

第二章 物理层(2)

袁华: hyuan@scut.edu.cn

计算机科学与工程学院

广东省网络重点实验室

热身问题

- 物理层的主要功能是什么？
- 奈奎斯特定理和香农定理分别是什么？
- 非屏蔽双绞线UTP的优点和缺点分别是什么？
- 光纤的优点和缺点分别是什么？
- 第一层设备为什么逐渐消亡？

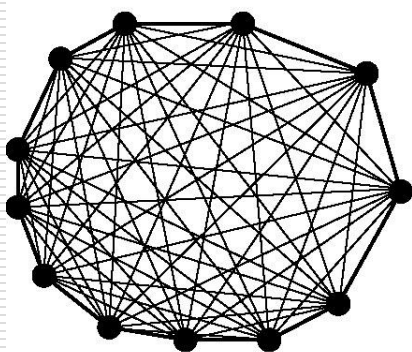
本节主要内容

- 为什么还要学习公共交换电话网络（PSTN: Public Switched Telephone Network）？
 - 最方便的已有通信设施，跟计算机网络紧紧联系在一起
- 公共交换电话网络的主要构成及技术
 - 本地回路：调制技术
 - The Local Loop: Modems
 - 干线及复用技术
 - Trunks and Multiplexing
 - 交换

PSTN的结构变迁 P109

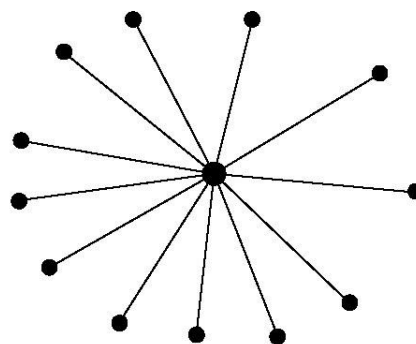


- PSTN (Public Switched Telephone Network) 是世界范围内的话音电话网络的互联集合，又被称作 POTS (Plain Old Telephone Service).



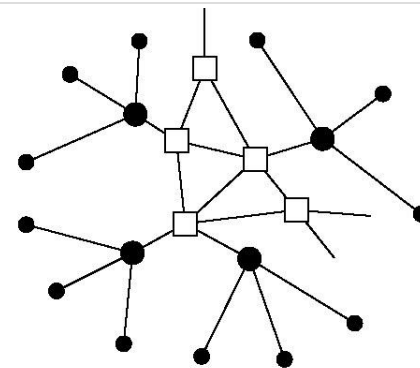
(a)

(a) Fully-interconnected network.



(b)

(b) Centralized switch.



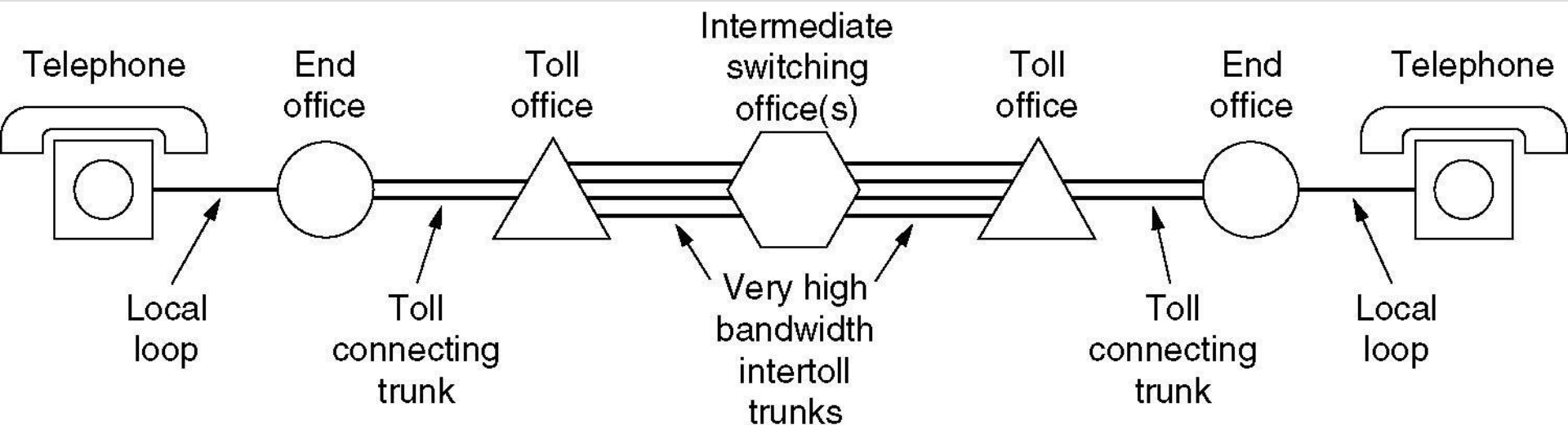
(c)

(c) Two-level hierarchy.



