

5.1 特点和重点:

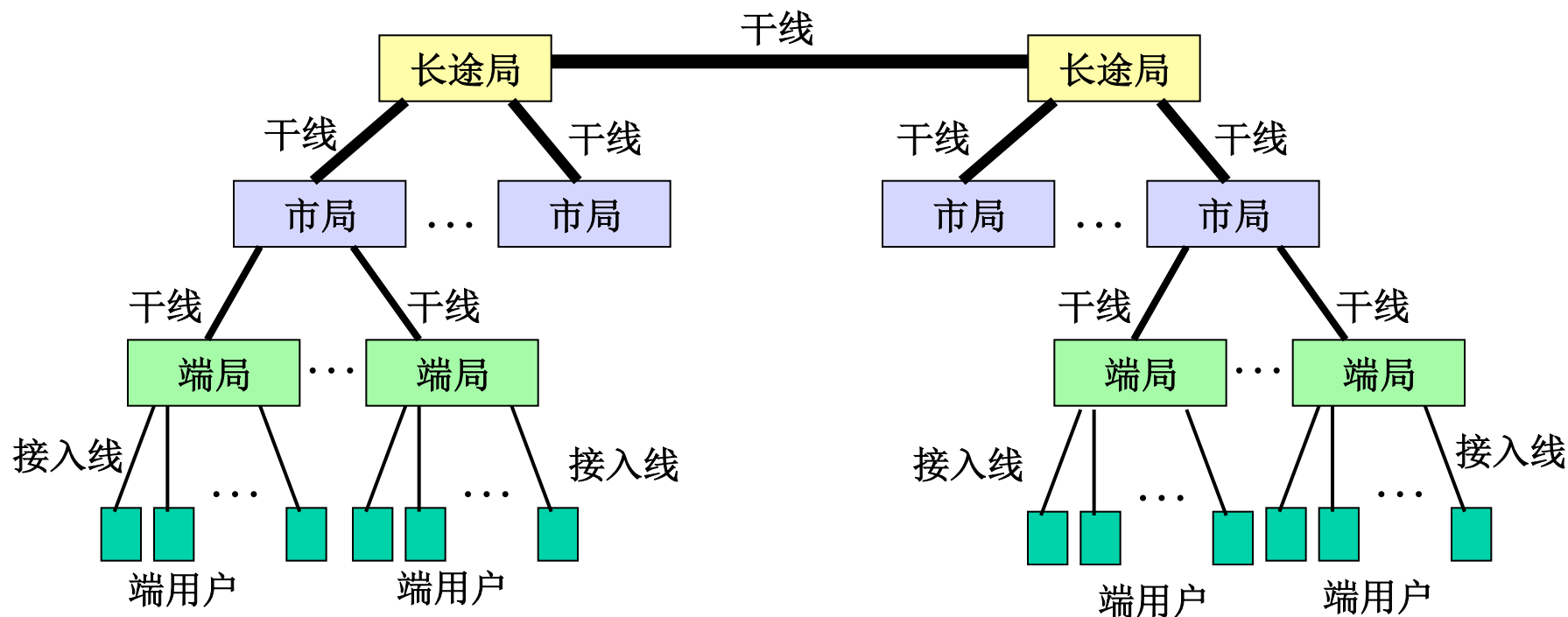
- ★ 覆盖范围广, 结点间距离远, 考虑因素增多;
 - ☆ 线路成本增加, 媒体带宽的利用;
 - ☆ 距离远, 传输可靠性, 以及线路故障和冗余;
 - ☆ 覆盖范围大, 用户多, 路由取代LAN中的广播;
- ★ 广域网的发展得益于传输媒体质量提升和协议改进。
- ★ 广域网的体系结构:

网络层	支持端到端传输, 路由选择和组织分组流 ;
数据链路层	点对点可靠传输, 差错处理;
物理层	点对点位流传输, 设备和介质的接口。

5.2 传输网络-SDH（同步数字体系）

1、SDH的提出

广域网的传输系统 — 传统电话网络：



干线：大对数电缆—**光纤**；
为避免信号衰减，干线上增加放大器，但也等比例放大了噪声；

1、SDH（同步数字体系）的提出

光纤问世，首先应用于干线—支持语音信号传输；
语音信号数字化—脉码调制（PCM）：取样（8000次/秒）、
量化（256级）、编码（8位），**传输速率64Kbps**—DS-0级；

★ 光纤带宽可达**Tbps**；如何支持不同应用的带宽需求？
如何将光纤带宽分配给各类用户？

★ **光缆干线复用标准**，一条光纤应支持多少路语音信号传输？
该如何支持数字化语音信号的传输？

PCM载波标准（国家和地区标准） - **准同步数字体系（PDH）**：

准同步数字体系（PDH）

各个国家独立建立自己的数字同步体系—PDH；

基本思想：逐级复用（如： $T_n \rightarrow T_{n+1}$ ）；

目的：充分利用光纤的带宽，将一“群”用户的信息复用到一条线路上传输；

基群（基本的群）速率：最基本的复用速率。

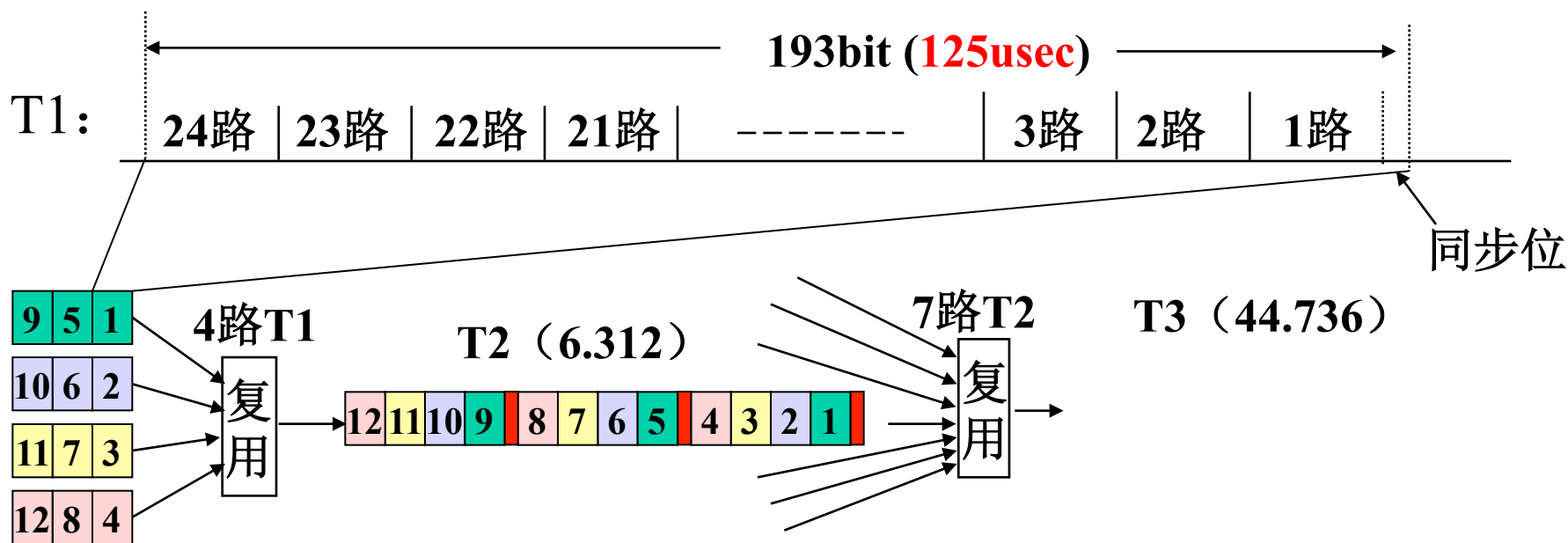
	基群	二次群	三次群	四次群
欧洲，中国 （复用话路）	2.048Mbps/E1 32路	8.848Mbps/E2 $4 \times E1 = 128$ 路	34.304Mbps/E3 $4 \times E2 = 512$ 路	138.264M $4 \times E3 = 2048$ 路
北美 （复用话路）	1.544Mbps/T1 24路	6.312Mbps/T2 $4 \times T1 = 96$ 路	44.736Mbps/T3 $7 \times T2 = 672$ 路	274.716M $6 \times T3 = 4032$ 路
日本 （复用话路）	1.544Mbps/T1 24路	6.312Mbps/T2 $4 \times T1 = 96$ 路	32.064Mbps/T3 $5 \times T2 = 480$ 路	97.728Mbps $3 \times T3 = 1440$ 路

典型PDH1：T载波系列

4

使用时分多路复用技术共享光纤信道，支持数字化语音信息传输；

级别	T1	T2=4T1	T3=7T2	T4=6T3
速率Mbps	1.544	6.312	44.736	274.716
语音路数	24	96	672	4032



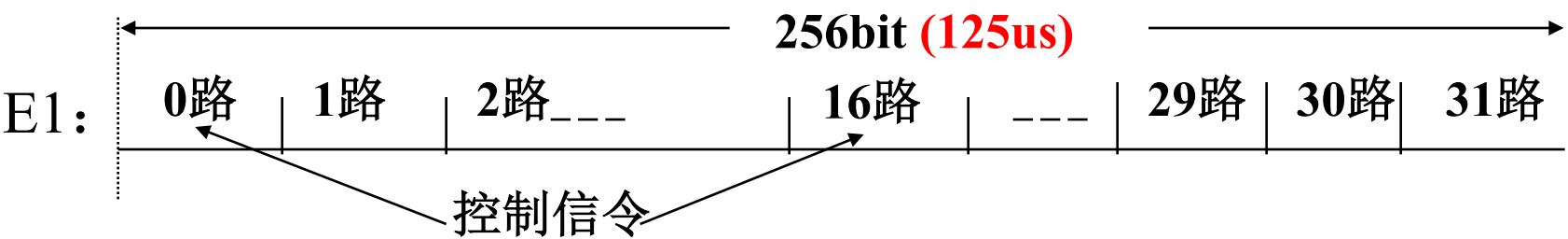
注：T1→T2→T3采用了逐级复用/分用的方法；增加若干位用于组帧和管理。

如： $6.312 - 4 \times 1.544 = 6.312 - 6.176$ T1→T2：增加17字节。

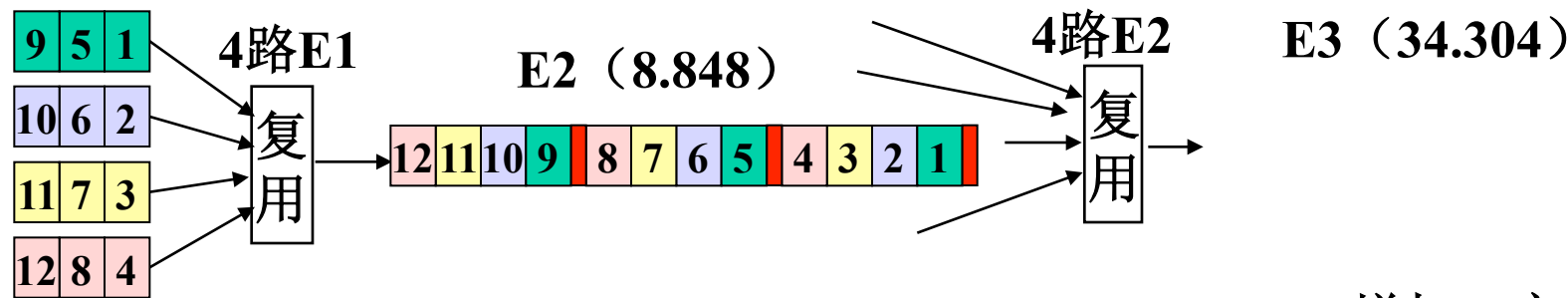
典型PDH2：E载波系列

使用时分多路复用技术共享光纤信道，支持数字化语音信息传输；

级别	E1	E2=4E1	E3=4E2	E4=4E3
速率Mbps	2.048	8.848	34.304	138.284
语音路数	32	128	512	2048



E1：每125微秒一帧（32*8=256位），可传递30路语音；
为保证语音质量，各类E帧的传输耗时均限定为125us。



$E1 \rightarrow E2: 8.848 - 4 \times 2.048 = 8.848 - 8.192$ ， 增加82字节。

- ★ 缺乏国际统一的标准接口，互不兼容；
- ★ 无法实现光路上互通，光/电转换增加成本，影响效率；
- ★ 逐级复用缺乏灵活性，增加了复用/解复用（分用）的复杂性。

光纤的优越性（应用需求）刺激标准的制定。

促进了光纤复用的国际标准化工作：

同步数字体系（SDH）标准：（CCITT）

考虑PDH产品（低级别）已相对成熟，并广泛应用；

基本SDH速率为155.520Mbps，称第1级同步传送模块（STM-1）

SDH标准的制定，使得欧洲、北美和日本的三种不同的数字传输体系在**STM-1级别上得到了统一**。

N路STM-1可以复用为一个**STM-N**，利于解复用的实现。

SDH速率：

同步传送模块	STM-1	STM-3	STM-4	STM-6	STM-8	STM-12	STM-16
线路速率(Mbps)	155.52	466.56	622.08	933.12	1244.16	1866.24	2488.32

特点：STM-N的体积 = N * STM-1的体积；

SONET/SDH Rate Hierarchy

SONET: STS-n (Synchronous Transport Signal Level n)

SDH: STM (Synchronous Transport Module)

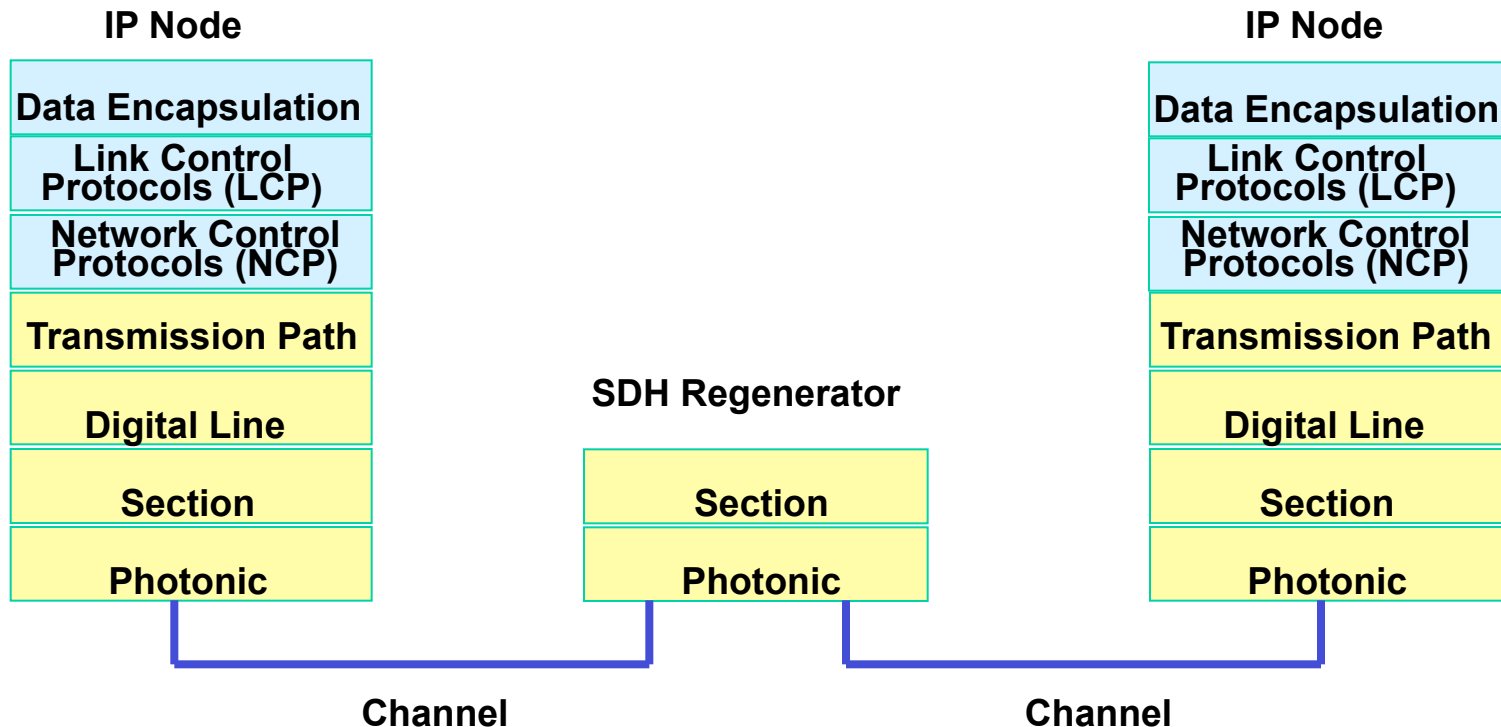
OC-n(Optical Carrier level)

