

## 第二章 物理层

# 公共交换电话网



## 公共交换电话网络 (PSTN: Public Switched Telephone Network)

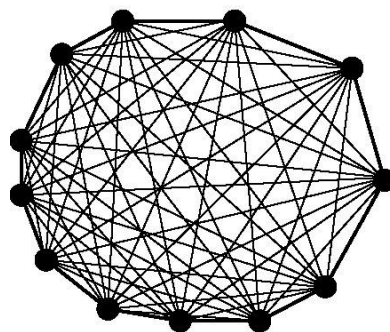
- ❑ 公共电话网络 PSTN 的任务是 **传递人类的语音**。而计算机网络的目标则是**传输数据**。
- ❑ 利用PSTN来传输数据，当然非常方便，**可是**，即使是使用ADSL，它的1M左右的带宽，跟100M、1000M甚至更高的即使是UTP的带宽之间的差别，也好像是双脚散步与飞机在空中游弋之间的差异一样巨大。



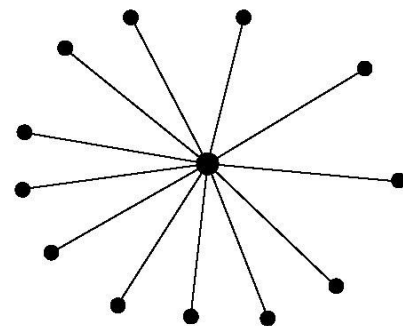
# 什么是公共交换电话网？

□ 即便这样，PSTN跟计算机网络紧密地联系在一起，它的低速传输不是因为内部中继线或交换机，而是最后一英里。所以，我们有必要仔细地探讨一下。

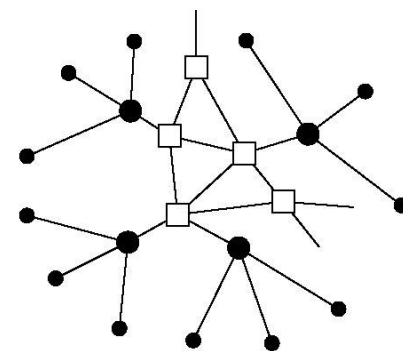
□ PSTN 由全连通网、中心交换网到层次交换网，经过了由人工交换到全自动交换的演化变迁过程，形成了现代的PSTN



(a)



(b)

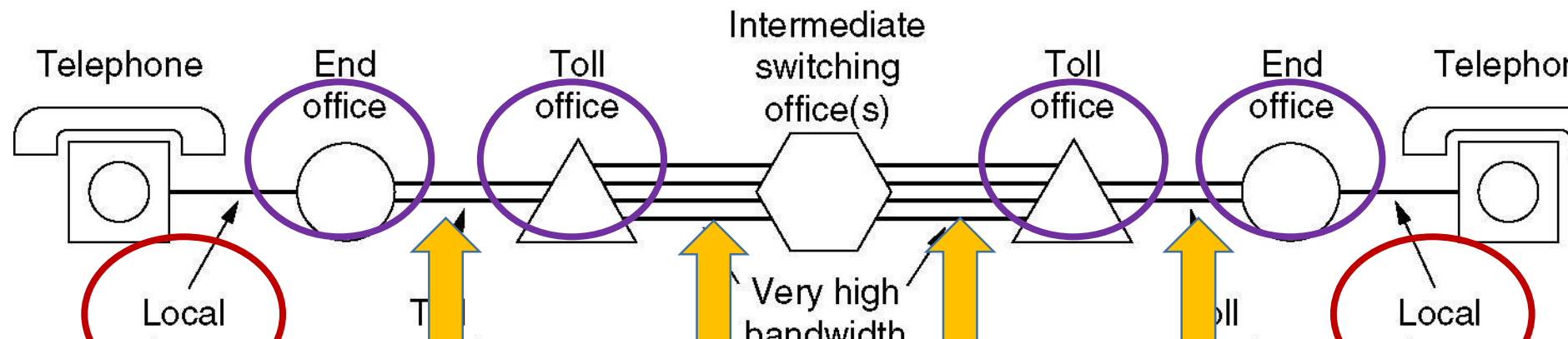


(c)



