



计算机网络（第 6 版）

第 2 章 物理层

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

2.2.2 有关信道的几个基本概念

2.2.3 信道的极限容量

2.2.4 信道的极限信息传输速率

2.3 物理层下面的传输媒体

2.3.1 导引型传输媒体

2.3.2 非导引型传输媒体

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

2.5 数字传输系统

2.6 宽带接入技术

2.6.1 ADSL技术

2.6.2 光纤同轴混合网 (HFC 网)

2.6.3 FTT_x 技术

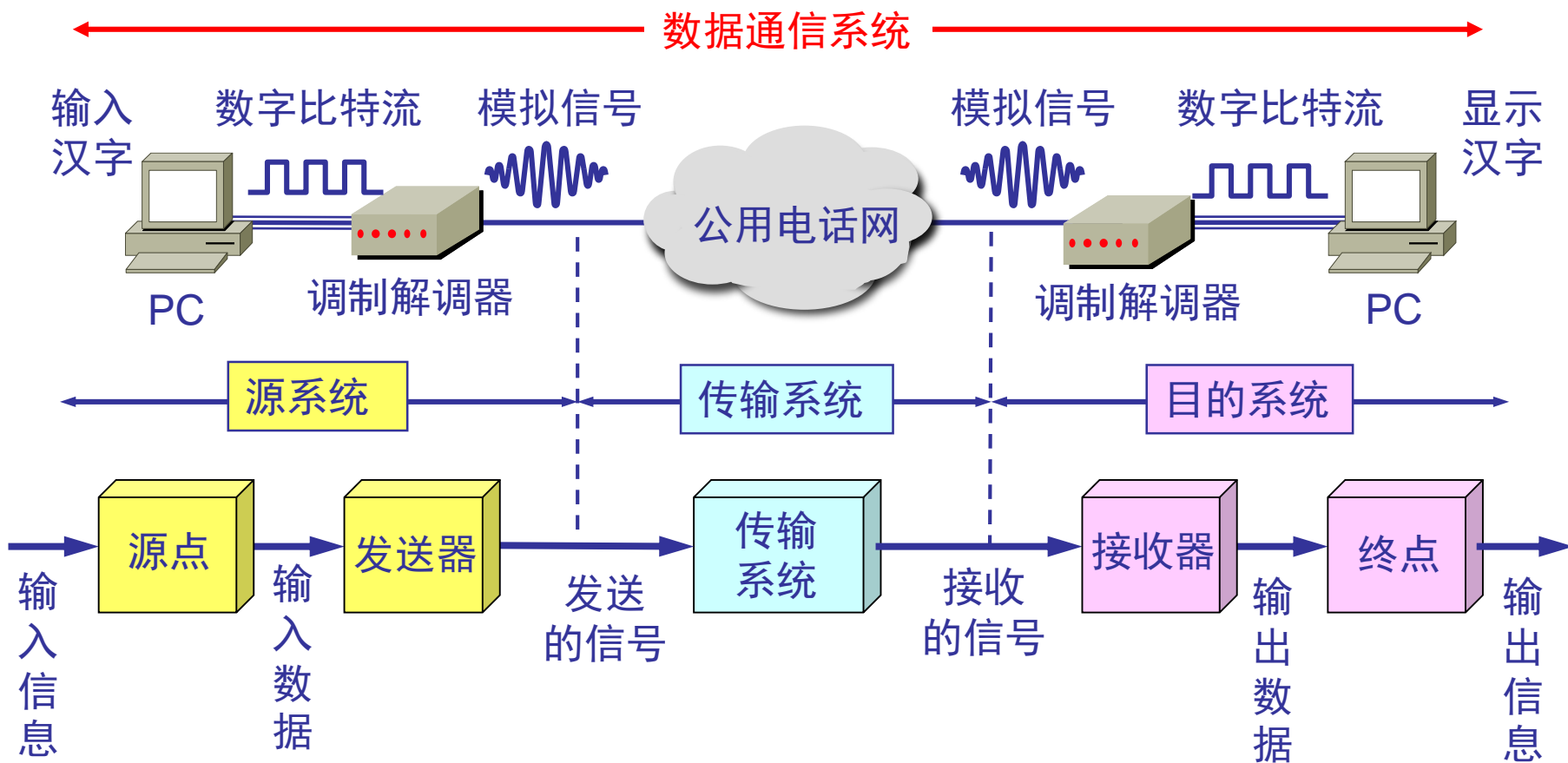
2.1 物理层的基本概念

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。

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)。
- **通带信号**——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）。

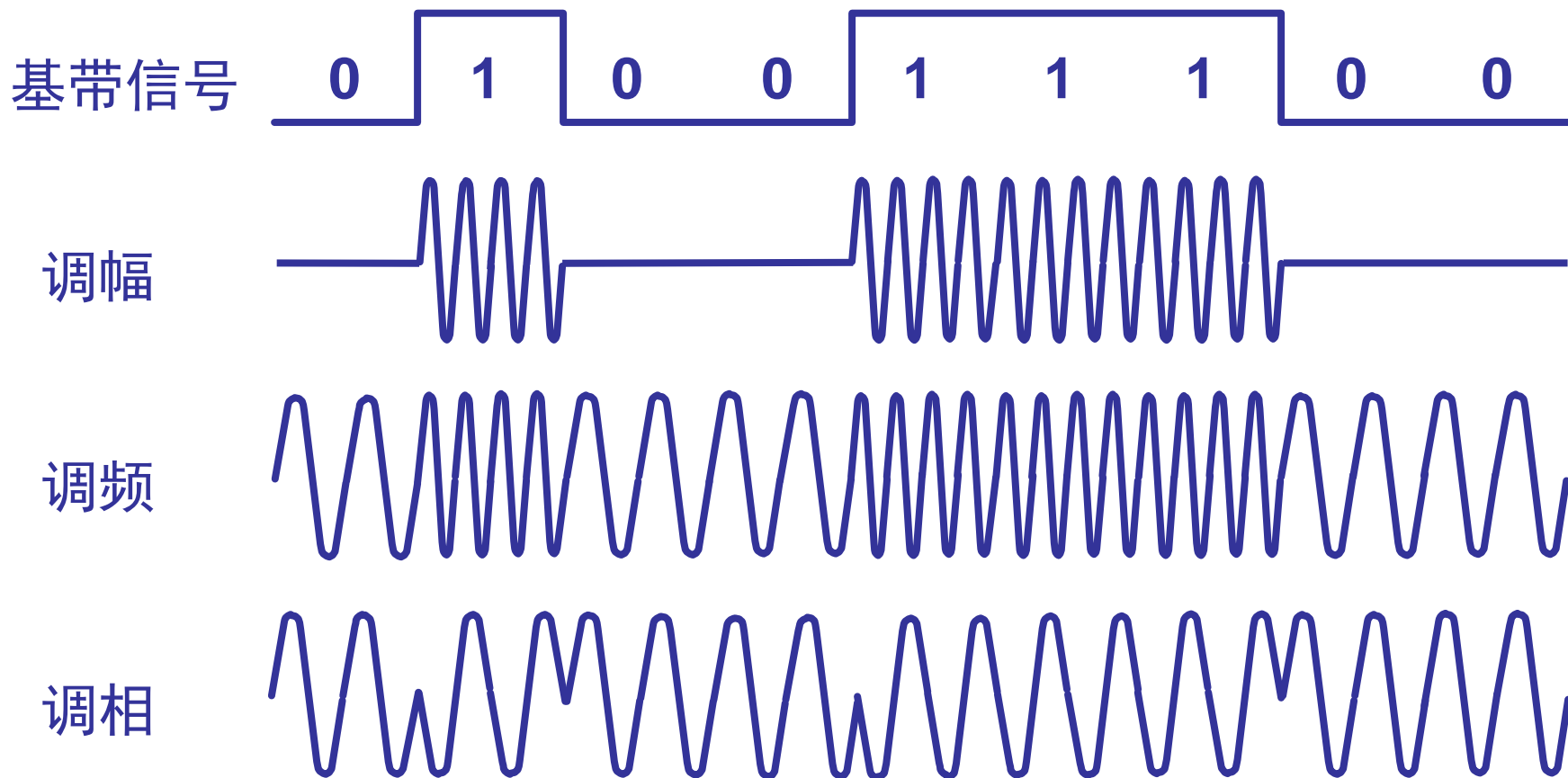
基带信号和宽带信号

- **基带信号**(baseband)就是将数字信号 1 或 0 直接用两种不同的电压来表示, 然后送到线路上去传输。
- **宽带信号**(broadband)则是将基带信号进行调制后形成的频分复用模拟信号。
- **通带信号**(passband)被搬移到某个更大频率范围的信号。

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



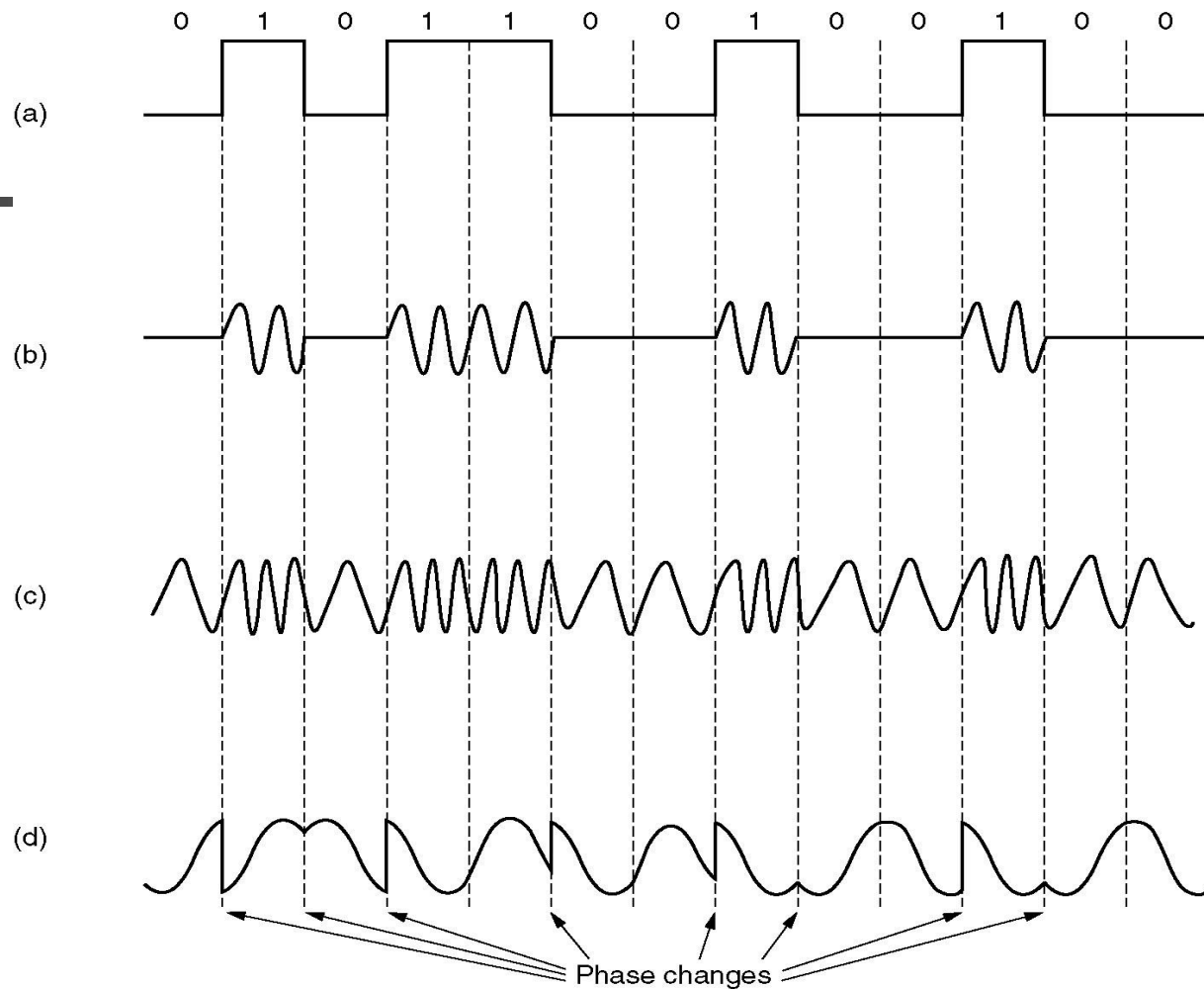
几种最基本的调制方法

所谓调制就是进行波形变换。或者更严格地讲，是进行频谱变换，将基带数字信号的频谱变换成为适合于在模拟信道中传输的频谱。最基本的调制方法有以下几种：

- (1)调幅(AM) 即载波的振幅随基带数字信号而变化。例如，0对应于无载波输出，而1对应于有载波输出。
- (2)调频(FM) 即载波的频率随基带数字信号而变化。例如，0对应于频率 f_1 ，而1对应于频率 f_2 。
- (3)调相(PM) 即载波的初始相位随基带数字信号而变化。例如，0对应于相位 0° ，而1对应于 180° 。

常用的三种调制技术

- 根据载波 $A\sin(\omega t + \varphi)$ 的三个特性：幅度、频率、相位，产生常用的三种调制技术：
 - 幅移键控法 Amplitude-shift keying (ASK)
 - 频移键控法 Frequency-shift keying (FSK)
 - 相移键控法 Phase-shift keying (PSK)



(a) A binary signal

(b) Amplitude modulation

(c) Frequency modulation

(d) Phase modulation

Passband Transmission

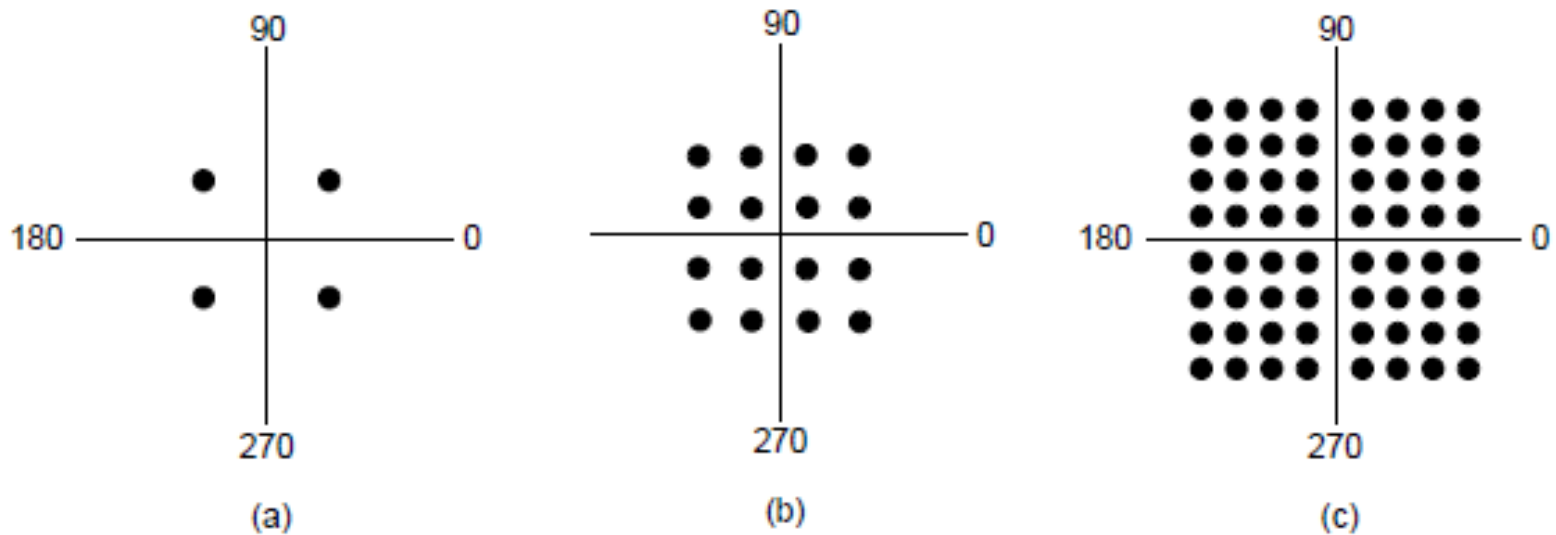
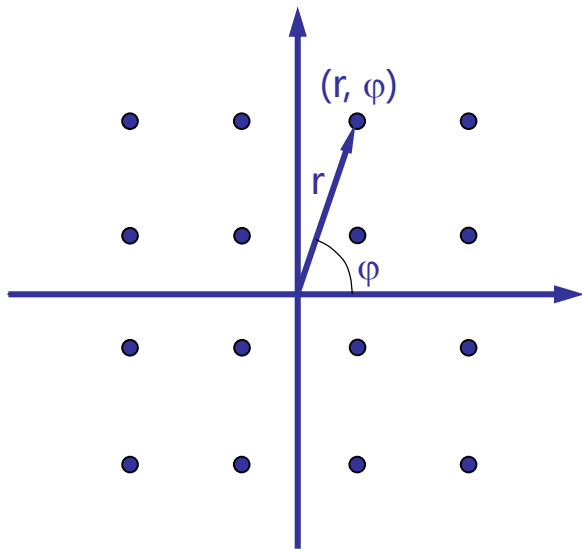


Figure 2-23. (a) QPSK. (b) QAM-16. (c) QAM-64.

