# 信道编码与调制



### 中国传媒大学信息工程学院

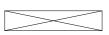
王京玲

2009-4-13

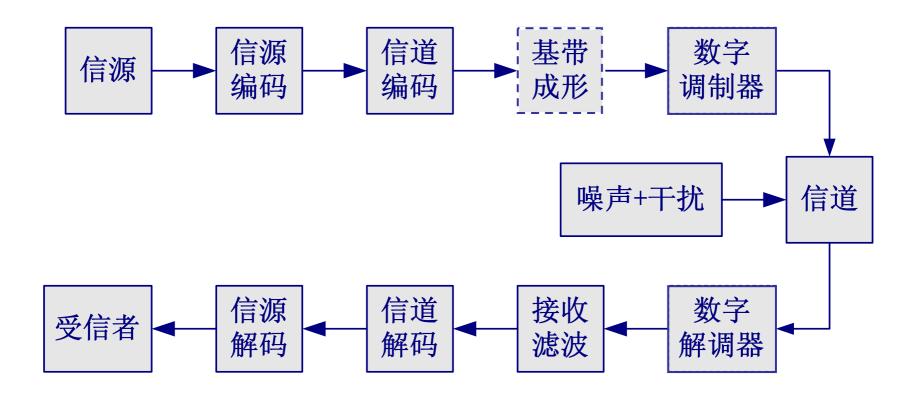
# 内容

- ■数字传输系统概述
- ■信道编码
- 数字信号的载波调制
- ■举例: DVB-C
- ■IQ信号分析





# 数字通信系统模型



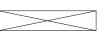




# 数字通信系统各部分功能

- ■信源编码
  - 对信源产生的模拟信号进行A/D变换
  - 压缩编码,去除冗余度,提高传输有效性
  - ■加密、复用
- ■信道编码
  - 通过编码加入冗余度,在译码端进行检错和纠错
  - 抗噪声和干扰,提高传输可靠性





# 数字通信系统各部分功能

### ■数字调制

- 作用同模拟调制,为满足传输频带要求、长 距离或无线传输而进行频谱搬移。
- ■数字调制常称为"键控",与调幅、调频和调相对应有ASK、FSK、PSK,还有幅相联合调制如QAM。

### ■信道

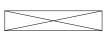
- 传输媒介, 分为有线信道和无线信道
- ■信道会引入各种噪声、干扰、衰落,来自于自然界和人为干扰以及不理想的接收机。



# 数字通信系统各部分功能

- 信号通过信道会产生失真,不同的信道有不同的传输特性,不同的信号所受的影响也不同。
- 发送端的处理就是为了使信号适合于在信 道中的传输。
- 接收端的任务是对经信道传输的受到 失真的信号作出正确的解释。

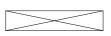




# 数字通信系统的主要指标

- 有效性,指给定信道内所传输的信息内容的 多少。
  - 对模拟系统:信号带宽
  - 对数字系统: 传输速率、频带利用率
    - ■比特率,信息速率,bit/s
    - ·符号率,波特率,符号/s或baud(波特)
    - ■比特率=符号率×比特数/符号
    - 频带利用率:单位频带上的传输速率, baud/Hz或bit/s/Hz。





# 数字通信系统的主要指标

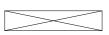
- 可靠性,指消息的传输质量。
  - 对模拟系统: 信噪比或载噪比、失真度等
    - S/N↑、失真度↓,可靠性↑。
  - 对数字系统: 误码率
    - 误符号率,SER,p<sub>s</sub>
    - 误比特率,BER,p<sub>b</sub>
    - 对二进制, p<sub>b</sub>=p<sub>s</sub>。对多进制, p<sub>b</sub>与p<sub>s</sub>转换关系复杂。
- 通信的有效性与可靠性是一对矛盾。



# 内容

- ■数字传输系统概述
- ■信道编码
- 数字信号的载波调制
- ■举例: DVB-C
- ■IQ信号分析

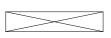




# 信道编码

- 也称纠错编码或差错控制编码。
- 两种主要差错控制类型:
  - ARQ——自动重发请求,需要双向信道,实时性差,效率较低。通常在计算机通信系统中采用。
  - FEC——前向差错控制,不需双向信道,时实性好,纠错能力强,编码加入的冗余比特使带宽增加。适于实时、单向、长传输时延的系统。
- 分两大类纠错码: 分组码和卷积码





### 线性分组码基本概念

■ (n,k)分组码: n>k, r=n-k, 许用码字2<sup>k</sup>个

k个信息码元 r个校验码元

——— 码长为n的码字

- 系统码:信息段在前、校验段在后
- 码重:汉明重量,码字中"1"的数目
- 码距:汉明距离,两码字对应码位上不同 码元的个数。分组码的最小码距dmin。
- 编码效率: R<sub>c</sub>=k/n, R<sub>c</sub>小表明编码加入的 冗余大, 译码器的纠错能力强。



# 常用线性分组码

校验比特

- 奇偶校验码: 最简单的检错码
  - 奇校验码:  $a_{n-1} \oplus \cdots \oplus a_1 \oplus a_0 = 1$
  - 偶校验码:  $a_{n-1} \oplus \cdots \oplus a_1 \oplus a_0 = 0$
  - 检测奇数个错误
- 汉明码: 纠正单个错误的线性分组码。
  - n=2<sup>m</sup>-1, k=2<sup>m</sup>-m-1, 整数m≥3
  - 有(7,4),(15,11), (31,26),(63,57),(127,120)等
  - R<sub>c</sub>=(2<sup>m</sup>-m-1)/(2<sup>m</sup>-1), m很大时R<sub>c</sub>接近于1
  - 汉明码是一种高速码但纠错能力有限。





# 常用线性分组码

- 循环码: 应用最广泛的线性分组码子类
  - 任何码字的循环移位本身仍是码字
  - 编码简单,译码也容易实现
- BCH码:循环码的一个子类,应用广泛
  - 可以设计成能够纠正任意给定数目的错误
  - 存在结构严整快速的译码算法
- RS码: 非二进制BCH码, 在数字音视频系统中有广泛应用
  - 适合纠突发错误
- 上述三种码的具体结构与"有限域"有关