PSTN的结构 P110

一个中距离电话的典型路径



PSTN的主要构成 P110

□ 本地回路（Local loops）

- 模拟线路，进入千家万户和业务部门

□ 干线（Trunks）

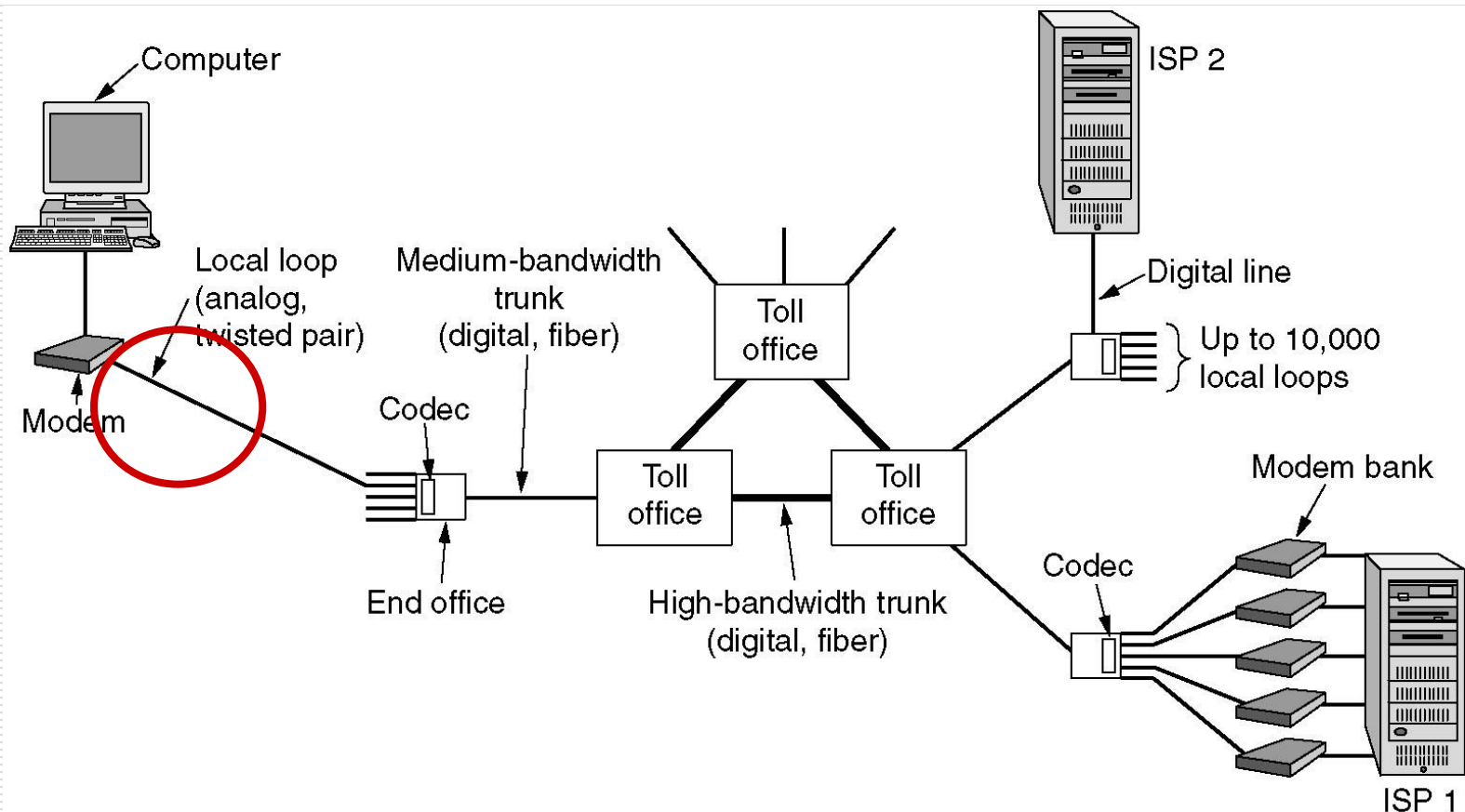
- 数字光纤，连接交换局

□ 交换局（Switching offices）

- 话音接驳干线的场所

调制解调器 (Modems) P113

□ 完成数字信号和模拟信号间的转换。



本地回路 p114

- 传输线路存在3个主要的问题：
 - 衰减 (Attenuation)
 - 延迟畸变 (Delay distortion)
 - 噪声 (Noise)
- 数字信号中的方波，有一个较宽的频谱（通常是高频），衰减和延迟畸变均很严重。

调制解调器 (Modem, 猫)

- 在本地回路上，引入一个正弦波 (sine wave **carrier**) 来承载和传输信号：
 - 幅度：两种不同的幅度用来表示0和1
 - 频率：不同的频率表示不同的值
 - 相位：不同的相位可表示不同的值 (45, 135, 225, or 315 °).
- 调制解调器：位于计算机和PSTN最后一英里之间，用于将计算机产生的位序列转变为载波输出，或者相反。



基本的调制技术 P102

□ 数字信号转化为模拟信号

- 调幅=移幅键控 (AM, Amplitude-shift keying (ASK))

- 载波的不同幅度

- 调频=移频键控 (FM, Frequency-shift keying (FSK))

- 载波的不同频率

- 调相=移相键控 (PM, Phase-shift keying (PSK))

- 载波信号移动的不同相位

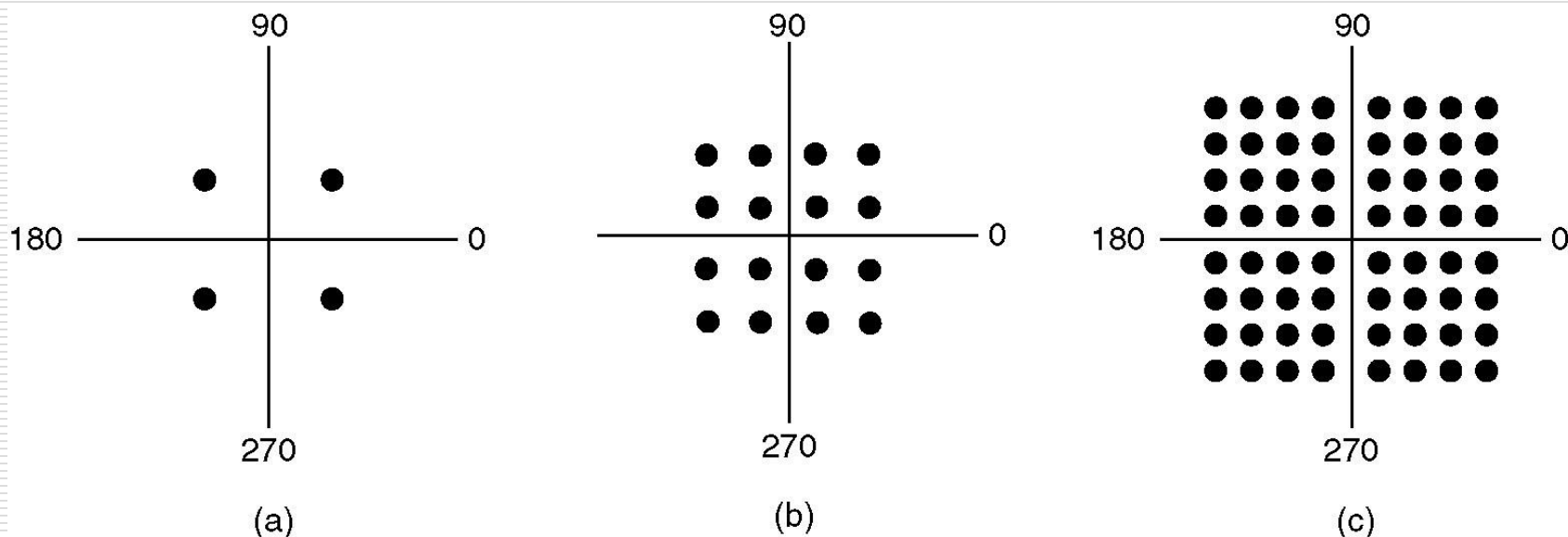
调制解调器

- 采样率（波特率）：每秒采样的次数，单位波特 **baud**（P99）。
- 在QPSK中，使用了4个相位角度，每次采样（码元、样本）可表达的级别有4个，即每次码元可表示2比特。比特率（信号传输速率）是波特率的2倍。
- QAM-64 (，正交振幅调制，**Quadrature Amplitude Modulation-64**) 允许 **64** 个不同的组合，即64个信号级别，所以每个码元可传输**6 bits**。

什么是码元？

- ❑ **码元**是承载信息量的基本信号单位。
- ❑ 在数字通信中常常用**时间间隔相同**的符号来表示一个二进制数字，这样的时间间隔内的信号称为(二进制)码元。
- ❑ 在使用时间域（或简称为时域）的波形表示数字信号时，代表**不同离散值的基本波形**称为码元。
- ❑ 波特率其实就是1秒钟能够发送的码元的个数，所以也叫码率。

不同的基本调制方法的组合



Constellation Diagrams:

(a) QPSK.

(b) QAM-16.

