



## 第 2 章 通信基础知识

---

2.1 通信的基本概念与基本问题

2.2 信号分析基础

2.3 通信中的调制技术

2.4 通信中的编码技术

2.5 数字基带传输系统

2.6 通信中的复用和多址技术

## 2.1 通信的基本概念与基本问题

### 一、通信系统模型

通信系统由信息发送者(信源)、信息接收者(信宿)和处理、传输信息的各种设备共同组成。通信系统的一般模型

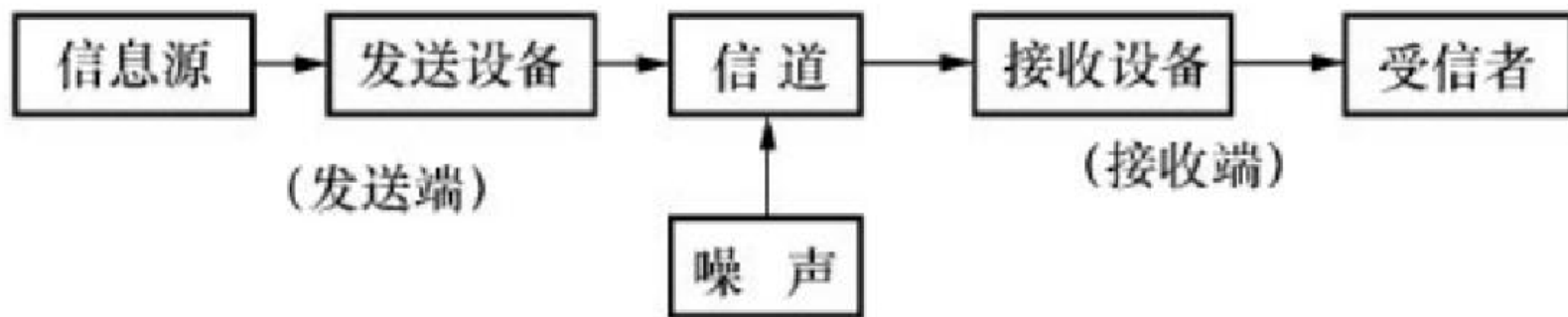
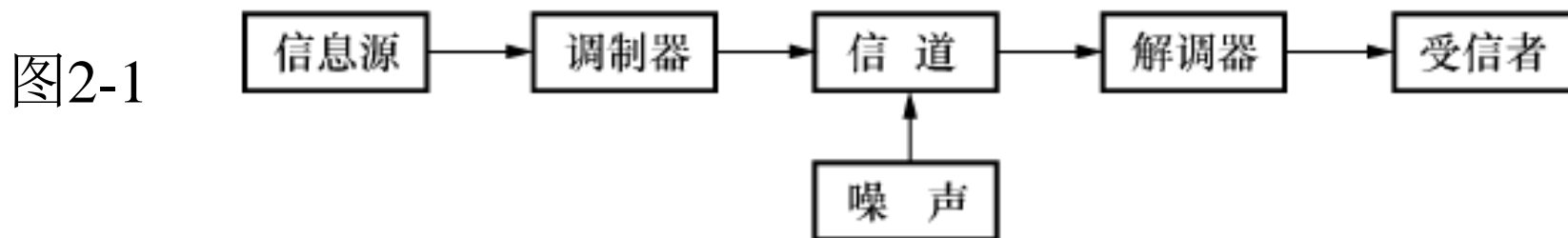


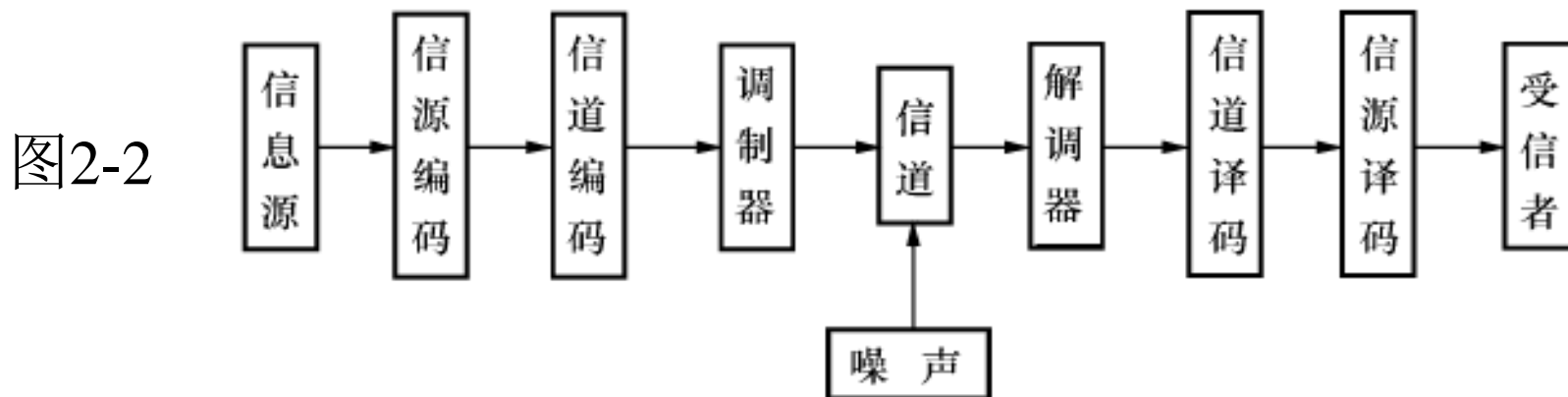
图1-1

## 2.1.1 通信系统模型

### ✓ 模拟通信系统模型



### ✓ 数字通信系统模型





## 2.1.1通信系统模型

---

数字通信是发展的主流：

- 抗干扰能力强，数字信号可以再生从而消除噪声累积。
- 便于进行各种数字信号处理。
- 便于实现集成化。
- 便于加密处理。
- 便于综合传递各种信息，实现综合业务数字网。



## 2.1.1 通信系统模型

---

- 信息

信息是一种不确定度的描述，是语言、文字、数据或图像中所包含的人们想知道的内容，是内在的实质的东西。

- 消息

消息是具体的，有不同的形式。消息中包含了信息，如符号、文字、语音、数据、图象等，根据所传输的消息不同形成了目前的各种通信业务，我们可以从消息中提取信息。

- 信号

信号为消息的表示形式，在通信系统中传输的实际是表现为各种消息形式的电信号。



## 2.1.2通信系统的分类

---

### (一) 按通信业务不同分类

- 电报通信系统
- 电话通信系统
- 传真通信系统
- 数据通信系统
- 可视电话系统
- 无线寻呼系统



## 2.1.2通信系统的分类

---

### (二) 按调制方式不同分类

- 基带传输系统

- 不经过调制直接传输

- 广义的频带传输系统（或称载波传输）

- 经过调制，有频谱搬移

可采用表2-1所示的各种调制方式

表 2—1

常用的调制方式

调制方式			用途
连续波调制	线性调制	常规双边带调幅 AM	广播
		抑制载波双边带调制 DSB	立体声广播
		单边带调制 SSB	载波通信、无线电台、数传
		残留边带调制 VSB	电视广播、数传、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制 PM	中间调制方式
	数字调制	幅度键控 ASK	数据传输
		频移键控 FSK	数据传输
		相位键控 PSK、DPSK QPSK 等	数据传输、数字微波、空间通信
		其他高效数字调制 QAM、MSK	数字微波、空间通信
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM (PWM)	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话、卫星、空间通信
		增量调制 DM	军用、民用电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		ADPCM、APC、LPC	中低速数字电话





## 2.1.2通信系统的分类

---

### （三）按传输信号的特征分类

按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号，相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。



## 2.1.2通信系统的分类

---

### （四）按传送信号的复用方式分类

■ 传输多路信号有频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)、波分复用(WDM)和空分复用(SDM)。

■ 频分复用 (Frequency Division multiplexing)

——用频谱搬移的方法使不同信号占据不同频率范围；

■ 时分复用(Time Division multiplexing)

——是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区  
间；

■ 码分复用(Code Division multiplexing)

——是用正交的脉冲序列分别携带不同信号



## 2.1.2 通信系统的分类

---

### （四）按传送信号的复用方式分类

- 传统的模拟通信中通常采用频分复用
- 随着数字通信的发展，时分复用通信系统的应用愈来愈广泛
- 码分复用主要用于移动通信系统
- 波分复用WDM主要用于光纤通信
  - Wavelength Division multiplexing
- 卫星通信中还有空分复用(SDM)
  - Space Division multiplexing

## 2.1.3 通信方式

### (一) 单工、半双工及全双工通信

1. 单工通信 2-3(a)
2. 半双工通信 2-3(b)
3. 全双工通信 2-3(c)

