

第 2 章 物理层



南京信息工程大学 黄群 副教授

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
- 2.3 物理层下面的传输媒体
- 2.4 信道复用技术
- 2.5 数字传输系统
- 2.6 宽带接入技术

2.1 物理层的基本概念



- 物理层考虑的是怎样才能在连接各种计算机的传输媒体上**传输数据比特流**，而不是指具体的**传输媒体**。
- 物理层的作用是要尽可能地**屏蔽**掉不同传输媒体和通信手段的差异。
- 用于物理层的协议也常称为物理层**规程** (procedure)。

物理层的主要任务



主要任务：确定与传输媒体的接口的一些特性。

- **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。
- **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的意义。
- **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

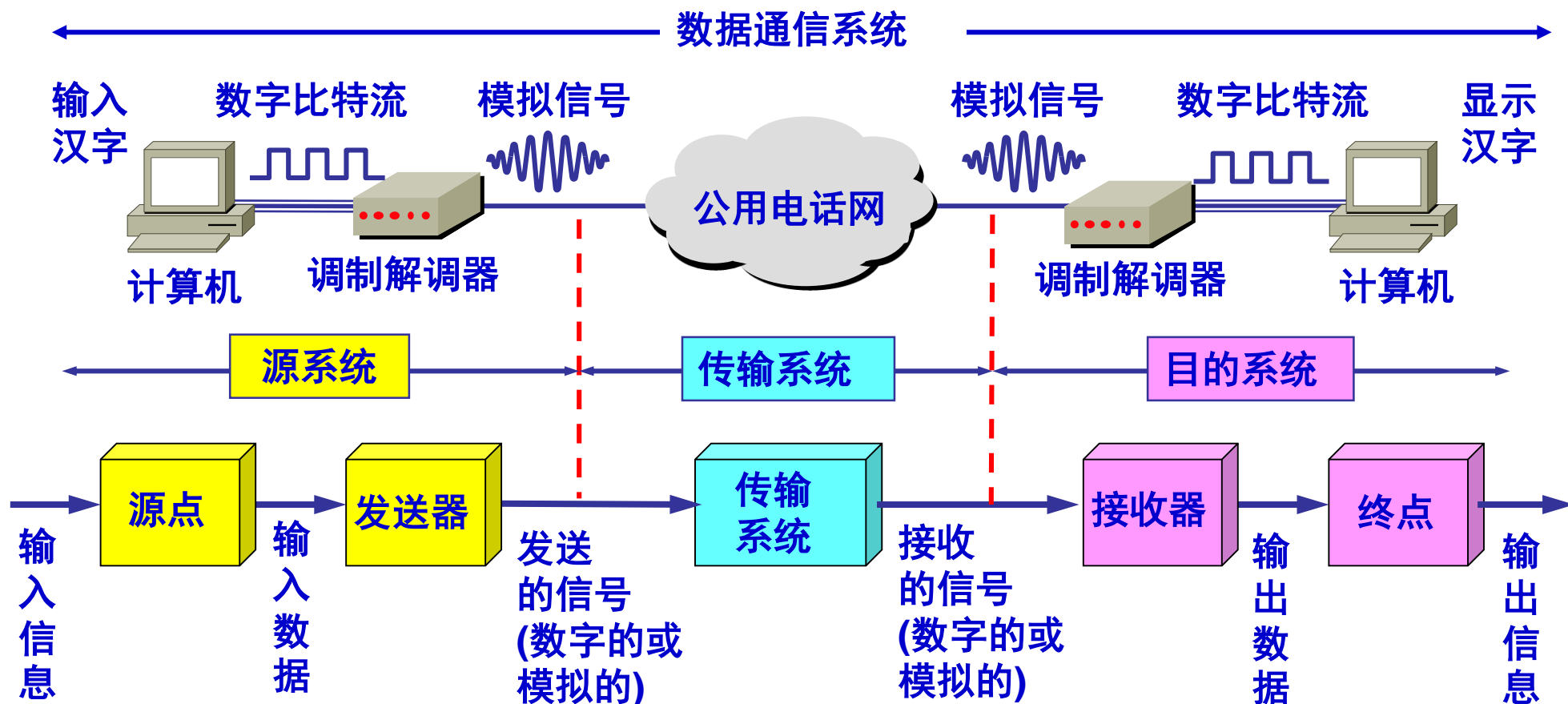


- 2.2.1 数据通信系统的模型
- 2.2.2 有关信道的几个基本概念
- 2.2.3 信道的极限容量

2.2.1 数据通信系统的模型



一个数据通信系统包括**三大部分**：源系统（或发送端、发送方）、传输系统（或传输网络）和目的系统（或接收端、接收方）。

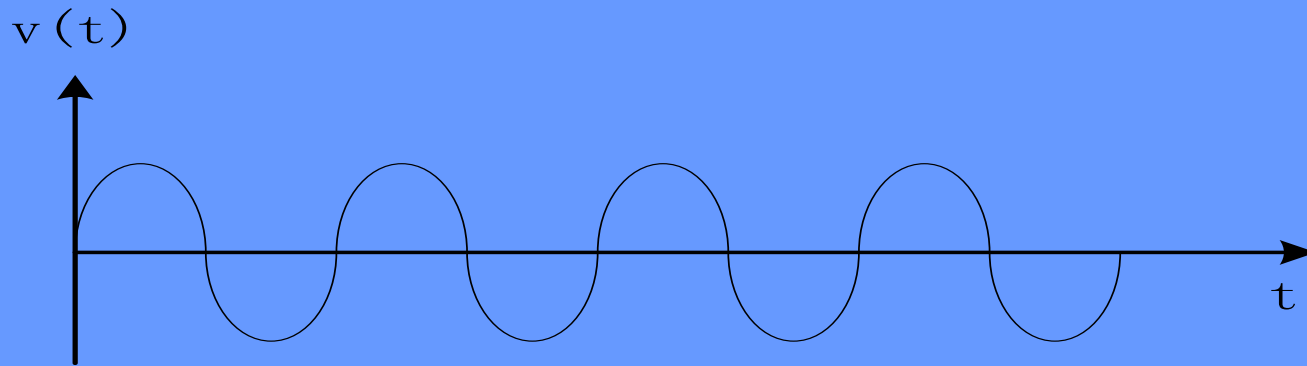


数据通信系统的模型

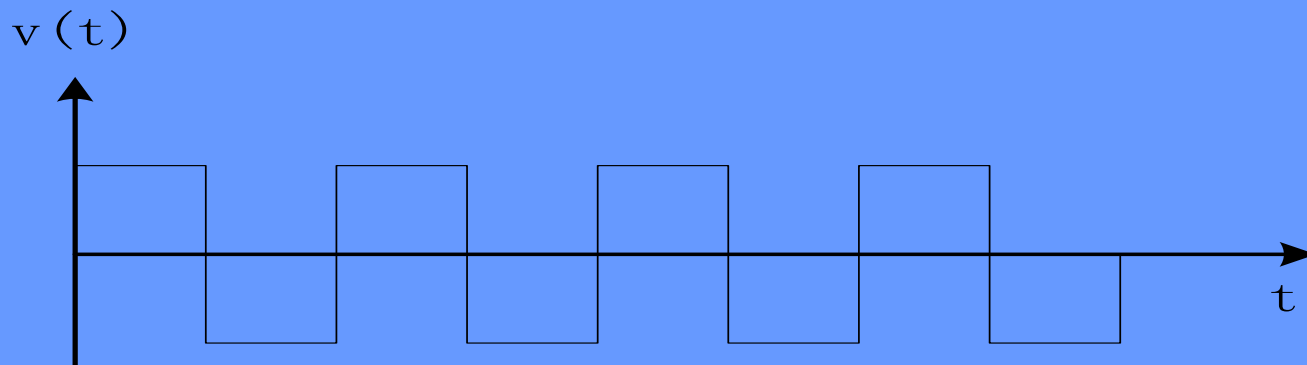
常用术语



- **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。
- **模拟信号 (analogous signal)** —— 代表消息的参数的取值是连续的。
- **数字信号 (digital signal)** —— 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。



(a) 模拟信号



(b) 数字信号

2.2.2 有关信道的几个基本概念



- **信道** —— 一般用来表示向某一个方向传送信息的媒体。
- **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。

2.2.2 有关信道的几个基本概念



- **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)。

2.2.2 有关信道的几个基本概念



调制分为两大类：

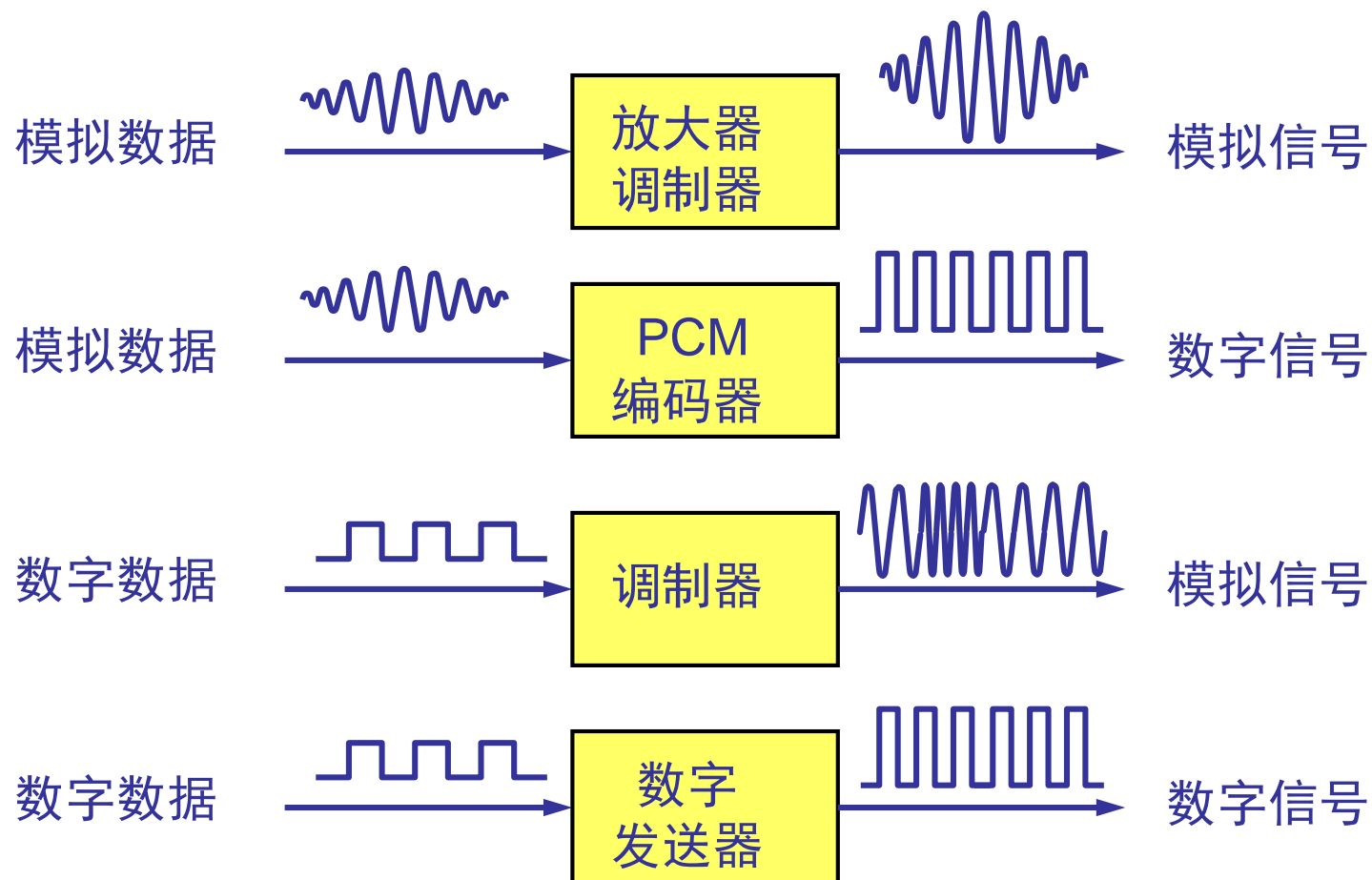
- **基带调制**：仅对基带信号的波形进行变换，使它能够与信道特性相适应。**变换后的信号仍然是基带信号。**把这种过程称为**编码 (coding)**。
- **带通调制**：使用**载波 (carrier)**进行调制，把基带信号的频率范围搬移到较高的频段，并**转换为模拟信号**，这样就能够更好地在模拟信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。
- **带通信号**：经过载波调制后的信号。

