diện mạng – mạng riêng (PNNI) ). Báo hiệu UNI được quy cho những kết nối ảo cố định (PVC), trong khi đó PNNI được quy cho các kết nối ảo được chuyển mạch (SVC). Với SVC thì RIT được cập nhập bởi bộ xử lý cuộc gọi trong suốt thời gian cài đặt cuộc gọi, nó tìm một đường dẫn định tuyến thích hợp giữa nguồn và đích. VPI/ VCI của mọi liên kết dọc theo tuyến nối, các địa chỉ cổng lối ra của các bộ chuyển mạch và trường ưu tiên được xác định và điền đầy vào trong bảng bởi bộ xử lý gọi. Bộ xử lý gọi phải đảm bảo rằng điều đó ở mỗi bộ

chuyển mạch, VPI/ VCI của các tế bào đến từ các liên kết khác nhau nhưng đi đến cùng cổng lối ra là khác nhau. Thực tế có một bộ xử lý gọi cho tất cả bộ chuyển mạch ATM. Để đơn giản, hình 5.21 chỉ một bộ xử lý gọi để cập nhật RIT của mỗi bộ chuyển mạch trong một cách dựa trên khái niệm.



Hình 5.21. Sự phiên dịch VPI/ VCI dọc theo tuyến nối.

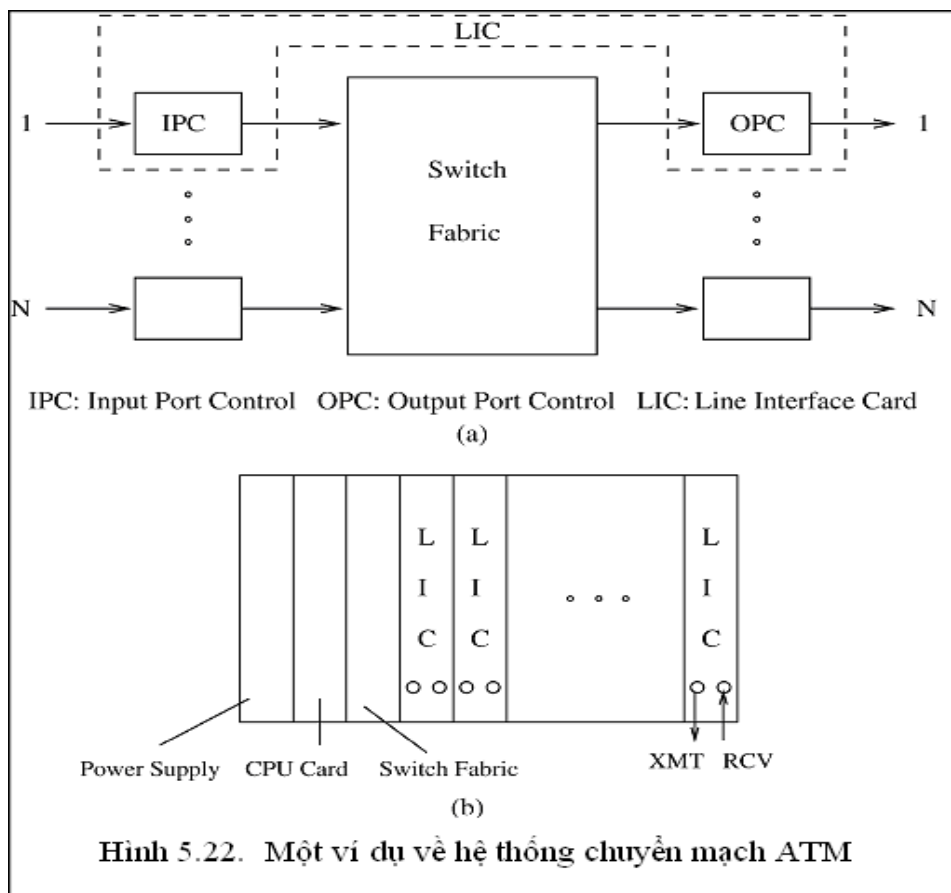
Đối với hình 5.21, khi một thiết lập cuộc gọi được hoàn thành thì nguồn bắt đầu gửi một tế bào của VPI/ VCI được thể hiện bằng  $w$ . Ngay khi tế bào này đến bộ chuyển mạch đầu tiên, toàn bộ bảng được tìm kiếm. Nếu có một thực thể nào so khớp được tìm thấy với một VPI/ VCI mới  $x$ , nó thay thế VPI/ VCI cũ  $w$ . Địa chỉ cổng lối ra tương ứng (giá trị của nó là 100) và trường ưu tiên được đính kèm với tế bào để mà tế bào có thể được định tuyến tới cổng lối ra 100 của bộ chuyển mạch đầu tiên. Ở bộ chuyển mạch ATM thứ 2, VPI/ VCI của tế bào mà có giá trị là  $x$  được cập nhật một giá trị mới là  $y$ . Dựa vào địa chỉ cổng lối ra đạt được từ bảng, tế bào đi vào được định tuyến đến cổng ra 10. Hoạt động này lặp lại ở các bộ chuyển mạch khác dọc theo tuyến nối đến đích. Khi kết nối bị chấm dứt thì bộ xử lý cuộc gọi sẽ xóa các thực thể đã kết hợp của các bảng định tuyến dọc theo tuyến nối.

Trong trường hợp multicast, một tế bào được sao chép vào trong nhiều bản sao và mỗi bản sao được định tuyến đến một cổng ra. Khi VPI/ VCI của mỗi bản sao ở cổng lối ra có thể là khác nhau thì sự thay thế VPI/ VCI thường thực hiện ở lối ra thay vì lối vào. Kết quả là bảng định tuyến thường được tách thành 2 phần, một ở lối vào và một ở lối ra. Ở lối vào thì có hai trường trong RIT là giá trị VPI/

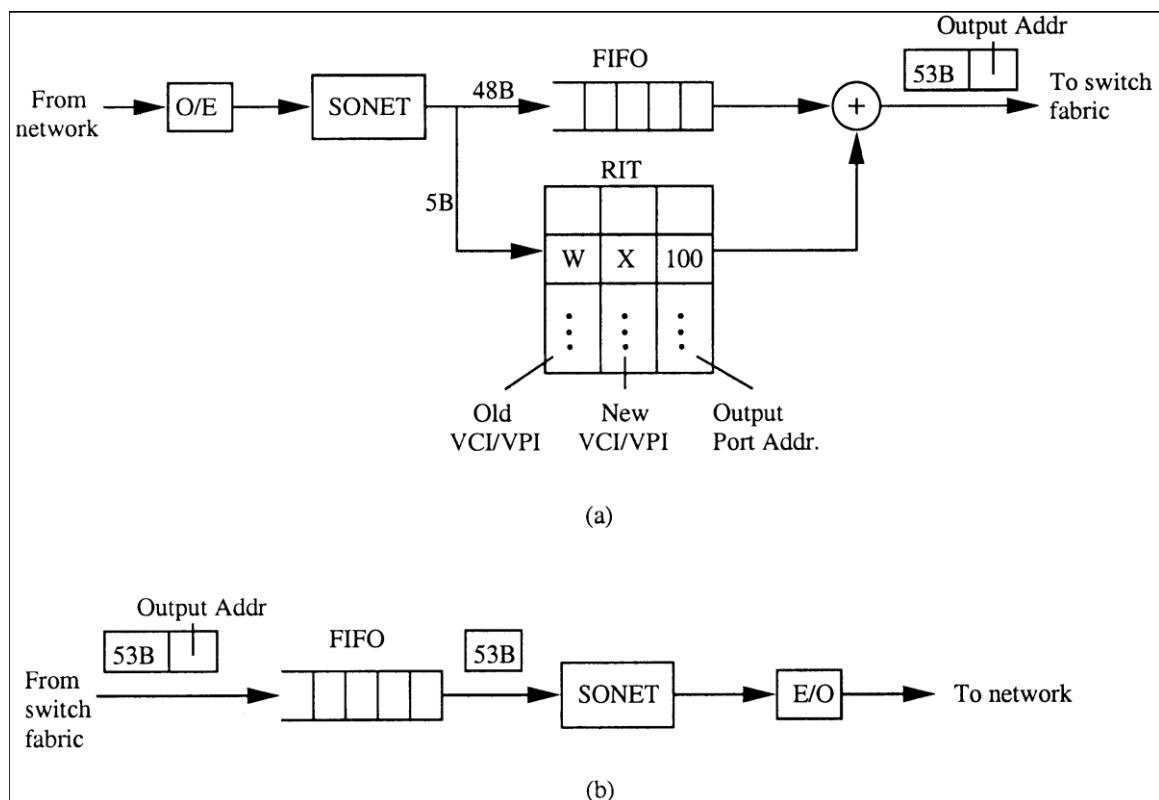
VCI cũ và N bit thông tin định tuyến. Ở lối ra có 3 trường trong RIT là số cổng lối vào, giá trị VPI/ VCI cũ, và giá trị VPI/ VCI mới. Sự kết hợp của số cổng vào và VPI/ VCI cũ có thể xác định duy nhất kết nối multicast và được sử dụng như là một chỉ số để định vị VPI/ VCI mới ở lối ra. Khi nhiều VPI/ VCI từ các cổng lối vào khác nhau có thể hợp lại tới cùng cổng lối ra và có giá trị VPI/ VCI cũ xác định, do đó nó phải sử dụng thông tin thêm vào như là một phần của chỉ mục cho RIT. Sử dụng số cổng vào là một cách tự nhiên và dễ dàng.

### 5.2.2. Cấu trúc tầng chuyển mạch ATM

Hình 5.22 a miêu tả một mô hình hệ thống chuyển mạch ATM điển hình, nó gồm bộ điều khiển cổng vào (IPC), một cơ cấu chuyển mạch, và một bộ điều khiển cổng ra (OPC). Trong thực tế, IPC và OPC thường được xây dựng trên cùng một mạch in, được gọi là card giao diện đường (LIC – Line Interface Card). Nhiều IPC và OPC có thể được xây dựng trên cùng một LIC. Cơ cấu chuyển mạch trung tâm cung cấp các liên nối giữa các IPC và các OPC. Hình 5.22 b chỉ ra một chassis bao gồm một card nguồn, một card CPU để thực thi các chức năng vận hành, quản lý, và bảo dưỡng (OAM) cho hệ thống chuyển mạch, một card cơ cấu chuyển mạch và nhiều LIC. Mỗi LIC có một bộ truyền và một nhận (RCV).



Như chỉ ra ở hình 5.23 a mỗi IPC kết cuối một đường lối vào và rút các phần đầu tế bào để xử lý. Trong ví dụ này, đầu tiên các tín hiệu quang được chuyển thành tín hiệu điện bằng bộ chuyển đổi quang – điện (O/E) và sau đó được kết cuối bởi một bộ tạo khung SONET. Các tải tin tế bào được lưu trữ trong một bộ đệm FIFO, trong khi đó các phần đầu được rút ra cho xử lý định tuyến. Các tế bào đi vào được xếp hàng trước khi được định tuyến trong cơ cấu chuyển mạch – nó làm đơn giản hóa thiết kế của cơ cấu chuyển mạch. Dòng tế bào được cắt xẻ và thời gian được yêu cầu để truyền một tế bào qua mạng là một khe thời gian.



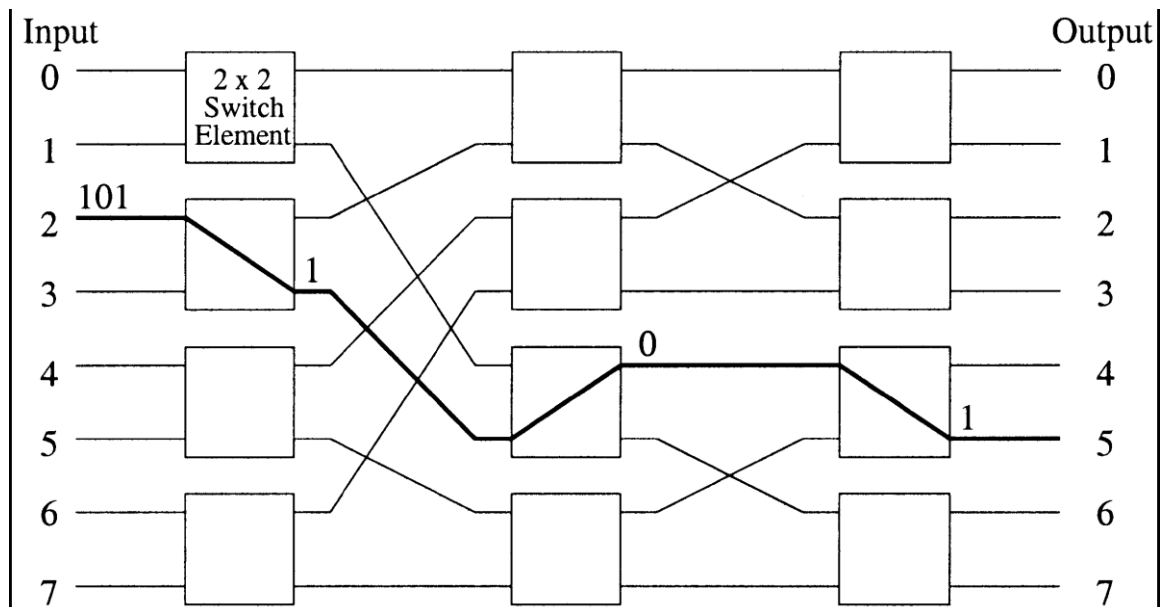
Hình 5.23 Sơ đồ khối điều khiển cổng lối ra và lối vào

Ở hình 5.23b, các tế bào đến từ cơ cấu chuyển mạch được lưu vào một bộ đệm FIFO. Thông tin định tuyến (và thông tin khác như là một mức ưu tiên nếu có thể) sẽ được lật vỏ trước khi các tế bào được viết vào FIFO. Các tế bào sau đó được mang đi trong tải tin của các khung SONET (sau đó nó được chuyển thành tín hiệu quang qua một bộ chuyển đổi E/O).

OPC có thể truyền tại hầu hết một tế bào tới tuyến truyền trong mỗi khe thời gian. Bởi vì các tế bào đến là ngẫu nhiên trong mạng ATM, nó dường như rằng nhiều hơn một tế bào được dành cho cùng một cổng ra. Sự cố này được gọi là sự tranh chấp hay xung đột cổng lối ra. Một tế bào sẽ được chấp nhận cho truyền đi, và những cái khác cần được loại bỏ hoặc được đệm lại. Vị trí của các bộ đệm

không chỉ ảnh hưởng đáng kể đến chỉ tiêu chất lượng chuyển mạch mà còn ảnh hưởng đến tính phức tạp của sự thực thi chuyển mạch. Sự lựa chọn của những kỹ thuật giải quyết tranh chấp còn bị ảnh hưởng bởi vị trí của các bộ đệm.

Có hai phương pháp định tuyến các tế bào qua một cơ cấu chuyển mạch: tự định tuyến (self-routing) và định tuyến theo nhãn (label routing). Trong phương pháp tự định tuyến thì một trường địa chỉ cổng ra (A) bị treo trước tới mỗi tế bào ở cổng vào trước khi các tế bào đi vào cơ cấu chuyển mạch. Trường này ( nó có  $\log_2 N$  bit cho các tế bào unicast hay N bit cho các tế bào multicast/ broadcast) được sử dụng để điều hướng các tế bào tới các cổng lối ra đích của nó. Mỗi bit của trường địa chỉ cổng lối ra được kiểm tra bởi mỗi tầng của thành phần chuyển mạch. Nếu bit này là 0 thì tế bào được định tuyến tới cổng bên trên của thành phần chuyển mạch. Nếu bit này là 1 thì nó được định tuyến tới lối ra thấp hơn của nó. Như chỉ ra ở hình 5.24, một tế bào mà địa chỉ ra của nó là 5 (101) được định tuyến tới lối vào 2. Bit đầu tiên của địa chỉ cổng lối ra (1) được kiểm tra bởi tầng thứ 2 của thành phần chuyển mạch. Tế bào được định tuyến tới lối ra thấp hơn và đi đến tầng thứ 2. Bit tiếp theo (0) được kiểm tra bởi tầng thứ 2 và tế bào được định tuyến tới lối ra cao hơn của thành phần chuyển mạch. Ở tầng cuối cùng của thành phần chuyển mạch thì bit cuối cùng (1) được kiểm tra và tế bào được định tuyến tới cổng thấp hơn của nó – tương ứng với cổng số 5. Khi tế bào đến cổng ra thì địa chỉ cổng ra bị loại bỏ.



Hình 5.24. Một ví dụ của phương pháp tự định tuyến trong một mạng delta

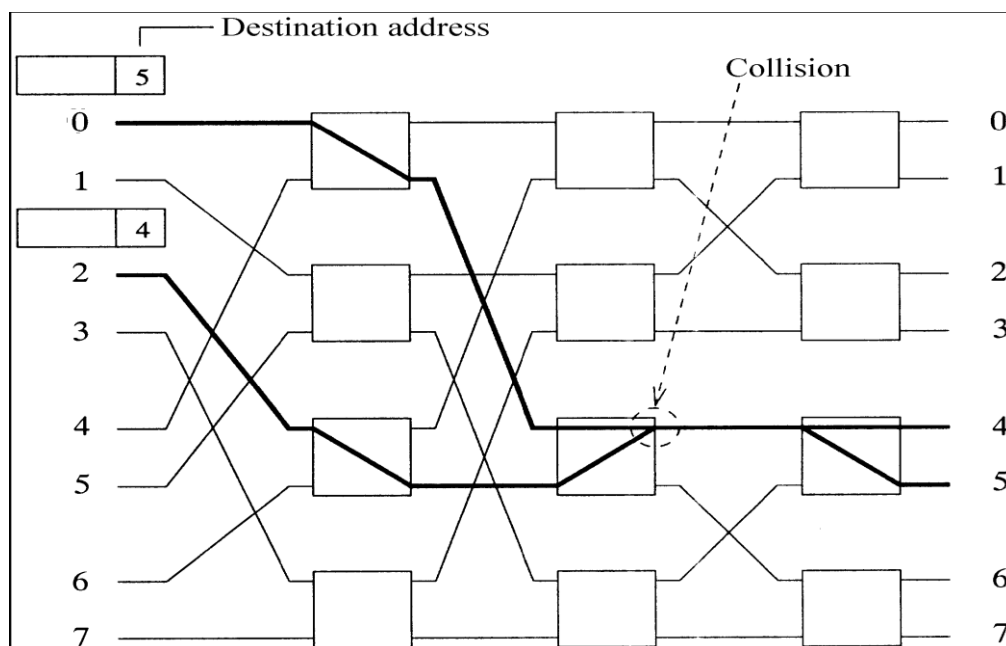
Với sự tương phản thì trong định tuyến nhãn thì trường VPI/ VCI trong phần đầu được sử dụng bởi từng module chuyển mạch để quyết định kết nối lối ra. Tức

là mỗi module chuyển mạch có một bảng tìm kiếm VPI/ VCI và chuyển mạch tế bào tới một kết nối lối ra tương ứng với việc ánh xạ giữa VPI/ VCI và các kết nối vào/ ra trong bảng này. Định tuyến nhãn không phụ thuộc vào liên nối cụ thể của các thành phần chuyển mạch như tự định tuyến và nó có thể được sử dụng tùy tiện bất cứ nơi nào các module chuyển mạch được liên nối.

### 5.3. Các khái niệm trong chuyển mạch ATM

#### 5.3.1. Hiện tượng Blocking liên kết nội (bên trong)

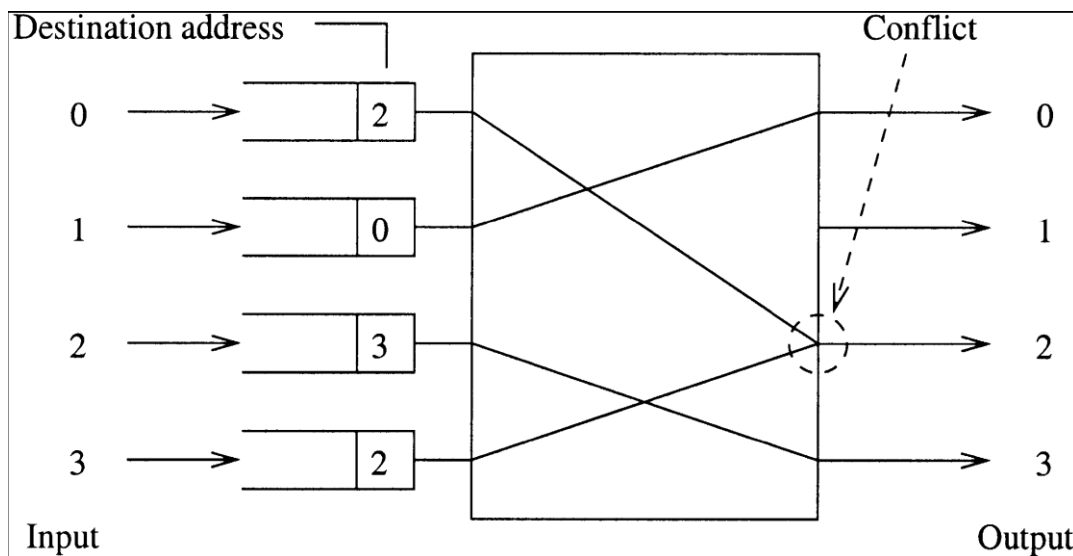
Trong khi một tế bào đang được định tuyến trong một cơ cấu chuyển mạch, nó có thể gặp phải một vấn đề tranh chấp gây nên từ việc hai hay nhiều tế bào cạnh tranh nhau một tài nguyên. Hiện tượng chặn đứng kết nối bên trong xuất hiện khi nhiều tế bào đấu tranh cho một kết nối ở cùng thời điểm bên trong cơ cấu chuyển mạch, được chỉ ra trong hình 2.1. Điều này thường xảy ra trong một bộ chuyển mạch dựa trên công nghệ ghép kênh phân chia theo không gian, nơi mà một kết nối vật lý bên trong được chia sẻ bởi nhiều liên kết giữa các cổng vào/ra. Một bộ chuyển mạch blocking là một chuyển mạch có hiện tượng blocking bên trong. Một bộ chuyển mạch mà không chịu đựng hiện tượng blocking bên trong thì được gọi là nonblocking. Trong một bộ chuyển mạch được đệm bên trong, tranh chấp được điều khiển bởi việc thay thế các bộ đệm ở điểm xung đột. Việc thay thế các bộ đệm bên trong trong bộ chuyển mạch sẽ gia tăng độ trễ truyền tế bào và làm giảm thông lượng của bộ chuyển mạch.



Hình 5.25. Hiện tượng blocking trong ở một mạng delta xung đột hai tế bào đã được dành cho các cổng ra 4 và 5

### 5.3.2. Sự tranh chấp cổng ra (Output Port Contention)

Sự tranh chấp cổng ra xuất hiện khi hai hay nhiều tế bào đến từ các cổng vào khác nhau và được dành trước cho cùng cổng ra, được chỉ ra trong hình 5.26. Một cổng ra đơn có thể truyền chỉ một tế bào ở một khe thời gian; do đó các tế bào khác cần thiết được loại bỏ hoặc đưa vào bộ đệm. Ở trong các switch đệm lối ra, một bộ đệm được thay thế ở mỗi lối ra để lưu trữ nhiều tế bào được dành trước cho cổng lối ra đó.



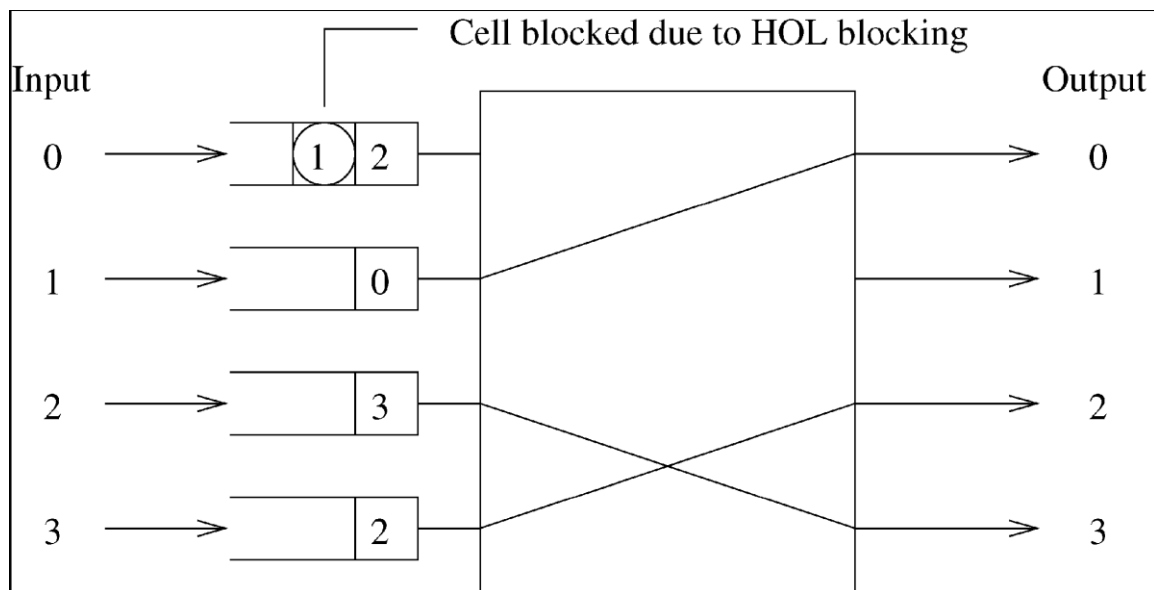
Hình 5.26. Sự tranh chấp cổng ra

### 5.3.3. Head-of-Line Blocking

Một cách khác để giải quyết tranh chấp cổng lối ra là để thay thế một bộ đệm ở mỗi cổng lối vào, và để lựa chọn chỉ một tế bào cho mỗi cổng lối ra giữa các tế bào được dành cho cổng ra đó trước khi truyền tế bào. Loại bộ chuyển mạch này được gọi là bộ chuyển mạch đệm lối vào. Một bộ phân xử sẽ quyết định tế bào nào nên được chọn và tế bào nào nên bị từ chối. Quyết định này có thể được dựa trên sự ưu tiên tế bào hay tem thời gian tế bào, hay ngẫu nhiên. Một số lượng các cơ cấu phân xử đã được đề xuất, như là sự dành riêng vòng, sort and arbitrate, và route and arbitrate. Với sự dành riêng vòng, các cổng vào được liên kết qua một vòng, cái mà được sử dụng để ưu cầu truy cập các cổng ra. Cho các bộ chuyển mạch mà dựa trên một cơ cấu mềm ở cơ cấu chuyển mạch, tất cả các tế bào yêu cầu cùng cổng sẽ xuất hiện gần kề với nhau sau khi sắp xếp. Với dạng route-and-arbitrate các tế bào được định tuyến qua cơ cấu chuyển mạch và được bộ phân xử dò tranh chấp ở điểm xung đột.



Một vấn đề được biết đến nhiều trong bộ chuyển mạch chỉ thuần túy đệm lối ra với bộ đệm lối vào first-in-first out (FIFO) là vấn đề *head-of-line (HOL) blocking*. Điều này xảy ra khi các tế bào bị ngăn chặn từ việc đạt được một lối ra rồi bởi vì các tế bào khác, tế bào mà phần đầu của nó trong bộ đệm và không thể được truyền qua cơ cấu chuyển mạch. Như chỉ ra ở *hình 5.27*, tế bào đứng sau tế bào HOL ở cổng vào 0 được dành trước cho một cổng số 1 rồi. Nhưng nó bị chặn bởi tế bào HOL, cái mà mất một đường truyền do một tranh chấp lối ra. Do hiện tượng HOL blocking, nên thông lượng của bộ chuyển mạch đệm lối vào là hầu như 58.6% dành cho lưu lượng không thay đổi ngẫu nhiên



Hình 5.27. Blocking phần đầu của đường

### 5.3.4. Kỹ thuật truyền Multicasting

Để hỗ trợ cho việc quảng bá dữ liệu và hội thảo video-audio, các bộ chuyển mạch ATM có tính năng multicast và broadcast. Một vài cơ cấu chuyển mạch đạt được multicast bằng việc sao chép nhiều bản copy của các tế bào và sau đó định tuyến mỗi bản copy tới các cổng đích của chúng. Các switch khác đạt được multicast bằng việc ứng dụng tính chất phát quảng bá vốn có của phương tiện được chia sẻ mà không tạo một bản copy của các tế bào ATM nào.

### 5.3.5. Sự phân đôi cuộc gọi (Call Splitting)

Một vài nguyên tắc sắp xếp cuộc gọi đã được đề xuất cho chức năng multicast, như là sắp xếp một lần duy nhất, phân đôi cuộc gọi chính xác và phân đôi cuộc gọi theo hướng rộng. Sắp xếp một lần duy nhất thì yêu cầu tất cả các bản sao của cùng một tế bào được truyền trên cùng một khe thời gian. Còn phân

đôi chính xác và phân đôi theo hướng rộng cho phép sự truyền dẫn của tế bào được phân chia ra một vài khe thời gian khác nhau. Cho các ứng dụng thời gian thực, sự trễ khác nhau giữa các bộ nhận làm cho việc phân đôi cuộc gọi nên được giới hạn. Một ma trận được đưa ra để mô tả hoạt động của thuật toán sắp xếp, được chỉ ra ở hình 5.28, Ở đây mỗi hàng (cột) tương ứng với một đường truyền lối ra (lối vào) của bộ chuyển mạch. Với đặc tính multicast mỗi hàng chứa hai hay nhiều hơn một kênh đơn so với trường hợp unicast. Ở mỗi khe thời gian chỉ có một tế bào được lựa chọn từ mỗi cột để hình thành một kết nối.

		Output				
		1	2	3	4	5
Input						
1		1	1	0	0	1
2		0	1	0	0	0
3		0	0	0	1	0
4		0	1	1	0	0
5		0	0	1	1	0

Transmission requests matrix  
(1: copy request, 0: no request)

X	X	0	0	X	X	1	0	0	1	X	1	0	0	X
0	1	0	0	0	0	X	0	0	0	0	X	0	0	0
0	0	0	X	0	0	0	0	X	0	0	0	0	X	0
0	1	1	0	0	0	1	X	0	0	0	1	X	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0

(a) One-shot                      (b) Strict-sense call splitting                      (c) Wide-sense call splitting  
(X: accepted request, 1: rejected request)

Hình 5.28. Những phương pháp lập lịch cuộc gọi

**a) Sắp xếp một lần duy nhất(One-Shot Scheduling)**

Ở chế độ sắp xếp một lần duy nhất, tất các bản sao của cùng một tế bào phải cần được chuyển mạch thành công trong một khe thời gian. Nếu một bản sao mất sự tranh chấp cho một cổng ra, thì tế bào gốc đợi trong hàng đợi vào cần truyền lại một lần nữa trong khe thời gian tiếp theo. Tất nhiên rằng chiến lược này giúp các tế bào ít bản sao hơn(nghĩa là giúp các cuộc gọi với ít bên nhận hơn), và thường chặn đứng các tế bào multicast nhiều hơn với nhiều bản sao hơn

**b) Phân đôi cuộc gọi theo hướng chính xác(Strict-Sense Call Splitting)**

Ở chế độ một lần duy nhất, nếu chỉ một bản sao mất sự tranh chấp, thì tế bào gốc(tất cả các bản sao của nó) cần làm lại trong khe thời gian tiếp theo, do đó làm giảm thông lượng của bộ chuyển mạch. Điều trở ngại này đề xuất việc truyền các bản sao của tế bào multicast một cách độc lập. Với phân chia cuộc gọi theo hướng chính xác, ở hầu hết một bản sao từ cùng một tế bào có thể được truyền ở trong một khe thời gian, Đó là, một tế bào multicast cần chờ trong hàng đợi lỗi vào cho các khe thời gian khác nhau cho đến khi tất cả bản sao của nó đã được truyền. Nếu một tế bào multicast có K bản sao để truyền, thì nó cần ít nhất K khe thời gian để truyền chúng. Một cách thông kê thì thuật toán này dẫn đến một thông lượng thấp khi bộ chuyển mạch chờ chưa đủ trong suốt lưu lượng nhẹ, khi thuật toán không thay đổi một cách động với kiểu dáng lưu lượng.

### **c) Phân chia cuộc gọi theo hướng rộng( Wide-Sense Call Splitting)**

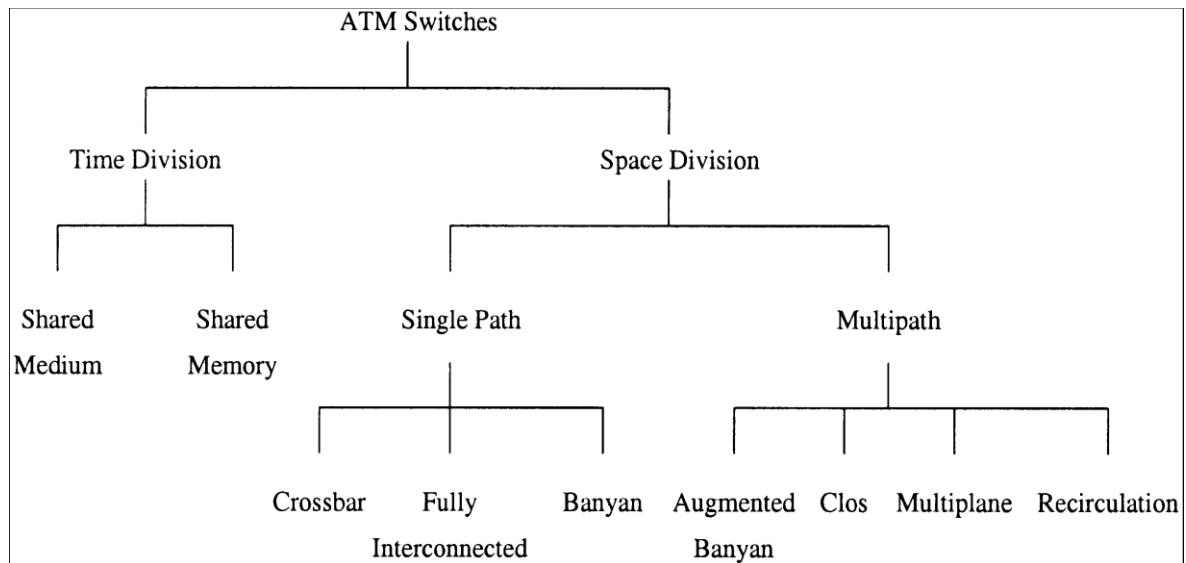
Trường hợp của lưu lượng nhẹ nên được đề cập khi chỉ một đường vào chủ động có một tế bào multicast để được truyền và tất cả các cổng ra là rỗi. Trong trường hợp này phân đôi cuộc gọi SS chỉ cho phép một tế bào được trên mỗi khe thời gian, điều này dẫn đến một ứng dụng thấp. Phân đôi cuộc gọi theo hướng rộng được đề xuất để cho phép nhiều hơn một bản sao từ cùng một tế bào multicast dành được truy cập tới các cổng ra một cách đồng thời miễn là những cổng ra này là rỗi.

Thật rõ ràng là chế độ một lần duy nhất có sự hiệu năng thông lượng thấp nhất trong 3 thuật toán này; tuy nhiên, nó lại dễ dàng nhất để thực hiện. Phân đôi SS thực thi tốt hơn One-shot ở trong trường hợp lưu lượng, nhưng nó dường như cứng nhắc trong trường hợp lưu lượng nhẹ và dẫn đến một ứng dụng thấp. Phân đôi cuộc gọi WS có ưu đầy đủ của việc sử dụng các trung kế ra, nó cho phép các tế bào multicast sử dụng tất cả các cổng free, điều này dẫn đến thông lượng cao hơn.

## **5.4. Phân loại kiến trúc chuyển mạch ATM**

Chuyển mạch ATM có thể được chia dựa trên các kỹ thuật chuyển mạch của nó, bao gồm hai nhóm sau: Chuyển mạch phân chia theo thời gian(Time Division Switching – TDS) và chuyển mạch phân chia theo không gian(Space Division Switching – SDS). TDS được chia ra làm hai loại là dùng chung bộ nhớ(shared memory) và loại dùng chung môi trường(shared medium). SDS được chia ra thành loại chuyển mạch đơn tuyến(single path) và đa tuyến(multiple path). Trong chuyển mạch đa tuyến lại được chia ra thành một vài loại khác nhau, được minh

họa ở hình 5.29. Trong phần này, chúng ta mô tả sơ lược về hoạt động, ưu điểm, và nhược điểm, và giới hạn vốn có của mỗi loại chuyển mạch.



Hình 5.29. Sự phân loại các kiến trúc chuyển mạch ATM

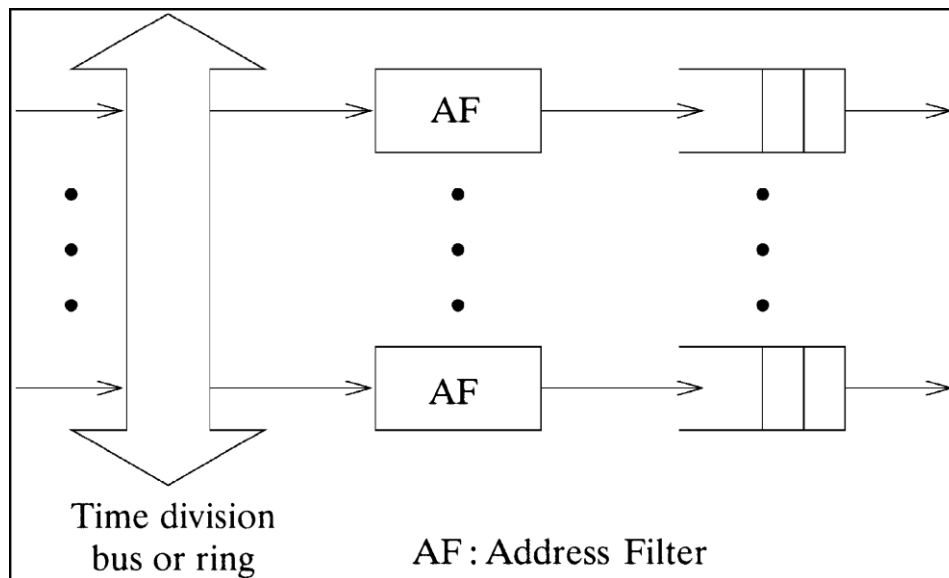
#### 5.4.1. Chuyển mạch phân chia theo thời gian

Trong TDS, có một cấu trúc truyền thông đơn bên trong, cái mà được chia sẻ bởi tất cả các tế bào di chuyển từ các cổng vào tới các cổng ra qua bộ chuyển mạch. Cấu trúc truyền thông bên trong có thể là một BUS, một vòng, hay là một bộ nhớ. Nhược điểm chính của kỹ thuật này là giới hạn dung lượng chính xác của nó trong cấu trúc truyền thông bên trong. Tuy nhiên, loại này cung cấp một ưu điểm là tất cả các tế bào chảy dọc theo một cấu trúc truyền thông đơn, nó có thể dễ dàng được mở rộng để hỗ trợ các hoạt động multicast và broadcast.

##### a) Chuyển mạch dùng chung môi trường

Ở trong một bộ chuyển mạch dùng chung môi trường, các tế bào đến các cổng vào được ghép kênh theo thời gian trong một phương tiện tốc độ cao thường như là một bus hay một vòng(ring), thì dải thông sẽ bằng với N lần tốc độ đường truyền vào. Thông lượng của môi trường được chia sẻ này xác định dung lượng của bộ chuyển mạch đầy đủ. Như chỉ ra ở hình 5.30, mỗi đường truyền ra được kết nối tới môi trường tốc độ cao được chia sẻ qua một giao diện gồm một bộ lọc địa chỉ(Address Filter - AF) và một bộ đệm FIFO lối ra. Bộ lọc địa chỉ kiểm tra phần đầu(header) của các tế bào lối vào, và sau đó chấp nhận chỉ những tế bào dành cho chính nó. Phương pháp tập trung này có một ưu điểm là mỗi cổng ra có thể hoạt động độc lập và có thể được xây dựng tách biệt nhau. Tuy nhiên, nhiều

nguyên lý thiết kế phân cứng và nhiều bộ đệm được yêu cầu để cung cấp các giao diện tách biệt cho mỗi cổng ra.



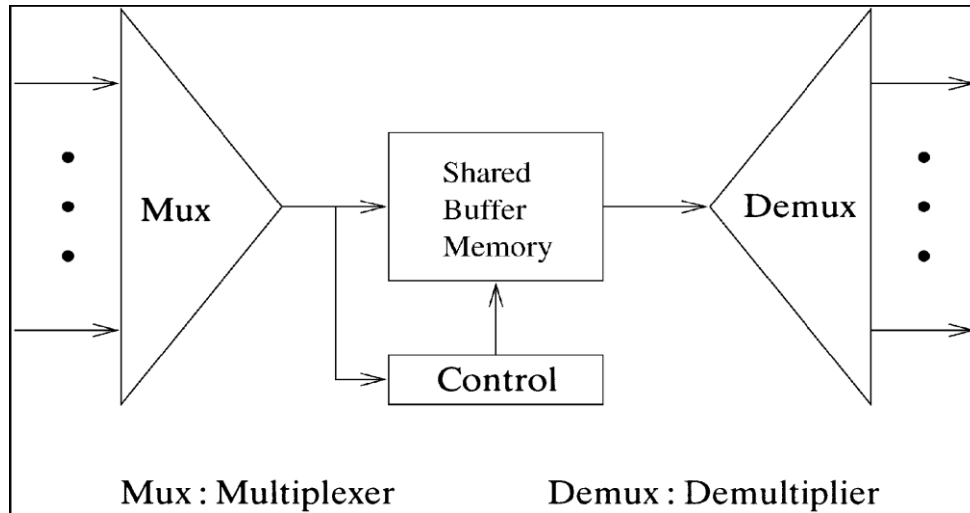
Hình 5.30. Cấu trúc chuyển mạch dùng chung môi trường

Một khe thời gian được chia làm N khe nhỏ. Trong mỗi khe nhỏ, một cell từ một đầu vào được quảng bá tới tất cả các cổng đầu ra. Điều này làm đơn giản hóa quá trình truyền đa hướng. Một bit sắp đặt các cổng lối ra với mỗi bit hiển thị nếu tế bào được định tuyến tới cổng lối ra mà có thể được đính kèm tới phần trước của tế bào. Mỗi AF sẽ kiểm tra chỉ những bit tương ứng với quyết định xem tế bào được lưu trữ ở trong FIFO theo đây. Một nhược điểm của cấu trúc này là kích cỡ của bộ chuyển mạch N bị giới hạn bởi tốc độ của bộ nhớ. Nói một cách cụ thể là khi tất cả các tế bào lối vào N được dành cùng cổng lối ra thì FIFO không thể lưu trữ tất cả N tế bào trong một khe thời gian nếu kích cỡ bộ chuyển mạch là quá lớn hay tốc độ đường vào là quá cao. Một nhược điểm khác là sự thiếu bộ nhớ bởi việc chia sẻ giữa các bộ đệm FIFO. Khi một cổng lối ra bị tắc nghẽn tạm thời do nạp vào lưu lượng cao thì bộ đệm FIFO bị đầy và bắt đầu loại bỏ các tế bào. Trong lúc đó, các bộ đệm FIFO khác có thể có một ít khoảng trống nhưng không thể được dùng bởi cổng đã tắc nghẽn. Kết quả là, một bộ chuyển mạch dùng chung bộ nhớ được dùng thay thế.

### b) Chuyển mạch dùng chung bộ nhớ

Trong một bộ chuyển mạch dùng chung bộ nhớ như hình 5.31, tất cả các tế bào đi vào được ghép kênh phân chia theo thời gian vào trong một dòng dữ liệu đơn và được ghi một cách tuần tự tới bộ nhớ dùng chung. Việc định tuyến các tế bào này được thiết lập bằng việc rút ra những tế bào đã lưu trữ để hình thành một

luồng dữ liệu lối ra đơn. Luồng dữ liệu này sau đó được phân kênh vào trong những đường ra khác nhau. Các địa chỉ mà cho cả việc ghi các tế bào đi vào và đọc các tế bào đã lưu trữ ra thì được cung cấp bởi một module điều khiển tùy theo thông tin định tuyến được rút ra từ các phần đầu tế bào.



Hình.5.31. Cấu trúc cơ bản của các chuyển mạch dùng chung bộ nhớ

Ưu điểm của loại chuyển mạch này là nó cung cấp ứng dụng bộ nhớ tốt nhất, khi tất cả các cổng lối vào/ lối ra chia sẻ cùng bộ nhớ. Kích cỡ bộ nhớ nên được hiệu chỉnh tùy theo việc giữ tốc độ mất tế bào dưới một giá trị đã chọn. Có hai sự khác nhau trong việc dùng chung bộ nhớ giữa các cổng là: dùng chung đầy đủ (full sharing) và dùng chung chia phần đầy đủ (complete partitioning). Với sự dùng chung chia phần đầy đủ thì toàn bộ bộ nhớ được chia thành  $N$  phần bằng nhau, trong đó  $N$  là số lượng các cổng vào/ra, và mỗi phần được gán với một cổng ra cụ thể. Còn ở sự dùng chung đầy đủ, thì toàn bộ bộ nhớ được dùng chung bởi tất cả các cổng ra mà không có sự đặt dành riêng nào. Một vài cơ cấu khác dùng việc đặt một đường biên trên và biên dưới trong không gian bộ nhớ thì được dùng để ngăn chặn sự giữ độc quyền của bộ nhớ bởi một vài cổng ra.

Giống như các bộ chuyển mạch dùng chung môi trường, các bộ chuyển mạch dùng chung bộ nhớ có nhược điểm là tốc độ truy cập bộ nhớ giới hạn kích thước bộ chuyển mạch và hơn nữa sự điều khiển trong các bộ chuyển mạch dùng chung bộ nhớ thì phức tạp hơn. Bởi vì những ứng dụng đệm tốt hơn của nó nên loại dùng chung bộ nhớ vẫn phổ biến hơn và có nhiều biến thể hơn loại dùng chung môi trường.

#### 5.4.2. Chuyển mạch phân chia theo không gian

Trong TDS, một cấu trúc truyền thông bên trong đơn được chia sẻ bởi tất cả các cổng vào và ra. Trong khi đó trong SDS tất cả nhiều đường dẫn vật lý được cung cấp giữa các cổng vào và ra. Những đường dẫn này hoạt động đồng thời làm sao để nhiều tế bào có thể được truyền qua bộ chuyển mạch cùng một lúc. Dung lượng tổng cộng của bộ chuyển mạch do đó là tích số của dải thông của mỗi đường dẫn và số lượng các đường dẫn mà có thể truyền các tế bào đồng thời. Tuy nhiên trong thực tế nó bị giới hạn bởi các ràng buộc của sự thực thi phần cứng như là pin thiết bị, các giới hạn kết nối, các vấn đề đồng bộ. Các bộ chuyển mạch SDS được chia dựa trên số lượng các đường dẫn có hiệu lực giữa một vài cặp vào/ra. Ở các bộ chuyển mạch đơn đường thì chỉ có một đường dẫn tồn tại cho một vài cặp vào/ra, trong khi đó ở các bộ chuyển mạch đa đường thì có nhiều hơn một đường dẫn cho một vài cặp vào ra. Ở bộ đơn đường có sự điều khiển định tuyến đơn giản hơn bộ đa đường, nhưng ở bộ đa đường thì lại có dung lỗi(fault tolerance) cao hơn.

##### a) Các bộ chuyển mạch đơn đường

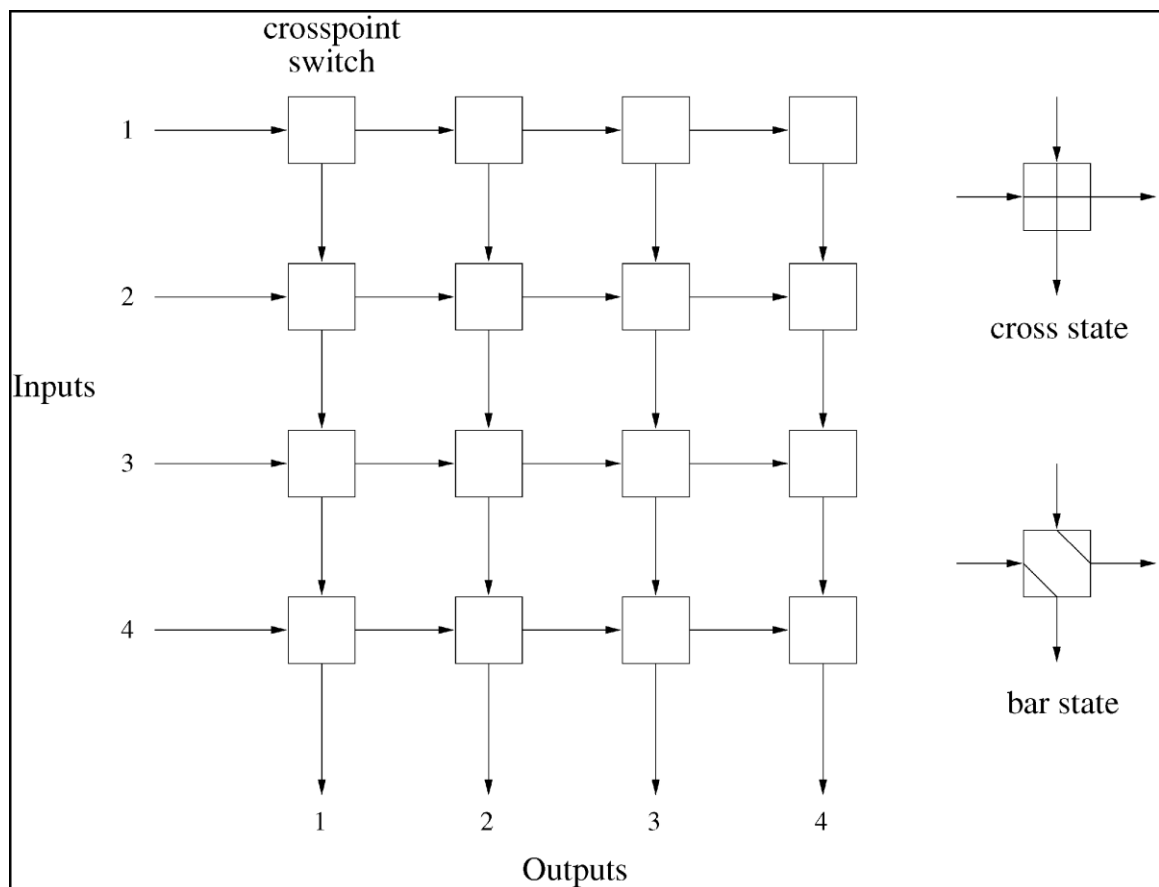
Các bộ chuyển mạch đơn đường được chia thành các bộ chuyển mạch dựa trên crossbar, các bộ chuyển mạch liên nối đầy đủ và các bộ chuyển mạch dựa trên banyan

##### ❖ Các bộ chuyển mạch Crossbar

Một bộ chuyển mạch crossbar được chỉ ra ở hình 5.32 cho trường hợp  $N=4$ , trong đó các đường ngang thể hiện các lối vào, và các đường dọc thể hiện các lối ra. Một cách cơ bản, một bộ chuyển mạch  $N \times N$  bao gồm một mảng hình vuông của  $N^2$  các crosspoint đã hoạt động riêng, nó tương ứng với một cặp vào – ra. Mỗi crosspoint có hai trạng thái có thể: cross(mặc định) và bar. Một kết nối giữa cổng vào  $i$  và cổng ra  $j$  được thiết lập bằng việc đặt cặp crosspoint  $(i, j)$  ở trạng thái bar trong khi để các crosspoint khác dọc kết nối duy trì ở trạng thái cross. Trạng thái bar của một crosspoint có thể được kích hoạt riêng lẻ bởi từng tế bào đi vào trong khi đích của nó được làm thích hợp với các địa chỉ lối ra. Không một thông tin toàn bộ nào về các tế bào khác và các đích của nó được yêu cầu. Đặc tính này được gọi là đặc tính tự định tuyến(self-routing), vì vậy tính phức tạp trong việc điều khiển được giảm đi trong cơ cấu chuyển mạch khi chức năng điều khiển được phân bố giữa tất cả các crosspoint.

