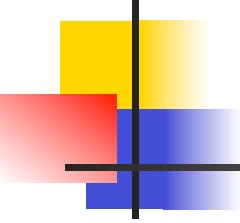


计算机网络

第 2 章 物理层
授课教师：洪锋

<http://osn.ouc.edu.cn/~hong>



第2章 物理层

2.1 物理层的基本概念

2.2 数据通信的基础知识

 2.2.1 数据通信系统的模型

 补充：通信原理基础

 2.2.3 信道的极限容量

 2.2.4 信道的极限信息传输速率

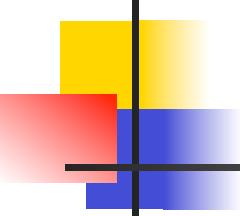
 2.2.2 有关信道的几个基本概念

2.3 物理层下面的传输媒体

 2.3.1 导向传输媒体

 2.3.2 非导向传输媒体

 丰富：微波、卫星通信



第2章 物理层（续）

2.4 信道复用技术

2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

2.4.2 波分复用

2.4.3 码分复用

补充：GSM、CDMA手机通信原理

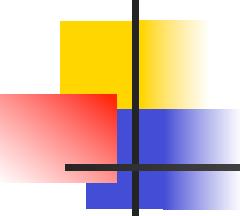
2.5 数字传输系统

2.6 宽带接入技术

2.6.1 xDSL技术

2.6.2 光纤同轴混合网（HFC 网）

2.6.3 FTTx 技术



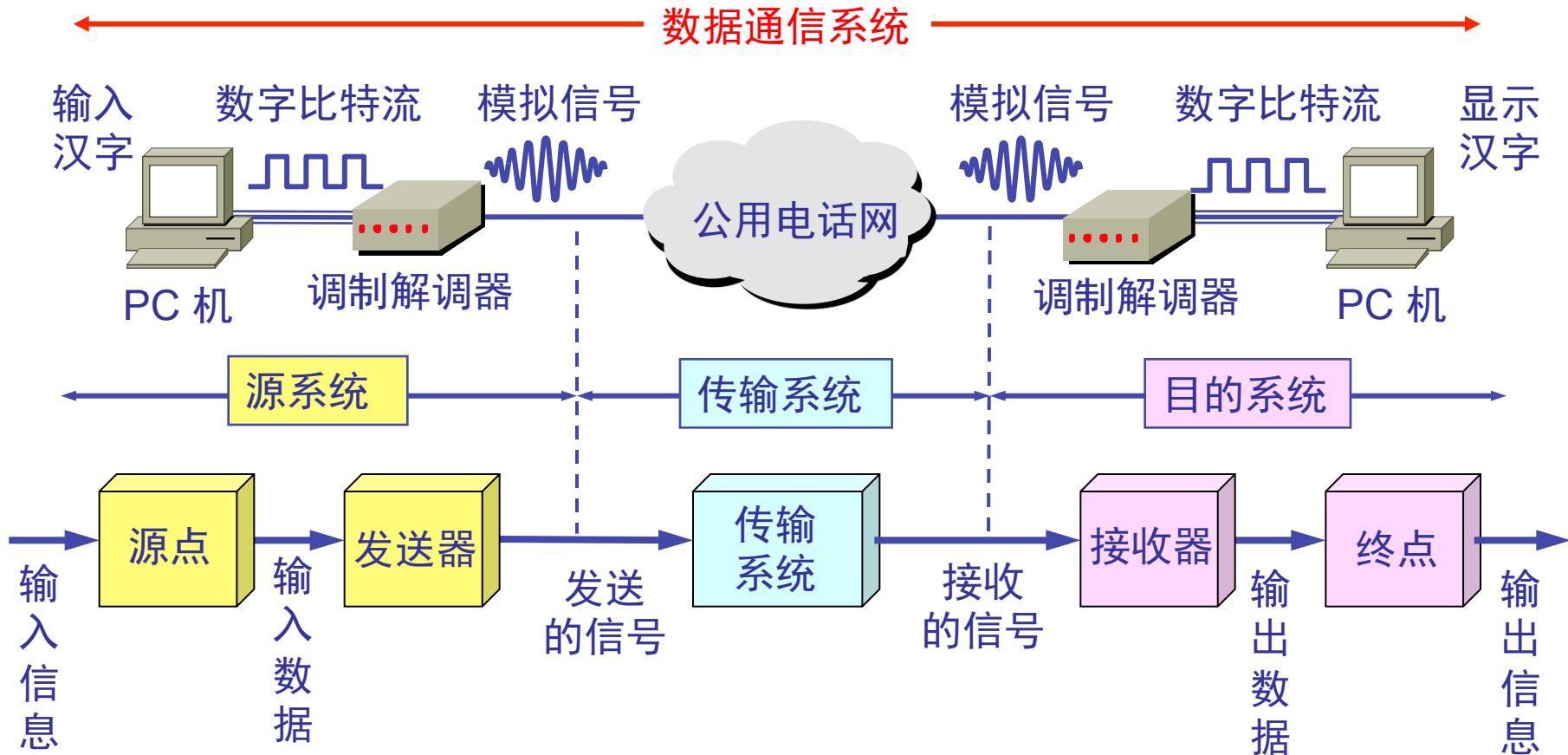
2.1 物理层的基本概念

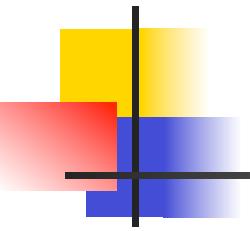
物理层的主要任务描述为确定与传输媒体的接口的一些特性，即：

- **机械特性** 指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等等。
- **电气特性** 指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
- **功能特性** 指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。
- **过程特性** 指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

2.2 数据通信的基础知识

2.2.1 数据通信系统的模型





几个术语

- 数据(data)——运送消息的实体。
- 信号(signal)——数据的电气的或电磁的表现。
- “模拟的” (analogous)——代表消息的参数的取值是连续的。
- “数字的” (digital)——代表消息的参数的取值是离散的。
- 码元(code)——在使用时间域（或简称为时域）的波形表示数字信号时，代表不同离散数值的基本波形。

通信原理基础：Fourier分析

- Fourier级数：任何一个周期为T的函数 $g(t)$,可以展开成多个（无限个）正弦和余弦函数和。

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n ft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n ft)$$

- $f=1/T$, 基频； a_n , b_n 是n次谐波（harmonics）的正弦和余弦振幅； c 是常数

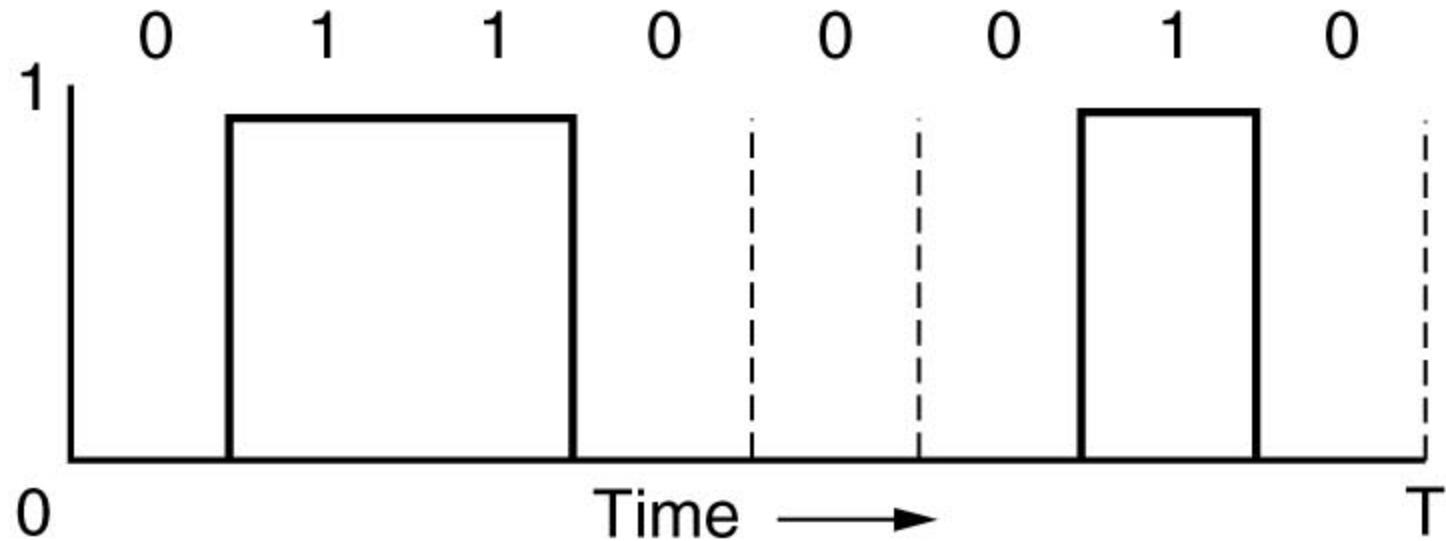
$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi kft) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi kft) dt$$

$$c_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

- 计算 a_n 时： $\int_0^T \sin(2\pi kft) \sin(2\pi nft) dt = \begin{cases} 0 & k \neq n \\ T/2 & k = n \end{cases}$

信号分析举例

- 传输ASCII字符' b', 位传输模式01100010



$$g(t) = \begin{cases} 1 & t \in [1,3) \cup [6,7) \\ 0 & t \in [0,1) \cup [3,6) \cup [7,8) \end{cases}$$

信号的Fourier分析

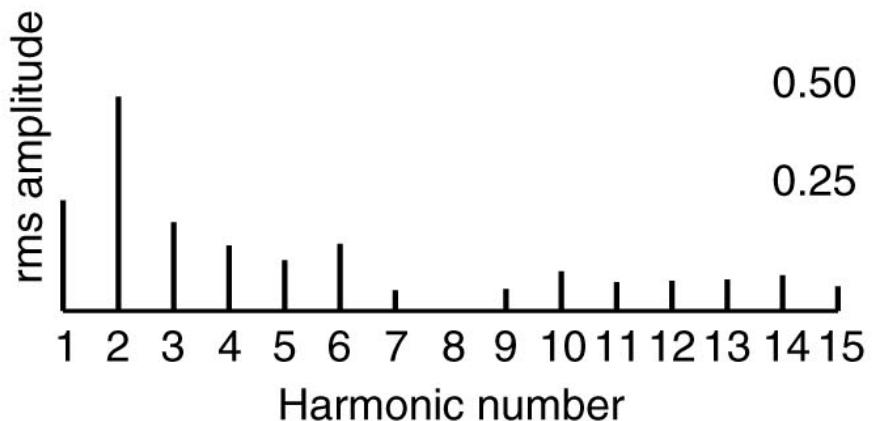
$$a_n = \frac{1}{\pi n} [\cos(\pi n / 4) - \cos(3\pi n / 4) + \cos(6\pi n / 4) - \cos(7\pi n / 4)]$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n} [\sin(3\pi n / 4) - \sin(\pi n / 4) + \sin(7\pi n / 4) - \sin(6\pi n / 4)]$$

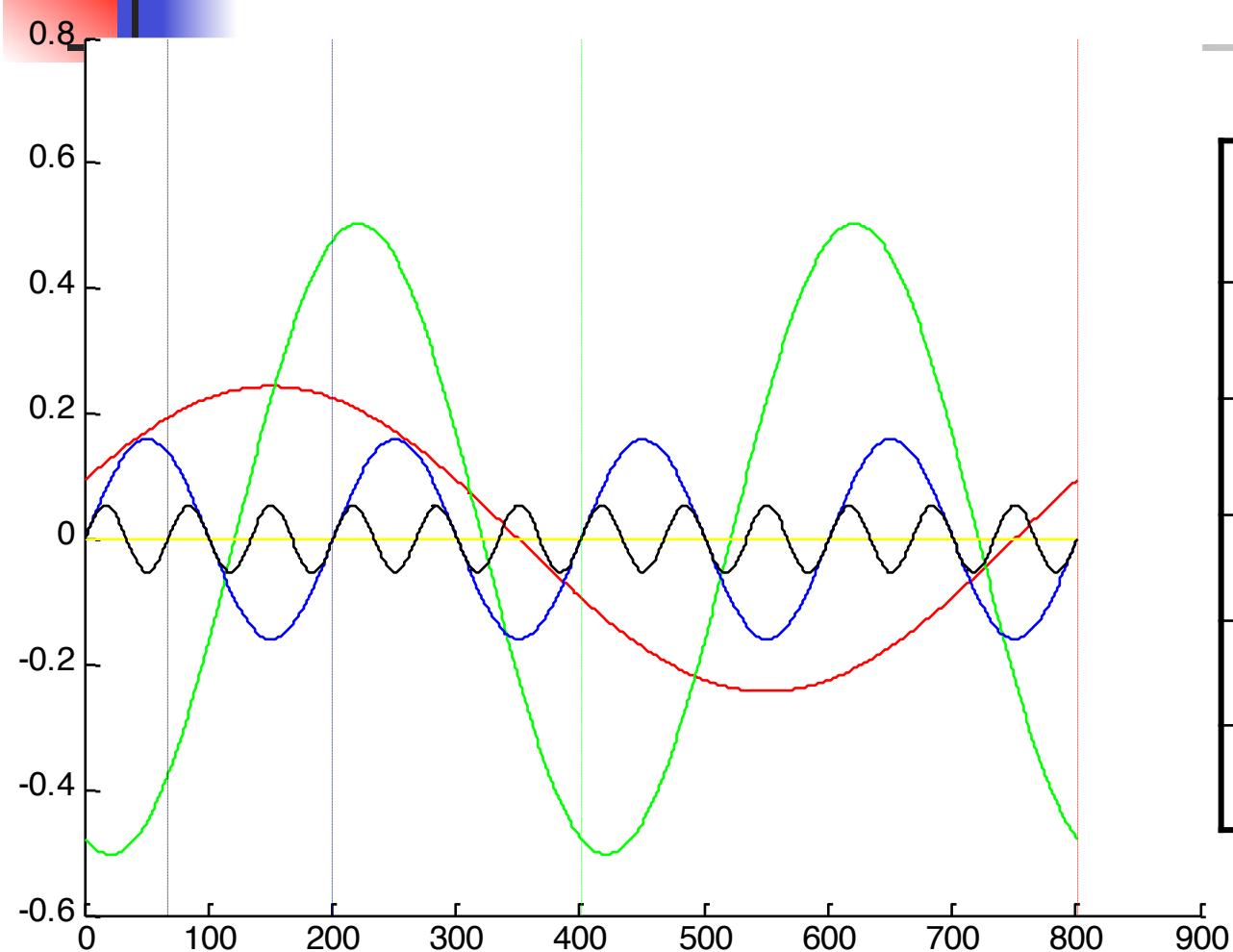
$$c_n = 3 / 4$$

$$\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

- 对应频率处传输的能量

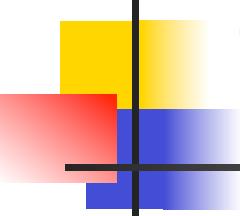


“0110010”例子的低8次谐波 (harmonics)



谐波	颜色	周期	频率
1	红	8	$1/8$
2	绿	4	$1/4$
4	蓝	2	$1/2$
8	黄	1	1
12	黑	$2/3$	$3/2$

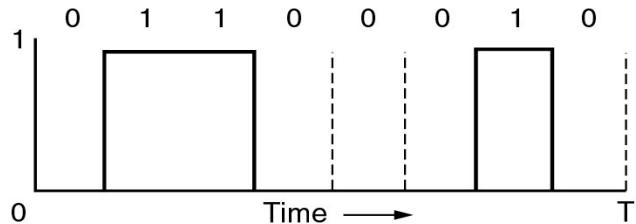
- 传输带宽低，仅允许低频信号（即低次谐波）通过，收到的结果信号？



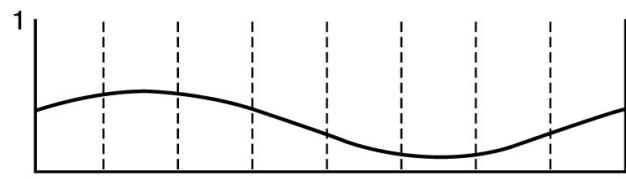
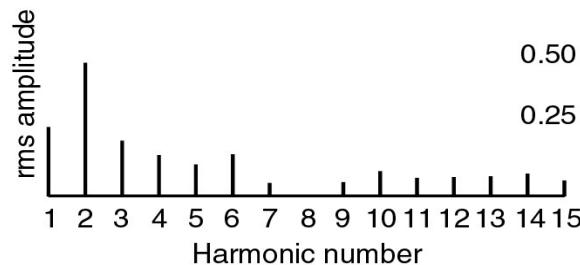
带宽的内涵

- 传输设施对不同Fourier分量的衰减不同，因此导致信号变形。
 - 如果所有Fourier分量都等量衰减，则结果信号在振幅上有所减小，但不会变形。
- 截至频率 f_c (H_z) 客观存在：
 - 从0到某一个频率 f_c 这段范围内，振幅在传输过程中不会衰减，而在 f_c 之上对应振幅会有不同程度的衰减。
- 带宽——传输过程中振幅不会明显减弱的这一段频率范围。
 - 实践中，截止频率并不明显（尖锐），通常带宽指从0到能保留一半能量的频率处。
 - 带宽取决于传输介质的物理特性。

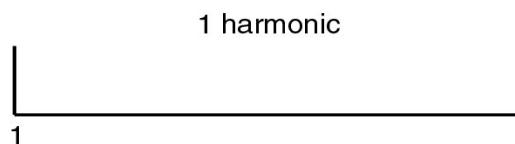
低通结果



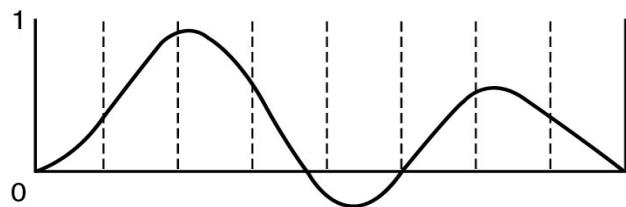
(a)



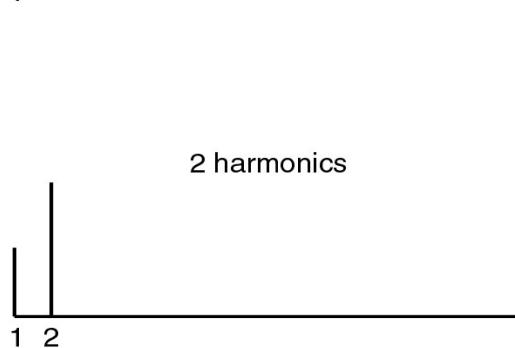
(b)



1 harmonic

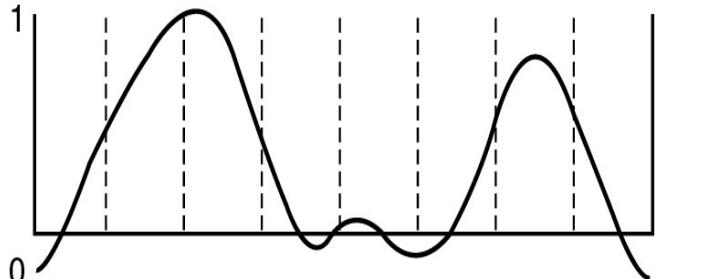


(c)

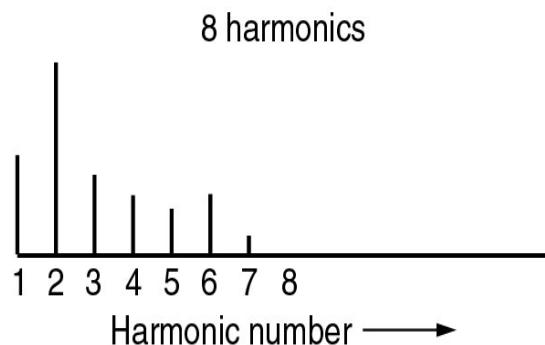
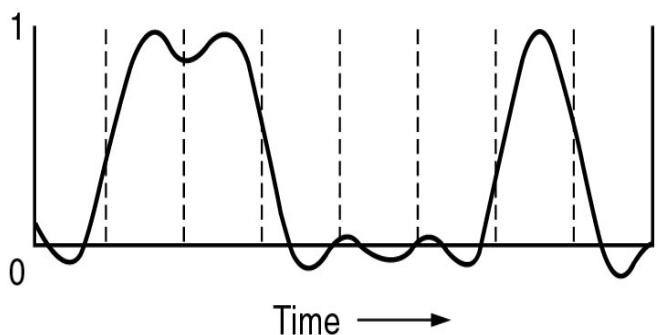
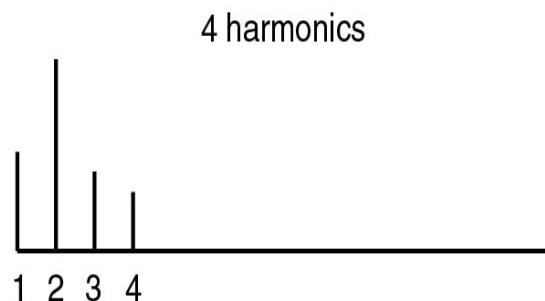


2 harmonics

低通结果 (续)



(d)



- 码元，上述左边的每个图均表示一个码元。
- 周期为8，到底8代表物理信道上的多长时间呢？或者说1次谐波的频率为多少呢？

数据传输率与谐波频率关系

数据传输率：位传输率b位/秒

- 发送8位（1个码元）需要的时间为 $8/b$ 秒
- 1次谐波的频率为 $b/8\text{Hz}$
- 以语音级线路为例：

- 截止频率 3000Hz ，即带宽 3000Hz
- 最高可通过的谐波次数(n_{\max})为

$$n = \frac{3000}{b/8} = \frac{24000}{b}$$

- $n_{\max} \times b = H$
 - 当 $n_{\max}=1$ 时， b 取得最大值 H
 - 限制了带宽，就限制了数据传输率。

语音级线路数据传输率和谐波次数关系

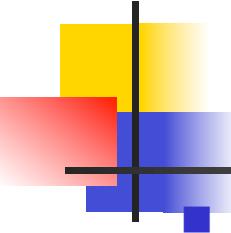
Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

- 能够达到的最大数据率
 - Fourier分析以8位为基本单位
 - 1级谐波3000Hz, $b=3000 \times 8 = 24000$ 位/秒

2.2.3 信道的极限容量

- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，在信道的输出端的波形的失真就越严重。





(1) 信道能够通过的频率范围

- 1924 年，奈奎斯特(Nyquist)就推导出了著名的**奈氏准则**。他给出了在假定的理想条件下，为了避免码间串扰，码元的传输速率的上限值。
- 在任何信道中，码元传输的速率是有上限的，否则就会出现**码间串扰**的问题，使接收端对码元的判决（即识别）成为不可能。
 - **奈氏准则说明：**
 - 任意一个信号通过了一个带宽为 H 的低通滤波器，则只要每秒 $2H$ 次采样，过滤之后的信号就可以完全重构出来。
 - 采样率超过每秒 $2H$ 次是没有意义的，因为通过低通滤波器的高频部分已被滤掉。

奈氏(Nyquist)准则

理想低通信道的最高码元传输速率 = $2W$ Baud

W 是理想低通信道的带宽，单位为赫(Hz)



- 每赫带宽的理想低通信道的最高码元传输速率是每秒 2 个码元。
- Baud 是波特，是码元传输速率的单位，1 波特为每秒传送 1 个码元。

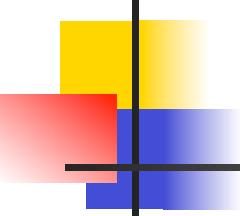
另一种形式的奈氏准则

理想带通特性信道的最高码元传输速率 = W Baud

W 是理想带通信道的带宽，单位为赫(Hz)

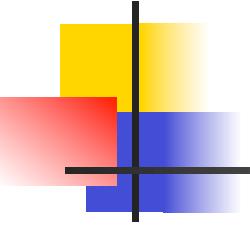


- 每赫带宽的理想低通信道的最高码元传输速率是每秒 1 个码元。
- 两种奈氏准则的区别：
 - 是否包含0Hz，逼近0Hz可以容纳更多的信息。



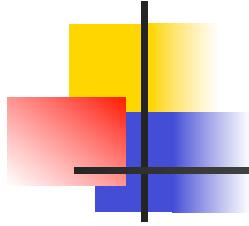
(2) 信噪比

- 香农(Shannon)用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的**极限、无差错的信息传输速率**。
- 信道的极限信息传输速率：
$$C = W \log_2(1+S/N) \text{ b/s}$$
 - W 为信道的带宽 (以 Hz 为单位)；
 - S 为信道内所传信号的平均功率；
 - N 为信道内部的高斯噪声功率。
 - 信噪比的单位为分贝 (dB)，其内涵是 $10\lg(S/N)$ 。即若 $S/N=10$ ，则为 10dB；若 $S/N=100$ ，则为 20dB。



香农公式表明

- 信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高。
- 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输。
- 若信道带宽 W 或信噪比 S/N 没有上限（当然实际信道不可能是这样的），则信道的极限信息传输速率 C 也就没有上限。
- 实际信道上能够达到的信息传输速率要比香农的极限传输速率低不少。