编码与调制



- **数字-数字编码**
 - 用数字信号表示数字数据
- **模拟-数字编码**
 - 模拟信号数字化
- **数字-模拟调制**
 - 基于以数字信号表示的数字数据来改变模拟信号特征的过程
- **模拟-模拟调制**
 - 将模拟信号调制到高频载波信号上，以便远距离传输

模拟的和数字的数据、信号

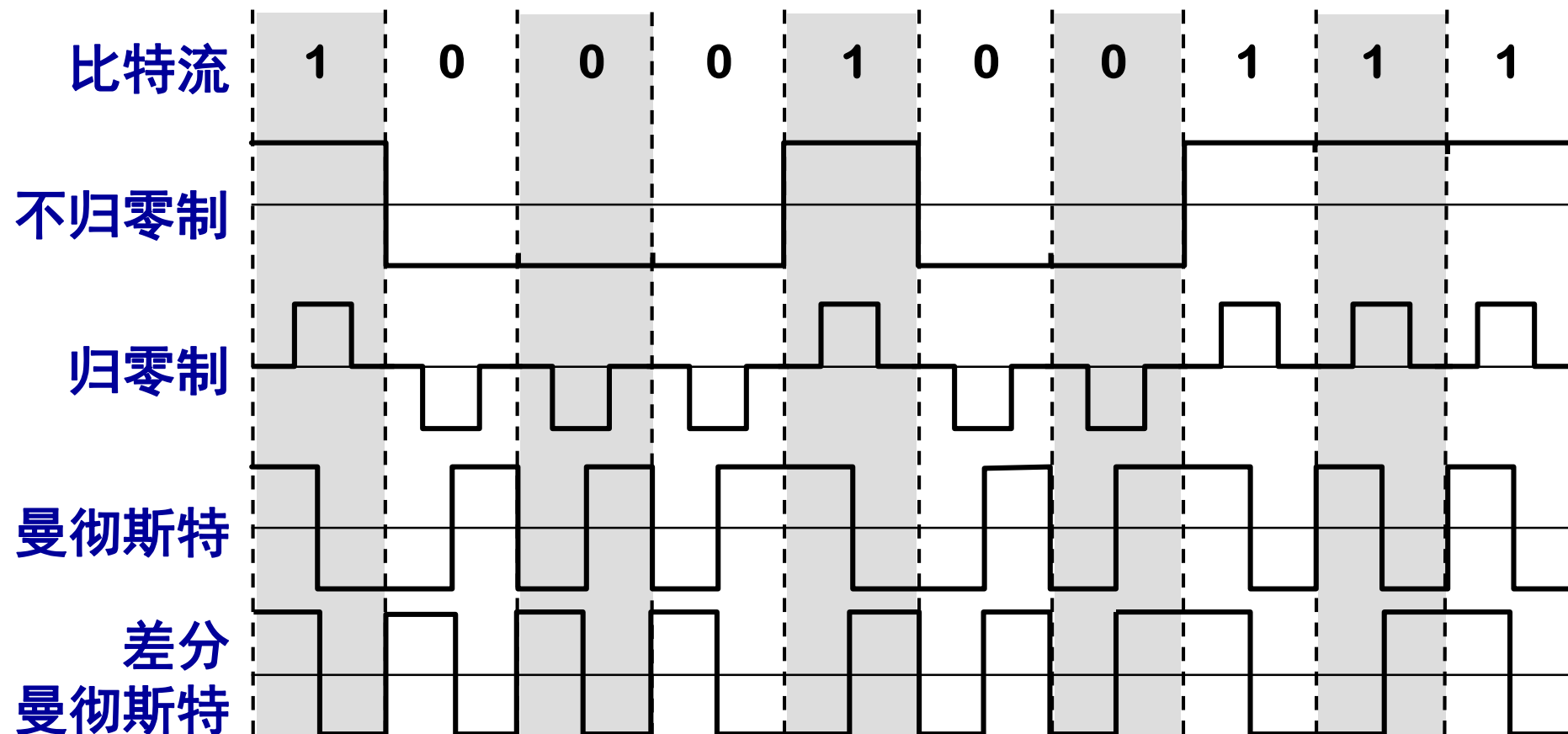


(1) 常用编码方式



- **不归零制**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **归零制**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **曼彻斯特编码**：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- **差分曼彻斯特编码**：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

(1) 常用编码方式



数字信号常用的编码方式

(1) 常用编码方式



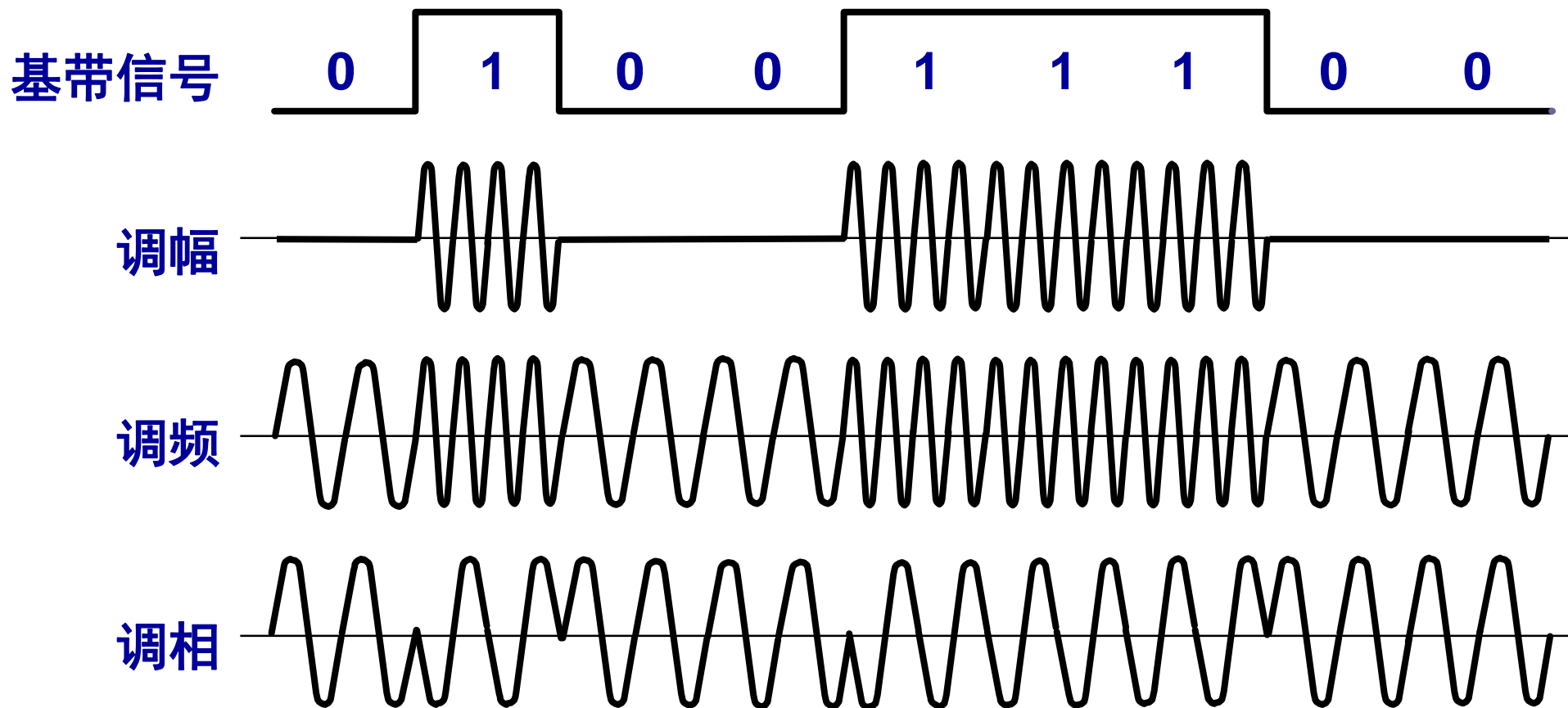
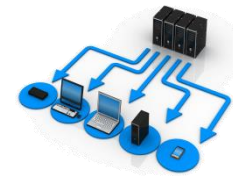
- 从信号波形中可以看出，曼彻斯特 (Manchester) 编码和差分曼彻斯特编码产生的信号频率比不归零制高。
- 从自同步能力来看，不归零制不能从信号波形本身中提取信号时钟频率（这叫做没有自同步能力），而曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码具有自同步能力。

(2) 基本的带通调制方法



- 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。

(2) 基本的带通调制方法



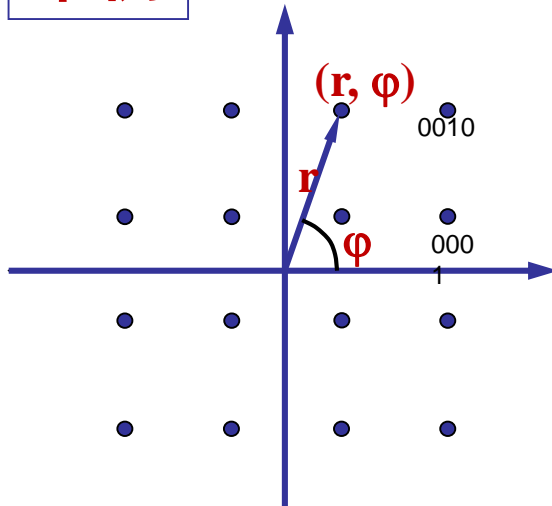
最基本的三种调制方式

正交振幅调制 QAM



(Quadrature Amplitude Modulation)

举例



为了达到更高的信息传输速率，必须采用技术上更为复杂的多元制的振幅相位混合调制方法。

例如：

- 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。总共有 16 种组合，即 16 个码元。
- 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。数据传输率可提高 4 倍。

不是码元越多越好。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，出错率增加。

模拟数据调制为数字信号



- 在模拟数据通信系统中，信源的信息经过转换，形成电信号，比如人说话的声音经过电话转变为模拟的电信号，这也是模拟数据的基带信号。
- 模拟数据的基带信号具有比较低的频率，不宜直接在信道中传输，而数字信号传输失真小、误码率低、数据传输速率高，因此在网络中除计算机直接产生的数字信号外，**语音、图像信息必须数字化处理**，需要对信号进行调制，**将信号移到适合信道传输的频率范围内**，接收端将接收的已调信号再搬回到原来信号的频率范围内，恢复成原来的消息，比如无线电广播。

PCM技术



- **脉冲编码调制PCM**（Pulse Code Modulation）是模拟数据数字化的主要方法。
- **PCM技术的典型应用是语音数字化**。在发送端通过PCM编码器将语音数据变换为数字化的语音信号，通过通信信道传送到接收方，接收方再通过PCM解码器还原成模拟语音信号。
- **语音数据数字化后，其**传输速率高、失真小，可以存储在计算机中，进行必要的处理。因此在网络与通信的发展中**语音数字化**成为重要的部分。