# PSTN的结构：从一个典型电话路径来看

- 让我们从一个典型的电话路径来看现代PSTN的构成部分吧
- 呼叫方的话音通过**本地回路**到达**端局**，端局再通过干线发送到上级交换局，一级一级地，直到对方的端局，进而最终达到被叫方。通话双方之间搭建了一根实际的点到点的物理通路。





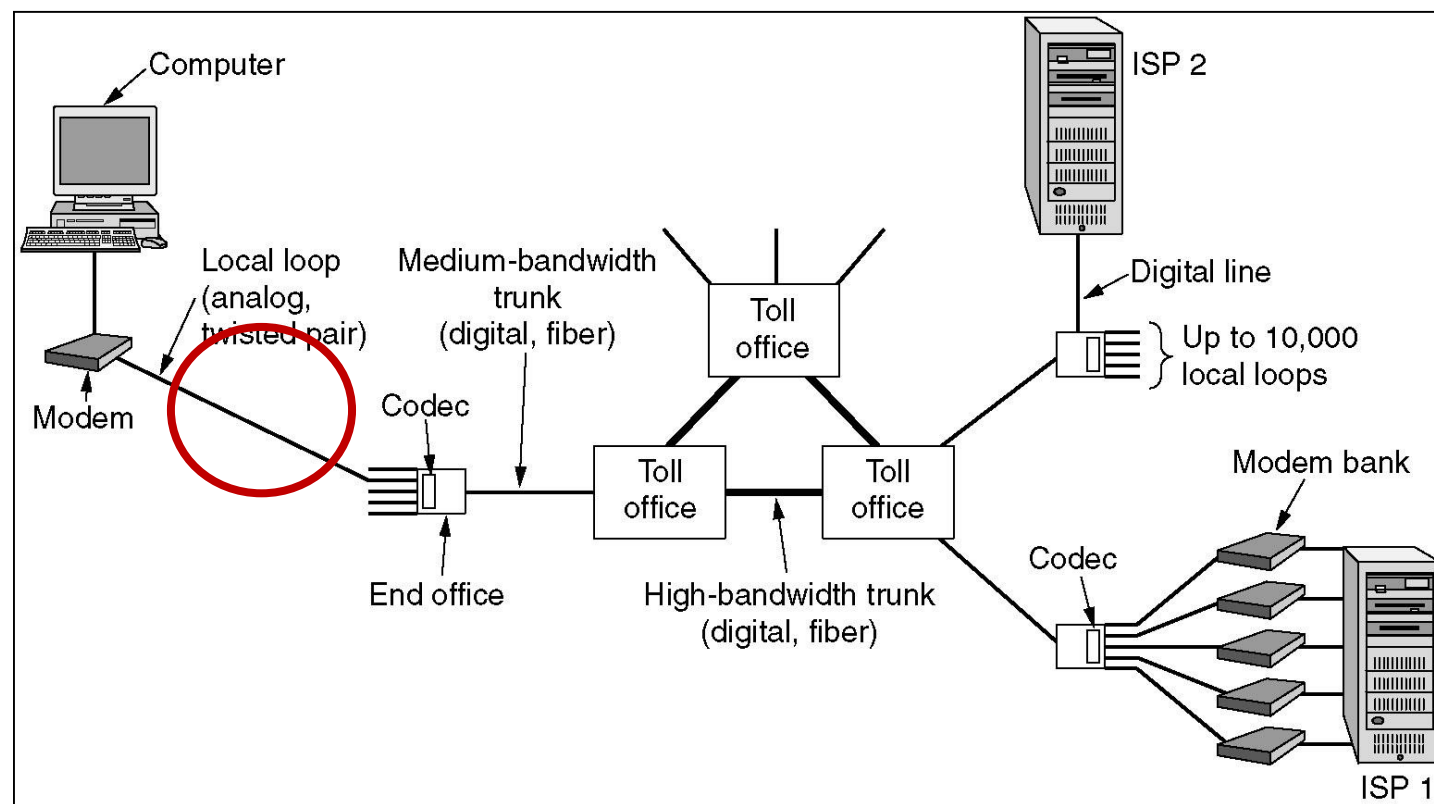
# PSTN的主要构成

- 在这个典型的路径上，我们看到了构成PSTN的三大部分
  - 本地回路（Local loops）
    - **模拟线路**，通常3类双绞线，连接端局和千家万户或业务部门
  - 干线（Trunks）
    - **数字光纤**，连接交换局
  - 交换局（Switching offices）（包含端局）
    - 话音接驳干线的场所



