

全光通信网

第二部分 光纤通信网

陈根祥

北京交通大学 2006•秋

CENTRAL EUROPEAN TERRESTRIAL AND UNDERSEA FIBEROPTIC ROUTES PLANNED OR IN PLACE



有关国际组织

Who's who in standards

- ⇒ ISO: International Standard Organization
 - ⇒ an international agency for the development of standards in many areas
 - ⇒ currently 89 member countries including: Britain, France, USA
 - ⇒ consists of several national standard bodies
- ⇒ ITU: International Telecommunication Union (formed in 1993, ex- CCITT International Telegraph and Telephone Consultative Committee)
 - ⇒ The ITU-T publishes standards (ITU-T Recommendations) covering all fields of telecommunications except radio aspects
- ⇒ IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers
 - ⇒ the IEEE standards for local area networks have subsequently been used by ISO as the basis for its standards on LANs

内容

- 概述
- 接入网与FTTH
- 数字复接体系
- 交换技术
- **Summary & Comments**

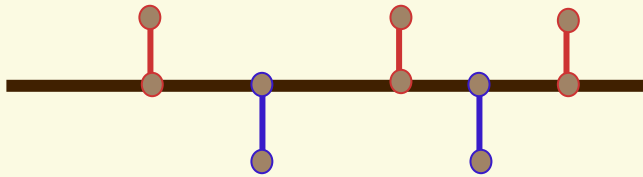
光纤通信网概述

信息与网络的种类

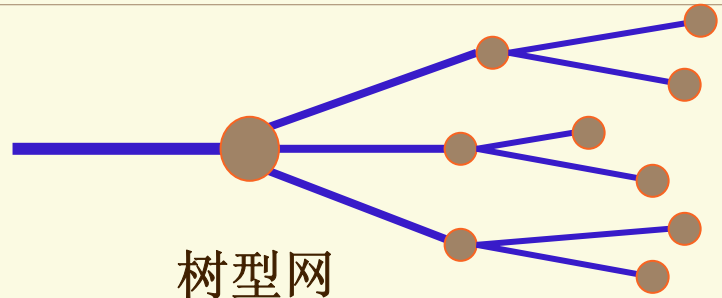
- 语音信息—公用电话网（PTN）
实时，双向
- 电视信息—有线电视网（CATV）
单向（非对称）的广播选择网络
- 数据信息—计算机网（Internet）
非对称，非实时，精确性