正交调制 QAM

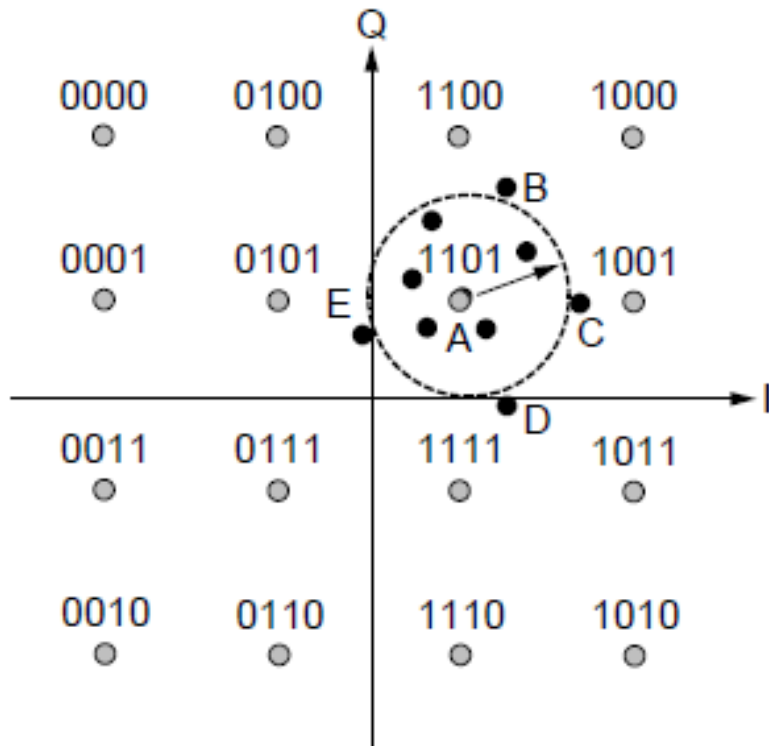
■ QAM (Quadrature Amplitude Modulation)



- 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。

QAM-16格雷码



When 1101 is sent:

Point	Decodes as	Bit errors
A	1101	0
B	110 <u>0</u>	1
C	<u>1</u> 001	1
D	11 <u>1</u> 1	1
E	<u>0</u> 101	1

Figure 2-24. Gray-coded QAM-16.

调制解调器的速率

- 目前调制解调器的信息传输速率已很接近于香农的信道容量极限了。
- 要提高信息传输速率，只能设法提高信噪比。
- 在电话的用户线上，最大的噪声来自模拟到数字的模数转换所带来的量化噪声。

调制解调器使用异步通信方式

- 数据通信可分为同步通信和异步通信两大类：
 - 同步通信要求接收端时钟频率和发送端时钟频率一致。发送端发送连续的比特流。
 - 异步通信时不要求接收端时钟和发送端时钟同步。发送端发送完一个字节后，可经过任意长的时间间隔再发送下一个字节。
- 异步通信的通信开销较大，但接收端可使用廉价的、具有一般精度的时钟来进行数据通信。

数字传输系统

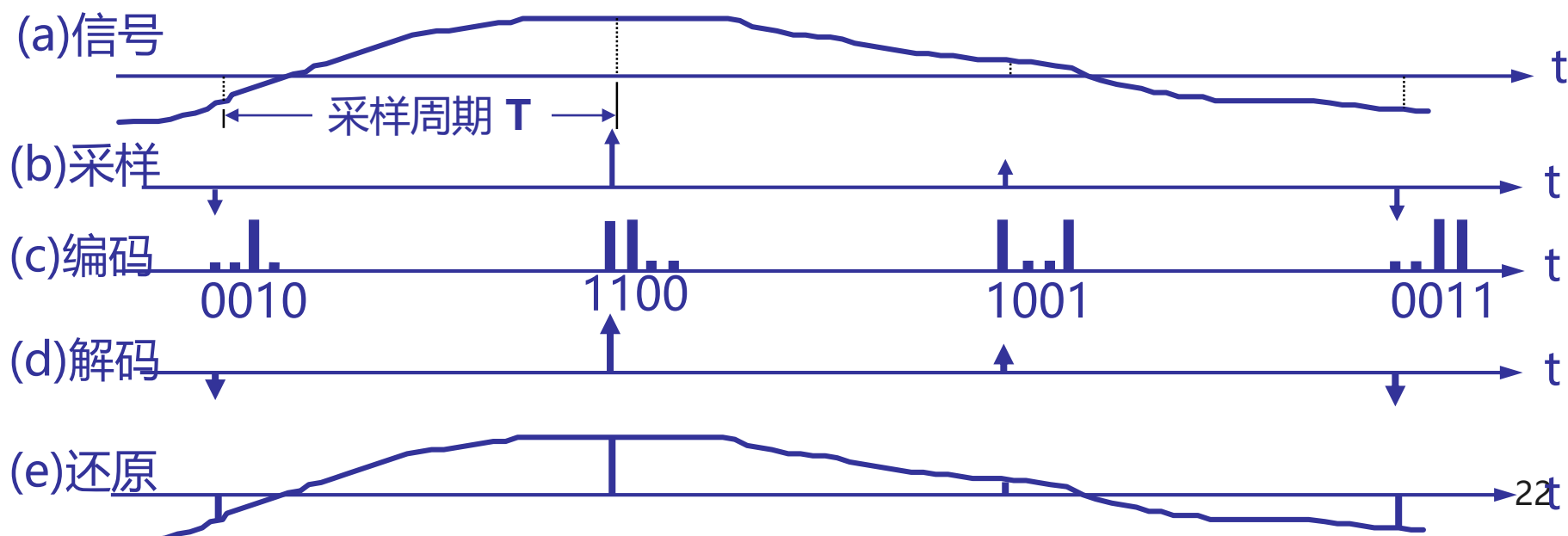
- 现在的数字传输系统均采用脉码调制 PCM (Pulse Code Modulation)体制。
- PCM最初并不是为传送计算机数据用的。它是为了使电话局之间一条中继线不是只传送一路电话而是可以传送几十路的电话。由于历史上的原因, PCM有两个互不兼容的国际标准, 即北美的24路PCM(简称为T1)和欧洲的30路PCM(简称为E1)。
- T1的速率是1.544 Mb/s, E1的速率是2.048 Mb/s。

脉码调制PCM

为了将模拟电话信号转变为数字信号，必须先对电话信号进行取样。根据取样定理，只要：取样频率不低于电话信号最高频率的2倍，就可以从取样脉冲信号无失真地恢复出原来的电话信号。标准的电话信号的最高频率为3.4kHz，为方便起见，取样频率就定为8kHz，相当于取样周期为125 μs 。

PCM的基本原理

- T 为取样周期。连续的电话信号经取样后成为如图中(a)所示的离散脉冲信号，其振幅对应于取样时刻电话信号的数值。
- 下一步就是编码。为简单起见,图(c)将不同振幅的脉冲编为4位二进制码元。在我国使用的PCM体制中，电话信号是采用8 bit编码,也就是说,将取样后的模拟的电话信号量化为256个不同等级中的一个。模拟信号转换为数字信号后就进行传输。
- 在接收端进行解码的过程与编码过程相反。经滤波后最后得出恢复后的模拟电话信号图中的(e)。



PCM的基本原理

这样，一个话路的模拟电话信号，经模数变换后，就变成为每秒8000个脉冲信号，每个脉冲信号再编为8位二进制码元。因此一个标准话路的PCM信号速率为64 kb/s。

以kb/s的速率是最早制订出的话音编码的标准速率。

随着话音编码技术的不断发展，人们可以用更低的数据率来传送同样质量的话音信号。现在已经能够用32kb/s，16kb/s或甚至低到8kb/s(或更低)的数据率来传送一路话音信号。

时分复用

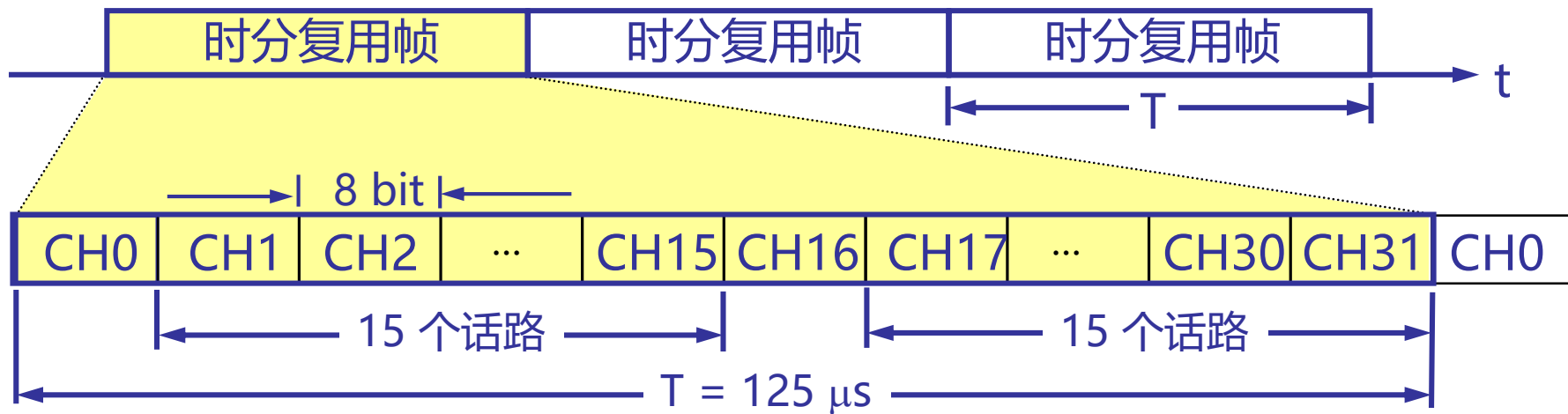
- 为了有效地利用传输线路，可将多个话路的 PCM 信号用**时分复用** TDM (Time Division Multiplexing)的方法装成时分复用帧，然后发送到线路上。
- 中国采用欧洲体制，以 E1 为一次群。
- 美国和日本等国采用北美体制，以 T1 为一次群。

PCM的基本原理

E1的一个时分复用帧(其长度 $T = 125\mu\text{s}$)共划分为32相等的时隙, 时隙的编号为CH0-CH31。时隙CH0用作帧同步用, 时隙CH16用来传送信令(如用户的拨号信令)。可供用户使用的话路是时隙CH1-CH15和CH17-CH31, 共30个时隙用作30个话路。每个时隙共传送8bit。因此整个的32个时隙共用**256bit**。每秒传送8000个帧, 因此PCM一次群E1的数据率就是**2.048Mb/s**。

北美使用的T1系统共有24个话路。每个话路的取样脉冲用7bit编码, 然后再加上1位信令码元, 因此一个话路也是占用8bit。帧同步码是在24路的编码之后加上1bit, 这样每帧共有**193bit**。因此T1一次群的数据率为**1.544Mb/s**。

E1 的时分复用帧



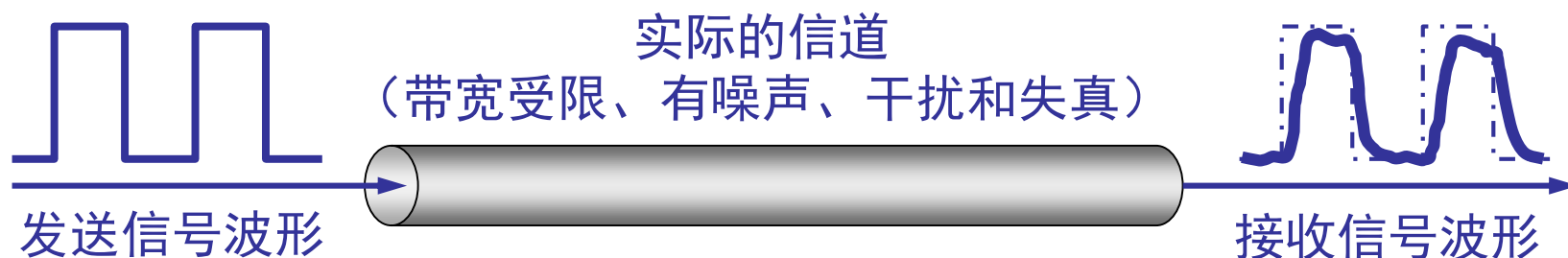
2.2.3 信道的极限容量

- 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。

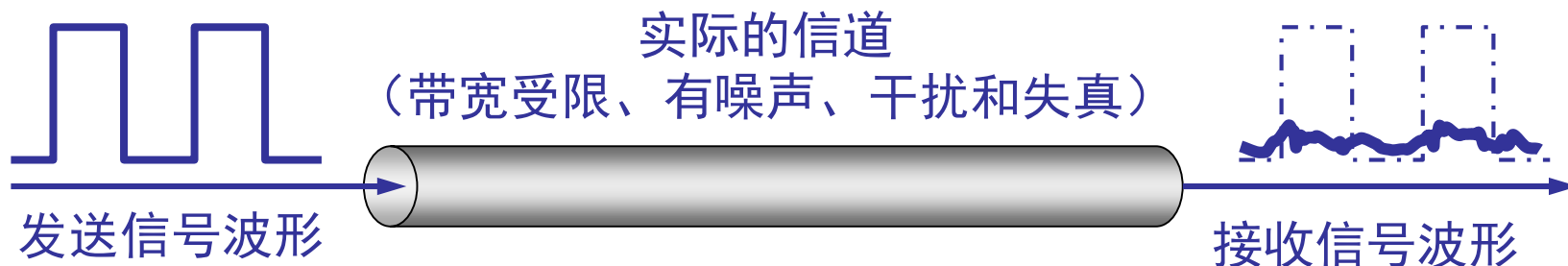
码元 (Code Cell) : 时间轴上的一个信号编码单元

数字信号通过实际的信道

■ 有失真，但可识别



■ 失真大，无法识别



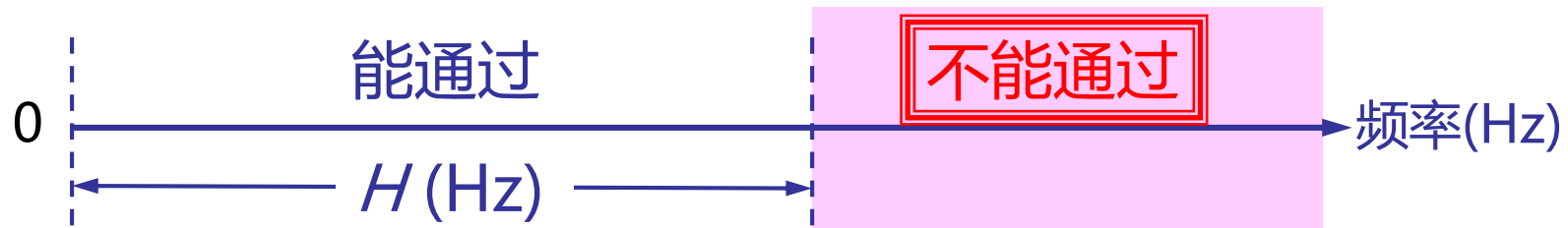
(1) 信道能够通过的频率范围

- 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。
- 如果信道的频带越宽，也就是能够通过的信号高频分量越多，那么就可以用更高的速率传送码元而不出现码间串扰。

尼氏(Nyquist)准则

1924年，尼奎斯特 (H. Nyquist) 推导出理想低通信道的最高码元传输速率 = $2H$ Baud

H 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。

要强调以下三点

- 实际的信道所能传输的最高码元速率，要明显地低于尼氏准则给出上限数值。
- 当信号电平分为 V 级，尼奎斯特 (H. Nyquist) **无噪声有限带宽信道** 的最大数据传输率公式表示为：

$$\text{最大数据传输率} = 2H \log_2 V \text{ (bps)}$$

这说明，任意信号通过一个带宽为 H 的低通滤波器，则每秒采样 $2H$ 次就能完整地重现该信号。

- 例如， $V=2$ （只有两级），无噪声的 3 k Hz 信道传输二进制最高的速率是 6000 bps 。

要注意

- 波特(Baud)和比特(bit)是两个完全不同的概念。
 - 波特是码元传输的速率单位（每秒传多少个码元）。码元传输速率也称为调制速率、波形速率或符号速率。
 - 比特是信息量的单位。
- 信息的传输速率“比特/秒”与码元的传输速率“波特”在数量上却有一定的关系。
- 若1个码元只携带 1 bit 的信息量，则“比特/秒”和“波特”在数值上相等。
- 若1个码元携带 n bit 的信息量，则 M Baud的码元传输速率所对应的信息传输速率为 $M \times n$ b/s。

波特率 (baud) 和比特率 (bit) 的关系

- **波特率**：信号每秒钟变化的次数，也称调制速率。
- **比特率**：每秒钟传送的二进制位数。
- 波特率与比特率的关系取决于信号值与比特位的关系。
 - 例：每个信号值可表示 3 位，则比特率是波特率的 3 倍；
每个信号值可表示 1 位，则比特率和波特率相同。
 - 例如，有一个带宽为 3kHz 的理想低通信道，其最高码元传输速率为 6000 Baud (即每秒传 6000 个码元)。若 1 个码元能携带 3 bit 的信息量，则最高信息传输速率为 18000 b/s。

思考：怎样使一个码元携带 3 bit 的信息量呢？

(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 可表达为
- $$C = W \log_2(1+S/N) \text{ b/s}$$
 - 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。