ANSI Designation	Optical Signal	ITU Designation	Data Rate (Mbps)	Payload Rate (Mbps)	Equivalent Channels DS3	Equivalent Channels DS1	DS0
STS-1	OC-1		51.84	50.112	1	28	627
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	3	84	2017
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008			
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	12	336	8064
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016			
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688			
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032			
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	48	1344	32256
STS-96	OC-96	STM-32	4976.64	4810.176			
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9620.928	96	2688	64512
STS-768	OC-768	STM-256	39813.12	38486.016			

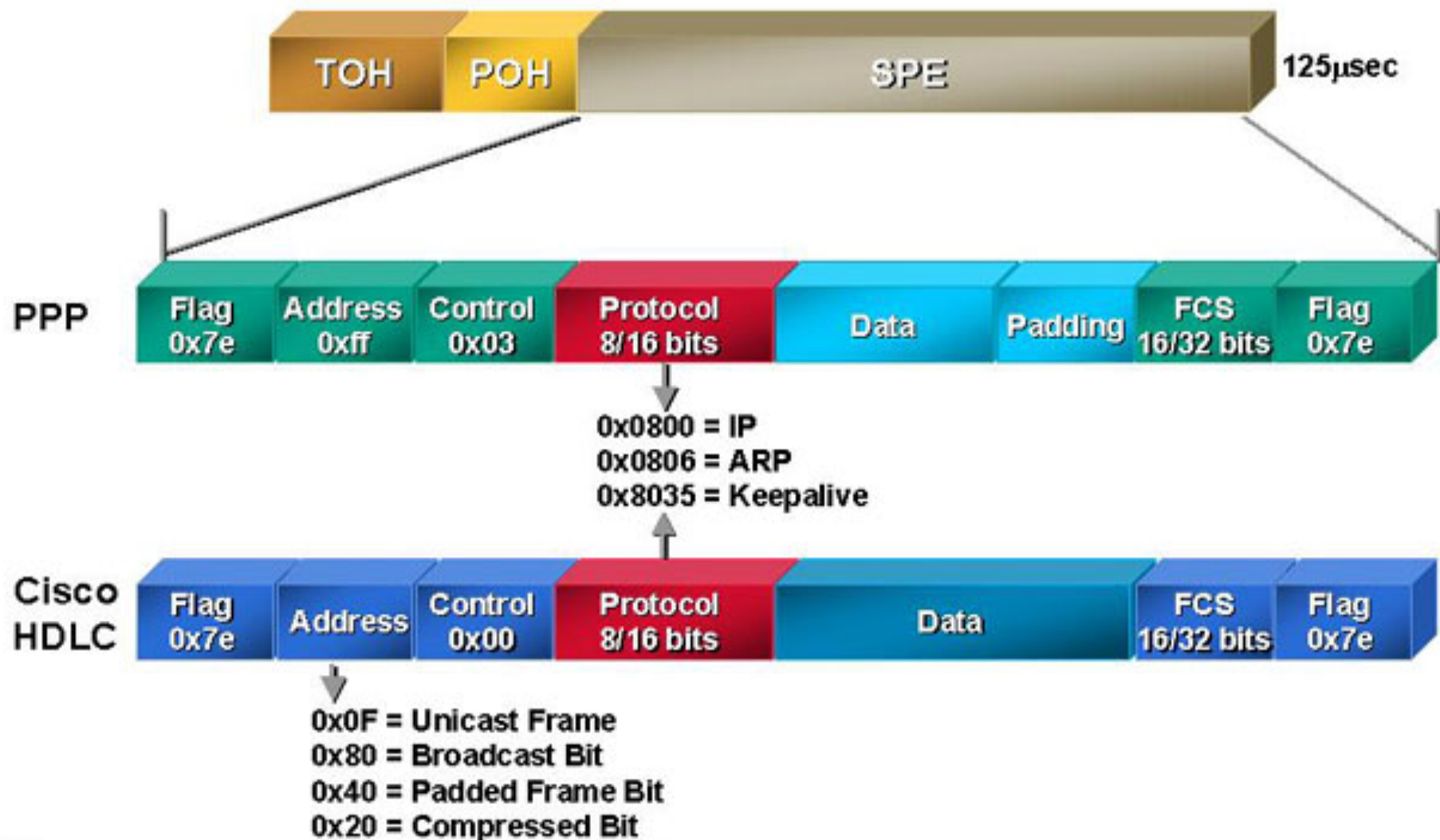


IP-Over-SDH Protocol Stack

- 将IP报文直接映射到SDH帧的负荷区
- 链路层使用PPP协议实现SDH通路的数据传输
- 实现OC48以及更高速率上的IP传输



POS成帧

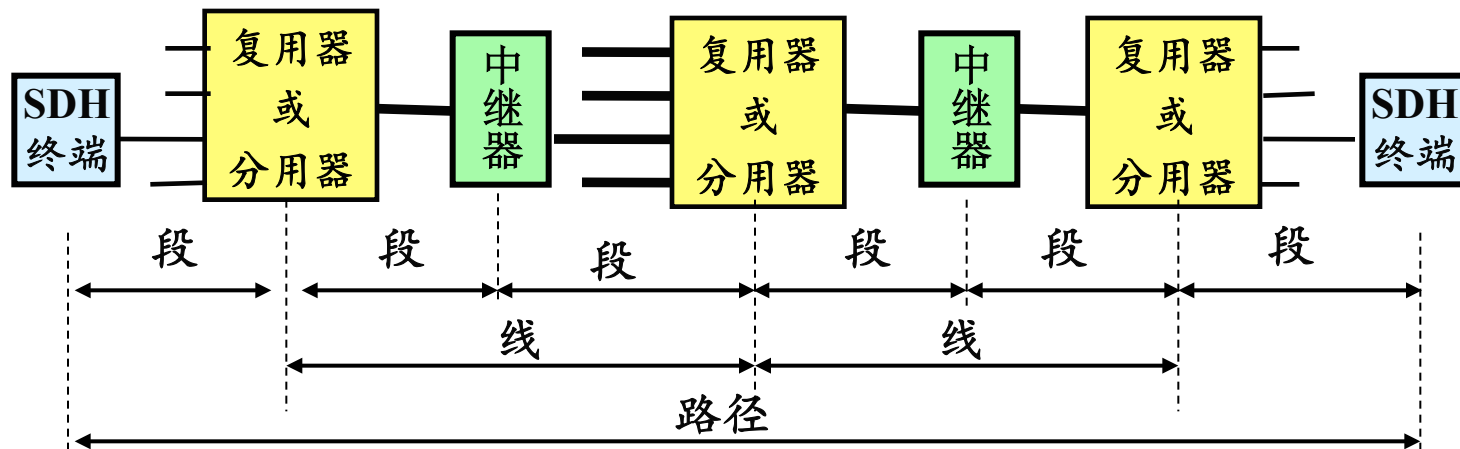


(1) SDH网络的组成

基于时分多路复用技术的数字传输网络，由多路复用/分用器和中继器组成，并通过光纤进行连接。

复用器/分用器：多个较低级别的信道复用到一个较高级别信道，或者较高级别信道分用称多个较低级别信道；

中继器：实现长距离传输时的信号再生和转发。



段：设备之间的连接；

线：复用器之间（可能经过一个或者多个中继器）的连接；

路径：源和宿之间的连接。

(2) SDH帧结构

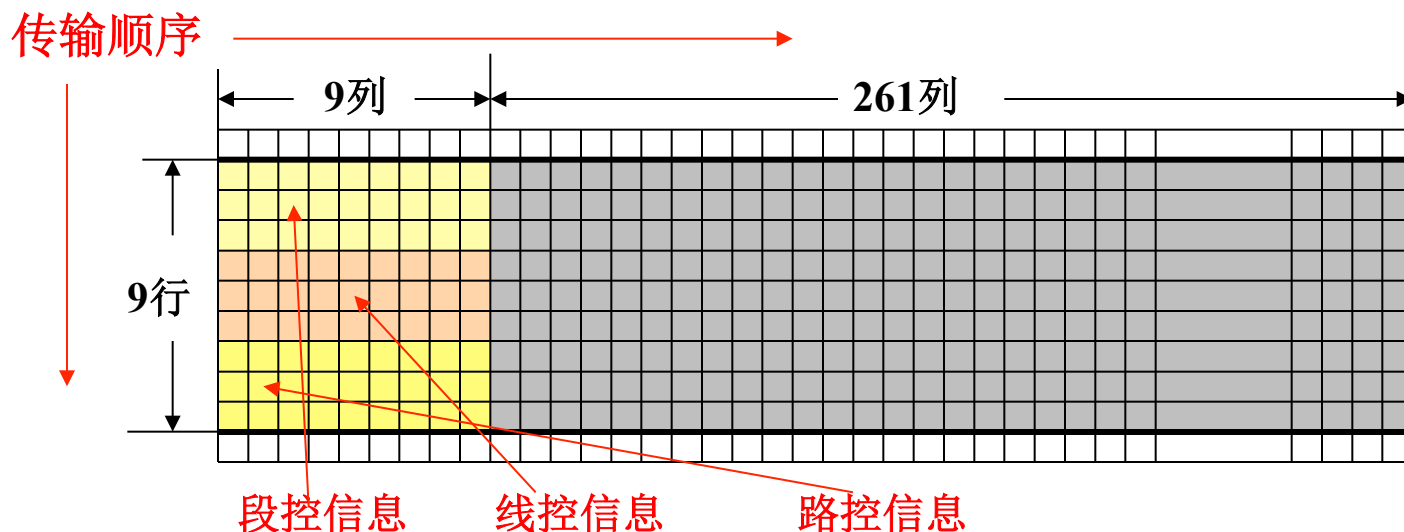
采用同步和密集波分多路复用技术，被复用的信号组成一个数据块（帧）进行传输；

STM-1帧（155M）结构：9行*270列=2430个字节；

速率：2430字节*8位/125us = 155.52Mbps

前9行9列：存放控制信息：包括段首SH、线首LH和路径首部PH以及段、线和路径设施处理的各种控制信息，如同步信息、时钟信息、校验信息等；

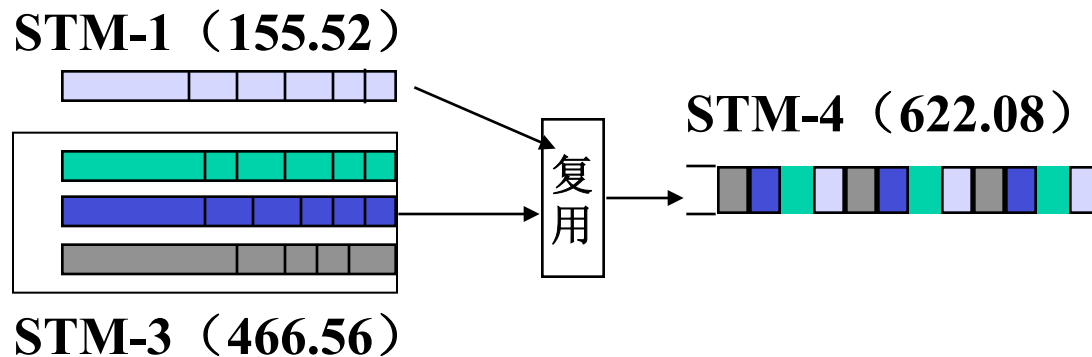
后9行261列：存放被传输的信息。



(3) SDH的信道复用

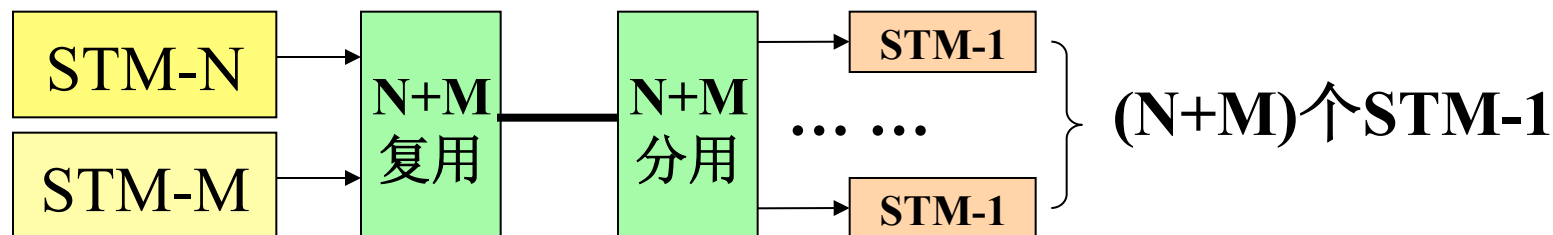
11

SDH支持不同级别的速率的混合复用，字节复用。



STM-N的9行前 $N*9$ 列为控制信息，后 $N*261$ 列为用户数据信息；

