

CDMA 技术简介

- ❑ 扩频通信技术
- ❑ 码分信道技术
- ❑ 使用的各种序列
- ❑ 四相扩频技术
- ❑ 四相调制技术
- ❑ 语音编码技术
- ❑ 信道编码技术
- ❑ 功率控制技术
- ❑ 信道结构及组成

CDMA

扩频通信技术

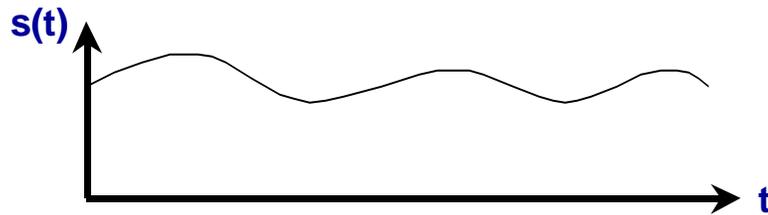
频谱的概念

□ 在频率轴上表现的信号强度分布

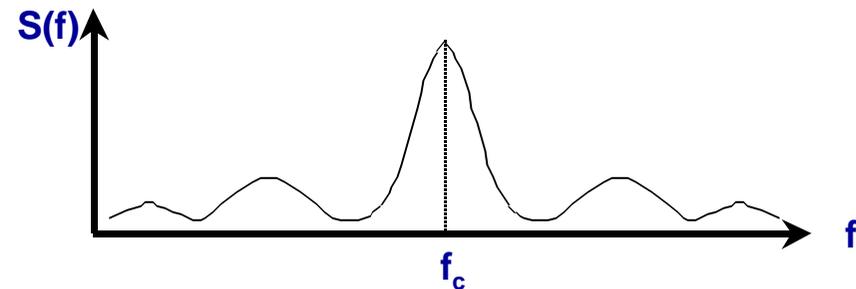
□ 表现信号的一种方式

✓ 用于表现信号的各种因素

时间(t)，频率(f)，强度(s)，周期(T)，相位(q)等

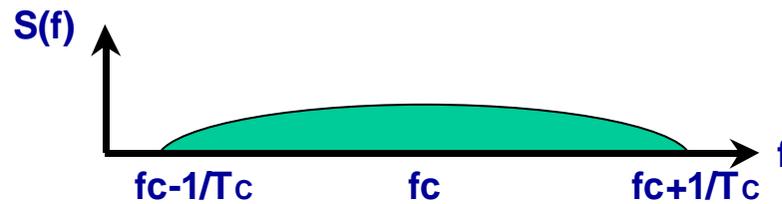
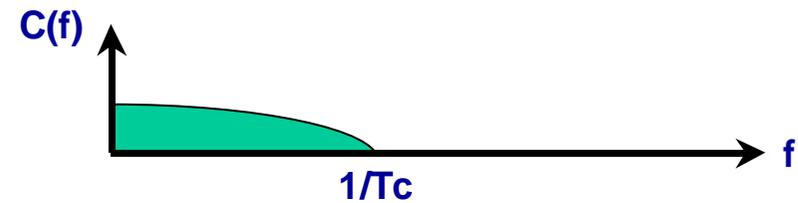
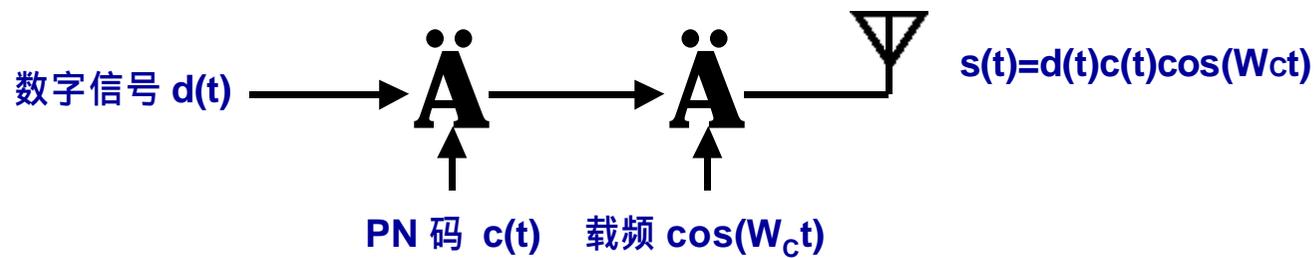


时间轴上的信号强度分布

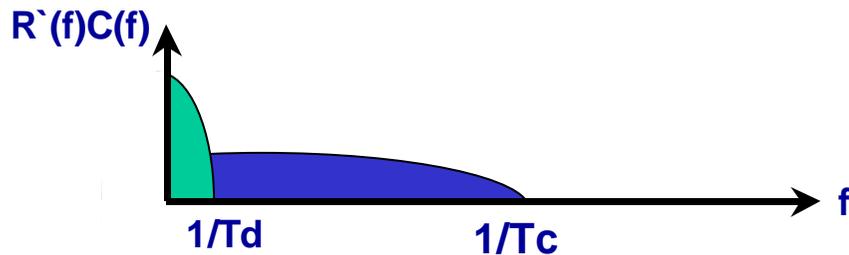
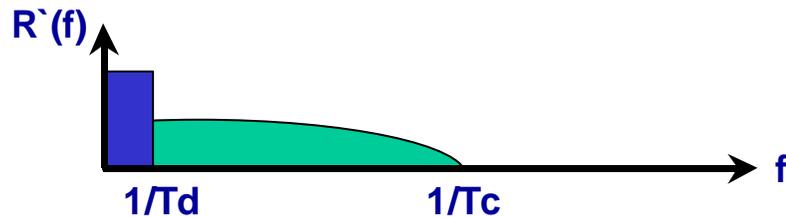
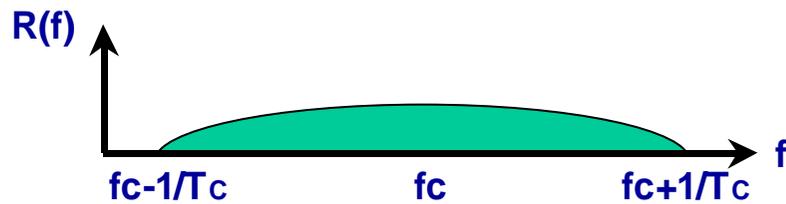
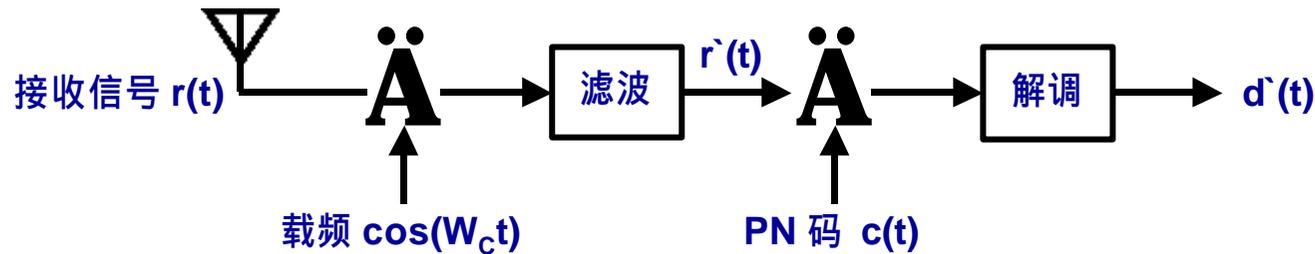


频率轴上的信号强度分布

CDMA 扩频通信原理



CDMA 扩频通信技术



$$r(t) = d(t)c(t) \cos(W_c t) + I(t)$$

$$r'(t) = \text{LPF}\{[d(t)c(t) \cos(W_c t) + I(t)] \cos(W_c t)\}$$

$$= d(t)c(t) \text{LFP}\{[1 + \cos(W_c t)]/2\} + \text{LPF}\{I(t) \cos(W_c t)\}$$

$$= d(t)c(t) + I'(t)$$

$$r'(t)c(t) = d(t)c(t)c(t) + I'(t)c(t)$$

$$= d(t) + I'(t)c(t)$$

$$d'(t) = d(t) + I'(t)$$

问题：

- 1) 如果干扰信号的带宽较大，信号较强时会出现什么情况？
- 2) 如果干扰信号的带宽大于 CDMA 信道带宽，并且信号强度大于 CDMA 信号时会出现什么情况？
- 3) 如果某一个移动台的功率控制功能失效，并且维持大功率发射时会出现什么情况？
- 4) 当移动台高速移动时，窄带通信与宽带通信方式比较，理论上哪种方式更为优越？

结论：

❑ 抗干扰性能好

✓ 干扰信号的扩散

✓ 频率分集 - 解决频率的选择性衰落问题

❑ 保密性强

✓ 使用PN码进行扩散

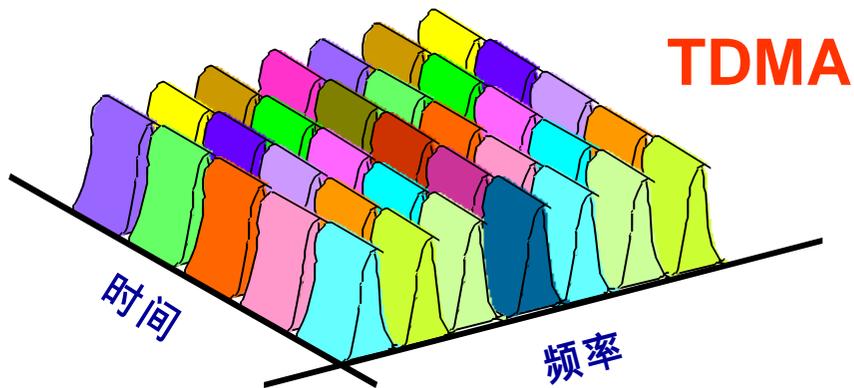
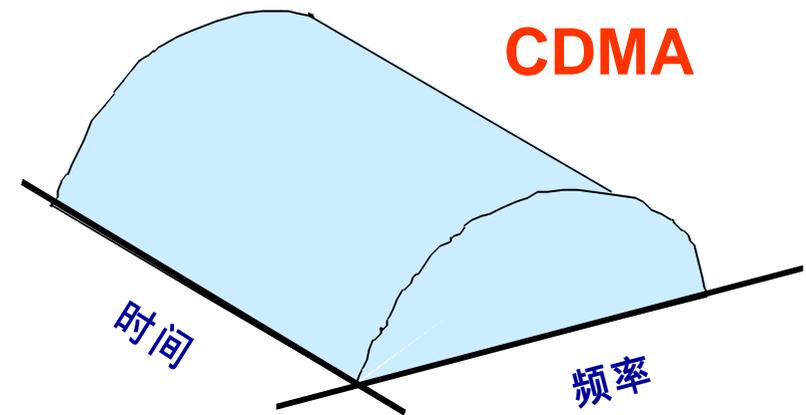
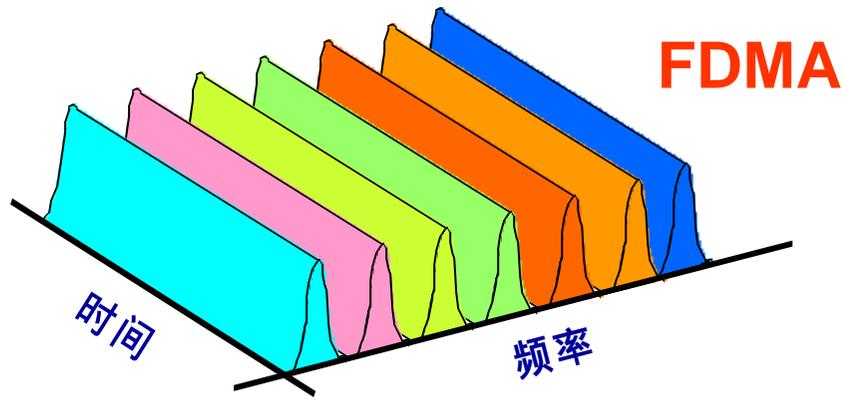
✓ 低功率发射

❑ 可采用码分多址技术

CDMA

码分信道技术

码分信道概念



码分信道概念的理解

“Hello”



“Buenos Dias”



“Shalom”

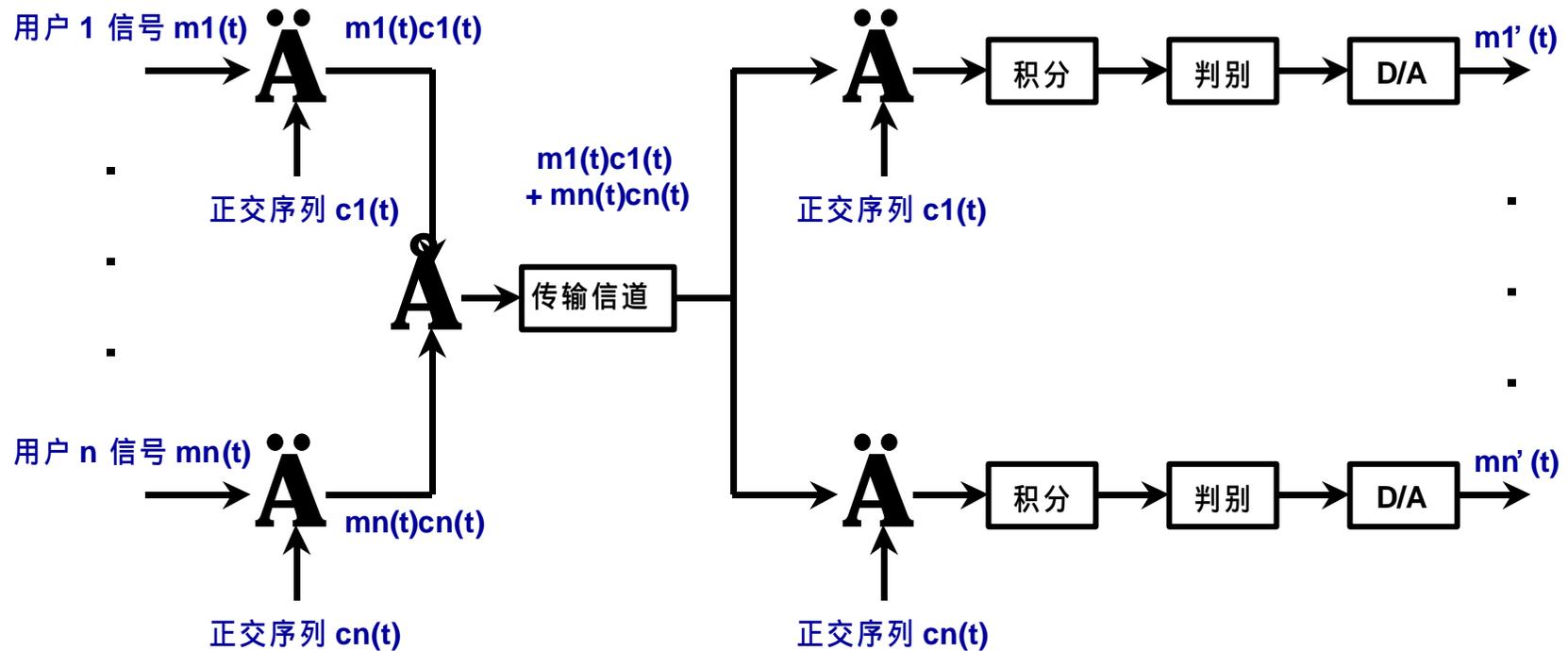
“Bonjour”



“Yaho”



码分多址原理



正交序列的定义：

如果两个序列 x 和 y 的互相关值为 0 ，称这两个序列为正交序列。即序列 x 和 y 具有正交性。用公式表示为：

$$R_{xy}(0) = \sum_i^I x_i y_i = 0$$

例： $x = \{-1 \ -1 \ +1 \ +1\}$ ， $y = \{-1 \ +1 \ +1 \ -1\}$

则 $R_{xy}(0) = (-1)(-1) + (-1)(+1) + (+1)(+1) + (+1)(-1) = 0$

当用 2 进制数 0 表示 -1 , 2 进制数 1 表示 +1 时 , 上述两个序列 x 和 y 可表示为 :

$$x = \{0 \ 0 \ 1 \ 1\}, \quad y = \{0 \ 1 \ 1 \ 0\}$$

在直接序列扩频 CDMA 方式中采用的正交序列具有如下特点 :

- ✓ 互相关值为 0 或接近于 0
- ✓ 序列中 0 和 1 的个数相同或相差个数不大于 1 个
- ✓ 自相关值除以序列长度后的值为 1

举例：

	数据	正交序列	正交调制结果 (模 2 相加)
用户 1	00	0101	01010101
用户 2	10	0011	11000011
用户 3	11	0000	11111111

模 2 相加规则：

$$0 + 0 = 0, \quad 1 + 1 = 0,$$

$$0 + 1 = 1, \quad 1 + 0 = 1, \quad -1 = 1$$

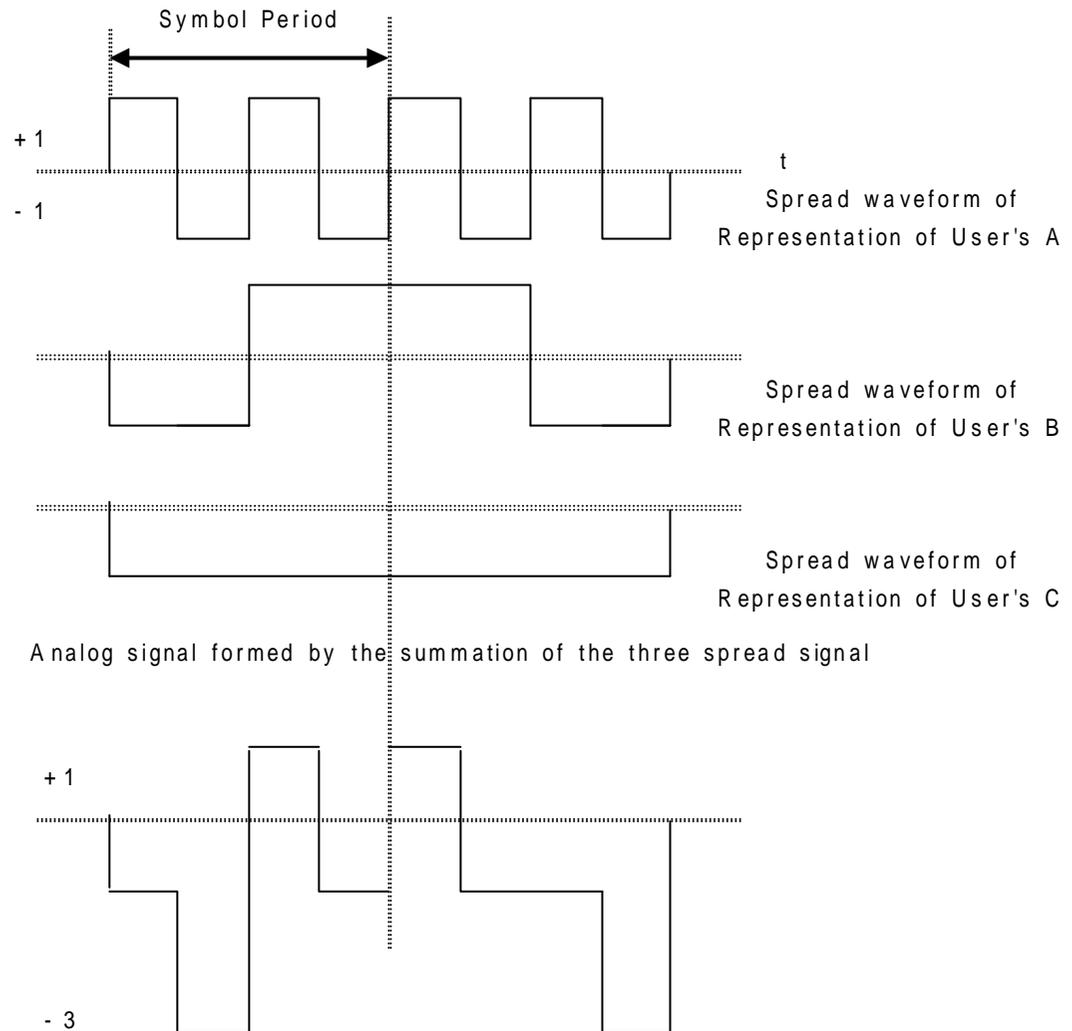
发送方处理过程

正交调制后的用户 A 信号 →

正交调制后的用户 B 信号 →

正交调制后的用户 C 信号 →

用户 A, B 及 C 信号的模拟相加, 即发送出去的混合信号。



Example of Spreading with Three Users

接收方处理过程

1) 波形 1 × 波形 2 = 波形 3

波形 1：接收到的混合信号

波形 2：用户 A 的正交序列 (0101)