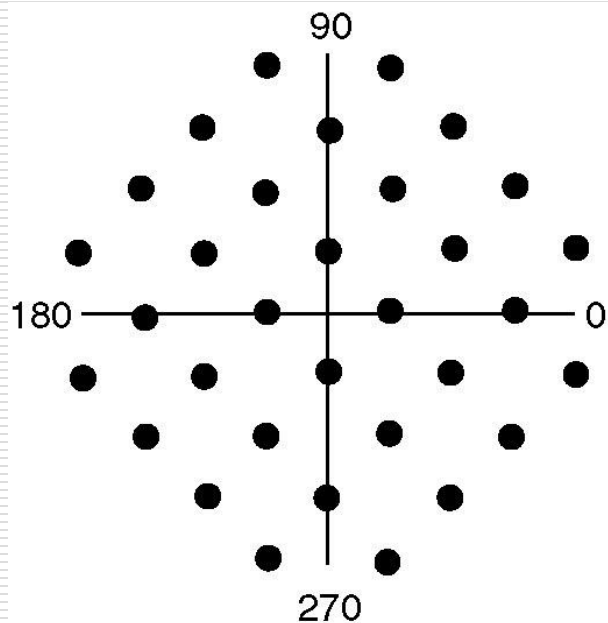
(c) QAM-64.

$$C = B * \log_2 V$$

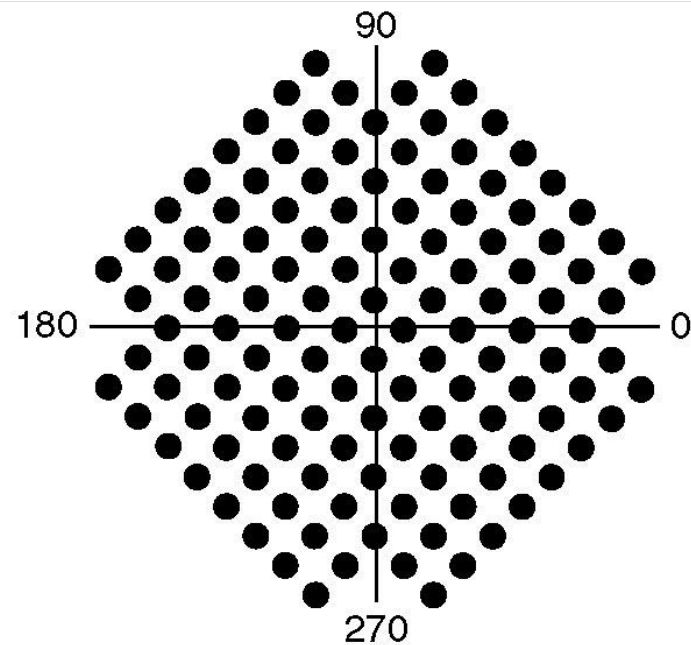
格子架编码调制 (TCM_{P114})

- ❑ 为了降低高速调制错误，在每个样本中采用一些额外的位用作纠错，剩下的位才用来传输数据，这种机制叫格子架编码调制 TCM (Trellis Coded Modulation).
- ❑ 在 V.32调制标准中，波特率是2400，采用了QAM-32，每码元传输5个比特，但其中的1个比特用来做奇偶校验，所以，数据传输率只有9600bps。
- ❑ 在 V.32bis标准中，采用了QAM-128 (2^7)，传输速率达14,400 bps，有一个比特用来纠错。

Modems



(a) **V.32** for 9600 bps.



(b)

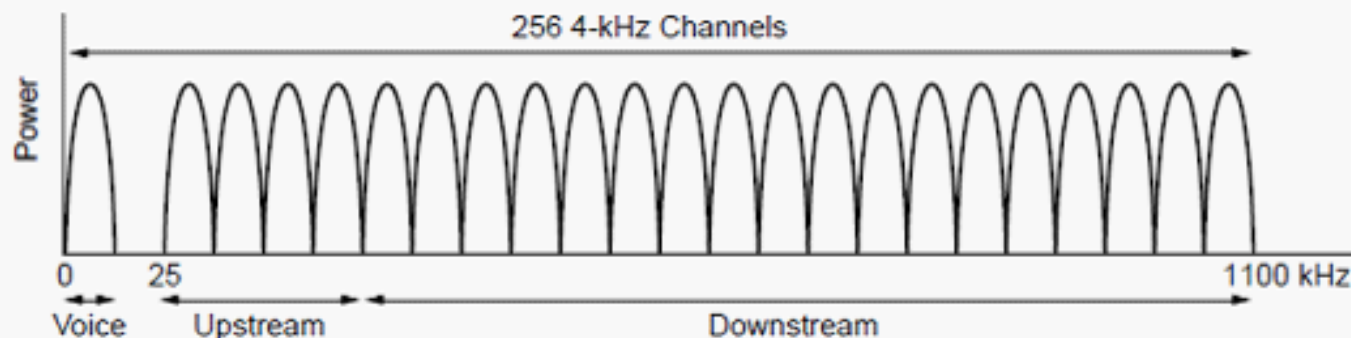
V.32 bis for 14,400 bps.

56k的调制解调器P114

- 为什么使用56 kbps 的调制解调器？（采用V.90标准）
 - 电话线路的频率约是 4000 Hz (300 ~ 3400 Hz).
 - 采样率 = $2 \times 4000 = 8000$ sample/sec
 - 每个码元传输 8比特, 其中的1比特用来控制错误, 传输数据速率是 $8000 \times 7 = 56,000$ bit/sec.
- V.90 provides 33.6 kbps upstream and 56 kbps downstream.
- V.92 provides 48 kbps upstream.