### RS码

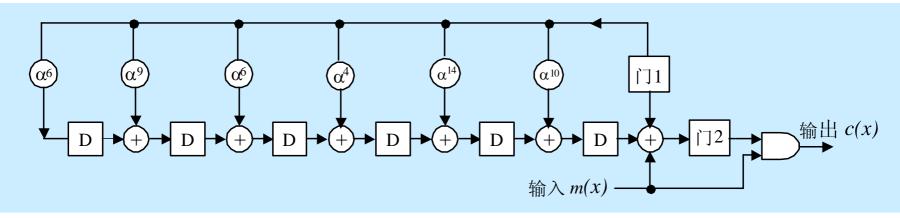
- 多进制BCH码。
- 生成多项式具有如下特殊形式  $g(x)=(x+\lambda^0)(x+\lambda^1)\cdots(x+\lambda^{2t-1})$ 
  - 用以纠正t个字节(mt比特)错误。
  - λ为GF(2<sup>m</sup>)的本原元素,每字节m比特。
- 表示为RS(n,k,t), 各参数意义如下
  - 码长 n=2<sup>m</sup>-1字节 或m(2<sup>m</sup>-1)比特
  - 信息段 k字节 或mk比特
  - 监督段 n-k=2t字节 或m(n-k)比特





### RS码的编码和译码

- 编码:方法同系统循环码编码方法。
  - 举例: RS(15,9), 码元取值域为GF(2<sup>4</sup>), 码生成多项为g(x)=(x+α)(x+α<sup>2</sup>)(x+α<sup>3</sup>)(x+α<sup>4</sup>)(x+α<sup>5</sup>)(x+α<sup>6</sup>) =x<sup>6</sup>+a<sup>10</sup>x<sup>5</sup>+ a<sup>14</sup>x<sup>4</sup>+a<sup>4</sup>x<sup>3</sup>+a<sup>6</sup>x<sup>2</sup>+ a<sup>9</sup>x+a<sup>6</sup>



- 译码: RS码译码复杂,译码步骤如下
  - 计算校正子 ■确定错误位置多项式 ■寻找错误位置
  - 寻找错误值 ■纠正错误



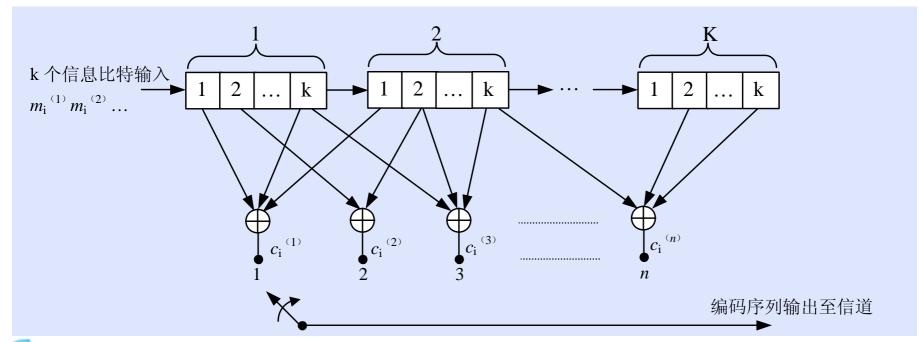
# 卷积码基本概念

- 卷积码表示为 (n,k,K) 卷积码, K称为约束 长度。或表示为(n,k,K-1), K-1为记忆长度。
- 对卷积码,输入k个信息比特,输出n个比特,但这n个比特不仅与本组的k个信息比特有关,而且与前面(K-1)组信息比特有关
- 卷积码编码器有记忆功能,而分组码编码器 没有记忆功能。
- k和n较小,典型值在1~8之间,且以比特为单位。
- 编码效率: R<sub>c</sub>=k/n。



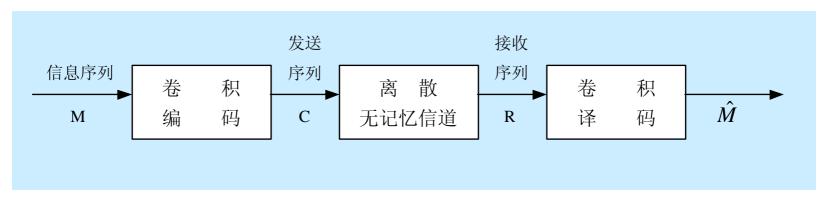
# 卷积编码器结构

- K组移位寄存器,每组k比特。
- ■n个模2和加法器。





### 卷积码的最佳译码——维特比译码



- 1. 最大似然译码原理
- 在2<sup>L</sup>个可能发送码序列中选择其中一个C<sub>i</sub>使p(R/C<sub>i</sub>)为最大的译码规则。
- 对卷积码,最大似然译码算法就是对给定的接收序列在网格图中求其对数似然函数累加值最大的路径。
- 二元信道下,求对数似然函数累加值最大的路径就是求在可能的发送路径中与R有最小汉明距离的路径。

- 2. 维特比译码算法
- **是一种通用的最佳译码算法,基本思路是加一比一选。**

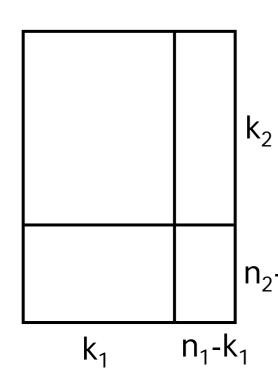
# 基于组合码的优良编码

- 分组码和卷积码的性能都与其距离特性有关,分组码基于最小距离,卷积码基于自由距离。
- 对给定的编码效率,要设计有较高最小距离的分组码,必须增加码字分组长度n,译码器复杂度随n的增加呈指数上升。
- 对给定的编码效率,要增加卷积码的自由距离,则需要更长的约束长度,导致译码器复杂度也随约束长度呈指数上升。
- 为了增加码字有效长度同时限制译码器复杂度,通过组合简单码而得到复杂编码的方案,能获得满意结果。