随着光纤逐渐接近终端用户，三者所提供的服务与功能逐渐交叉融合

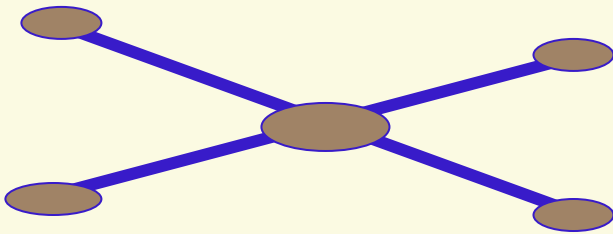
网络拓扑结构单元



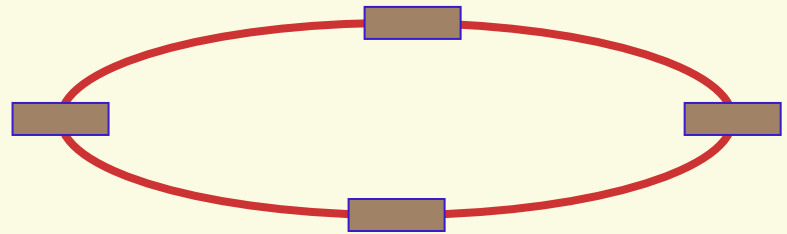
总线型网



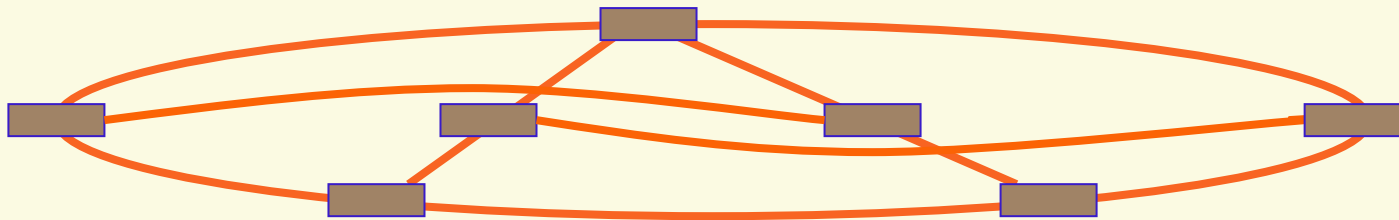
树型网



星型网

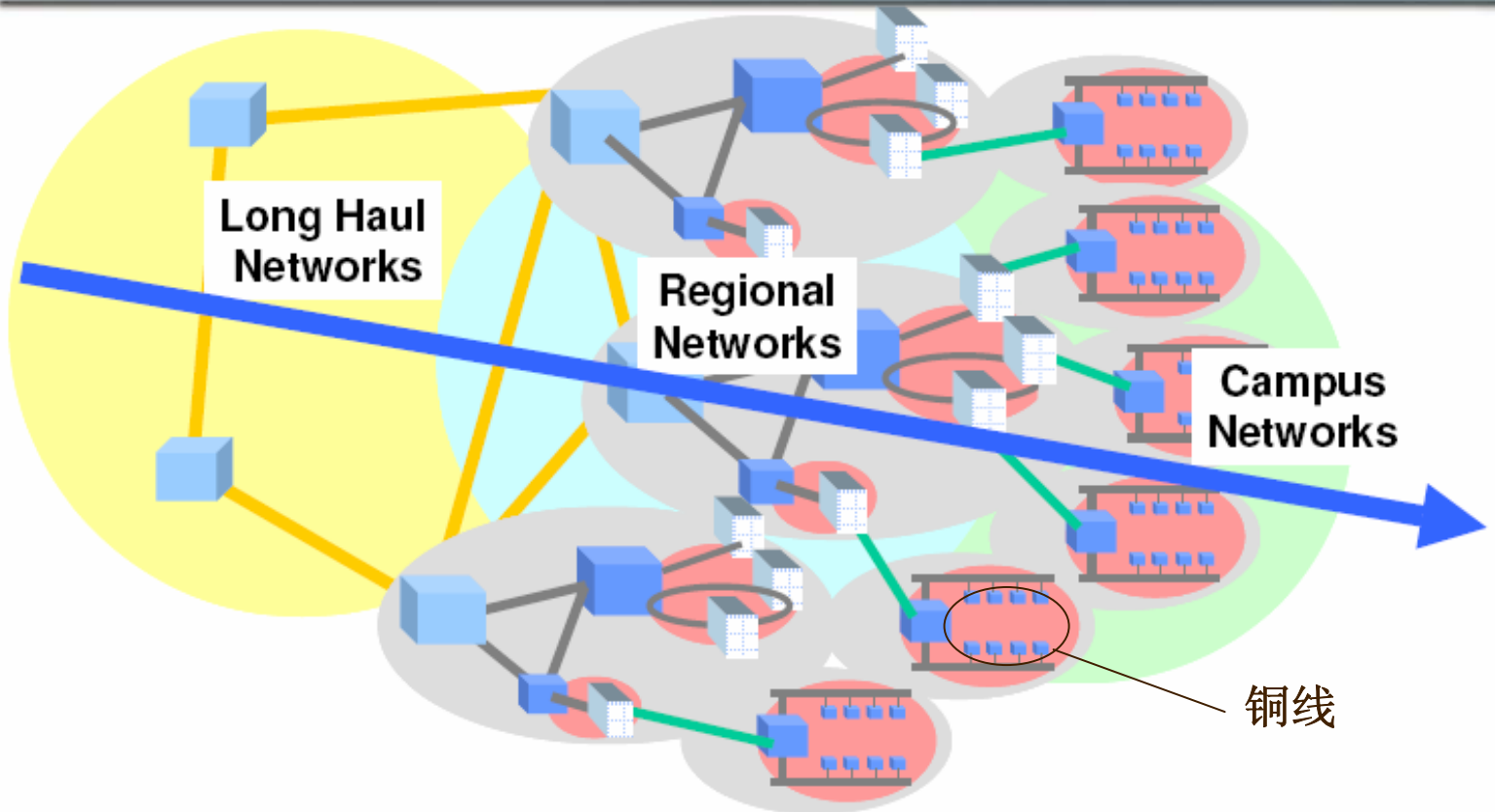


环型网



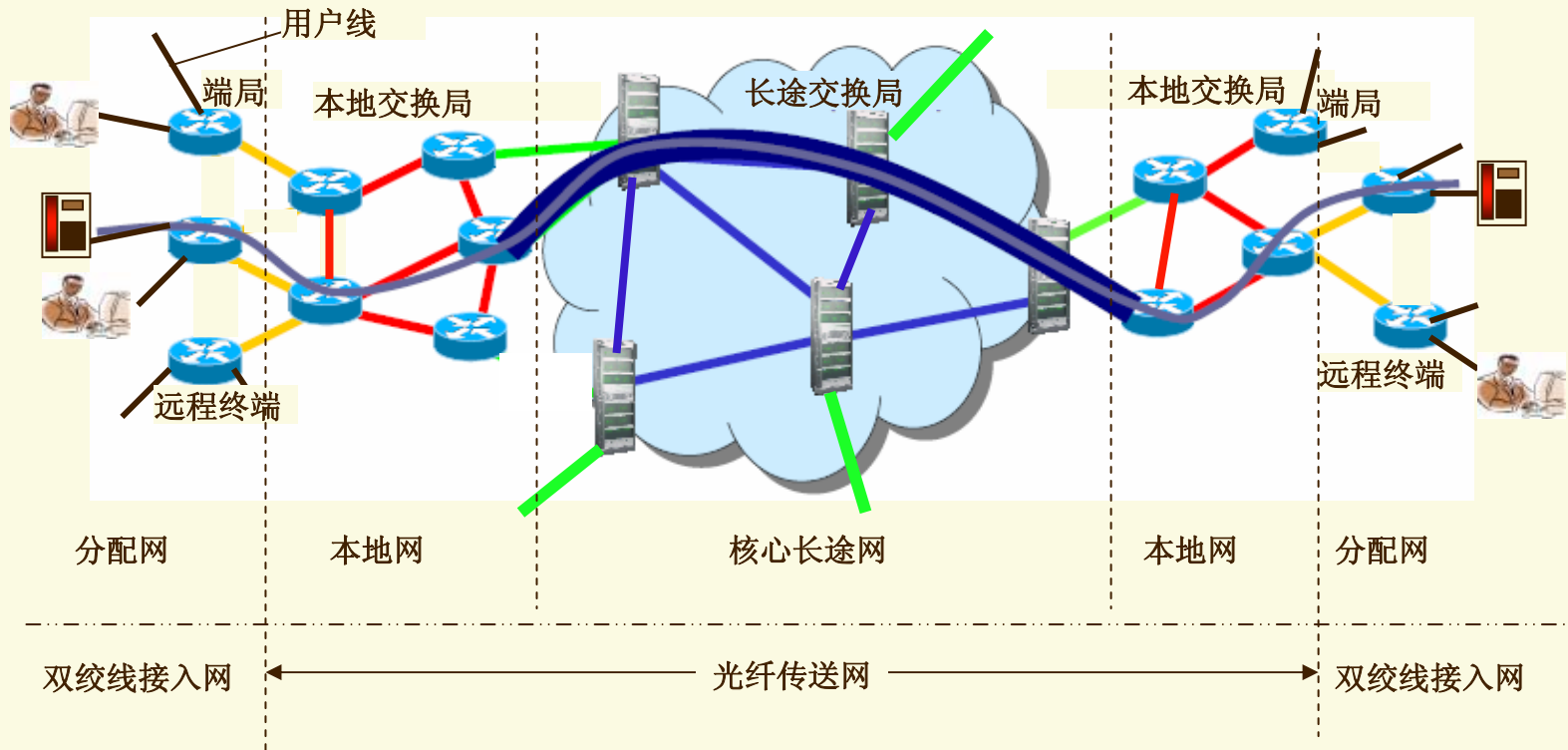
网状网

Evolution of Optical Networks



Optical networks continuously growing in scope, capability

公用电话网与数据网

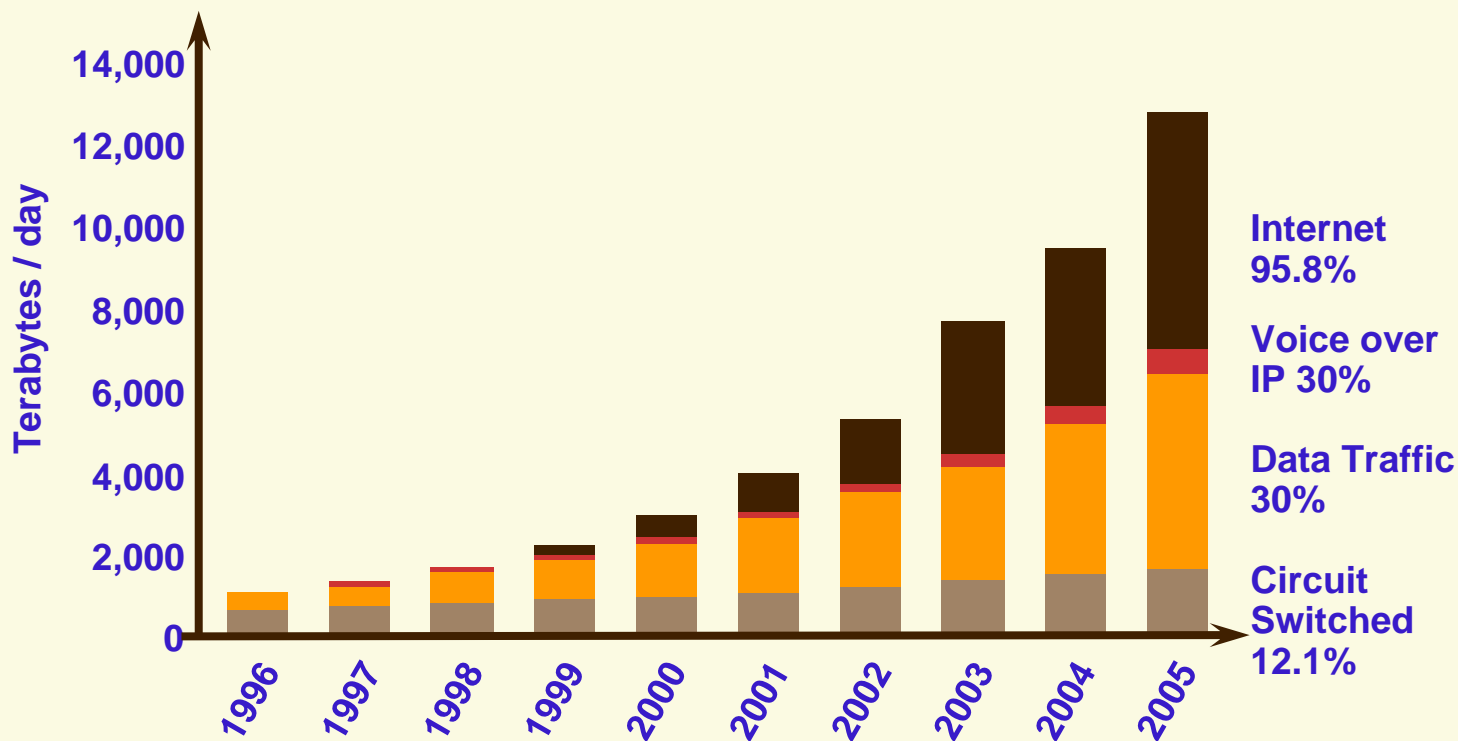


公用电话网所承载的业务

- 公用电话网是目前世界上最大的网络
- 全球电话装机容量超过10亿部
- 每个终端汇接数千条用户线
- 目前承载电话、传真、Internet连接和安全警报系统等多种业务
- 是现代信息产业的核心载体

Circuit Switched Voice and Internet Traffic

Source: Renaissance Analysis via Marconi PLC 2001



接入网与FTTH

用户线和接入网问题



- 目前的绝大多数用户线是针对语音信号设计的
- 用户线优化传输带宽~4kHz (语音频段300~3400Hz)
- 光纤传送网的传输能力已达Tbit/s量级
- 用户对带宽和传输容量的需求持续呈指数式增长
- 用户线的有限带宽已成为严重制约电信业发展的瓶颈
- 努力拓展用户线带宽，实现宽带接入是当务之急！

FTTH与FTTD ?

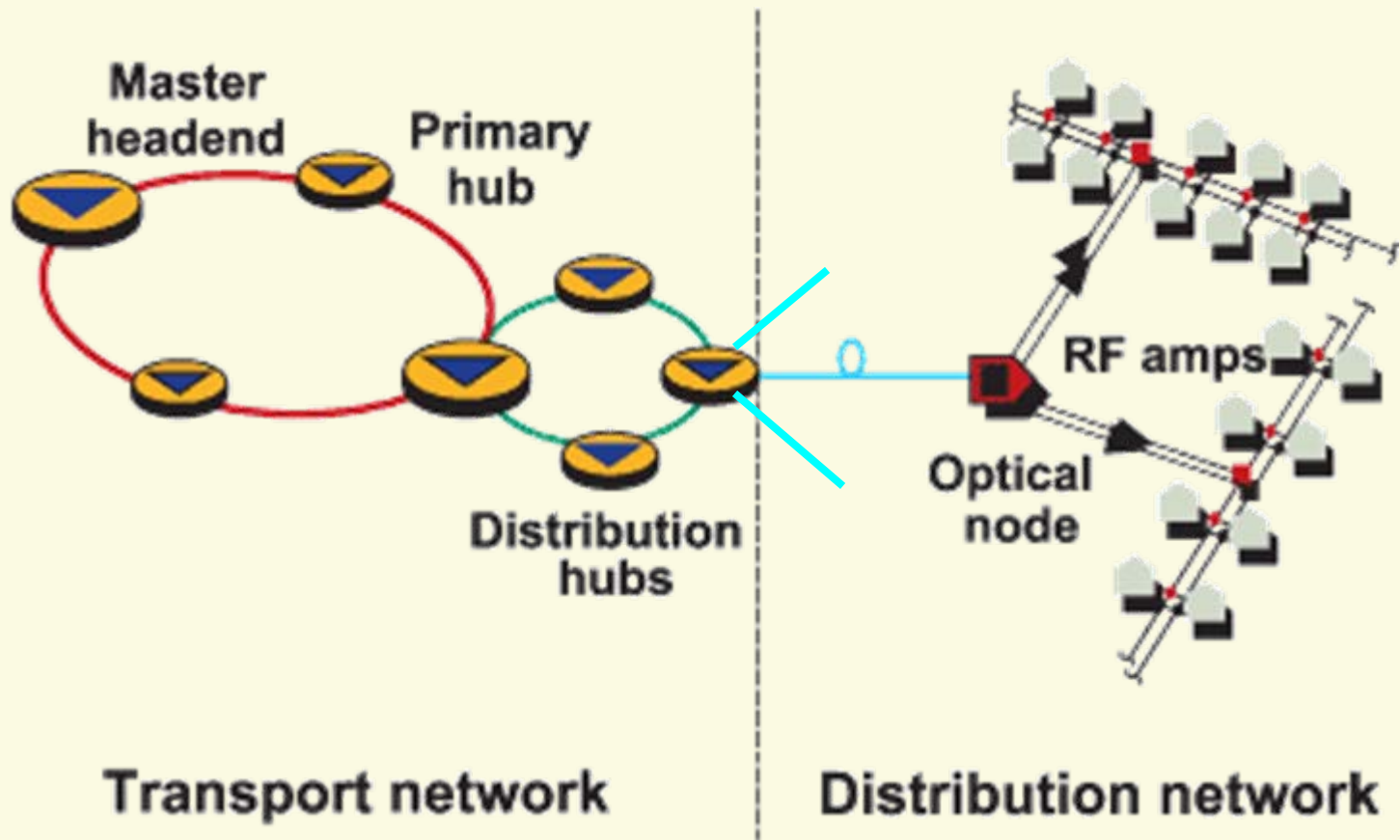
- 用户线容量为56kbit/s时，下载一幅4.5Mbit的图片需时： $4500/56=80.4$ [s]，近1.5分钟。
- 如果用光纤作用户线，假定分配给每个用户的容量为1Gbit/s，所需时间仅为 $4.5/1000=4.5$ [ms]。
- 光纤到户（FTTH）和光纤到办公桌（FTTD）显然是解决问题的最终方案，也是目前电子信息 and 通信领域的研究开发热点
- 不幸的是，这一方案何时能够成为现实尚无法预见!!!

目前的宽带接入网解决方案

目前的研究和开发主要集中在不用光纤替换已有双绞线拓展接入网带宽方面，主要包括：

- 利用先进的调制和编码技术在双绞线上实现大容量信息传输。包括ISDN、B-ISDN、xDSL (x=A, H, V, U) 等技术。其中ADSL (上行64 ~ 640kbps, 下行1.536 ~ 6.144Mbps) 已普遍进入商用。专用网线可达100Mbps
- 利用现有CATV网接入 (500k ~ 4Mbps或160Mbps)
- 利用现有移动通信网进行无线接入
- 虽然目前光纤无法与上述方案在接入网上竞争，但全光接入网仍被认为是宽带接入网的最终解决方案

