

# 第八讲 DVB-C 数字电视广播系统

数字电视系统：差错控制+调制

(**RS+卷积码**)  $\rightarrow$  (**BCH+LDPC**)

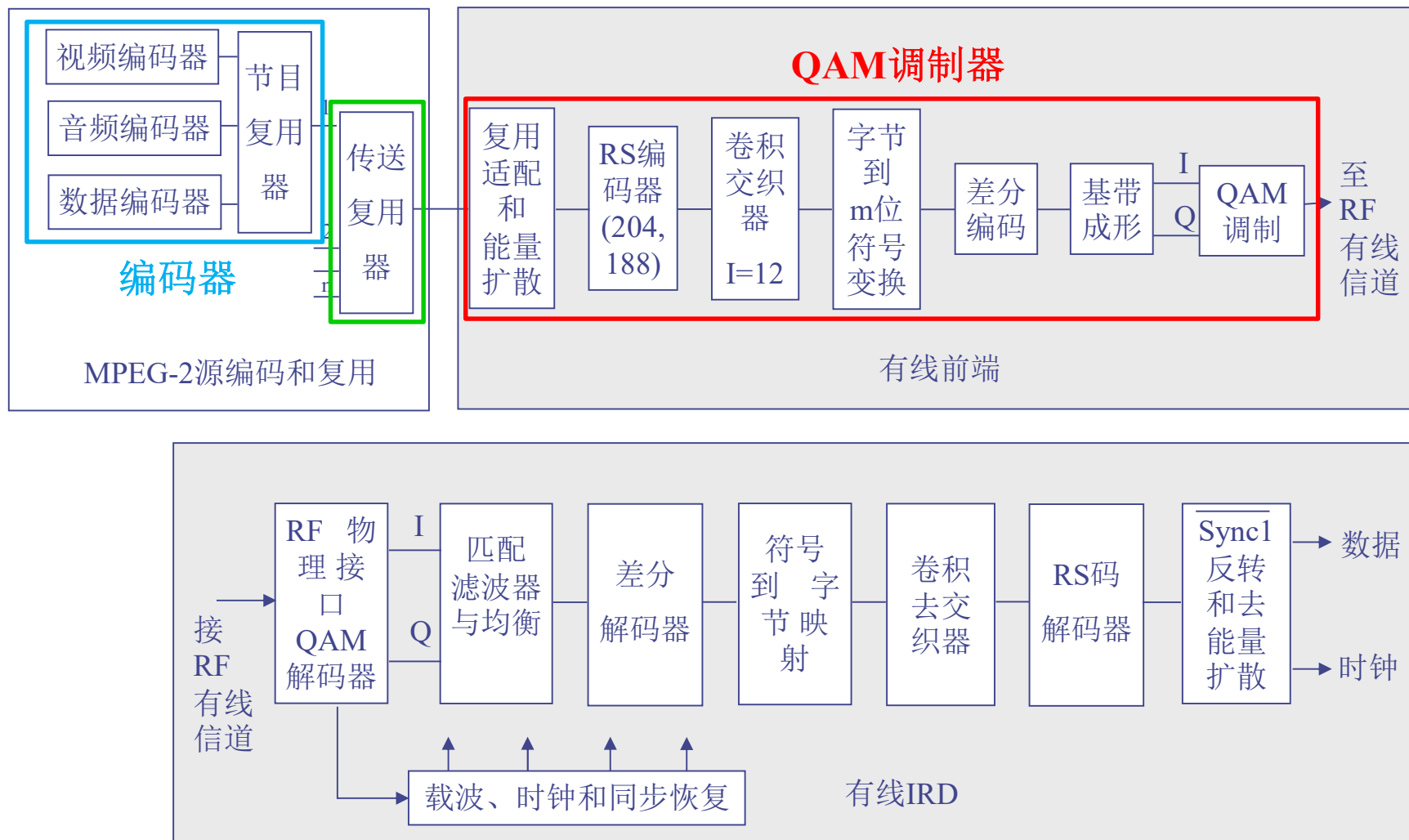
有线——**DVB-C (Cable)** (无卷积码) **QAM**

卫星——**DVB-S (Satellite)** **QPSK**  $\rightarrow$  **DVB-S2**  
**MAPSK (BCH+LDPC)**

地面——**COFDM** **8VSB** ; **DVB-T (Terrestrial)** 、  
**ISDB**、**ATSC**、**DTTB (BCH+LDPC)**、**CMMB**  
**(RS+LDPC)** 、 ; **DVB-T2 (BCH+LDPC)** ;

# 一、DVB-C系统框图

复用器



## 二、DVB-C系统的信道编码与调制

### ◆ 传送复用适配和随机化处理

- 定义、作用和工作原理

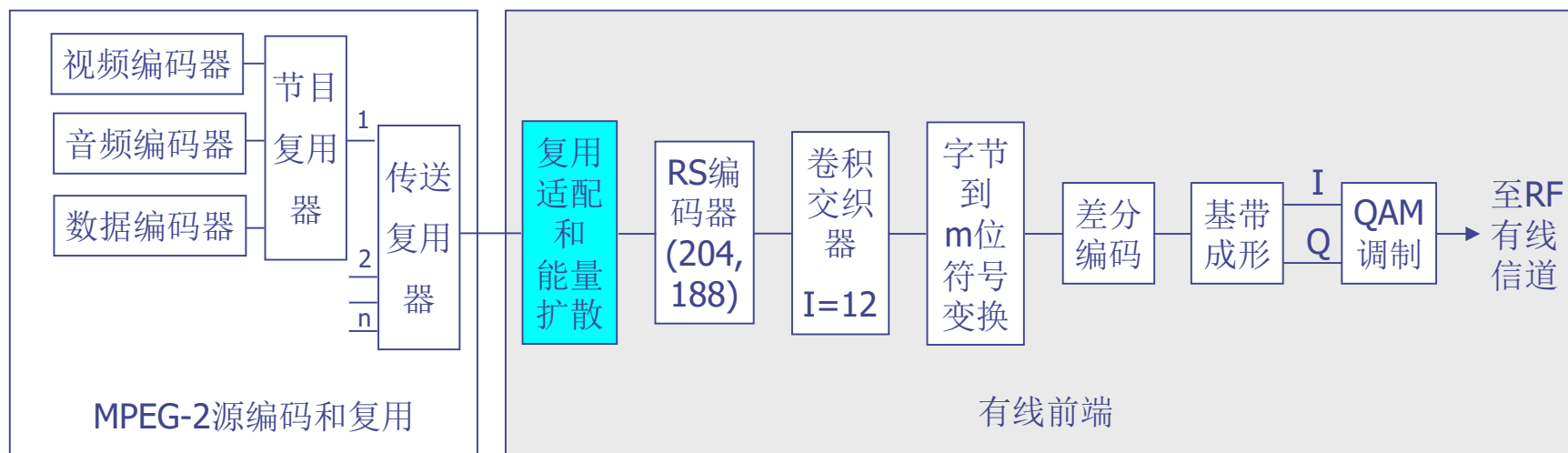
### ◆ 编码——RS码

- 线性分组码概念、RS码参数、截短RS码

### ◆ 卷积交织和帧结构

- 交织概念、作用、方法、DVB-C帧结构

# 1、随机化处理功能框



# 随机化定义

## ◆“随机化”处理通常称为“扰码”

- 用较长的伪随机序列与数字基带信号序列逐比特地模2加（即异或），以改变原信号的统计特性，使其具有伪随机性质；

## ◆“解扰”，或“去随机化”：

- 在接收端，用与发端相同的伪随机序列与解调出的数字基带信号序列按发端相同的规律模2加，从而恢复出原来的数字序列。

# DVB-C系统中随机化处理的作用

## ◆ 能量扩散

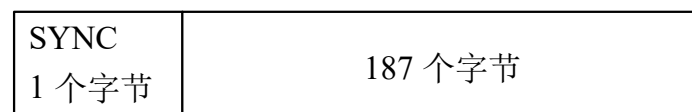
- 输入比特流不存在或输入比特流与MPEG-2传送流格式不兼容而导致调制器发射未经调制的载波。
- 当数字基带信号是周期不长的周期信号时，已调波的频谱将集中在局部并含有相当多的高电平离散谱。
- 上述情况将对共用频段的其他业务的干扰超过规定值。
- 数字基带信号经随机化处理后具有伪随机性质，其已调波的频谱将分散开来，从而使上述干扰的程度大大减轻。

# DVB-C系统中随机化处理的作用（续）

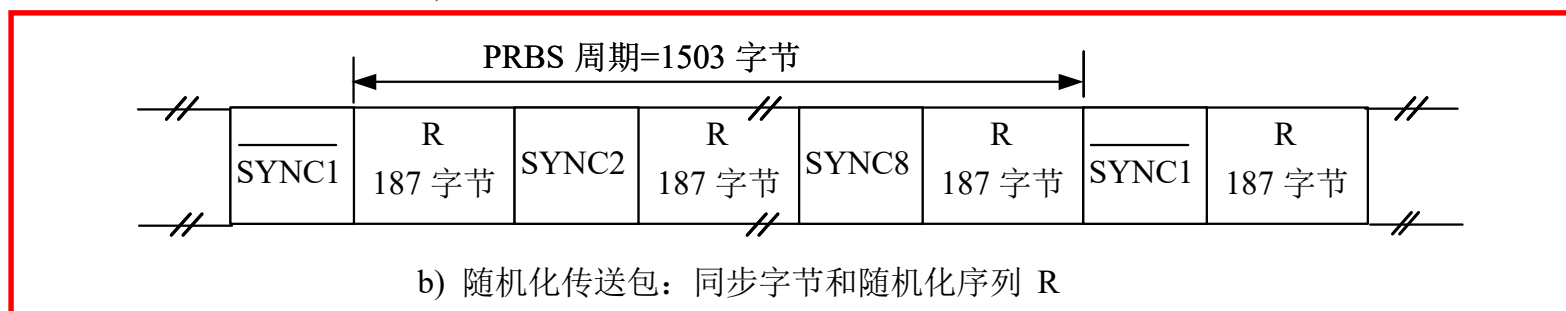
## ◆改善位定时恢复质量

- 数字传输系统一般从接收到的基带信号流中提取位定时信息。
- 当信源输入数据中出现长串的连“0”码或连“1”码时，NRZ基带信号出现长时间的0电位或1电位，给接收端恢复位定时信息造成一定困难。
- 用伪随机序列扰乱后，限制了连“0”码和连“1”码的长度，从而改善位定时恢复的质量。