2) 将波形 3 按周期 (对应正交序列长度) 进行模拟取和

$$(-1) + (+3) + (+1) + (+1) = +4$$

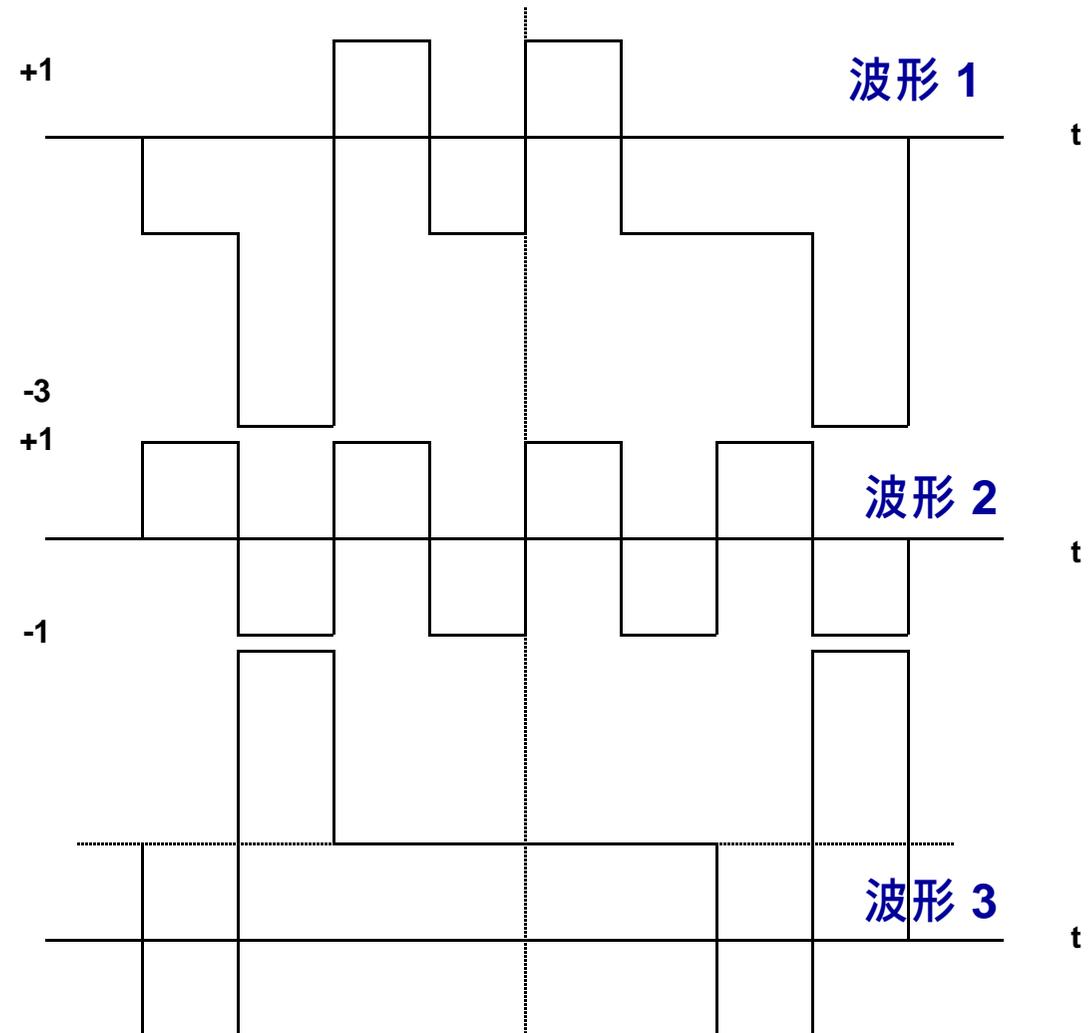
$$(+1) + (+1) + (-1) + (+3) = +4$$

3) 判别

$$+4/4 \stackrel{3}{=} 1 \quad \text{Ⓜ} \quad 0$$

$$+4/4 \stackrel{3}{=} 1 \quad \text{Ⓜ} \quad 0$$

得用户 A 信号 00。



CDMA

使用的各种序列

Walsh 函数 (Walsh 正交序列)

特点：

- ✓ 由 64 个相互正交的 64 位长序列组成
- ✓ 具备正交序列的特点 (0 号序列除外)
 - ✎ 互相关值为 0
 - ✎ 序列中 0 和 1 的个数相同
 - ✎ 自相关值除以序列长度后的值为 1
- ✓ 仅当序列之间保持严格同步时，满足“互相关值为 0”的要求

生成方法：

利用下面的哈达马德行列式生成：

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix}$$

哈达马德根行列式为：

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

哈达马德 4 阶行列式为：

$$H_4 = \begin{bmatrix} H_2 & H_2 \\ H_2 & \overline{H_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

取上式中的各行，即得如下 4 个 4 位长的正交序列：

$$W_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad \text{或表示为} \quad W_0 = [-1 \ -1 \ -1 \ -1]$$

$$W_1 = [0 \ 1 \ 0 \ 1] \quad W_1 = [-1 \ +1 \ -1 \ +1]$$

$$W_2 = [0 \ 0 \ 1 \ 1] \quad W_2 = [-1 \ -1 \ +1 \ +1]$$

$$W_3 = [0 \ 1 \ 1 \ 0] \quad W_3 = [-1 \ +1 \ -1 \ +1]$$

Walsh 正交序列在 CDMA 系统中的应用

□ 前向信道

- ✓ 码分信道
- ✓ 扩频

□ 反向信道

✓ 64 阶正交调制

- ☞ 每 6 个码符号对应一个 Walsh 序列
- ☞ 反向信道采用非同步传输方式
- ☞ 准确解调出传送的码符号
- ☞ 提高纠错能力

PN 码 (PN 序列)

特点：

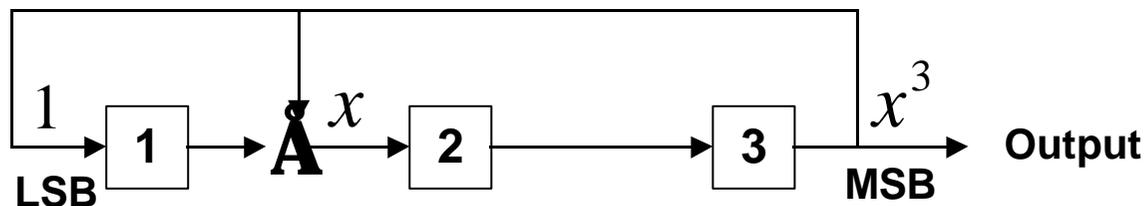
- ✓ CDMA 系统中使用的 PN 码属于 m 序列
- ✓ 具备正交序列的特点
 - ☞ 互相关值接近于 0 (周期很大时)
 - ☞ 序列中 0 和 1 的个数相差大于 1 个
 - ☞ 自相关值除以序列长度后的值为 1
- ✓ 同一 m 序列的不同相位序列之间的互相关值接近于 0
- ✓ 一个 m 序列和其移位后的序列逐位模 2 相加，仍得 m 序列
- ✓ 位长为 r 的 m 序列的周期为 $2^r - 1$

m 序列的生成方法：

如果一个 m 序列的生成原本多项式为

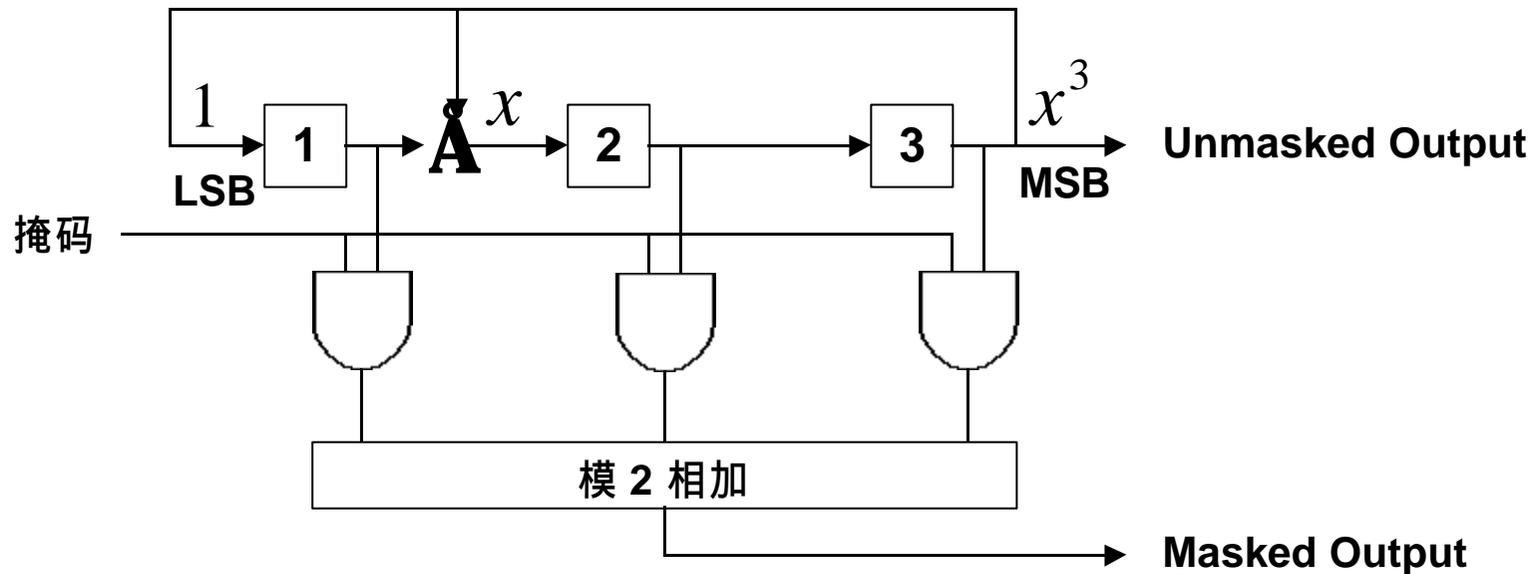
$$g(x) = x^3 + x + 1$$

则对应的 m 序列发生器为



CDMA 使用的各种序列

或



根据同一生成原本多项式生成的经过掩码的 m 序列和没有经过掩码的 m 序列，属于同一 m 序列，仅只相位不同。使用不同的掩码，可得到相位不同的 m 序列。

CDMA 使用的各种序列

当寄存器的初始值为 101，掩码为 100时，根据上面的 m 序列发生器产生的 m 序列如下：

节拍	寄存器输出			输出 (不经掩码)	输出 (经掩码后)
	1	2	3		
0	1	0	1	1	1
1	1	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	1	0
4	1	1	0	0	1
5	0	1	1	1	0
6	1	1	1	1	1
7	1	0	1	1	1

可见其周期为 $2^3 - 1 = 7$

CDMA 使用的各种序列

通过将上面的 m 序列 $P_0 = [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1]$ 逐位移位，可得到 7 个相位不同的 m 序列：

$P_0 = [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1]$	或表示为	$P_0 = [+1\ -1\ -1\ +1\ -1\ +1\ +1]$
$P_1 = [1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1]$		$P_1 = [+1\ +1\ -1\ -1\ +1\ -1\ +1]$
$P_2 = [1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0]$		$P_2 = [+1\ +1\ +1\ -1\ -1\ +1\ -1]$
$P_3 = [0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1]$		$P_3 = [-1\ +1\ +1\ +1\ -1\ -1\ +1]$
$P_4 = [1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0]$		$P_4 = [+1\ -1\ +1\ +1\ +1\ -1\ -1]$
$P_5 = [0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0]$		$P_5 = [-1\ +1\ -1\ +1\ +1\ +1\ -1]$
$P_6 = [0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1]$		$P_6 = [-1\ -1\ +1\ -1\ +1\ +1\ +1]$

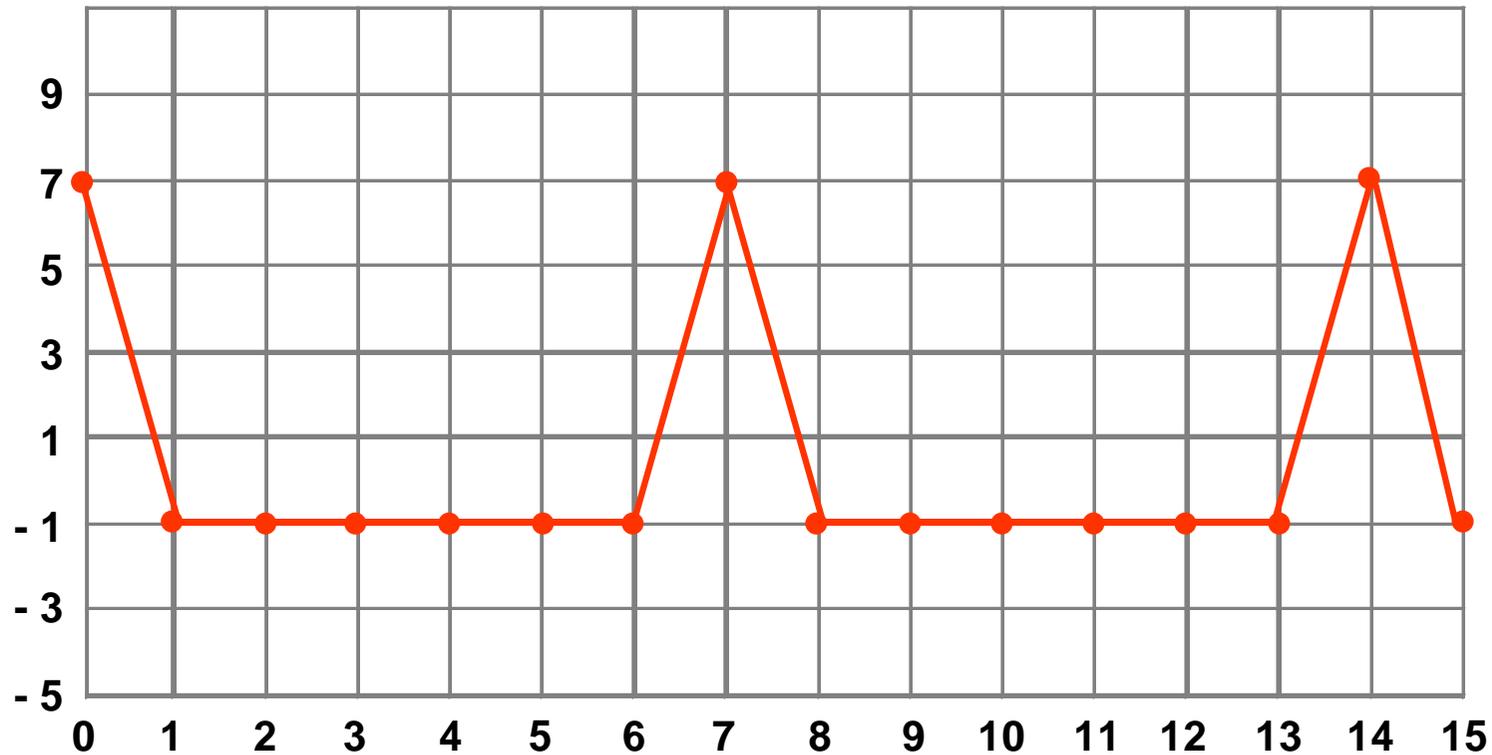
可见由 P_0 经适当移位得到的序列 P_1 ，即等于由掩码 100 产生的 m 序列。

CDMA 使用的各种序列

序列 $P_0 = [1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1]$ 与其移位序列的相关 $R_{P_0}(i)$ 为：

i	$P_0, j-i$							$R_{P_0}(i)$
0	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+7
1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1
2	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
3	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
4	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
5	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1
6	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1
7	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+7
8	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1
9	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
10	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
11	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
12	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1
13	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1
14	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+7
15	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1

相关 $R_{P0}(i)$ 用图形表示为：



可见一个m序列与其任何一个相位不同的序列的互相关值均为最小，且当序列长度很大时，有很好的自相关特性。

PN 长码在 CDMA 系统中的应用

□ PN 长码的特点

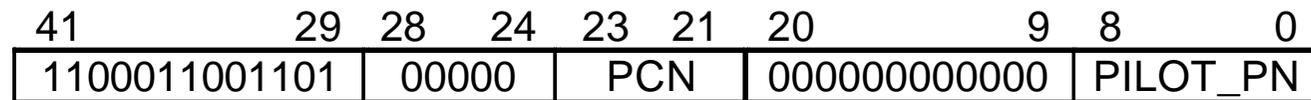
- ✓ 属于 m 序列
- ✓ 42 位长，周期为 $2^{42} - 1$ ，大约每 41 天重复一次
- ✓ 生成原本多项式为

$$P(x) = x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{22} + \\ x^{21} + x^{19} + x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + \\ x^3 + x^2 + x + 1$$