Các bộ chuyển mạch crossbar có ba tính chất thú vị là: nonblocking, cấu trúc đơn giản, và mô đun hóa. Tuy nhiên nó sẽ trở nên phức tạp khi mà số lượng các crosspoint lên đến  $N^2$ . Sự quyết định để lựa chọn thành công cho tất cả các lối ra trong mỗi khe thời gian có thể còn trở thành một sự nghẽn cổ chai hệ thống khi mà kích cỡ của bộ chuyển mạch gia tăng.

Có 3 vị trí có thể cho các bộ đệm trong một bộ chuyển mạch crossbar: (a) ở tại crosspoint trong cơ cấu chuyển mạch, (b) ở tại các lối vào của bộ chuyển mạch, và (c) ở các lối vào và các lối ra của bộ chuyển mạch. Ở mỗi cái lại có những ưu và nhược điểm riêng.



Hình 5.32. Một bộ chuyển mạch crossbar cỡ 4x4

Hình 5.33a minh họa chiến lược đệm các tế bào ở các crosspoint. Bộ chuyển mạch ma trận bus (BMX) được đề xuất bởi Fujitsu là một ví dụ của loại này. AF thì chấp nhận các tế bào đã dành trước cho cổng ra tương ứng và lưu chúng trong bộ đệm. Các tế bào mà đợi trong các bộ đệm ở cùng một cột thì được chọn cho cổng ra với một tế bào mỗi khe. Bộ chuyển mạch làm việc và không trải qua giới hạn thông lượng được gánh bằng việc đệm lối ra. Trong một hoàn cảnh cụ thể nó tương tự để đạt được việc xếp hàng đợi lối ra, với sự khác nhau là hàng đợi cho

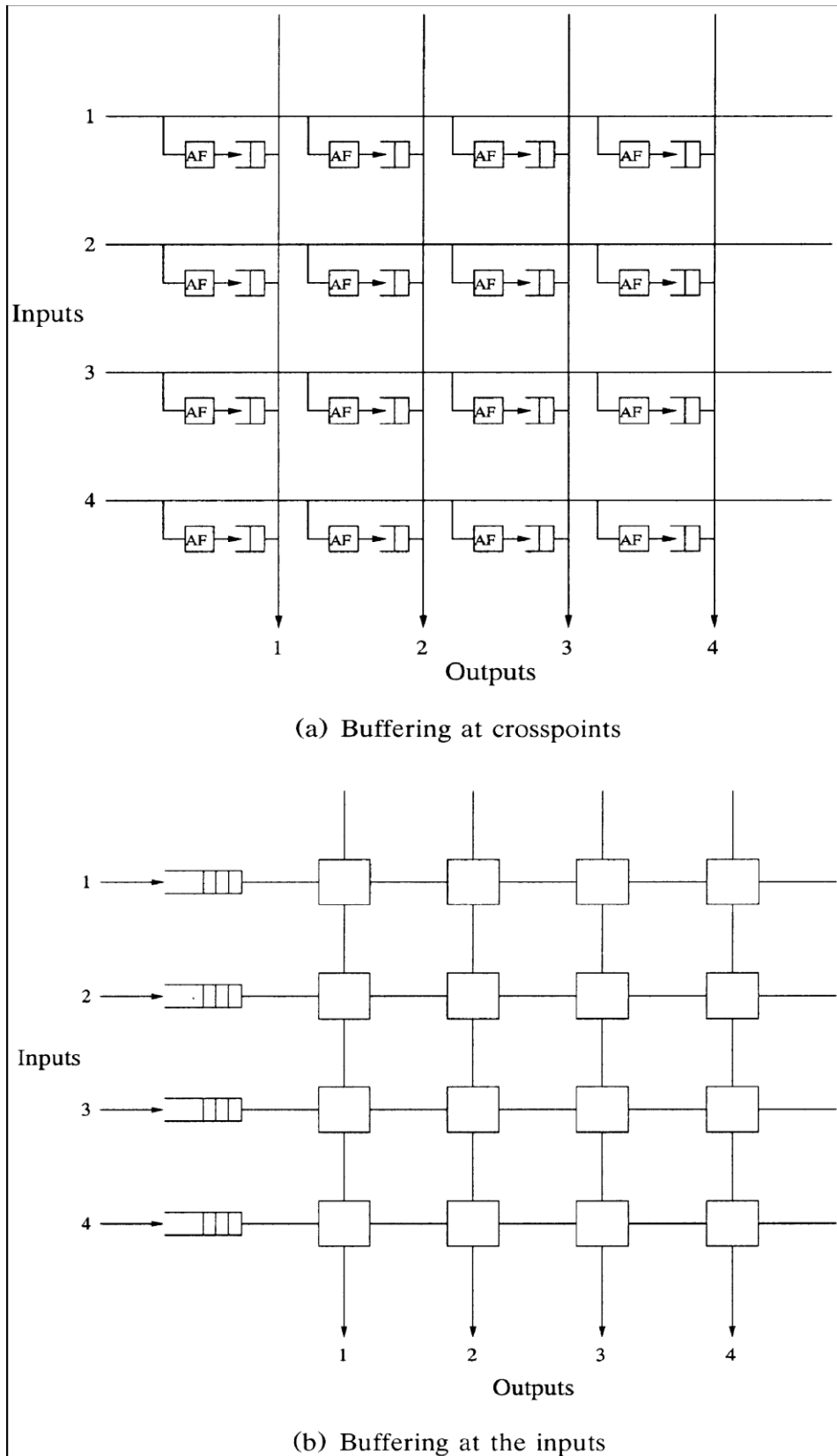


mỗi lối ra được phân bố qua N bộ đệm. Khi không có sự chia sẻ giữa N bộ đệm thì tổng bộ nhớ được yêu cầu cho một tốc độ mất cho trước là lớn hơn yêu cầu cho xếp hàng đợi lối ra (như trong trường hợp dùng chung môi trường). Khi bộ nhớ đệm yêu cầu nhiều dung lượng cố định trong một chip hơn là logic crosspoint thì việc bao gồm các bộ đệm crosspoint trong một chip sẽ giới hạn khắt khe số lượng các crosspoint trong một chip.

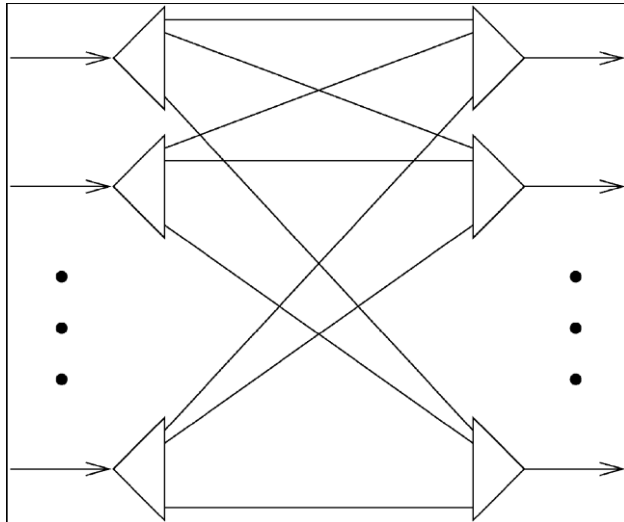
*Hình 5.33b* minh họa bộ chuyển mạch xếp hàng đợi lối vào. Việc tách biệt các bộ đệm từ các crosspoint là đáng mong mỏi từ tầm nhìn mang tính súc tích của mạch mà nền. Một tế bào đến một lối vào trước tiên sẽ vào bộ đệm, chờ đợi đến phiên nó được chuyển mạch qua bộ chuyển mạch. Với giải pháp tranh chấp được phân tán thì xung đột được giải quyết một cách riêng lẻ ở các crosspoint. Khi một tế bào đến một crosspoint mà đã sẵn được đặt bởi một tế bào trước đó, hay nó mất sự tranh chấp với tế bào khác đang tranh chấp thì một tính hiệu blocking được tạo ra và gửi tới cổng lối vào. Điều này là để block sự truyền dẫn của tế bào và để giữ tế bào trong bộ đệm lối vào cho những cố gắng sau này. Với giải pháp tranh chấp tập trung thì chức năng phân xử được sử dụng cho mỗi cổng ra để giải quyết tranh chấp, và chỉ một tế bào được dành cho một cổng ra là được cho phép được chuyển tiếp đến cơ cấu chuyển mạch.

#### ❖ Các bộ chuyển mạch liên nối đầy đủ

Trong một bộ chuyển liên nối đầy đủ, tính kết nối đầy đủ giữa các lối vào và lối ra thường được hình thành bởi những bus quảng bá riêng rẽ từ tất cả các cổng lối vào tới tất cả các cổng lối ra, như chỉ ra ở *hình 5.34*. N bộ đệm riêng lẻ được yêu cầu trong một bộ chuyển mạch này, mỗi cái ở mỗi cổng lối ra. Tuy nhiên nếu từng cái trong N bộ đệm lối ra này trong bộ chuyển mạch liên nối đầy đủ được chia và chỉ định tới từng đường vào thì nó trở nên giống hệt với bộ chuyển mạch đệm tại crosspoint và do đó cung cấp cùng tính phức tạp của sự thực thi và hiệu năng.



Hình 5.33. Các chiến lược đệm khác nhau cho một bộ chuyển mạch crossbar



Hình.5.34. Một bộ chuyển mạch liên nối đầy đủ

Bộ chuyển mạch liên nối đầy đủ hoạt động trong một loại giống như bộ chuyển mạch dùng chung môi trường. Một tế bào từ một vài cổng lối vào được quảng bá tới tất cả cổng lối ra. Do đó các tế bào từ các cổng lối vào riêng rẽ có thể được truyền cùng một lúc tới cùng cổng lối ra. Vì vậy các bộ lọc tế bào và các bộ đệm được chỉ định (mỗi loại cho một cổng lối ra) được yêu cầu để lọc những tế bào được phân phát nhằm và để lưu trữ tạm thời những tế bào đã được trù định từ trước đúng cách.

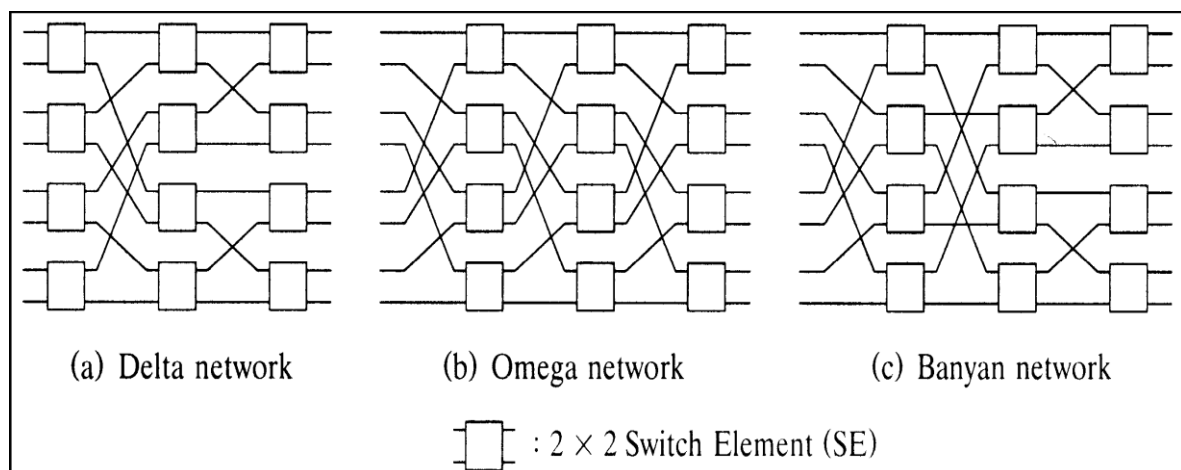
Tuy nhiên bộ chuyển mạch liên nối đầy đủ khác với bộ chuyển mạch dùng chung môi trường ở chỗ yêu cầu overhead của sự tăng tốc bị gây bởi sự truyền tuần tự qua môi trường dùng chung thì được thay thế bởi yêu cầu overhead không gian của  $N^2$  bus quảng bá riêng rẽ. Đây là một nhược điểm đã tính toán của loại chuyển mạch này. Ưu điểm của bộ chuyển mạch liên nối đầy đủ nằm ở cấu trúc nonblocking và đơn giản, nó giống như ở bộ chuyển mạch crossbar. Bộ chuyển mạch knockout là một ví dụ của loại này.

#### ❖ Các bộ chuyển mạch kiểu Banyan( Banyan-Based Switches)

Những bộ chuyển mạch Banyan là một họ của loại chuyển mạch tự định tuyến được xây dựng từ  $2 \times 2$  thành phần chuyển mạch với một đường dẫn đơn giữa một vài cặp vào/ra. Như chỉ ra ở hình 5.35 có 3 tôpô thuộc họ Banyan là các mạng Delta, Omega và banyan. Tất cả chúng yêu cầu sự thực thi tương ứng.

Bộ chuyển mạch Banyan cung cấp những ưu điểm khác nhau: thứ nhất nó có một tính phức tạp của các đường dẫn và các yếu tố chuyển mạch của  $N \log N$  (các yếu tố này làm nó phù hợp hơn bộ chuyển mạch crossbar và liên nối đầy đủ), tính phức tạp của nó là  $N^2$  cho cấu trúc của các bộ chuyển mạch lớn. Sự tự định tuyến

còn là một đặc tính thu hút ở chỗ không cần cơ cấu điều khiển cho việc định tuyến các tế bào. Thông tin định tuyến được chứa trong từng tế bào, và nó được dùng khi tế bào được định tuyến dọc đường dẫn (tuyến nối). Cấu trúc song song của bộ chuyển mạch cung cấp một điểm lợi ở chỗ những tế bào riêng rẽ trên các tuyến khác nhau có thể được xử lý đồng thời. Tùy thuộc vào cấu trúc đệ quy và module của nó mà các bộ chuyển mạch cỡ lớn có thể được xây dựng bằng cách sử dụng các thành phần chuyển mạch sơ cấp mà không chỉnh sửa những cấu trúc của nó. Điều này có thể được thực hiện một cách thích hợp bởi VLSI.



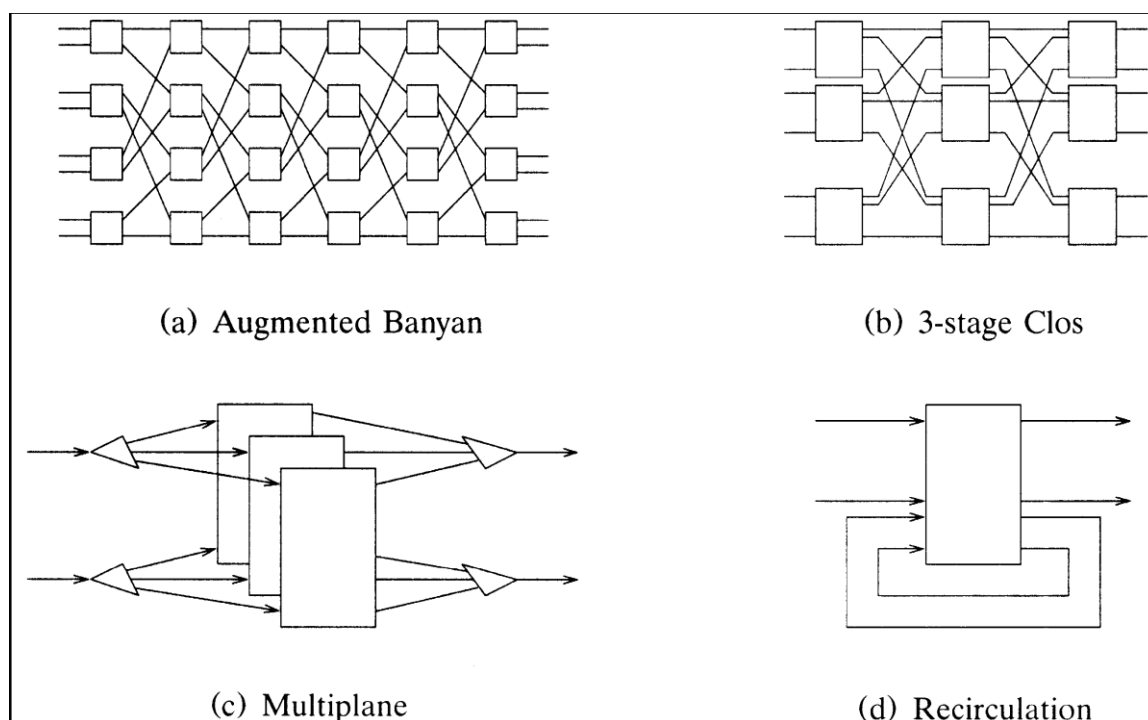
Hình 5.35. Ba tập ô khác nhau của chuyển mạch Banyan

Mặt hạn chế chính của bộ chuyển mạch kiểu banyan là nó là bộ chuyển mạch blocking bên trong. Sự thực thi của nó làm giảm sút nhanh chóng khi kích thước của bộ chuyển mạch gia tăng. Sự thực thi có thể được cải tiến nếu  $M \times M$  thành phần chuyển mạch được triển khai thay cho  $2 \times 2$  thành phần chuyển mạch. Điều này đưa đến lớp của các bộ chuyển mạch delta.

Bộ chuyển mạch delta là một họ của các bộ chuyển mạch tự định tuyến được xây dựng từ  $M \times M$  thành phần chuyển mạch với một đường dẫn đơn giữa một vài cổng lối vào và ra. Trong khi sự thực thi của bộ chuyển mạch delta có thể tốt hơn bộ chuyển mạch loại banyan khác, nhưng nó vẫn là một bộ chuyển mạch blocking. Sự thực thi của bộ chuyển mạch bị giảm đi tùy thuộc vào sự tranh chấp bên trong. Điều này có thể được cải tiến bằng cách gia tăng tốc độ của các liên kết nội bên trong bộ chuyển mạch đối với những cổng ra và vào đó hay đưa vào các bộ đệm vào trong các thành phần chuyển mạch.

### b) Các bộ chuyển mạch đa đường

Các bộ chuyển mạch đa đường được chia thành các bộ chuyển mạch *augmented banyan*, các bộ chuyển mạch *Clos*, các bộ chuyển mạch *multiplane*, và các bộ chuyển mạch quay vòng(*recirculation*) như chỉ ra ở hình 5.36



Hình. 5.36. Những bộ chuyển mạch đa đường phân chia theo không gian

#### ❖ *Augmented Banyan Switches*

Ở trong một bộ chuyển mạch banyan  $N \times N$  bình thường các tế bào đi qua  $\log N$  tầng của các thành phần chuyển mạch trước khi đến các đích của chúng. Bộ chuyển mạch augmented banyan có nhiều tầng hơn bộ chuyển mạch banyan bình thường. Ở bộ chuyển mạch banyan bình thường, khi một tế bào bị chệch hướng tới một kết nối không đúng và do đó lạc đường từ một tuyến nối độc nhất định trước thì tế bào không được đảm bảo để đến lối ra được yêu cầu của nó. Còn trong bộ chuyển mạch augmented banyan những tế bào bị chệch hướng được cung cấp nhiều cơ hội để được định tuyến tới những đích của nó lần nữa bằng việc sử dụng các tầng được tăng lên(augmented) ở sau. Khi những tế bào bị chệch hướng không đến đích của nó sau tầng cuối cùng nó sẽ bị loại bỏ.

Ưu điểm của bộ chuyển mạch banyan được tăng thêm là tỉ lệ mất tế bào được giảm đi. Sự thực thi của bộ chuyển mạch này được cải tiến. Còn nhược điểm của loại chuyển mạch này là lược đồ định tuyến phức tạp của nó. Các tế bào được kiểm tra ở tất cả các tầng được tăng thêm để xác định xem nó đã đến những cổng ra đã yêu cầu của chúng hay chưa. Nếu đúng thì chúng được gửi tới module giao diện lối ra. Còn nếu không, nó được định tuyến đến tầng tiếp theo và sẽ bị kiểm

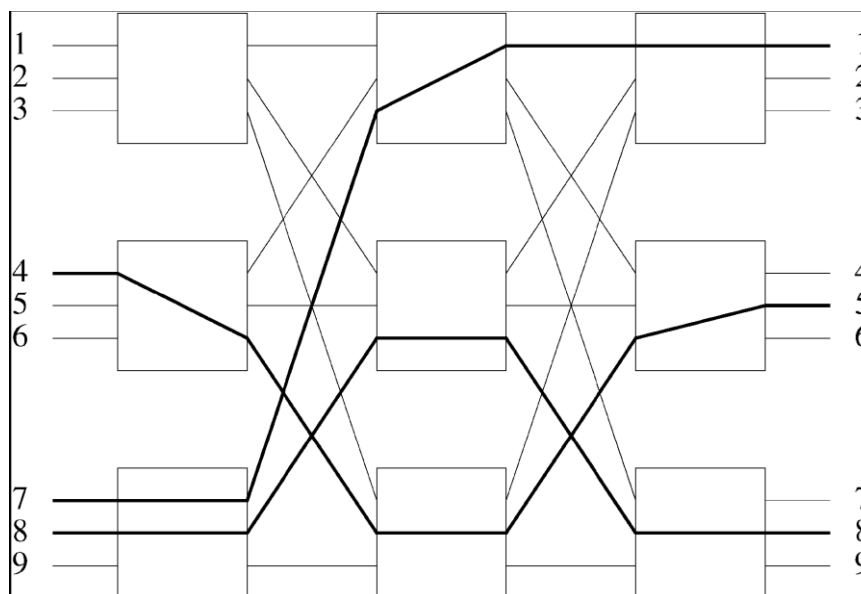
tra lần nữa. Một nhược điểm nữa là số lượng các tầng được tăng lên cần có độ lớn thích hợp. Việc thêm từng tầng đó vào bộ chuyển mạch thì làm gia tăng tính phức tạp của phần cứng. Bộ chuyển mạch banyan tandem và bộ chuyển mạch trao đổi bố trí lại đôi (dual shuffle exchange switch) là một ví dụ của loại này.

❖ *Three-Stage Clos Switches*

Cấu trúc của các chuyển mạch Clos ba tầng được chỉ ra ở hình 5.36b, nó bao gồm 3 tầng của các module chuyển mạch. Ở tầng đầu tiên, N đường lối vào được chia thành r nhóm của n đường. Mỗi nhóm của các đường này đến mỗi module chuyển mạch của tầng đầu tiên. Có m lối ra trong module chuyển mạch tầng đầu tiên; mỗi cái kết nối tới tất cả m module chuyển mạch tầng thứ hai. Tương tự như thế mỗi module chuyển mạch tầng thứ hai có t lối ra để rồi nó lại kết nối tới tất cả t module chuyển mạch tầng thứ 3. Còn ở tầng thứ 3, N lối ra được cung cấp như t nhóm của s đường.

Một điều cần quan tâm với loại chuyển mạch Clos ba tầng là nó có thể có blocking. Hình 5.37 chỉ ra một bộ chuyển mạch Clos 3 tầng với  $N = 9$ ,  $n = 3$  và  $m = 3$ . Những đường đậm biểu thị các tuyến mà sẵn sàng được dùng. Nó cũng chỉ ra rằng lối vào cổng số 9 không thể được kết nối tới cả cổng lối ra 4 lẫn lối ra số 6, ngay cả khi những lối ra này đã sẵn sàng.

Bằng cách gia tăng giá trị của m (số lượng của các cổng ra từ mỗi module chuyển mạch tầng đầu tiên hay số lượng các module chuyển mạch tầng thứ 2) thì có thể giảm được hiện tượng blocking. Để tìm được giá trị của m cho một bộ chuyển mạch ba tầng nonblocking chúng ta hãy xem hình 5.38.



Hình 5.37. Ví dụ về hiện tượng blocking nội trong một bộ chuyển mạch Clos 3 tầng

Chúng ta cần thiết lập một tuyến nối từ cổng a tới cổng ra b. Một tình trạng xấu cho blocking xuất hiện nếu tất cả  $n - 1$  đường vào và  $n - 1$  đường ra còn lại đang bận và đang được kết nối tới các module chuyển mạch tầng giữa khác. Do đó có  $(n - 1) + (n - 1) = 2n - 2$  module chuyển mạch tầng giữa là không sẵn sàng để tạo ra một tuyến nối từ a tới b. Tuy nhiên, nếu có hơn 1 module chuyển mạch tầng giữa tồn tại thì một liên kết thích hợp sẽ sẵn sàng cho kết nối. Do đó, một bộ chuyển mạch Clos ba tầng sẽ là nonblocking nếu:  $m > 2n - 2 + 1 = 2n - 1$ .

Tổng số  $N_x$  crosspoint trong một bộ chuyển mạch Clos ba trạng thái khi nó đối xứng ( như là khi  $t = r$  và  $s = n$ ) là:

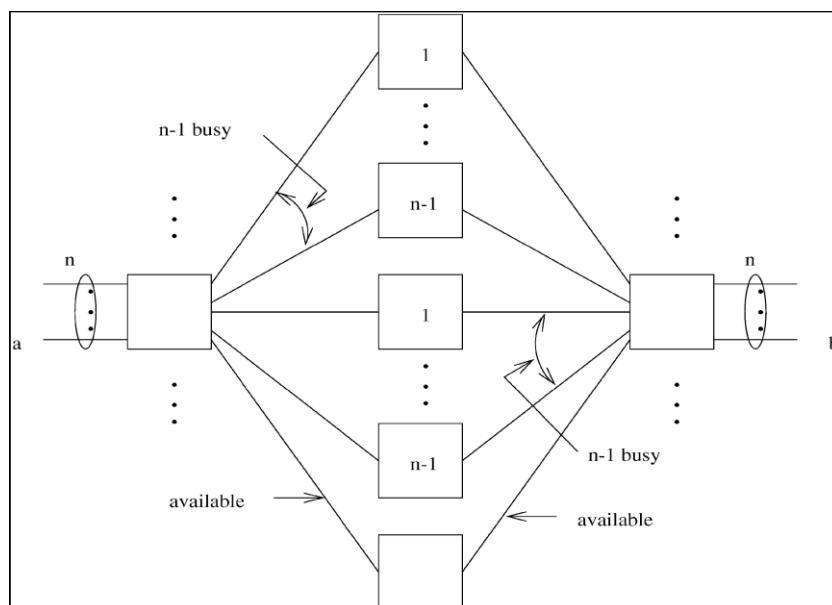
$$N_x = 2Nm + \frac{N^2}{n}$$

Thay  $m = 2n - 1$  vào phương trình trên cho  $N_x$  ta được biểu thức cho bộ chuyển mạch Clos ba tầng nonblocking như sau:

$$N_x = 2N(2n - 1) + \frac{N^2}{n}$$

Với những bộ chuyển mạch cỡ lớn,  $n$  lớn thì chúng ta có thể lấy xấp xỉ:

$$N_x \approx N(2n - 1) + \frac{N^2}{n}$$



Hình 5.38. Điều kiện nonblocking cho một bộ chuyển mạch Clos ba tầng

Để tối ưu hóa số lượng crosspoint thì ta lấy vi phân biểu thức của  $N_x$  theo  $n$  và đặt kết quả bằng 0. Ta được  $n = \sqrt{N/2}$ . Thay giá trị của  $n$  vào biểu thức  $N_x$  ta được:  $N_x = \sqrt{2}N^{3/2} = O(N^{3/2})$ . Bộ chuyển mạch Clos ba tầng có một ưu điểm là nó giảm được sự phức tạp của phần cứng từ  $O(N^2)$  của bộ chuyển mạch crossbar xuống  $O(N^{3/2})$  và nó có thể được thiết kế để nonblocking. Hơn nữa nó còn cung cấp độ tin cậy hơn bởi vì nó có nhiều hơn một tuyến nối qua bộ chuyển mạch để kết nối từ bất cứ cổng vào tới bất cứ cổng ra nào. Nhược điểm chính của bộ chuyển mạch loại này là một vài cơ cấu thông minh và nhanh cần được để sắp xếp lại những kết nối trong tất cả các khe thời gian tế bào theo các tế bào đến để cho blocking bên trong có thể được ngăn ngừa. Điều này sẽ có hiện tượng nghẽn cổ chai khi kích thước bộ chuyển mạch trở nên lớn lên. Thực tế thật là khó để ngăn chặn hiện tượng blocking bên trong mặc dù bộ bản thân bộ chuyển mạch là nonblocking. Khi kết nối trên những liên kết bên trong xuất hiện thì thông lượng bị giảm. Điều này có thể được cải tiến bằng việc gia tăng số lượng các liên kết bên trong giữa các module chuyển mạch để làm sao có nhiều tuyến nối hơn cho các tế bào định tuyến. Việc gia tăng dải thông của các liên kết bên trong còn có ích ở chỗ thay cho việc có một tế bào cho mỗi kết nối bên trong ở mỗi khe thời gian bằng nhiều hơn một tế bào từ module lối vào (module mà được dành trước cho cùng module thứ 3) có thể được định tuyến. Một cách khác để giảm blocking bên trong là định tuyến các tế bào trong một kiểu ngẫu nhiên. Nếu các module chuyển mạch trung tâm có những bộ đệm thì phải được làm ở các cổng lối ra để duy trì sự sắp xếp thứ tự tế bào.

#### ❖ *Multiplane Switches*

Như chỉ ra ở hình 5.36c, bộ chuyển mạch multiplane quy cho những bộ chuyển mạch mà có nhiều (thường là xác định) plane chuyển mạch. Những bộ chuyển mạch multiplane được đề nghị chủ yếu như là cách để gia tăng thông lượng hệ thống. Bằng việc sử dụng một vài cơ cấu để phân bố tải lưu lượng đi vào thì những sự xung đột tế bào bên trong các bộ chuyển mạch có thể được giảm. Hơn nữa nhiều hơn một tế bào được truyền tới cùng một cổng ra bằng cách sử dụng từng plane chuyển mạch, để mà các đường lối ra không phải hoạt động ở tốc độ cao hơn các đường lối vào. Một ưu điểm khác của các bộ chuyển mạch multiplane là nó có thể được sử dụng để đạt được độ tin cậy cao bởi vì sự mất mát của toàn bộ plane chuyển mạch sẽ giảm dung lượng nhưng không giảm khả năng



liên kết của các bộ chuyển mạch. Tuy nhiên sự sắp xếp tế bào có thể được phân bố trừu tượng khi các tế bào thuộc cùng một kết nối được đẩy để dùng cùng một mặt. bộ chuyển mạch banyan song song và bộ chuyển mạch Sunshine là những ví dụ của bộ chuyển mạch multiplane.

#### ❖ *Recirculation Switches*

Những bộ chuyển mạch quay tròn ở hình 5.36d được thiết kế để điều khiển những vấn đề kết nối cổng ra. Bằng việc quay tròn các tế bào (các tế bào mà không đến được cổng ra của nó trong suốt khe thời gian hiện tại) trở lại những cổng lối vào qua một hệ các tuyến nối quay tròn thì tỉ lệ mất tế bào có thể được giảm. Điều này làm cho thông lượng của hệ thống gia tăng. Nhược điểm của các bộ chuyển mạch quay tròn là nó yêu cầu một bộ chuyển mạch lớn để đặt những cổng quay tròn. Và việc quay tròn còn làm xuất hiện những lỗi sắp xếp. Một vài cơ cấu cần duy trì sự sắp xếp tế bào giữa các tế bào ở cùng một kết nối.

## CHƯƠNG VI

### CÔNG NGHỆ CHUYỂN MẠCH MPLS

#### 6.1. Khái niệm cơ bản về chuyển mạch nhãn

Khái niệm chuyển mạch nhãn tương đối đơn giản. Để hình dung vấn đề này chúng ta xem xét một quá trình chuyển thư điện tử từ hệ thống máy tính gửi đến hệ thống máy tính nhận. Trong mạng internet truyền thống (không sử dụng chuyển mạch nhãn) quá trình chuyển thư điện tử giống hệt quá trình chuyển thư thông thường. Các địa chỉ đích được truyền qua các thực thể trỏ (các bộ định tuyến). Địa chỉ đích sẽ là yếu tố để xác định con đường mà gói tin chuyển qua các bộ định tuyến. Trong chuyển mạch nhãn, thay vì sử dụng địa chỉ đích để quyết định định tuyến, một “nhãn” được gán với gói tin và được đặt trong tiêu đề gói tin với mục đích thay thế cho địa chỉ và nhãn được sử dụng để chuyển lưu lượng các gói tin tới đích.

Mục tiêu của chuyển mạch nhãn đưa ra nhằm cải thiện hiệu năng chuyển tiếp gói tin của các bộ định tuyến lõi qua việc sử dụng các chức năng gán và phân phối nhãn gắn với các dịch vụ định tuyến lớp mạng khác nhau. Thêm vào đó là lược đồ phân phối nhãn hoàn toàn độc lập với quá trình chuyển mạch.

Trước hết ta xem xét một số lí do cơ bản hiện nay đang được quan tâm với công nghệ mạng nói chung và chuyển mạch nhãn: tốc độ và độ trễ, khả năng của hệ thống, tính đơn giản, tài nguyên mạng, điều khiển định tuyến.

#### *Tốc độ và độ trễ*

Theo truyền thống chuyển tiếp gói tin dựa trên phân mềm rất chậm trong quá trình xử lí tải lưu lượng lớn trong internet và intranet, trễ chủ yếu trong quá trình này là quá trình xử lí định tuyến để tìm ra thích hợp cho các gói tin đầu vào. Mặc dù đã có nhiều cải thiện trong việc tìm kiếm bảng định tuyến như kĩ thuật tìm kiếm nhanh trong bảng định tuyến, nhưng tải lưu lượng trong bảng định tuyến luôn lớn hơn khả năng xử lí, và kết quả có thể mất lưu lượng, mất đầu nối và giảm hiệu năng của toàn mạng (mạng IP). Chuyển mạch nhãn đưa ra cách nhìn nhận khác với chuyển tiếp gói tin IP thông thường, sẽ cung cấp giải pháp có hiệu quả để giải quyết vấn đề trên. Chuyển mạch nhãn thực hiện quá trình gán nhãn cho gói tin đầu vào và sử dụng nhãn để truy nhập vào bảng chuyển tiếp tại bộ định tuyến như một chỉ số của bảng. Quá trình truy nhập này chỉ yêu cầu duy nhất cho một lần truy nhập tới bảng thay vì hàng ngàn quá trình tìm kiếm được thực hiện trong bảng định tuyến truyền thống. Kết quả là các hoạt động này hiệu quả hơn và vì vậy lưu lượng người sử dụng trong gói tin được gửi qua mạng nhanh hơn, giảm độ

trễ và thời gian đáp ứng tốt hơn cho các chuyển giao thông tin giữa các người sử dụng.

Mạng máy tính luôn tồn tại các hiệu ứng trễ, khi các gói tin chuyển qua rất nhiều nút và nhiều chặng khác nhau để tới đích nó tạo ra các hiệu ứng trễ và biến động trễ. Sự tích trữ trên các cung đoạn sẽ tạo ra trễ tổng thể giữa các đầu cuối. Tại mỗi nút mạng địa chỉ đích trong gói tin được xác minh và so sánh với các địa chỉ đích có khả năng chuyển tiếp trong bảng định tuyến để tìm ra đường ra. Các gói tin chuyển qua các nút mạng tạo ra trễ và biến động trễ khác nhau, tùy thuộc vào khả năng xử lý của bộ định tuyến cũng như lưu lượng của luồng tin sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến trễ của người dùng đầu cuối. Một lần nữa, cơ chế hoạt động của chuyển mạch nhãn với khả năng chuyển tiếp gói tin nhanh là giải pháp để giải quyết vấn đề này.

### ***Khả năng của hệ thống***

Tốc độ là một khía cạnh quan trọng của chuyển mạch nhãn và tăng quá trình xử lý lưu lượng người dùng trên mạng internet là vấn đề rất quan trọng. Nhưng các dịch vụ tốc độ cao không phải là tất cả những gì mà chuyển mạch nhãn cung cấp. Chuyển mạch nhãn còn có thể cung cấp mềm dẻo các tính năng khác nhau để đáp ứng các nhu cầu của người dùng internet. Thay vì hàng loạt các địa chỉ IP (tăng lên rất nhanh từng ngày) mà bộ định tuyến cần phải xử lý thì chuyển mạch nhãn cho phép các địa chỉ này gắn với một hoặc vài nhãn. tiếp cận này làm giảm kích thước bảng địa chỉ và cho phép bộ định tuyến hỗ trợ nhiều người sử dụng hơn.

### ***Tính đơn giản***

Một khía cạnh khác của chuyển mạch nhãn là sự đơn giản trong các giao thức chuyển tiếp gói tin (hoặc một tập các giao thức), và nguyên tắc rất đơn giản: chuyển tiếp gói tin dựa trên “nhãn” của nó. Tuy nhiên, cần có kỹ thuật điều khiển cho quá trình liên kết nhãn và đảm bảo tính tương quan giữa các nhãn với luồng lưu lượng người sử dụng, các kỹ thuật này đôi khi khá phức tạp nhưng chúng không ảnh hưởng đến hiệu suất của dòng lưu lượng người dùng. Sau khi đã gắn nhãn vào dòng lưu lượng người dùng thì hoạt động chuyển mạch nhãn có thể nhúng trong phần mềm, trong các mạch tích hợp đặc biệt (ASIC) hoặc trong bộ xử lý đặc biệt.

### ***Tài nguyên sử dụng***

Các kỹ thuật điều khiển để thiết lập nhãn không chiếm dùng tài nguyên của mạng, các cơ chế thiết lập đường chuyển mạch nhãn cho lưu lượng người sử dụng một cách đơn giản là tiêu chí thiết kế các đường chuyển mạch nhãn.

### ***Điều khiển định tuyến***

Định tuyến trong mạng Internet được thực hiện với các địa chỉ IP (trong mạng LAN là các địa chỉ MAC). Tất nhiên, có rất nhiều thông tin được lấy ra từ gói IP để thực hiện quá trình định tuyến này, ví dụ như: Trường kiểu dịch vụ IP (TOS), chỉ số công...là một phần quyết định của chuyển tiếp gói tin. Nhưng định tuyến theo đích là phương pháp thông thường nhất hiện đang được sử dụng.

Định tuyến theo địa chỉ đích không phải là phương pháp luôn đem lại hiệu quả. Các vấn đề lặp vòng trên mạng cũng như sự khác nhau về kiến trúc mạng sẽ là trở ngại trên mặt bằng điều khiển chuyển tiếp gói tin đối với phương pháp này. Một vấn đề đặt ra nữa là các nhà cung cấp thiết bị (bộ định tuyến, cầu). Triển khai phương pháp định tuyến dựa theo địa chỉ đích theo cách riêng của họ: một số thiết bị cho phép nhà quản trị mạng chia sẻ lưu lượng, trong khi một số khác sử dụng các trường chức năng TOS, chỉ số công... Chuyển mạch nhãn cho phép các bộ định tuyến chọn tuyến đầu ra tương minh theo nhãn, như vậy cơ chế này cho cung cấp một phương thức truyền tải lưu lượng qua các nút và liên kết phù hợp với lưu lượng truyền tải, cũng như là đặt ra các lớp lưu lượng bao gồm các dịch vụ khác nhau (dựa trên yêu cầu QOS) trên đó. Chuyển mạch nhãn là giải pháp tốt để hướng lưu lượng qua một đường dẫn, mà không nhất thiết phải nhận toàn bộ thông tin từ giao thức định tuyến IP động dựa trên địa chỉ đích.

Định tuyến dựa trên IP (PRB) thường gắn với các giao thức chuyển mạch nhãn, như FR, ATM hoặc MPLS. Phương pháp này sử dụng các trường chức năng trong tiêu đề gói tin IP như: trường TOS, chỉ số công, nhận dạng giao thức IP hoặc kích thước của gói tin. Các trường chức năng này cho phép mạng phân lớp dịch vụ thành các kiểu lưu lượng và thường được thực hiện tại nút đầu vào mạng (thiết bị gờ mạng).

Các bộ định tuyến trên lớp lõi có thể sử dụng các bit tại thiết bị gờ để quyết định xử lý luồng lưu lượng đến, quá trình xử lý này có thể sử dụng các kiểu hàng đợi khác nhau và các phương pháp xếp hàng khác nhau. Định tuyến dựa trên IP cũng cho phép nhà quản lý mạng thực hiện phương pháp định tuyến ràng buộc. Các chính sách dựa trên IP cho phép bộ định tuyến:

- Đặt các giá trị ưu tiên vào trong tiêu đề gói tin IP.
- Thiết lập bước kế tiếp cho gói tin IP.
- Thiết lập giao diện ra cho gói tin.
- Thiết lập bước kế tiếp cho gói tin khi không tồn tại hướng trong bảng định tuyến.

Chuyển mạch nhãn khác với phương pháp chuyển mạch khác ở chỗ nó là kỹ thuật điều khiển giao thức chuyển mạch IP theo kiểu topo. Mặt khác sự tồn tại của một địa chỉ mạng đích sẽ xác định quá trình cập nhật trong bảng định tuyến để ra một đường dẫn chuyển mạch hướng tới đích. Nó cũng khái quát cơ cấu chuyển tiếp và trao đổi nhãn, phương pháp này không chỉ thích hợp với các mạng lớn như ATM, chuyển mạch khung, PPP, và nó có thể thích hợp với bất kì phương pháp đóng gói nào.

## **6.2. Tổng quan về công nghệ chuyển mạch nhãn đa giao thức**

### **6.2.1. Các đặc điểm cơ bản của công nghệ MPLS**

MPLS là một công nghệ tích hợp tốt nhất các khả năng hiện tại để phân phát gói tin từ nguồn tới đích qua mạng Internet. Có thể định nghĩa MPLS là một tập các công nghệ mở dựa vào chuẩn Internet mà kết hợp chuyển mạch lớp 2 và định tuyến lớp 3 để chuyển tiếp gói tin bằng cách sử dụng các nhãn ngắn có chiều dài cố định.

Bằng cách sử dụng các giao thức điều khiển và định tuyến Internet MPLS cung cấp chuyển mạch hướng kết nối ảo qua các tuyến Internet bằng cách hỗ trợ các nhãn và trao đổi nhãn. MPLS bao gồm việc thực hiện các đường chuyển mạch nhãn LSP, nó cũng cung cấp các thủ tục và các giao thức cần thiết để phân phối các nhãn giữa các chuyển mạch và các bộ định tuyến .

Nghiên cứu MPLS đang được thực hiện dưới sự bảo trợ của nhóm làm việc MPLS trong IETF. MPLS vẫn là một sự phát triển tương đối mới, nó mới chỉ được tiêu chuẩn hoá theo Internet vào đầu năm 2001.

Sử dụng MPLS để trao đổi khe thời gian TDM, chuyển mạch không gian và các bước sóng quang là những phát triển mới nhất. Các nỗ lực này được gọi là GMPLS (Generalized MPLS ).

Nhóm làm việc MPLS đưa ra danh sách với 8 bước yêu cầu để xác định MPLS đó là:

- MPLS phải làm việc với hầu hết các công nghệ liên kết dữ liệu.
- MPLS phải thích ứng với các giao thức định tuyến lớp mạng và các công nghệ Internet có liên quan khác.
- MPLS cần hoạt động một cách độc lập với các giao thức định tuyến.
- MPLS phải hỗ trợ mọi khả năng chuyển tiếp của bất kỳ nhãn cho trước nào.
- MPLS phải hỗ trợ vận hành quản lý và bảo dưỡng (OA&M).
- MPLS cần xác định và ngăn chặn chuyển tiếp vòng.

■ MPLS cần hoạt động trong mạng phân cấp

■ MPLS phải có tính kế thừa.

Tám yêu cầu này chính là các nỗ lực phát triển cần tập trung. Liên quan tới các yêu cầu này, nhóm làm việc cũng đưa ra 8 mục tiêu chính mà MPLS cần đạt được:

■ Chỉ rõ các giao thức được tiêu chuẩn hoá nhằm duy trì và phân phối nhãn để hỗ trợ định tuyến dựa vào đích unicast mà việc chuyển tiếp được thực hiện bằng cách trao đổi nhãn. (Định tuyến unicast chỉ ra một cách chính xác một giao diện; định tuyến dựa vào đích ngụ ý là định tuyến dựa vào địa chỉ đích cuối cùng của gói tin).

■ Chỉ rõ các giao thức được tiêu chuẩn hoá nhằm duy trì và phân phối nhãn để hỗ trợ định tuyến dựa vào đích multicast mà việc chuyển tiếp được thực hiện bằng cách trao đổi nhãn. (Định tuyến multicast chỉ ra hơn một giao diện ở đầu ra. Nhiệm vụ tích hợp các kỹ thuật multicast trong MPLS vẫn đang tiếp tục nghiên cứu và phát triển).

■ Chỉ rõ các giao thức được tiêu chuẩn hoá nhằm duy trì và phân phối nhãn để hỗ trợ phân cấp định tuyến mà việc chuyển tiếp được thực hiện bằng cách trao đổi nhãn, phân cấp định tuyến nghĩa là hiểu biết về topo mạng trong hệ thống tự trị.

■ Chỉ rõ các giao thức được tiêu chuẩn hoá nhằm duy trì và phân phối nhãn để hỗ trợ các đường riêng dựa vào trao đổi nhãn. Các đường này có thể khác so với các đường đã được tính toán trong định tuyến IP thông thường (định tuyến trong IP dựa vào chuyển tiếp theo địa chỉ đích). Các đường riêng rất quan trọng trong các ứng dụng TE.

■ Chỉ ra các thủ tục được tiêu chuẩn hoá để mang thông tin về nhãn qua các công nghệ lớp 2.

■ Chỉ ra một phương pháp tiêu chuẩn nhằm hoạt động cùng với ATM ở mặt phẳng điều khiển và mặt phẳng người dùng.

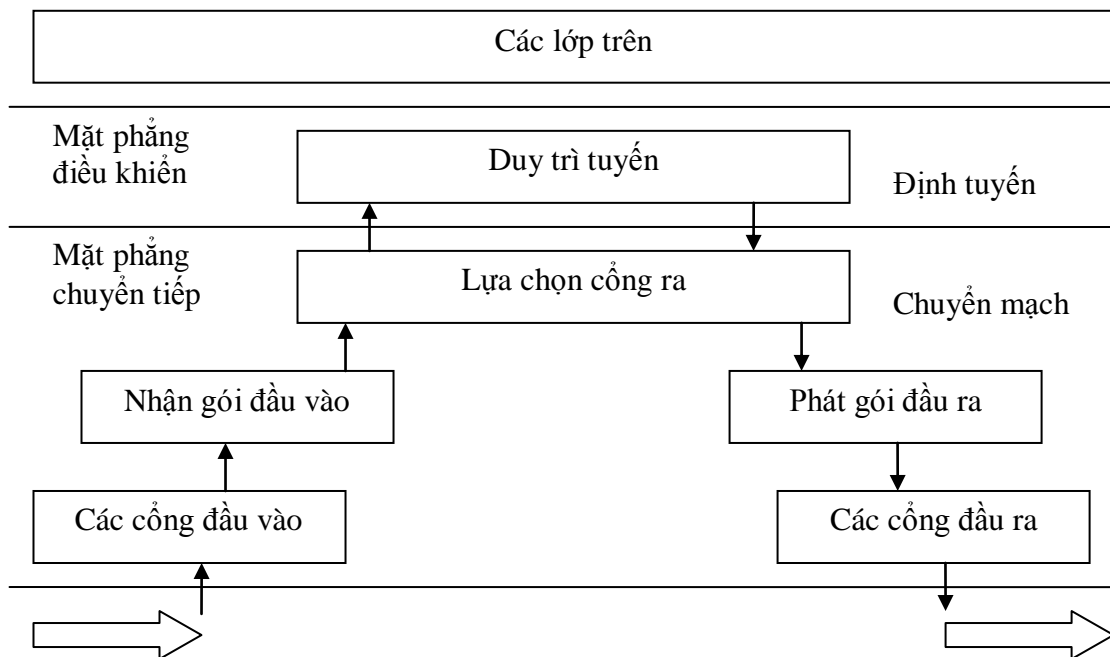
■ Phải hỗ trợ cho các công nghệ QoS (như là giao thức RSVP) (QoS là một trong những ứng dụng quan trọng nhất của MPLS, MPLS QoS sẽ có thể mang lại nhiều lợi ích cho mạng thế hệ sau).

■ Chỉ ra các giao thức tiêu chuẩn cho phép các host sử dụng MPLS.

### **6.2.2. Cách thức hoạt động của MPLS**

MPLS có thể được xem như là một tập các công nghệ hoạt động với nhau để phân phát gói tin từ nguồn tới đích một cách hiệu quả và có thể điều khiển được.

Nó sử dụng các đường chuyển mạch nhãn LSP để chuyển tiếp ở lớp 2 mà đã được thiết lập báo hiệu bởi các giao thức định tuyến lớp 3



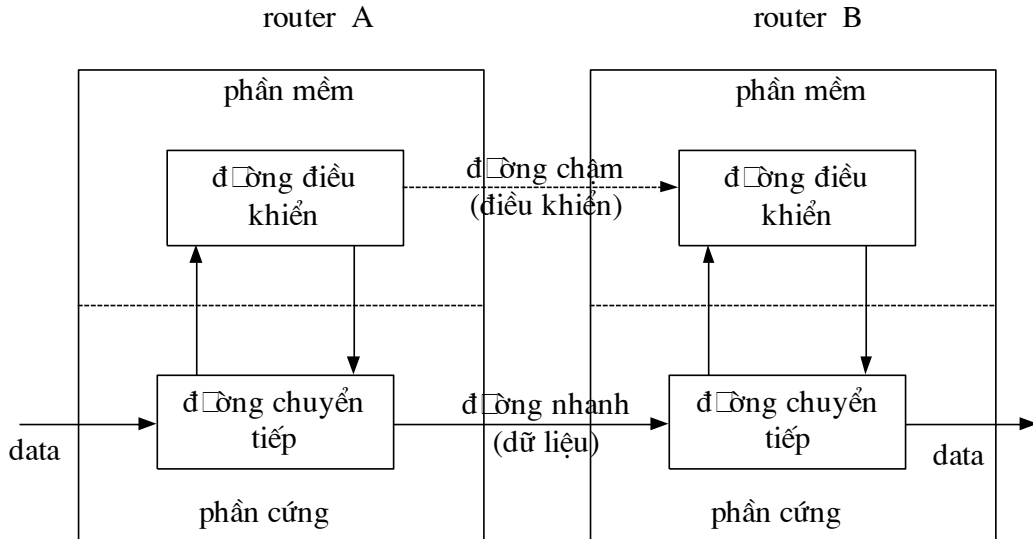
Hình 6.1. Mô hình chung về chuyển tiếp và chuyển mạch tại bộ định tuyến

Bởi vì các khái niệm chuyển tiếp, chuyển mạch và định tuyến là những vấn đề quan trọng để hiểu MPLS hoạt động như thế nào do vậy ta xem xét các vấn đề này trong bộ định tuyến. Một thiết bị định tuyến chuyển một gói tin từ nguồn tới đích bằng cách thu hoặc nhận, chuyển mạch và sau đó chuyển tiếp nó tới một thiết bị mạng khác cho tới khi nó tới đích cuối cùng. Hình 6.1 trên đây mô tả mô hình chung về chuyển tiếp và chuyển mạch tại bộ định tuyến.

Mặt bằng điều khiển quản lý một tập các tuyến đường mà một gói có thể sử dụng, trong mô hình này một gói đi vào thiết bị mạng qua giao diện đầu vào, được xử lý bởi một thiết bị mà nó chỉ xử lý thông tin về gói để đưa ra quyết định logic. Quyết định logic này có thông tin được cung cấp từ mặt bằng điều khiển chứa các tuyến, cho các thông tin về gói được cập nhật tới thiết bị khác để chuyển tiếp gói thông qua giao diện đầu ra để tới đích của gói tin đó.

