



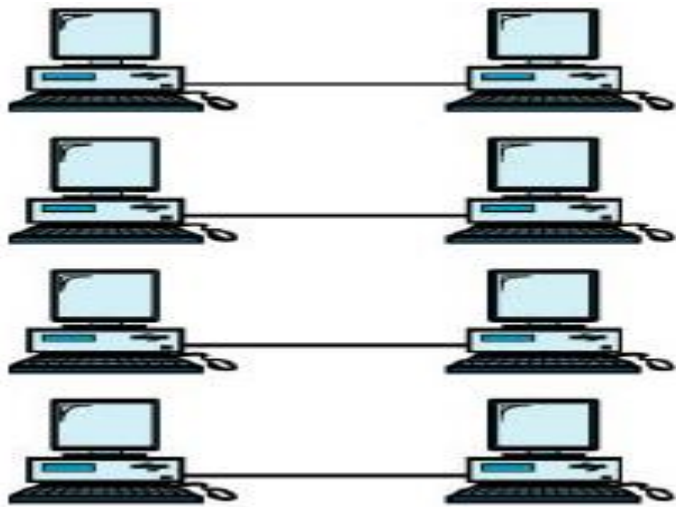
## 第3章

# 物理层

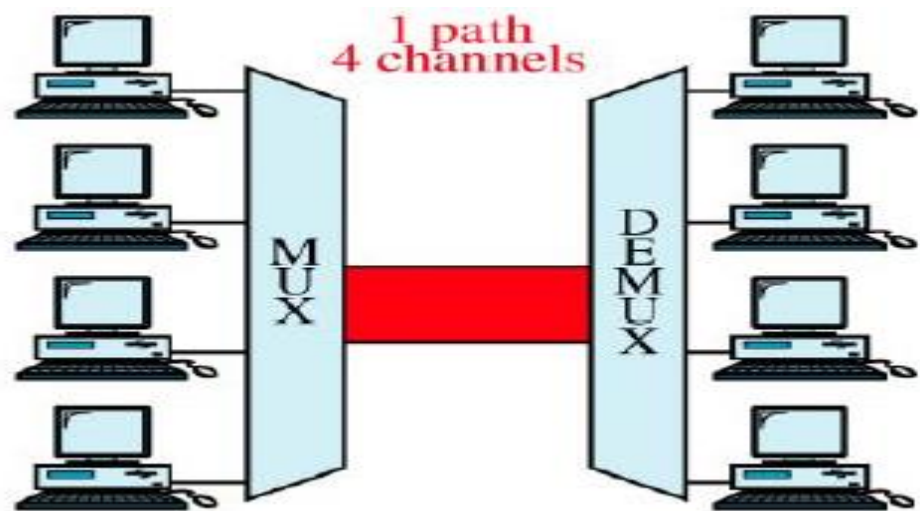
谭献海

Email: [xhtan@home.swjtu.edu.cn](mailto:xhtan@home.swjtu.edu.cn)

## 3.7 多路复用



(a) No multiplexing



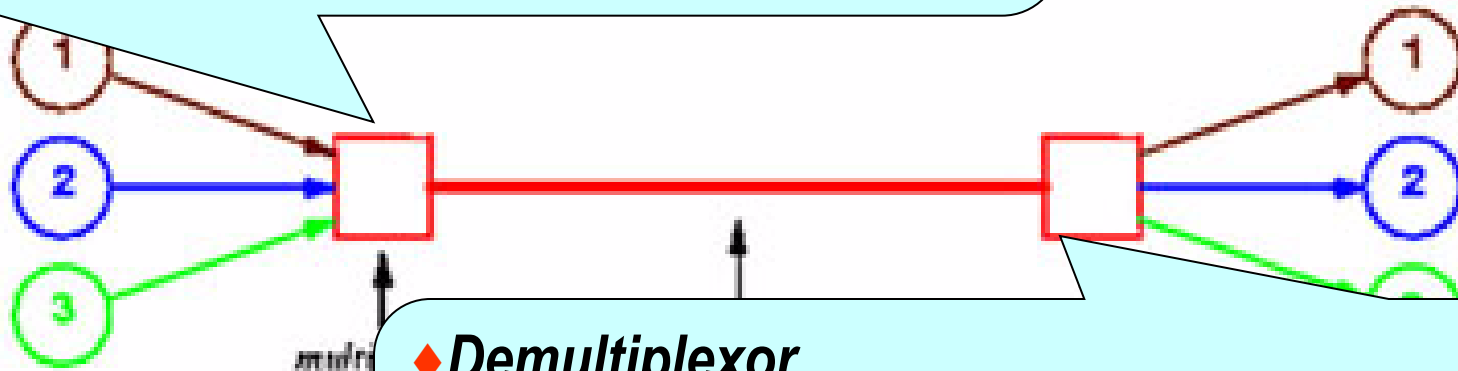
(B) multiplexing

## 3.7 多路复用技术

### ◆ 复用

设备或机构，从多个信号源接受数据，然后通过共享信道发送出去

备在单一的传输



### ◆ Demultiplexor

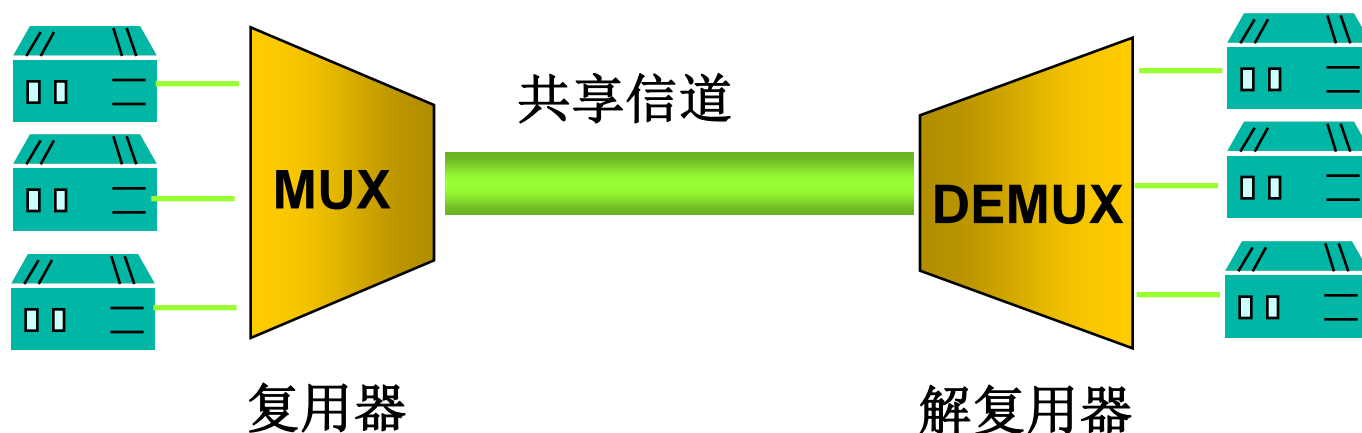
Device or mechanism

Extracts data from shared channel

Sends to correct destination

# 信道复用

信道复用主要有以下四种复用方法：**频分多路复用 (FDMA)**，**时分多路复用 (TDMA)**，**波分复用 (WDMA)**，**码分复用 (CDMA)**。除此之外，还有**统计多路复用、集中器等**



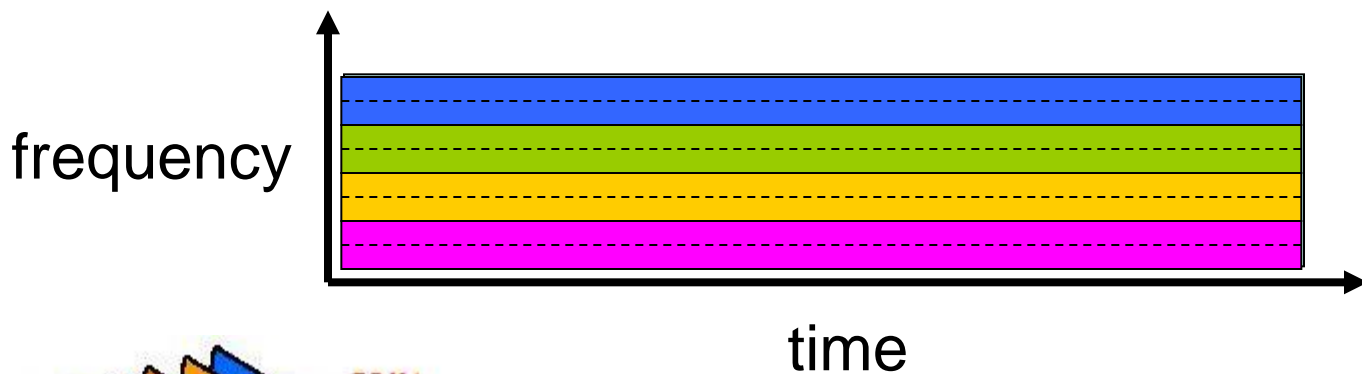
# 频分多路复用FDM

频分复用本质上就是在频率上并列地把要传输的几个信息合在一起，形成一个合成的信号后进行传输。要做到这一点，多路复用器产生不同频带的载波信号。

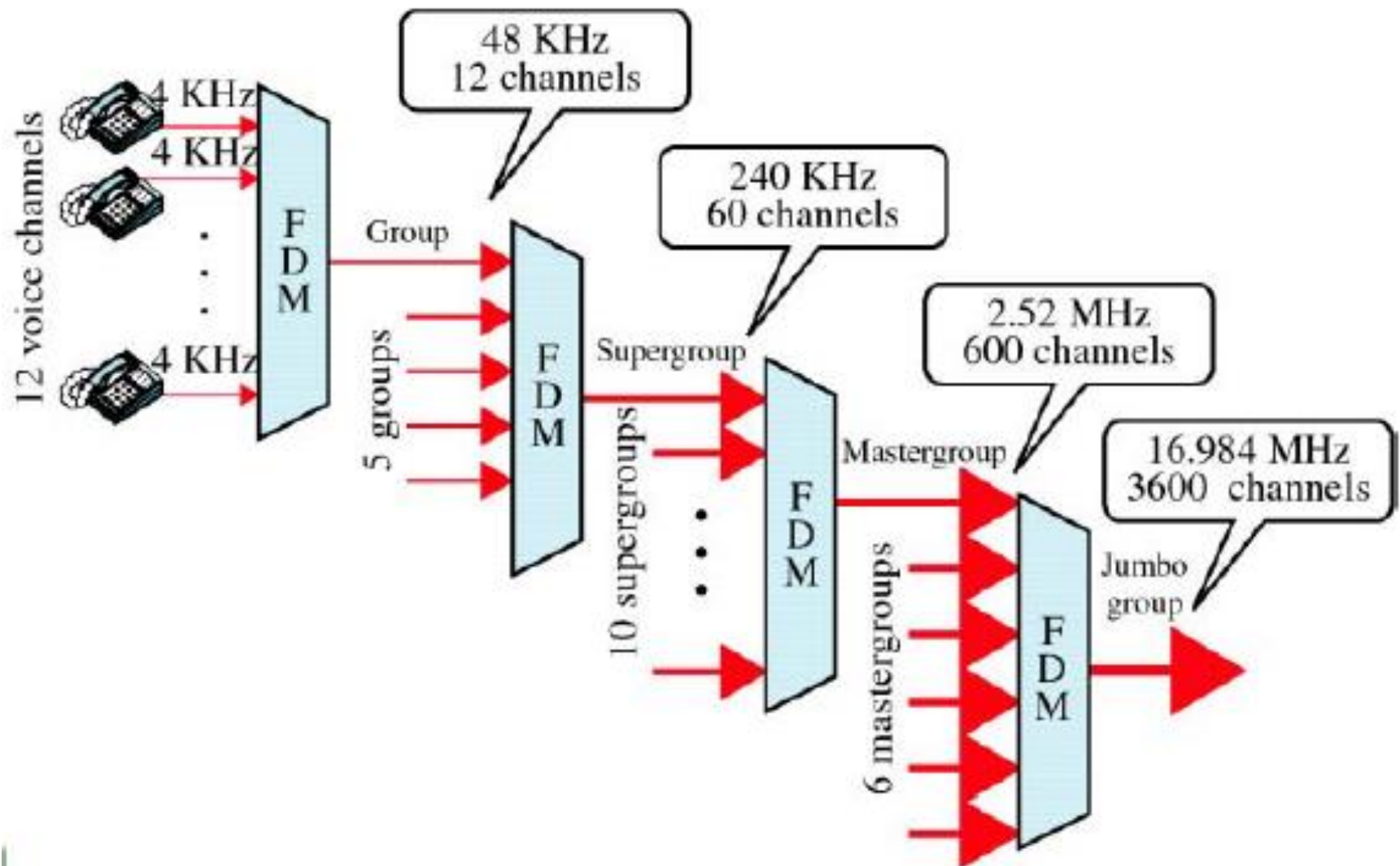
Example:

4 users

FDMA



# FDM 举例



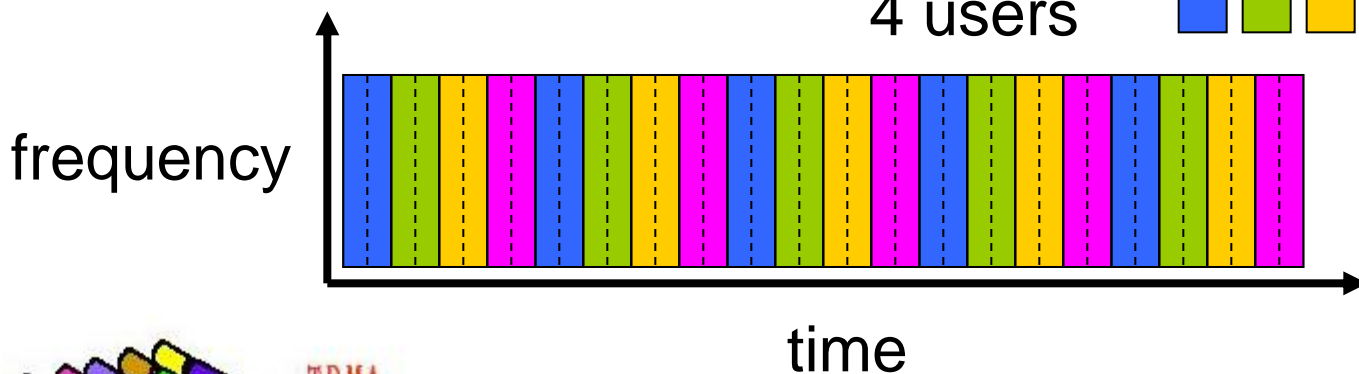
# 时分多路复用TDM

时分复用技术被广泛应用于包括计算机网络在内的数字通信系统。其主要特点是按信道内传送信号的最大周期 $T_s$ 为间隔，在 $T_s$ 内按信道带宽划分相应的小时隙(time slot)，并利用这些时隙来传递各路信号。