CATV Fiber Networks

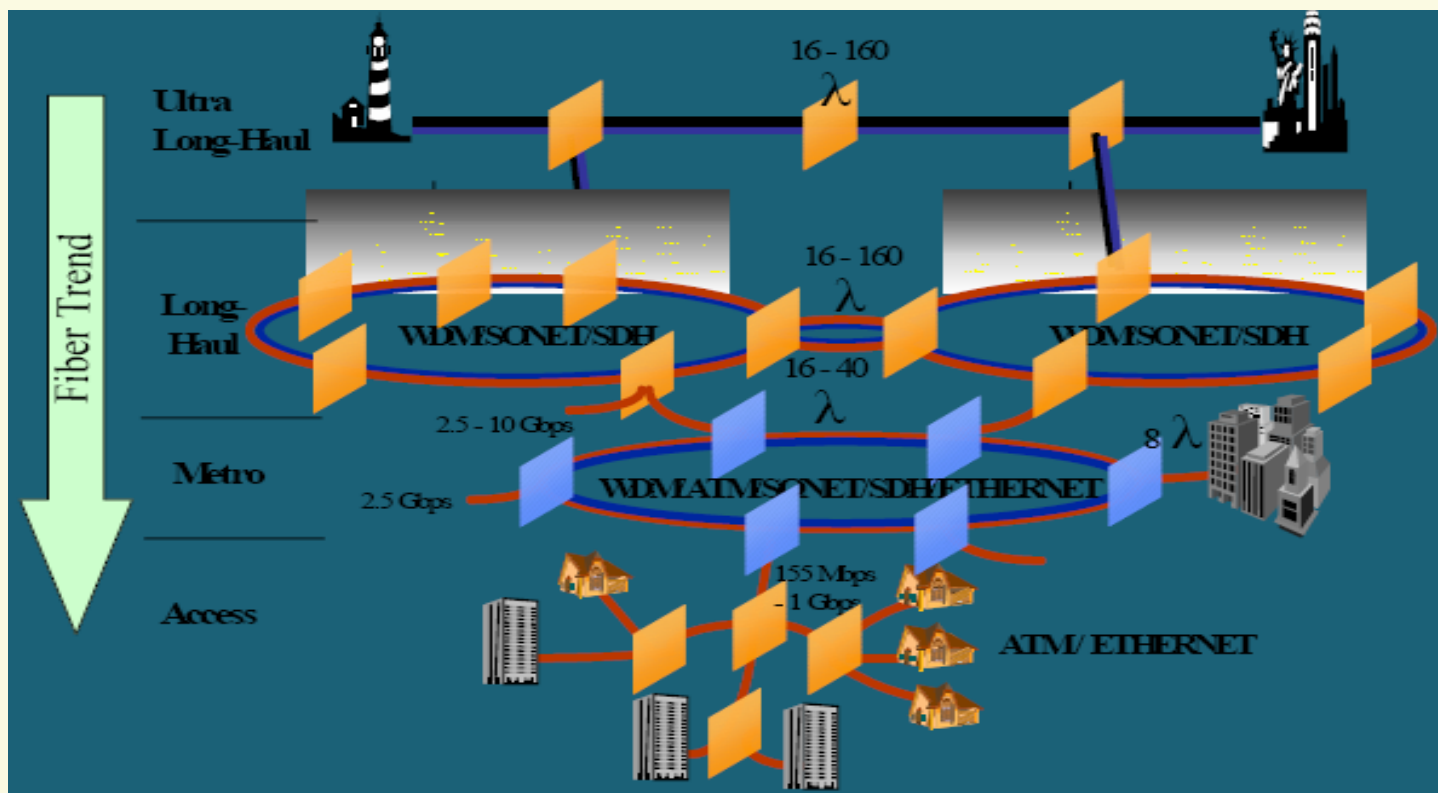


HFC—Hybrid Fiber Coax Systems

同轴电缆容量约160Mbit/s，不能满足双向综合业务、数字电视等的需要

光纤正逐步走向最终用户

随着光收发器和光端机技术的日益成熟和成本的降低，光纤不断接近最终用户(FTTC, FTTZ, FTTB, FTTO)，终极目标是FTTH和FTTD。

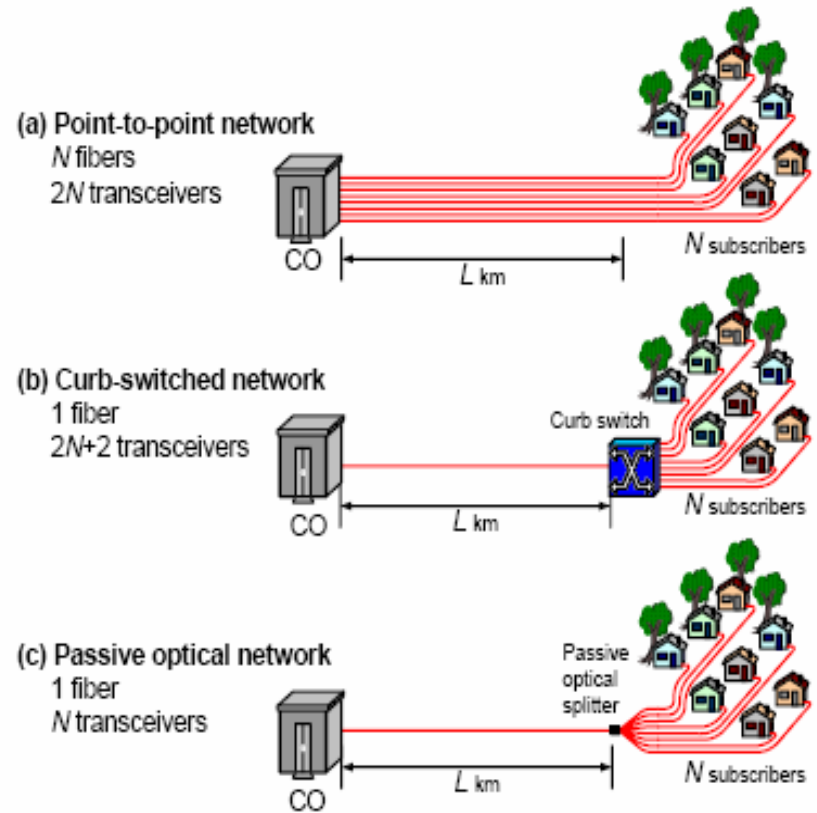


FTTH

- Why Fibre-to-the-Home (FTTH / FTTP) ?
 - User pressure for higher bandwidth
 - » Remove last mile bottleneck between multi-Gbps worlds
 - Overcome Copper limitations
 - » Bandwidth
 - » Distance
 - » Noise / crosstalk / asymmetry
 - Convergence: voice, video, data

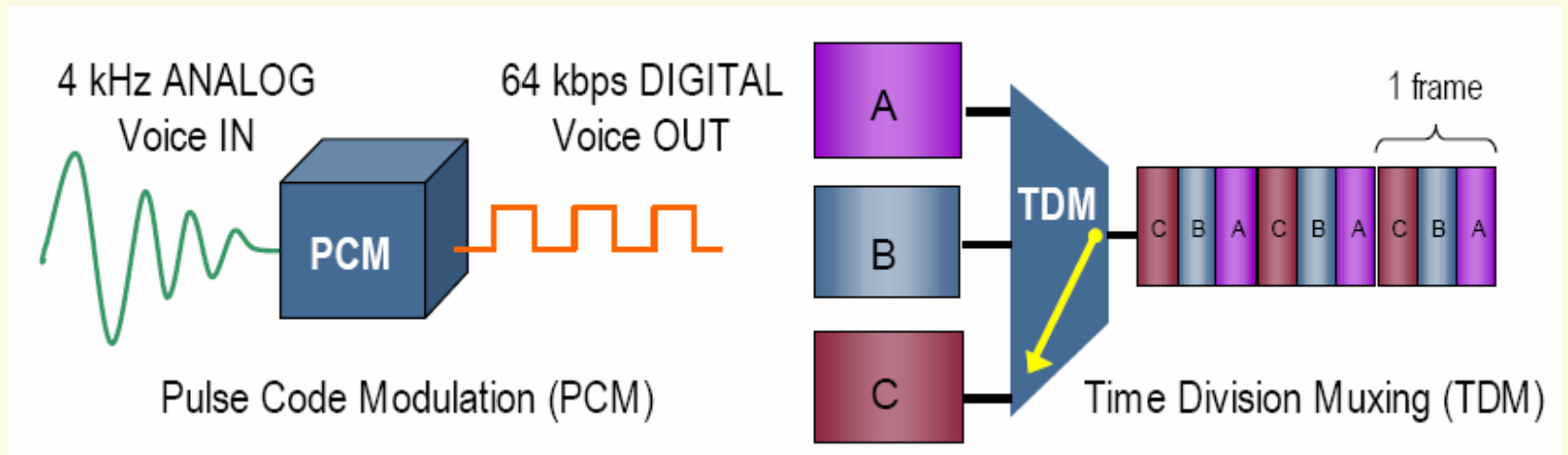
FTTH Technology

- (a) P2P (Point-to-Point) network
- (b) AON (Active Optical Network)
- (c) PON (Passive Optical Network)
 - E-PON: Ethernet based (10-1000 Mbps each way)
 - A-PON: ATM based
 - » B-PON (622 Mbps down / 155 Mbps up)
 - » G-PON (2.4 Gbps down / 622 Mbps up)



数字复接体系

PCM与TDM



数字复接体系

➤ 准同步数字体系(PDH)

T制式：美国、日本

E制式：其余地区

➤ 同步数字体系(SDH)/同步光网络(SONET)

具有全球统一的技术规范和接口标准

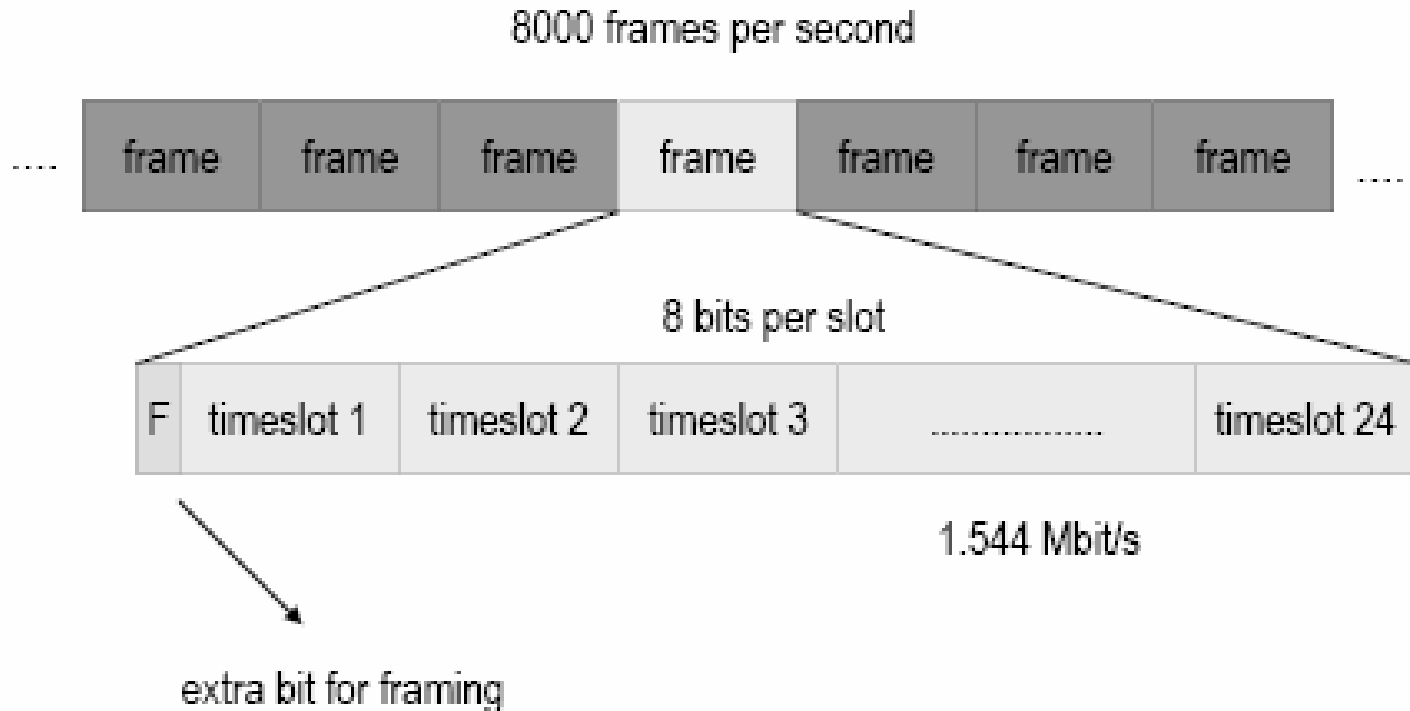
A spiral-bound notebook with a light beige, textured cover. The spiral binding is on the left side. The text is centered on the page.

Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)

PDH的历史与制式

- 建立于1960s，用于取代传统的模拟电话传输系统
- 北美和日本采用T制式，由24路语音信号(每路64kb/s)用TDM方式复用为基群(T1)
- 中国与欧洲采用E制式，基群信号(E1)包含30路话音和2路同步与信令信号

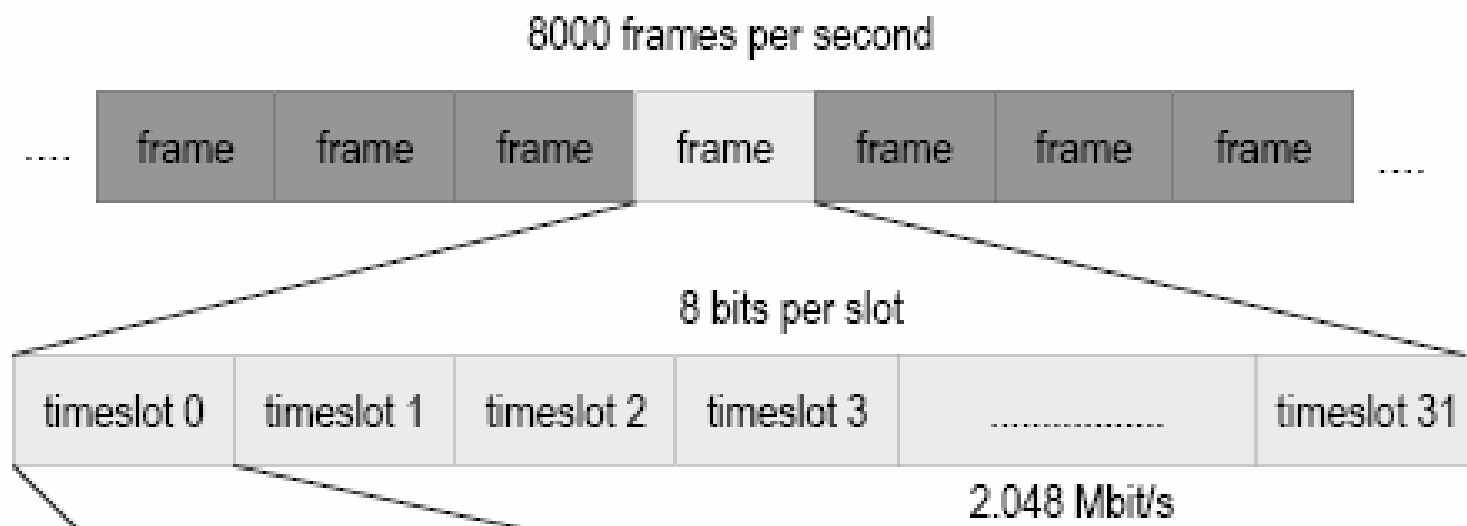
T1 Basic Frame Structure



$$8 \text{ bit/sample} \times 24 \text{ samples/frame} + 1 \text{ bit/frame} = 193 \text{ bit/frame}$$

$$193 \text{ bit/frame} \times 8000 \text{ frame/s} = 1.544 \text{ Mbit/s (T1)}$$