Đây là mô hình đơn giản nhất trong các công nghệ mạng, nhưng nó là sự bắt đầu cho các vấn đề liên quan tới MPLS được thực hiện như thế nào. Các công nghệ MPLS đưa ra mô hình mới cho việc định tuyến, chuyển mạch và chuyển tiếp để chuyển các gói tin trong mạng Internet.

Một mô hình khác thường gặp để mô tả luồng các gói tin giữa các thiết bị mạng (ví dụ như là các bộ định tuyến) được trình bày trong hình vẽ dưới đây.



Hình 6.2. Mô hình luồng gói tin giữa hai thiết bị mạng

Lưu lượng trong mạng có thể được hiểu theo hai cách: Lưu lượng điều khiển bao gồm các thông tin về quản lý và định tuyến và Lưu lượng dữ liệu. Lưu lượng dữ liệu thì đi theo “đường nhanh” và được xử lý bởi các thiết bị mạng. Trong hầu hết các thiết bị mạng hiện đại, đường nhanh được thực hiện bởi phần cứng. Bất cứ thiết bị mạng nào nhận một gói tin khi xử lý tiêu đề của gói, thông tin về gói được gửi lên đường điều khiển để xử lý. Các gói điều khiển bao gồm các thông tin yêu cầu cho việc định tuyến gói, bất cứ một gói nào khác có thể chứa thông tin điều khiển, các gói dữ liệu ưu tiên vv.. thì được xử lý chậm bởi vì chúng cần được kiểm tra bởi phần mềm. Vì lý do này đường xử lý này thường được gọi là “đường chậm”.

Mô hình này rất quan trọng để hiểu MPLS hoạt động như thế nào bởi vì nó chỉ ra đường điều khiển và đường chuyển tiếp là riêng biệt. Khả năng của MPLS để phân biệt các chức năng quan trọng này để tạo ra một phương pháp mới làm thay đổi phương thức truyền các gói dữ liệu qua mạng Internet.

MPLS chủ yếu làm việc với các giao thức lớp 2 và lớp 3, và cũng hoạt động trong nhiều kiểu thiết bị mạng khác.

“ Công nghệ lớp 2.5” là một cách nhìn về MPLS. Hình sau trình bày MPLS được xem như là một “ lớp chèn” mà tự đặt nó vào giữa lớp mạng và lớp liên kết dữ liệu.

Lớp 4 – 7 (Lớp truyền tải, phiên, trình diễn, ứng dụng)
Lớp 3 (lớp mạng)
Lớp 2.5 (MPLS)



Lớp 2 (liên kết dữ liệu)
Lớp 1 (lớp vật lý)

Hình 6.3. Lớp chèn MPLS

Mô hình này ban đầu xuất hiện như là một mô hình không đồng nhất với OSI, mô hình này chỉ ra rằng MPLS không phải là một lớp mới riêng, mà nó là một phần ảo của mặt phẳng điều khiển ở dưới lớp mạng với mặt phẳng chuyển tiếp ở đỉnh của lớp liên kết dữ liệu. MPLS không phải là một giao thức tầng mạng mới bởi vì nó không có khả năng tự định tuyến hoặc có sơ đồ địa chỉ, mà yêu cầu phải có trong giao thức lớp 3. MPLS sử dụng các giao thức định tuyến và cách đánh địa chỉ của IP ( với sự điều chỉnh và mở rộng cần thiết) MPLS cũng không phải là một giao thức tầng liên kết dữ liệu bởi vì nó được thiết kế để hoạt động trong nhiều công nghệ liên kết dữ liệu phổ biến mà cung cấp yêu cầu chức năng và địa chỉ lớp 2.

### 6.2.3. Các thuật ngữ trong MPLS

#### ***Bộ định tuyến chuyển mạch nhãn và bộ định tuyến biên nhãn(LSR và LER)***

Các thiết bị tham gia trong kỹ thuật giao thức MPLS có thể được phân loại thành các bộ định tuyến biên nhãn ( LER) và các bộ định tuyến chuyển mạch nhãn (LSR).

- Một LSR là 1 thiết bị định tuyến tốc độ cao trong lõi của 1 mạng MPLS, nó tham gia trong việc thiết lập các đường dẫn chuyển mạch nhãn (LSP) bằng việc sử dụng giao thức báo hiệu nhãn thích ứng và chuyển mạch tốc độ cao lưu lượng số liệu dựa trên các đường dẫn được thiết lập.
- Một LER là 1 thiết bị hoạt động tại biên (cạnh ) của mạng truy nhập và mạng MPLS. Các LER hỗ trợ đa công được kết nối tới các mạng không giống nhau ( chẳng hạn FR, ATM và Ethernet ) và chuyển tiếp lưu lượng này vào mạng MPLS sau khi thiết lập LSP, bằng việc sử dụng các giao thức báo hiệu nhãn tại lõi vào và phân bổ lưu lượng trở lại mạng truy nhập tại lõi ra. LER đóng vai trò quan trọng trong việc chỉ định và huỷ bỏ nhãn, khi lượng vào trong hay đi ra khỏi mạng MPLS

#### ***Lớp tương đương chuyển tiếp (FEC)***

FEC là một sự biểu diễn của nhóm các gói, các nhóm này chia sẻ cùng yêu cầu trong sự vận chuyển của chúng. Tất cả các gói trong một nhóm như vậy được cung cấp cùng cách chọn đường tới đích. Ngược lại với chuyển tiếp IP truyền

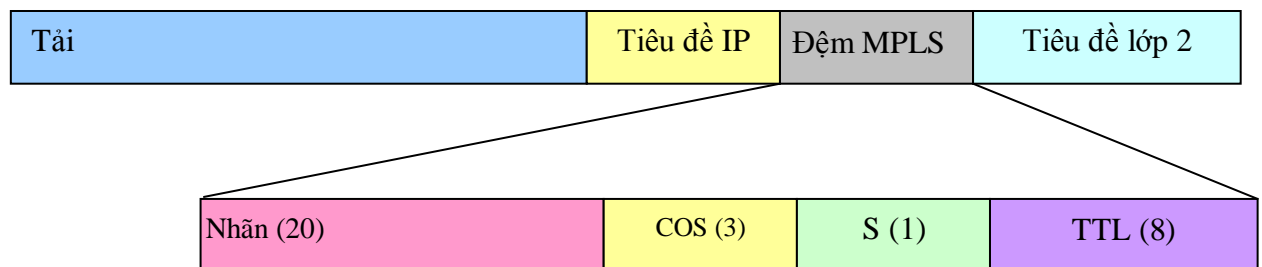
thống, trong MPLS việc gán một gói cụ thể vào một FEC cụ thể được thực hiện chỉ một lần khi các gói vào trong mạng. Các FEC dựa trên các yêu cầu dịch vụ đối với một tập các gói cho trước hay đơn giản là đối với một địa chỉ cho trước (address prefix). Mỗi LSR xây dựng một bảng để xác định xem một gói phải được chuyển tiếp như thế nào. Bảng này được gọi là một bảng thông tin nhãn cơ bản (LIB: Label Information Base), nó là tổ hợp các ràng buộc FEC với nhãn

### **Tiêu đề MPLS**

MPLS định nghĩa một tiêu đề có độ dài 32 bit và được tạo nên tại LSR vào. Nó phải được đặt ngay sau tiêu đề lớp 2 bất kỳ và trước một tiêu đề lớp 3. Ở đây là IP và được sử dụng bởi ingress LSR (LSR vào) để xác định một FEC, lớp này sẽ được xét lại trong vấn đề tạo nhãn. Sau đó các nhãn được xử lý bởi LSR transit (LSR chuyển tiếp). Khuôn dạng và tiêu đề MPLS được chỉ ra trong hình 1.4 . Nó bao gồm các trường sau:

- Nhãn: Giá trị nhãn 20 bits, giá trị này chứa nhãn MPLS.
- Exp: thực nghiệm sử dụng 3 bits.
- S : bit ngăn xếp, 1 bit, sử dụng sắp xếp đa nhãn.

TTL: Thời gian sống, 8 bit, đặt ra một giới hạn mà các gói MPLS có thể đi qua. Điều này là cần thiết bởi vì trường TTL IP không được kiểm tra bởi các transit LSR (LSR chuyển tiếp)



Hình 1.4: Định dạng cấu trúc nhãn

### **Ngăn xếp nhãn**

Chuyển mạch nhãn được thiết kế để co dẫn các mạng lớn và MPLS hỗ trợ chuyển mạch nhãn với các hoạt động phân cấp, hoạt động phân cấp này dựa trên khả năng của MPLS có thể mang nhiều hơn một nhãn trong gói. Ngăn xếp nhãn cho phép thiết kế các LSR trao đổi thông tin với nhau và hành động này giống như việc tạo đường viền node để tạo ra một miền mạng rộng lớn và các LSR khác. Có thể nói lại rằng các LSR khác này là node bên trong (transit node) một miền và không liên quan đến đường viền node (với cấu tạo router liên vùng) và các nhãn được kết hợp trong các router này.

Sự xử lý một gói nhãn được hoàn thành độc lập với từng mức của sự phân cấp. Đó là các mức nhãn thì không được LSR kiểm tra. Để giữ hoạt động đơn, các chương trình xử lý thường xuyên dựa trên đỉnh nhãn mà không cần quan tâm đến nhãn ở trên nó lúc trước, hoặc ở dưới nó tại thời điểm hiện tại.

### ***Kết hợp luồng FEC***

Cách thức các lưu lượng ảo đến các FEC để tạo ra một FEC riêng biệt cho mỗi địa chỉ prefix. Phương pháp tiếp cận này có kết quả trong việc thiết lập các FEC, các lớp này có định tuyến giống nhau tới node ra, việc hoán đổi nhãn có thể chỉ được sử dụng để chuyển lưu lượng tới node kế tiếp. Trong tình huống này trong miền MPLS, các FEC riêng rẽ thực hiện thì sẽ không đem lại hiệu quả tốt. Trong quan niệm của MPLS, kết hợp các FEC này tạo ra một FEC đặc trưng cho tất cả là đem lại hiệu quả nhất. Trong tình huống này có hai lựa chọn:

- Liên kết một nhãn riêng biệt tới một miền FEC.
- Liên kết một nhãn tới một miền, ứng dụng nhãn kết hợp với tất cả lưu lượng trong miền.

Thủ tục liên kết một nhãn đơn tới một miền kết hợp các FEC, miền này chính là một FEC (trong miền MPLS giống nhau) và ứng dụng các nhãn đó cho tất cả các lưu lượng trong miền kết hợp. Sự kết hợp làm giảm bớt số lượng nhãn cần thiết để điều khiển một cách chi tiết một bộ gói và cũng làm giảm đi số lượng lưu lượng điều khiển phân phối nhãn cần thiết.

### ***Nhãn và sự liên kết nhãn***

Một nhãn được sử dụng để xác định đường dẫn cho một gói đi qua. Một nhãn được mạng hay được đóng gói vào trong tiêu đề lớp 2 cùng với gói. Bộ định tuyến nhận kiểm tra các gói với nội dung nhãn của nó để quyết định chặng kế tiếp. Mỗi khi gói được dán nhãn thì phần còn lại hành trình của gói qua đường trục mạng được dựa trên chuyển mạch nhãn. Giá trị nhãn chỉ có ý nghĩa cục bộ, nghĩa là chúng chỉ liên quan đến các chặng giữa các LSR.

Mỗi lần một gói được phân loại như một FEC mới hay FEC đang tồn tại, một nhãn được phân bổ cho gói. Các giá trị nhãn nhận được từ lớp liên kết dữ liệu nằm phía dưới. Với các lớp liên kết dữ liệu (như FR hay ATM), các bộ nhận dạng lớp 2 như là bộ nhận dạng kết nối tuyến số liệu (DLCI: Data Link Connection Identifier) trong mạng chuyển tiếp khung (FR: Frame Relay) hay bộ nhận dạng đường ảo (VPI: Virtual Path Identifier)/ bộ nhận dạng kênh ảo (VCI: Virtual

Channel Identifier) trong mạng ATM, có thể được sử dụng một cách trực tiếp như các nhãn. Các gói sau đó được chuyển tiếp dựa vào giá trị nhãn của chúng.

Các nhãn được ràng buộc tới một FEC như một kết quả của một vài sự kiện hay chính sách. Điều này chỉ ra một yêu cầu cho ràng buộc như vậy. Những sự kiện này có thể hoặc là các ràng buộc dữ liệu hay các ràng buộc điều khiển. Ràng buộc điều khiển hay được sử dụng hơn do có các tính chất mở rộng tiên tiến và được sử dụng trong định tuyến thông tin trong mạng MPLS.

Các quyết định phân bổ nhãn có thể dựa trên các tiêu chuẩn chuyển tiếp, chẳng hạn như:

- Định tuyến đơn hướng đích.
- Kỹ thuật lưu lượng.
- Đa hướng (Multicast).
- Mạng riêng ảo (VPN: Virtual Private Network).
- QoS.

Nhãn có thể nhúng trong tiêu đề của lớp liên kết dữ liệu (VPI/VCI ATM và DLCI FR ) hay trong lớp đệm .

### ***Tạo nhãn và phân bổ nhãn***

Có một số phương pháp được sử dụng trong việc tạo nhãn:

+ Phương pháp dựa trên đồ hình (topology-based): sử dụng các giao thức định tuyến thông thường như OSPF (Open Shortest Path First) và BGP (Border Gateway Protocol: Giao thức cổng đường biên).

+ Phương pháp dựa trên yêu cầu (request-based): sử dụng điều khiển lưu lượng dựa trên yêu cầu như RSVP (Resource Reservation Protocol: Giao thức dành trước tài nguyên).

+ Phương pháp dựa trên lưu lượng: sử dụng sự tiếp nhận của gói để phân bổ thông tin nhãn

Các phương pháp dựa trên đồ hình và dựa trên yêu cầu là các ví dụ về các ràng buộc nhãn điều khiển, trong khi phương pháp dựa trên lưu lượng là một ví dụ về các ràng buộc dữ liệu.

Kiến trúc MPLS không sử dụng một phương pháp báo hiệu để phân bổ nhãn. Các giao thức định tuyến đang tồn tại như BGP, đã được tăng cường để mang thông tin nhãn trong nội dung của giao thức. RSVP cũng đã được mở rộng để hỗ trợ việc trao đổi nhãn đã được mang. IETF (Internet Engineering Task Force: Nhóm đặc trách kỹ thuật Internet) đã định nghĩa một giao thức được gọi là Giao thức phân bổ nhãn (LDP: Label Distribution Protocol) cho báo hiệu tường minh và quản lý không gian nhãn. Sự mở rộng tới giao thức LDP cơ bản cũng đã được

định nghĩa để hỗ trợ định tuyến tường minh dựa trên các yêu cầu về QoS và CoS. Những sự mở rộng này được lưu giữ trong định tuyến dựa trên ràng buộc (CR: Constraint-based Routing) - định nghĩa giao thức LDP.

Một tổng kết về các lược đồ khác nhau cho việc trao đổi nhãn như sau:

- LDP - ánh xạ các đích IP đơn hướng vào các nhãn.
- RSVP, CP-LDP - được sử dụng cho kỹ thuật lưu lượng và đặt trước tài nguyên.
- Multicast độc lập giao thức - được sử dụng cho việc ánh xạ nhãn các trạng thái đa hướng.
- BGP – các nhãn bên ngoài (VPN).
- Đường dẫn chuyển mạch nhãn (LSP)

Một tập hợp MPLS – các thiết bị được cho phép biểu diễn một miền MPLS. Trong một miền MPLS, một đường dẫn được thiết lập cho một gói được di chuyển dựa trên một FEC. LSP được thiết lập trước truyền dẫn dữ liệu. MPLS cung cấp 2 chức năng sau để thiết lập một LSP:

- Định tuyến theo từng chặng (hop by hop routing): Mỗi LSR lựa chọn một cách độc lập tuyến kế tiếp với một FEC cho trước. Phương pháp này là tương đương với phương pháp được sử dụng hiện nay trong các mạng IP. LSR sử dụng mọi giao thức định tuyến có thể như OSPF, giao diện mạng-mạng riêng ATM (PNNI: Private Network to Network Interface), etc...
- Định tuyến tường minh (ER:Explicit Routing): định tuyến tường minh tương tự với định tuyến nguồn. LSR lỗi vào (nghĩa là LSR nơi mà dòng dữ liệu bắt đầu tới mạng đầu tiên) xác định danh sách các node mà ER-LSP đi qua. Đường dẫn đã được xác định có thể là không tối ưu. Dọc đường dẫn các tài nguyên có thể được đặt trước để đảm bảo QoS cho lưu lượng dữ liệu. Đường này làm giảm nhẹ cho kỹ thuật lưu lượng thông qua mạng và các dịch vụ khác nhau có thể được cung cấp bằng cách sử dụng các luồng dựa trên các chính sách hay các phương pháp quản lý mạng.

LSP thiết lập cho một FEC về bản chất là không đơn hướng. Lưu lượng ngược lại phải sử dụng LSP khác.

### ***Không gian nhãn***

Các nhãn được sử dụng bởi một LSR với các ràng buộc FEC-nhãn được liệt kê như sau:

- per platform – Các giá trị là duy nhất vượt qua toàn bộ LSR. Các nhãn được bố trí từ một thùng chứa nhãn chung. Không có 2 nhãn được phân bổ trên các giao diện khác nhau có cùng giá trị.
- per interface – Vùng nhãn (phạm vi nhãn) được kết hợp với các giao diện. Các thùng đa nhãn được định nghĩa cho các giao diện và các nhãn được cung cấp trên các giao diện này được định vị từ các thùng tách biệt. Giá trị các nhãn được cung cấp trên các giao diện khác nhau có thể giống nhau.

### ***Hợp nhất nhãn***

Dòng lưu lượng đến từ các giao diện khác nhau có thể được kết hợp cùng nhau và được chuyển mạch bằng việc sử dụng một nhãn chung nếu chúng đang đi qua mạng hướng tới cùng một đích cuối cùng. Điều này được biết như là sự hợp nhất luồng hay kết hợp các luồng.

Nếu mạng truyền tải nằm bên dưới là một mạng ATM, các LSR có thể sử dụng hợp nhất đường ảo (VP) hay kênh ảo (VC). Trong kịch bản này, các vấn đề đan xen tế bào xuất hiện khi nhiều dòng lưu lượng được kết hợp trong mạng ATM, cần phải được tránh.

### ***Sự duy trì nhãn***

MPLS định nghĩa sự cư xử cho các ràng buộc nhãn nhận được từ các LSR, đó không phải là chặng kế tiếp với một FEC đã cho. Hai chế độ được định nghĩa: Bảo toàn (conservative) – Trong chế độ này, các ràng buộc giữa một nhãn và một FEC nhận được từ các LSR không là chặng kế tiếp cho một FEC cho trước bị huỷ bỏ. Chế độ này cần một LSR để duy trì số nhãn ít hơn. Đây là chế độ được khuyến khích sử dụng cho các LSR ATM.

Tự do (liberal) – Trong chế độ này, các ràng buộc giữa một nhãn và một FEC nhận được từ các LSR không là chặng kế tiếp với một FEC cho trước được giữ nguyên. Chế độ này cho phép tương thích nhanh hơn với các thay đổi cấu hình và cho phép chuyển mạch lưu lượng tới các LSP khác trong trường hợp có sự thay đổi.

### ***Điều khiển nhãn***

MPLS định nghĩa các chế độ cho việc phân bổ nhãn tới các LSR lân cận như sau:

Độc lập (Independent) – Trong chế độ này, một LSR nhận dạng một FEC nào đó và ra quyết định ràng buộc một nhãn với một FEC một cách độc lập để phân bổ ràng buộc đến các thực thể đồng mức của nó. Các FEC mới được nhận dạng bất cứ khi nào các tuyến (route) trở nên rõ ràng với router.

Có thứ tự (ordered) – Trong chế độ này, một LSR ràng buộc một nhãn với một FEC nào đó nếu và chỉ nếu nó là router lõi ra hay nó đã nhận được một ràng

buộc nhãn cho FEC từ LSR chặng kế tiếp của nó. Chế độ này được khuyến nghị sử dụng cho các LSR ATM.

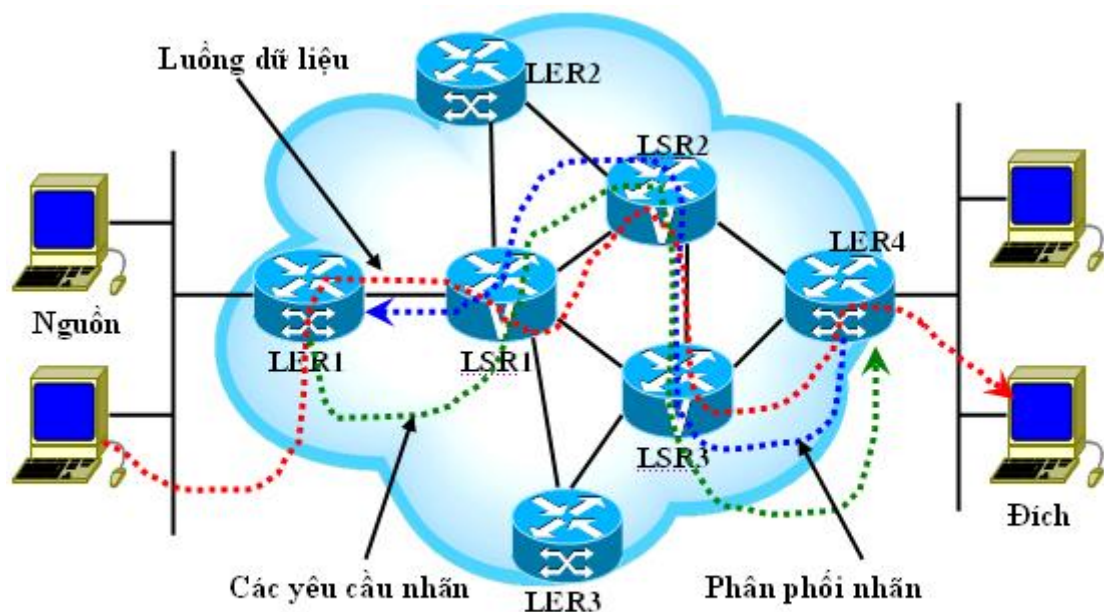
#### 6.2.4. Các đặc tính hoạt động, điều hành của MPLS

Các bước sau phải được thực hiện với một gói dữ liệu để đi qua một miền MPLS:

- Tạo và phân bổ nhãn.
- Tạo bảng tại mỗi router.
- Tạo các đường dẫn chuyển mạch nhãn (LSP).
- Chèn/tìm kiếm bảng nhãn.
- Chuyển tiếp gói.

Nguồn gửi dữ liệu của nó tới đích. Trong một miền MPLS không phải tất cả lưu lượng nguồn là cần thiết được chuyển qua cùng đường dẫn. Phụ thuộc vào đặc tính lưu lượng, các LSP khác nhau có thể được tạo cho các gói với các yêu cầu CoS khác nhau.

Trong hình 6.5, LER1 là router lõi vào và LER4 là router lõi ra



Hình 6.5. Sự tạo ra LSP và chuyển tiếp các gói thông qua một miền MPLS

Các bước sau đây minh họa hoạt động MPLS tác động tới gói dữ liệu trong một miền MPLS.

#### **Tạo & phân bổ nhãn**

Trước khi lưu lượng bắt đầu, các router quyết định để ràng buộc một nhãn với một FEC xác định và xây dựng bảng của chúng. Trong LDP, các router đường xuống khởi tạo sự phân bổ các nhãn và ràng buộc nhãn/FEC.

Ngoài ra, các đặc tính liên quan lưu lượng và khả năng MPLS được thoả thuận bằng việc sử dụng LDP.

### ***Tạo bảng***

Tại phía nhận các ràng buộc nhãn, mỗi LSR tạo các lối vào trong cơ sở thông tin nhãn (LIB : Label Information Base).

Nội dung của bảng sẽ xác định ánh xạ giữa một nhãn và một FEC.

Ánh xạ giữa cổng vào và bảng nhãn đầu vào tới cổng ra và bảng nhãn đầu ra. Các lối vào được cập nhật bất cứ khi nào sự tái đàm phán về ràng buộc nhãn xảy ra.

### ***Tạo đường dẫn chuyển mạch nhãn .***

Như được biểu diễn bằng đường ngắt quãng trong hình 1.5, các LSP được tạo ở phương ngược lại với sự tạo các lối vào trong các LIB.

### ***Chèn/tìm kiếm bảng nhãn***

Router đầu tiên (LER1 trong hình 1.5) sử dụng bảng trong LIB để tìm chặng kế tiếp và yêu cầu một nhãn ch FEC xác định.

Các router chỉ lần lượt sử dụng nhãn để tìm chặng kế tiếp.

Mỗi lần gói chạm tới LSR lối ra (LER4), nhãn được xoá bỏ và gói được cung cấp cho đích.

### ***Chuyển tiếp gói .***

LER1 có thể không có nhãn nào cho gói này khi đó là lần đầu tiên xảy ra yêu cầu này. Trong một mạng IP, nó sẽ tìm sự phù hợp địa chỉ dài nhất để tìm chặng kế tiếp. Cho LSR1 là chặng kế tiếp của LER1. LER1 sẽ khởi tạo một yêu cầu nhãn chuyển tới LSR1.

Yêu cầu này sẽ phát thông qua mạng. Mỗi router trung gian sẽ nhận một nhãn từ router phía sau nó bắt đầu từ LER2 và đi lên trên cho đến LER1. Thiết lập LSP được chỉ báo bởi đường xanh da trời gãy khúc bằng việc sử dụng LDP hay bất kì giao thức báo hiệu nào khác. Nếu kĩ thuật lưu lượng được yêu cầu, CR-LDP sẽ được sử dụng trong việc quyết định thiết lập đường dẫn thực sự để chắc chắn yêu cầu QoS/CoS được tuân thủ. LER1 sẽ chèn nhãn và chuyển tiếp gói tới LSR 1.

Mỗi LSR lần lượt, nghĩa là LSR2 và LSR3, sẽ kiểm tra nhãn với các gói nhận được, thay thế nó với các nhãn đầu ra và chuyển tiếp nó. Khi gói tới LER4, nó sẽ xoá bỏ nhãn bởi vì gói sẽ rời khỏi miền MPLS và phân phát tới đích.

## **6.2.5. Kiến trúc ngăn xếp trong MPLS**

Các thành phần MPLS chủ yếu có thể được phân chia thành các phần sau:

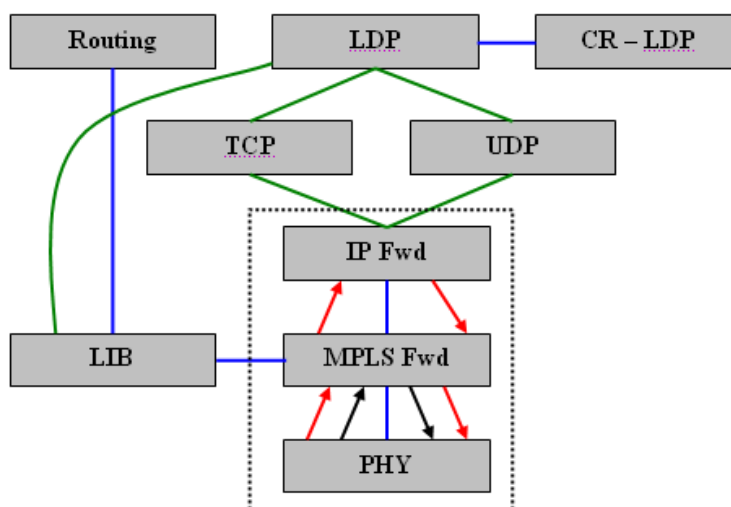
- Các giao thức định tuyến (IP) lớp mạng.



- Chuyển tiếp biên của lớp mạng.
- Chuyển tiếp dựa trên nhãn mạng lõi.
- Lược đồ nhãn.
- Giao thức báo hiệu để phân bổ nhãn.
- Kỹ thuật lưu lượng.
- Khả năng tương thích với các lược đồ chuyển tiếp lớp 2 khác nhau (ATM, FR, PPP: Point to Point Protocol).

Hình 6.6 mô tả các giao thức có thể được sử dụng cho các hoạt động MPLS. Module định tuyến có thể là bất cứ giao thức nào trong các giao thức công nghiệp phổ biến. Phụ thuộc vào môi trường hoạt động, module định tuyến có thể là OSPF, BGP hay PNNI của ATM, etc...Module LDP sử dụng TCP để truyền dẫn tin cậy các dữ liệu điều khiển từ LSR này đến LSR khác trong suốt một phiên. LDP cũng duy trì LIB. LDP sử dụng UDP trong suốt quá trình khám phá của nó về trạng thái hoạt động. Trong trạng thái này, LSP cố gắng nhận dạng các phần tử lân cận và cũng như sự có mặt của chính các tín hiệu của nó với mạng. Điều này được thực hiện thông qua trao đổi gói.

IP Fwd là module chuyển tiếp IP cổ điển, nó tìm kiếm chặng kế tiếp bằng việc so sánh để phù hợp với địa chỉ dài nhất trong các bảng của nó. Với MPLS, điều này được thực hiện chỉ bởi các LER. MPLS Fwd là module chuyển tiếp MPLS, nó so sánh một nhãn với một cổng đầu ra và chọn sự phù hợp nhất với một gói đã cho. Các lớp được biểu diễn trong hộp với đường gấp khúc có thể được thực hiện bằng phần cứng để hoạt động nhanh và có hiệu quả.



Hình 6.6. Ngăn xếp giao thức MPLS

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Hồng Sơn, **Cơ sở kỹ thuật chuyển mạch và tổng đài**, NXB Giáo dục, 2001
- [2] Dương Văn Thành, **Cơ sở kỹ thuật chuyển mạch**, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, 2000
- [3] **Tìm hiểu về mạng thế hệ mới NGN**, Trung tâm ứng dụng công nghệ- Viện KHKT Bưu Điện, 2005
- [4] H. Jonathan Chao, Cheuk H. Lam, Eiji Oki, **Broadband Packet Switching Technologies**
- [5] Roger L. Freeman, **Fundamental of telecommunication**



**USAID**  
FROM THE AMERICAN PEOPLE

Báo cáo Nghiên cứu Chính sách - VNCI, Số 3

**VNCI**  
Vietnam Competitiveness Initiative

# NGHIÊN CỨU VỀ CẠNH TRANH NGÀNH VIỄN THÔNG VIỆT NAM



**Tháng 6 năm 2005**

Báo cáo này được trình cho Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID). Báo cáo do ông Nguyễn Thanh Hà và Phạm Quang Thành thuộc Trung tâm Tư vấn Đầu tư và Công nghệ Vietbid và ông Jacob Gullish của Dự án VNCI thực hiện với sự trợ giúp kỹ thuật của ông John Davis, chuyên gia Dự án STAR Việt Nam, một dự án do USAID tài trợ.



Dự án Nâng cao Năng lực Cạnh tranh Việt Nam (VNCI) là dự án phát triển kinh tế do Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID) tài trợ nhằm nâng cao năng lực cạnh tranh cho các doanh nghiệp nhỏ và vừa (DNNVV) ở Việt Nam. Dự án có ba cấu phần: (1) Cải thiện môi trường chính sách cho các DNNVV; (2) Nâng cao năng lực cho các DNNVV; và (3) Tiếp cận nguồn vốn cho các DNNVV. Dự án do Công ty Development Alternatives, Inc. (DAI) điều hành, Quỹ Châu Á là nhà thầu phụ chính của DAI thực hiện cấu phần 1 của dự án.

Số 2, Tầng 15, Tòa nhà Prime Centre  
53 Quang Trung, Hà Nội, Việt Nam  
Tel : (84-4) 943-8163  
Fax: (84-4) 943-8160

[www.vnci.org](http://www.vnci.org)

Để xem báo cáo này và các báo cáo nghiên cứu chính sách khác của Dự án VNCI và đọc các tin, bài về hoạt động nghiên cứu chính sách của dự án, xin vào trang [www.vnci.org](http://www.vnci.org)

# NGHIÊN CỨU VỀ CẠNH TRANH NGÀNH VIỄN THÔNG VIỆT NAM

## Khuyến cáo

Quan điểm của các tác giả trình bày trong báo cáo này không nhất thiết phản ánh quan điểm của Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ và quan điểm của Chính phủ Hoa Kỳ.

# LỜI CẢM ƠN

Báo cáo này do ông Nguyễn Thanh Hà, ông Phạm Quang Thành của Vietbid và ông Jacob Gullish, chuyên gia Dự án VNCI soạn lập với sự tư vấn kỹ thuật của ông John Davis, chuyên gia Dự án STAR - một dự án do Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID) tài trợ.

Sau khi hoàn thành bản dự thảo đầu tiên của báo cáo nghiên cứu, nhóm nghiên cứu đã báo cáo kết quả tại một hội thảo do Viện Quản lý Kinh tế Trung ương (CIEM) tổ chức vào ngày 10 tháng 11 năm 2004. Các ý kiến đóng góp cho báo cáo mà nhóm nghiên cứu thu nhận được tại cuộc hội thảo này đã được bổ sung vào báo cáo cuối cùng.

Dự án VNCI muốn được cảm ơn ông Huỳnh Thanh Tùng (Công ty cổ phần Dịch vụ Bưu chính Viễn thông Sài Gòn), ông Nguyễn Mạnh Bằng (Công ty Điện lực Viễn thông Việt Nam) và các giám đốc, cán bộ quản lý các doanh nghiệp khác đã tham gia trả lời câu hỏi của nhóm nghiên cứu. Nhóm nghiên cứu cũng muốn được cảm ơn ông Steve Parker (Dự án STAR) và ông Fred Burke (Công ty Baker & McKenzie) đã tham gia tư vấn cho nhóm nghiên cứu, cảm ơn bà Ngô Thị Minh (Vietbid) đã xử lý số liệu thu thập. Báo cáo này còn được sự hỗ trợ của ông Dennis Zvinakis, Giám đốc Văn phòng USAID tại Việt Nam.

Báo cáo này khó tránh khỏi khiếm khuyết, Dự án VNCI rất mong nhận được sự góp ý của độc giả.

\*  
\* \*

Dự án Nâng cao Năng lực Cạnh tranh Việt Nam (VNCI) là một dự án phát triển kinh tế do Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ (USAID) tài trợ. Dự án do công ty Development Alternatives Inc. (DAI) điều hành.

Quỹ Châu Á là nhà tài trợ chính của DAI chịu trách nhiệm thực hiện cấu phần nghiên cứu môi trường chính sách của Dự án. Mục đích của cấu phần này là nhằm góp phần cải thiện môi trường chính sách về kinh doanh, với trọng tâm là các quy định về doanh nghiệp nhỏ và vừa. Báo cáo này là báo cáo nghiên cứu thứ ba trong số nhiều nghiên cứu khác nhau do Quỹ Châu Á thực hiện dưới tên VNCI.



**The Asia Foundation**



development alternatives, inc.

# MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN .....	i
CÁC TỪ VIẾT TẮT .....	v
GIỚI THIỆU .....	l
KHUÔN KHỔ PHÁP LÝ VÀ THỂ CHẾ .....	9
Trách nhiệm của các Bộ ngành đối với chính sách viễn thông Việt Nam .....	9
Bộ Bưu chính Viễn thông .....	9
Chính sách và chiến lược phát triển viễn thông .....	10
Pháp luật về Viễn thông .....	11
<i>Pháp lệnh về Bưu chính Viễn thông năm 2002</i> .....	11
<i>Nghị định 160 - các quy định liên quan tới cạnh tranh: Nghị định về viễn thông</i> .....	12
Quy định quản lý về viễn thông .....	12
<i>Quy định về giá cước</i> .....	12
<i>Kết nối</i> .....	15
Cam kết quốc tế .....	17
CƠ CẤU THỊ TRƯỜNG VÀ VẤN ĐỀ SỞ HỮU .....	21
Những nhà khai thác có hạ tầng (FBO) .....	21
Tình hình cạnh tranh trong thị trường dịch vụ di động .....	22
Các nhà khai thác dịch vụ SBO: nhà cung cấp dịch vụ Internet .....	23
Những dịch vụ trên nền công nghệ thông tin (ITES) .....	25
Đầu tư tư nhân và nước ngoài .....	26
<i>Vi sao BCC</i> .....	27
<i>Đánh giá việc thực hiện BCC</i> .....	29
So sánh trong khu vực về đầu tư nước ngoài .....	30
VAI TRÒ CHỦ ĐẠO CỦA VNPT .....	31
Hành vi chống cạnh tranh .....	31
Các vấn đề về Luật Cạnh tranh .....	33
Về vấn đề tư nhân hóa VNPT .....	34
KẾT QUẢ KHẢO SÁT KHÁCH HÀNG SỬ DỤNG DỊCH VỤ VIỄN THÔNG .....	37
Mẫu điều tra .....	37
Tình hình sử dụng dịch vụ viễn thông .....	37
Chi phí viễn thông .....	38
Đánh giá chất lượng dịch vụ viễn thông .....	39
Đánh giá tác động của việc cải thiện dịch vụ viễn thông .....	40
Kết luận .....	40
CON ĐƯỜNG PHÍA TRƯỚC .....	41
Khuyến nghị .....	41
Hội nghị giữa các bên liên quan đến viễn thông Việt Nam .....	44

## DANH SÁCH CÁC BIỂU

Biểu 1: Mật độ điện thoại ở Việt Nam. ....	4
Biểu 2: Những chỉ số viễn thông của các nước ASEAN. ....	5
Biểu 3: Phân bổ trách nhiệm chính trong chính sách viễn thông ....	9
Biểu 4: Những quy định gần đây của MPT ....	13
Biểu 5: Biểu giá đối với dịch vụ quốc tế ở Việt Nam ....	14
Biểu 6: Hiệp định Thương mại Song phương Việt - Mỹ đối với đầu tư nước ngoài về viễn thông ....	18
Biểu 7: Tổng quan về nghĩa vụ theo các điều ước quốc tế của Việt Nam	19
Biểu 8: Cạnh tranh giữa các FBO Việt Nam ....	22
Biểu 9: Cơ cấu tổ chức của VNPT ....	23
Biểu 10: Cạnh tranh trong thị trường di động Việt Nam ....	23
Biểu 11: Thuê bao Internet và mật độ ở Việt Nam ....	24
Biểu 12: Thị phần các ISP vào tháng 3-2003 và tháng 6-2004 ....	24
Biểu 13: Kết nối Internet ở Việt Nam ....	25
Biểu 14: So sánh Việt Nam với những đối thủ ITES trong khu vực ....	26
Biểu 15: Hình thức cho phép đầu tư nước ngoài về viễn thông ....	26
Biểu 16: Các BCC ở Việt Nam ....	28
Biểu 17: So sánh về hạn chế sở hữu nước ngoài ....	30
Biểu 18: Các vấn đề về viễn thông được giải quyết theo Luật Cạnh tranh	34
Biểu 19: Các cuộc cổ phần hóa ở châu Á trong những năm 1990 ....	35
Biểu 20: Phân loại mẫu điều tra ....	37
Biểu 21: Mức độ quan trọng của sản phẩm và dịch vụ viễn thông ....	38
Biểu 22: Tỷ lệ chi phí viễn thông trên tổng chi phí ....	38
Biểu 23: Đánh giá mức cước dịch vụ viễn thông ....	39
Biểu 24: Đánh giá chất lượng dịch vụ kết nối ....	39
Biểu 25: Tần suất xuất hiện sự cố và đánh giá công nghệ sử dụng ....	40
Biểu 26: Tác động của việc cải thiện dịch vụ đối với doanh nghiệp ....	40
Biểu 27: Các thông lệ tốt nhất và dở nhất trong lĩnh vực viễn thông ..	42
Biểu 28: Lộ trình thay đổi ....	44



# CÁC TỪ VIẾT TẮT

ADB	Ngân hàng Phát triển Châu Á
BCC	Hợp đồng Hợp tác Kinh doanh
BPO	Thuê ngoài trong quá trình kinh doanh
BTA	Hiệp định Thương mại Việt - Mỹ
CAGR	Tỷ lệ tăng trưởng trung bình lũy tiến
CDMA	Ghép kênh phân chia theo mã
CSO	Nghĩa vụ cung cấp dịch vụ cho cộng đồng
DGPT	Tổng cục Bưu điện
DLD	Đường dài trong nước
DSL	Đường thuê bao số
FBO	Nhà khai thác có hạ tầng mạng
FCC	Ủy ban Thông tin Liên bang (Mỹ)
FPT	Đường cáp tới gia đình
GATS	Hiệp định chung về thương mại và dịch vụ
GIPI	Sáng kiến chính sách Internet toàn cầu
GSM	Hệ thống thông tin vệ tinh toàn cầu
HT	Công ty Viễn thông Hà Nội
ICT	Công nghệ thông tin và truyền thông (ICT)
ILD	Đường dài quốc tế
IP	Giao thức Internet
IT	Công nghệ thông tin
ITES	Các dịch vụ trên nền IT
ITU	Liên minh Viễn thông Quốc tế
IRR	Tỷ suất nội hoàn
ISP	Nhà cung cấp dịch vụ Internet
IXP	Nhà cung cấp kết nối Internet
LAN	Mạng nội bộ
MFO	Tối huệ quốc
MP 3	MP-3
MPT	Bộ Bưu chính Viễn thông (Bộ BCVT)
NGN	Mạng thế hệ sau
NII	Cơ sở hạ tầng thông tin quốc gia
NIPTS	Viện Chiến lược Bưu chính Viễn thông
PHS	Hệ thống thông tin cá nhân PHS
PTT	Bưu chính, Điện thoại và Điện tin
RFID	Nhận dạng theo tần số

SBO	Nhà khai thác không có hạ tầng
SMS	Dịch vụ nhắn tin ngắn
SOE	Doanh nghiệp nhà nước
SPT	Công ty BCVT Sài Gòn SPT
TCP/IP	Giao thức điều khiển truyền dẫn/Giao thức Internet
TSLRIC	Chi phí tăng dần dài hạn cho toàn bộ dịch vụ
VAS	Dịch vụ giá trị gia tăng
Viettel	Công ty Điện tử Viễn thông Quân đội
VISHIPEL	Công ty Thông tin Điện tử Hàng hải
VNCI	Dự án Nâng cao Năng lực Cạnh tranh Việt Nam
VNPT	Tổng công ty BCVT Việt Nam
VOD	Video theo yêu cầu
VoIP	Dịch vụ thoại trên nền IP (VoIP)
VPN	Mạng riêng ảo
WAN	Mạng diện rộng
WiFi	Công nghệ truy cập vô tuyến WiFi
WiMax	Công nghệ vô tuyến băng rộng WiMax
WLL	Mạch vòng nội hạt
WTO	Tổ chức Thương mại Thế giới

# GIỚI THIỆU

**H**iếm có kỷ nguyên nào trong lịch sử loài người lại chứng kiến nhiều thay đổi nhanh chóng trong hình thức thông tin và giao tiếp của xã hội như thời điểm hiện nay. Nhờ những tiến bộ ngoạn mục về khả năng máy tính và truy nhập Internet băng rộng, những thành tựu gần đây của máy tính và viễn thông đã thay đổi căn bản lối sống của chúng ta. Việc truy nhập vào các phương tiện viễn thông hiện đại không còn được coi là xa xỉ nữa mà là một nhu cầu kinh tế và xã hội. Mọi khía cạnh của đời sống hiện đại đều cảm nhận được tác động này - viễn thông, y tế từ xa, giao dịch ngân hàng trên mạng, giáo dục trên mạng và Chính phủ điện tử là những ví dụ của thời đại kỹ thuật số này.

Sự hội tụ của công nghệ - mạng, các sản phẩm và dịch vụ kết hợp các thuộc tính của viễn thông, máy tính, truyền thông và giải trí, đã thay đổi bản chất cơ bản của ngành viễn thông. Công nghệ số đang thay thế công nghệ analog, Giao thức Internet (IP) đang thay thế chuyển mạch kênh, và công nghệ vô tuyến đang bổ sung cho, và trong một số trường hợp, đang thay thế mạng hữu tuyến truyền thống. Các công ty viễn thông đang tổ chức lại để thích ứng với thời kỳ thay đổi này. Các nhà cung cấp điện thoại đang nâng cấp hạ tầng để hướng tới mạng thế hệ sau (NGN), tích hợp các dịch vụ thoại, số liệu, di động và video trên một nền kết nối duy nhất.

Các nhà cung cấp đang nhanh chóng chuyển sang lĩnh vực vô tuyến, đưa vô tuyến vào các mạch vòng nội hạt (WLL) và các mạng di động vô tuyến. Trong nhiều trường hợp, các nhà khai thác đang thâm nhập thị trường thông qua việc thiết lập quan hệ đối tác để có được vốn và kỹ thuật. Ở những nước có cơ sở hạ tầng còn hạn chế, số người sử dụng mạng vô tuyến đang vượt số người thuê bao hữu tuyến; trong năm 2004 cả Malaysia và Ấn Độ đều thuộc vào nhóm này.

Sự phát triển của Internet, và sự tăng trưởng mạnh mẽ trong ngành, đang tạo ra những thách thức và cơ hội mới đối với những nhà khai thác truyền thống. Những nhà cung cấp dịch vụ Internet (ISPs) cạnh tranh đang cung cấp dịch vụ truy nhập quay số tới khách hàng, trong khi các công ty truyền hình cáp đang kết hợp truyền Internet tốc độ cao qua các mạng truyền hình trên cáp đồng trục. Các nhà khai thác cũng đáp lại bằng cách nâng cấp cơ sở hạ tầng cáp đồng của mình với những đường thuê bao số (DSL) để cung cấp Internet tốc độ cao cho khách hàng, cùng với một loạt dịch vụ giá trị gia tăng (VAS) ngoài những dịch vụ truyền thống của nhà cung cấp, đặc biệt là thư điện tử, thương mại điện tử, kết hợp với dịch vụ nhắn tin và các dịch vụ nội dung khác.

Những đổi mới và sức ép cạnh tranh sẽ tiếp tục hội tụ các mạng viễn thông với máy tính, các ngành

giải trí và truyền thông, và sẽ buộc các công ty viễn thông truyền thống triển khai việc nâng cấp công nghệ tốn kém để duy trì khả năng cạnh tranh. Ở thị trường nhiều nước, các nhà khai thác mới có khả năng cạnh tranh cao đã tham gia thị trường, một số xây dựng mạng riêng, một số thì bán lại những dịch vụ do các nhà khai thác có cơ sở hạ tầng cung cấp. Các nhà cung cấp VoIP đã nổi lên – đáng kể là Yahoo, Vonage và Skype – cung cấp điện thoại giá rẻ và ép các nhà khai thác truyền thống phải đưa ra những dịch vụ VoIP có chi phí rẻ hơn của họ, qua đó kiểm soát nguồn doanh thu của họ. Các nhà cung cấp truyền hình cáp đang giới thiệu các dịch vụ điện thoại và Internet và sẽ sớm kết hợp cả dịch vụ di động theo hình thức bán lại. Các nhà khai thác điện thoại có thể sẽ đáp lại với các dịch vụ video, đưa cáp tới thuê bao (FTP), nâng cấp mạng và liên kết với các công ty truyền thông và giải trí.

Sự hội tụ đã tạo ra những công nghệ khác làm biến dạng mô hình kinh doanh viễn thông truyền thống. Mạng Internet đã buộc các hãng phát thanh truyền hình phải phát triển các chiến lược trực tuyến, truyền hình ảnh và âm thanh qua Internet. Vô tuyến vệ tinh đã thu hút tám triệu thuê bao - một tỷ lệ thích ứng công nghệ mới nhanh hơn điện thoại di động. Các dịch vụ mới như Tivo đã đem đến chương trình truyền hình theo yêu cầu (VOD) và công nghệ

WiMax sẽ phát hình vô tuyến. Thẻ thông minh và thẻ tần số vô tuyến (RFID) đang được ứng dụng ngày càng nhiều, có thể sẽ thay đổi phương thức thông tin truyền thống và các mô hình kinh doanh ăn theo.

Những tiến bộ về công nghệ là trung tâm của cuộc cách mạng viễn thông, và việc hiểu được xu hướng công nghệ hiện nay và trong tương lai sẽ có ý nghĩa cơ bản với quá trình quản lý thay đổi. Chính phủ và những nhà làm chính sách lại thường quá thụ động, nghĩa là họ chỉ đề cập đến vấn đề công nghệ sau khi chúng tác động vào ngành này. Một trường hợp điển hình là, nhìn lại quá trình phát triển của Internet, VoIP và thương mại điện tử, các cơ quan quản lý đã rất chậm thích ứng với những thực tế về kinh tế và công nghệ vượt trội của những tiến bộ này.

Dĩ nhiên là những hiểu biết và dự báo về cách mạng công nghệ hiện nay – xem nó tác động tới mạng viễn thông, các mô hình kinh doanh và hệ thống kinh tế xã hội như thế nào – là một nhiệm vụ để làm nản chí mọi người. Nhưng việc hiểu biết những xu hướng này là then chốt để quản lý quá trình cải cách. Chưa nói đến kết quả sau cùng của cải cách, có thể kể đến một vài xu hướng công nghệ đang trở thành những động lực có ảnh hưởng trong ngành:

- **Tỷ lệ ứng dụng công nghệ:** So với những công nghệ trước, các mạng và dịch vụ công nghệ mới như vô tuyến vệ tinh, điện thoại di động, máy vi tính và mạng Internet đều đã nhanh chóng được phân bổ xã hội chấp nhận, một phần là vì chính

những tiến bộ trong ngành viễn thông;

- **Sự phát triển của các hệ thống vô tuyến:** Sự thương mại hóa của các công nghệ vô tuyến như công nghệ di động thế hệ thứ ba và thế hệ thứ tư (3G, 4G), công nghệ tế bào, WLL, các hệ thống truyền dẫn băng truyền rộng như vô tuyến cố định băng rộng (WiFi) và WiMax, và RFID đã tác động tới sự phát triển của thiết bị, mạng và dịch vụ viễn thông;
- **Công nghệ vệ tinh:** Các nhà cung cấp dịch vụ vệ tinh với chi phí hiệu quả mới như PanAmSat đóng một vai trò ngày càng quan trọng trong mạng lưới viễn thông toàn cầu. Vô tuyến vệ tinh và mạng Internet đã trở thành những phần quan trọng của những mạng này;
- **Công nghệ nén dữ liệu:** Công nghệ nén như TCP/IP (Internet), CDMA (không dây) MP3 (nghe trực tuyến), lade quang, công nghệ ghép bước sóng giờ đây cho phép truyền dữ liệu với tốc độ nhanh hơn và ảnh hưởng đến cấu trúc của các hệ thống viễn thông và phần mềm;
- **Sự gia tăng liên kết mạng:** Sự thương mại hóa về Internet, intranet và extranet sẽ thay đổi cơ cấu tổ chức và cấu trúc mạng viễn thông. Khi sự phát triển các mạng nội bộ, mạng diện rộng (LAN, WAN) và các mạng riêng ảo (VPN) còn tiếp tục thì sự lắp đặt các hệ thống mạng ở gia đình (kết hợp cả các mặt hàng điện tử) có thể trở thành một ngành công nghiệp chủ chốt;

- **Thương mại điện tử:** Nhiều sản phẩm và dịch vụ có sẵn trên mạng, về cơ bản có thể làm thay đổi các quá trình quảng cáo truyền thống, marketing, quá trình bán hàng và chăm sóc khách hàng. An toàn trên mạng, quyền sở hữu trí tuệ và nhận dạng kẻ trộm cũng là những vấn đề nổi cộm;
- **Điện thoại IP:** Các hệ thống điện thoại chuyển mạch kênh đang chuyển hướng tới công nghệ VoIP, tác động tới các nhà sản xuất thiết bị và cung cấp dịch vụ truyền thống;
- **Mạng thông minh và phần mềm:** Mạng thông minh đang phát triển qua các bộ định tuyến Internet. Phần mềm ngày càng trở nên thông minh hơn và dễ sử dụng hơn với những hệ thống nhận dạng lời nói có thể sẽ được ứng dụng nhiều trong tương lai. Sự nhận dạng về hình ảnh đang dần hoàn thiện, công nghệ tần số vô tuyến đang phát triển mạnh;
- **Sự hội tụ:** Những ranh giới giữa máy tính, viễn thông và giải trí sẽ dần dần mất đi. Những dịch vụ lai ghép mới công nghệ thông tin hoặc viễn tin đang ngày càng được thương mại hóa. Những rào cản về kỹ thuật và quy định giữa các ngành và dịch vụ sẽ dần dần mờ đi.