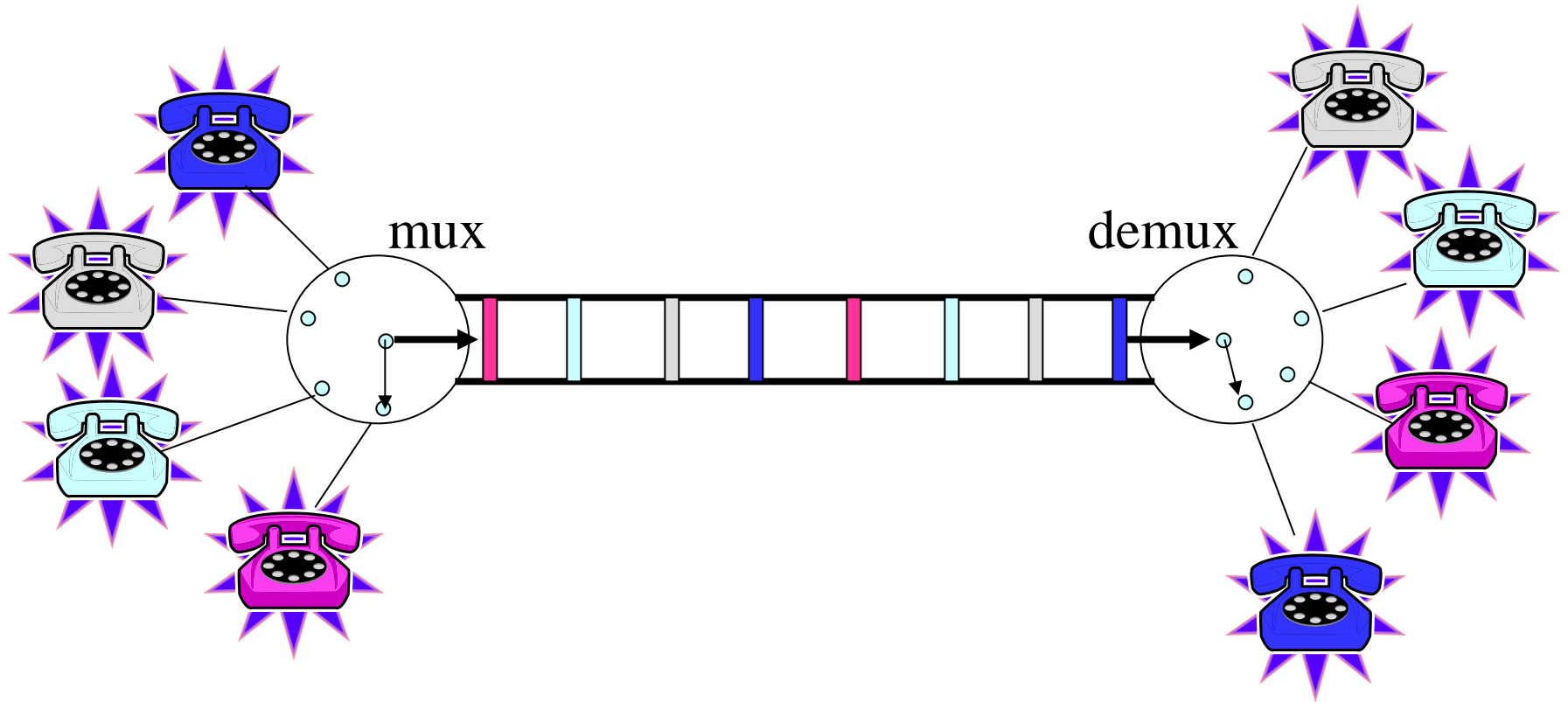
TDMA

Example:

4 users



# TDM

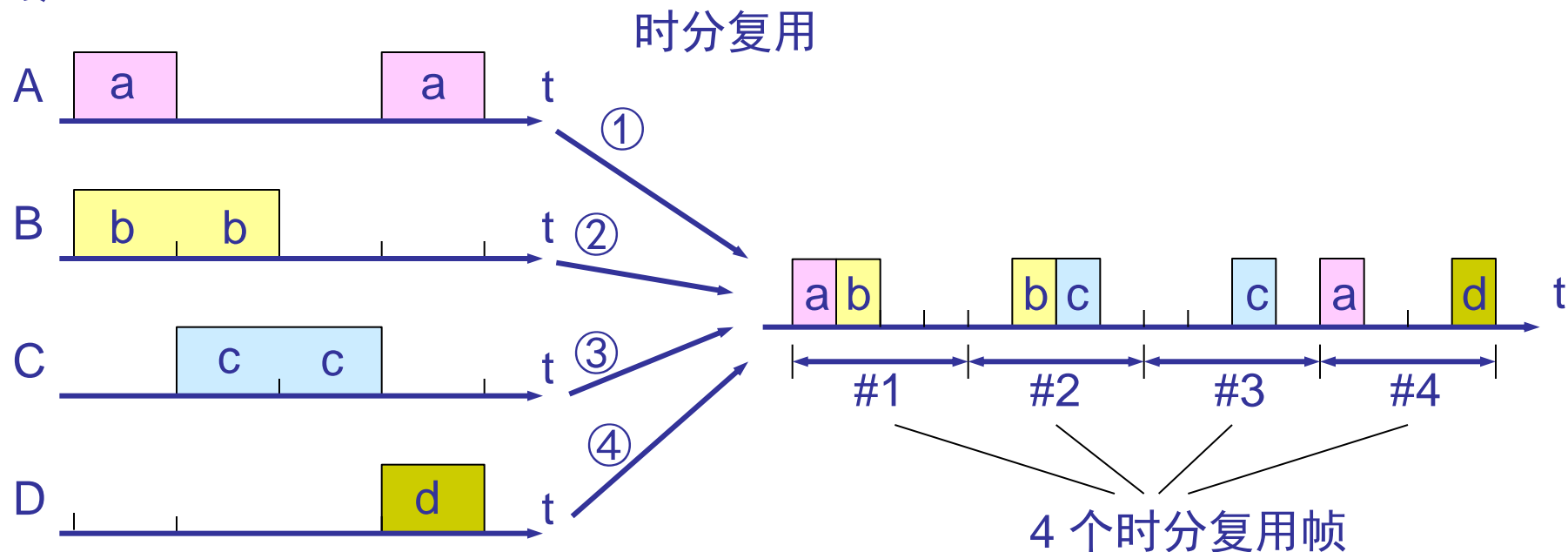




# 时分复用的缺点

**TDM的缺点：** 某用户无数据发送，其它用户也不能占用该时隙，将会造成带宽浪费。

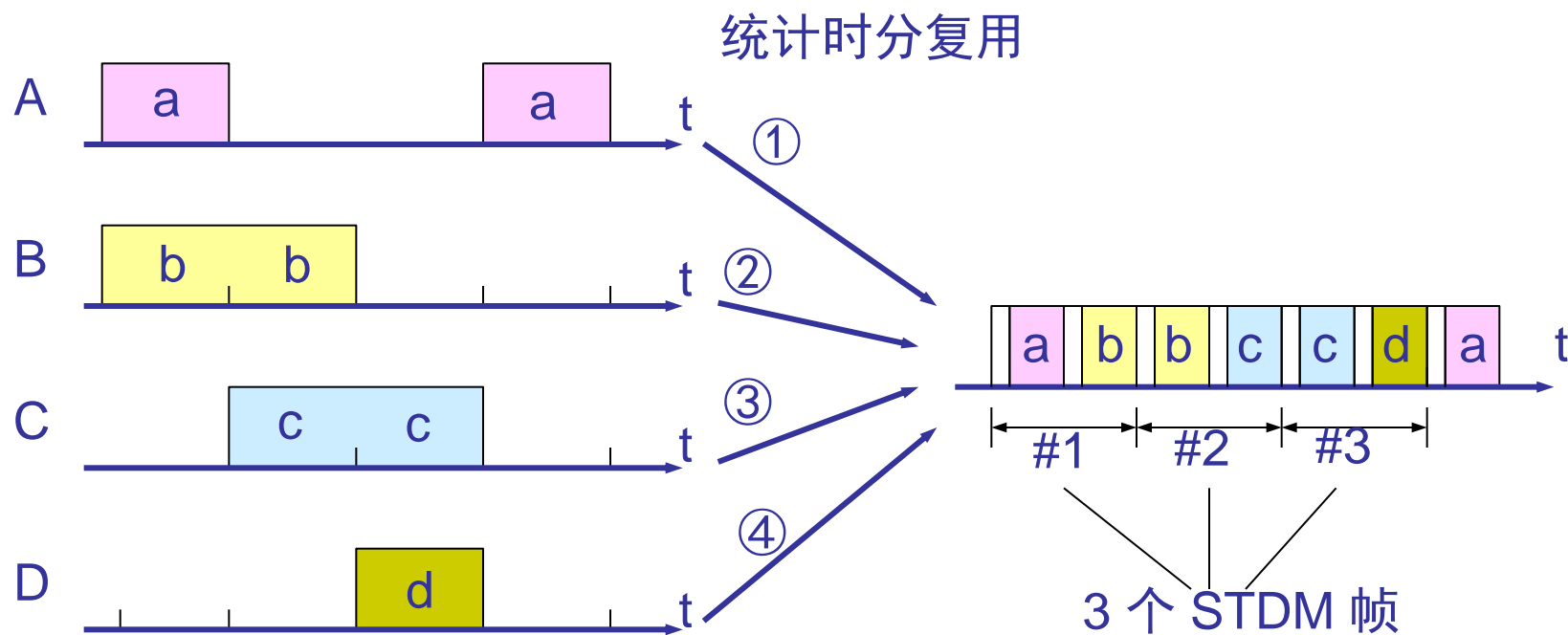
用户



# 统计时分复用 STDM

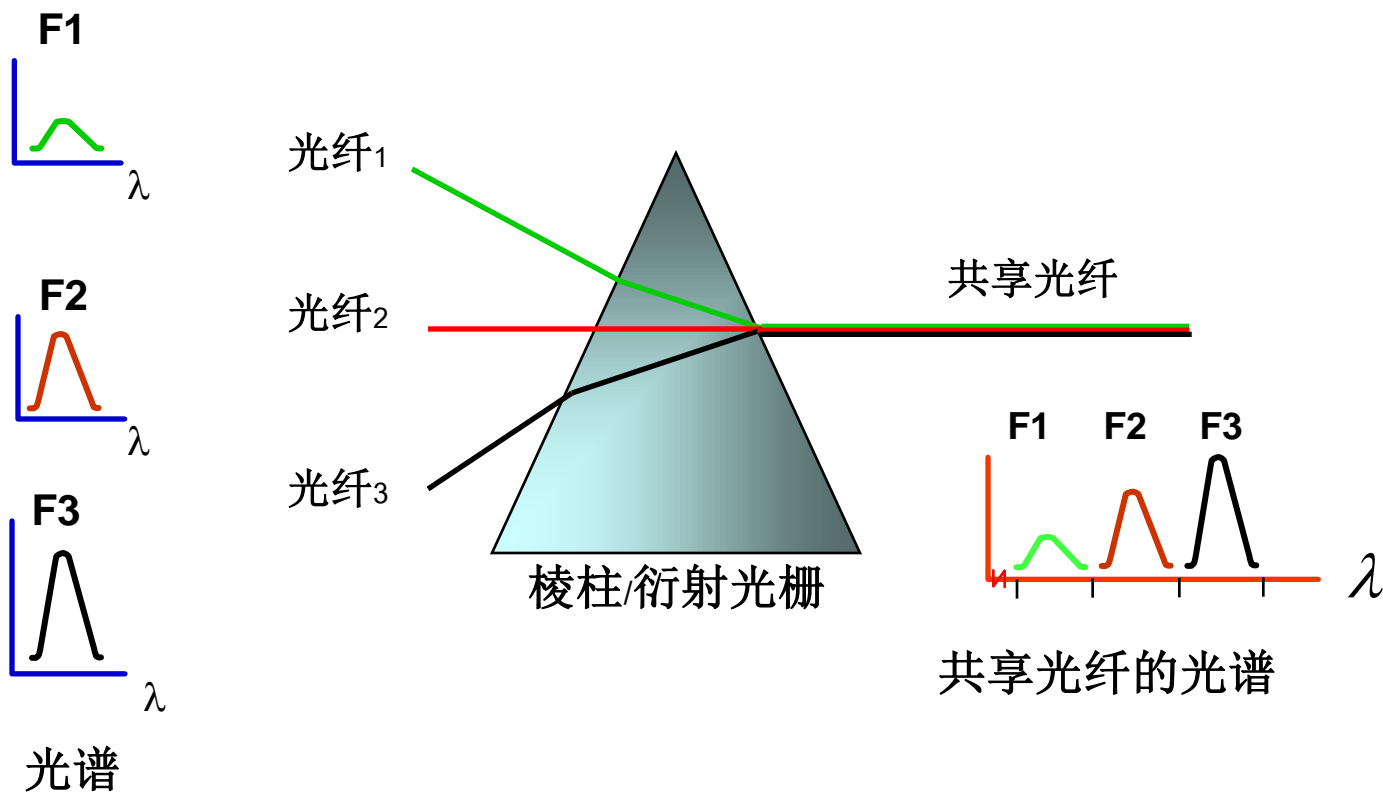
**STDM:** 用户不固定占用某个时隙，有空时隙就将数据放入（按统计方式来分配时隙）。

用户



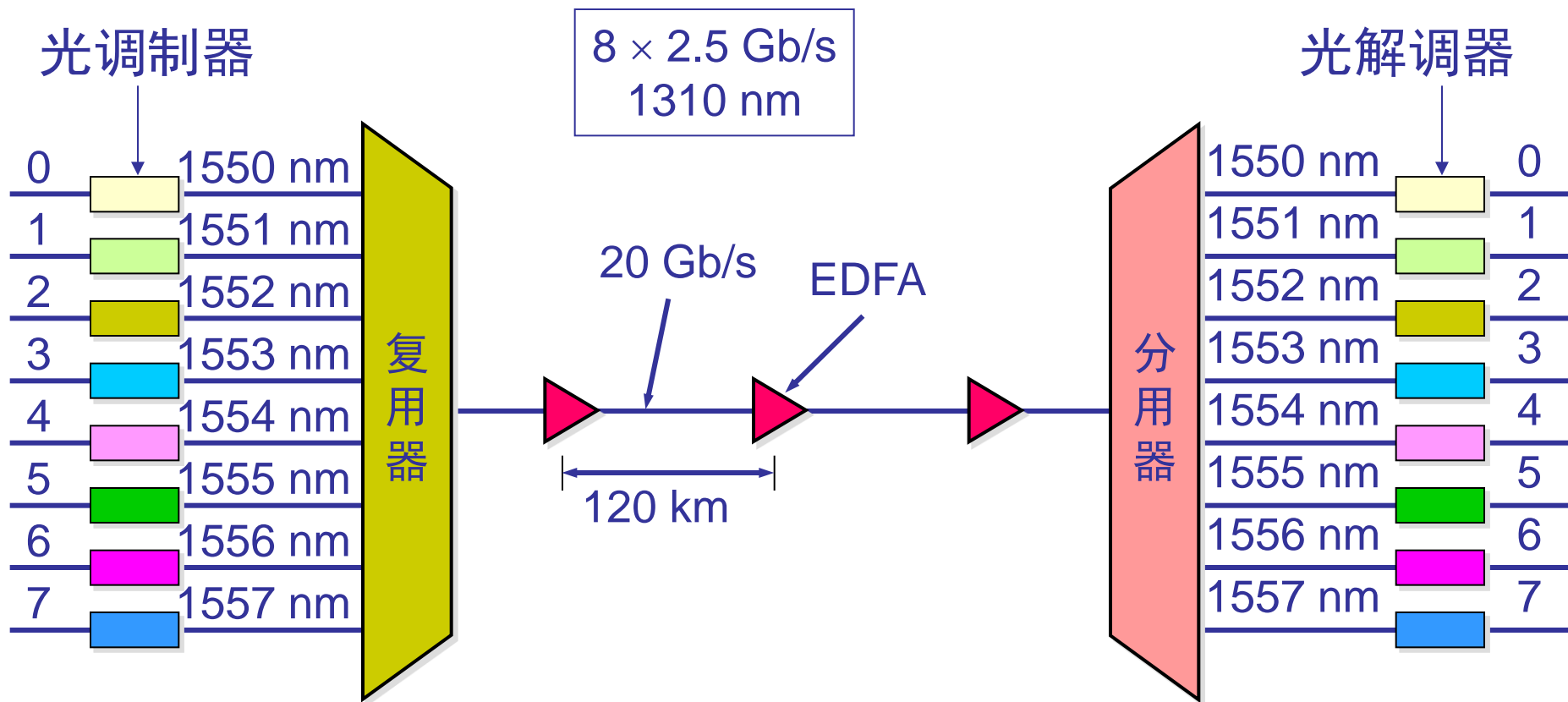
## ■ 波分复用——光的频分复用

- 原理：整个波长频带被划分为若干个波长范围，每路信号占用一个波长范围来进行传输。



# 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

## ■ 波分复用就是光的频分复用



# 码分复用 CDMA

- 常用的名词是码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access)。
- 各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此彼此不会造成干扰。
- 这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌人发现。
- 每一个比特时间划分为  $m$  个短的间隔，称为码片(chip)。