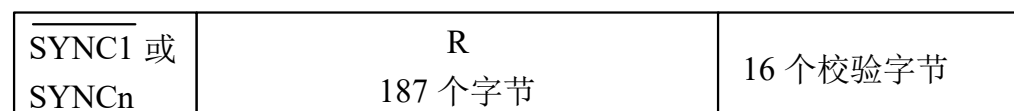
# DVB-C帧结构



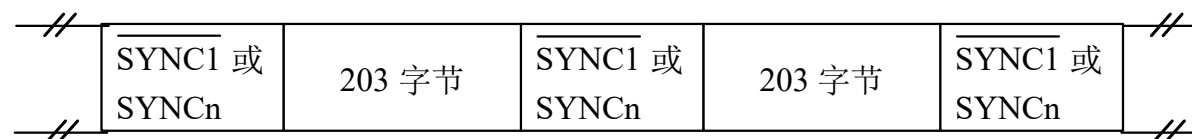
a) MPEG-2 传送复用包



b) 随机化传送包：同步字节和随机化序列 R



c) RS (204, 188, 8) 误码保护包



d) 交织帧：交织深度 I=12

SYNC1=未随机化的同步字节补码    SYNCn=未随机化的同步字节, n=2、3、...、8



# DVB-C系统PRBS产生器

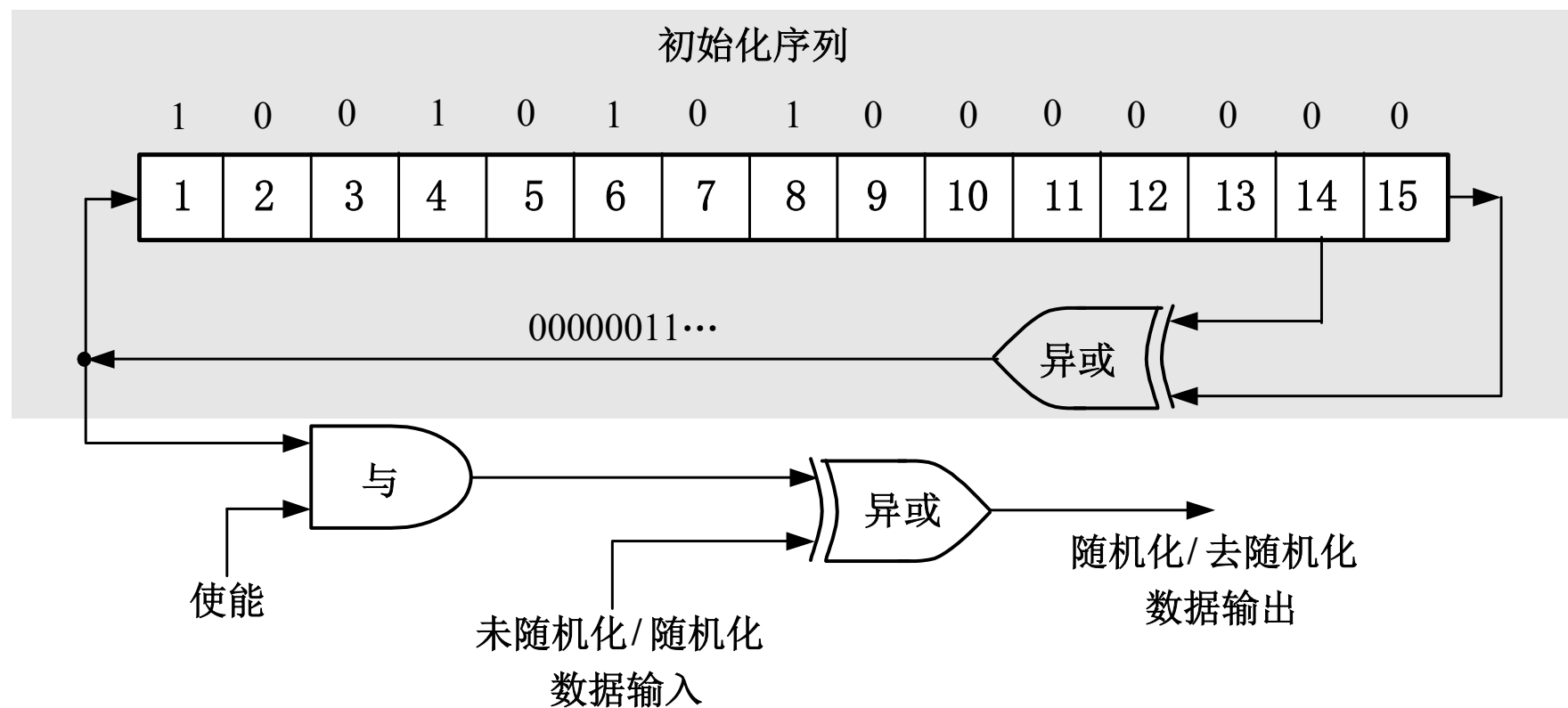
◆特征多项式为

$$f(x)=1+x^{14}+x^{15}$$

定义了PRBS产生器的结构，为15级线性反馈移位寄存器。

◆给寄存器设置一个非全零初始状态后，随着时钟节拍寄存器将产生PRBS。

# DVB-C系统PRBS产生器（续）



数据输入（从MSB开始）： 1 0 1 | 1 1 0 0 0 x x x x x x x x ...

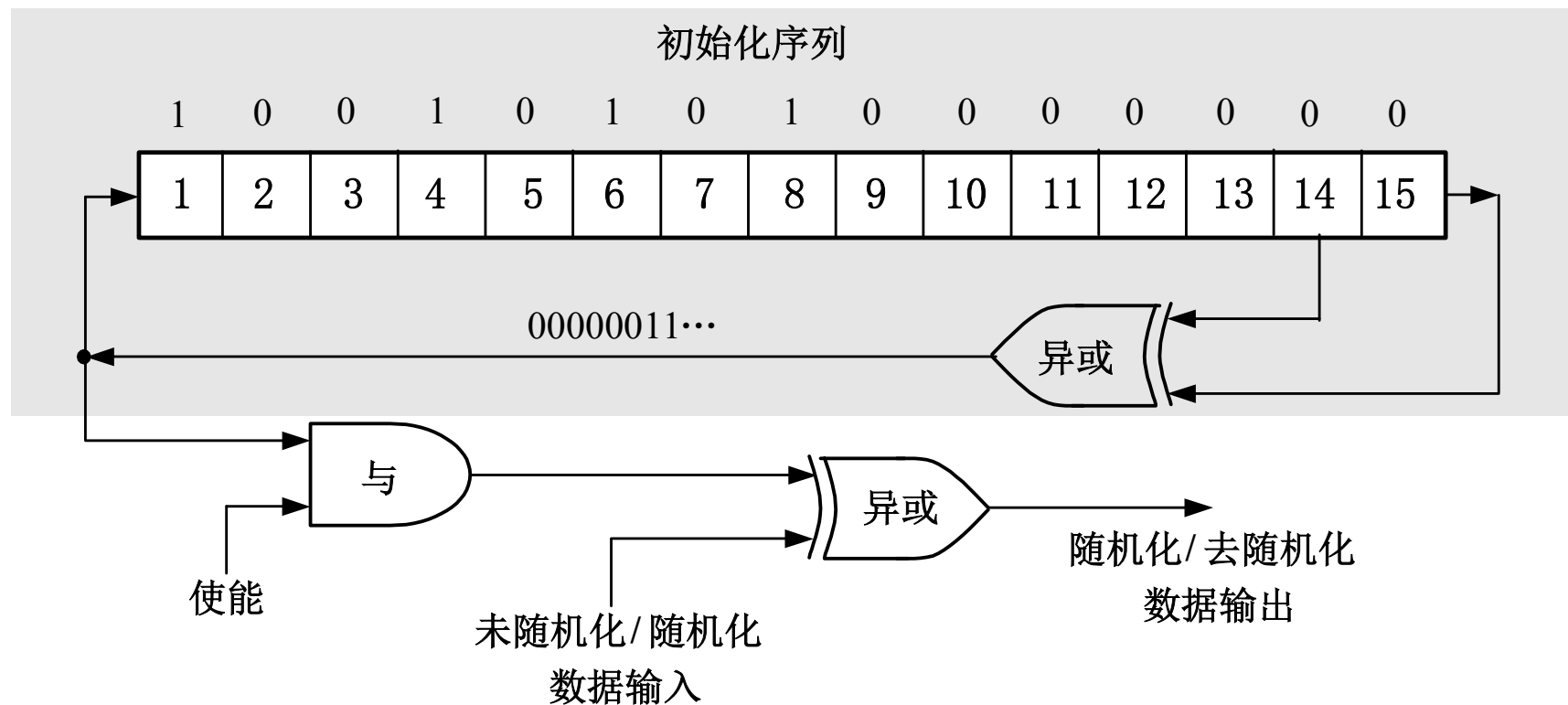
PRBS 序列： 0 0 0 | 0 0 0 1 1 ...