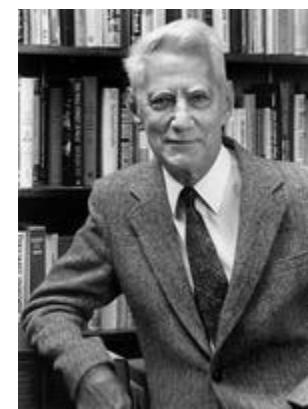


Nyquist公式和Shannon公式的比较

- $C = 2W \log_2 M$
 - 用于理想信道（这样的信道存在吗？）
 - 数据传输率随信号编码级数增加而增加。
- $C = W \log_2 (1+S/N)$
 - 用于有噪声信道（实际的信道总是有噪声！）
 - 无论信号编码级数增加到多少，此公式给出了有噪声信道可能达到的最大数据传输速率上限。
 - 原因：噪声的存在将使编码级数不可能无限增加。

Claude Elwood Shannon, 1916-2001

- 1936, University of Michigan, 数学与电气工程学士学位。
- 1937年在MIT当微分差动仪的维修工；1938年获得电气工程硕士学位：《A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits》(继电器与开关电路的符号分析)。
- 1940年在MIT获得数学博士学位，DNA遗传学研究：《An Algebra for Theoretical Genetics》(理论遗传学的代数学)
- 1940年，普林斯顿大学，研究拓扑学，没有做出成绩；研究炮弹发射轨迹，因离婚没有完成。
- 1941年，贝尔实验室，X计划（与图灵合作）。
- 1948年，基于X计划中信息在传输过程中如何在噪声干扰下能够正常地传输信息的研究成果，发表《A Mathematical Theory of Communication》(《通讯传播的数学理论》)。信息论研究的奠基石。
- 1956年，回到MIT，举办了关于人工智能的第一次重要学术会议。
- 1958年，转向股票投资。
 - 投身股市时写下承诺：翻11倍的目标。
- 1984年，患老年痴呆。
- 两大贡献：
 - 信息理论、信息熵的概念；
 - 符号逻辑和开关理论。



搞信息技术的人还可以干什么？

1986年，1986年8月美国《巴朗斯》报道了1026家共同基金的最新业绩

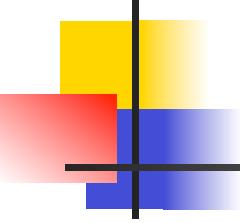
■ 香农基金的利润位列第一名

- 从50年代后期到1986年，香农的股票投资组合的年收益率大约为28%。
- 持有哈里森实验室的股票32年，年收益率在29%，当初他买入时只有1.28美分，到卖出时35美元。
- “在某种程度上，投资类似于我平时做的交流工作和从杂音中提取出信号的工作。”
- 香农一直以来想出一本书，以阐述自己的投资之道。但是没有诞生，WHY？

■ 巴菲特最好成绩：

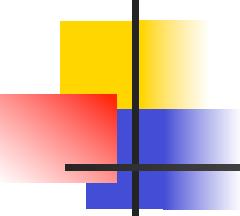
- 1965年购买哈撒韦公司时公司股价为18元，
- 1995年时公司股价为24000元。
- 在30年里收益率达到27%，1378倍。





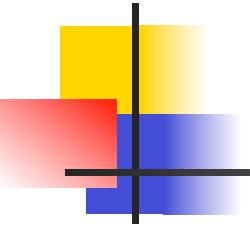
2.2.2 有关信号的几个基本概念

- **单向通信**（单工通信）——只能有一个方向的通信而没有反方向的交互。
- **双向交替通信**（半双工通信）——通信的双方都可以发送信息，但不能双方同时发送(当然也就不能同时接收)。
- **双向同时通信**（全双工通信）——通信的双方可以同时发送和接收信息。



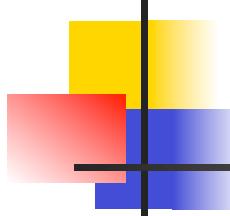
基带(baseband)信号和 带通(band pass)信号

- **基带信号**（即基本频带信号）——来自信源的信号。像计算机输出的代表各种文字或图像文件的数据信号都属于基带信号。
- 基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。因此必须对基带信号进行**调制**(modulation)。
- **带通信号**——把基带信号经过载波调制后，把信号的频率范围搬移到较高的频段以便在信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。



几种最基本的调制方法

- 基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。为了解决这一问题，就必须对基带信号进行**调制**(modulation)。
- 最基本的二元制调制方法有以下几种：
 - **调幅(AM)**: 载波的振幅随基带数字信号而变化。
 - **调频(FM)**: 载波的频率随基带数字信号而变化。
 - **调相(PM)** : 载波的初始相位随基带数字信号而变化。

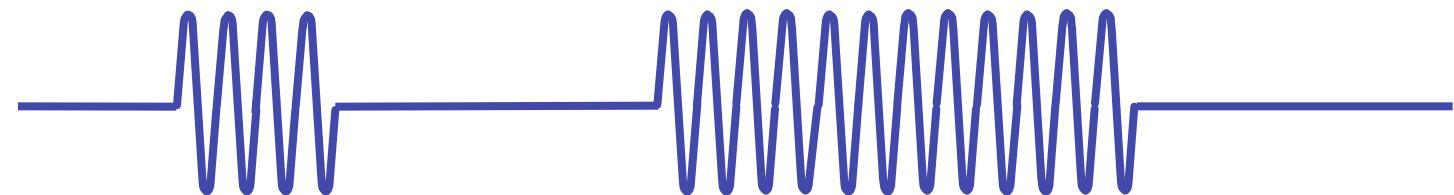


对基带数字信号的几种调制方法

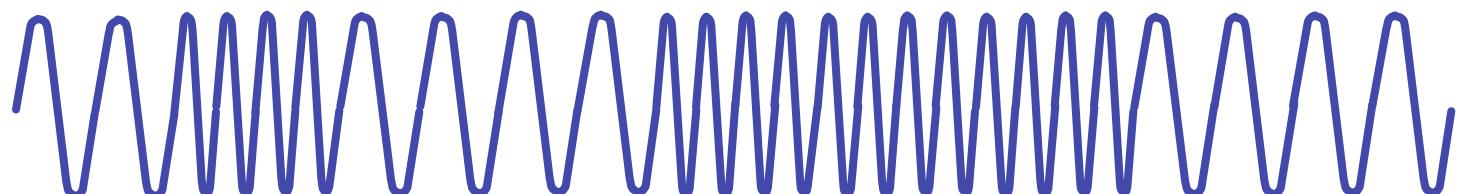
基带信号



调幅



调频



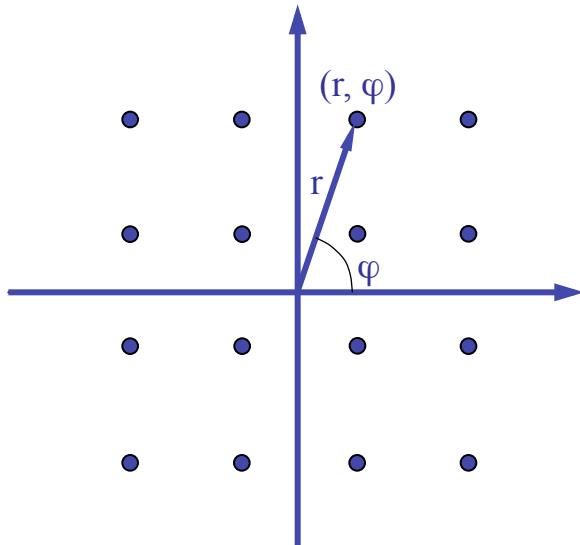
调相



正交振幅调制 QAM

(Quadrature Amplitude Modulation)

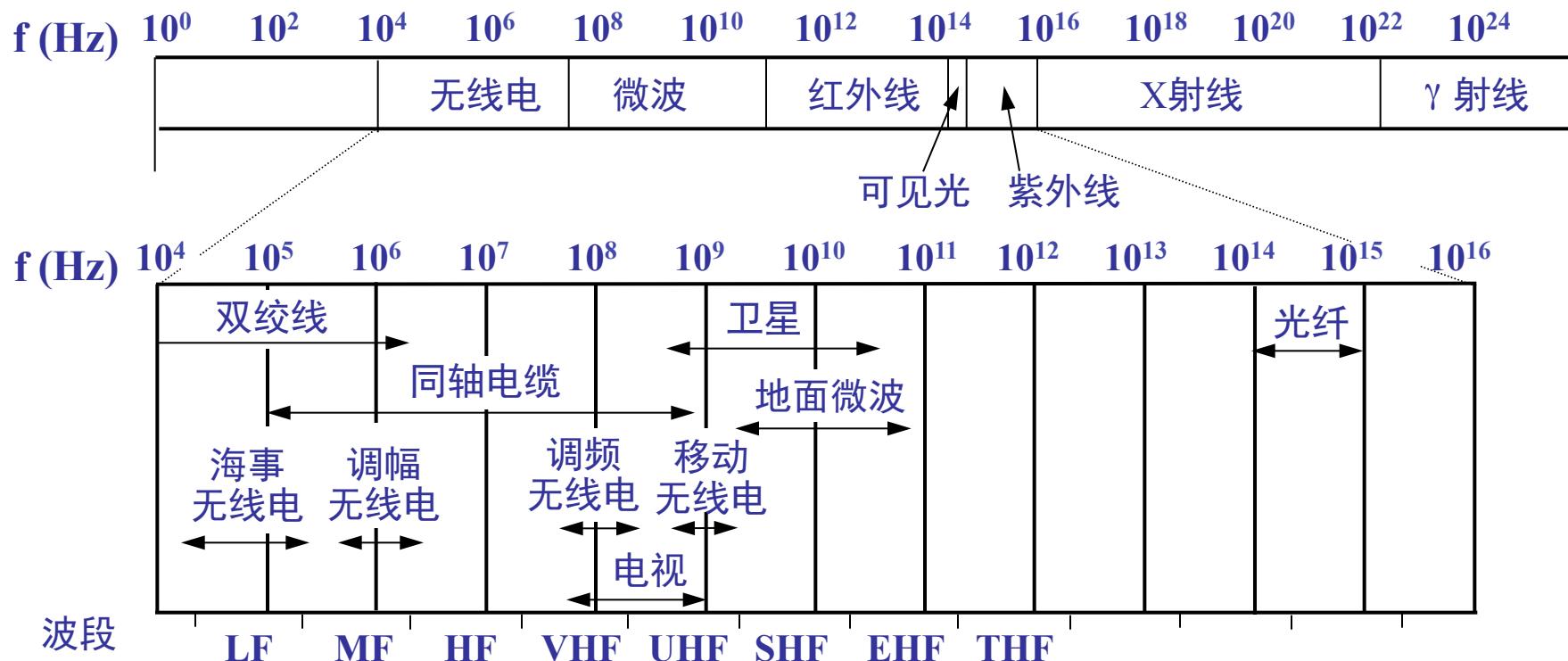
举例

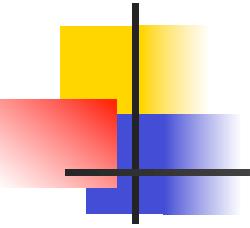


- 可供选择的相位有 12 种，而对于每一种相位有 1 或 2 种振幅可供选择。
- 由于 4 bit 编码共有 16 种不同的组合，因此这 16 个点中的每个点可对应于一种 4 bit 的编码。
- 若每一个码元可表示的比特数越多，则在接收端进行解调时要正确识别每一种状态就越困难。

2.3 物理层下面的传输媒体

电信领域使用的电磁波的频谱





2.3.1 导向传输媒体

- 双绞线
 - 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair)
 - 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair)
- 同轴电缆
 - 50Ω 同轴电缆
 - 75Ω 同轴电缆
- 光缆

双绞线

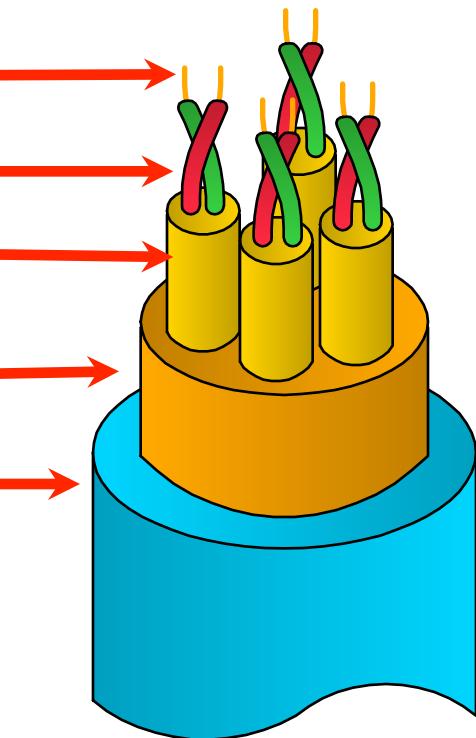
内导体芯线

绝缘

内屏蔽

外屏蔽

外套



- 螺旋绞合的双导线
- 每根4对、25对、1800对
- 典型连接距离100m（LAN）

•RJ45插座、插头

•优缺点：

成本低

组装密度高、节省空间
安装容易（综合布线
系统）

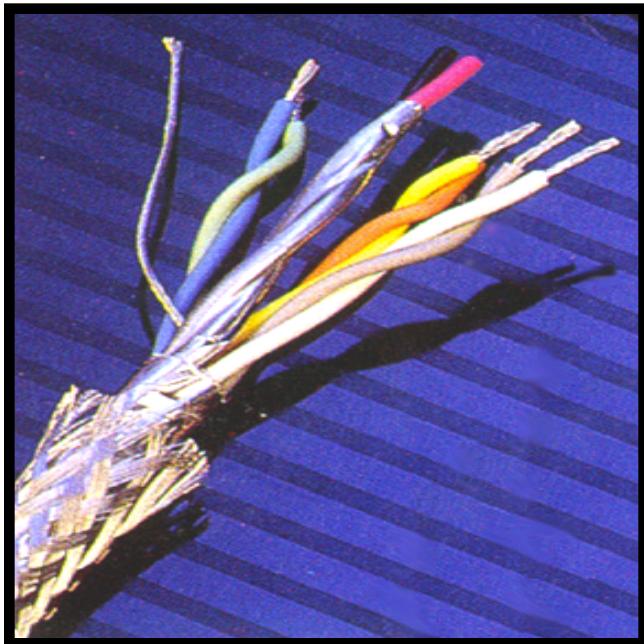
平衡传输（高速率）

抗干扰性一般

连接距离短

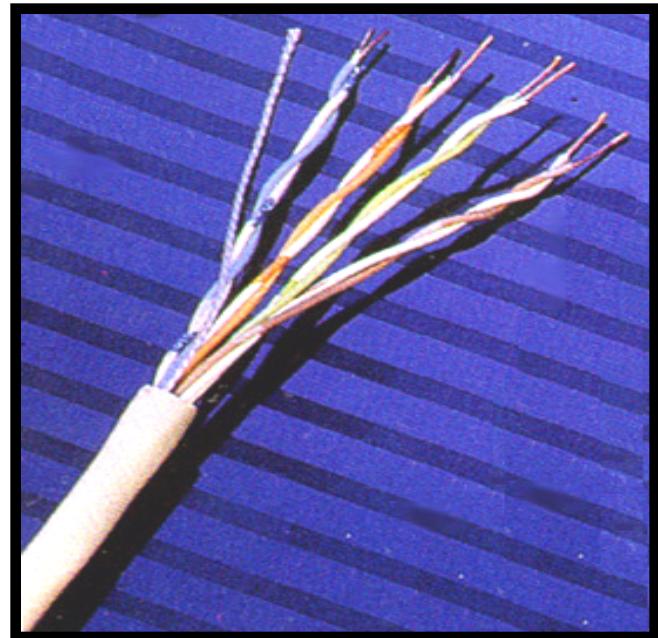
应用领域：电话网络、计算机局域网

以铝箔屏蔽以减少干扰和串音，应用较少



屏蔽双绞线(**STP**)

双绞线外无任何屏蔽层，应用广泛

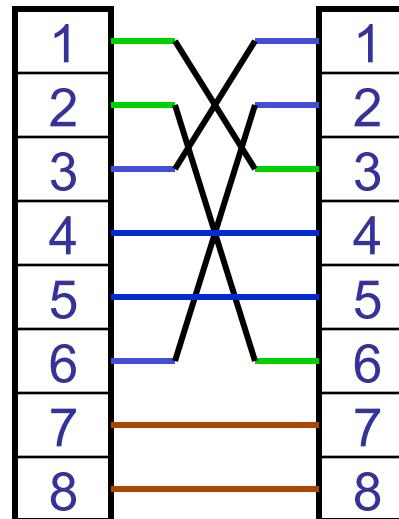


非屏蔽双绞线(**UTP**)

双绞线连接标准

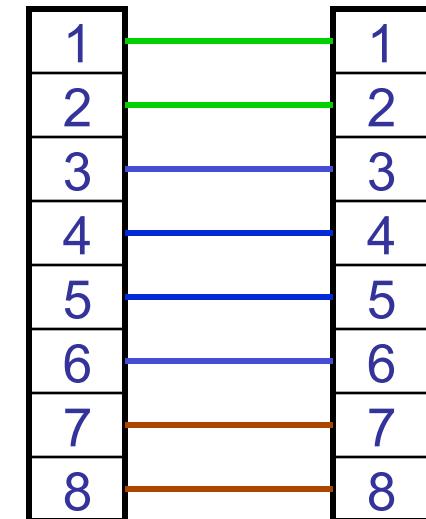
色彩标记和连接方法：

线对	色彩码
1	白蓝, 蓝
2	白橙, 橙
3	白绿, 绿
4	白棕, 棕



交叉线

EIA-568B



直连线

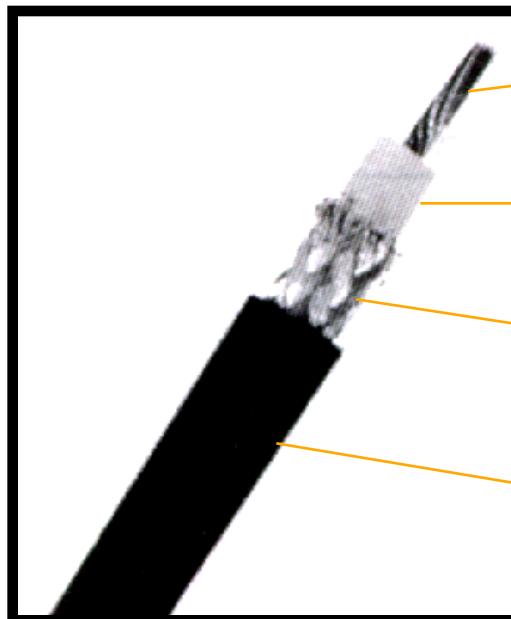
EIA-568A

- 交叉线：交换机—交换机、PC-PC、HUB-HUB(标准端口)
- 直连线：PC/路由器—交换机/HUB、HUB-HUB(级连端口)