广泛应用的复合码有:乘积码,级联码,Turbo码

# 乘积码

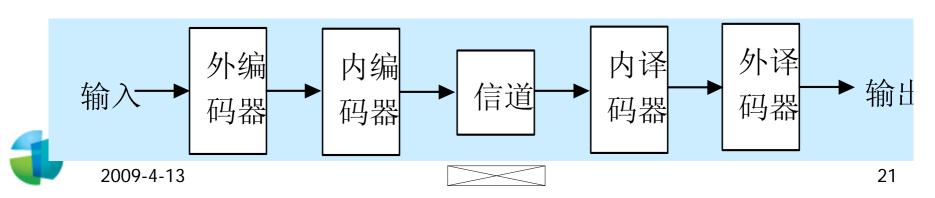


或称阵列码,结构与纵横字谜相似,矩阵行和列上分别为两个线性分组码,如图

n<sub>2</sub>-k<sub>2</sub> 译码时,先根据行上的码字对每一比特值作最佳猜测,再根据对应列上的码字,进一步改进猜测结果。这一过程以迭代方式反复进行,称为迭代译码.

## 级联码

- 级联码由内码和外码组成,内码可以采用分组码或 卷积码,外码通常采用分组码,RS是典型外码.
- 内码译码器可纠随机错误,外码译码用于纠突发错误。
- 内码和外码码率分别为r<sub>c</sub>和R<sub>c</sub>,级联码码率R<sub>cc</sub>=R<sub>c</sub>r<sub>c</sub>
- 内码性能对级联码总体性能其决定性作用。
- 外码用RS码,内码用卷积码并用维特比译码,能够获得很大的编码增益,是常用的信道编码方案.



### Turbo码

- Turbo码是一类特殊的级联码,在两个并联或串联的卷积编码器之间加一个交织器, 使其具有很大码字长度和优越性能。
- 由于Turbo码由两个成员码构成,可使用迭 代译码算法。
- Turbo码特别是在低SNR下有良好性能。
   Turbo码性能提高是通过增加交织器的长度和迭代次数来实现的。
  - 例如(37,21,65536)Turbo码在18次迭代后性能 距香农极限仅0.7dB。(65536为约束长度)



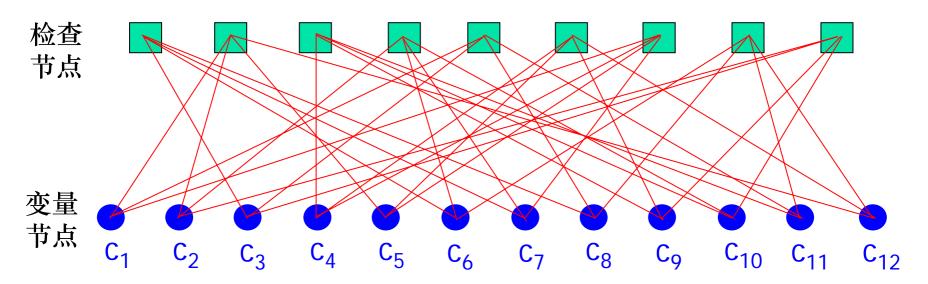


### LDPC码

- 低密度奇偶校验码(LDPC)是采用稀疏校验矩阵H的 线性分组码。即H矩阵中,每行和列中1的个数相对 矩阵大小来说很少。
  - 60年代初由Robert Gallager发明,由于当时技术所限其编译码算法不实用,很快被遗忘30余年。90年代重新成为研究热点并成为最优秀的纠错码。
  - 校验矩阵可由Tanner图描述,解码一般通过迭代模式进行。
  - 克服了分组码长码时译码计算量巨大的问题,使长码可实现.
  - 不规则LDPC码是能达到与香农极限距离小于1dB的性能 最优编码之一。



### LDPC码



#### ■ LDPC用迭代算法译码

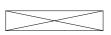
- 每变量节点接收信道软输出,计算该节点值为1的概率,并 将概率传给与之连接的检查节点。
- 检查节点接收与其连接的变量节点的不同概率,根据这些概率和该节点的校验方程计算概率的估计值,并送回相应变量 节点,更新概率,迭代循环进行,直至变量节点得到最终结果.



# 内容

- 数字传输系统概述
- ■信道编码
- 数字信号的载波调制
- ■举例: DVB-C
- ■IQ信号分析





## 模拟调制与数字调制

- 为了使数字信号在带通信道中传输,必须用数字信号对载波进行调制。
- 模拟调制:对载波参量连续调制,如AM、FM、 ΦM。
- 数字调制:用载波的某些离散状态表征所传信息,也称数字调制信号为键控信号,如ASK、FSK、PSK。如图:





设已调信号为  $u_M(t) = u_C(t)\cos[\omega_C t + \varphi_C(t)]$ 

 $\uparrow \qquad \uparrow \qquad \uparrow \qquad \uparrow$ 

模拟调制:

AM F

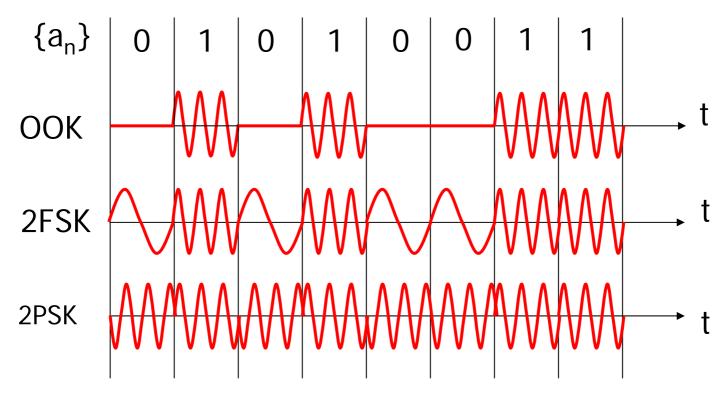
FM ФМ

键控:

ASK

**FSK** 

**PSK** 





(1) 已调信号表示为正交调制信号的组合

$$u(t) = A(t)\cos[\omega_c t + \phi(t)]$$

$$= A(t)\cos\phi(t)\cos\omega_c t - A(t)\sin\phi(t)\sin\omega_c t$$

$$= I(t)\cos\omega_c t - Q(t)\sin\omega_c t$$

式中 A(t)—u(t)的振幅, $\phi(t)$ —u(t)的相位 , $\omega_c$ —载波频率 I(t)—同相分量,I(t)=A(t)cos $\phi(t)$ ,是基带信号 Q(t)—正交分量,Q(t)=A(t)sin $\phi(t)$ ,是基带信号

- 键控信号的产生方法: 正交调制
- 键控信号可以用基带波形I(t)和Q(t)描述,各种调制 之间的差别都反映在I(t)和Q(t)上。



(2) 已调信号表示为复数信号实部的形式

$$u(t) = \operatorname{Re}[A(t)e^{j[\omega_{c}t + \phi(t)]}]$$

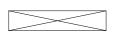
$$= \operatorname{Re}[A(t)e^{j\phi(t)}e^{j\omega_{c}t}]$$

$$= \operatorname{Re}\{[A(t)\cos\phi(t) + jA(t)\sin\phi(t)]e^{j\omega_{c}t}\}$$

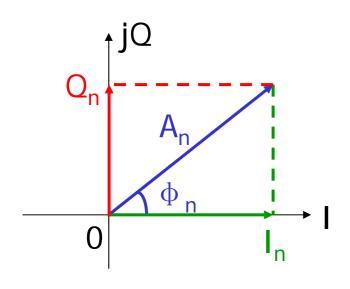
$$= \operatorname{Re}\{[I(t) + jQ(t)]e^{j\omega_{c}t}\}$$

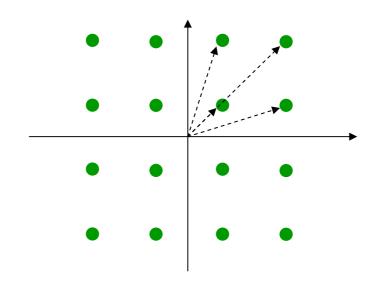
说明数字调制的信号可以用复数平面上的一个矢量表示,称为向量或载波的复包络





#### (3) 数字调制信号的向量表示或星座图表示

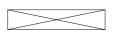




在第*n*个符号间隔发射的已调信号,可表示的一个向量。

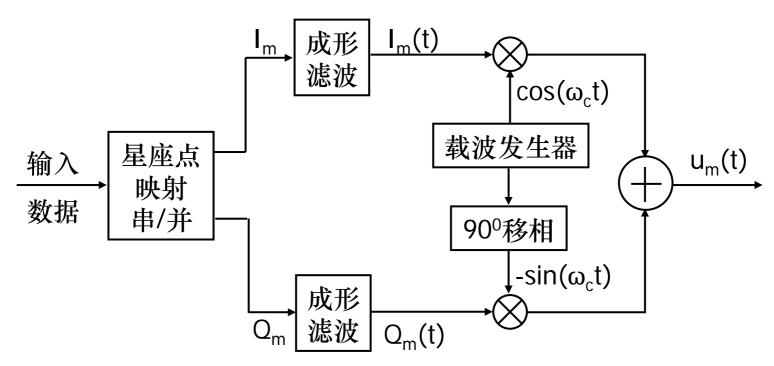
在所有时间上发射的已调信号只有有限的若干种,可表示为若干个向量。 若只画出向量的端点称为**星**座图。





#### (4) 正交调制与解调

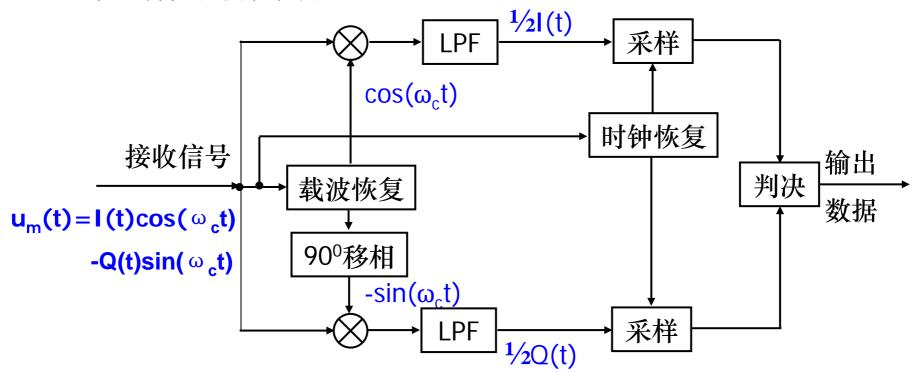
#### 正交调制器





#### (4) 正交调制与解调

#### 正交相干解调器





# 幅度键控(MASK)

- 载波振幅有M种取值,每符号间隔发送其中一种振幅的载波信号,也称多电平调制。
- 时域信号: 一个符号间隔内的时域信号为 u<sub>m</sub>(t)=A<sub>m</sub>g(t)cos(ω<sub>c</sub>t)

 $A_m$ —离散电平, $A_m$ =(2m-1-M)d,m=1,2,...,M, M=2<sup>k</sup>,  $R_s$ = $R_b$ /k; d—相邻信号幅度间距; g(t)—基带脉冲波形。

■ 频谱特性:

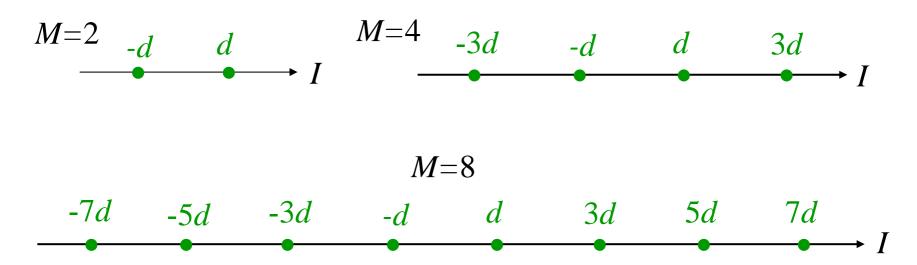
- 双边带ASK,B<sub>ASK</sub>=2B<sub>基带</sub>
- SSB-ASK和VSB-ASK