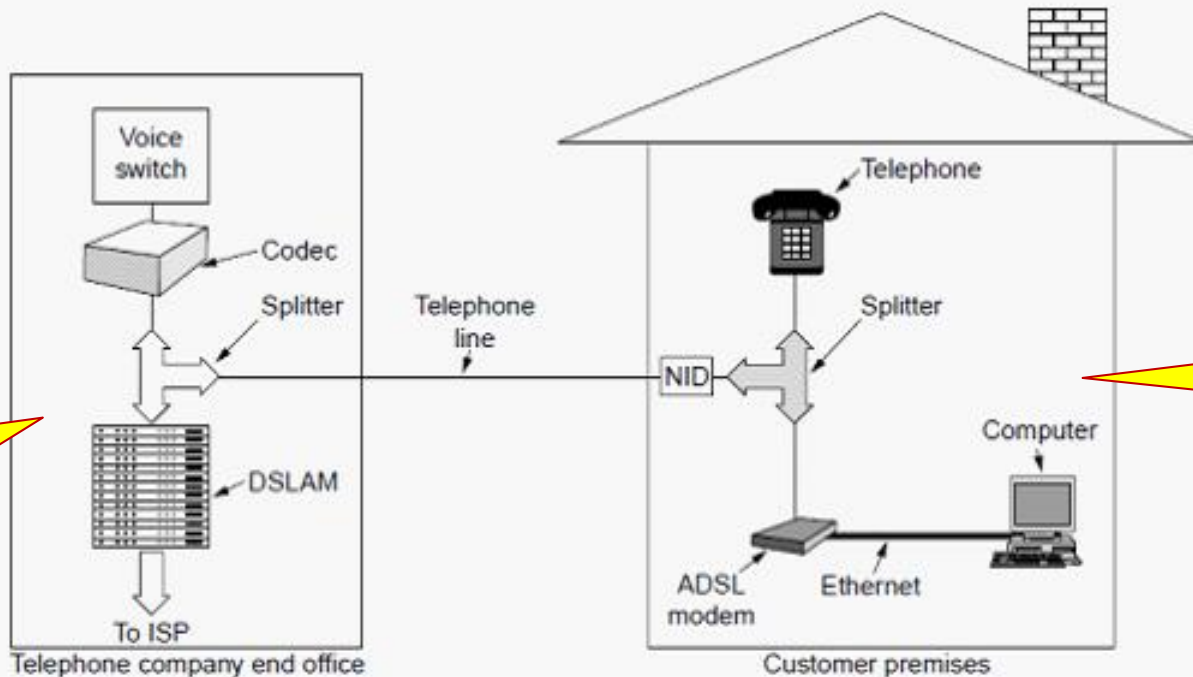
数字用户线（DSL） P115

- ❑ 连接调制解调器的本地回路所使用的带宽被限制在了300~3100hz（4k）
- ❑ xDSL使用了本地回路的全部物理带宽，大约为**1.1Mhz**，而不仅仅是4khz。
- ❑ $1.1\text{M}/4\text{k} \approx 256$ ，第1根4k信道仍用语语音，接下来的5根信道空闲，剩下的250根信道用于数据和控制。



典型的xDSL设备配置

□ 住户：网络接口设备NID+分离器、ADSL调制解调器



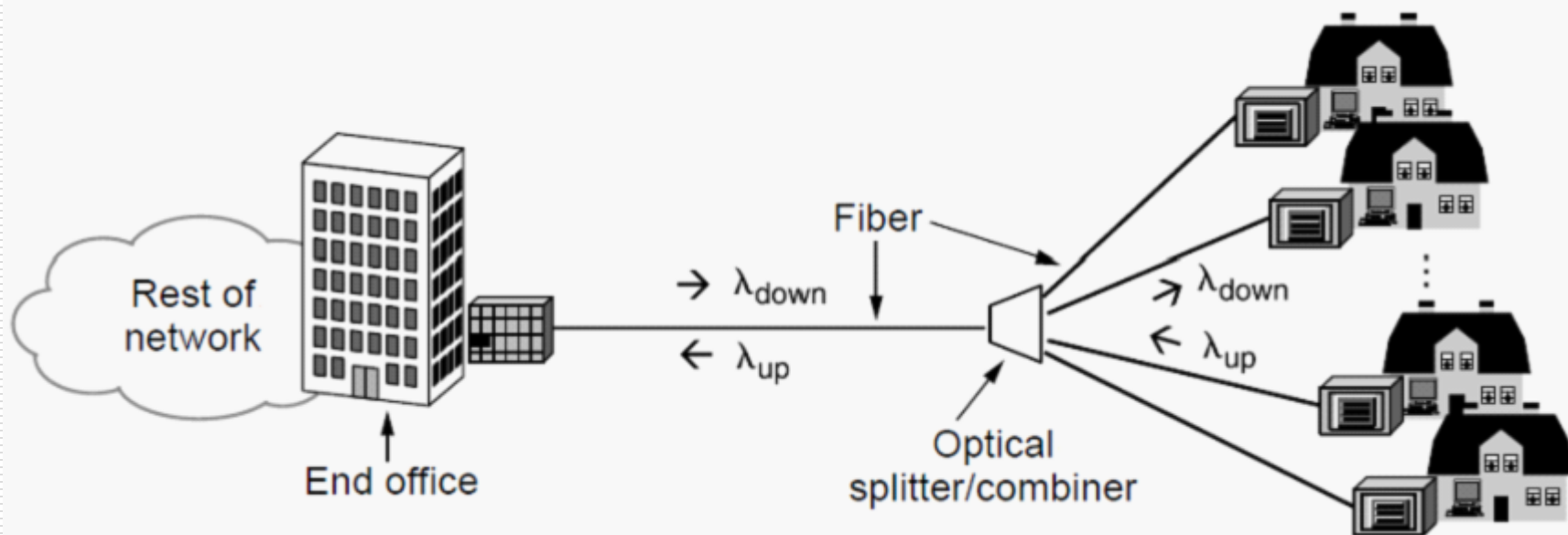
端局

客户家

光纤到户(Fiber To The Home) P118

□ FTTH 宽带

- 很多用户共享同一波长
- 光纤是无源的 (无须放大器, 可靠)

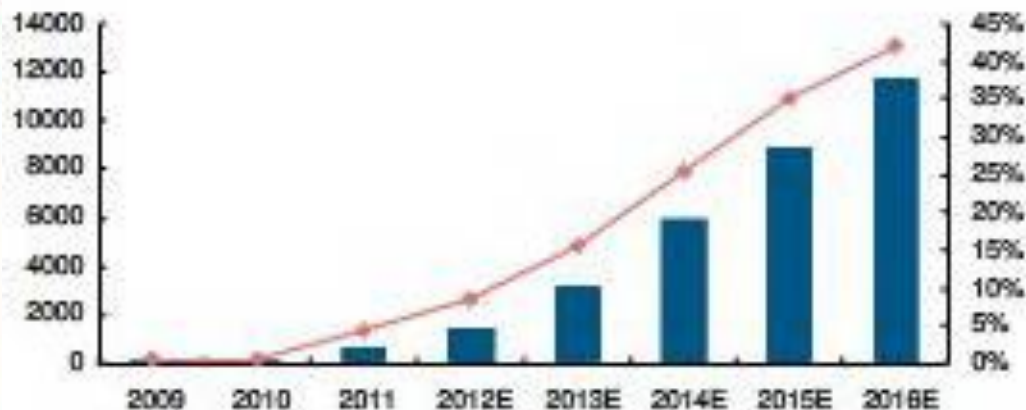


光进铜退：大趋势

□ 预计2016年全球FTTH用户数将达2.3亿。

2011 年全球 FTTH/B 用户数排名 (千)

排名	国家 (地区)	FTTH/B 用户
1	日本	22045
2	中国	21300
3	韩国	10374
4	美国	7800
5	俄国	4537
6	台湾	2302
7	香港	1070
8	法国	665
9	瑞典	644
10	乌克兰	550