# 传送复用适配

- ◆ 为“去随机化”，接收端的伪随机序列产生器与发送端的伪随机序列产生器同步工作。
- ◆ 在每8个MPEG-2传送包的开始处，将序列“1001010100000000”载入寄存器进行初始化。
- ◆ 为了向解扰器提供一个启动信号，在发端将每组8个包中的第一个传送包的MPEG-2同步字节从47<sub>HEX</sub>（即01000111）逐比特反转到B8<sub>HEX</sub>（即10111000）。

# DVB-C系统随机化处理工作原理

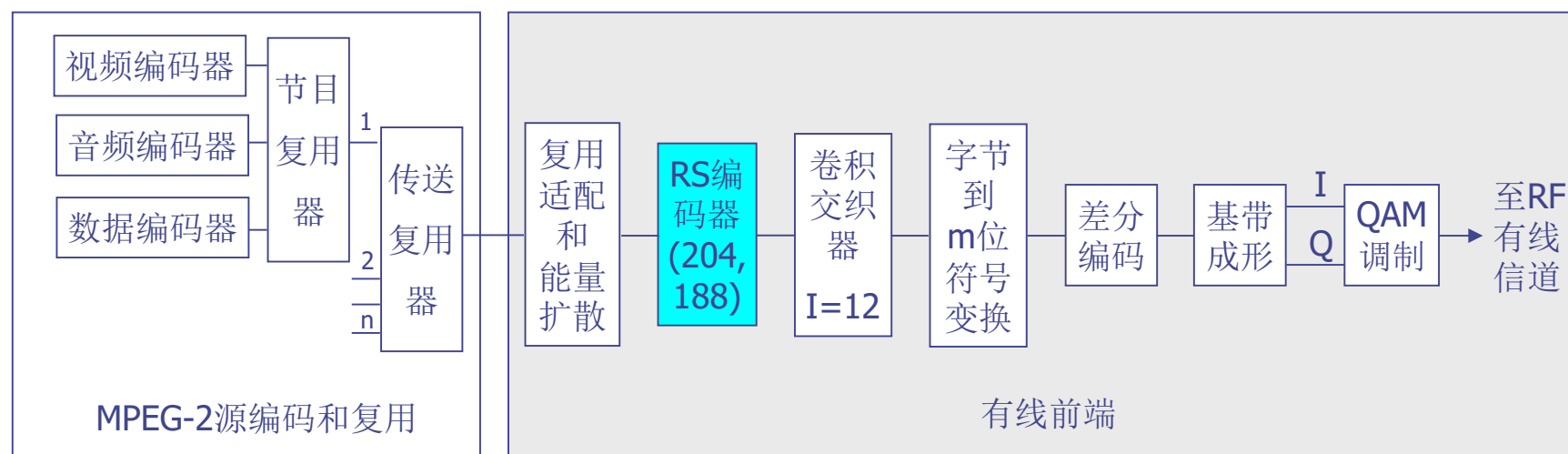
- ◆ PRBS产生器输出的第一个比特应加到反转的MPEG-2同步字节（即B8<sub>HEX</sub>）后面的第一个字节的第一位上。
- ◆ 为帮助建立其他同步功能，在后续7个传送包的MPEG-2同步字节期间，PRBS继续工作但输出无效，不对这些字节进行随机化。
- ◆ 为了使PRBS不加扰MPEG-2传送包的同步字节，PRBS须经与门电路后再与输入信号序列进行模2加运算。



数据输入（从MSB开始）： 1 0 1 | 1 1 0 0 0 x x x x x x x x ...

PRBS 序列： | 0 0 0 | 0 0 0 1 1 ...

## 2、外码编码功能框



# RS码

“+”不是算术加，是模加

◆生成多项式具有如下特殊形式

$$g(x) = (x + \alpha^0)(x + \alpha^1) \cdots (x + \alpha^{2t-1})$$

- 用以纠正 $t$ 个符号（或字节）错误。
- $\alpha$  为 $GF(2^m)$ 的本原元素。
- 表示为 $RS(n, k, t)$ ，各参数意义如下
- 码长  $n = 2^m - 1$  字节 或  $m(2^m - 1)$  比特
- 信息段  $k$  字节 或  $mk$  比特
- 监督段  $n - k = 2t$  字节 或  $m(n - k)$  比特

3、 RS码的生成多项式为：

$$g(x)=(x+\alpha^0)(x+\alpha^1)\cdots(x+\alpha^{19})$$

可以纠正 [填空1] 个符号（或字节）错误。

正常使用填空题需3.0以上版本雨课堂



# 缩短RS码

- ◆在某些情况下，不能找到一种比较合适的码长或信息位个数。
- ◆可把某一RS(n,k)码进行缩短以满足要求。
- ◆缩短RS(n-i,k-i) 码是RS(n,k)码缩短i个字节得到的。
- ◆缩短RS码的编码效率比原码要小，但纠错能力不一定比原码强。

# DVB-C系统的RS码

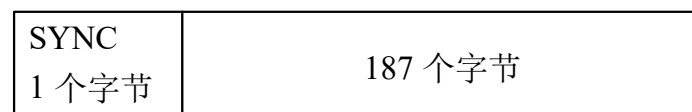
- ◆ RS(204,188,t=8), 是缩短RS码。
- ◆ 原码RS(255,239,t=8), 码长 $n=2^8-1$ 字节, 每字节8比特, 具有纠正 $t=(n-k)/2=8$ 字节即64比特误码的能力。
- ◆ 生成多项式如下:

$$g(x)=(x+\alpha^0)(x+\alpha^1)\cdots(x+\alpha^{15})$$

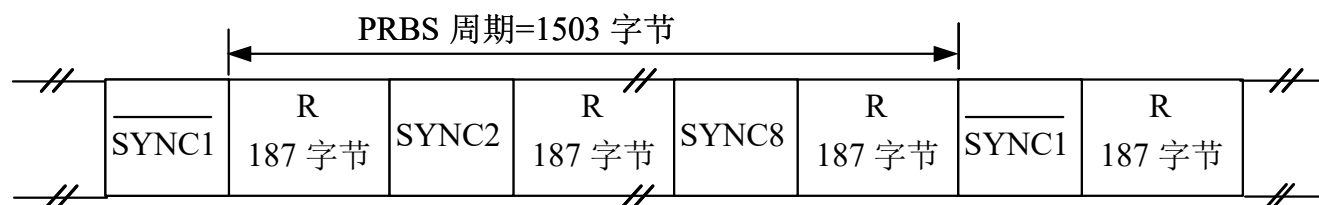
式中:  $\alpha$ 是GF( $2^8$ )的本原元素, 是域生成多项式