SDH的字节复用改进了PDH的逐级复用/分用，方便用户灵活地选择SDH设备。



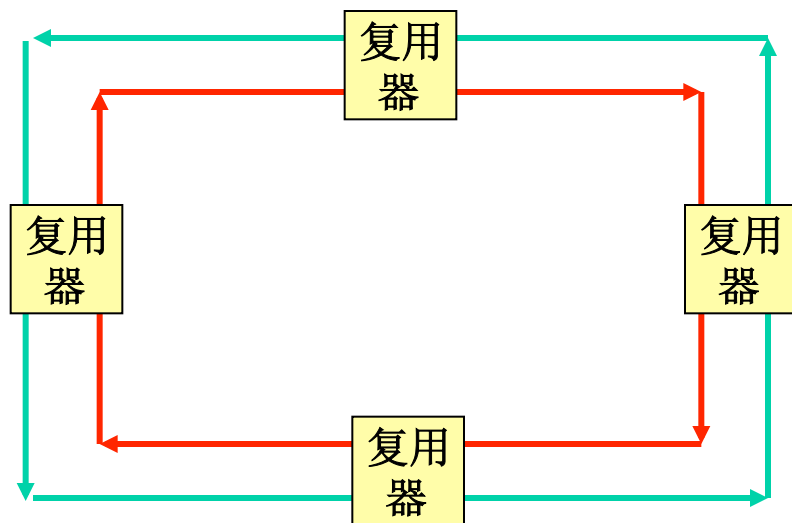
(4) SDH网络的拓扑

12

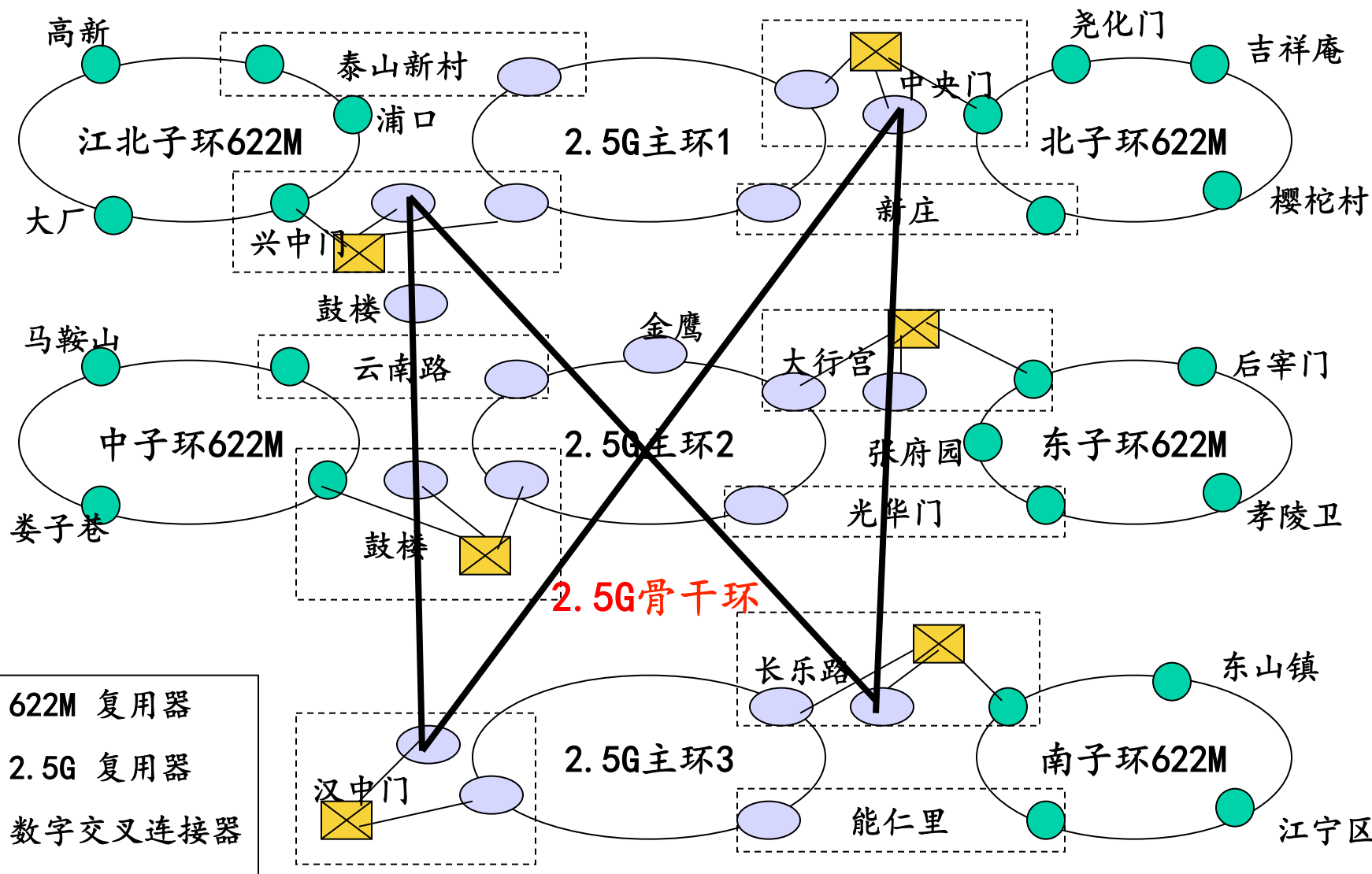
SDH网络主要提供高速的物理信道，构造基于光纤的长途传输干线；

SDH网络本身不提供任何传输协议，仅作为广域网的基础网络；

为提高可靠性，SDH网络采用自愈双环结构（类FDDI）。



含4个2.5G(2488.32M。STM-16)骨干主环，5个622M(STM-4)子环。



5.3 分组交换数据网络（X25网络）

1、原理和组成

分组交换数据网以**分组交换**（存储—转发）方式工作，遵循CCITT X.25建议。

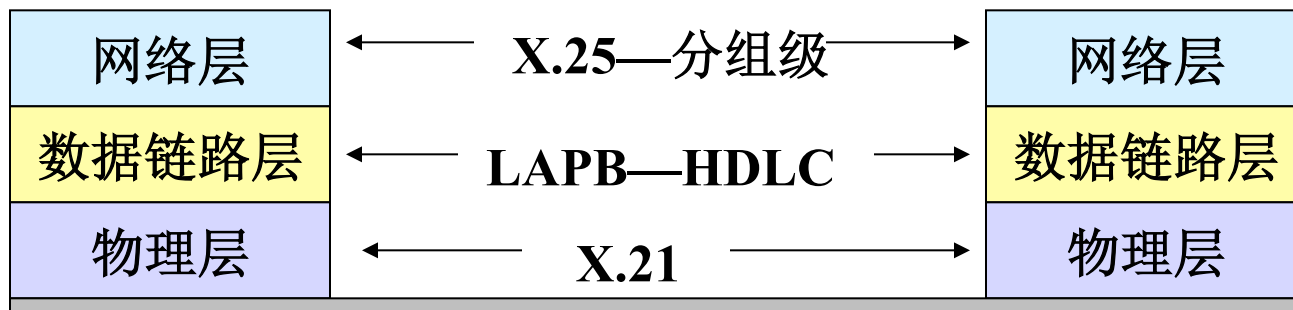
用户数据拆分为**分组**（ $131=128+3$ 字节），在X25网络中传输。

X.25网络采用分布式的网状拓扑结构，有如下特点：

★ 网络扩充和主机入网比较简单，可以很方便地增加结点，或者接纳主机入网；

★ 网络完整性和可靠性较高，一对结点之间可以具有一条以上的路径，不会因为某些链路或者结点的故障造成全网的瘫痪。

2、X25网的体系结构



重点关注问题：

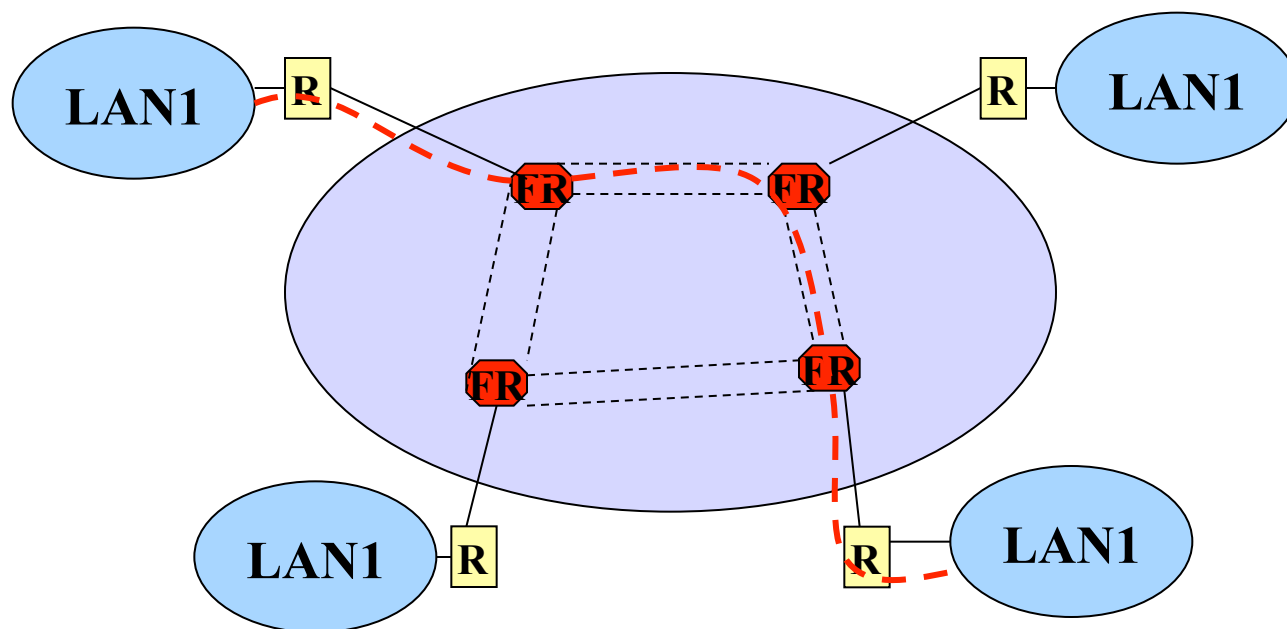
- 1、线路质量和利用率—HDLC等；
- 2、结点或者线路故障—路由选择等；
- 3、分组流的管理—虚电路和数据报。

缺陷：模拟信道，端口速率低（ $\leq 64\text{Kbps}$ ），
数据传输效率较低，时延较大。

5.4 帧中继网络 (Frame Relay)

(1) 帧中继的提出

依据： 高质量**传输媒体应用**，传输差错率下降，简化差错处理；
LAN应用促使LAN-WAN-LAN连通，帧通过WAN进行中继。



(2) 帧中继的特点—精简X25协议

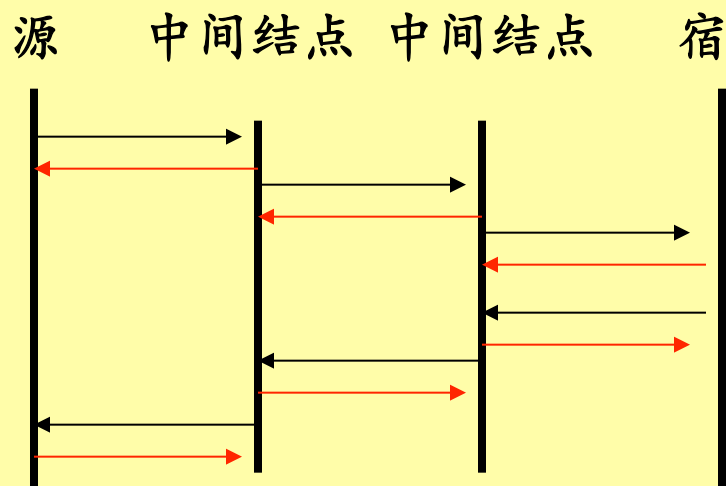
- ★ 用光纤等高质量传输媒体，提高速率和降低误码率；
- ★ 分组重发、流量控制、防止拥塞（正向拥塞通知，反向拥塞通知，丢失指示等）等处理由端系统完成，降低网络时延；
- ★ 将路由和简化的2层功能进行集成，提高协议效率；
- ★ 保持X25永久虚电路特性，提供虚拟专线服务，减少用户成本；
- ★ 支持按需分配带宽，在“承诺信息速率”的基础上，支持突发性数据量“瞬时”超标；
- ★ 保持网络概念，减少专线方式所需的用户接入线，一条物理连接能够提供多个逻辑连接。

X25网络的中间结点参与帧确认过程，保证数据传输可靠性；

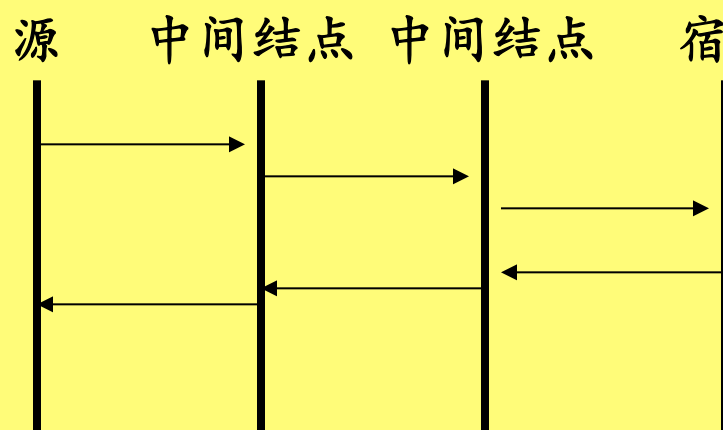
帧中继不提供**逐段链路控制**能力，由用户来保证端到端的确认；

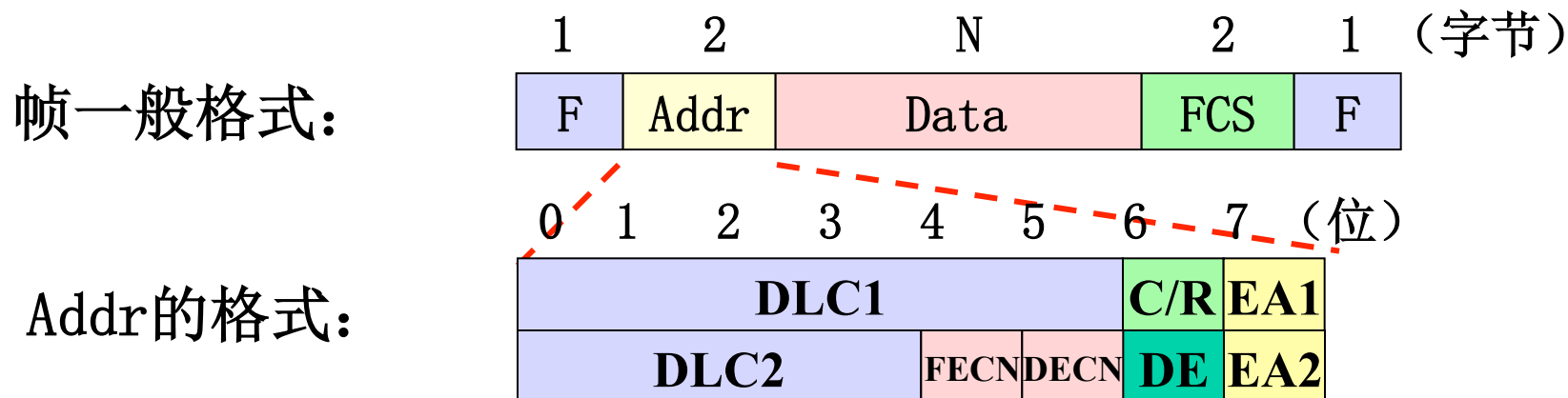
充分利用传输媒体的质量和用户端主机的处理资源。

X25网络的存储—转发



FR网络的帧传输





F—帧间隔符 ($0x7E = 01111110$) ,

FCS—冗余校验 ($CRC_{16}=x^{16}+x^{12}+x^5+1$) ,

DLC (1+2) —链路标识; 0—呼叫信令, 1-15—保留,

16-1007—链路号, 1008-1022—用户定义, 1023—管理帧。

C/R—命令/响应 (上层确定含意) ;

EA—地址扩展位 (0—有后续, 1—无后续, EA1= '0') ;