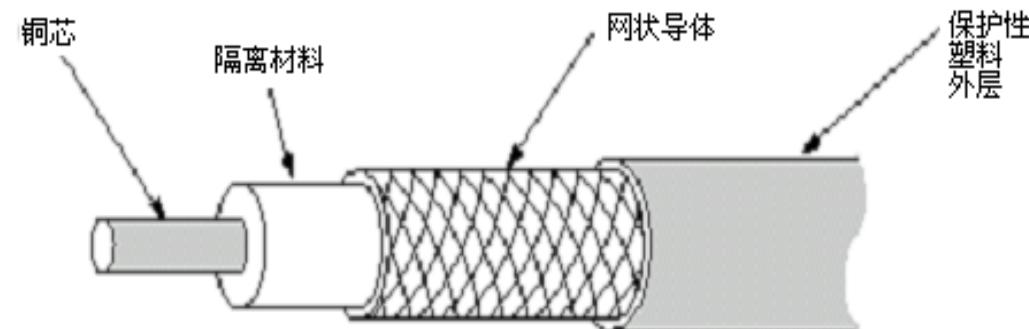
同轴电缆

计算机网络中使用基带同轴电缆

- 阻抗 50Ω ，有粗同轴和细同轴两种
- 应用：总线局域网（以太网）

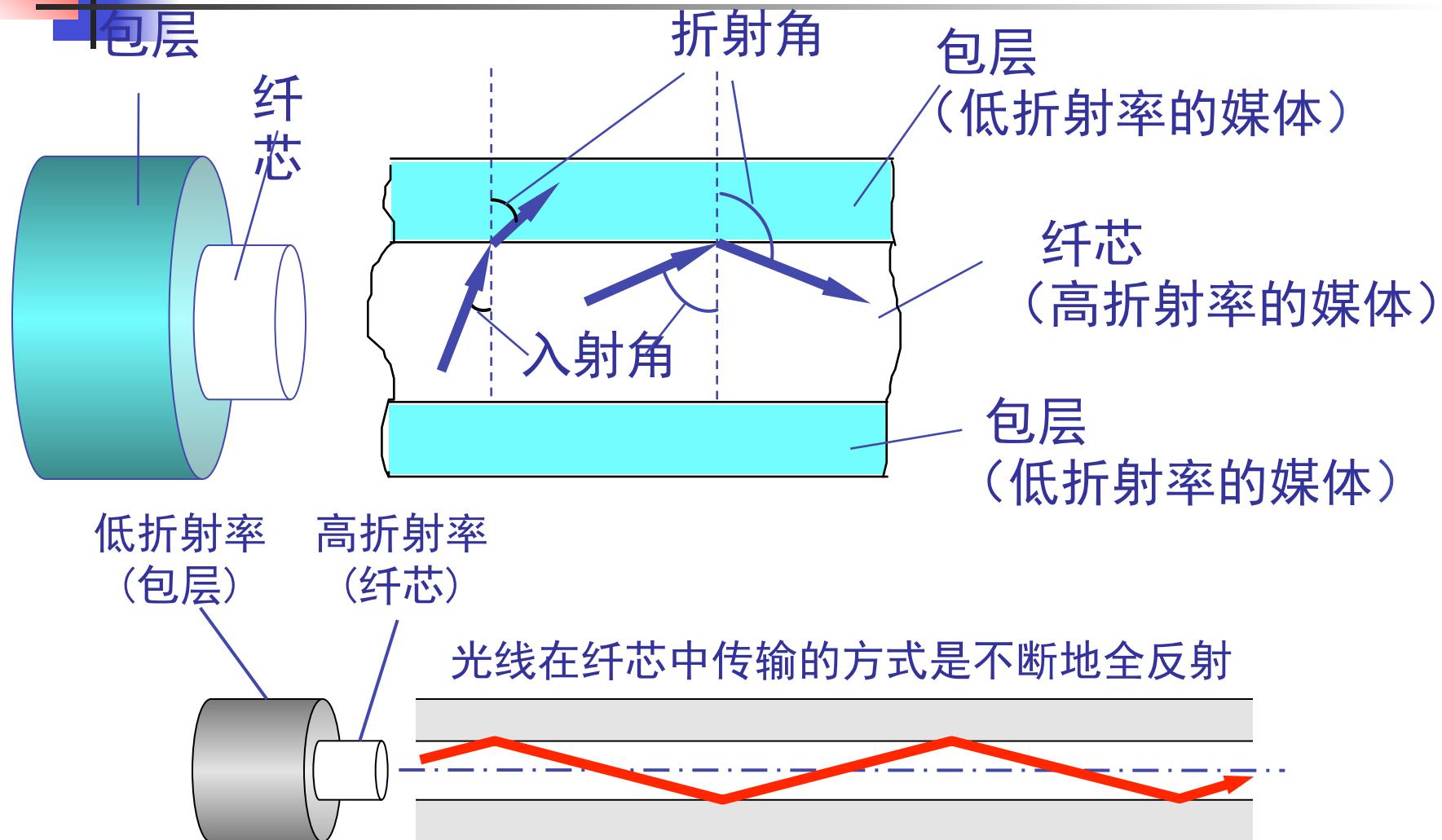


铜芯
绝缘层
外导体屏蔽层
保护套



- 有线电视网络同轴电缆
 - 阻抗 75Ω , 750MHz

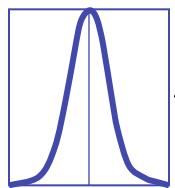
光线在光纤中的折射



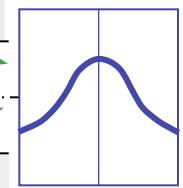
多模光纤与单模光纤

多模光纤

输入脉冲

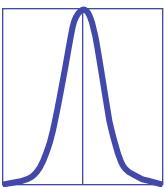


输出脉冲

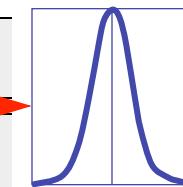


单模光纤

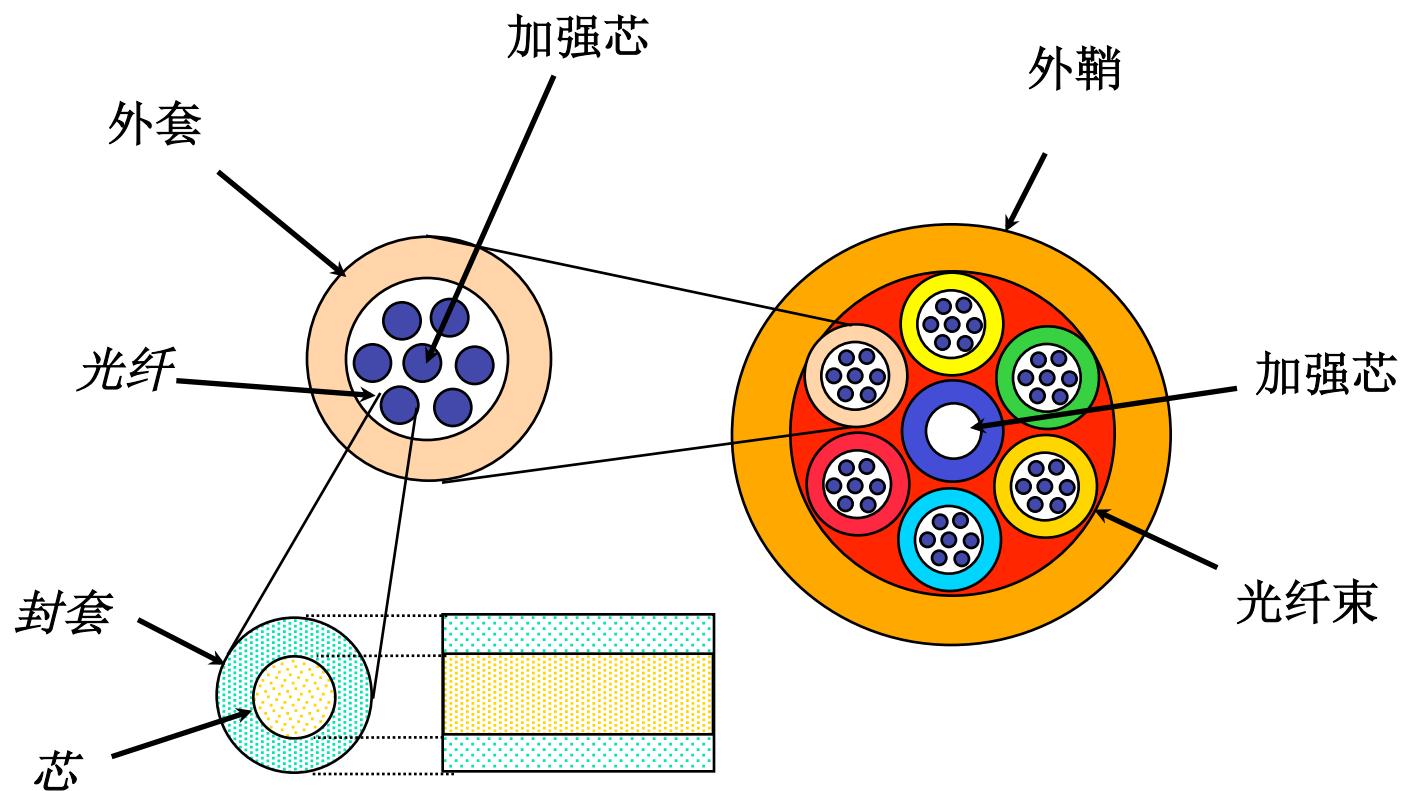
输入脉冲

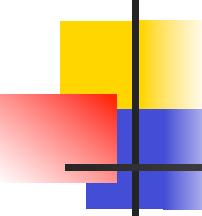


输出脉冲



高密度多芯光缆剖面结构





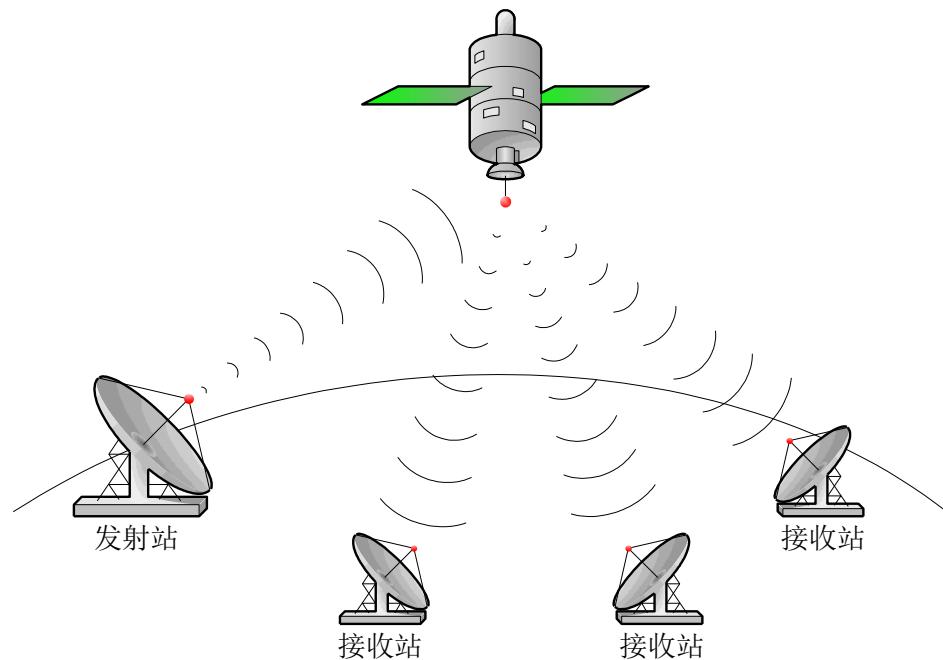
光纤和铜线的比较

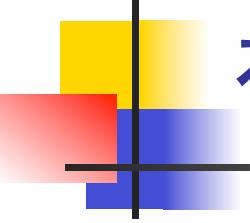
- 更高的带宽——构建高速网络
- 衰减小——中继器少
- 光纤50km中继，铜线5km中级
- 不受电源振荡、干扰影响
- 不宜腐蚀（不生锈），适应恶劣环境
- 电话公司喜欢光纤的理由？细小，重量轻
 - 1000根铜线带宽和2根光纤相等
 - 长度1km，铜线8000kg；光纤100kg
 - 现有电缆管塞满了铜线——光纤，还有余地

2.3.2 非导向传输媒体



- 使用电磁波或光波携带信息。
- 优缺点：
 - 无需物理连接
 - 适用于长距离或不便布线的场合
 - 易受干扰
 - 反射，为障碍物所阻隔



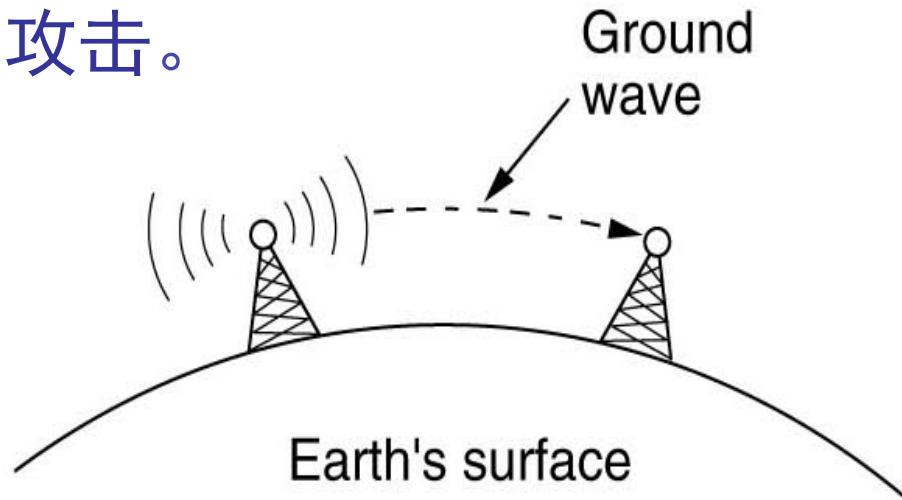


补充：电磁波传输原理

- 电子运动会产生电磁波，可在空气（真空）中传播。
- 连接适当大小的天线，电磁波就可以广播出去，在一定距离之外可以接收到。
- 真空中，不论任何频率的电磁波都以光速传播：
 - $\lambda f=c$ 。 λ , 波长; f , 频率; c , 光速
 - λ 以米为单位; f 以MHz为单位; 则 $\lambda f \approx 300$
 - 即100MHz波长3米, 1000MHz波长0.3米
- 对 λ 求导有: $\frac{df}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$ 即 $\Delta f = \frac{c}{\lambda^2} \Delta \lambda$

低频波通信

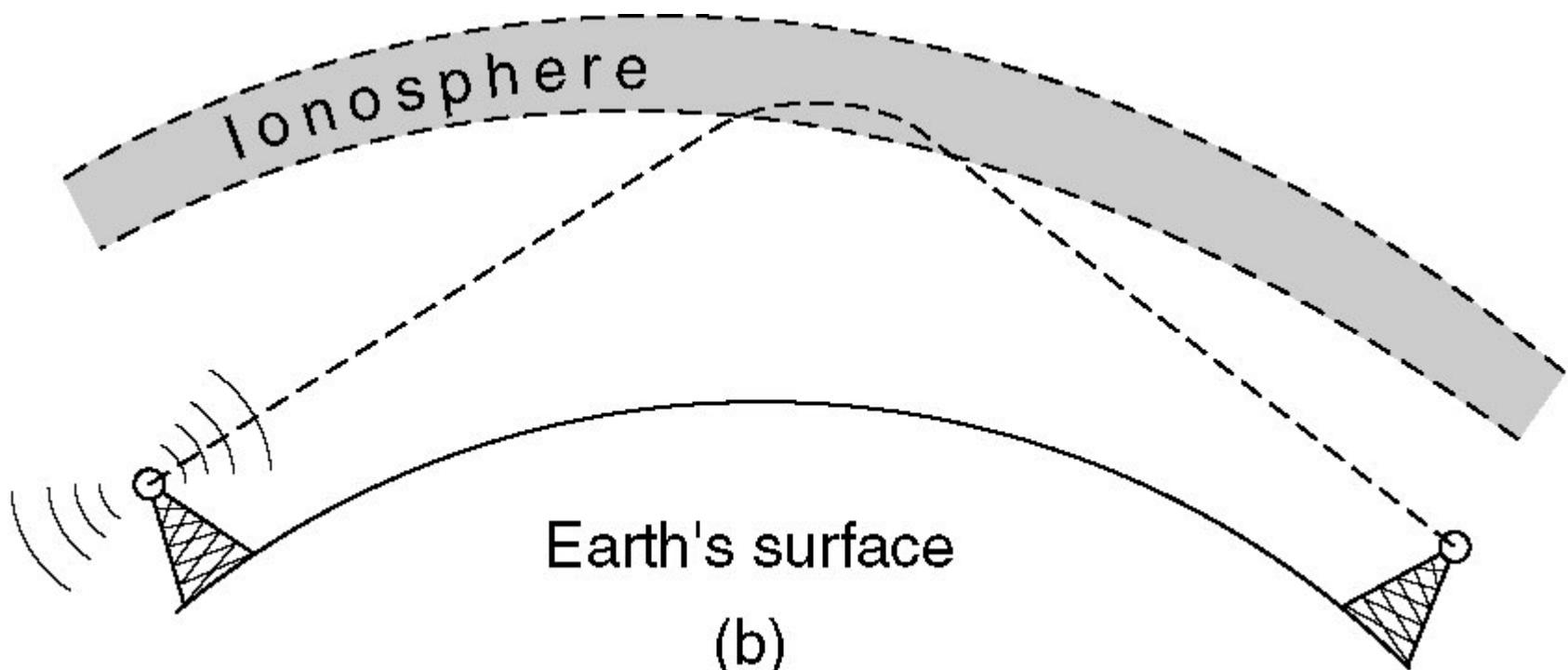
- VLF\LF\MF频段，无线电波沿地面传输，1000km以内可以检测到这种电波。
- 穿透建筑物，因此收音机可以在室内使用；如AM电台使用MF波段。
- 不受网络枢纽和有源中继体制约的远程通信手段，一但发生战争或灾害，各种通信网络都可能受到破坏，卫星也可能受到攻击。



高频波传输

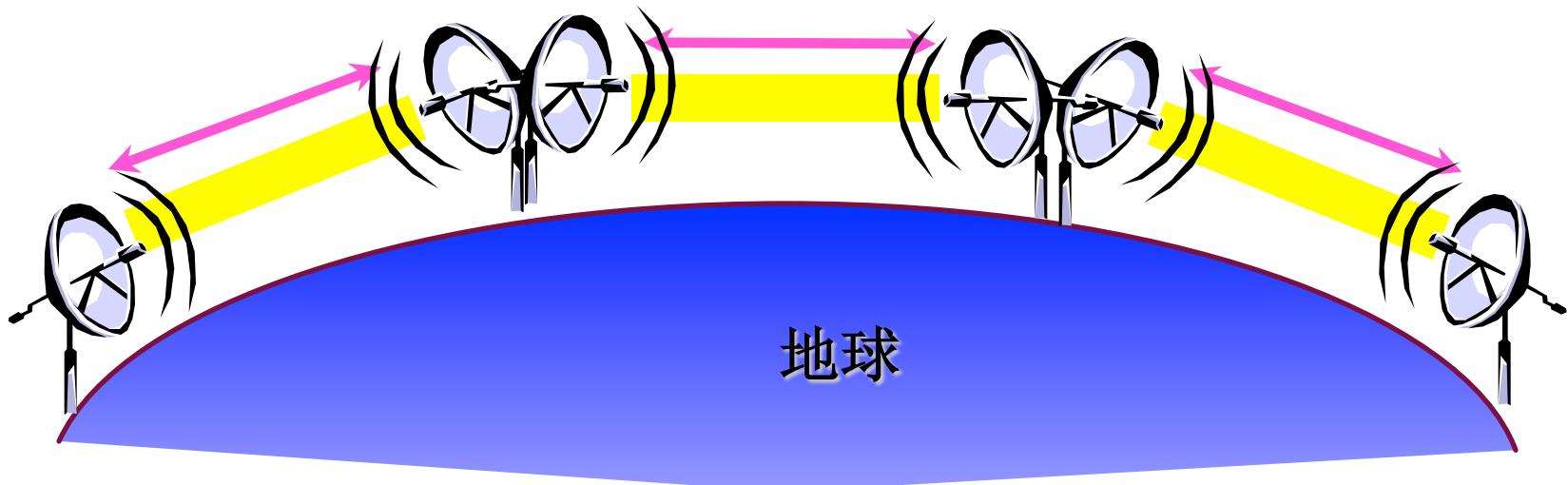
HF和VHF波段，地面波被地球吸收。

- 到达电离层后（100~500Km高空），反射，长距离通话。
- 电离层的高度和密度容易受昼夜、季节、气候等因素的影响，通信的稳定性较差，噪声较大。



微波通信

- 100MHz以上的频段内，电波几乎按直线传播。
- 通过地面站之间接力传送
- 接力站之间距离：50 ~100 km



地面站之间的直视线路



微波传送塔

微波典型应用

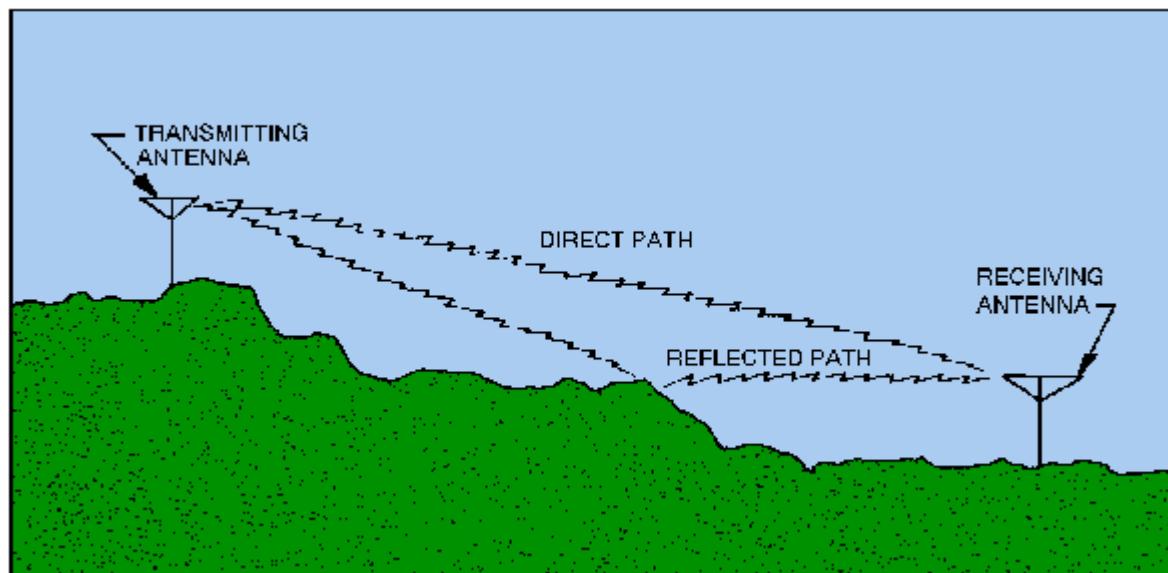
- Microwave Communication Inc.
- 使用微波通信建立了整个电话系统。
- 后改为光纤和WorldCom合并。

MCI Initial Filing



微波问题举例：多途衰减 (MultiPath Fading)

- 无线电波因反射或折射，造成某些微波沿反射或折射路径到达接收端，与直接到达的微波可能不同像，从而抵消了信号。



跳频扩展 (frequency hopping spread spectrum)

- 发送方每秒几百次的从一种频率跳到另一种频率。
 - 反射或折射信号到达接收方时，接收方已经变换了频率，不会干扰。
 - 不易被检测、窃听、干扰。

Hedy Lamarr

(Nov. 9, 1914 – Jan. 19, 2000)

美貌与智慧并重

American Patent:

2,292,387



“电影往往限于某一地区和时代，而技术是永恒的。”

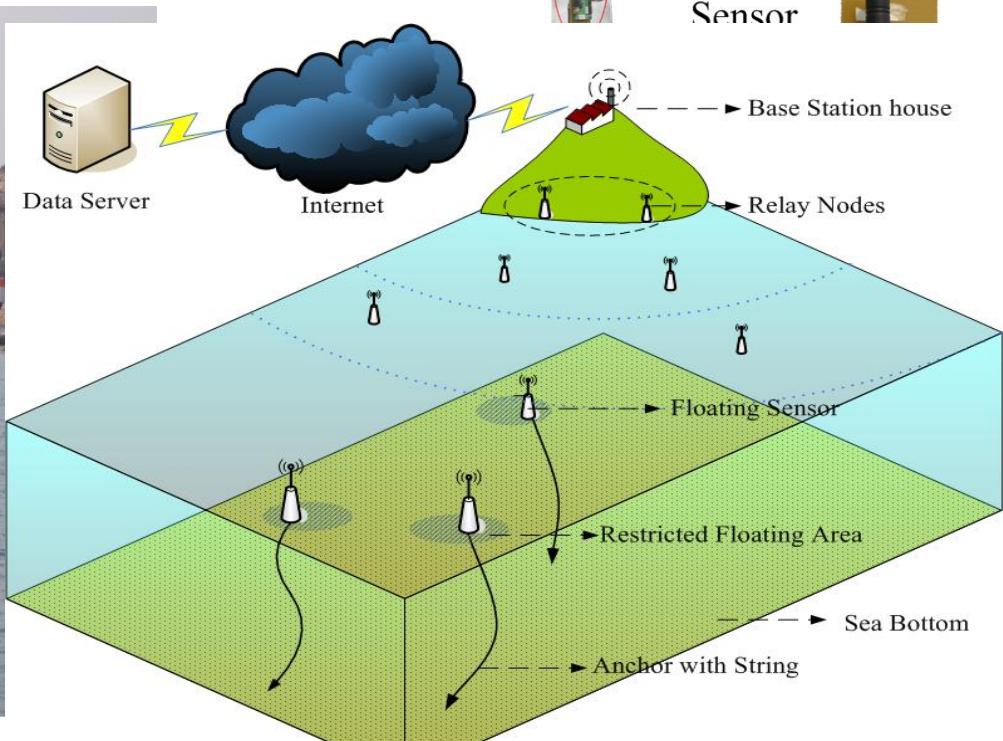
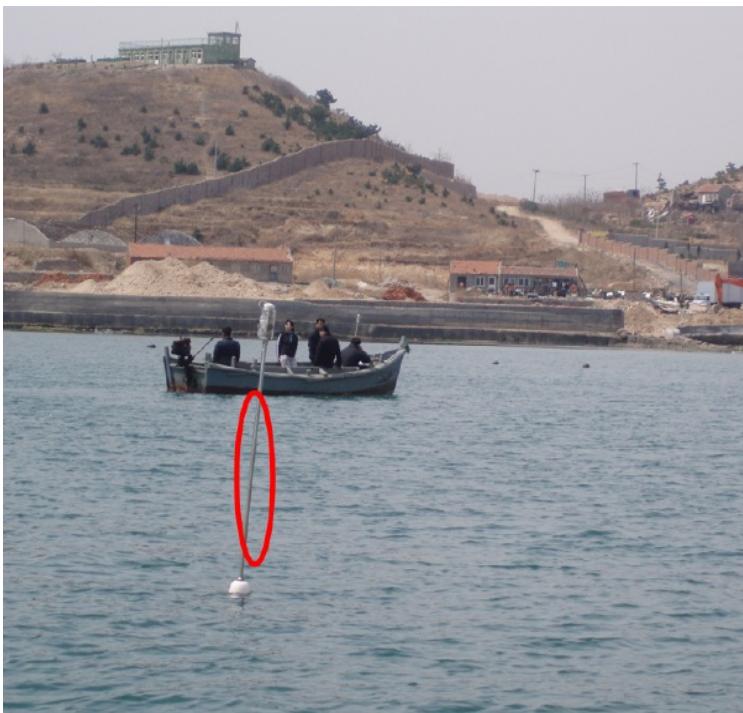
无线定位问题研究

- Hardware/Software Architecture
- Real-time Operating Systems and Scheduling
- Real-time Programming Languages and Software
- Reliability, Safety, and Fault Tolerance
- Performance Evaluation
- Real-time Sensing and Control
- Robotics and Integrated Manufacturing
- Case Studies

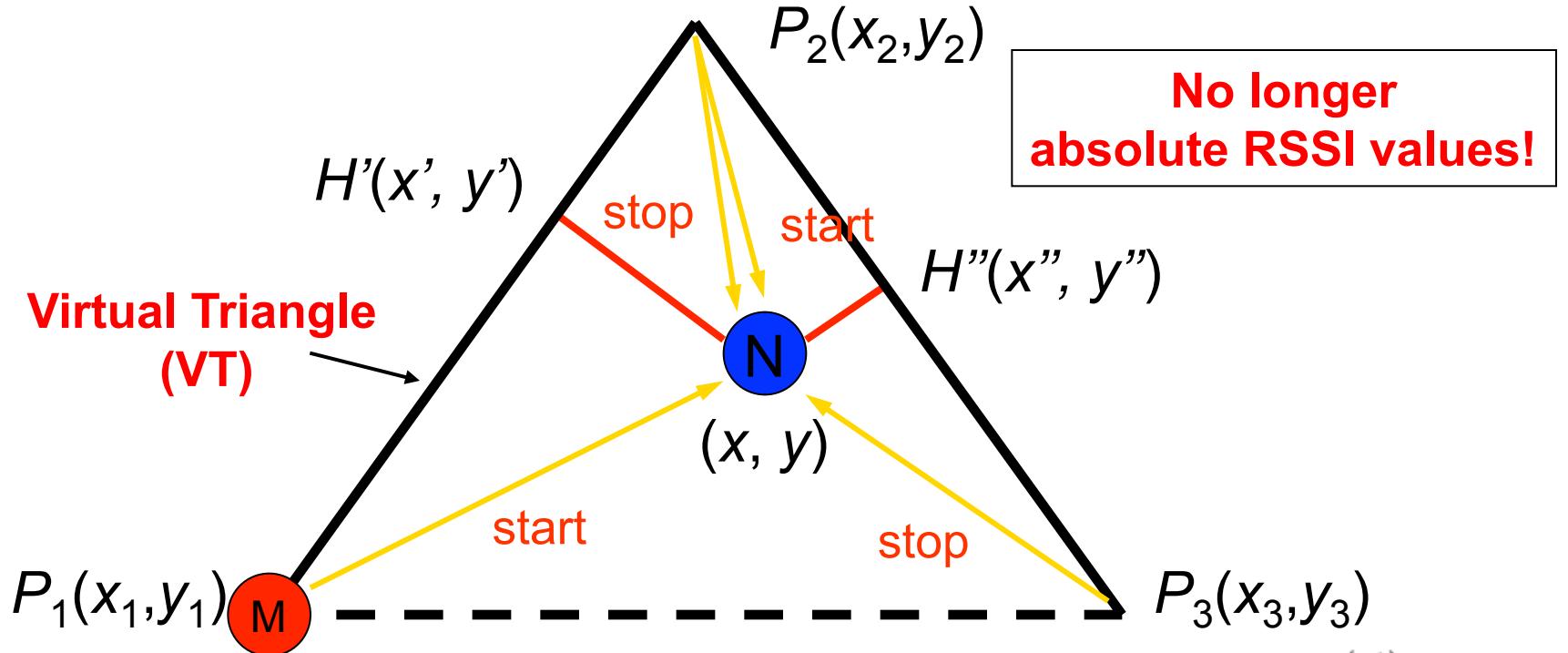
■ OceanSense, <http://osn.ouc.edu.cn>

■ IEEE RTSS 2008:

■ Perpendicular Intersection: Locating Wireless Sensors with Mobile Beacon



PI (Perpendicular Intersection)



No longer
absolute RSSI values!