$p(x)=x^8+x^4+x^3+x^2+1$ 的根,  $\alpha=02_{\text{HEX}}$ 。

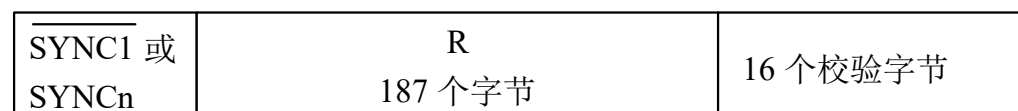
# DVB-C帧结构



a) MPEG-2 传送复用包



b) 随机化传送包：同步字节和随机化序列 R



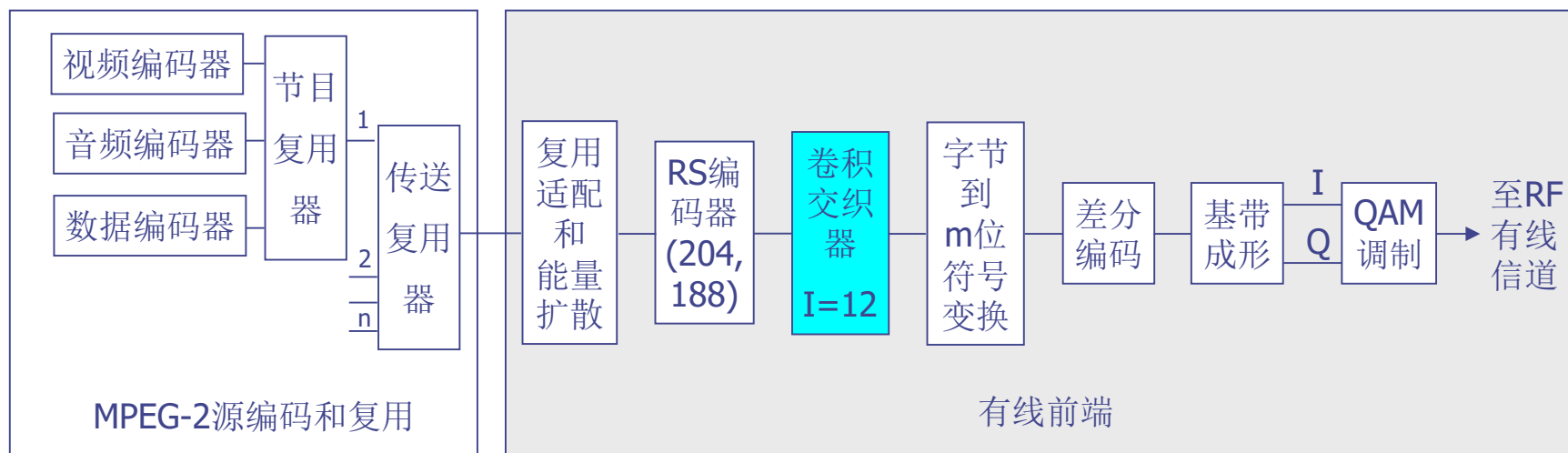
c) RS (204, 188, 8) 误码保护包



d) 交织帧：交织深度 I=12

SYNC1=未随机化的同步字节补码    SYNCn=未随机化的同步字节, n=2、3、...、8

### 3、交织功能框

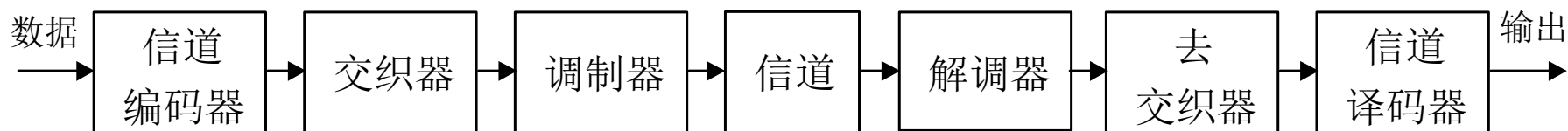


# 交织的作用

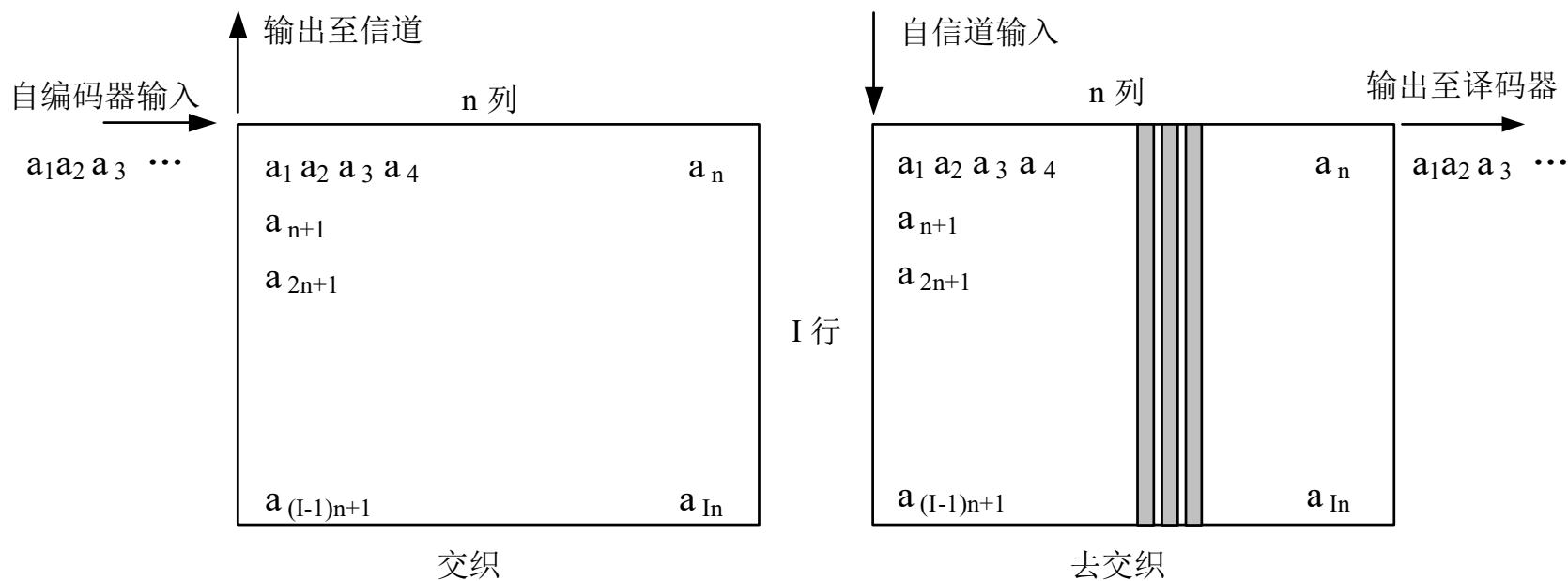
- ◆ 实际信道中突发错误与随机错误并存。
- ◆ 突发错误可以采用专门为纠正突发错误而设计的纠错码，如RS码。
- ◆ 对于较长的突发错误，如果与交织技术结合起来，把突发错误离散为随机的独立错误或较短的突发错误，再用中等能力的纠突发错误码纠错，则能取得明显的效果。

# 交织的基本概念

- ◆ 重新组合序列的方法称为交织。
- ◆ 交织技术需要付出**时延**的代价。
- ◆ 采用交织技术的前向纠错系统如图。**交织深度越大，抗突发错误能力越强。**
- ◆ 常用交织方法：块交织、卷积交织、随机交织、...



# 块交织



按行输入，按列输出

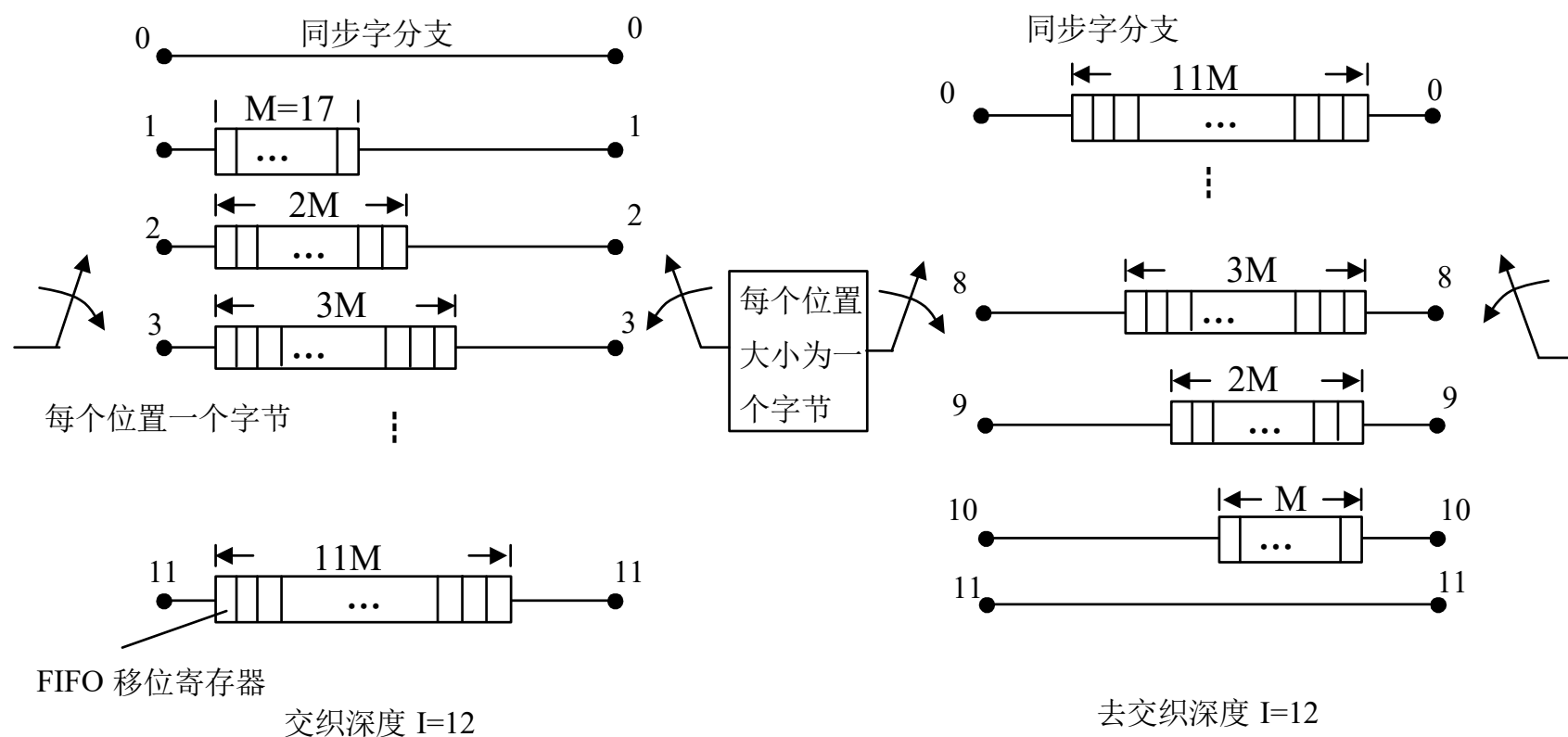
按列输入，按行读出

交织输入/去交织输出序列:  $a_1 a_2 a_3 a_4 \dots a_n a_{n+1} \dots a_{(I-1)n+1} \dots a_{In}$

信道序列:  $a_1 a_{n+1} a_{2n+1} \dots a_{(I-1)n+1} a_2 a_{n+2} \dots a_{(I-1)n+2} a_3 \dots a_n \dots a_{In}$