# 码片序列(chip sequence)

- 每个站被指派一个惟一的  $m$  bit 码片序列。
  - 如发送比特 1, 则发送自己的  $m$  bit 码片序列。
  - 如发送比特 0, 则发送该码片序列的二进制反码。
- 例如, S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。
  - 发送比特 1 时, 就发送序列 00011011,
  - 发送比特 0 时, 就发送序列 11100100。
- S 站的码片序列:  $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$

# CDMA 的重要特点

- 每个站分配的码片序列不仅必须各不相同，并且还必须互相正交(orthogonal)。
- 在实用的系统中是使用伪随机码序列。

# 几种多路复用方式的比较

CDMA与TDM及FDM的区别，就好像在一个会议室里，**TDM**是任何时刻只能有一个人讲话，大家轮流发言；**FDM**则是把与会人员分组，每组同时讨论；**CDMA**则像是多个人同时用各自的民族语言讲话，别人并不理解某个人在将什么，仅被视为噪音而已。

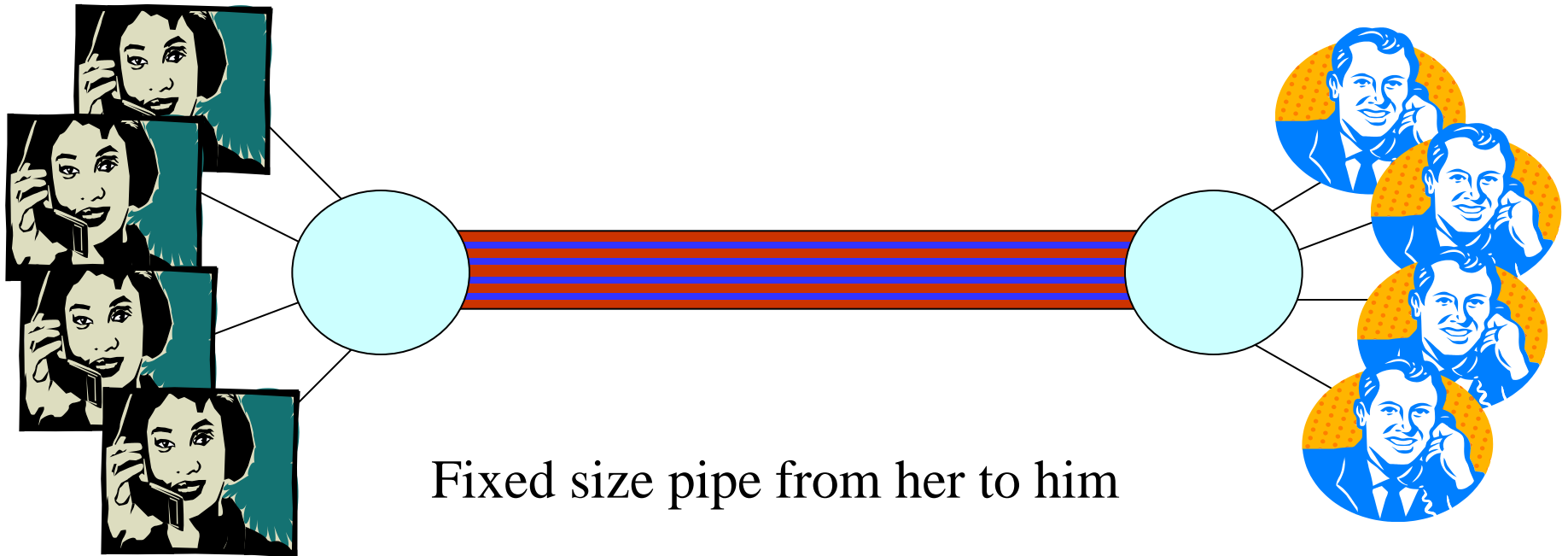


## 3.8 交换技术

- 电路交换 (Circuit Switching) ;
- 存储转发交换
- ✓ 报文交换 (Message Switching) ;
- ✓ 分组交换 (Packet Switching) ;
- 帧中继 (Frame Relay) ;
- 信元交换 , 即异步传输模式 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 。

# Circuit-Switched

## The Telephone Network

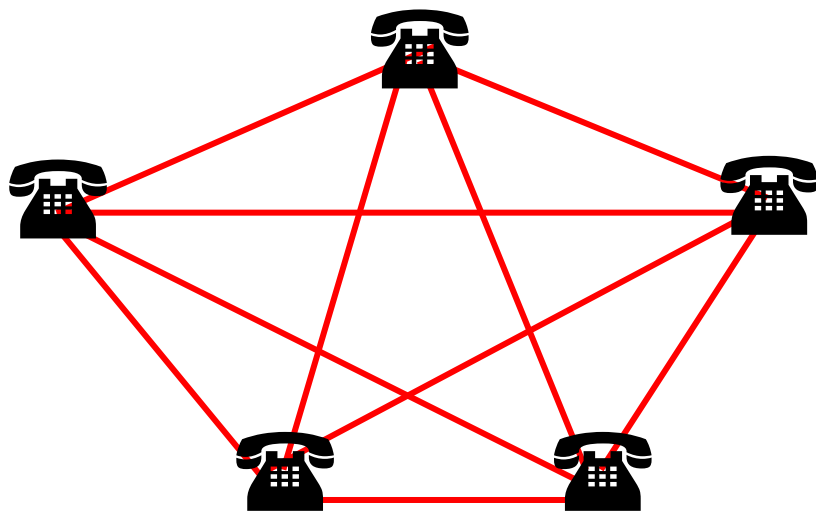


# 传统电话网使用电路交换



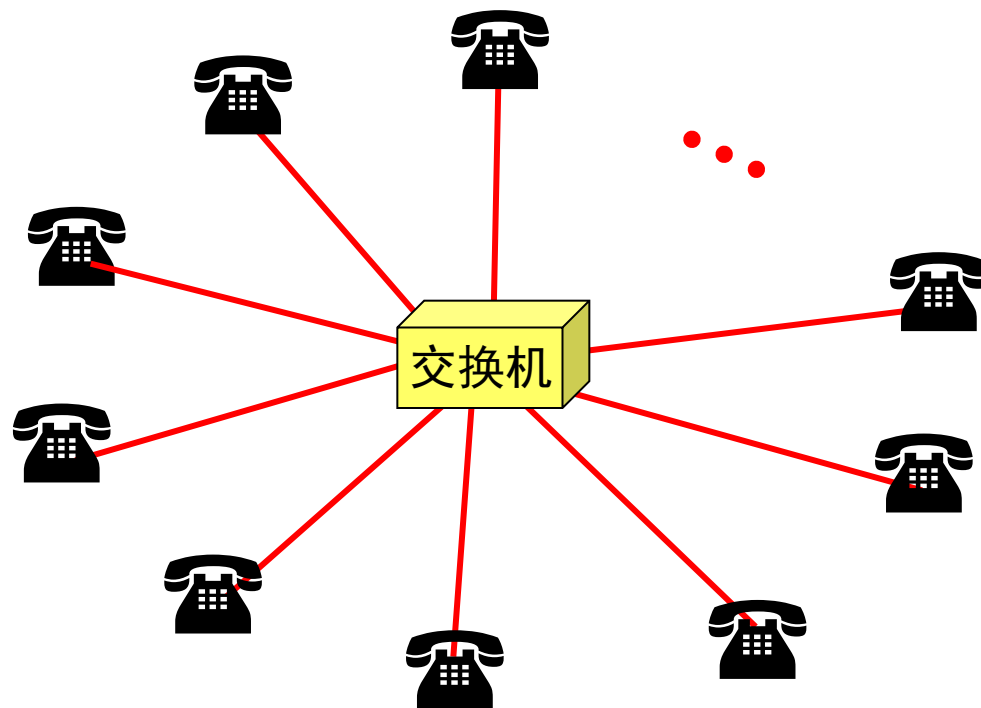
两部电话机只需要用一对  $(2 * (2-1) / 2)$  电线就能够互相连接起来。

# 传统电话网使用电路交换



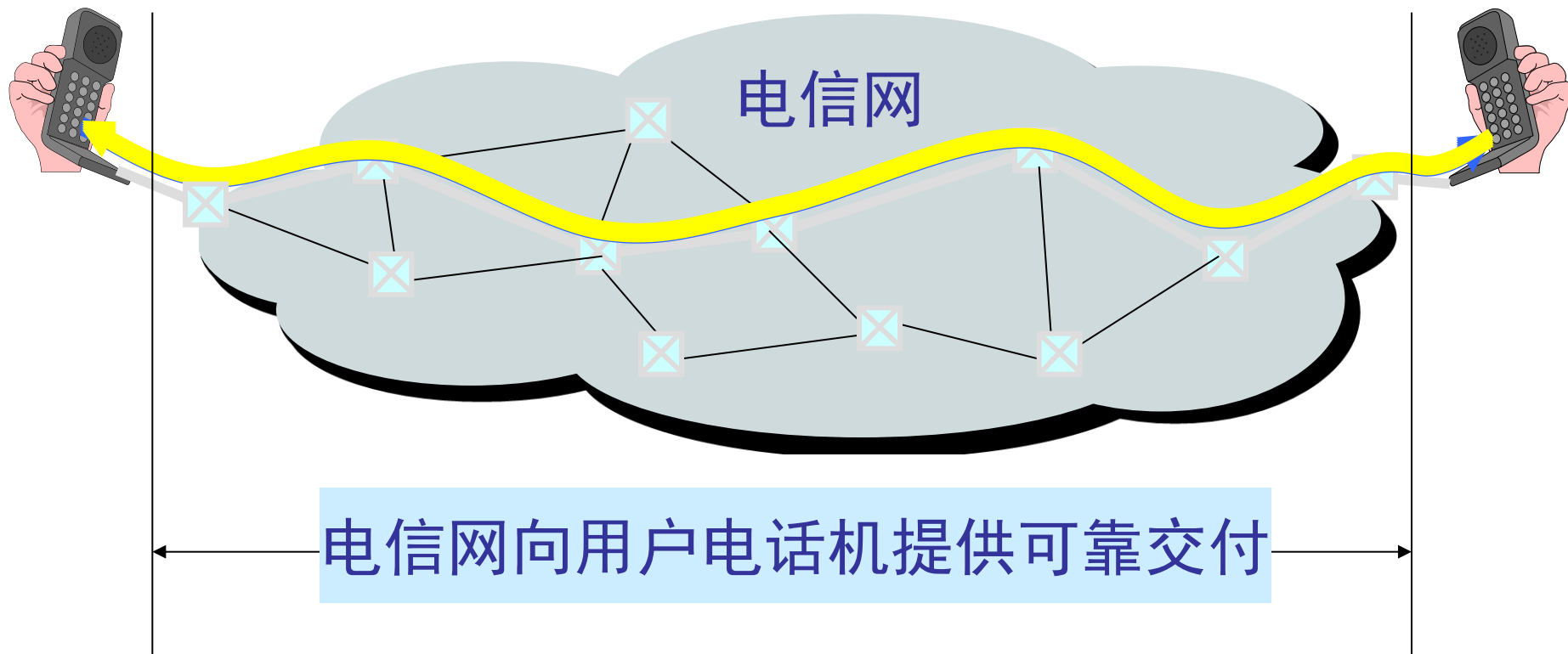
但若要将 5 部电话机两两相连，  
则需要  $10 \left( \frac{5 \times (5-1)}{2} \right)$  对电线。

# 传统电话网使用电路交换



当电话机的数量很大时，两两相连需要 $N(N-1)/2$ 对线就必须使用电话交换机进行连接。

# 基于电路交换的电信网



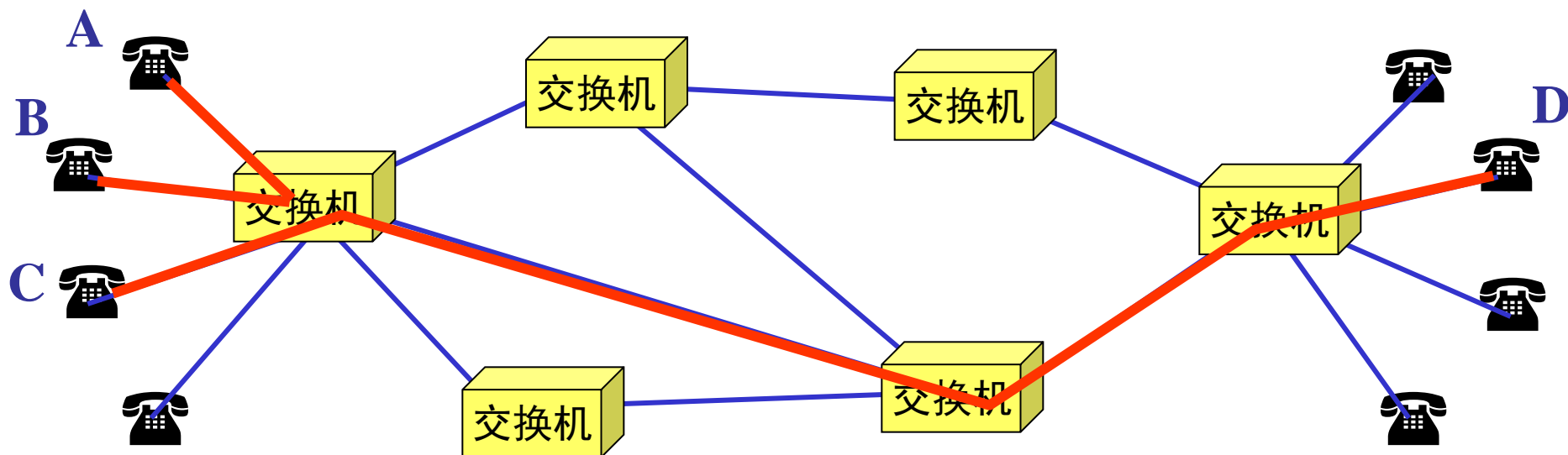
# 电路交换的特点

1. 通话前先拨号建立连接。

- 可能只要经过一个交换机（本地交换，如 A 到 B）
- 可能要经过多个交换机（远程交换，如 C 到 D）

2. 通话过程中，通信双方一直占用所建立的连接。

3. 通话结束后，挂机释放连接。



# 早期的计算机网络采用电路交换

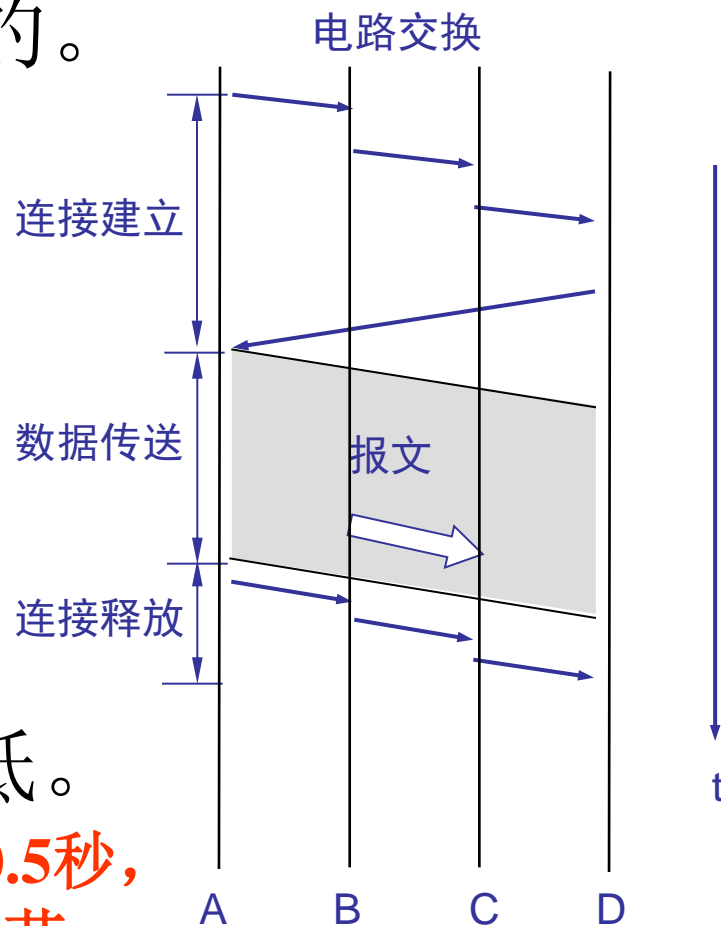
- 电路交换必定是面向连接的。

- 电路交换的三个阶段：

- 建立连接

- 通信

- 释放连接



- 计算机数据具有突发性。

- 这导致通信线路的利用率很低。

- 例如：建立/释放连接的时间为0.5秒，计算机以1Mb/s的速率发送10k字节。

线路利用率 = ?