CDMA 使用的各种序列

□ 前向信道

- ✓ 扰码（寻呼信道及业务信道）
- ✓ 寻呼信道掩码为



- ✓ 业务信道掩码为



□ 反向信道

- ✓ 码分信道
- ✓ 扩频

PN 短码在 CDMA 系统中的应用

□ PN 长码的特点

- ✓ 属于 m 序列
- ✓ 15 位长，周期为 $2^{15} - 1$ ，每 26.67ms 重复一次
- ✓ 生成原本多项式为

$$P_I(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1$$

$$P_Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$$

CDMA 使用的各种序列

□ 前向信道

- ✓ 四相扩频 (I, Q)
- ✓ 区分基站或扇区 (利用 512 个偏置)

□ 反向信道

- ✓ 四相扩频 (I, Q)

CDMA

语音编码技术

语音编码的一般概念

□ 语音编码的基本概念

- ✓ 将语音信号（模拟信号）转变为数字信号

□ 语音编码的目标

- ✓ 维持语音质量
- ✓ 降低数据量

□ 语音编码分类

- ✓ 波形编码
- ✓ 声源编码
- ✓ 混合编码

□ 波形编码的特点及种类

- ✓ 编码后传输的是波形参数
- ✓ 话音质量高
- ✓ 数据量大（通常大于 16kbps）

- ✓ 应用于带宽受限较小的有线通信系统
- ✓ PCM , DPCM , ADPCM , ADM 等
 - PCM: Pulse Code Modulation
 - DPCM: Differencial PCM
 - ADPCM: Adaptive Differencial PCM
 - ADM: Adaptive Delta Modulation

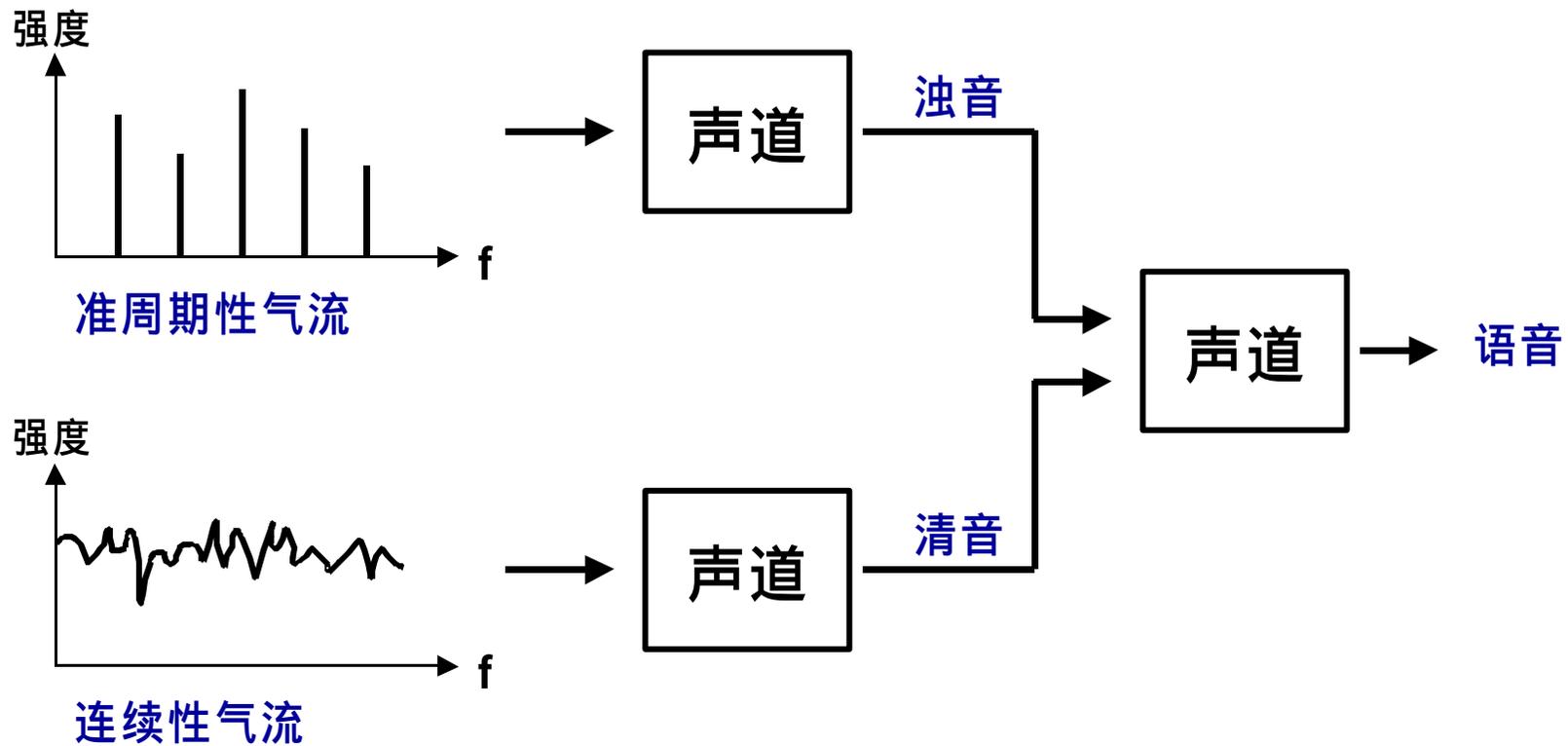
□ 声源编码的特点及种类

- ✓ 编码后传输的是声源模型参数
- ✓ 话音质量低
- ✓ 数据量小（通常小于 4.8kbps）
- ✓ 一般不应用于实际通信系统（早期的 Internet phone）
- ✓ LPC（Liner Predictive Coding）等

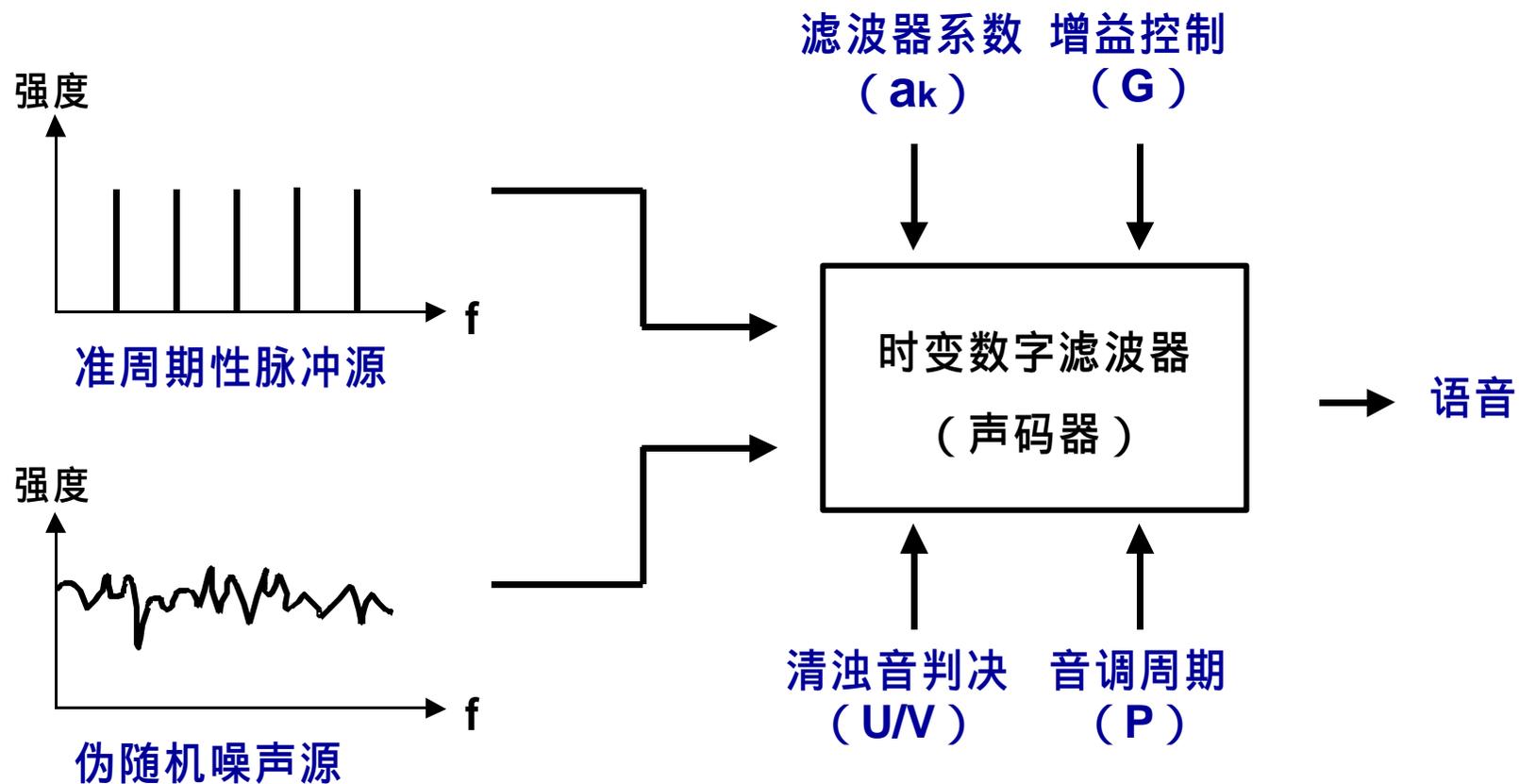
□ 混合编码的特点及种类

- ✓ 同时具备波形编码及声源编码的特征
- ✓ 话音质量较好
- ✓ 数据量相对交小（通常为 4.8~16kbps）
- ✓ 应用于无线移动通信系统，Internet 通信等
- ✓ CELP，REL P，EVRC 等
 - CELP: Code Excited Liner Predictive Coding
 - RELP: Residual Excited Liner Predictive Coding
 - EVRC: Enhanced Variable Rate Coding

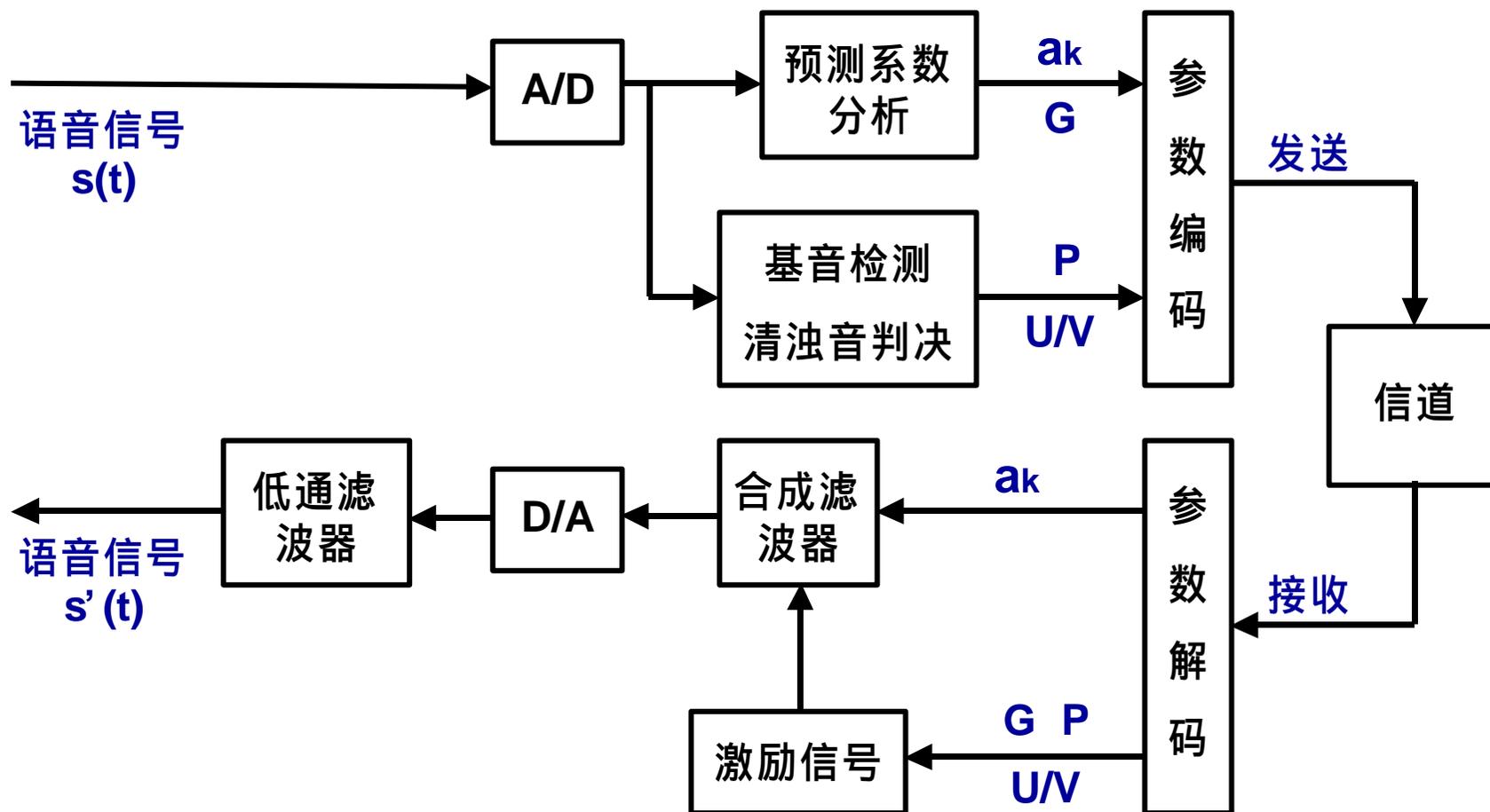
语音的形成



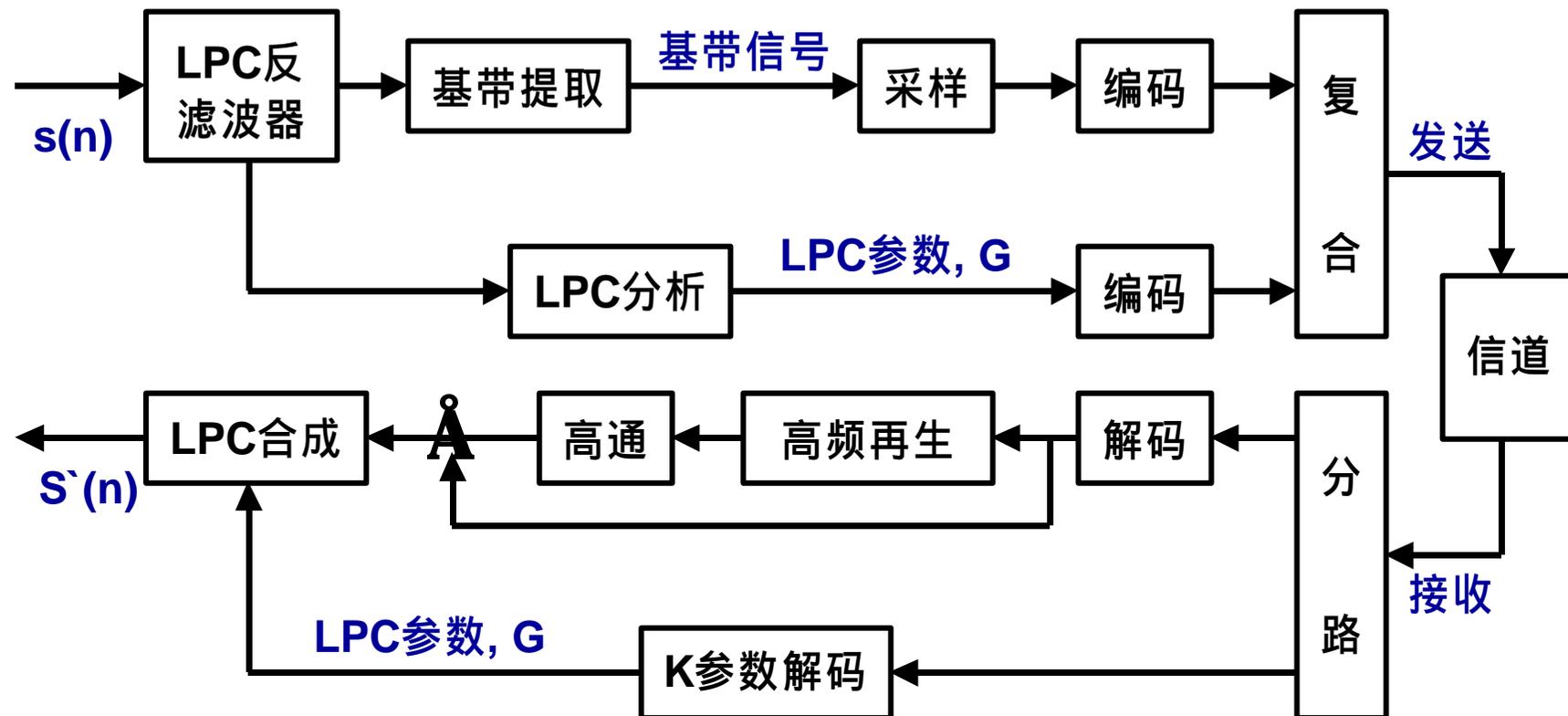
语音形成模型



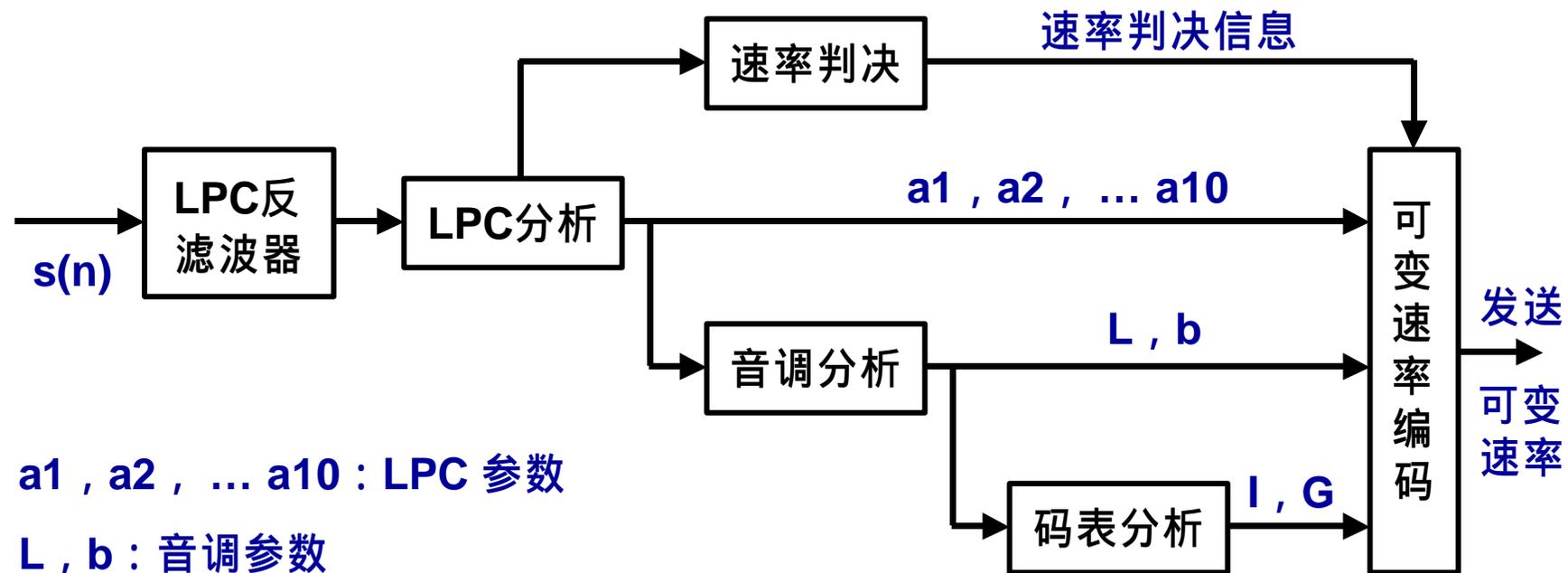
线性预测编码 (Liner Predictive Coding)