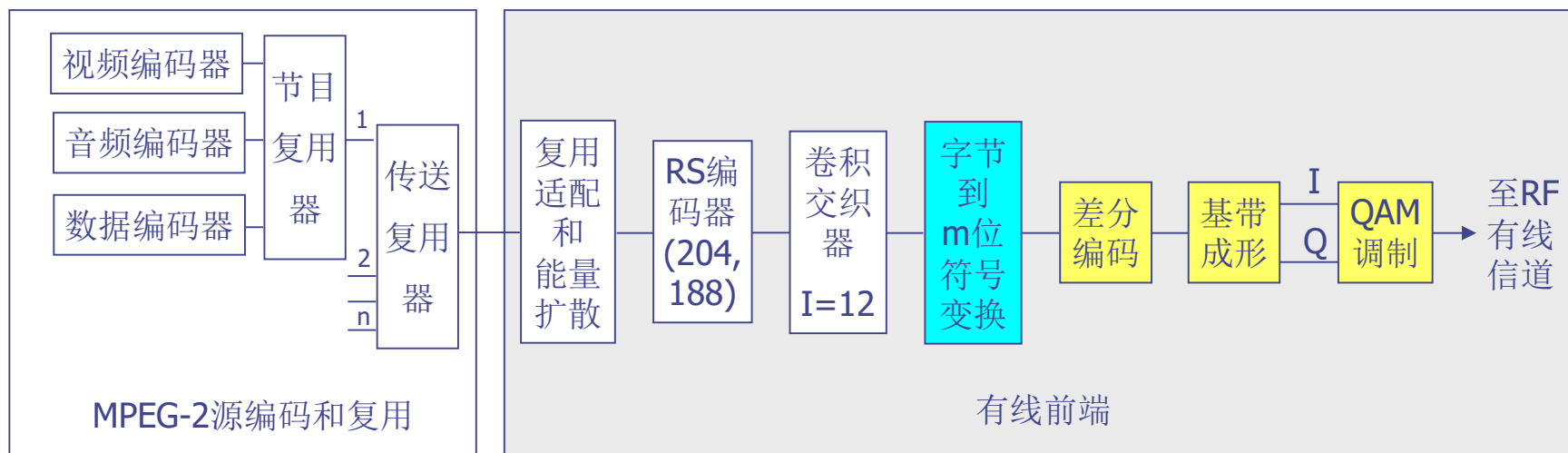
# DVB-C系统卷积交织

◆  $n=I \times M$ , 对DVB-C:  $n=204$ ,  $I=12$ ,  $M=17$





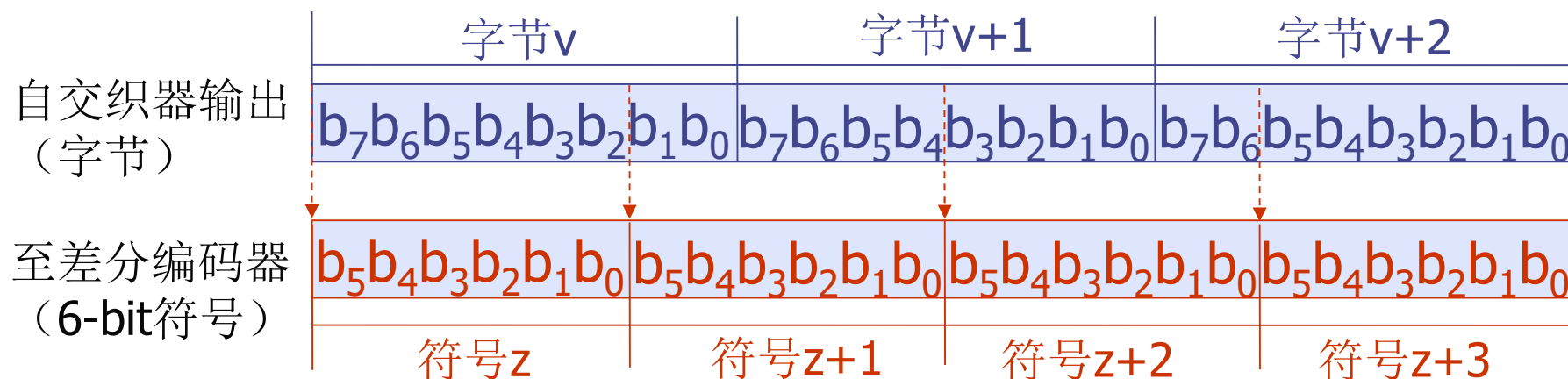
## 4、字节到（调制）符号的变换



# 字节到（调制）符号的变换

例：64QAM的字节到m比特符号的变换，

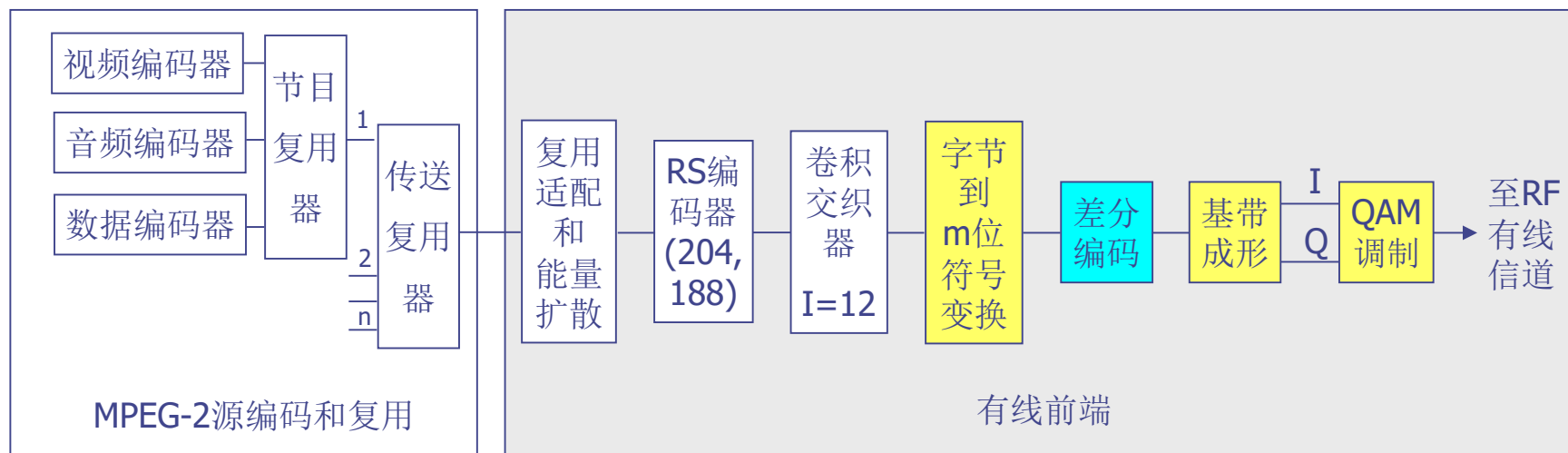
$2^m=64$ ，  $m=6$  ， 3字节转换为4个符号



# 5、差分编码

◆作用：

为了获得 $\pi/2$ 旋转不变QAM星座图，每个符号的**两个最高有效位**应进行差分编码。

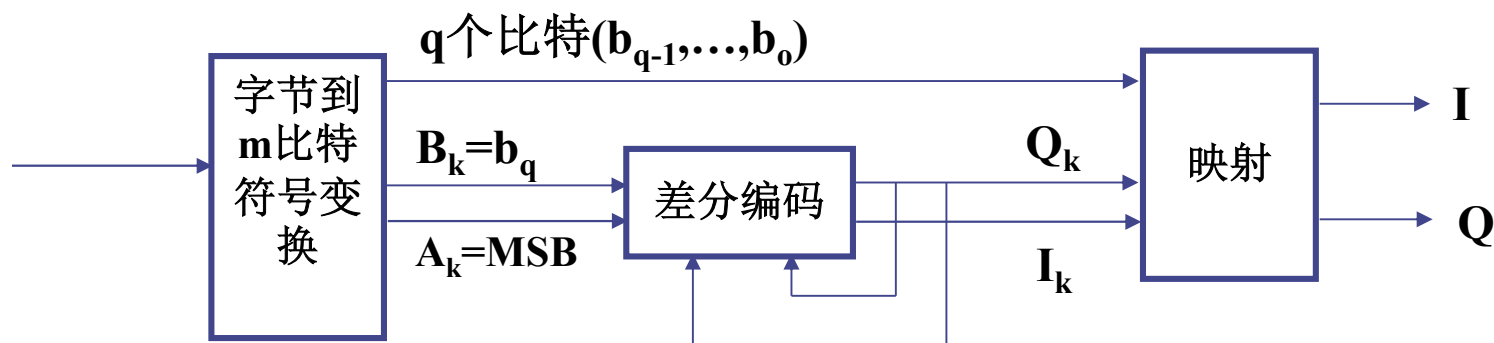


# 差分编码规则和示意图

◆ 两个MSB差分编码由下面的表达式给出

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$



q=2, 16QAM时; q=3, 32QAM时; q=4, 64QAM时;

# A<sub>k</sub>、B<sub>k</sub>生成I<sub>k</sub>、Q<sub>k</sub>差分编码真值表

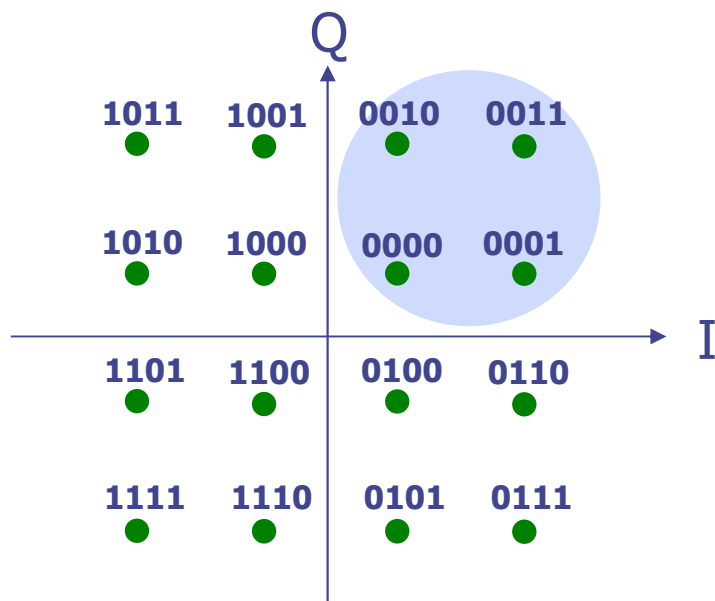
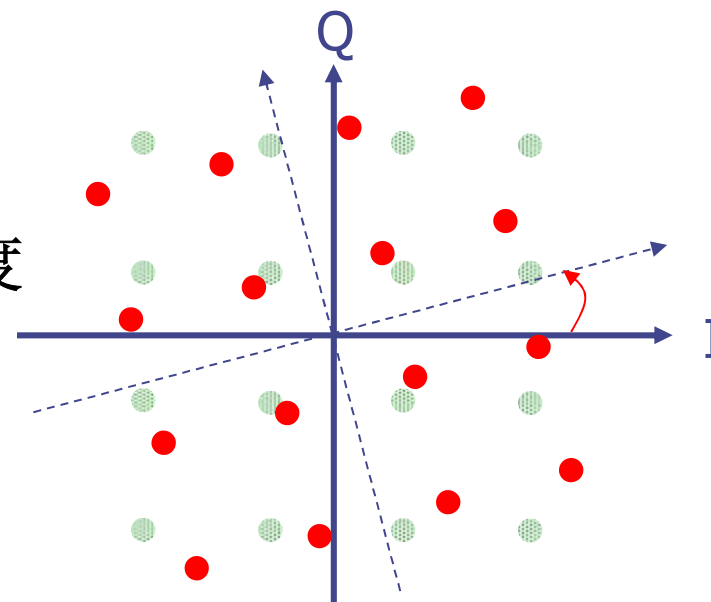
	A <sub>k-1</sub>	0				0				1				1			
	B <sub>k-1</sub>	0				1				1				0			
	A <sub>k</sub>	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	B <sub>k</sub>	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
	I <sub>k</sub>	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0
	Q <sub>k</sub>	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