FECN/DECN—正向/反向拥塞指示 (中间交换设备设置) ,

DE—容许丢失指示 (1—低优先级, 可丢) 。

通过呼叫信令（DLCI=0，Data中携带对方地址信息），建立与对方的联系，获得可用的链路号（DLCI）；

利用已建的链路，传输数据；

根据链路的拥塞情况，交换机设置FECN和DECN，通知发送方调整流量；

如果帧故障（差错或者链路号不正确），丢弃该帧；

用户端自行设计应答和超时重传的处理动作；

传输完毕，终止联系。

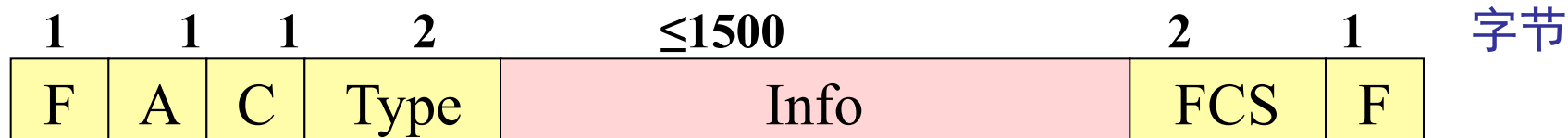
(4) FR的应用现状

帧中继标准已经成熟，具有一定的应用需求；

数据业务大都集中在2Mbps之内，是FR业务的最经济有效的范畴，具有市场发展潜力。

曾经是电信部门提供的业务之一。

类似帧中继的数据链路层协议；
拨号接入因特网时的常用协议 (**RFC 1661**) ；
可以携带各类高层信息传输：
 用户数据 (**IP**报文) ；
 链路层控制信息；
 网络层控制信息。



F: 帧间隔符 ($7E = 01111110$);

A: 地址 (FF);

C: 控制符 (03);

Type: 数据类型; PPP 有一个 2 个字节的协议字段。

$0x0021$, 信息字段为IP 数据报;

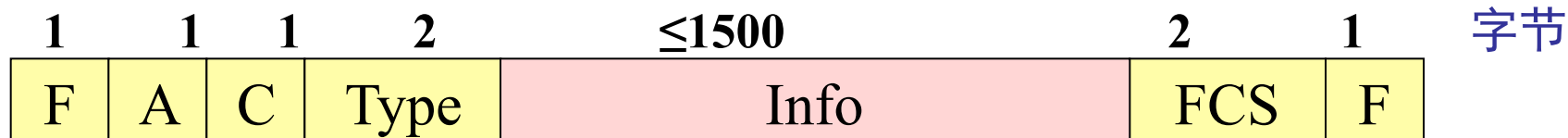
$0x0031$, OSI网络层数据;

$0xC021$, 信息字段为 链路控制信息;

$0x8021$, 信息字段为网络控制信息。

FCS: 循环校验 ($CRC_{16} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$)

当 PPP 用于同步传输链路时 (如SDH), 协议规定采用硬件来完成' 0'比特插入, 以保证A、C、Type、Info和FCS中不会出现“01111110”;



F: 帧间隔符 (7E = 01111110);

A: 地址 (FF);

C: 控制符 (03);

Type: 数据类型; PPP 有一个 2 个字节的协议字段。

0x0021, 信息字段为IP 数据报;

0x0031, OSI网络层数据;

0xC021, 信息字段为 链路控制信息;

0x8021, 信息字段为网络控制信息。

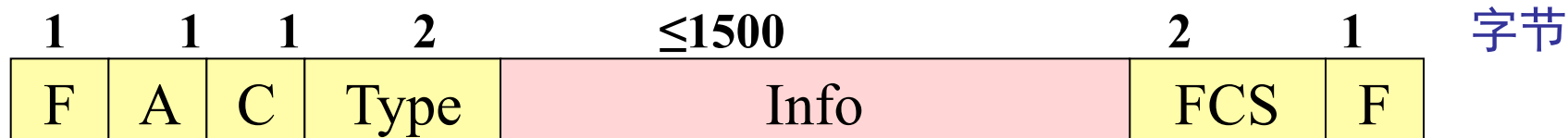
FCS: 循环校验 ($\text{CRC}_{16} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$)

当 PPP 用于异步传输时, 使用转义字符 (0x7D):

0x7E 变换为 → 2 字节序列 (0x7D, 0x5E);

0x7D 变换为 2 字节序列 (0x7D, 0x5D);

其它控制字符 ($\leq 0x20$), 前缀 0x7D。



F: 帧间隔符 (7E = 01111110);

A: 地址 (FF);

C: 控制符 (03);

Type: 数据类型; PPP 有一个 2 个字节的协议字段。

0x0021, 信息字段为IP 数据报;

0x0031, OSI网络层数据;

0xC021, 信息字段为 链路控制信息;

0x8021, 信息字段为网络控制信息。

FCS: 循环校验 ($\text{CRC}_{16} = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$)

特点: 利用PPP帧可以传输各层数据, 利用Type进行层数据的区分。

当用户拨号接入 **ISP** 时，路由器的调制解调器对拨号做出确认，并建立一条物理连接；

PC 机首先通过**PPP**帧和路由器交换 **LCP**（链路层） 分组，建立数据链路；

PC机和路由器交换**PPP**帧，进行网络层配置，并获得临时的**IP**地址，成为因特网上的一台主机；

通信完毕时，**NCP** 释放网络层连接，收回原来分配出去的 **IP** 地址。接着，**LCP** 释放数据链路层连接。最后释放的是物理层的连接。

5.5 异步传输模式 (ATM)

1、ATM的需求

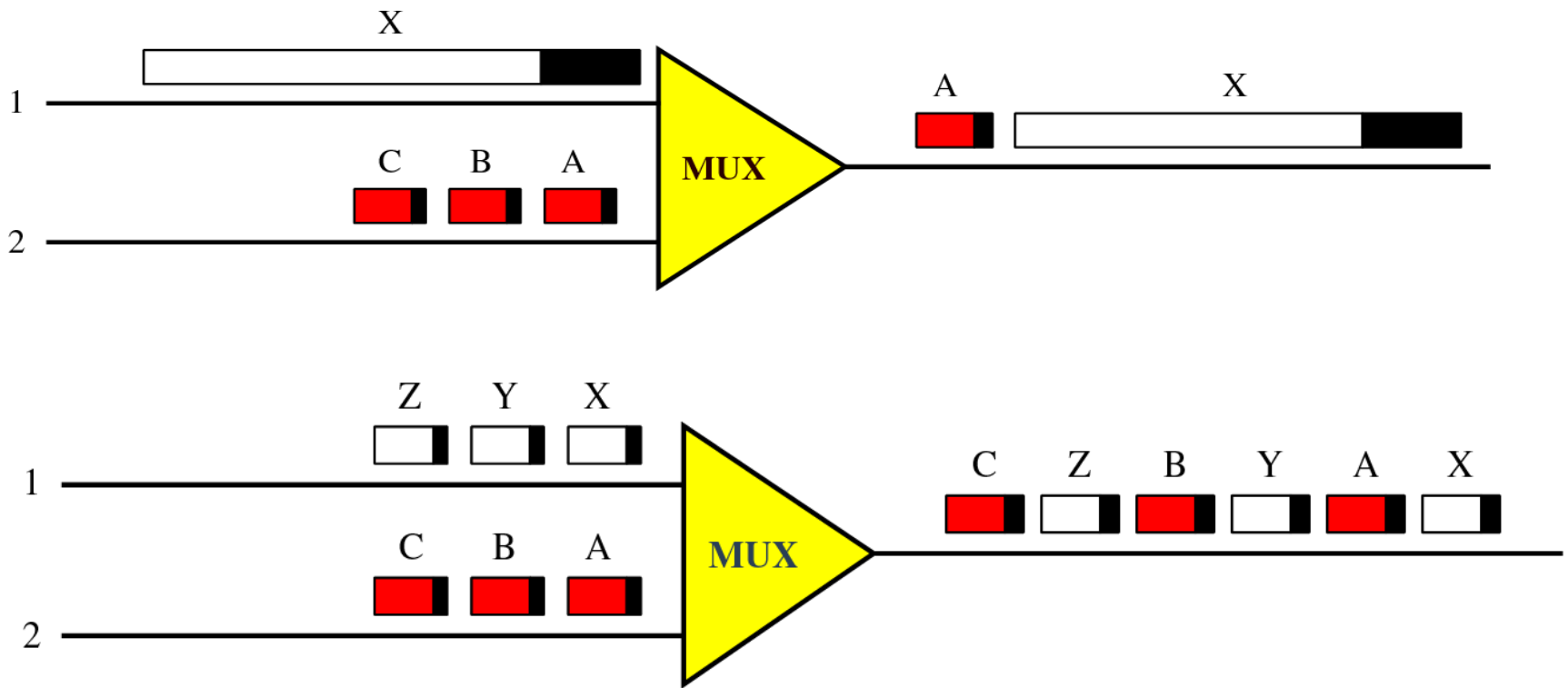
为满足多媒体传输的要求而出现的一种通信技术。

2、ATM交换的概念

依据异步传输和异步多路复用的原理，交换的对象为**53字节**的**信元(cell)**，信元头携带寻址信息，ATM交换机根据输入端口的各个信元的信元头中的信息将信元“交换”到指定的输出端口。

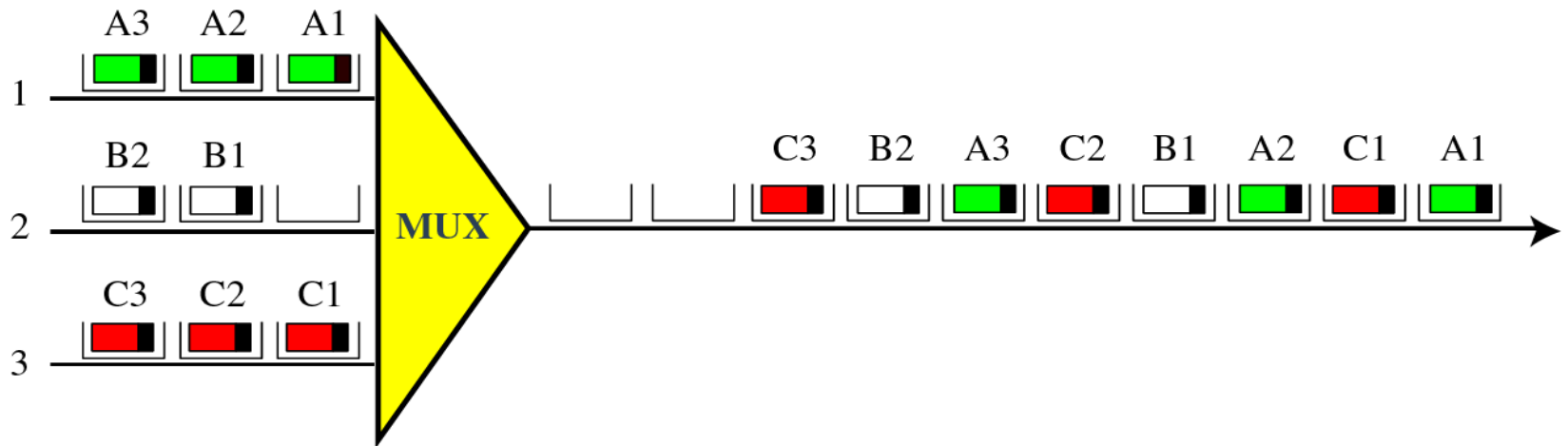
ATM-TDM

同步TDM



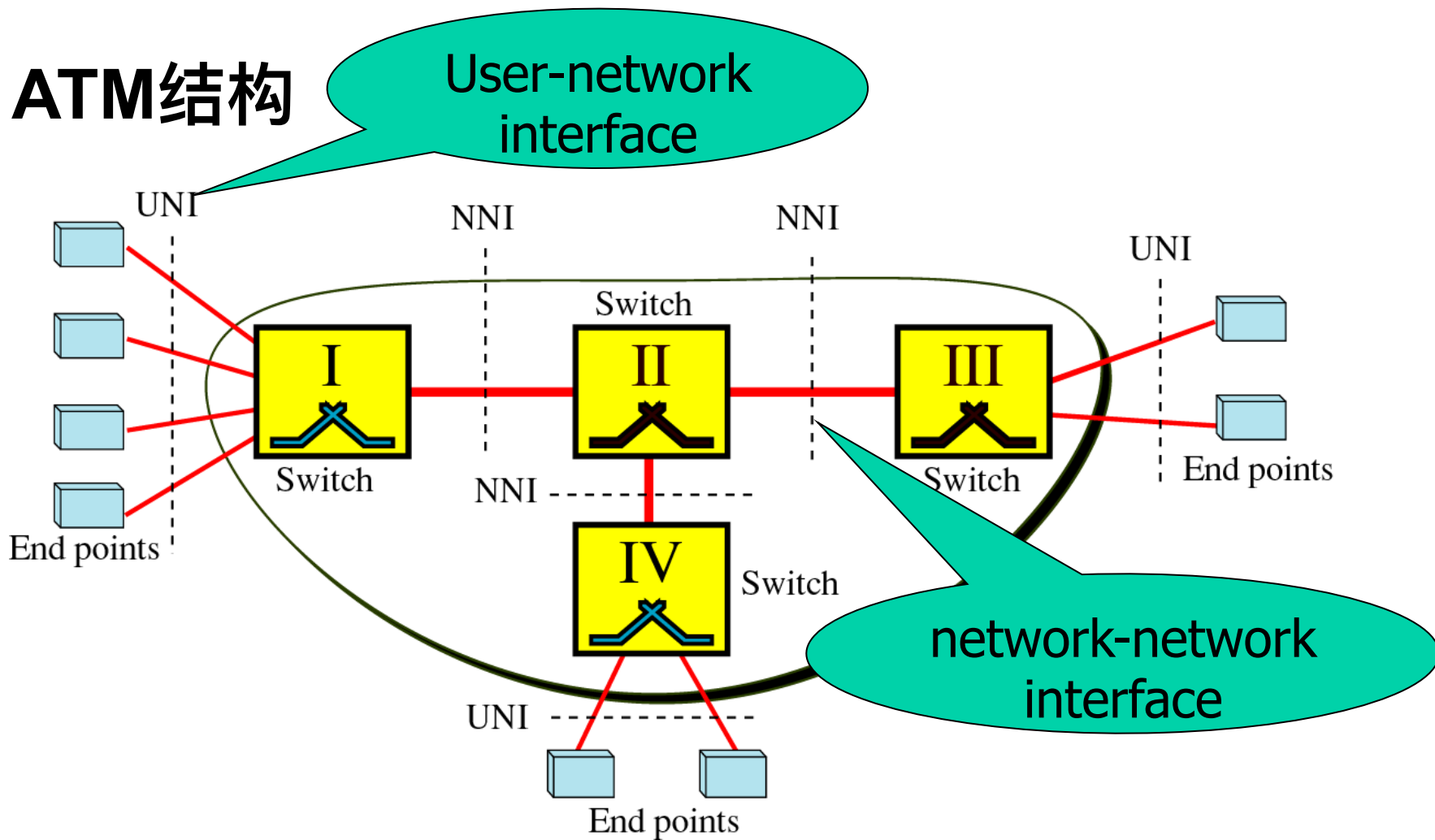
ATM-ATDM

异步TDM



ATM-architecture

ATM结构

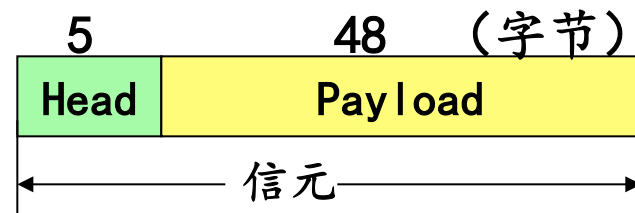


3、 ATM的特征

(1) 基于信元的分组交换技术

信元具有固定的长度和格式：

信元头（5字节）：信元穿越网络的路由控制信息等；
数据域—有效载荷（48字节）：携带高层数据。



(2) 采用快速交换技术（电路交换和分组交换相结合）

— 直接交换技术，输入端口信元**直接交换**到输出端口，交换机本身不执行差错控制和流量控制，减少结点处理延时；

— 信元交换的过程，**硬件支持**，**减少交换延时**，保证信元在ATM交换机中“逗留”的时间不会超过100us。

(3) 采用面向连接的信元交换

★面向连接：数据信元交换之前必须建立虚拟连接；

★物理链路逻辑上被分为多条**虚拟路径**（VP—VPI），VP又被划分为多条**虚拟通道**（VC—VCI），VPI和VCI的组合（VPI/VCI）及映射唯一地标识了一条虚拟连接（类似虚电路）；