余量激励线性预测编码 (Residual Excited Liner Predictive Coding)



QCELP 可变速率声码器 (Qualcomm Code Excited Liner Predictive Coding)



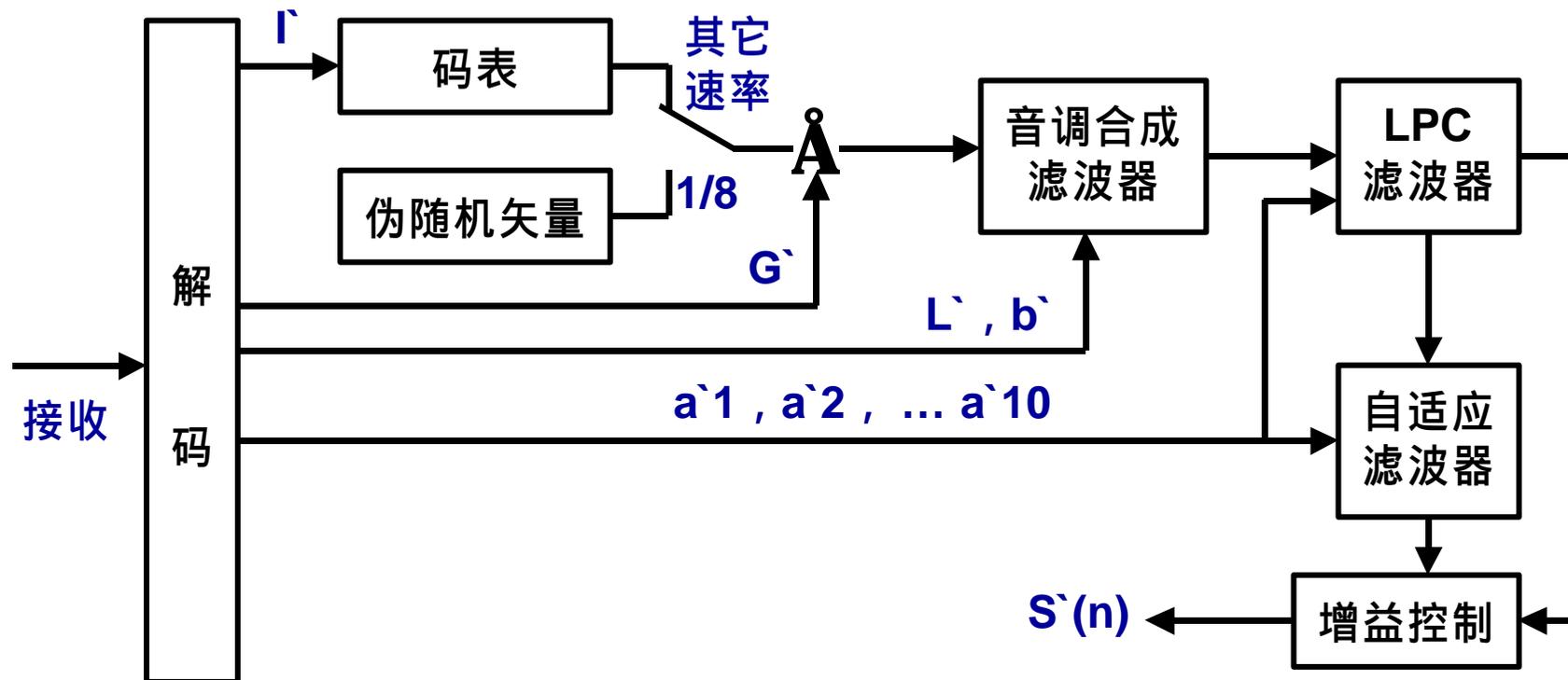
a_1, a_2, \dots, a_{10} : LPC 参数

L, b : 音调参数

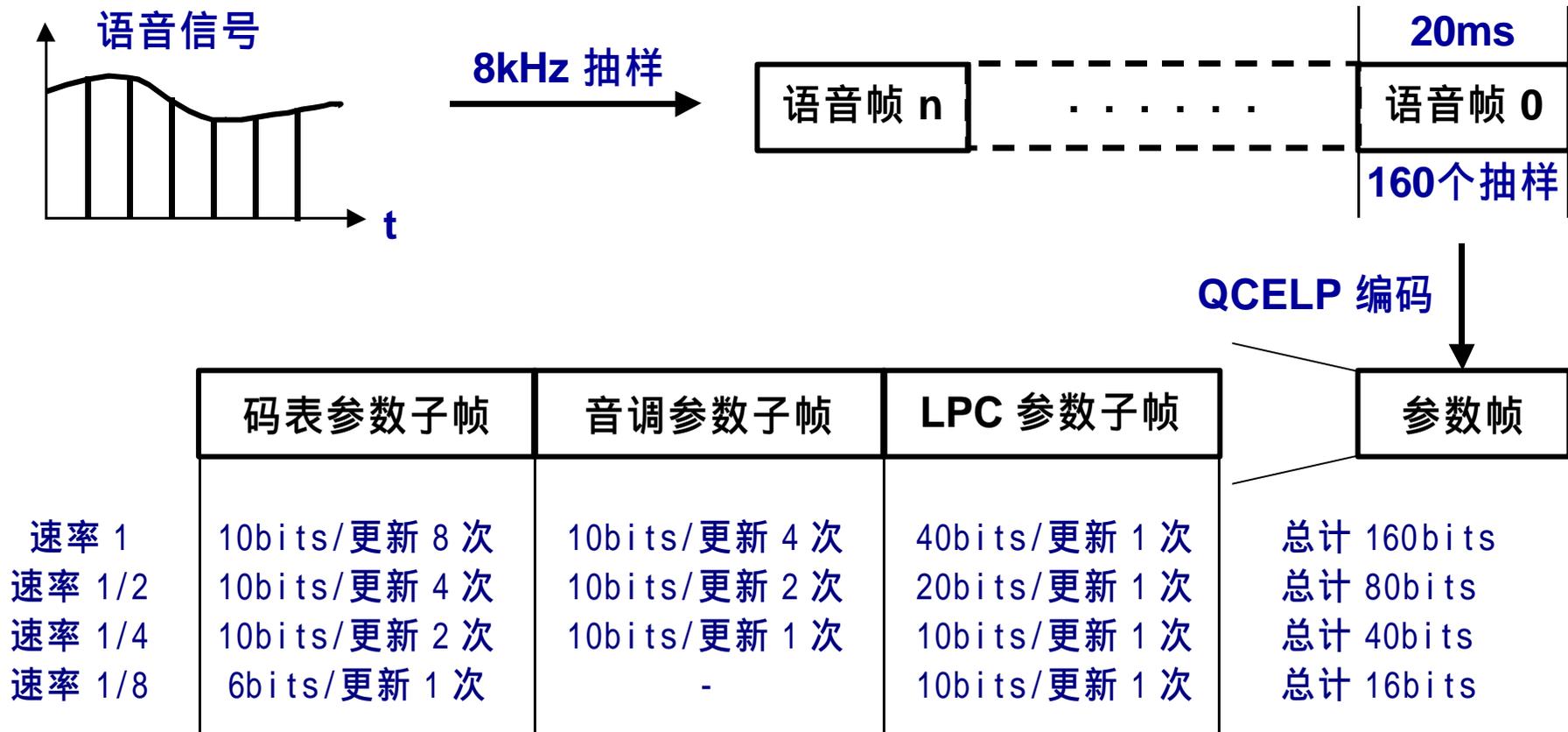
I, G : 码表索引, 增益控制参数

速率 1, 1/2, 1/4, 1/8 : 9600 bps, 4800 bps, 2400 bps, 1200 bps

QCELP 可变速率声码器 (Qualcomm Code Excited Liner Predictive Coding)



语音参数帧的形成及结构



语音参数帧的形成及结构

参数	速率 1	速率 1/2	速率 1/4	速率 1/8
LPC 子帧更新次数	1	1	1	1
LPC 子帧更新所需抽样	160	160	160	160
每个 LPC 子帧所占比特	40	20	10	10
音调子帧更新次数	4	2	1	0
每个音调子帧更新所需抽样	40	80	160	-
每个音调子帧所占比特	10	10	10	-
码表子帧更新次数	8	4	2	1
每个码表子帧更新所需抽样	20	40	80	160
每个码表子帧所占比特	10	10	10	6*
注：对于速率 1/8，这 6 个比特来自伪随机激励。				

语音参数帧的形成及结构

速率为 1 时的子帧结构

LPC 子帧	40								
音调子帧	10	10	10	10	10	10	10	10	10
码表子帧	10	10	10	10	10	10	10	10	10

速率为 1/2 时的子帧结构

LPC 子帧	20			
音调子帧	10		10	
码表子帧	10	10	10	10

速率为 1/4 时的子帧结构

LPC 子帧	10	
音调子帧	10	
码表子帧	10	10

速率为 1/8 时的子帧结构

LPC 子帧	10
音调子帧	0
码表子帧	6

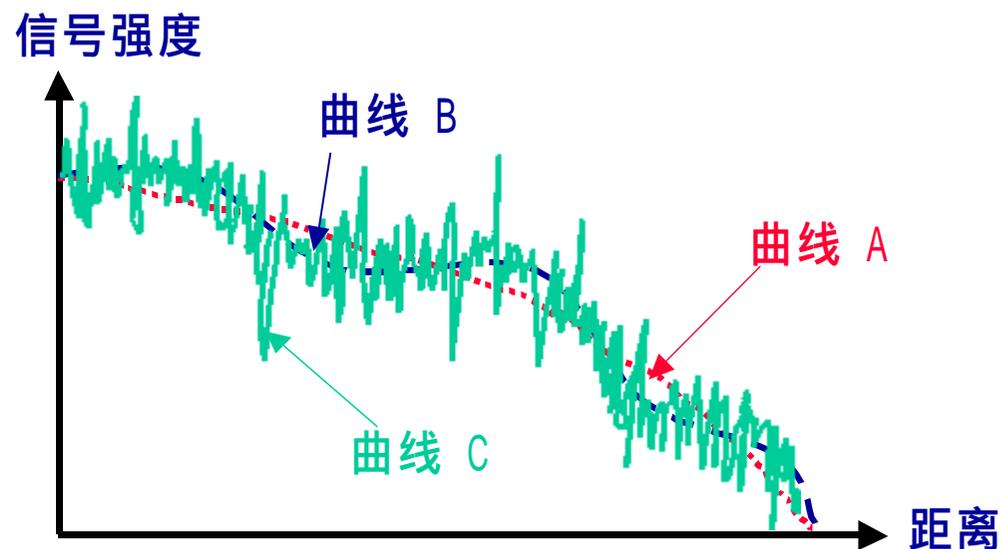
CDMA 分集技术

移动通信中的电波衰落

❑ 导致的问题

- ✓ 掉话率上升
- ✓ 误帧率上升

❑ 信号强度与空间距离的关系



✓ 曲线 A

通常也成为自然衰落，由电波的传播特性所决定。在自由空间中的衰落特性如下式。

$$L_P = 10 \log (4\pi d / \lambda)^2$$

d : 空间距离
λ : 波长

陆地移动通信中的通信环境远恶劣于自由空间。例如，在蜂窝通信频带上，Lee 参考模型的衰落特性简易公式为：

$$L_p = \left(8.77 \times 10^{12} \frac{d^{3.84}}{h^2} \right)$$

d : 空间距离
h : 天线高度

特点：

- 随距离变化而变化，呈一定的规律性
- 可以预测其变化趋势

克服方法：

- 功率控制
- 切换

✓ 曲线 B

通常也称为慢衰落，由不同地形对电波的反射，绕射及散射等多径传输效应所引起。

这种衰落具有随机性，其分布特性通常为对数正态分布，如下式：

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2ps}} \exp\left\{-\frac{(x - x_m)^2}{2s^2}\right\}$$

x ：短区间平均值

x_m ：长区间平均值

σ ：标准偏差

特点：

- 随地形的变化而变化，具有一定的随机性
- 变化缓慢（通常在几米至几十米范围内变化）
- 变化范围大（例如市区和市郊之间的差异可达 30~40dB）

克服方法：

- 分集
- 功率控制
- 切换

✓ 曲线 C

通常也称为快衰落，由周围环境对电波的反射，绕射及散射等多径传输效应所引起。

这种衰落具有随机性，其分布特性通常为瑞利分布，如下式：

$$P(R) = \frac{R}{b_0} \exp\left(-\frac{R^2}{2b_0}\right)$$

R：瞬间值

b0: 平均功率电平

特点：

- 随环境变化而变化，具有随机性
- 变化剧烈（通常在几十厘米范围内变化）
- 变化范围大（可达 50dB）

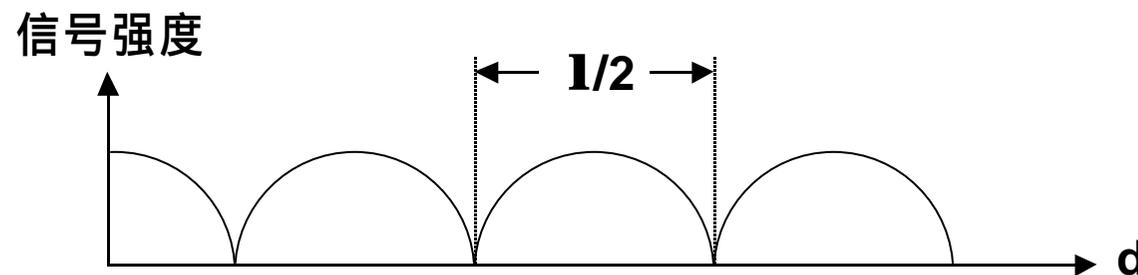
克服方法：

- 分集技术
- 功率控制

□ 驻波现象

由于来自多个基站的信号及反射信号等之间的相互作用，在空间上的一些特定点上，电波将会停滞而不再传播。这种现象被称之为驻波现象。

从信号强度角度来看，当两个频率相同，相位相差 180 度的两个信号相互作用时，将会以半个波长为间隔发生急剧的衰落现象。



特点：

- 以半个波长为间隔发生急剧的衰落现象
- 以 800 MHz 频带的 DCS 系统为例：

$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 800 \times 10^6 = 0.38 \text{ m}$$

- 以 1900 MHz 频带的 PCS 系统为例：

$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 1900 \times 10^6 = 0.16 \text{ m}$$

- 假设移动站以 90 公里/每小时，即 25 m/sec 的速度移动，则
对于 DCS 系统，每 7.6 ms 发生一次衰落；
对于 PCS 系统，每 3.2 ms 发生一次衰落。

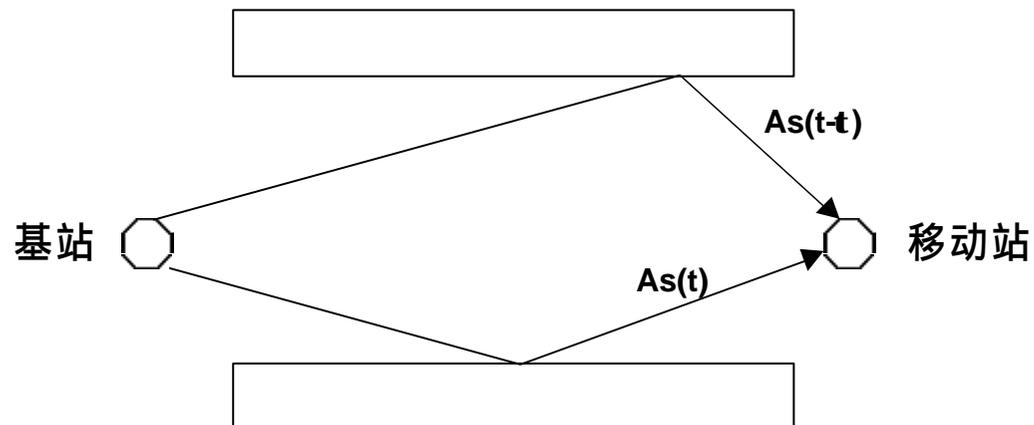
克服方法：

- 分集技术

❑ 频率的选择性衰落

由于多径传输效应，一些特定频率信号将会发生急剧的衰落现象。这种现象被成为频率的选择性衰落。

如图所示，假设有两个多径传输信号：



接收信号 $r(t)$ 可表示为：

$$r(t) = As(t) + As(t - \tau)$$

对 $r(t)$ 进行付里叶变换求其频谱特性：

$$R(f) = AS(f) + AS(f)e^{-j2\pi f\tau}$$

上式可改写为：

$$R(f) = AS(f)[1 + e^{-j2\pi f\tau}] = AS(f)H(f)$$

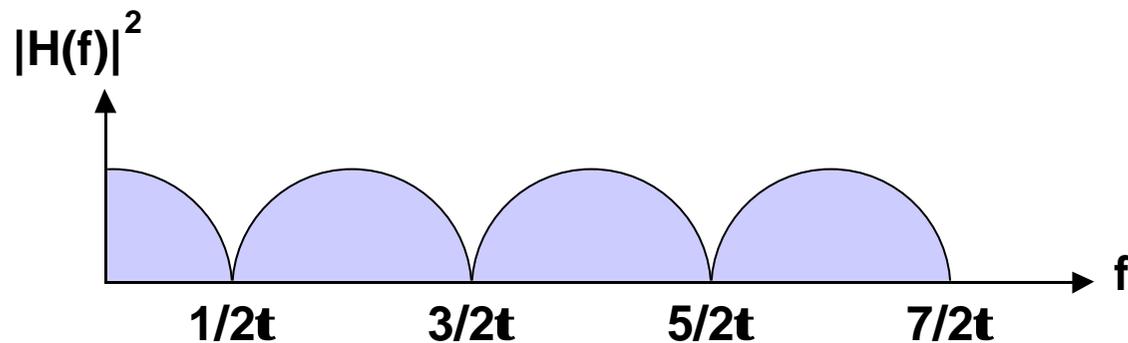
上式中 $H(f)$ 为传递函数。 $H(f)$ 又可改写为：

$$\begin{aligned} H(f) &= 1 + e^{-j2p ft} \\ &= e^{-j2p f(t/2)} [e^{j2p f(t/2)} + e^{-j2p f(t/2)}] \\ &= 2 e^{-j2p f(t/2)} \cos(2p f(t/2)) \end{aligned}$$