截至2015年4月底，我国
FTTH用户数超过了8千万，
全球排名第一

干线/中继线和多路复用技术 P119

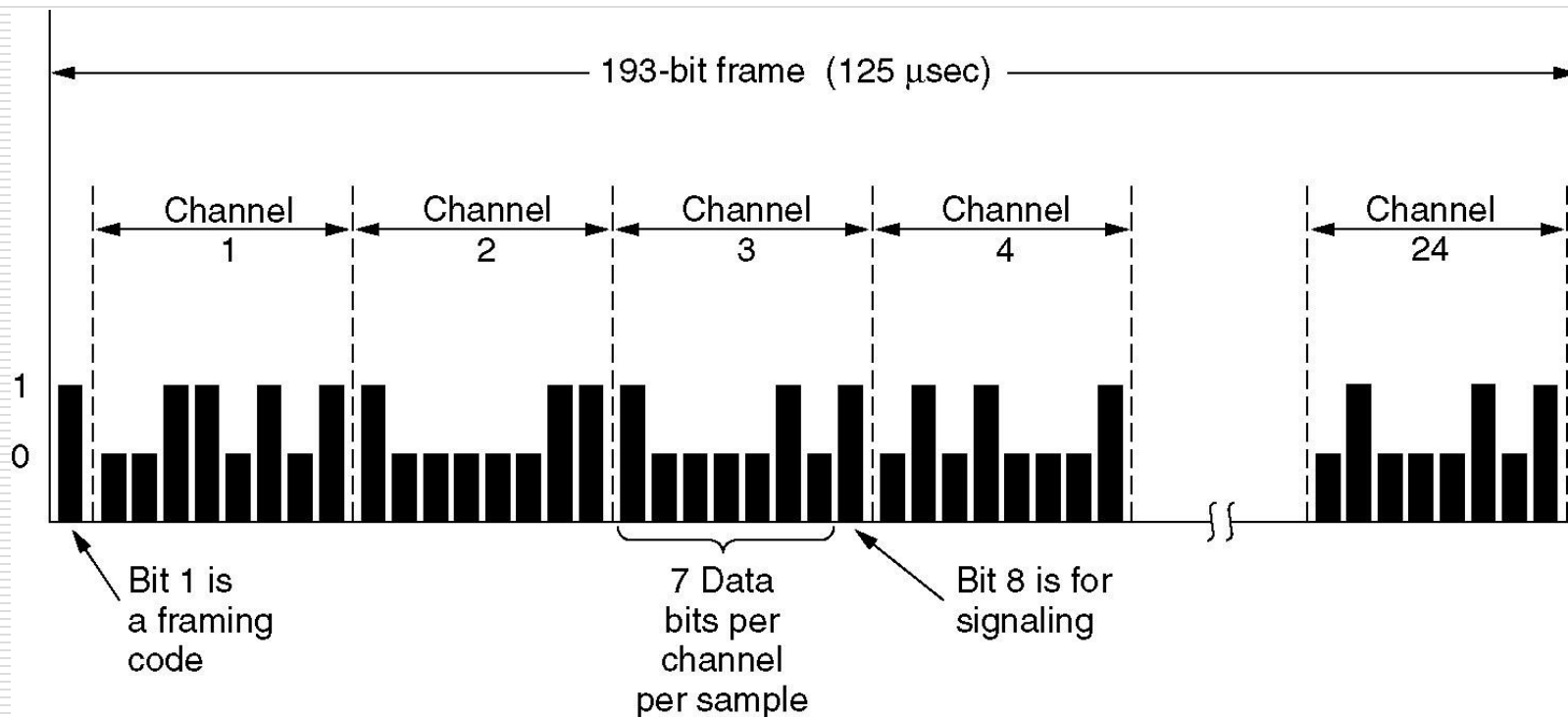
- 在单根物理干线上，有两类复用技术可将多路话音复用起来传送：
 - 频分多路复用 FDM (Frequency Division multiplexing): 通过分割频宽为不同的子带来传输不同的话音。
 - 对于光纤来说，使用波分多路复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)。
 - 时分多路复用 TDM (Time Division Multiplexing): 将时间分割给各话音，在各自的时间段，独自占用全部带宽。

时分多路复用技术 P119

- 编解码器 (codec)：端局中的设备，可将模拟信号数字化 (coder)，或者相反 (decoder)。呼叫方：将模拟语音数字化。
- 脉冲编码调制PCM (Pulse Code Modulation)：是一种将模拟信号数字化的技术
 - T1 线路可处理24路信号的复用： $24 \times 8 = 192 \text{ bits} + 1 \text{ bit for framing} = 193 \text{ bits/frame}$
 - 话音信道的采样率是每秒8000次，那么传递TDM复用帧的时间间隔需要 $1/8000 \text{ sec} = 125 \text{ 微秒}$
 - 所以，T1 线路的传输速率是： $193 \text{ bits} / 0.000125 \text{ seconds} = 1.544 \text{ Mbps}$.
- DPCM (Differential Plus Code Modulation) is a method, which consists of outputting the difference between the current value and the previous one, to reduce the number of digitalized bits.