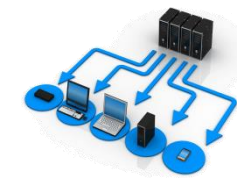
PCM的工作原理



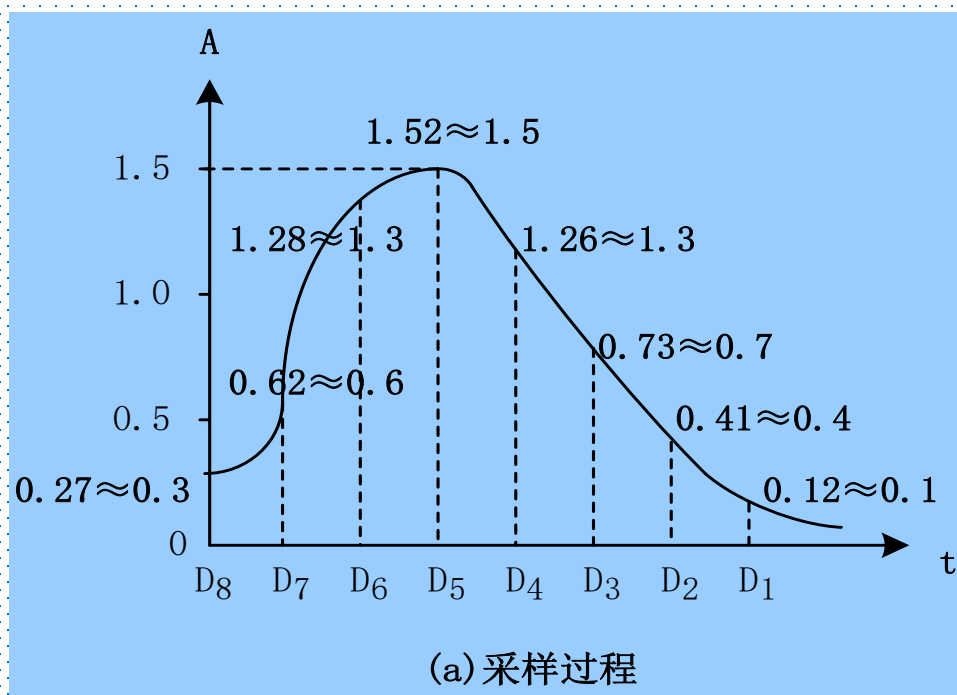
■ 脉冲编码调制包括三部分：**采样、量化和编码**。

- **采样**：每隔一定的时间间隔，采集模拟信号的瞬时电平值做为样本，表示模拟数据在某一区间随时间变化的值。
- **量化**：量化是将取样样本幅度按量化级决定取值的过程。量化级可以分为8级、16级，或者更多的量化级，这取决于系统的精确度要求。
- **编码**：编码是用相应位数的二进制代码表示量化后的采样样本的量级。

PCM(脉冲编码调制)



脉冲编码调制（采样、量化，编码）



样本	量化级	二进制编码	编码信号
D ₁	1	0001	
D ₂	4	0100	
D ₃	7	0111	
D ₄	13	1101	
D ₅	15	1111	
D ₆	13	1101	
D ₇	6	0110	
D ₈	3	0011	

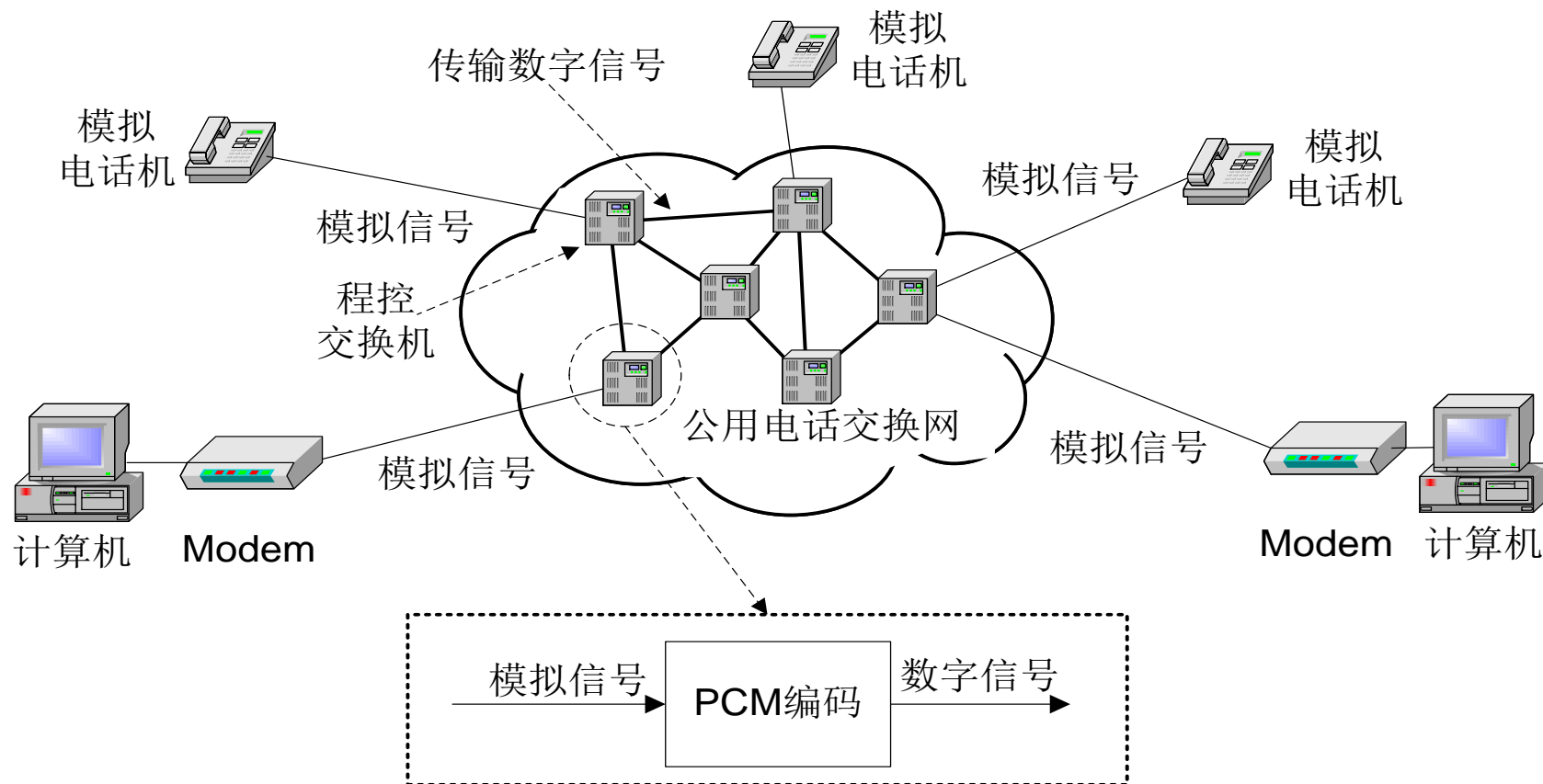
(b) 编码过程

PCM用于数字语音系统



- 声音分为**128**个量化级。 ($128=2^7$)
- 每个量化级采用**7**位二进制编码表示。
- 采样速率为**8000**样本/秒。
- 数据传输速率应达到**7位 \times 8000/秒=56Kbps**。
- 如果每个量化级采用**7+1=8**位二进制编码表示。
- 数据传输速率应达到**8位 \times 8000 /秒= 64Kbps**。

PCM编码的典型应用



2.2.3 信道的极限容量

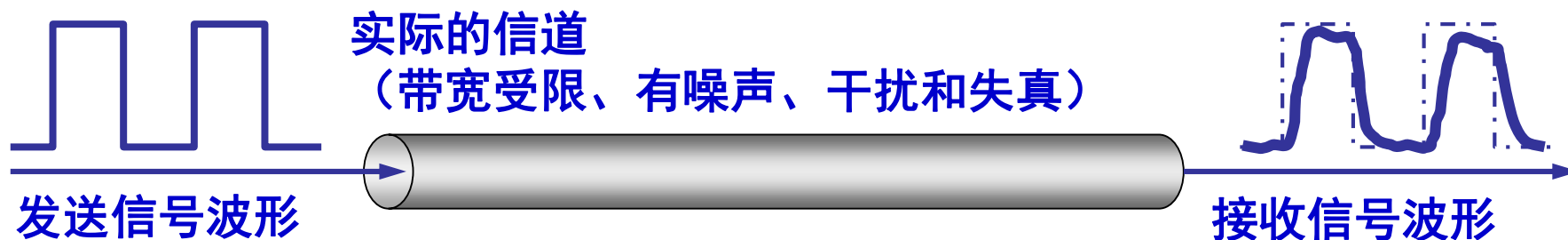


- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，或传输媒体质量越差，在信道的输出端的波形的失真就越严重。