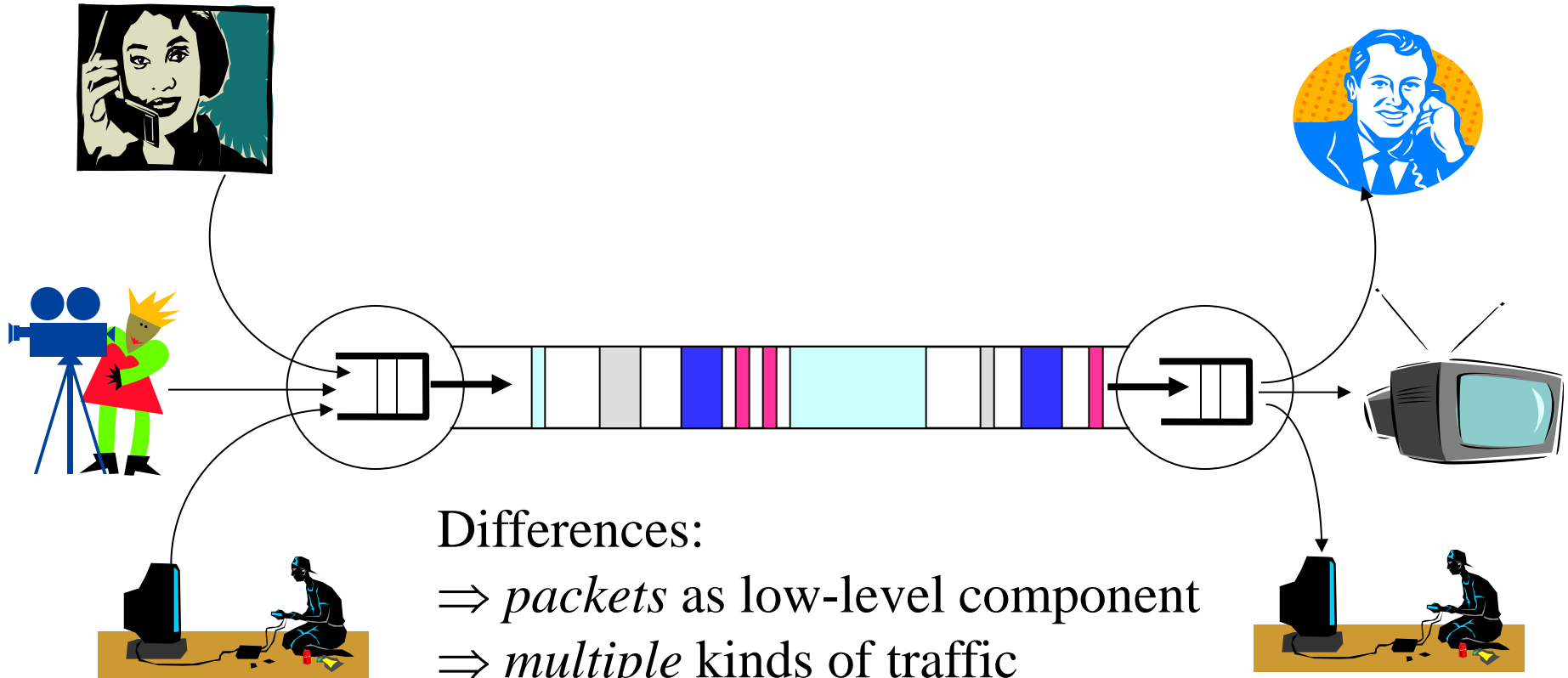
$$(10k \times 8 / 1Mbps) / (10k \times 8 / 1Mbps + 0.5) = 0.016$$



# 分组交换(packet switching)的出现

- 电话网是为电话通信设计的。电路交换的电话网很适合于电话通信。
- 但计算机数据具有很大的突发性。使用电路交换会导致网络资源严重浪费。
- 另一方面，为了提高网络的生存性，即使少数结点或链路被摧毁，整个网络仍保持畅通。
- 美国军方提出了新型分布式网络：采用分组的、基于存储转发计算机网络。
- 这就导致报文交换和分组的出现。

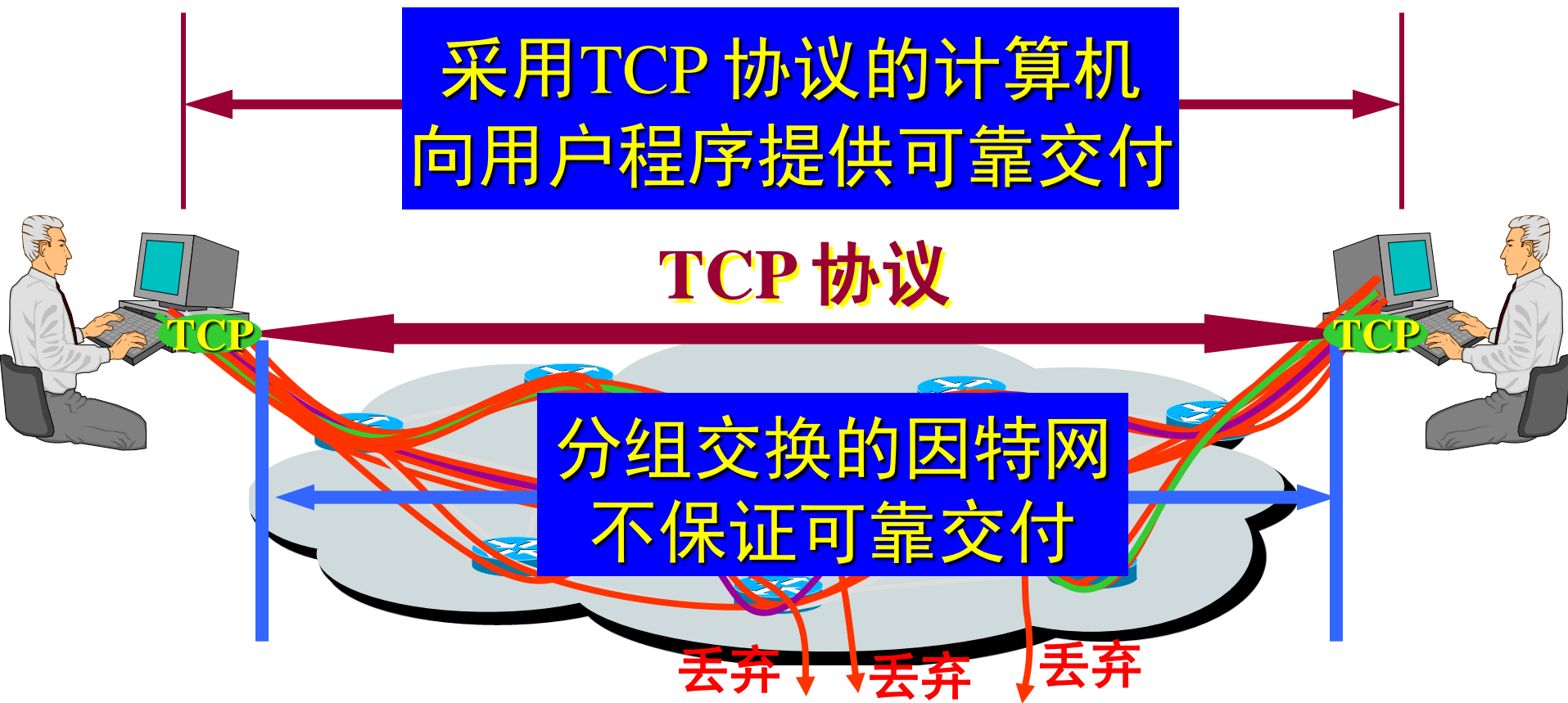
# Internet: packet-switched network



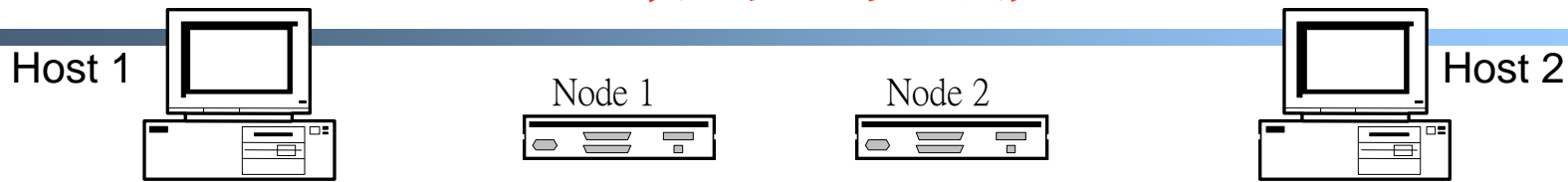
Differences:

- ⇒ *packets* as low-level component
- ⇒ *multiple* kinds of traffic
- ⇒ packets from different sources of different nature all mixed up

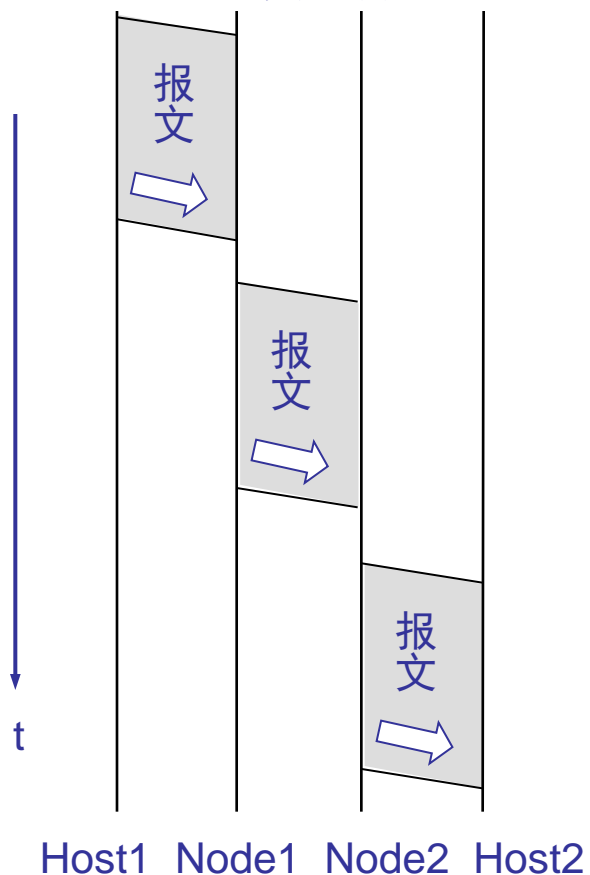
# 基于分组交换的因特网



# 报文交换



报文交换

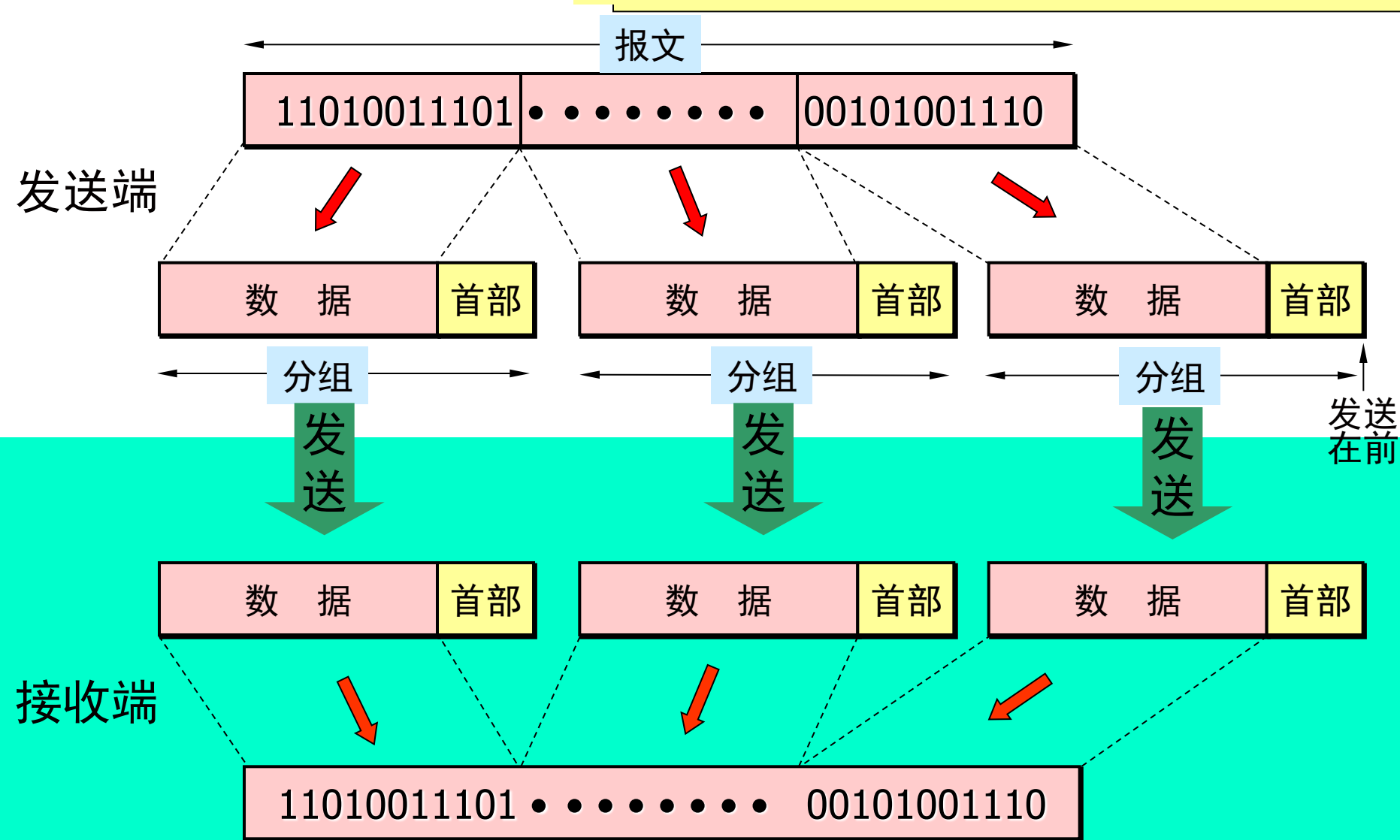


缺点：

1. 多个信道串行工作，效率低
2. 报文太大时，出错概率大，重传费时

# 分组交换

- ✎ 在发送端把要发送的报文分隔为较短的数据块
- ✎ 每个块增加带有控制信息的首部构成分组（包）
- ✎ 依次把各分组发送到接收端
- ✎ 接收端剥去首部，抽出数据部分，还原成报文