# 本地回路

- 让我们先来仔细看看本地回路吧
- 本地回路传输的是模拟信号，怎么搭载计算机产生的数字信号呢？





# 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 (调制)
- 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数字比特流转变为载波输出 (模拟信号)，或者相反。
  - 一般地，我们的计算机接上一个 调制解调器之后再连上PSTN





## 56k的调制解调器

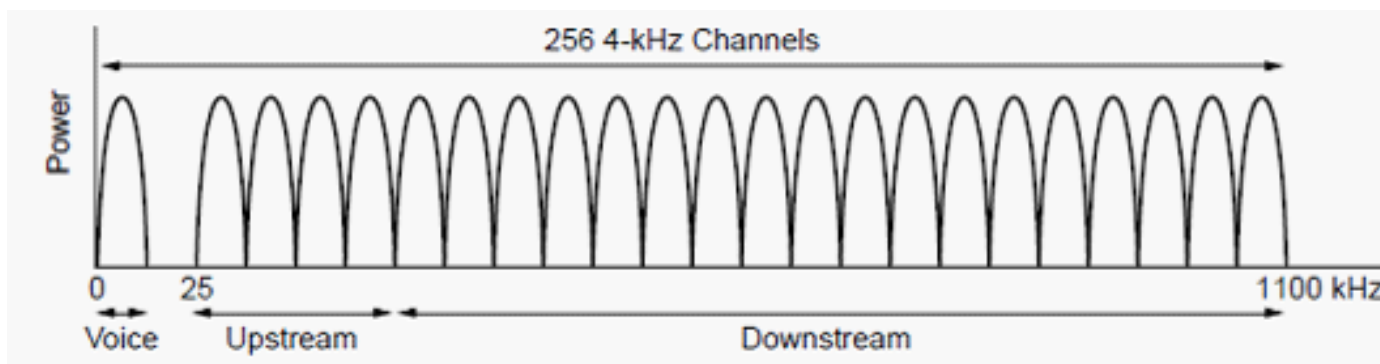
- 为什么调制解调器的速度是56 kbps 的？（采用V. 90标准）
  - 电话线路的频率约是 4000 Hz (300 ~ 3400 Hz)
  - 采样率 =  $2 \times 4000 = 8000$  sample/sec
  - 每个码元传输 8比特，其中的1比特用来控制错误，  
传输数据速率是  $8000 \times 7 = 56,000$  bit/sec （毛速率是 64kbos）



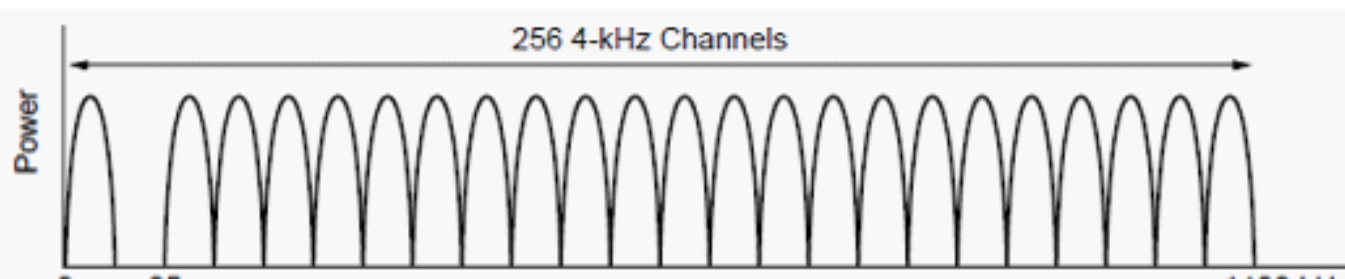


# 数字用户线 (xDSL)

- ❑ 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这一狭窄的频段。



- ❑ 在非对称数字用户线ADSL中，1.1M的频宽被奉承了  
256根信道，每根约4k
- ❑ 其中，第1根4k信道仍用于简单老式电话服务（POTS），接下来的5根信道空闲
- ❑ 剩下的250根中，一根用于上行控制，一根用于下行控制，其余全部用于数据传输。