香农公式的二点说明

- 1948年，香农（C. Shannon）把尼奎斯特的工作扩大到信道受到随机（热）噪声干扰的情况。
- 热噪声出现的大小用信噪比（信号功率与噪声功率之比: 用 S/N 或SNR表示）来衡量。
 - S：信号功率， N：噪声功率
 - $10\log_{10}S/N$ 单位：分贝（dB）
 - 即，人们常说的信噪比，是指 $10\log_{10}S/N$ 值
 - 如信噪比10分贝，实际上 $S/N=10$
 - 如信噪比20分贝，实际上 $S/N=100$
 - 如信噪比30分贝，实际上 $S/N=1000$

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。

请注意

- 对于频带宽度已确定的信道，如果信噪比不能再提高了，并且码元传输速率也达到了上限值，那么还有办法提高信息的传输速率。这就是用编码的方法让每一个码元携带更多比特的信息量。

尼氏与香农公式举例

- Spectrum of a channel between 3 MHz and 4 MHz ; $\text{SNR}_{\text{dB}} = 24 \text{ dB}$

$$B = 4 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz}$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 24 \text{ dB} = 10 \log_{10}(\text{SNR})$$

$$\text{SNR} = 251$$

- Using Shannon' s formula

$$C = 10^6 \times \log_2(1 + 251) \approx 10^6 \times 8 = 8 \text{ Mbps}$$

尼氏与香农公式举例

- How many signaling levels are required?

$$C = 2B \log_2 M$$

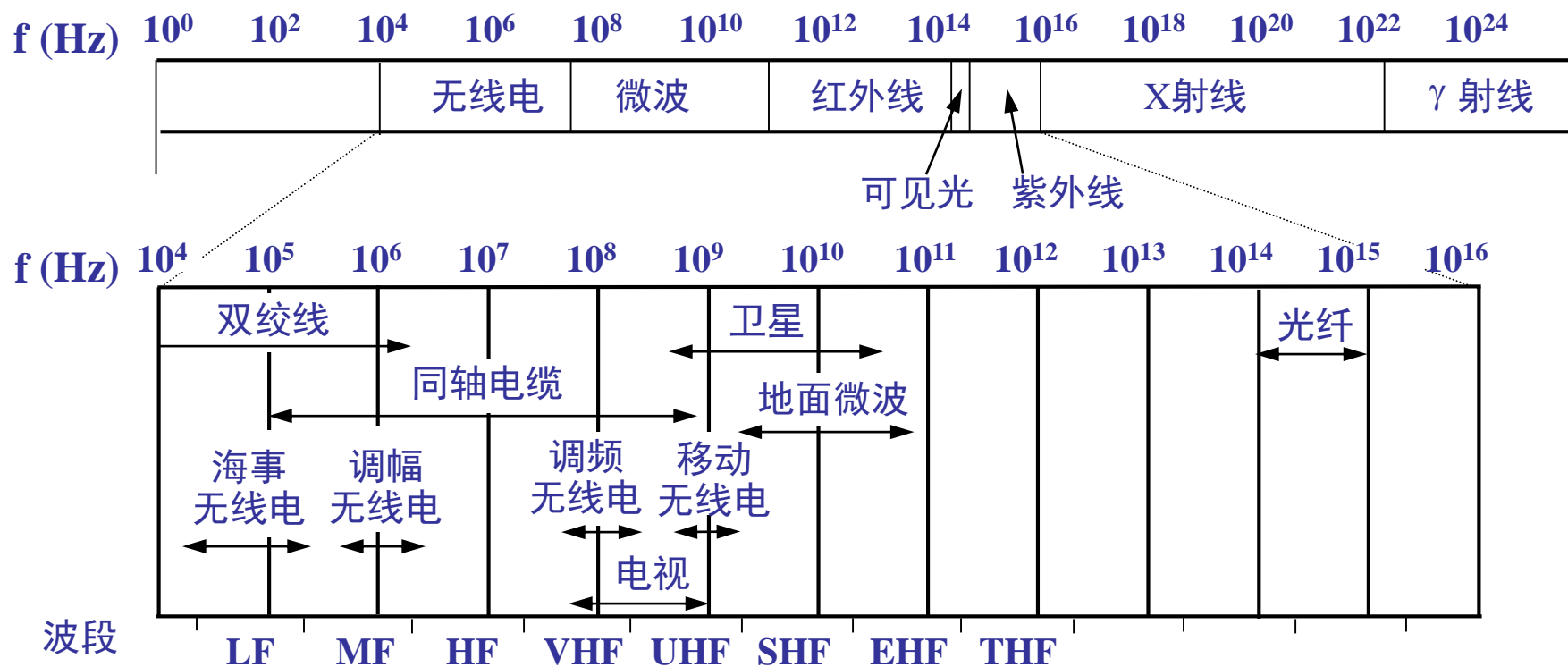
$$8 \times 10^6 = 2 \times (10^6) \times \log_2 M$$

$$4 = \log_2 M$$

$$M = 16$$

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 导引型传输媒体

- 双裸线
- 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
 - $50\ \Omega$ 同轴电缆
 - $75\ \Omega$ 同轴电缆
- 光缆

双裸线

- 一种最简单的传输介质，也称平行线。
- 两根裸露在空气中的铜导线彼此隔离地并排放在一起构成图。
- 串扰严重，速率低，距离短

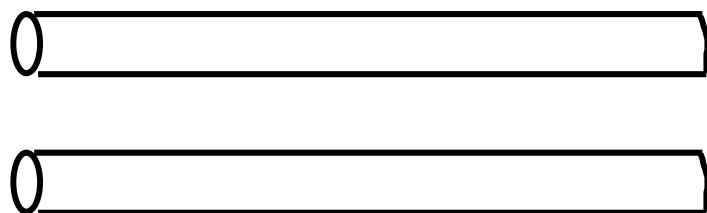
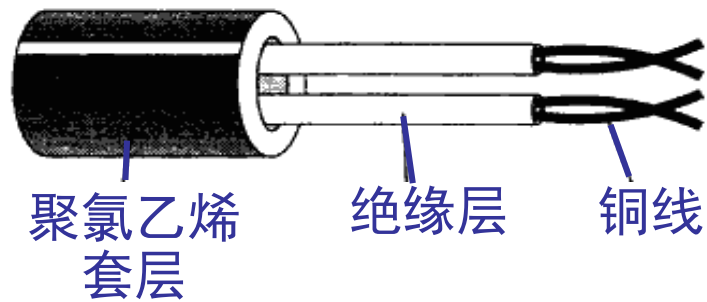


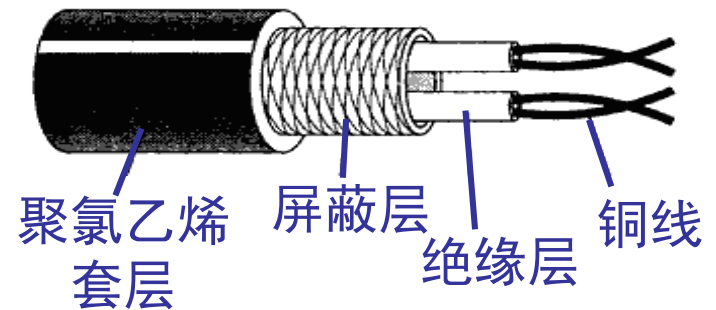
图 双裸线

各种电缆

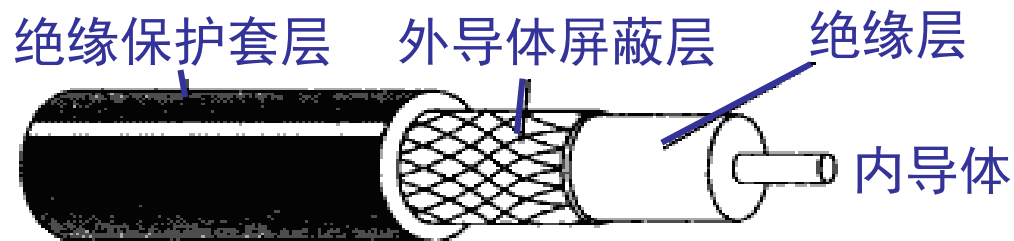
无屏蔽双绞线 UTP



屏蔽双绞线 STP



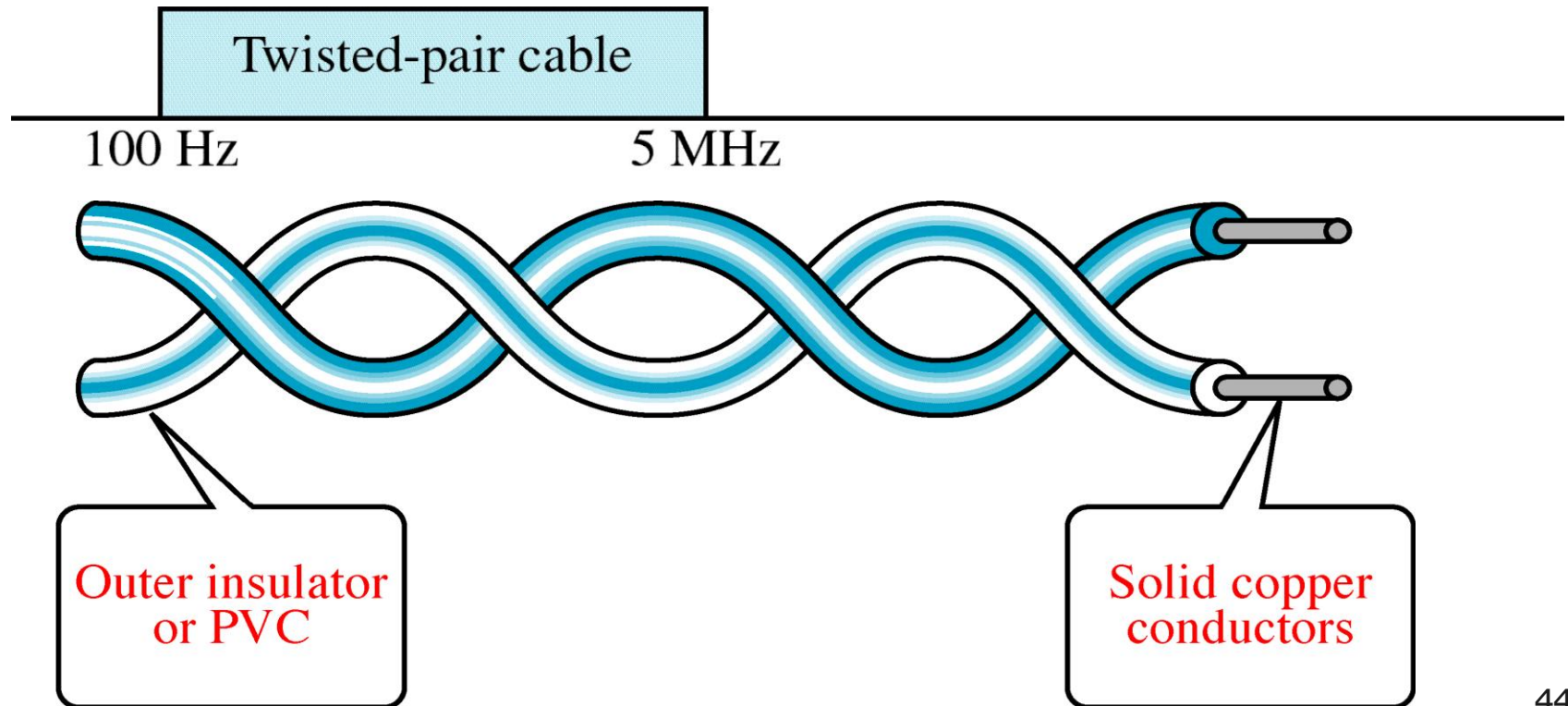
同轴电缆



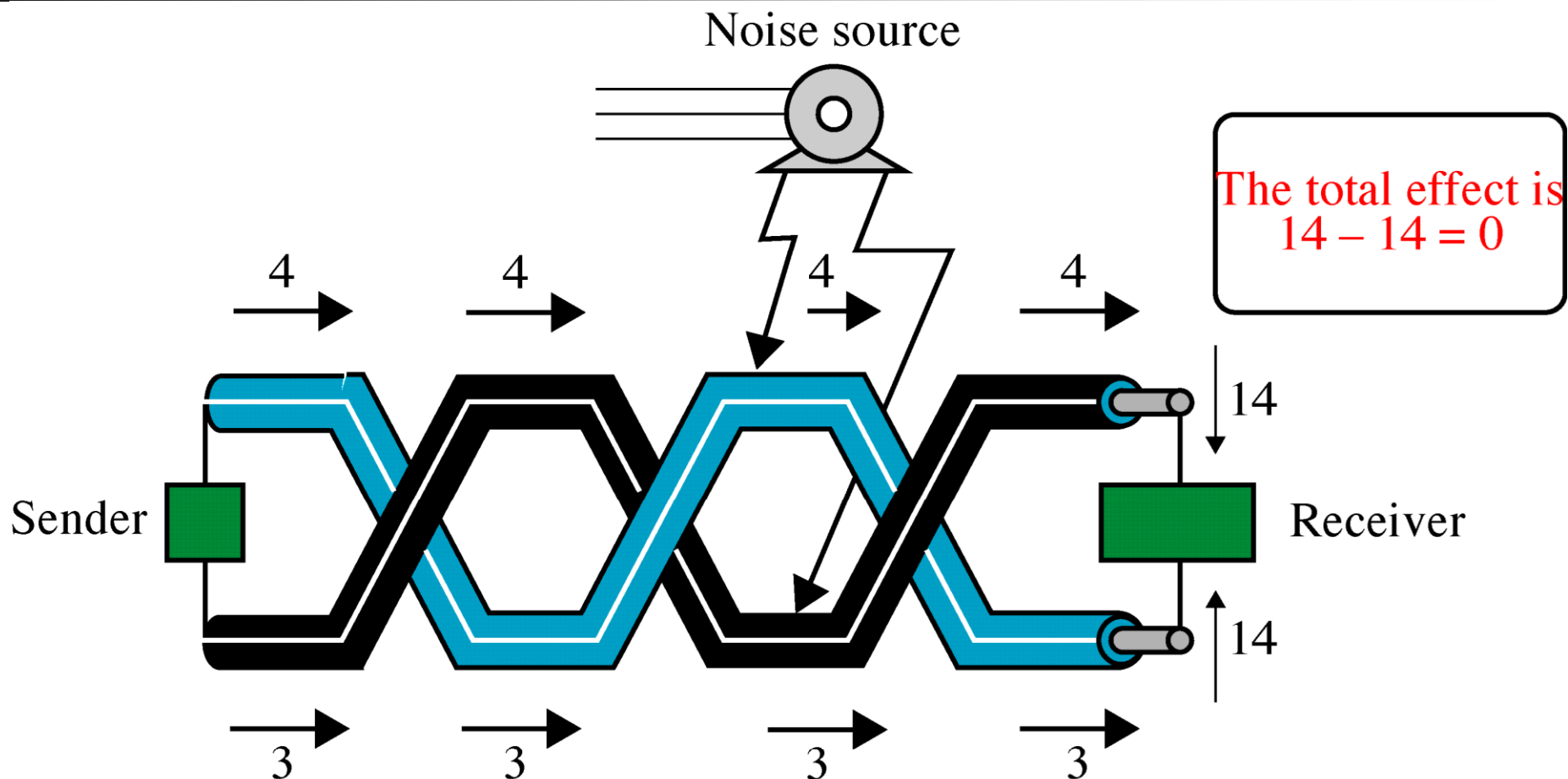
双绞线(Twisted-pair)