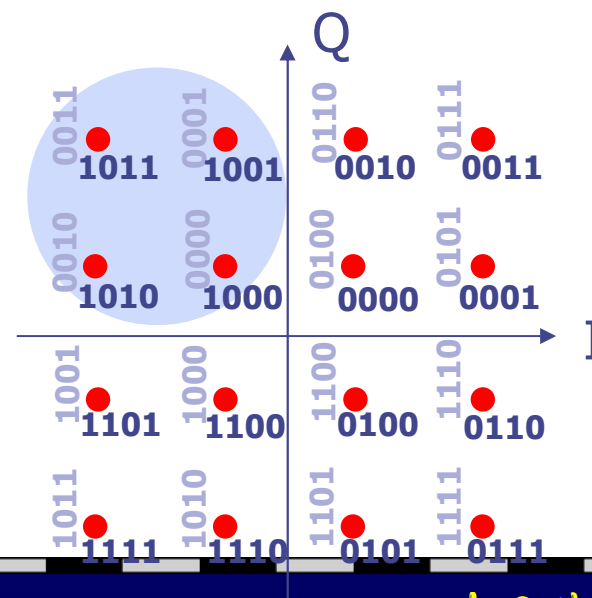
$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

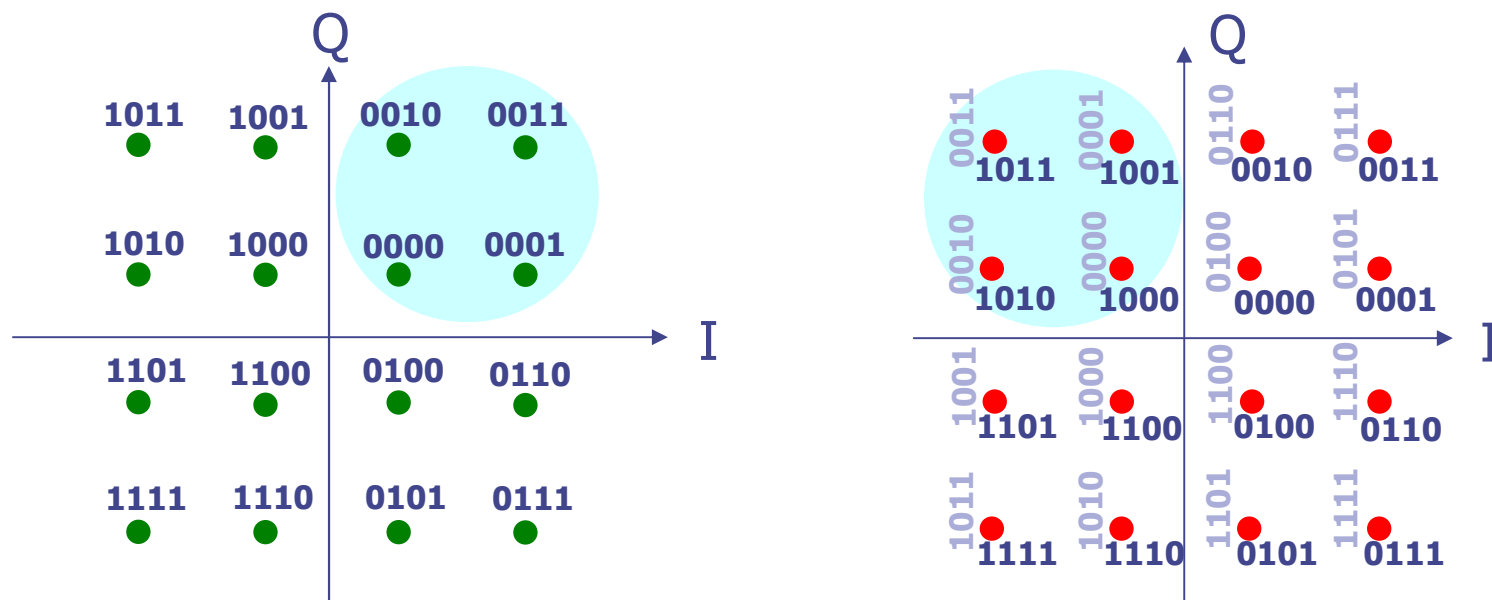
# 载波相位旋转示意图

载波相位旋转任意角度



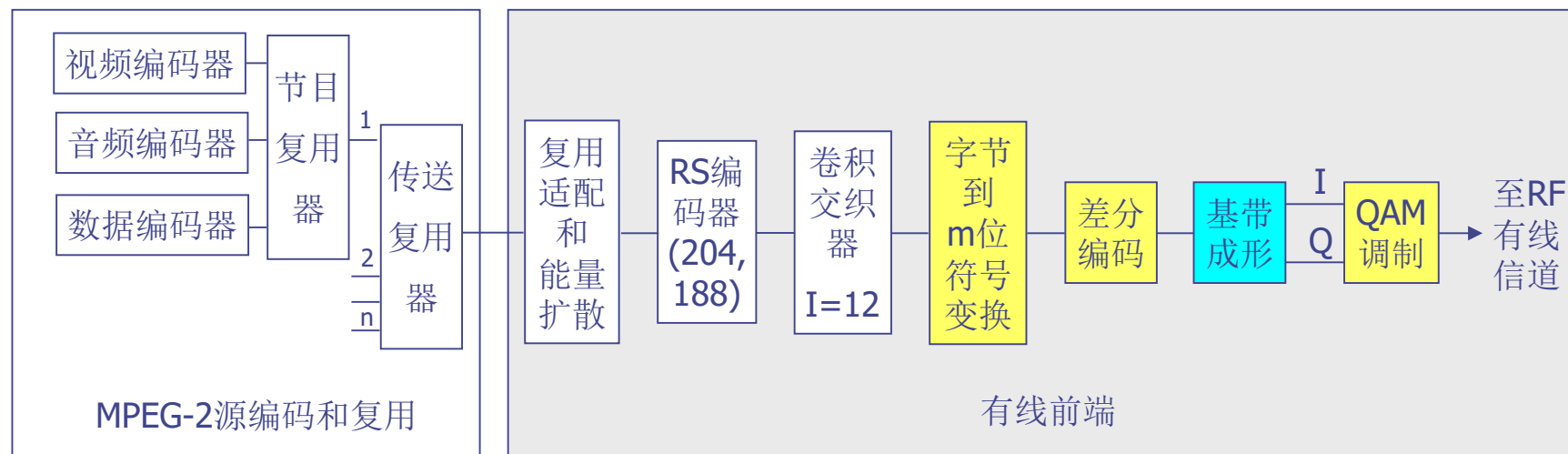
载波相位旋转 $90^\circ$





◆ 载波发生 $\pi/2, \pi, 3\pi/2$ 相位旋转时， $q$ 个LSB不会发生错误，而2个MSB经差分译码后也不会发生错误。

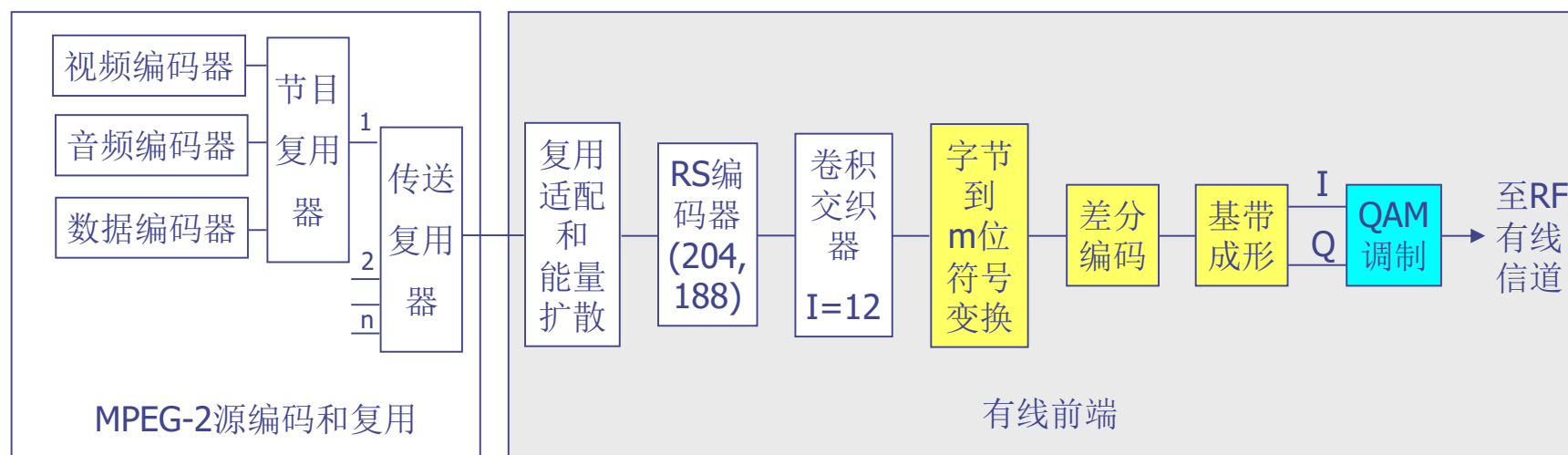
## 6、基带成形滤波



◆ 调制前，I、Q信号进行平方根升余弦滚降滤波，滚降系数为0.15。



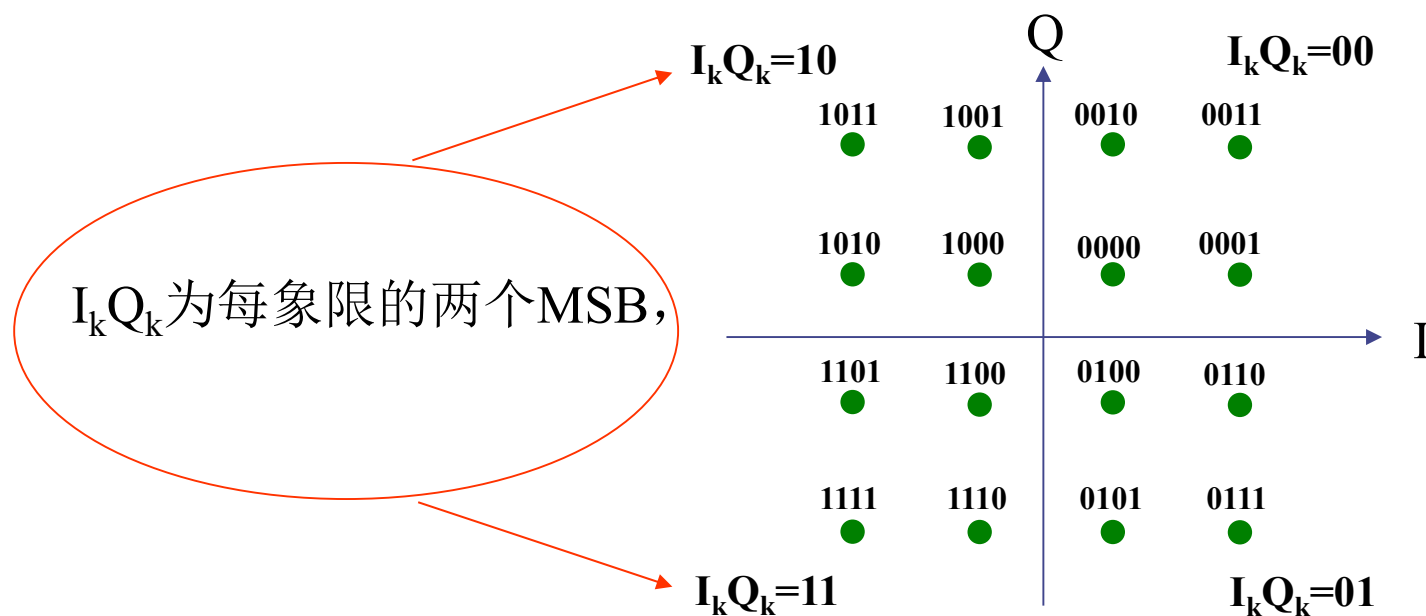
# 7、QAM调制



# QAM星座图

◆ 系统采用16/32/64QAM

◆ 举例：16QAM星座图

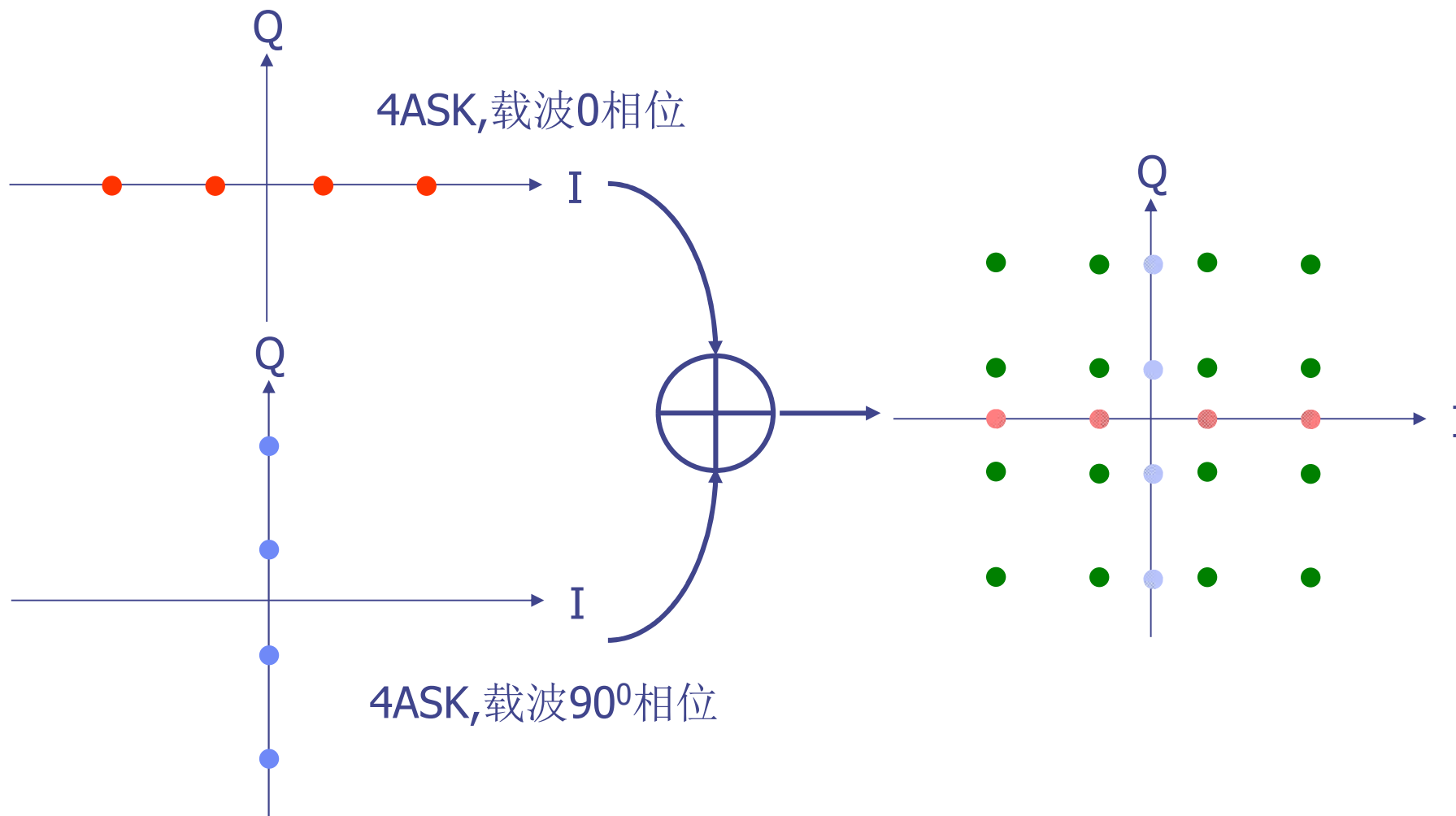


## 星座图中的第**1**象限星座点到其它象限星座点的变换

象限	MSB	LSB旋转
1	00	
2	10	$+\pi/2$
3	11	$+\pi$
4	01	$+3\pi/2$

通过改变2个MSB位（即 $I_k Q_k$ ）并根据表中规则旋转q个LSB，可将第1象限中的星座点变换至第2、3、4象限。

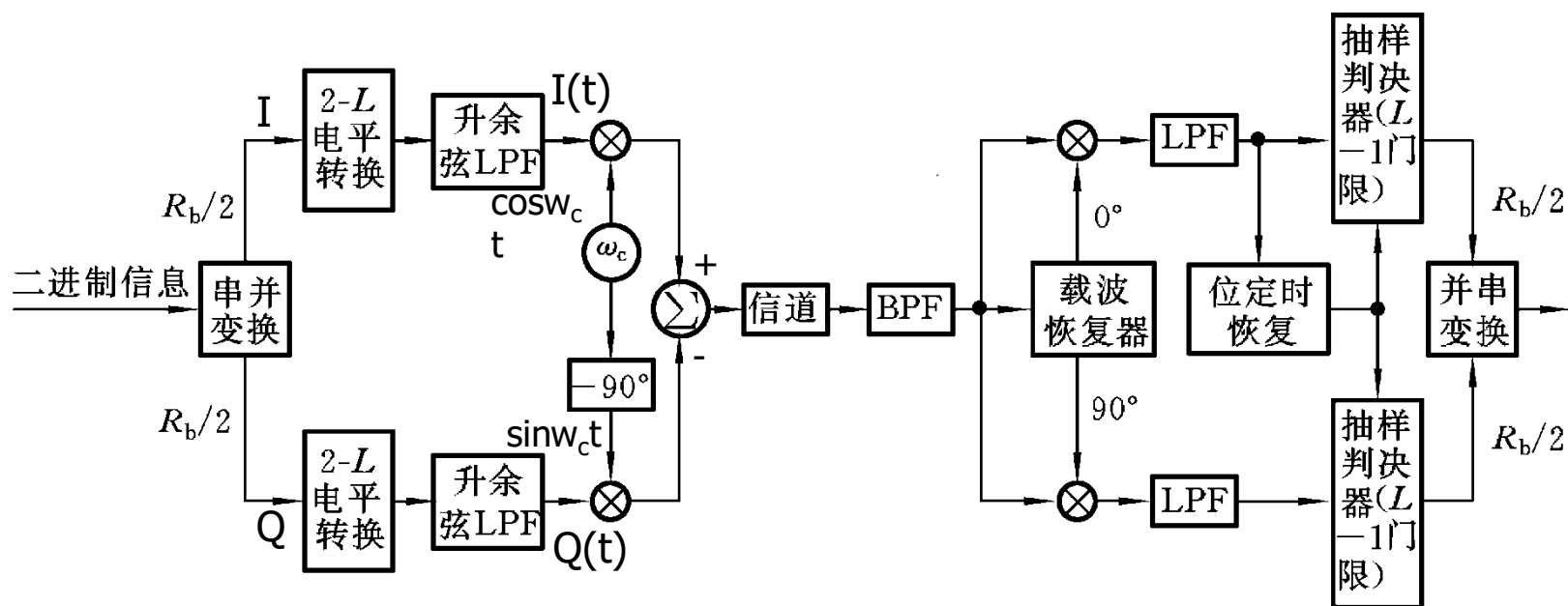
# QAM的正交调制实现



# QAM调制、解调器原理

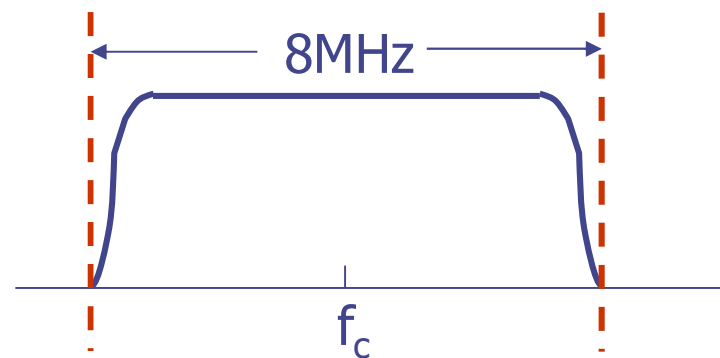
◆ M-QAM由2路正交的L-ASK信号叠加而成

◆  $M=L^2$



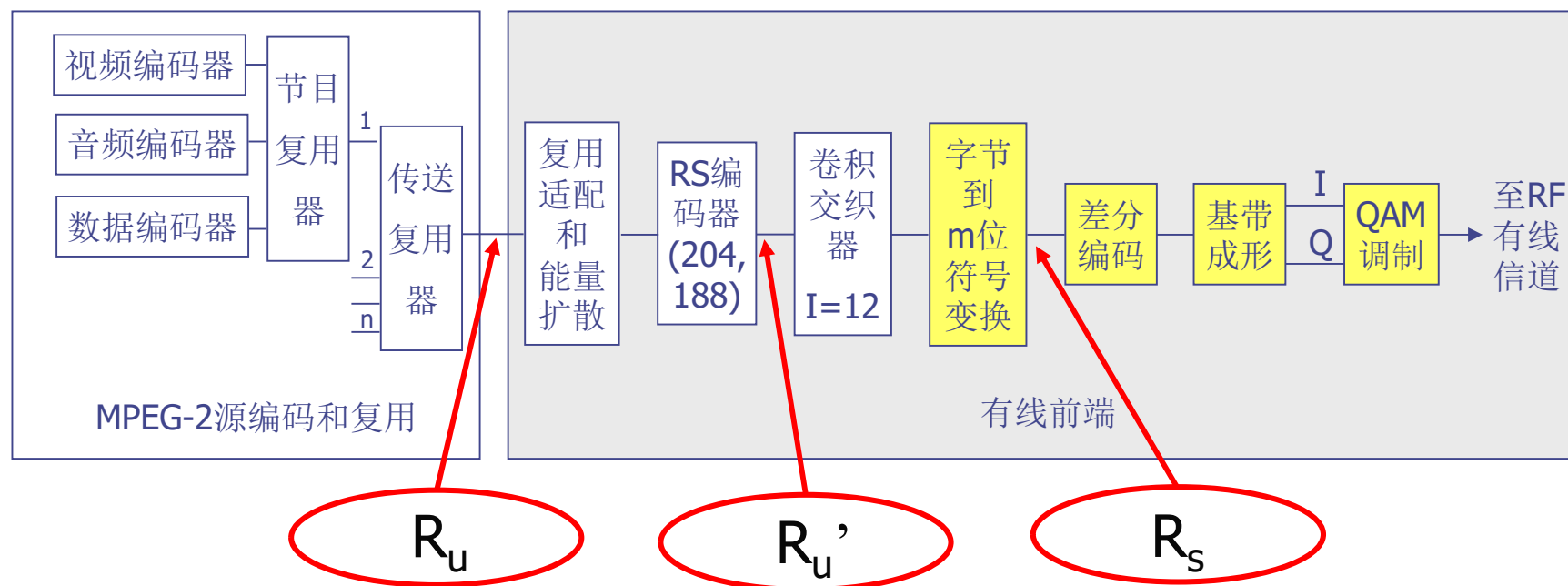
### 三、符号率、带宽的关系

- ◆对QAM信号，占用射频带宽B与符号率 $R_s$ 的关系为： $B=(1+\alpha) R_s$