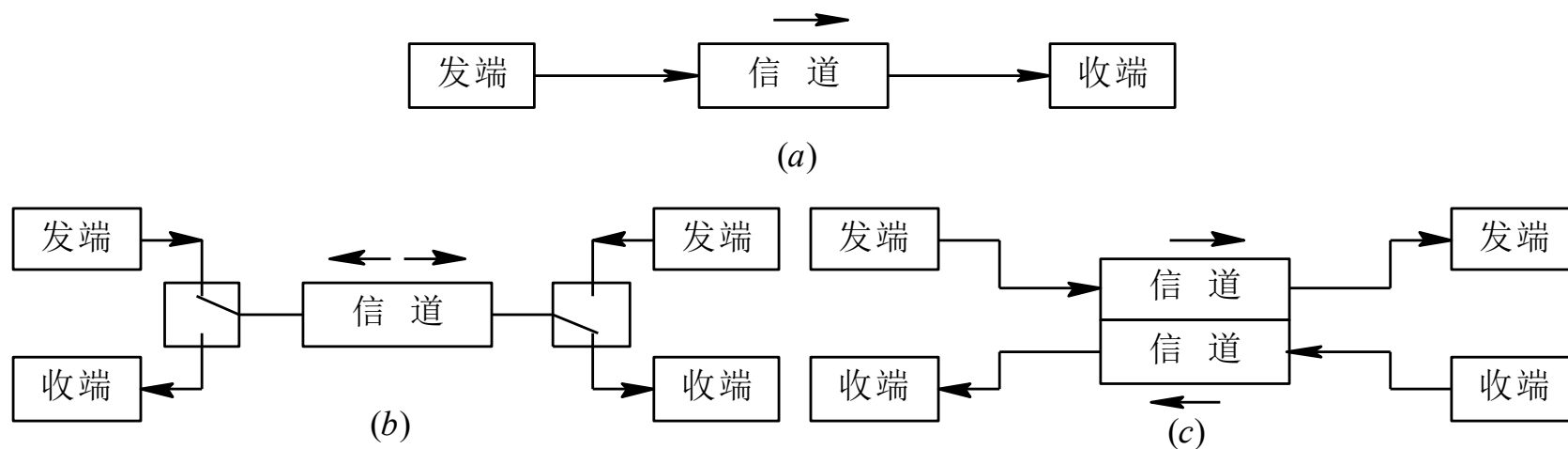


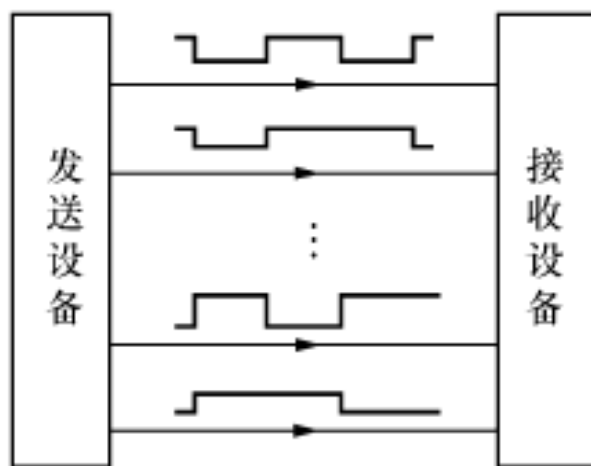
图2-3

(a)单工; (b) 半双工; (c) 全双工

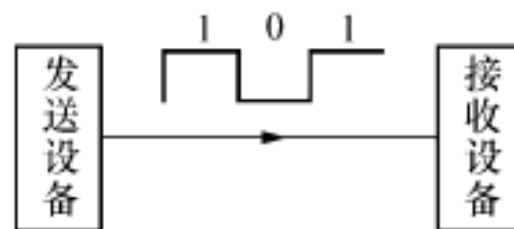
## 2.1.3 通信方式

### (二) 并行传输和串行传输

1. 并行传输 2-4(a)
2. 串行传输 2-4(b)



(a)



(b)

图 2-4 并行和串行传输示意图

(a) 并行传输；(b) 串行传输



## 2.1.4 信息及其度量

---

■ 通信的目的在于传输信息  
信息进行定量的描述——信息量

### (一) 信息量

离散消息  $x_i$  携带的信息量为：
$$I(x_i) = \log_a \frac{1}{P(x_i)} = -\log_a P(x_i)$$

单位由对数的底来确定：

- (1) 对数以2为底时，单位为比特 (*bit*)。
- (2) 对数以  $e$  为底时，单位为奈特 (*nit*)。
- (3) 对数以10为底时，单位为哈特莱 (*Hartley*)。

其中比特使用较多。



## 2.1.4 信息及其度量

---

### (二) 平均信息量（也称信源熵）

离散信源的平均信息量为：

$$H(X) = - \sum_{i=1}^L P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (bit/符号)$$

对于连续信源，其信源熵为：

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(\chi) \log_2 f(\chi) d\chi \quad , \quad f(\chi) \text{ 为消息出现的概率密度}$$



## 2.1.5通信系统的主要性能指标

---

从研究信息传输的角度来说，主要性能指标有两个

✓**有效性**：速度

——即给定信道内所传输的信息内容多少

✓**可靠性**：质量

——即接收信息的准确程度

二者是一对矛盾

两个主要性能指标对于不同通信系统，具体表现也不同





## 2.1.5 通信系统的主要性能指标

---

### （一）模拟通信系统的主要性能指标

#### 1. 有效性

每路信号所需的传输频带，（简称带宽B），传输信号的带宽B越小，占用信道带宽越少，在给定信道时容纳的传输路数越多，有效性越好。

#### 2. 可靠性

接受端的最终输出信号噪声功率比（简称信噪比S/N或SNR—Signal Noise Ratio）

$$r_0 = \frac{\text{解调器输出有用信号功率}}{\text{解调器输出噪声平均功率}}$$

$r_0 \uparrow$ ，系统可靠性能越好！



## 2.1.5通信系统的主要性能指标

---

### (一) 模拟通信系统的主要性能指标

✓有效性：信号的带宽

✓可靠性：信噪比

工程实现：

- 带宽

3种定义：3dB带宽、百分比带宽和等矩形带宽

对同一信号，所需要的带宽越窄，则有效性越好

- 信噪比

信噪比定义为信号功率与噪声功率之比，即

$$[\text{SNR}]_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_n} \quad \text{dB}$$



## 2.1.5 通信系统的主要性能指标

### (二) 数字通信系统的主要性能指标

#### 1、有效性——传输速率衡量

(1) 码元传输速率( $R_B$ )。简称**传码率**，又称符号速率，指单位时间能够传送的码元数，单位为**波特 (Baud)**。

若 $T_B$  (秒, S) 为每个码元传输所占用的时间，则

$R_B = 1/T_B$  (波特, Baud)。——码元/秒

码元为二进制，则 $R_B$  对应  $R_{B2}$

码元为 $M$  进制，则 $R_B$  对应  $R_{BM}$ ， $R_{B2} = R_{BM} \cdot \log_2 M$

(2) 信息传输速率( $R_b$ )。简称**传信率**，又称比特率，指单位时间能够传送的平均信息量，单位为**bit/s 或 bps**。

传码率和传信率的关系：

$R_b = R_B \cdot \log_2 M$      比特/秒， $R_B \leq R_b$

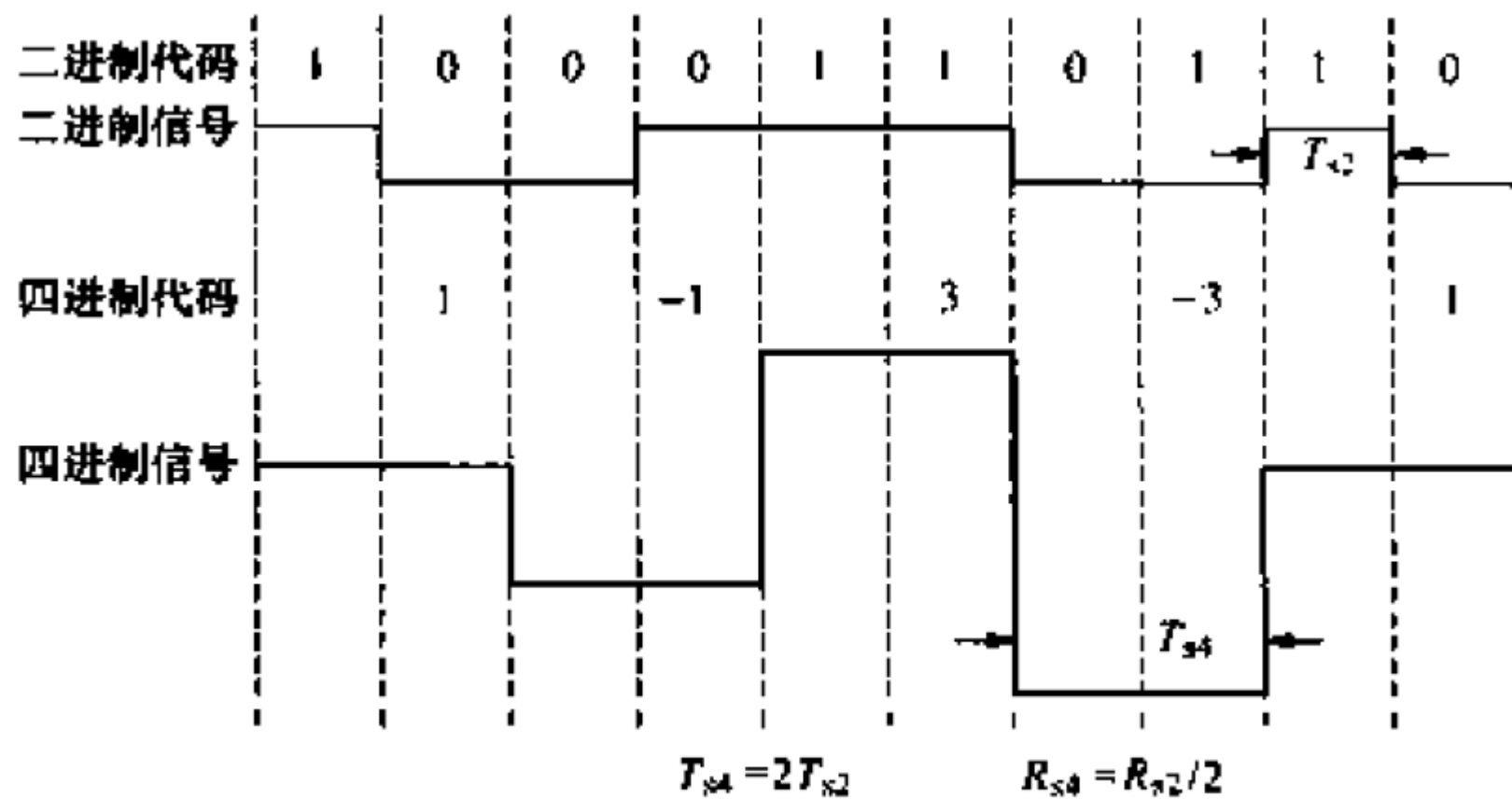


图 2-5 传码率和传信率的关系



## 2.1.5通信系统的主要性能指标

---

### (二) 数字通信系统的主要性能指标

#### 1、有效性——传输速率衡量

##### ✓频带利用率 $\eta$

单位频带内的码元/信息传输速率

$$\eta = R_B / B \quad (\text{Baud/Hz})$$

$$\text{或} \eta = R_b / B \quad (\text{b} / (\text{s} \cdot \text{Hz}))$$

##### ✓能量利用率

传输每一比特所需的信号能量



## 2.1.5通信系统的主要性能指标

### (二) 数字通信系统的主要性能指标

#### 2、可靠性

用差错概率衡量，分为：

##### (1) 误码率（误符号率）

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总的码元数}}$$

##### (2) 误比特率（误信率）

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总的比特数}}$$

注：传输、调制、接收方式若不同，则有不同的误码率和误信率



## 2.1.6信道容量与香农公式

---

信道容量**C**——指信道中无差错传输信息的最大速率bps，分为连续信道的信道容量和离散信道的信道容量。

信息传输速率 **$R \leq C$**

对于连续信道的信道容量，有著名的香农公式**2-1**：

$$C = B \log_2(1 + S/N) = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right) \quad (2-1)$$