也称双扭线

由两根互相绝缘的铜导线
用规则的方法扭绞起来构成图

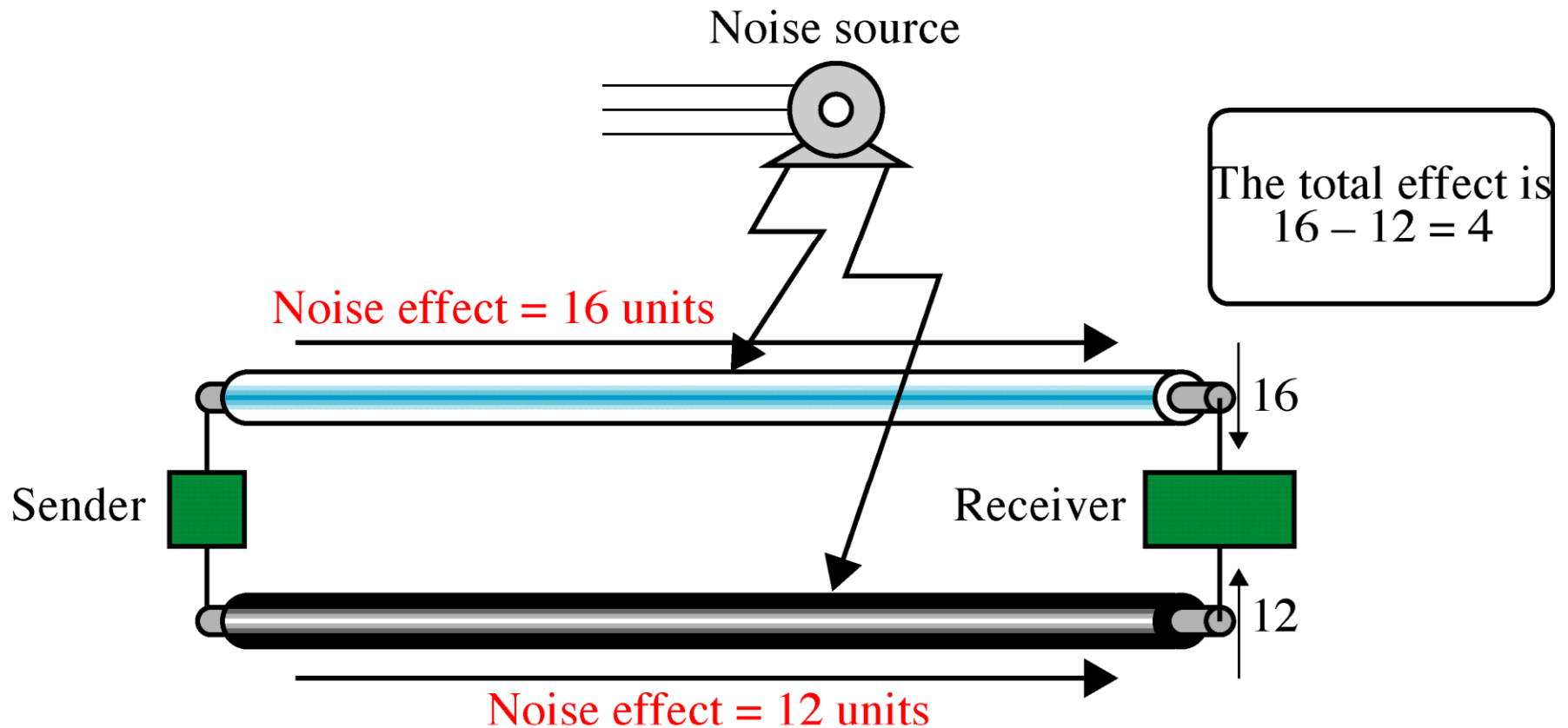


双绞线上的噪声效应

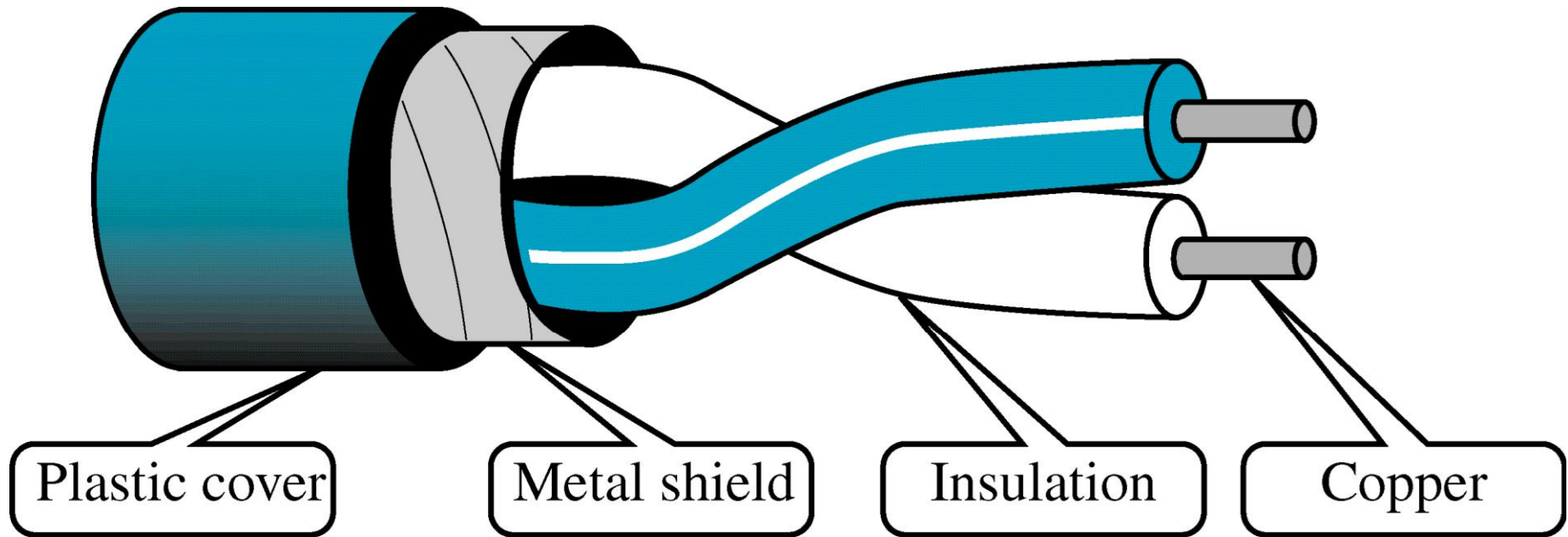


双绞线的扭绞结构是为了减少相邻导线之间的串扰和消除外界干扰

平行线上的噪声效应



STP(Shielded Twisted-Pair)电缆



10BASET的含义

10Base-T

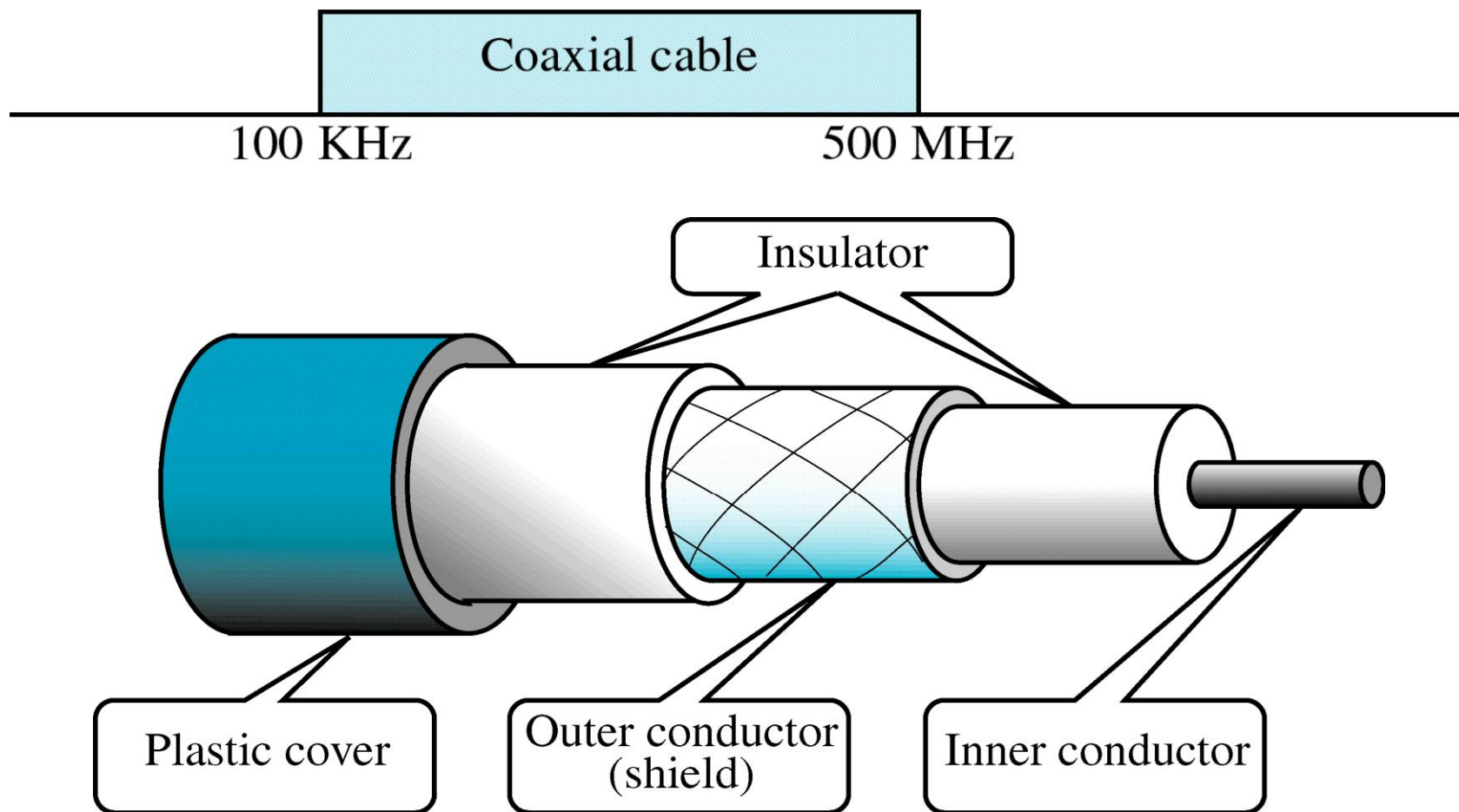
10 Mbps

Baseband

Twisted pair

同轴电缆(Coaxial Cable)