传递函数的绝对值 $|H(f)|$ 为：

$$|H(f)| = 2 \cos(2p f(t/2))$$

$|H(f)|$ 的频率特性如下图：



特点：

- 根据多径信号的时差，在某些频率上信号能量将会急剧衰落。

克服方法：

- 采用宽带传输方式

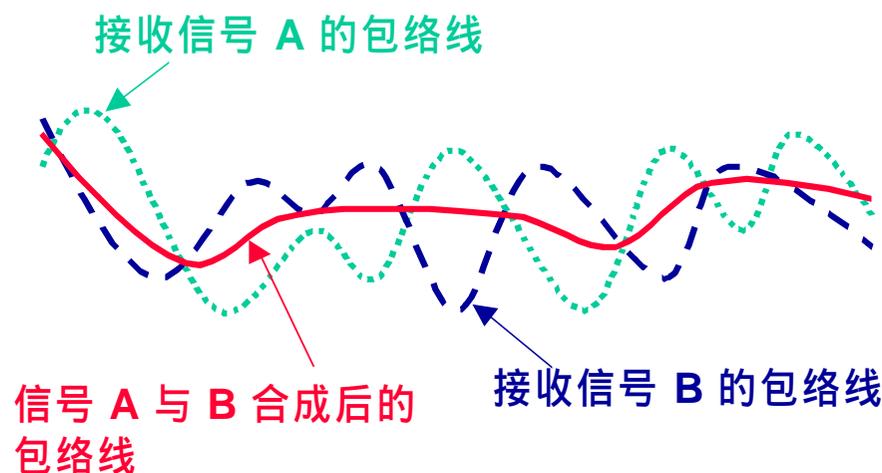
分集技术理论简介

分集技术概念

分集技术，即指克服多径传输衰落的技术。其特点是利用两个以上接收到的衰落特性不同，即相关性小的信号，经过适当的处理，获得较佳的信号。

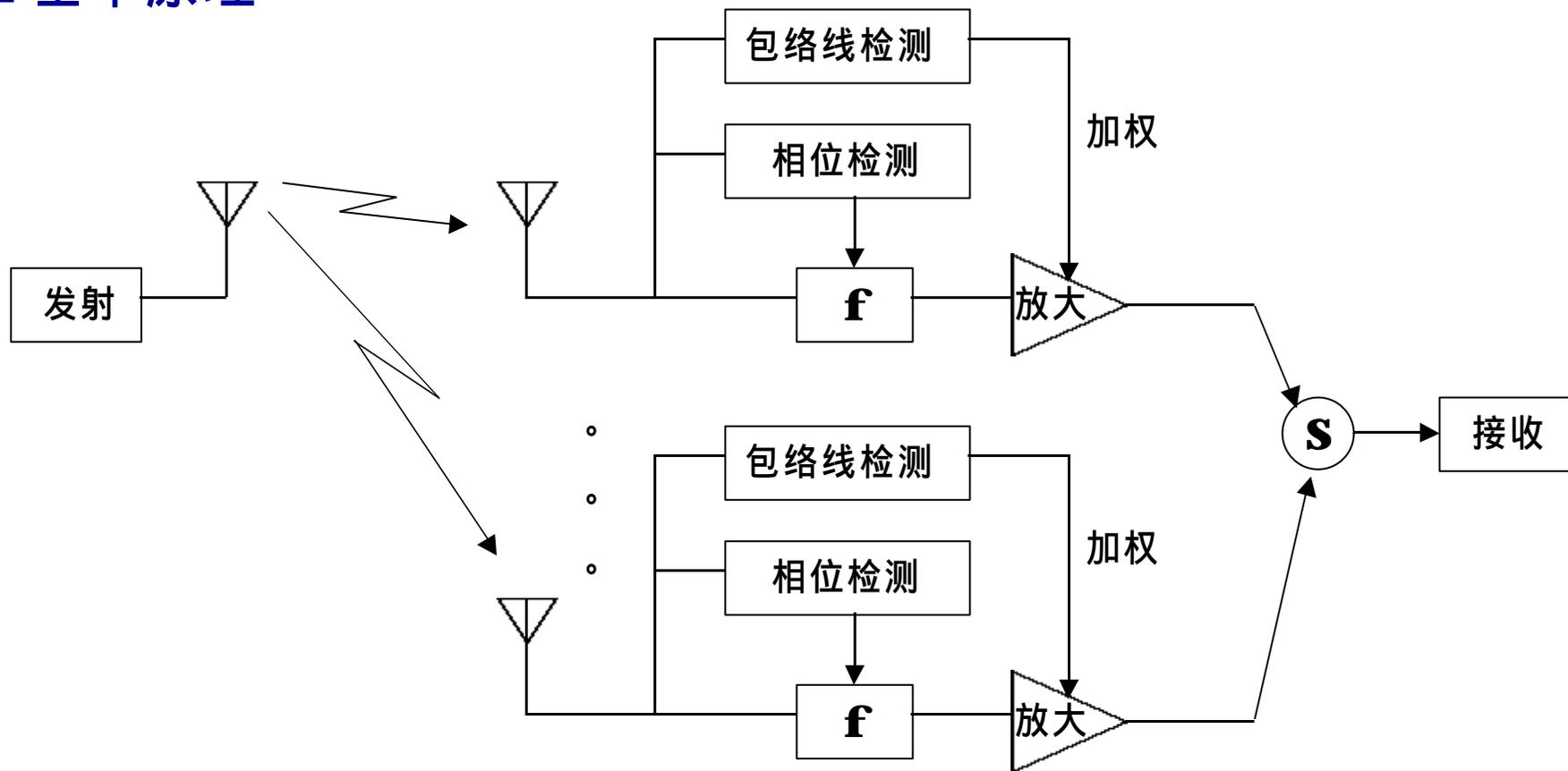
主要的分集技术种类

- ✓ 空间分集
- ✓ 时间分集
- ✓ 频率分集
- ✓ 多径分集



空间分集技术

□ 基本原理



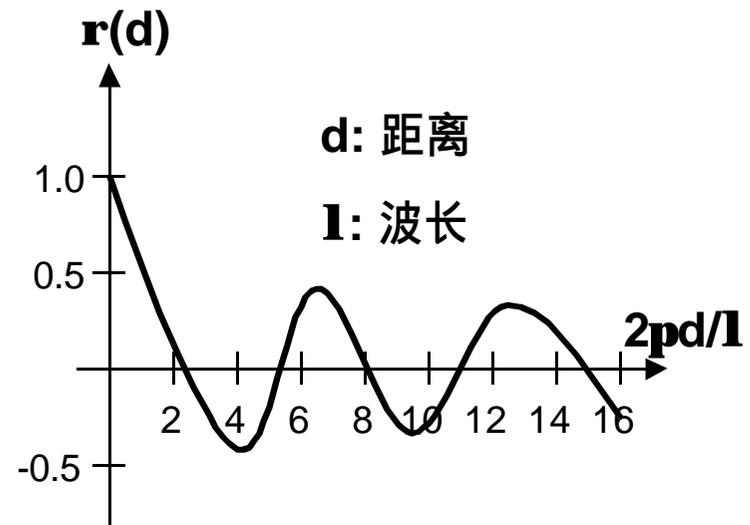
□ 特点

利用多副天线，在不同的空间接收点接收具有不同衰落特性的多径传输信号。

空间相关函数

$$r(d) = J_0(2\pi d / \lambda)$$

$J_0(\)$ 为第一比塞尔函数

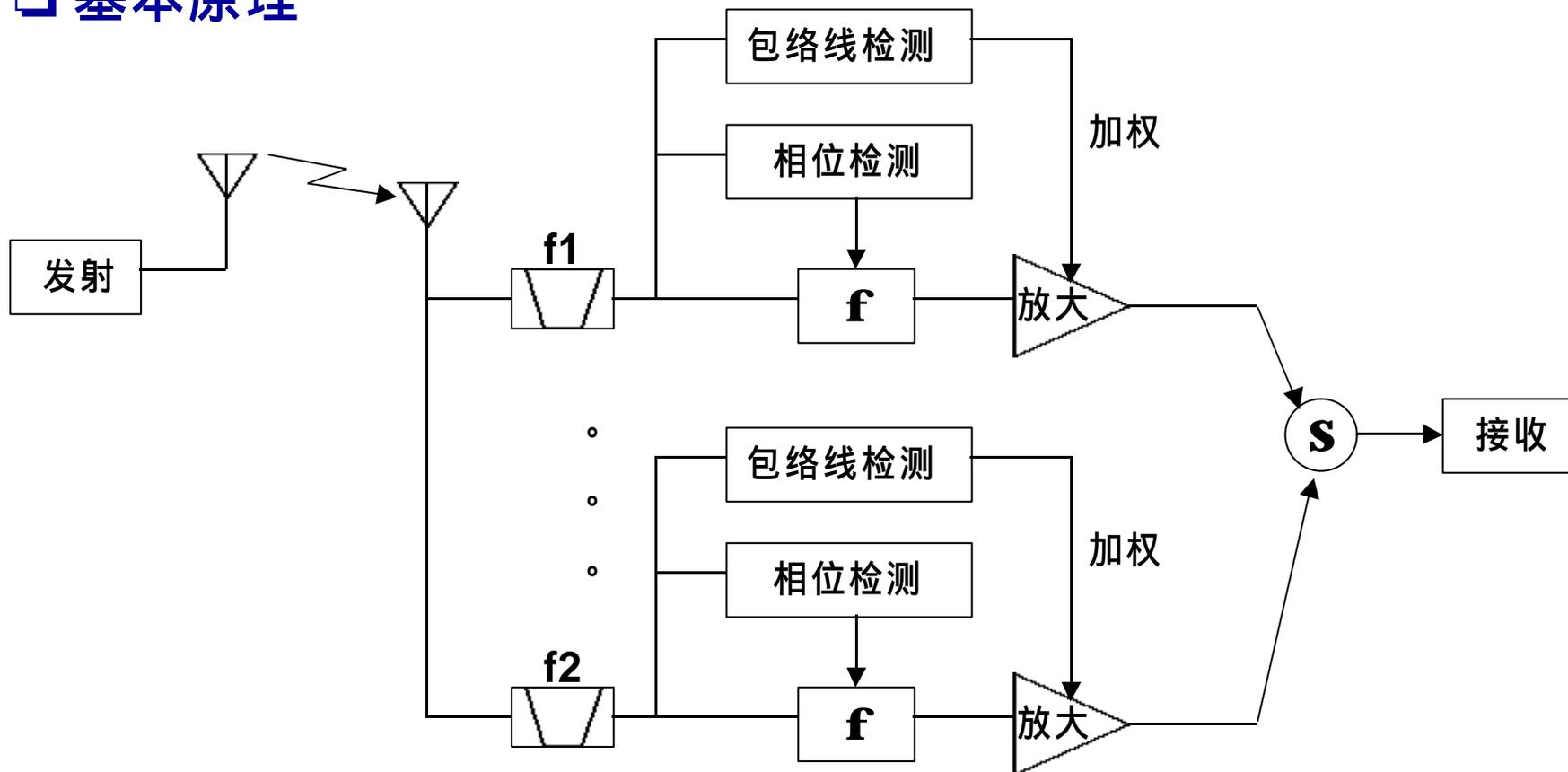


结论：

- 适当调整天线之间的距离，可分别接收互不相关的多径传输信号。

频率分集技术

□ 基本原理



□ 特点

利用不同的频率发射，在接收方可接收具有不同衰落特性的多径传输信号。

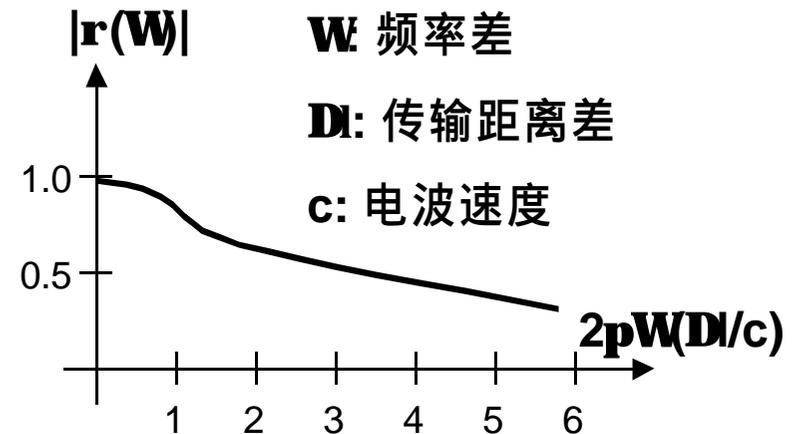
频率相关函数

$$r(\Omega) = \frac{1}{1 + j2p \Omega(\Delta l / c)} \exp(j2p l_0 / c)$$

l_0 为最短传输距离

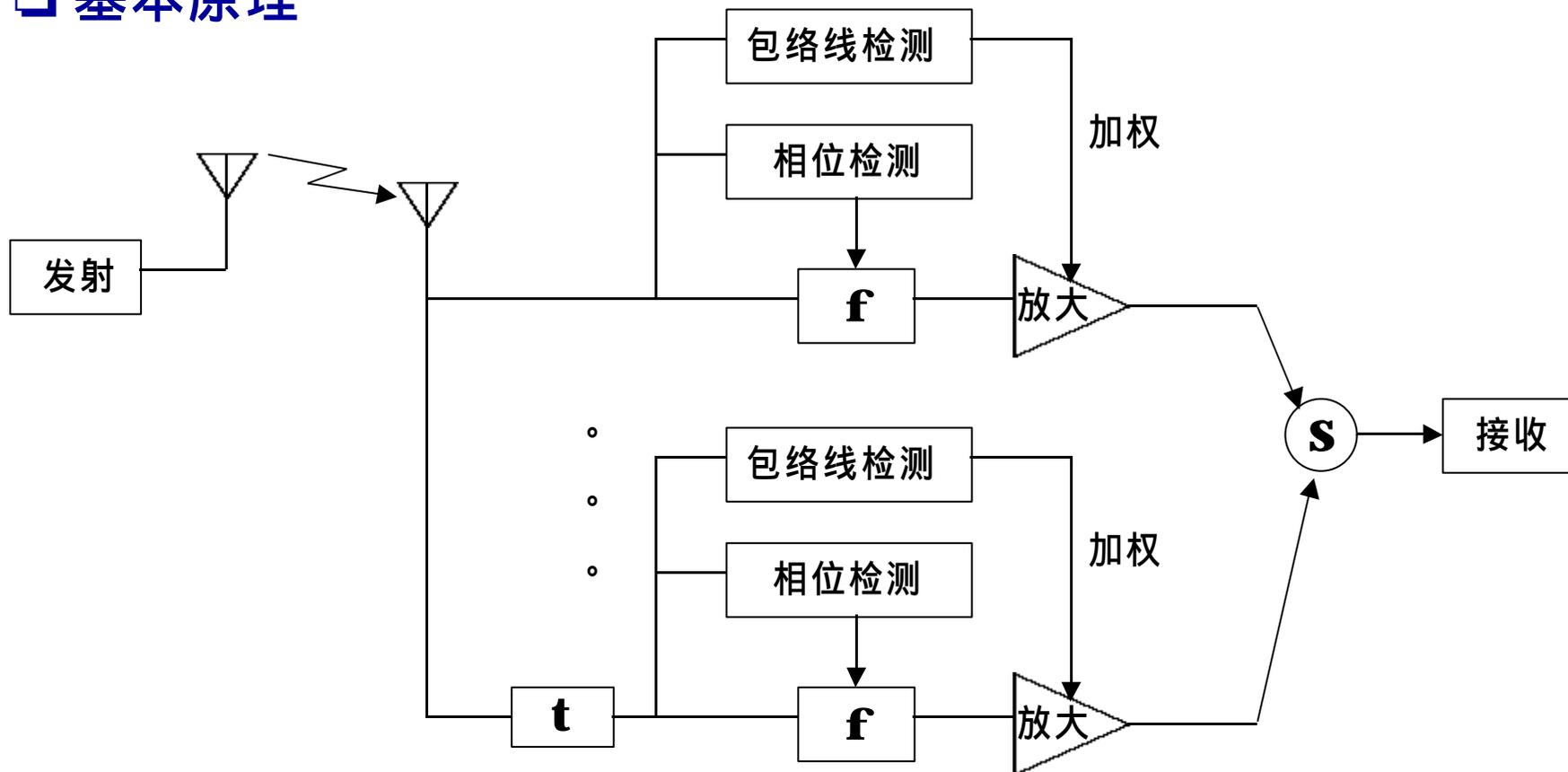
结论：

- 当频率相差大于 400kHz 时， $|r(W)|$ 值将小于 0.5。
- CDMA 系统使用的频带宽度达 1.25MHz，自然可接收到相关性较小的多径传输信号。



时分集技术

□ 基本原理



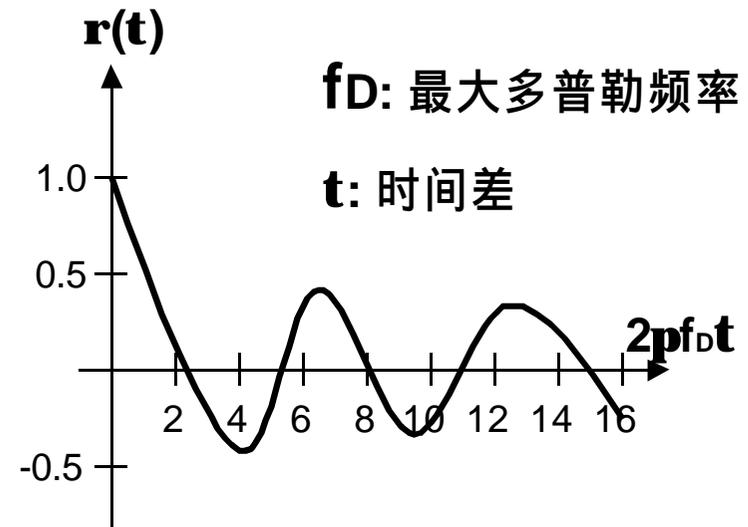
□ 特点

将同一数据按一定间隔重复发送（码重复，交织编码），并且对接收到的信号加以不同的延时后进行处理。

时间相关函数

$$r(t) = J_0(2\pi f_D t)$$

$J_0(\)$ 为第一比塞尔函数



结论：

- 时间差等于某一特定值时，两个多径传输信号互不相关。

分集技术在 CDMA 系统中的应用

□ 空间分集

- ✓ 在反向信道，基站用两副天线接收
- ✓ 在软切换过程中，移动台与多个基站同时通信

□ 频率分集

- ✓ 使用扩频通信方式（1.2288MHz 信道带宽）

□ 时间分集

- ✓ 使用码重复，块交织技术

□ 多径分集

✓ 在前反向信道，均使用 Rake 接收机

- 对于 1.2288MHz 信道带宽的 CDMA 系统，当来自两个不同路径信号的时延大于 $1\mu\text{s}$ 时，Rake 接收机可将它们分别提取出来进行相应的处理。
- 在基站，对应于每一个反向信道，都有四个数字解调器，而每一个数字解调器又包含两个搜索单元和一个解调单元。也就是说，对应于每一个反向信道，每一个基站都可以同时解调四个多径信号，进行矢量合并后，再采用数字判决恢复信号。
- 在移动台里，有三个数字解调单元和一个搜索单元。也就是说，当只接收到一个基站信号时，移动台可同时解调三个多径信号并进行矢量合并。如果移动台处于三方软切换中，移动台分别解调三个基站信号并进行矢量合并，再采用数字判决恢复信号。