• E1线路传输率？ P121

时分多路复用技术—PCM P119

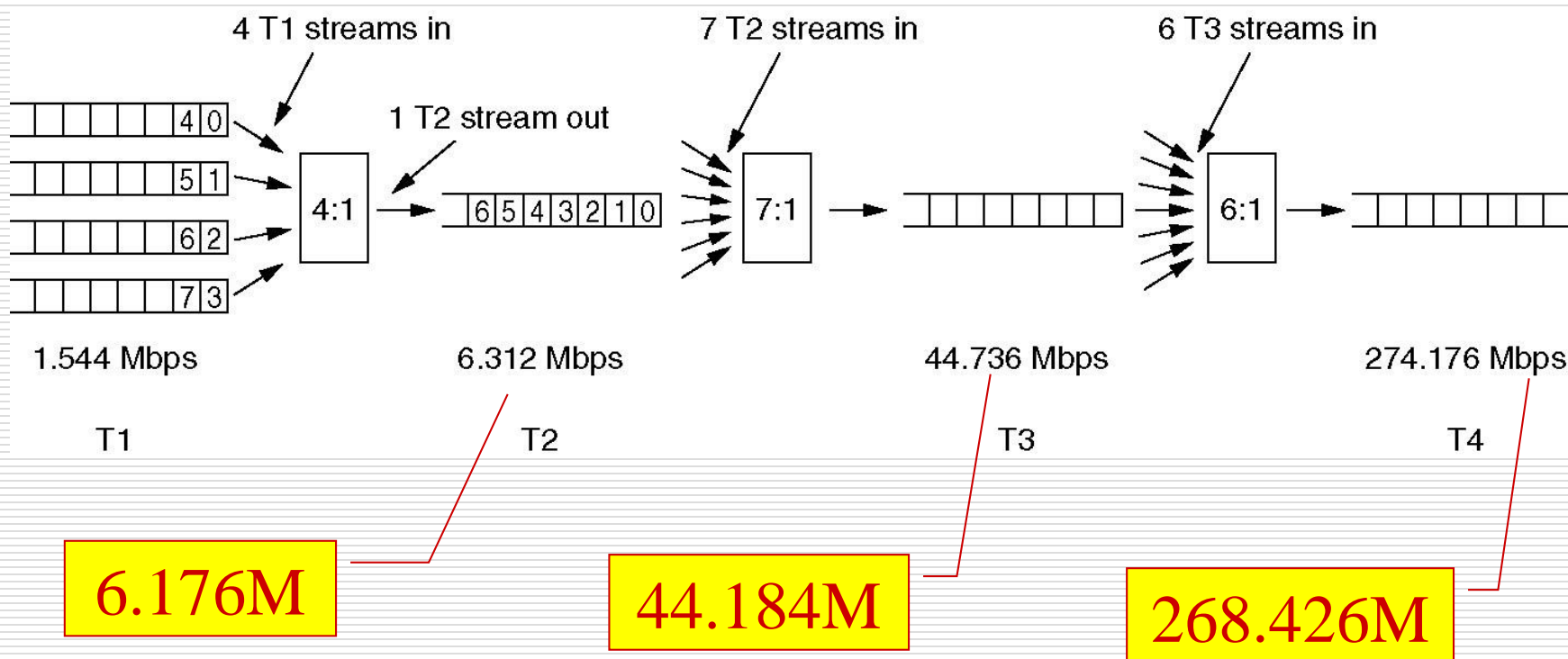


E1 P121

- 除了北美和日本，其它国家使用E1系列线路
 - E1可处理 **32条**语音的复用： $32 \times 8 = 256$ bits/frame
 - 话音信道的采样率是**每秒8000次**，那么传递TDM复用帧的时间间隔需要 $1/8000 \text{ sec} = 125$ 微秒
 - 所以，T1 线路的传输速率是： $256 \text{ bits} / 0.000125 \text{ seconds} = \mathbf{2.048 \text{ Mbps.}}$

TDM允许更高级别的复用P121

Multiplexing T1 streams into higher carriers. P120



SONET/SDH P122

- 同步光网络SONET (Synchronous Optical NETwork) 是ANSIS制定的在光介质上进行同步数据传输的标准。
- 同步数字序列SDH (Synchronous digital hierarchy)是国际标准组织制定的在光介质上进行同步数据传输的。
- SONET的4个设计目标P122
 - 不同的承运商可协同工作
 - 需要统一美国、欧洲和日本的数字系统
 - 提供一种复用多数字信道的方法
 - 提供操作、管理和维护 (OAM: operations, administration, and maintenance)

SONET P122

□ Synchronous Optical Network (SONET)

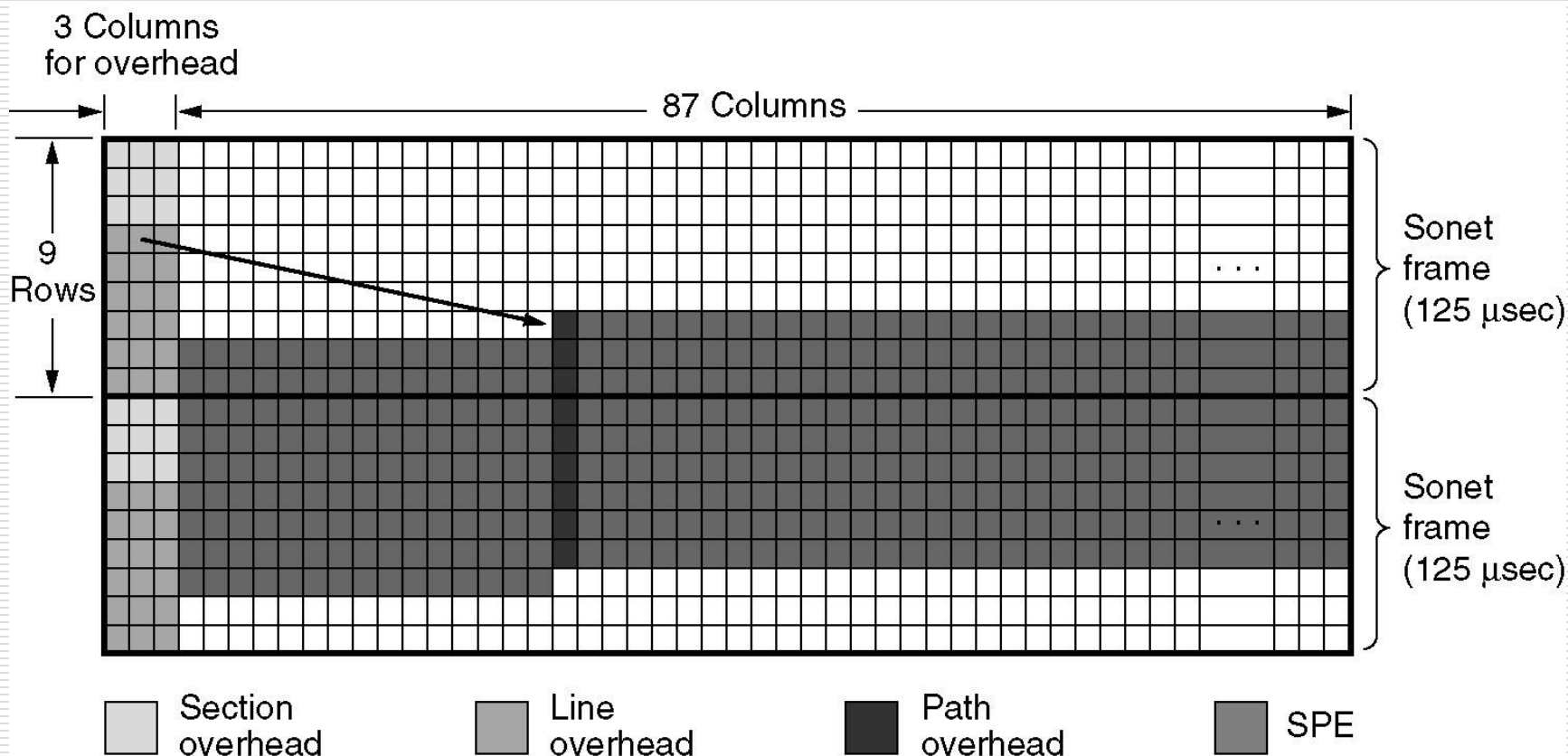
- 标准的说明书比这本书还厚
- 该标准强调成帧和编码的问题
- 允许复用多条低速链接到一条高速链接

SONET/SDH

- **SONET 帧结构: (Synchronous Transport Signal-1)**
 - **9(行) x 90(列) = 810字节**
 - **头3列** 用于系统管理信息
 - **头9行**包括各种传输开销: 跨越不同链接, 指定语音信道, 连接帧等的开销。
 - 其余的**87 列**包括用户数据, 即同步载荷封包 **SPE** (Synchronous Payload Envelope)., 其中的**第1列**又用于路径开销。
 - **STS-1: $8000 \times 810 \times 8 = 51.85 \text{Mbps}$**
- **STS-N 帧是由N个STS-1基本帧构成的**