由单股实心或多股绞合的铜质芯线（内导体）、绝缘层、网状编织的屏蔽层(外导体)以及保护外层所组成



同轴电缆的种类

①粗同轴电缆

简称粗缆，用于传送基带数字信号。50欧姆，用于数据传输；

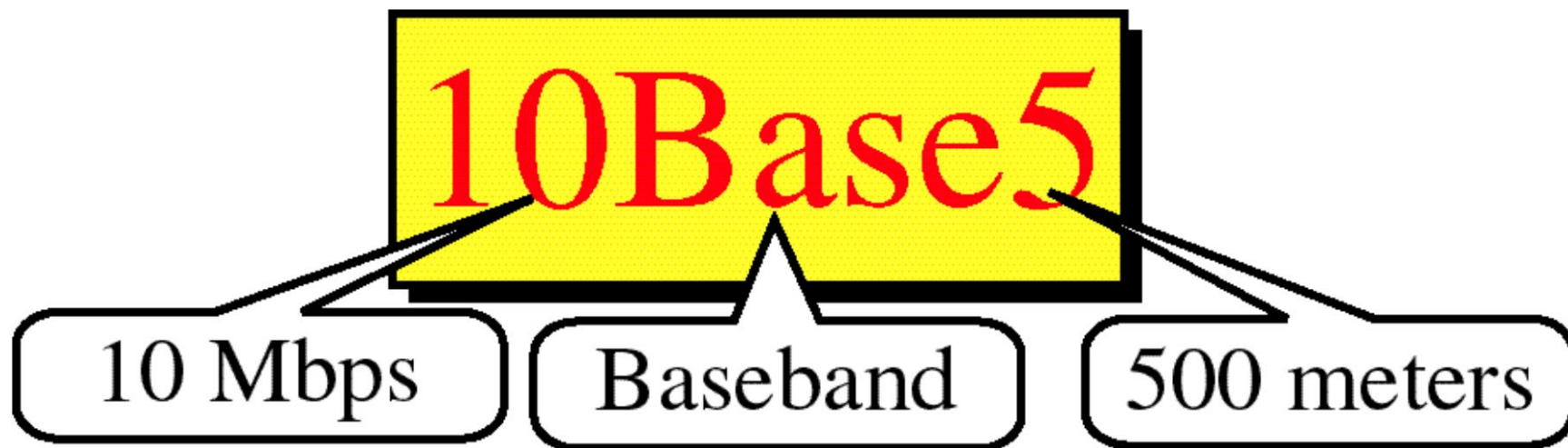
②细同轴电缆

简称细缆，也用于传送基带数字信号。最大传输距离不及粗缆，但因比粗缆便宜而被广泛使用。

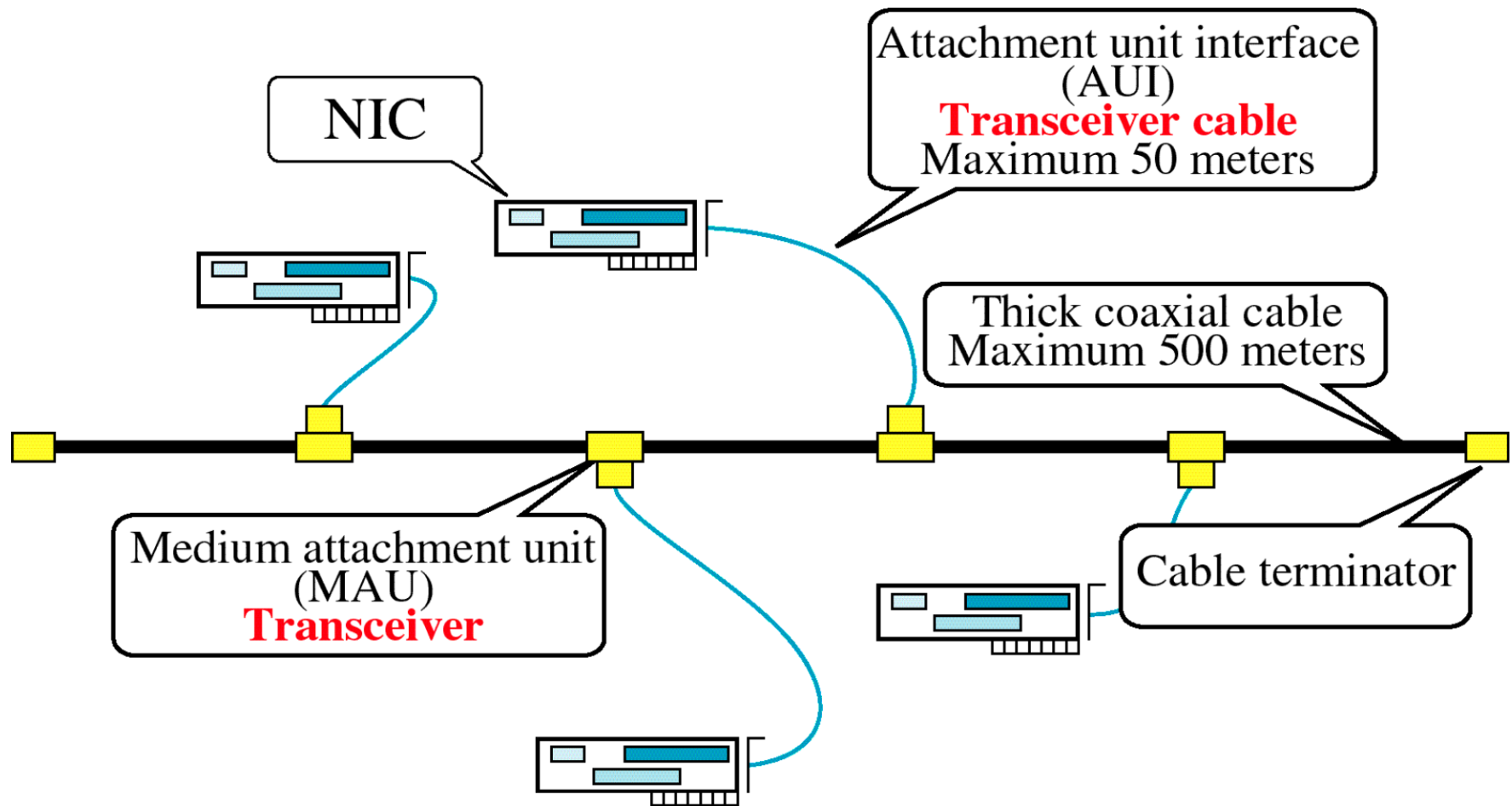
③TV电缆

75欧姆，用于模拟传输系统，它是公用天线电视系统(CATV)中的标准传输电缆。其采用的是频分复用的宽带信号，300MHz或450MHz。

10BASE5的含义



10BASE5



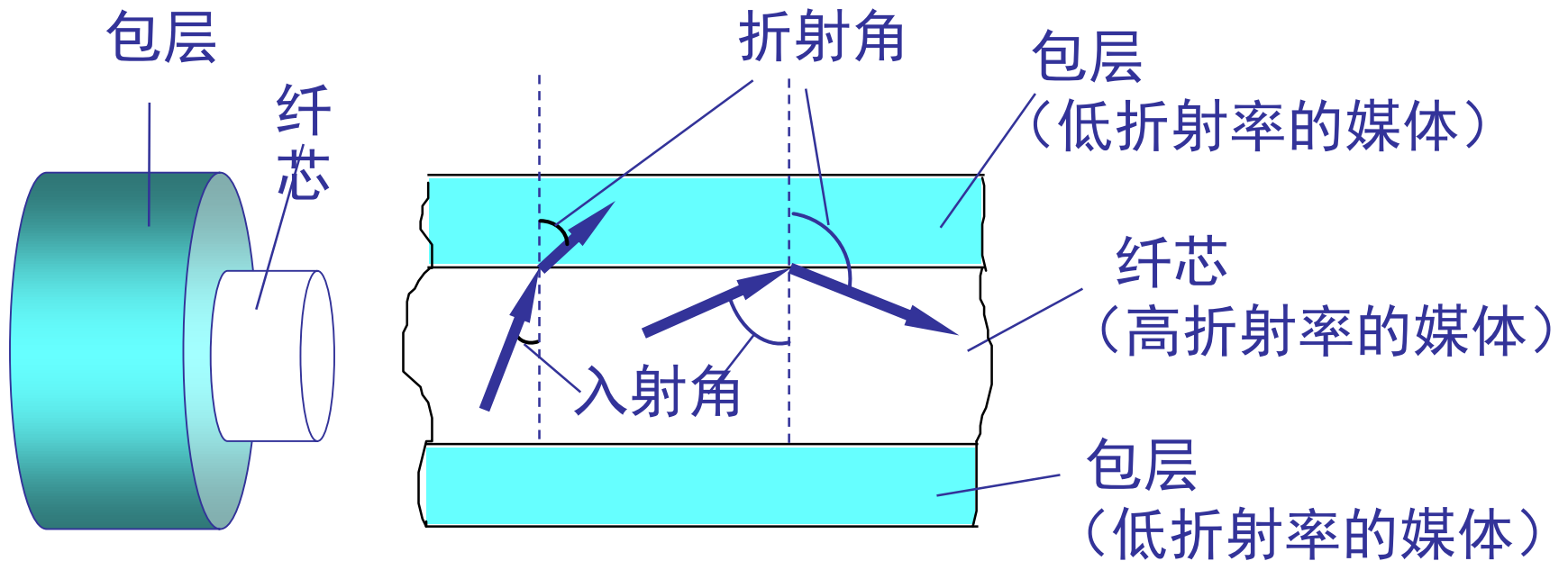
10BASE2的含义



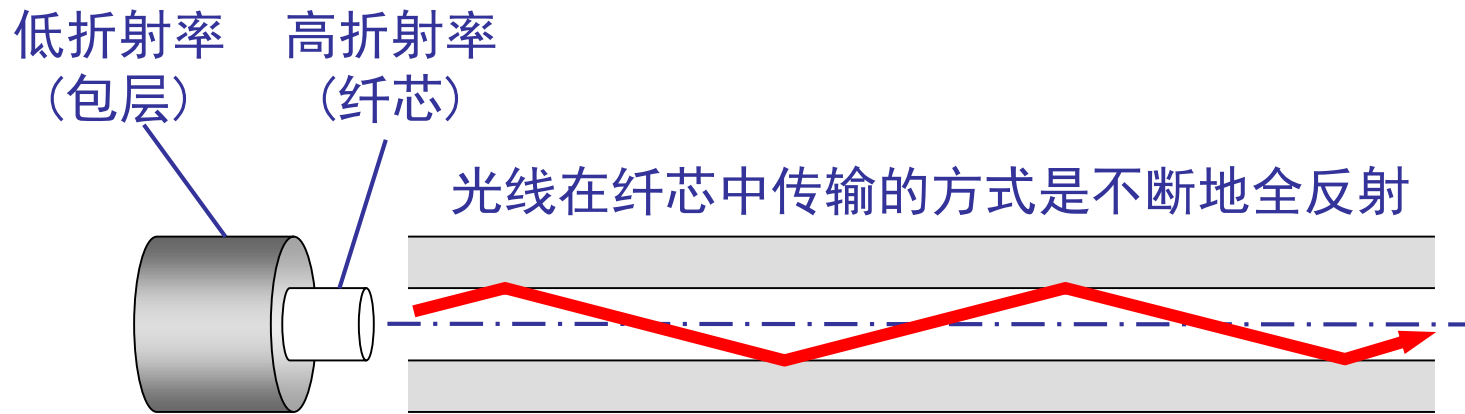
双裸线、双绞线、铜轴电缆的优缺点

- 双裸线构成的线路的串扰现象非常严重。
- 双绞线减少相邻导线间的串扰。主要缺点是存在较强的趋肤效应，随着传输速率的增加，导线中的电流趋向于在导体的外层流动，从而减少可使用的有效截面积，增大导线的电阻和信号的衰减。
- 同轴电缆由于外导体的作用，外来的电磁干扰被有效地屏蔽了，因此具有很好的抗干扰特性，并且因趋肤效应所引起的功率损失也大大减小。同时，与双绞线相比，同轴电缆具有更宽的带宽和更快的传输速率。

光线在光纤中的折射



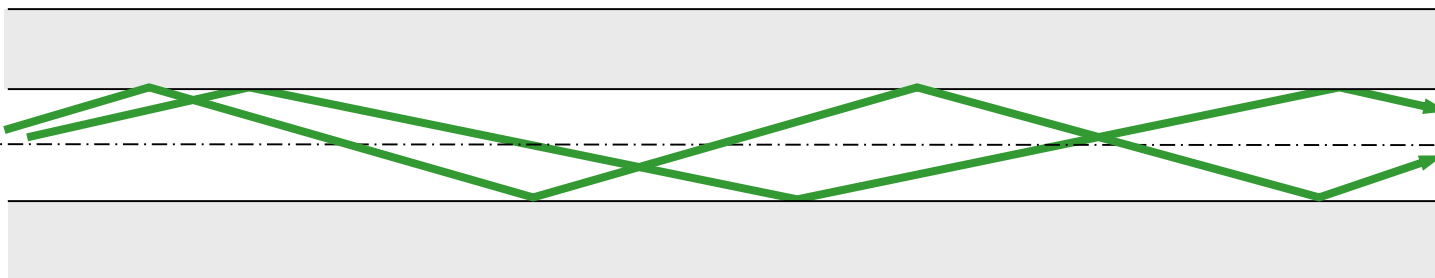
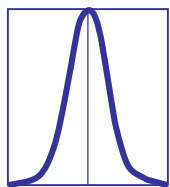
光纤的工作原理



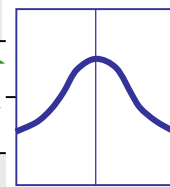
多模光纤与单模光纤

多模光纤

输入脉冲

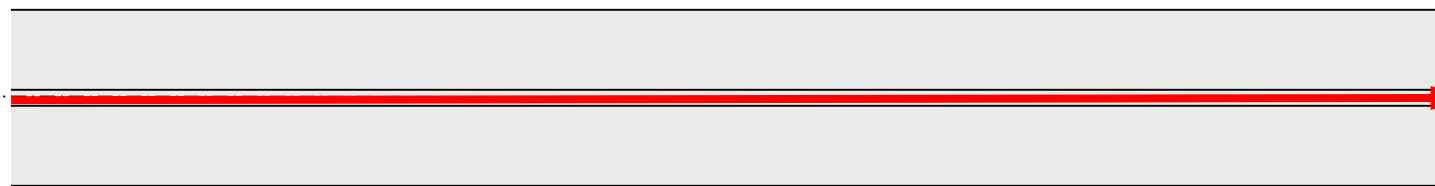
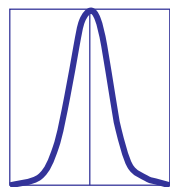


输出脉冲

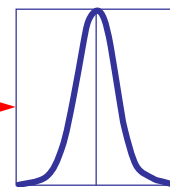


单模光纤

输入脉冲



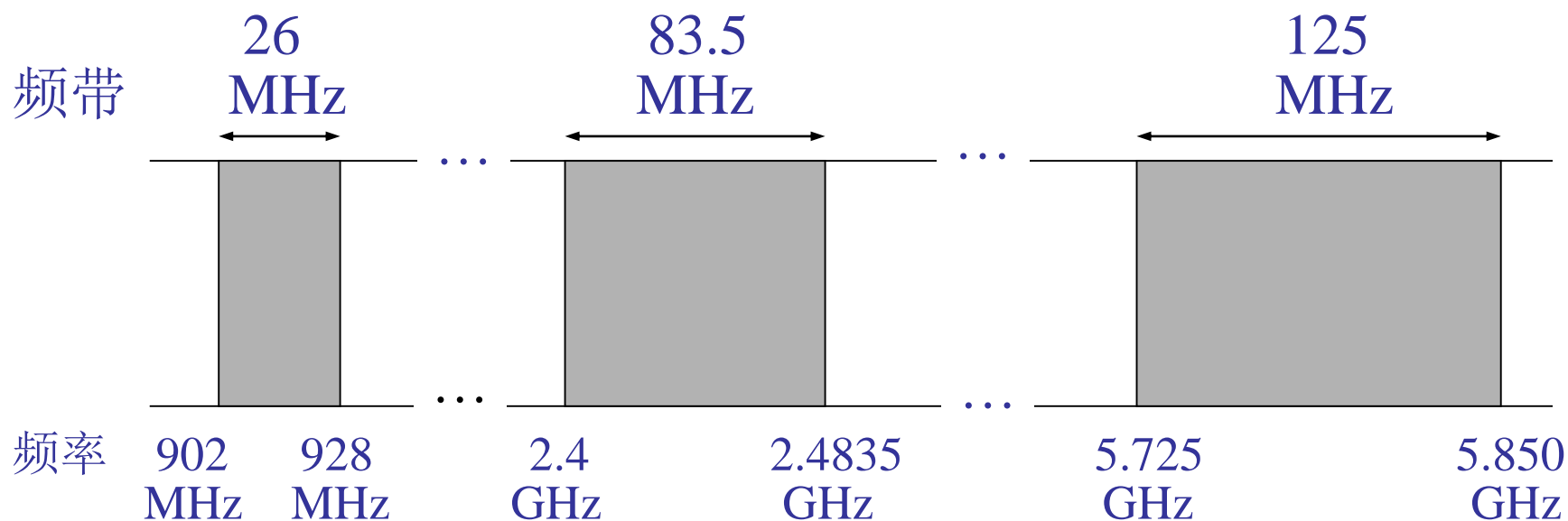
输出脉冲



2.3.2 非导引型传输媒体

- 无线传输所使用的频段很广。
- 短波通信主要是靠电离层的反射，但短波信道的通信质量较差。
- 微波在空间主要是直线传播。
 - 地面微波接力通信
 - 卫星通信