Dĩ nhiên, hầu hết những xu hướng này đều gắn kết với nhau và lẫn lộn sẽ ảnh hưởng tới loại hình công nghệ, kiến trúc và dịch vụ được cung cấp cho người sử dụng đầu cuối. Những xu hướng này không loại trừ nhau. Tuy nhiên, chúng có thể tạo ra khởi điểm để những người hoạch định chính

sách có thể hiểu biết hơn nữa về các công nghệ tương lai và định ra chiến lược viễn thông phù hợp.

Có ý nghĩa quan trọng không kém là vai trò thống nhất trên toàn cầu của viễn thông trong việc thúc đẩy sự phát triển kinh tế và phúc lợi xã hội. Mạng viễn thông tạo nền tảng cho cả những ngành khác, từ công nghệ thông tin tới quá trình thuê ngoài (outsourcing) trong kinh doanh (BPO) và thương mại điện tử. Ngoài mạng viễn thông cơ bản thiết thực thì bản chất vốn có của những ngành này đòi hỏi phải có sự đầu tư của thành phần tư nhân, hợp tác qua biên giới và thương mại toàn cầu.

## **Vậy điều này có ý nghĩa như thế nào đối với Việt Nam?**

Các cấp lãnh đạo của Việt Nam hiểu được những thay đổi cơ bản đang đối mặt với cộng đồng quốc tế và trong đầu những năm 1990s đã thực hiện chính sách Đổi Mới (nghĩa đen là “đổi và mới”), một chính sách nhằm hiện đại hóa nền kinh tế của Việt Nam bằng cách áp dụng cạnh tranh trong nhiều ngành. Trước thời điểm này, ngành viễn thông được cơ cấu theo mô hình Bưu chính, Điện thoại và Điện tín (PTT), là công ty Nhà nước độc quyền chịu trách nhiệm mọi mặt về tất cả các lĩnh vực dịch vụ bưu chính và viễn thông, từ hoạch định chính sách, quản lý, tới khai thác điện thoại, chuyển phát bưu chính, v.v... Năm 1993, cạnh tranh hạn chế và một lượng nhỏ đầu tư tư nhân đã được áp dụng, cơ chế độc quyền của Tổng công ty Bưu chính Viễn thông Việt Nam (VNPT) đã chấm dứt. Hơn

nữa, Chính phủ đã tách việc khai thác viễn thông do VNPT thực hiện và thành lập Tổng cục Bưu điện (DGPT), sau này trở thành Bộ Bưu chính Viễn thông (MPT). Những báo cáo mới gần đây thậm chí còn cho thấy kế hoạch của VNPT là huy động vốn cho công ty điện thoại di động qua việc bán cổ phần cho công chúng thay vì gia hạn Hợp đồng Hợp tác Kinh doanh (BCC) với các đối tác nước ngoài hiện nay.

Những hành động này đã mang lại sự phát triển nhanh của ngành Viễn thông Việt Nam trong thập kỷ qua. Năm 1995, Việt Nam có chưa đến một triệu đường dây điện thoại cố định và chỉ có 23.500 thuê bao di động. Trong một nghìn người chỉ có bốn người có điện thoại cố định. Mạng lưới lạc hậu và Internet vẫn chưa đến được với đất nước này. Ngày nay, Việt Nam đã có hơn năm triệu đường dây điện thoại mặt đất và 2,5 triệu người sử dụng điện thoại di động, làm gia tăng mật độ sử dụng điện thoại tới gần 5%. Gần 2 triệu người có tài khoản Internet và mạng truyền số liệu đã được lắp đặt ở tất cả các tỉnh thành. Gần 90% cộng đồng nông thôn hiện nay đã được kết nối và có công nghệ mới, chẳng hạn như VoIP và WiFi ngày càng được sử dụng nhiều. Nhưng điều quan trọng nhất là việc mở rộng mạng và áp dụng các dịch vụ tiên tiến sẽ tiếp tục phát triển nhanh.

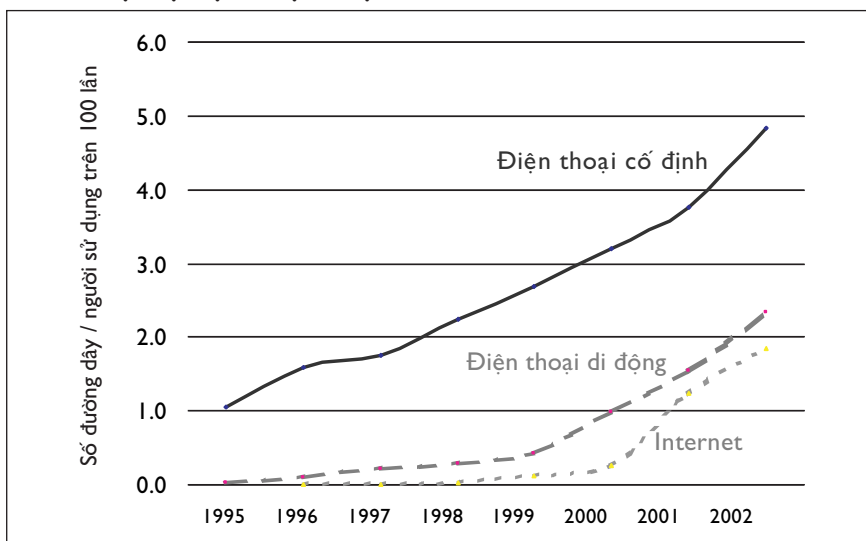
Mặc dù những thành quả đạt được đầy ấn tượng trong việc mở rộng mạng, áp dụng cạnh tranh và giảm giá, nhưng Việt Nam vẫn đứng sau các nước khác trong khu vực và cách xa những mục tiêu phát

triển của mình về viễn thông. Những cải cách về luật pháp và thể chế đã góp phần lớn nhất vào các thành quả đạt được – các quy định pháp luật được cải thiện, bước đầu có cạnh tranh hạn chế, đầu tư của khu vực tư nhân và nước ngoài – nhưng so với tiêu chuẩn quốc tế thì ngành viễn thông của Việt Nam vẫn còn khép kín và chưa minh bạch. Hơn nữa, mặc dù có cạnh tranh ở hầu hết các lĩnh vực trong ngành viễn thông nhưng hầu hết những đối tượng tham gia chính đều của Nhà nước và có sự sở hữu chéo giữa các nhà khai thác Nhà nước.

Một điều đáng chú ý trong ngành viễn thông Việt Nam là ngành này không có một cơ quan quản lý độc lập, và cũng chưa có kế hoạch nghiêm túc để thành lập. Theo kinh nghiệm quốc tế, thì chuẩn mực chung là có một cơ quan quản lý độc lập, và hơn 100 nước đã áp dụng mô hình này. Cơ cấu này về lâu dài có thể hữu ích cho Việt Nam, để thích ứng với môi trường cạnh tranh gia tăng, công nghệ tiên tiến, và các bên liên quan như người tiêu dùng, các hiệp hội và những nhà sản xuất.

Về mạng lưới, Việt Nam là một trong những nước phát triển nhanh nhất trên thế giới, mặc dù từ bước khởi đầu rất thấp. Số đường dây điện thoại cố định đã tăng từ 0,4 máy trên 100 dân năm 1995 tới 5 máy trên 100 dân vào năm 2003, ở mức tỷ lệ tăng trưởng trung bình lũy tiến (CAGR) là 45%. Số thuê bao điện thoại di động tăng từ 23.500 năm 1995 tới 1.480.000 vào tháng 6 năm 2002 với mức tỷ lệ tăng trưởng trung bình là 80%. Mục tiêu mà Chính

**Biểu 1: Mật độ điện thoại ở Việt Nam**



Nguồn: ITU.

phủ đặt ra cho năm 2005 là mật độ điện thoại sẽ đạt 10 máy trên 100 dân. Theo hầu hết những nguồn tin thu thập được thì hiện nay Việt Nam đã có một cơ sở hạ tầng về vật chất khá tốt. Truy nhập Internet cũng phát triển mạnh từ năm 2000. Biểu đồ 1 cho thấy sự tăng trưởng về tỷ lệ truy nhập đối với điện thoại cố định, di động và các dịch vụ Internet.

Trong thời gian từ 1998 - 2003, sự tăng trưởng trung bình về mạng ở Việt Nam là 26,8%, là một trong những nước cao nhất trong khu vực, mặc dù có xuất phát điểm thấp. Nếu như sự tăng trưởng này còn tiếp tục, Việt Nam sẽ đạt mục tiêu lắp đặt 10 triệu máy vào năm 2006 và đạt mật độ điện thoại là 30% trong một thập kỷ. Tuy nhiên, trong một chừng mực nào đó, sự tăng trưởng dễ dàng này sẽ qua mau (chẳng hạn như do nhu cầu đã bão hòa ở những khu đô thị). Để đạt được sự mở rộng mạng cho giai đoạn tới, Việt Nam sẽ cần phải đầu tư hàng tỷ đôla vào những thành phố nhỏ hơn và

những vùng nông thôn. Mặc dù mật độ của Việt Nam là cao so với tiêu chuẩn trong khu vực, nhưng thậm chí với sự gia tăng như hiện nay, Việt Nam vẫn đứng sau các nước đang phát triển trên thế giới. Thậm chí nếu như Việt Nam đạt được những mục tiêu đặt ra hiện nay, thì Việt Nam sẽ vẫn tiếp tục đứng sau các đối thủ cạnh tranh trong khu vực (Xem Biểu 2).

Môi trường cạnh tranh ở Việt Nam cũng đang được cải thiện, mặc dù với một tốc độ rất chậm. Sau những thay đổi cơ bản về quản lý từ giữa cho tới cuối những năm 90, thì vị trí chủ đạo của công ty độc quyền Nhà nước – VNPT – trong chừng mực nào đó đã bị phá bỏ và bắt đầu có sự tham gia của các doanh nghiệp Nhà nước khác. Nhưng Việt Nam phải hành động một cách kiên quyết và nhanh chóng nếu Chính phủ có ý định nghiêm túc để đạt được và duy trì những tiêu chuẩn của khu vực về phát triển viễn thông.

Tuy nhiên, những sự kiện gần đây cho thấy rằng Việt Nam đang kiên định trên con đường tự do hóa. Theo một vài thông cáo của Chính phủ gần đây thì Nhà nước đang tiến bước nhanh với công cuộc cải cách, trong khi đó những đối thủ cạnh tranh cũng đang tiến tới triển khai áp dụng những dịch vụ cạnh tranh gay gắt và giới thiệu công nghệ mới. Như một số ví dụ sau:

- Một quyết định gần đây của Chính phủ (Quyết định số 58/2005/QĐ-TTg) về việc tái cơ cấu VNPT thành một tổ hợp công ty mẹ - công ty con gồm có một hội đồng quản trị quản lý công ty mẹ, và tách các công ty bưu chính và viễn thông. Kế hoạch này, dự kiến sẽ hoàn thành vào Quý 4 năm 2005, sẽ là một bước quan trọng trong việc tổ chức lại VNPT.
- Trong lĩnh vực thông tin di động, Công ty Viễn thông Quân đội (Viettel), một nhà khai thác cạnh tranh thuộc khu vực Nhà nước, đã cung cấp dịch vụ vào năm 2004 và đã có được 200.000 thuê bao trong bốn tháng đầu triển khai (một dấu hiệu của nhu cầu cao). Công ty này có kế hoạch đầu tư hơn 5 triệu đôla để đạt được 1,1 triệu khách hàng vào tháng 10 năm 2005. Một vài nhà khai thác di động khác hiện nay cũng đang cạnh tranh kinh doanh, giá cả sẽ giảm và Việt Nam sẽ sớm có nhiều thuê bao di động hơn điện thoại cố định truyền thống.
- Công ty Truyền thông FPT, nhà cung cấp dịch vụ Internet tư nhân lớn nhất, đã đặt các thiết bị để cung cấp dịch vụ video tới khách hàng của mình.

**Biểu 2: Những chỉ số viễn thông của các nước ASEAN**

Tên nước	Dân số (triệu-2002)	GDP/đầu người US\$-2001	Mật độ điện thoại cố định/100 dân	Mật độ di động/100 dân	Tổng số thuê bao viễn thông/100 dân	Thuê bao Internet/10.000 dân
Brunei Darussalam	0,358	12.447	25,95	46,80	72,75	1.023,00
Campuchia	13,790	254	0,28	2,54	2,82	21,76
Indonesia	212,110	1.002(2003)	3,65	5,52	9,17	377,16
Lào	5,530	324	1,57	3,64	5,21	27,11
Malaysia	24,530	3.684	18,30	41,30	59,60	3.196,00
Myamar	48,980	148	0,61	0,03	0,64	2,07
Philippine	79,480	913	4,17	10,36	23,53	437,60
Singapore	4,160	20.752	46,29	79,56	125,85	5.396,00
Thái Lan	61,890	1.874	10,51	26,04	36,54	775,61
Việt Nam	81,250	406	4,84	2,02	6,86	184,62
Trung bình ĐNA	-	4.150	11,60	21,40	33,03	1.144,37
Trung bình châu Á	-	2.296	11,99	12,41	24,40	584,75

Ghi chú: Các nước cao hơn mức trung bình của ASEAN được tô đậm.

Nguồn: Chỉ số viễn thông thế giới của ITU, 2003.

- Hanoi Telecom đã ký một thỏa thuận với công ty viễn thông Hutchison có trụ sở tại Hồng Kông để đầu tư 656 triệu đôla xây dựng một mạng lưới di động CDMA tại Hà Nội.

Những hành động này thể hiện xu hướng và đường lối của chương trình tự do hóa của Việt Nam. Phần còn lại của báo cáo này sẽ tập trung vào môi trường cạnh tranh tổng thể và thực trạng của những cơ quan chính trong ngành viễn thông.

Hiểu được tầm quan trọng của viễn thông và công nghệ thông tin đối với nền kinh tế và phúc lợi của nhân dân, Chính phủ Việt Nam đã

đặt ra những mục tiêu tham vọng để đổi mới những ngành này, xây dựng cơ sở hạ tầng mạng thế hệ tới (NGN) và áp dụng công nghệ và dịch vụ tiên tiến cho khách hàng và các doanh nghiệp. Lãnh đạo Việt Nam cũng hiểu được những cản trở, ví dụ như khoảng cách còn tồn tại giữa Việt Nam và các nước khác ở Đông Nam Á cũng như với các đối tác thương mại quan trọng. Ngày càng có sự nhận thức rõ ràng hơn rằng cơ cấu hiện tại của ngành viễn thông – sự chi phối thị trường của một công ty Nhà nước, hạn chế sự tham gia của thành phần tư nhân, những vấn đề về tính minh bạch trong công tác quản lý – sẽ không giúp ích

cho việc đạt được các mục tiêu đầy tham vọng của đất nước. Đồng thời, cũng đã có sự nhận thức rõ ràng hơn về vai trò quan trọng của thành phần tư nhân trong việc huy động vốn, công nghệ và trình độ chuyên môn.

Mục đích của báo cáo này là để cung cấp một đánh giá về tình hình hiện nay của ngành viễn thông Việt Nam, tập trung vào những thay đổi trong quản lý gần đây, tình trạng cạnh tranh, và những hành động mà Chính phủ đòi hỏi ngành phải thực hiện. Báo cáo này giới thiệu tình trạng hiện nay của ngành, đánh giá những sự kiện gần đây và tác động của chúng, xem xét những yếu tố cơ

cấu chính - Chính phủ, nhà khai thác và khách hàng. Để tham khảo, báo cáo này cung cấp một số so sánh quốc tế và khu vực. Nội dung của báo cáo này cập nhật bản thảo đã ra tháng 12 năm 2004. Báo cáo này không có ý định thay thế tài liệu tháng 12 mà là để bổ sung và tập trung vào những thay đổi gần đây trong ngành viễn thông.

**Chương 1** giới thiệu tổng quan về tình hình hiện nay của ngành viễn thông Việt Nam. Trong đầu những năm 1990, Chính phủ đã thực hiện chính sách Đổi Mới, là chính sách nhằm hiện đại hóa nền kinh tế Việt Nam bằng cách thông qua cạnh tranh đa ngành. Trước thời điểm này, ngành viễn thông Việt Nam được tổ chức theo mô hình PTT. Trong mô hình này công ty độc quyền PTT thuộc Chính phủ đảm trách tất cả các dịch vụ về bưu chính viễn thông - về chính sách, quản lý và khai thác. Năm 1993, cạnh tranh có hạn chế và một số ít đầu tư tư nhân đã được thực hiện trong ngành viễn thông và tình trạng độc quyền của PTT (VNPT) chính thức chấm dứt, mặc dù hiện nay công ty này vẫn giữ vai trò chủ đạo. Chính phủ đã thành lập một cơ quan quản lý và hoạch định chính sách cấp Bộ, kết hợp hai chức năng này vào một cơ quan duy nhất. Số lượng đầu tư trong và ngoài nước tuy còn hạn chế nhưng cũng đã được cho phép dưới hình thức công ty cổ phần và hợp đồng hợp tác kinh doanh (BCC) với các đối tác nước ngoài. Những động thái này đã làm cho ngành viễn thông Việt Nam phát triển nhanh, từ chưa đến một triệu máy năm 1995 (4 máy/1000 người) tới nay là 7,5 triệu máy (5

máy/100 người). Hệ thống mạng đã được nâng cấp và mạng Internet đang phát triển rất nhanh. Đã có các dịch vụ VoIP và WiFi mới. Tuy nhiên, mặc dù Việt Nam đã đạt được những thành tựu ấn tượng trong đổi mới, phát triển mạng và cạnh tranh, nhưng vẫn đứng sau các nước trong khu vực và còn cách xa những mục tiêu mạnh mẽ mà Nhà nước đặt ra. Tuy nhiên, những sự kiện gần đây cho thấy Chính phủ đang cam kết để tổ chức lại PTT - doanh nghiệp Nhà nước, cho phép một số hình thức đầu tư mới trong và ngoài nước và thúc đẩy các chính sách tự do hóa ngành này.

**Chương 2** nêu cụ thể khung pháp lý và thể chế của ngành viễn thông Việt Nam. Từ năm 1993, Chính phủ đã ra một loạt các văn bản quan trọng để thay đổi môi trường pháp lý cho phát triển ngành. Năm 2001, Chính phủ đã ban hành chiến lược, nêu bật những định hướng và mục tiêu quan trọng tới năm 2010 và tầm nhìn dài hạn tới năm 2020. Để theo kịp chiến lược này, Chính phủ đã ban hành các nghị định có liên quan để hoàn thiện chính sách của Chính phủ. Sau đó, đã có các quyết định bổ sung cung cấp những chi tiết hoàn thiện và làm rõ những điều khoản về pháp luật và quản lý. Việt Nam đang đi đúng hướng, nhưng quá trình cải cách về pháp luật và quản lý vẫn chưa hoàn tất. Có những quan ngại về luật pháp cho rằng chính sách của Việt Nam kìm hãm cạnh tranh thực sự và hạn chế đầu tư từ khu vực tư nhân và nước ngoài. Chính phủ cũng cần đẩy mạnh và minh bạch hóa quá trình hoạch định chính sách, và khởi xướng các cải cách để nâng cao

tính minh bạch trong môi trường quản lý. Những vấn đề liên quan tới quan hệ kết nối của Việt Nam cũng được thảo luận, các vấn đề như bù chéo, những vấn đề liên quan đến các hiệp ước cũng được thảo luận chi tiết.

**Chương 3** là một bức tranh tổng thể về cơ cấu thị trường hiện nay và vai trò của sở hữu Nhà nước đối với những nhà khai thác viễn thông ở Việt Nam. Trong khi cạnh tranh đã được áp dụng trong một số ngành, công ty PTT của Nhà nước vẫn tiếp tục thống lĩnh thị trường - kiểm soát gần 95% thị trường viễn thông trong cả nước. PTT chi phối mọi thị phần về viễn thông và sở hữu cả những doanh nghiệp không phải nòng cốt về những lĩnh vực như trang thiết bị, cơ khí, xây dựng và tư vấn. Nhiều nhà khai thác mới cũng do Nhà nước sở hữu, do vậy làm hạn chế vai trò của những nhà khai thác tư nhân trong và ngoài nước. Chính vị trí thống trị này đã kìm hãm cạnh tranh thực sự và ngăn cản các đối thủ cạnh tranh tiềm năng đầu tư vào thị trường này.

Phần này cũng xem xét vai trò của đầu tư trong và ngoài nước vào ngành viễn thông Việt Nam, tập trung vào vai trò của hợp đồng hợp tác kinh doanh (BCC) và tác động của Hiệp định Thương mại Song phương Việt - Mỹ quy định việc mở cửa thị trường Việt Nam với Mỹ. Hiệp định này cũng tạo ra một viễn cảnh về vai trò của khu vực đầu tư tư nhân và nước ngoài. Cho đến nay, các công ty Việt Nam đã tham gia 11 BCC để thu hút đầu tư và công nghệ của nước ngoài. Đáng chú ý là BCC gần đây nhất được cơ cấu giống như một



liên doanh và có những điều khoản để chuyển đổi mô hình chủ sở hữu một khi luật pháp Việt Nam cho phép điều này. Như một tài liệu tham khảo, phần này cũng giới thiệu ngắn gọn về việc tư nhân hóa những tài sản viễn thông của Nhà nước trong khu vực.

**Chương 4** thảo luận về vai trò chi phối của VNPT và khảo sát những hành vi chống cạnh tranh. Nghiên cứu này cũng cung cấp những ví dụ về những hành vi phi cạnh tranh chủ yếu được VNPT sử dụng để hạn chế cạnh tranh, chẳng hạn như việc phân bổ không công bằng hạ tầng mạng, áp dụng mức giá cao đối với những hạ tầng mạng, bù chéo, từ chối một số dịch vụ, ép dùng các dịch vụ của VNPT, lạm dụng các tiêu chuẩn kỹ thuật để cản trở các dịch vụ cạnh tranh. Chương này cũng xem xét các cơ sở chiến lược hợp lý cho việc tư nhân hóa VNPT.

**Chương 5** cho biết kết quả khảo sát thị trường của những người sử dụng viễn thông dựa trên phản hồi từ 89 công ty Việt Nam. Khảo sát này đề cập đến các loại hình dịch vụ được sử dụng, chất lượng và giá cả. Chương này cung cấp chi tiết các đánh giá khảo sát và đưa ra những kết luận sau:

- Việt Nam có mạng viễn thông hoạt động tốt và đáng tin cậy, kết nối nhanh nhưng tốc độ đường truyền thường chậm;
- Mặc dù các dịch vụ mới đã sẵn sàng, nhưng hầu hết các doanh nghiệp vẫn tiếp tục tập trung sử dụng mạng điện thoại truyền thống và dịch vụ Internet, điều đó cho thấy những nền tảng quan trọng cho đổi mới vẫn chưa được khai thác;

- Hầu hết những quan ngại của các doanh nghiệp tập trung chủ yếu vào vấn đề giá viễn thông cao. Giảm giá có thể sẽ tăng đáng kể nhu cầu sử dụng dịch vụ viễn thông. Giảm giá 1/3 có thể sẽ làm cho thị trường viễn thông tăng 25-30%;
- Nâng cao khả năng cung cấp dịch vụ (bao gồm cả với giá cước thấp hơn) sẽ làm cho mức độ cạnh tranh giữa các hãng được cải thiện qua doanh thu và tổng thu nhập cao hơn một cách đáng kể, lợi nhuận được cải thiện và mức độ đổi mới gia tăng.

**Chương 6** đề xuất một khuôn khổ có thể được sử dụng để tiếp tục phát triển, trong đó nêu nổi bật những lĩnh vực hành động chính gợi ý cho Chính phủ Việt Nam. Những gợi ý này được xây dựng trên cơ sở nghiên cứu trước đây của Ngân hàng Thế giới (WB) và Dự án Nâng cao Năng lực Cạnh tranh Việt Nam (VNCI), và tập trung vào nhu cầu tạo ra sự đồng thuận đối với cải cách giữa:

- Chính phủ - về chiến lược, chính sách và quản lý;
- Doanh nghiệp - nhà khai thác, nhà cung ứng và các doanh nghiệp liên quan;
- Người tiêu dùng và xã hội dân sự - khách hàng doanh nghiệp và cư dân, các hiệp hội, các tổ chức thương mại .v.v...

Chương này đưa ra các khuyến nghị cụ thể để cải thiện các lĩnh vực sau trong ngành viễn thông Việt Nam:

- Chính sách viễn thông;
- Tính minh bạch trong quản lý;

- Tăng cường chế độ kết nối ở Việt Nam;
- Củng cố cơ chế cấp phép;
- Cân đối lại hệ thống giá cước;
- Cải cách VNPT.

Cuối cùng, VNCI sẽ nêu bật nhu cầu cần tổ chức một hội nghị các bên liên quan đến viễn thông Việt Nam, mục đích nhằm làm cho những nhà làm chính sách và các bên liên quan cùng nhau thảo luận những vấn đề quan trọng liên quan tới quá trình tự do hóa và cải cách đang diễn ra. Hội nghị này không chỉ nhằm thảo luận mà còn xây dựng một sự đồng thuận ý kiến giữa những nhà lãnh đạo và các nhà làm chính sách, điều này giúp Việt Nam xây dựng được một môi trường viễn thông cạnh tranh lành mạnh.

Các quan sát gần đây cho thấy bức tranh rất lạc quan về tình hình kinh tế hiện nay của đất nước và cam kết cải cách của Việt Nam. Với mức tăng trưởng 7,7% năm 2004, phần lớn do tự do hóa đang diễn ra trong nhiều ngành kinh tế và sẽ đạt mục tiêu 8,5% cho năm 2005, Việt Nam sẽ có một tương lai xán lạn. Ngân hàng Phát triển Á châu (ADB) dự báo mức tăng trưởng kinh tế của Việt Nam năm 2005 sẽ là 7,6%. Tuy nhiên cũng còn có những quan ngại về tốc độ cải cách và các đối thủ cạnh tranh mạnh trong khu vực. Quá trình cải cách của Chính phủ đã bắt đầu từ đầu những năm 90, nhưng các khía cạnh quan trọng của tự do hóa kinh tế - gồm cả những lĩnh vực chính trong ngành viễn thông thì vẫn chưa hoàn thiện. Trong khi Chính phủ đang chuyển động đúng hướng, vẫn có những câu hỏi nghiêm túc về tốc độ và chiều sâu

của quá trình tự do hóa trong 15 năm qua.

Việt Nam đang gặp phải sự cạnh tranh gay gắt về kinh tế và thương mại từ những nền kinh tế lớn, cả những nước đã và đang phát triển. Các công ty của Việt Nam và công ty nước ngoài cạnh tranh với nhau và so sánh Việt Nam với những nước mạnh về công nghệ

như Singapore, Đài Loan, Nhật Bản và Hàn Quốc. Việt Nam có biên giới với Trung Quốc và là láng giềng với Ấn Độ - hai cường quốc nổi trội với khát vọng cạnh tranh cao về lĩnh vực sản xuất, chuyển giao và đổi mới công nghệ. Các đối thủ khác trong khu vực gồm Malaysia, Indonesia và

Philippine, cả ba nước này đều có cơ cấu viễn thông tiên bộ.

Hướng đi của Việt Nam thì rất rõ ràng - đó là cải cách VNPT, thành lập một cơ quan quản lý độc lập, thông qua cạnh tranh thực sự, chấm dứt sự can thiệp của Chính phủ trong ngành viễn thông. Nhưng vấn đề là: Khi nào?

# KHUÔN KHỔ PHÁP LÝ VÀ THỂ CHẾ

Việt Nam đã có những thay đổi cơ bản và quan trọng về môi trường pháp lý với mục tiêu thành lập một ngành viễn thông mạnh mẽ và cạnh tranh, điều này lần lượt sẽ là nền tảng cho sự tăng trưởng kinh tế trong ngành viễn thông và các doanh nghiệp có khả năng về công nghệ thông tin. Tuy nhiên, quá trình cải cách của Việt Nam vẫn chưa hoàn thiện. Có những quan ngại về luật pháp cho rằng chính sách của Việt Nam kìm hãm cạnh tranh và làm hạn chế đầu tư của khu vực tư nhân và nước ngoài. Về tính minh bạch trong quản lý, cơ quan quản lý hiện nay không thực sự đạt được những chuẩn mực quốc tế về độc lập, điều này tác động tới việc

cấp phép, kết nối không phân biệt đối xử và bù chéo về giá cước. Hơn nữa, Việt Nam vẫn chưa thực hiện được nghĩa vụ của mình theo hiệp định song phương với Mỹ, cụ thể là đối với những nhà đầu tư Mỹ, những vấn đề này đã tạo ra sự bất ổn và tính rủi ro cho những nhà khai thác thị trường mới và những nhà đầu tư, làm hạn chế việc phát triển mạng, giới thiệu những dịch vụ mới và tăng trưởng kinh tế tổng thể.

## Trách nhiệm của các Bộ ngành đối với chính sách viễn thông Việt Nam

Như hầu hết Chính phủ của các nước trên thế giới, việc lập chính

sách cho một ngành phức tạp như ngành viễn thông đòi hỏi phải có hành động từ các Bộ ngành. Do tính phức tạp của ngành viễn thông và tác động của ngành đối với toàn bộ nền kinh tế, xây dựng chính sách của Việt Nam nhất thiết phải có nhiều tổ chức. Biểu 3 chỉ ra vai trò và trách nhiệm của các cơ quan khác nhau trong Chính phủ trong việc hoạch định chính sách quốc gia.

## Bộ Bưu chính Viễn thông

Theo những thay đổi gần đây trong pháp luật viễn thông, Bộ Bưu chính Viễn thông là cơ quan chủ đạo trong chiến lược, chính sách và quản lý viễn thông. Không

**Biểu 3: Phân bổ trách nhiệm chính trong chính sách viễn thông**

Cơ quan	Trách nhiệm
Các Phó Thủ tướng (DPM)	Trong 4 Phó Thủ tướng, thì một theo dõi về viễn thông, một về ICT và một về Chính phủ điện tử.
Văn phòng Chính phủ (OOG)	Văn phòng này đóng vai trò là Ban Thư ký của Thủ tướng và Phó Thủ tướng, là đầu mối điều phối chính sách liên ngành, OOG điều hành Chính phủ điện tử, tập trung vào việc xây dựng mạng liên bộ và liên tỉnh.
Bộ Bưu chính Viễn thông (MPT)	Lập chính sách và quản lý khu vực viễn thông, đại diện quản lý vốn của Nhà nước đối với những nhà khai thác hạ tầng cơ sở, gồm cả VNPT.
Bộ Thương mại (MOT)	Lập chính sách, lập pháp và chương trình về thương mại điện tử.
Bộ Khoa học Công nghệ (MOST)	Phát triển các chương trình nghiên cứu và triển khai đối với viễn thông và ICT; xây dựng tiêu chuẩn ICT. Trước đây là cơ quan chính sách chủ chốt về ICT, nhưng vai trò này đã thay đổi kể từ khi có MPT.
Bộ Kế hoạch Đầu tư (MPI)	Đảm bảo đầu tư đầy đủ và kịp thời cho sự phát triển theo kế hoạch.
Ban Chỉ đạo Quốc gia về ICT	Điều phối việc thực hiện kế hoạch IT quốc gia (gồm viễn thông, ICT và các dự án ICT, chức năng và trách nhiệm của tất cả các Bộ ngành).

Nguồn: Ngân hàng Thế giới.

giống như nhiều nước thành lập được cơ quan quản lý độc lập và tự chủ, Bộ Bưu chính Viễn thông là cơ quan hành chính của Nhà nước chịu trách nhiệm xây dựng chính sách và quản lý Nhà nước về bưu chính, viễn thông, IT, điện tử, mạng Internet, kỹ thuật phát sóng và truyền phát radio, quản lý tần số radio và cơ sở hạ tầng thông tin quốc gia. MPT quản lý các dịch vụ công cộng và đại diện chủ sở hữu cho phần vốn Nhà nước trong các doanh nghiệp về bưu chính, viễn thông và IT. Chức năng chính bao gồm:

### Chức năng hoạch định chính sách:

- Trình Chính phủ các dự luật về luật, pháp lệnh, quy định, chiến lược và các kế hoạch phát triển về bưu chính, viễn thông và IT;
- Hướng dẫn thực hiện luật, pháp lệnh, quy định cũng như các kế hoạch và chiến lược phát triển liên quan tới bưu chính, viễn thông và IT;
- Hướng dẫn các hoạt động hợp tác quốc tế về bưu chính, viễn thông và IT.

### Chức năng quản lý:

- Quản lý truy nhập và kết nối giữa các mạng điện thoại công cộng, các mạng đặc biệt và mạng tư nhân;
- Quản lý kế hoạch phát triển điện tử và ngành IT;
- Quản lý cước phí trong những lĩnh vực về bưu chính, viễn thông và IT;
- Lập kế hoạch và phân bổ tần số vô tuyến;
- Kiểm soát và giám sát tần số phổ radio và thiết bị vô tuyến,

cơ cấu tần số vô tuyến, hợp tác lắp đặt vệ tinh quỹ đạo;

- Cấp giấy phép về bưu chính, viễn thông, tần số vô tuyến và mạng Internet;
- Quản lý chất lượng bưu chính, viễn thông và mạng IT, các nhà máy, sản phẩm và dịch vụ;
- Quản lý kho số, mã vùng và tên miền;
- Thanh tra tất cả các hoạt động và giải quyết những vi phạm về quản lý trong lĩnh vực bưu chính, viễn thông và IT<sup>1</sup>.

### Chính sách và chiến lược phát triển viễn thông

Được Chính phủ ban hành năm 2001, chiến lược phát triển bưu chính, viễn thông của Việt Nam phác thảo mục tiêu chính sách tới năm 2010 và tầm nhìn dài hạn tới năm 2020.

- **Nguyên tắc cơ bản của** chiến lược này khá cởi mở, làm rõ mục tiêu của Chính phủ là cho phép cạnh tranh và sự tham gia của khu vực tư nhân, và hội nhập Việt Nam vào cộng đồng quốc tế. Những đoạn trích chiến lược dưới đây nhấn mạnh vào cam kết rõ ràng của Chính phủ về tự do hóa dài hạn ngành viễn thông trong nước;
- **Nguyên tắc chiến lược hai:** Phát huy mọi nguồn lực của đất nước, tạo điều kiện thuận lợi cho các thành phần kinh tế tham gia phát triển BCVT trong một môi trường cạnh tranh công bằng, minh bạch do Nhà

nước quản lý theo những cơ chế thích hợp;

- **Nguyên tắc chiến lược 3:** Chủ động hội nhập quốc tế, phát triển đi đôi với đảm bảo an toàn thông tin và an ninh quốc gia.

Bản Chiến lược cũng đề ra các mục tiêu phát triển chiến lược, đáng chú ý là:

- Vị thế của ngành viễn thông như một ngành dẫn đầu để thúc đẩy và tạo điều kiện cho tăng trưởng kinh tế tổng thể ở tất cả các vùng trong nước;
- Ban hành văn bản chính sách và quản lý để thúc đẩy các dịch vụ trên nền IT (ITES);
- Phát triển cơ sở hạ tầng thông tin quốc gia (NII) để triển khai viễn thông tốc độ cao và công nghệ mới trên cả nước;
- Đảm bảo cung cấp nhiều loại hình dịch vụ;
- Vào khoảng năm 2010 sẽ tăng tỉ lệ sử dụng điện thoại và truy nhập Internet đạt mức trung bình trong khu vực;
- Áp dụng cạnh tranh, với mục tiêu để những nhà khai thác cạnh tranh đạt được 25-30% thị phần vào năm 2005 và 40-50% vào năm 2010;
- Cải cách giá cước để làm giảm chi phí cho người tiêu dùng so với mức chi phí trung bình trong khu vực.

Bản chiến lược này cho thấy một bước ngoặt rõ rệt trong quá trình tự do hóa của Việt Nam vì nó phản ánh sự thay đổi lớn trong chính sách. Bổ sung thêm vào quá trình cải cách cơ cấu cơ bản của Chính phủ, bản chiến lược hướng

1. Nguồn: MPT Website.

đến trách nhiệm và vai trò mới, và một điều quan trọng nhất là đặt ra những chỉ số cơ bản để đánh giá thành công. Như bước đầu trong sáng kiến dài hạn, chiến lược này là một đóng góp quan trọng để hoàn thiện luật pháp và những quy định quản lý.

Viện Chiến lược Bưu chính Viễn thông (NIPTS) – một đơn vị trực thuộc của MPT – đã phác thảo một chiến lược hoàn thiện về thông tin và công nghệ thông tin (ICT). Những mục tiêu này gồm mở rộng mạng viễn thông và phát triển ngành thông tin. Những mục tiêu mà NIPTS cho viễn thông và ICT cho năm 2010 gồm:

- Đạt được mật độ điện thoại là 25-26 máy/100 dân vào năm 2010, 28-30 máy vào năm 2020;
- Đạt được tổng số mật độ điện thoại đối với hộ gia đình là 60% vào năm 2010 và 100% vào năm 2020;
- Sẽ có 30% giao dịch thương mại trên mạng vào năm 2010.

## Pháp luật về Viễn thông

Theo sự phát triển chiến lược mới của Việt Nam, để thúc đẩy tăng trưởng và phát triển ngành viễn thông, Chính phủ đã ban hành hai văn bản pháp luật trong vài năm qua: Pháp lệnh về Bưu chính viễn thông (dưới đây gọi tắt là Pháp lệnh) và Nghị định 160 về viễn thông (dưới đây gọi tắt là Nghị định). Những văn bản này cùng nhau hình thành nền tảng pháp lý cho những quy định về quản lý, phân sử hoặc các hành động quản lý của MPT. Phần tiếp theo sẽ nêu bật những vấn đề quản lý và chính

sách cơ bản liên quan tới hai văn bản pháp luật này<sup>2</sup>.

### Pháp lệnh về Bưu chính Viễn thông năm 2002

Pháp lệnh này do Ủy ban Thường vụ Quốc hội ban hành năm 2002, sáu tháng sau khi ban hành Chiến lược. Pháp lệnh này nhắc lại và củng cố thêm một lần nữa các nguyên tắc chính sách được nêu trong Chiến lược, bổ sung thêm những chi tiết thực hiện và làm rõ chiến lược của Chính phủ. Pháp lệnh cũng đã nêu ra những cơ chế cụ thể - chẳng hạn như chính sách và công cụ được sử dụng trong quản lý. Những cơ chế này bao gồm việc cấp phép, tính chi phối của thị trường, kết nối, phân bổ tài nguyên và dịch vụ phổ cập. Dưới đây là tóm tắt những nguyên tắc quan trọng được đề cập trong Pháp lệnh:

- **Cấp phép:** Pháp lệnh cũng chỉ rõ hai loại giấy phép cho các doanh nghiệp viễn thông, từ 10 năm cho các dịch vụ mạng, 15 năm cho khai thác dịch vụ và 25 năm cho lắp đặt đường cáp quốc tế:
- Doanh nghiệp có hạ tầng hoặc mạng (FBO): Mỗi FBO sở hữu và khai thác mạng viễn thông của mình. Các FBO bán dịch vụ trực tiếp cho người sử dụng đầu cuối hoặc bán buôn dịch vụ cho các công ty để họ bán lại

2. Cần lưu ý rằng những luật này không giải quyết thỏa đáng ba vấn đề chính sách quan trọng: cạnh tranh giữa các doanh nghiệp Nhà nước, việc cổ phần hóa/tư nhân hóa doanh nghiệp Nhà nước, và phân tách mạch vòng nội hạt. Việc có hành động hay không, hoặc hành động thế nào, đối với mỗi vấn đề đó đều có ảnh hưởng lớn đến lĩnh vực viễn thông của quốc gia.

dịch vụ. Ở Việt Nam, các giấy phép FBO chỉ được cấp cho những doanh nghiệp Nhà nước (SOEs), được coi như một nhà khai thác thuộc Chính phủ, toàn phần hay từng phần. Pháp lệnh này định nghĩa khái niệm về cổ phần đặc biệt - là cổ phần được quyền phủ quyết trong một số trường hợp.

- Doanh nghiệp khai thác dịch vụ (SBO): SBO cung cấp dịch vụ mà không đòi hỏi phải có hạ tầng mạng, hoặc có thể thuê hạ tầng cơ sở mạng từ một SBO để bán lại cho người sử dụng đầu cuối. Giấy phép SBO được cấp cho cả khu vực tư nhân.
- **Chi phối thị trường:** Pháp lệnh định nghĩa các doanh nghiệp có thị phần khống chế là những doanh nghiệp có hơn 30% thị phần của một dịch vụ cụ thể.
- Các quy định có thể điều chỉnh hoạt động của những nhà khai thác chủ đạo, chẳng hạn như về thị phần, định giá, chất lượng dịch vụ, hạch toán chi phí v.v...
- Những nhà khai thác chủ đạo không được có những hành vi phi cạnh tranh, như: bù chéo, đưa ra mức giá thấp hơn chi phí, giá bán buôn cao v.v...
- Những nhà khai thác nhỏ được tự đặt mức giá, gồm cả những gói quảng cáo (trong khi cơ quan quản lý kiểm soát việc định giá của những nhà khai thác chủ đạo);

- Chi phí kết nối thấp hơn áp dụng đối với những nhà khai thác nhỏ cũng tạo cho những nhà khai thác mới một vài lợi thế về chi phí.
- **Kết nối:** Tất cả các doanh nghiệp viễn thông đều có quyền kết nối mạng của mình với những mạng của doanh nghiệp viễn thông khác và có nghĩa vụ cho phép doanh nghiệp viễn thông khác kết nối và truy nhập vào mạng hoặc dịch vụ của mình tùy theo những điều kiện công bằng và hợp lý.
  - Ủy quyền những điểm truy nhập và kết nối dựa trên cơ sở kinh tế và kỹ thuật;
  - Quy định rằng văn bản thỏa thuận kết nối phải được đàm phán giữa các nhà khai thác;
  - Cho phép MPT điều chỉnh phí kết nối, sử dụng việc định giá dựa trên chi phí;
  - Định nghĩa việc sử dụng chung vị trí - một khía cạnh quan trọng của kết nối, như sử dụng chung các điểm kết nối và cơ sở hạ tầng kỹ thuật qua hiệp định thỏa thuận kết nối được ký kết giữa hai bên.
- **Giá cước:** Các doanh nghiệp được tự do quyết định phí dịch vụ của mình, trừ những phí liên quan tới dịch vụ viễn thông hoặc kết nối và những dịch vụ viễn thông chi phối thị trường;
- **Các dịch vụ phổ cập:** Quý dịch vụ phổ cập được thiết lập với sự đóng góp của các doanh nghiệp viễn thông và các nguồn khác.

### **Nghị định 160 - và các điều liên quan tới cạnh tranh**

Xây dựng trên cơ sở Chiến lược và Pháp lệnh, cả hai đều hỗ trợ tự do hóa và cạnh tranh, Nghị định 160 được Chính phủ ban hành vào tháng 9 năm 2004. Các chi tiết cụ thể như sau:

- **Chi phối thị trường:** Đặt mức chi phối là 30% hạ tầng thiết yếu. Định nghĩa hạ tầng cơ sở thiết yếu, bao gồm mạng nội hạt ở một số khu vực địa lý, các kênh trong nước và đường dài quốc tế, các trạm vô tuyến của điện thoại di động. Đòi hỏi những nhà khai thác phải:
  - Phát triển một kế hoạch tổng thể cho đầu tư phát triển mạng, những điểm truy nhập, kết nối và những gia tăng về lưu lượng mạng;
  - Tạo ra những điều kiện thuận lợi cho đàm phán và thi hành kết nối mạng và dịch vụ đối với các công ty viễn thông một cách công bằng và hợp lý;
  - Chuẩn bị trình MPT thông qua Thỏa thuận kết nối mẫu, để công chúng và các công ty yêu cầu kết nối sử dụng.
- **Kết nối:** Để cập lại những khía cạnh chính của Pháp lệnh và làm rõ những vấn đề về kết nối:
  - Về vấn đề cước phí kết nối dựa trên giá thành, phải bóc tách một cách hợp lý theo những thành phần mạng và các quá trình dịch vụ, không phân biệt giữa các loại hình dịch vụ;

- Chi tiết hóa nguyên tắc đảm bảo rằng người sử dụng được tự do lựa chọn bất cứ nhà cung cấp dịch vụ nào mà họ muốn;
- Phí kết nối liên quan tới những dịch vụ phổ cập phải được định rõ.

### **Quy định quản lý về viễn thông**

Trong những năm qua, MPT đã ban hành một loạt quyết định để làm rõ những chiến lược, chính sách và cơ chế quản lý của mình. Những quyết định này chứa đựng hàng loạt vấn đề chưa được giải quyết của Bộ này, gồm cả viễn thông, bưu chính và IT. Những vấn đề quan trọng đã nêu bao gồm việc tạo ra quỹ viễn thông phổ cập của Việt Nam, làm sáng tỏ những vấn đề về giá cước, tiêu chuẩn thiết bị, một vài thủ tục cơ bản về IT. Một điều đặc biệt là năm 2003, sau một thời gian trì hoãn khá lâu, MPT đã hợp pháp hóa các dịch vụ VoIP, cho phép người dân thực hiện các cuộc gọi quốc tế chi phí thấp. Biểu 4 cung cấp bức tranh tổng thể về những văn bản pháp quy gần đây.

#### **Quy định về giá cước**

MPT quản lý giá cước đối với những nhà khai thác có thị phần chủ đạo, trong khi những nhà khai thác khác được phép tự đặt giá. Giá cước ở Việt Nam vẫn còn được bù chéo và không dựa trên chi phí. Năm 2001, biểu giá của những cuộc gọi quốc tế vẫn ở mức cao nhất trên thế giới, trong khi biểu giá nội hạt và gọi đường dài trong nước khá thấp so với

**Biểu 4: Những quy định gần đây của MPT**

Số văn bản	Ngày ban hành	Tóm tắt
04/2004/TT-BBCVT	29/11/2004	Phê chuẩn về vi phạm hành chính trong bưu chính, viễn thông và tần số phổ radio.
191/2004/QĐ-BBCVT	8/11/2004	Thành lập tổ chức và khai thác về quỹ dịch vụ viễn thông công cộng ở Việt Nam.
41/2004/QĐ-BBCVT	5/10/2004	Ban hành quy định về tiêu chuẩn thiết bị viễn thông.
42/2004/CT-BBCVT	5/10/2004	Công bố danh sách thiết bị viễn thông, yêu cầu tem hợp tiêu chuẩn.
07/2004/CT-BBCVT	19/7/2004	Tăng cường quản lý các đại lý Internet công cộng.
06/2004/QĐ-TTg	7/5/2004	Làm rõ vị trí của an toàn, bảo mật đối với bưu chính, viễn thông và thông tin Internet.
235/QĐ-TTg	2/3/2004	Phê duyệt dự án về ứng dụng và phát triển phần mềm mở nguồn ở Việt Nam, 2004-2008.
101/2004/NĐ-CP	25/2/2004	Thành lập các dịch vụ cấp tỉnh, thành phố về bưu chính, bưu phẩm ở các tỉnh, thành phố trực thuộc trung ương.
16/BBCVT-KHTC	6/01/2004	Nguyên tắc định giá cho các doanh nghiệp, cước phí dựa trên giá thành.
217/2003/QĐ-TTg	27/10/2003	Quản lý đối với doanh nghiệp chủ đạo: những nhà cung cấp viễn thông giữ ít hơn 30% thị phần thị trường có thể tự định giá.
99/2003/NĐ-CP	28/8/2003	Ban hành quy định về khu công nghệ cao.
148/2003/QĐ-BBCVT	26/8/2003	Tính toán phí kết nối theo điều khoản và hạ thấp mức phí trước.
75/2003/NĐ-CP	26/6/2003	Quy định tổ chức và hoạt động của thanh tra công nghệ MPT.
92/2003/QĐ-BBCVT	26/5/2003	Ban hành quy định quản lý và sử dụng nguồn tài nguyên Internet, như tên miền.
47/2003/QĐ-BBCVT	20/3/2003	Cung cấp danh sách những công ty viễn thông sử dụng mạng điện thoại mạch công (PSTN).
49/2003/QĐ-BBCVT	20/3/2003	Cung cấp bảng cước điện thoại di động trả sau GSM.
53/2003/QĐ-BBCVT	20/3/2003	Điều chỉnh phí mạch vòng áp dụng với nhà cung cấp tổng đài Internet (IXPs) và nhà cung cấp dịch vụ Internet (ISPs).
55/2003/QĐ-BBCVT	20/3/2003	Công bố bảng giá dịch vụ cho thuê mạch vòng viễn thông quốc tế áp dụng đối với truy nhập IXP.
57/2003/QĐ-BBCVT	20/3/2003	Ban hành mức giá lắp đặt cổng Internet quốc tế trực tiếp (IIG) và cho thuê IXP.
90/2002/NĐ-CP	11/11/2002	Nêu rõ chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của MPT.
43/2002/PL-UBTVQH10	01/10/2002	Điều chỉnh mạng và dịch vụ viễn thông, chương trình cấp phép và giá cả, định nghĩa các dịch vụ viễn thông.
33/2002/QĐ-TTg	8/2/2002	Thông qua kế hoạch phát triển Internet giai đoạn 2001-2005.
158/2001/QĐ-TTg	18/10/2001	Phê duyệt chiến lược VNPT tới năm 2010 và 2020.

Số văn bản	Ngày ban hành	Tóm tắt
55/2001/NĐ-CP	23/8/2001	Nêu rõ vai trò quản lý, điều khoản và sử dụng dịch vụ Internet.
81/2001/QĐ-TTg	24/5/2001	Vạch hành động để thực hiện Chỉ thị 58-CT/TW và tăng cường ứng dụng và phát triển ICT cho giai đoạn 2001-2005.
Chỉ thị của Tổng cục Bưu điện 01/2001/TCBD	4/1/2001	Đưa việc thực hiện Chỉ thị 58-CT/TW vào những lĩnh vực bưu chính, viễn thông và IT.
Chỉ thị 58-CT/TW của Bộ Chính trị	17/10/2000	Chỉ đạo gia tăng phát triển IT, viễn thông và các lĩnh vực liên quan.
99/1998/QĐ-TTg	26/5/1998	Ban hành quy định về giá cước bưu chính và viễn thông.
Nghị định số 79/CP	19/6/1997	Công bố thủ tục giải quyết tranh chấp trong lĩnh vực bưu chính, viễn thông và tần số vô tuyến điện.

Nguồn: Djankov, S. và những tác giả khác, 2003. *Quy định quản lý về gia nhập*, tr. 47.

mức trung bình các nước trong khu vực<sup>3</sup>.

Theo lộ trình giảm cước viễn thông, VNPT cũng đã giảm cước viễn thông 9 lần trong 4 năm qua. Phí điện thoại di động trải qua 5 lần giảm liên tiếp. MPT đã thông qua một số quyết định trong năm 2002 và 2003 để giảm giá và làm cho chúng tương đương với các nước trong khu vực. Như chỉ ra trong Biểu 5, hầu hết mức giá quốc tế đã giảm 50%, các dịch vụ khác như di động, Internet và cho thuê kênh mạch vòng đã giảm từ 10% xuống 30%. Những hành động này sẽ làm giá xích lại gần với chi phí thực sự; tuy nhiên, quá trình cân đối lại giá cước chi tiết vẫn chưa được định rõ.