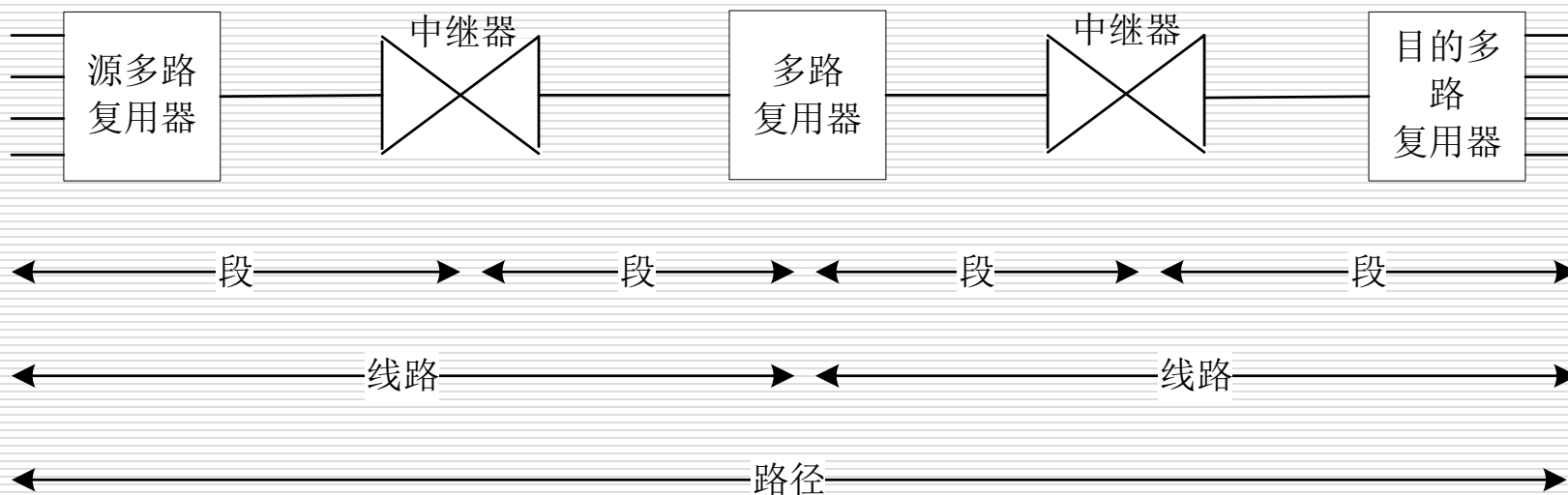
SONET帧结构

Two back-to-back SONET frames.



段、线路、路径

- 段（section）：从一台设备到另一台设备的光纤称作一段
- 线路（line）：两个多路复用设备之间的连接称为一条线路
- 路径（path）：源和目的的连接



如何计算复用后的传输速率？

□ P123

□ 例如：OC-1

□ 总传输速率： $8 \times (9 \times 90) \times 8000 = 51.84\text{M b/s}$

□ SPE： $8 \times (9 \times 87) \times 8000 = 50.112\text{M b/s}$

□ 用户数据： $8 \times (9 \times 86) \times 8000 = 49.536\text{M b/s}$

练习

- 在OC-12线路中，SPE和用户数据分别是多少？
- 在OC-12C线路中，SPE和用户数据又分别是多少？

OC-12 参考答案

□ OC-12: 等于12条 OC-1复用在一起

□ SPE:

■ $50.112 \times 12 = 601.344$

■ 或: $8 \times 9 \times 87 \times 8000 \times 12 = 601.344$

□ 用户数据:

■ $49.536 \times 12 = 594.432 \text{ Mbps}$

■ 或: $8 \times 9 \times 86 \times 8000 \times 12 = 594.432$

OC-12C 用户数据的参考答案

- OC-12C: 表示复用在一起的信号都来自同一个源, 这意味着路径开销只需要一个, 余下的 $12-1=11$ 个路径开销的位置可用于搭载数据, 所以, 它传输的用户数据比 OC-12多。
- OC-12C 共有 $12 \times 90 = 1080$ 列, 段开销和线路开销有 12×3 列, 路径开销仅有 **1 列**, 用户数据总共是 $1080 - 36 - 1 = 1043$ 列, 所以用户数据是: $1043 \times 9 \times 8 \times 8000 = 600.768 \text{ Mbps}$
- 或者: $594.432 + \boxed{11} \times 9 \times 8 \times 8000 = 600.768 \text{ Mbps}$

SONET复用率 P123

SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912

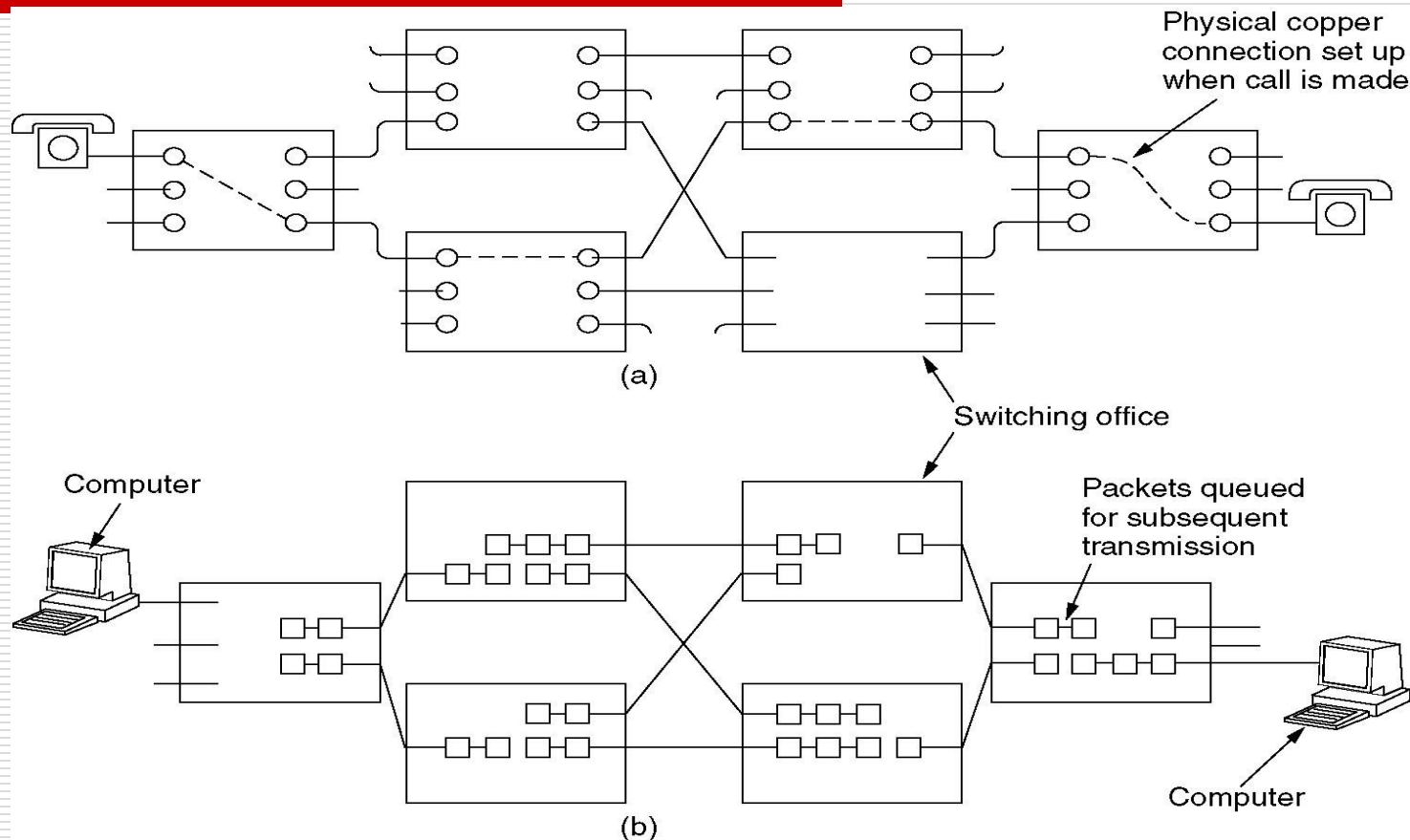
SONET and SDH multiplex rates.