式中：**S**为信号的功率；**B**为信道带宽；**S/N**为信道信噪比； **$n_0$** 为噪声功率谱密度。



## 2.1.6信道容量与香农公式

### 关于香农公式的说明

$$C = B \log_2(1 + S/N) = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right)$$

式中：**S**为信号的功率（W）；**B**为信道带宽（Hz）；  
**n<sub>0</sub>**为噪声功率谱密度 —— **三要素**。

(1)  $S/N \uparrow \rightarrow C \uparrow$ ， $N \rightarrow 0$ ，则  $C \rightarrow \infty$ 。

(2)  $B \uparrow \rightarrow C \uparrow$ ，但  $B$  无限增加时，信道容量趋于定值  $\lim_{B \rightarrow \infty} C = 1.44 \frac{S}{n_0}$ 。

(3) 信道容量  $C$  一定时，带宽  $B$  与信噪比  $\frac{S}{N}$  可以互换。





# 通信原理

---

## 模拟调制系统



# 本节提要

---

- 概述
- 线性调制
  - 振幅调制 (AM)
  - 双边带调制 (DSB-SC)
  - 单边带调制 (SSB)
  - 残留边带调制 (VSB)
- 非线性调制
  - 角调制基本原理
  - 频率调制 (FM)



## 2.3通信中的调制技术

---

### 2.3.1概述

#### ●两类调制

##### •线性调制：

已调信号频谱与调制信号频谱成线性关系

注：是调制前后信号频谱只有位置变化，呈线性搬移关系  
(不是线性变换)

##### •非线性调制：

已调信号频谱与调制信号频谱没有线性关系



## 2.3.1概述

---

### ●调制的目的

- 实现信号的频谱搬移。
- 实现信道多路复用，提高信道的频带利用率。
- 提高信号的抗干扰性能



## 2.3.1概述

---

### ■ 正弦波三要素

- 载波：
- $A$  为幅度  $c(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$
- $\omega_0$  为角频率，载波频率
- $\varphi_0$  为相位

### ■ 三种基本的调制方法

- 幅度调制
- 频率调制
- 相位调制



## 2.4 通信中的编码技术

---



## 2.4 通信中的编码技术

---

- 信源编码
  - 减少码元数目和降低码元速率，即数据压缩。
  - 模拟信号的数字化，即模拟信号数字化传输。
  - 脉冲编码调制(PCM)和增量调制( $\Delta M$ )、ADPCM等。
- 信道编码
  - 差错控制，“抗干扰编码”，检错和纠错



## 2.4.1 信源编码

---

模拟信号数字化，三个步骤：

- (1) 把模拟信号数字化，即模数转换（A/D）；
- (2) 进行数字方式传输；
- (3) 把数字信号还原为模拟信号，即数模转换（D/A）。

模拟信号数字化的两大类编码方法：

- **波形编码**：比特率通常在**16 kb/s~64 kb/s**范围内，接收端重建信号的质量好
- **参数编码**：提取语音信号的特征参数，变换成数字代码，其比特率在**16 kb/s**以下，但接收端重建(恢复)信号的质量不够好



- 常用的波形编码方法有PCM（脉冲编码调制）和 $\Delta M$ 。采用PCM的模拟信号数字传输系统如图，

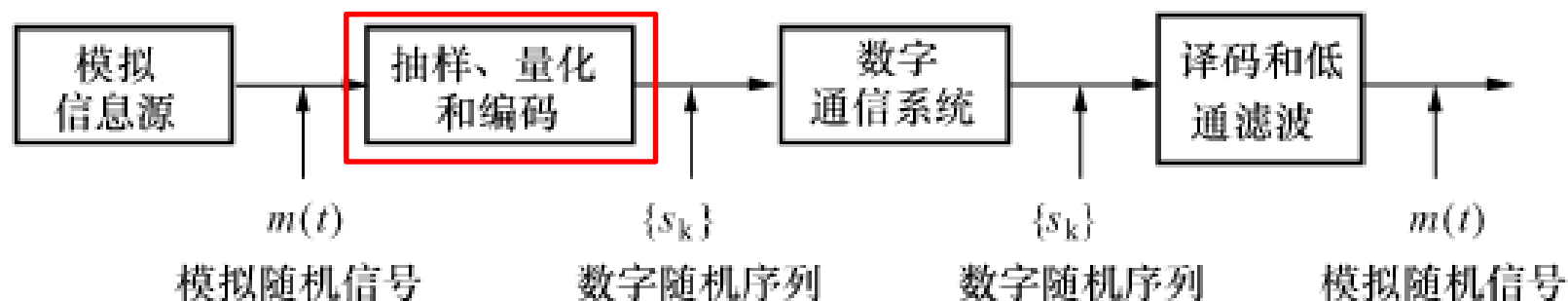
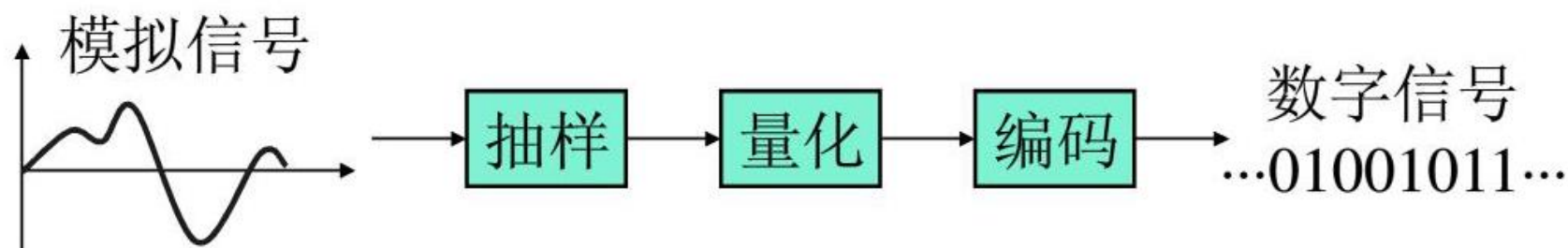


图 2—34 模拟信号的数字传输



## ■ 数字化方法

- 抽样：信号自变量的离散化（抽样定理）
- 量化：信号幅值的离散化（均匀，非均匀）
- 编码（码位，码型）





# 低通模拟信号的抽样

---

- 低通抽样定理

设一个带宽有限模拟信号 $s(t)$ 的最高频率为 $f_H$ ，若抽样频率 $f_s \geq 2f_H$ ，则可以由其抽样信号序列  $s_k(t)$ 无失真的恢复原始信号 $s(t)$ 。