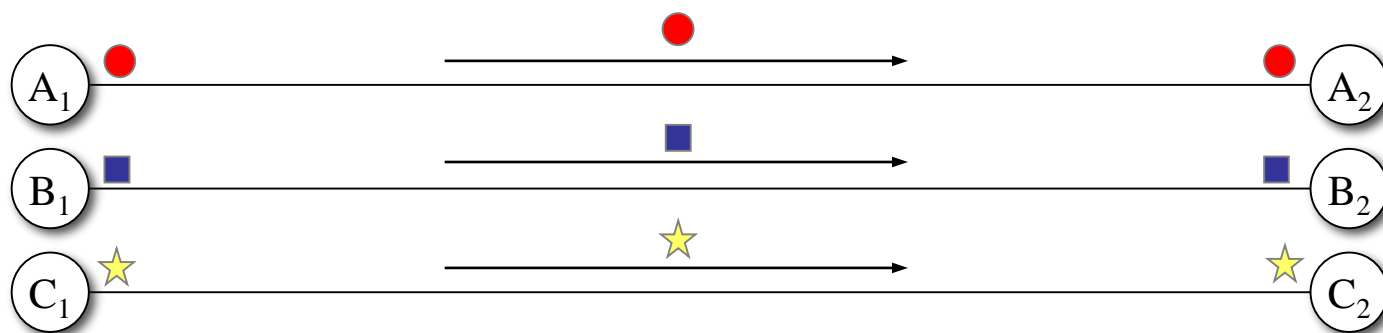
无线局域网使用的 ISM 频段



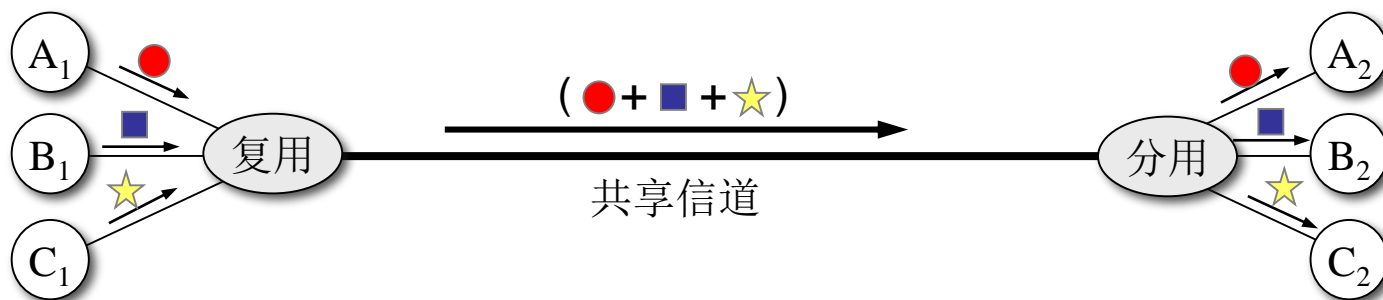
2.4 信道复用技术

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) 使用单独的信道

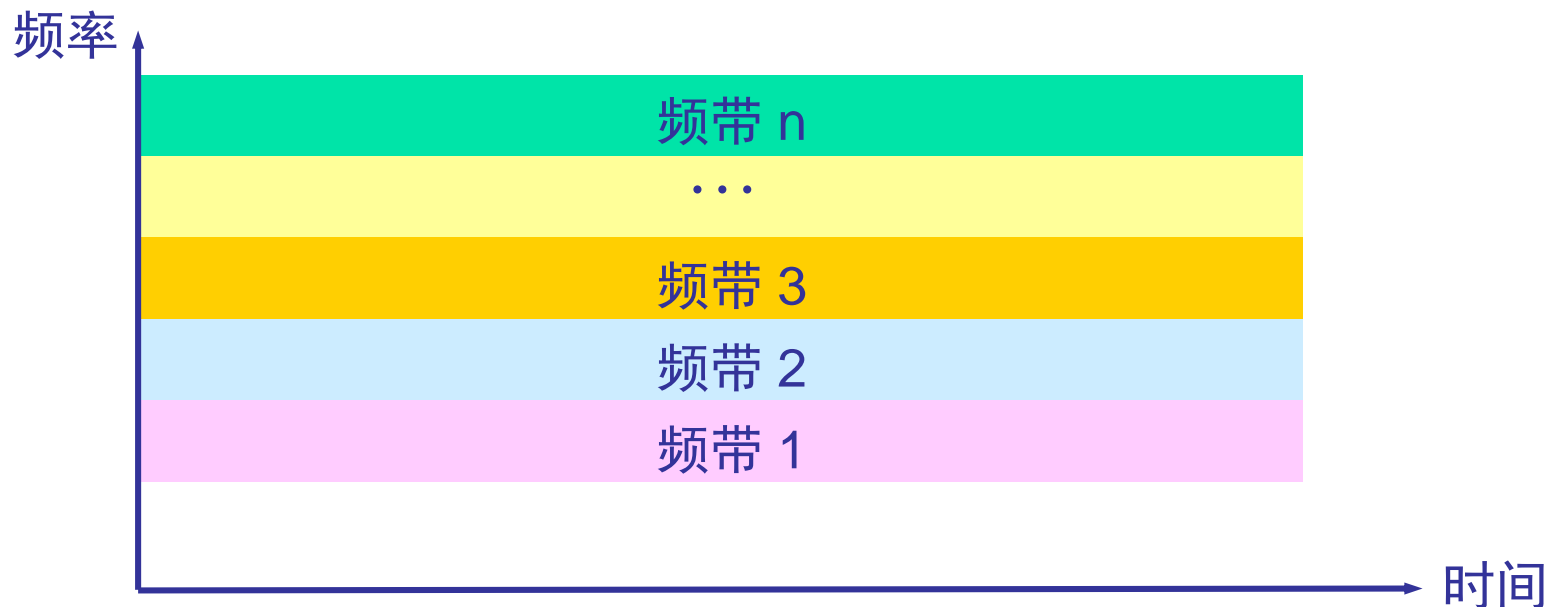


(b) 使用共享信道

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）。

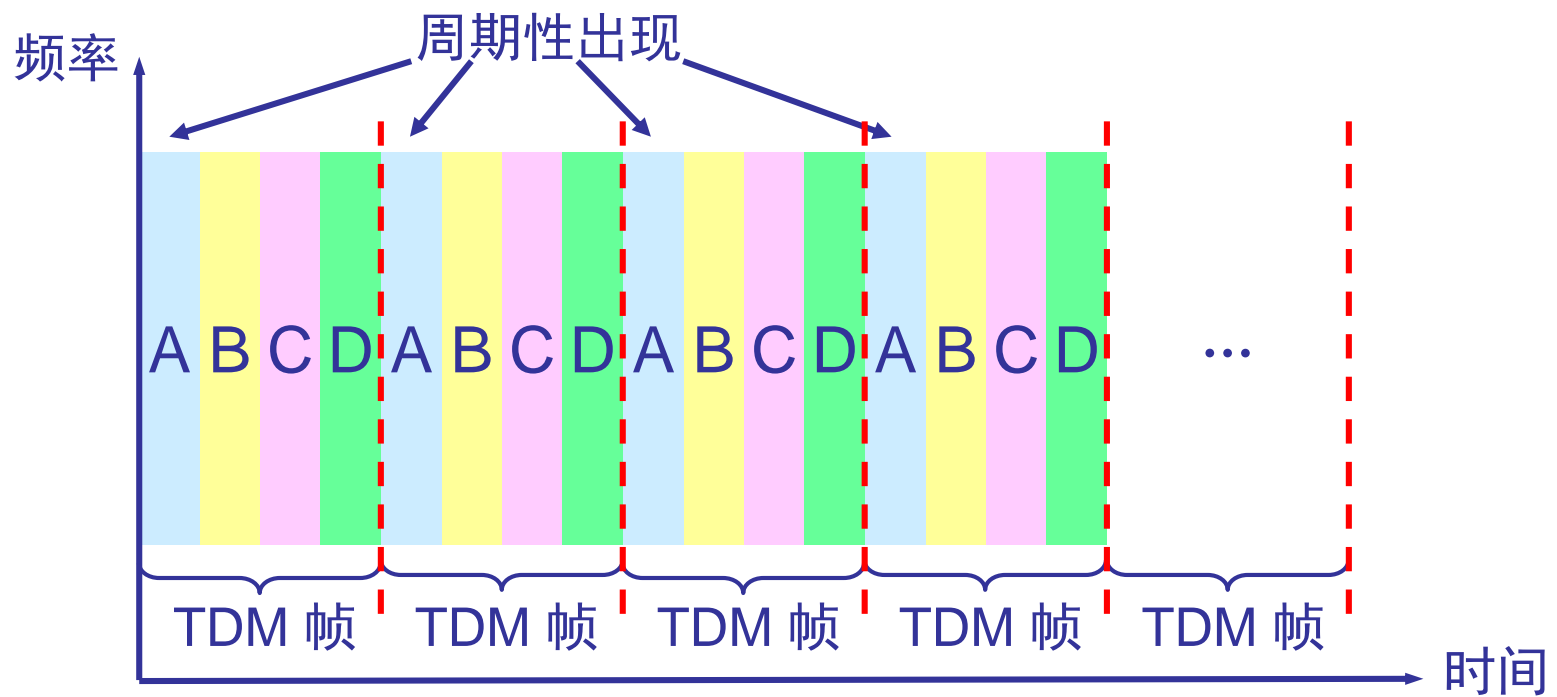


时分复用TDM

(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。

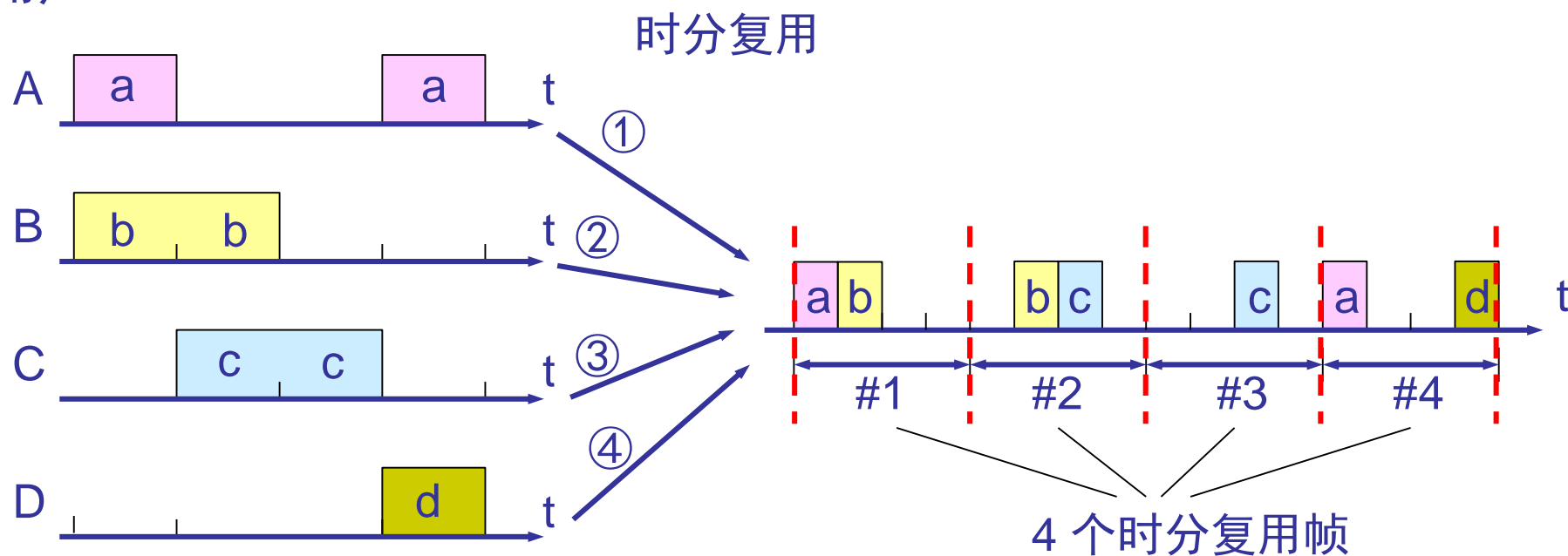
时分复用



时分复用可能会造成 线路资源的浪费

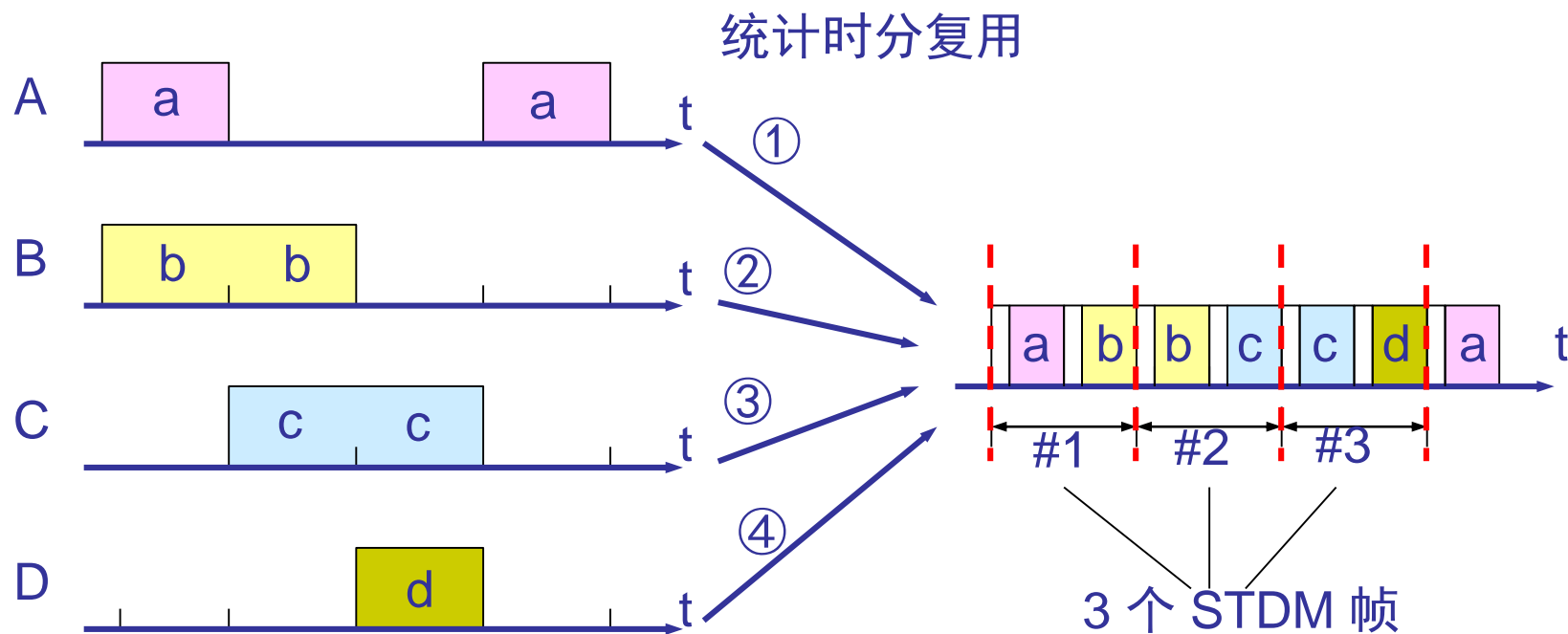
使用时分复用系统传送计算机数据时，
由于计算机数据的突发性质，用户对
分配到的子信道的利用率一般是不高的。

用户



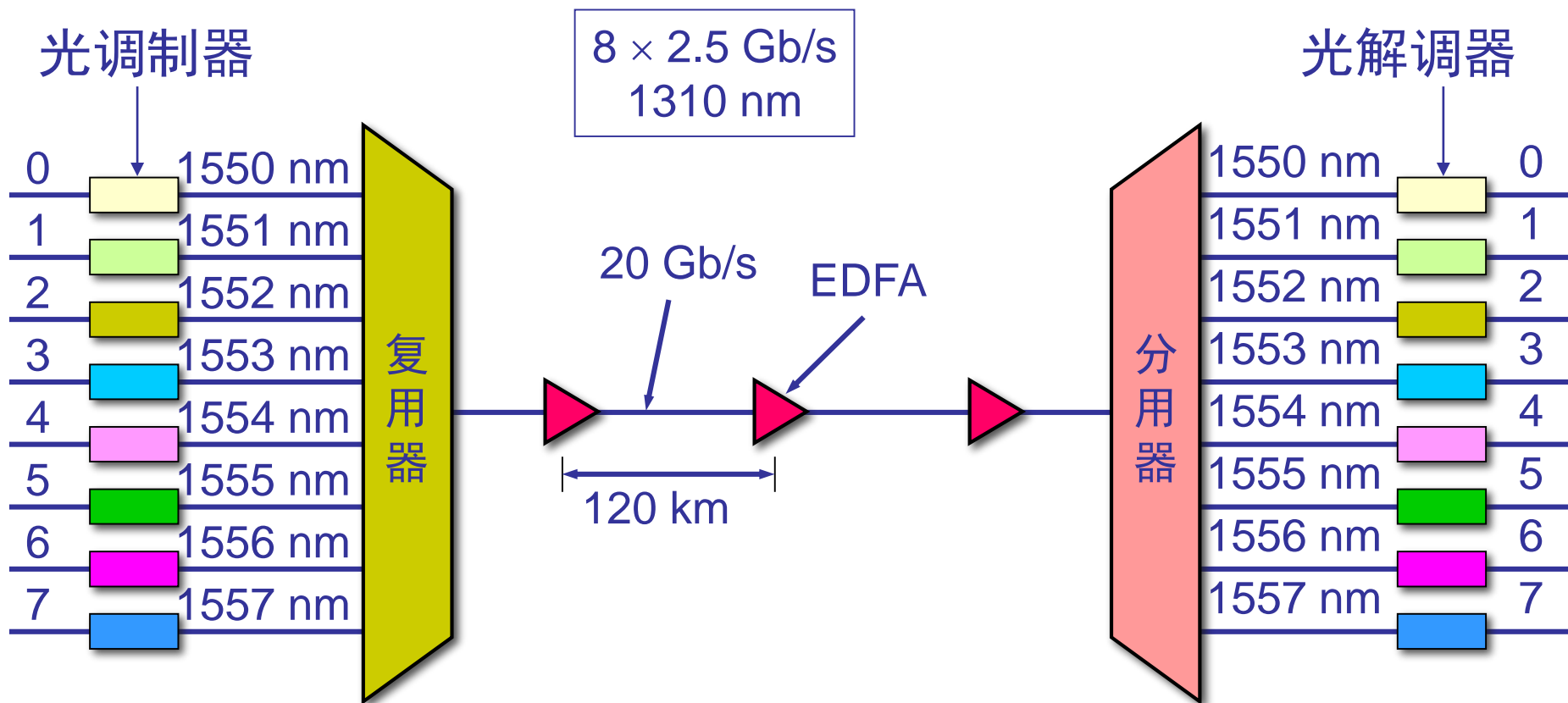
统计时分复用 STDM (Statistic TDM)

用户



2.4.2 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- 波分复用就是光的频分复用。



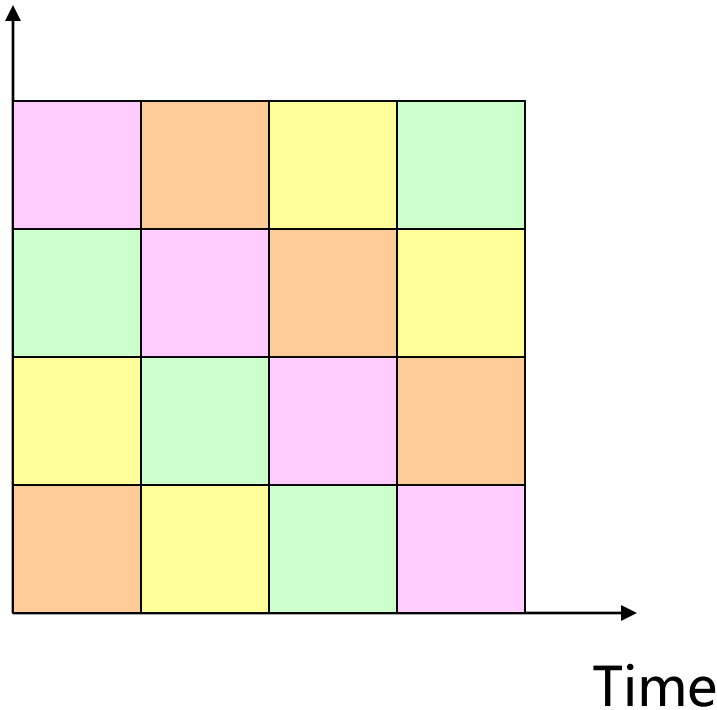
2.4.3 码分复用 CDM

(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)。

Frequency Hopping CDMA

Frequency



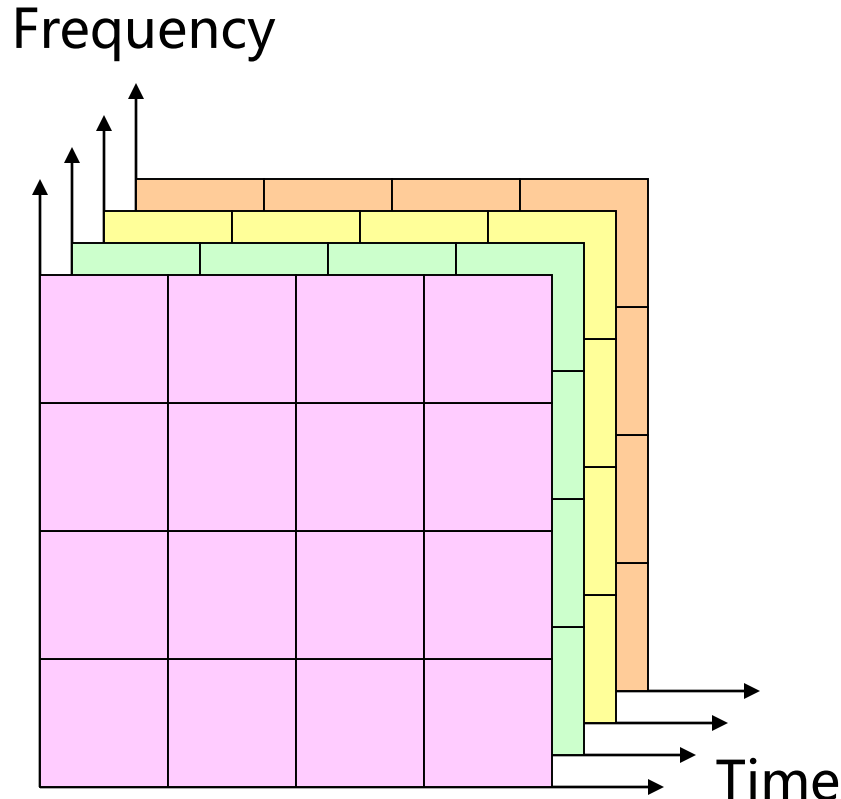
At each successive time slot, **the frequency band assignments are reordered.**

Each user employs a **code** that dictates the frequency hopping pattern.

Synchronization

- The previous figure implies that each signal **synchronizes** with each of the other signals.
- In practice, this is *not the case*.
- Frequency hops may collide, but it does not occur frequently.
 - How often collisions occur depends on the choice of *codes*.

Direct Sequence CDMA



All users occupy **the whole bandwidth all the time.**

Signals of different users **overlap** with one other.

How can it be done?

CDMA Encoding

- Each user is assigned a unique **signature sequence** (or code), denoted by (c_1, c_2, \dots, c_M) . Its component is called a **chip**.
- Each bit, d_i is encoded by **multiplying** the bit **by** the signature sequence:

$$Z_{i,m} = d_i c_m$$

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: $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$

Encoding Example

- Data bit

$$d_1 = -1$$

- Signature sequence

$$(c_1, c_2, \dots, c_8) = (+1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, -1)$$

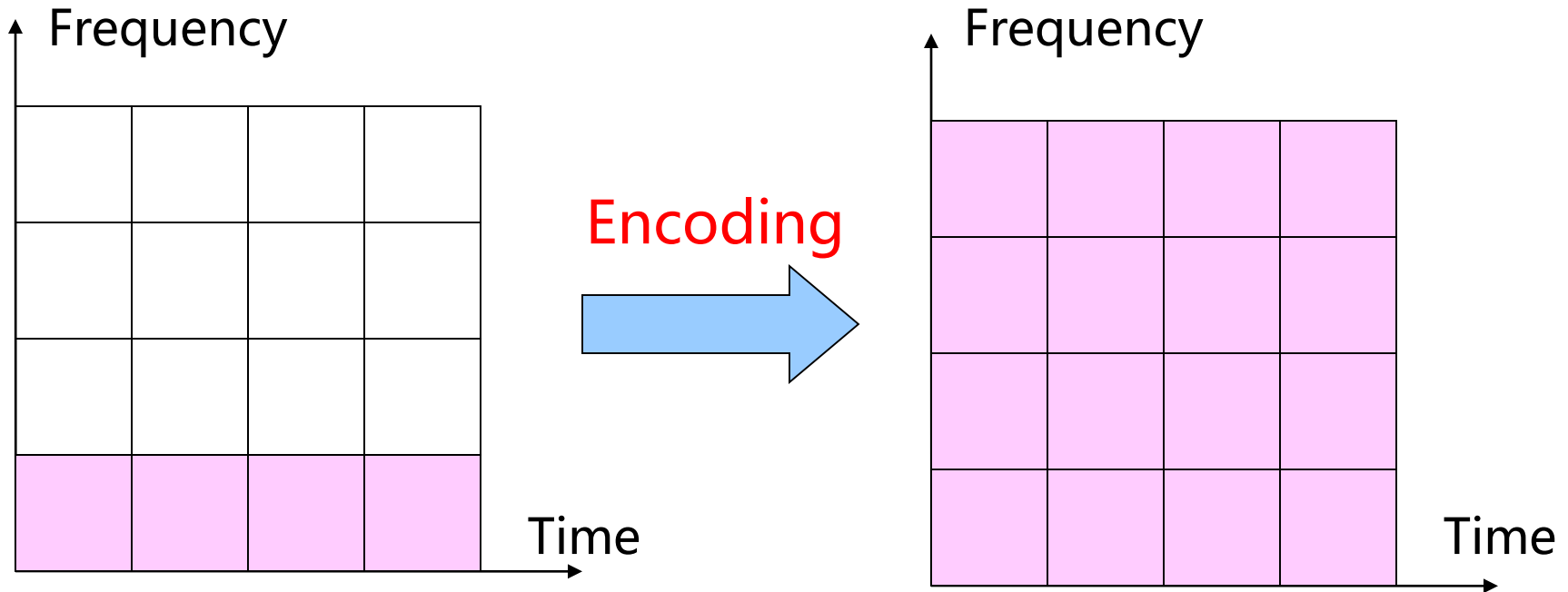
- Encoder Output

$$(Z_{1,1}, Z_{1,2}, \dots, Z_{1,8}) = (-1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, +1)$$

Bandwidth

- Note that the chip rate is much higher than the data rate.
- Consider our previous example.
 - Suppose the original data signal occupies a bandwidth of W .
 - *What is the bandwidth of the encoded signal?*

Spread Spectrum Technique



The bandwidth **expands by a factor of M** .