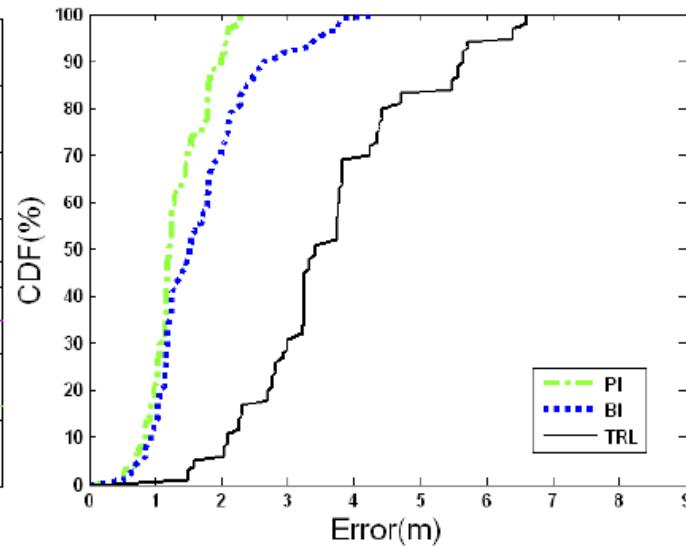
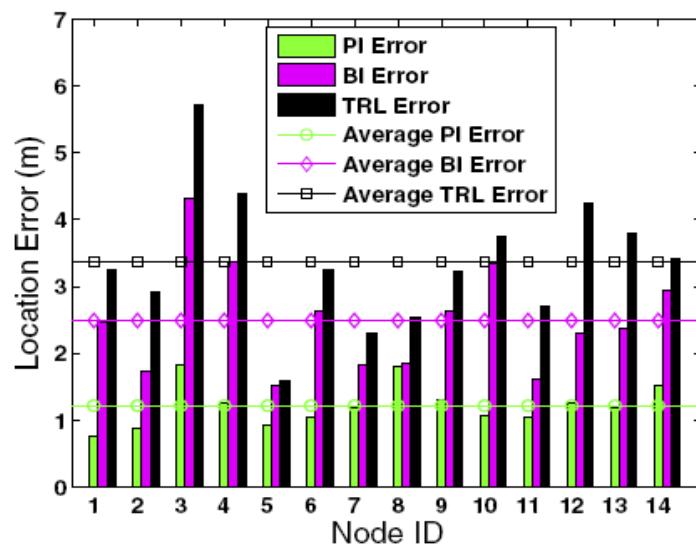
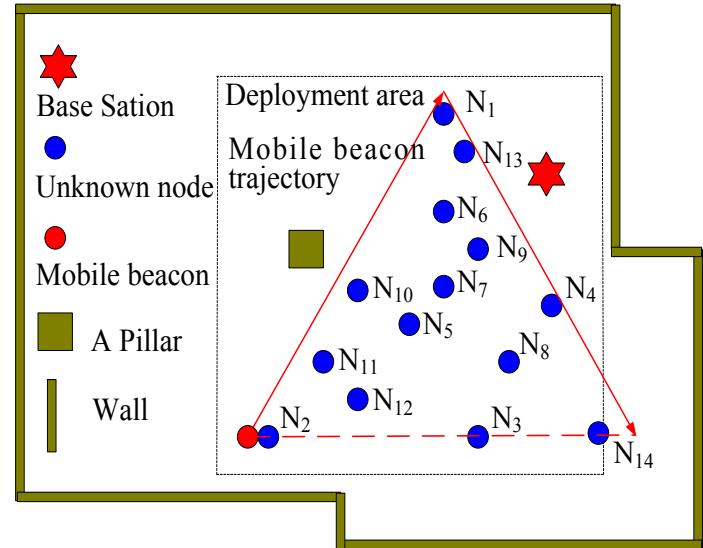
$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} * \frac{y - y'}{x - x'} = -1$$

$$A = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ x'' \\ y'' \end{pmatrix}$$

$$\frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} * \frac{y - y''}{x - x''} = -1$$

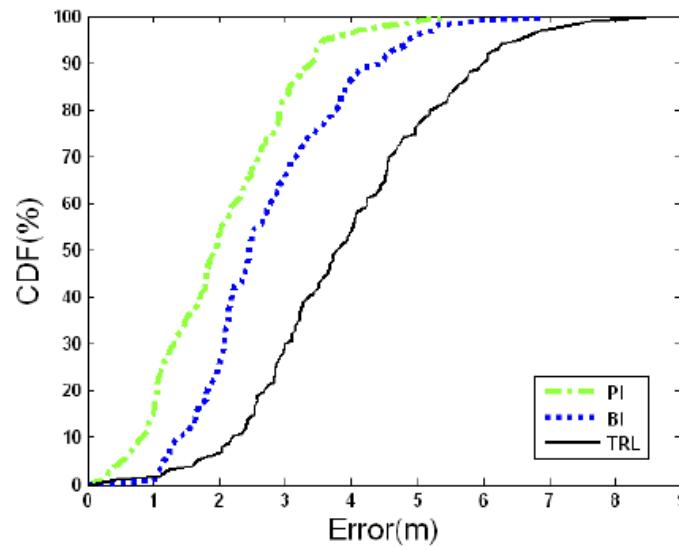
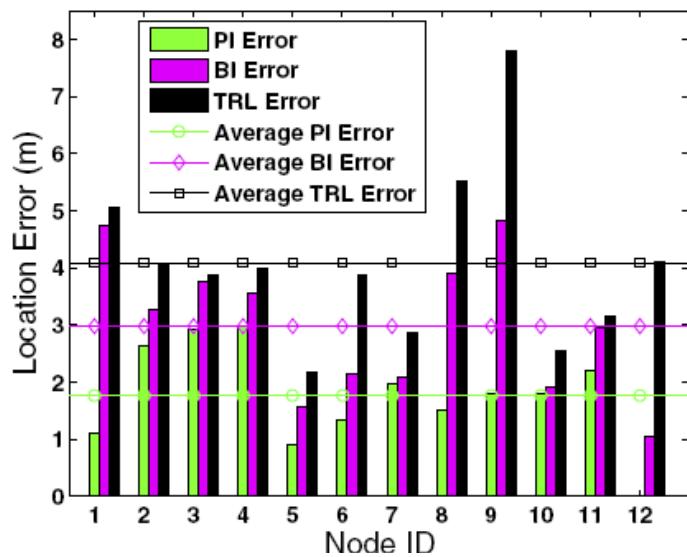
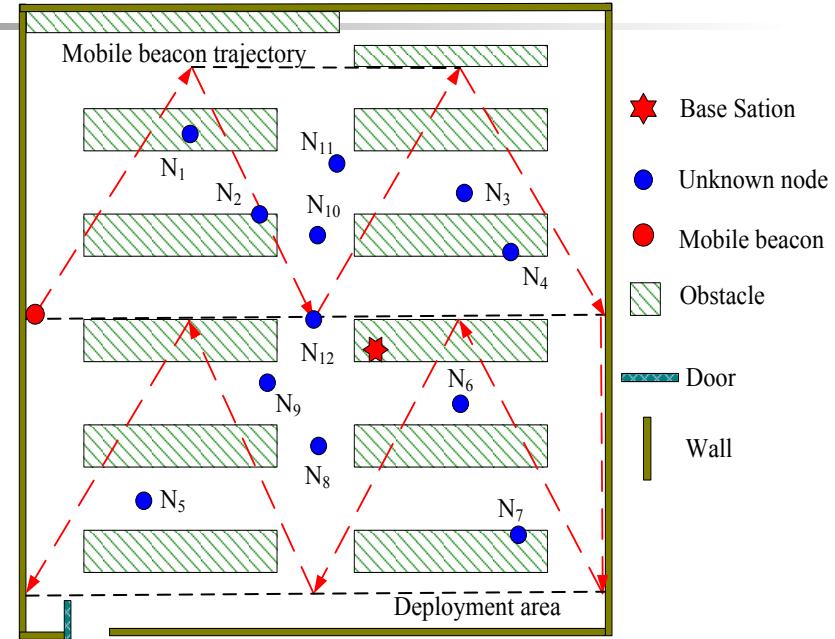
$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{pmatrix}^{-1} * A$$

Hall Experiment



Ave. Error:
PI 1.2175m
BI 2.4921m
TRL 3.3631m

Laboratory Experiment



Ave. error:

PI 2.5645m

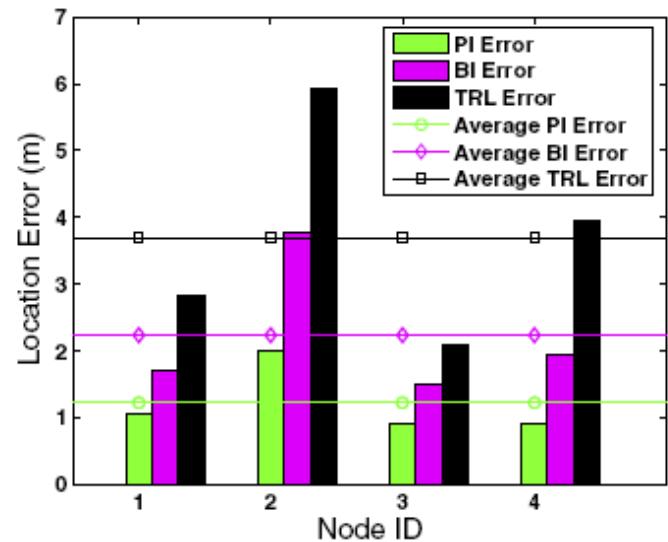
BI 3.5829m

TRL 4.7299m

Racket Court Experiments



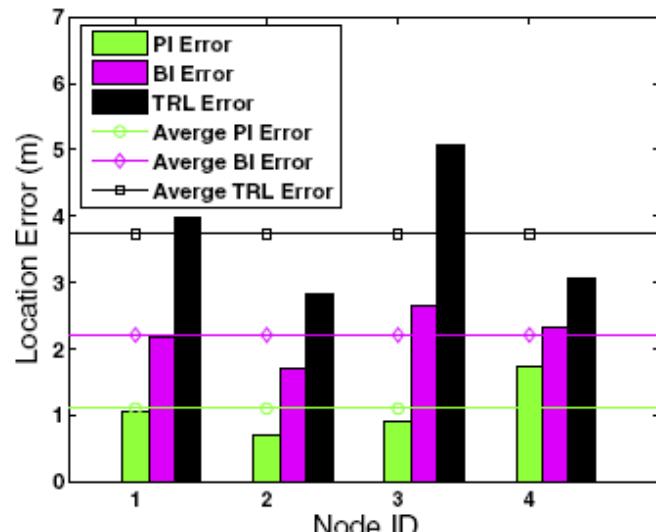
Ave. Estimation error:
PI 1.2174m
BI 2.2313m
TRL 3.6942m



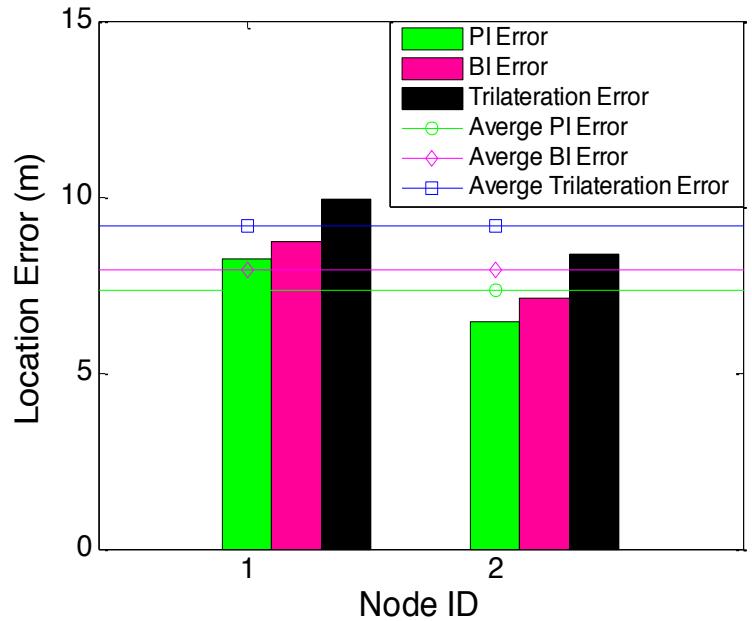
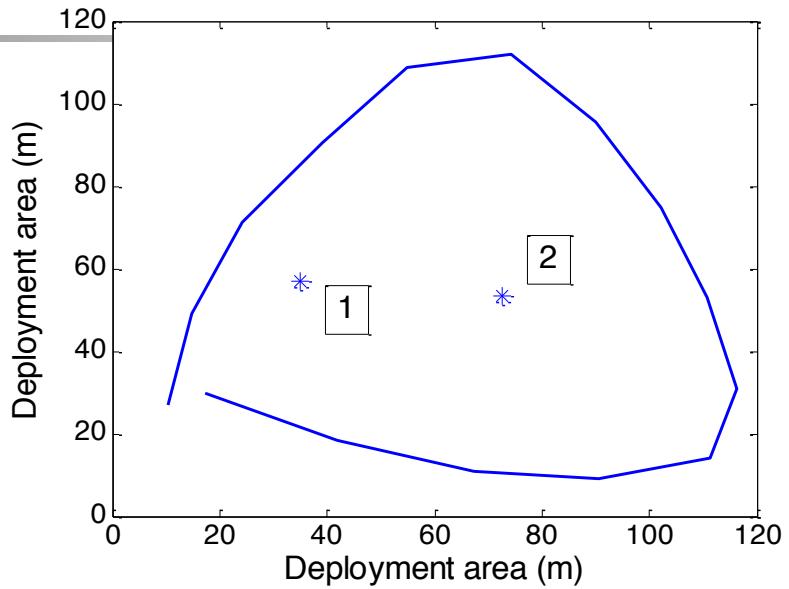
Parking Lots Experiments



Ave. Estimation error:
PI 1.0952m
BI 2.2079m
TRL 3.7324m



海上实验结果

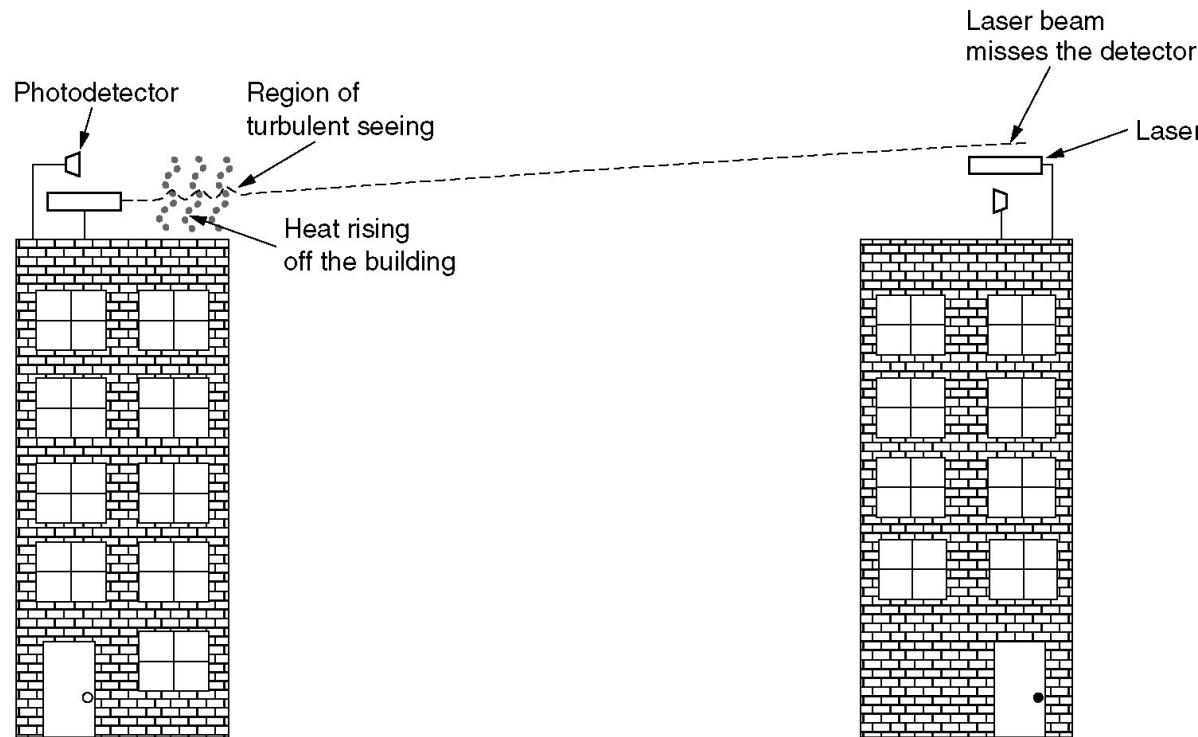
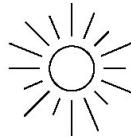


红外线和毫米波

- 短距离通信
- 方向性、便宜、易于制造
- 不能穿透固体
 - 不会干扰邻居
 - 防窃听
- 桌面应用领域
 - 连接打印机
 - 连接手机



光波传输



热流可以对光形成干扰

通讯卫星

■ 地球同步轨道卫星

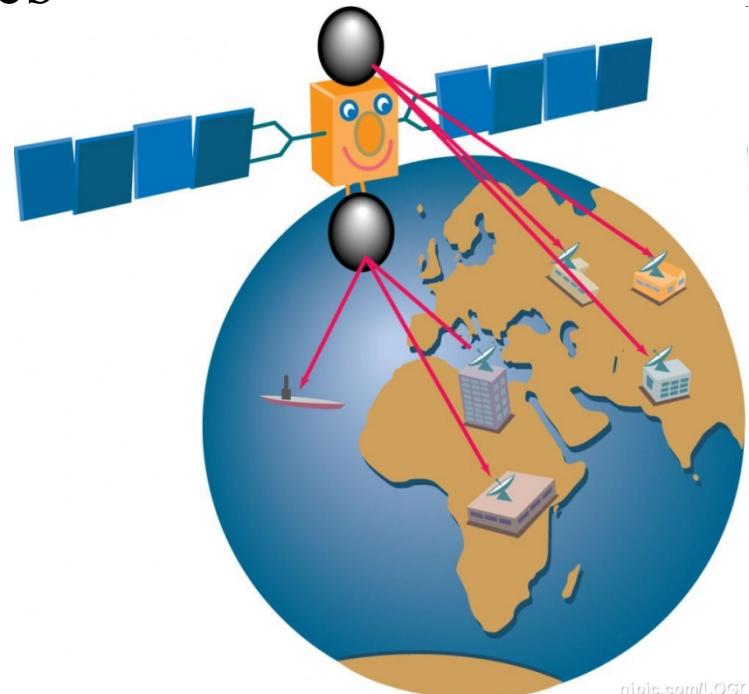
- Geostationary Satellites

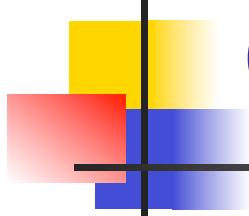
■ 中轨道卫星

- Medium-Earth Orbit Satellites

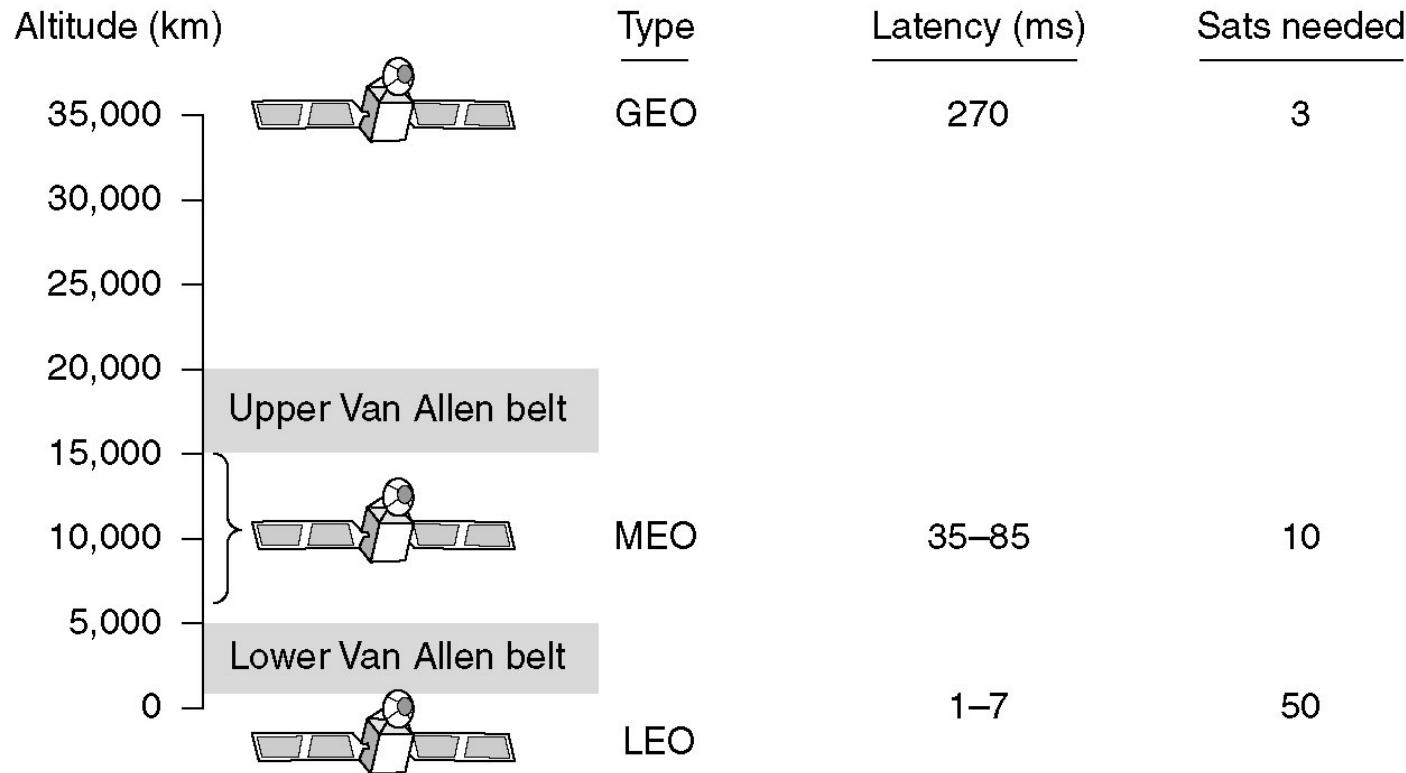
■ 低轨道卫星

- Low-Earth Orbit Satellites



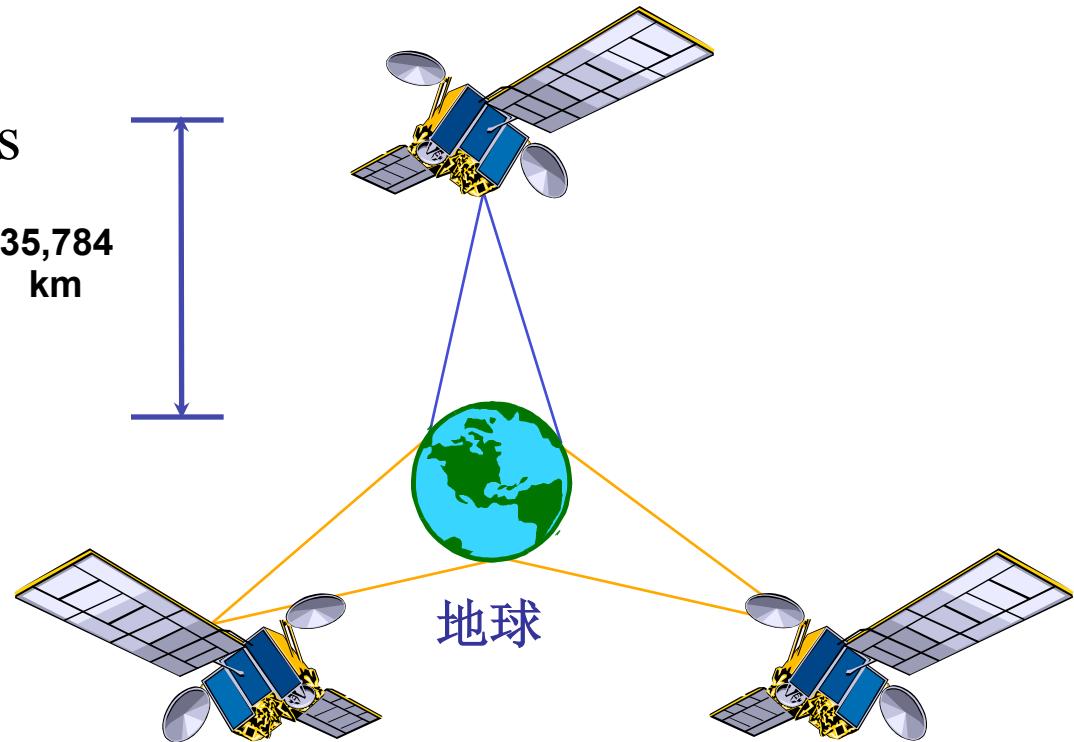


Communication Satellites

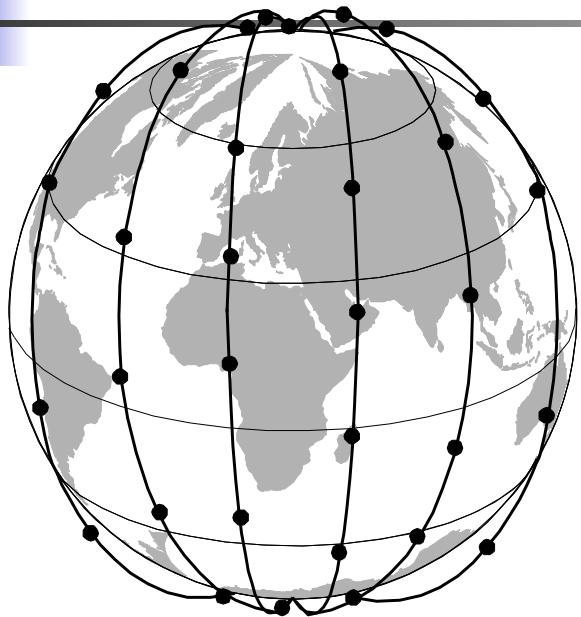


同步卫星

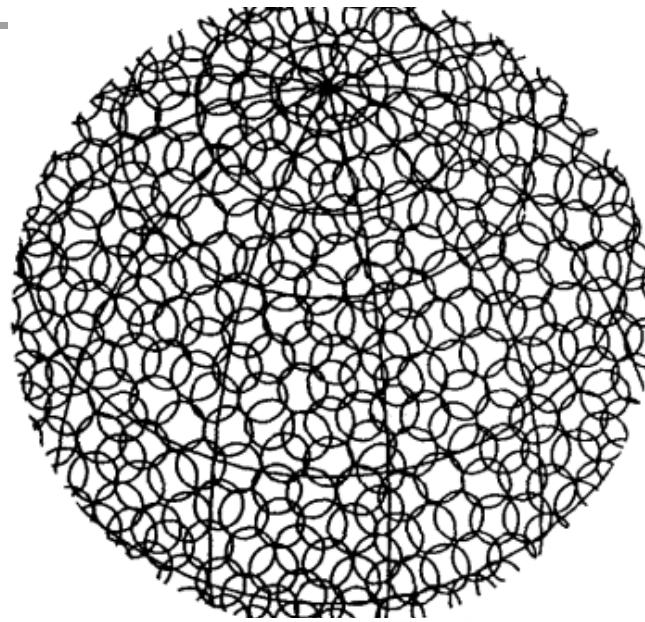
- 与地面站相对固定位置
- 使用三颗卫星即可覆盖全球
 - 传输延迟时间长270ms
 - 广播式传输
 - 应用领域：
 - 电视传输
 - 长途电话
 - 专用网络
 - 广域网