# 分组交换--存储转发

- **包头**：每一个分组的首部都含有地址等控制信息。
- **存储转发**：分组交换网中的结点交换机根据收到的分组的首部中的地址信息，通过查找转发表把分组转发到下一个结点交换机。
- 用这样的存储转发方式，最后分组就能到达最终目的地。

# 存储转发：分组从 A 传送到 B 的过程

查找路由表

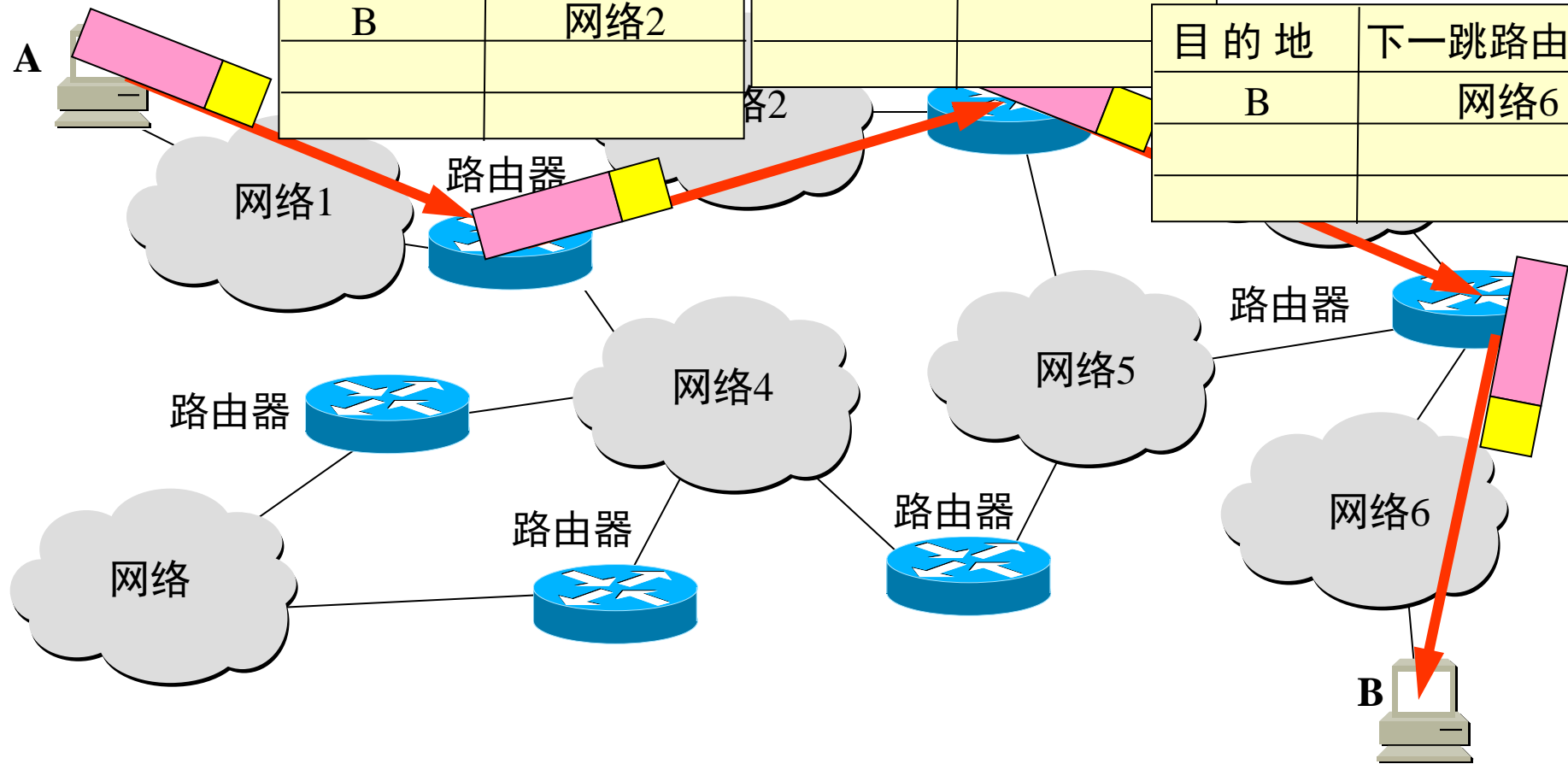
查找路由表

目的地	下一跳路由器
B	网络2

目的地	下一跳路由器
B	网络3

查找路由表

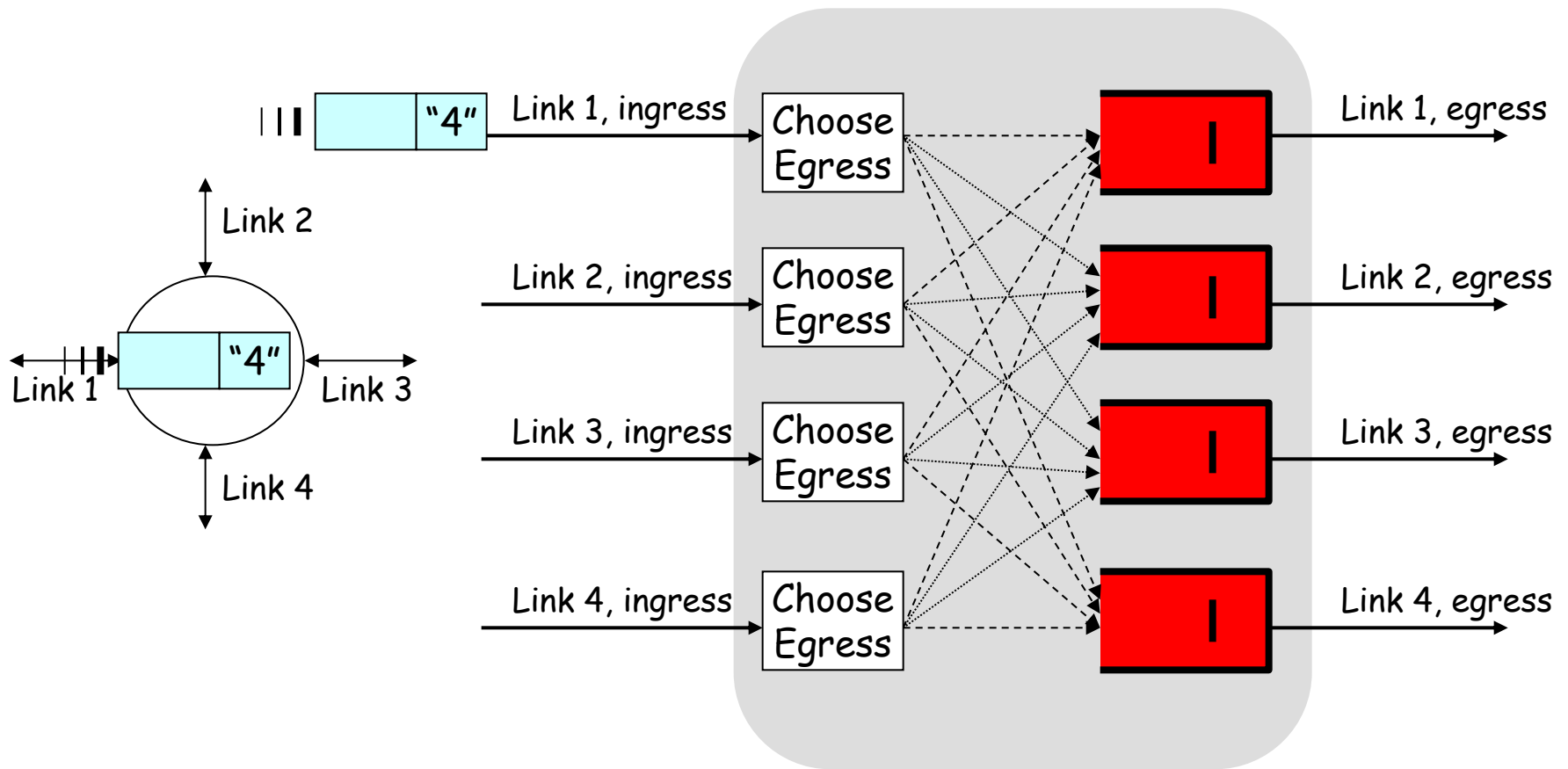
目的地	下一跳路由器
B	网络6



## 基于存储转发的分组交换

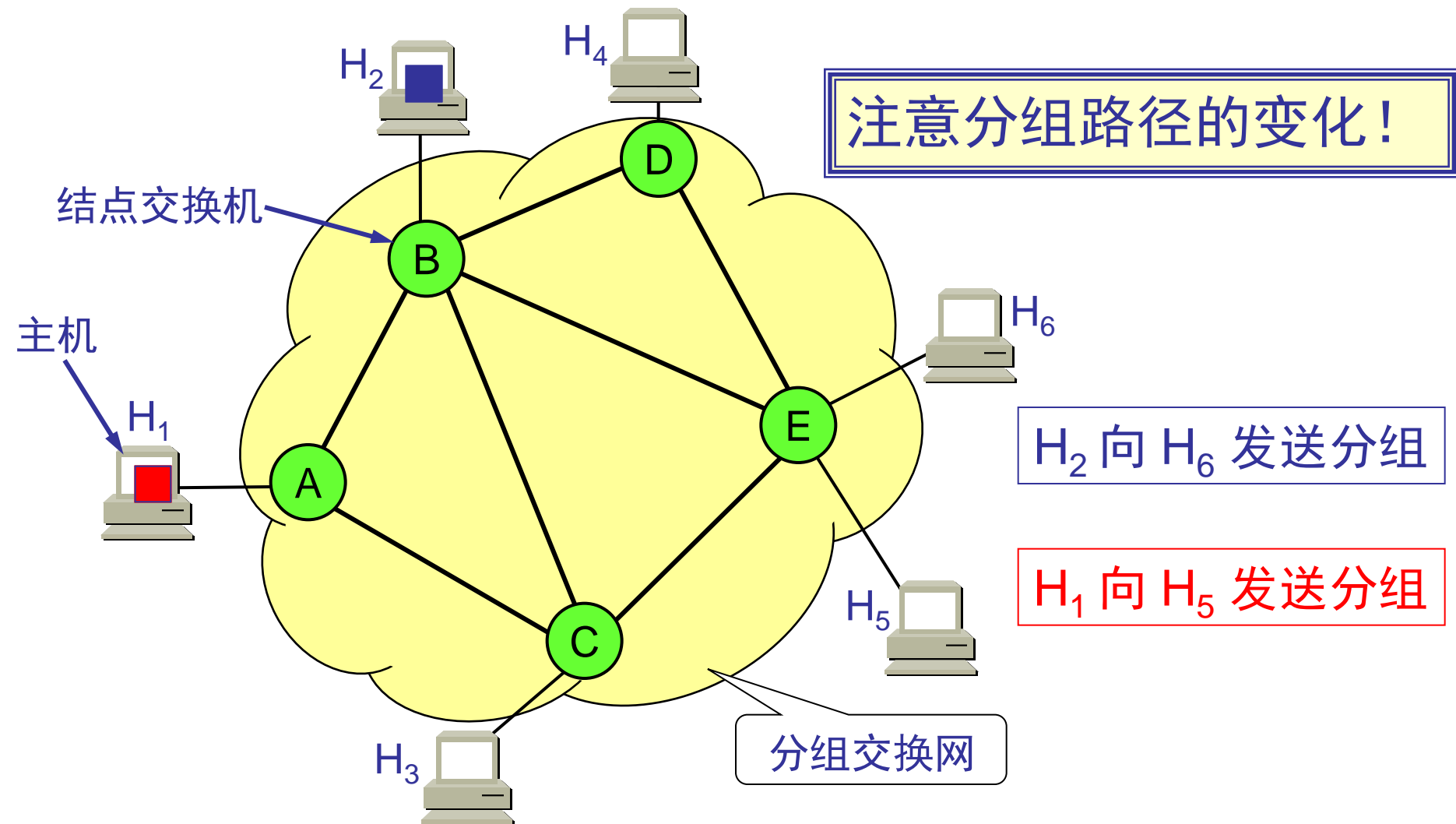