E1 Frame Structure



TS0: 帧同步

TS16: 信令码

$8 \text{ bit/sample} \times 32 \text{ samples/frame} = 256 \text{ bit/frame}$

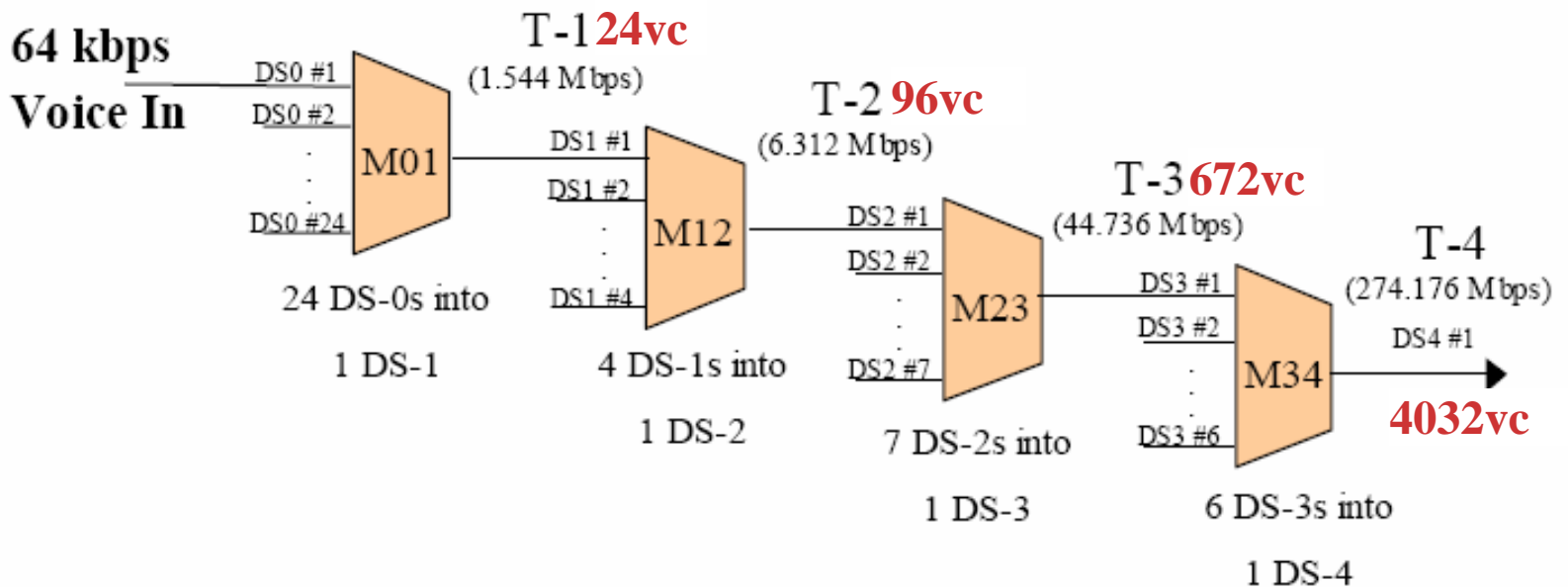
$256 \text{ bit/frame} \times 8000 \text{ frame/s} = 2.048 \text{ Mbit/s (E1)}$

复帧

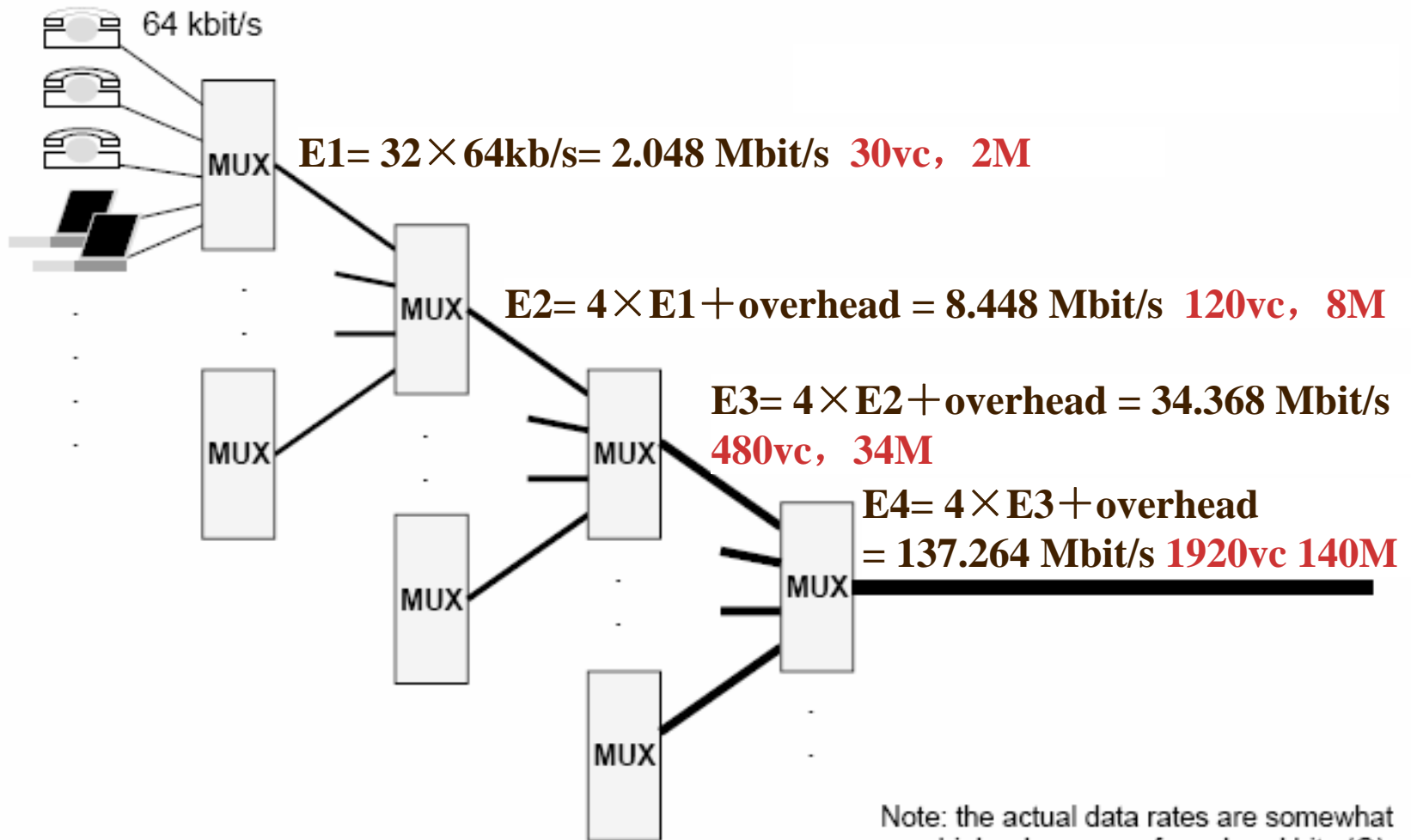
- **E制式 (PCM30/32)**：由**16**帧构成复帧，以提供必要的信令（连接的建立与控制、网管等业务指令）和帧同步信息
- **T制式 (PCM24)**：由**12**帧构成复帧（**D4**格式）或由**24**帧构成扩展复帧（**ESF**）

T制式下的数字信号(DS)复接等级

- Faster T-carrier signals (DS-n) are formed by bit-interleaving slower T-carriers & adding overhead (frame sync, error check, facility data link)



E制式下的数字信号复接等级



Frame Duration

- Samples (bytes) must arrive in $125\ \mu\text{s}$ intervals
 - ◆ So receiver gets 8000 samples (bytes) per second
 - ◆ Higher order frames must ensure the same frequency per channel



Terminology: Digital Signal Levels

- Note: Different terms for
 - ◆ Signal (Framing layer)
 - ◆ Carrier system (Physical Layer)
- North America
 - ◆ American National Standards Institute (ANSI)
 - ◆ DS-n = Digital Signal level n
 - ◆ Carrier system: T1, T2, ...
- Europe
 - ◆ Conference of European Post and Telecommunications (CEPT, now ETSI)
 - ◆ CEPT-n = ITU-T digital signal level n
 - ◆ Carrier system: E1, E2, ...

Why Plesiochronous?

- Limitations of 1960s technology
 - ◆ No buffering of frames at high speeds possible
- Goal
 - ◆ Fast delivery, very short delays (voice!)
- Solution
 - ◆ Immediate forwarding of bits
 - ◆ Bit stuffing instead of buffering
- Plesiochronous = "nearly synchronous"
 - ◆ Network itself is not synchronized but fast
 - ◆ Sufficient to synchronize sender and receiver

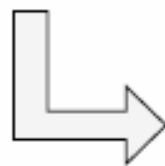
Worldwide Digital Signal Levels

North America

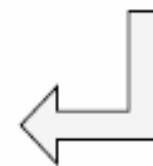
Signal	Carrier	Channels	Mbit/s
DS0		1	0.064
DS1	T1	24	1.544
DS1C	T1C	48	3.152
DS2	T2	96	6.312
DS3	T3	672	44.736
DS4	T4	4032	274.176

Europe

Signal	Carrier	Channels	Mbit/s
DS0	"E0"	1	0.064
CEPT-1	E1	32	2.048
CEPT-2	E2	128	8.448
CEPT-3	E3	512	34.368
CEPT-4	E4	2048	139.264
CEPT-5	E5	8192	565.148

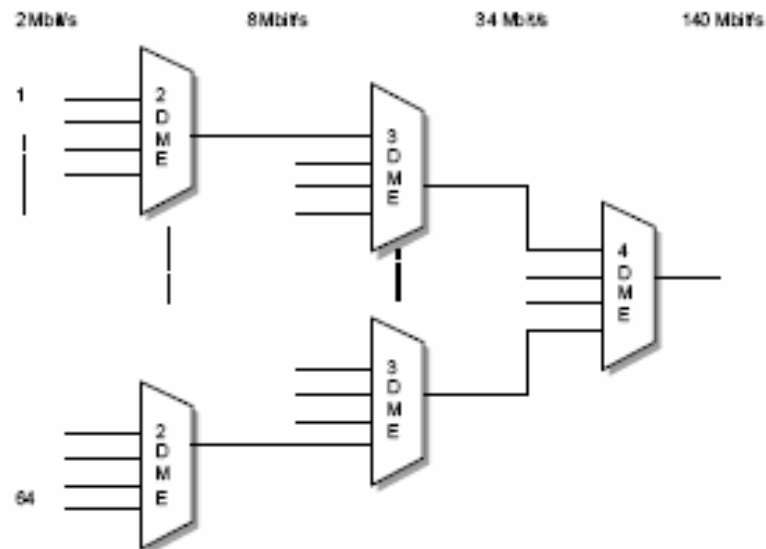


- Incompatible MUX rates
- Different signalling schemes
- Different overhead
- μ -law versus A-law