# 幅度键控(MASK)

■ 星座图: DBS-ASK星座图举例如下



#### 映射关系,举例

符号	000	001	010	011	100	101	110	111
$A_i$	-7 <i>d</i>	-5 <i>d</i>	-3 <i>d</i>	- <i>d</i>	d	3 <i>d</i>	5 <i>d</i>	7 <i>d</i>





# 移相键控(MPSK)

#### 移相键控分为两种:

- 绝对移相,PSK,二进制的记为BPSK。
- 相对移相,DPSK。
- PSK—利用载波的不同相位去直接传送数字信息。解调时存在载波0、π相位模糊度。
- DPSK—也称差分移相,利用载波相位在前后符号间隔的变化来传送数字信息。解调时不存在载波相位模糊度问题。





# 移相键控(MPSK)

■ 时域信号: 在一个符号间隔内,  $u_m(t) = g(t) \cos[\omega_c t + \phi_m]$  $=I(t) \cos \omega_c t - Q(t) \sin \omega_c t$  $\phi_m$ —载波相位,m=1,...,M, $\phi_m=2\pi(m-1)/M+\phi_0$ φω—载波初相(位参考相位);  $I(t) = A_{mc} g(t) = \cos[2\pi (m-1)/M] g(t)$  $Q(t) = A_{ms} g(t) = \sin[2\pi (m-1)/M] g(t)$ 

■ 频谱特性: B<sub>psk</sub>=2B<sub>基带</sub>





### 移相键控(MPSK)

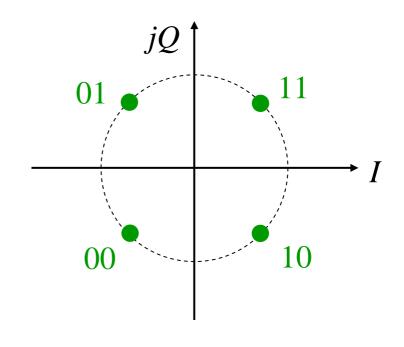
#### MPSK星座图

$$M=2$$
,  $\phi_0=0$ 



$$M=4$$
,  $\phi_0=45^0$ 

QPSK B方式



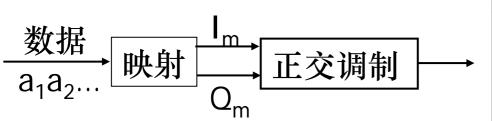




### 移相键控(MPSK)

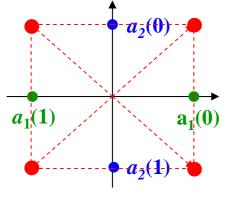
■ 例: QPSK

#### 映射关系



a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	$I_m$ , $Q_m$	$\phi_{m}$
0 0	1, 1	45 <sup>0</sup>
1 0	-1, 1	135 <sup>0</sup>
1 1	-1, -1	225 <sup>0</sup>
0 1	1, -1	315 <sup>0</sup>

38



$$a_1(0)a_2(0)$$
:  $\cos \omega_c t - \sin \omega_c t = \sqrt{2}\cos(\omega_c t + 45^0)$ 

$$a_1(0)a_2(1)$$
:  $\cos \omega_c t + \sin \omega_c t = \sqrt{2}\cos(\omega_c t - 45^0)$ 

$$a_1(1)a_2(0): -\cos \omega_c t - \sin \omega_c t = \sqrt{2}\cos(\omega_c t + 135^0)$$

$$a_1(1)a_2(1)$$
:  $-\cos \omega_c t + \sin \omega_c t = \sqrt{2}\cos(\omega_c t + 225^0)$ 

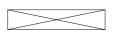




#### 正交幅度调制(QAM)

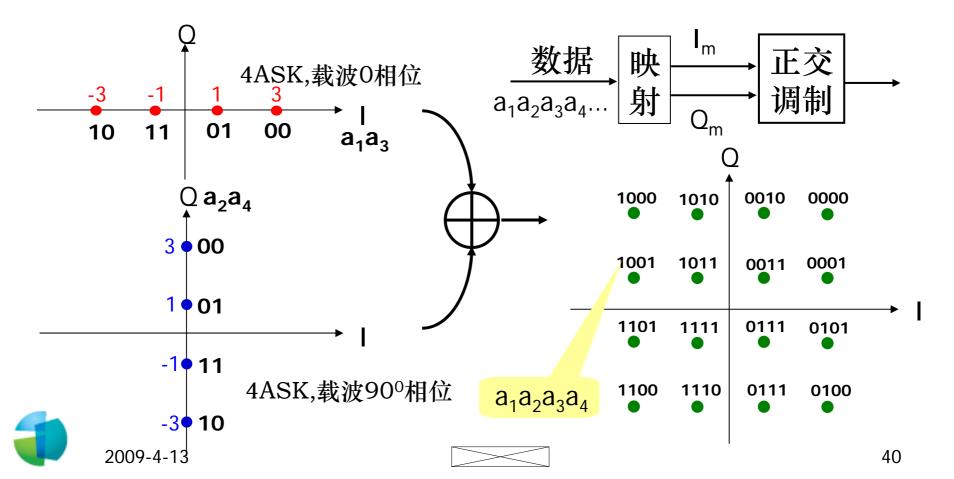
- PSK中,信号波形是两个幅度调制的正交载波的组合,但受到波形具有相等能量的条件约束,在信号空间中,星座点均在一个圆上。
- 放宽能量约束条件,可以构造出星座点不在一个圆上的信号波形。其中,最简单的方法就是QAM。
- QAM信号可看作幅度、相位联合调制,波形为  $u_m(t) = V_m g(t) \cos[\omega_c t + \phi_m]$   $= A_{mc} g(t) \cos\omega_c t A_{ms} g(t) \sin\omega_c t$
- 频谱特性: B<sub>QAM</sub>=2B<sub>基带</sub>