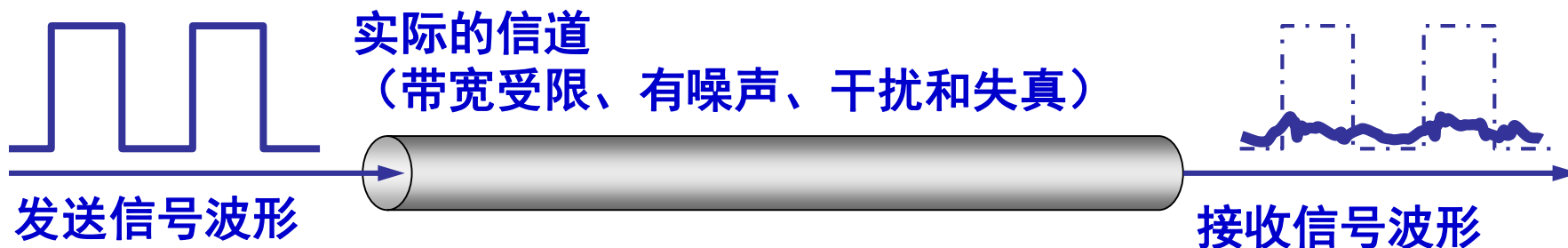
数字信号通过实际的信道



有失真，但**可识别**



失真大，**无法识别**



2.2.3 信道的极限容量 – 两个定理



从概念上讲，限制码元在信道上的传输速率的因素有以下两个：

- 信道能够通过的频率范围 - 奈奎斯特定理
- 信噪比 - 香农定理



■ 码元

- 时间轴上的一个信号编码单元
 - 数字通信：一个数字脉冲
 - 模拟通信：载波的某个参数或某几个参数的变化

■ 码元速率/波特率

- 信号每秒钟变化的次数

■ 数据率/比特率

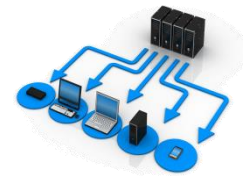
- 单位时间内传输的比特数

术语

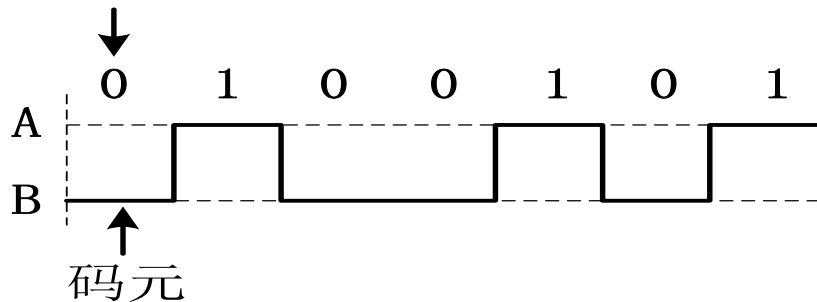


- 码元携带的信息量由码元的状态值 M 决定
- 一个码元可携带1个比特，也可携带多个比特。

一个码元可携带多个比特



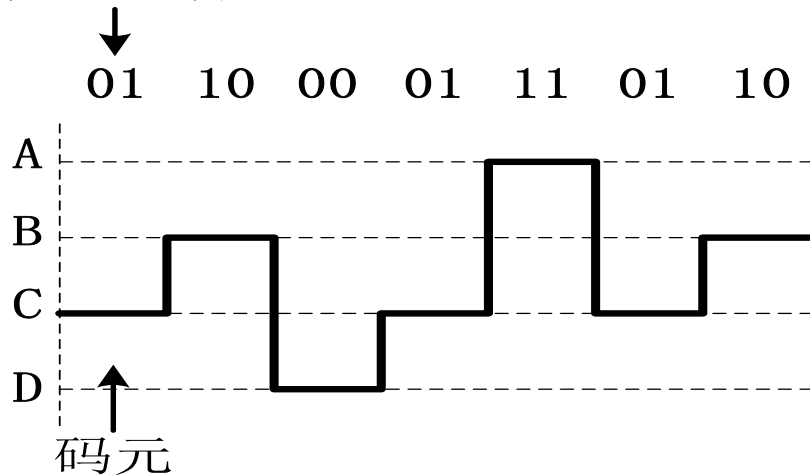
信息比特



二进制信号
两级电平

1个码元=1个信息比特

信息比特



四进制信号
四级电平

1个码元=2个信息比特



■ 比特率 = 波特率 * $\log_2 M$

- 如表示4种状态：0, 1、2、3;
- 每个码元的状态，如2，可以表示10
- 每个码元可以携带2个比特
- 例 波特率为9600B 时，数据传输速率为 $9600 * 2$
 $= 19200\text{bps}$

奈奎斯特定理



- 奈奎斯特定理：对于一个带宽为 $W\text{Hz}$ 的理想信道（**无噪声**），**最大码元速率为 $2W$ 波特**。
- 最大数据率 = $2W \log_2 N$ (bps)
 - N ：码元的状态值
- 因码元传输率受奈氏准则限制，要提高信息的传输速率，就必须使每一个码元能携带更多Bit。

举例：



- 假如用带宽为3 kHz的传统电话信道通过调制解调器来传输模拟信号，受奈奎斯特准则限制，发送方最多发送6 000个码元。
- 如果信号状态数量 =2，即每个码元携带了1比特信息，此时的电话信道最大数据传输速率为6 kbps。
- 如果设法将信号状态数量 提高到4，每个码元携带2比特信息，
- 则此时电话信道
最大数据传输速率= $2W \log_2 N = 2 * 3k * \log_2 4 = 12 \text{ kbps}$ 。

香农定理



- 带宽受限且有**噪声干扰**的信道的极限、无差错的信息传输速率
- $C = W \log_2(1+S/N)$ bps
 - 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
- 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

(2) 信噪比



- 噪声存在于所有的电子设备和通信信道中。
- **信噪比**就是信号的平均功率和噪声的平均功率之比。常记为 S/N ，并用**分贝 (dB)** 作为度量单位。即：

$$\text{信噪比(dB)} = 10 \log_{10}(S/N) \quad (\text{dB})$$

- 例如，当 $S/N = 10$ 时，信噪比为 10 dB（分贝），
- 而当 $S/N = 1000$ 时，信噪比为 30 dB（分贝）。

举例



- 电话系统的带宽为3000HZ，信噪比为30分贝，该系统的最大数据传输率为（ ） bps.
- 解： 根据香农定理
- 信噪比(dB) = $10 \log_{10}(S/N)$
- $30 = 10 \log_{10}(S/N)$ 得出 $S/N=1000$
- 最大数据传输率 = $W * \log_2(1+S/N)$
- $= 3k * \log_2(1+1000)$ $(2^{10}=1024)$
- $= 30kbps$

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

2.3 物理层下面的传输媒体



- **传输媒体也称为传输介质或传输媒介**，它就是数据传输系统中在发送器和接收器之间的物理通路。
- 传输媒体可分为两大类，即导引型传输媒体和非导引型传输媒体。
- **在导引型传输媒体中**，电磁波被导引沿着固体媒体（铜线或光纤）传播。
- **非导引型传输媒体就是指自由空间**。在非导引型传输媒体中，电磁波的传输常称为无线传输。

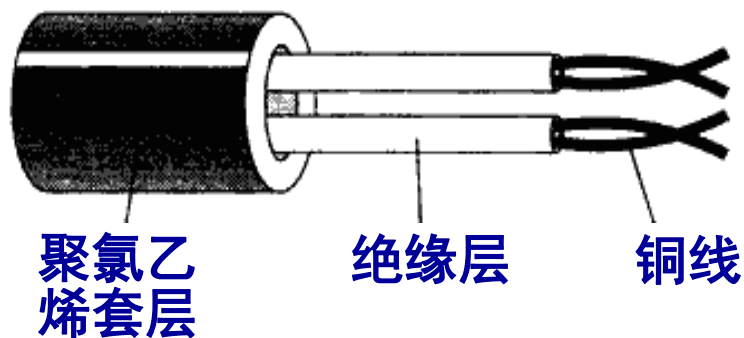
2.3.1 导引型传输媒体



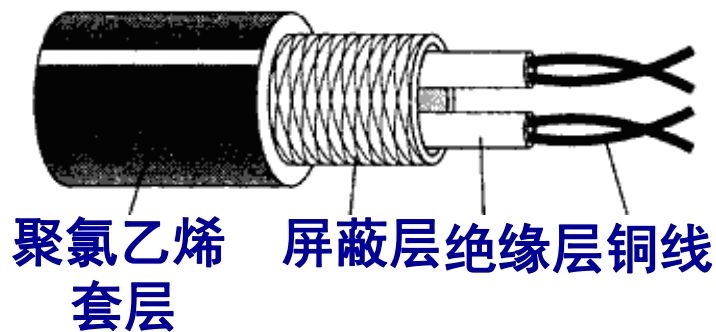
■ 双绞线

- 最常用的传输媒体。
- 模拟传输和数字传输都可以使用双绞线，其通信距离一般为几到十几公里。
- 屏蔽双绞线 **STP (Shielded Twisted Pair)**
 - 带金属屏蔽层
- 无屏蔽双绞线 **UTP (Unshielded Twisted Pair)**

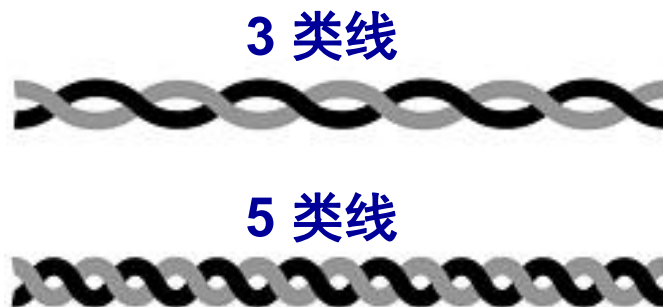
2.3.1 导引型传输媒体



(a) 无屏蔽双绞线



(b) 屏蔽双绞线



(c) 不同的绞合度的双绞线

双绞线的示意图

双绞线标准



- 1991 年，美国电子工业协会 EIA 和电信行业协会联合发布了一个用于室内传送数据的无屏蔽双绞线和屏蔽双绞线的标准 **EIA/TIA-568**。
- 1995 年将布线标准更新为 **EIA/TIA-568-A**。
- 此标准规定了 **5 个种类的 UTP 标准**（从 1 类线到 5 类线）。
- 对传送数据来说，现在最常用的 UTP 是 5 类线（Category 5 或 CAT5）。

双绞线标准



常用的绞合线的类别、带宽和典型应用

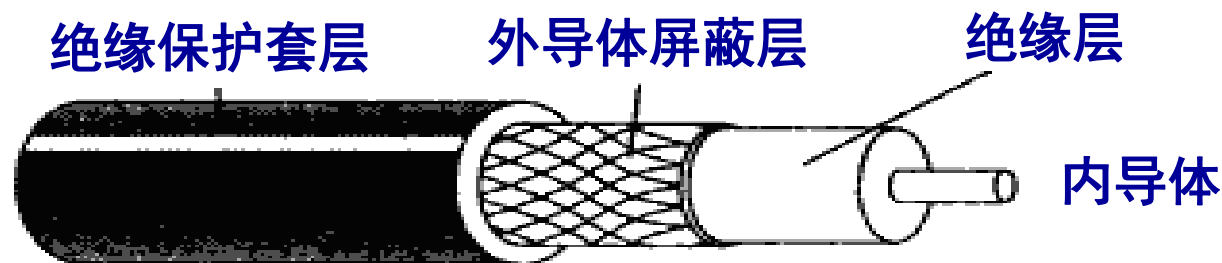
绞合线类别	带宽	线缆特点	典型应用
3	16 MHz	2 对 4 芯双绞线	模拟电话；曾用于传统以太网（10 Mbit/s）
4	20 MHz	4 对 8 芯双绞线	曾用于令牌局域网
5	100 MHz	与 4 类相比增加了绞合度	传输速率不超过100 Mbit/s 的应用
5E (超 5 类)	125 MHz	与 5 类相比衰减更小	传输速率不超过 1 Gbit/s 的应用
6	250 MHz	与 5 类相比改善了串扰等性能	传输速率高于 1 Gbit/s 的应用
7	600 MHz	使用屏蔽双绞线	传输速率高于 10 Gbit/s 的应用

2.3.1 导引型传输媒体



■ 同轴电缆

- 同轴电缆具有很好的抗干扰特性，被广泛用于传输较高速率的数据。
- 同轴电缆的带宽取决于电缆的质量。
- **50 Ω 同轴电缆** —— LAN / 数字传输常用
- **75 Ω 同轴电缆** —— 有线电视 / 模拟传输常用