Mặc dù đã giảm nhiều, nhưng giá cước ở Việt Nam vẫn chưa bắt kịp với chuẩn khu vực và quốc tế. Vì những dịch vụ nội hạt và đường dài còn được bù chéo, mức giá nội hạt thấp hơn mức trung bình ở Đông Nam Á, chẳng hạn Singapore, trong khi các cuộc gọi đường dài quốc tế còn cao hơn nhiều.

3. ITU, Nghiên cứu trường hợp Internet của Việt Nam, 03/2002.

**Biểu 5: Biểu giá đối với dịch vụ quốc tế ở Việt Nam (đôla/phút)**

Dịch vụ	12/2001	7/2002	01/2003	01/2003
Cuộc gọi tới các nước ASEAN	1,70-2,30	1,50-1,70	1,30-1,40	0,90-1,30
Cuộc gọi đến Châu Âu, Mỹ, Úc	2,30-2,00	1,80-2,00	1,50-1,70	1,00-1,40
Cuộc gọi quốc tế qua VoIP			1,2	0,75

Một phong vũ biểu về biểu giá tốt là chuẩn của Ủy ban Viễn thông Liên bang Mỹ (FCC) đối với chính sách thanh toán quốc tế. FCC đặt ra các mức cước thương lượng mục tiêu, là yếu tố quyết định về giá cước cho các cuộc gọi quốc tế. FCC chia các nước ra thành 4 nhóm dựa trên mức độ phát triển kinh tế do thông tin từ Hiệp hội Viễn thông Quốc tế (ITU) và Ngân hàng thế giới (WB) quy định. Như vậy những mức giá chuẩn sau sẽ được áp dụng:

1. Thu nhập cao: 15¢
2. Thu nhập khá: 19¢
3. Thu nhập trung bình: 19¢
4. Thu nhập thấp: 23¢

FCC theo dõi những nhà khai thác chi phối thị trường và từ đó có

thể đặt ra mức giá cao hơn mức chung toàn cầu. FCC miễn trừ cho những nhà khai thác chủ đạo đã thương lượng mức giá thấp hơn chuẩn. Đến nay 163 nước đã đạt được mức chuẩn này, trong đó không có Việt Nam<sup>4</sup>. Ở những nước mà nhà khai thác chủ đạo chỉ có thị trường là 0,23 đôla thì bị coi là những nước thu nhập thấp theo biểu giá mục tiêu quốc tế của FCC. Tháng Giêng năm 2005, FCC đã tính toán cước phí từ Mỹ – Việt Nam là 1,19 đôla/phút cộng với 2 đôla cho một lần kết nối – cao hơn nhiều so với mức chuẩn của FCC và chuẩn mục quốc tế.

4. Thông báo của FCC số DA04-1584, ngày 28/5/2004.



## Kết nối

Kết nối giữa các mạng viễn thông là điều kiện cho một ngành viễn thông cạnh tranh có hiệu quả. Kết nối cho phép truyền thoại, số liệu, hình ảnh từ nhà cung cấp mạng này tới nhà cung cấp mạng khác, cho phép lưu lượng bắt đầu từ một mạng tới một mạng khác. Chẳng hạn như cuộc gọi quốc tế bắt đầu từ Việt Nam có thể kết nối với mạng mặt đất, mạng này chuyển cuộc gọi tới cổng quốc tế. Đến lượt mình, mạng này có thể kết nối với nhiều nhà khai thác quốc tế trước khi cuộc gọi kết thúc ở điểm dừng quốc tế. Toàn bộ công việc kết nối này cho phép liên lạc trực tiếp với người sử dụng đầu cuối.

Kết nối đẩy mạnh tính hiệu quả của những nhà khai thác viễn thông, cho phép những nhà khai thác chia sẻ tài sản mạng, do vậy, một nhà khai thác không cần xây dựng thêm mạng khi lưu lượng không đảm bảo chi phí. Ở những thị trường cạnh tranh mới, những nhà khai thác mới có thể cung cấp dịch vụ mà không cần đầu tư đại trà để xây dựng mạng đường trục, mạng nội hạt hoặc các hạ tầng khác. Hiện nay, việc kết nối giữa những mạng cạnh tranh đã xuất hiện rộng rãi như một cơ chế quan trọng đối với việc áp dụng những ảnh hưởng của thị trường trong một môi trường viễn thông độc quyền. Theo một báo cáo gần đây của Sáng kiến chính sách Internet toàn cầu của Việt Nam (GIPI), một tổ chức phi Chính phủ toàn cầu xúc tiến cải cách luật pháp và chính sách, qua đó hỗ trợ để môi trường Internet phát triển mạnh, thì kết nối là yếu tố quyết định quan trọng nhất của việc

chuyển đổi thành công từ thị trường viễn thông độc quyền sang cạnh tranh<sup>5</sup>.

Những vấn đề cơ bản đối với cơ chế kết nối của Việt Nam cũng được đề cập trong Pháp lệnh, theo đó tất cả các công ty viễn thông phải có quyền kết nối mạng của mình với mạng của các công ty viễn thông khác và có nghĩa vụ cho phép các công ty viễn thông khác kết nối và truy nhập vào mạng hay dịch vụ của mình trên cơ sở các điều kiện công bằng và hợp lý. Truy nhập và kết nối tại mọi điểm khả thi về kỹ thuật và kinh tế là bắt buộc đối với những nhà cung cấp dịch vụ nắm giữ thiết bị và cơ sở hạ tầng thiết yếu. Pháp lệnh này cũng cho rằng các thỏa thuận về kết nối do các doanh nghiệp thương thuyết, trong khi cưỡng kết nối do Bộ BCVT điều tiết. Các quy định chính là:

- **Cưỡng kết nối dựa theo giá thành:** Pháp lệnh quy định rằng việc tính toán phí kết nối sẽ dựa trên giá thành. Có một điều khoản cho phép nhà khai thác tính gộp chi phí cho dịch vụ viễn thông phổ cập (CSO) trong thang giá. Với mục đích tạo cơ sở cho cơ chế kết nối ở Việt Nam, quy định này thiếu hai chi tiết cụ thể sau:
  - Khái niệm chính xác về giá thành là gì? Mặc dù hầu hết các nước đã xác định và tính toán giá thành theo phương pháp hướng tới tương lai, dịch vụ tổng thể, chi phí tăng dần dài hạn (TSLRIC). Quá

5. Trong báo cáo "Thúc đẩy cải cách chính sách và khuôn khổ pháp lý cho Internet ở Việt Nam - Báo cáo đánh giá", 3/2004.

trình tính chi phí cho các dịch vụ mạng ở Việt Nam là một nhiệm vụ khó khăn và phức tạp.

- Khoản cộng thêm vào cước kết nối liên quan đến CSO là gì?

- **Bóc tách các cấu phần cấu thành mạng lưới:** Pháp lệnh về viễn thông cấm các doanh nghiệp sở hữu cơ sở hạ tầng từ chối kết nối mà không có lý do nếu việc kết nối khả thi về kinh tế và kỹ thuật. Tuy nhiên, chưa có quy định nào về kết nối yêu cầu sự bóc tách đầy đủ (ví dụ doanh nghiệp muốn truy nhập không nên bị buộc phải chịu chi phí của các phần mạng hoặc kết nối mà họ không cần cho việc cung cấp dịch vụ của họ).

- **Kết nối tại tất cả những điểm khả thi trên mạng:** Nhìn chung Pháp lệnh về viễn thông đáp ứng được yêu cầu này, nhưng không nêu cụ thể.

Việc dùng chung địa điểm – một yếu tố chính của kết nối – cũng được đề cập trong Pháp lệnh này. Điều 43(2) điều chỉnh việc dùng chung những điểm kết nối và cơ sở vật chất kỹ thuật qua thỏa thuận kết nối giữa hai bên tham gia ký kết. Trong vòng 45 ngày mà các bên chưa đạt được thỏa thuận (thời hạn do MPT đặt ra), MPT sẽ can thiệp. Quyết định của MPT có thể được đưa ra xem xét tại tòa hành chính; tuy nhiên, có các vấn đề trong hệ thống pháp lý khiến lựa chọn này không thực tế.

Quy định của Bộ BCVT nhằm hướng dẫn triển khai Pháp lệnh đã làm rõ một số vấn đề liên quan tới kết nối chưa được cụ thể

trong Pháp lệnh. Quyết định 148/2003/QĐ-BBCVT của MPT, ngày 28 tháng 8 năm 2003 đã làm rõ chi phí kết nối gồm hai phần: a) phí kết nối và b) chi phí thiết lập kênh kết nối. Phí kết nối được xác định như sau:

- Dựa trên giá thành cho kết nối;
- Với nguyên tắc không phân biệt giữa các dịch vụ khác nhau, giữa các công ty viễn thông khác nhau hoặc giữa các thành viên của một công ty viễn thông với những công ty viễn thông khác;
- Trên cơ sở bóc tách hợp lý các hạng mục mạng hoặc các giai đoạn cung cấp dịch vụ;
- Ở mức có thể so sánh với phí kết nối của các nước trong khu vực.

Chính phủ đã cụ thể hóa vấn đề về phí kết nối trong Quyết định của Thủ tướng Chính phủ 217/2003/QĐ-TTg ban hành tháng 10 năm 2003 và Nghị định Viên thông 160/2004/NĐ-CP ban hành tháng 9 năm 2004 quy định về vấn đề kết nối một cách toàn diện nhưng không thay đổi những chi tiết đã rõ ràng trong các quy định trước đây. Mặc dù đã có những quy định này, nhưng vẫn còn một số vấn đề tiềm ẩn trong chế độ kết nối ở Việt Nam có thể được coi là hành vi cản trở cạnh tranh như vấn đề kỹ thuật và những kiểm chế giá cả. Những vấn đề liên quan tới hai hành vi này cũng được đề cập dưới đây.

#### *Viện lý do về kỹ thuật để trì hoãn kết nối*

Có nhiều lý do về kỹ thuật được dùng để giải thích cho việc không cung cấp kết nối công bằng.

Những vấn đề kỹ thuật này thường dẫn tới sự trì hoãn kéo dài trong kết nối. Một ví dụ gần đây liên quan tới dịch vụ S-Fone, mạng di động bắt đầu khai thác từ giữa năm 2003. Nhu cầu thiết yếu của một mạng di động mới là khả năng kết nối dịch vụ nhắn tin với những nhà cung cấp điện thoại di động khác, như Vinaphone và MobiFone. Theo kế hoạch ban đầu, việc kết nối sẽ được hoàn tất vào tháng 12 năm 2003, nhưng đến giữa năm 2004 vẫn chưa hoàn thành. Những ý kiến từ ban quản lý S-Fone nêu rõ những khó khăn của việc thực hiện kết nối, dưới đây là một số trích đoạn:

*“Tất nhiên, có một số vấn đề về kỹ thuật trong việc kết nối những mạng khác nhau nhưng đây không phải là vướng mắc lớn. Vướng mắc thực sự là liệu VNPT có muốn S-Fone được kết nối hay không?”*

*“Cityphone thì không tương thích nhưng được kết nối một cách nhanh chóng với các mạng di động của VNPT, trong khi đó S-Fone phải mất một thời gian dài. Nếu VNPT có thái độ hợp tác thì chỉ cần 10 ngày là giải quyết xong mọi việc”.*

VNPT cũng sử dụng lý do kỹ thuật để từ chối kết nối tại những điểm khả thi về kỹ thuật. Một ví dụ đáng chú ý nhất đó là VNPT yêu cầu S-Fone kết nối với mạng di động của VNPT không trực tiếp qua tổng đài trung kế, mà gián tiếp qua tổng đài đường dài do VNPT quản lý. Điều này đã khiến S-Fone phải trả thêm 250 đồng /phút. Theo S-Fone, chi phí trả thêm này tiêu tốn của S-Fone hơn 1,4 tỉ đồng chỉ trong 6 tháng cuối

năm 2003. Năm 2004, S-Fone phải trả một đến hai tỉ đồng. Những chi phí tăng thêm này đã kiểm chế sức cạnh tranh và lợi nhuận của công ty. Đáng chú ý là sự không công bằng này không chỉ được áp dụng với S-Fone, mà Mobifone cũng phải trả phí phụ thêm như vậy.

Theo một giám đốc của S-Fone, việc kết nối gián tiếp qua tổng đài đường dài là có thể hiểu và chấp nhận được trong quá khứ, khi các vấn đề kỹ thuật của việc kết nối một mạng CDMA với một mạng GSM còn mới mẻ với VNPT. Tuy nhiên, gần đây năng lực kỹ thuật đã được cải thiện, nhưng tình hình vẫn không thay đổi.

Tháng 7 năm 2004, S-Fone đã đề nghị Bộ BCVT can thiệp để buộc VNPT phải cung cấp kết nối trực tiếp. Bộ BCVT cho rằng không thể xem xét giải pháp nào ít nhất là cho đến đầu năm 2005, cuối cùng tháng 9 năm 2004 S-Fone lại đề nghị rằng nếu kết nối vẫn phải thông qua tổng đài đường dài, S-Fone sẽ không phải trả khoản chi phí phụ thêm 250 đồng /phút. Tuy nhiên, cho đến nay cả Bộ BCVT và VNPT đều chưa có phản hồi nào. Cũng theo cán bộ quản lý của S-Fone thì:

*“VNPT thực sự có mọi thứ liên quan tới cơ sở hạ tầng viễn thông, các doanh nghiệp mới trong ngành này phải thuê cơ sở vật chất hoặc cơ sở hạ tầng của VNPT. Vấn đề là việc thuê luôn gặp rất nhiều khó khăn. Đôi khi mất rất nhiều thời gian và đôi khi phải trả chi phí cao. Thậm chí việc đàm phán với VNPT cũng là vấn đề nan giải. MobiFone và Vinaphone là*

*những nhà độc quyền ở Việt Nam. Tôi hiểu rằng họ không muốn chúng tôi kết nối các dịch vụ SMS (dịch vụ nhắn tin ngắn). Theo tôi, nếu họ không sẵn lòng kết nối những dịch vụ nhắn tin với S-Fone, Bộ BCVT nên can thiệp để dàn xếp và buộc VNPT cho phép kết nối các nhắn tin giữa MobiFone, Vinafone và mạng của chúng tôi càng nhanh càng tốt. Nếu Bộ BCVT đã làm như vậy thì dịch vụ nhắn tin của chúng tôi đã được kết nối chỉ trong 6 tháng<sup>6</sup>.”*

### **Vấn đề thương mại/định giá kết nối**

Phí kết nối với VNPT được tất cả các công ty khác coi là quá cao và chiếm 60-70% chi phí của những nhà khai thác cạnh tranh. Giá cước cao như vậy đã làm giảm khả năng cạnh tranh về giá giữa các nhà cung cấp dịch vụ viễn thông. Một trong những vấn đề dẫn đến phí kết nối cao là, cho đến nay những mức cước đó vẫn chưa được tính trên cơ sở giá thành. Hiện nay, phí kết nối do Bộ BCVT thông qua dựa trên thông tin do VNPT cung cấp. Tuy nhiên, hệ thống hạch toán của VNPT lại không độc lập, không thể tính toán chi phí kết nối chính xác được. Do đó, phí kết nối có thể bị tính cao và các nhà khai thác dịch vụ phải gánh chịu.

Một vấn đề khác là VNPT sử dụng quyền có thị phần khống chế của mình để thu thêm phí đối với các công ty khác. Theo quy định 148 của Bộ BCVT - chi phí để thiết

lập và duy trì kênh kết nối giữa hai mạng phải được tính công bằng giữa các mạng. Tuy nhiên, trên thực tế ở nhiều trường hợp, các bưu điện tỉnh đã buộc các công ty mới phải trả thêm phí nâng cấp đường cáp và những cơ sở vật chất cơ bản khác. Với lý do VNPT không có sẵn các cơ sở vật chất đó, các đối thủ cạnh tranh chẳng còn sự lựa chọn nào đành phải trả toàn bộ chi phí đó nếu muốn dịch vụ của mình được kết nối.

Những thí dụ đó cho thấy, mặc dù có lợi rõ ràng trong kết nối, nhưng việc thực hiện một chế độ kết nối tiên tiến và hiệu quả là một nhiệm vụ rất khó khăn, mà thường gây tranh cãi. Những tranh luận về kết nối là phổ biến ở nhiều nước và Việt Nam cũng không phải là ngoại lệ. Mặc dù các yếu tố tự do hóa và cạnh tranh đã được đưa vào chế độ quản lý kết nối, đã có những khiếu nại từ những nhà khai thác cạnh tranh ở Việt Nam. Trong khi những quy định của Việt Nam về chế độ kết nối nói chung là thuận lợi, thì vẫn còn một vài bất ổn về quản lý, và cũng chẳng ngạc nhiên khi vẫn còn có những khó khăn trong việc thực thi kết nối thực sự giữa những nhà khai thác.

### **Cam kết quốc tế**

Cơ cấu pháp lý vừa được mô tả nhìn chung là phù hợp với những yêu cầu chống hành vi phi cạnh tranh đã được đề cập trong những hiệp định quốc tế mà Việt Nam vừa ký kết. Cụ thể, Hiệp định Thương mại Song phương Việt - Mỹ được Việt Nam ký kết vào tháng 7 năm 2000 đã áp dụng những điều khoản chính về cạnh

tranh của Tổ chức Thương mại Thế giới (WTO), Hiệp định chung về Thương mại và dịch vụ (GATS), Phụ lục của GATS về viễn thông và Tài liệu Tham chiếu của WTO về Viễn thông cơ bản (Tài liệu Tham chiếu).

Trong khi BTA yêu cầu phải có những hành động phù hợp với những hiệp định viễn thông quốc tế, hiệp định này cũng có những mục tiêu cụ thể liên quan tới việc cho phép đầu tư nước ngoài vào ngành viễn thông Việt Nam. Biểu 6 chỉ ra mức độ đầu tư của Mỹ trong suốt quá trình thực hiện BTA.

Những cam kết quốc tế của Việt Nam gắn liền với BTA và những tài liệu tham khảo việc thực thi và tuân thủ cam kết được tóm tắt trong Biểu 7.

Cơ cấu quản lý của Việt Nam đã phù hợp với nhiều cam kết quốc tế mà Việt Nam đã tham gia liên quan đến lĩnh vực viễn thông và những cam kết mà Việt Nam có thể sẽ phải thực hiện trong quá trình gia nhập WTO. Đồng thời, những khoảng cách còn lại cần được xóa bỏ bằng những quy định mới và sửa đổi những quy định hiện hành. Khuyến nghị của Báo cáo này là Tài liệu Tham chiếu phải là điểm tập trung đầu tiên khi Việt Nam mở cửa với những lợi ích của WTO. Bản Tham chiếu có ý nghĩa thúc đẩy cạnh tranh trong ngành viễn thông và cũng hỗ trợ Việt Nam hoàn thiện khuôn khổ pháp lý về viễn thông.

Chính sách chính thức và những tài liệu quản lý đã được đề cập trong chương này là khá mở đối với cạnh tranh cũng như đối với các nguyên tắc thị trường, và

6. Đáng lưu ý là kết nối nhắn tin giữa S-Fone và Viettel Mobile đã được thực hiện chỉ sau một vài tháng, và trực tiếp chứ không qua tổng đài trung gian.

không quá nhấn mạnh vào sự kiểm soát của Nhà nước đối với ngành viễn thông. Việc hoàn thiện khuôn khổ pháp lý của Việt Nam theo cách thức ủng hộ cạnh tranh sẽ không phải là quá khó khăn. Tuy nhiên, mặc dù đã có các chính sách chính thức, nhiều quan chức Chính phủ, một cách không chính thức, đã bày tỏ quan điểm thận trọng về mức độ mà ngành này sẽ mở cửa cho tư nhân và nước ngoài tham gia, cũng như mức độ kiểm soát phù hợp của Nhà nước. Các quan chức Chính phủ cho rằng vấn đề chính ở đây là mức độ kiểm soát phù hợp của Nhà nước. Độ quyền của Nhà nước trong một số lĩnh vực là phương tiện để Nhà nước kiểm soát, nhưng điều

**Biểu 6: Hiệp định Thương mại Song phương Việt - Mỹ đối với đầu tư nước ngoài về viễn thông**

Giai đoạn	Phân thị trường	Đầu tư của Mỹ	Thời gian	Hạn
0	Tất cả các phân thị trường	0%	Theo BTA	12/2001
I	Các dịch vụ viễn thông giá trị gia tăng	Tới 50%	2 năm sau ký kết hiệp định	Cuối năm 2003
II	Các dịch vụ Internet giá trị gia tăng	Tới 50%	3 năm sau ký kết hiệp định	Cuối năm 2004
III	Các dịch vụ di động, cho thuê kênh và vệ tinh	Tới 49%	4 năm sau ký kết hiệp định	Cuối năm 2005
IV	Dịch vụ điện thoại cố định (gồm cả đường dài)	Tới 45%	6 năm	Cuối năm 2007

đó dường như không phải là giá trị và mục tiêu tự thân. Kết quả là việc hoàn thiện khuôn khổ pháp lý

của Việt Nam để thúc đẩy cạnh tranh trong ngành này có thể sẽ không dễ dàng như thoạt nhìn.

**Biểu 7: Tổng quan về nghĩa vụ theo các điều ước quốc tế của Việt Nam**

Điều ước quốc tế	Điều khoản	Tình hình thực hiện	Hành động triển khai/ cần thực hiện
<b>Hiệp định Thương mại Song phương (BTA)</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Chương III: Dịch vụ</li> <li>Chương IV: Tính minh bạch và quyền kháng nghị</li> <li>Chương V: Phát triển quan hệ đầu tư (được bổ sung bằng Phụ lục H và các Công thư)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bỏ các hàng rào phi thuế đối với xuất khẩu của Mỹ, kể cả trong viễn thông;</li> <li>Bảo vệ hiệu quả quyền sở hữu trí tuệ của Mỹ;</li> <li>Mở cửa thị trường Việt Nam cho các nhà cung cấp dịch vụ của Mỹ, ví dụ: đầu tư nước ngoài;</li> <li>Xây dựng quy định và thể lệ quản lý minh bạch và công bằng đối với các nhà đầu tư Mỹ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Việt Nam đã thực hiện một số nội dung của BTA, nhưng vẫn đang chậm hơn kế hoạch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chính phủ đã thiết lập nhóm công tác điều phối các nỗ lực xây dựng luật và quy định, tuy nhiên, Việt Nam thiếu chuyên gia và nguồn lực;</li> <li>Chính phủ Mỹ đã hỗ trợ kỹ thuật cho Việt Nam về tư vấn kỹ thuật, đào tạo và cung cấp tài liệu, tạo điều kiện cho việc đổi mới và thực hiện các yêu cầu phức tạp của BTA.</li> </ul>
<b>Phụ lục GATS về viễn thông (tham chiếu tới BTA ngoại trừ đoạn 6 và 7)</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Đoạn 4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yêu cầu phát triển khuôn khổ quản lý minh bạch: như thông tin về tiêu chuẩn, giá cước, cấp phép...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Các quy định quản lý của Việt Nam phù hợp với các điều kiện này.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Đoạn 5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yêu cầu được truy nhập tới mạng công cộng, như về kết nối, dùng chung hạ tầng...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thiếu quy định về kết nối không phân biệt có thể bị hiểu là chưa tuân thủ điều ước quốc tế.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MPT cần làm rõ chính sách kết nối, xác định rõ và ngăn chặn các hành vi phân biệt.</li> </ul>
<b>Tham chiếu của WTO về viễn thông cơ bản (nêu trong BTA)</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Các khái niệm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gắn các khái niệm của Việt Nam với WTO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phù hợp, mặc dù còn có một số khác biệt về khái niệm.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bảo vệ cạnh tranh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bù chéo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Việt Nam có chính sách bù chéo, quy định hiện nay chưa loại bỏ hoàn toàn.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phát triển hạch toán theo giá thành, phân bổ chi phí để xác định và loại bỏ bù chéo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lạm dụng thông tin về đối thủ cạnh tranh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nhìn chung là phù hợp, nhưng có định nghĩa hẹp về "lạm dụng".</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tăng cường hướng dẫn như về "lạm dụng" thông qua nghị định hoặc chỉ thị của Chính phủ.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dấu thông tin thương mại và kỹ thuật cần thiết.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phù hợp, theo Luật Cạnh tranh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Có sự gắn kết rõ ràng giữa ngành viễn thông và Luật Cạnh tranh của Việt Nam.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kết nối</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiêu chí kỹ thuật chi tiết theo tiêu chuẩn kết nối toàn cầu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phù hợp một phần, nhưng thiếu các nội dung cơ bản của cơ chế kết nối.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ban hành chỉ thị như về chi phí kết nối và tri hoãn về mặt kỹ thuật.</li> </ul>

Điều ước quốc tế	Điều khoản	Tình hình thực hiện	Hành động triển khai/ cần thực hiện
Tham chiếu của WTO về viễn thông cơ bản (nêu trong BTA) (tiếp theo)			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dịch vụ phổ cập</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quyền xác định nghĩa vụ dịch vụ phổ cập (không bị xem là các hành vi phi cạnh tranh), với điều kiện phải có sự quản lý minh bạch và trung lập.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chưa xác định rõ, do Việt Nam đang xây dựng các chính sách và quy định về dịch vụ phổ cập.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Công khai tiêu chí cấp phép</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiêu chí cấp phép và thời gian ra quyết định, gồm cả các điều kiện điều khoản của từng giấy phép;</li> <li>Lý do từ chối cấp phép phải được thông báo theo yêu cầu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiêu chí cấp phép chưa hoàn thiện và mập mờ, không có thời hạn cho việc ra quyết định cấp phép;</li> <li>Các điều kiện điều khoản của từng giấy phép chưa được công khai.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phát triển hơn nữa tiêu chí cấp phép ở Việt Nam.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nhà quản lý độc lập</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cơ quan quản lý phải tách biệt và không phụ thuộc một nhà khai thác dịch vụ nào;</li> <li>Các quyết định và trình tự quản lý phải vô tư với mọi bên tham gia thị trường.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Không phù hợp, do quan hệ giữa MPT và VNPT vẫn chặt chẽ;</li> <li>Có sự luân chuyển cán bộ giữa hai tổ chức này;</li> <li>Trách nhiệm chống chéo, người đứng đầu MPT cũng ở trong HĐQT của VNPT.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Phân bổ và sử dụng các nguồn tài nguyên khan hiếm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quy trình phân bổ và sử dụng nguồn tài nguyên khan hiếm phải được thực hiện khách quan, kịp thời, minh bạch và không phân biệt;</li> <li>Hiện trạng phân bổ tần số sẽ được công khai, nhưng không yêu cầu chi tiết về phân bổ tần số cho các dịch vụ của Chính phủ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Do các kế hoạch của MPT về các nguồn tài nguyên này chưa được công bố, nên chưa rõ ba tiêu chí này (khách quan, kịp thời và minh bạch) có được thực hiện không.</li> </ul>	

# CƠ CẤU THỊ TRƯỜNG VÀ VẤN ĐỀ SỞ HỮU

Cạnh tranh trong ngành viễn thông Việt Nam đã gia tăng đáng kể kể từ năm 1993, thời điểm vẫn còn độc quyền trong tất cả lĩnh vực trong ngành này. Mặc dù có những thay đổi, nhưng ngành viễn thông vẫn do doanh nghiệp Nhà nước VNPT chi phối. Theo Ngân hàng Thế giới, VNPT nắm giữ xấp xỉ 94% thị trường, khai thác tất cả các lĩnh vực viễn thông, thiết bị, cơ khí, xây dựng và tư vấn. Công ty này cũng có những tài sản không thuộc viễn thông như du lịch, in ấn, và bảo hiểm. Những nhà khai thác khác cũng đã tham gia vào thị trường, nhưng nhìn chung ở Việt Nam vẫn thiếu một môi trường cạnh tranh thực sự.

## Những nhà khai thác có hạ tầng (FBO)

Việt Nam có 6 FBO cung cấp dịch vụ dựa trên cơ sở hạ tầng mạng của mình, mỗi nhà khai thác về cơ bản đều là công ty Nhà nước, và ngoại trừ VNPT, mỗi nhà khai thác đều tập trung ở một vùng địa lý hoặc một loại hình dịch vụ. Dưới đây là bản tóm tắt về sở hữu và dịch vụ của 6 nhà khai thác FBO:

### • Tổng công ty Bưu chính Viễn thông Việt Nam (VNPT):

- Nhà khai thác chủ đạo thuộc Nhà nước, khai thác tất cả các lĩnh vực viễn thông trừ

những dịch vụ thông tin hàng hải;

- Cơ cấu tổ chức phức tạp gồm 61 Bưu điện tỉnh thành và địa phương, các công ty cổ phần, công ty liên doanh và những công ty con khác;
- Sở hữu 18% nhà khai thác lớn thứ hai ở thành phố HCM;
- Sở hữu và khai thác gần 100% tổng số 5,4 triệu thuê bao đang khai thác;
- Thành lập VPN và WiFi năm 2003;
- Giữ xấp xỉ 94% thị trường viễn thông trong cả nước.

### • Công ty Điện tử Viễn thông Quân đội (Viettel):

- 100% sở hữu bởi quân đội Việt Nam;
- Nhận được giấy phép năm 1995, cung cấp những dịch vụ cố định nội hạt, đường dài trong nước (DLD), đường dài quốc tế (ILD), cho thuê đường dây, di động và Internet;
- Khai thác mạng radio đường dài ở Hà Nội;
- Khai thác IXP và cung cấp truy nhập lẻ, như ISP;
- Mạng chủ yếu dựa trên thể chế IP và giảm bớt những dịch vụ kiểm tra VoIP;
- Bắt đầu cung cấp dịch vụ di động tháng 10 năm 2004.

### • Công ty Cổ phần Dịch vụ Bưu chính Viễn thông Sài Gòn (SPT):

- Được thành lập năm 1995 như một công ty cổ phần;
- Cổ đông sáng lập là những doanh nghiệp Nhà nước, VNPT sở hữu 18%;
- Cung cấp các dịch vụ điện thoại cố định (chỉ ở thành phố HCM), DLD, ILD, di động và VoIP;
- Dự án di động liên doanh với Hàn Quốc sử dụng công nghệ CDMA;
- Cho đến năm 2004 đã khai thác được khoảng 40.000 đường dây mật đất ở Sài Gòn;
- Nắm giữ xấp xỉ 3% thị trường viễn thông trong cả nước.

### • Công ty Viễn thông Điện lực (ETC):

- Là cơ quan độc quyền về điện, thuộc Chính phủ 100%;
- Cung cấp các dịch vụ điện thoại cố định, DLD, ILD, cho thuê đường dây điện thoại, di động và VoIP;
- Có cơ sở hạ tầng mạng đang phát triển khá năng động và có dịch vụ cho thuê đường dây cố định;
- Chuẩn bị khai thác những dịch vụ di động VoIP và CDMA.

### • Công ty Cổ phần Viễn thông Hà Nội (HT):

- Là nhà khai thác với đầu tư tư nhân, mặc dù còn hạn chế;
- Là Công ty Cổ phần được thành lập bởi: Hiệp hội Viễn thông Công nghệ Cao (56,25%), Công ty Điện tử Hà Nội (25%), Công ty Cổ phần Phát triển Công nghệ cao Hà Nội (6,25%) và Công ty Cổ phần Nhựa Hanel (12,5%);

- Cung cấp các dịch vụ điện thoại cố định (chỉ ở Hà Nội), DLD, ILD, di động, Internet và VoIP.
- **Công ty Thông tin Điện tử Hàng hải Việt Nam (VISHIPEL):**
  - Tổng công ty Hàng hải sở hữu 100%;

- Cung cấp các dịch vụ về biển và các dịch vụ thông tin vô tuyến cho các thuyền trên biển.

Dịch vụ viễn thông của 6 FBO được tóm tắt trong Biểu 8, cùng với bản đánh giá về mức độ cạnh tranh trong ngành.

Cần phải chú ý rằng VNPT không phải là công ty tổ chức theo những tiêu chuẩn của khu vực tư nhân phương tây. VNPT là tập hợp những liên doanh và những doanh nghiệp phụ thuộc, PTT và doanh nghiệp Nhà nước trong ngành. Một quyết định gần đây của Chính phủ (Số 58/2005/QĐ-TTg) dự kiến tái cơ cấu VNPT thành cơ cấu công ty mẹ - con, gồm một ban quản lý để quản lý công ty mẹ và thành lập những công ty con về bưu chính và viễn thông. Theo kinh nghiệm quốc tế, việc công ty hóa được coi như bước khởi đầu cho việc tư nhân hóa vì quá trình này đòi hỏi PTT phải hoạt động theo những chuẩn mực quốc tế về quản lý, tài chính. Việc cải tổ, được dự tính bắt đầu vào quý IV năm 2005, sẽ thể hiện những bước khởi đầu quan trọng trong việc tổ chức lại VNPT. Biểu 9 sẽ nêu rõ sự phức tạp trong cơ cấu tổ chức hiện nay của VNPT.

### Tình hình cạnh tranh trong thị trường dịch vụ di động

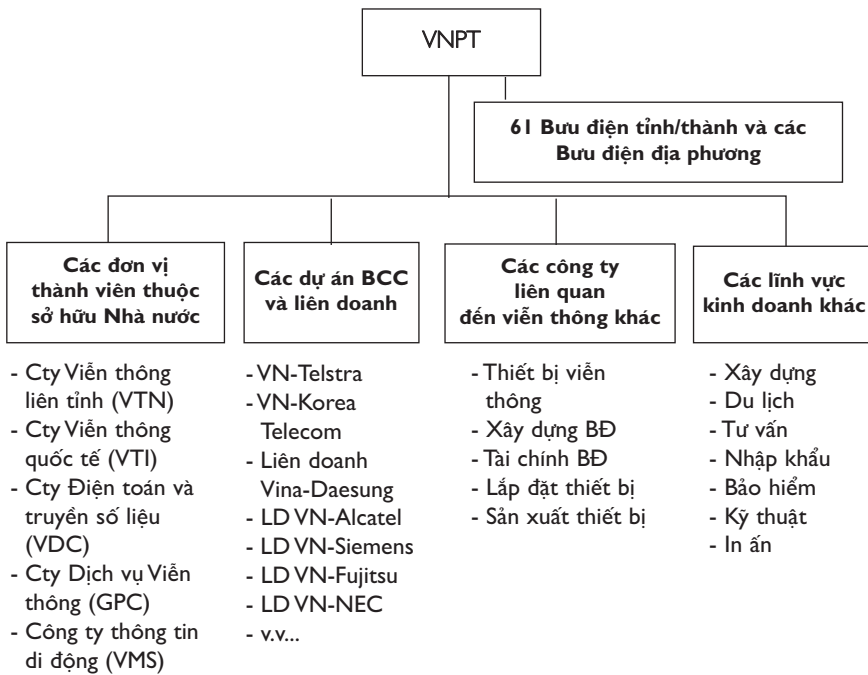
Tình hình cạnh tranh trong thị trường dịch vụ di động mạnh mẽ hơn so với cạnh tranh trong thị trường điện thoại cố định. Việt Nam đã cấp 6 giấy phép trong một thị trường cạnh tranh ngày càng tăng, trong khi vẫn còn

**Biểu 8: Cạnh tranh giữa các FBO Việt Nam**

Dịch vụ	Hiện trạng cạnh tranh	VNPT	Viettel	SPT (Saigon)	ETC	HT (Hanoi)	Vishipel (Hàng hải)
Nội hạt	Hạn chế • VNPT chi phối • Cạnh tranh theo khu vực địa lý	✓	✓	✓	✓	✓	
Đường dài trong nước	Hạn chế • VNPT chi phối • Cạnh tranh theo khu vực địa lý	✓	✓	✓	✓	✓	
Đường dài quốc tế	Hạn chế • VNPT chi phối • Cạnh tranh theo khu vực địa lý • Cạnh tranh qua VoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Di động	Cạnh tranh cao • Liên doanh với các nhà khai thác nước ngoài	✓	✓	✓		✓	
Thuê kênh	Hạn chế • VNPT chi phối • Cạnh tranh theo khu vực địa lý	✓	✓		✓		
Internet	Cạnh tranh • Bảng thông hạn chế • Các nhà khai thác dịch vụ SBO	✓	✓	✓		✓	



**Biểu 9: Cơ cấu tổ chức của VNPT**



Nguồn: VNPT website, World Bank, phỏng vấn của VNCI.

**Biểu 10: Cạnh tranh trong thị trường di động Việt Nam**

Công ty	Sở hữu	Đầu tư	Công nghệ	Thuê bao	Hoạt động
Vinaphone	VNPT	130 triệu USD	GSM	3.0 triệu	1996
MobiFone	VNPT Comvik	456 triệu USD	GSM	2,5 triệu	1998
Viettel	Viettel JV	Chưa có số liệu	GSM	250.000	2004
S-Fone	SPT SLD Telecom	230 triệu USD	CDMA	200.000	2003
Cityphone	VNPT	Chưa có số liệu	PHS	Chưa có số liệu	Chưa có số liệu
VP Telecom	VPT	630 triệu USD	CDMA	Chưa có số liệu	Quý II 2005
HT	HT Hutchison	656 triệu USD	CDMA	Chưa có số liệu	Quý IV 2005

Nguồn: Thời báo Kinh tế Sài Gòn.

những sở hữu chéo, như VNPT sở hữu Vinaphone và một phần MobiFone. Cạnh tranh đã làm cho số thuê bao tăng nhanh, theo một nghiên cứu gần đây, có khoảng 5,5 triệu thuê bao di động. Mức độ cạnh tranh cao, gồm cả

một số nhà đầu tư nước ngoài, đã đem lại kết quả tích cực đối với việc giảm giá cước. Nhà khai thác S-Fone gần đây đã cắt giảm phí hòa mạng xuống 50% và giảm cả phí thuê bao. Những nhà khai thác mạng sử dụng 3 tiêu chuẩn công

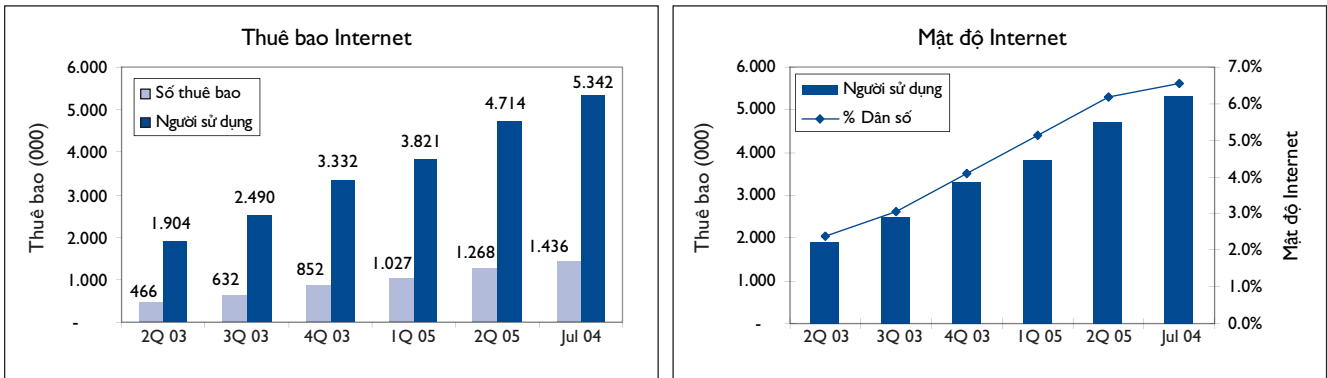
nghệ cạnh tranh: GSM, CDMA và Hệ thống Điện thoại cầm tay Cá nhân (PHS). Biểu 10 sẽ cho thấy thành phần cạnh tranh của thị trường di động Việt Nam.

### Các nhà khai thác dịch vụ SBO: nhà cung cấp dịch vụ Internet

Ngoài 6 giấy phép FBO, hơn một tá các công ty khác cũng nhận được giấy phép về dịch vụ giá trị gia tăng, chủ yếu là ISP. Trong 13 công ty được nhận giấy phép, thì chỉ vài công ty thực sự cung cấp dịch vụ. Trong số những nhà cung cấp ISP độc lập thì chỉ có Công ty truyền thông FPT và Netnam là năng động hơn cả. Công ty truyền thông FPT trực thuộc và được hỗ trợ bởi tập đoàn công ty FPT, trong khi Netnam tiên phong giới thiệu dịch vụ thư điện tử và Internet ở Việt Nam. Cả hai công ty này đều có số khách hàng trung thành lớn.

Theo thống kê của MPT, sử dụng Internet đã tăng đáng kể trong những năm gần đây. Số liệu của tháng 7 năm 2004 đã cho thấy tăng gần 70% thuê bao mới trên thị trường, đạt được gần 1,5 triệu thuê bao. Trong những giai đoạn phát triển gần đây của Internet, khá phổ biến việc nhiều người sử dụng một tài khoản, chẳng hạn như ở các trường đại học hoặc các doanh nghiệp. Vì thế, đến cuối tháng 7 năm 2004, Việt Nam có hơn 5 triệu người sử dụng Internet. Bảng thông truy nhập Internet rộng vẫn chưa phổ biến ở Việt Nam. Biểu 11 sẽ chỉ ra sự tăng trưởng nhanh từ năm 2003 đến giữa năm 2004.

**Biểu 11: Thuê bao Internet và mật độ ở Việt Nam**



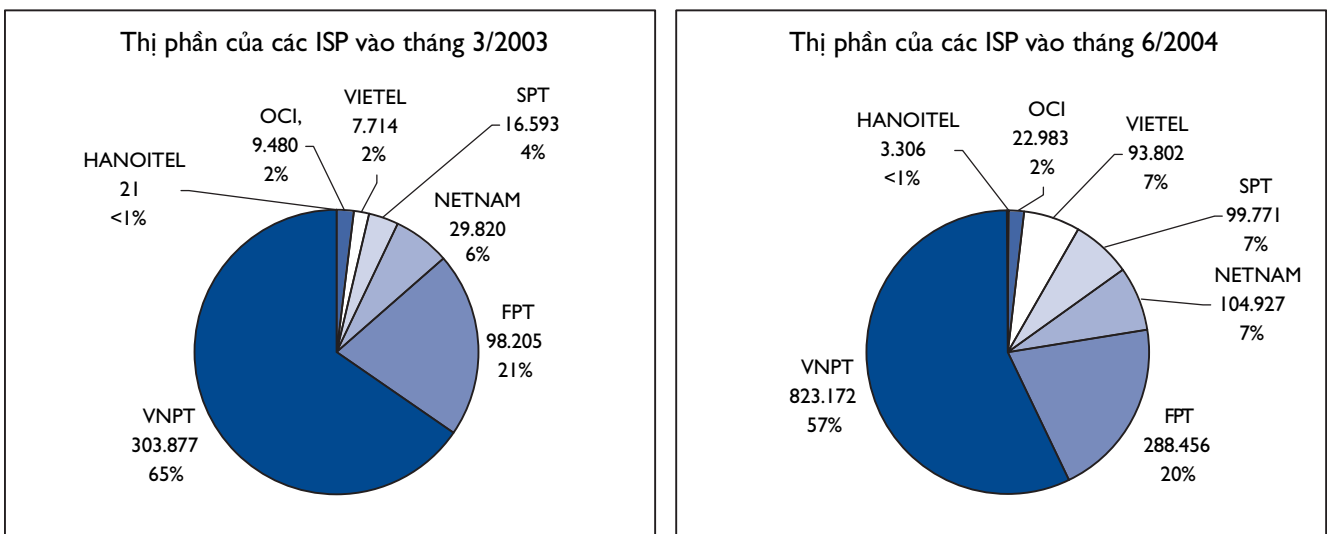
Một động lực khác đối với việc sử dụng và tăng trưởng trong lĩnh vực Internet là việc đăng ký địa chỉ IP và tên miền. Theo Trung tâm Thông tin Internet Việt Nam – một đơn vị của MPT – khối lượng địa chỉ IP tăng hơn 220% từ 134,000 tháng 9 năm 2003 đến 433,000 vào tháng 6 năm 2005. Việc đăng ký tên miền cũng gia tăng nhưng không mạnh, tăng 7% từ 4.300 lên 4.600 trong cùng thời kỳ đó. Những tên miền như .com.vn chiếm 82%, tiếp theo là .org.vn 5%, .edu.vn 5%, .gov.vn 3%, loại khác 3% và .net.vn 2%. Sự phân loại này đã cho thấy sơ bộ

mục đích sử dụng của các website nội hạt.

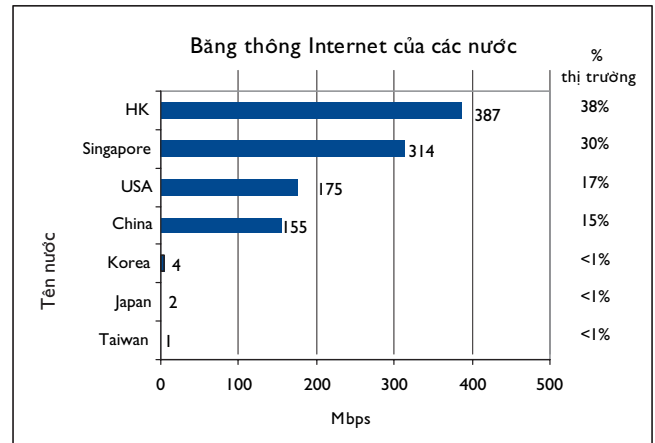
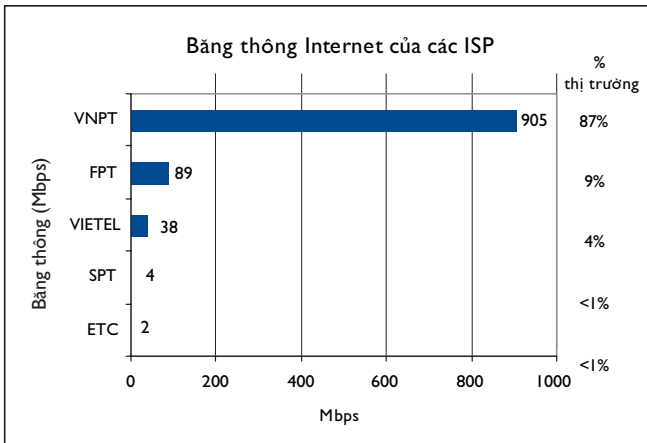
Thị trường Internet Việt Nam vẫn do những người có giấy phép FBO thống lĩnh, và cũng như hầu hết các lĩnh vực khác, VNPT là nhà cung cấp chủ đạo với 57% thị trường. Trong khi VNPT mất một số thị phần vào tháng 3 năm 2003 (từ 65% xuống 57%), những thị phần này đổ về các SOE khác chứ không phải các ISP độc lập, và thị phần của nhóm này vẫn giữ như mức trước. Về mặt quốc tế, những ISP độc lập mất vị trí vì công ty viễn thông truyền thống bóc tách

dịch vụ quay số với những dịch vụ đường dây mật đất hoặc các dịch vụ băng thông rộng như DSL. Những nhà khai thác truyền hình cáp cũng có thêm thị trường khi họ giới thiệu các sản phẩm băng thông rộng. Những đổi mới trong tương lai như cung cấp truy nhập Internet qua điện thoại di động sẽ làm gia tăng thêm sức mạnh của những công ty cung cấp dịch vụ tổng hợp so với các ISP quay số. Sự phân tích thị trường của các ISP Việt Nam từ tháng 3 năm 2003 đến tháng 6 năm 2004 được phân ánh trong Biểu 12.

**Biểu 12: Thị phần các ISP vào tháng 3-2003 và tháng 6-2004**



**Biểu 13: Kết nối Internet ở Việt Nam**



Một trong những hạn chế đối với thị trường Internet Việt Nam (ngoài cách truy nhập đường dây mặt đất đơn giản) là khả năng kết nối quốc tế. Đến tháng 4 năm 2004, cả nước mới chỉ có 1038 Mbp kết nối và VNPT kiểm soát gần 90% đường dây. Xét về điểm đến của kết nối, Hồng Kông và Singapore chiếm 68% truy nhập quốc tế của Việt Nam. Biểu 13 cung cấp chi tiết về những điểm khai thác băng thông rộng và kết nối.

### Những dịch vụ trên nền công nghệ thông tin (ITES)

Chính phủ Việt Nam đã hỗ trợ mạnh mẽ cho phát triển công nghệ thông tin. Việc cải cách ngành viễn thông sẽ có đóng góp quan trọng vào thành công của chính sách Chính phủ. Một khía cạnh quan trọng khác của chính sách IT là khuyến khích ITES. Cũng như truy nhập Internet, các công ty ITES dựa vào cơ sở hạ tầng viễn thông cơ bản để thực hiện các hoạt động kinh doanh hàng ngày. Vì Việt Nam đã chú trọng vào

phát triển ngành phụ thuộc vào viễn thông này, đánh giá ở dưới đây là để hiểu được ngành mới nổi này. Đôi khi dịch vụ liên quan tới IT, các dịch vụ từ xa hoặc thuê lại hoạt động kinh doanh (BPO), ITES bao gồm những dịch vụ như:

- Nhập số liệu, chuyển đổi số liệu, phát triển, xử lý thông tin/số liệu;
- Sử dụng IT để cung cấp hoặc truyền tải dịch vụ;
- Không yêu cầu phải thành thạo về phần mềm, trong hầu hết trường hợp, không yêu cầu bất cứ đào tạo đặc biệt nào, ngoài việc đào tạo tại chỗ trong công việc cho những nhà cung cấp dịch vụ;
- Được thực hiện ở xa người sử dụng cuối cùng.

Các hoạt động ITES thông thường bao gồm:

- Chương trình ghi âm;
- Các dịch vụ hành chính;
- Tính cước và thu cước;
- Những hệ thống thông tin địa lý;
- Trung tâm tương tác khách hàng;

- Các dịch vụ nguồn nhân lực;
- Xử lý khiếu nại;
- Những dịch vụ tài chính và kế toán;
- Phát triển nội dung;
- Các dịch vụ hỗ trợ kiện tụng và tư vấn luật pháp;
- Hỗ trợ cơ khí;
- Hỗ trợ mua sắm.

Năm 2001, IDC dự tính công nghiệp ITES toàn cầu trị giá 7,1 tỷ đôla Mỹ. Với mức tăng trưởng được đánh giá đến năm 2006 là 11% CAGR, công nghiệp ITES đã sẵn sàng để tăng tới 1,2 nghìn tỷ đôla Mỹ. Hiện tại, những thị trường chính của ITES là Ai Len, Ấn Độ, Israel, Canada, Philippine và Nam Phi. Tuy nhiên, Việt Nam được coi như một trong mấy chục nước điểm đến bậc hai và những hành động và chính sách mạnh mẽ của Chính phủ có thể cải thiện được triển vọng của đất nước đối với những đối thủ cạnh tranh quốc tế mạnh khác. Biểu 14 đã chỉ rõ vị trí của Việt Nam so với những nhà cung cấp ITES hàng đầu trong khu vực.

**Biểu 14: So sánh Việt Nam với những đối thủ ITES trong khu vực**

Thông số	Việt Nam	Ấn Độ	Trung Quốc	Malaysia
Quy mô (2.000 triệu USD)	Chưa có số liệu	6.200	>1.000	Chưa có số liệu
Chi phí cho nhân viên IT(USD/năm)	7.200	5.880	8.900	72.000
Số lượng chứng chỉ CMM cấp 5 <sup>7</sup>	0	48	0	0
Mặt tích cực	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Có sự hỗ trợ mạnh mẽ của Chính phủ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiếng Anh;</li> <li>• Chất lượng;</li> <li>• Quản lý dự án;</li> <li>• Dịch vụ mới.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Có nhiều chuyên gia IT được đào tạo ở nước ngoài.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Có sự hỗ trợ mạnh mẽ của Chính phủ.</li> </ul>
Mặt tiêu cực	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cơ sở hạ tầng yếu kém.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CSHT bình thường;</li> <li>• Rủi ro về chính trị.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kỹ năng ngôn ngữ;</li> <li>• Quản lý dự án.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thiếu nguồn lập trình viên.</li> </ul>

Nguồn: IDC.