- 奈奎斯特频率

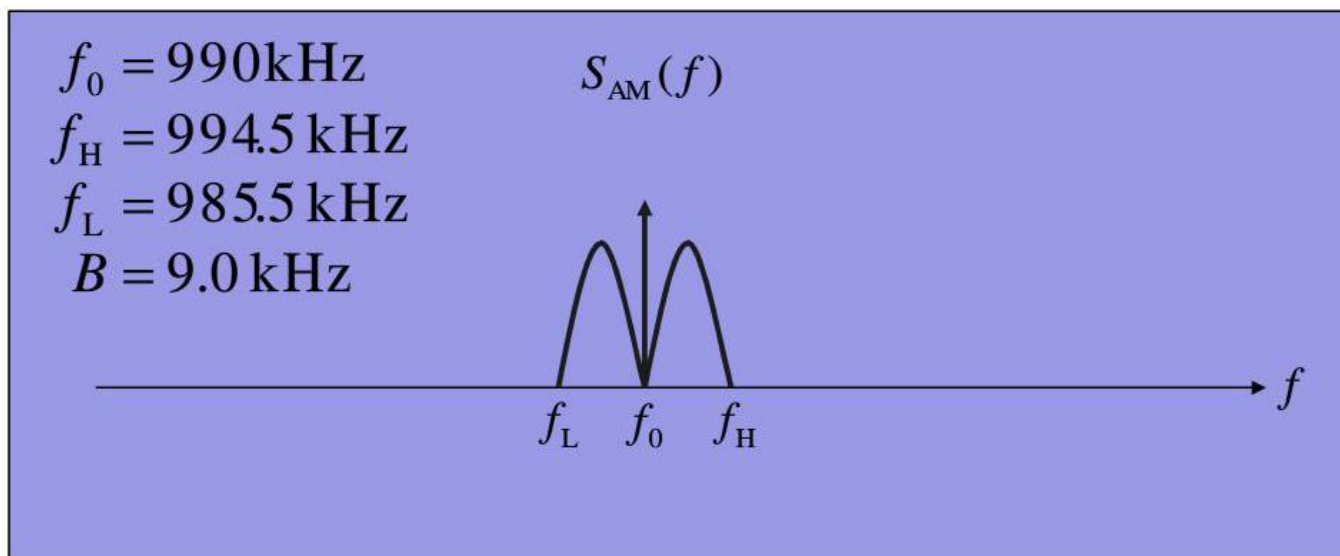
$f_s = 2f_H$ 称为奈奎斯特频率。

# 带通模拟信号的抽样

- 带通信号

设信号频谱的高端截止频率为 $f_H$ ，低端截止频率为 $f_L$ ，带宽 $B$ 。

带通信号的带宽远小于信号的中心频率。 $B \ll f_0$





# 带通模拟信号的抽样

## ■ 带通抽样定理

若 $f_H = nB + kB$ ,  $0 < k < 1$

则最小抽样频率 $f_s = ?$

满足整数倍关系:  $n f_s = 2(nB + kB)$

$$f_s = 2B \left( 1 + \frac{k}{n} \right)$$

则可以由抽样信号序列 $s_k(t)$ 无失真地恢复原信号 $s(t)$

。

式中,  $B = f_H - f_L$ ,  $f_H/B = n + k$ ,

$n$ 为不超过 $f_H/B$ 的最大整数,

$0 \leq k < 1$

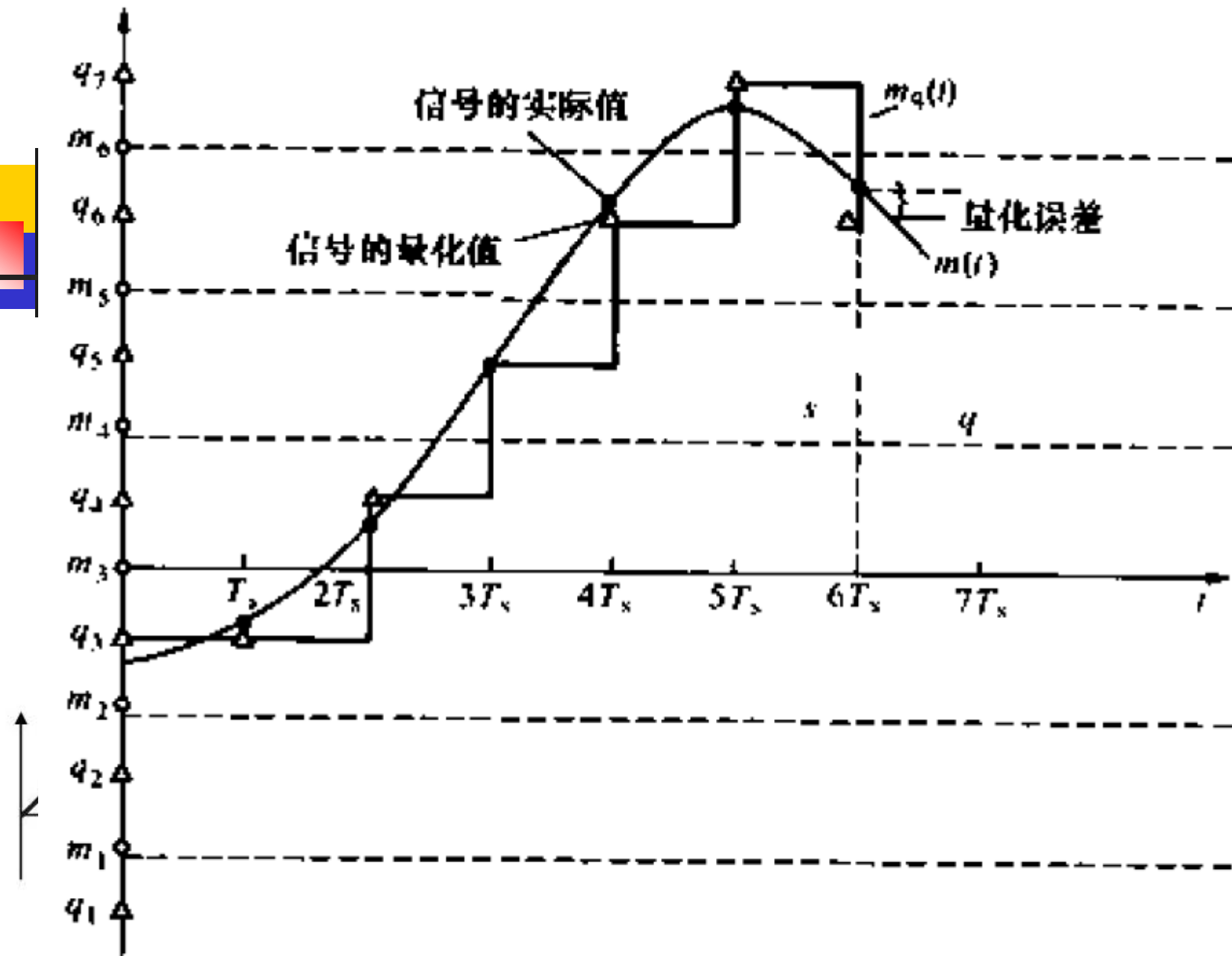


图 2-39 量化过程示意图



## 2.4.2 信道编码和差错控制

---



# 概述

---

- 信道编码
  - **基本思想**：通过对信息序列作某种**变换**，使原来彼此独立，相关性极小的信息码元产生某种**相关性**，从而在接收端利用这种规律检查或纠正信息码元在信道传输中所造成的差错。
  - **目的**：提高信号传输的可靠性
  - **方法**：增加多余比特





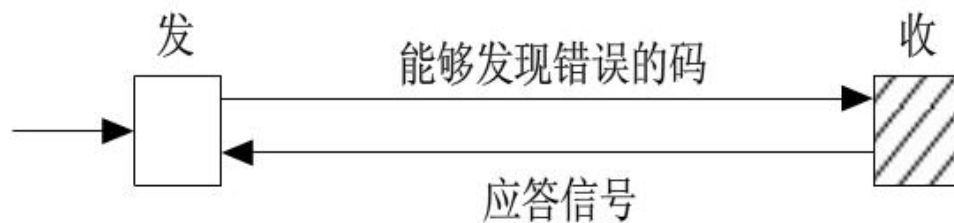
# 概述

---

- 差错控制
- 分类
  - 随机差错：随机噪声
  - 突发差错：突发噪声
- 目的
  - 发现错误
  - 纠正错误

## ■ 差错控制技术的种类

- 检错重发方式。又称自动请求重传方式，记作ARQ(Automatic Repeat Request)。
- 接收端负责检测有无错误码，如果发现错误，则反馈给发送端
- 发送端将错误的信息重新发送



(b) 检错重发 (ARQ)



## ■ 差错控制技术的种类

---

### ■ 前向纠错。(Forword Error Correction) FEC

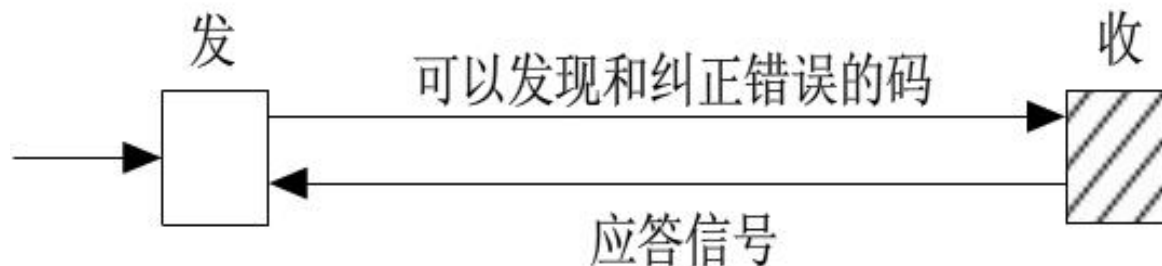
- 发送端：能够纠正错误的码
- 接收端：自动纠错



(a) 前向纠错(FEC)

## ■ 差错控制技术的种类

- 混合纠错方式。HEC(Hybrid Error Correction)是FEC和ARQ方式的结合。
- 发送端：具有自动纠正错误和检测错误能力的码
- 接收端：在纠错能力范围内，自动纠错；能检测错误，但超出纠错能力范围，反馈给发送端



(c) 混合纠错检错(HEC)



## 纠错编码的分类：

---

（1）按照信道编码的不同功能，可以将它分为检错码和纠错码。不一定能纠错，而纠错一定能检错。

（2）按照信息码元和监督码元之间的检测关系，可以将它分为线性码和非线性码。

（3）按照信息码元和监督码元之间的约束方式不同，可以将它分为分组码和卷积码。



# 纠错编码的基本原理

## 1. 分组码

一般可用 $(n, k)$ 表示。 $k$ 是信息的长度， $n$ 为码组长度，简称码长。 $r=n-k$ 表示监督位长度。

几个概念：

10110

**码长：**码字中码元的数目

**码重：**码字中非0数字的数目      3

**码距：**两个等长码字之间对应位不同的数目，有时也称作两个码字的汉明(Hamming)距离。

11000, 10011     $d=3$

**最小码距：**码组集合中任意码字之间距离的最小数值 $d_0$ 。

纠错码的抗干扰能力完全取决于许用码字之间的距离，码的最小距离越大，说明码字间的最小差别越大，抗干扰能力就越强。

分组码的**最小汉明距离**为 $d_0$ 。



## 2.5 数字基带传输系统

---

- 字符的编码方法
- 基带数字信号的波形
- 基带数字信号的码型



## 2.5.1 概述

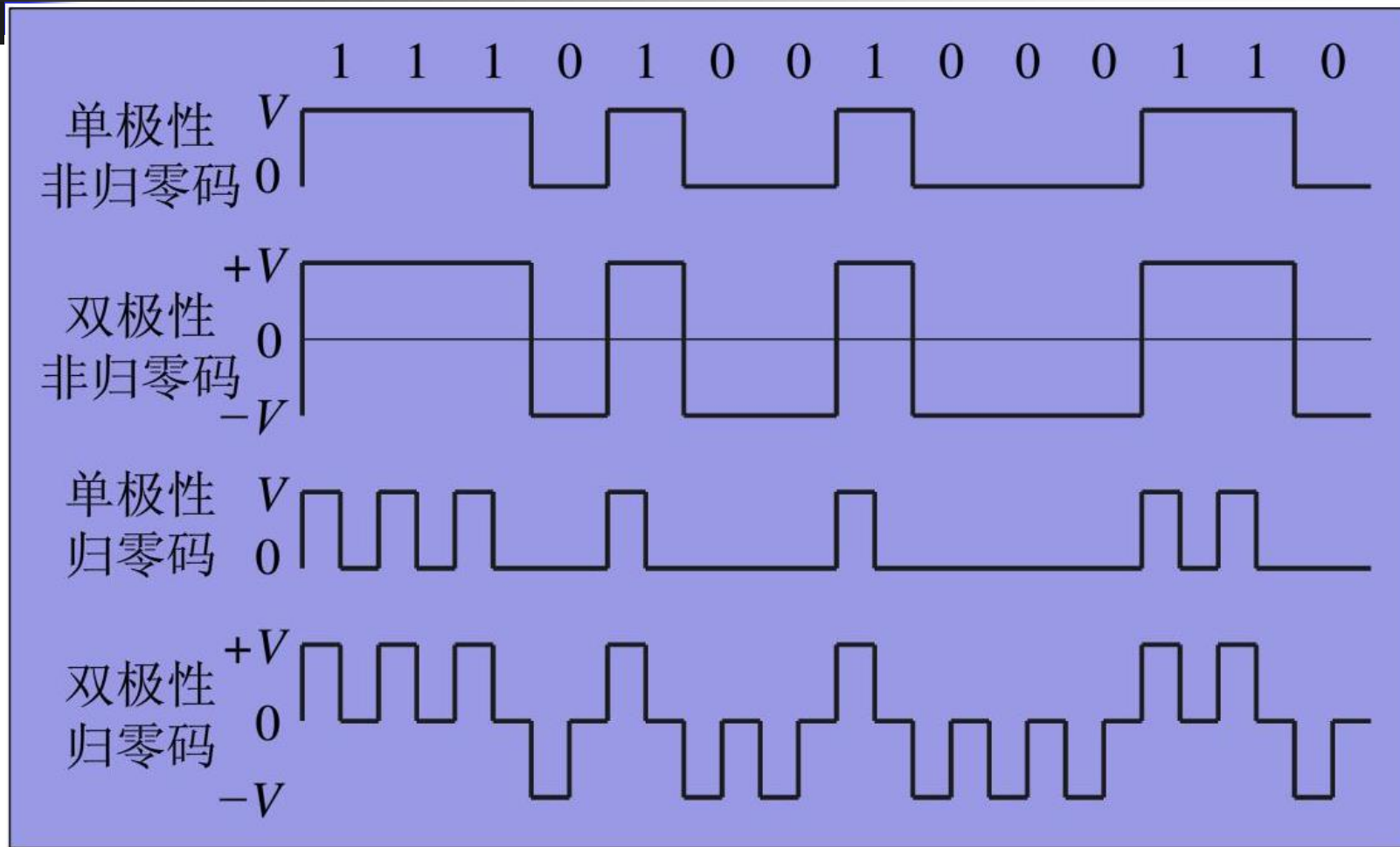
- 数字信号
  - 数字信号为一时间离散和幅度离散的序列
  - 在二进制数字信号中，幅度取0或1两个值
  - 在M进制数字信号，幅度取0,1,...,M-1等M个值
- 基带数字信号
  - 基带数字信号频带宽度与其中心频率相当
  - 基带数字信号含有直流分量或大量的低频分量
  - 基带数字信号传输的要求
- 基带数字信号传输的要求
  - 为了除去直流分量和频率很低的分量
  - 为了在接收端得到每个码元的起止时刻信息
  - 为了使信号的频率和信道的传输特性相匹配