M is called **spreading factor** or **processing gain**.

CDMA Decoding

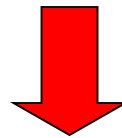
- Without interfering users, the receiver would receive the encoded bits, $Z_{i,m}$, and recover the original data bit, d_i by computing:

$$d_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M Z_{i,m} c_m$$

CDMA Decoding Example

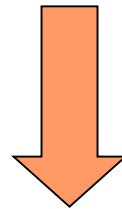
$$(c_1, c_2, \dots, c_8) = (+1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, -1)$$

$$(Z_{1,1}, Z_{1,2}, \dots, Z_{1,8}) = (-1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, +1)$$



multiply

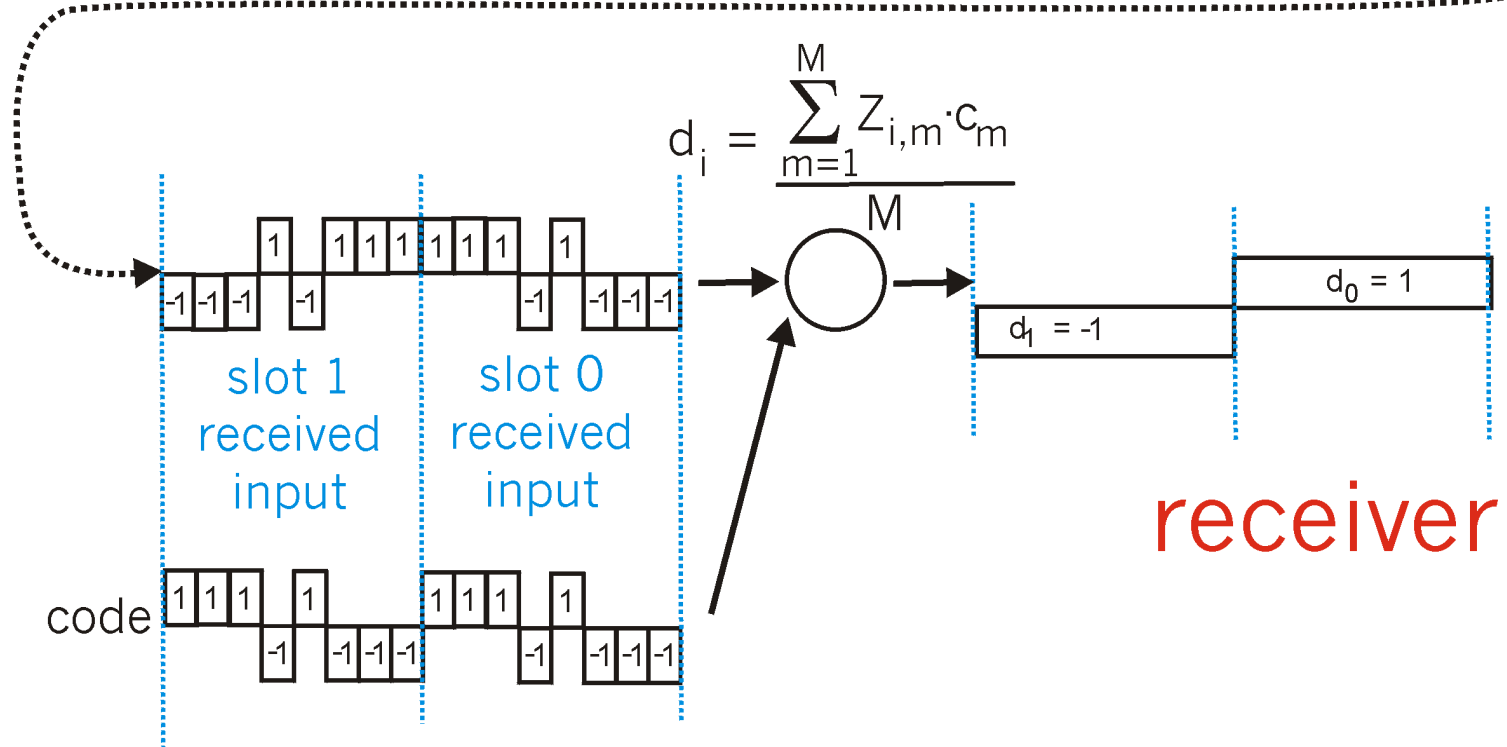
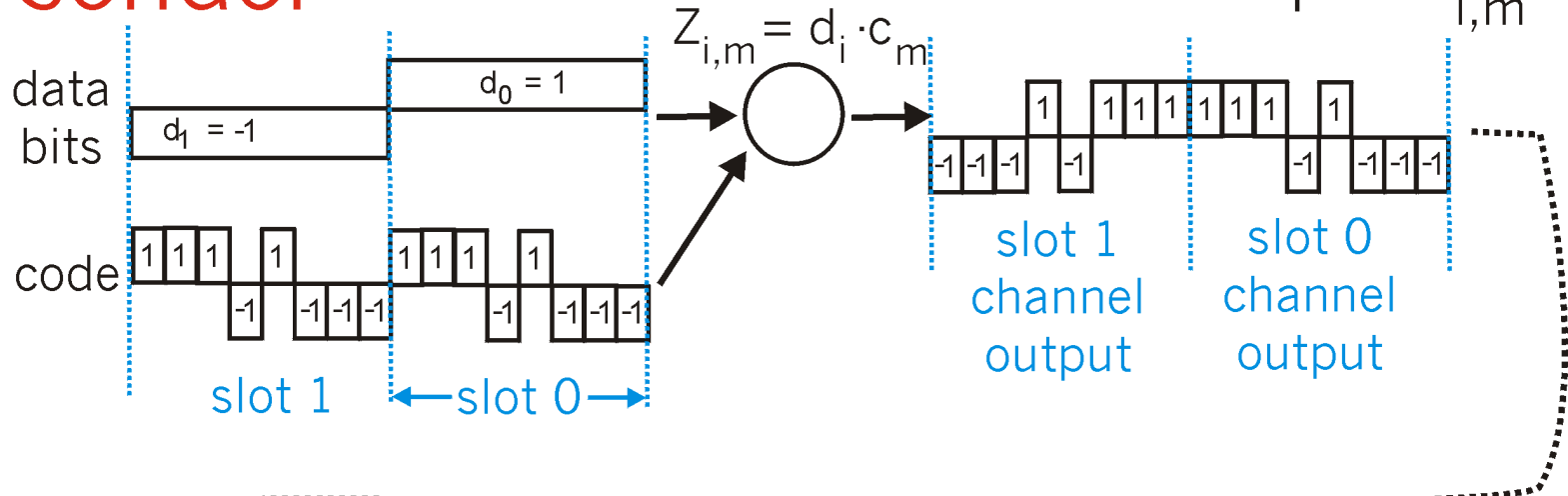
$$(-1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1)$$



add and
divide by M

$$d_i = -1$$

sender



Multuser Scenario

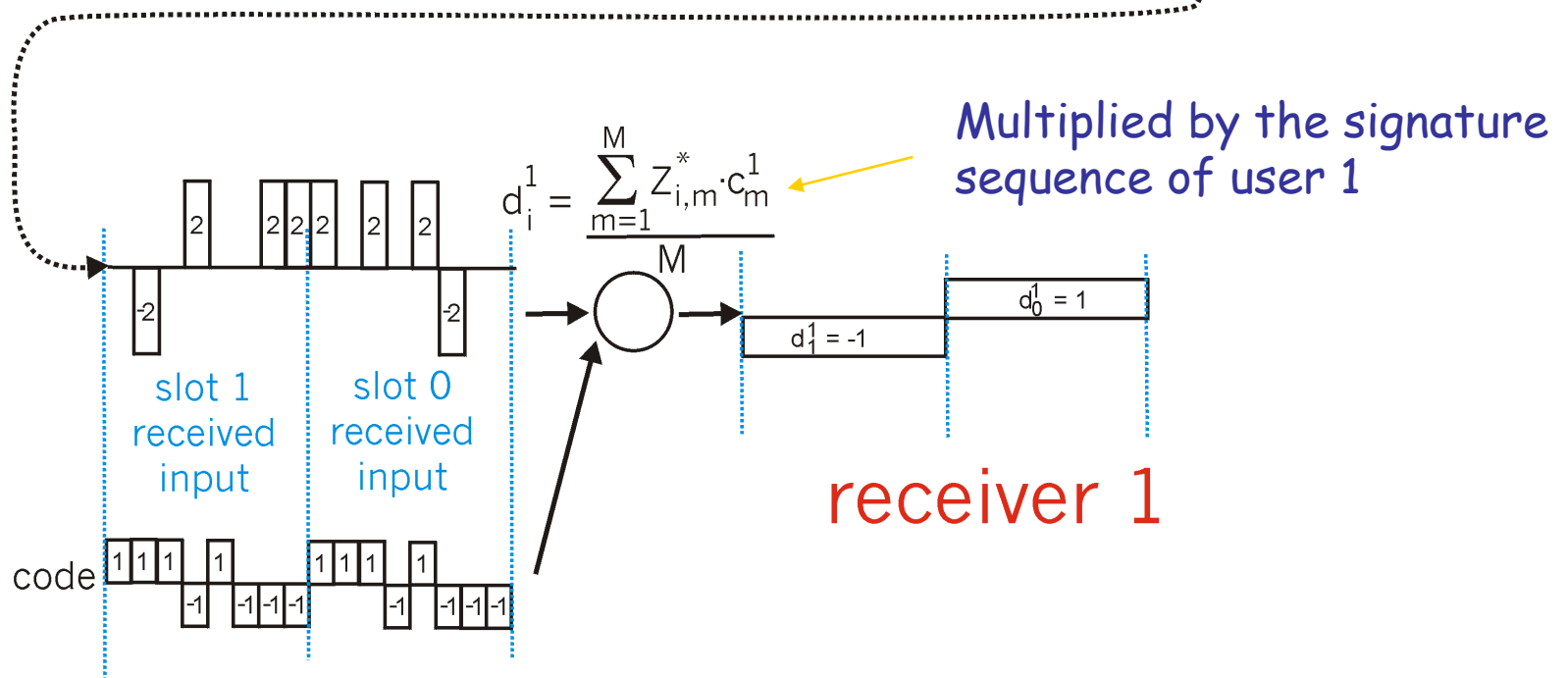
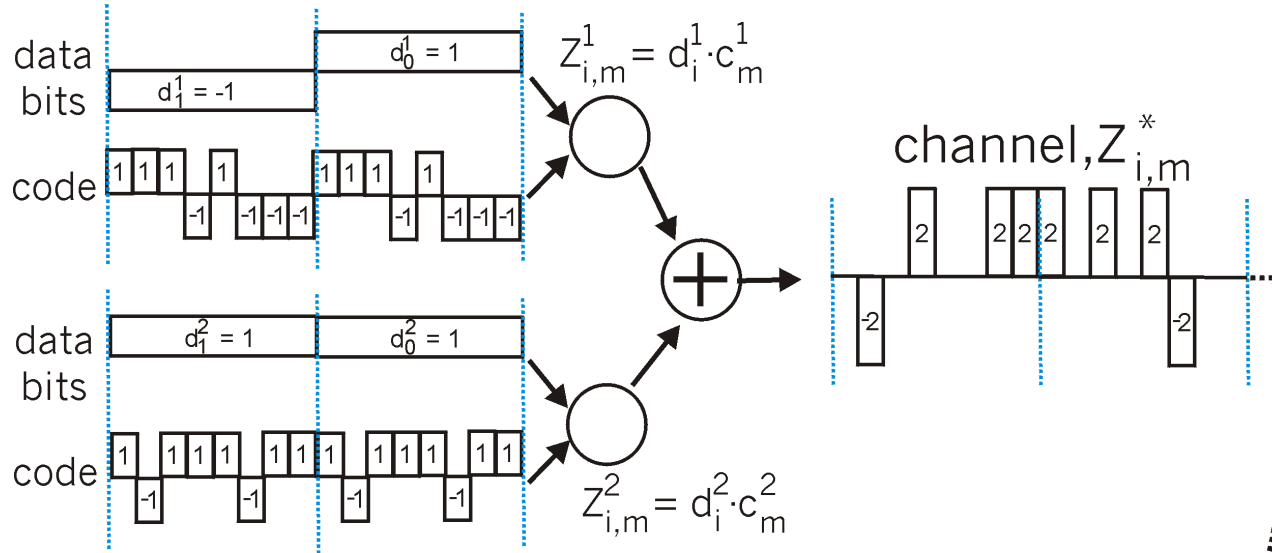
- If there are N users, the signal at the receiver becomes:

$$Z_{i,m}^* = \sum_{n=1}^N Z_{i,m}^n$$

- *How can a CDMA receiver recover a user's original data bit?*

senders

2-user example



Signature Sequences

- In order for the receiver to be able to extract out a particular sender's signal, the CDMA codes must be of low correlation.
- Correlation of two codes, $(c_{j,1}, \dots, c_{j,M})$ and $(c_{k,1}, \dots, c_{k,M})$, are defined by inner product:

$$\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M c_{j,m} c_{k,m}$$

码片序列的正交关系

- 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：

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (2-3)$$

The Meaning of Correlation

- What is correlation?
 - It determines **how much similarity** one sequence has with another.
 - It is defined with **a range between -1 and 1** .

Correlation Value	Interpretation
1	The two sequences match each other exactly.
0	No relation between the two sequences
-1	The two sequences are mirror images of each other.

Other values indicate a partial degree of correlation.

Generation of Signature Sequences

- How to generate signature sequences of low correlation?
- There are two classes of signature sequences that are widely used in CDMA systems.
 - Orthogonal Codes
 - Pseudo Noise Sequences (PN Sequences)

Orthogonal Codes

- Two codes are said to be **orthogonal** if their **correlation is zero**.
 - no interference between the two users.
- In our previous two-user example, the codes are orthogonal.
- How to generate orthogonal codes?

Walsh Codes

- The most common orthogonal codes used in CDMA systems.
- A set of Walsh codes of length n is defined by the rows of an $n \times n$ Hadamard matrix.
- Hadamard matrix can be constructed by an iterative method.

Iterative Construction

$$H_1 = (0) \quad H_{2n} = \begin{pmatrix} H_{n-1} & H_{n-1} \\ H_{n-1} & H_{n-1} \end{pmatrix}$$

■ Example:

$$H_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad H_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Signature Sequences

- The signature sequences can be found by
 - Taking the rows out
 - Replacing 0 by -1

$$H_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



$$s_1 = (-1, -1)$$

$$s_2 = (-1, +1)$$

Are they orthogonal?

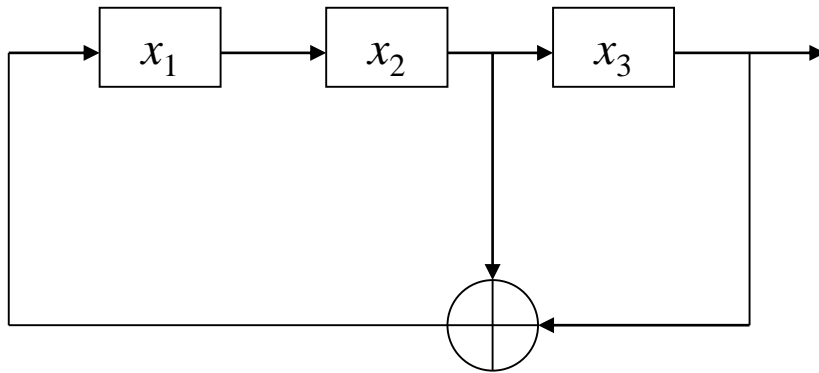
IS-95 Forward Link

- Walsh Codes of length 64 is used for **spreading in the forward link** (base-to-mobile) of IS-95.
- It is **NOT** suitable for the reverse link (mobile-to-base). (*Why?*)
 - PN sequences (伪随机码序列) are used instead.