- 1999年颁布的标准G. dmt
  - 允许8M的下行带宽（目前下行速度可达24Mbps）
  - 1M的上行带宽
- 相比56k的调制解调器来说，这带宽已经非常大了，  
所以，这类服务被称为**宽带**服务。



# 光纤到户(Fiber To The Home)

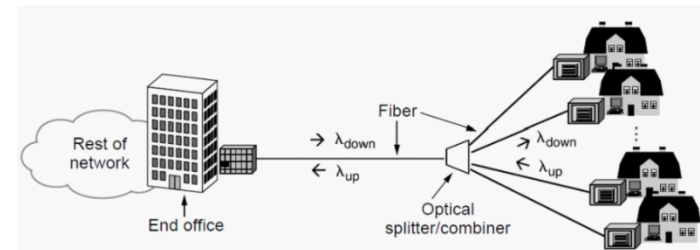
□ 本地回路（UTP）的物理特性限制了带宽的增长上限。

而用户对带宽的需求非常巨大

□ 将本地回路替换为光纤！这就是所谓的光纤到户

FTTH（Fiber To The Home），光纤冲破了铜线带宽的限制，可以提供非常大的带宽；且无源光网带给用户更多的可靠和安全性能。

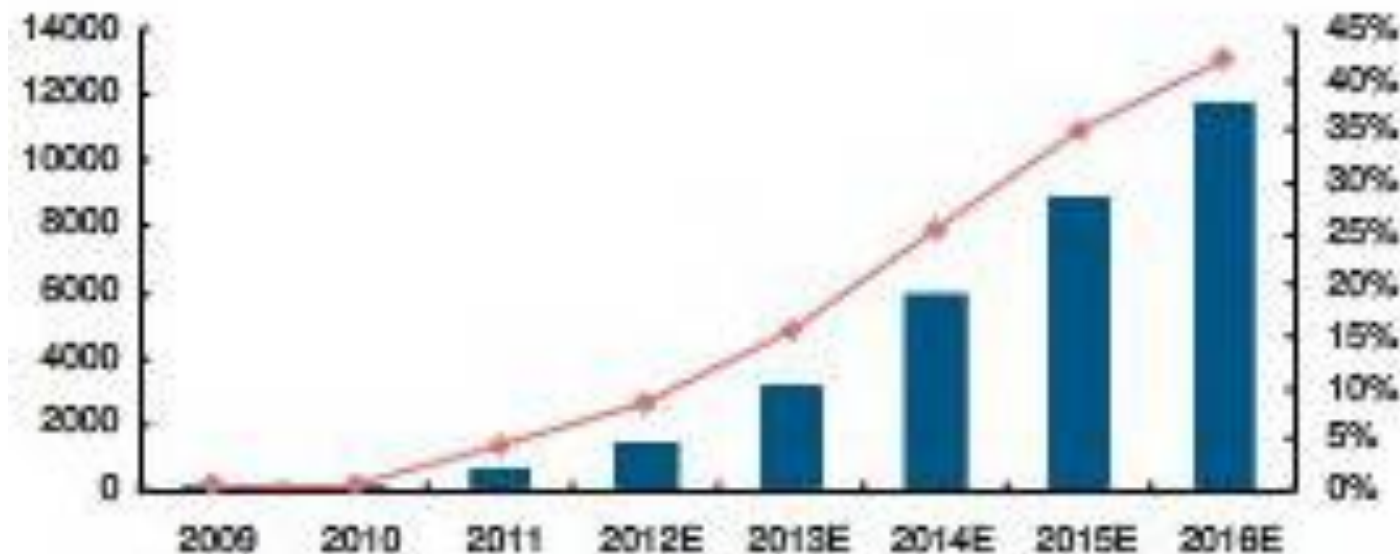
□ 这也是 光进铜退 的最后一英里革命。





# 光进铜退：大趋势

- ▣ 中国的FTTH发展非常迅速
- ▣ 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：多路复用

- 接下来，探讨干线及干线技术。
- 干线是连接交换局（包括端局）的连接，通常是光纤
- 编解码器（codec）：**端局**中的设备，可将即数字化（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。构成了现代PSTN的核心。