## 2.5.2 基带数字信号的波形

- 基带数字波形的基本表示方法
  - 单极性波形：用正（负）电平和零电平分别表示1和0；
  - 双极性波形：用正电平和负电平分别表示1和0；
  - 非归零波形：在整个码元周期 $T$ 内电平保持不变；
  - 归零波形：在码元周期 $T$ 内电平只持续一段时间，余下时间返回到零电平。
- 四种基本数字波形
  - 单极性非归零码
  - 双极性非归零码
  - 单极性归零码
  - 双极性归零码

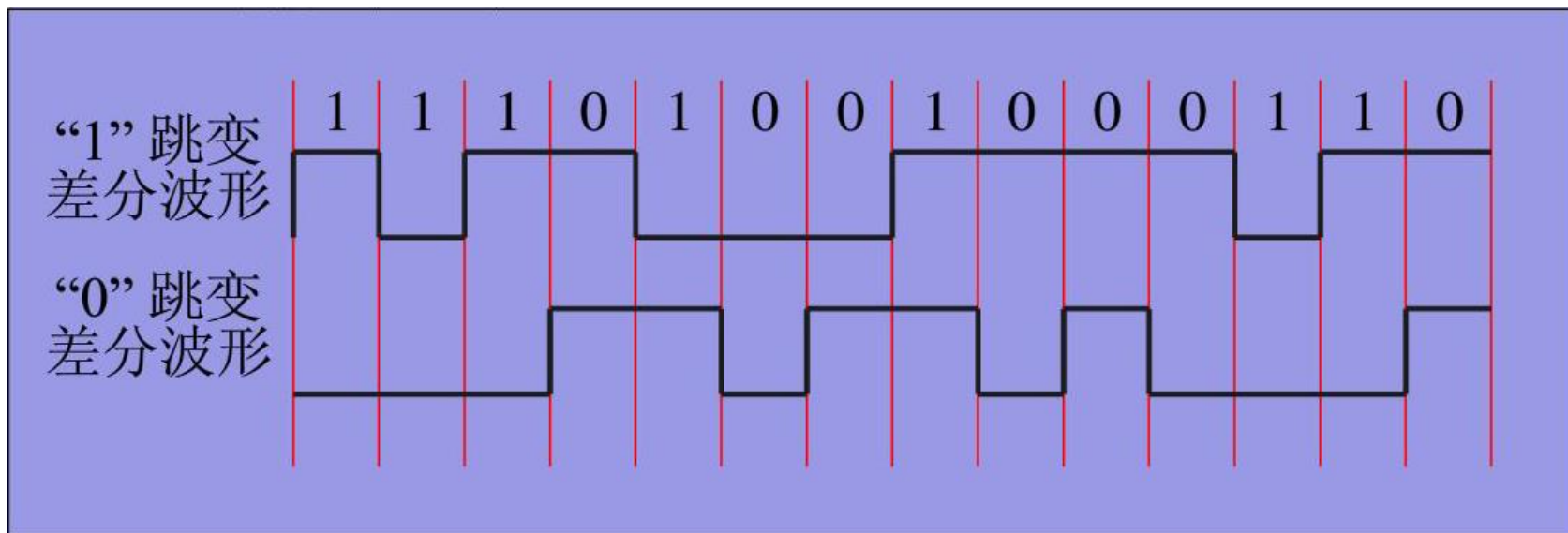
## 2.5.2 基带数字信号的波形



## 2.5.2 基带数字信号的波形

### ■ 差分波形

用电平的跳变或不变，而不是电平值的高低，分别表示1和0。





## 2.5.3 基带数字信号的传输码型

---

- 传输码型的要求
- 低频分量少
- 无直流分量
- 容易提取码元定时信息
- 频带宽度窄，或传输效率高
- 抗干扰性能强，有一定的检错能力
- 与信源的统计特性无关
- 实现代价低

# 基带数字信号的传输码型

- AMI（传号反转码） **Alternate Mark Inversion（AMI）**
  - 用三种取值的信号幅度表示二进制码。三种幅度的取值分别为： $+V$ ， $0$ ， $-V$ 。
  - $0$ 用 $0$ 电平表示；**1交替地用 $+V$ 和 $-V$ 的半占空比归零码表示。**
  - AMI的直流分量为零，能量集中在 $1/2$ 码元速率处，信号经全波整流后可提取位定时信号。
  - 不足：原码出现连“ $0$ ”串时，提取定时信号困难。

消息代码：	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
AMI 码：	+1	0	0	-1	+1	0	0	0	0	0	0	0	-1	+1	0	0	-1	+1

# 基带数字信号的传输码型

- $HDB_3$  (3阶高密度双极性码) High Density Bipolar( $HDB_3$ )
  - 连续4个0, 第4个0变换成V码;
  - V码交替;
  - V码应与前邻传号码极性相同;
  - 若无法保证极性相同, 则第1个0变换成B码, 极性与前一非零符号的相反;

代码:	1000	0	1000	0	1	1	000	0	1	1
AMI 码:	-1000	0	+1000	0	-1	+1	000	0	-1	+1
$HDB_3$ 码:	-1000	-V	+1000	+V	-1	+1	-B00	-V	+1	-1



## HDB<sub>3</sub>（3阶高密度双极性码） High Density Bipolar(HDB<sub>3</sub>)

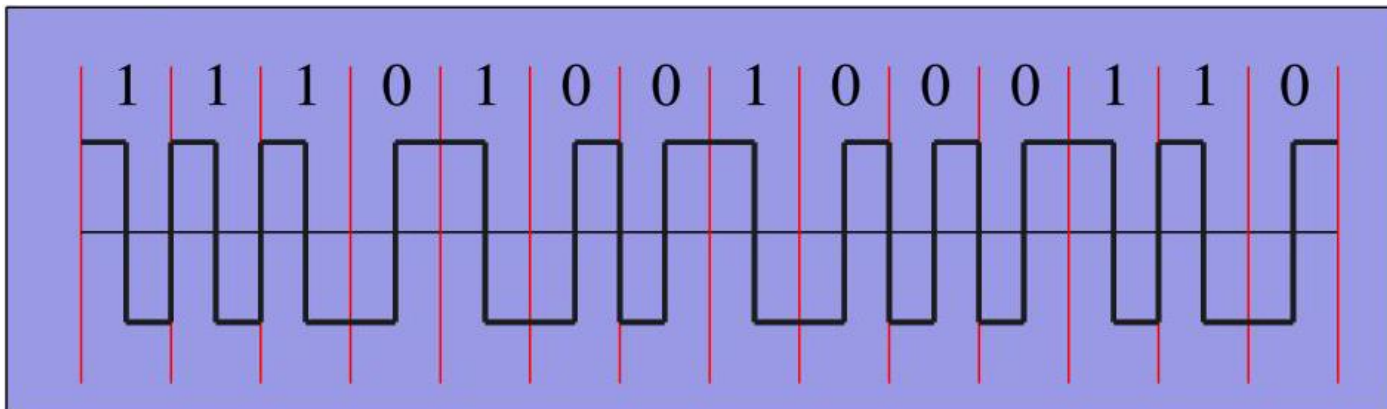
HDB<sub>3</sub>的却比较简单，同时它对定时信号的恢复是极为有利的。

HDB<sub>3</sub>是CCITT推荐使用的码之一。

译码：确定V码（与前一个非零码同极性）；恢复4连0码；  
将-1码变1码。

# 基带数字信号的传输码型

- 双相码 **biphase code** 曼彻斯特码 (**Manchester code**)
  - 用码元中心正跳变表示0，负跳变表示1
  - 含有位定时信息；双极性，无直流分量；频带较宽；易实现（时钟脉冲与单极性非归零码相异或）。
  - 多用于以太网。
  - 缺点：频带利用率低。