□ 相位分集

- ✓ 发射相位相差 90 度的 I/Q 信号

CDMA

信道编码技术

信道编码的目的

- ❑ 增强抗干扰能力
- ❑ 便于检错纠错
- ❑ 速率调整
- ❑ 加密
- ❑ 与语音激活技术有关的功率控制

CDMA 系统中使用的信道编码技术

- 循环冗余检验 (CRC) 编码
- 卷积编码
- 码重复
- 块交织
- 数据扰码
- 64 阶正交调制
- 数据突发随机化

检错纠错编码概念的理解

(7, 4) 海明码

□ 特点

- ✓ 属于 **SYSTEMATIC** 块编码的一种，特点是在 k 个信息比特之后追加某些个冗余比特，使编码后的比特个数为 n 。
- ✓ 由于编码后的比特块包含原始信息比特，所以当检验结果为 **OK** 时，可不经复杂的解码过程便得到原始信息。
- ✓ 检错能力为 2 比特，纠错能力为 1 比特。

□ 编码方法

i1 i2 i3 i4 r1 r2 r3

其中 i1 i2 i3 i4 为信息比特， r1 r2 r3 为追加的冗余比特。

□ 冗余比特产生方法

$$r1 = i1 \oplus i2 \oplus i3$$

$$r2 = i2 \oplus i3 \oplus i4$$

$$r3 = i1 \oplus i2 \oplus i4$$

❑ 最大检错能力

$$q \leq d - 1$$

❑ 最大纠错能力

$$t \leq (d - 1)/2$$

d: 最小海明距离，即所有编码块之间的最小相异比特个数。

信息比特	冗余比特	编码结果
0000	000	0000000
0001	011	0001011
0010	110	0010110
0011	101	0011101
0100	111	0100111
0101	100	0101100
0110	001	0110001
0111	010	0111010
1000	101	1000101
1001	110	1001110
1010	011	1010011
1011	000	1011000
1100	010	1100010
1101	001	1101001
1110	100	1110100
1111	111	1111111

(7, 4) 海明编码的最小海明距离为 3, 故其

最大检错能力

$$q \leq d - 1 = 3 - 1 = 2 \text{ 比特}$$

最大纠错能力

$$t \leq (d - 1)/2 = (3 - 1)/2 = 1 \text{ 比特}$$

即 (7, 4) 海明编码可检验出两个比特以下的错误, 并可纠正一个比特的错误。

❑ 检错纠错举例



检错：

如果原始信息为 1000，则冗余比特应是 101，但接收信息中的冗余比特为 010，故判决出错。

纠错：

比较冗余比特 101 和 010，可见冗余比特 r_1 ， r_2 ， r_3 均不同（出错）。根据冗余比特的产生公式可知，只有当信息比特 i_2 出错时，冗余比特 r_1 ， r_2 ， r_3 均出错。

循环冗余检验编码

□ 特点

- ✓ 属于 **SYSTEMATIC** 块编码的一种，特点是在 k 个信息比特之后追加某些个冗余比特，使编码后的比特个数为 n 。
- ✓ 由于编码后的比特块包含原始信息比特，所以当检验结果为 **OK** 时，可不经解码过程便得到原始信息。
- ✓ 对突发性误码 (**burst error**) 的检错能力较强。
- ✓ 在 **CDMA** 系统中，仅利用其检错能力。

□ 编码方法

假设用多项式表示的原始信息比特为 $m(x)$ ，冗余比特生成多项式为 $g(x)$ ，则用多项式表示的冗余比特 $r(x)$ 为

$$[x^{n-k} m(x)] / g(x) = [x^m m(x)] / g(x) \quad \text{的余数。}$$

编码后的比特块用多项式表示为

$$f_T(x) = x^{n-k} m(x) + r(x)$$

上式中： n = 编码后总的比特个数， k = 原始信息比特个数， m = 冗余比特个数。

❑ 检错方法

假设用多项式表示的接收信息比特为 $f_R(x)$ ，如果 $f_R(x)/g(x)$ 的余数等于 0，则判决为没有误码发生；否则，判决为有误码发生。

❑ CRC 编码及检错过程举例

以 (7, 4) 海明码为例：

(7, 4) 海明码的冗余比特生成多项式为

$$g(x) = x^3 + x + 1$$

假设原始信息比特为 $(1, 0, 1, 0)$ ，用多项式表示即为

$$m(x) = x^3 + x$$

由于

$$x^{n-k} m(x) = x^{7-4} m(x) = x^6 + x^4$$

又由于

$$x^6 + x^4 = (x^3 + 1)(x^3 + x + 1) + (x + 1)$$

所以冗余比特多项式为 $r(x) = x+1$, 即冗余比特为 (0, 1, 1)。

编码后的比特多项式为

$$f_T(x) = x^{n-k} m(x) + r(x) = x^6 + x^4 + x + 1$$

即编码后的比特为 (1, 0, 1, 0, 0, 1, 1)。

如果在传输过程中没有误码发生 , 即接收到的信息比特为 (1, 0, 1, 0, 0, 1, 1),

则

$$\begin{aligned} f_R(x) / g(x) &= (x^6 + x^4 + x + 1) / (x^3 + x + 1) \\ &= (x^3 + 1) \end{aligned}$$

即 $fR(x)/g(x)$ 的余数等于 0，所以判决没有误码发生。

如果在传输过程中有误码发生，即接收到的信息比特为 (1, 0, 1, 1, 0, 1, 1)，
则

$$\begin{aligned} f_R(x) / g(x) &= (x^6 + x^4 + x^3 + x + 1) / (x^3 + x + 1) \\ &= x^3 + (x + 1) / (x^3 + x + 1) \end{aligned}$$

即 $fR(x)/g(x)$ 的余数等于 $x + 1$ ，所以判决有误码发生。

CRC 编码技术在 CDMA 中的应用

生成多项式	CRC 比特数	应用信道	
$g_0(x)$	12	前向业务信道 (9600bps, 语音)	反向业务信道 (9600bps, 语音)
$g_1(x)$	8	前向业务信道 (4800bps, 语音)	反向业务信道 (4800bps, 语音)
$g_2(x)$	16	前向业务信道 (信令)	反向业务信道 (信令)
$g_3(x)$	30	前向同步信道 前向寻呼信道	反向接入信道

$$g_0(x) = x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^4 + x + 1$$

$$g_1(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$$

$$g_2(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

$$g_3(x) = x^{30} + x^{29} + x^{21} + x^{20} + x^{15} + x^{13} \\ + x^{12} + x^{11} + x^8 + x^7 + x^6 + x^2 + x + 1$$

卷积编码

□ 特点

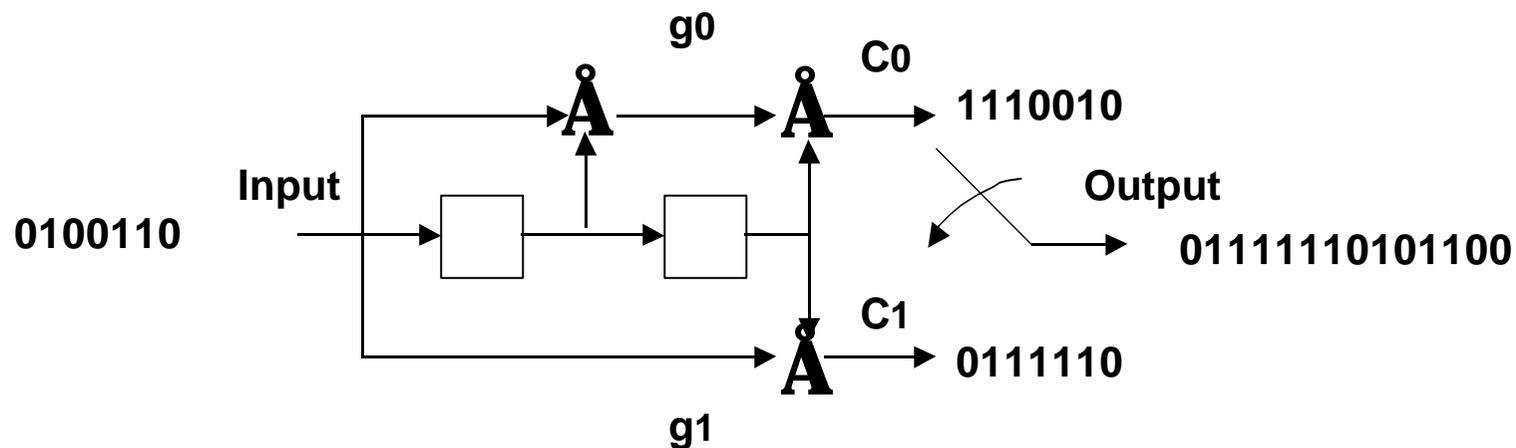
- ✓ 属于非 **SYSTEMATIC** 编码的一种，特点是输入输出关系决定于生成多项式。
- ✓ 具有纠错能力，如果误码之间的距离足够大，甚至可纠正大于 t (最大纠错能力) 个数的误码。
- ✓ 卷积编码率 (R) 及约束长度 (K) 越大，其纠错性能越好。
- ✓ 对随即性误码 (**random error**) 的检错能力较强。
- ✓ 对突发性误码 (**burst error**) 的检错能力较弱。

为了克服这个问题，在 **CDMA** 系统中采用了块交织技术。

卷积编码方法

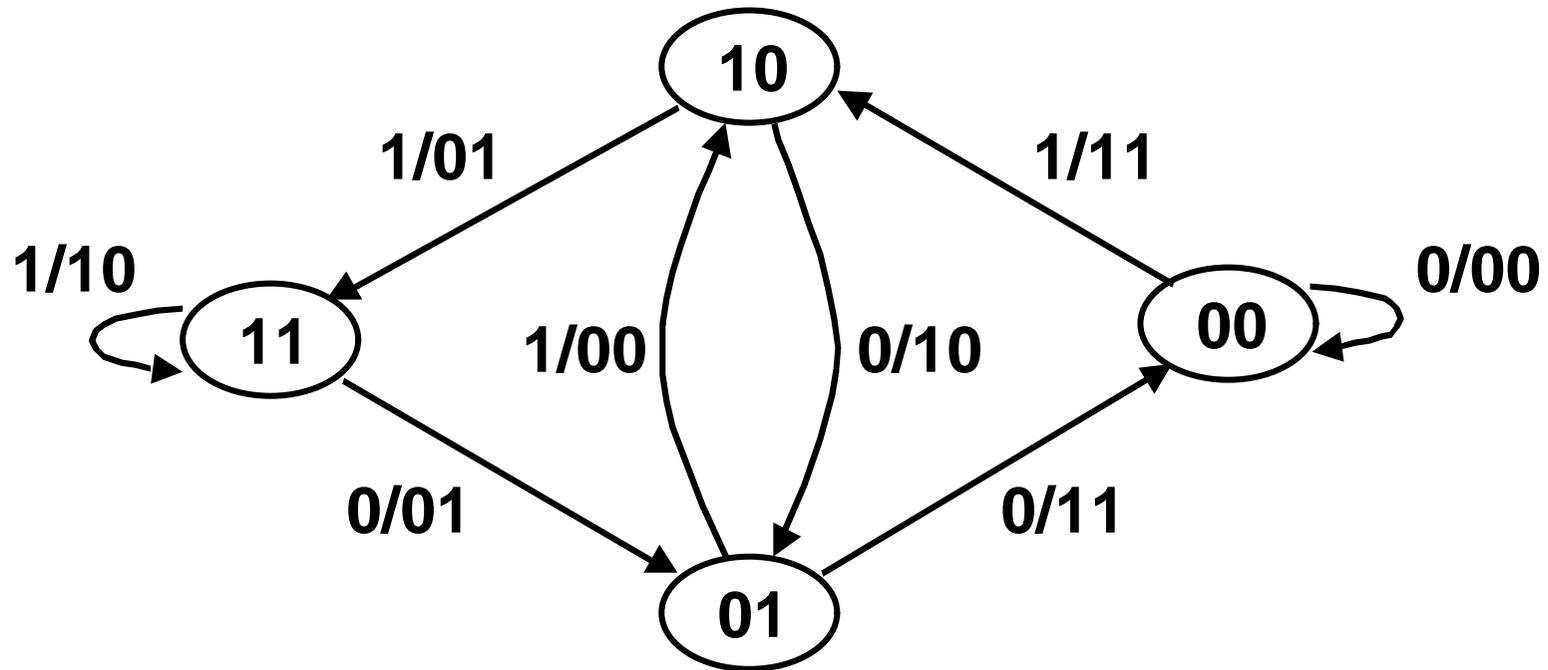
以编码率为 $1/2$ ，约束长度为 3 的卷积编码器为例：

假定生成多项式分别为 $g_0=111$ ， $g_1=101$ ，则编码器的构成如下图所示：



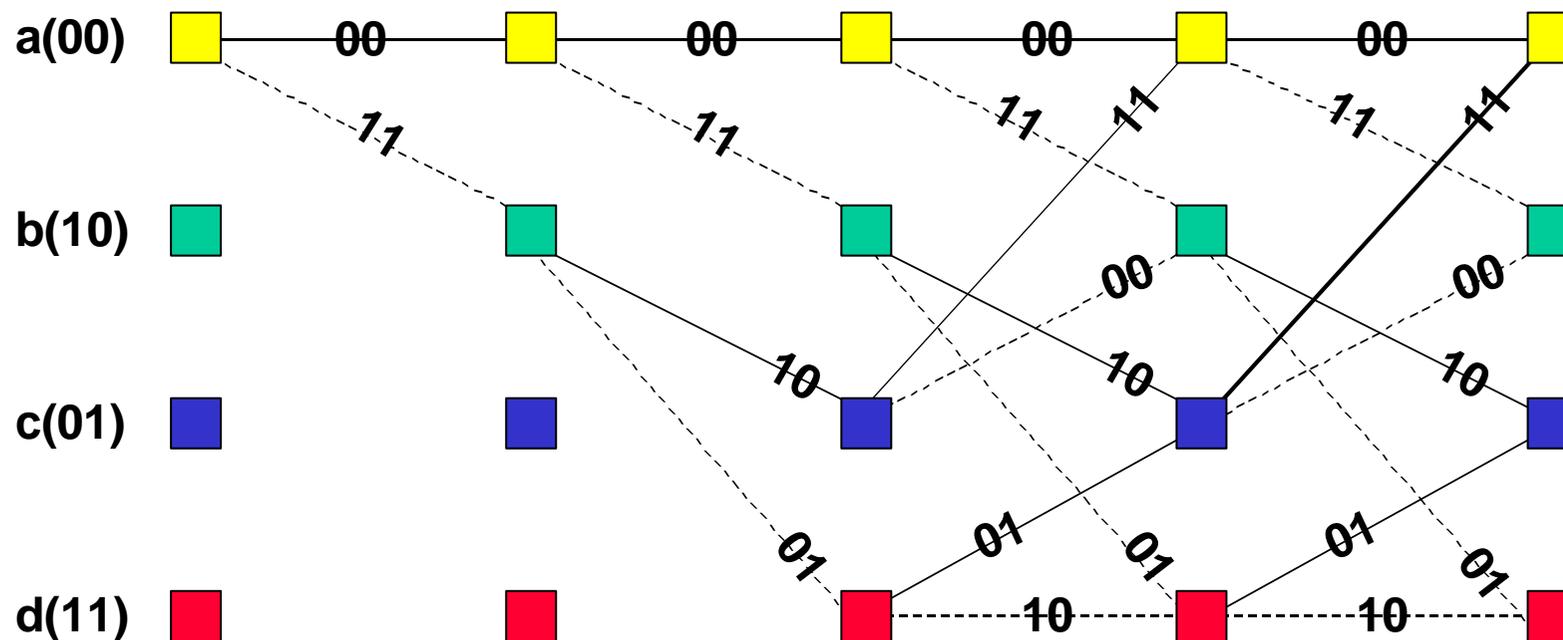
(移位寄存器的初始值设置为 0)

□ 状态迁移图



图中圆圈内的 XX 表示两个移位寄存器的状态，X/XX 表示输入/输出比特。

□ 状态迁移格构图 (Trellis Diagram)



图中 abcd 各表示两个移位寄存器的 4 种状态，实线/虚线分别表示输入比特为 0/1 时两个移位寄存器的状态迁移方向，XX 表示输出比特。

❑ 卷积解码方法 (Viterbi Algorithm)