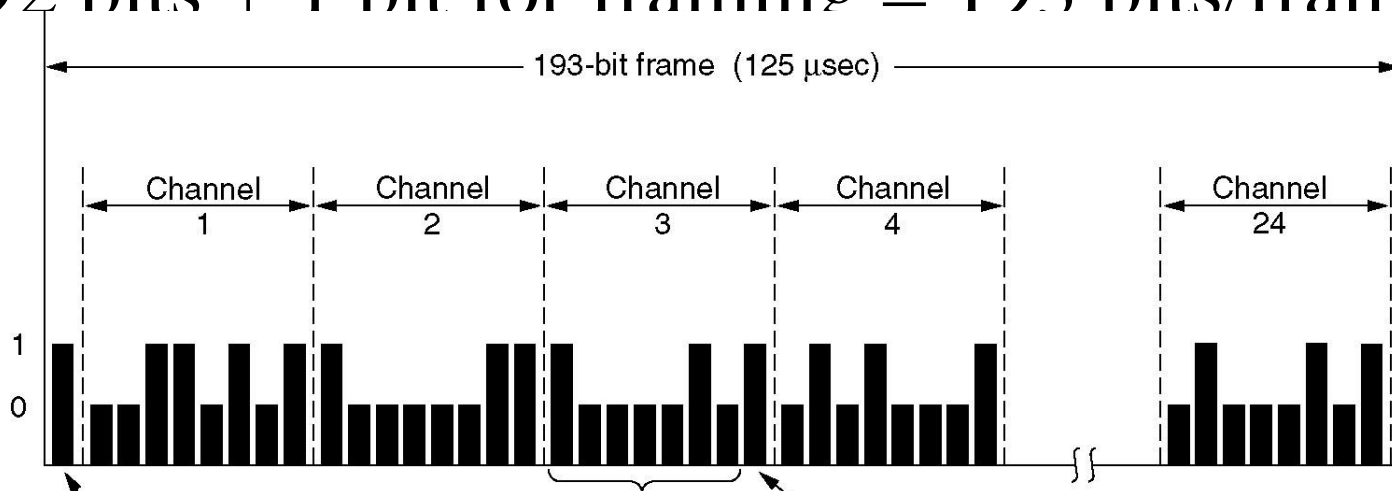


# 干线：多路复用

■ 基于PCM的TDM在干线（中继线）上运送多路电话语音，每125微妙发送一个语音样值。

➤ 用于北美和日本的T1 载波可处理24路信号的复用，一个TDM复用帧有193比特

$$24 \times 8 = 192 \text{ bits} + 1 \text{ bit for framing} = 193 \text{ bits/frame}$$