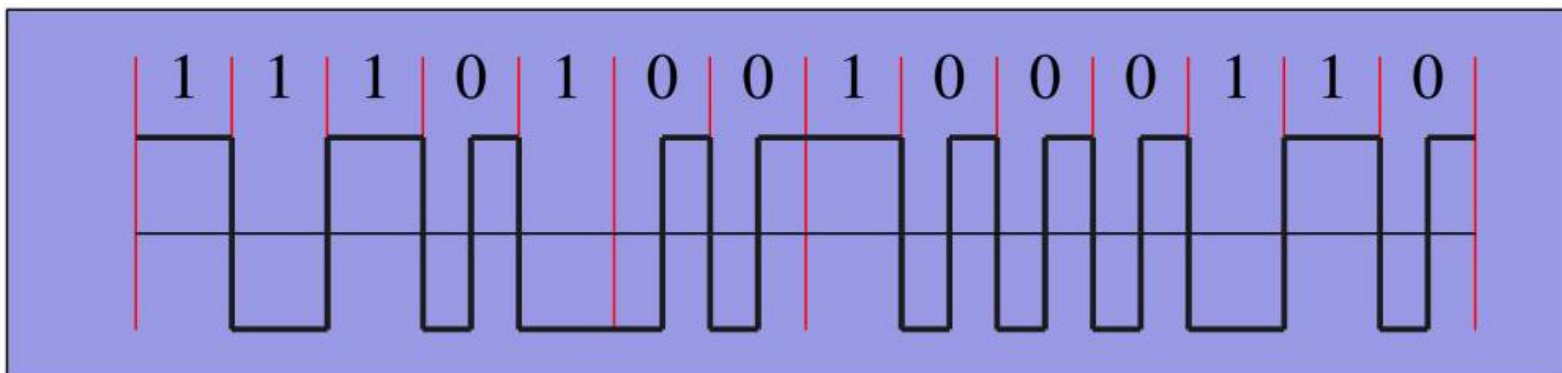




# 基带数字信号的传输码型

## ■ CMI码

- 1 交替地用高、低电平表示；0用码元中心正跳变表示。
- 因0和1的高、低电平都是交替出现的，故CMI码无直流分量；易于提取位定时信号；实现简单。
- 1) 有较多的电平跃变，定时信息丰富
- 2) CCITT推荐的PCM高次群接口码型





## 2.6 通信中的复用和多址技术

---

- 多路复用
- 目的：多路信号同时在同一信道中传输
- 3种多路复用基本方法：
  - 频分复用（**FDM**: frequency division multiplexing）
  - 时分复用（**TDM**: time division multiplexing）
  - 码分复用（**CDM**: code division multiplexing）
- 3种多路复用新方法：
  - 空分复用（**SDW**: space）
  - 极化复用（**PDW**: polarization）
  - 波分复用（**WDM**: wave）

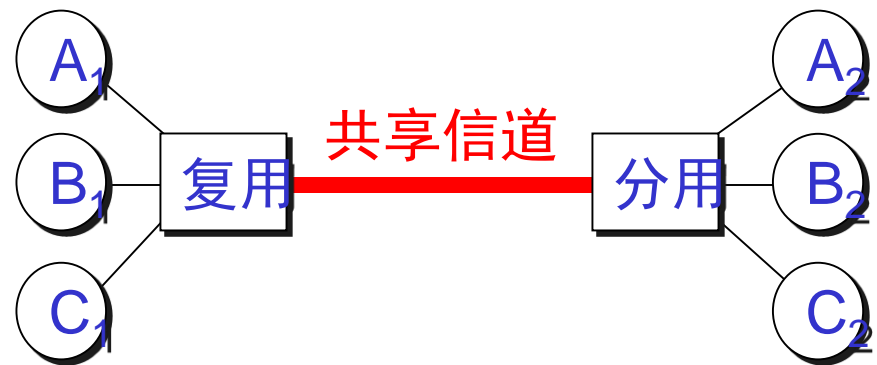
## 2.4 信道复用技术

### 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。



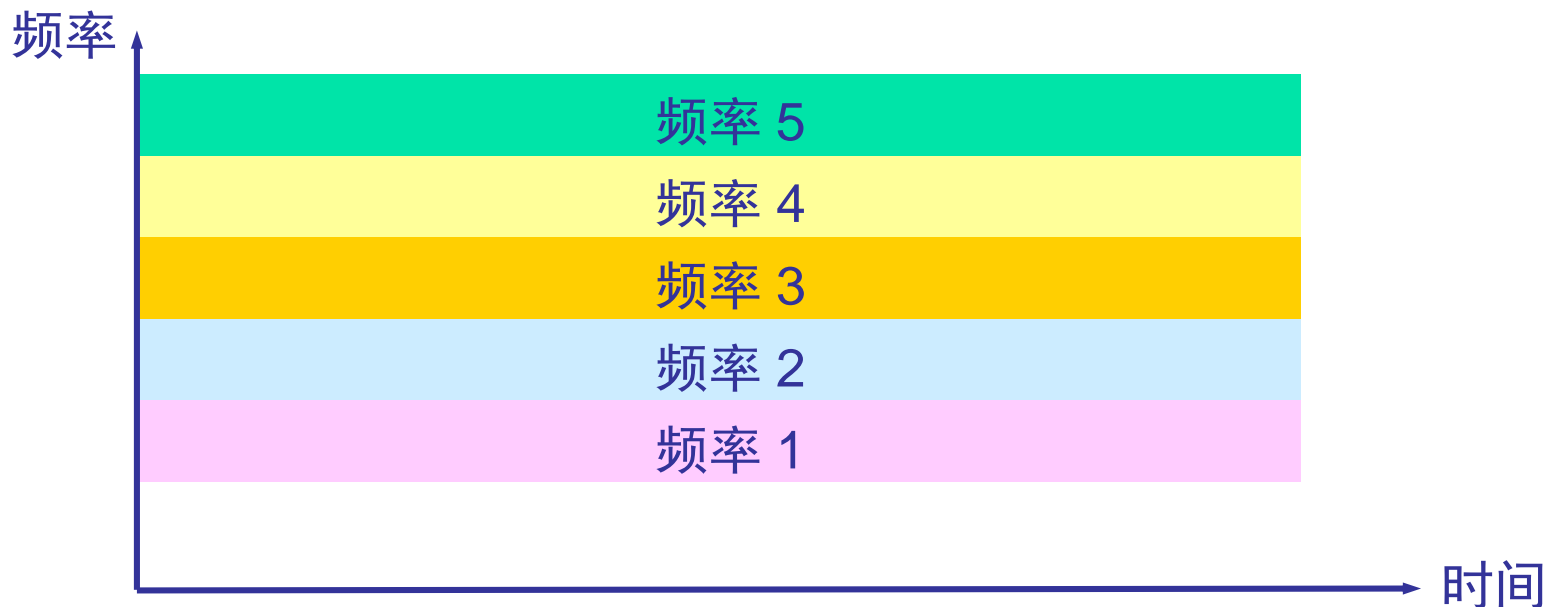
(a) 不使用复用技术



(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）。



# 频分复用 FDM

## (Frequency Division Multiplexing)

- 当复用的用户数增加时，复用后的信道的总带宽就跟着变宽。
- 例如：传统的电话通信每个标准话路的带宽是**4kHz**，那么如果有**1000**个用户进行频分复用，则复用后的总带宽就是**4MHz**。