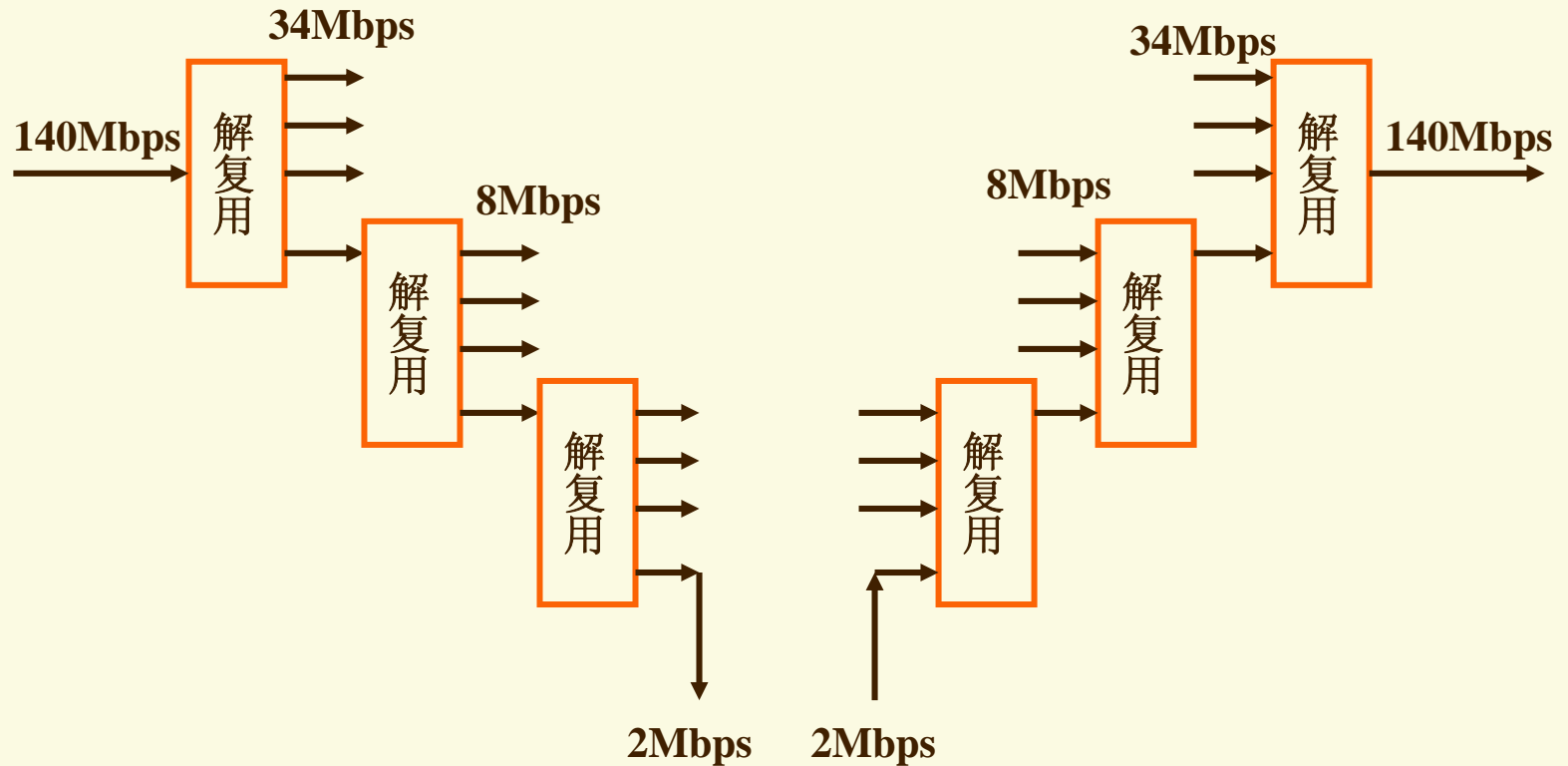


PDH的复用方式

- PDH Multiplexing of 2 Mbit/s to 140 Mbit/s requires 22 PDH multiplexers:
 - 16 x 2DME
 - 4 x 3DME
 - 1 x 4DME
- Also a total of 106 cables required.



PDH的上下话路方式



- If a small number of 2 Mbit/s streams passing through a site need to be dropped then in PDH this requires large amount of equipment to multiplex down to 2Mbit/s.

PDH的不足

- 存在互不兼容的PDH体系（T和E制式）
- 各支路采用独立的时钟，时钟允许偏差 $\pm 50\mu\text{s}$ ($\pm 100\text{b/s}$)，在复接时需要通过插入比特进行码速调整
- 需要逐级解复用才能从高速信号中获取低速信号，低速信号也需逐级复用至高速信号，上下话路设备复杂
- 不适用于Gbit/s以上的高速信号，不仅上下话路设备复杂，而且帧头开销迅速加大，但路由、网管能力却非常不足
- 只针对电通信系统设计，无光接口规范，不同制造商的产品互不兼容

A spiral-bound notebook with a light beige, textured cover. The spiral binding is on the left side. The text is centered on the page.

Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

SDH的历史

- 光纤通信技术的发展使得针对Mbit/s传输容量设计的PDH必须改变
- **SONET— Synchronous Optical Network**：1986年美国Bellcore通信研究所提出，并成为美国标准
- 随后欧洲提出SDH数字速率体系
- 1988年，CCITT（现ITU-T）在SONET的基础上提出了新的数字传输体系国际标准，并正式命名为同步数字体系（SDH）

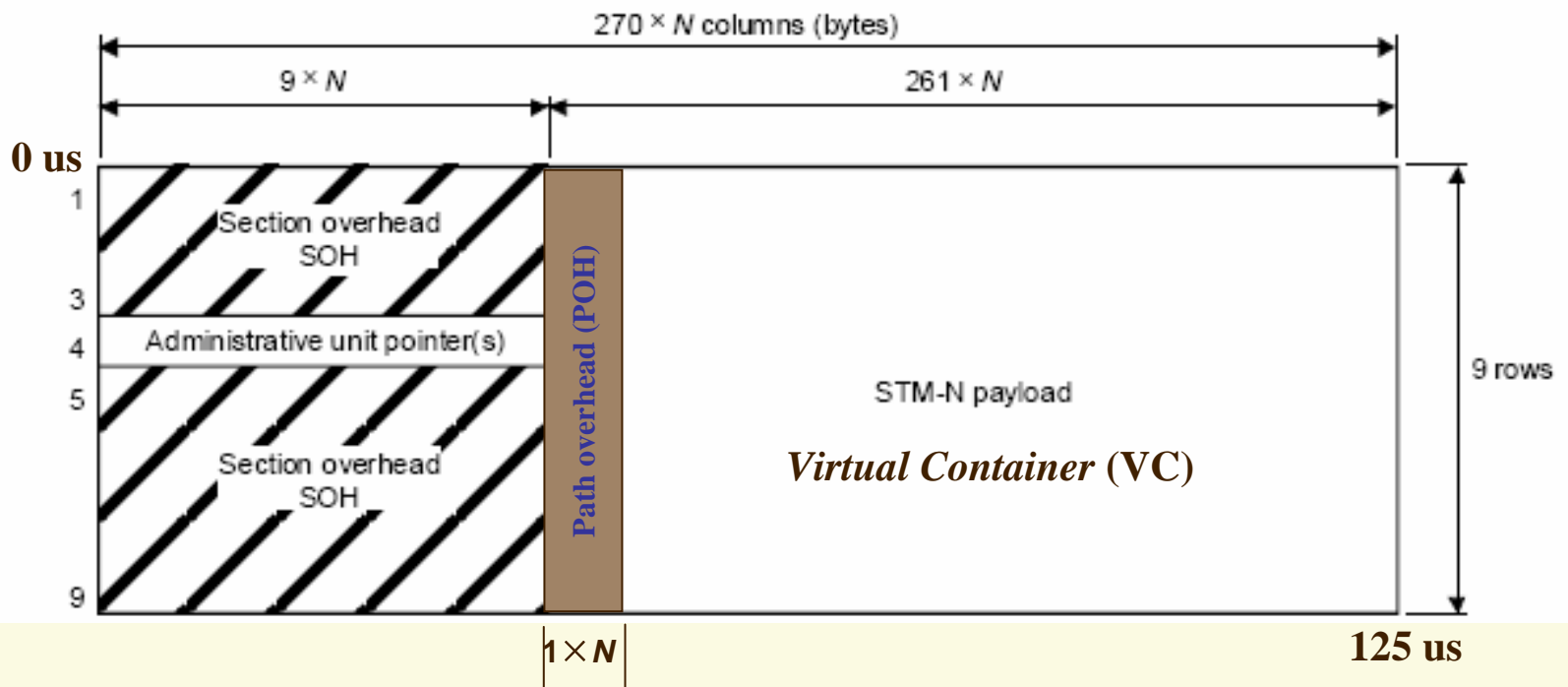
SONET/SDH速率等级

- **STS-N**— **Synchronous Transport Signals** 同步传送信号: SONET在电域的的信号等级
- **OC-N**— **Optical Carrier** 光载波信号: SONET在光域的信号等级
- **STM-N**— **Synchronous Transport Modules** 同步传送模块: SDH速率等级

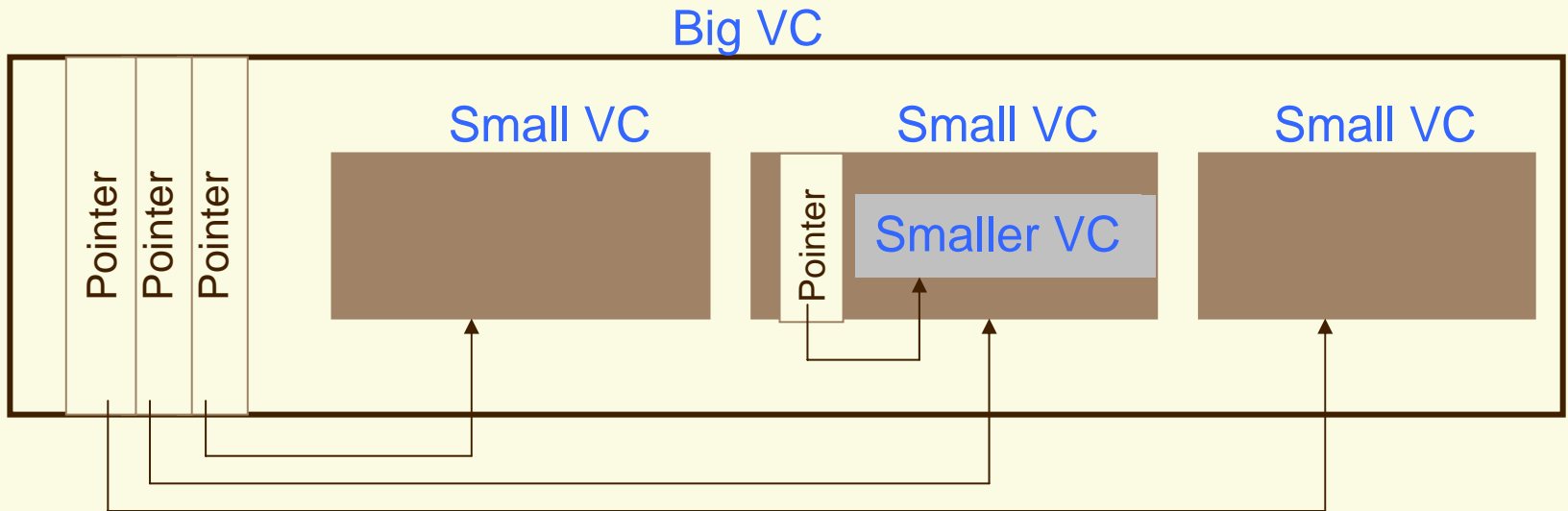
SONET Signal	SDH signal	Bit rate [Mb/s]
STS-1		51.84
STS-3 (OC-3)	STM-1	155.52 155Mb/s
STS-12 (OC-12)	STM-4	622.08 622Mb/s
STS-24		1244.16
STS-48 (OC-48)	STM-16	2488.32 2.5Gb/s
STS-192 (OC-192)	STM-64	9953.28 10Gb/s

STM-N帧结构

- STM-N frame structure is shown in the Figure below. The three main areas of the STM-N frame are indicated:
 - SOH;
 - Administrative Unit pointer(s);
 - Information payload.