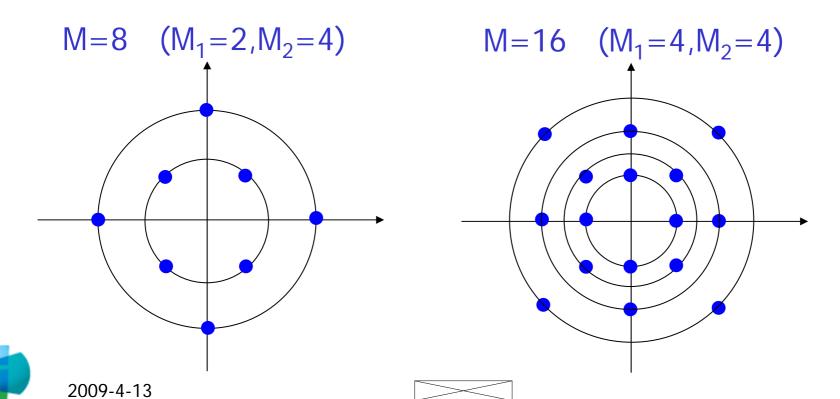
#### 正交幅度调制(QAM)

- 两个载波正交的√M-ASK信号可以合成方形星座图
- 16QAM信号星座图举例



#### **APSK**

■可以选择 $M_1$ 个电平的ASK和 $M_2$ 个相位的PSK的任意组合来构成一个 $M=M_1M_2$ 的MAPSK星座图, $M_1=2^n$ , $M_2=2^m$ ,每符号(m+n)比特.



41

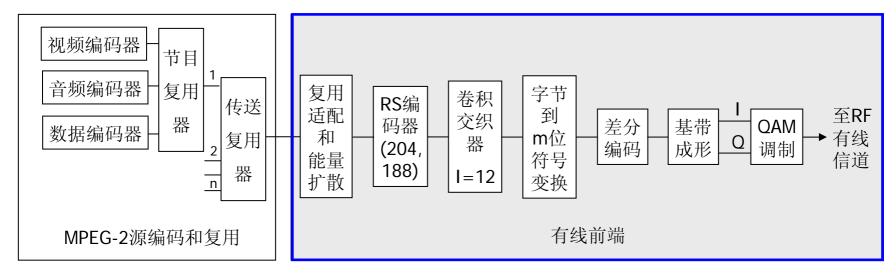
# 内容

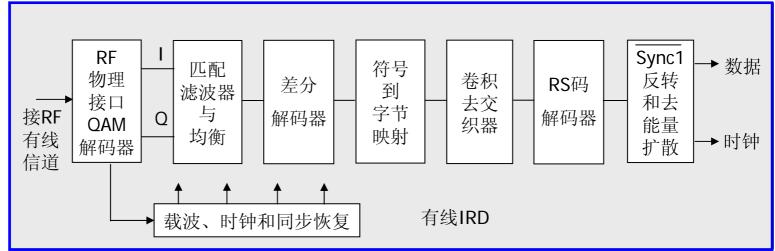
- 数字传输系统概述
- ■信道编码
- 数字信号的载波调制
- ■举例: DVB-C
- ■IQ信号分析





#### DVB-C系统框图

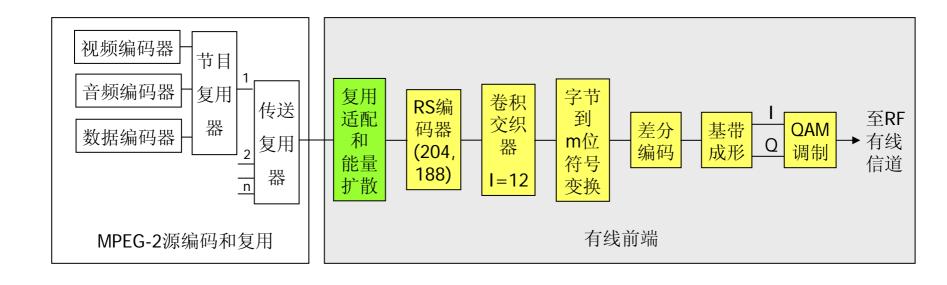






43

#### 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。





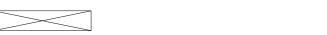
45

#### 随机化处理的作用

#### 1. 能量扩散

- 輸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。
- 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。