PN Sequences

- What is Pseudo-Noise Sequences?
 - They are deterministic.
 - But they look like random noise.
- How to generate PN sequences?
 - One common way is to use linear feedback shift register.

Shift Register Implementation: An Example



Initial state: 1 0 0

Output: 0 0 1 0 1 1 1 ...

(Periodic with period 7)

The output sequence must be periodic (why?)

The period cannot be greater than 7. (why?)

x_1	x_2	x_3	Output
1	0	0	---
0	1	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0
0	1	1	1
0	0	1	1
1	0	0	1

2.5 数字传输系统

- 脉码调制 PCM 体制最初是为了在电话局之间的中继线上传送多路的电话。
- 由于历史上的原因，PCM 有两个互不兼容的国际标准，即北美的 24 路 PCM（简称为 T1）和欧洲的 30 路 PCM（简称为 E1）。我国采用的是欧洲的 E1 标准。
- E1 的速率是 2.048 Mb/s，而 T1 的速率是 1.544 Mb/s。
- 当需要有更高的数据率时，可采用复用的方法。

旧的数字传输系统存在着许多缺点

最主要的是以下两个方面：

- 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。

同步数字系列 SDH

- 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)。
- 一般可认为 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

2.6 宽带接入技术

2.6.1 ADSL技术

- ADSL 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。
- 标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 Hz 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。
- ADSL 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。

DSL 的几种类型

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): 非对称数字用户线
- HDSL (High speed DSL): 高速数字用户线
- SDSL (Single-line DSL): 1 对线的数字用户线
- VDSL (Very high speed DSL): 甚高速数字用户线
- DSL : ISDN 用户线。
- RADSL (Rate-Adaptive DSL): 速率自适应 DSL, 是 ADSL 的一个子集, 可自动调节线路速率) 。

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

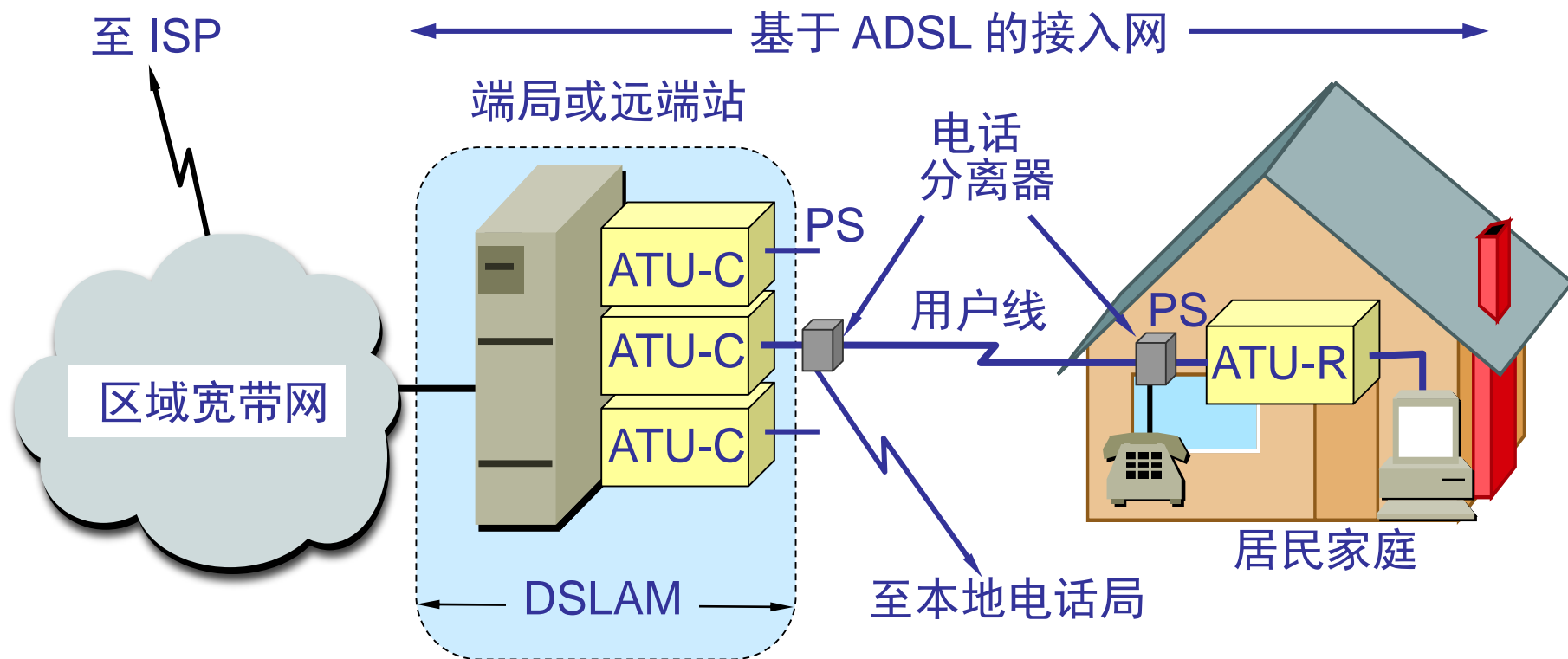
ADSL 的特点

- 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。这里的“多音调”就是“多载波”或“多子信道”的意思。

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。

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)

第二代 ADSL

ADSL2 (G.992.3 和 G.992.4) , ADSL2+ (G.992.5)

- 通过提高调制效率得到了**更高的数据率**。例如, ADSL2 要求至少应支持下行 8 Mb/s、上行 800 kb/s 的速率。而 ADSL2+ 则将频谱范围从 1.1 MHz 扩展至 2.2 MHz, 下行速率可达 16 Mb/s (最大传输速率可达 25 Mb/s), 而上行速率可达 800 kb/s。
- 采用了**无缝速率自适应技术** SRA (Seamless Rate Adaptation), 可在运营中不中断通信和不产生误码的情况下, 自适应地调整数据率。
- 改善了线路质量评测和故障定位功能, 这对提高网络的运行维护水平具有非常重要的意义。

2.6.2 光纤同轴混合网

HFC (Hybrid Fiber Coax)

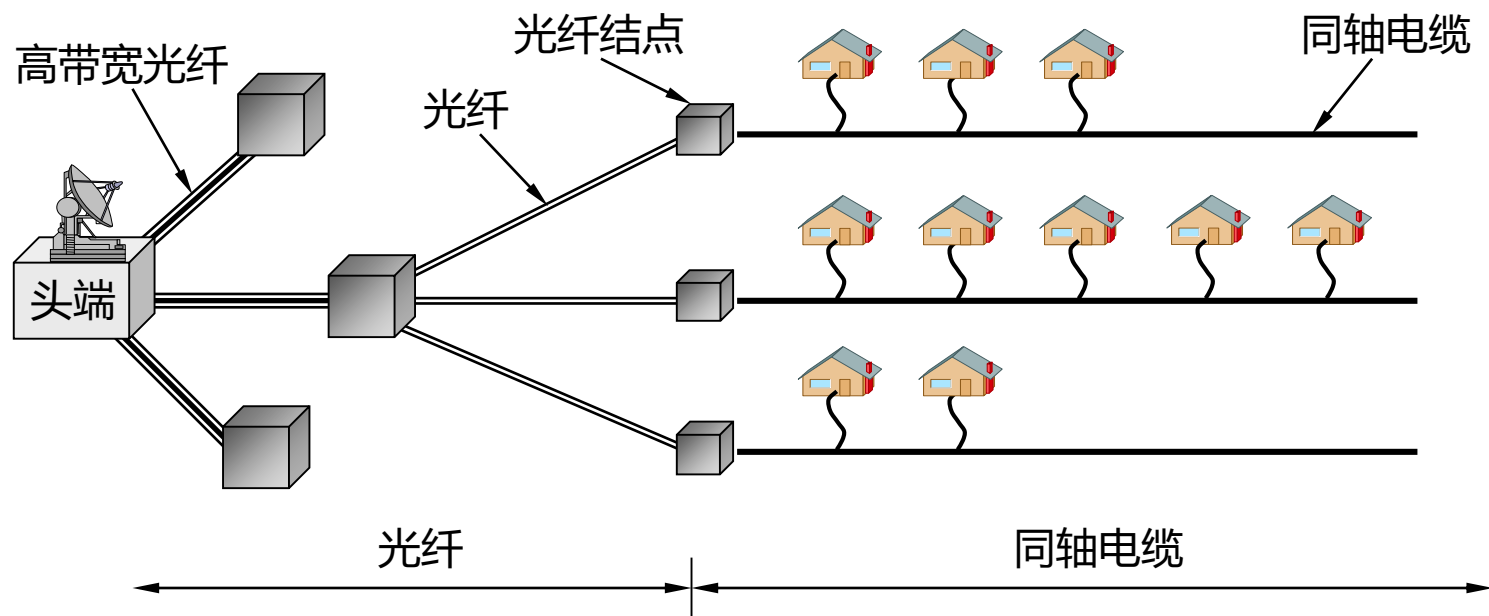
- HFC 网是在目前覆盖面很广的有线电视网 CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网。
- HFC 网除可传送 CATV 外，还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- 现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络，它采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输。而 HFC 网则需要对 CATV 网进行改造，

HFC 的主要特点

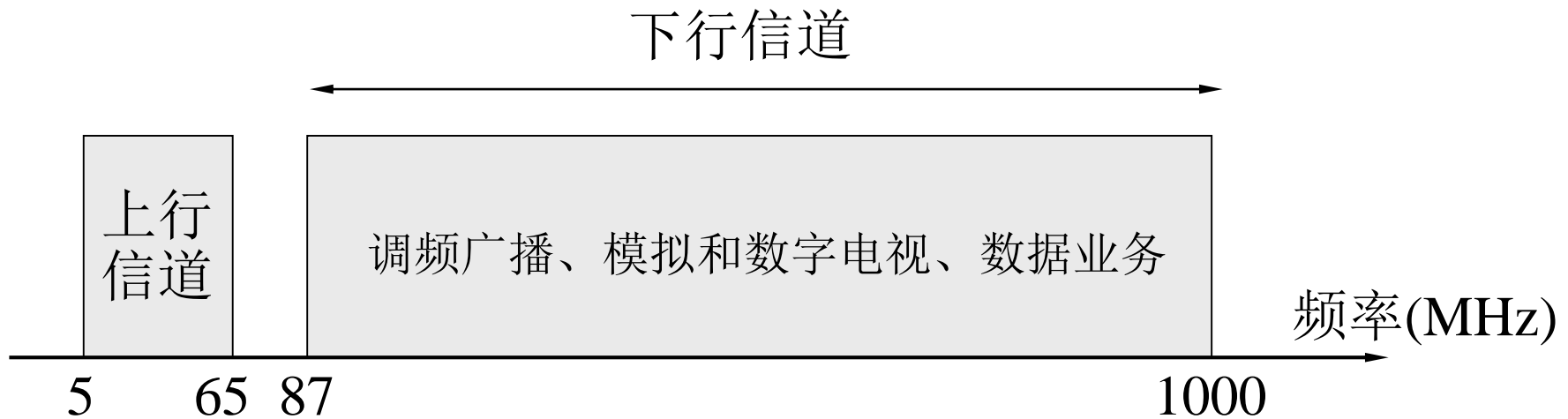
(1) HFC网的主干线路采用光纤

- HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆主干部分改换为光纤，并使用模拟光纤技术。
- 在模拟光纤中采用光的振幅调制 AM，这比使用数字光纤更为经济。
- 模拟光纤从头端连接到光纤结点(fiber node)，即光分配结点 ODN (Optical Distribution Node)。在光纤结点光信号被转换为电信号。在光纤结点以下就是同轴电缆。

(2) HFC 网采用结点体系结构



(3) HFC 网具有比 CATV 网更宽的频谱，且具有双向传输功能



(4) 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)

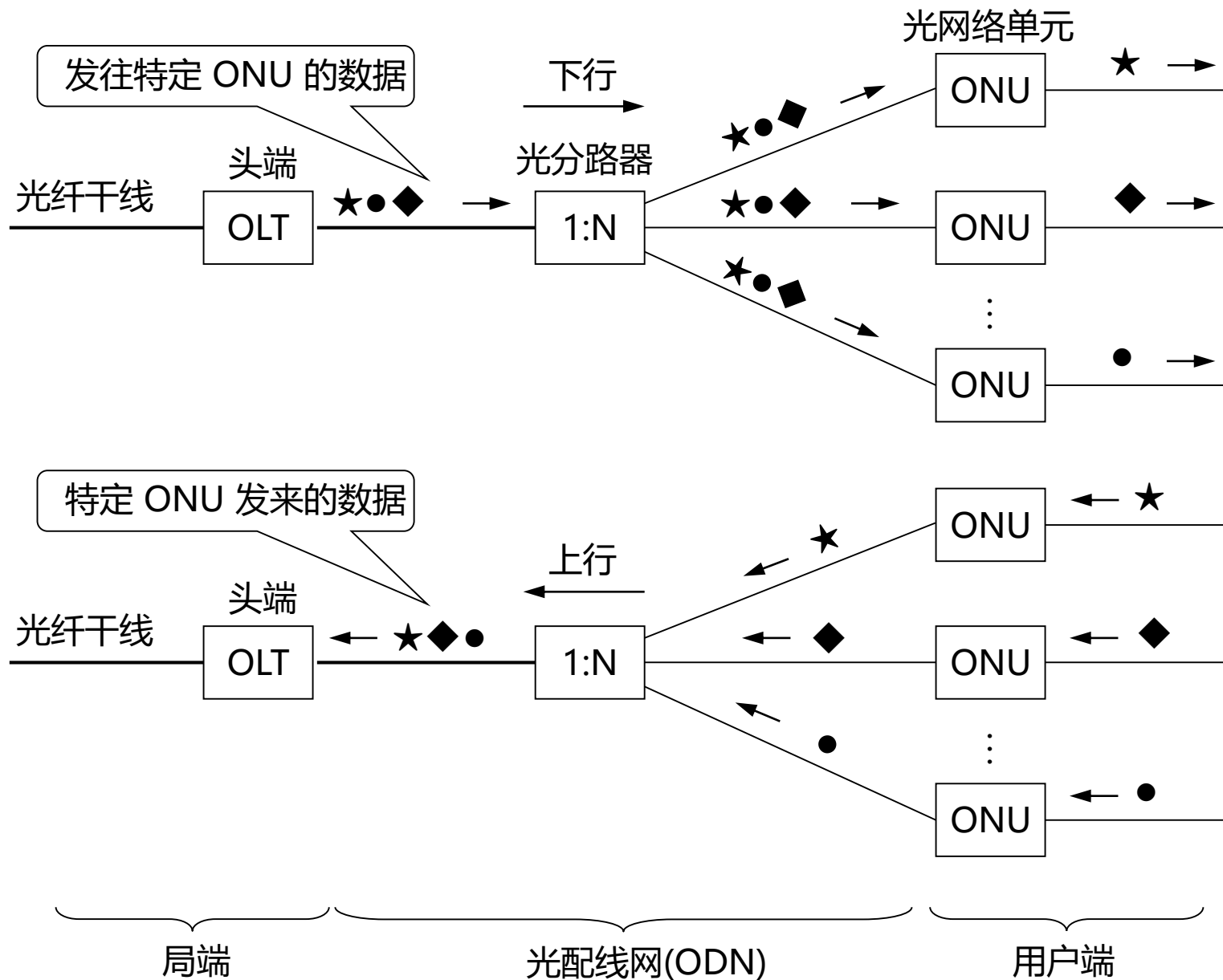
- **电缆调制解调器**是为 HFC 网而使用的调制解调器。
- 电缆调制解调器最大的特点就是传输速率高。其下行速率一般在 3~10 Mb/s 之间, 最高可达 30 Mb/s, 而上行速率一般为 0.2~2 Mb/s, 最高可达 10 Mb/s。
- 电缆调制解调器比在普通电话线上使用的调制解调器要复杂得多, 并且不是成对使用, 而是只安装在用户端。

2.6.3 FTT_x 技术

FTT_x (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。例如：

- **光纤到户** 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。

无源光配线网的组成



物理层设备

中继器/转发器(RP, Repeater)

- 工作在物理层上的连接设备。
- 适用于完全相同的两类网络的互连，主要功能是通过重新发送数据信号来扩大网络传输的距离。
- 中继器是对信号进行再生和还原的网络设备，用于扩展局域网网段的长度（仅用于连接相同的局域网网段）



物理层设备



集线器

- 主要功能是对接收到的信号进行再生整形放大，以扩大网络的传输距离，同时把所有节点集中在以它为中心的节点上。
- 它工作于OSI(开放系统互联参考模型)参考模型第一层，即“物理层”。
- 集线器每个接口简单的收发比特，收到1就转发1，收到0就转发0，不进行碰撞检测。

本章小结

- 通信基础
 - 信道、信号、宽带、码元、波特、速率等基本概念
 - 奈奎斯特定理与香农定理
- 传输介质
 - 双绞线、同轴电缆、光纤与无线传输介质
 - 物理层接口的特性
 - 信道复用技术
 - 频分多路复用、时分多路复用、波分多路复用、码分多路复用的概念和基本原理。
- 物理层设备
 - 中继器
 - 集线器

END!