Multiplexing Structure in SDH

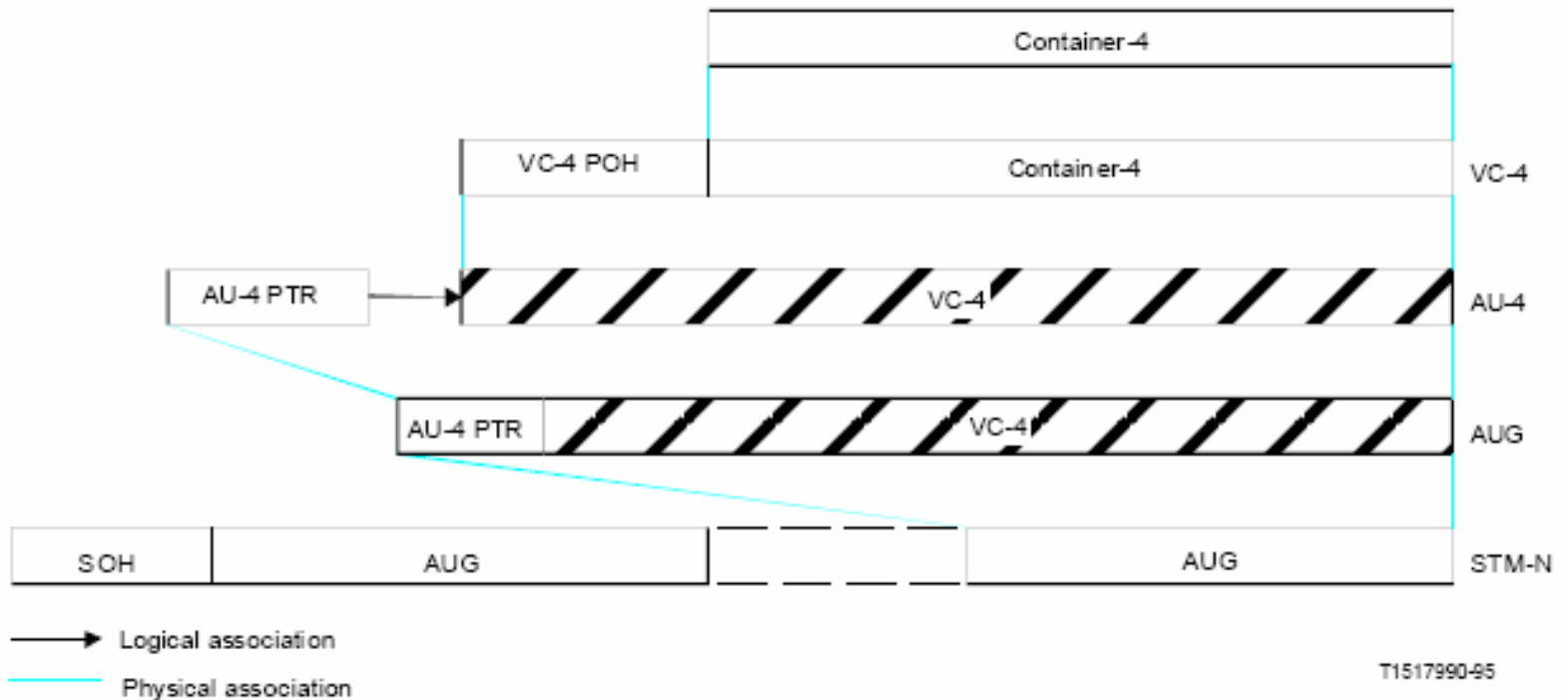


ITU-T G.709协议

- 5种容器（集装箱）C（Container）速率等级：C-11, C-12, C-2, C-3, C-4 that carry 1.6, 2.176, 6.784, 48.384, 149.76 Mb/s PDH streams
- VC = POH+C : VC-11, VC-12, VC-2, VC-3, VC-4 that carry 1.664, 2.246, 6.848, 48.96, 150.336 Mb/s
- STM-1 = *synchronous Transport Module* = 155 MB/s

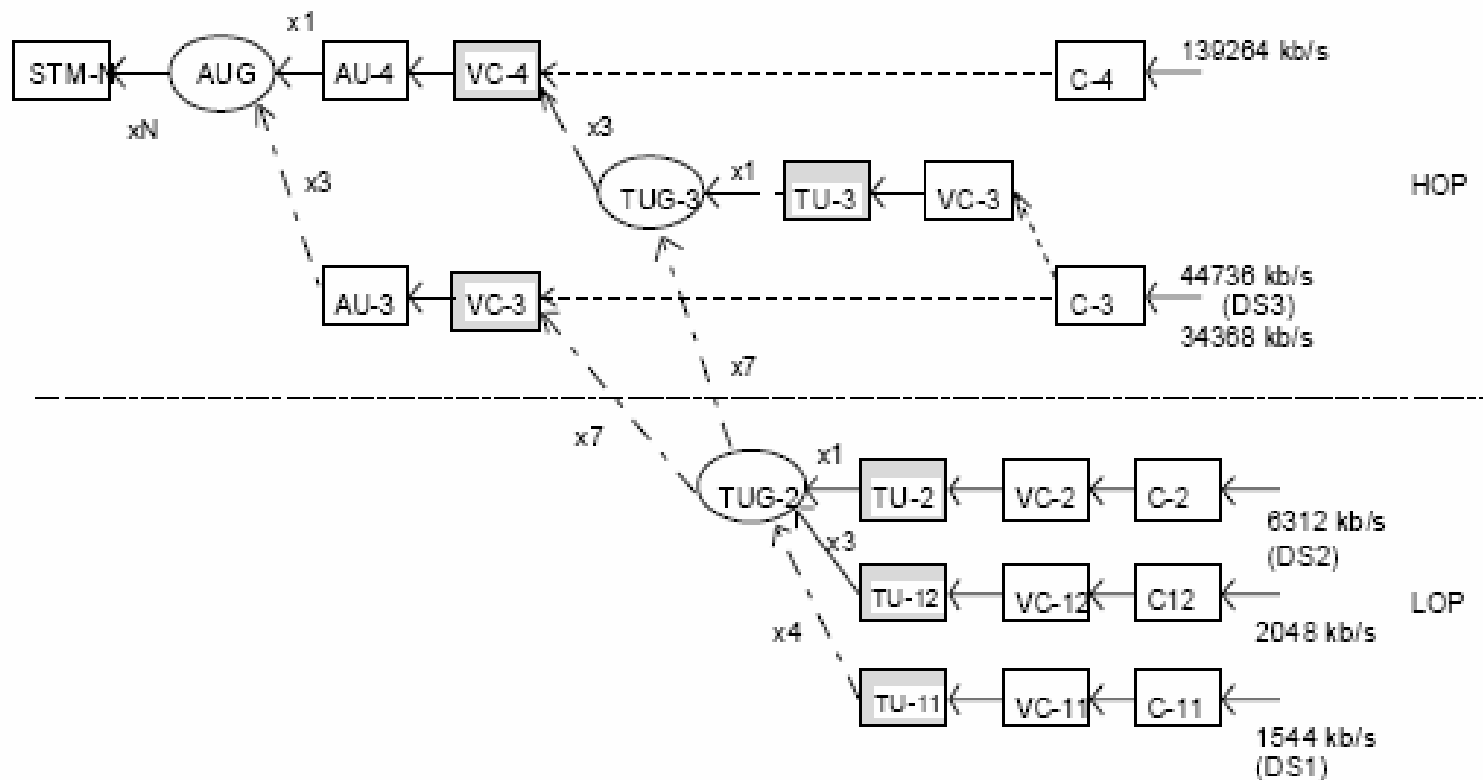
From C4 to STM-N

- C-4 container being mapped into an STM frame via a VC-4 virtual container



SDH复接体系

- SDH defines a multiplexing hierarchy that allows all existing PDH rates to be transported synchronously.
- The following diagram shows these multiplexing paths:



SDH网络单元设备

➤ 终端复用器 (TM)

低速信号的复接/分接，与PDH、ATM、IP等的业务适配

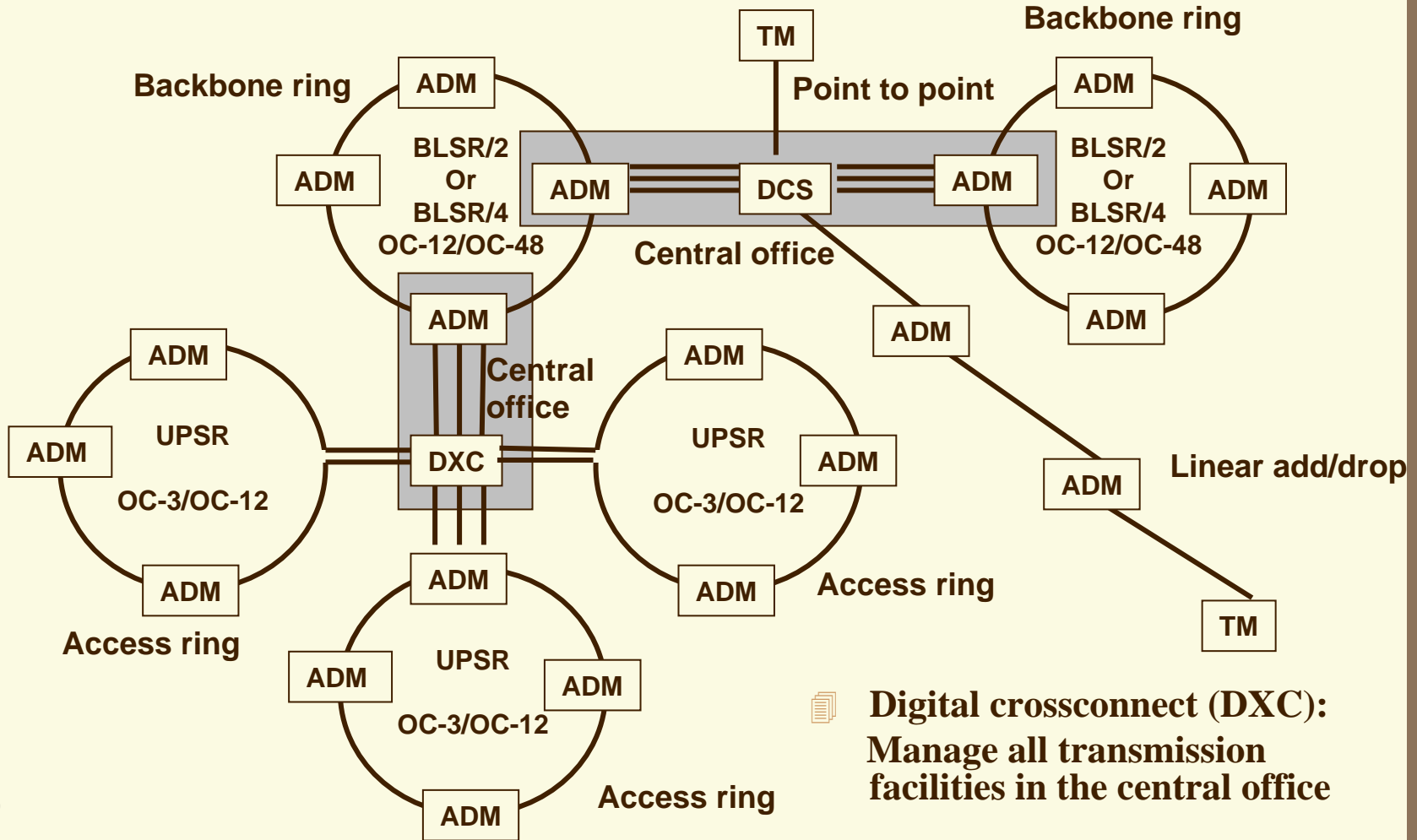
➤ 分插复用设备 (ADM)


低速支路信号的上下话路，含复接/分接功能

➤ 数字交叉连接设备 (DXC)