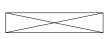
46

#### 随机化处理的作用(续)

#### 2. 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

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

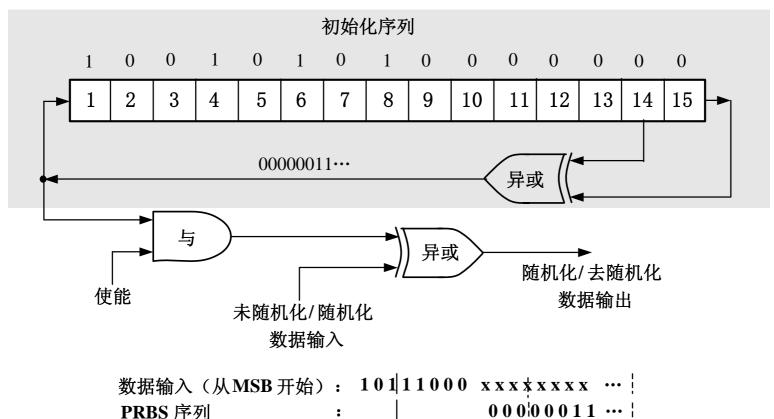
定义了PRBS产生器的结构,为15级线性反馈移位寄存器。

- 给寄存器设置一个非全零初始状后, 随着时钟节拍寄存器将产生PRBS。
- 如图阴影部分。





#### DVB-C系统PRBS产生器



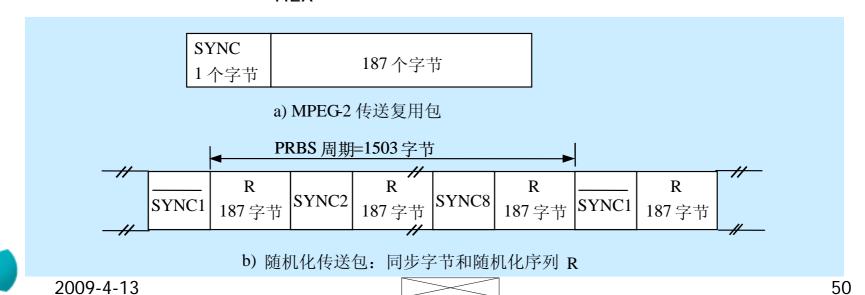


2009-4-13

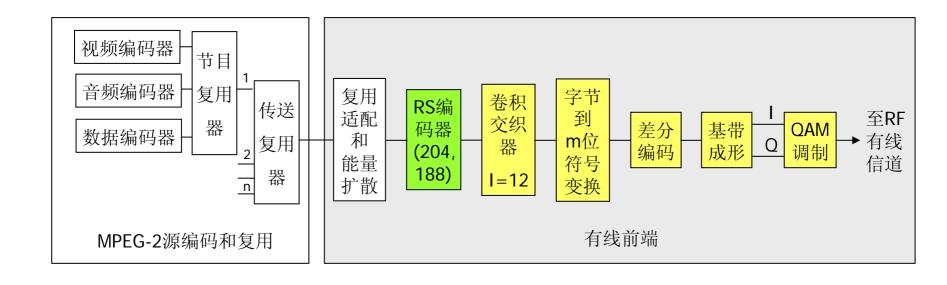
49

#### 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 "100101010000000"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)。



### 外码编码功能框





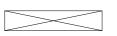
#### DVB-C系统的外码

- RS(204,188,T=8), 是缩短RS码。
- 原码RS(255,239,T=8),码长n=2<sup>8</sup>-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。
- 缩短实现方法: RS(255,239,T=8)编码器输入有效信息字节前加入51个全0字节, RS编码后再将空字节丢弃。
- 生成多项式如下

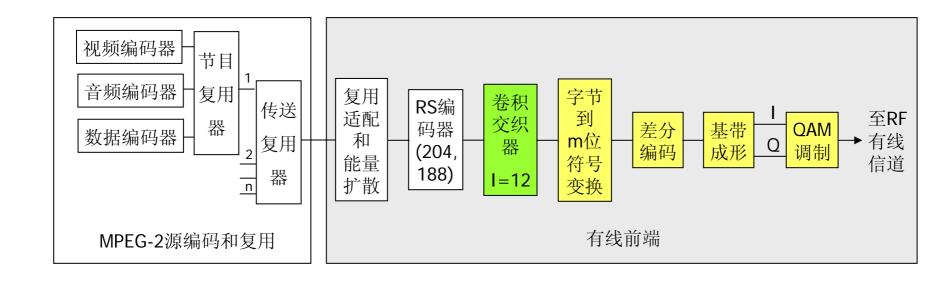
$$g(x)=(x+\lambda^0)(x+\lambda^1)\cdots(x+\lambda^{15})$$

式中:  $\lambda$ 是GF(2<sup>8</sup>)的本原元素,是域生成多项式 p(x)=x<sup>8</sup>+x<sup>4</sup>+x<sup>3</sup>+x<sup>2</sup>+1的根, $\lambda$ =02<sub>HFX</sub>。





### 交织功能框





#### 交织的作用

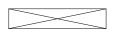
- 实际信道中突发错误与随机错误并存。
- 随机错误由随机噪声引起的,在统计上是独立的。而突发错误由脉冲干扰、多径衰落等因素引起,在统计上是非独立的。
- 突发错误可以采用专门为纠正突发错误而设 计的纠错码,如RS码。
- 对于较长的突发错误,如果与交织技术结合起来,把突发错误离散为随机的独立错误或较短的突发错误,再用中等能力的纠突发错、误码纠错,则能取得明显的效果。

#### 交织的基本概念

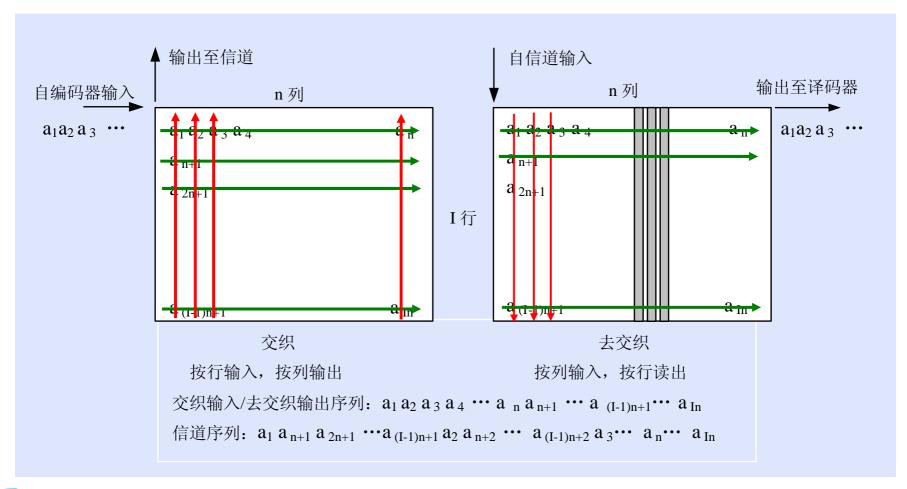
- 重新组合序列的方法称为交织。
- 交织技术需要付出时延的代价。
- 采用交织技术的前向纠错系统如图。交织 深度越大,抗突发错误能力越强。
- 常用交织方法:分组交织、卷积交织、随机交织、...