解码原理

在所有可能存在的序列中，找出与接收到的序列相比海明距离最小的序列。

解码方法

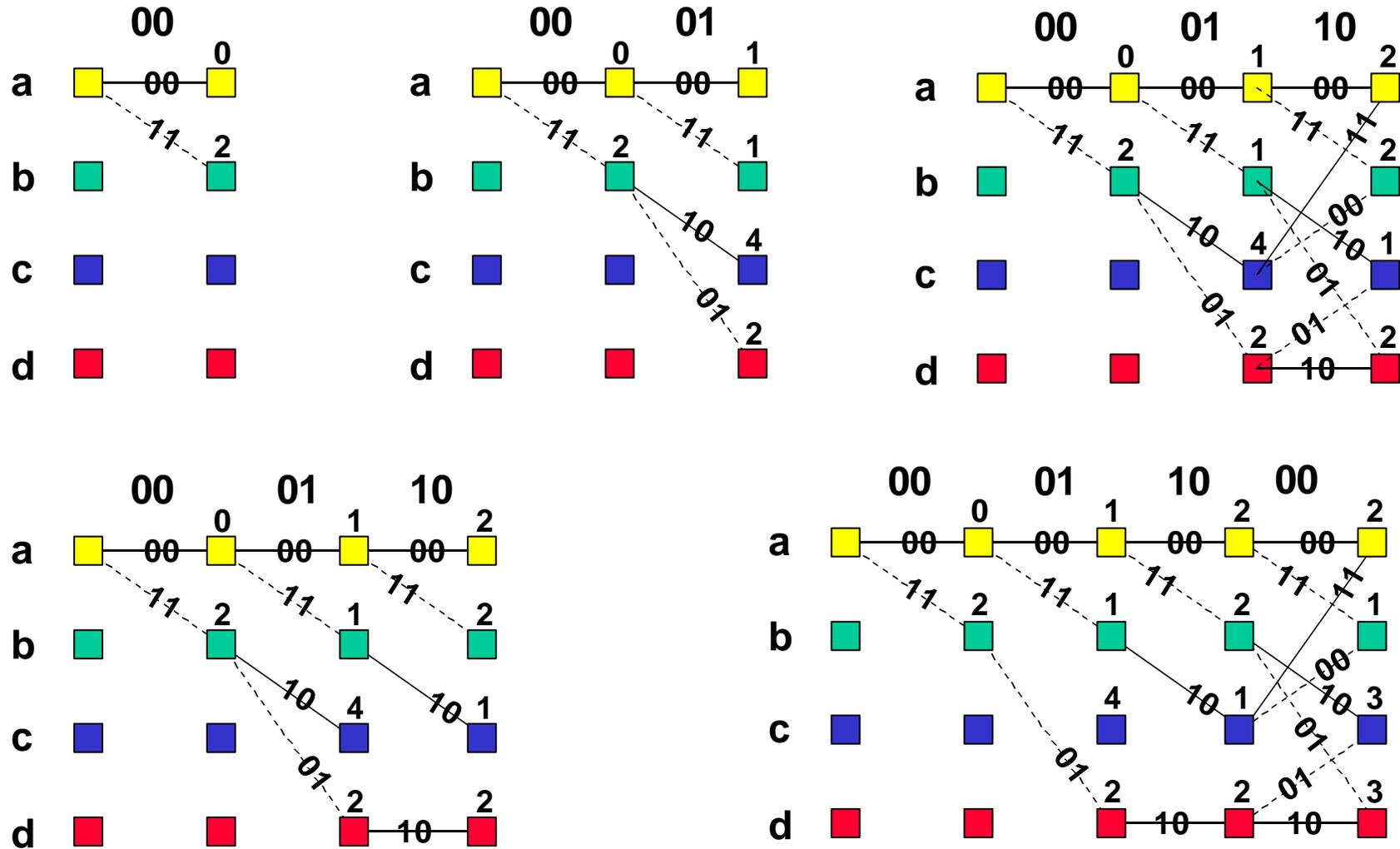
假定卷积编码器的编码率为 $1/2$ ，约束长度为 3，生成多项式分别为 $g_0=111$ ， $g_1=101$ ，

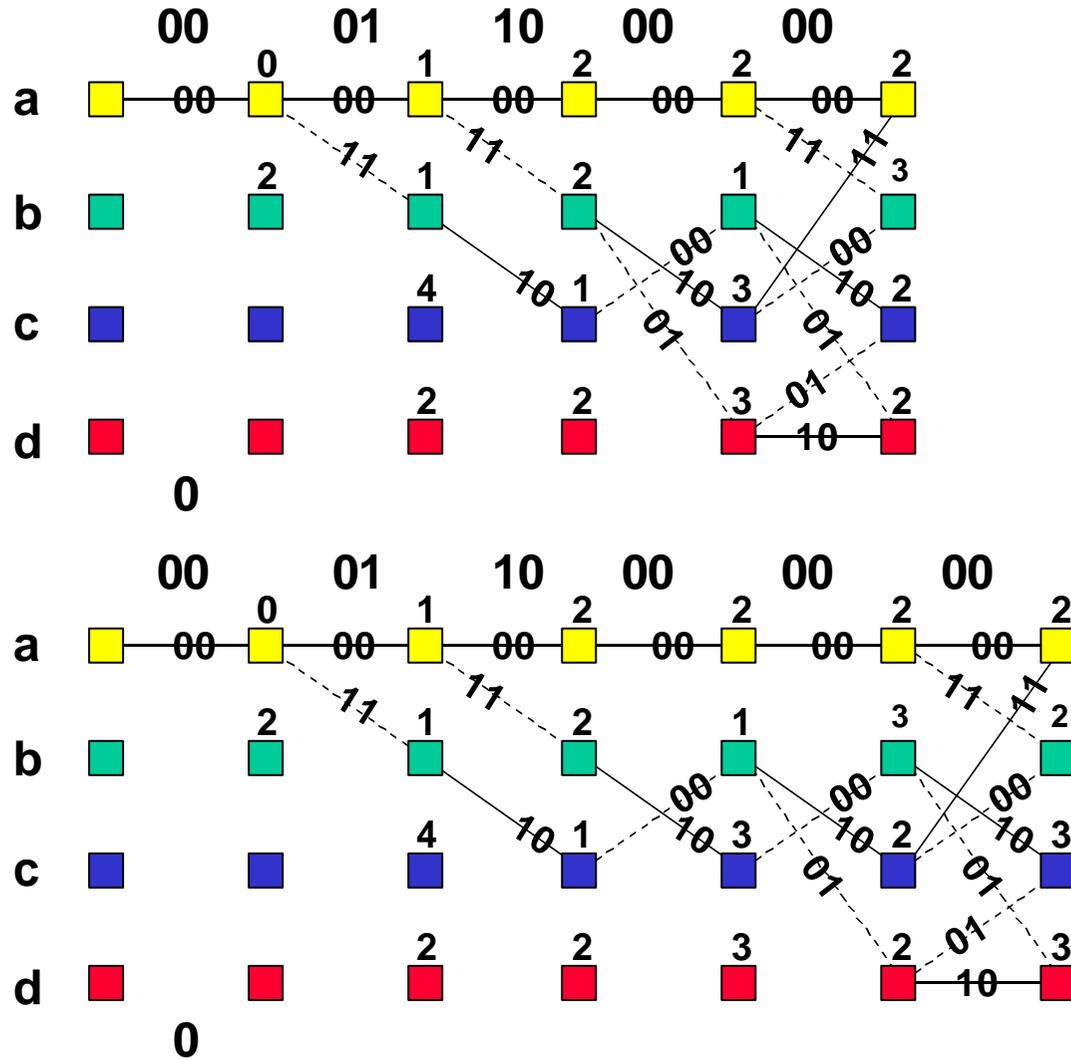
原始信息序列为：0 0 0 0 0 0 ...

则编码后的序列为：00 00 00 00 00 ...

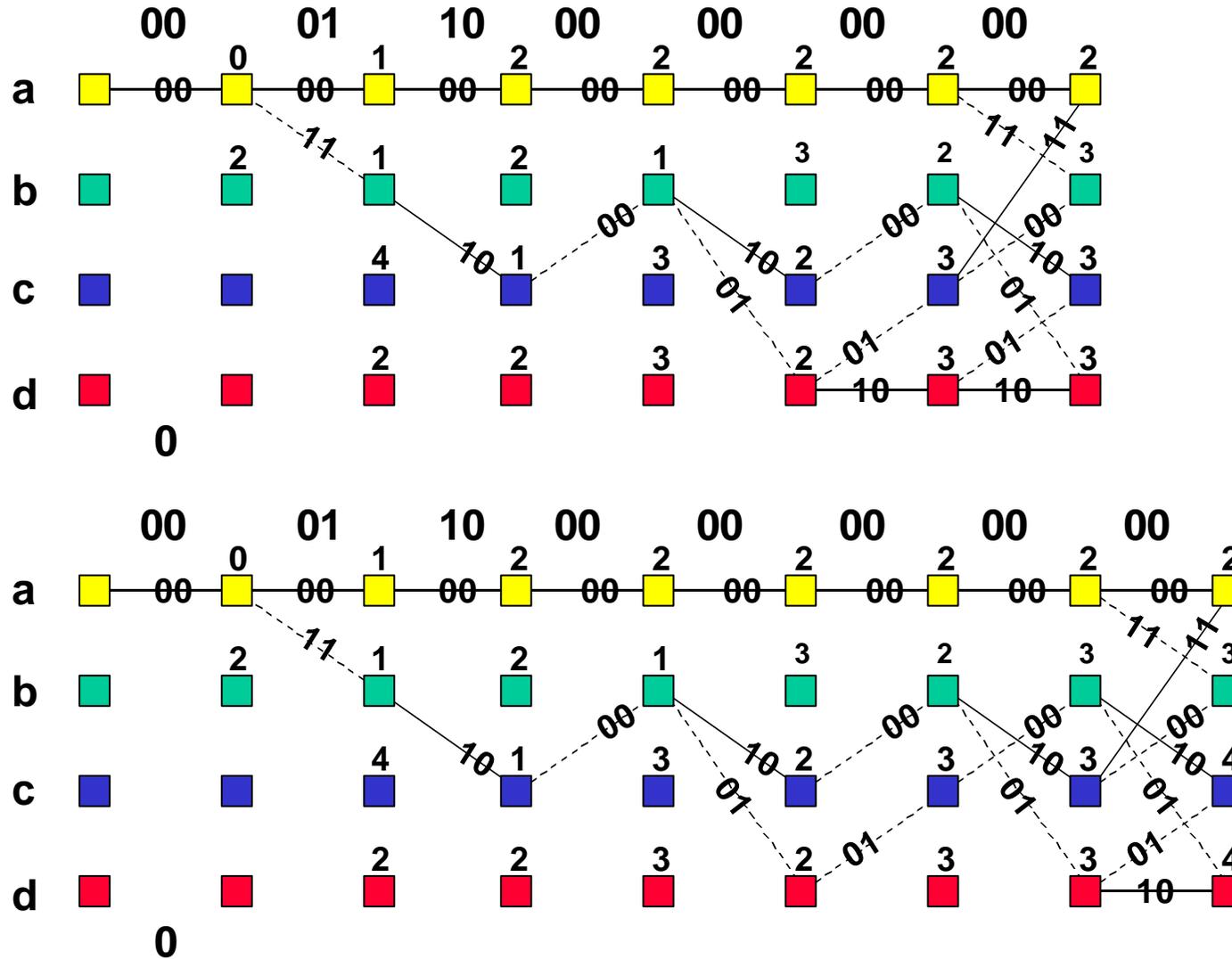
接收到的序列为：00 01 10 00 00 ...

CDMA 信道编码技术

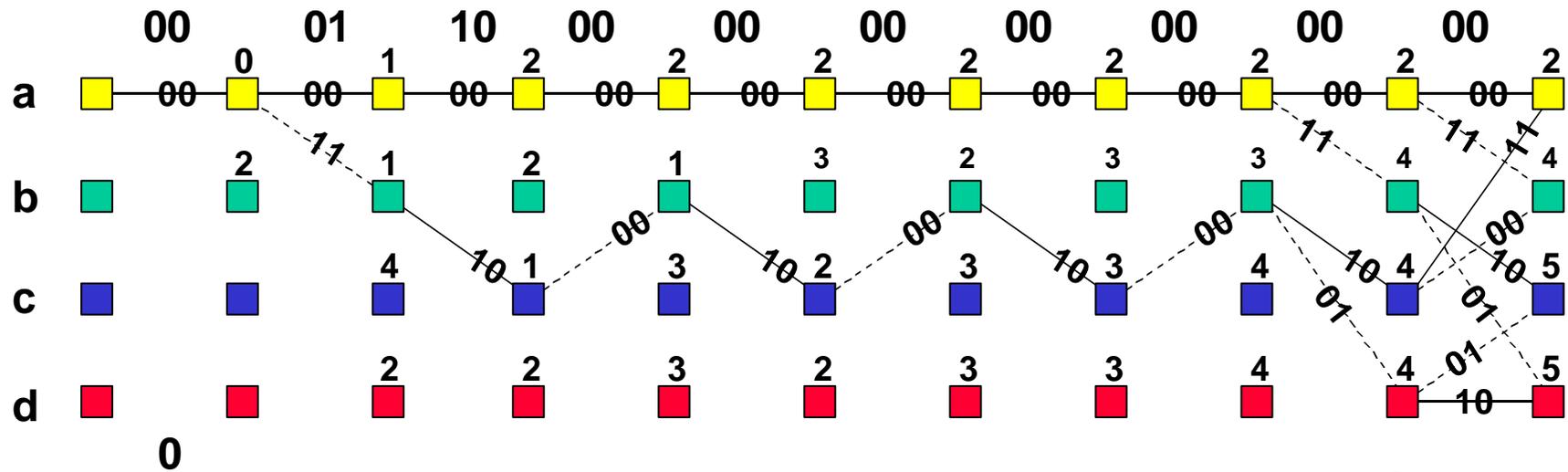
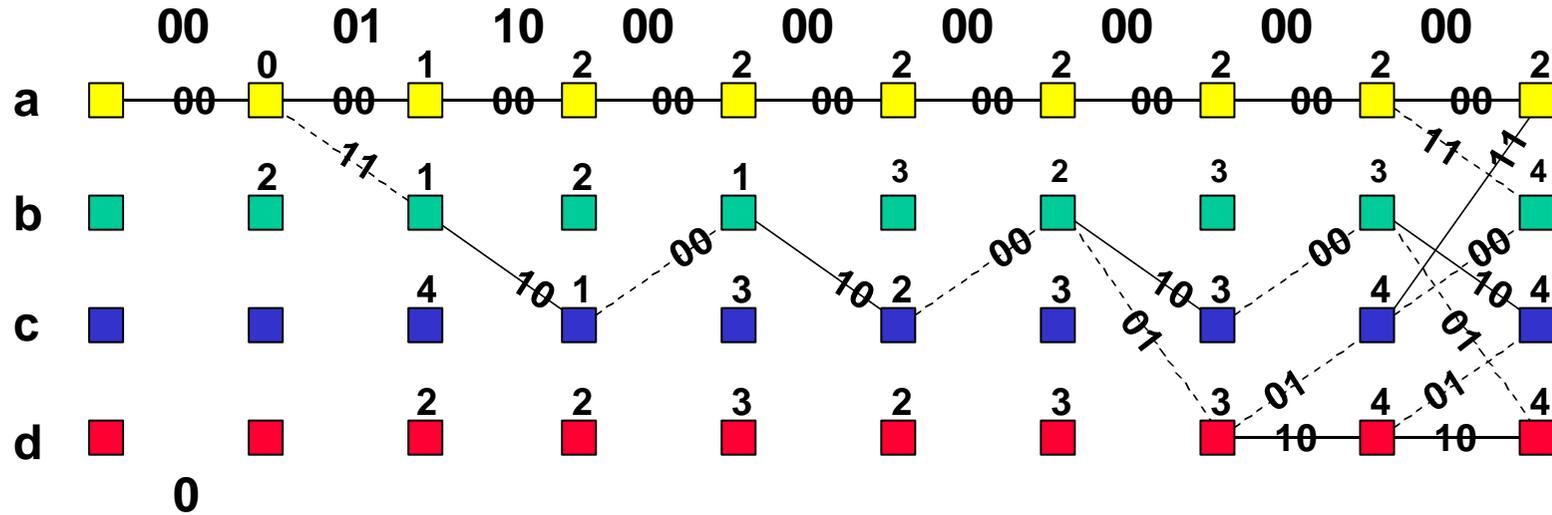