VP/VC的理解可类比高速公路：公路—双向—多车道

★信元交换基于已建的虚拟连接。

信元：车道上的车辆。

(4) 提供预约带宽机制

★ 在虚拟连接建立时，ATM允许根据应用的需求，进行**带宽预约**，支持不同的应用，以确保在规定的时间内完成数据信元的传输。

例如，远程多媒体教学。

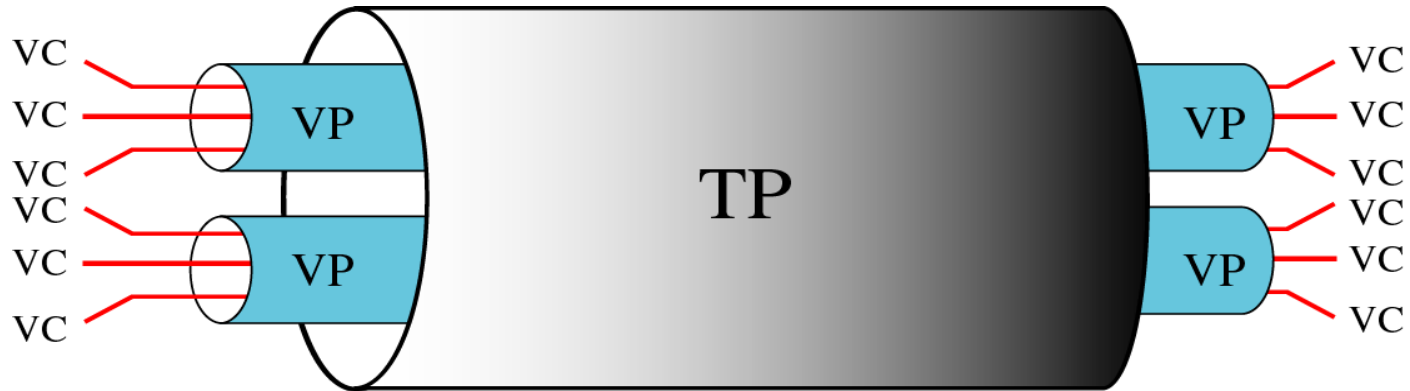
视频、音频和正文预约不同带宽的信道。

★ 不同的用户数据分配不同的**优先级别**，当交换机内部出现信元排队时，高优先级的数据可以优先交换。

★ 当网络出现拥塞时，低优先级的信元可以被“优先”丢弃。

ATM-TP VP VC

虚电路



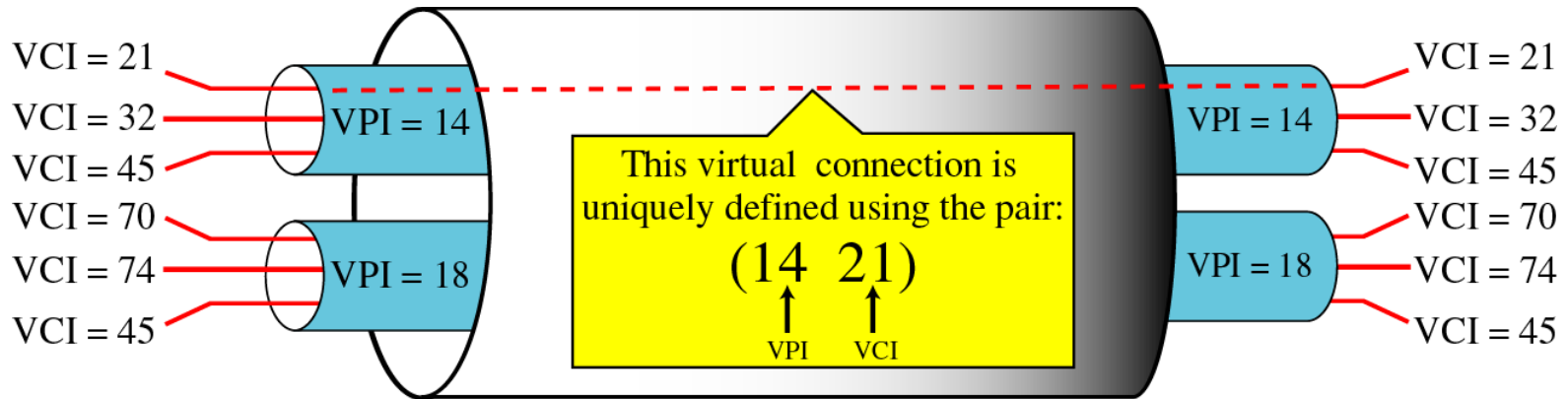
TP—Transmission Path

VP—Virtual Path

VC—Virtual Circuit

ATM-virtual connection

虚连接概念

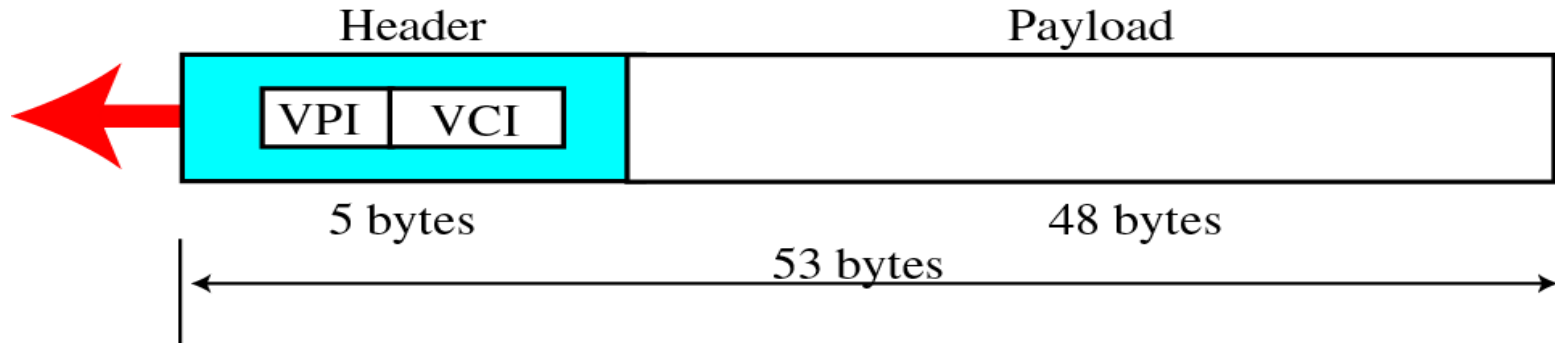


Virtual Connection = (VPI, VCI)

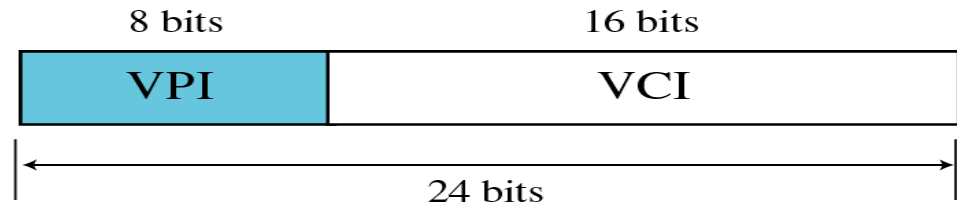
VPI — Virtual Path Identifier

VCI — Virtual Circuit Identifier, may be repeated under different VP

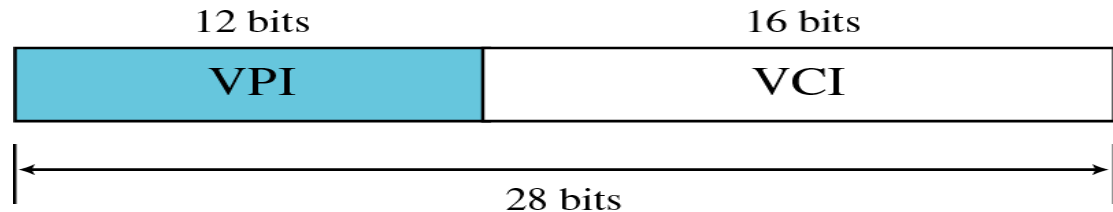
ATM-UN CELL NN CELL



信元格式cell



a. VPI and VCI in a UNI interface



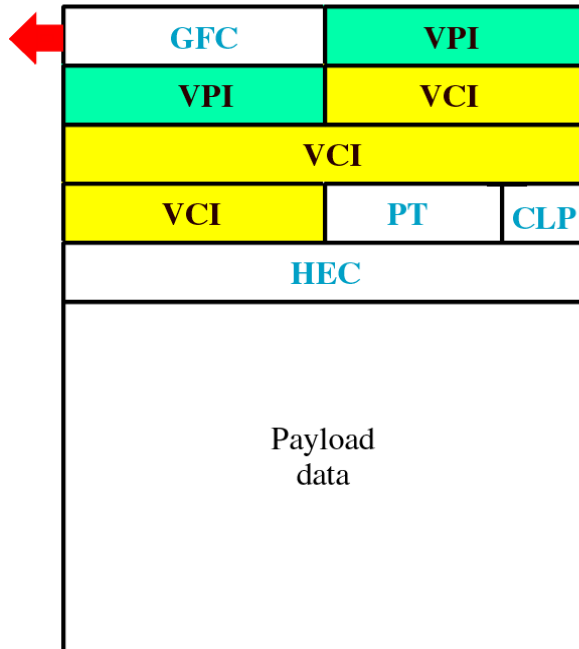
b. VPI and VCI in an NNI interface

ATM-Cell Head

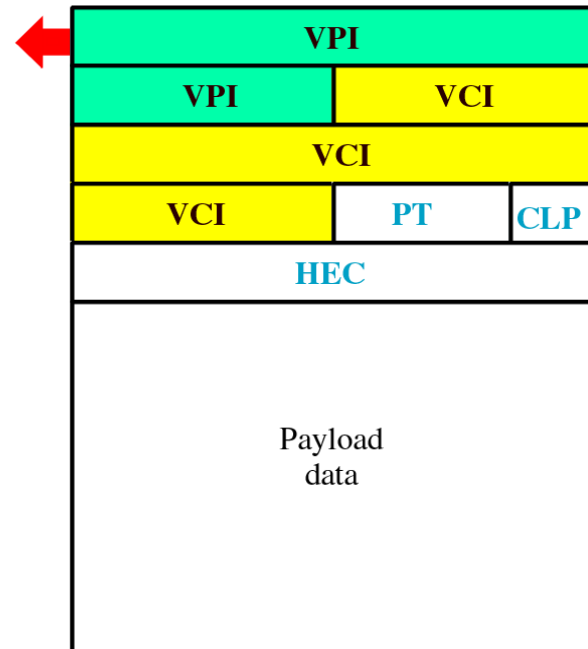
信元头格式 (Cell Head)

GFC: Generic flow control
VPI: Virtual path identifier
VCI: Virtual channel identifier

PT: Payload type
CLP: Cell loss priority
HEC: Header error control



UNI Cell

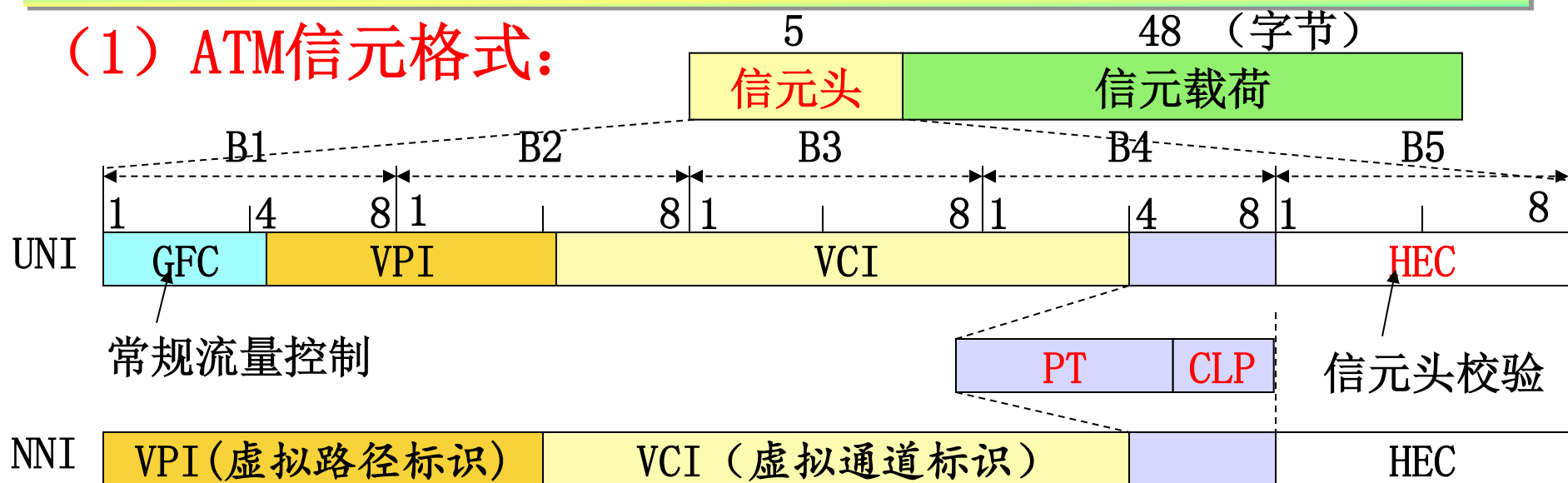


NNI Cell

4、ATM的原理

16

(1) ATM信元格式:



PT (信元负载类型—3位) :

$b_4=0$ (用户信息)

b_3 : 拥塞指示, 由交换机根据当前状况设置。

$b_4=1$ (管理信息/控制命令)