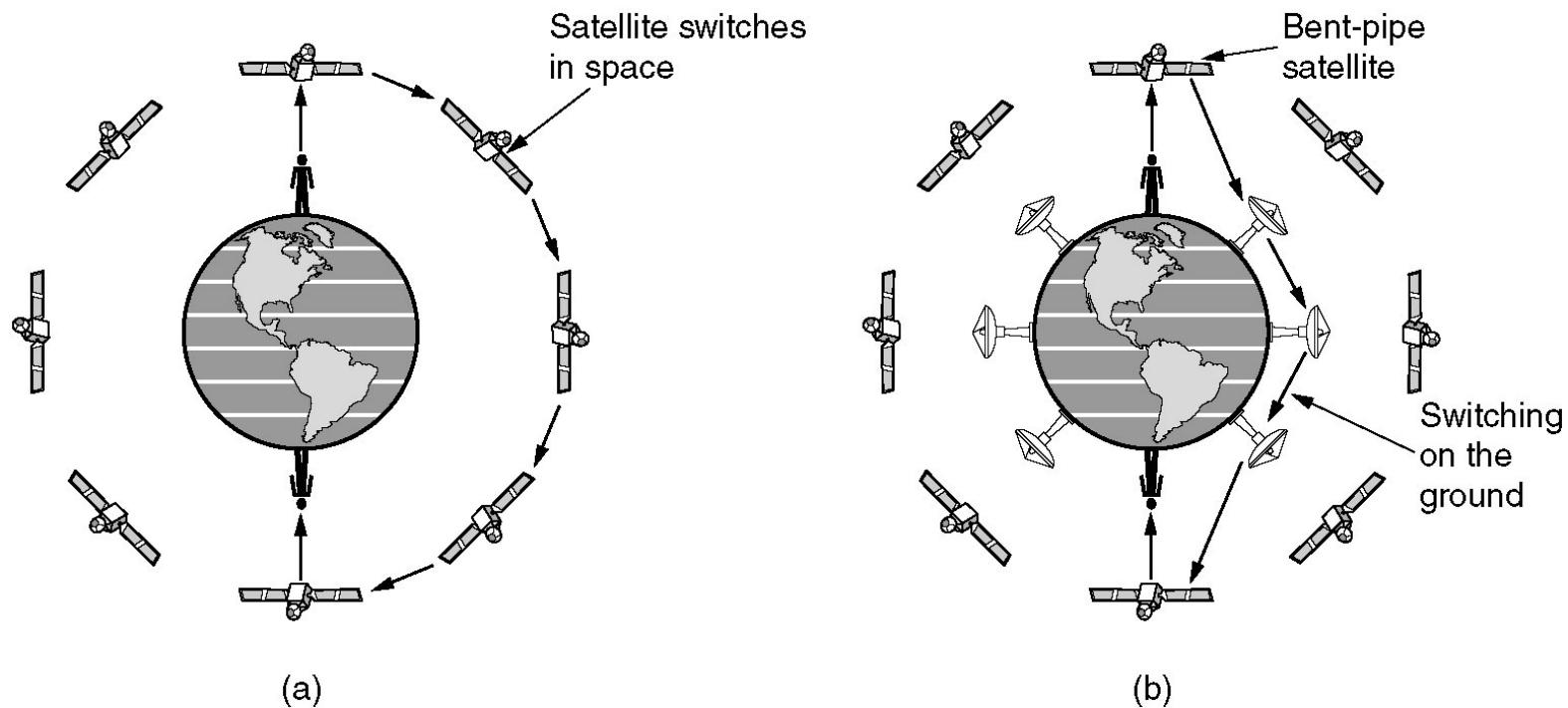
Iridium (铱计划)



(a)



Globalstar



2.4 信道复用技术

2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

- 复用(multiplexing)是通信技术中的基本概念。



(a) 不使用复用技术

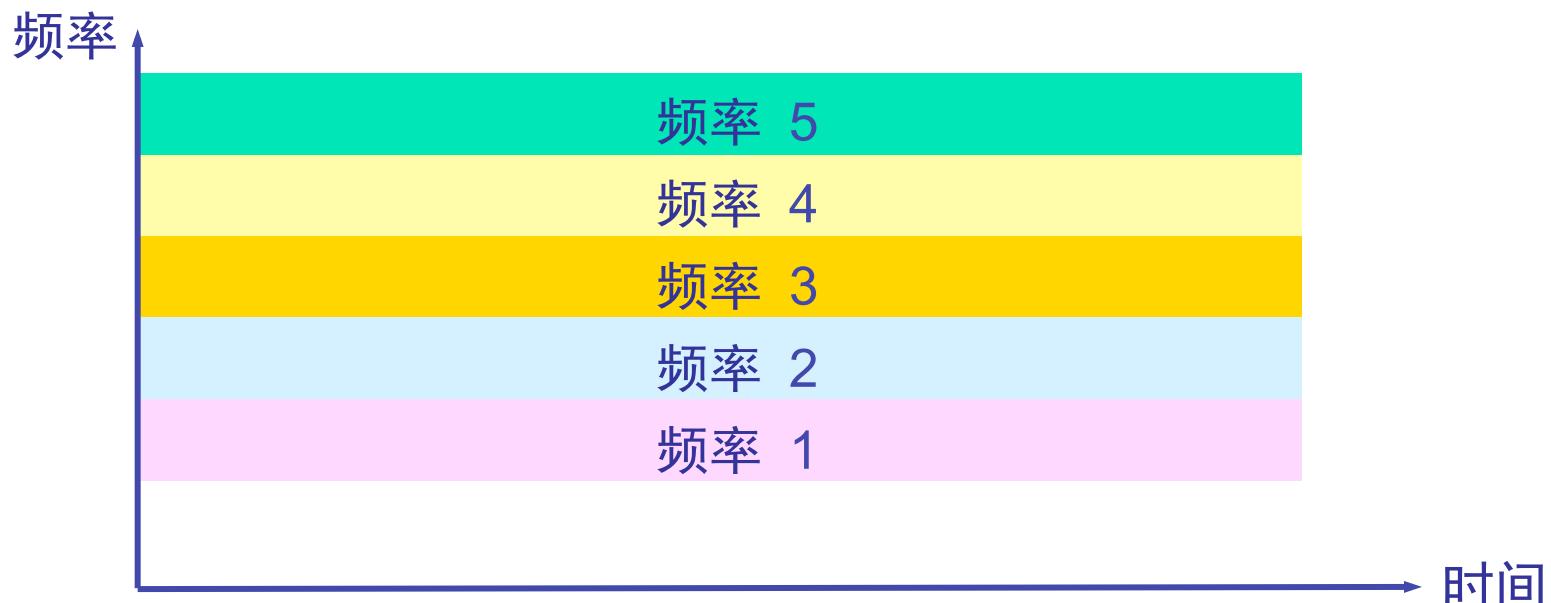


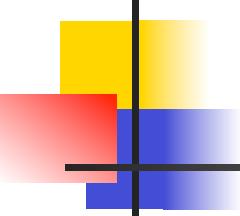
(b) 使用复用技术

频分复用 FDM

(Frequency Division Multiplexing)

- 用户在分配到一定的频带后，在通信过程中自始至终都占用这个频带。
- 频分复用的所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源（请注意，这里的“带宽”是频率带宽而不是数据的发送速率）。

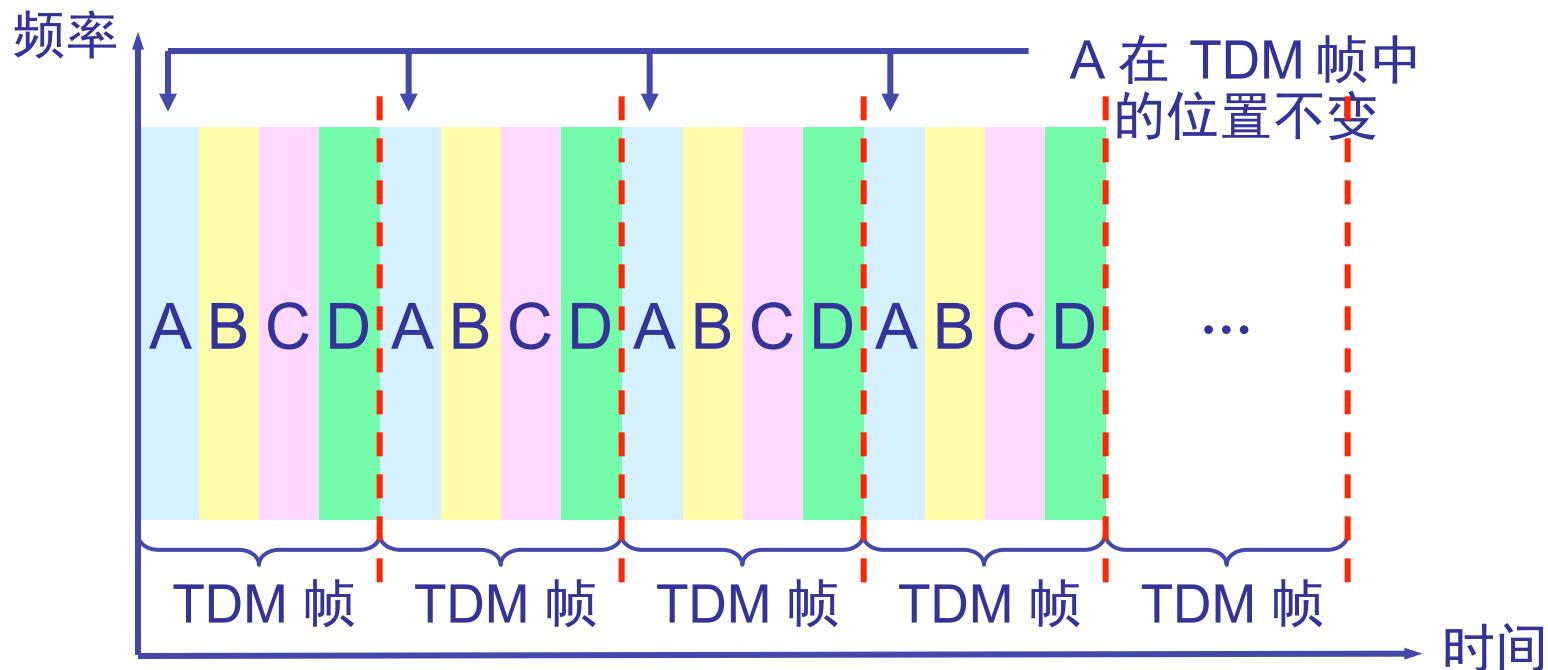




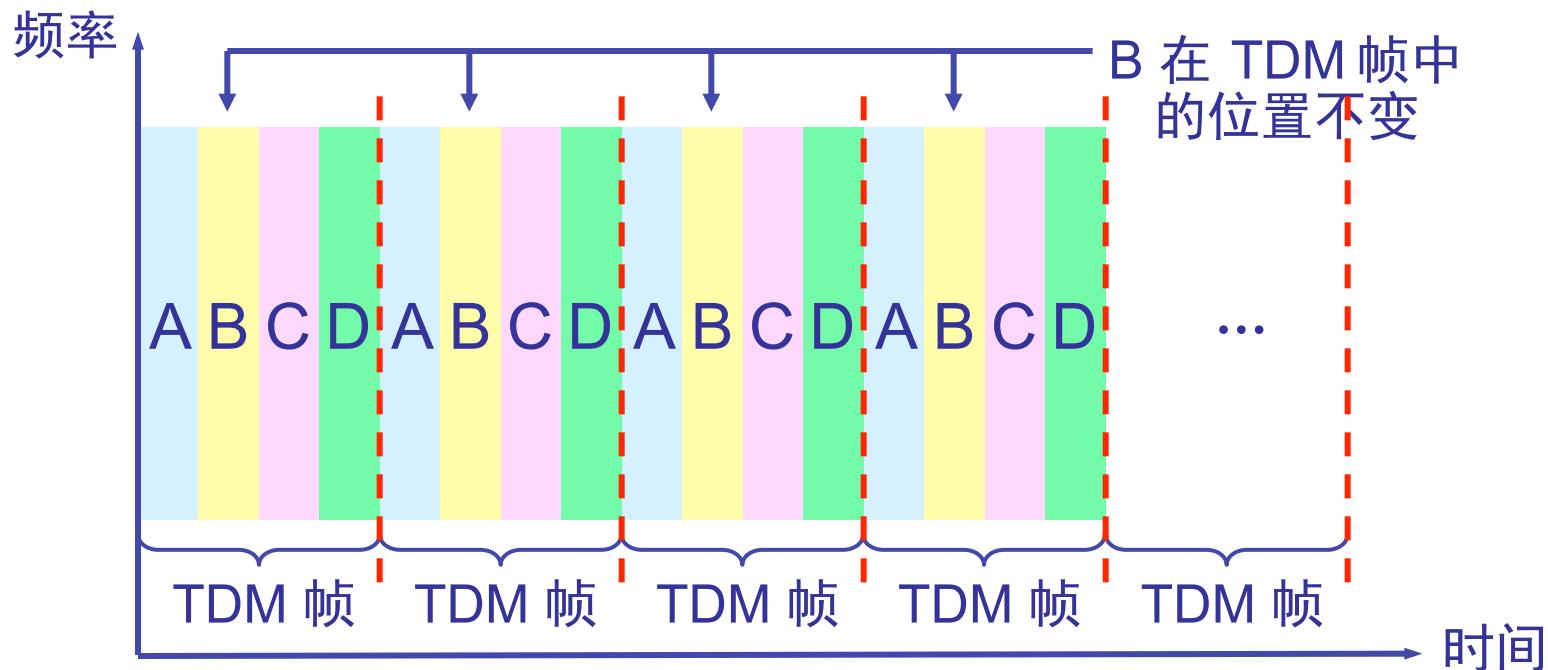
时分复用TDM (Time Division Multiplexing)

- 时分复用则是将时间划分为一段段等长的**时分复用帧**（TDM 帧）。每一个时分复用的用户在每一个 TDM 帧中占用固定序号的时隙。
- 每一个用户所占用的时隙是**周期性地出现**（其周期就是 TDM 帧的长度）。
- TDM 信号也称为**等时**(isochronous)信号。
- 时分复用的所有用户是在不同的时间占用**同样的频带宽度**。

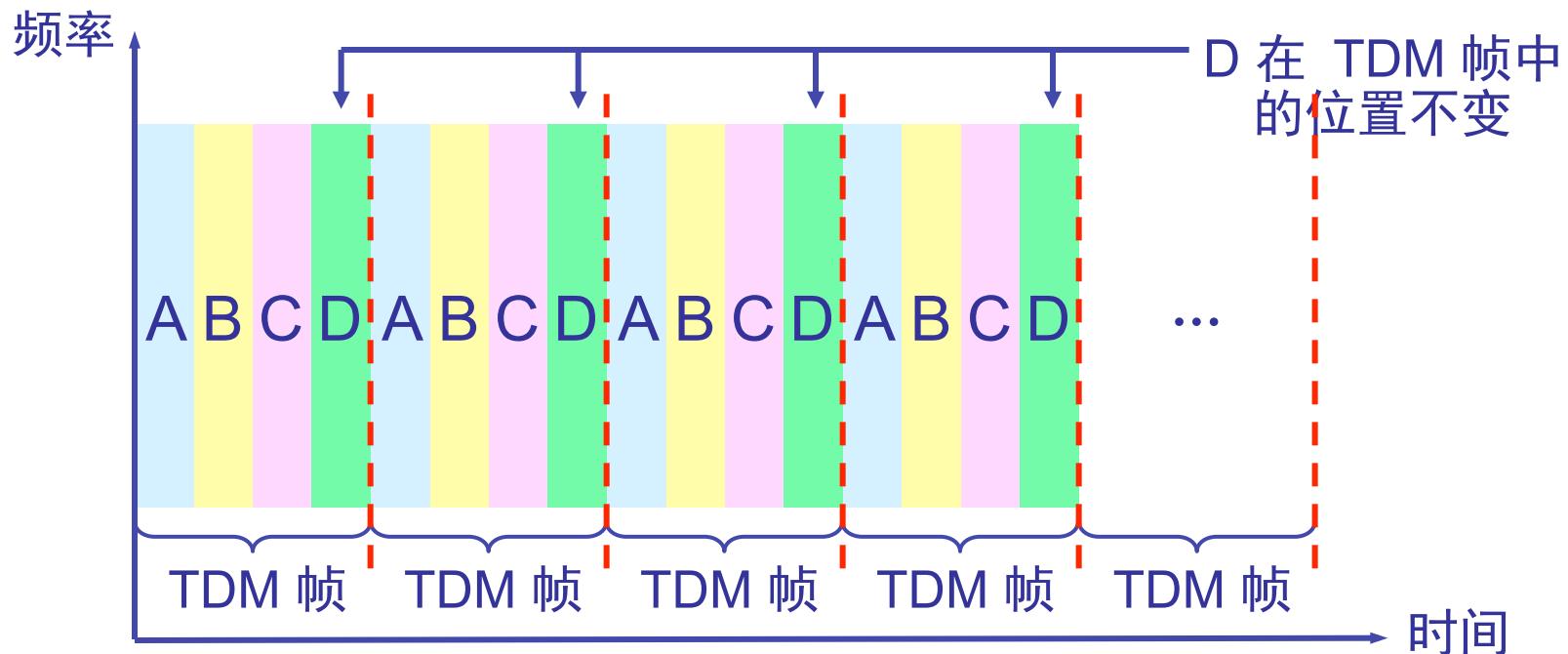
时分复用



时分复用



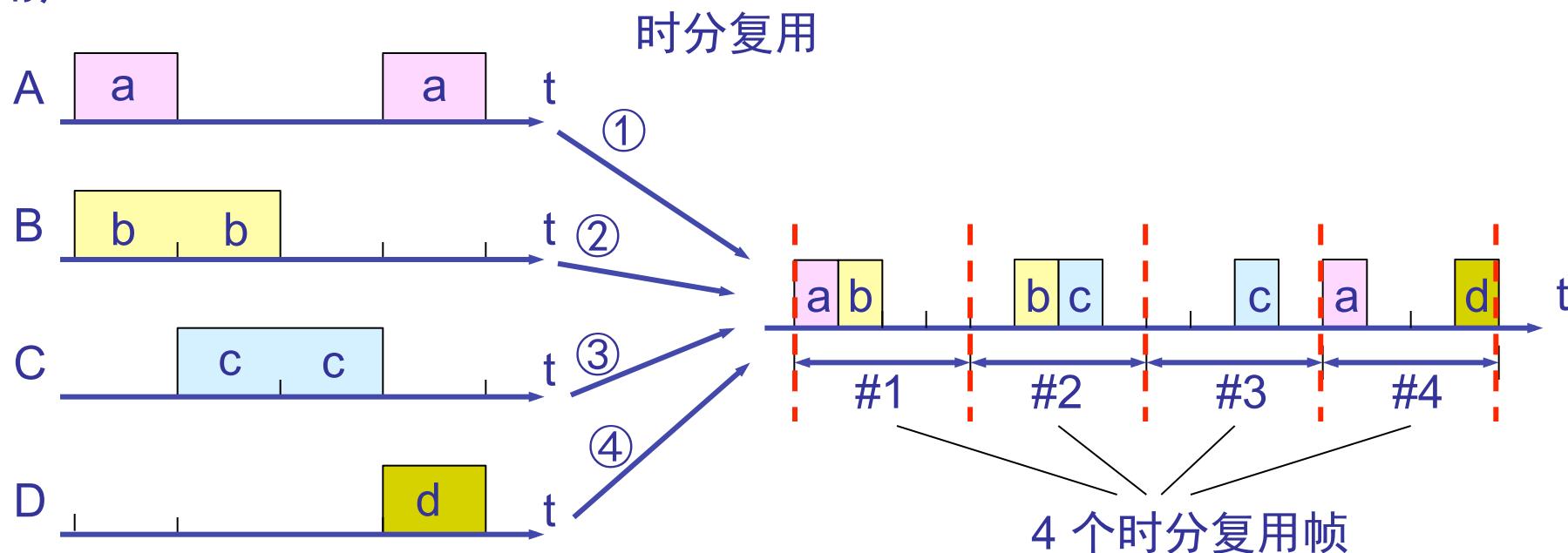
时分复用



时分复用可能会造成 线路资源的浪费

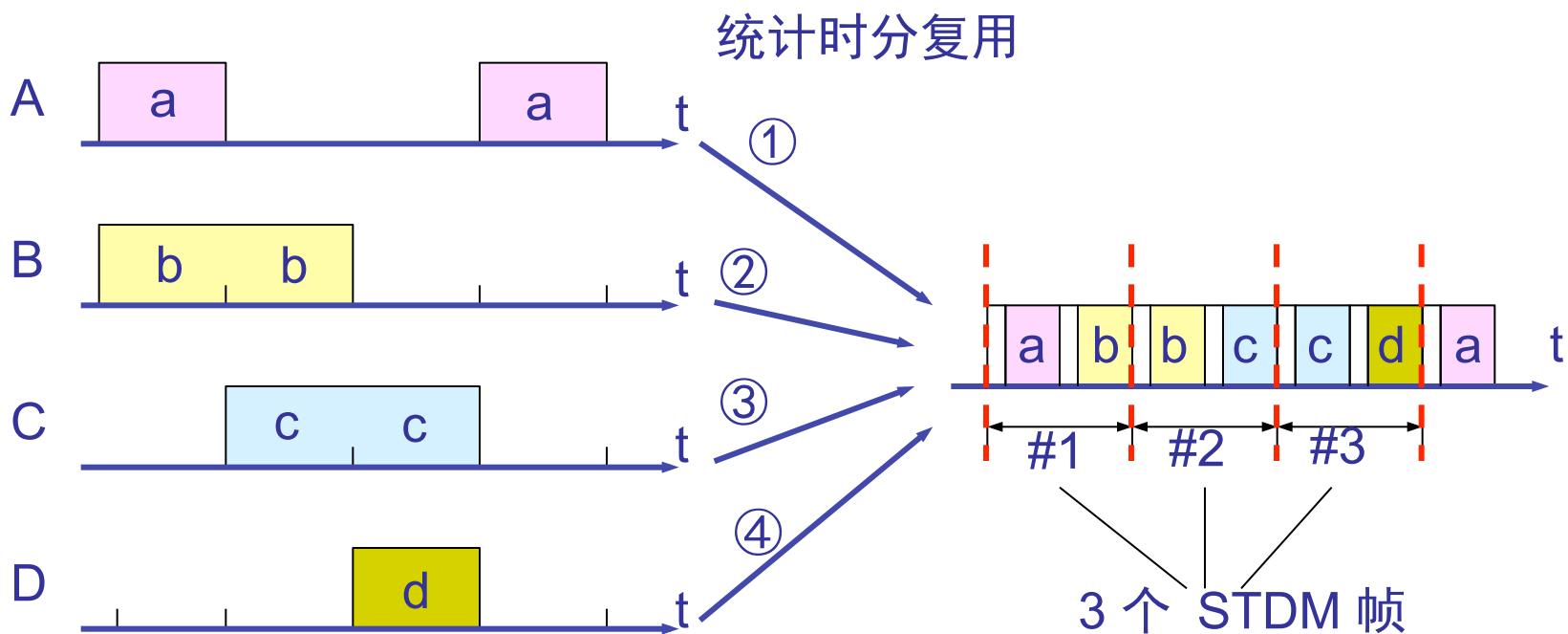
使用时分复用系统传送计算机数据时，
由于计算机数据的突发性质，用户对
分配到的子信道的利用率一般是不高的。