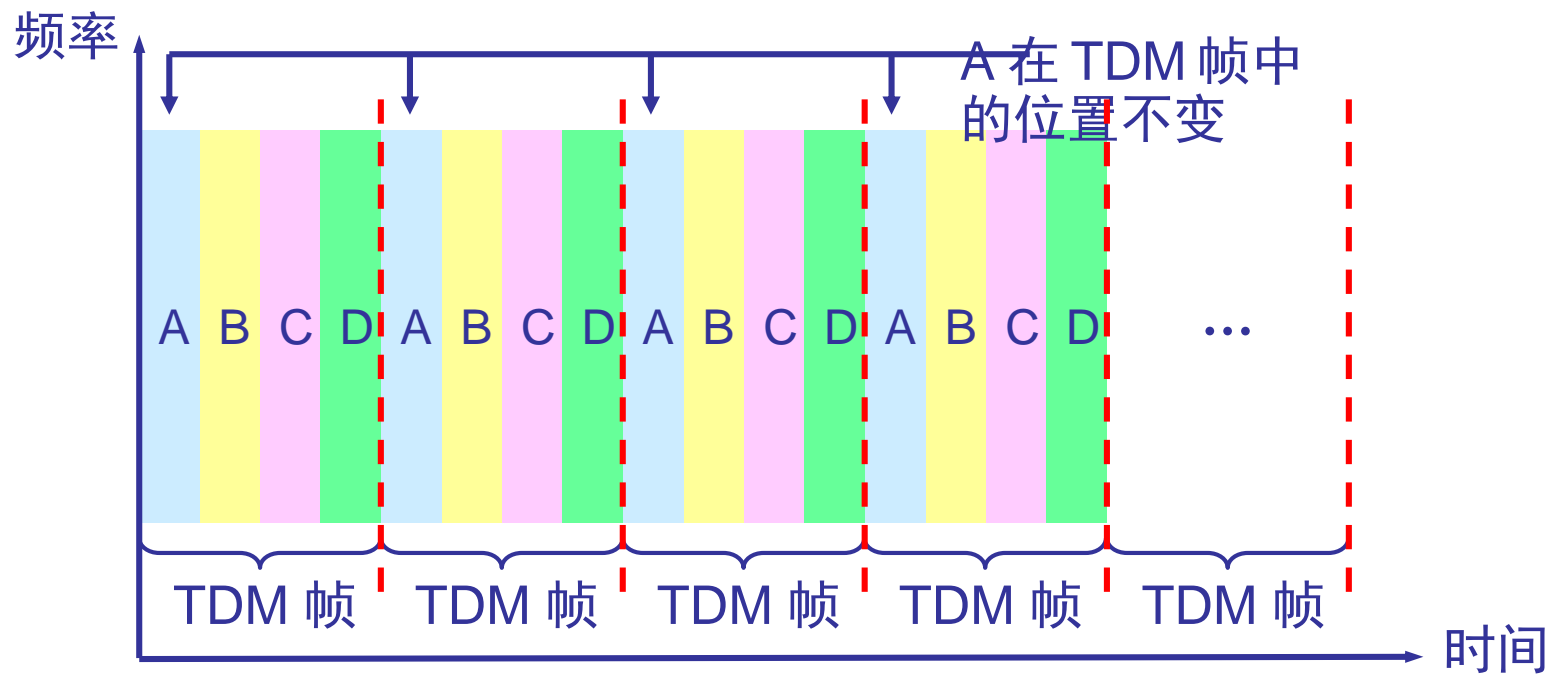


# 时分复用TDM (Time Division Multiplexing)

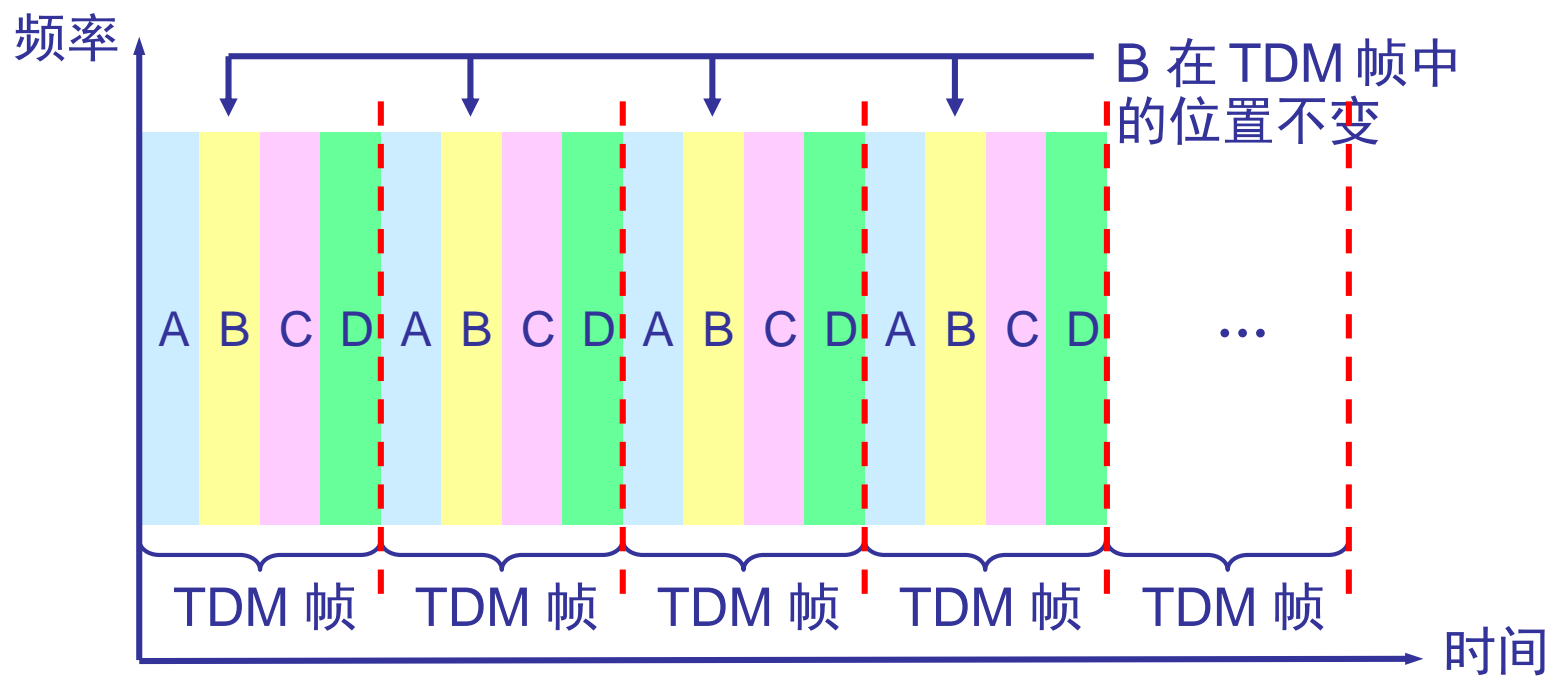
---

- 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



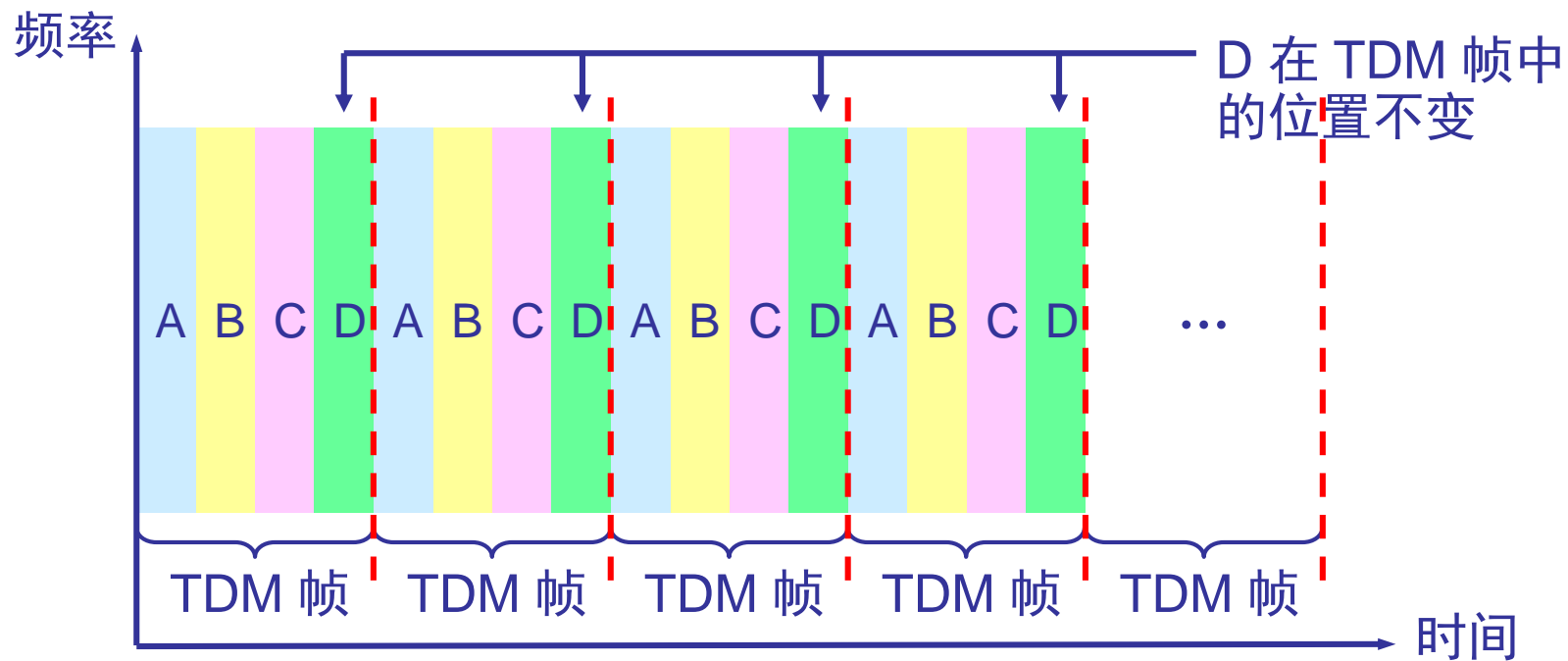
# 时分复用







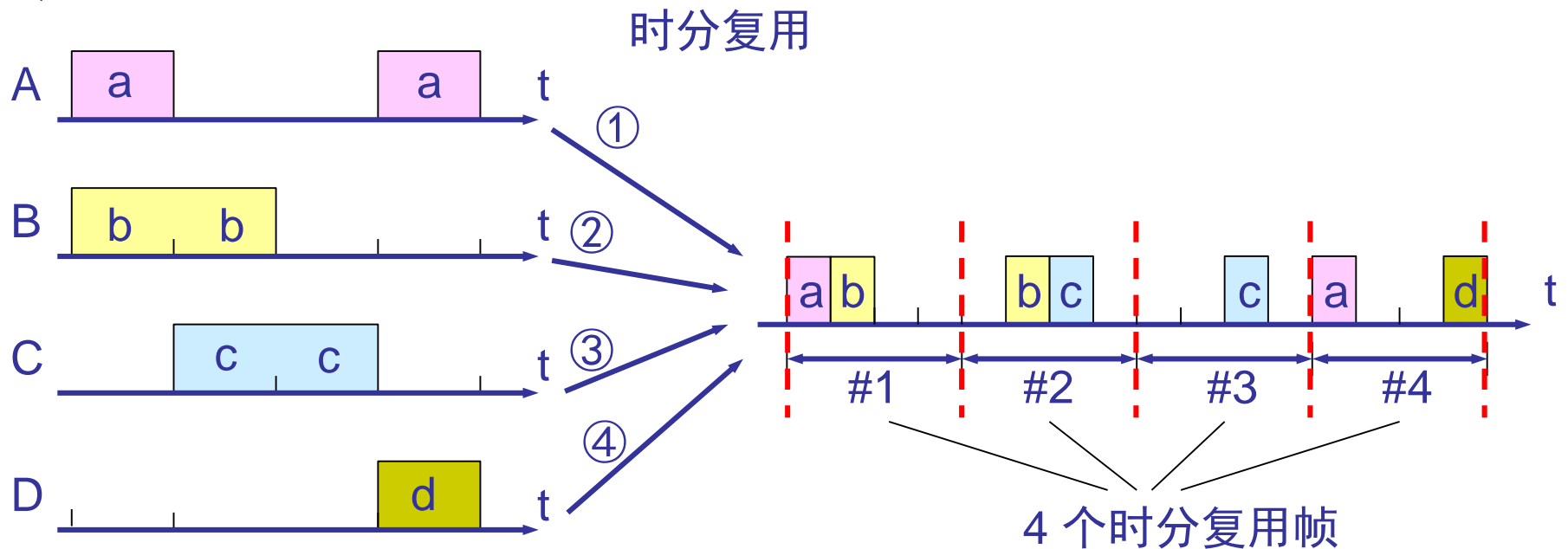
# 时分复用



# 时分复用可能会造成 线路资源的浪费

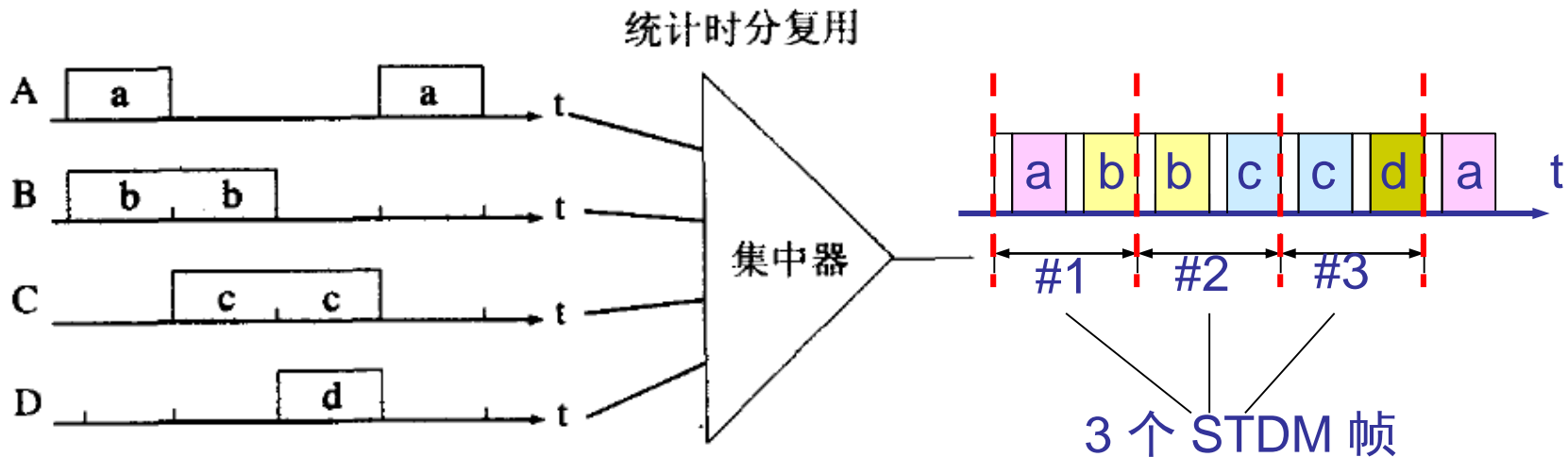
使用时分复用系统传送计算机数据时，  
由于计算机数据的突发性质，用户对  
分配到的子信道的利用率一般是不高的。