同轴电缆的结构

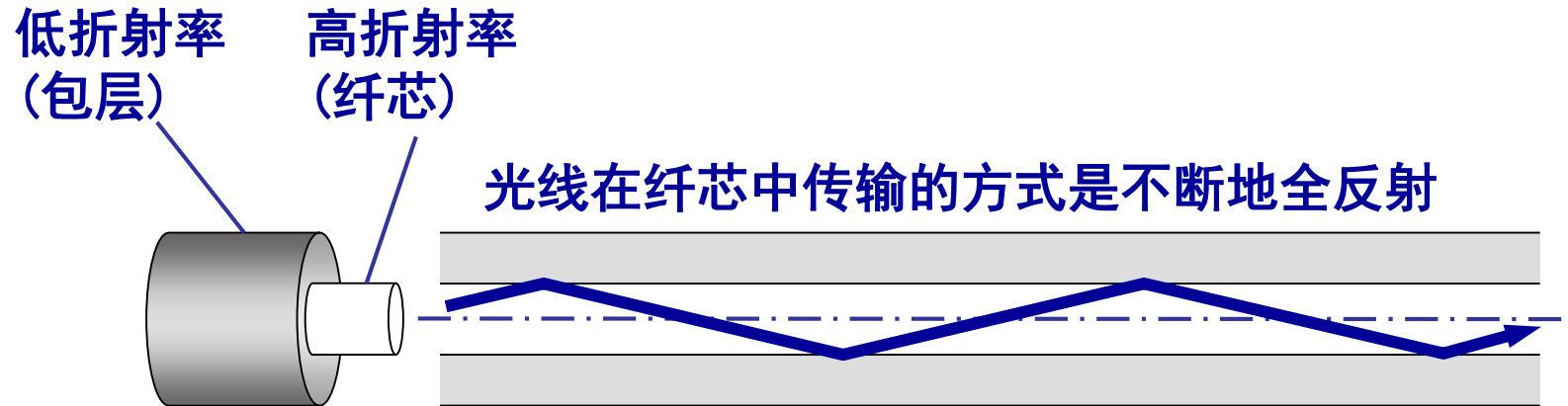
2.3.1 导引型传输媒体



■ 光缆

- 光纤是光纤通信的传输媒体。
- 由于可见光的频率非常高，约为 10^8 MHz 的量级，因此一个光纤通信系统的传输带宽远远大于目前其他各种传输媒体的带宽。

光纤的工作原理



光波在纤芯中的传播

只要从纤芯中射到纤芯表面的光线的入射角大于某个临界角度，就可产生全反射。

多模光纤与单模光纤



■ 多模光纤

可以存在多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输。这种光纤就称为**多模光纤**。

■ 单模光纤

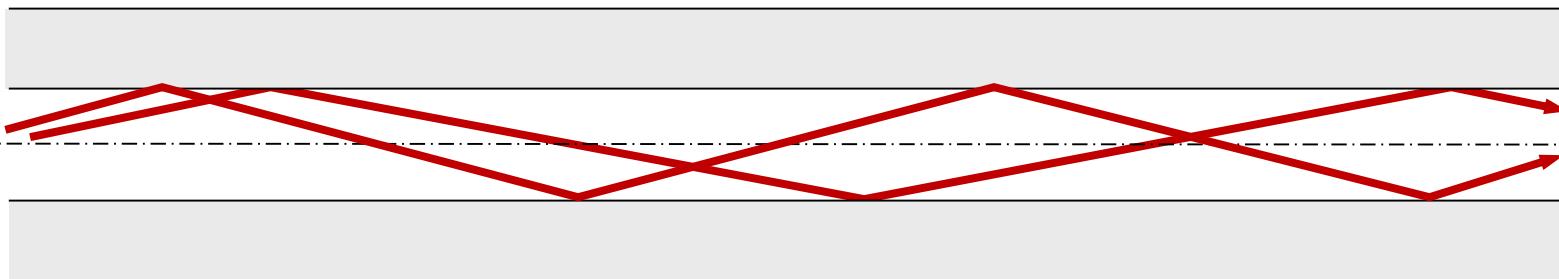
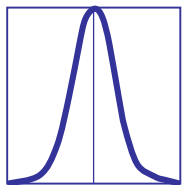
若光纤的直径减小到只有一个光的波长，则光纤就像一根波导那样，它可使光线一直向前传播，而不会产生多次反射。这样的光纤称为**单模光纤**。

多模光纤与单模光纤

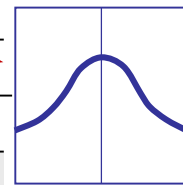


多模光纤

输入脉冲

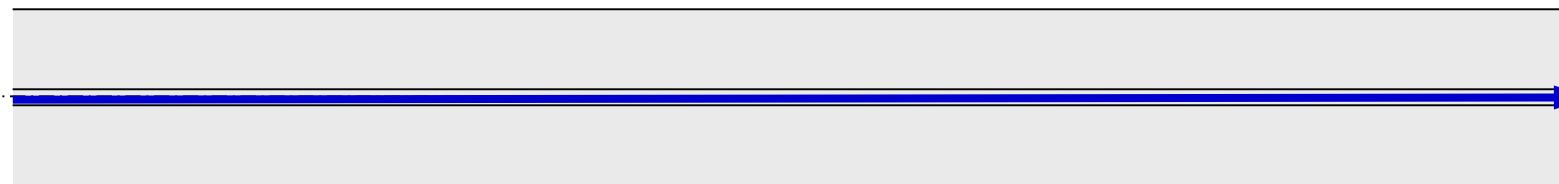
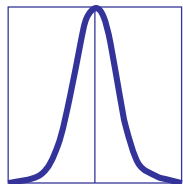


输出脉冲

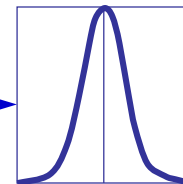


单模光纤

输入脉冲



输出脉冲



多模光纤 (a) 和 单模光纤 (b) 的比较

光纤通信中使用的光波的波段



- 常用的三个波段的中心分别位于 **850 nm, 1300 nm 和 1550 nm**。
- 所有这三个波段都具有 **25000~30000 GHz** 的带宽，可见光纤的通信容量非常大。

光纤优点



- (1) 通信容量非常大。
- (2) 传输损耗小，中继距离长。
- (2) 抗雷电和电磁干扰性能好。
- (3) 无串音干扰，保密性好。
- (4) 体积小，重量轻。

2.3.2 非导引型传输媒体



- 将自由空间称为“**非导引型传输媒体**”。
- 无线传输所使用的频段很广。
- **短波通信**（即高频通信）主要是靠电离层的反射，但短波信道的通信质量较差，传输速率低。
- **微波**在空间主要是直线传播。
- 传统微波通信有两种方式：
 - 地面微波接力通信
 - 卫星通信

微波通信的两种方式



■ 地面微波接力：

依靠地面的接力站转换信号来实现远距离的通信；

每隔50公里左右，就需要设置中继站

受气候影响大

卫星通信：以同步卫星作为中继，实现微波信号远距离通信

三颗同步卫星可实现全球覆盖；容量大，时延长；

成功案例：中国北斗卫星导航系统

美国全球定位系统

俄罗斯全球卫星导航系统。

2.4 信道复用技术

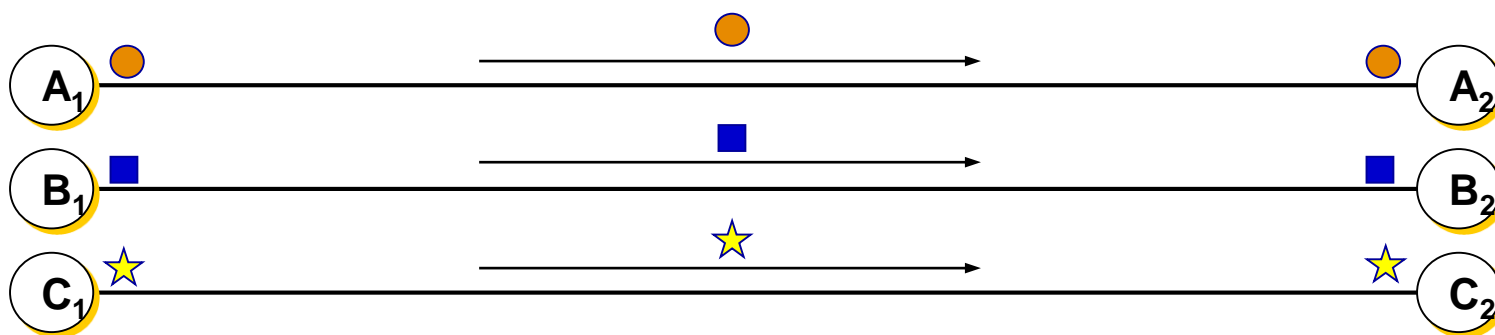


- 2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用
- 2.4.2 波分复用
- 2.4.3 码分复用

2.4.1 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。
它允许用户使用一个**共享**信道进行通信，降低成本，提高利用率。

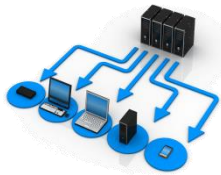


(a) 使用单独的信道



(b) 使用共享信道

复用的示意图



频分复用 FDM

(Frequency Division Multiplexing)