# Packet Switching

## *Simple router model*

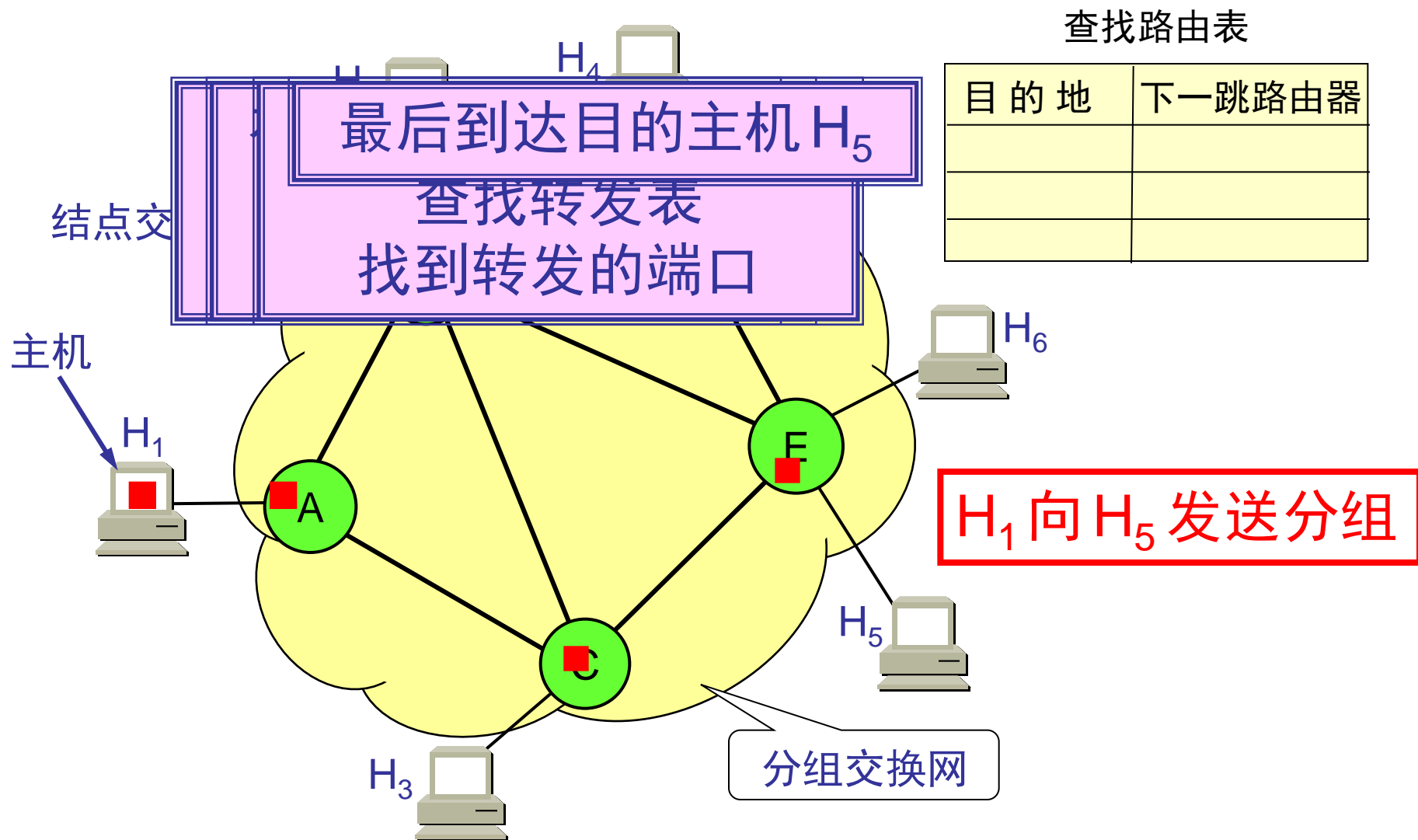




# 分组交换网的传输示意图

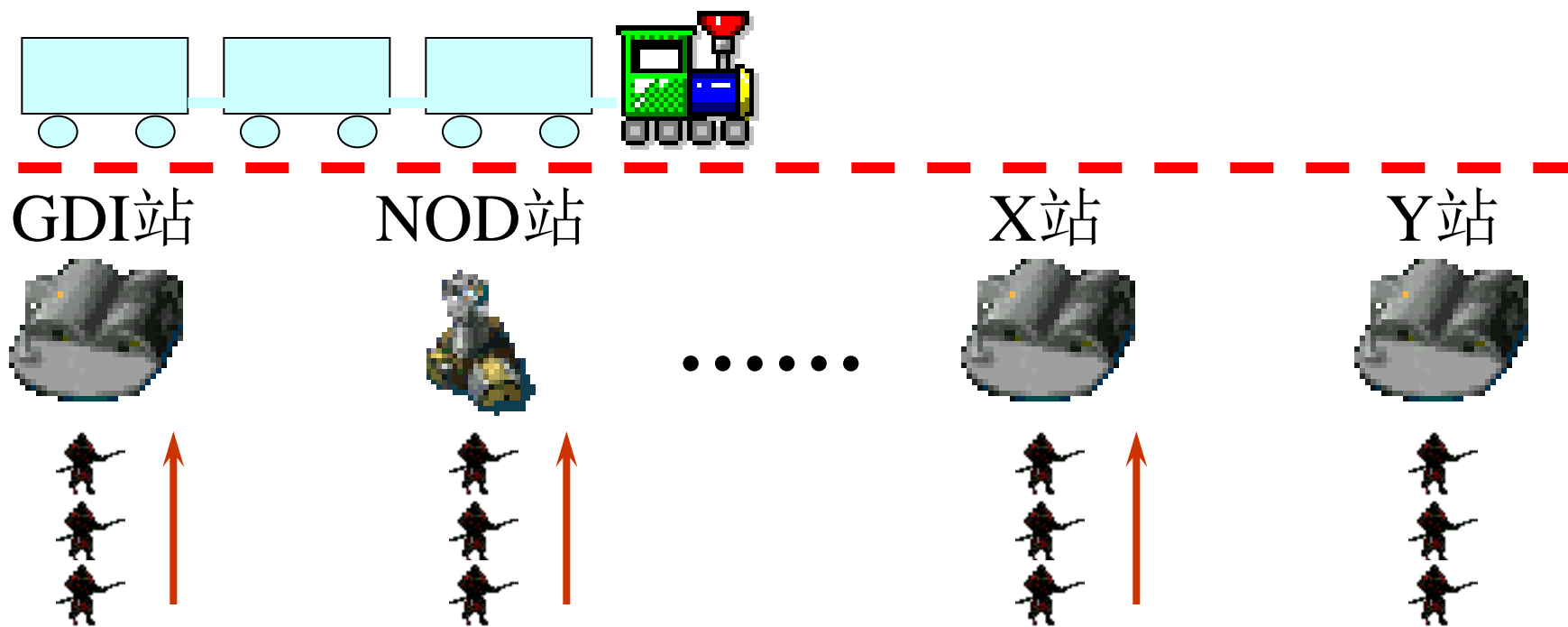


# 注意分组的存储转发过程



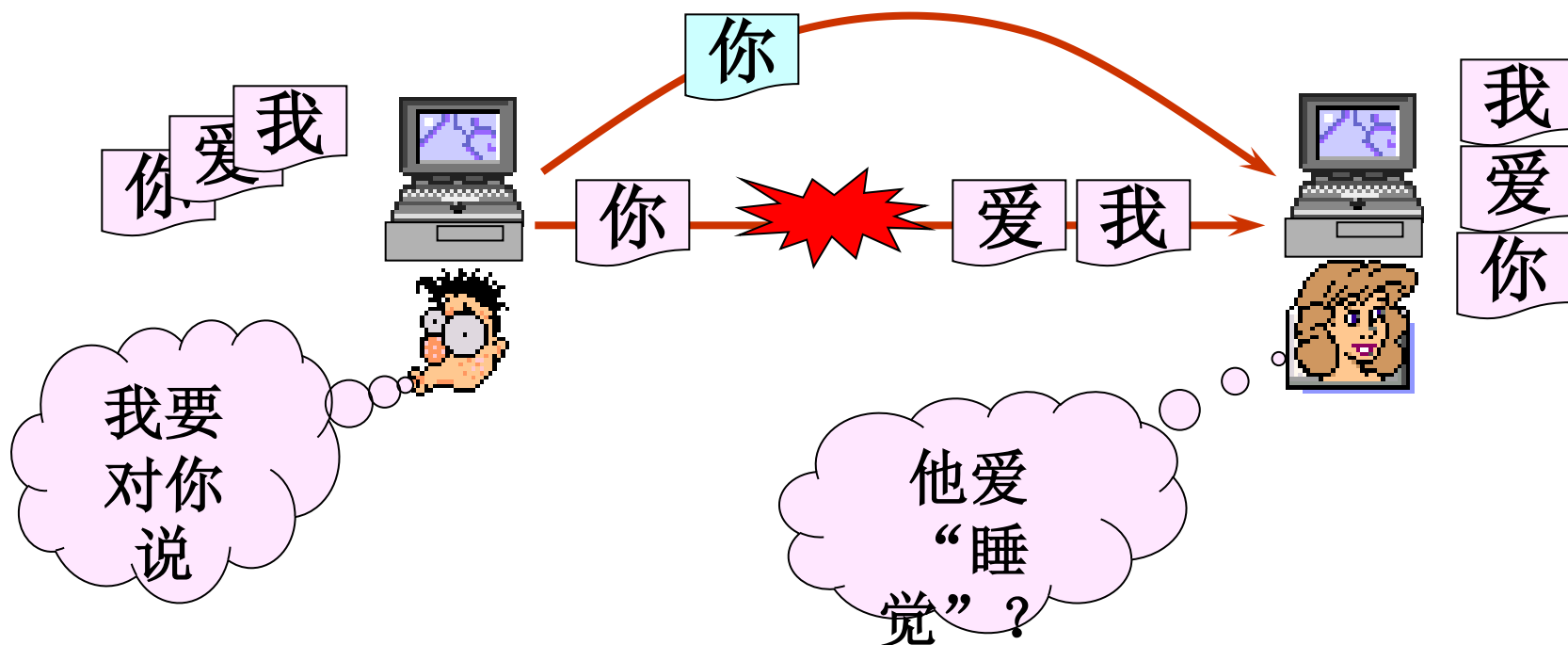
# 分组交换的优点

(1) 传输快、延时小、利用率高。

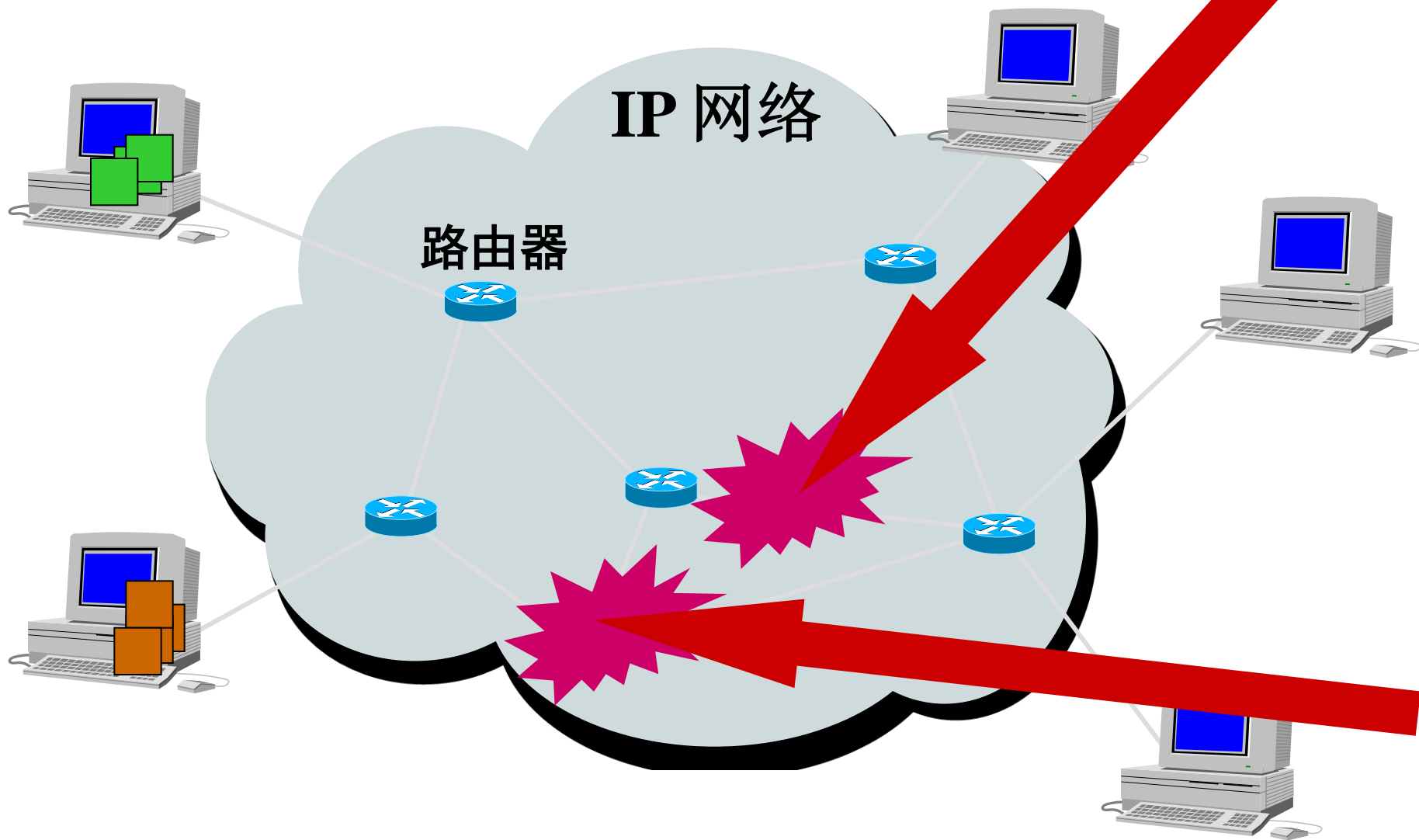


# 分组交换的优点

(2) 提高系统的可靠性。

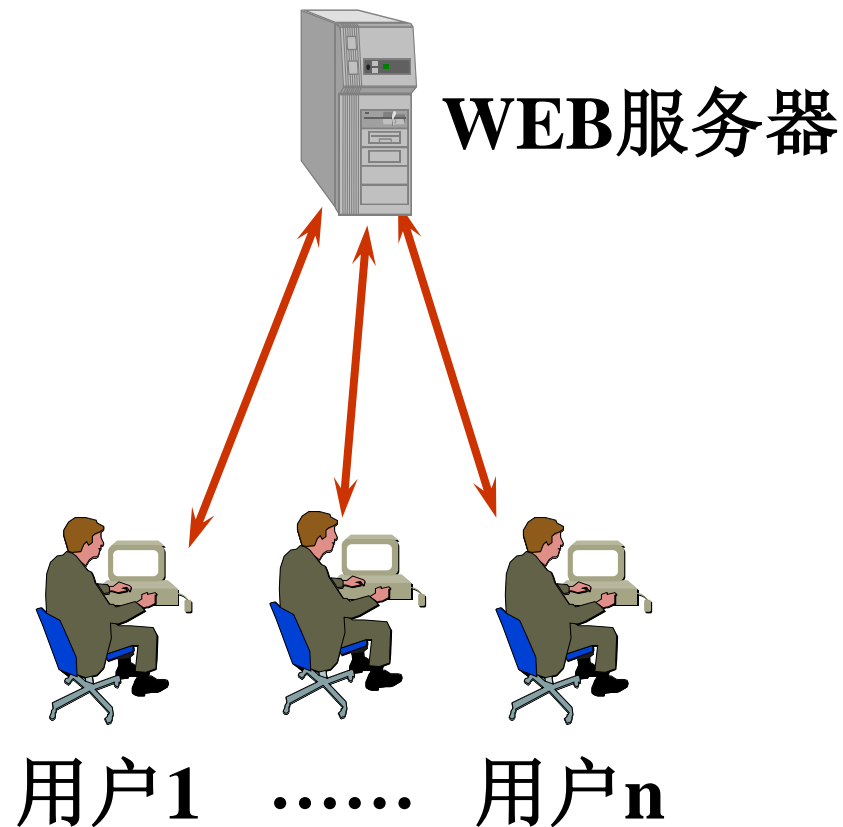
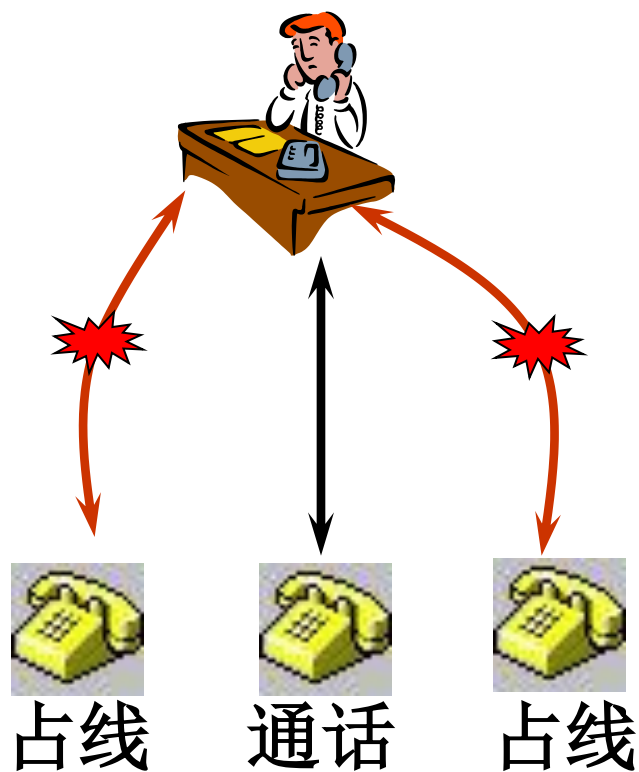