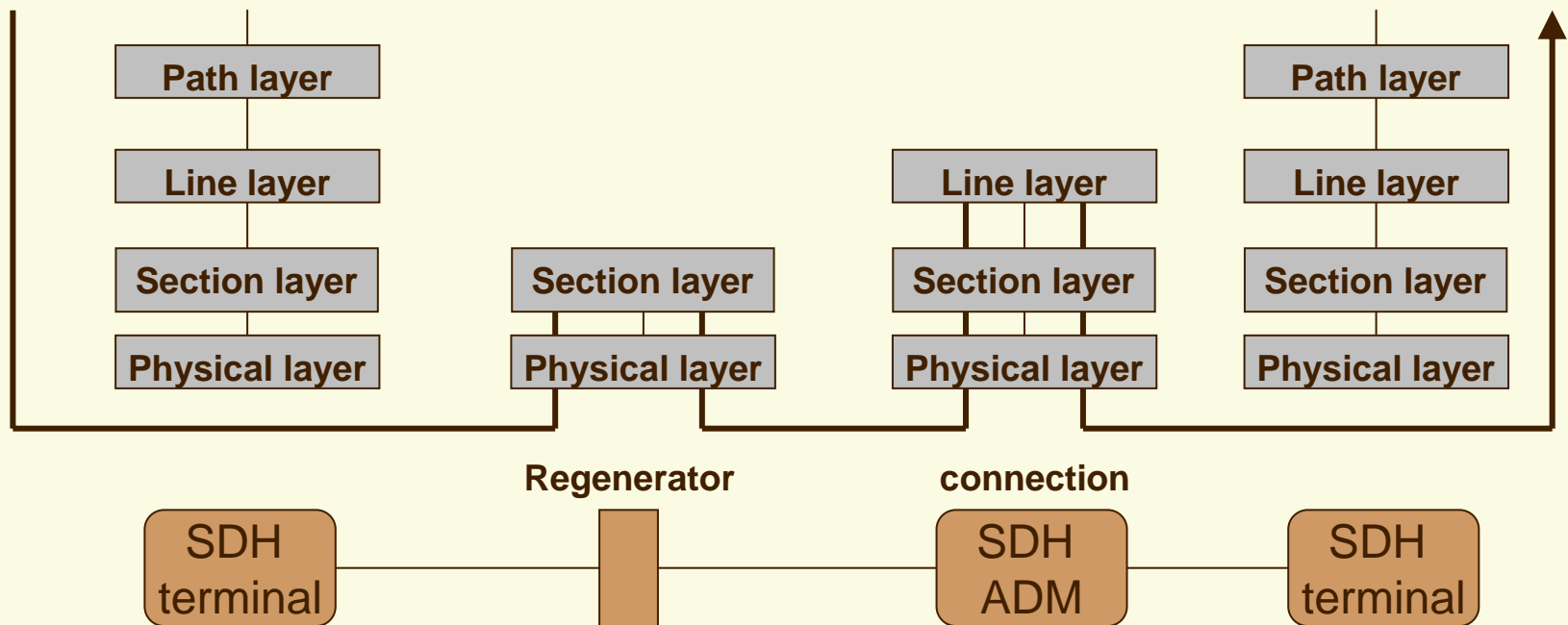
多端输入/输出，提供适当的端到端交换连接

SDH网络结构举例



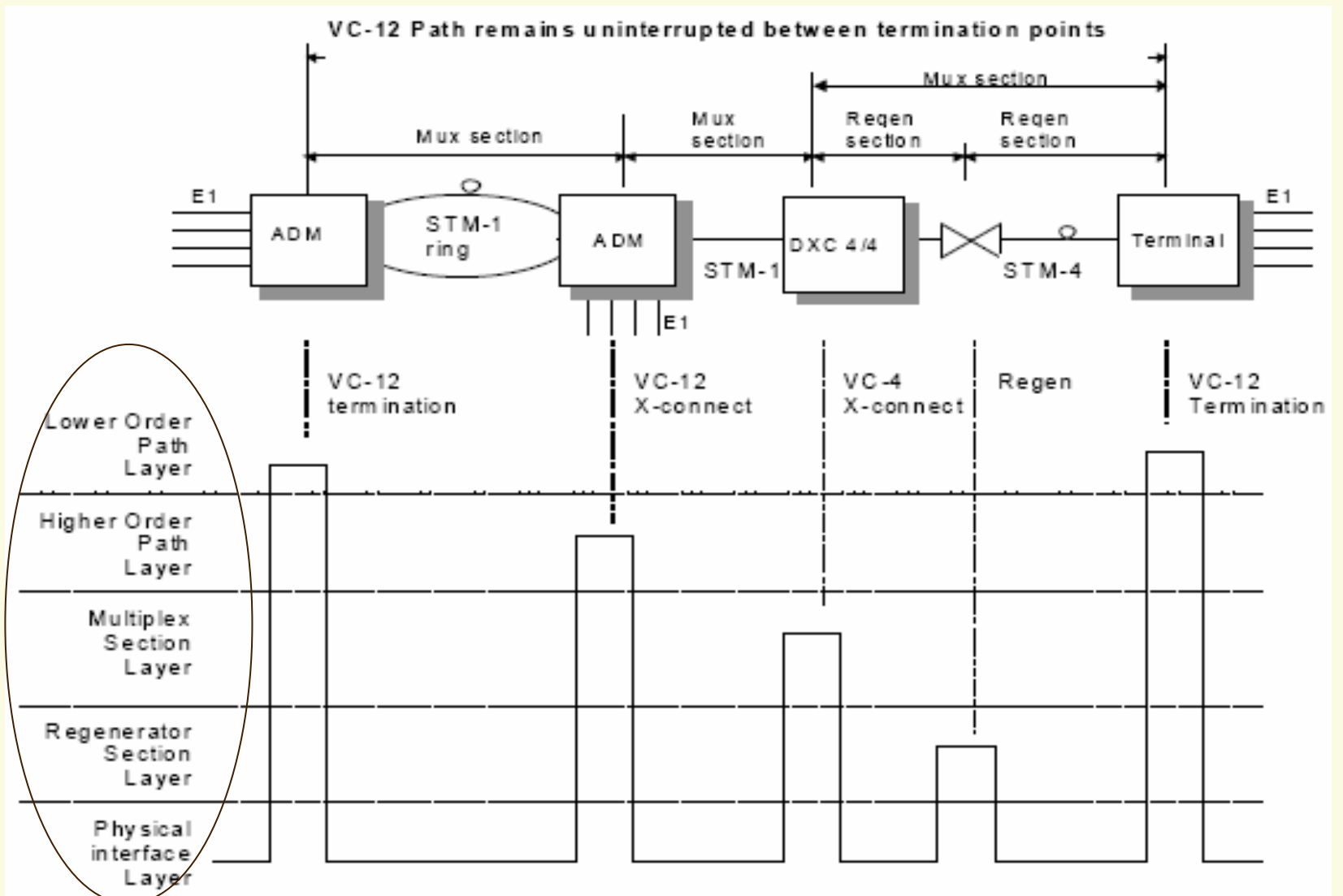
 **Digital crossconnect (DXC):**
Manage all transmission facilities in the central office

SDH分层模型



- 物理层：光纤、电缆和微波以及相应的接口规范，负责比特传送
- 再生段层：信号再生时的误码监控、复用和交换信息的保护
- 复用段层：信号的复用/解复用，并提供网络的运行、管理和保护功能
- 通道层：源和目的地之间的通道连接，及其状态的监视和跟踪

SDH分层模型



网络生存性（自动保护倒换与恢复）

➤ 1+1保护

信号同时在两根光纤上传输，接收端择优判决

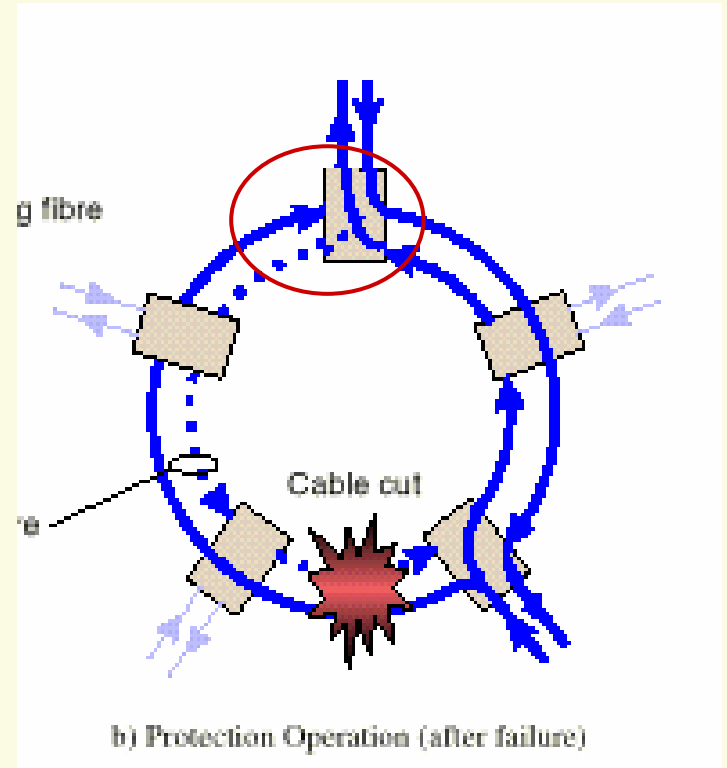
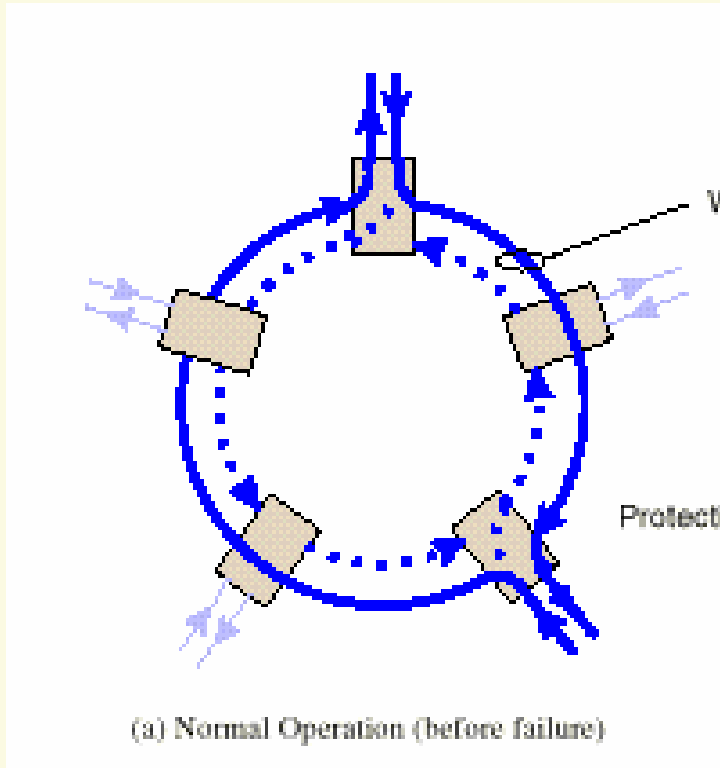
➤ 1:1保护

节点间用两根光纤连接，保护光纤备用，当工作光纤故障时自动切换至备用光纤

➤ 1:N保护

一条备用光纤为节点间的N条工作光纤提供保护

SDH自愈环



交换技术

电路交换 (Circuit Switching)

- 通信期间，在两个用户间建立一条实际的物理信道
- 包括信道建立、信息传送和信道拆除三个过程
- 优点：信道的专用性和通信的实时性，适合语音和视频会议等需要保障服务质量(QoS—Quality of Service) 的场合
- 缺点：线路利用率低（电话<50%；计算机通信<10%）
- 例子：PDH, SDH

分组（包）交换（Packet Switching）

- ❏ 将信息分成一个个小的数据分组（包），并对每一分组添加地址、控制和错误校验信息
- ❏ 分组交换机根据各线路的流量和排队情况对每一分组独立进行路由选择
- ❏ 在接收端需要对收到的分组重新排序，组装并恢复原始信息
- ❏ 优点：无专用通道，线路带宽利用率高
- ❏ 缺点：数据分组存在随机时延，实时性较差，QoS得不到保障
- ❏ 例子：IP网络