- ❑ STS (Synchronous Transport Signal)
- ❑ OC (Optical Carrier): OC-256 – 13.271 Gbps, OC-768 – 40 Gbps
- ❑ Synchronous Transport Modules (STM)

交换 P125

- 电路交换（Circuit switching）-在数据传输前，必须建立一条端到端的通路，称为连接。其中可能穿越多个交换局，每个交换局都必须提供连接。
- 报文交换（Message switching）-无论数据传输过程要跨越多少个交换局，只要下一站空闲，该数据即送至下一站。无需提前建立连接。
 - 实例：电报，存储转发网络
 - 问题：中转站的存储要求高
- 分组交换（Packet switching）- 限制分组大小。允许分组存储在交换局的内存里

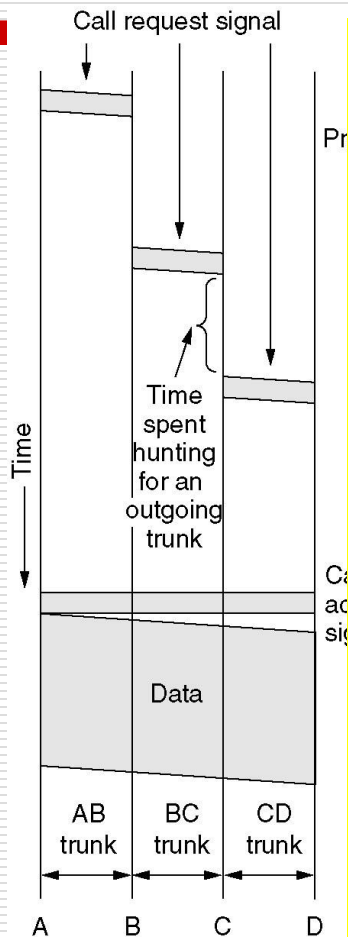
电路交换和分组交换



(a) Circuit switching.

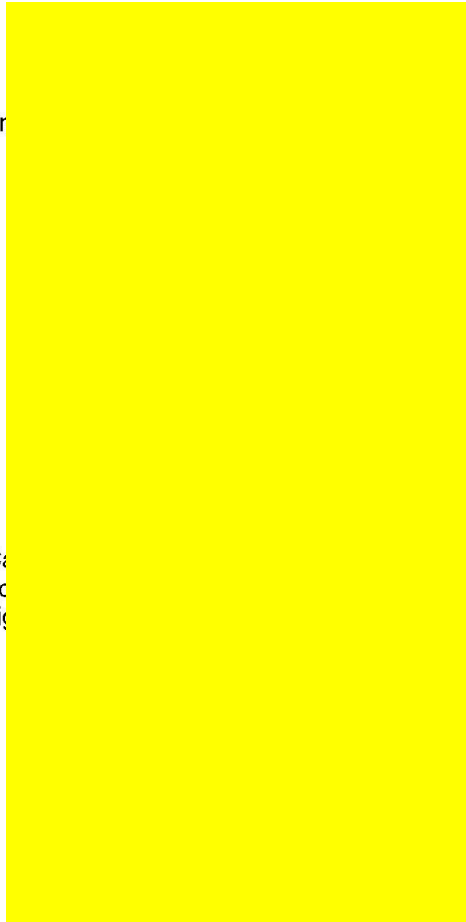
(b) Packet switching.

比较 P127

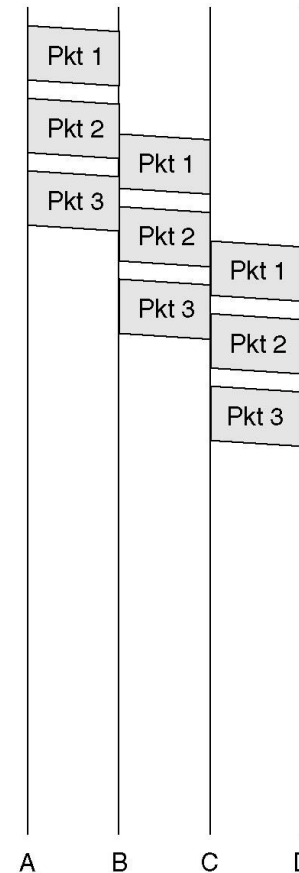


(a)

(a) Circuit switching



(b)



(c)

(b) Packet switching

电路交换和分组/包交换的比较P128

- 带宽的分配形式不同
- 容错能力的不同（分组交换更强）
- 有无交换顺序的不同
- 运载“货物”的不同
- 收费方法的不同

电路交换和分组交换的比较表 P128

Item	Circuit-switched	Packet-switched
Call setup	Required	Not needed
Dedicated physical path	Yes	No
Each packet follows the same route	Yes	No
Packets arrive in order	Yes	No
Is a switch crash fatal	Yes	No
Bandwidth available	Fixed	Dynamic
When can congestion occur	At setup time	On every packet
Potentially wasted bandwidth	Yes	No
Store-and-forward transmission	No	Yes
Transparency	Yes	No
Charging	Per minute	Per packet

移动电话系统

- 第一代移动电话:
模拟话音
- 第二代移动电话:
数字话音
- 三代移动电话:
数字话音和数据
- 4G.....



小结

□ PSTN

- 本地回路: modulation

- 干线:复用技术

 - PCM, T1, E1

- 交换

 - 电路交换、分组交换

□ SONET/SDH

本章重要词汇中英文对照

- 奈奎斯特定理: **Nyquist's Theorem**
- 香农定理: **Shannon's Theorem**
- 非屏蔽双绞线: **Unshielded twisted-pair (UTP)**
 - 直通线: **straight cable**
- 光纤: **fiber**
- 数字调制: **Digital Modulation**
 - 信号星座: **Constellation diagrams**
 - 格子架编码: **Trellis Coded Modulation (TCM)**
- 脉码调制: **Pulse Code Modulation (PCM)**
 - **T1**

本章重要词汇中英文对照(续)

- 光纤到户: **Fiber To The Home(FTTH)**
- 干线/中继线: **Trunk**
- 复用: **Multiplexing**
 - 时分多路复用: **Time Division Multiplexing/TDM**
 - 频分多路复用: **Frequency Division Multiplexing/FDM**
 - 波分多路复用: **Wavelength Division Multiplexing/WDM**
 - 密集波分多路复用: **Dense WDM**
 - 码分多路复用: **Code Division Multiple Access/CDMA**

本章重要词汇中英文对照(续)

- 同步光纤网: Synchronous Optical Network /SONET
- 交换: switching
 - 电路交换: Circuit switching
 - 分组交换: Packet switching

有问题吗?