- 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：

$$193 \text{ bits} / 0.000125 \text{ seconds} = 1.544 \text{ Mbps}$$





## 视频中插入填空题

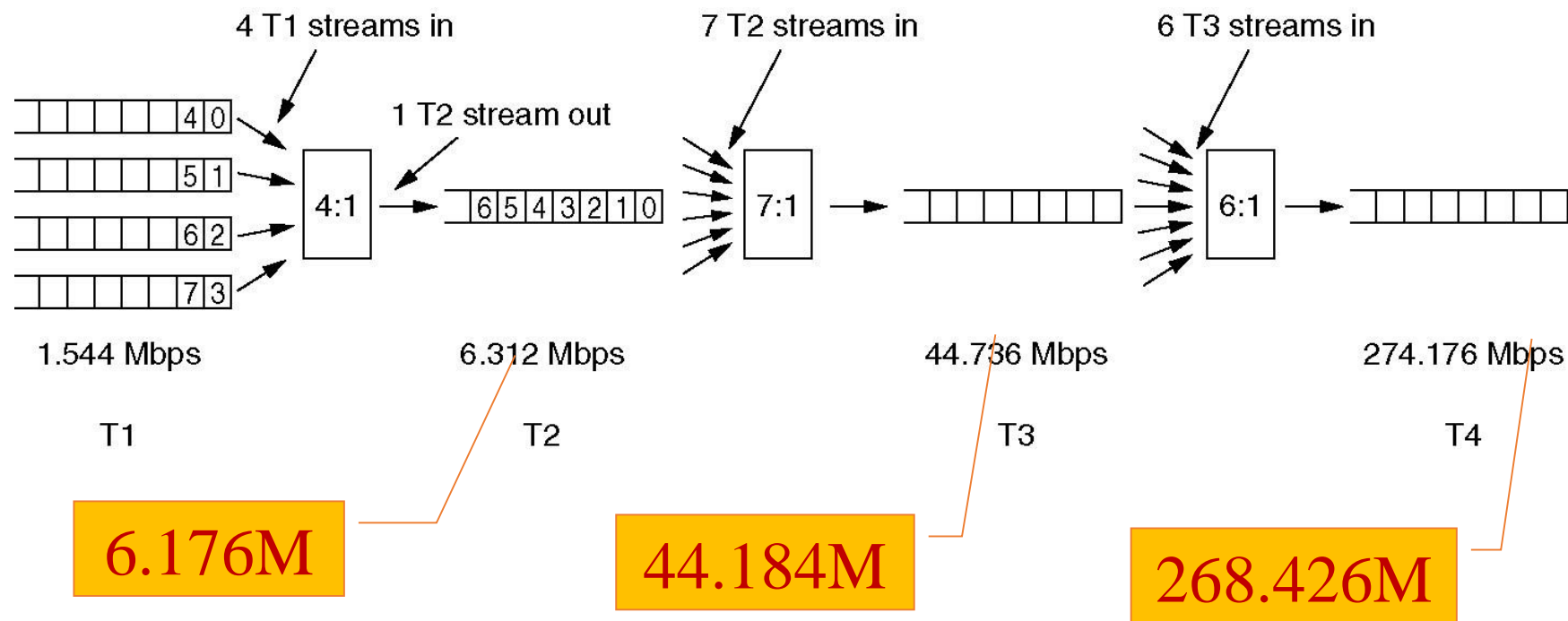
- T1复用帧（193比特）中用于控制的比特数共\_\_\_\_\_个；  
所以T1线路的数据传输效率是（取整数）\_\_\_\_\_%。
- 答案： 25； 87%

- 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：
$$256 \text{ bits} / 0.000125 \text{ seconds} = 2.048 \text{ Mbps}$$



# TDM允许更高级别的复用

- 比如4条T1流可复用为一条T2流，7条T2流可复用为一条T3流，6条T3流可复用为一条T4流。
- 每一步的服用中，都会有少量的开销用于同步控制。





- 在光纤早期阶段，每个电话公司都有各自的光纤TDM系统，所以，随着光纤的发展和普及，标准化需求变得非常迫切！
- 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ITU制定的在光介质上进行同步数据传输的。
- 这两个标准几乎一样。



## □ SONET 的4个设计目标

- 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**）



# 交换

- ▣ 接下来探讨PSTN的第三个部分：交换。
- ▣ 交换发生在交换局中。
- ▣ PSTN 中用到了两种交换技术
  - 电路交换（Circuit Switching）
  - 包交换（Packet Switching）



## □ 电路交换 (Circuit switching )

- 传统的电话系统采用电路交换方式，使用了很多年。
- 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。
- 数据**沿着通道按顺序**送达
- 数据传输完成之后，拆除连接