- 将整个带宽分为多份，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）。



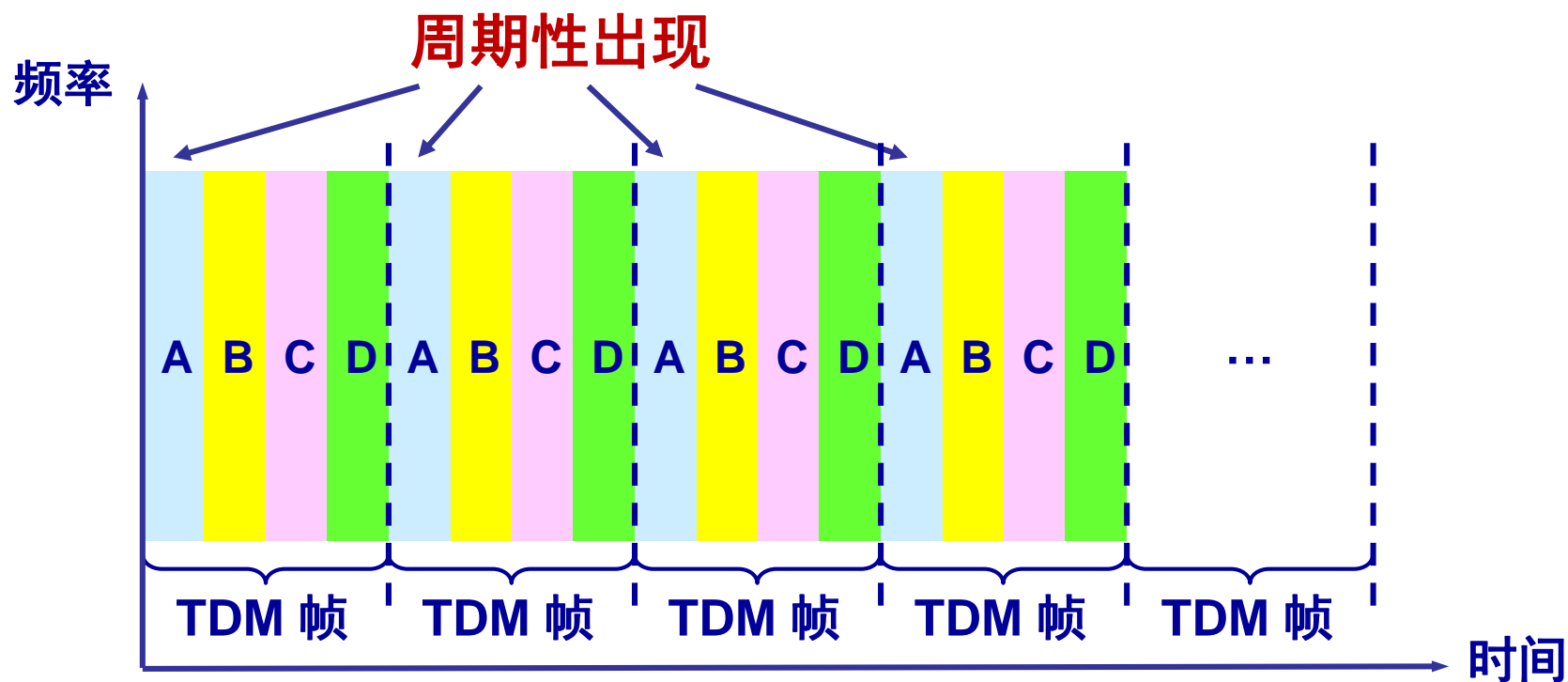


时分复用TDM

(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TDM



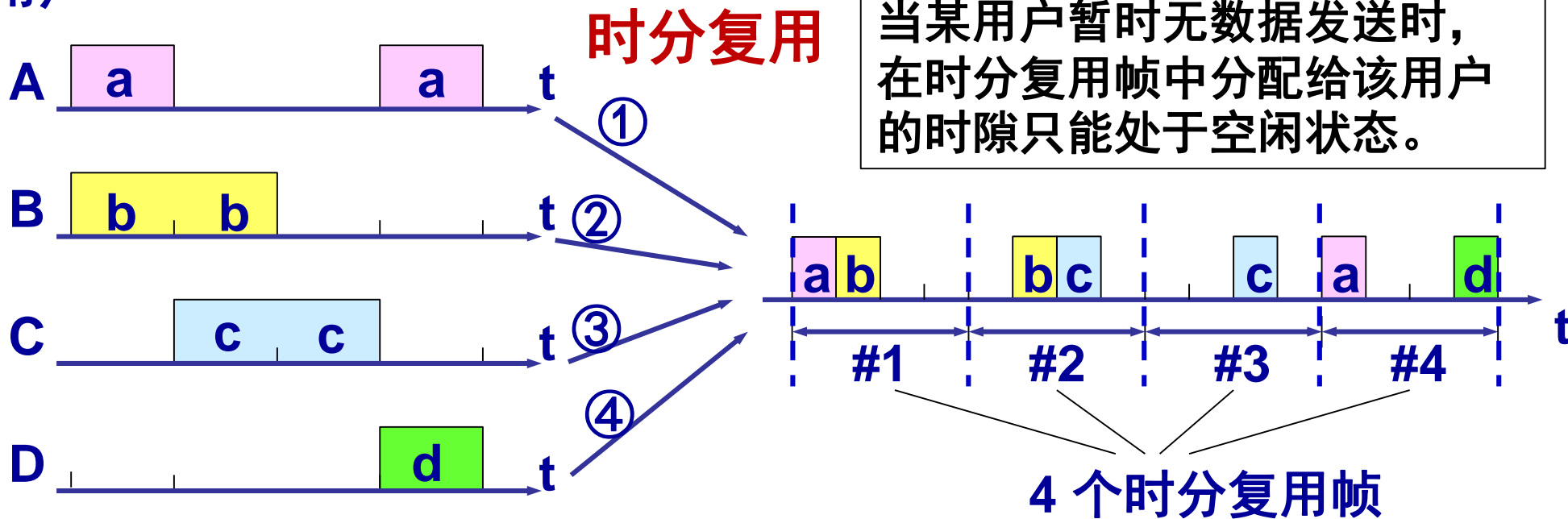
时分复用

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性质，用户对分配到的子信道的利用率一般是不高的。

用户



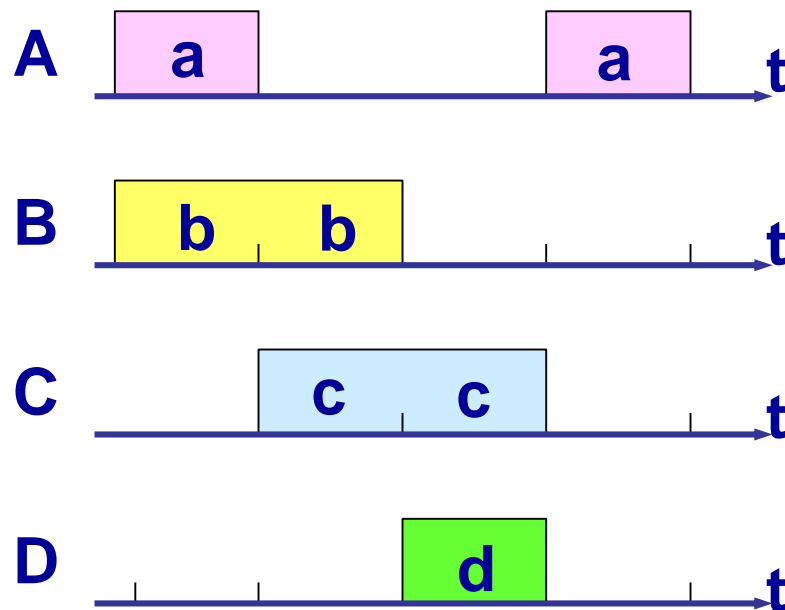
时分复用可能会造成线路资源的浪费

统计时分复用 STDMM

(Statistic TDM)



用户



统计
时分复用

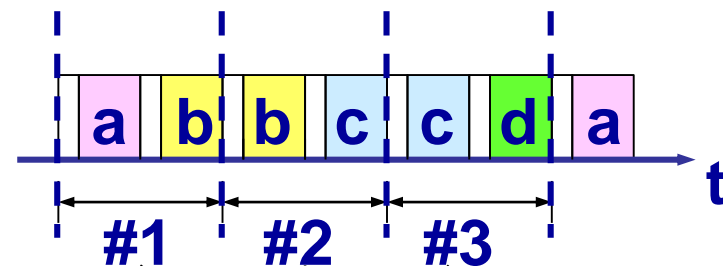
①

②

③

④

STDMM 帧不是固定分配时隙，而是按需动态地分配时隙。因此统计时分复用可以提高线路的利用率。



3 个 STDMM 帧

统计时分复用的工作原理

时分多路复用实例---贝尔系统的T1载波

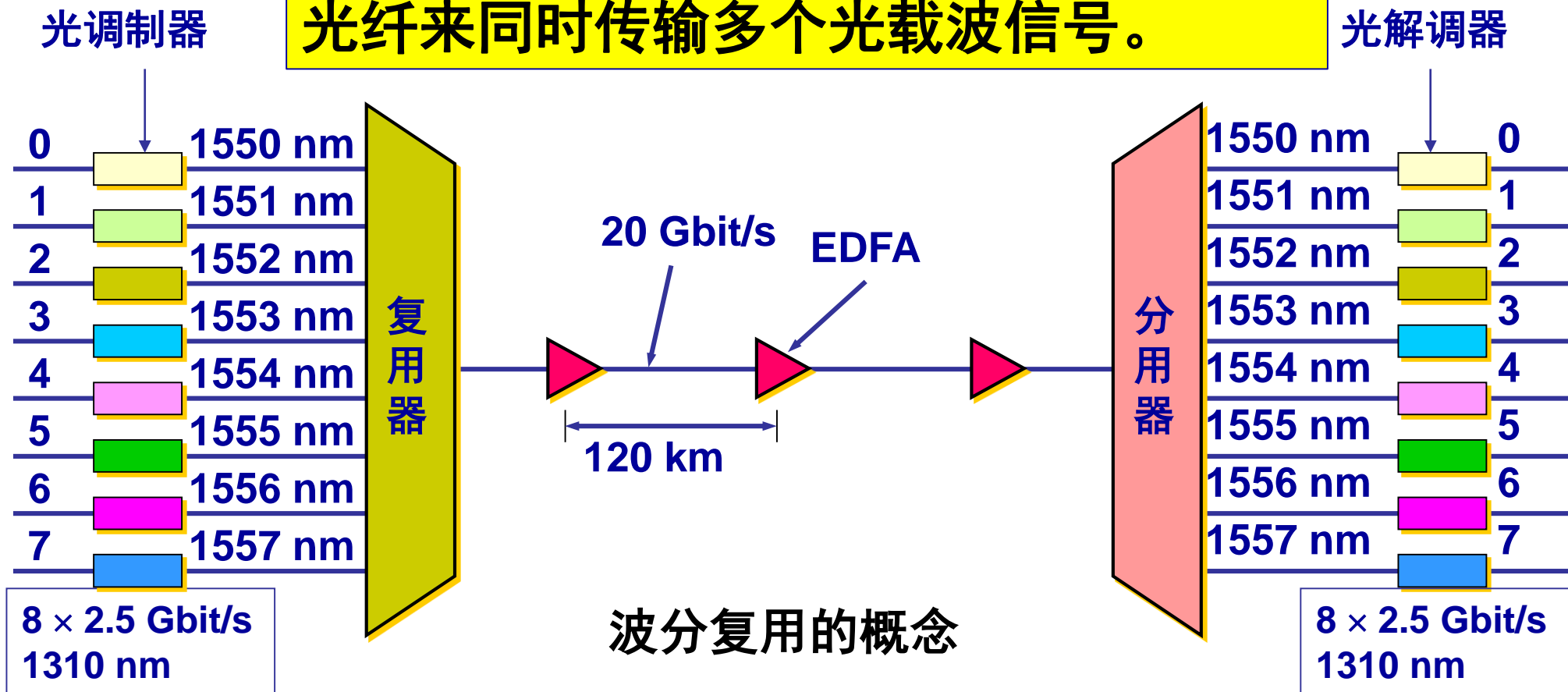


- T1载波也叫一次群。
- 24路音频信道按照时分多路的原理复用在一**条1.544Mb/s**的通信线路上；该系统在北美和日本被广泛使用。
- 每路音频模拟信号在送到多路复用器之前，要通过一个**PCM编码器**；
- 编码器每秒取样**8000**次；
- 24路**PCM**信号的每一路轮流将一个字节插入到帧中；
- 每个字节的长度为**8**位，其中**7**位是数据位，**1**位用于信道控制；
- 每帧由 **$24 \times 8 = 192$** 位组成，附加一位作为帧开始标志位，所以每帧共有**193**位；
- 发送一帧需要**125**毫秒；
- T1载波的数据传输速率为**1.544Mb/s**。
(**$193 \times 8000 = 1544000$ bps**)

2.4.2 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)



波分复用就是光的频分复用。使用一根光纤来同时传输多个光载波信号。



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。

码片序列(chip sequence)



- 每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为**码片 (chip)**。
- 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)

码片序列实现了扩频



- 假定S站要发送信息的数据率为 b bit/s。由于每一个比特要转换成 m 个比特的码片，因此 S 站实际上发送的数据率提高到 mb bit/s，同时 S 站所占用的频带宽度也提高到原来数值的 m 倍。
- 这种通信方式是扩频(spread spectrum)通信中的一种。

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**。

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) 等于 0:

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



例两个不同站的码片序列正交

- A站 码片序列为 $(-1-1-1+1+1-1+1+1)$
- B站 码片序列为 $(-1-1+1-1+1+1+1-1)$
- A和B 内积为
- $((-1*-1) + (-1*-1) + (-1*+1) + (+1*-1)$
- $+ (+1*+1) + (-1*+1) + (+1*+1) +$
- $(+1*-1)) / 8$
- $= (1+1+ (-1) + (-1) +1+ (-1) +1+ (-1)) / 8$
- $= 0/8 = 0$