**Biểu 15: Hình thức cho phép đầu tư nước ngoài về viễn thông**

Nhóm dịch vụ	Cam kết
Dịch vụ giá trị gia tăng, bao gồm email, thư thoại, chuyển đổi dữ liệu điện tử (EDI), dịch vụ fax giá trị gia tăng, chuyển đổi mã và giao thức, và xử lý dữ liệu và thông tin trực tuyến	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tháng 12/2003 cho liên doanh với vốn tối đa của phía Mỹ là 50%;</li> <li>- Tháng 12/2004: cho liên doanh với dịch vụ Internet với mức vốn phía Mỹ tối đa là 50%.</li> </ul>
Dịch vụ cơ bản, bao gồm chuyển mạch gói, chuyển mạch kênh, telex, điện tin, fax, thuê kênh riêng, các dịch vụ vô tuyến kể cả di động mặt đất và vệ tinh	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Từ tháng 12/2005 cho phép liên doanh với vốn phía Mỹ không quá 49%.</li> </ul>
Các dịch vụ thoại cố định, bao gồm nội hạt, đường dài trong nước và quốc tế	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Từ tháng 12/2007 cho phép liên doanh với vốn phía Mỹ không quá 49%.</li> </ul>

## Đầu tư tư nhân và nước ngoài

Việt Nam có một môi trường đầu tư vẫn còn hạn chế. Trong khi Luật Đầu tư Nước ngoài cho phép cả

7. CMM - Capability Maturity Model - là một Chứng chỉ Chất lượng theo tiêu chuẩn của Đại học Carnegie Mellon.  
8. Hạn chế này thể hiện ở danh sách các "lĩnh vực đầu tư có điều kiện" ban hành theo Nghị định 27/2003/NĐ-CP về Đầu tư Nước ngoài.

liên doanh và những doanh nghiệp 100% vốn nước ngoài thì cả hai loại hình này lại không thể ứng dụng đối với ngành viễn thông<sup>8</sup>. Đầu tư tư nhân trong nước còn bị hạn chế, và các nhà đầu tư nước ngoài chỉ có thể đầu tư qua BCC. Theo các nhà đầu tư nước ngoài thì mô hình đầu tư BCC kém hấp dẫn hơn các hình thức khác vì một

loạt những lý do sẽ được thảo luận trong phần này. Hơn nữa, một ngày nào đó các liên doanh sẽ được phép khai thác trong ngành viễn thông, thì một câu hỏi đặt ra là các BCC có thể được chuyển đổi như thế nào thành liên doanh khi những hình thức đó trở nên phổ biến. Theo hiệp ước quốc tế và những thông báo chính sách gần đây thì rõ ràng Việt Nam đang mở rộng cửa khu vực viễn thông để thu hút nhiều đầu tư tư nhân hơn nữa.

Hiệp định Thương mại Song phương Việt - Mỹ (BTA) yêu cầu Việt Nam mở cửa khu vực viễn thông cho đầu tư Mỹ, mặc dù hiệp định này cho Việt Nam thời gian để thực hiện thay đổi này. Cần phải lưu ý rằng Việt Nam vẫn chưa theo kịp tiến độ thực hiện BTA. Cam kết của Việt Nam về mở cửa các dịch vụ viễn thông được chia làm 3 nhóm, với một chương trình cho phép thành lập một liên doanh với một số mức vốn cổ phần nhất định. Biểu 15 cho biết cam kết của Việt Nam đối với mỗi nhóm.

Theo luật đầu tư nước ngoài và những quy định có liên quan - đặc biệt là Nghị định Chính phủ số 27/2003/NĐ-CP, BCC là hình thức duy nhất về đầu tư trực tiếp nước ngoài đối với các dịch vụ viễn thông. Trước đây, BCC đã có những đóng góp đáng kể trong quá trình phát triển của ngành viễn thông Việt Nam, đáng chú ý là vào những thời điểm quan trọng, sự phát triển của những đường truyền quốc tế, sự ứng dụng hệ thống điện thoại di động đầu tiên, ứng dụng hệ thống di động CDMA đầu tiên, v.v. BCC cũng đã tạo điều kiện cho một số

công ty viễn thông quốc tế hàng đầu thâm nhập thị trường Việt Nam và đã có chân trong những thị trường đó.

Tuy nhiên, mô hình đầu tư BCC cũng gặp một số khó khăn và trở ngại, như việc hạn chế tham gia vốn cổ phần và quyền quản lý, điều này đã làm cho những nhà đầu tư nước ngoài cảm thấy không thoải mái và thiếu sự linh động, gây tác động tiêu cực vào tính hiệu quả của thị trường. Những hạn chế của BCC như một hình thức duy nhất của đầu tư nước ngoài có thể sẽ cản trở những đầu tư nước ngoài mới trong tương lai, khi đòi hỏi phải có nguồn kinh phí lớn cho công nghệ và dịch vụ thế hệ mới. Chương này cũng nêu ra những hạn chế của hình thức đầu tư BCC, lợi ích của những hình thức đầu tư thay thế và những gợi ý ban đầu để tạo ra một môi trường tự do và lành mạnh hơn đối với các công ty viễn thông nước ngoài khai thác ở Việt Nam.

### **Vi sao BCC**

BCC là hình thức đầu tư mà một đối tác Việt Nam và đối tác nước ngoài đồng ý triển khai hoạt động đầu tư mà không cần thành lập một công ty mới. Nghĩa vụ và quyền hạn của hai bên sẽ được liệt kê trong hợp đồng. Một hoặc cả hai bên có thể đóng góp vốn cố định hoặc lưu động nhưng khoản lợi nhuận sẽ được thỏa thuận chứ không phải theo số vốn đóng góp. Trong trường hợp viễn thông BCC, phía Việt Nam sẽ đóng góp truy nhập mạng và một số vốn lưu động, còn phía nước ngoài đóng góp tiền cho nguồn vốn cố định mới và số tiền này đến cuối dự án sẽ là tài sản của

phía Việt Nam. Phía Việt Nam vẫn kiểm soát quản lý mạng.

Trước đây, BCC là một hình thức đầu tư nước ngoài đã tạo được một số thuận lợi quan trọng cho các nhà quản lý khu vực viễn thông của Việt Nam. Những hợp đồng này đã đáp ứng được những nỗi lo ngại về an ninh và chủ quyền lãnh thổ - là những vấn đề mà Chính phủ đặc biệt quan tâm. Hơn nữa, ngành viễn thông Việt Nam trong những năm 80 và cuối những năm 90 là do doanh nghiệp quốc doanh VNPT độc quyền hoàn toàn, doanh nghiệp này muốn sử dụng ảnh hưởng của mình để từ chối bất cứ đầu tư nào làm yếu vai trò kiểm soát của mình. Ban quản lý VNPT và nhiều quan chức Chính phủ thừa nhận rằng Việt Nam nói chung và ngành viễn thông nói riêng chỉ cần có vốn và công nghệ còn lại thì Chính phủ và doanh nghiệp tự lo được. Kiến thức và kỹ năng quản lý không phải là ưu tiên cao đối với của những quan chức và các nhà lãnh đạo kinh doanh này. Vì vậy nên các quan chức Chính phủ đã lựa chọn mô hình BCC để:

- Thu hút vốn đầu tư dành cho phát triển và hiện đại hóa mạng;
- Thu hút kỹ thuật và công nghệ mới như: CDMA, công nghệ thẻ điện thoại;
- Nhận được kỹ thuật quản lý và các thông lệ kinh doanh tốt;
- Đào tạo nguồn nhân lực.

Các nhà đầu tư nước ngoài thì không có sự lựa chọn nào khác trong thời gian đầu. Tuy nhiên, trong một chừng mực nào đó hình thức BCC vẫn chấp nhận được, bởi vì một BCC đảm bảo một IRR

đáng kể khi phía Việt Nam - VNPT có vị trí độc quyền chủ đạo, và ít có khả năng xuất hiện những nhà khai thác cạnh tranh mới. Do đó các công ty nước ngoài chỉ có thể hoặc chấp nhận hình thức BCC hoặc bỏ qua thị trường này. Nhìn chung, mặc dù đã đạt được những thành quả tích cực, và những thành công về tài chính cho cả các bên Việt Nam và ngoài nước, vẫn còn những hạn chế trong mô hình BCC. Những điều mà các nhà đầu tư nước ngoài chú ý nhất là:

#### **• Những hạn chế về cơ cấu:**

- Tư cách pháp lý không rõ ràng làm hạn chế khả năng thế chấp tài sản hay tham gia thị trường vốn;
- Hạn chế gắt gao về phạm vi hoạt động của BCC, thường chỉ cho một phân đoạn thị trường hay một khu vực địa lý nào đó.

#### **• Những hạn chế về quản lý:**

- Hạn chế quyền quản lý và trách nhiệm trong khai thác và dịch vụ;
- Khó khăn trong việc tập trung vào chăm sóc khách hàng, chẳng hạn như ít nguồn để marketing;
- Chuyển giao kỹ năng ít hơn so với khi có tham gia vốn.

#### **• Những hạn chế về tài chính:**

- Nhà đầu tư nước ngoài sẽ không nhận được giá trị tài sản dài hạn từ đầu tư của mình;
- Chi phí giao dịch cao do quá trình quản lý tách biệt của các bên;
- Tập trung vào đầu tư ngắn hạn để thu hồi nhanh, không

**Biểu 16: Các BCC ở Việt Nam**

#	Đối tác BCC (Nguồn đầu tư nước ngoài)	Năm	Thời hạn (năm)	Đầu tư nước ngoài	Phạm vi	Ghi chú
1.	VNPT Telstra Australia (Úc)	1998	6	US\$ 237 triệu	Phát triển mạng và dịch vụ viễn thông quốc tế.	- BCC ký năm 1988; - 3 lần gia hạn hợp đồng.
2.	VNPT Comvik (Thụy Điển)	1995	10	US\$ 127.8 triệu	Phát triển mạng và dịch vụ di động toàn quốc.	- Đã xây dựng mạng GSM đầu tiên - Mới hết hạn.
3.	VNPT Điện thoại quốc tế (Úc)		9	US\$ 725.000	Phát triển và khai thác dịch vụ nhắn tin ở thành phố Hồ Chí Minh.	- HĐ được gia hạn từ 5 lên 9 năm.
4.	VNPT Sapura SDN-BHD (Malaysia)	1993	8	US\$ 3.8 triệu	Phát triển và khai thác dịch vụ điện thoại thẻ ở thành phố Hồ Chí Minh.	- VNPT đóng góp US\$1.6 triệu.
5.	VNPT Worldcorp Holding (Singapore)	1995	5	US\$ 842.000	Phát triển và khai thác dịch vụ Những trang vàng.	-VNPT đóng góp US\$2.3 triệu.
6.	VNPT Korea Telecom (Hàn Quốc)	1996	10	US\$ 40 triệu	Phát triển mạng điện thoại cố định tại Hải Phòng, Hải Dương, Hưng Yên, Quảng Ninh.	BCC ký sớm hơn 2 năm.
7.	VNPT Nippon Telegraph and Telephone (Nhật Bản)	1997	15	US\$ 40 triệu	Phát triển mạng điện thoại phía Tây Hà Nội, xây dựng mới 240.000 đường điện thoại.	IRR dự kiến từ 12-24%, tỷ lệ chia lợi nhuận 47/53 (NTT/VNPT). - Đã thực hiện được 50% kế hoạch mở rộng.
8.	VNPT France Telecom (Pháp)	1997	15	US\$ 467 triệu	Phát triển mạng điện thoại phía Đông thành phố Hồ Chí Minh, xây dựng mới 540,000 đường điện thoại.	
9.	VNPT Cable & Wireless (Vương Quốc Anh)	1997	15	US\$ 207 triệu	Phát triển mạng điện thoại phía Đông Hà Nội, xây dựng mới 250,000 đường điện thoại.	
10.	SPT S-Telecom (Hàn Quốc)	2003	Chưa rõ	US\$ 230 triệu	Phát triển và khai thác mạng di động CDMA.	- BCC đầu tiên không phải của VNPT; - Có điều khoản chuyển sang liên doanh khi luật Việt Nam cho phép.
11.	Hanoi Telecom Hutchinson Telecom (Hong Kông)	2005	15	US\$ 656 triệu	Xây dựng mạng di động CDMA ở Hà Nội.	

Nguồn: VNPT website, World Bank, nghiên cứu của VNCI.

khuyến khích nhà đầu tư đầu tư dài hạn vào công nghệ hiện đại hoặc tái đầu tư dự án;

- Thời hạn đầu tư ngắn có thể làm hạn chế thời gian để thu hồi vốn đầu tư.
- Mức khấu hao cao sẽ làm cho chi phí dịch vụ cao hơn.

Việt Nam gần đây có nhiều BCC, tập trung vào mạng viễn thông quốc tế, hệ thống di động và mạng nội hạt với nhiều loại hình dịch vụ, từ cơ bản cho tới giá trị gia tăng.

Mỗi hợp đồng đều khác nhau về phạm vi và nội dung, 9 trong số BCC này đã được ký với VNPT và chỉ có hai BCC được ký kết không phải với công ty VNPT. Biểu 16 chỉ ra những BCC cho đến nay và những thông tin về hợp đồng và thỏa thuận chính.

### **Đánh giá việc thực hiện BCC**

BCC ở Việt Nam có cả thành công lẫn thất bại. BCC giữa VNPT và Telstra là đầu tiên ở Việt Nam, đã mang lại sự hài lòng cho cả hai bên, bởi vì nhu cầu về đường dây quốc tế ở Việt Nam tại thời điểm đó là rất lớn, do VNPT đặt mức cước gọi quốc tế cao, nên thu nhập của Telstra vẫn khả quan cho dù có nhiều hạn chế.

Sau đó, một BCC khác giữa VNPT với Comvik International cũng được thực hiện, và đã mang lại vị trí là mạng điện thoại di động đầu tiên ở Việt Nam. Giống như các cuộc gọi quốc tế, cước di động do VNPT và Chính phủ Việt Nam đặt khá cao, do vậy thu nhập của Comvik từ BCC cũng được coi là chấp nhận được. Trong cả hai BCC này VNPT đều có lợi về cả nguồn vốn lẫn chuyển giao công nghệ từ phía nước ngoài. Gần đây, VNPT đã quyết định không ký lại BCC với Comvik, điều này có thể làm tăng rủi ro và chi phí cho các BCC trong tương lai.

Số phận của những BCC khác với VNPT trong những lĩnh vực ít có lãi hơn như mạng điện thoại cố định nội hạt cũng kém thỏa mãn hơn. Những BCC này đang tồn tại với NTT (Nhật Bản) cho khu vực Hà Nội, France Telecom cho khu vực thành phố Hồ Chí Minh và KT (Hàn Quốc) cho khu vực Hải

Phòng, Quảng Ninh, Hải Dương và Hưng Yên. Nguồn vốn đầu tư của phía nước ngoài trong những BCC đó rất quan trọng và được phía Việt Nam công nhận. Tuy nhiên, công nghệ và những đóng góp công nghệ của phía nước ngoài không được các quan chức viễn thông trong nước đánh giá cao, họ còn tuyên bố rằng Việt Nam cũng đã làm chủ công nghệ về mạng điện thoại nội hạt. Quan trọng hơn là, do cước cho các cuộc gọi nội hạt do VNPT và Chính phủ định giá là khá thấp, nên doanh thu đối với các nhà đầu tư là không thỏa mãn. Có những căng thẳng nảy sinh giữa một số nhà đầu tư nước ngoài ở VNPT về mức IRR được áp dụng khi kế hoạch kinh doanh hàng năm được chuẩn bị.

Nhiều nhà đầu tư nước ngoài của những BCC này cho rằng cần có sự thay đổi lớn về hình thức đầu tư nếu Việt Nam muốn duy trì một môi trường đầu tư tốt trong khu vực viễn thông trong tương lai. Theo một nhà quản lý của Telstra thì cần phải có một hình thức đầu tư mới bởi vì hệ thống BCC hiện nay không theo kịp với xu hướng toàn cầu. Theo Comvik International, BCC với VNPT là thành công nhưng kết quả tài chính không đáp ứng mong đợi của Comvik bởi những yếu kém trong hệ thống BCC và những thay đổi về thuế. Tương tự như vậy, một nhà quản lý viễn thông Hàn Quốc nói rằng “Kinh nghiệm và những thành quả của chúng tôi thôi thúc chúng tôi đầu tư hơn nữa, nhưng phải trong một môi trường nhiều ưu đãi đối với các doanh nghiệp đầu tư trực tiếp nước ngoài hơn. Hệ thống BCC không phù hợp với những ngành –

như Internet – những ngành đang phát triển rất nhanh và cần có cạnh tranh thị trường. Để khuyến khích phát triển những ngành này, các doanh nghiệp nước ngoài cần được phép chia sẻ quyền sở hữu và tham gia trực tiếp vào khai thác kinh doanh”. Những ý kiến này giải thích trong một chừng mực nào đó về kế hoạch của VNPT trong việc huy động vốn cho khai thác điện thoại di động qua kêu gọi nguồn vốn từ dân chúng không phải mở rộng trong BCC.

Trong tương lai, chi phí vốn cho đầu tư những dự án viễn thông có thể sẽ lớn hơn nhưng lợi nhuận mong đợi có thể sẽ thấp đi do cạnh tranh mạnh hơn. Do vậy, nếu như hình thức BCC vẫn tiếp tục được sử dụng, thì Việt Nam chỉ có thể thu hút những nhà đầu tư chất lượng thấp. Một giải pháp thay thế đối với Việt Nam là phải mở rộng những loại hình đầu tư nước ngoài, trước hết là đối với những nhà đầu tư Mỹ, theo yêu cầu của BTA.

Việt Nam đã đồng ý trong BTA với Mỹ về thời gian biểu cho phép những liên doanh với đầu tư Mỹ trong khu vực viễn thông. Có thể một cam kết tương tự cũng sẽ được ký kết với các nước khác trong quá trình Việt Nam gia nhập WTO. Một số nước có thể đã được hưởng lợi từ lịch trình đó là do hầu hết những điều khoản của những nước có ưu thế hơn trong thương mại và trong những hiệp ước đầu tư với Việt Nam. Trong bất cứ trường hợp nào, dường như cuối cùng Chính phủ Việt Nam cũng sẽ ban hành những quyết định cho phép nhà đầu tư từ khắp các nước tham gia vào liên doanh về viễn thông theo lịch trình

tương tự như lịch trình áp dụng cho những nhà đầu tư của Mỹ. Khi hình thức BCC với điện thoại di động chấm dứt, thì dường như chính sách của Chính phủ, sức ép của thị trường và sức ép về tài chính đều đẩy những công ty Việt Nam phải tiến tới liên doanh.

### So sánh với các nước trong khu vực về đầu tư nước ngoài

Mức độ tự do hóa của thị trường dịch vụ điện thoại cố định truyền thống thường được sử dụng để xác định xem thị trường viễn thông có sẵn sàng chấp nhận cạnh tranh hay không. Xét về số lượng nhà cung cấp, thì cơ cấu thị trường với độc quyền của một hoặc công ty hay độc quyền hai công ty vẫn chiếm ưu thế trong các thị trường dịch vụ điện thoại cố định của các nước ASEAN. Chỉ có Philippine, Malaysia và Việt Nam là có cơ cấu thị trường cạnh tranh (cơ cấu thị

**Biểu 17: So sánh về hạn chế sở hữu nước ngoài**

Tên nước	Tỷ lệ % vốn nước ngoài được phép	Yêu cầu về hình thức đầu tư theo pháp luật
Brunei	Chưa cho phép	Chưa có thông tin
Campuchia	49 (có ngoại lệ)	Không
Indonesia	Ngoài ASEAN: 35, trong ASEAN 40 (có ngoại lệ)	JV, JO, CM
Lào	Vốn nước ngoài không dưới 30% trong liên doanh	Liên doanh hoặc công ty nước ngoài
Malaysia	Trong 5 năm đầu là 61, sau đó 49	Thông qua cổ phần của các nhà khai thác
Myanmar	Chưa cho phép	Chưa cho phép
Philippines	40	Không hạn chế
Singapore	100	Không hạn chế
Thái Lan	20	Liên doanh
Việt Nam	Chưa cho phép	Chỉ thông qua BCC

trường cạnh tranh được định nghĩa là khi có hơn 3 nhà cung cấp dịch vụ cạnh tranh với các nhà khai thác điện thoại công cộng (PTO). Tuy nhiên, không giống với hầu hết

các nước ASEAN khác, Việt Nam hạn chế sự tham gia góp vốn của các doanh nghiệp nước ngoài. Điều này được chỉ rõ ở Biểu 17.



# VAI TRÒ CHỦ ĐẠO CỦA VNPT

**V**iệc áp dụng cạnh tranh trong ngành viễn thông là một hiện tượng khá mới mẻ, chủ yếu là do sự tan vỡ của tập đoàn AT&T ở Mỹ vào năm 1984. Trước đây, lĩnh vực viễn thông được coi là độc quyền tự nhiên. Ở nhiều nước, cả ở nước phát triển và đang phát triển, sự độc quyền là do Nhà nước nắm giữ. Tuy nhiên trong những thập niên 80 và 90, mô hình này dần dần thay đổi khi các nước bắt đầu áp dụng một mô hình mới dựa trên sở hữu tư nhân và cạnh tranh. Ở hầu hết các nước, lĩnh vực di động trở thành môi trường cạnh tranh mạnh mẽ, không chỉ đối với các nhà khai thác di động mà còn đối với các nhà khai thác cố định. Mạng lưới viễn thông mới đòi hỏi những khoản đầu tư lớn, làm nảy sinh hàng loạt các nhà khai thác mới, các liên doanh và các mô hình kinh doanh mới dựa trên đầu tư từ khu vực tư nhân.

Các nhà hoạch định chính sách và quản lý khi muốn nhanh chóng giảm bớt lợi thế tự nhiên của các nhà khai thác chủ đạo cần phải tác động vào thị trường và thúc đẩy cạnh tranh. Khi nhà khai thác chủ đạo là một doanh nghiệp Nhà nước, thì sẽ dẫn đến thiên vị. Khi nhà khai thác là tư nhân hoặc được tư nhân hóa, doanh nghiệp chủ đạo về mặt hạ tầng mạng lưới và thị phần vẫn có thể có cơ hội để thực hiện các hành vi, chống cạnh tranh. Vì thế, cộng đồng quốc tế đã xây dựng phụ lục GATS về viễn thông và Tài liệu Tham chiếu, đưa ra các

tiêu chuẩn tối thiểu nhằm ngăn ngừa một nhà khai thác chủ đạo xây dựng thế độc quyền, hay một doanh nghiệp mới có thị phần lớn sử dụng vị trí của họ để có các hoạt động chống cạnh tranh. Về nguyên tắc, Việt Nam đồng ý với các tiêu chuẩn này.

Vai trò chủ đạo của VNPT trong lĩnh vực viễn thông ở Việt Nam là rất rõ, Ngân hàng Thế giới ước đoán doanh nghiệp này chiếm giữ 94% thị phần - trên mức mà MPT định ra cho doanh nghiệp có thị phần khống chế. Việc tiếp tục nắm giữ các cơ sở hạ tầng chủ chốt và thị phần lớn đối với nhiều mảng thị trường viễn thông đã đẩy lên câu hỏi liệu VNPT có đang ngăn cản cạnh tranh, và do đó tác động tiêu cực đến việc mở rộng mạng lưới, chất lượng dịch vụ và việc triển khai các dịch vụ tiên tiến hay không. Mối quan hệ truyền thống giữa MPT và VNPT đó làm nóng thêm sự tranh luận về việc có cần thiết cơ cấu lại toàn bộ VNPT và thiết lập một cơ quan quản lý hoàn toàn độc lập.

Các vấn đề này được trình bày theo những bằng chứng của các nhà cung cấp dịch vụ khác về các hành vi hoạt động chống cạnh tranh của VNPT. Việc điều tra các bằng chứng này có xác thực không nằm ngoài phạm vi của bản báo cáo này. Tuy nhiên, nó cho thấy sự cấp thiết phải xem xét lại vị trí của VNPT trong việc đánh giá về môi trường cạnh tranh trong lĩnh vực viễn thông, và tác động của cạnh tranh đối với sự phát triển

trong tương lai của ngành viễn thông. Rất nhiều khiếu nại về VNPT đã được MPT điều tra và giải quyết. Tuy nhiên, có nhiều dấu hiệu cho thấy xu hướng vẫn tiếp tục. Các khiếu nại cụ thể về hành vi chống cạnh tranh của VNPT bao gồm:

- Phân bổ cơ sở hạ tầng mạng không công bằng;
- Giá thành sử dụng cơ sở hạ tầng mạng cao;
- Bù giá chéo;
- Từ chối cung cấp dịch vụ;
- Bắt buộc sử dụng dịch vụ của VNPT;
- Lạm dụng các biện pháp kỹ thuật để ngăn cản dịch vụ của đối thủ.

## Hành vi chống cạnh tranh

### Phân bổ cơ sở hạ tầng mạng không công bằng

Nhờ vào vị thế của nhà khai thác chủ đạo, VNPT nắm giữ hầu hết mạng lưới viễn thông của Việt Nam và là nhà khai thác duy nhất có mật độ phủ sóng rộng khắp toàn quốc. Với thực tế này, các nhà khai thác đối thủ phải kết nối với VNPT để cung cấp các dịch vụ viễn thông đường dài (đường trực hoặc dịch vụ đường trực), dịch vụ truy cập nội hạt, đó là chưa đến việc truy cập vào các mạng con của VNPT như di động, dữ liệu và Internet. Theo các chuyên gia của ngành, VNPT thường xuyên lấy lý

do năng lực mạng hạn chế để từ chối việc kết nối của các nhà khai thác viễn thông mới, hoặc chỉ đáp ứng một phần nhỏ yêu cầu của họ. Trên thực tế, các hành động này đã làm thui chột sự cạnh tranh và do đó làm giảm sự phát triển của ngành.

Trường hợp Viettel là một ví dụ. Theo thỏa thuận kết nối giữa hai bên, Viettel đã có văn bản đề nghị kết nối trước 3 tháng để VNPT có thể chuẩn bị kế hoạch đầu tư và nâng cấp mạng lưới. Ngày 30/10/2002, Viettel gửi công văn tới VNPT để thông báo về kế hoạch khai trương mạng VoIP ở 21 tỉnh và đề nghị tăng dung lượng kết nối cho 17 tỉnh trong năm 2003. Tuy nhiên, kết quả là VNPT chỉ đồng ý cho phép Viettel khai trương mạng ở 9 tỉnh. Đó chỉ là một hành vi bình thường nếu VNPT thực sự không có đủ năng lực mạng. Tuy nhiên, có nhiều dấu hiệu cho thấy VNPT có đầy đủ năng lực mạng cho các hoạt động của chính VNPT trong khi không chia sẻ dung lượng đó cho các doanh nghiệp khác.

### **Giá thành sử dụng cơ sở hạ tầng mạng cao**

VNPT bị phàn nàn đã áp đặt mức giá không hợp lý đối với việc thuê sử dụng cơ sở hạ tầng mạng của VNPT và do vị trí chủ đạo trên thị trường, các đối thủ không có lựa chọn nào khác mà bắt buộc phải mua dịch vụ với giá quá cao của VNPT. Có thể lấy ví dụ về lịch trình giảm giá đối với dịch vụ thuê kênh cho các công ty ngoài VNPT. Các công ty ngoài VNPT phải thuê đường truyền quốc tế từ VTI, một công ty con của VNPT, với giá cao gấp 4 lần mức VTI thuê kênh từ

các công ty nước ngoài. Tương tự, một công ty khác phàn nàn rằng mức phải trả cho VNPT chiếm 79,9% giá cho thuê kênh của công ty này, cao gấp 4 lần mức các nước khác trong khu vực<sup>9</sup>. Do các công ty mới không thể thuê đường cáp quang quốc tế, nhà khai thác chủ đạo VNPT thu 300% tiền chênh lệch từ các đối thủ cạnh tranh.

### **Bù chéo**

Bù chéo có nghĩa là lấy lợi nhuận cao thu được từ dịch vụ này, ví dụ như thuê kênh quốc tế để cung cấp một dịch vụ khác, ví dụ như dịch vụ trong nước với mức giá thấp hơn. Khi một đối thủ cạnh tranh phải trả cho một dịch vụ bị đặt mức giá quá cao, ví dụ dịch vụ thuê kênh quốc tế, công ty đó và người sử dụng đang phải trợ giá người sử dụng của một dịch vụ có giá thành thấp hơn ví dụ như dịch vụ điện thoại trong nước. Điều này rõ ràng đã đi ngược với quy định của Chính phủ được nêu rõ trong Quyết định 217/2003/QĐ-TTg rằng “phí kết nối của các công ty viễn thông được xác định... không có sự phân biệt giữa các công ty viễn thông và giữa các thành viên của công ty viễn thông này với các công ty viễn thông khác”. Điều này có nghĩa rằng tất cả các công ty viễn thông đều phải trả cùng một khoản phí kết nối do MPT quy định.

Tuy nhiên, VNPT không thể tính toán một cách chính xác kết nối dựa trên chi phí bởi vì doanh nghiệp này không có một hệ thống kế toán riêng, hoặc không có đủ các quy trình quản lý tài

<sup>9</sup> Phong Lan, Doanh nghiệp đứng trước khó khăn lớn do phí thuê kênh cao, VnExpress, 31.03.2004.

chính đối với một số công ty con có liên quan đến vấn đề bù chéo. Ví dụ, các công ty Internet và di động của VNPT thiếu một hệ thống kế toán chi phí và không trả VNPT phí kết nối. Điều này phá vỡ thị trường và cho phép nhà khai thác chủ đạo có lợi thế cạnh tranh rõ rệt.

### **Từ chối dịch vụ**

Có nhiều trường hợp cho thấy VNPT từ chối cung cấp dịch vụ cho đối thủ cạnh tranh, cụ thể là Viettel và SPT. Theo quy định, nhà khai thác chủ đạo phải cung cấp mọi dịch vụ đang có trên mạng lưới của mình cho khách hàng của nhà khai thác mới. Tuy nhiên, có trường hợp, VNPT đã từ chối cung cấp dịch vụ gia tăng giá trị, số điện thoại miễn phí (dịch vụ 800) và dịch vụ điện thoại trả tiền (dịch vụ 900) đối với các thuê bao của Viettel. Có một số trường hợp khác VNPT đã từ chối cung cấp dịch vụ danh bạ đã được cấp phép.

### **Bắt buộc sử dụng dịch vụ của VNPT**

Sử dụng quyền lực của nhà cung cấp dịch vụ và nhà khai thác hạ tầng cơ sở mạng chủ đạo, có một số trường hợp các công ty con của VNPT đã bắt buộc các nhà phân phối chỉ được phép bán các dịch vụ của VNPT. Một ví dụ điển hình là công ty NetSoft, một công ty ICT thuộc Bưu điện TP.HCM. NetSoft và quy định trong hợp đồng mẫu với các đại lý là “từ 1/3/2002, các đại lý của Netsoft phải cam kết bán thẻ Internet VNN trả trước (ví dụ VNN 1260-P, Fone VNN...) và cam kết doanh số tối thiểu là 400.000 đồng/tháng, nếu không dịch vụ

ADSL của đại lý này sẽ bị cắt. Nhiều đại lý cho rằng quyết định này là không công bằng, đặc biệt là bởi vì mức phí hoa hồng của Netsoft chỉ khoảng 6-8%, thấp hơn mức hoa hồng 15-25% các ISP (nhà cung cấp dịch vụ Internet) khác đưa ra. Bản hợp đồng của VNPT với các đại lý cũng quy định rằng “Các đại lý của Netsoft không được phép làm đại lý cho các nhà cung cấp dịch vụ Internet khác ngoài VNN”<sup>10</sup>. Vì VNPT chiếm vị trí chủ đạo trên thị trường, các thỏa thuận thương mại này rõ ràng là chống cạnh tranh.

#### **Lạm dụng các biện pháp kỹ thuật để ngăn cản dịch vụ của đối thủ**

Một trong số các phàn nàn thường gặp nhất về VNPT là các đơn vị bưu điện địa phương của VNPT, thường sử dụng các biện pháp kỹ thuật để chuyển lưu lượng VoIP về mạng của VNPT. Các bưu điện tỉnh tham gia vào việc “ngắt trung kế” để chặn các cuộc điện thoại từ mạng VoIP của Viettel và SPT. Trong các trường hợp này, khách hàng chỉ có thể gọi điện thoại qua mạng VoIP của VNPT<sup>11</sup>.

Cũng có một số trường hợp một bưu điện tỉnh của VNPT phạt một khách hàng là công ty lớn do đã chọn đối thủ của VNPT hoặc từ chối mua các dịch vụ gia tăng giá trị của VNPT. Các công ty này gặp trục trặc khi gọi điện hoặc nhận điện thoại, cũng như khi yêu cầu

các dịch vụ sửa chữa từ các bưu điện địa phương<sup>12</sup>.

### **Các vấn đề về Luật Cạnh tranh**

Nếu những bằng chứng về VNPT và các bưu điện tỉnh thành của VNPT được đưa ra ở trên là sự thật thì VNPT đã vi phạm Luật về cạnh tranh được Quốc hội thông qua cuối năm 2004. Một trong các khía cạnh quan trọng của luật mới này là nó được soạn thảo để áp dụng với cả các doanh nghiệp Nhà nước cũng như doanh nghiệp tư nhân. Do đó, một số hành vi của VNPT và các bưu điện tỉnh có thể sẽ là đối tượng cần được điều tra làm rõ bởi các cơ quan có thẩm quyền về thi hành Luật Cạnh tranh tại Bộ Thương mại. Những trường hợp điều tra như vậy cần phải được khởi xướng bởi một người hay một tổ chức lợi ích bị ảnh hưởng bởi việc vi phạm Luật Cạnh tranh, hoặc bởi Cục Quản lý Cạnh tranh, một cơ quan mới được thiết lập trong Bộ Thương mại. Việc vi phạm Luật Cạnh tranh, hoặc có thể dẫn đến:

- a) Áp dụng một hoặc nhiều biện pháp trừng phạt đối với những người vi phạm, bao gồm phạt tiền, thu hồi giấy phép, các biện pháp khác như hủy bỏ các hợp đồng hoặc giao dịch bất hợp pháp.
- b) Trả tiền bồi thường cho những thiệt hại gây ra với cá nhân, tổ

chức hoặc một quốc gia bị ảnh hưởng bởi việc vi phạm<sup>13</sup>.

Hội đồng thực hiện luật cạnh tranh, một cơ quan khác được thành lập theo Luật Cạnh tranh, sẽ quyết định ở đâu có vi phạm, áp dụng các trừng phạt, các biện pháp khắc phục việc vi phạm, và hình thức bồi thường. Cũng có khả năng vụ việc phải được đưa lên một cấp hành chính cao hơn hoặc tòa án bởi vì tiêu chí để xem xét lại một quyết định ban đầu được quy định rất rõ trong luật. Khả năng VNPT hoặc một bưu điện tỉnh thành bị trừng phạt vì các việc làm sai trái bị khiếu nại, nếu chứng minh được, sẽ phụ thuộc vào chính sách của Chính phủ về cạnh tranh và mức độ giữa VNPT (hoặc bưu điện tỉnh thành) với các cơ quan Chính phủ giải quyết vụ kiện.

Hầu hết các việc làm chống cạnh tranh mà VNPT và các bưu điện tỉnh bị khiếu nại rơi vào trường hợp lạm dụng vị trí chủ đạo trên thị trường. Có 6 loại lạm dụng vị trí chủ đạo trên thị trường bị cấm trong luật hiện nay, và hầu hết hành vi của VNPT bị khiếu nại rơi vào một hoặc vài loại hành vi sẽ bị cấm. Biểu 18 tổng kết một số hành vi chống cạnh tranh của VNPT và các bưu điện tỉnh bị khiếu nại và tham chiếu tới hành vi lạm dụng vị trí chủ đạo bị cấm trong điều 13 của Luật về Cạnh tranh.

Theo các nội dung thảo luận ở trên về khả năng áp dụng Luật Cạnh tranh đối với lĩnh vực viễn thông, các vấn đề thuộc mục lạm

10. Một cuộc cạnh tranh đi vào ngõ cụt, Thanh Niên Online, 18/7/2004.

11. Hoàng Ly, Cạnh tranh theo kiểu luật rừng, Thanh Niên Online, 13/9/2004

12. Sau khi xảy ra nhiều sự việc như vậy, tháng 6/2004, Bộ BCVT đã tổ chức điều tra ở bưu điện tỉnh Khánh Hòa, và buộc VNPT phải ký biên bản với Viettel và cam kết không để các sự việc như vậy tái diễn. Tuy nhiên, bất chấp biên bản đó, được biết sự việc đó vẫn diễn ra, và tháng 8/2004, Bộ Quốc phòng đã họp với Bộ BCVT để đề nghị Bộ BCVT can thiệp giải quyết triệt để.

13. Các điều 116 và 117 của Luật Cạnh tranh nêu rằng tiền phạt tối đa là 10% doanh thu của bên vi phạm trong năm tài chính trước năm xảy ra hành vi vi phạm.

**Biểu 18: Các vấn đề viễn thông được giải quyết theo Luật Cạnh tranh**

Hành vi bị khiếu nại	Loại lạm dụng vị trí chủ đạo bị cấm
Giá dịch vụ cơ sở hạ tầng cao	<b>Bắt chẹt về giá</b> 2. Áp đặt giá bán hoặc mua không hợp lý đối với hàng hóa và dịch vụ hoặc cố định giá bán lại tối thiểu, gây thiệt hại cho khách hàng.
Bù chéo	<b>Phân biệt giá:</b> 1. Bán hàng hóa với giá thấp hơn chi phí giá thành (bao gồm chi phí sản xuất và chi phí phân phối) nhằm ngăn ngừa cạnh tranh, trừ một số trường hợp đặc biệt do Chính phủ cung cấp. 4. Áp dụng nhiều điều khoản thương mại khác nhau với các doanh nghiệp khác nhau đối với cùng một loại giao dịch, do đó đẩy các doanh nghiệp này vào vị trí không công bằng về mặt cạnh tranh.
Từ chối dịch vụ	<b>Từ chối dịch vụ:</b> 6. Cản trở việc tham gia thị trường của các đối thủ mới.
Phân bổ cơ sở hạ tầng mạng không công bằng	<b>Từ chối dịch vụ:</b> 6. Cản trở việc tham gia thị trường của các đối thủ mới.
Bắt buộc sử dụng dịch vụ của VNPT	<b>Trói buộc:</b> 5. Áp đặt lên doanh nghiệp khác điều kiện để được ký hợp đồng mua hoặc bán hàng hóa và dịch vụ, hoặc bắt buộc một doanh nghiệp khác chấp nhận một số nghĩa vụ không liên quan trực tiếp đến nội dung hợp đồng
Lạm dụng các biện pháp kỹ thuật để ngăn cản dịch vụ của đối thủ.	<b>Hạn chế thị trường, từ chối cung cấp dịch vụ:</b> 3. Hạn chế sản xuất (hoặc) phân phối, hạn chế thị trường hoặc cản trở phát triển về công nghệ và kỹ thuật, do đó gây ra thiệt hại cho khách hàng. 6. Cản trở việc tham gia thị trường của các đối thủ mới.

dụng vai trò chủ đạo có thể được coi là rất quan trọng đối với lĩnh vực này. Khi lĩnh vực viễn thông phát triển và thu hút ngày càng nhiều công ty với các năng lực cạnh tranh khác nhau tham gia, thì vấn đề này càng trở nên quan trọng và các vấn đề khác trong luật cạnh tranh, ví dụ các thỏa thuận về hạn chế cạnh tranh, sáp nhập hay thôn tính và các đạo luật về cạnh tranh không công bằng cũng sẽ trở nên rất quan trọng. Do tầm quan trọng của các vấn đề về cạnh tranh đối với các quy định trong lĩnh vực viễn thông,

một số nước đã giao chức năng thi hành luật cạnh tranh trong ngành cho cơ quan quản lý viễn thông độc lập chứ không phải là (hoặc thêm vào) cơ quan thi hành luật cạnh tranh chung. Luật Cạnh tranh của Việt Nam cho tới nay chưa có sự chỉ định này, có lẽ bởi vì không có một cơ quan quản lý độc lập về viễn thông. Tuy nhiên, hoạt động của Hội đồng cạnh tranh trong việc thực hiện Luật Cạnh tranh trong lĩnh vực viễn thông có thể hỗ trợ cho việc thiết lập một cơ quan quản lý mới về viễn thông, cơ quan này có thể được

giao thực hiện một số khía cạnh của luật cạnh tranh trong lĩnh vực viễn thông trong tương lai.

## Về vấn đề tư nhân hóa VNPT

Hầu hết các nhà lãnh đạo trên toàn cầu đều nhất trí cho rằng tư nhân hóa và cạnh tranh mang lại lợi ích kinh tế và xã hội cho toàn xã hội, đặc biệt là trong lĩnh vực viễn thông. Đôi khi còn được gọi là cổ phần hóa, hay tư bản hóa, vấn đề tư nhân hóa nhận được sự đồng thuận ở rất nhiều nước châu Á, nơi mà các Chính phủ đang dành nhiều công sức cho việc tự do hóa nền kinh tế và cải cách lĩnh vực công, có chú trọng đến việc cải tổ cơ cấu trong lĩnh vực viễn thông. Trong khi các cải tổ về thể chế quản lý, về tư nhân hóa và việc áp dụng Luật Cạnh tranh ngày càng được ủng hộ trên thế giới, mỗi nước vẫn cần phải theo đuổi một chiến lược và có một lộ trình thay đổi phù hợp nhất với tình hình kinh tế, chính trị, xã hội của nước đó. Tuy nhiên, xu hướng thì rất rõ ràng: Chính phủ của các nước trong khu vực đang thực hiện các sáng kiến đầy hoài bão nhằm cải tổ ngành viễn thông và mục đích cuối cùng là cải thiện nền kinh tế và phúc lợi xã hội của người dân. Trong khi các nhà lãnh đạo tiếp tục theo đuổi con đường xây dựng năng lực thể chế, tư nhân hóa, cấp phép cho các nhà cung cấp dịch vụ mới, quá trình tự do hóa có thể sẽ mang lại vô số cơ hội cho lĩnh vực tư nhân đầu tư vào hạ tầng cơ sở viễn thông cũng như hiện đại hóa và tiếp cận gần hơn các công nghệ viễn thông và dịch vụ thông tin tiên tiến.

**Biểu 19: Các cuộc cổ phần hóa ở châu Á trong những năm 1990**

Năm	Nước	Công ty	% bán	Doanh số	Tài chính	Người mua
1999	Ấn Độ	VSNL	10,0	104 triệu USD	Niêm yết	Trong nước/Nước ngoài
1997	Ấn Độ	MTLN	8,5	359 triệu USD	Niêm yết	Đa dạng
1997	Ấn Độ	VSNL		448 triệu USD	Niêm yết	Nhà đầu tư nước ngoài
1997	Trung Quốc	China Telecom HK	25,0	3.933 triệu USD	Bán cho Ngân hàng Mỹ	Đa dạng
1997	Kazakhstan	Kazakh Telekom	40,0	370 triệu USD	Bán riêng	Nhà đầu tư nước ngoài
1997	Nga	Svyazinvest	25,0	1.875 triệu USD	Bán riêng	Nhà đầu tư trong nước
1997	Srilanka	Srilanka Telecom	35,0	225 triệu USD	Đấu thầu	Nhà đầu tư nước ngoài
1991	Thổ Nhĩ Kỳ	Turk Kablo	38,0	11 triệu USD	Bán trực tiếp	Nhà đầu tư nước ngoài
<b>Tổng</b>				<b>7.324 triệu USD</b>		

Nguồn: Ngân hàng Thế giới, Nghiên cứu của VNCI.

Tuyên bố gần đây của VNPT về ý định sẽ bán ra công chúng 49% cổ phiếu của công ty di động của VNPT cho thấy đã đến thời điểm thích hợp cho Việt Nam thảo luận một chính sách tổng thể về vấn đề tư nhân hóa. Xu hướng gần đây cho thấy việc chưa có một chính sách như thế trên thực tế là đã quá muộn. Chỉ riêng trong năm 1996, có hơn 110 công ty viễn thông được tư nhân hóa ở gần 70 nước khác nhau. Năm 1997, có thêm 17 công ty, mang lại hơn 40 triệu USD. Năm 1998, Brazil tư nhân hóa doanh nghiệp viễn thông Nhà nước, thu được 19 tỷ USD từ đấu thầu. Trong tất cả các cuộc tư nhân hóa trong năm 1997 và 1998, lĩnh vực viễn thông chiếm 1/4 giao dịch. Gần đây, cuối những năm 90, Ấn Độ cũng tiến hành tư nhân hóa, thu được gần 1 tỷ USD thông qua đấu thầu, và Pakistan cũng đang bán 26% trong PTCL, với trị giá gần 750 triệu USD. Thái Lan cũng dự định bán 2 doanh nghiệp viễn thông Nhà nước (và gần đây

đã thiết lập một cơ quan quản lý độc lập như là một bước khởi đầu). Trên thực tế, trong những năm gần đây, hơn 50 Chính phủ đã chuyển giao quyền sở hữu và điều hành các doanh nghiệp viễn thông Nhà nước cho khu vực tư nhân, thu lại hơn 200 tỷ USD - một xu hướng chắc chắn sẽ không thể giảm đi trong tương lai. Biểu 19 cho thấy tổng quan về các cuộc tư nhân hóa gần đây trong khu vực.

Trên quốc tế, lợi ích của tư nhân hóa là rất thuyết phục. Số liệu thống kê của các cuộc tư nhân hóa gần đây đã chứng tỏ rằng việc thu hút vốn và quản lý tư nhân sẽ làm cho mạng lưới được mở rộng, tăng mật độ điện thoại, mức đầu tư cao hơn và ứng dụng các công nghệ tiên tiến. Tuy nhiên, tư nhân hóa ở một số nước tạo ra nhiều lợi ích hơn một số nước khác. Ví dụ, xét về quan hệ giữa tư nhân hóa và đầu tư hàng năm vào lĩnh vực viễn thông, số liệu thực tế chỉ ra rằng đầu tư hàng năm tăng trong môi trường hậu tư nhân

hóa. Ở Mexico, đầu tư hàng năm tăng gần như gấp 3 lần chỉ trong vòng một năm đầu. Ở Malaysia, đầu tư hàng năm tăng gấp 3 lần trong suốt 4 năm sau khi tư nhân hóa. Xét về mật độ điện thoại và/hoặc phổ cập dịch vụ viễn thông, sự khác biệt tương tự xảy ra, tư nhân hóa có một tác động tích cực, nhưng mức lợi ích thu được ở các nước có khác nhau.

Ngoài việc phát triển nhanh chóng mạng lưới, kinh nghiệm quốc tế cho thấy rằng tư nhân hóa còn dẫn đến tăng doanh thu đối với nhà khai thác cố định, doanh thu cao hơn tính trên một máy điện thoại và cải thiện hiệu suất hoạt động tính theo số nhân viên/đường điện thoại. Nói đơn giản hơn, trung bình, các cuộc tư nhân hóa trên thế giới đã tăng năng suất nhà khai thác cố định, tăng mạnh mức đầu tư và mật độ điện thoại.

Qua việc học hỏi kinh nghiệm quốc tế, Việt Nam có thể phát

triển các kế hoạch tư nhân hóa và tự do hóa đáp ứng được nhu cầu chung của đất nước. Cần phải ghi nhớ rằng rất nhiều kiến thức về kỹ thuật, luật pháp và kinh doanh trong ngành viễn thông nằm trong khu vực tư nhân; quá trình tư nhân

hóa này sẽ cho phép Chính phủ khai thác nguồn thông tin và kinh nghiệm này. Theo cách này, một số lợi ích cạnh tranh có thể cung cấp các phân tích, khuyến nghị khác nhau. Tư nhân hóa, mặc dù là bước quan trọng đầu tiên, cần phải được

xem xét như là chỉ một trong các chính sách ban đầu về tự do hóa, và cuối cùng cần phải được kết hợp với cuộc cải cách cơ chế quản lý và việc triển khai các lực lượng cạnh tranh trên thị trường.

# KẾT QUẢ KHẢO SÁT KHÁCH HÀNG SỬ DỤNG DỊCH VỤ VIỄN THÔNG

Cường này dựa trên kết quả điều tra các nhà sử dụng dịch vụ viễn thông, một số đặc trưng chính về cấu trúc trong ngành viễn thông, để đưa ra một số vấn đề về nhu cầu khách hàng trong ngành viễn thông Việt Nam.

Như đề cập ở phần dưới, có 89 doanh nghiệp (trong tổng số mẫu 150 doanh nghiệp được điều tra) đã tham gia trả lời phiếu tập trung vào những vấn đề chính sau:

- Tình hình thực tế của việc sử dụng dịch vụ viễn thông ở các doanh nghiệp;
- Chất lượng sản phẩm và dịch vụ viễn thông hiện có trên thị trường;
- Mối quan hệ giữa giá cả và số lượng và loại hình dịch vụ viễn thông;
- Hành vi của doanh nghiệp có thể xảy ra nếu dịch vụ viễn thông được cải thiện một cách đáng kể.

## Mẫu điều tra

Biểu 20 phân loại mẫu điều tra theo địa điểm, ngành nghề, hình thức sở hữu và qui mô. Các mẫu điều tra này không phải là đại diện của tất cả các doanh nghiệp ở Việt Nam. Tuy vậy, một số tiêu chí

**Biểu 20: Phân loại mẫu điều tra**

Địa điểm		Ngành nghề		Sở hữu		Qui mô (Nhân lực)	
Hà Nội	72%	ICT	37%	Tư nhân	66%	Nhỏ hơn 100	58%
HCM	25%	Dịch vụ khác	36%	Nhà nước	20%	100 đến 300	20%
Khác	3%	Sản xuất	15%	ĐTNN	14%	300 đến 500	11%
		Ngân hàng	12%			Lớn hơn 500	11%
<b>100%</b>		<b>100%</b>		<b>100%</b>		<b>100%</b>	

chính đã được sử dụng trong việc lựa chọn doanh nghiệp điều tra:

- Thứ nhất, chúng tôi tập trung điều tra vào các doanh nghiệp sử dụng nhiều dịch vụ viễn thông như các doanh nghiệp thuộc lĩnh vực ICT, ngân hàng và dịch vụ khác. Chỉ có 12% doanh nghiệp trên tổng số mẫu điều tra là từ khu vực sản xuất;
- Thứ hai, để phù hợp với mục tiêu dự án VNCI tập trung vào xây dựng khả năng cạnh tranh của doanh nghiệp vừa và nhỏ trong nước thuộc sở hữu tư nhân, chúng tôi chỉ chọn khoảng 1/3 doanh nghiệp trong tổng số mẫu điều tra là các doanh nghiệp thuộc sở hữu Nhà nước và doanh nghiệp có vốn đầu tư nước ngoài;
- Cuối cùng, chúng tôi cố gắng sử dụng càng nhiều càng tốt mạng lưới hiện có của Sáng kiến liên kết doanh nghiệp VNCI. Bởi vậy, chúng tôi đã tiến hành điều tra

30 doanh nghiệp thuộc Sáng kiến phần mềm/ICT của dự án VNCI ở cả Hà nội và thành phố Hồ Chí Minh, và 14 ngân hàng thương mại cổ phần thuộc khối ngân hàng của dự án VNCI.

## Tình hình sử dụng dịch vụ viễn thông

Như trình bày ở Biểu 21, các sản phẩm và dịch vụ viễn thông khác nhau được sắp xếp theo mức độ quan trọng đối với khách hàng sử dụng.