- ◆采用0.15滚降系数时，一个8MHz信道中理论上的最大符号率为6.96MBaud。  
(Baud=symbol/s)



# 1、比特率与符号率的关系

有用比特率 $R_u$ 、总比特率 $R_u'$ 、符号率 $R_s$



$$R_u = R_u' (188/204) = (\log_2 M) R_s (188/204)$$

## 2、有线网8MHz内的数据传输参数

有用比特率 $R_u$ (MPEG-2传送层) [Mbit/s]	总比特率 $R_u'$ 包含RS(204,188) [Mbit/s]	有线 符号速率 $R_s$ [MBaud]	占用 带宽 [MHz]	调制方式	每符号比特 数 (bit/symbol)
38.1	41.34	6.89	7.92	64-QAM	6
31.9	34.61	6.92	7.96	32-QAM	5
25.2	27.34	6.84	7.86	16-QAM	4

$$R_u = R_u' (188/204) = (\log_2 M) R_s (188/204)$$

例题已知带宽7.86MHz和调制16-QAM方式，求各码率。



### 3、有线网不同带宽内的数据传输参数

有用比特率 $R_u$ (MPEG-2传送层) [Mbit/s]	总比特率 $R_u'$ 包含RS(204,188) [Mbit/s]	有线 符号速率 $R_s$ [MBaud]	占用 带宽 [MHz]	调制方式	每符号 比特数 (bit/symbol)
31.672 PDH	34.367	6.87	7.90	32-QAM	5
18.9	20.52	3.42	3.93	64-QAM	6
16.0	17.40	3.48	4.00	32-QAM	5
12.8	13.92	3.48	4.00	16-QAM	4
9.6	10.44	1.74	2.00	64-QAM	6
8.0	8.70	1.74	2.00	32-QAM	5
6.4	6.96	1.74	2.00	16-QAM	4

$$R_u = R_u' (188/204) = (\log_2 M) R_s (188/204)$$

已知带宽和调制方式，求各码率。

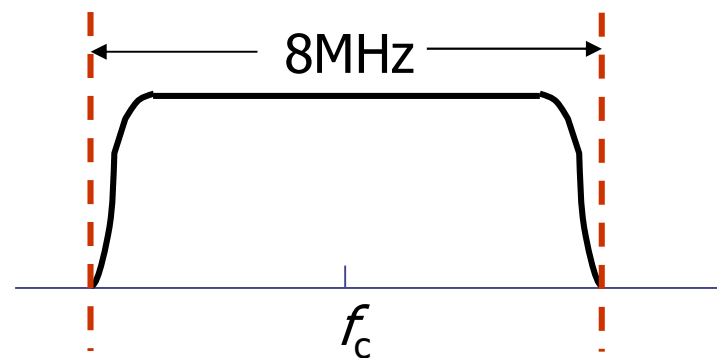