用户



# 统计时分复用 STDMM

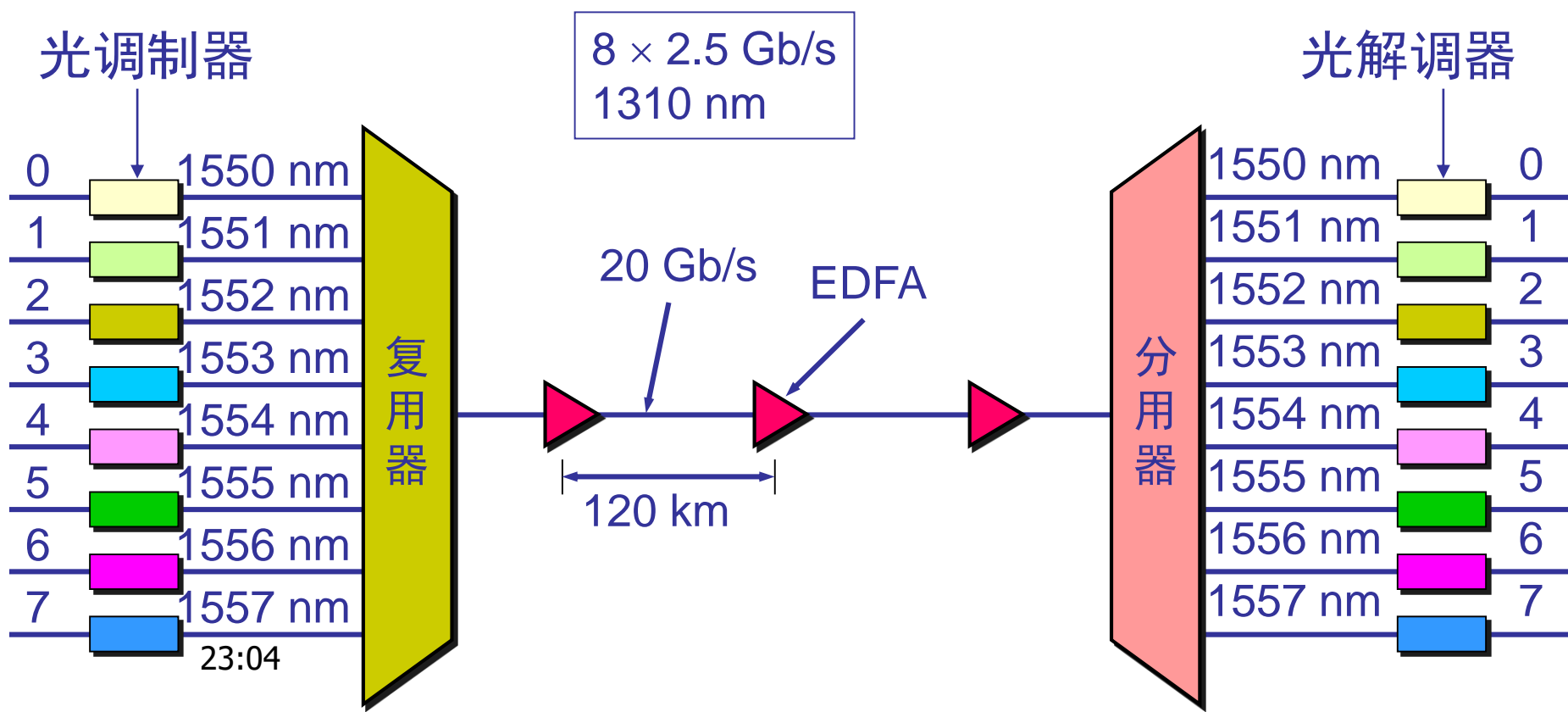
## (Statistic TDM)



- 每个STDMM帧中的时隙数小于连接在集中器上的用户数。
- 用户有数据时随时发往集中器，集中器按顺序依次扫描输入缓存，将缓存中的输入数据放入STDMM帧中，当一个帧的数据放满，就发送出去。
- STDMM帧不是固定分配时隙，而是按需动态地分配时隙。

## 2.4.2 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- 波分复用就是光的频分复用。由于光载波的频率很高，因此习惯上用波长而不用频率来表示所使用的光载波。





## 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**。

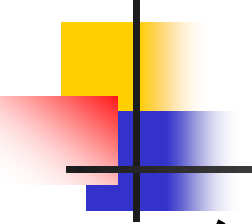




# 码片序列的正交关系

- 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:

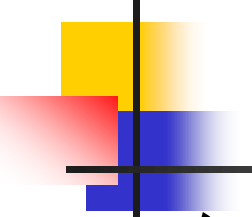
$$\mathbf{S} \bullet \mathbf{T} \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (2-3)$$



## 码片序列的正交关系举例

---

- 令向量 **S** 为 $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$ , 向量 **T** 为 $(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$ 。
- 把向量 **S** 和 **T** 的各分量值代入(2-3)式就可看出这两个码片序列是正交的。



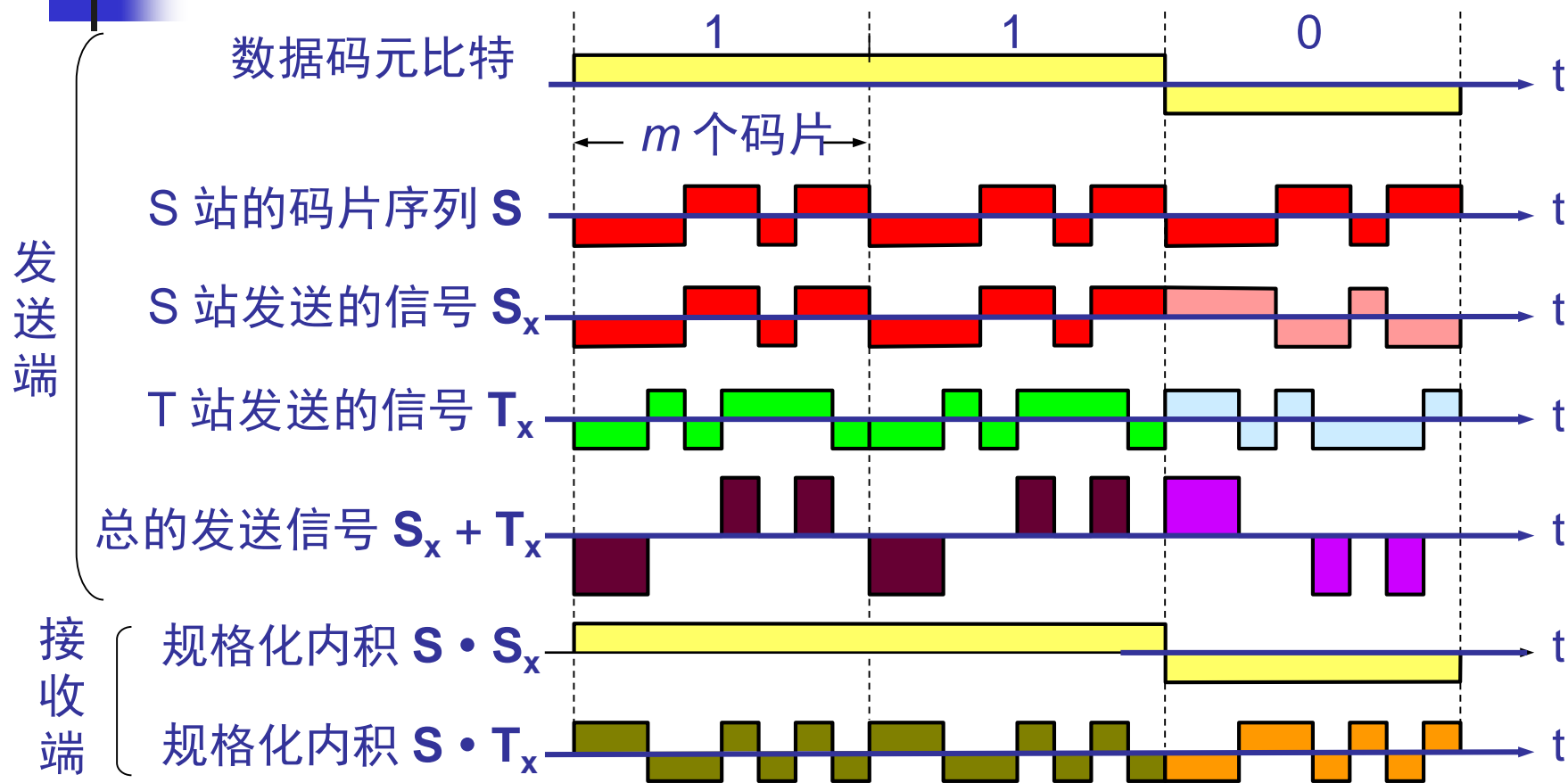
## 正交关系的另一个重要特性

- 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**。

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

- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 **-1**。

# CDMA 的工作原理





# CDMA 的优点

---

- 最早应用于军事，抗干扰能力强，其频谱类似于白噪声，不容易被敌人发现。
- 采用**CDMA**可提高话音质量和数据传输的可靠性。
- 可增大通信系统的容量(是使用**GSM**的**4-5倍**)，从而**降低手机的平均发射功率**。