用户



统计时分复用 STDM (Statistic TDM)

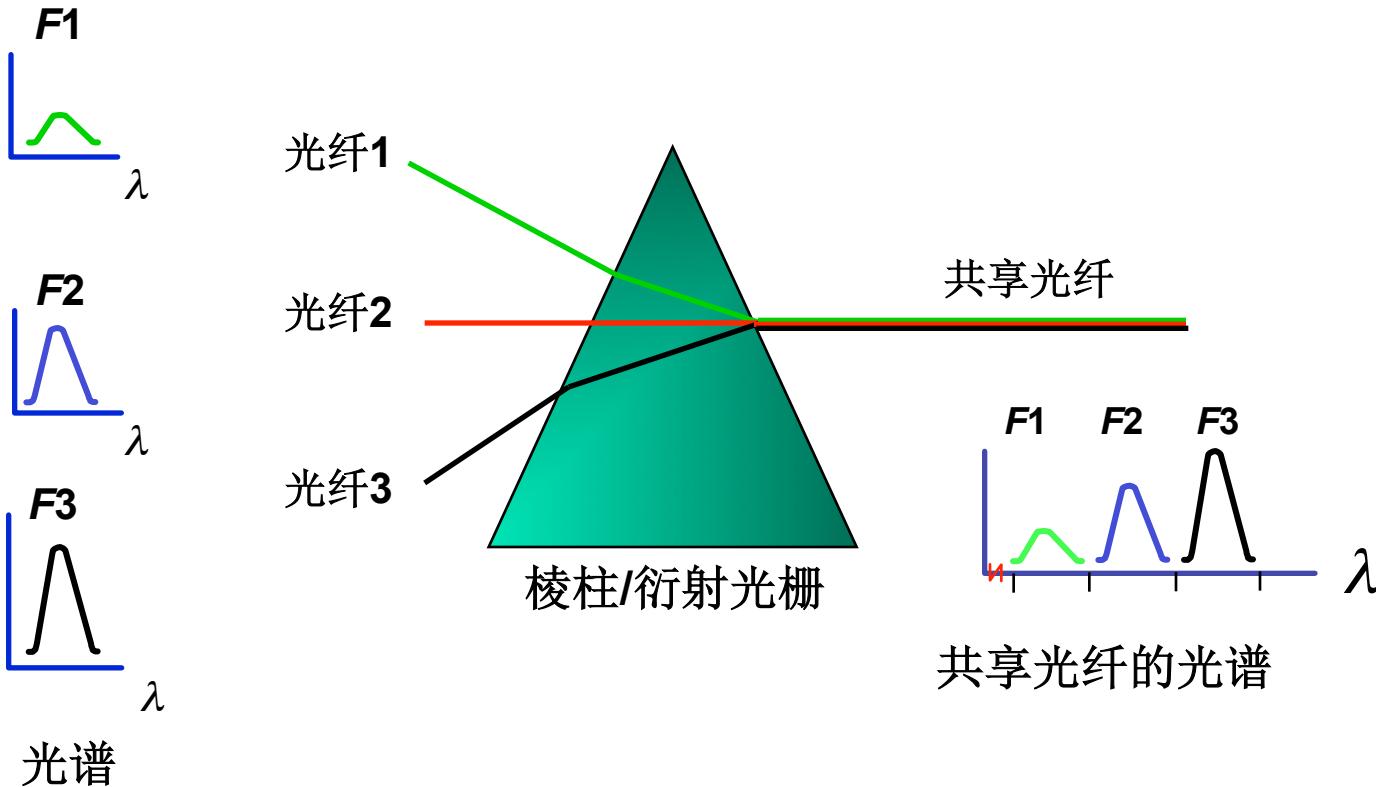
用户



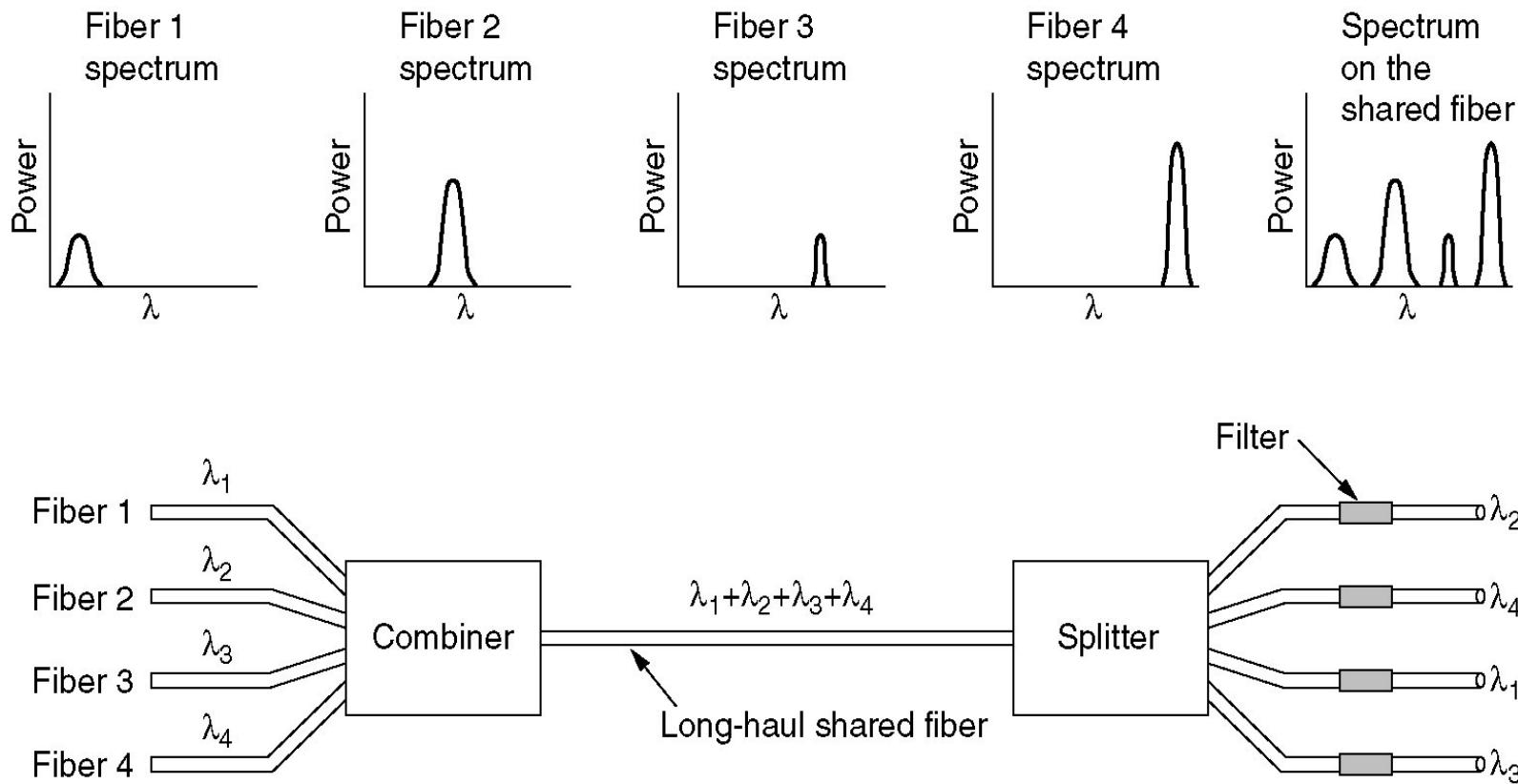
2.4.2 波分复用 WDM

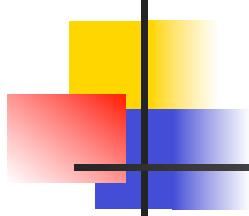
(Wavelength Division Multiplexing)

- 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

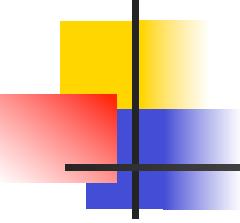




2.4.3 码分复用 CDM

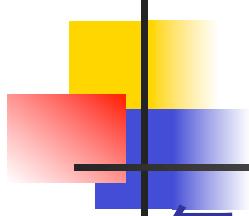
(Code Division Multiplexing)

- 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)

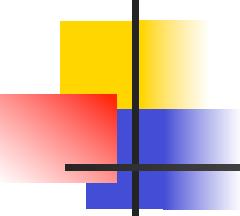
- 每个站被指派一个唯一的 m bit 码片序列。
 - 如发送比特 1，则发送自己的 m bit 码片序列。
 - 如发送比特 0，则发送该码片序列的二进制反码。
- 例如，S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。
 - 发送比特 1 时，就发送序列 00011011，
 - 发送比特 0 时，就发送序列 11100100。
- S 站的码片序列： $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$



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**。
 - 令向量 S 表示站 S 的码片向量，令 T 表示其他任何站的码片向量。
 - 两个不同站的码片序列正交，就是向量 S 和 T 的规格化**内积**(inner product)都是 0：

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$



正交关系的另一个重要特性

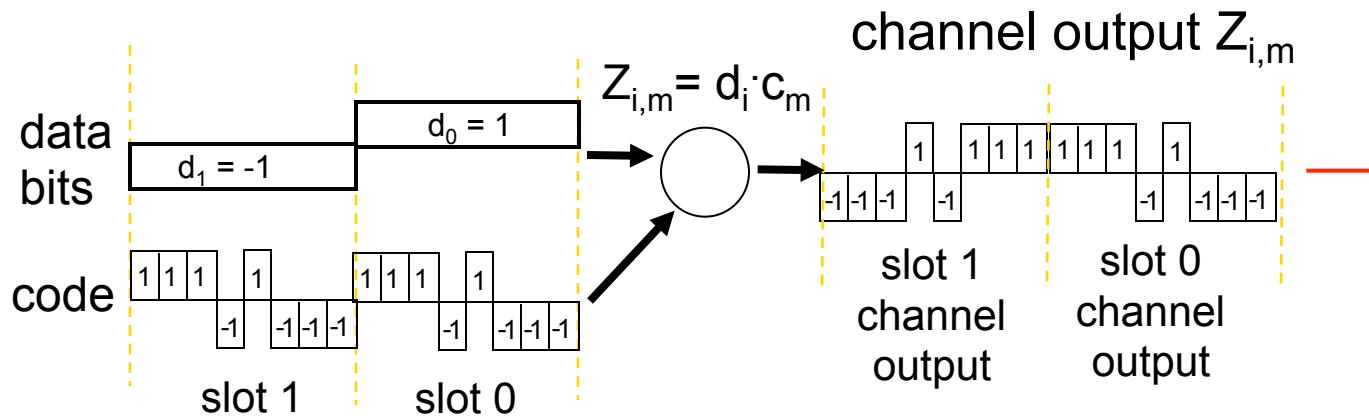
- 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积都是1。

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

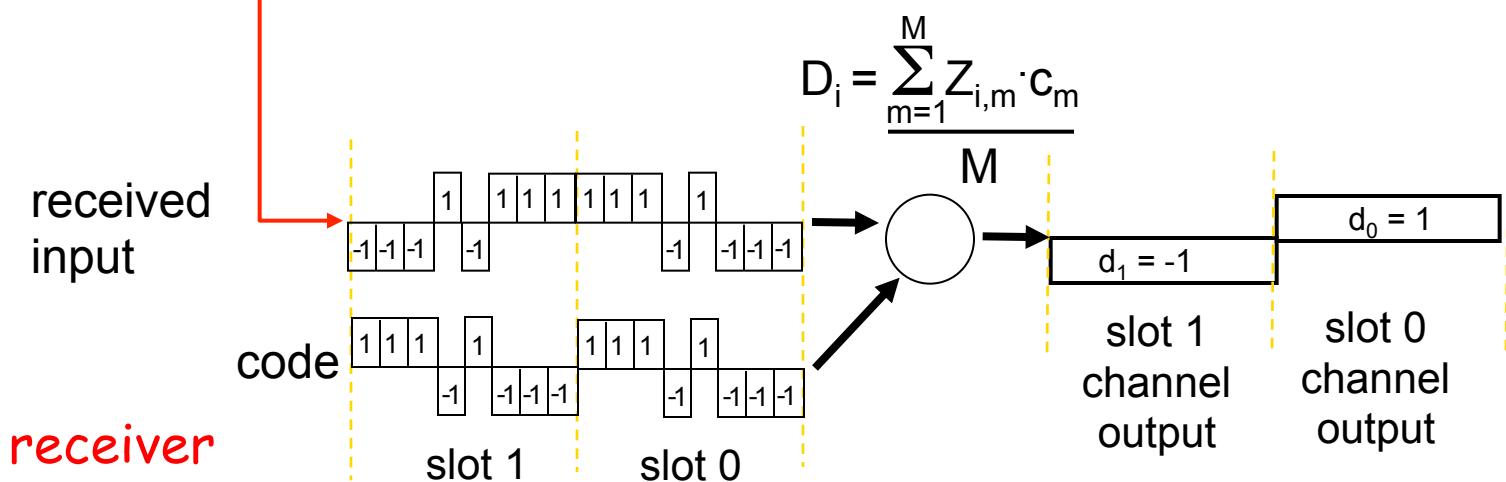
- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1。
 - 向量 \mathbf{C}_1 为(+1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 -1)
 - 向量 \mathbf{C}_2 为(+1 -1 +1 +1 +1 -1 +1 +1)

CDMA编解码

sender

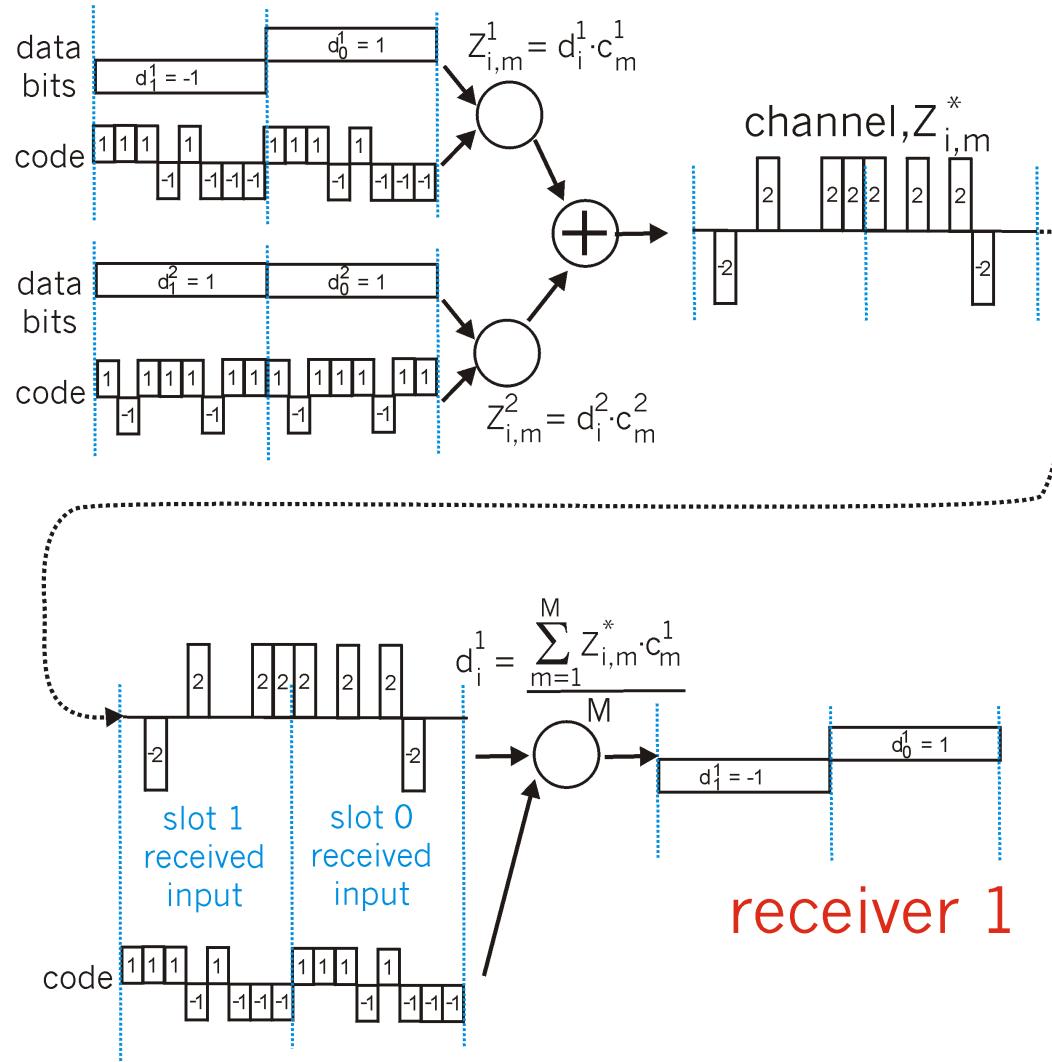


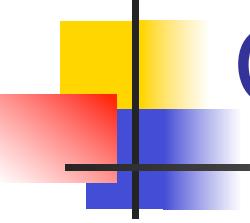
received input



CDMA: 多发送者情况

senders

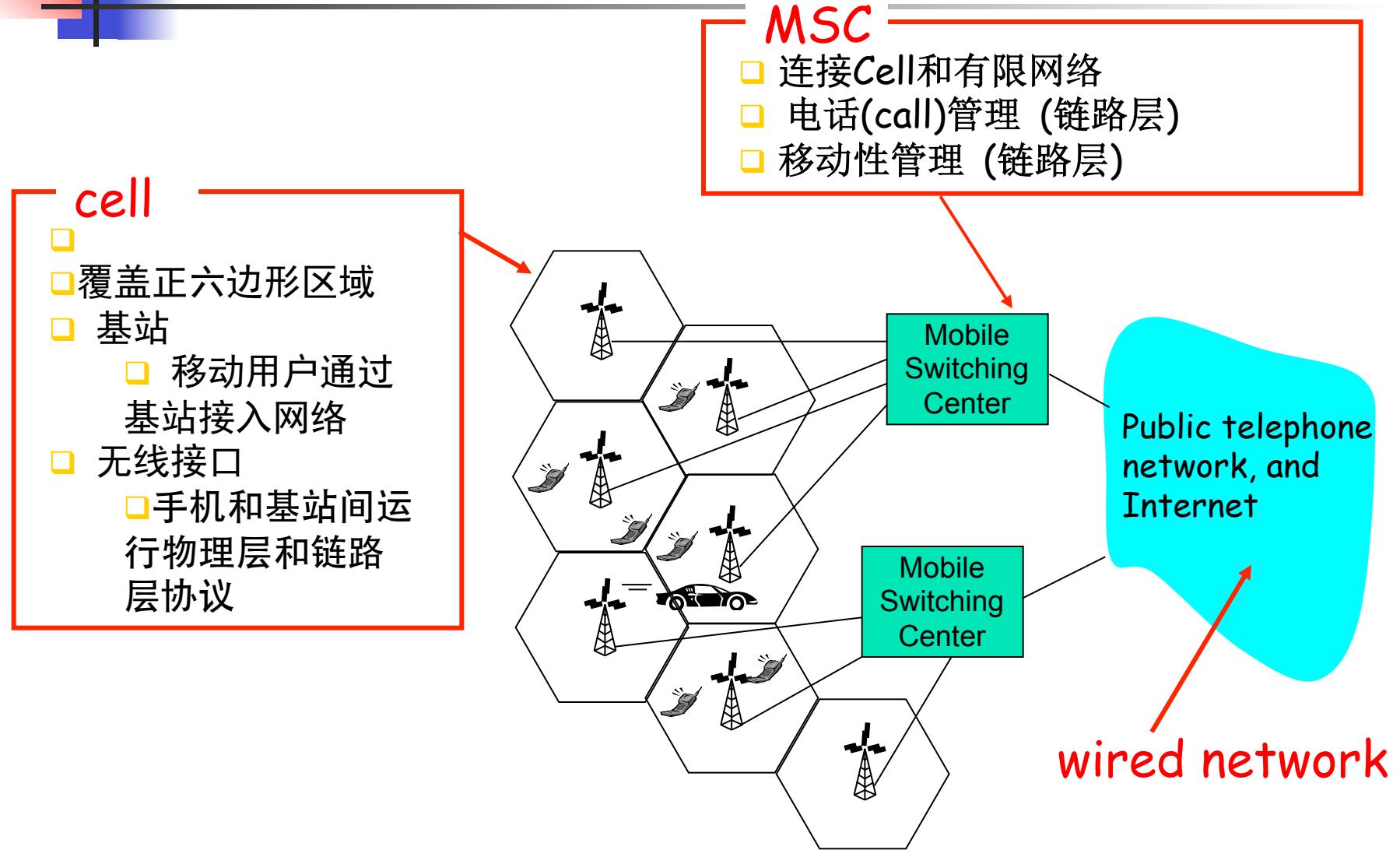




CDMA例子

- 共有四个站进行码分多址CDMA通信，四个站的码片序列为：
 - A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)
 - B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)
 - C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)
 - D: (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)
- 现 (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)
 - 那个站发送了数据？发送的是1还是0？

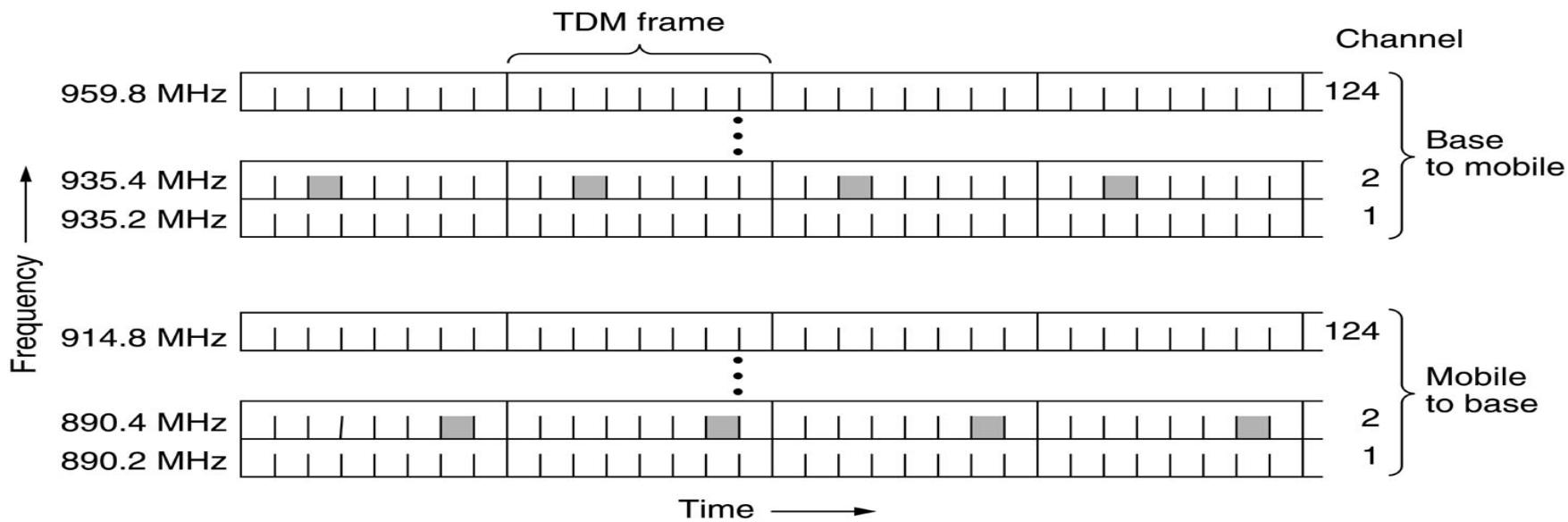
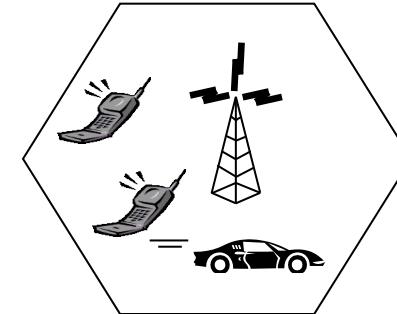
补充：手机网络架构