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。

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

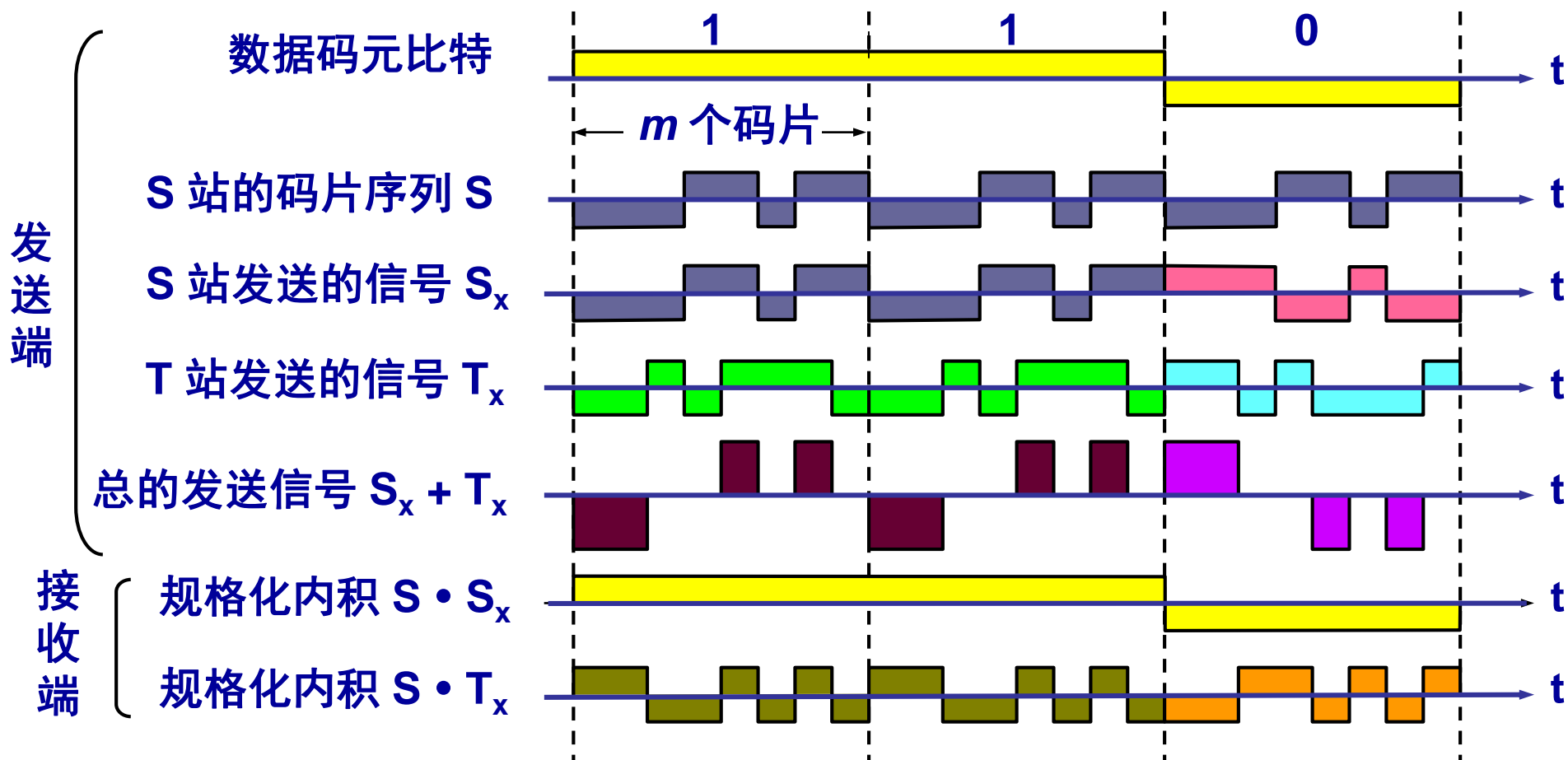
- A站 码片序列为 (-1-1-1+1+1-1+1+1)
- A和A的内积= ((-1*-1) + (-1*-1) + (-1*-1)
- + (1*1) + (1*1) + (-1*-1) + (1*1) + (1*1)) /8
- = (1+1+1+1+1+1+1+1)/8=8/8=1

重要特性



- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1 。
- A站 码片序列为 $(-1-1-1+1+1-1+1+1)$
- 该码片反码的向量 $(+1+1+1-1-1+1-1-1)$
- 内积为 $= ((-1*+1) + (-1*+1) + (-1*+1)$
- $+ (+1*-1) + (+1*-1) + (-1*+1) + (+1*-1)$
- $+ (+1*-1))/8$
- $=(-1+-1+-1+-1+-1+-1+-1+-1)/8=-8/8=-1$

CDMA 的工作原理



实例



- 某个CDMA站接受方收到一条如下的碎片系列
 - $(-1+1-3+1-1-3+1+1)$
 - 假定有几个站的码片向量如下
 - A站 码片序列为 $(-1-1-1+1+1-1+1+1)$
 - B站 码片序列为 $(-1-1+1-1+1+1+1-1)$
 - C站码片序列为 $(-1+1-1+1+1+1-1-1)$
- 试问 哪些站点发送了数据？ 分别发送那什么？

示例



- 将收到的叠加信号和站点的码片向量进行内积
- 根据前面的讲解，内积的结果为1，则发送了1
内积的结果为-1，则发送了0，内积的结果为0，
则没有发送数据。
- A 站内积= 1，则发送了1
- B 站内积= -1，则发送了0
- C 站内积=0，没有发送数据

2.5 数字传输系统



- 在早期电话网中，从市话局到用户电话机的用户线是采用最廉价的双绞线电缆，而长途干线采用的是频分复用 FDM 的模拟传输方式。
- 与模拟通信相比，数字通信无论是在传输质量上还是经济上都有明显的优势。
- 目前，长途干线大都采用时分复用 PCM 的数字传输方式。
- **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。

2.5 数字传输系统



- 由于历史上的原因，PCM 有两个互不兼容的国际标准：
 - 北美的 24 路 PCM（简称为 T1）
 - 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 Mbit/s，而 T1 的速率是 1.544 Mbit/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，国际范围的基于光纤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。
- 当数据传输的速率很高时，收发双方的时钟同步就成为很大的问题。

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。
- **SONET 为光纤传输系统定义了同步传输的线路速率等级结构**
 - 对电信信号称为第 1 级**同步传送信号** STS-1 (Synchronous Transport Signal), 其传输速率是 51.84 Mbit/s。
 - 对光信号则称为第 1 级**光载波** OC-1 (OC 表示 Optical Carrier)。
- 现已定义了从 51.84 Mbit/s (即 OC-1) 一直到 9953.280 Mbit/s (即 OC-192/STS-192) 的标准。

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。
- **其主要不同点是：**SDH 的基本速率为 155.52 Mbit/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 (Mbit/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 Mbit/s
466.560	OC-9/STS-9	STM-3	
622.080	OC-12/STS-12	STM-4	622 Mbit/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 Gbit/s
4976.640	OC-96/STS-96	STM-32	
9953.280	OC-192/STS-192	STM-64	10 Gbit/s
39813.120	OC-768/STS-768	STM-256	40 Gbit/s

SONET / SDH 标准的意义



- 使不同的数字传输体制在 STM-1 等级上获得了统一。
- 第一次真正实现了数字传输体制上的世界性标准。
- 已成为公认的新一代理想的传输网体制。
- SDH 标准也适合于微波和卫星传输的技术体制。

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 FTTx 技术

2.6 宽带接入技术



- 用户要连接到互联网，必须先连接到某个 ISP。
- 在互联网的发展初期，用户都是利用电话的用户线通过调制解调器连接到 ISP 的，电话用户线接入到互联网的速率最高只能达到 56 kbit/s。
- 美国联邦通信委员会 FCC 原来认为只要双向速率之和超过 200 kbit/s 就是**宽带**。
- 2015 年重新定义为：宽带下行速率要达到 25 Mbit/s，宽带上行速率要达到 3 Mbit/s

2.6 宽带接入技术



- 从宽带接入的媒体来看，可以划分为两大类：
 - 有线宽带接入
 - 无线宽带接入
- 下面讨论有线的宽带接入。

2.6.1 ADSL 技术



- **非对称数字用户线 ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line) 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。

ADSL 的特点



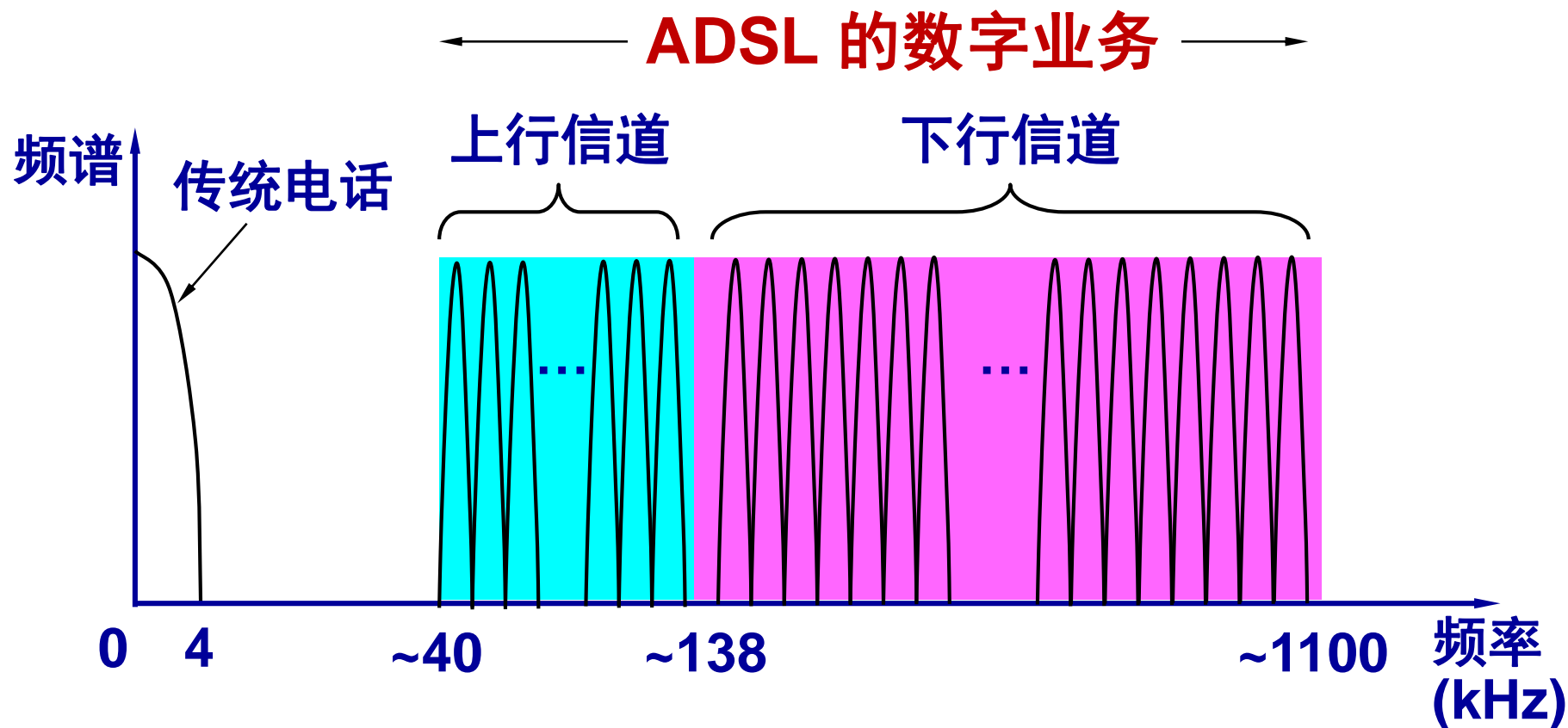
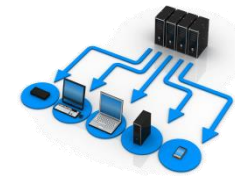
- 上行和下行带宽做成不对称的。
 - 上行指从用户到 ISP，而下行指从 ISP 到用户。
- ADSL 在用户线（铜线）的两端各安装一个 **ADSL 调制解调器**。
- 我国目前采用的方案是 **离散多音调 DMT** (Discrete Multi-Tone) 调制技术。
 - 这里的“多音调”就是“**多载波**”或“**多子信道**”的意思。