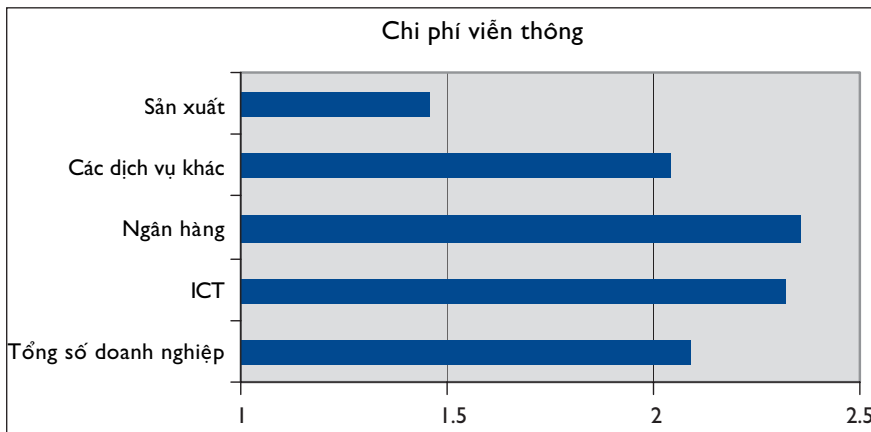
Kết quả chung cho thấy mức độ sử dụng dịch vụ viễn thông trong các doanh nghiệp điều tra là khá thấp, kể cả các doanh nghiệp trong lĩnh vực ICT. Kết quả điều tra cũng cho thấy các dịch vụ viễn thông "truyền thống" như điện thoại cố định, điện thoại di động, và Internet là các dịch vụ quan trọng nhất, và được sử dụng trong mọi lĩnh vực (đặc biệt trong lĩnh vực sản xuất). Trong khi đó, các

**Biểu 21. Mức độ quan trọng của sản phẩm và dịch vụ viễn thông**

	Tổng số doanh nghiệp	IT	Ngân hàng	Dịch vụ	Sản xuất
Điện thoại cố định	1,19	1,24	1,10	1,22	1,08
Internet	1,48	1,40	1,67	1,5	1,50
Điện thoại di động	1,52	1,64	1,78	1,45	1,23
ADSL	1,87	1,38	2,00	1,86	3,09
Kết nối Internet bằng quay số	2,96	3,58	2,60	2,94	1,89
Thuê kênh riêng	3,39	3,59	2,75	3,20	3,78
Truyền số liệu	3,44	3,93	2,22	3,05	4,00
VoIP	3,95	3,93	3,89	3,84	4,33
Chuyển tiếp khung	4,14	4,24	3,25	4,56	3,9
WiFi	4,15	3,95	4,71	4,31	4,00
Dịch vụ 1800	4,16	4,41	4,17	4,24	3,50

Trong đó:

- 1 = rất quan trọng/sử dụng thường xuyên; 2 = quan trọng/sử dụng vừa phải;  
3 = bình thường, có sử dụng; 4 = kém quan trọng/ít sử dụng; 5 = không quan trọng/không sử dụng

**Biểu 22. Tỷ lệ chi phí viễn thông trên tổng chi phí**

Ghi chú: Số trung bình trong đồ thị trên được rút ra từ việc tổng hợp các câu trả lời theo thang điểm sau:

- 1 = chi phí viễn thông / tổng chi phí nhỏ hơn 5%  
2 = chi phí viễn thông / tổng chi phí lớn hơn 5% nhưng nhỏ hơn 10%  
3 = chi phí viễn thông / tổng chi phí lớn hơn 10% nhưng nhỏ hơn 15%  
4 = chi phí viễn thông / tổng chi phí lớn hơn 15%

dịch vụ như kết nối Internet không dây (WiFi), chuyển tiếp khung và dịch vụ 1800 miễn cước người gọi lại kém quan trọng/ít được sử dụng.

Một câu hỏi tiếp theo hỏi về lý do cơ bản mà doanh nghiệp không sử dụng các sản phẩm/dịch vụ viễn thông mới. Để trả lời câu hỏi này, chúng tôi đã đưa ra ba câu trả lời

lựa chọn: 1) dịch vụ này chưa có; 2) sử dụng dịch vụ này không mang lại lợi ích thương mại gì; 3) dịch vụ này có mức giá cao. Số doanh nghiệp chọn câu trả lời số 2 chiếm đa số. Điều này cho thấy rằng hàng loạt dịch vụ mới không được tận dụng. Thực tế này có thể là do sự thiếu hiểu biết của các doanh nghiệp và hoạt động marketing không có hiệu quả của các nhà cung cấp các dịch vụ viễn thông mới.

### Chi phí viễn thông

Chi phí cho các dịch vụ viễn thông của các doanh nghiệp được điều tra chiếm khoảng 5% trên tổng số chi phí hoạt động sản xuất. Đối với các doanh nghiệp trong lĩnh vực tài chính và ngân hàng, tỷ lệ chi phí cho dịch vụ viễn thông chiếm khoảng 5-10% trên tổng chi phí trong khi ở các doanh nghiệp sản xuất tỷ lệ này dưới mức 5% (Biểu 22).

Theo ý kiến của các doanh nghiệp, giá cước dịch vụ viễn thông là rất cao. Điều này được thể hiện rõ trong các trường hợp gọi điện thoại quốc tế, gọi điện thoại đường dài trong nước, gọi điện thoại di động, dịch vụ kết nối Internet bằng quay số và thuê kênh riêng. Tuy vậy, giá cước của các dịch vụ gọi điện thoại cố định nội hạt, ADSL và VoIP là chấp nhận được. Những ý kiến trên đây là đều thống nhất trong các doanh nghiệp ở các ngành khác nhau và được tóm tắt ở Biểu 23.

Các doanh nghiệp cũng được hỏi họ sẽ phản ứng thế nào nếu như giá cước dịch vụ viễn thông giảm 10%, 20%, 30% và 40%. Chúng tôi phát hiện ra rằng, ở mức độ khác



nhau, các doanh nghiệp rất nhạy cảm đối với sự thay đổi giá cước dịch vụ viễn thông (điều đó có nghĩa là việc giảm giá cước dịch vụ sẽ có thể dẫn đến việc tăng đáng kể nhu cầu sử dụng dịch vụ viễn thông). Đây chính là điểm mà các nhà kinh tế học thường gọi là "độ co giãn của giá cả". Độ co giãn giá cả theo tính toán của nhu cầu nằm trong khoảng từ - 0,57 đến - 0,66, với tỷ lệ trung bình của toàn bộ các doanh nghiệp là - 0,63% (lĩnh vực sản xuất có độ co giãn thấp nhất). Điều này có nghĩa là cứ mỗi khi giá cả giảm 10% thì nhu cầu sử dụng dịch vụ viễn thông sẽ tăng thêm khoảng 6%. Theo cách tính toán này thì khi giá cả giảm khoảng 1/3 sẽ dẫn tới thị trường viễn thông tăng thêm 25-30%.

### Đánh giá chất lượng dịch vụ viễn thông

Các doanh nghiệp cũng được điều tra về quan điểm của họ đối với chất lượng dịch vụ dựa trên bốn tiêu chí: thời gian kết nối, tốc độ đường truyền, độ tin cậy của dịch vụ (tần số xuất hiện sự cố) và công nghệ sử dụng. Các ý kiến

phản hồi được tính toán trung bình và tóm tắt ở Biểu 24.

Phần lớn doanh nghiệp trả lời hài lòng với thời gian kết nối, trừ kết nối nội hạt. Biểu 25 cho thấy kết quả điều tra về tần suất xuất hiện sự cố và công nghệ sử dụng. Đánh giá chung là công nghệ khá mới và

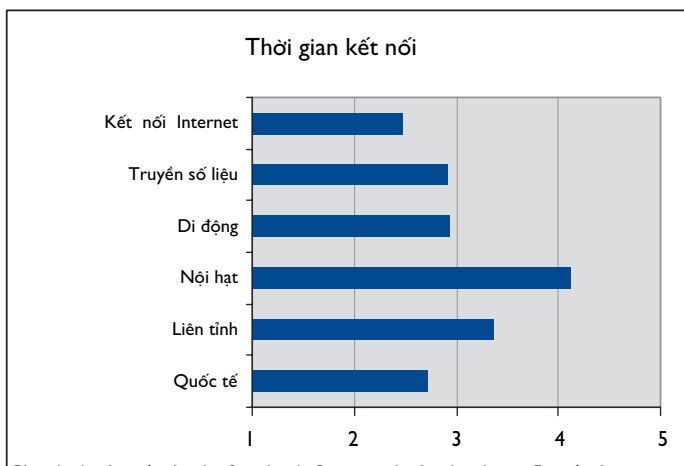
hiện đại mặc dù chưa phải là loại xuất sắc. Qua việc sử dụng các hình ở trên, đánh giá ban đầu về chất lượng dịch vụ viễn thông về cơ bản là khá tích cực. Các doanh nghiệp cho rằng hệ thống dịch vụ viễn thông khá hiện đại, kết nối nhanh và đáng tin cậy mặc dù tốc độ đường truyền còn khá chậm.

**Biểu 23. Đánh giá mức cước dịch vụ viễn thông**

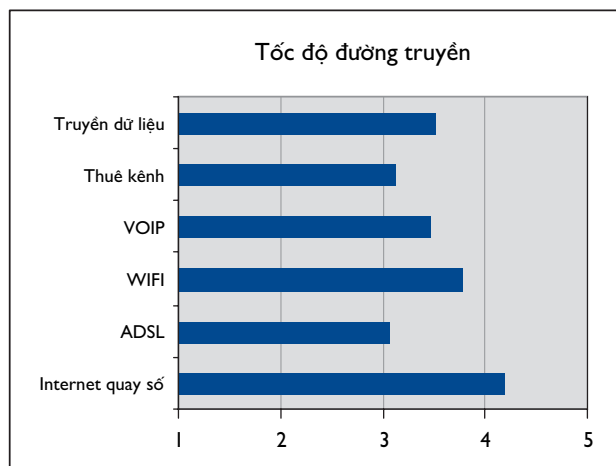
	Tổng số doanh nghiệp	IT	Ngân hàng	Dịch vụ khác	Sản xuất
Điện thoại cố định	2.06	2.19	2.25	1.82	2.33
Gọi quốc tế	1.48	1.47	1.60	1.35	1.69
Gọi liên tỉnh	1.77	1.87	1.73	1.81	1.45
Gọi nội hạt	2.38	2.63	2.50	2.11	2.25
Điện thoại di động	1.62	1.71	1.91	1.48	1.46
Internet quay số	1.98	2.05	1.70	2.08	2.00
ADSL	2.37	2.29	2.00	2.39	2.89
WIFI	2.54	2.15	1.33	3.20	4.33
VOIP	2.84	2.62	3.00	2.77	4.00
Thuê kênh riêng	1.63	1.43	1.22	1.88	2.38
Truyền số liệu	2.03	1.76	1.57	2.40	3.50

Trong đó: 1 = rất cao; 2 = cao; 3 = trung bình; 4 = thấp

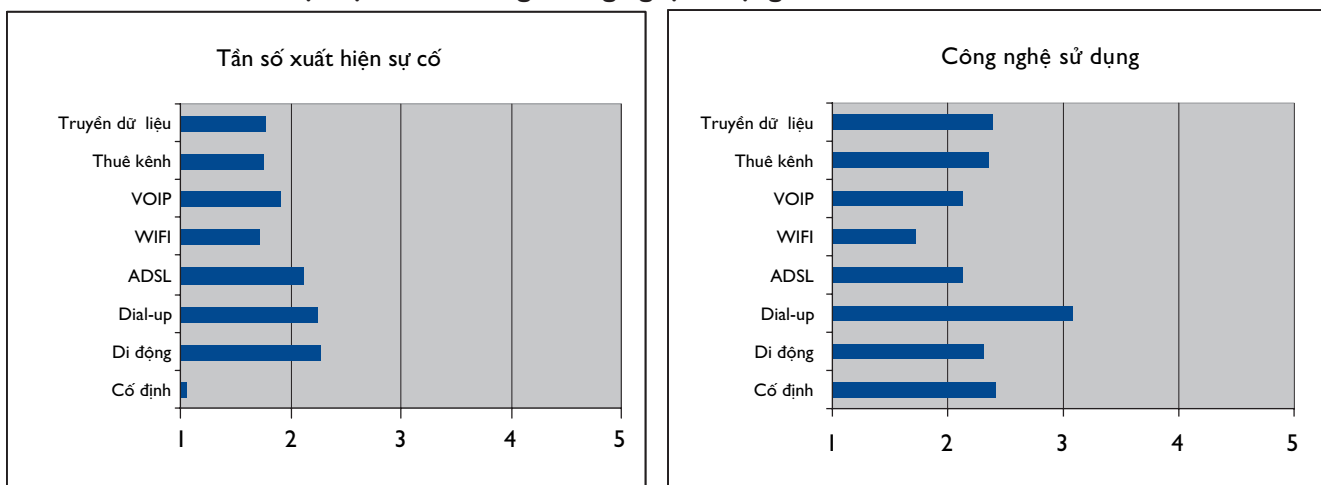
**Biểu 24: Đánh giá chất lượng dịch vụ kết nối**



Chú thích: 1= rất nhanh, 2= nhanh, 3= trung bình, 4= chậm, 5= rất chậm



**Biểu 25: Tần suất xuất hiện sự cố và đánh giá công nghệ sử dụng**



Chú thích: 1 = không bao giờ; 2 = thỉnh thoảng; 3 = bình thường; 4 = thường xuyên; 5 = rất thường xuyên.

Chú thích: 1 = công nghệ mũi nhọn; 2 = khá mới; 3 = trung bình; 4 = cũ; 5 = lạc hậu.

**Biểu 26. Tác động của việc cải thiện dịch vụ đối với doanh nghiệp**

	Tổng số doanh nghiệp	IT	Ngân hàng	Dịch vụ khác	Sản xuất
Tăng doanh thu	6,0%	8,5%	6,5%	4,0%	5,5%
Tăng năng suất lao động	7,5%	8,5%	6,0%	7,0%	7,0%
Giảm chi phí	4,0%	5,0%	4,0%	4,0%	4,0%
Tăng lợi nhuận	6,0%	7,5%	6,0%	5,0%	4,0%
Tốc độ đổi mới công nghệ	7,5%	8,5%	8,5%	5,5%	6,5%

- Mặc dù các dịch vụ mới hiện khá có sẵn trên thị trường nhưng phần lớn các doanh nghiệp tiếp tục đặt lòng tin vào việc sử dụng các dịch vụ điện thoại và Internet truyền thống. Điều này cho thấy khá nhiều cơ hội đổi mới quan trọng vẫn chưa được tận dụng;
- Phần lớn mối quan tâm, của cộng đồng kinh doanh tập trung vào vấn đề cước phí khá cao của các dịch vụ viễn thông ở Việt Nam. Việc giảm cước phí có thể dẫn tới sự gia tăng đáng kể nhu cầu sử dụng dịch vụ viễn thông. Mức cước phí giảm 1/3 thì thị trường viễn thông có thể tăng thêm 25-30%;
- Tốc độ dịch vụ được cải thiện (bao gồm cả cước phí thấp) có thể giúp các doanh nghiệp nâng cao tính cạnh tranh thông qua doanh số và doanh thu tăng đáng kể, tăng lợi nhuận và tăng tốc độ đổi mới.

### Đánh giá tác động của việc cải thiện dịch vụ viễn thông

Các doanh nghiệp được hỏi về tác động có thể xảy ra đối với hoạt động sản xuất kinh doanh của họ nếu dịch vụ viễn thông được cải thiện đáng kể (nghĩa là họ sẽ được nhận các điều kiện tốt nhất về chất lượng, giá cả và dịch vụ sẵn có). Như tóm tắt ở Biểu 26, kết quả điều tra cho thấy sẽ có thể có sự gia tăng đáng kể về doanh thu, năng suất lao động, lợi nhuận và tốc độ đổi mới. Không có gì

ngạc nhiên khi tác động mạnh nhất của việc cải thiện dịch vụ viễn thông là đối với lĩnh vực IT và ngân hàng.

### Kết luận

Một số vấn đề thú vị có thể rút ra từ kết quả điều tra như sau:

- Việt Nam dường như đang có một mạng lưới viễn thông hoạt động tốt và đáng tin cậy. Mạng lưới này đang cung cấp các dịch vụ với tốc độ kết nối khá nhanh mặc dù tốc độ đường truyền thường chậm;

# CON ĐƯỜNG PHÍA TRƯỚC

Con đường để Việt Nam đi tiếp quá trình tự do hóa khu vực viễn thông là con đường thẳng. Trên thế giới, có một xu hướng rất rõ về cạnh tranh và sự minh bạch trong quản lý, trong đó có vai trò quan trọng của đầu tư tư nhân - cả trong nước và quốc tế. Các nhà ra quyết định của Việt Nam hiểu điều này, và đã nhất trí đáp ứng các tiêu chí khác nhau trong Hiệp định Song phương giữa Việt Nam và Mỹ, mà Văn bản Dẫn chiếu là các quy tắc quốc tế liên quan tới GATS và WTO. Trước tiên và trên hết, Việt Nam phải hành động tích cực để tạo dựng sự minh bạch trong chiến lược viễn thông và chính sách quản lý của mình. Việt Nam cũng phải cải tổ VNPT về căn bản thông qua hàng loạt các hoạt động tái tổ chức mà cuối cùng sẽ dẫn tới kết quả là sự đầu tư của khu vực tư nhân. Chính phủ cũng phải đấu tranh với các DNNN khác đang hoạt động trong lĩnh vực viễn thông.

Tầm quan trọng của quá trình tự do hóa không thể bị đánh giá thấp, bởi sự thành công hay thất bại của quá trình này sẽ ảnh hưởng tới khả năng cạnh tranh về kinh tế của Việt Nam trên thị trường khu vực và thế giới. Ví dụ, việc không có khả năng xây dựng một cơ sở hạ tầng mạng đã ảnh hưởng trực tiếp tới hoạt động kinh doanh liên quan đến xuất khẩu cũng như các mảng IT và ITES. Chỉ với việc cho phép tiếp cận công nghệ tiên tiến nhất ở

mọi nơi, cả ở thành thị và nông thôn, với giá cả cạnh tranh, thì chính sách Đổi Mới của Việt Nam mới có thể thành công trong việc đem lại sự thịnh vượng cho tất cả các tầng lớp dân cư.

Thay đổi hiếm khi là một quá trình dễ dàng, và thường đòi hỏi sự tập trung và cam kết lâu dài. Sự thay đổi cũng đòi hỏi những lựa chọn có ảnh hưởng tiêu cực tới những lợi ích của một số nhóm có quyền lực. Vì vậy, việc tạo dựng sự nhất trí của xã hội có ý nghĩa quan trọng để thực hiện và duy trì sự thay đổi. Ngay cả khi đã có được sự nhất trí, người dân và các tổ chức vẫn có những bất đồng về việc làm thế nào để đạt được các mục tiêu chung. Vì thế, thảo luận công khai và quyết định dựa trên thực tế là yếu tố quan trọng để đảm bảo thành công.

Trong chương này, VNCI đề xuất các khuyến nghị đã được áp dụng rộng rãi dựa trên các xu hướng cơ bản của Việt Nam và quốc tế. Các khuyến nghị được đưa ra trên cơ sở các báo cáo trước đây do Ngân hàng Thế giới, GIPI, Chính phủ Việt Nam và VNCI thực hiện. Để tạo dựng sự nhất trí của xã hội xung quanh các khuyến nghị này, VNCI trình bày các thông lệ tốt nhất và dở nhất trong khu vực và trên thế giới, và đối chiếu các thông lệ này với các bên liên quan khác nhau trong một môi trường viễn thông cạnh tranh mạnh mẽ:

- Chính phủ - chiến lược, chính sách và quy định pháp luật

- Doanh nghiệp - các doanh nghiệp viễn thông, các nhà cung cấp, và các doanh nghiệp liên quan khác
- Người tiêu dùng và xã hội - người tiêu dùng là doanh nghiệp và cá nhân, các hiệp hội, các nhóm doanh nghiệp, v.v.

Thực hiện thay đổi là một quá trình khó khăn và mang tính kỹ thuật, đặc biệt trong trường hợp thiếu sự thống nhất giữa những người ra quyết định và các bên có quyền lợi và nghĩa vụ liên quan. Vì vậy, điều quan trọng là hiểu được vai trò trọng yếu của mỗi nhóm này trong quá trình tự do hóa, và rút kinh nghiệm từ các thông lệ tốt nhất và dở nhất trên thế giới. Biểu 27 nêu bật vai trò của từng bên liên quan – Chính phủ, doanh nghiệp và xã hội – và đưa ra một khuôn khổ cho việc tạo dựng sự đồng thuận cho hành động.

## Khuyến nghị

VNCI đã chỉ ra những khoảng cách đáng kể giữa các mục tiêu mà Chính phủ Việt Nam đặt ra và hiện trạng của khu vực viễn thông Việt Nam. Các nhà hoạch định chính sách đã nhấn mạnh rằng cạnh tranh là một mục tiêu chính của Chính phủ. Mặc dù Việt Nam đã bước đầu áp dụng cạnh tranh, nhưng sự cạnh tranh đó vẫn còn sự ngăn cách về địa lý và chỉ diễn ra với một số dịch vụ cụ thể. Ngoài ra, tất cả các doanh nghiệp đang cạnh tranh đều có vốn đầu tư của Nhà nước và/hoặc có phần

**Biểu 27: Các thông lệ tốt nhất và dở nhất trong lĩnh vực viễn thông**

Bên liên quan	Vai trò	Thông lệ tốt nhất	Thông lệ dở nhất	Những cách tân
Chính phủ	Hoạch định chính sách	<ul style="list-style-type: none"> <li>Phát triển chính sách đa ngành, ví dụ: viễn thông, CNTT, thương mại và giáo dục.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Các chính sách mâu thuẫn nhau giữa các bộ khác nhau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chính sách đa quốc gia<sup>14</sup>.</li> </ul>
	Khuôn khổ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cơ quan quản lý duy nhất và độc lập cho các ngành đã hội tụ với nhau, gồm: viễn thông, CNTT, truyền thông;</li> <li>Tự chủ về tài chính;</li> <li>Các tiêu chuẩn công nghệ, công bằng (không thiên vị);</li> <li>Thu thập và phân tích dữ liệu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cơ quan quản lý độc lập ở cấp quốc gia và bang, ví dụ: Mỹ;</li> <li>Thiên vị công nghệ/dịch vụ;</li> <li>Quản lý công kênh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quản lý đa quốc gia;</li> <li>Ủy ban cạnh tranh đa ngành và tự điều tiết<sup>15</sup>;</li> <li>Cấp phép phổ thông<sup>16</sup>;</li> <li>Sử dụng các chuyên gia tư vấn để thu hút kiến thức cho ngành.</li> </ul>
	Quyền xét xử (Xem xét các vấn đề pháp lý)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tòa chuyên trách cho lĩnh vực viễn thông với kinh nghiệm và kiến thức liên quan<sup>17</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Các diễn đàn pháp lý đa ngành để xem xét các vấn đề liên quan đến pháp luật.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cơ chế độc lập cho việc đưa ra trọng tài hoặc yêu cầu giải quyết tại tòa.</li> </ul>
Doanh nghiệp	Các doanh nghiệp dịch vụ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiếp cận đầu tư tư nhân/ nước ngoài ;</li> <li>Các nhà cung cấp đa dịch vụ;</li> <li>Quản trị minh bạch nhằm ngăn ngừa việc hạch toán sai và các hành vi cản trở cạnh tranh.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Độc quyền Nhà nước;</li> <li>Cấp phép hạn chế;</li> <li>Các rào cản đối với các hoạt động tập trung, ví dụ: những hạn chế đối với các doanh nghiệp cung cấp dịch vụ truyền hình cáp (CATV).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Các hợp tác xã hoặc các doanh nghiệp viễn thông tinh tại các khu vực nông thôn để giới thiệu dịch vụ và điều chỉnh cạnh tranh;</li> <li>VoIP và các doanh nghiệp viễn thông tập trung khác.</li> </ul>
	Các tổ chức tài chính	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiếp cận nhiều phương thức tài trợ khác nhau, ví dụ: cổ phiếu, vay, trái phiếu, v.v...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hạn chế quá mức đối với các nhà đầu tư tư nhân và nước ngoài.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Khuôn khổ cho các khoản vay kinh doanh nhỏ, tư bản mạo hiểm (VC), v.v. ..</li> </ul>
	Các nhà cung cấp (phần cứng, phần mềm, dịch vụ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiếp cận tự do với mọi công nghệ;</li> <li>Sự ủng hộ của Nhà nước nhằm phát triển công nghệ trong nước.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buộc các nhà cung cấp phải sản xuất các công nghệ cụ thể (sẽ làm tăng giá).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quan hệ đối tác giữa các doanh nghiệp viễn thông và các nhà nghiên cứu/ giáo dục nhằm nghiên cứu, đào tạo.</li> </ul>
	Các doanh nghiệp phụ trợ (ITES, BPOs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Có nhiều nhà cung cấp dịch vụ phụ trợ sẽ làm cho thị trường năng động.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sự hỗ trợ của Chính phủ đối với các ngành phụ thuộc về viễn thông, ITES, BPOs;</li> <li>Bán các tài sản thuộc các DNNN không phải là chủ chốt, ví dụ: công ty xây dựng.</li> </ul>

14. Việc hoạch định chính sách của các nước trong khu vực và các quy định trong khối EU và SADC làm hài hòa giữa chính sách và quy định, tạo ra một môi trường thống nhất cho các doanh nghiệp triển khai các dịch vụ mới.

15. Ở Úc, Cơ quan Thông tin chịu trách nhiệm điều tiết hoạt động viễn thông, bao gồm việc thúc đẩy sự tự điều tiết của ngành này. Tuy nhiên, các vấn đề cạnh tranh trong khu vực viễn thông được xử lý bởi Ủy ban Cạnh tranh và Người Tiêu dùng, Ban này có trách nhiệm thực thi các quy định liên quan tới viễn thông trong Luật về các Thông lệ Thương mại.

16. Năm 2004, Ấn Độ đã áp dụng chế độ giấy phép phổ thông, kết hợp tất cả các dịch vụ viễn thông- cơ bản, đường dài, di động, nhắn tin, truyền hình, vệ tinh và Giá trị gia tăng - và một giấy phép duy nhất với chi phí, cơ cấu và nghĩa vụ chung, ví dụ: các khoản trả cho dịch vụ phổ cập. Điều này làm đơn giản hóa việc cấp phép, và vì vậy, được coi là một cơ chế để áp dụng cạnh tranh.

17. Năm 2000, Ấn Độ đã thành lập Trọng tài Giải quyết và Phúc thẩm các Tranh chấp trong lĩnh vực viễn thông (TDSAT) để xét xử các tranh chấp giữa cơ quan cấp phép và doanh nghiệp được cấp phép, giữa hai hoặc nhiều doanh nghiệp cung cấp dịch vụ, hoặc giữa doanh nghiệp cung cấp dịch vụ với nhóm người tiêu dùng, đồng thời phân xử và giải quyết các khiếu nại đối với bất kỳ phương hướng, quyết định hoặc mệnh lệnh nào của cơ quan quản lý.

Bên liên quan	Vai trò	Thông lệ tốt nhất	Thông lệ dở nhất	Những cách tân
Xã hội	Người tiêu dùng (doanh nghiệp, người dân)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Các nhóm người tiêu dùng/ doanh nghiệp bảo vệ và thông tin cho công chúng.</li> </ul>		
	Các liên đoàn	<ul style="list-style-type: none"> <li>Có ảnh hưởng tích cực và tiên phong tới việc cải cách.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chia rẽ và phản tác dụng.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diễn đàn của các bên liên quan nhằm đào tạo cho các hiệp hội và phối hợp với họ trong quá trình hoạch định chính sách.</li> </ul>
	Các hội nghề nghiệp	<ul style="list-style-type: none"> <li>Các nhóm nghiệp thương cho các doanh nghiệp viễn thông, các doanh nghiệp cung cấp dịch vụ Internet (ISPs), người tiêu dùng, v.v...</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sự hỗ trợ ban đầu của Chính phủ cho việc thành lập các hiệp hội nghề nghiệp này, ví dụ: ESC của Ấn Độ<sup>18</sup>;</li> <li>Ủng hộ các nhà kinh doanh và đầu tư mạo hiểm<sup>19</sup>.</li> </ul>
	Giới hàn lâm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chính phủ tài trợ cho các nghiên cứu lý thuyết;</li> <li>Chính phủ tài trợ cho đào tạo kỹ thuật, nghiên cứu &amp; triển khai (R&amp;D).</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Các sản phẩm, các chương trình và đào tạo về giảng dạy, nghiên cứu &amp; triển khai (R&amp;D).</li> </ul>

sở hữu của doanh nghiệp có thị phần khổng lồ, VNPT. Việc hiện đại hóa và cải cách doanh nghiệp có thị phần khổng lồ VNPT có ý nghĩa quan trọng đối với sự thành công của chương trình tự do hóa của Việt Nam. Các đặc điểm quan trọng khác của cạnh tranh là cơ chế xử lý tranh chấp kịp thời và hiệu quả về chi phí. Theo Luật Cạnh tranh mới của Việt Nam, Hội đồng Cạnh tranh có thể đóng vai trò quan trọng (nhưng chưa được xác định rõ) trong việc quản lý các hành vi cản trở cạnh tranh.

Thứ hai, trong khi Chính phủ đã có những bước đi quan trọng và đáng kể trong việc cải thiện môi trường pháp lý nhằm đáp ứng các quy tắc quốc tế, Việt Nam cần thành lập một cơ quan quản lý/ điều tiết độc lập và tự chủ nằm

ngoài Bộ Bưu chính Viễn thông. Các khiếm khuyết khác cần khắc phục trong môi trường pháp luật hiện nay bao gồm sự cần thiết phải thiết lập một chế độ kết nối và cước phí dựa trên giá thành, nếu không, sẽ dẫn tới các hành vi bù chéo và cước phí cao ở một số dịch vụ thiết yếu. Quá trình cấp phép cũng chưa có đủ các thủ tục rõ ràng và công khai. Các yếu tố này gây thêm trở ngại cho việc thu hút các doanh nghiệp tham gia thị trường và các doanh nghiệp cạnh tranh.

Cuối cùng và quan trọng nhất là Chính phủ cần tạo dựng sự đồng thuận đối với chủ trương thay đổi từ tất cả các bên có quyền lợi và nghĩa vụ liên quan và các phân đoạn khách hàng xung quanh việc tư nhân hóa. Quá trình này giúp

công chúng tiếp cận tốt hơn với các thông tin của ngành, sự điều phối của Chính phủ đối với các tổ chức phi Chính phủ trong xã hội, đáng chú ý là các nhóm người tiêu dùng và các hiệp hội ngành nghề. Quá trình này đem lại vai trò cho những thành phần hiện chưa được tham gia vào quá trình hoạch định chính sách trong ngành viễn thông của Việt Nam - các nhà đầu tư tư nhân, các nhà đầu tư nước ngoài, các tổ chức tài chính và các tổ chức quốc tế.

Các khuyến nghị của VNCI nêu trong Biểu 28, là nhằm đạt được các mục tiêu của ngành viễn thông Việt Nam một cách thành công. Tuy nhiên, cần hiểu rõ ràng rằng Việt Nam đã khởi xướng quá trình đổi mới, nhưng vẫn còn phải làm thêm rất nhiều.

18. Hội đồng Phát triển Phần mềm Máy tính và Điện tử (ECS) là một cơ quan Chính phủ thuộc Bộ Thông tin, gồm các ngành viễn thông, máy tính, ITES, BPO và điện tử. ECS tài trợ các hoạt động nghiên cứu và phân tích, tổ chức các sự kiện thương mại, hỗ trợ các hiệp hội thương mại của Ấn Độ, và theo dõi kết quả của các hoạt động đó.

19. Nghiên cứu về Cạnh tranh trong ngành Viễn thông ở Việt Nam.

**Biểu 28: Lộ trình thay đổi**

Khuyến nghị	Hành động
Chính sách viễn thông	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cho phép sở hữu của khu vực tư nhân nước ngoài trong lĩnh vực viễn thông;</li> <li>• Yêu cầu cơ quan quản lý ngành đệ trình báo cáo thông tin về thị trường trên cơ sở thường xuyên, ví dụ: ba tháng một lần, với báo cáo phân tích hàng năm chi tiết hơn;</li> <li>• Soạn thảo và công bố báo cáo viễn thông hàng quý trong đó làm rõ các xu hướng và các hoạt động của ngành để đạt được các mục tiêu của Chính phủ;</li> <li>• Lập ra một Ủy ban tương đương cấp bộ với mục đích phát triển các hiệp hội và các tổ chức xã hội, ví dụ: Hội các nhà Cung cấp Dịch vụ Internet, nhóm người tiêu dùng, các ấn phẩm thương mại, v.v...</li> <li>• Thành lập một tòa án chuyên trách để giải quyết các vấn đề liên quan tới viễn thông và CNTT;</li> <li>• Khởi xướng quá trình sửa đổi cơ bản các quy định pháp luật về viễn thông (bao gồm các khuyến nghị trong bảng này).</li> </ul>
Sự minh bạch trong hoạt động quản lý/ điều tiết	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thành lập cơ quan quản lý độc lập tách biệt với Bộ Bưu chính Viễn thông;</li> <li>• Hoàn thiện việc cung cấp thông tin công khai bằng cách cập nhật một cách thường xuyên của cơ quan quản lý độc lập, bao gồm các chính sách, thủ tục và khiếu nại trực tuyến;</li> <li>• Xây dựng quy tắc ứng xử cho các nhân viên của cơ quan quản lý, bao gồm những hạn chế về quà tặng, và luân chuyển cán bộ.</li> </ul>
Củng cố cơ chế kết nối của Việt Nam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ban hành các hướng dẫn bổ sung về kết nối, trong đó:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quy định rõ sự đối xử công bằng (không phân biệt);</li> <li>- Hoàn thiện các hướng dẫn liên quan tới hành vi: sử dụng sai thông tin;</li> <li>- Quy định chi phí kết nối hợp lý và hành vi trì hoãn cung cấp dịch vụ; và,</li> <li>- Đề ra các quy định hành chính để ngăn ngừa và chấn chỉnh hành vi đó, ví dụ: trọng tài bắt buộc, điều tra và xử phạt.</li> </ul> </li> <li>• Phát triển chính sách hạch toán chi phí, ví dụ: sơ đồ các tài khoản và phân bổ chi phí, để nhận diện và xóa bỏ bao cấp, trong đó có:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sử dụng thông lệ tốt nhất của ngành;</li> <li>- Định nghĩa chi phí, và xác định các phương pháp và tính toán chi phí;</li> <li>- Cung cấp các thông lệ và hướng dẫn về hạch toán; và</li> <li>- Sử dụng khu vực tư nhân và kiến thức quốc tế, ví dụ: các chuyên gia tư vấn.</li> </ul> </li> <li>• Làm rõ vai trò của Hội đồng Cạnh tranh đối với ngành viễn thông vì nó gắn với Luật Cạnh tranh mới của Việt Nam.</li> </ul>
Củng cố cơ chế cấp phép của Việt Nam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiếp tục phát triển các tiêu chí cấp phép;</li> <li>• Áp dụng khái niệm giấy phép phổ thông nhằm tăng cạnh tranh.</li> </ul>
Cân đối lại giá cước	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trên cơ sở chính sách hạch toán chi phí, khởi xướng quá trình cân đối lại cước phí và xóa bỏ bù chéo.</li> </ul>
Cải tổ VNPT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tổ chức lại VNPT thông qua một loạt các thay đổi triệt để về cơ cấu, quản lý và trách nhiệm báo cáo:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Áp dụng hạch toán riêng giữa các hoạt động kinh doanh khác nhau;</li> <li>- Xây dựng và ban hành “quy tắc ứng xử” và các quy chế cho các công ty con, đặc biệt là các bưu điện tỉnh/ huyện, về các hành vi cản trở cạnh tranh bị cấm, đặc biệt liên quan tới các vấn đề cạnh tranh chính như kết nối, v.v.;</li> <li>- Thanh lý các tài sản không phải là thiết yếu; và</li> <li>- Bán cổ phần sở hữu chéo trong các doanh nghiệp là đối thủ cạnh tranh.</li> </ul> </li> <li>• Tư nhân hóa VNPT theo khu vực địa lý và/ hoặc theo ngành nghề kinh doanh, ví dụ: các doanh nghiệp đa ngành để tăng cạnh tranh.</li> <li>• Tư nhân hóa các doanh nghiệp viễn thông khác của Nhà nước.</li> </ul>

## Hội nghị giữa các bên liên quan đến viễn thông Việt Nam

Nhận thấy rằng các vấn đề này phức tạp và khó giải quyết, VNCCI

đề xuất tổ chức một Hội nghị giữa các nhà quản lý và các doanh nghiệp viễn thông Việt nam, được bảo trợ bởi các nhà ra quyết định và những người có quyền lợi và nghĩa vụ liên quan thuộc Chính

phủ, giới doanh nghiệp và khu vực tư nhân. Mô hình này rất thành công với Chương trình Tái Cơ cấu Ngành Viễn thông Khu vực Nam Phi của USAID. Ở một số nước, USAID tập hợp các bên có quyền

lợi và nghĩa vụ liên quan chính từ Chính phủ, giới doanh nghiệp và xã hội để tham gia thảo luận trên cơ sở thực tế với các chuyên gia trong nước, khu vực và quốc tế về nhiều chủ đề, từ cơ hội đầu tư, các vấn đề cụ thể về quản lý, cấp phép và dịch vụ phổ cập đến tư nhân hóa. Diễn đàn đó cho phép thảo luận sát thực về các vấn đề, là cơ hội cho các mối quan tâm được đặt ra bởi các bên khác nhau, và quan trọng hơn cả là cho phép

tạo dựng sự nhất trí đồng thuận về chủ trương thay đổi.

Hội nghị giữa các bên liên quan đến viễn thông Việt Nam có thể đặt ra những thảo luận tương tự giữa các bên có quyền lợi và nghĩa vụ liên quan nhằm giải quyết các vấn đề và hành động cần thực hiện. Những người được mời tham gia hội nghị cần bao gồm một phạm vi rộng nhất các nhà ra quyết định và các bên có quan tâm như các quan chức Chính phủ

Việt Nam, các nhà quản lý từ các nước trong khu vực như Ấn Độ, Philippines, Thái Lan, v.v..., đại diện các doanh nghiệp, giới truyền thông, các tổ chức quốc tế như Ngân hàng Thế giới, Ngân hàng Phát triển Châu Á (ADB), USAID, v.v... Ví dụ, các nhà hoạch định chính sách của Việt Nam có thể thảo luận việc khi nào Việt Nam cần bắt đầu quá trình xây dựng sự đồng thuận cần thiết để thúc đẩy nhanh chóng quá trình cải cách khu vực viễn thông.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

Ban Thư ký ASEAN, *Tự do hóa và hài hòa khu vực viễn thông ở các nước ASEAN*, 2004.

*Cạnh tranh đi vào ngõ cụt*, Thanh Nien Online, 28.07.2004.

C. Qiang, *Nghiên cứu so sánh việc phân chia thị trường và trách nhiệm quản lý ở Trung Quốc, Tây Ban Nha, Brazil và Mỹ*, Ngân hàng Thế giới, 2004.

Chiến lược phát triển ngành BCVT đến năm 2010 và định hướng đến năm 2020.

Chính phủ Việt Nam, *Quyết định 158 về BCVT*, 2001.

Chính phủ Việt Nam, *Nghị định 160 về Viễn thông*, 2004.

Hoàng Ly, *Cạnh tranh theo Luật "Rừng"*, Thanh Nien Online, 13.09.2004.

Intven, Hank và Tetrault, McCarthy. *Sổ tay quản lý viễn thông*, Ngân hàng Thế giới, Washington, DC, 2000.

Liên đoàn Viễn thông Quốc tế - ITU. *Xu hướng đổi mới ngành viễn thông*. Geneva, 2002.

ITU, *Nghiên cứu trường hợp về Internet ở Việt Nam*, Geneva, 2002.

Bộ BCVT, *Quyết định 148/2003/QĐ-BBCVT về giá cước viễn thông*, 2003.

Website của Bộ BCVT, [www.mpt.gov.vn](http://www.mpt.gov.vn)

Phong Lan, *Doanh nghiệp đứng trước khó khăn lớn do phí thuê kênh cao*, VnExpress, 31.03.2004.

Văn phòng Thủ tướng, *Quyết định 217/2003/QĐ-TTg về quản lý cước phí viễn thông*, 2003.

Ủy ban Thường vụ Quốc hội Việt Nam, *Pháp lệnh về BCVT*, 2002.

Vinaphone, *MobiFone vi phạm các quy định về cước kết nối*, VnExpress, 19.04.2004.



Giấy phép xuất bản số 04/1099/85/XB-QLXB của Cục Xuất bản cấp ngày 12 tháng 7 năm 2005  
In 500 quyển tiếng Việt và 300 quyển tiếng Anh, khổ A4  
In xong và nộp lưu chiểu tháng 8 năm 2005  
Thiết kế và in ấn tại Công ty TNHH Luck House



development alternatives, inc.

Công ty Development Alternatives, Inc. (DAI) là công ty tư vấn toàn cầu chuyên cung cấp các giải pháp về phát triển kinh tế và xã hội cho các chính phủ, công đồng và các công ty có dự án tại các nước đang phát triển và chuyển đổi. Công ty được thành lập năm 1970, có trụ sở tại Washington D.C, và công ty con ở Brazil, Nam Phi, Palestine và Vương quốc Anh. DAI hiện có 1.600 nhân viên làm việc tại 75 nước. Khách hàng của công ty gồm nhiều cơ quan phát triển toàn cầu, tổ chức tín dụng quốc tế, công ty toàn cầu và chính phủ sở tại.



The Asia Foundation

Quý Châu Á là một tổ chức phi chính phủ, phi lợi nhuận độc lập, cam kết xây dựng một khu vực Châu Á - Thái Bình Dương hòa bình và thịnh vượng. Quý Châu Á hỗ trợ các chương trình nhằm cải thiện luật pháp và quản lý nhà nước, cải cách và phát triển kinh tế, tăng cường sự tham gia của phụ nữ và đẩy mạnh quan hệ quốc tế trong khu vực Châu Á. Với gần 50 năm kinh nghiệm hoạt động ở Châu Á, Quý đã và đang phối hợp với các cơ quan chính phủ, các tổ chức xã hội và công đồng doanh nghiệp nhằm hỗ trợ nâng cao kỹ năng lãnh đạo, xây dựng thể chế, trao đổi kinh nghiệm và nghiên cứu chính sách. Với hệ thống 17 văn phòng ở khu vực Châu Á, một văn phòng ở Washington D.C. và trụ sở chính ở San Francisco, Quý hỗ trợ các chương trình trên trong phạm vi quốc gia và khu vực.



### Cơ quan Phát triển Quốc tế Hoa Kỳ

Văn phòng Khu vực Châu Á

Văn phòng tại Việt Nam

Tòa nhà Tung Shing Square Tower, Tầng 15, Số 2 Ngô Quyền

Hà Nội, Việt Nam

Tel : (84-4) 935-1260

Fax: (84-4) 935-1176

[www.usaid.gov](http://www.usaid.gov)

Môn học

KỸ THUẬT THÔNG TIN SỐ

# **KHỐI LƯỢNG: 3 tín chỉ**

- Giờ lý thuyết + bài tập: **43** tiết
- Giờ ôn tập + sửa bài kiểm tra: **2** tiết
- Sinh viên tự học: **120+** tiết

# MỤC TIÊU MÔN HỌC

- **Mục tiêu chung:**

Trang bị cho sinh viên các kiến thức cơ bản về kỹ thuật thông tin số, bao gồm các kỹ thuật xử lý khác nhau để truyền thành công tín hiệu từ một điểm này đến một điểm khác

# MỤC TIÊU MÔN HỌC

- **Mục tiêu cụ thể:** sau khi học xong môn học, sinh viên có thể:
  - Hiểu rõ các kỹ thuật sử dụng trong một hệ thống thông tin số điển hình, bao gồm: kỹ thuật số hóa tín hiệu, kỹ thuật mã hóa đường dây, kỹ thuật mã hóa nguồn, kỹ thuật mã hóa kênh, kỹ thuật ghép kênh, kỹ thuật điều chế, kỹ thuật đa truy cập
  - Tự nghiên cứu một hệ thống thông tin số cụ thể

# TÀI LIỆU HỌC TẬP

- [1] Bài giảng môn học **Kỹ thuật Thông tin số**
- [2] *Bưu điện Việt Nam*, **Điện thoại số tập 1 và 2** - Ban thông tin kinh tế kỹ thuật Bưu điện-Hà Nội 1991
- [3] *Leon W.Couch*, **Digital & analog communications systems** - Macmillan publishing company, New York 1996
- [4] *Ian Glover & Peter Grant*, **Digital communications** - Prentice Hall Europe 1998
- [5] *Bernard Sklar*, **Digital communications** – Prentice-Hall International, Inc- 2002

# **NHIỆM VỤ CỦA SINH VIÊN**

- Ôn hoặc tự tìm hiểu về Tín hiệu & Phổ
- Đến lớp nghe giảng + ghi chép + trao đổi (11 buổi)
- Làm bài tập về nhà (chương 1-5)
- Nộp bài tập về nhà đúng thời gian quy định
- Dự kiểm tra giữa kỳ (chương 1-3)
- Dự thi kết thúc môn học (chương 1-6)



# ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ HỌC

- **Bài tập về nhà: 20%**, gồm chương 1 - 5
- **Kiểm tra giữa kỳ: 30%**, gồm chương 1 - 3
  - Hình thức: tự luận, có sử dụng tài liệu
  - Thời gian: 45 phút
  - Đề gồm: 3 câu phân đều vào 3 chương
- **Thi kết thúc môn học: 50%**, gồm chương 1 - 6
  - Hình thức: trắc nghiệm + tự luận, có sử dụng tài liệu
  - Thời gian: 60 phút
  - Đề gồm 2 phần: trắc nghiệm 24 câu và tự luận 4 câu

# Lưu ý!!!

Trong phòng thi hoặc kiểm tra, đối với tài liệu viết tay, chỉ được sử dụng bản gốc (tuyệt đối không sử dụng bản photocopy)

**Thời gian nộp bài tập về nhà:** vào buổi học cuối cùng (mọi sự chậm trễ vì bất cứ lý do gì đều không được chấp nhận)

# ĐỀ CƯƠNG MÔN HỌC (45 tiết)

- **Chương 1:** Mở đầu (5 tiết/1 buổi)
- **Chương 2:** Kỹ thuật số hóa và mã hóa đường (8 tiết/2 buổi)
- **Chương 3:** Kỹ thuật mã hóa nguồn (8 tiết/2 buổi)
- **Kiểm tra giữa kỳ**
- **Chương 4:** Kỹ thuật mã hóa kênh (8 tiết/2 buổi)
- **Chương 5:** Kỹ thuật ghép kênh và đa truy cập (8 tiết/2 buổi)
- **Chương 6:** Kỹ thuật điều chế (8 tiết/2 buổi)

**ÔN TẬP VỀ**

**TÍN HIỆU & PHỎ**

# Tín hiệu & Hệ thống

- **Hệ thống:** tập hợp các đối tượng vật lý có quan hệ nào đó với nhau
- **Hệ thống:** toàn bộ thiết bị hoặc một phần thiết bị hoặc một chương trình phần mềm
- **Tín hiệu:** đại lượng vật lý biến thiên có mặt trong hệ thống
- Trong một hệ thống có tín hiệu vào, tín hiệu nội bộ (trung gian) và tín hiệu ra
- Các tín hiệu trong hệ thống có quan hệ với nhau
- Tín hiệu bị thay đổi khi đi qua hệ thống

# Mô hình toán học biểu diễn tín hiệu & hệ thống

- Là phương trình toán biểu diễn tín hiệu & hệ thống
- Các phương trình toán chỉ là mô hình, không phải là tín hiệu & hệ thống thực sự
- Có nhiều loại mô hình toán khác nhau. Mỗi loại đều có các ưu khuyết điểm riêng
- **Ý nghĩa của mô hình toán:**
  - Giúp phân tích tín hiệu & hệ thống một cách định lượng, từ đó so sánh, đánh giá hệ thống
- Giúp thiết kế tín hiệu & hệ thống đạt các yêu cầu đề ra

# Phân loại tín hiệu

- Tín hiệu xác định & ngẫu nhiên
- Tín hiệu tuần hoàn & không tuần hoàn
- Tín hiệu liên tục & rời rạc
- Tín hiệu năng lượng & công suất

# Tín hiệu xác định & ngẫu nhiên

## Tín hiệu xác định

- Biết rõ sự biến thiên của tín hiệu theo thời gian
- Biết rõ giá trị của tín hiệu tại tất cả các thời điểm
- Mô hình toán học: biểu diễn bằng hàm theo biến  $t$  hoặc đồ thị

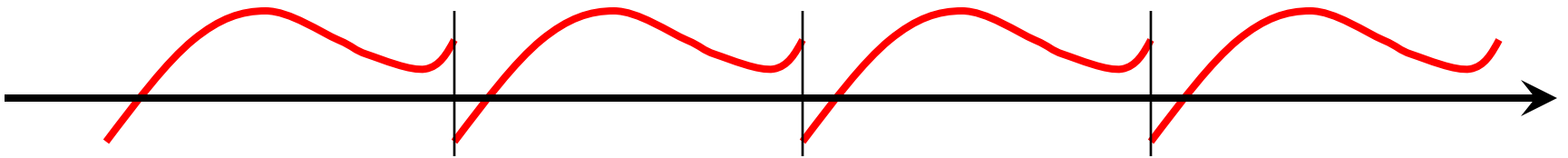
## Tín hiệu ngẫu nhiên

- Không biết chắc chắn về sự biến thiên của tín hiệu
- Không biết chắc giá trị của tín hiệu trước khi nó xuất hiện
- Mô hình toán học: biểu diễn bằng xác suất hoặc các trị trung bình thống kê



# Tín hiệu tuần hoàn & không tuần hoàn

- **Tín hiệu tuần hoàn:**
  - Lặp lại theo một chu kỳ nào đó



- **Tín hiệu không tuần hoàn:**
  - Không có sự lặp lại

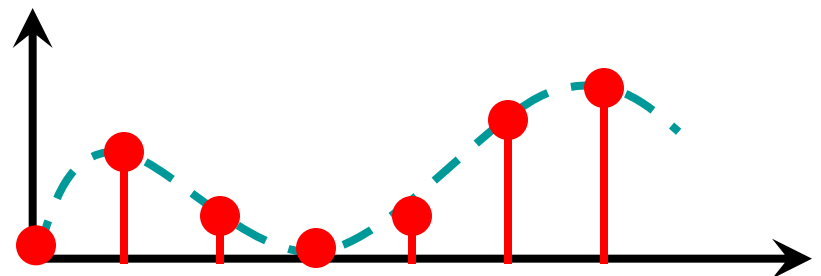
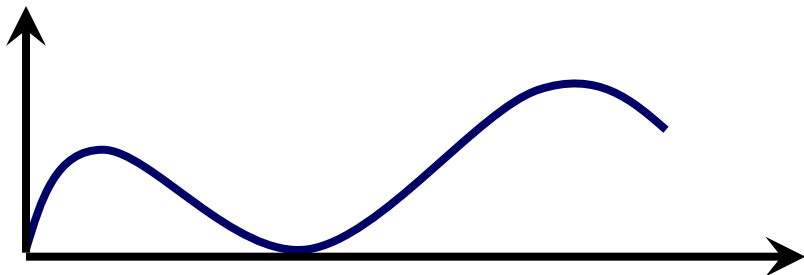
# Tín hiệu liên tục & rời rạc

- **Tín hiệu liên tục:**

- Xác định tại tất cả các thời điểm
- Biểu diễn bằng hàm  $x(t)$

- **Tín hiệu rời rạc:**

- Chỉ xác định tại một tập hữu hạn các thời điểm
- Biểu diễn bằng hàm  $x(nT)$ , với  $n$  nguyên và  $T$ : khoảng thời gian cố định