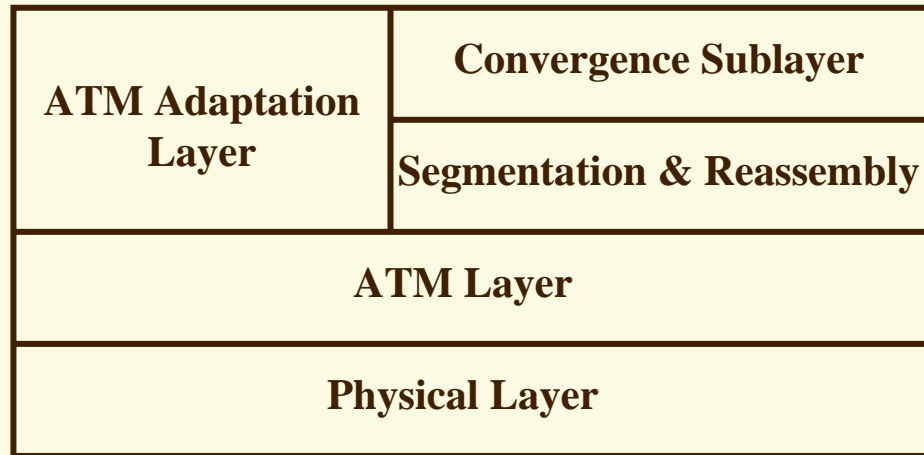
异步传送模式 (ATM)

- ATM— Asynchronous Transfer Mode 综合了电路交换与分组交换的优点
- 信息被分成固定长度的分组，ATM信元 (cell) 长53字节 (bytes)，信头5字节，有效载荷 (payload) 48字节
- 信头包括源地址，目的地址，信息类型与等级，信头校验等信息
- 在通信开始前首先建立虚路径与虚通道(非专用的逻辑链接)，虚电路只在传送信息时占用；通信结束后拆除
- ATM信元无须进行统计性随机路径选择，ATM交换机根据信头的指示将信元安排在预先建立的虚路径和虚通道中排队和传送
- 信元顺序传送

ATM的突出特点

- ☞ 定长信元适合用硬件进行快速交换
- ☞ 线路带宽利用率高
- ☞ 通过预先建立的虚电路进行传送具有较高的实时性和QoS保障
- ☞ 支持任何类型的信息传送(语音、数据和视频), 有利于加快三网合一的综合业务进程
- ☞ 信元结构简单, 易于网络的运行、管理和维护(OAM)
- ☞ 易于与其它技术 (IP, SDH等) 集成

ATM的分层模型



➤ 物理层

负责信元传送，可以是SDH传送网，也可以是全光WDM网络

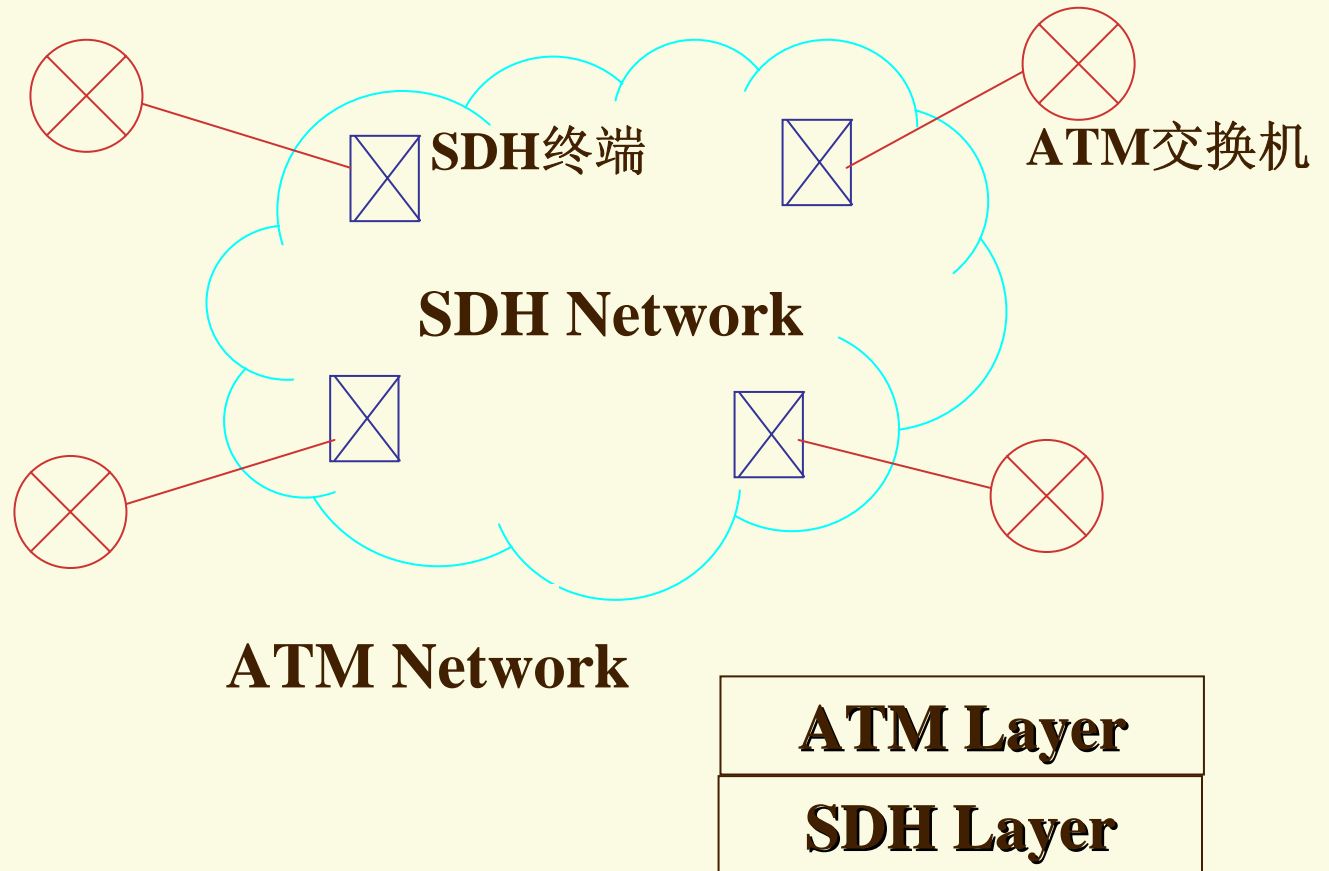
➤ ATM层

负责阅读和解释信头中的VPI和VCI等路由信息

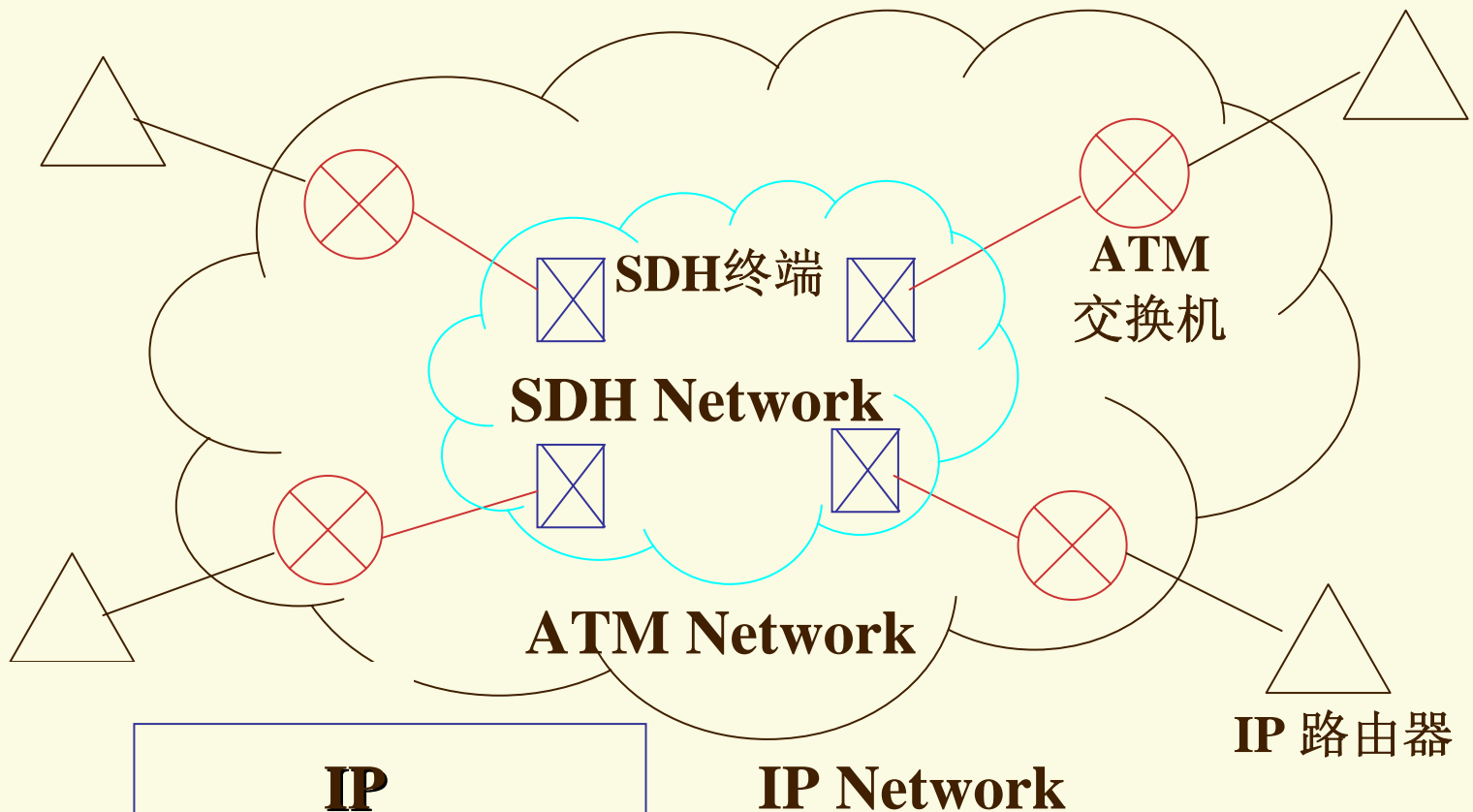
➤ ATM适配层

负责用户数据的分切和重新组装，对信息的类型和等级进行标识

ATM over SDH



IP, ATM, and SDH Networks



IP
ATM
SDH

A spiral-bound notebook with a light beige, textured cover. The spiral binding is on the left side. The text "Summary and Comments" is written in a bold, brown, serif font in the center of the page.

Summary and Comments

Summary

- 📄 接入网瓶颈—**FTTH**, **FTTD**是最终解决方案
- 📄 目前解决方案—**xDSL**, **CATV**, 无线接入
- 📄 **FTTH**的技术方案—**AON**, **PON**
- 📄 数以百万计用户的信息汇集至光纤传送网, 对传送网容量的需求也日益增长
- 📄 数字复接技术: **PDH**, **SDH/SONET**
- 📄 交换技术: 电路交换 (**PDH**, **SDH**), 包交换 (**IP**)
- 📄 面向连接的分组交换技术—**ATM**
- 📄 目前的网络技术—**ATM/SDH**, **IP/ATM/SDH**

Comments

- ❏ 光纤WDM技术使光纤的传输容量成百倍增长
- ❏ OTDM, OCDM以及空分、波分、时分、码分等光交换技术以及光标签交换等的研究日新月异
- ❏ 目前增加光纤传送网容量的技术集中在SDH/WDM, ATM/WDM, IP/WDM等几个方面进行研发
- ❏ SDH, ATM, IP等技术均是传输带宽有限情况下的产物, 其分层结构需要进行大量界面数字信号处理, 限制了网络的运行速度
- ❏ 理想的解决方案是直接在光域实现网络的全部功能—构建全光通信网
- ❏ 全光网最有可能首先在WDM的基础上实现, 波分复用器WDM, 光分插复用器OADM和光交叉连接设备OXC等均已实现商品化, 但工业界认为其价格和性能仍未达到可以大规模应用的水平
- ❏ 全光化面临的问题—标准、技术、结构和协议的缺乏