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。

DMT 技术的频谱分布

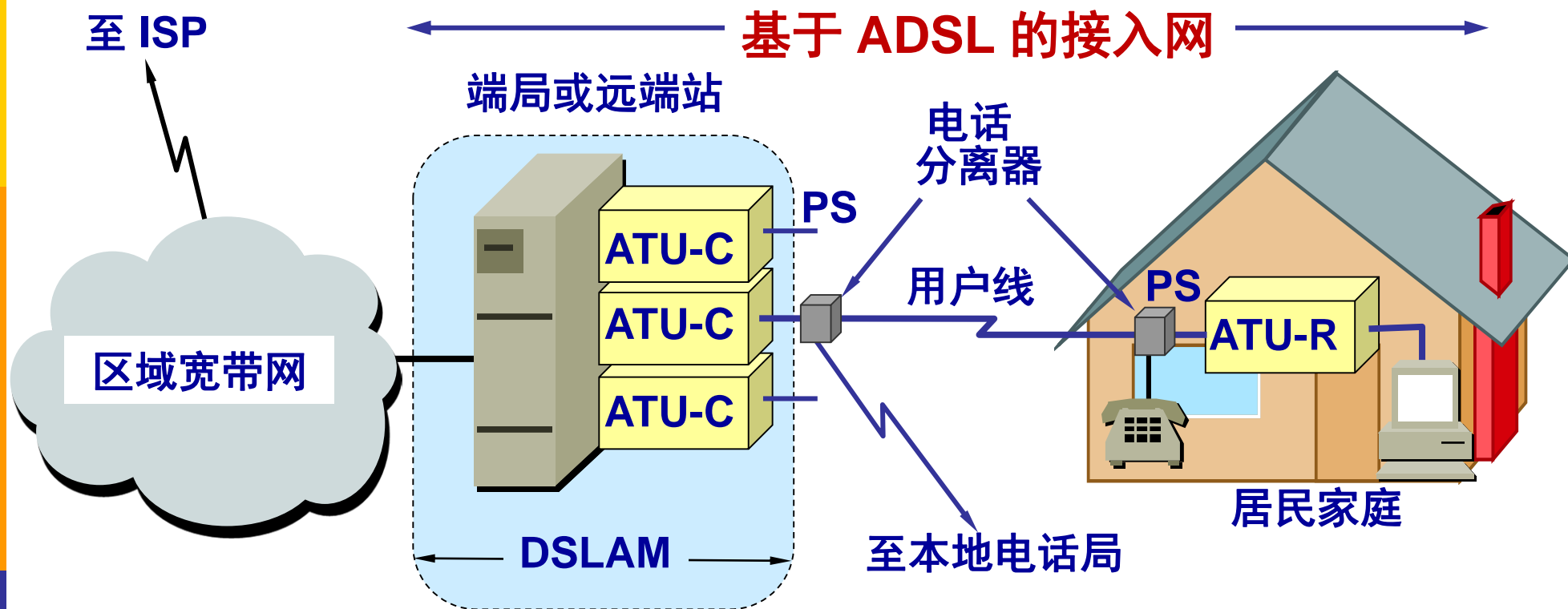


ADSL 的数据率



- 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 kbit/s 到 6.4 Mbit/s 之间，而上行数据率在 32 kbit/s 到 640 kbit/s 之间。

ADSL 的组成



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

ATU (Access Termination Unit) : 接入端接单元

ATU-C (C 代表端局 Central Office) ATU-R (R 代表远端 Remote)

PS (POTS Splitter) : 电话分离器

基于 ADSL 的接入网的组成

2.6.2 光纤同轴混合网（HFC网）



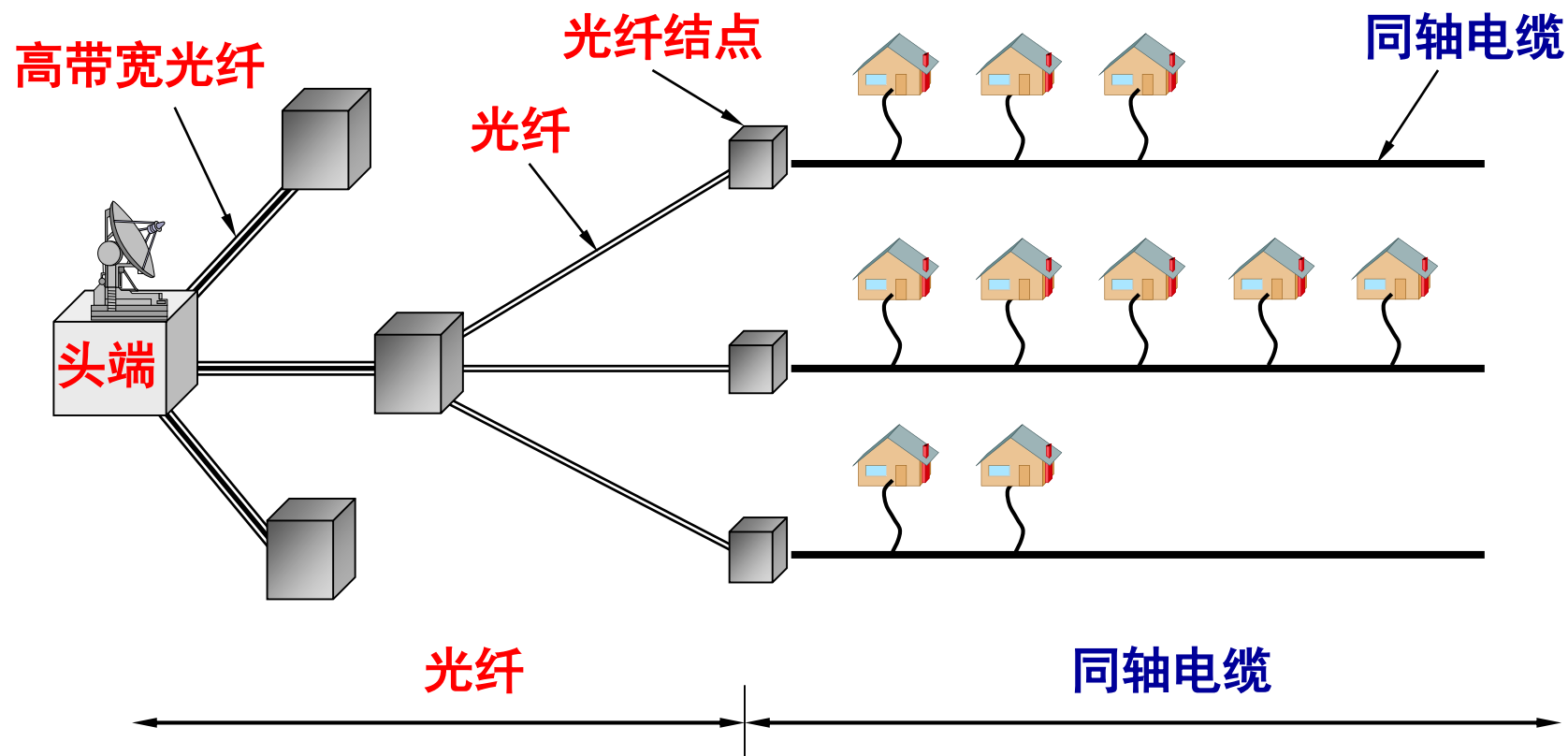
- HFC (Hybrid Fiber Coax) 网是在目前覆盖面很广的有线电视网 CATV 的基础上开发的一种居民宽带接入网。
- HFC 网除可传送 CATV 外，还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- 现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络，它采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输。
- **HFC 网对 CATV 网进行了改造。**

HFC 网的主干线路采用光纤



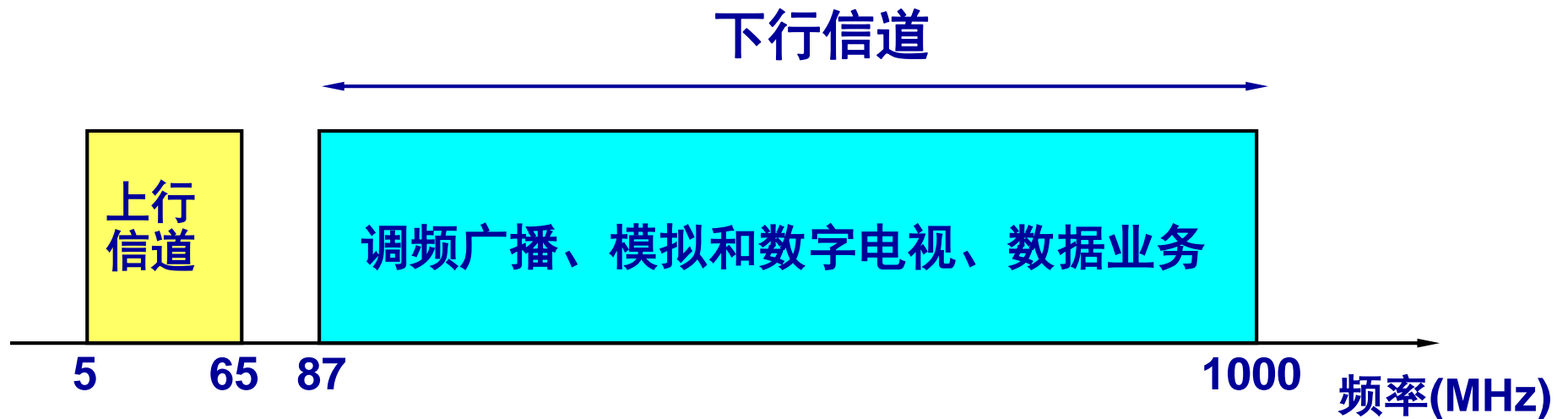
- HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆**主干部分**更换为**光纤**，并使用**模拟光纤技术**。
- 在模拟光纤中采用**光的振幅调制 AM**，这比使用数字光纤更为经济。
- 模拟光纤从**头端**连接到**光纤结点 (fiber node)**，即**光分配结点 ODN (Optical Distribution Node)**。在光纤结点光信号被转换为电信号。在光纤结点以下就是同轴电缆。

HFC 网采用结点体系结构



HFC 网的结构图

HFC 网具有双向传输功能，扩展了传输频带



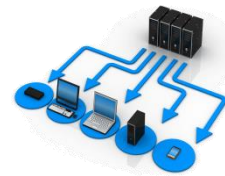
我国的 HFC 网的频谱划分

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。
 - 下行速率一般在 $3 \sim 10$ Mbit/s 之间，最高可达 30 Mbit/s。
 - 上行速率一般为 $0.2 \sim 2$ Mbit/s，最高可达 10 Mbit/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 FTTx 技术



- FTTx 是一种实现宽带居民接入网的方案，代表多种宽带光纤接入方式。
- FTTx 表示 Fiber To The...（光纤到...），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): 光纤铺到路边，从路边到各用户可使用星形结构双绞线作为传输媒体。

第二章作业



- P67
- 2-05, 2-07, 2-08, 2-13, 2-16

练习题



- 1. EI载波把32个信道按时分多路方式复用在一
条2.048 Mb/s 的高速信道上， 每条话音信道的
数据速率是（ ）
- A. 56Kb/s B. 64Kb/s
- C. 128Kb/s D. 512Kb/s

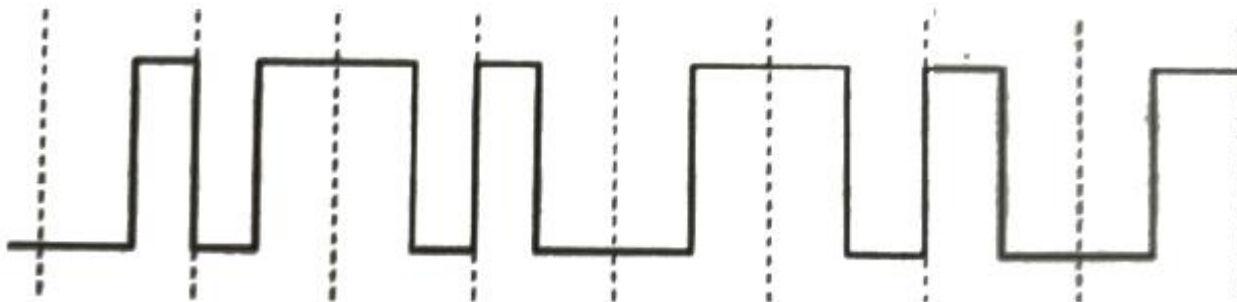


- 2. 若某通信链路的数据传输速率为 2400bit/s ，采用4相位调制，则该链路的波特率为（）
- A. 600波特 B. 1200波特
- C. 4800波特 D. 9600波特



3. 若下图为10Base-T以太网网卡接收到的信号波形，则该网卡收到的比特串是()。

- A. 00110010 B. 10101101
- C. 00110110 D. 11000101





The end