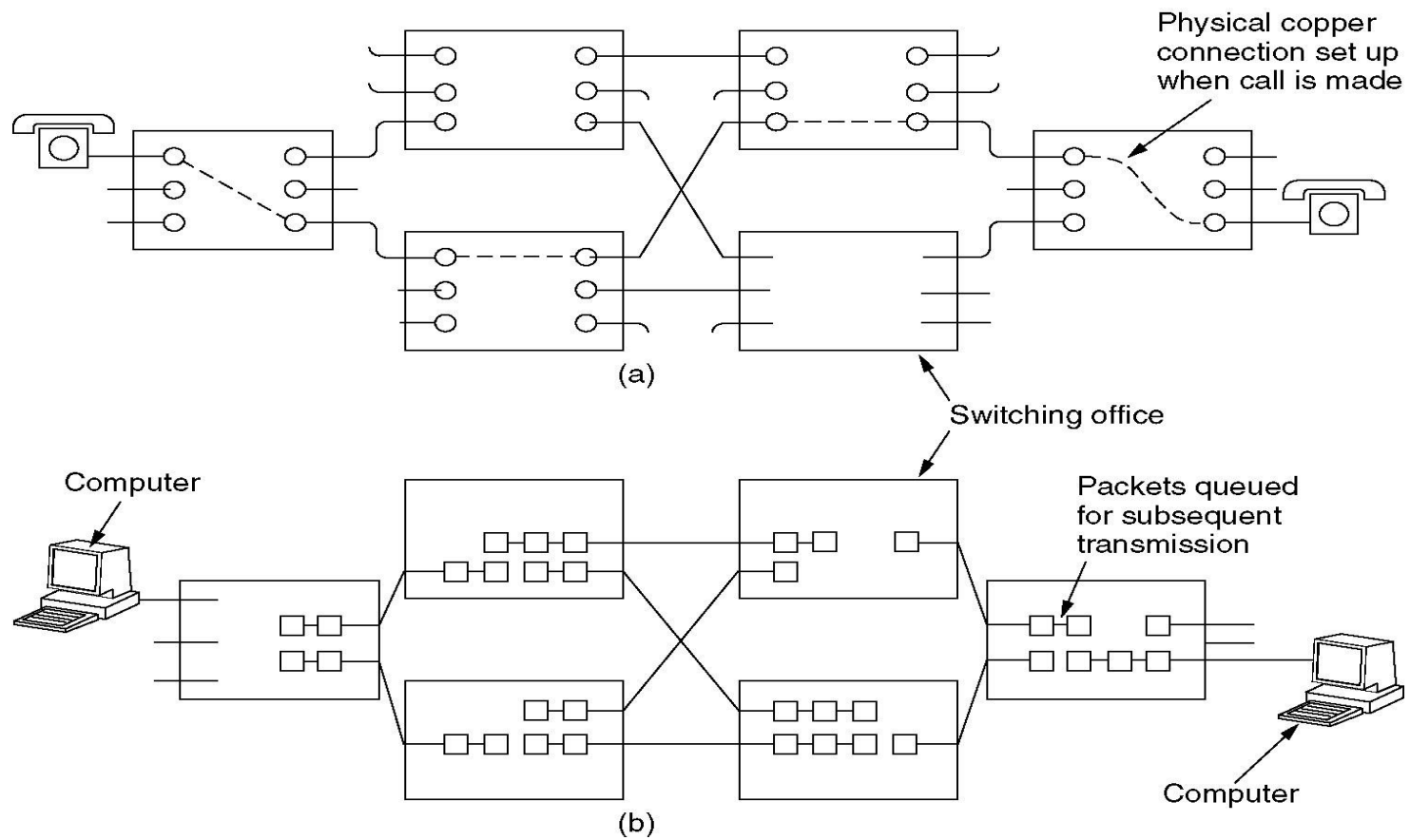
## □ 包交换

- 随着IP电话等数据业务的开展，采用了包交换技术
- 限制包/分组大小。允许包/分组存储在交换局的内存里。
- 每个包携带目的地址等信息，独立寻径
- 可能乱序送达





# 电路交换和分组交换（不讲，制作动画的底图）



(a) Circuit switching      (b) Packet switching



# 电路交换和分组/包交换的比较

## □ 带宽的分配形式不同

➤ 包交换是按需分配，电路交换是提前分配

## □ 容错能力的不同（分组交换更强）

➤ 包交换独立寻径，当中间交换设备瘫痪，包可绕道而行，具有更好的容错能力和抗毁性能。这也是包交换被发明出来的主要因素



## □ 有无交换顺序的不同

- 包交换按需达到，而电路交换是先发先到，接收方无需排序

## □ 收费方法的不同

- 包交换按照流量收费，而电路交换是按照时间来收费



## 更多的比较请参考教材P128，图2-44，电路交换和分组交换的比较

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



## 小结

- ❑ PSTN由本地回路、干线和交换局三大部分构成。
- ❑ 调制解调器的调制完成数字信号到模拟信号的转换。
- ❑ 端局中codec的编码完成模拟信号到数字信号的转换。
- ❑ PSTN的核心是脉码调制PCM，T系列是用于北美和日本的一个时分复用系统，每125微妙传送一个T1复用帧。

# 致谢

本课程课件中的部分素材来自于：（1）清华大学出版社出版的翻译教材《计算机网络》（原著作者：Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall）；（2）思科网络技术学院教程；（3）网络上搜到的其他资料。在此，对清华大学出版社、思科网络技术学院、人民邮电出版社、以及其它提供本课程引用资料的个人表示衷心的感谢！

对于本课程引用的素材，仅用于课程学习，如有任何问题，请与我们联系！