## 四、有线电视频道划分

### 1、数字频道载频位置

**QAM**采用抑制载波的双边带正交平衡调幅，  
载波处于频道的中央频率位置上。

已调波信号频谱左右对称；

已调波信号能量分布均匀



## 四、有线电视频道划分

### 2、数字信号电平

数字**QAM**调制的功率电平相对于模拟**VSB**  
调制的功率电平的**-5dB~0dB**;

邻频配置: **-10dB~0dB**;

## 四、有线电视频道划分

### 3、有线电视系统频段划分

频段 (MHz)	表示的符号	业务内容
<b>5~65</b>	<b>R</b>	上行传输
<b>65~87</b>	<b>X</b>	过渡带
<b>87~108</b>	<b>FM</b>	调频广播
<b>108~550</b>	<b>A</b>	模拟电视广播
<b>550~750</b>	<b>D<sub>1</sub></b>	数字电视广播
<b>750~1000</b>	<b>D<sub>2</sub></b>	数据通信

# 作业十一(5月26日)

Page242

8-1、8-3、8-4、8-5、8-6

补充题:

1、一个占用带宽7.96MHz、滚降系数为0.15,采用128QAM调制的DVB-C信道,其符号率是多少? RS编码后和编码前的比特率分别是多少?

Page242: 8-1、有线数字电视广播的传输层数据帧结构是怎样的？一个数据帧包含多少个188字节的数据包，如何区分每个数据帧的划界？

8-3、有线数字电视广播信道编码中数据随机化的作用是什么？具体怎样实施？

8-4、为何要有字节到比特符号的映射变换，并以 $m=6$ 示例说明。

8-5、16QAM调制由怎样的星座图？星座点位置与输入的4比特符号之间有什么样的特点？

8-6、我国有线数字电视广播的频段划分是怎样规定的，列表说明。在其中可安排多少个8MHz的有线频道？具体怎样划分。

补充题：

1、一个占用带宽7.96MHz、滚降系数为0.15，采用128QAM调制的DVB-C信道，其符号率是多少？RS编码后和编码前的比特率分别是多少？

正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