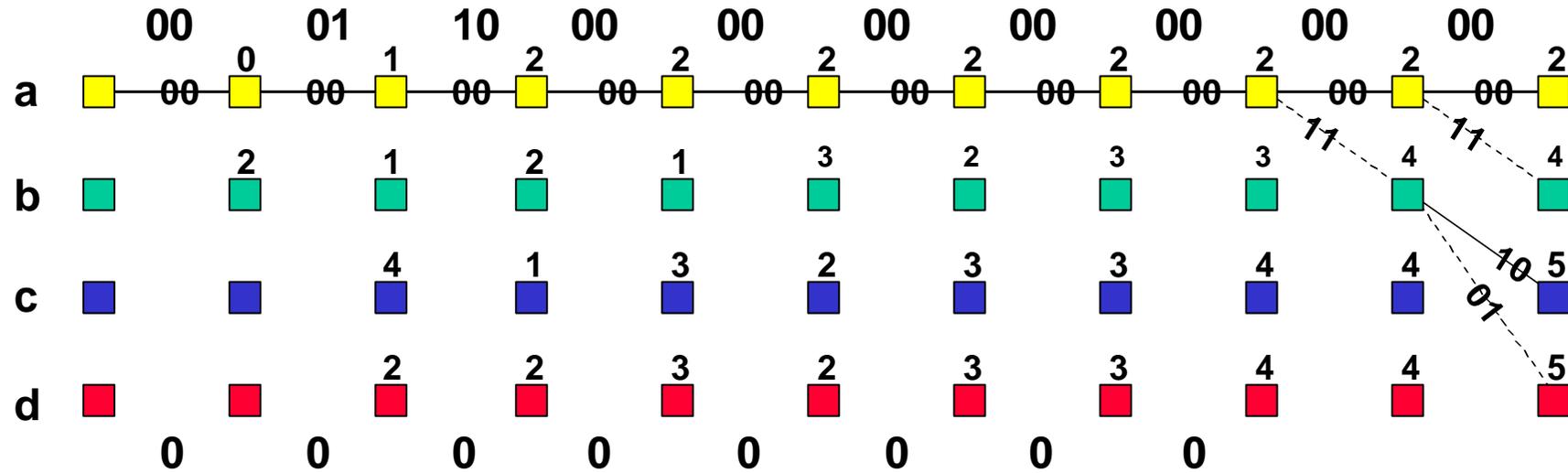
CDMA 信道编码技术



CDMA 信道编码技术



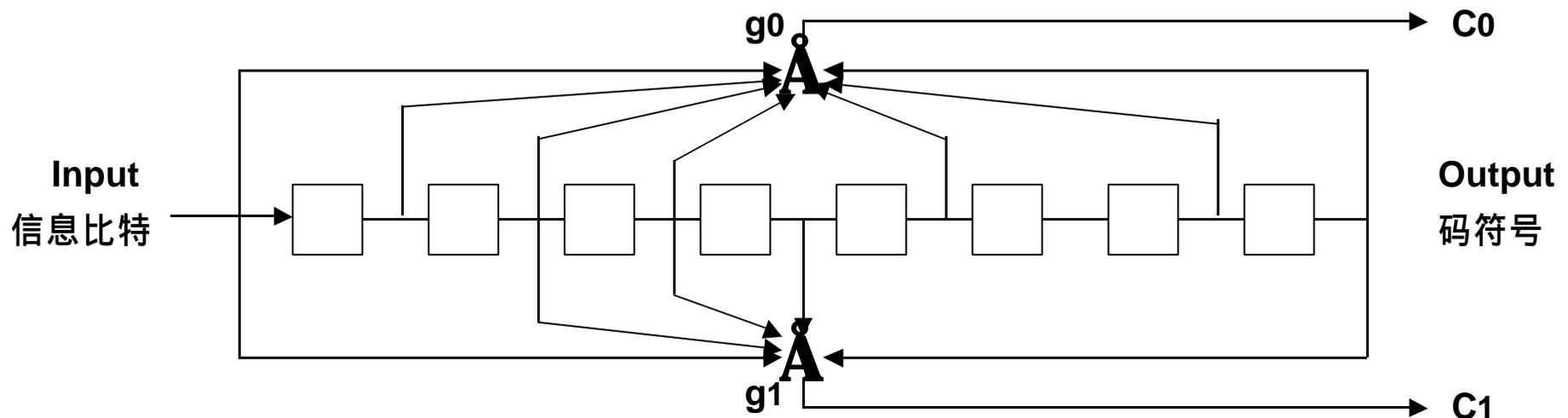
CDMA 信道编码技术



卷积编码技术在 CDMA 中的应用

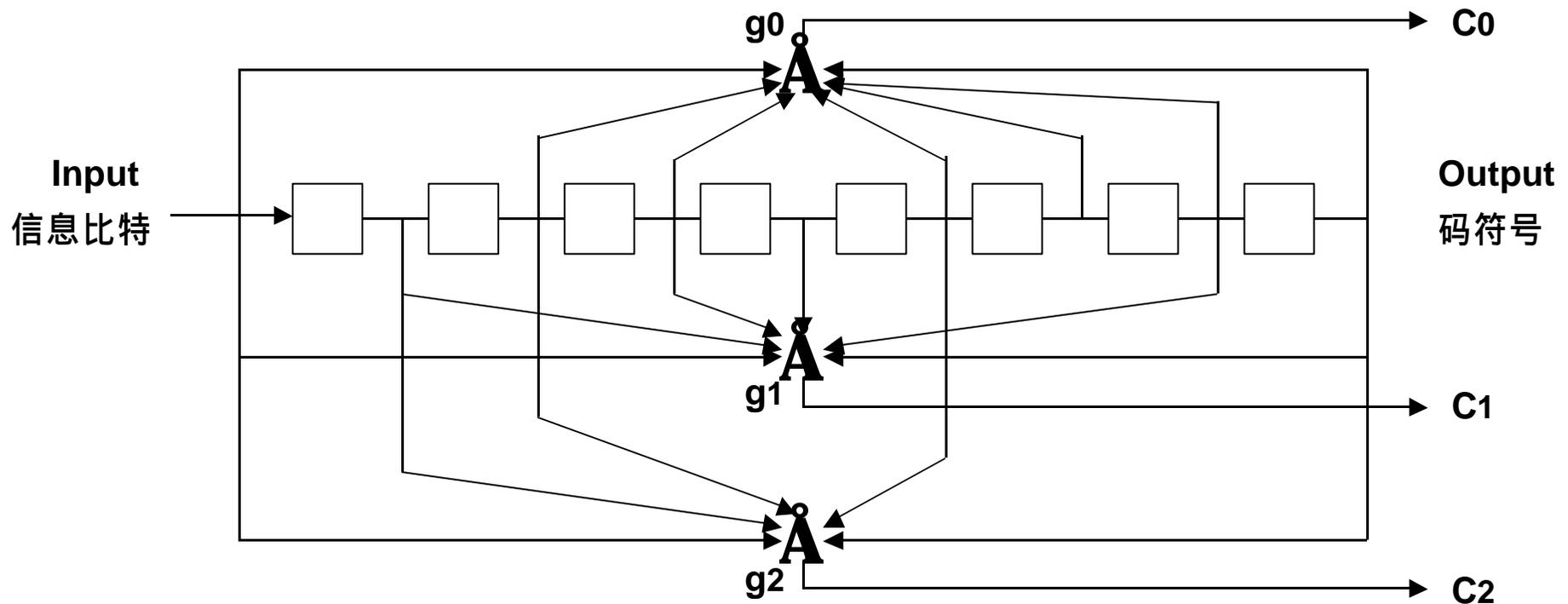
在 CDMA 系统中，卷积编码技术应用于前向链路的同步信道，寻呼信道，话务信道及反向链路的接入信道，话务信道编码。

在前向链路，使用编码率为 $1/2$ ，约束长度为 9，生成多项式分别为 $g_0=111101011$ ， $g_1=101110001$ 的卷积编码器，如下图：



CDMA 信道编码技术

在反向链路，使用编码率为 1/3，约束长度为 9，生成多项式分别为 $g_0=101101111$ ， $g_1=110110011$ ， $g_2=111001001$ 的卷积编码器，如下图：



块交织

□ 特点

- ✓ 将突发性误码 (burst error) 转变为随即性误码 (random error)
- ✓ 交织深度越大, 转变能力越强

□ 块交织的编码/解码举例

将下面的原始信息序列按行写入 10列 × 4行的矩阵,

ARE YOU SURE THAT THEY ARE COMING TO LUNCH WITH US

ARE YOU SURE THAT THEY ARE COMING TO LUNCH WITH US

A	R	E	Y	O	U	S	U	R	E
T	H	A	T	T	H	E	Y	A	R
E	C	O	M	I	N	G	T	O	L
U	N	C	H	W	I	T	H	U	S

然后按列读出，

ATEU RHCN EAOC YTMH OTIW UHNI SEGT UYTH RAOU ERLS

假定上面的序列在传输过程中发生了如下突发性误码，

ATEU RHCN EAOC YTMH OTIW UHNI SEGT UYTH RAOU ERLS

在接收方将上面的序列按列写入 10列 × 4行的矩阵

A	<u>R</u>	E	<u>Y</u>	O	<u>U</u>	S	U	<u>R</u>	E
T	<u>H</u>	A	<u>T</u>	T	H	E	Y	<u>A</u>	R
E	<u>C</u>	O	<u>M</u>	I	<u>N</u>	G	T	O	L
U	<u>N</u>	C	H	<u>W</u>	I	T	<u>H</u>	U	S

CDMA 信道编码技术

然后按行读出，

ARE YOU SURE THAT THEY ARE COMING TO LUNCH WITH US

可以看到在传输过程中发生的突发性误码，经块交织解码变成了随机性误码，并且交织深度为 10。

❑ 块交织技术在 CDMA 中的应用

在 CDMA 系统中，块交织技术应用于前向链路的同步信道，寻呼信道，话务信道及反向链路的接入信道，话务信道编码。

信道类型	数据速率	交织矩阵	写入/读出方式
反向业务信道	9600kbps	32 行 × 18 列	顺序按列/顺序按行
	4800kbps		顺序按列/按行，1,3,2,4,5,...
	2400kbps		顺序按列/按行，1,5,2,6,3,...
	1200kbps		顺序按列/按行，1,9,2,10,3,...
反向接入信道	4800kbps		顺序按列/按行，1,17,9,25,5,..
前向业务信道	9600kbps	24 行 × 16 列	顺序按列/特殊顺序
	4800kbps		顺序按列/特殊顺序
	2400kbps		顺序按列/特殊顺序
	1200kbps		顺序按列/特殊顺序
前向寻呼信道	9600kbps		顺序按列/特殊顺序
	4800kbps		顺序按列/特殊顺序
前向同步信道	1200kbps	16 行 × 8 列	顺序按列/特殊顺序

码重复

□ 目的

- ✓ 对卷积编码器输出的码符号进行速率调整，以适合块交织矩阵

□ 反向信道中的码重复

信道类型	数据速率 (bps)	卷积编码后速率 (Ksps)	重复次数 (次)	重复后速率 (Ksps)
反向业务信道	9600	28.8	0	28.8
	4800	14.4	1	28.8
	2400	7.2	3	28.8
	1200	3.6	7	28.8
反向接入信道	4800	14.4	1	28.8

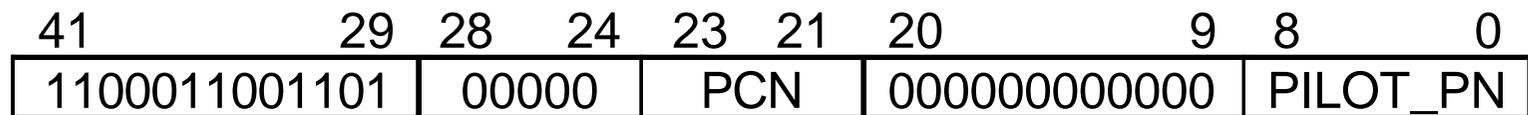
□ 前向信道中的码重复

信道类型	数据速率 (bps)	卷积编码后速率 (Ksps)	重复次数 (次)	重复后速率 (Ksps)
前向业务信道	9600	19.2	0	19.2
	4800	9.6	1	19.2
	2400	4.8	3	19.2
	1200	2.4	7	19.2
前向同步信道	1200	2.4	1	4.8
前向寻呼信道	9600	19.2	0	19.2
	4800	9.6	1	19.2

数据扰码

□ 特点

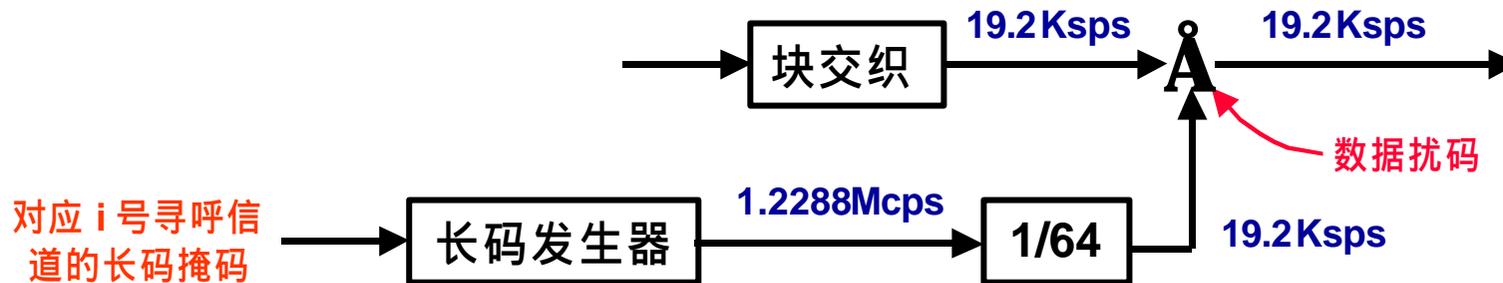
- ✓ 实际上是加密过程
- ✓ 只应用于前向寻呼信道和前向业务信道
- ✓ 利用被掩码的 PN 长码进行扰码
- ✓ 在前向寻呼信道使用的掩码为



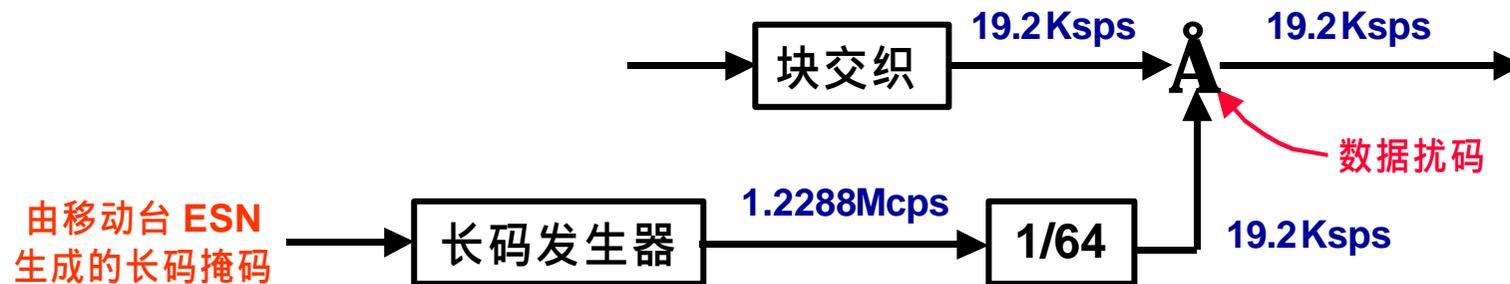
- ✓ 在前向业务信道使用的掩码为



前向寻呼信道



前向业务信道



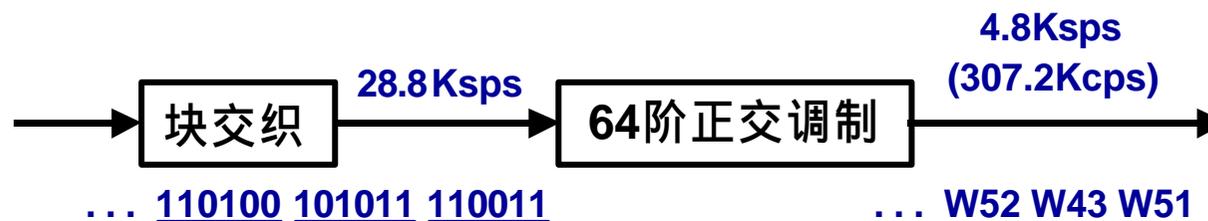
64 阶正交调制

□ 特点

- ✓ 用 64 个 Walsh 序列中的一个替代每 6 个码符号
- ✓ 只应用于反向信道
- ✓ 易于进行准确的非同步解调

(反向信道为非同步传输信道，进行非同步解调)

□ 举例

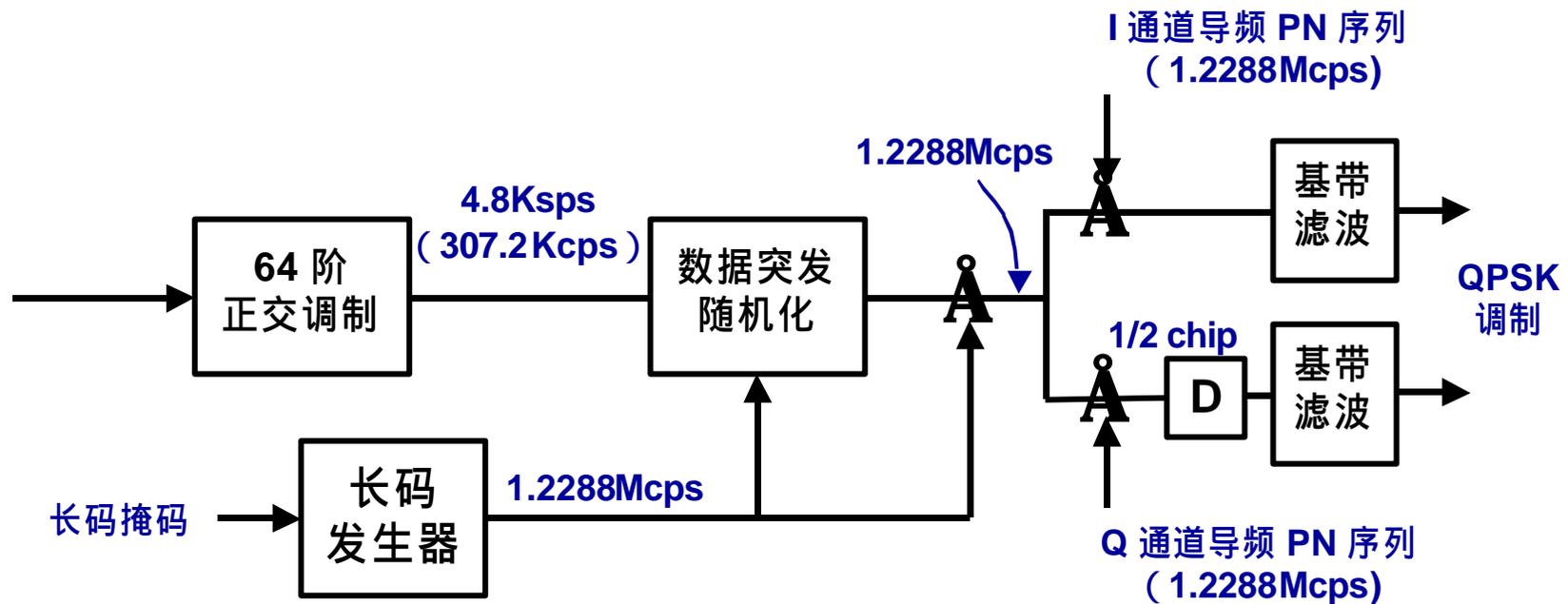


数据突发随机化

□ 特点

- ✓ 只应用于反向**业务信道**
- ✓ 数据速率低时，**通过减少发射的数据降低发射功率**
- ✓ 随机地屏蔽掉由码重复产生的冗余数据
(反向业务信道与前向业务信道不同，对各种速率用相同的比特能量发送数据)
- ✓ 以功率控制组为单位进行屏蔽
- ✓ 利用 PN 长码的最后 14 个比特，经过特定算法决定屏蔽位

❑ 数据突发随机化算法



□ 数据突发随机化算法

假定前一帧的倒数第二个功率控制组用于扩频的 PN 长码的最后 14 个比特为：

b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12 b13

则对应于各个速率，发射的功率控制组标号为：

9600bps : 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 , 9 , 10 , 11 , 12 , 13 , 14 , 15。

发送 16 个功率控制组（不屏蔽）

4800bps : b0 , 2+b1 , 4+b2 , 6+b3 , 8+b4 , 10+b5 , 12+b6 , 14+b7。

发送 8 个功率控制组（屏蔽 8 个）

2400bps : b_0 (若 $b_8=0$) 或 $2+b_1$ (若 $b_8=1$) ;
 $4+b_2$ (若 $b_9=0$) 或 $6+b_3$ (若 $b_9=1$) ;
 $8+b_4$ (若 $b_{10}=0$) 或 $10+b_5$ (若 $b_{10}=1$) ;
 $12+b_6$ (若 $b_{11}=0$) 或 $14+b_7$ (若 $b_{11}=1$) 。

发送 4 个功率控制组 (屏蔽 12 个)

2400bps : b_0 (若 $b_{12}=0$ 且 $b_8=0$) 或 $2+b_1$ (若 $b_{12}=0$ 且 $b_8=1$) 或
 $4+b_2$ (若 $b_{12}=1$ 且 $b_9=0$) 或 $6+b_3$ (若 $b_{12}=1$ 且 $b_9=1$) ;
 $8+b_4$ (若 $b_{13}=0$ 且 $b_{10}=0$) 或 $10+b_5$ (若 $b_{13}=0$ 且 $b_{10}=1$)
或
 $12+b_6$ (若 $b_{13}=1$ 且 $b_{11}=0$) 或 $14+b_7$ (若 $b_{13}=1$ 且 $b_{10}=1$) 。

发送 2 个功率控制组 (屏蔽 14 个)

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

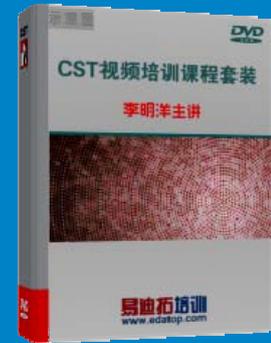
该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>