# Tín hiệu năng lượng & công suất

- Công suất tức thời của tín hiệu điện áp  $v(t)$  hay dòng điện  $i(t)$  qua điện trở  $R$ :

$$p(t) = \frac{v^2(t)}{R} \quad \text{or} \quad p(t) = i^2(t)R$$

- Trong các hệ thống thông tin, thường chuẩn hóa công suất bằng cách giả sử  $R = 1$  ohm. Công suất tức thời:

$$p(t) = x^2(t)$$

$x(t)$  là tín hiệu điện áp hoặc dòng điện

# Tín hiệu năng lượng & công suất

- Tín hiệu năng lượng: năng lượng dương hữu hạn

$$E_x = \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$$

- Tín hiệu công suất: năng lượng vô hạn và công suất dương hữu hạn

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$$

- Quy ước:
  - T.h tuần hoàn và t.h ngẫu nhiên: tín hiệu công suất
  - T.h xác định không tuần hoàn: tín hiệu năng lượng

# Phổ của tín hiệu thực



- Tín hiệu tuần hoàn chu kỳ  $T_0$ :

$$A_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) e^{-j2\pi n t/T_0} dt \quad A_n | e^{j2\pi n t/T_0}$$

- Tín hiệu năng lượng:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad X(f) | e^{j2\pi f t}$$

Phổ biên độ: **chẵn**

Phổ pha: **lẻ**

# Mật độ phổ

- Mật độ phổ năng lượng (ESD):

$$G(f) = |X(f)|^2$$

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) df = \int_0^{\infty} 2G(f) df$$

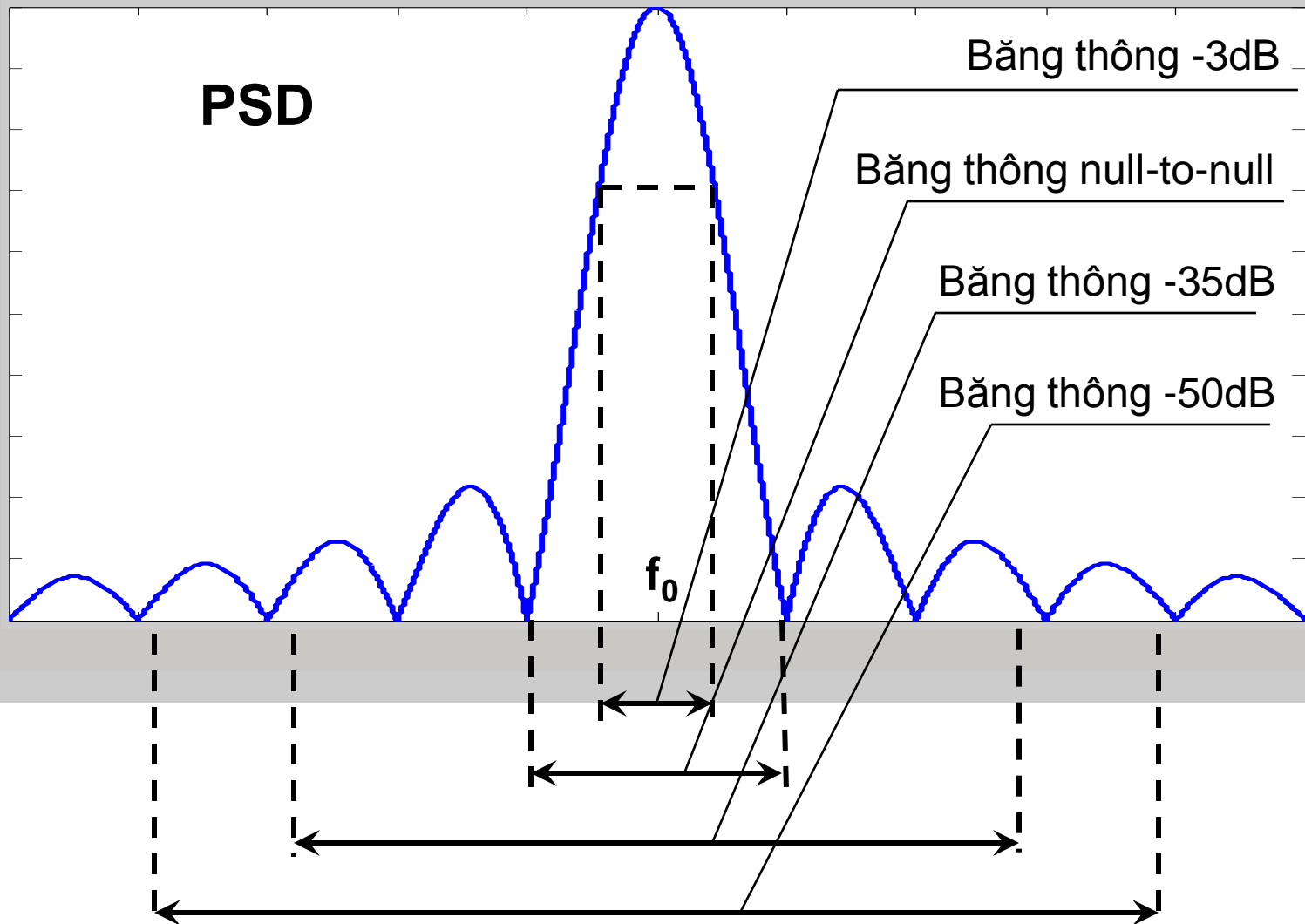
- Mật độ phổ công suất (PSD):

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x^*(t) dt$$

$$S(f) = \sum_n |c_n|^2 \delta(f - f_0) \quad \text{if } x(t) \text{ is a periodic signal with period } T_0 = 1/f_0$$

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df = \int_0^{\infty} 2S(f) df$$

# Băng thông của tín hiệu số



# Tự tương quan (autocorrelation)

- Tín hiệu năng lượng & thực:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau) dt$$

- Hàm tự tương quan chỉ ra sự tương quan nhiều hay ít giữa một tín hiệu với bản copy của chính nó bị dịch chuyển

1.  $R(\tau) = R(-\tau)$
2.  $|R(\tau)| \leq R(0)$
3.  $|R(\tau)| \leq \int_{-\infty}^{\infty} |G(f)|^2 df$
4.  $R(0) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt$



# Tự tương quan (autocorrelation)

- Tín hiệu công suất:

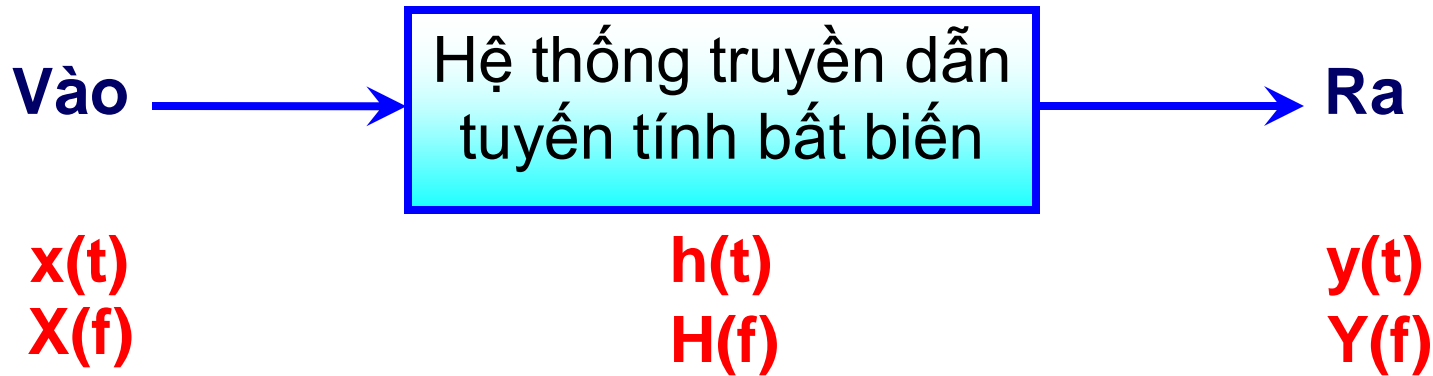
$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t-\tau) dt$$

- Tín hiệu thực tuần hoàn:

$$R(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t)x(t-\tau) dt$$

Hàm tự tương quan của tín hiệu thực tuần hoàn có các tính chất tương tự như các tính chất của hàm tự tương quan của tín hiệu năng lượng

# Truyền tín hiệu qua hệ thống



$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau = x(t) * h(t)$$

$$Y(f) = K(f) H(f)$$

$$|Y(f)| = |X(f)| |H(f)|$$

$$\angle Y(f) = \angle X(f) + \angle H(f)$$

# Hệ thống truyền dẫn lý tưởng

- Định nghĩa hệ thống truyền dẫn lý tưởng: cho tín hiệu đi qua mà không làm méo dạng tín hiệu, ngoại trừ suy giảm biên độ và trễ thời gian

- Tín hiệu ra:

$$y(t) = Kx(t - \tau)$$

- Đáp ứng tần số:

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = Ke^{-j2\pi f\tau}$$

Đáp ứng biên độ là hằng số, đáp ứng pha tuyến tính

# Đáp ứng biên độ và pha

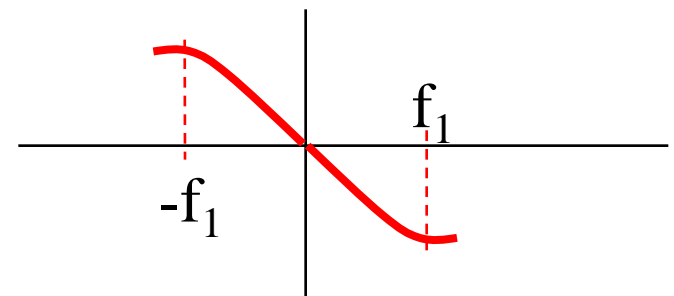
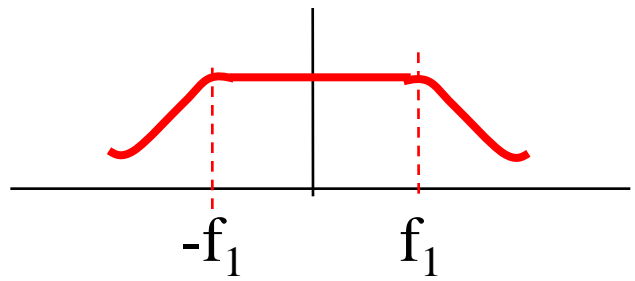
Hệ thống truyền

dẫn lý tưởng



Sự truyền dẫn không méo chỉ xuất hiện nếu tín hiệu vào có tần số thấp hơn  $f_1(\text{Hz})$

Tín hiệu có tần số lớn hơn  $f_1(\text{Hz})$  sẽ bị méo biên độ và méo pha



Hệ thống truyền

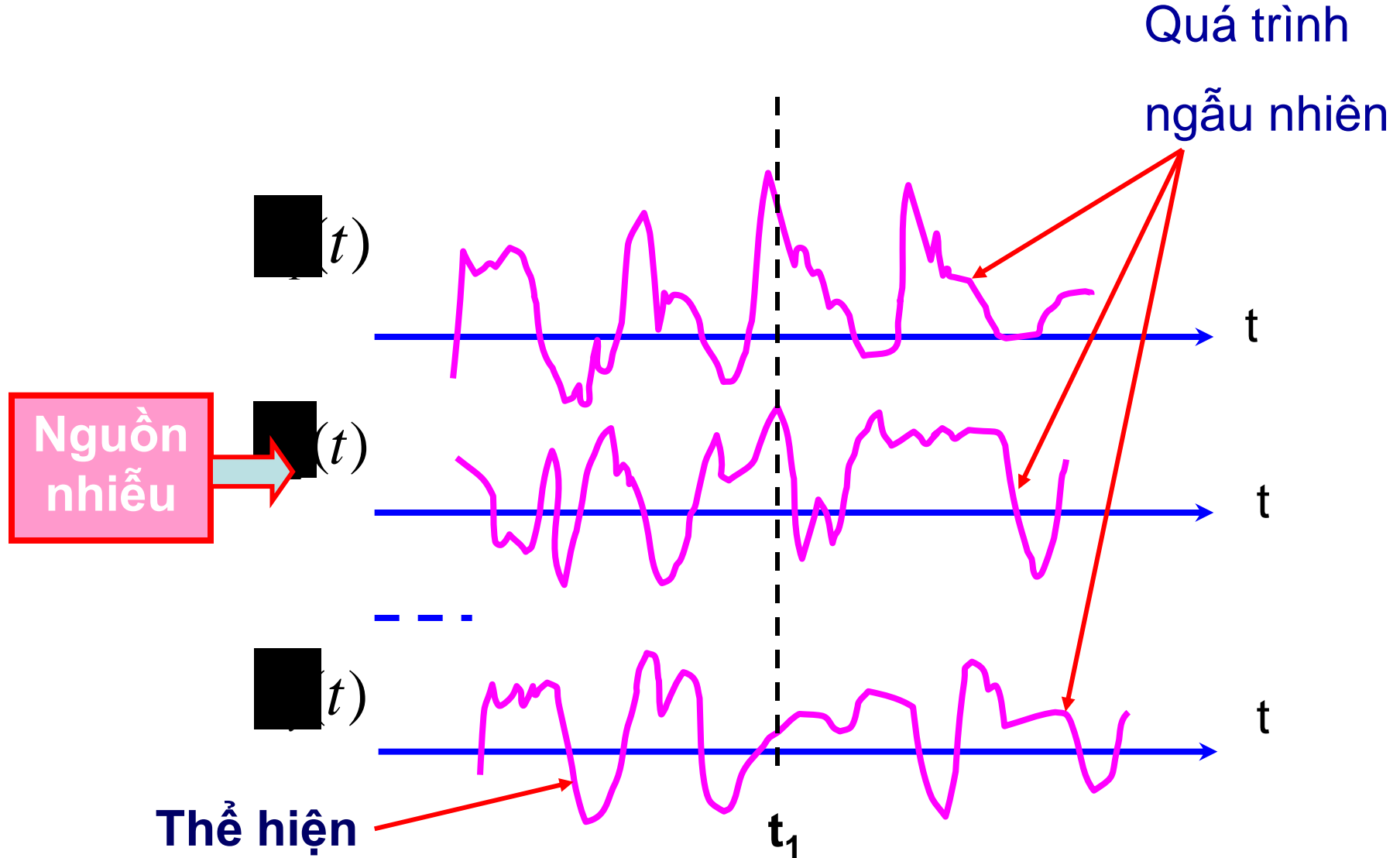
dẫn thực tế

# Tín hiệu ngẫu nhiên

- Nhiệm vụ chính của hệ thống thông tin là truyền tin tức qua kênh
- Tất cả các tín hiệu mang tin tức và nhiễu tác động vào hệ thống thông tin đều xuất hiện ngẫu nhiên
- Nếu biết trước tín hiệu thì về mặt ý nghĩa tin tức, việc truyền tín hiệu là không cần thiết. Tuy nhiên nếu hoàn toàn không biết gì về tín hiệu thông tin hay nhiễu thì sẽ không thể tách tín hiệu thông tin ra khỏi nhiễu

 **Cần phải biết các đặc tính thống kê của tín hiệu và diễn tả trên cơ sở lý thuyết xác suất**

# Quá trình nhiễu ngẫu nhiên



# Định nghĩa quá trình ngẫu nhiên

Quá trình ngẫu nhiên là một tập hợp các hàm theo thời gian

$$X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

liên hệ với nhau bởi những quy luật thống kê

# Biến ngẫu nhiên

- Tại thời điểm  $t_1$ , các giá trị của tín hiệu ngẫu nhiên là các biến ngẫu nhiên  $X_i(t_1)$  có thể lấy một trong các giá trị sau:

$$X_1(t_1), X_2(t_1), \dots, X_N(t_1)$$

- Hàm phân bố cấp 1:

$$F_1(x, t_1) = P\{X(t_1) \leq x\}$$

- Hàm mật độ xác suất (pdf) cấp 1:

$$f_1(x, t_1) = \frac{dF_1(x, t_1)}{dx}$$



# Đặc điểm của hàm phân bố và pdf

- **Hàm phân bố:**

Đồng biến theo  $x$

Nằm trong dải  $(0,1)$

- **pdf:**

Không âm

Phần diện tích giới hạn bởi đường cong pdf và trục hoành là 1

$$F_1(x_2, t_1) - F_1(x_1, t_1) = \int_{x_1}^{x_2} f_1(x, t_1) dx$$

# Trị trung bình theo tập hợp

- Giá trị kỳ vọng:

$$m_1(t) = \int x f_1(x, t) dx$$

- Trị trung bình bình phương:

$$m_2(t) = \int x^2 f_1(x, t) dx$$

- Phương sai:

$$s^2(t) = m_2(t) - m_1^2(t) = \int x^2 f_1(x, t) dx - m_1^2(t)$$

- Độ lệch chuẩn: căn bậc 2 của phương sai

- Moment hỗn hợp cấp 2:

$$m_2(t_1, t_2) = \int x_1 x_2 f_2(x_1, t_1, x_2, t_2) dx_1 dx_2$$

# Trị trung bình theo thời gian

- Giá trị trung bình:

$$\overline{f(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt$$

- Trị trung bình bình phương (quân phương):

$$\overline{f^2(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^2(t) dt$$

- Giá trị quân phương gốc (trị hiệu dụng):

Căn bậc hai của quân phương

- Hàm tự tương quan:

$$R_i(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) f(t + \tau) dt$$

# Tín hiệu ngẫu nhiên dừng

- **Định nghĩa:**

Các hàm phân bố xác suất không thay đổi đối với sự dịch chuyển thời gian

- **Dừng bậc N:**

$$f_N(x_1, x_2, \dots, x_N, t_1, t_2, \dots, t_N) = f_N(x_1, x_2, \dots, x_N, t_1 + \tau, t_2 + \tau, \dots, t_N + \tau)$$

- pdf cấp 1 là hằng số
- pdf cấp 2 là hàm một biến

$$m_1(t) = m_1, \quad m_2(t) = m_2, \quad \dots, \quad m_2(t_1, t_2) = m_2(\tau)$$

# Tín hiệu ngẫu nhiên dừng ergodic

- Định nghĩa:

Là tín hiệu ngẫu nhiên dừng có tất cả các trị trung bình thời gian của một thể hiện bất kỳ bằng với trị trung bình tập hợp tương ứng

- Chỉ cần chọn 1 thể hiện bất kỳ

- Đồng nhất trị trung bình thời gian với trị trung bình tập hợp

$$\overline{x_1(t)} = \overline{x_2(t)} = \overline{x_1} = \overline{x_2}$$

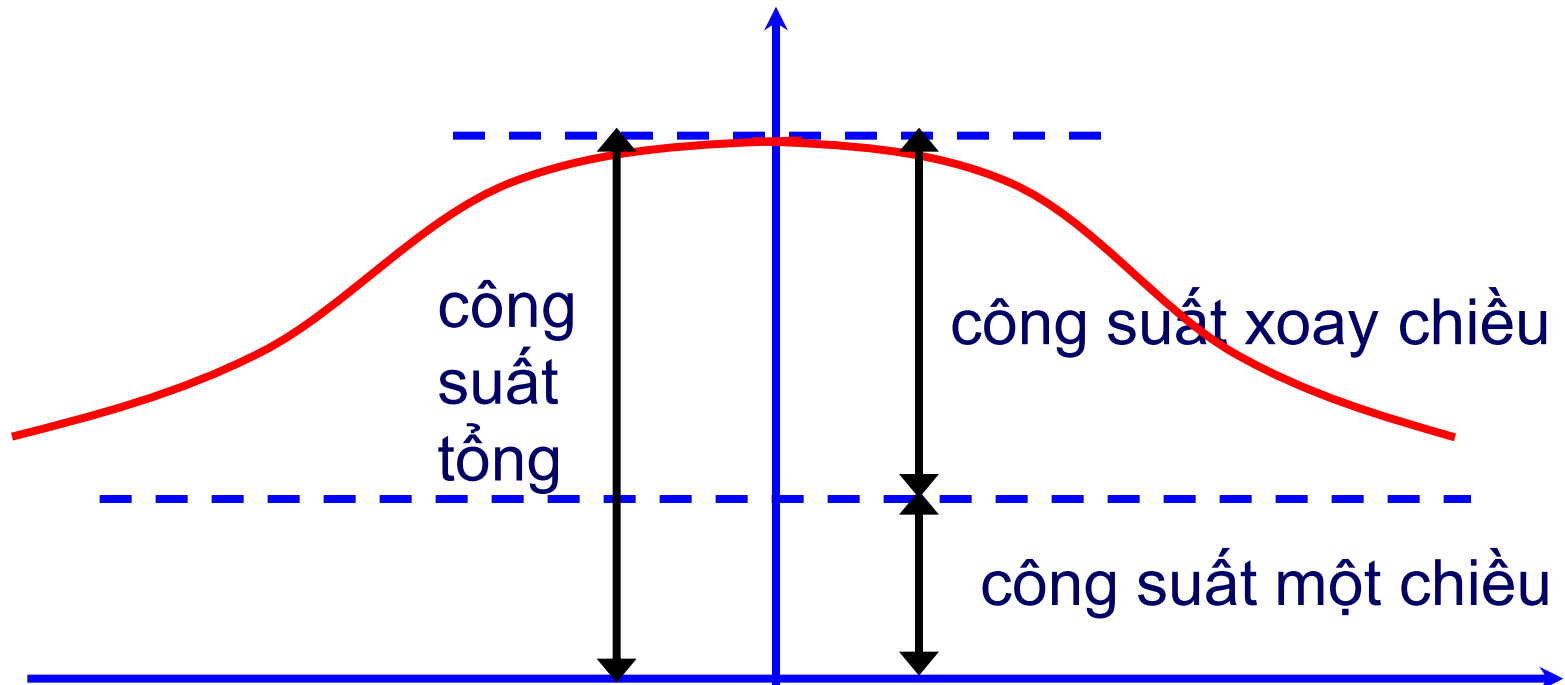
$$\sqrt{\overline{x_1^2(t)}} = \sqrt{\overline{x_2^2(t)}} = \sqrt{\overline{x_1^2}} = \sqrt{\overline{x_2^2}}$$

$$R_{x_1}(\tau) = R_{x_2}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 f_2(x_1, x_2, \tau) dx_1 dx_2 = R_{x_2}(\tau)$$

# Tính chất của hàm tương quan

- Là hàm chẵn
- Đạt cực đại tại gốc

$$R(\tau) = \overline{m_1^2(t) m_1^2(t + \tau)}$$



# Mật độ phổ công suất

Đối với quá trình ngẫu nhiên dừng theo nghĩa rộng (dừng cấp 2)

$$S(f) = \text{FT} \left\{ R(\tau) e^{-j2\pi f\tau} \right\}$$

$$R(\tau) = \text{FT}^{-1} \left\{ S(f) e^{j2\pi f\tau} \right\}$$

$S(f)$ : mật độ phổ công suất

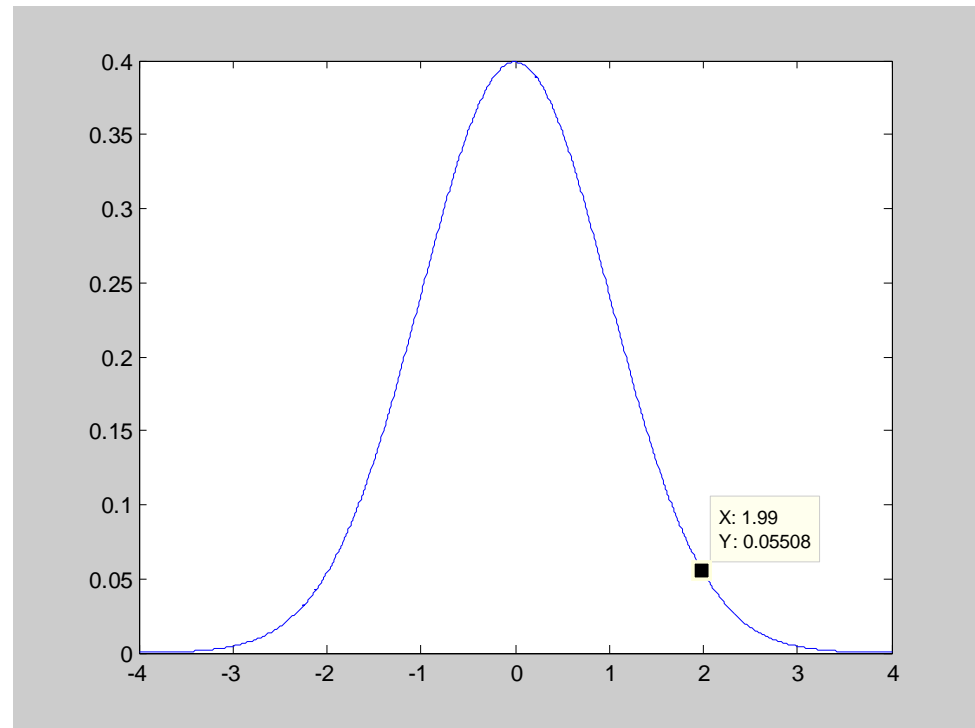
$$P = \overline{R(0)} = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df$$

# Nhiều trong hệ thống thông tin

- **Nhiều:** tín hiệu không mong muốn có mặt trong hệ thống
- **Nguyên nhân sinh ra nhiễu:** nhân tạo và tự nhiên
- **Nhiều nhiệt:** do chuyển động hỗn loạn của các e<sup>-</sup> trong các vật dẫn
- **Mô tả nhiễu nhiệt:**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$$

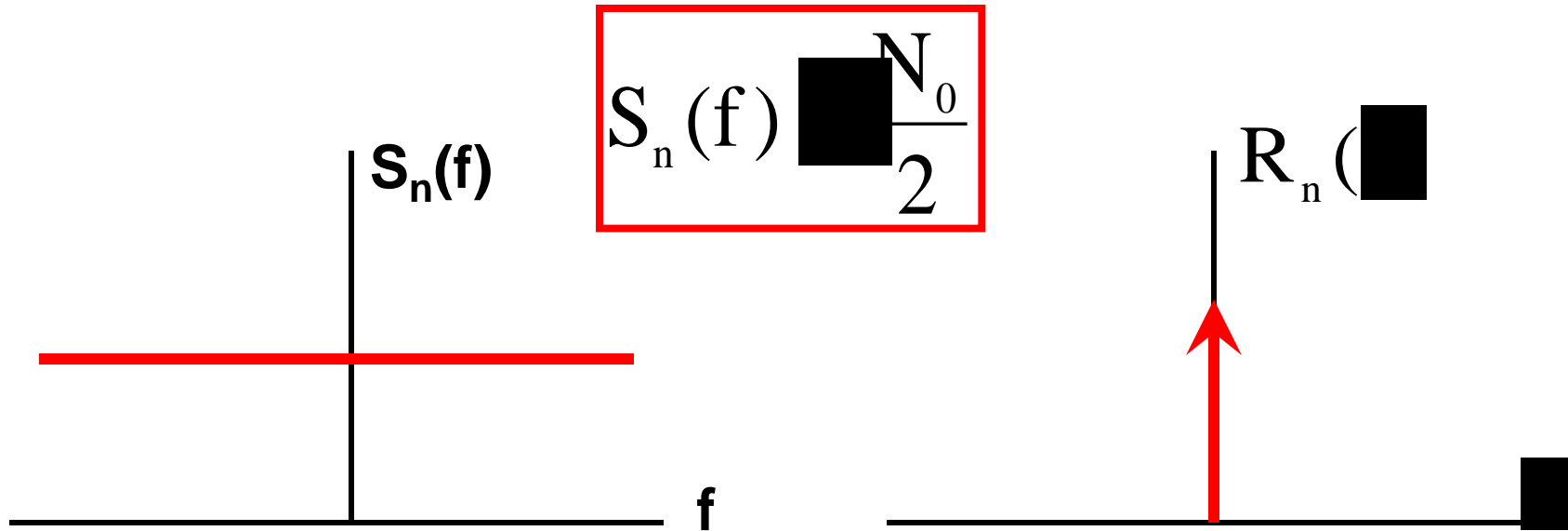
**Phân bố Gausse**





# Nhiều trắng

- **Nhiều trắng:** nhiễu nhiệt có PSD như nhau tại tất cả các tần số (khoảng từ DC đến  $10^{12}$  Hz)



- **Nhiều Gauss trắng cộng AWGN:** nhiễu phân bố Gauss, nhiễu ảnh hưởng đến mỗi ký tự truyền một cách độc lập nhau, nhiễu ảnh hưởng đến tín hiệu bằng cách cộng vào tín hiệu

# Công nghệ truyền sóng vô tuyến qua sợi quang - RoF

*ThS. Đặng Thế Ngọc*

*ThS. Phạm Thị Thuý Hiền*

## 1. Giới thiệu

Các hệ thống thông tin vô tuyến băng rộng hiện đang phát triển rất mạnh mẽ. Yêu cầu về khả năng truyền tải các dịch vụ băng rộng tích hợp (kết hợp các loại dịch vụ thoại, số liệu, hình ảnh, dịch vụ đa phương tiện và các dịch vụ gia tăng khác) khiến cho dung lượng truyền dẫn của các hệ thống thông tin vô tuyến ngày càng tăng. Sự gia tăng về dung lượng truyền dẫn sẽ dẫn tới phải sử dụng tần số hoạt động cao hơn và các tế bào vô tuyến nhỏ hơn, đặc biệt là trong các ứng dụng trong nhà. Nhưng các tế bào nhỏ hơn đồng nghĩa với việc cần một số lượng lớn các trạm gốc (BS) và các điểm truy nhập vô tuyến (RAPs) để đạt được vùng phủ sóng rộng theo yêu cầu của hệ thống. Vì vậy để giảm giá thành lắp đặt và bảo dưỡng của các hệ thống đó thì các khối anten vô tuyến phải được đơn giản tới mức tối thiểu. Điều này có thể thực hiện được bằng cách hợp nhất các chức năng xử lý tín hiệu vào trạm đầu cuối tập trung nhờ công nghệ truyền tín hiệu vô tuyến qua sợi quang RoF (Radio over Fiber).

## 2. Công nghệ truyền sóng vô tuyến qua sợi quang

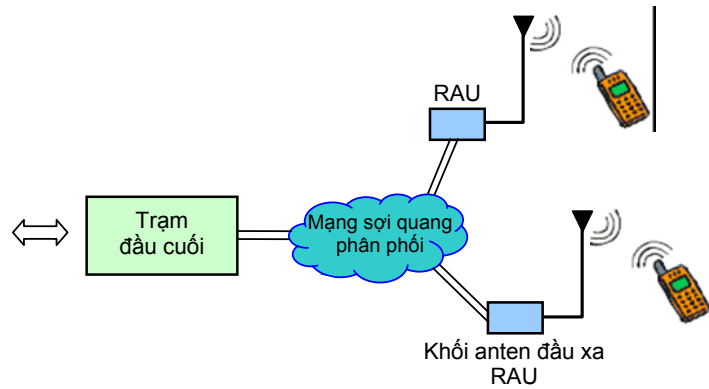
### 2.1. Khái niệm về RoF

Công nghệ truyền sóng vô tuyến qua sợi quang sử dụng đường truyền sợi quang để phân phối các tín hiệu tần số vô tuyến (RF) từ các vị trí trạm đầu cuối tập trung tới các khối anten đầu xa (RAUs). Trong hệ thống thông tin băng hẹp và WLANs, các chức năng xử lý tín hiệu RF như nâng tần, điều chế sóng mang và ghép kênh, được thực hiện ở các trạm gốc BS hoặc ở RAP và ngay sau đó được đưa tới anten. Công nghệ RoF cho phép tập trung các chức năng xử lý tín hiệu RF tại một vị trí chung (trạm đầu cuối), sau đó sử dụng sợi quang có suy hao thấp (0,3 dB/km cho bước sóng 1550 nm, 0,5 dB/km cho bước sóng 1310 nm) để phân phối tín hiệu RF tới các RAU như minh họa trong *hình 1*.

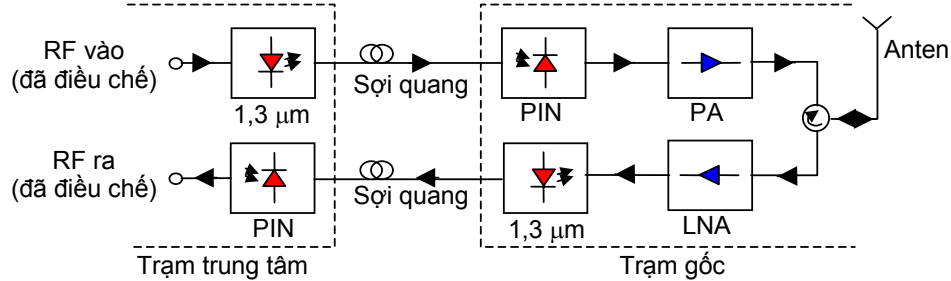
Nhờ công nghệ RoF các RAU được đơn giản hóa đáng kể, chúng chỉ còn chức năng chuyển đổi quang-điện và khuếch đại. Việc tập trung các chức năng xử lý tín hiệu RF cho phép chia sẻ thiết bị, phân bổ động tài nguyên và đơn giản hóa vận hành, bảo dưỡng hệ thống. Những ưu điểm này làm giảm chi phí lắp đặt và vận hành của hệ thống, đặc biệt trong các hệ thống thông tin vô tuyến băng rộng cần mật độ BS/RAPs cao.

Một trong những ứng dụng của RoF được mô tả như *hình 2*, hệ thống được sử dụng để phân phối tín hiệu GSM. Tín hiệu RF được sử dụng để điều biến trực tiếp laser ở trạm trung tâm. Tín hiệu quang sau khi điều chế cường độ được truyền trên sợi quang tới trạm gốc BS (RAU). Tại RAU tín hiệu RF được khôi phục bằng cách tách sóng trực tiếp ở bộ tách sóng quang PIN.

Tín hiệu sau đó được khuếch đại và được bức xạ ra nhờ anten. Tín hiệu đường lên từ máy di động MU được đưa từ RAU tới trạm trung tâm cũng theo cách này. Phương thức truyền tín hiệu RF qua sợi quang này được gọi là điều chế cường độ với tách sóng trực tiếp (IM-DD) và là hình thức đơn giản nhất của RoF.



**Hình 1:** Khái niệm về hệ thống RoF



**Hình 2:** Hệ thống quang-vô tuyến 900 MHz

## 2.2. Các kỹ thuật truyền sóng vô tuyến qua sợi quang

Nhiều kỹ thuật xử lý tín hiệu quang được sử dụng để tạo và truyền tải tín hiệu cao tần qua sợi quang. Nếu so sánh tần số của tín hiệu RF đi vào một tuyến RoF ở trạm đầu cuối với tần số tín hiệu RF được tạo ra ở RAU thì có thể chia các kỹ thuật RF làm 3 loại: truyền sóng vô tuyến qua sợi quang (RFoF); truyền tín hiệu trung tần qua sợi quang (IFoF) và truyền tín hiệu băng tần cơ sở qua sợi quang (BBoF). RFoF thực sự truyền dẫn các tín hiệu cao tần qua sợi quang. Trong IFoF và BBoF tín hiệu cao tần được tạo ra tại RAU nhờ bộ nâng tần cùng với một bộ tạo dao động (LO) ở RAU hoặc truyền từ trạm trung tâm tới RAU. Các cơ chế yêu cầu có LO riêng biệt ở RAU sẽ khiến cho RAU đắt hơn, đặc biệt là trong các ứng dụng sóng mm.

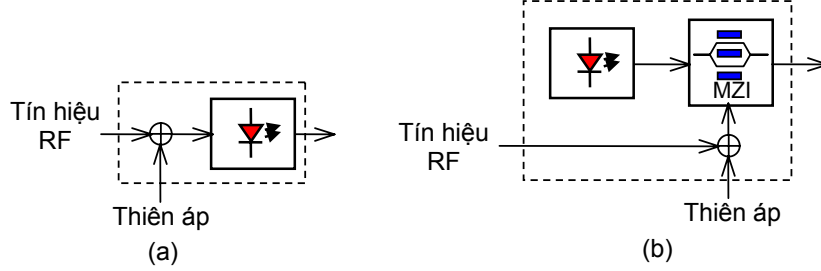
Các kỹ thuật RoF cũng có thể được phân loại dựa vào các nguyên lý điều chế và tách sóng được sử dụng. Khi đó RoF được chia làm 2 loại: Điều chế biên độ và tách sóng trực tiếp (IM-DD) và tách sóng Heterodyne đầu xa (RHD). Hệ thống RFoF được xếp vào loại IM-DD. Còn IFoF và BBoF sử dụng LO tại RAU cũng có thể sử dụng IM-DD để truyền số liệu băng tần cơ sở hoặc IF tới RAU. Tuy nhiên, trong hầu hết các trường hợp, IFoF và BBoF dựa vào RHD để tạo tín hiệu RF.

### 2.2.1. Công nghệ RoF sử dụng kỹ thuật IM-DD

Phương thức đơn giản nhất để phân phối tín hiệu RF là điều chế cường độ nguồn sáng với chính tín hiệu RF và sau đó sử dụng tách sóng trực tiếp ở bộ tách sóng quang để khôi phục lại tín hiệu RF. Phương thức này thuộc về IM-DD và loại RFoF. Có 2 cách để điều chế nguồn sáng: cách thứ nhất là để tín hiệu RF trực tiếp điều chế dòng điện của laser; cách thứ hai là điều khiển laser ở chế độ sóng liên tục và sau đó sử dụng một bộ điều chế ngoài như bộ điều chế Mach-Zehnder (MZM), để điều chế cường độ ánh sáng. Hai trường hợp trên được

minh họa trong **hình 3**. Trong cả 2 trường hợp, tín hiệu điều chế là tín hiệu RF thực sự. Tín hiệu RF phải được điều chế với số liệu trước khi được phát đi.

Sau khi truyền qua sợi và tách sóng trực tiếp tại bộ tách sóng quang, dòng quang điện phải qua bộ khuếch đại phối hợp trở kháng để làm tăng biên độ điện áp trước khi kích thích anten.



**Hình 3:** Tạo tín hiệu RF bằng điều chế cường độ

(a) của Laser

(b) Dùng một bộ điều chế ngoài

### 2.2.2. Công nghệ RoF sử dụng kỹ thuật tách heterodyne đầu xa RHD

Hầu hết các kỹ thuật RoF đều dựa vào nguyên lý trộn kết hợp (coherent) trong bộ tách sóng quang để tạo ra tín hiệu RF. Các kỹ thuật này được gọi chung là các kỹ thuật tách sóng heterodyne đầu xa (RHD). Trong khi chuyển đổi quang điện O/E, bộ tách sóng quang cũng đóng vai trò như là một bộ trộn do đó nó trở thành một phần tử chính cấu thành hệ thống RoF dùng kỹ thuật RHD.

Nguyên lý trộn kết hợp được minh họa như sau. Hai trường quang có tần số góc  $\omega_1$  và  $\omega_2$  được biểu diễn:

$$E_1 = E_{01} \cos(\omega_1 t) \quad (1)$$

$$E_2 = E_{02} \cos(\omega_2 t) \quad (2)$$

Nếu cả hai trường tác động lẫn nhau trên một bộ tách sóng quang PIN, dòng tách quang trên bề mặt sẽ tỉ lệ với bình phương của tổng các trường quang. Dòng tách quang danh định là:

$$i_{PD} = (E_1 + E_2)^2 \quad (3)$$

$$i_{PD} = E_{01} E_{02} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t] + E_{01} E_{02} \cos[(\omega_1 + \omega_2)t] + \text{các thành phần khác} \quad (4)$$

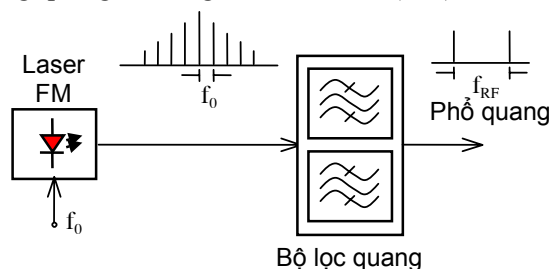
Thành phần cần quan tâm là  $E_{01} E_{02} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t]$  thể hiện rằng, bằng cách điều khiển sự khác biệt về tần số giữa hai trường quang, có thể tạo ra tín hiệu vô tuyến ở bất kỳ tần số nào. Giới hạn trên duy nhất của các tần số vô tuyến được tạo ra bằng phương thức này chính là giới hạn băng thông của bản thân bộ tách sóng quang. Nếu xét các tín hiệu công suất quang thay cho các trường quang thì dòng tách quang được tính:

$$i_{PD} = 2R\sqrt{p_1(t)p_2(t)} \cdot \cos\{[\omega_1(t) - \omega_2(t)]t + \phi_1(t) - \phi_2(t)\} + \text{các thành phần khác} \quad (5)$$

Với  $R$  là độ nhạy của bộ tách sóng quang,  $t$  là thời gian,  $p_1(t)$  và  $p_2(t)$  là tín hiệu hai công suất quang tức thời tương ứng với tần số tức thời  $\omega_1(t)$  và  $\omega_2(t)$ ,  $\phi_1(t)$  và  $\phi_2(t)$  là các pha tức thời của tín hiệu.

Phương trình (5) cho thấy sự ổn định tần số tức thời của các tín hiệu được tạo ra nhờ RHD phụ thuộc vào độ lệch tần số tức thời giữa 2 sóng mang quang được trộn. Vì vậy, trong RHD, cần thiết phải điều khiển độ lệch tần số tức thời một cách chính xác để giữ tần số của tín hiệu phát ra ổn định. Thường thì chỉ có một trong hai sóng mang quang được điều chế với số liệu.

Có nhiều phương thức tạo ra hai sóng mang quang cho tách sóng heterodyne kết hợp. Phương thức thứ nhất là sử dụng bộ điều chế quang để tạo ra nhiều biên tần quang và sau đó chọn các biên tần cần thiết. Một phương thức khác là sử dụng 2 nguồn laser riêng biệt. Hai laser được chế tạo để phát ra ánh sáng có tần số (bước sóng) lệch nhau một khoảng bằng tần số vô tuyến mong muốn. Sau đây xin trình bày một kỹ thuật thuộc phương thức thứ nhất, kỹ thuật tạo hai sóng mang quang sử dụng laser điều tần (FM) và bộ lọc quang (**hình 4**).



**Hình 4:** Nguyên lý trộn kết hợp (coherent) quang dựa trên laser điều tần

Kỹ thuật điều tần kết hợp lọc quang sử dụng một laser, điều chế tần số quang được thực hiện bằng cách sử dụng một tín hiệu điện để điều khiển laser. Khi đó laser sẽ phát ra một chuỗi các vạch phổ quang cách nhau một khoảng chính bằng tần số điều khiển  $f_0$  như trong hình 4. Hai vạch phổ quang cách nhau một khoảng bằng tần số vô tuyến  $f_{RF}$  mong muốn sẽ được chọn ra nhờ sử dụng bộ lọc quang. Tiếp theo, hai sóng quang này được truyền trên sợi quang đến bộ tách sóng quang và trộn kết hợp để tạo ra tín hiệu RF mong muốn theo nguyên tắc như đã trình bày ở trên.

### 3. Những ưu nhược điểm của công nghệ RoF

#### 3.1. Những ưu điểm của công nghệ RoF

##### *Suy hao thấp*

Sự phân phối những tín hiệu điện sóng ngắn tần số cao trong không gian tự do hoặc qua đường truyền dẫn kim loại là vấn đề khó giải quyết và đòi hỏi chi phí lớn. Trong khi đó với sợi quang có suy hao rất thấp, công nghệ RoF cùng lúc có thể có được cả sự phân phối sóng mm suy hao thấp và đơn giản hóa RAU. Các sợi đơn mode (SMF) làm từ thủy tinh có suy hao dưới 0,2 dB/km và 0,5 dB/km tại các cửa sổ 1550 nm và 1300 nm. Sợi quang chất dẻo (POF) công bố gần đây có suy hao từ 10-40 dB/km trong vùng 500-1300 nm. Những suy hao này thấp hơn nhiều so với cáp đồng trục. Ví dụ, suy hao của cáp đồng trục 1/2 inch (RG-214) hơn 500 dB/km cho các tần số trên 5 GHz. Vì vậy nhờ truyền sóng siêu cao tần trên sợi quang, khoảng cách truyền dẫn tăng nhiều lần và yêu cầu về công suất giảm đi đáng kể.

##### *Băng thông rộng*

Sợi quang có băng thông khổng lồ. Có ba cửa sổ truyền dẫn chính, suy hao thấp, cụ thể là các bước sóng 850nm, 1310 nm, 1500 nm. Với một sợi quang đơn mode, băng thông

tổng của 3 cửa sổ này vượt quá 50 THz. Tuy nhiên các hệ thống thương mại hiện nay mới chỉ tận dụng được một phần nhỏ dung lượng này (1,6 THz).

Băng thông khổng lồ của sợi quang còn có nhiều ưu điểm khác ngoài dung lượng cao để truyền dẫn tín hiệu siêu cao tần. Băng tần quang lớn cho phép xử lý tín hiệu tốc độ cao, công việc rất khó hoặc không thể thực hiện trong các hệ thống điện tử. Nói cách khác một số chức năng như lọc, trộn, nâng, hạ tần có thể được thực hiện trong miền quang.

### ***Không chịu ảnh hưởng của nhiễu tần số vô tuyến***

Không chịu ảnh hưởng của nhiễu điện từ là một đặc tính hấp dẫn của thông tin sợi quang, đặc biệt trong truyền dẫn sóng vô tuyến tần số cao. Đó là bởi vì các tín hiệu được truyền dưới dạng ánh sáng qua sợi quang. Cũng chính vì không bị ảnh hưởng của nhiễu điện từ nên thông tin sợi quang có khả năng chống nghe trộm, đây là một đặc tính quan trọng của thông tin sợi quang khi cung cấp an ninh và bảo mật.

### ***Lắp đặt và bảo dưỡng dễ dàng***

Trong hệ thống RoF, các thiết bị phức tạp và đắt tiền được đặt tại các trạm đầu cuối, khiến cho các RAU đơn giản hơn. Sự sắp xếp này làm cho RAU nhỏ hơn và nhẹ hơn, làm giảm giá thành lắp đặt và bảo dưỡng hệ thống. Việc lắp đặt dễ dàng và giá thành bảo dưỡng thấp của RAU là rất quan trọng đối với các hệ thống sóng mm, bởi vì các hệ thống này cần một số lượng lớn các RAU. Các RAU nhỏ hơn không chỉ giảm giá thành mà còn giảm các tác động đến môi trường.

### ***Giảm công suất tiêu thụ***

Giảm công suất tiêu thụ là kết quả của việc sử dụng RAU đơn giản và thiết bị rút gọn. Hầu hết các thiết bị phức tạp đều được đặt tại các đầu cuối tập trung. Trong một số ứng dụng các RAU hoạt động ở chế độ thụ động. Việc giảm tiêu thụ năng lượng tại RAU rất quan trọng khi tính đến việc các RAU được đặt ở nơi xa, những nơi chưa có mạng lưới điện.

### ***Phân bổ tài nguyên động***

Vì chuyển mạch, điều chế và các chức năng RF khác được thực hiện tại trạm đầu cuối nên có thể phân phối dung lượng động. Ví dụ trong hệ thống phân phối RoF với lưu lượng GSM, dung lượng có thể được phân bổ thêm tới một vùng trong các thời gian cao điểm và sau đó phân bổ lại cho các vùng khác khi hết thời gian cao điểm. Điều này có thể đạt được bằng cách cấp phát thêm các bước sóng quang nhờ kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) khi nhu cầu tăng lên. Cấp phát dung lượng động là cần thiết, vì nó giúp ta tránh được sự lãng phí tài nguyên do lưu lượng trên mạng biến đổi thường xuyên.

## **3.2. Hạn chế của công nghệ RoF**

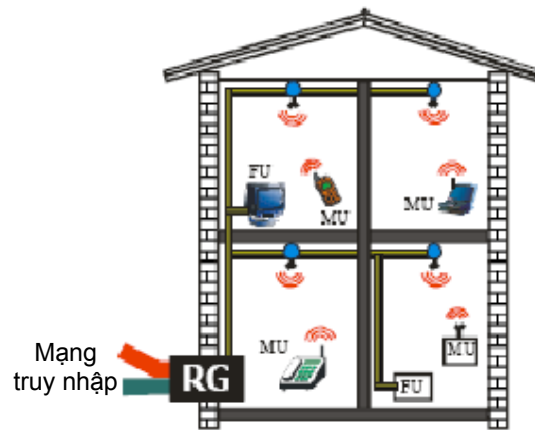
Vì RoF liên quan tới điều chế tương tự và tách sóng ánh sáng nên về cơ bản đây là một hệ thống truyền dẫn tương tự. Do đó tín hiệu bị ảnh hưởng bởi nhiễu và méo, đây là hạn chế trong các hệ thống thông tin tương tự cũng như hệ thống RoF. Những ảnh hưởng này có xu hướng giới hạn là hệ số nhiễu (NF) và dải động (DR) của các tuyến RoF.

Nguồn tạp âm trong đường truyền sợi quang tương tự bao gồm tạp âm cường độ tương đối của laser (RIN), nhiễu pha laser, nhiễu nơ của bộ tách sóng quang, nhiễu nhiệt của bộ khuếch đại, tán sắc của sợi. Trong hệ thống RoF sử dụng sợi đơn mode, tán sắc màu giới hạn chiều dài tuyến và cũng là nguyên nhân làm tăng nhiễu pha sóng mang RF. Trong hệ thống

RoF sử dụng sợi đa mode, tán sắc mode giới hạn nghiêm trọng băng tần và khoảng cách tuyến truyền dẫn.

#### 4. Ứng dụng của RoF

Các hệ thống phân phối RoF có thể được dùng trong các tòa nhà để phân phối các tín hiệu vô tuyến của cả hệ thống thông tin số liệu (WLAN) lẫn di động. Trong trường hợp này hệ thống RoF trở thành hệ thống anten phân tán (DAS). Với các ứng dụng tần số cao như mạng cá nhân WPAN, kích cỡ tế bào nhỏ bởi vì sự tổn hao khi đi qua tường cao thì RoF thực sự rất hữu ích. Cơ sở hạ tầng sợi quang trong các tòa nhà có thể sử dụng trong các ứng dụng hữu tuyến và vô tuyến như minh họa trong **hình 5**. Sử dụng sợi đa mode MMF hoặc sợi chất dẻo POF thay vì sợi đơn mode SMF cung cấp cho các RAU có thể giảm hơn nữa giá thành lắp đặt và bảo dưỡng, đặc biệt với các ứng dụng trong nhà.



**Hình 5:** Sử dụng hạ tầng sợi quang trong tòa nhà cho cả hệ thống vô tuyến và hữu tuyến

Hệ thống RoF cũng sẽ có nhiều ứng dụng khác trong hiện tại và tương lai. Ví dụ các máy di động của UMTS đòi hỏi phải điều khiển công suất máy phát sao cho các mức công suất thu được tại BS là ngang bằng nhau nên các hệ thống phân phối RoF có thể dùng phân phối tín hiệu UMTS cả trong nhà lẫn ngoài trời. Một ứng dụng khác là trong các hệ thống truy nhập vô tuyến cố định (FWA), như WiMAX, công nghệ RoF được sử dụng để truyền tín hiệu quang qua khoảng cách xa, đưa những RAU đã đơn giản hóa đáng kể tới gần người dùng hơn. Từ đó các đường truyền vô tuyến có thể giúp đạt được khả năng truy nhập băng rộng tới thuê bao với chi phí hiệu quả.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. D. Wake, "Radio over Fiber Systems for Mobile Applications" in *Radio over Fiber Technologies for Mobile Communications Networks*, Artech House, Inc, USA, 2002.
- [2]. D. Novak, "Fiber Optics in Wireless Applications", OFC 2004 Short Course 217, 2004.
- [3]. J. Capmany, "Multiwavelength Single Sideband Modulation for WDM Radio-Over-Fiber Systems Using a Fiber Grating Array Tandem Device", *IEEE Photonics Tech. Letters* Vol. 17, No. 2, 471-473, 2005.