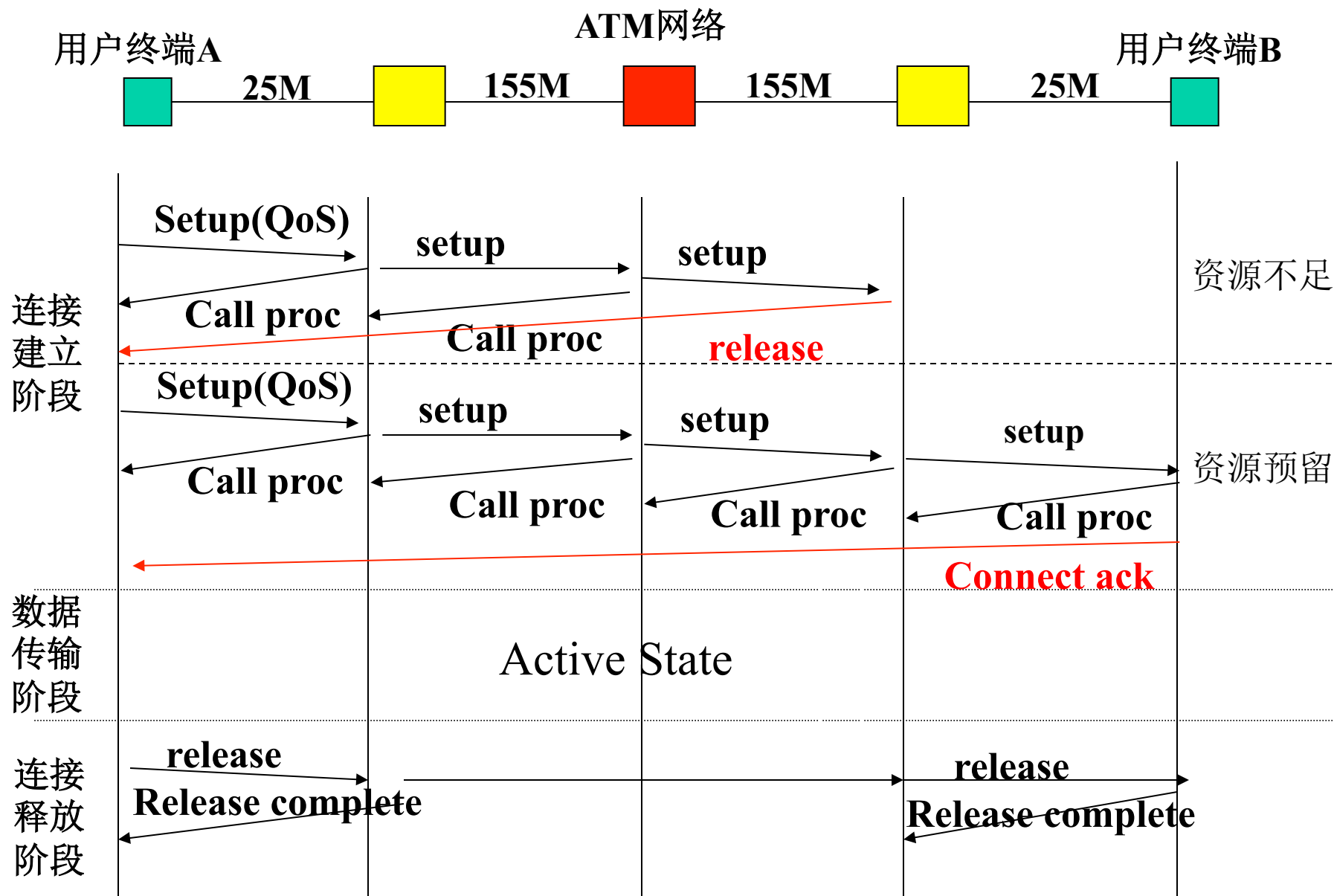
$b_3=0$: 操作管理信息; $b_3=1$: 资源管理信息。

CLP (信元优先级—1位) : 0—优先传输, 1—优先丢弃;