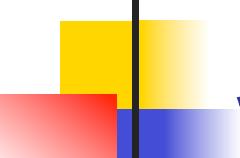


补充: Cell内接入

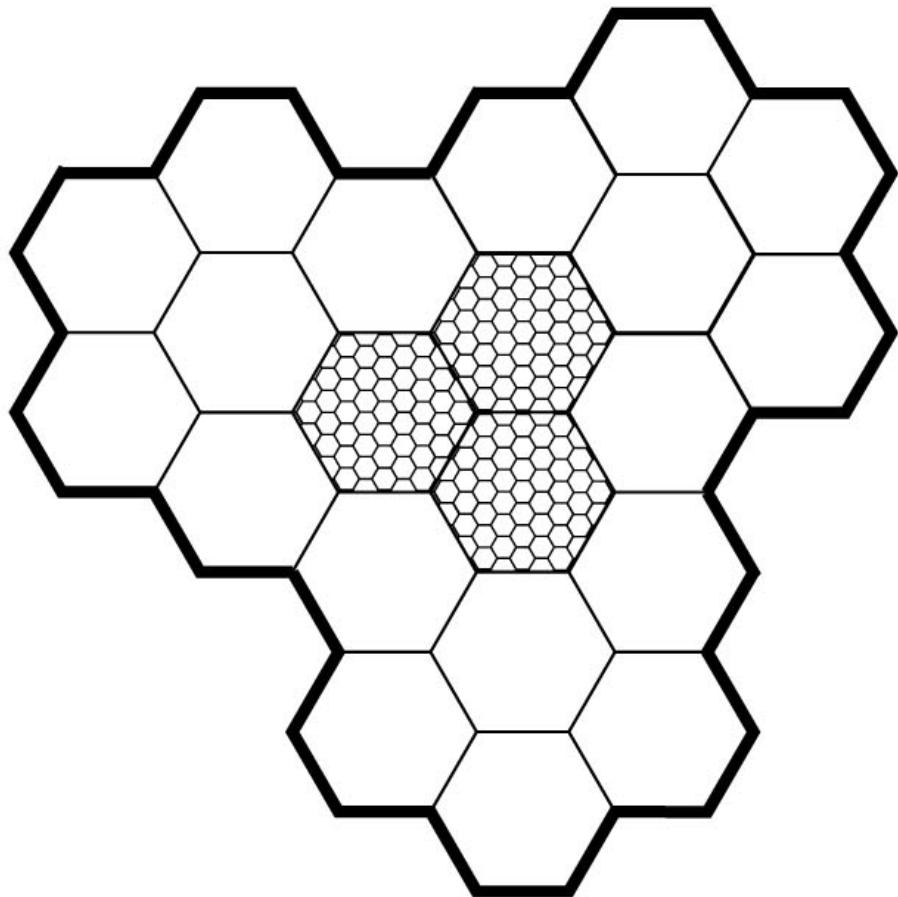
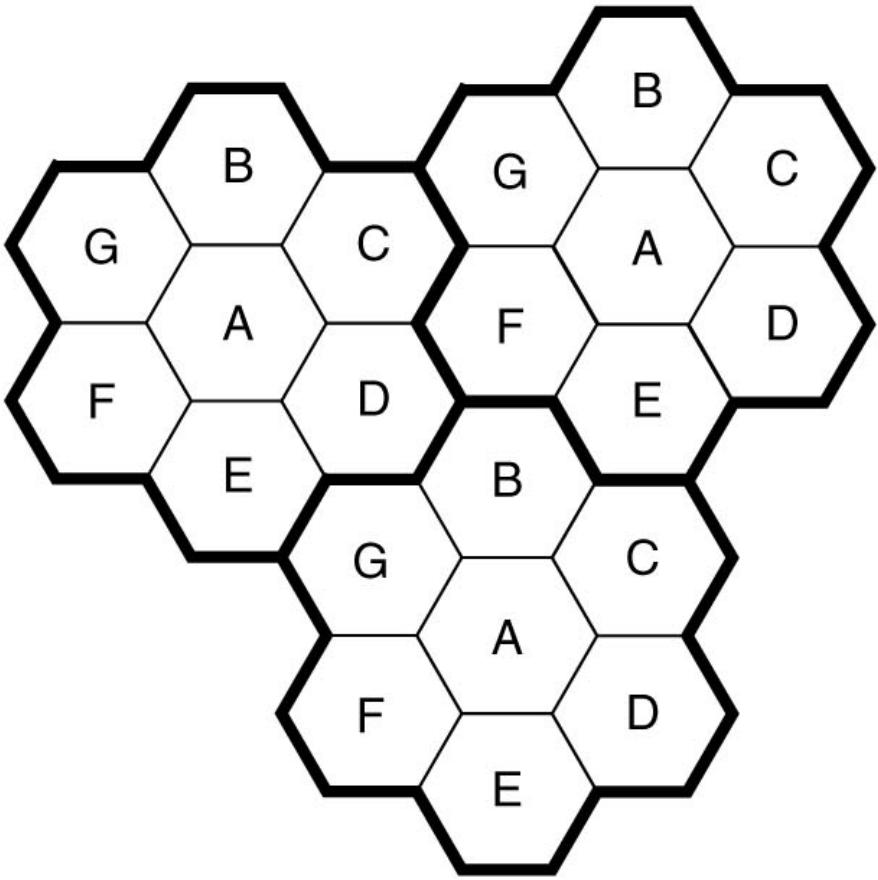
■ GSM—— FDMA/TDMA

- 将频宽划分为多个子频带，每个频带划分为多个时隙
- 每个时隙为一个用户服务



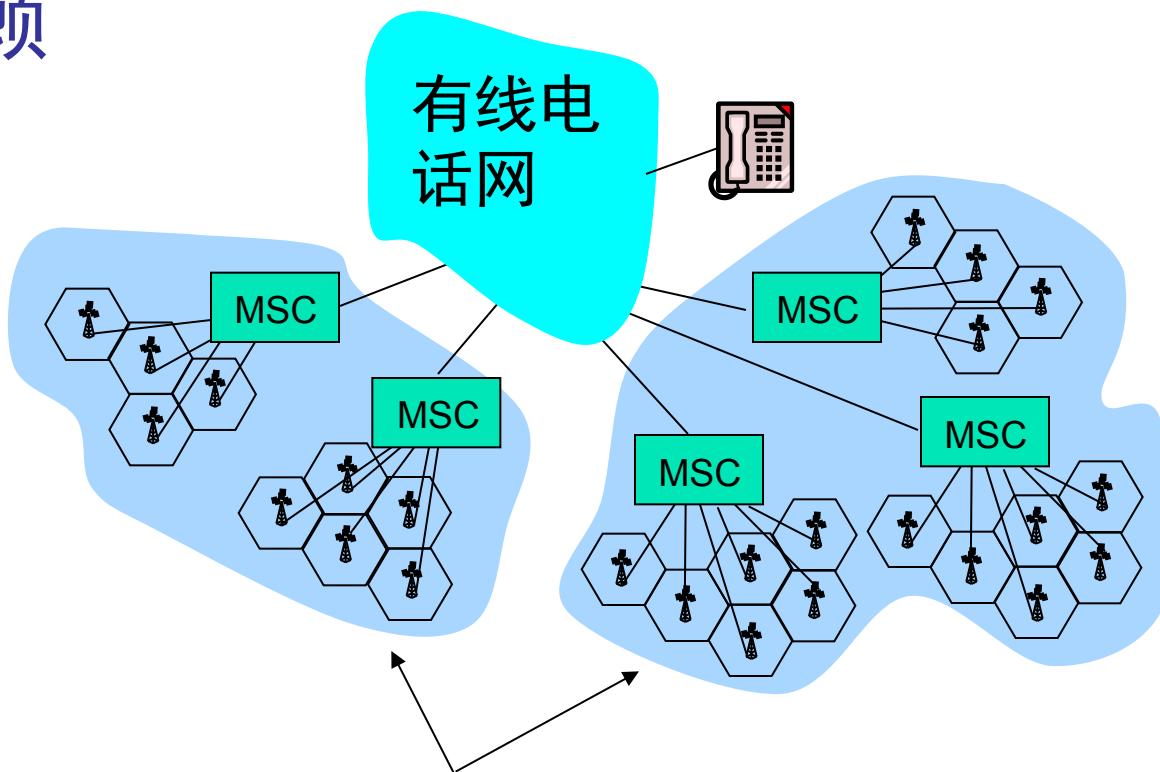


蜂窝通讯



手机网络

回顾



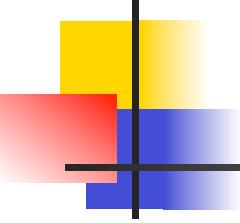
由不同运营商运行的两个无线电话网络

移动发现

Alice是一个常常出差的朋友，怎样找到她？

- 查阅全世界宾馆的入住情况？
- 期待她找你？
- 给她父母打电话？





无线电话网络移动管理

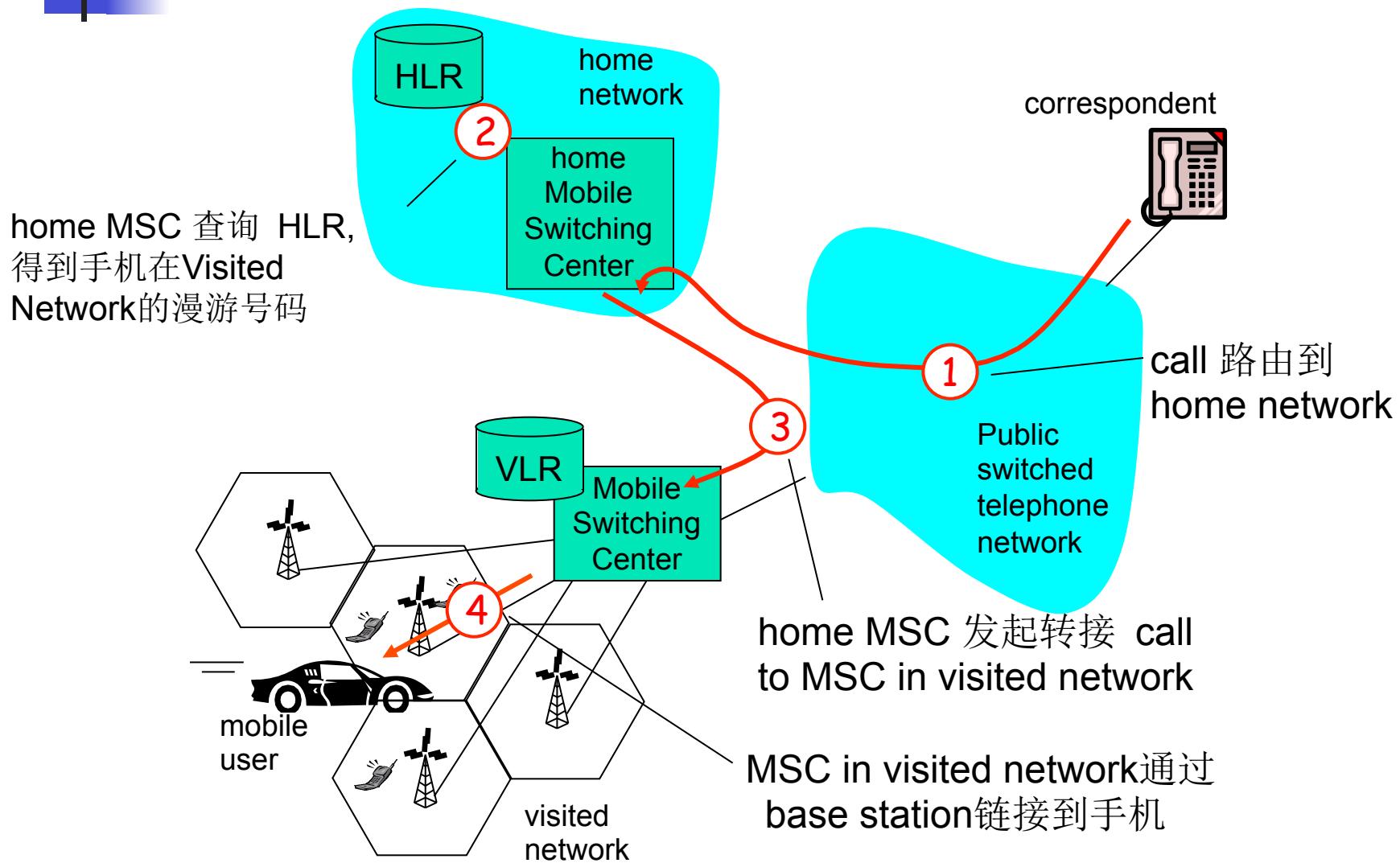
- 归属地：手机注册地

- *home location register (HLR)*: 保留有个人手机号码、相关信息、记账信息和目前所在地的数据库

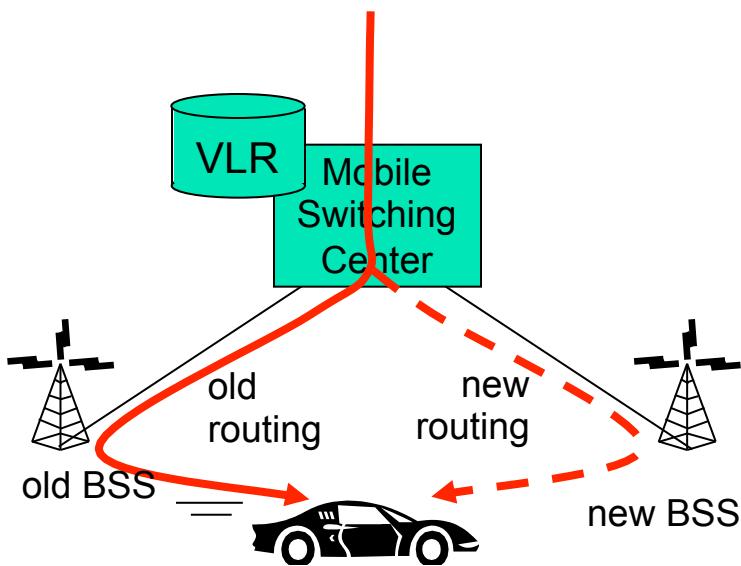
- 访问网络：目前所在网络

- *visitor location register (VLR)*: 保留当前网络所有活跃手机号的数据库
 - 也可以是HLR

GSM: 间接路由访问

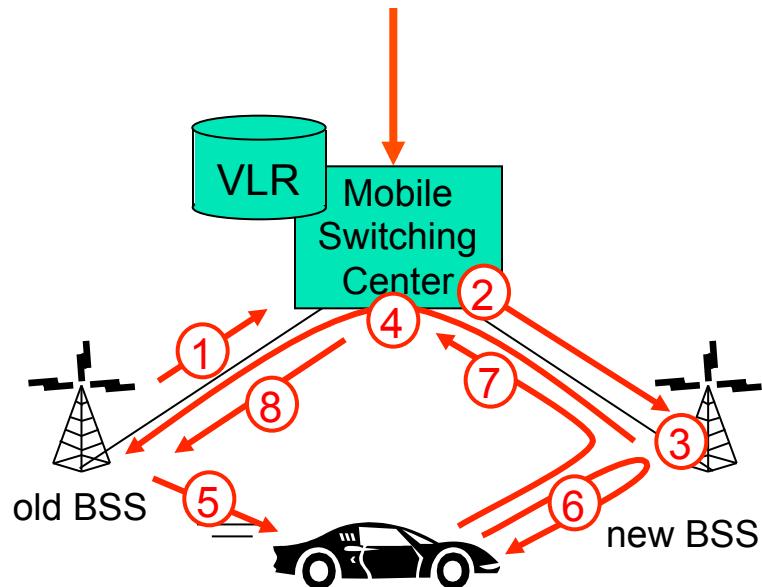


GSM: MSC内的基站切换问题



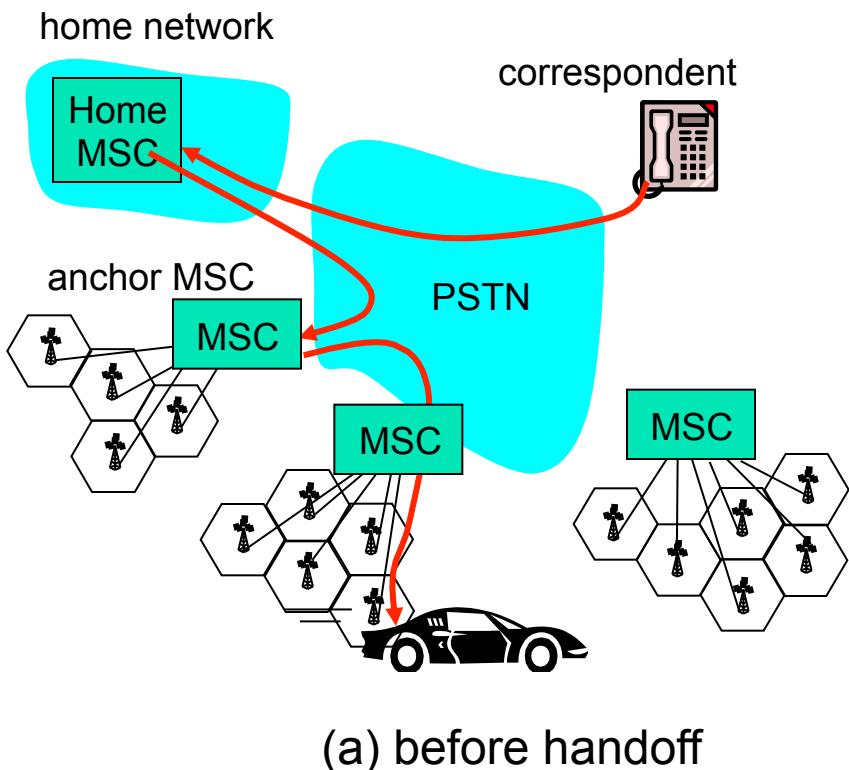
- 切换目标：将电话连接无中断的切换到新的基站
- 切换原因：
 - 更强的信号（保持连接，能耗减少）
 - 负载平衡：释放本地基站的资源
 - GSM 不规定为什么切换，但规定如何切换
- 切换由旧基站发起

GSM: MSC内的切换过程



1. 就基站通知 MSC 即将发生切换，提供可切换到的新基站列表
2. MSC 建立到新基站的路径，即预留资源
3. 新基站为手机分配信道
4. 新基站通知MSC, 就基站: ready
5. 旧基站通知手机: 切换到新基站
6. 手机、新基站通过以分配信道进行握手。
7. 手机通过新基站通知MSC: 切换成功；MSC将通话信息通过新基站传送。
- 8 旧基站释放资源。

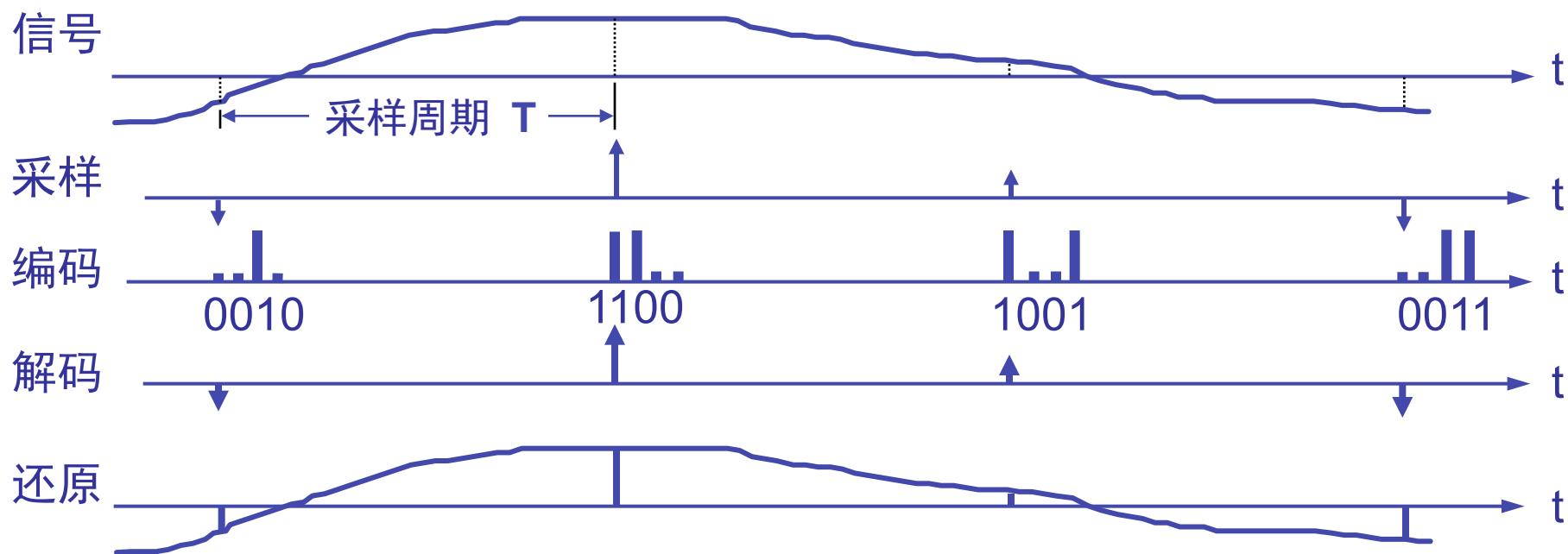
GSM: MSC间切换

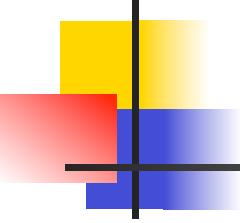


- *anchor MSC*: Call第一个访问的MSC
 - Call通过anchor MSC传递。
- 当手机移动到新MSC时，新MSCs 加到MSC链的末尾
- IS-41规定可选择的MSC链缩短方案

2.5 数字传输系统 脉码调制 (PCM)

- 现在的数字传输系统均采用**脉码调制** PCM (Pulse Code Modulation)体制。

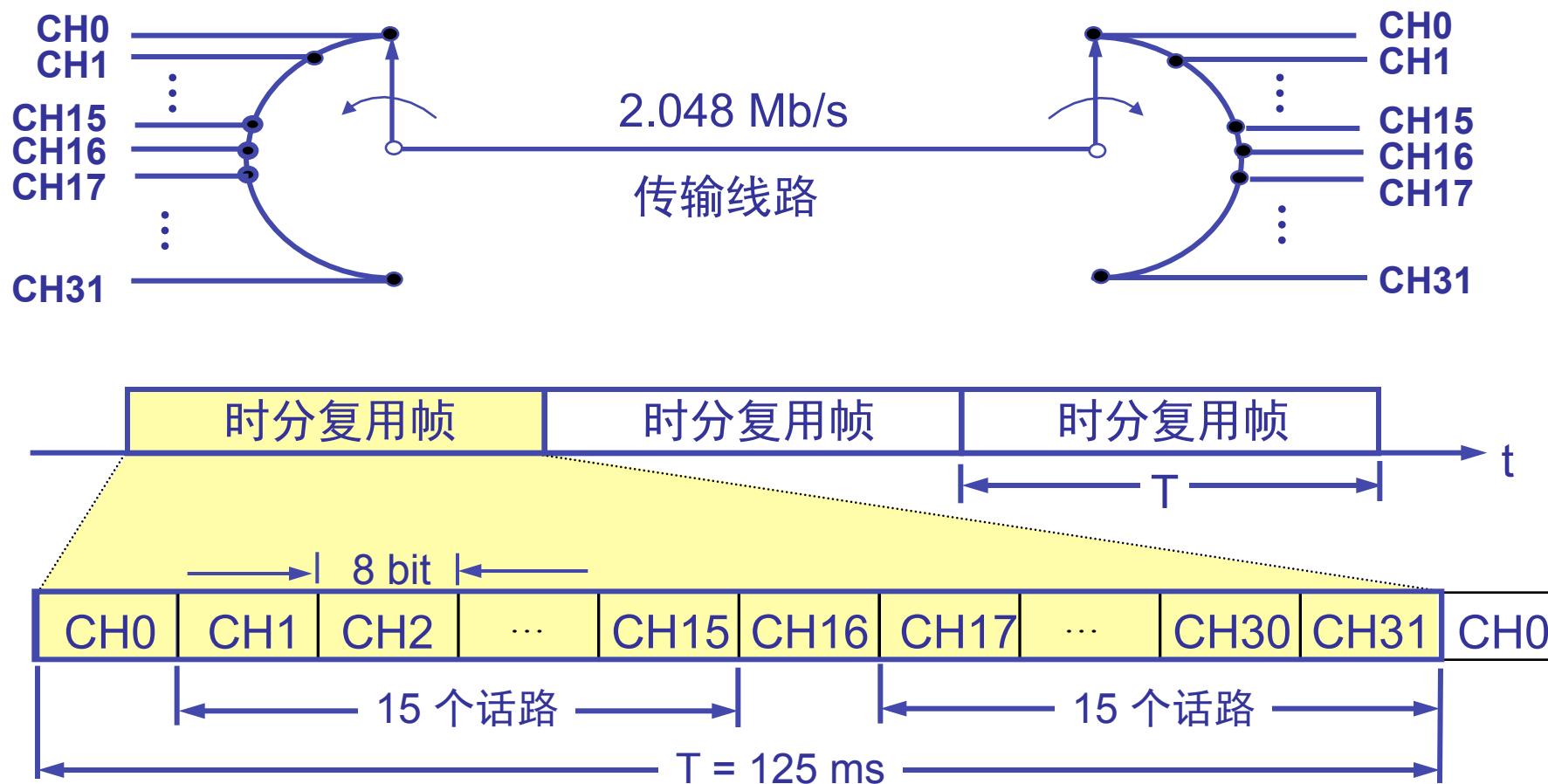


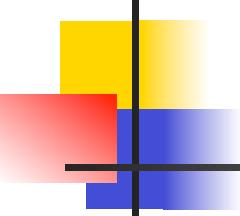


时分复用

- 为了有效地利用传输线路，可将多个话路的 PCM 信号用**时分复用** TDM (Time Division Multiplexing)的方法装成时分复用帧，然后发送到线路上。
- 中国采用欧洲体制，以 E1 为一次群。
- 美国和日本等国采用北美体制，以 T1 为一次群。