当部分结点或链路被摧毁时  
分组交换仍可保持网络畅通



# 分组交换的优点

(3) 便于用户对高层信息资源的共享。



# 分组交换的优点

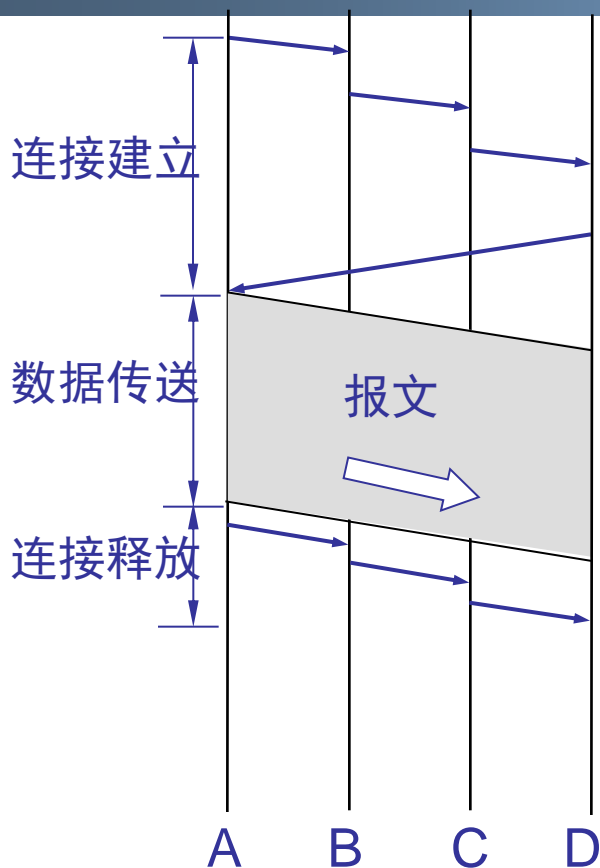
(4) 在结点交换机中可以进行传输速率匹配和码型变换。

(5) 便于进行流量控制、拥塞控制、均衡负载。

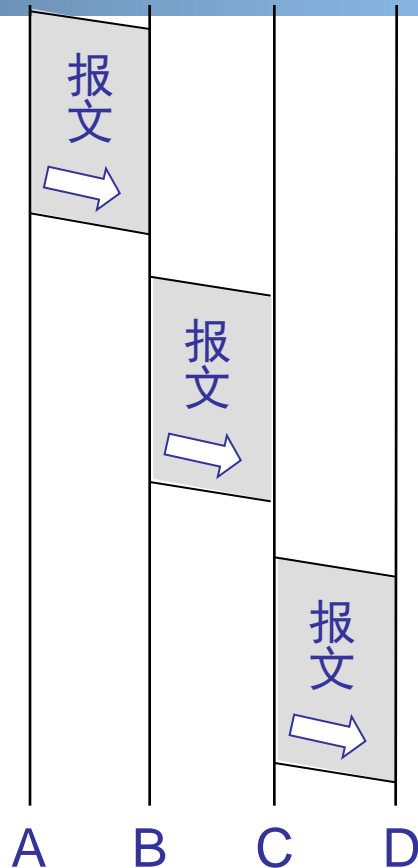
(6) 减少信息的重传。

# 三种交换的比较

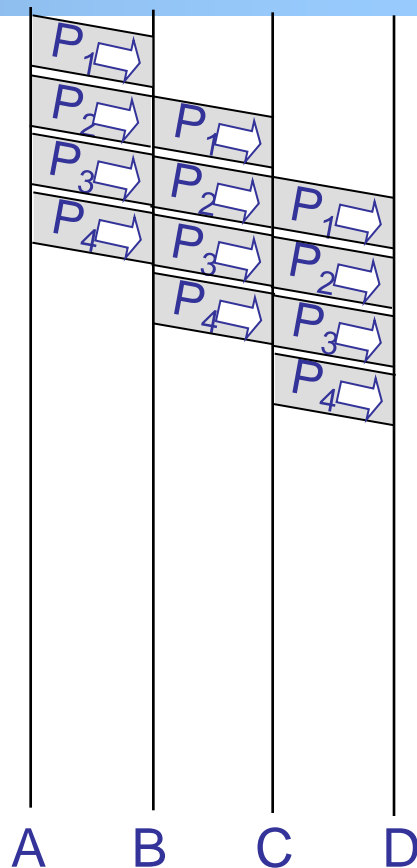
## 电路交换



## 报文交换

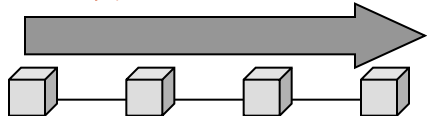


## 分组交换

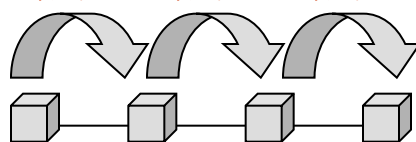


数据传送  
的特点

比特流直达终点

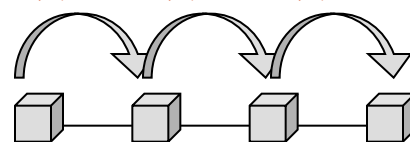


报文 报文 报文



存储  
转发 存储  
转发

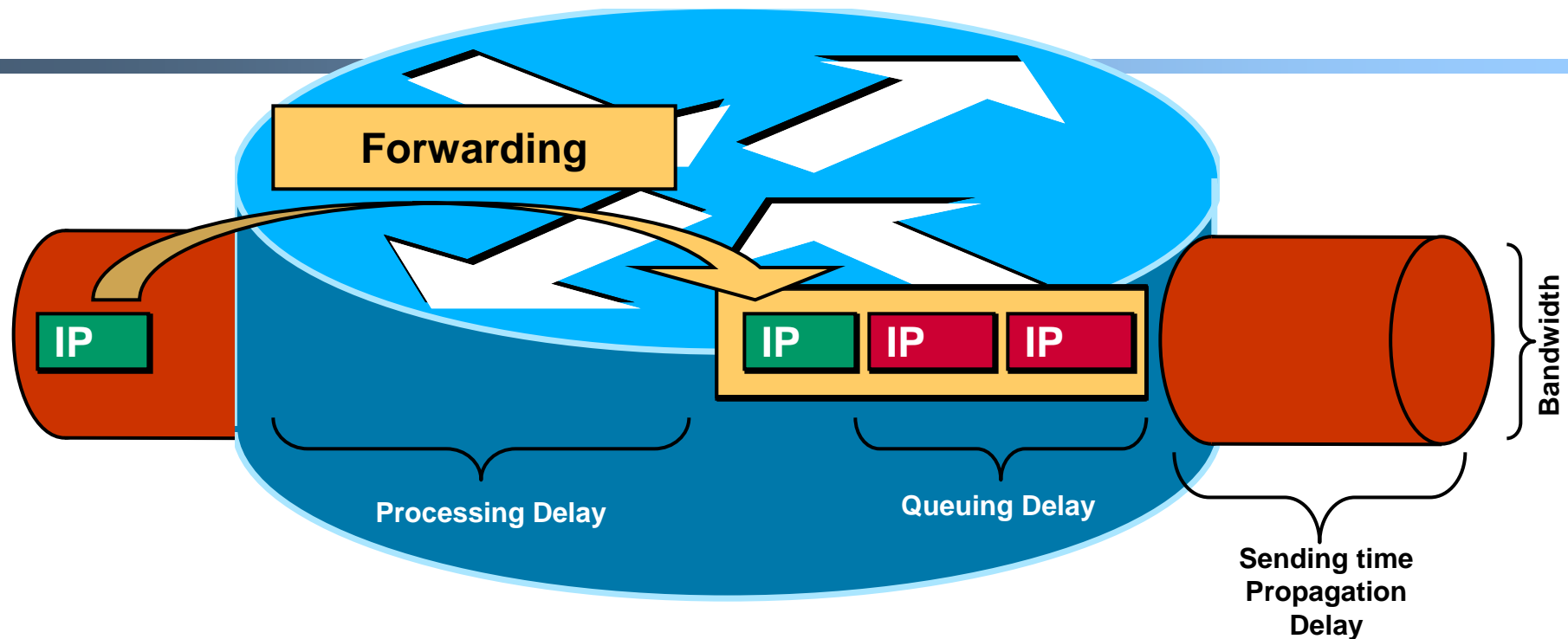
分组 分组 分组



存储  
转发 存储  
转发



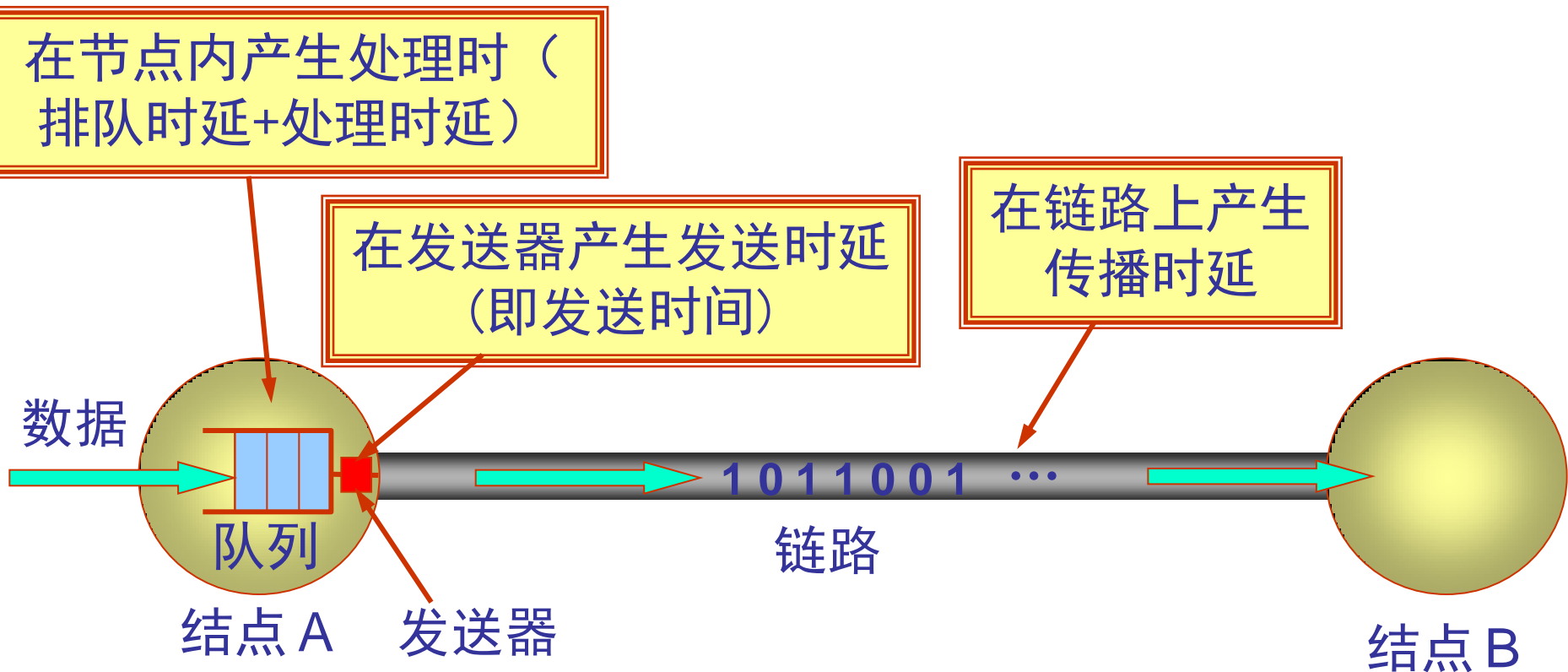
# delay



- **Processing delay** is the time it takes for a router to take the packet from an input interface and put it into the output queue of the output interface. This delay depends on the CPU speed and CPU load in the system.
- **Queuing delay** is the time a packet resides in the output queue of a router. This delay depends on the load on the communication link.
- **Transmission Delay** is the time it takes to transmit a packet.
- **Propagation delay** is the time it takes to travel through the channel.

# 三种时延所产生的地方

从结点 A 向结点 B 发送数据



# 时延(delay 或 latency)

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度 (比特)}}{\text{信道带宽 (比特/秒)}}$$

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度 (米)}}{\text{信号在信道上的传播速度 (米/秒)}}$$

排队时延：通过排队分析来计算（排队论）

处理时间：由网络节点的性能决定，一般为给定值

# 时延(delay 或 latency)

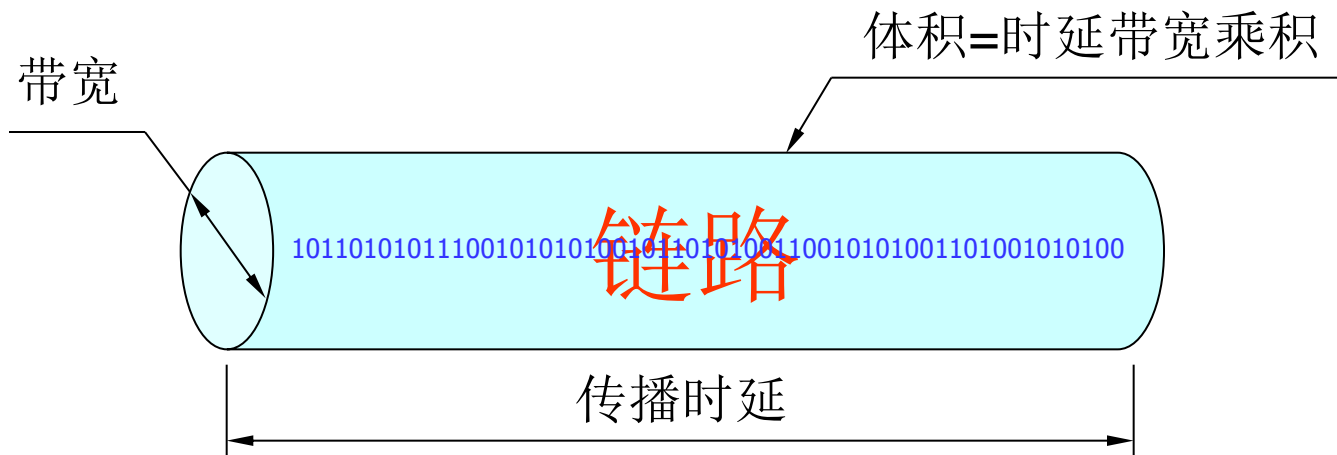
- 数据经历每一跳 (hop) 的时延包括：发送时延、传播时延和处理时延（含排队时延）
- 总时延就是上述之和：

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延}$$

- **往返时延** RTT (Round-Trip Time) 表示从发送端发送数据开始，到发送端收到来自接收端的确认（接收端收到数据后立即发送确认），总共经历的时延。