HEC (信元头校验) : **海明码** 或者 $g(x)=x^8+x^2+x+1$ 。

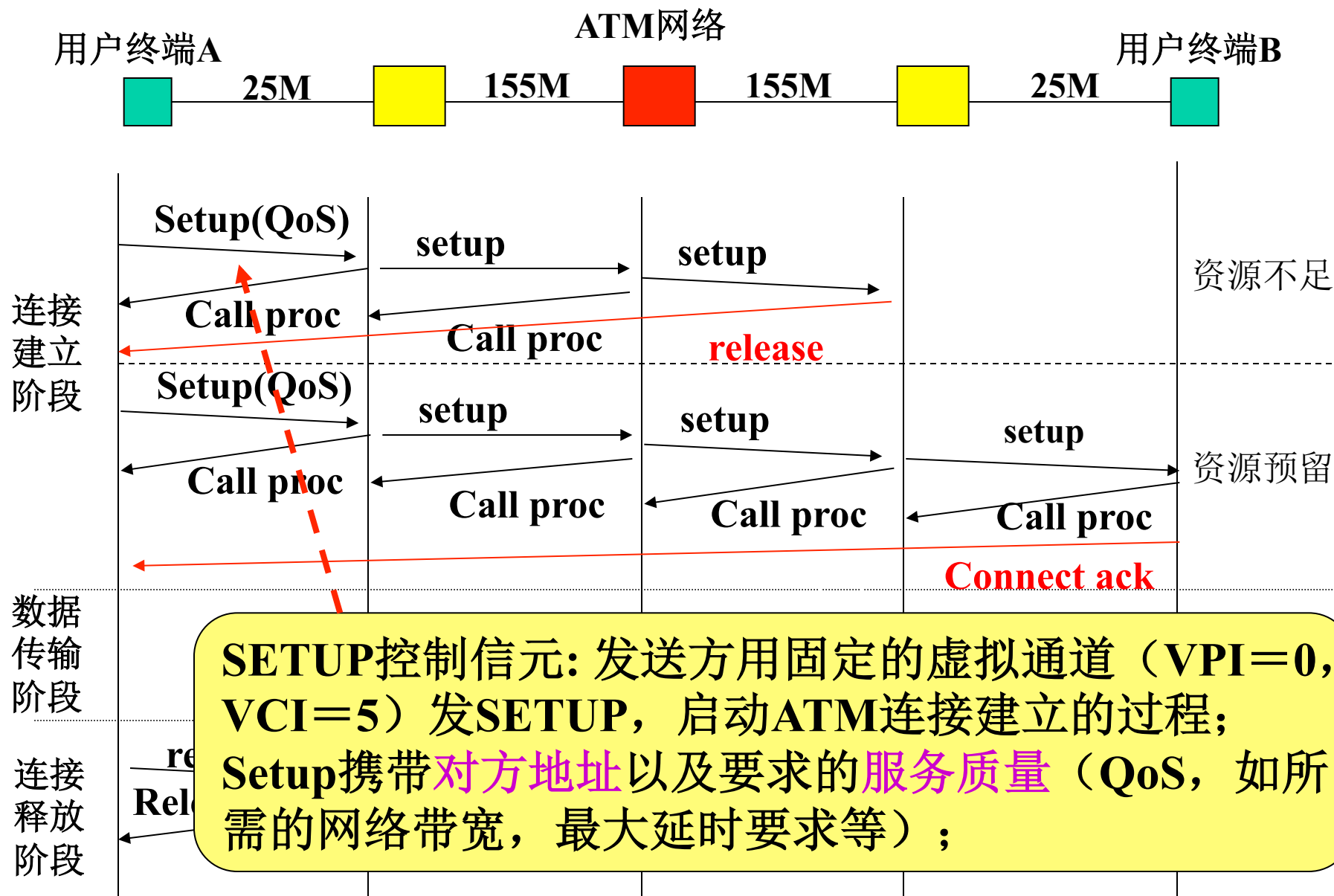
(2) ATM网络的工作过程

17



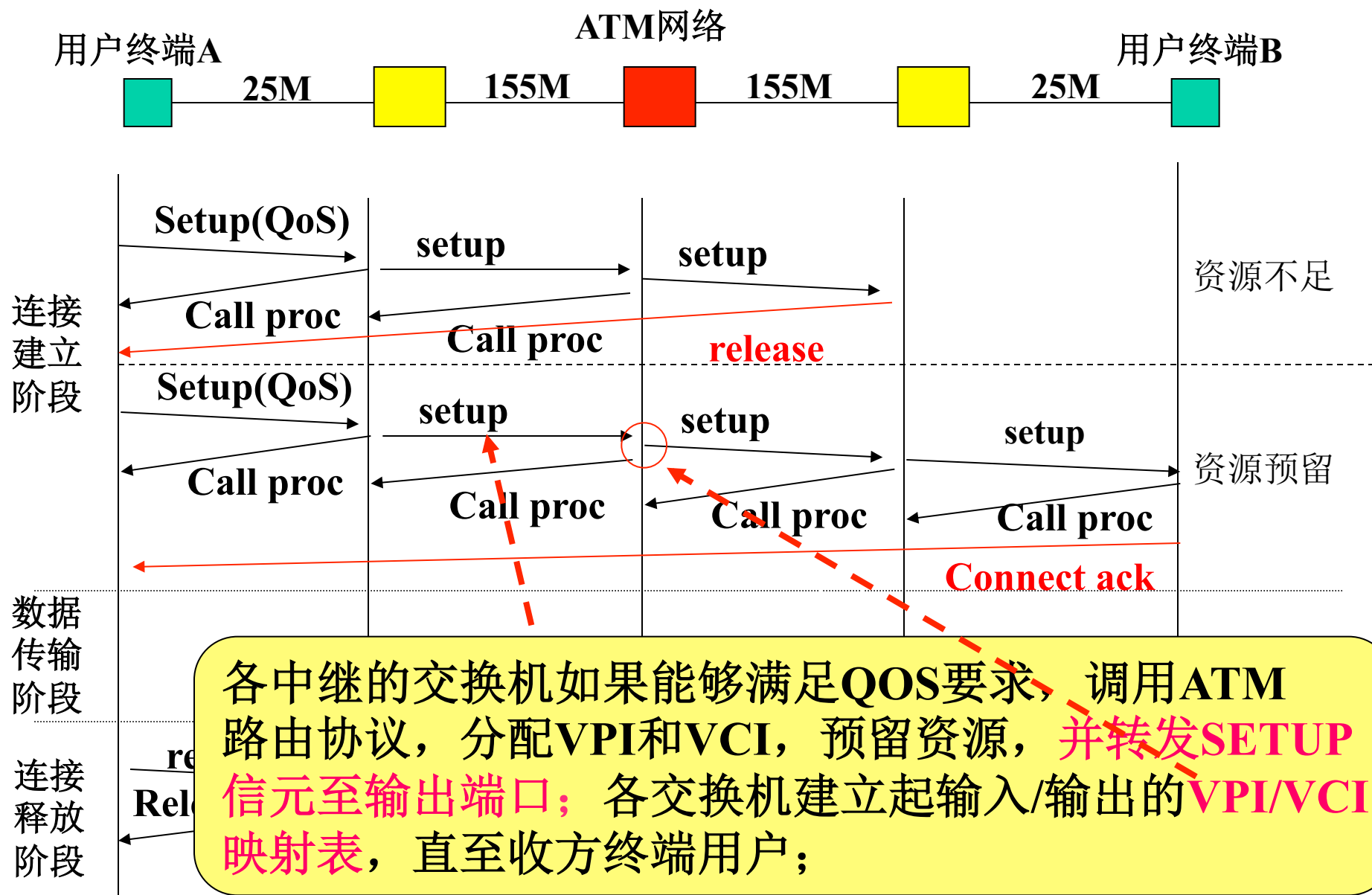
(2) ATM网络的工作过程

17



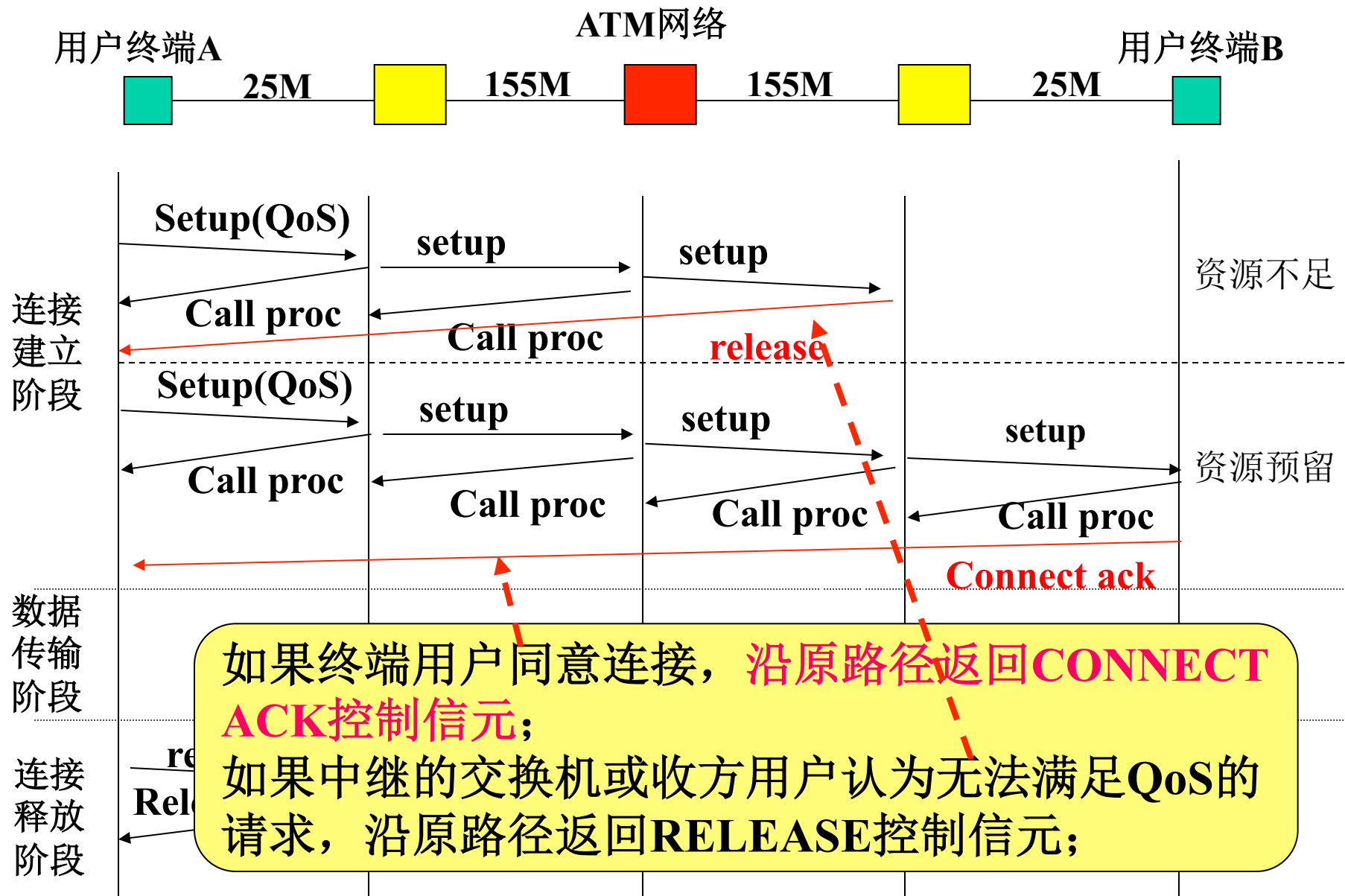
(2) ATM网络的工作过程

17

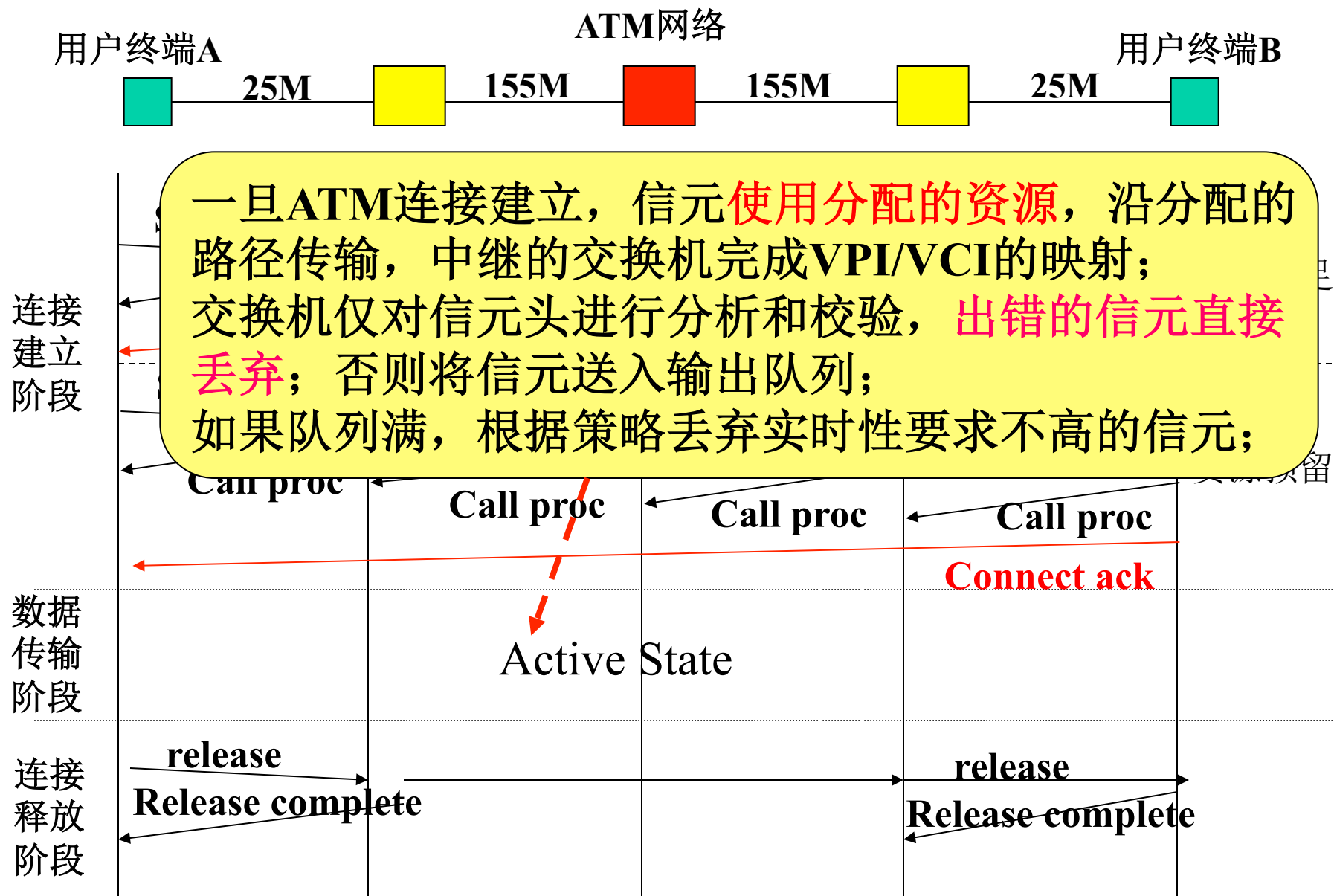


(2) ATM网络的工作过程

17

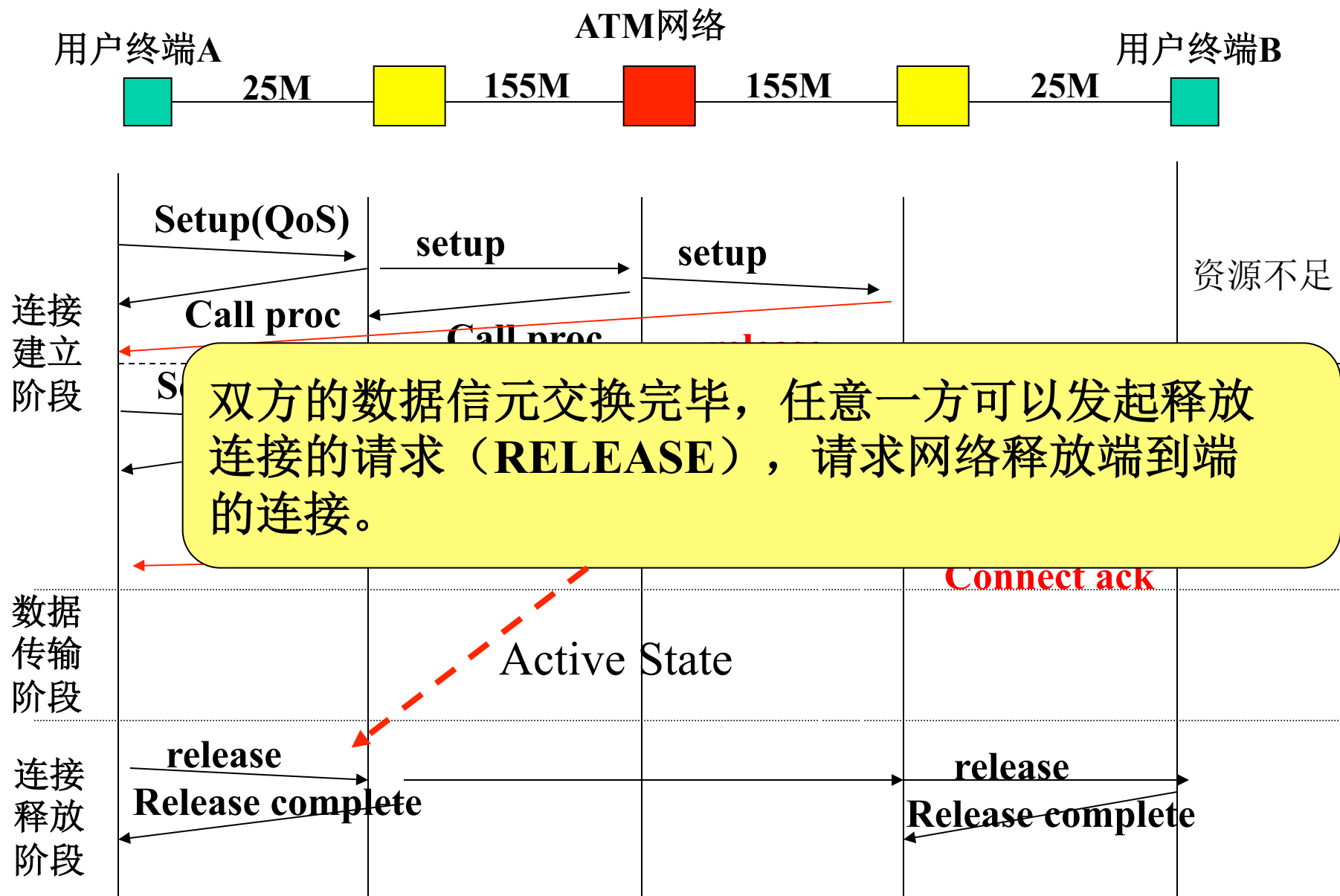


(2) ATM网络的工作过程



(2) ATM网络的工作过程

17



(3) ATM网络的应用

ATM具有带宽预约的功能，
是专为多媒体应用设计的网络；
ATM技术可以构建局域网和广域网；
ATM曾经是电信部门提供的主流广域网技术。

研究热点：ATM over SDH；

挑战：10G以太网；
IP over SDH。

5.6 宽带用户接入方式

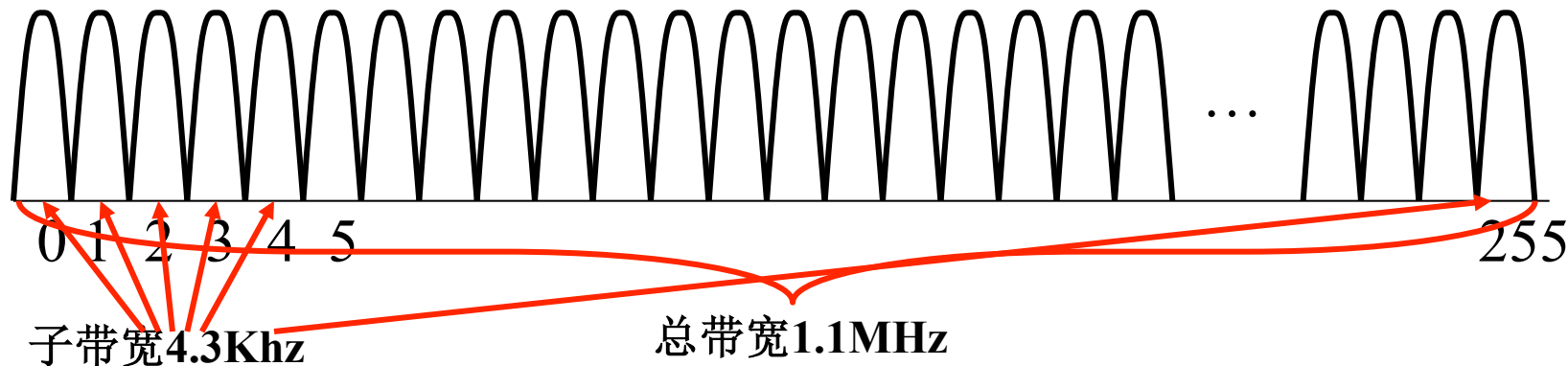
1、高速数字用户线接入（xDSL）：借助复用和调制技术，利用电话线支持用户高速接入方式的统称；

基本思路：

在质量和距离（ $<5\text{km}$ ）的限制下，用户端电话线约有 1.1MHz 的带宽，通常只用 4KHz 的带宽支持语音传输，高频段的开发有利于提高线路的利用率；

xDSL将 1.1MHz 的带宽划分为256个 4.3125KHz 的子带宽，分别用于支持语音和数据传输；

0道—语音传输，1-5道—保留，6-N—上行， $N+1-255$ —下行；
不同的子带宽分配策略和调制方式导致不同的DSL。



宽带用户接入方式

xDSL类型:

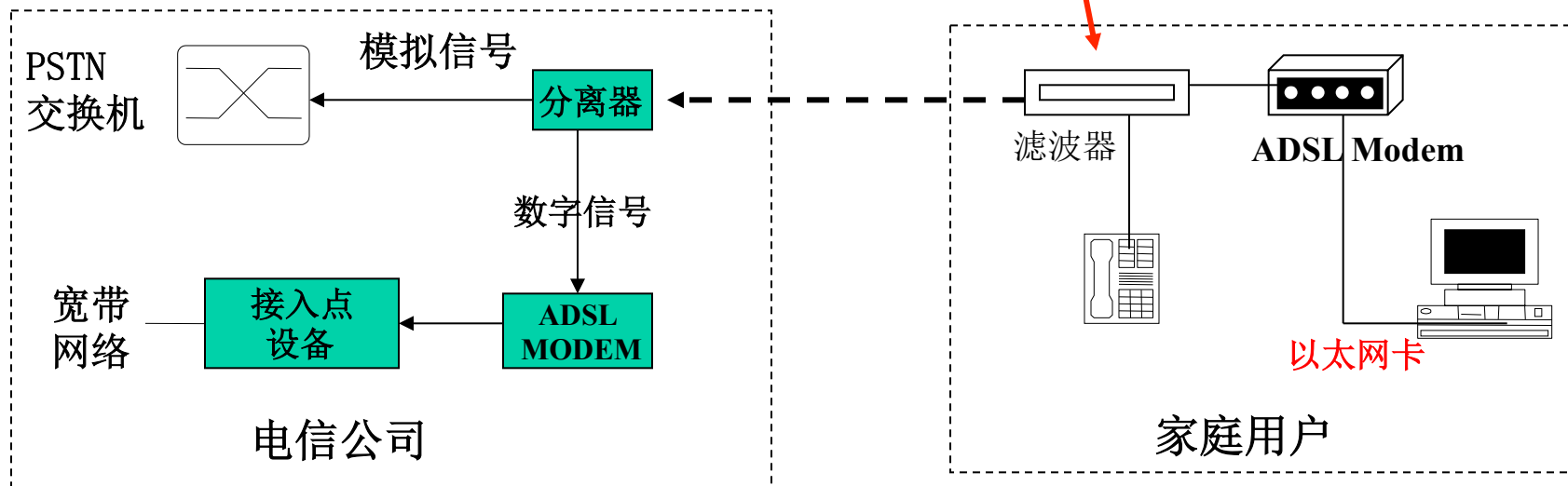
名称	上行速率	下行速率	距离
ADSL 非对称数字用户线	64— 640Kbps	1.5— 6Mbps	3km
ADSL Lite 简型非对称数字用户线	< 384Kbps	< 1.5Mbps	5.4km
HDSL 高位速对称数字用户线	2Mbps	2Mbps	3.5km
RADSL 速率自适应数字用户线	120— 1000Kbps	640— 2000Kbps	5.4km
VDSL 超高速数字用户线	1.5Mbps	13— 52Mbps	1.2km
.....

注：速率依赖于距离和线路质量，通常会作自适应的降级适配。

宽带用户接入方式

xDSL接入方式:

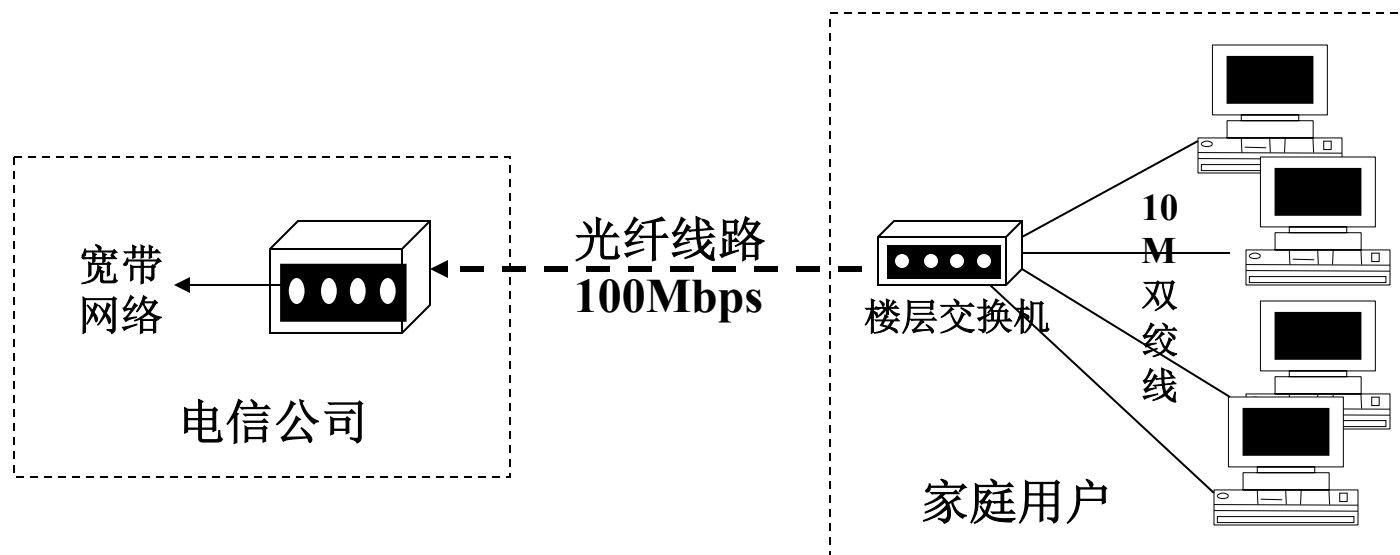
降低对语音质量的影响



宽带用户接入方式（续）

2、以太网接入：支持广域应用的10G以太网的应用促成了以太网到户。

光纤到楼层网络设备（交换机），专线（双绞线）入户，10M/100M速率。



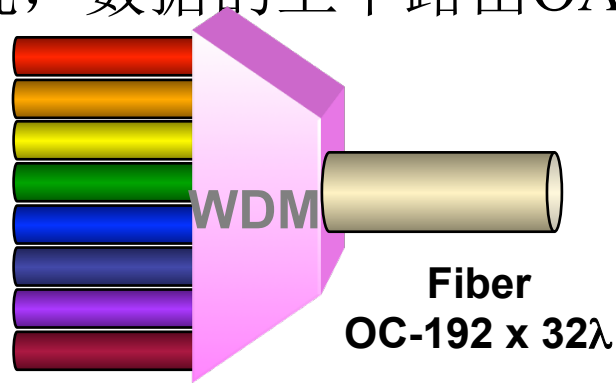
（广域网介绍完）

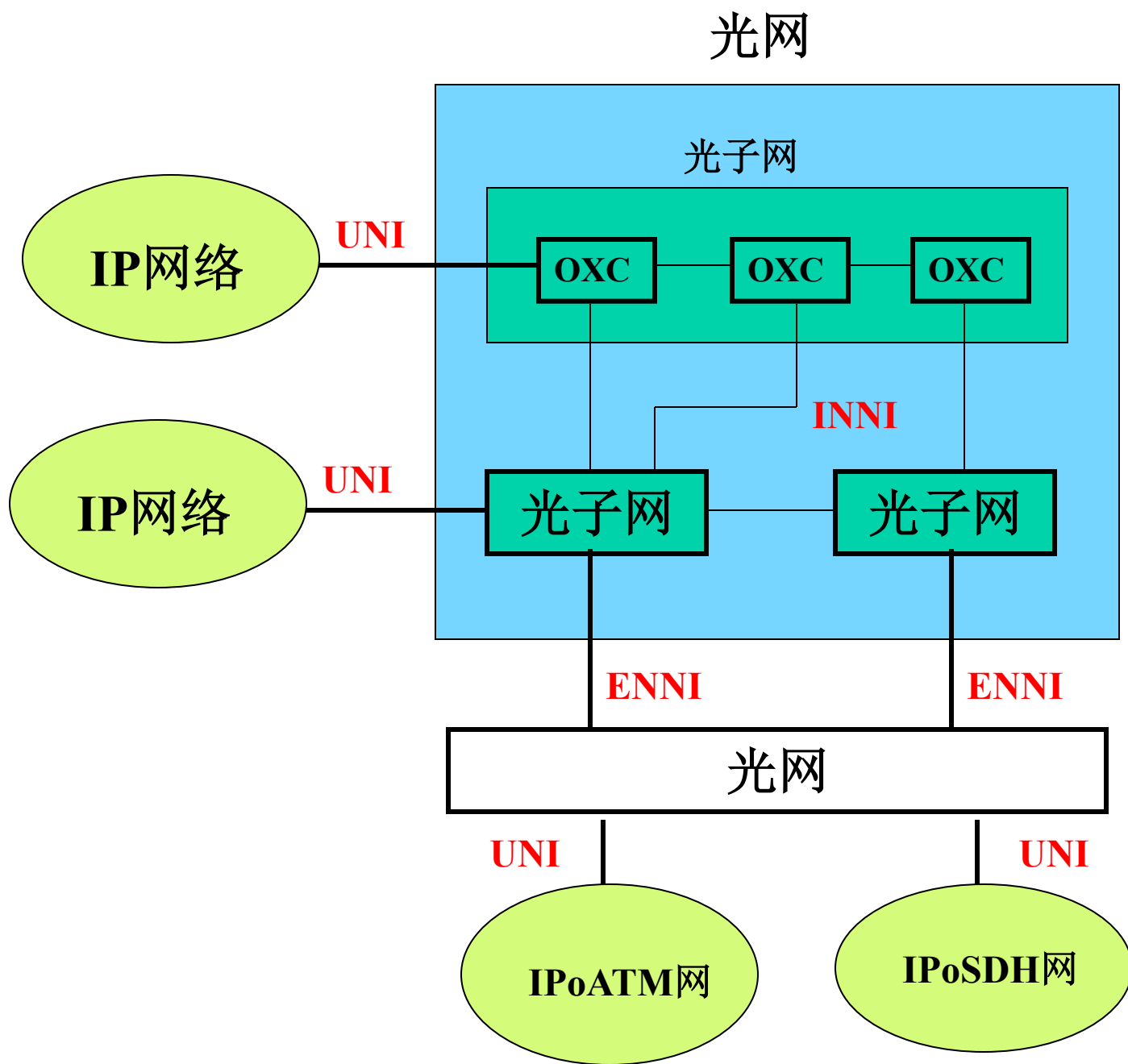
网络交换

- 网络交换的基本概念
- 第三层交换模型
- IP over SDH
- **IP over WDM**
- MPLS
- VPN

密集波分复用与光网络

- DWDM目前主要使用C波段 (1525nm - 1565nm)，波长之间的间隔是1.6nm – 0.4nm，对应200GHz – 50GHz；正在研究开发的新波段包括L波段 (1570nm – 1620nm)和S波段 (1400nm)，这些都是光纤中的低损耗波段。
 - 光纤中的OH根限制了频带的利用。如果能够消除，可构成全波光纤 (1280nm - 1620nm)，可用波长范围可达340nm，理论上可用的带宽可达42.5THz。
- 光子网由OXC互联而成，光网由光子网互联而成，构成管理的自治域（也称为一个信任域trust domain），其中可包含管理子域。光互联网由光网互联而成，包含不同的管理域。
- 波长路由功能由OXC实现，数据的上下路由OADM提供。





UNI—client-optical internetwork interface

INNI—internal node-to-node interface

ENNI—external node-to-node interface

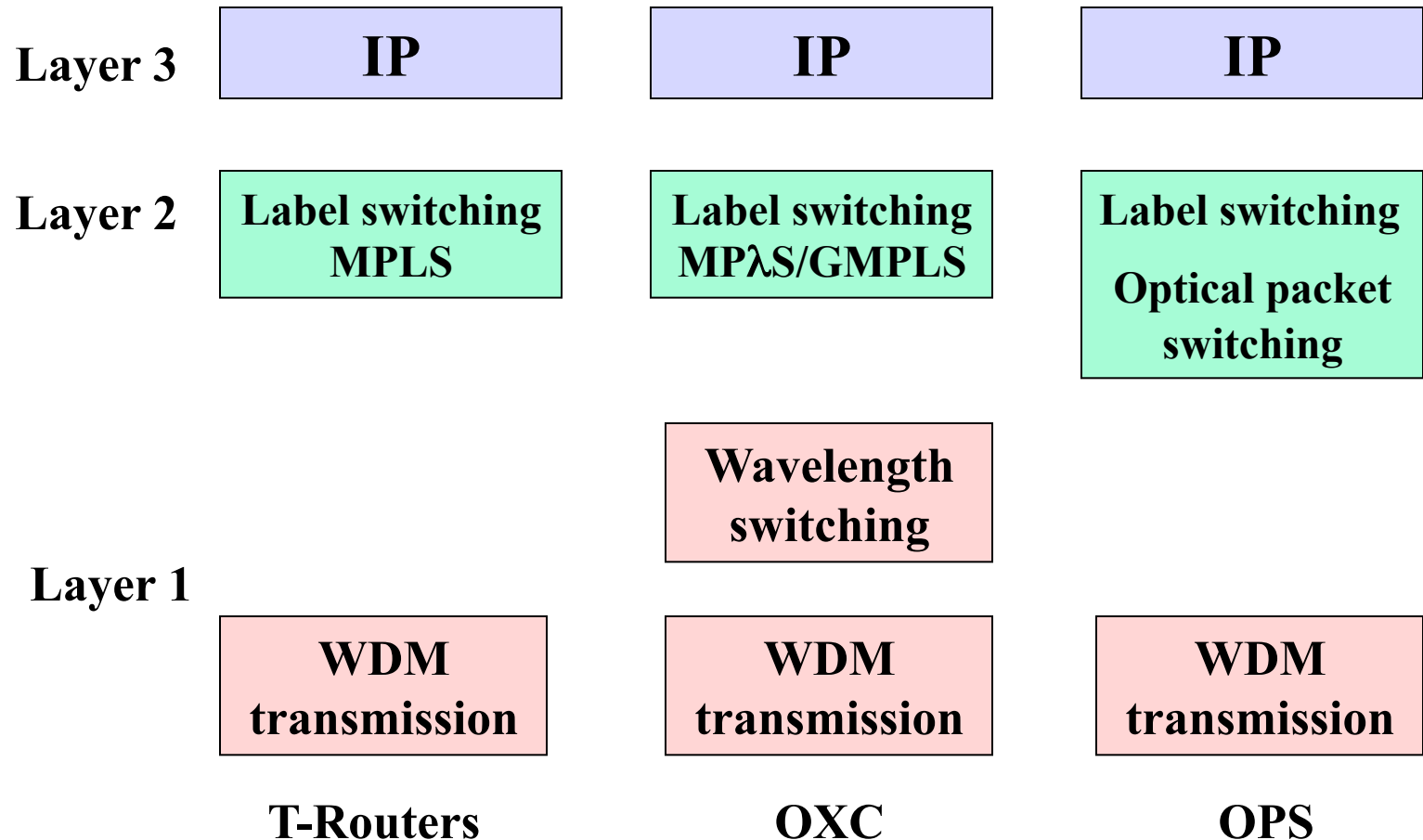
UNI的类型

- 直接接口Direct interface
 - 称为in-band or out-of-band IP control channel(IPCC), 这时IP路由器与OXC是对等关系, 直接通过OSPF、ISIS、BGP等路由协议和RSVP或标记分配协议LDP信令协议交换控制信息;
- 间接接口Indirect interface
 - 采用带外的管理方式, 光网本身具有自己的管理系统, IP路由器通过向这个管理系统发请求来要求自己所需要的服务, 这通常意味着IP路由器和OXC之间没有直接的信令接口;
- 预置接口Provisioned interface
 - 光网接口的服务是手工预置的, 与IP路由器之间没有控制交互。

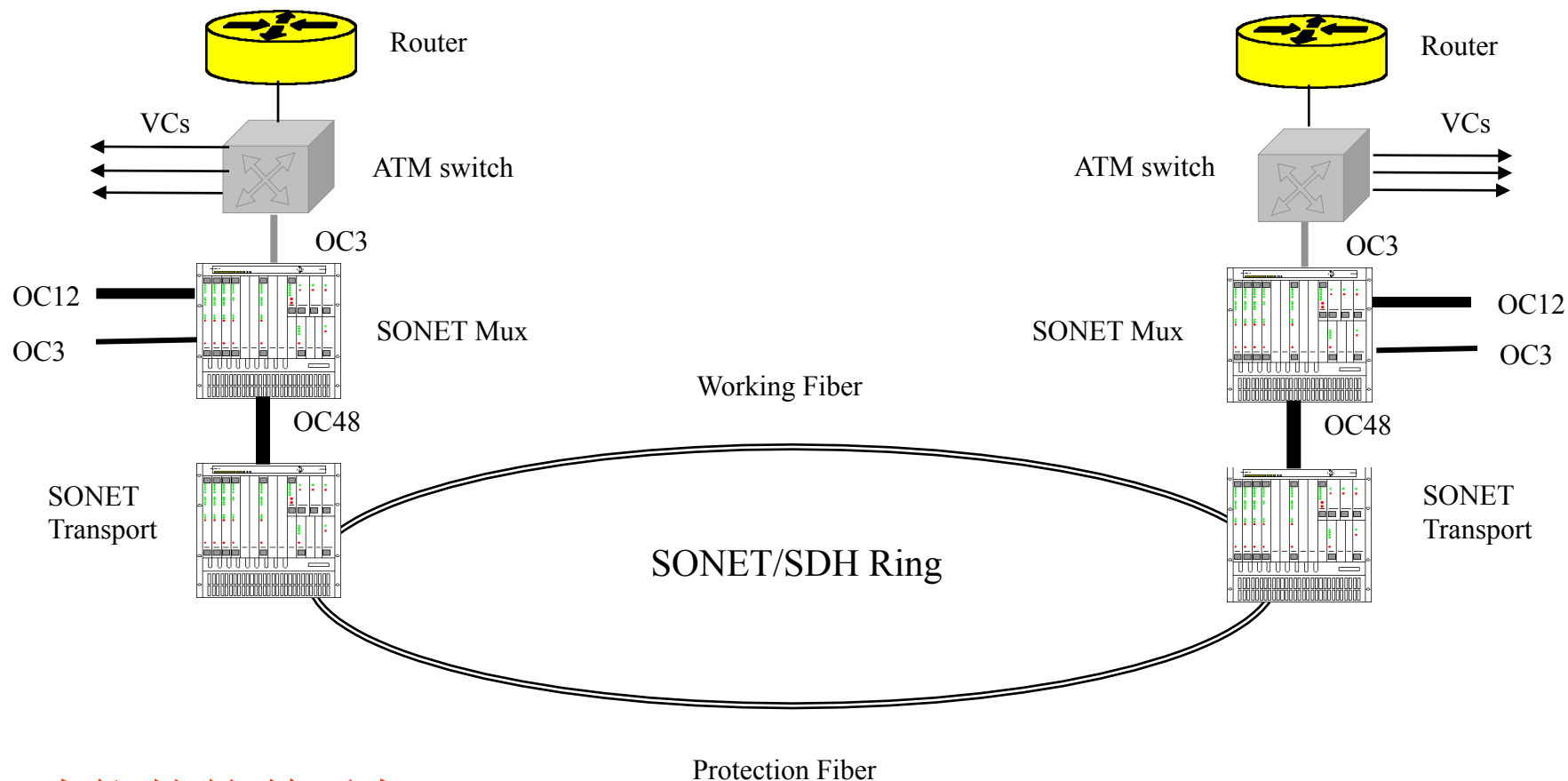
Optical Networking

- **Wavelength Routing:** 将包含多个TDM通道的高速数据流与一个特定的波长联系起来，因此这个数据流在光纤网可直接根据这个波长进行路由，而不需在路由转发过程中对数据信号进行光电转换和作基于IP的路由处理。具有透明性
- 智能光网的一个重要特征是能够实时或近乎实时地建立光路连接并对其进行路由，因此需要有一个光网控制平台，而这个平台目前主要是基于IP网络来实现的，与IP网络的控制信息共路。这方面有两个基本的问题：在光网控制平台中适应和重用IP控制平台的协议；在光网中传输IP流量并处理因此而产生的控制与协调问题。

Protocol stack for IP over WDM



早期的网络交换体系结构



功能的简单叠加

IP over ?

20% of cell tax

60% of the cost is from nodes
Not enough granularity
Reliability duplicated by IP
Use only one wavelength

By MPLS?

IP

FR

ATM

SDH

fiber

IP

ATM

SDH

fiber

IP

SDH

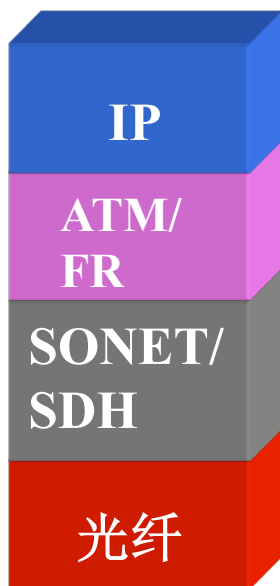
fiber

IP

fiber

体系结构的简化趋势

传统模型



- 降低设备成本
- 降低运营成本
- 简化体系结构
- 可扩展的网络容量



光纤互联网



IP服务

大容量光
纤管道

作业

- 试述PTN的基本原理和特点

（PTN： Packet Transport Network 分组传送网）