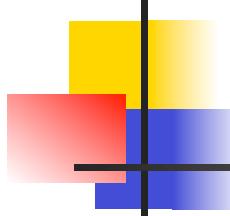
E1 的时分复用帧





旧的数字传输系统缺点

- 速率标准不统一。
 - 如果不对高次群的数字传输速率进行标准化，国际范围的高速数据传输就很难实现。
- 不是同步传输。
 - 在过去相当长的时间，为了节约经费，各国的数字网主要是采用准同步方式。



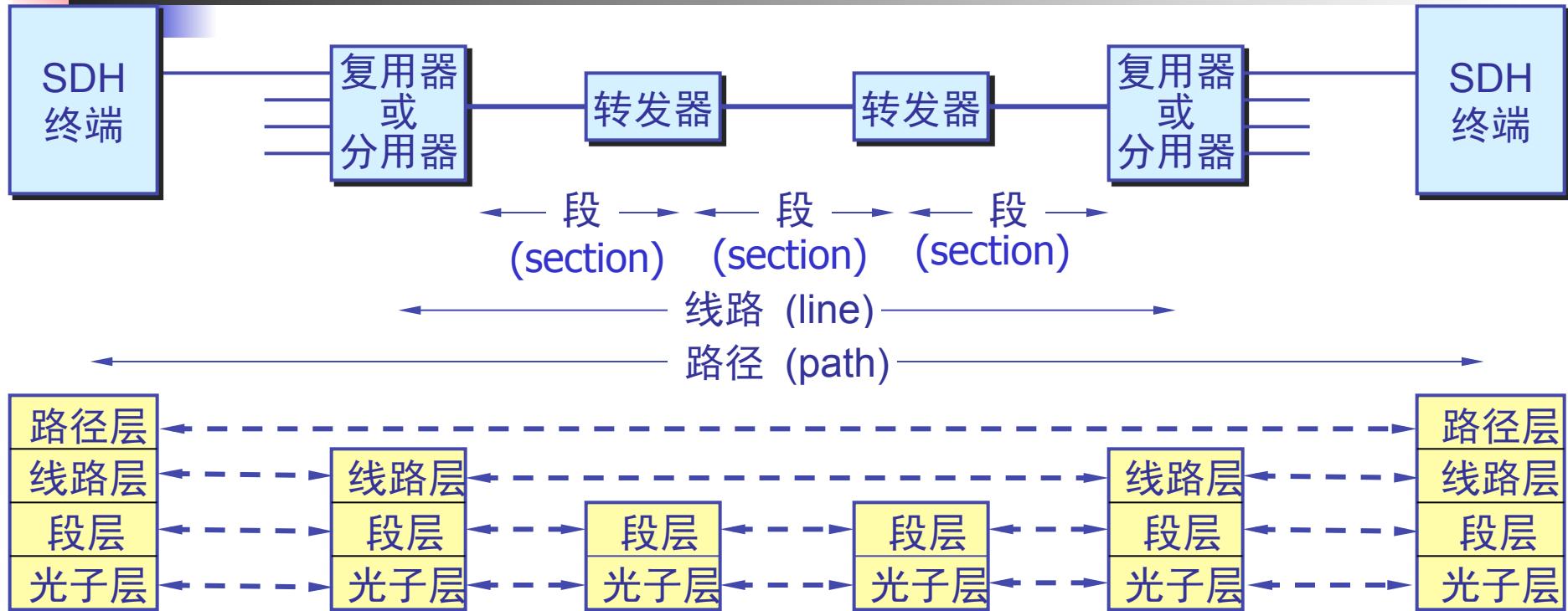
同步光纤网 SONET /同步数字系列 SDH

- 同步光纤网 SONET (Synchronous Optical Network) 的各级时钟都来自一个非常精确的主时钟。
 - 第 1 级同步传送信号 STS-1 (Synchronous Transport Signal) 的传输速率是 51.84 Mb/s。
 - 光信号则称为第 1 级光载波 OC-1，OC 表示 Optical Carrier。
- ITU-T 以美国标准 SONET 为基础，制订出国际标准同步数字系列 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)。
 - 一般认为 SDH 与 SONET 是同义词。
 - SDH 的基本速率为 155.52 Mb/s，称为第 1 级同步传递模块 (Synchronous Transfer Module)，即 STM-1，相当于 SONET 体系中的 OC-3 速率。

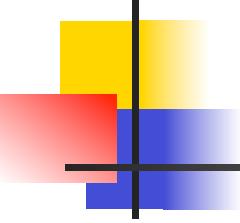
SONET 的 OC 级/STS 级与 SDH 的 STM 级的对应关系

线路速率 (Mb/s)	SONET 符号	ITU-T 符号	表示线路速率 的常用近似值
51.840	OC-1/STS-1	—	
155.520	OC-3/STS-3	STM-1	155 Mb/s
466.560	OC-9/STS-9	STM-3	
622.080	OC-12/STS-12	STM-4	622 Mb/s
933.120	OC-18/STS-18	STM-6	
1244.160	OC-24/STS-24	STM-8	
2488.320	OC-48/STS-48	STM-16	2.5 Gb/s
4976.640	OC-96/STS-96	STM-32	
9953.280	OC-192/STS-192	STM-64	10 Gb/s
39813.120	OC-768/STS-768	STM-256	40 Gb/s

SONET 的体系结构



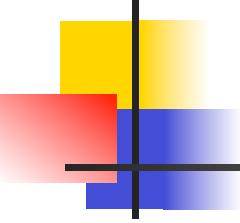
- 光子层：处理跨越光缆的比特传送。
- 段层：在光缆上传送 **STS-N** 帧，成帧和差错检验。
- 线路层：负责路径层的同步和复用。
- 路径层：处理路径端接设备之间的业务的传输。



2.6 宽带接入技术

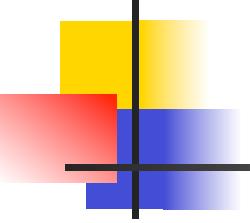
2.6.1 xDSL技术

- xDSL 技术就是用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造，使它能够承载宽带业务。
- 虽然标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 kHz 的范围内，但用户线本身实际可通过的信号频率仍然超过 1 MHz。
- xDSL 技术就把 0~4 kHz 低端频谱留给传统电话使用，而把原来没有被利用的高端频谱留给用户上网使用。
- DSL 就是数字用户线(Digital Subscriber Line)的缩写。而 DSL 的前缀 x 则表示在数字用户线上实现的不同宽带方案。



ADSL

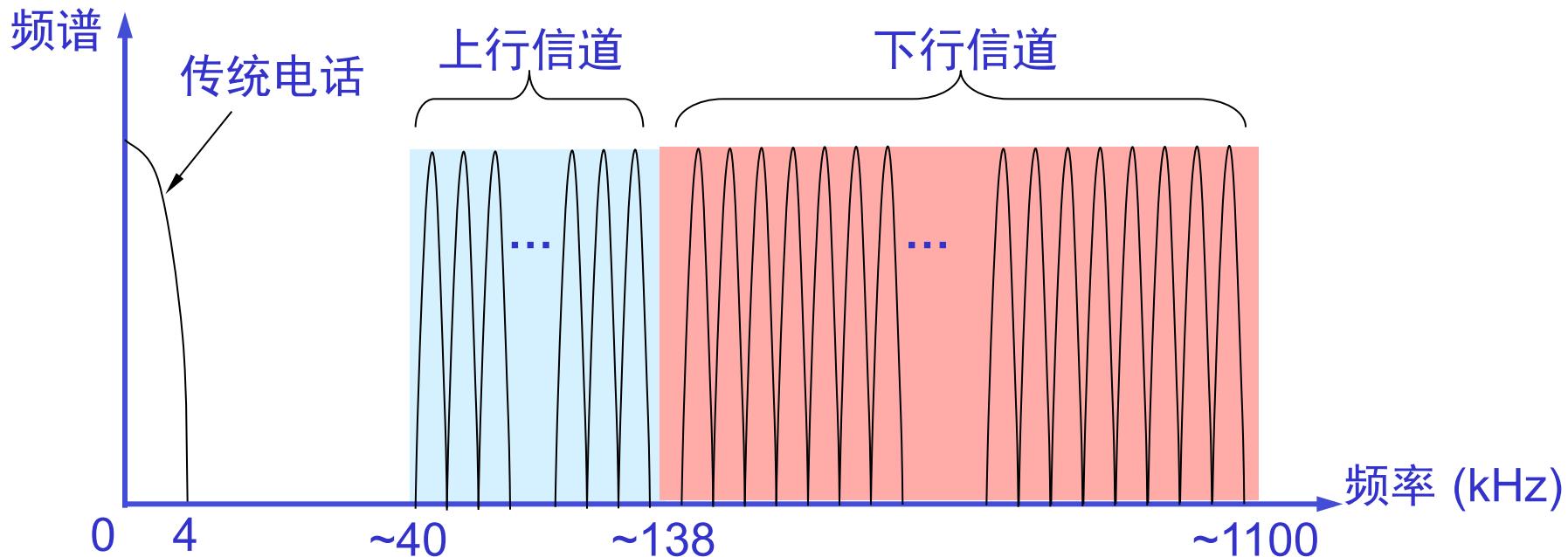
- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line):
非对称数字用户线
 - 上行和下行带宽做成不对称的。
 - 上行指从用户到 ISP，而下行指从 ISP 到用户。
- ADSL 在用户线（铜线）的两端各安装一个 ADSL 调制解调器。
- 我国目前采用的方案是**离散多音调 DMT**
(Discrete Multi-Tone)调制技术。
 - “多音调”就是“**多载波**”或“**多子信道**”的意思。



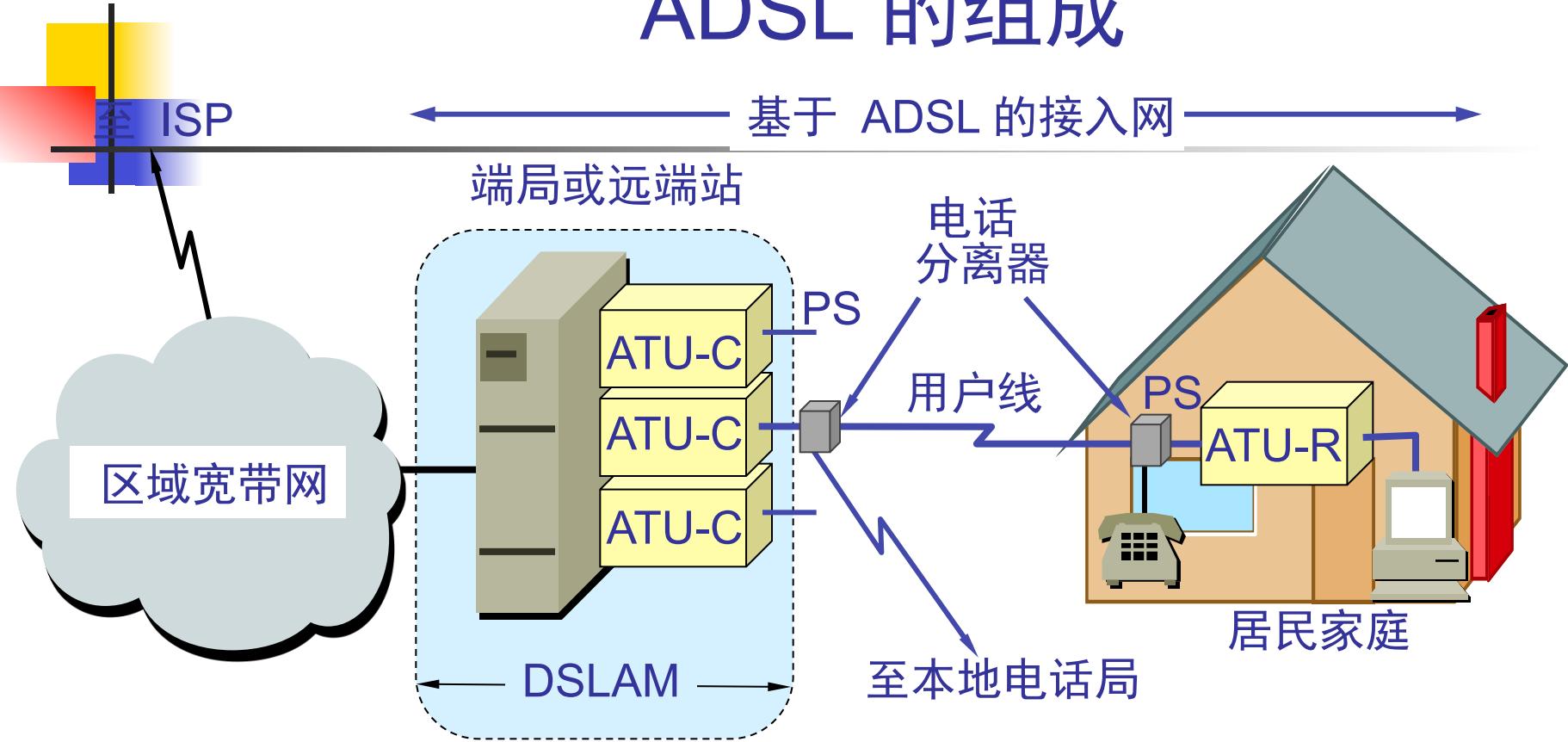
DMT 技术

- DMT 调制技术采用频分复用的方法
 - 把 40 kHz 以上一直到 1.1 MHz 的高端频谱划分为许多的子信道
 - 其中 25 个子信道用于上行信道
 - 而 249 个子信道用于下行信道
- 每个子信道占据 4 kHz 带宽（严格讲是 4.3125 kHz），并使用不同的载波（即不同的音调）进行数字调制。
- 这种做法相当于在一对用户线上使用许多小的调制解调器**并行地**传送数据。

DMT 技术的频谱分布



ADSL 的组成



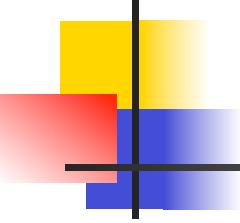
数字用户线接入复用器 DSLAM (DSL Access Multiplexer)

接入端接单元 ATU (Access Termination Unit)

ATU-C (C 代表端局 Central Office)

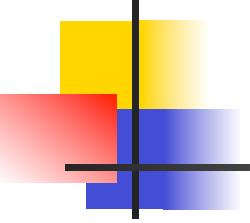
ATU-R (R 代表远端 Remote)

电话分离器 PS (POTS Splitter)



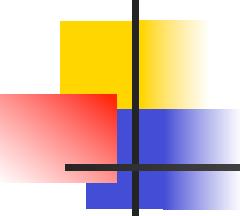
ADSL 的极限传输距离

- ADSL 的极限传输距离与数据率以及用户线的线径都有很大的关系（用户线越细，信号传输时的衰减就越大），而所能得到的最高数据传输速率与实际的用户线上的信噪比密切相关。
 - 例如，0.5 毫米线径的用户线，传输速率为 1.5 ~ 2.0 Mb/s 时可传送 5.5 公里，但当传输速率提高到 6.1 Mb/s 时，传输距离就缩短为 3.7 公里。
 - 如果把用户线的线径减小到 0.4 毫米，那么在 6.1 Mb/s 的传输速率下就只能传送 2.7 公里。



ADSL 的数据率

- 由于用户线的具体条件往往相差很大（距离、线径、受到相邻用户线的干扰程度等都不同），因此 ADSL 采用自适应调制技术使用户线能够传送尽可能高的数据率。
- 当 ADSL 启动时，用户线两端的 ADSL 调制解调器就测试可用的频率、各子信道受到的干扰情况，以及在每一个频率上测试信号的传输质量。
- ADSL 不能保证固定的数据率。对于质量很差的用户线甚至无法开通 ADSL。
- 通常下行数据率在 32 kb/s 到 6.4 Mb/s 之间，而上行数据率在 32 kb/s 到 640 kb/s 之间。

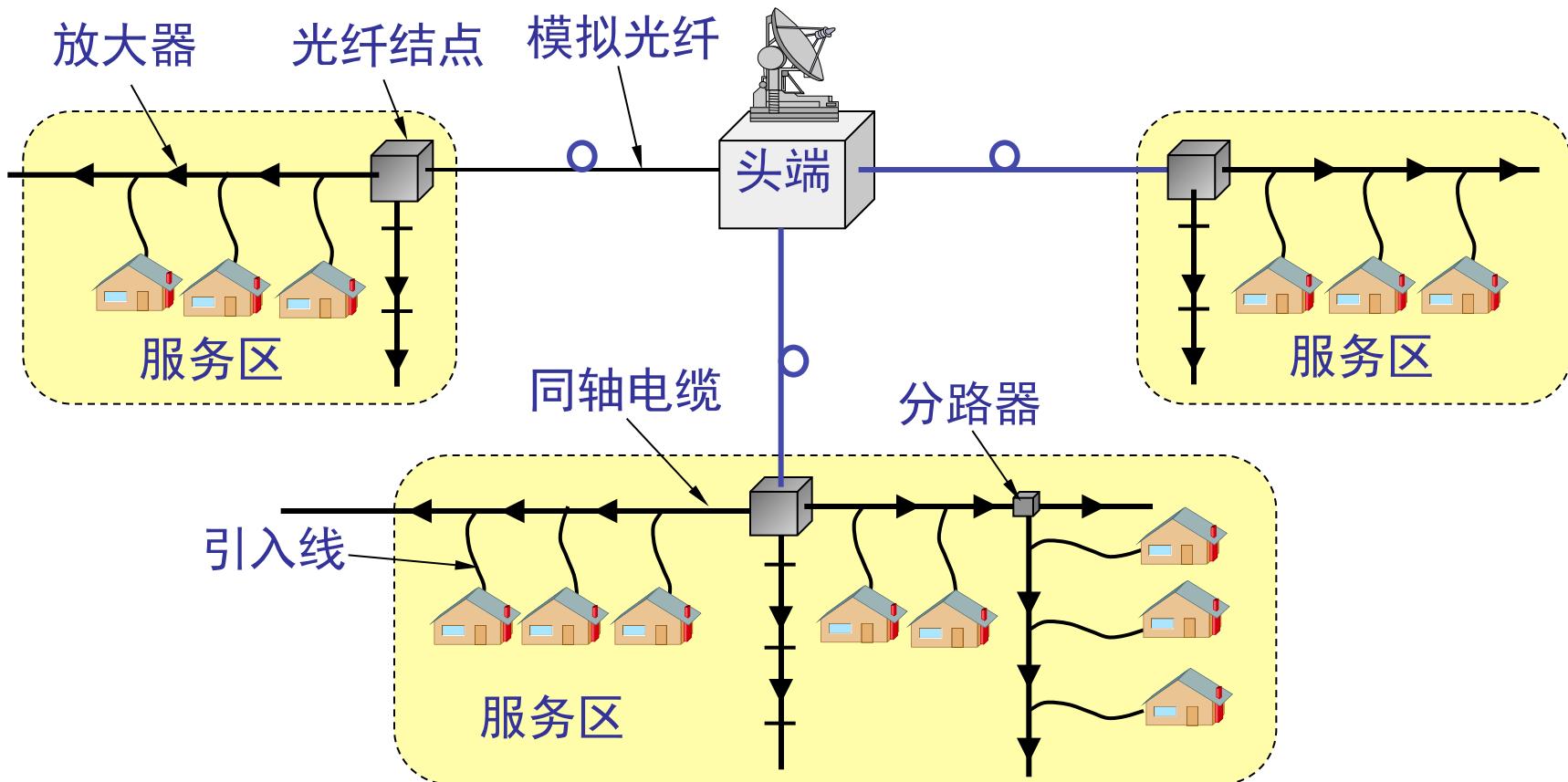


2.6.2 光纤同轴混合网

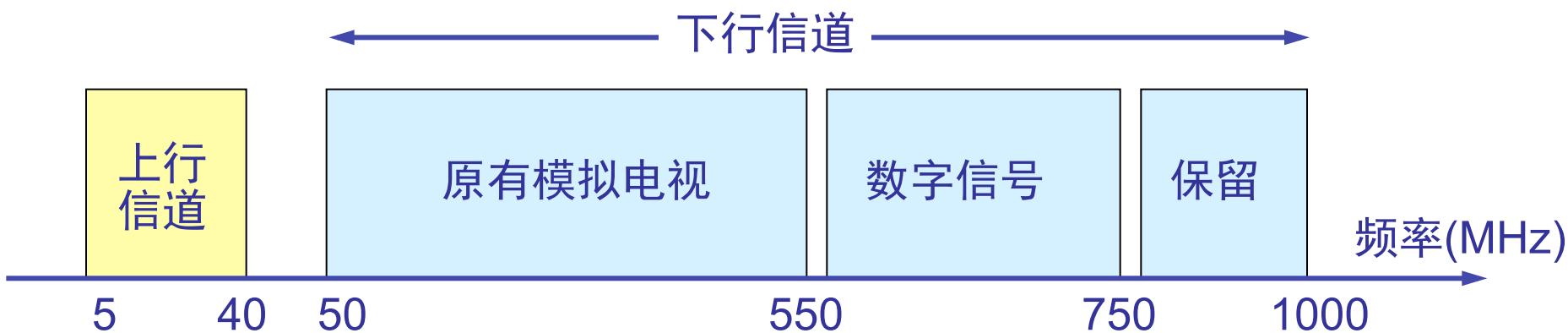
HFC (Hybrid Fiber Coax)

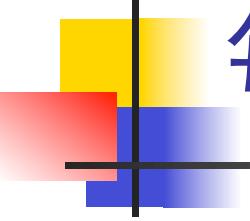
- HFC 网是在目前覆盖面很广的有线电视网 CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网。
- HFC 网除可传送 CATV 外，还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- 现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络，它采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输。而 HFC 网则需要对 CATV 网进行改造，

HFC 网体系结构



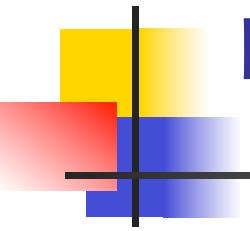
HFC 网具有比 CATV 网更宽的频谱，且具有双向传输功能





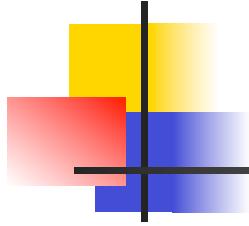
每个家庭要安装一个用户接口盒

- 用户接口盒 UIB (User Interface Box)要提供三种连接，即：
 - 使用同轴电缆连接到机顶盒(set-top box)，然后再连接到用户的电视机。
 - 使用双绞线连接到用户的电话机。
 - 使用电缆调制解调器连接到用户的计算机。



电缆调制解调器(cable modem)

- 电缆调制解调器是为 HFC 网而使用的调制解调器。
- 电缆调制解调器最大的特点就是传输速率高。其下行速率一般在 3~10 Mb/s 之间，最高可达 30 Mb/s，而上行速率一般为 0.2~2 Mb/s，最高可达 10 Mb/s。
- 电缆调制解调器比在普通电话线上使用的调制解调器要复杂得多，并且不是成对使用，而是只安装在用户端。



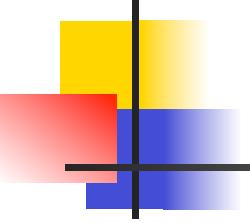
HFC 网的特点

■ 优点：

- 具有很宽的频带，并且能够利用已经有相当大的覆盖面的有线电视网。

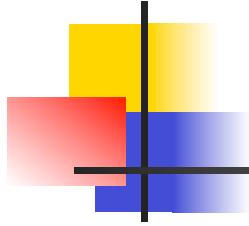
■ 问题

- 要将现有的 450 MHz 单向传输的有线电视网络改造为 750 MHz 双向传输的 HFC 网。



2.6.3 FTTx 技术

- FTTx（光纤到.....）也是一种实现宽带居民接入网的方案。这里字母 x 可代表不同意思。
- **光纤到家** FTTH (Fiber To The Home): 光纤一直铺设到用户家庭可能是居民接入网最后的解决方法。
- **光纤到大楼** FTTB (Fiber To The Building): 光纤进入大楼后就转换为电信号，然后用电缆或双绞线分配到各用户。
- **光纤到路边** FTTC (Fiber To The Curb): 从路边到各用户可使用星形结构双绞线作为传输媒体。



作业

- 2-04、2-09、2-12、2-16