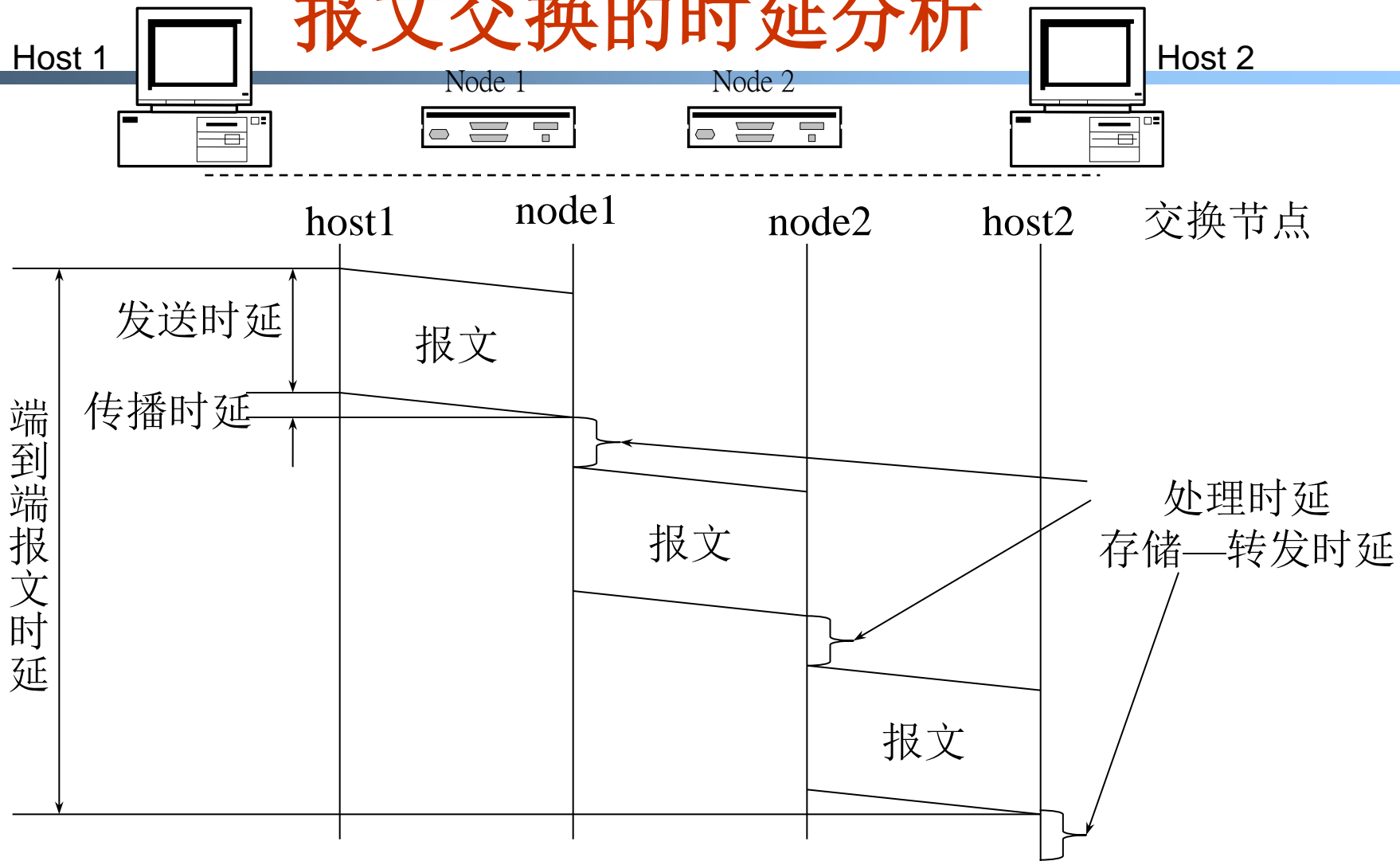
## ■ 时延带宽乘积

- 某一链路所能容纳的比特数(以比特为单位的链路长度)
- 时延带宽乘积=带宽×传播时延



- 例如，某链路的时延带宽乘积为100万比特，这意味着第一个比特到达目的端时，源端已发送了100万比特，即信道内能容纳100万比特数据。

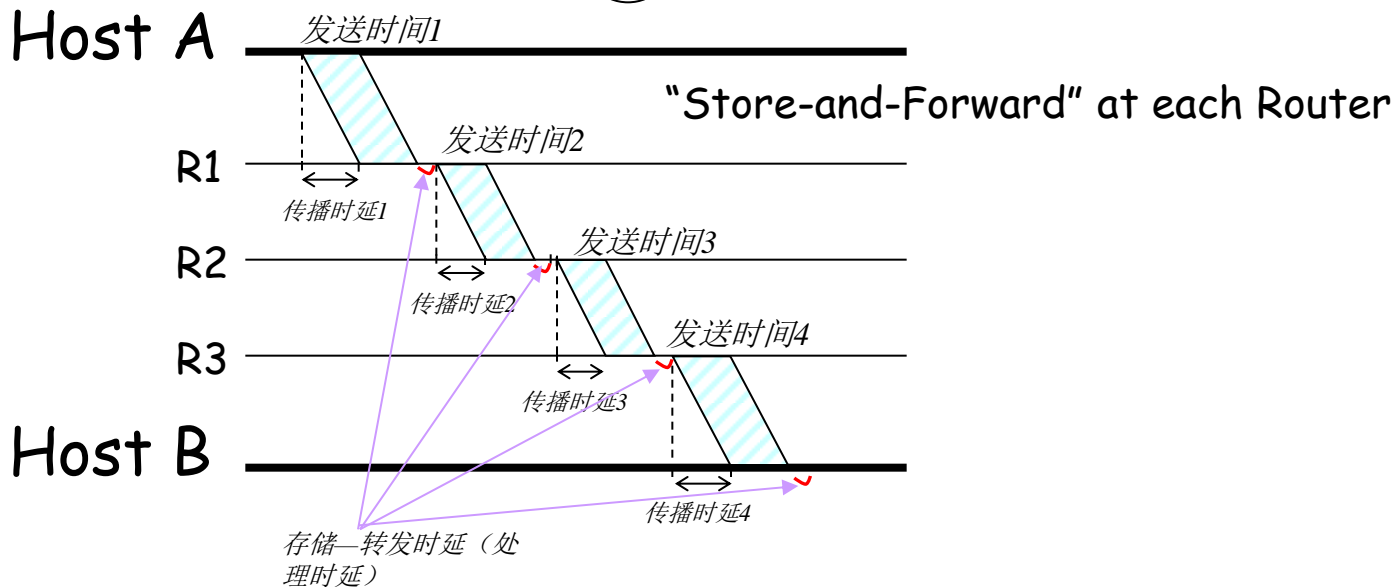
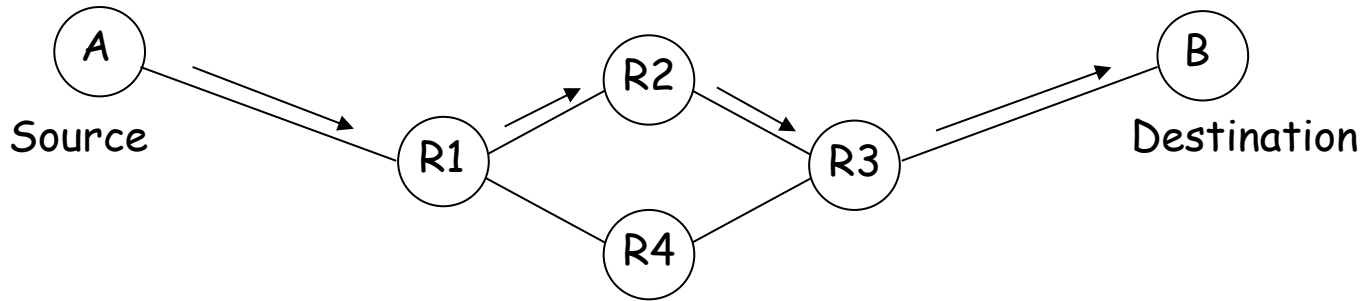
# 报文交换的时延分析



$$\text{End-to-end latency} = \sum (\text{SEND}_i + \text{PROP}_i + \text{PROC}_i)$$

传送次数(跳数)

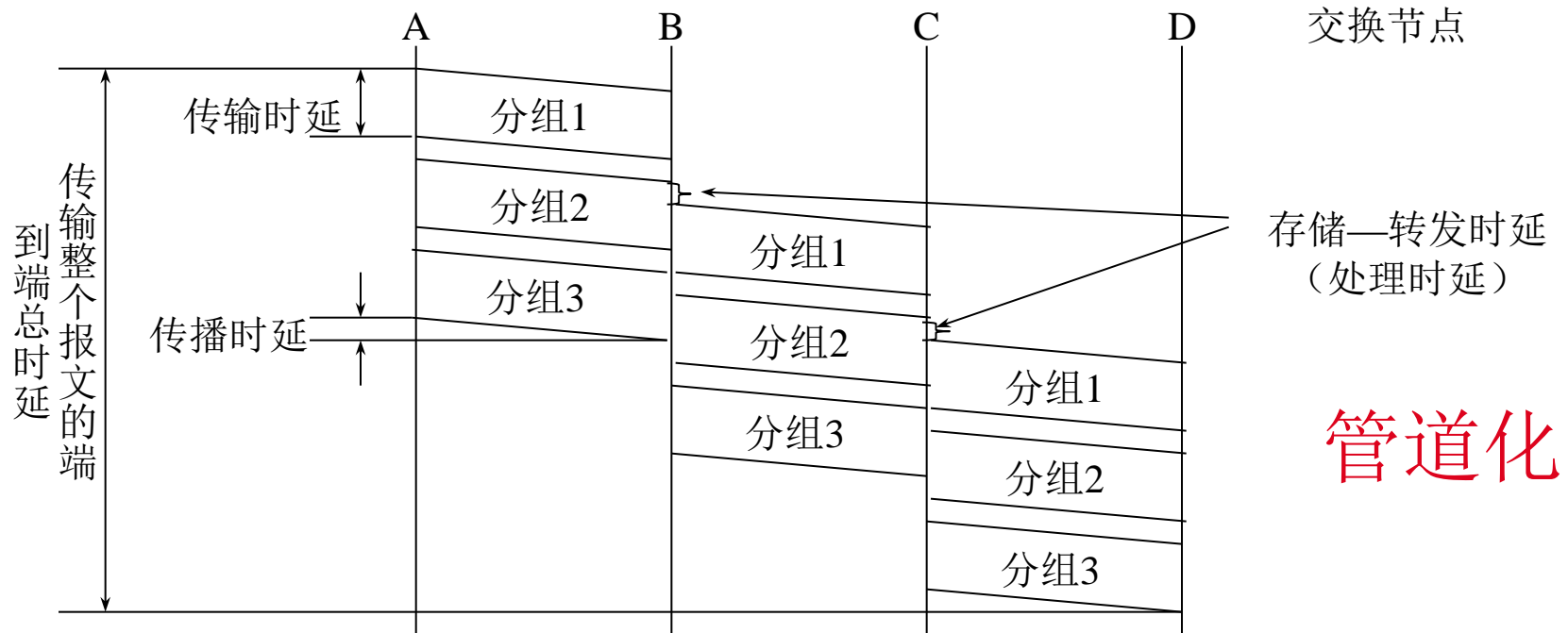
# 数据报交换定时— 一个分组



$$\text{End-to-end latency} = \sum (\text{SEND}_i + \text{PROP}_i + \text{PROC}_i)$$

传送次数(跳数)

# 数据报交换定时—多个分组



分组交换示意图

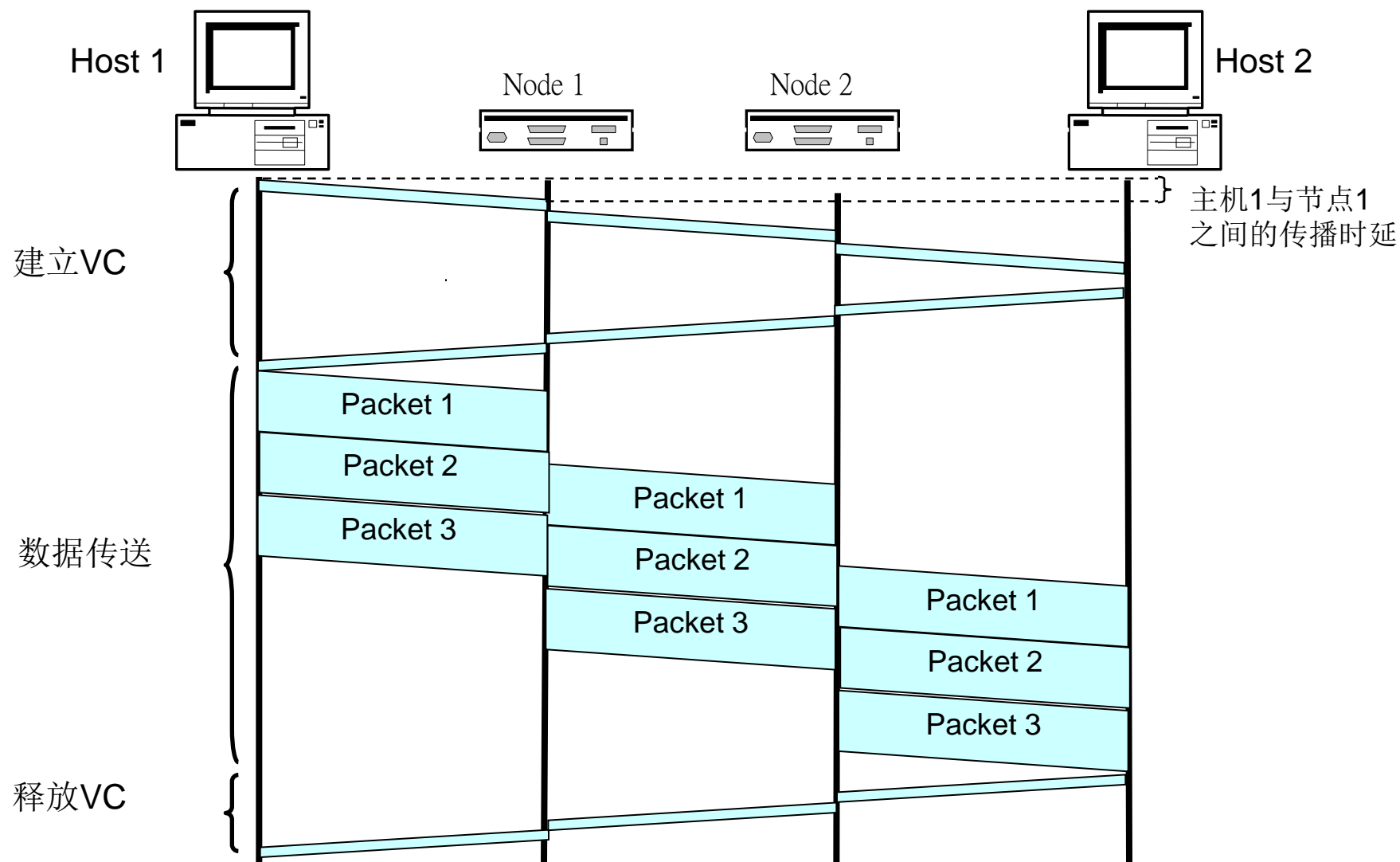
总的时延 = 第一个分组的时延 +  $(N-1) \times (\text{分组发送时间})$

计算方法同前

$N-1$  个分组



# VC 分组交换定时



## 练习思考题

1. 设需在两台计算机间经两个中间节点传送100兆字节的文件，假定：（1）计算机与中间节点间的通信线路以及中间节点间通信线路的通信速率皆为8Kbps；（2）外界电磁干扰对数据传输的影响可以忽略不计；（3）中间节点存储转发时间可忽略不计

试计算采用甲、乙两种方案传送此文件所需时间。其中：

方案甲：将整个文件逐级存储转发。

方案乙：将文件分为1000字节长的帧在进行逐级存储转发，假定帧头和帧尾的开销各为10字节。传播时延为1秒。

2. 就上题计算结果试分析（1）帧/报文/分组长度对传输效率的影响；（2）帧/报文/分组头长度对传输效率的影响

# Thanks !