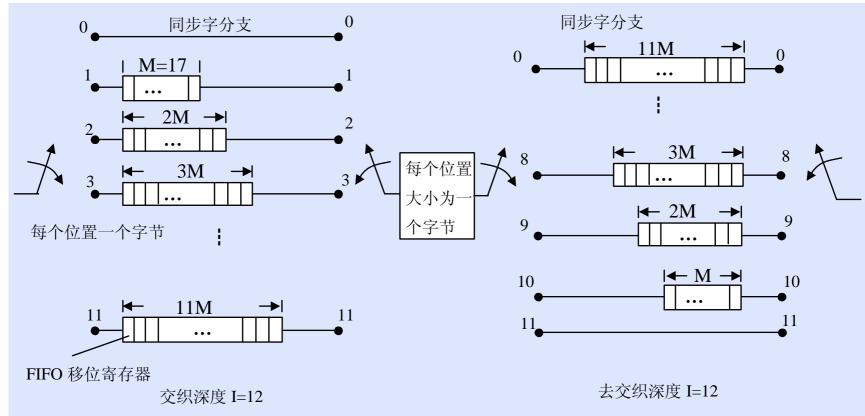
#### 分组交织



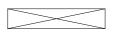


#### DVB-C系统的卷积交织/去交织

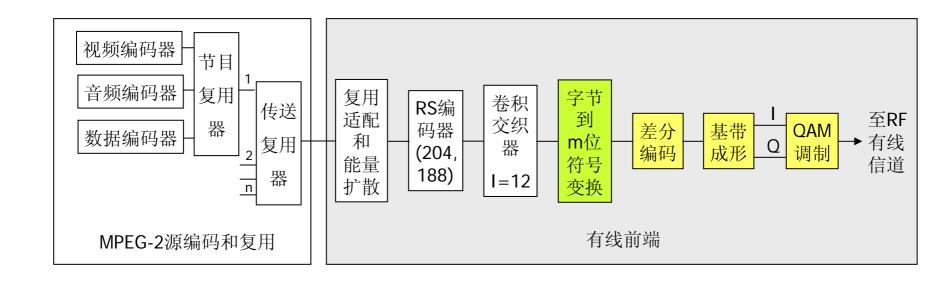
■ n=I×M, 对DVB-C: n=204, I=12, M=17







#### 字节到符号的变换





#### 字节到符号的变换

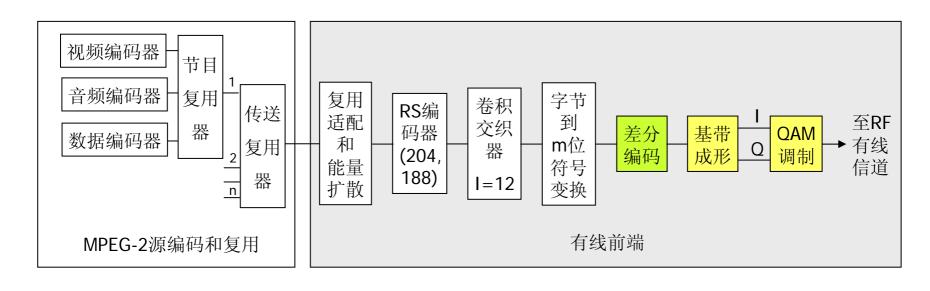
例:64QAM的字节m比特符号的变换,

2<sup>m</sup>=64, m=6, 3字节转换为4个符号

	字节v	字	节v+1	字节v+2	
自交织器输出 (字节)	b <sub>7</sub> b <sub>6</sub> b <sub>5</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> b <sub>7</sub> b <sub>6</sub> b <sub>5</sub> k	b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b <sub>0</sub>	b <sub>7</sub> b <sub>6</sub> b <sub>5</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b	$_1b_0$
			<b>V</b>	•	
至差分编码器	$b_5b_4b_3b_2b_1b_0$	b <sub>5</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b <sub>1</sub> b	$b_0 b_5 b_4 b_3 b_2$	b <sub>1</sub> b <sub>0</sub> b <sub>5</sub> b <sub>4</sub> b <sub>3</sub> b <sub>2</sub> b	<sub>1</sub> b <sub>0</sub>
(6-bit符号)	符号Z	符号 <b>Z</b> +1	符号Z+	2 符号z+3	

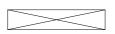


#### 差分编码的作用



为了获得π/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。



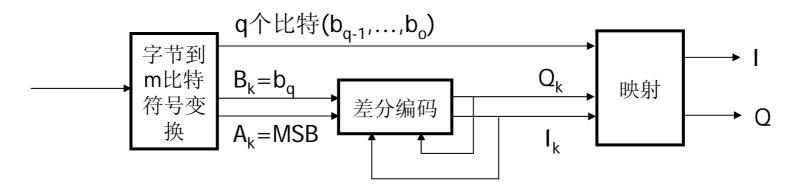


#### 差分编码规则和示意图

■ 两个MSB差分编码由下面的表达式给出

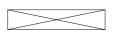
$$I_{k} = \overline{(A_{k} \oplus B_{k})} \cdot (A_{k} \oplus I_{k-1}) + (A_{k} \oplus B_{k}) \cdot (A_{k} \oplus Q_{k-1})$$

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



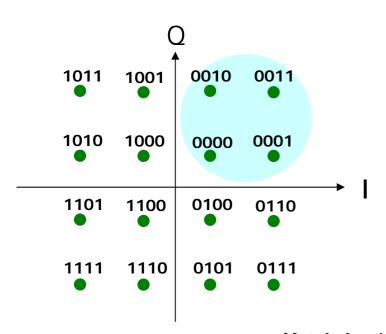
q=2, 16QAM时; q=3, 32QAM时; q=4, 64QAM时;



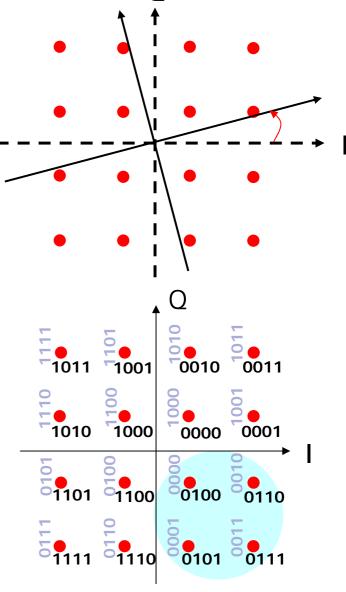


#### 载波相位旋转示意图

载波相位旋转任意角度

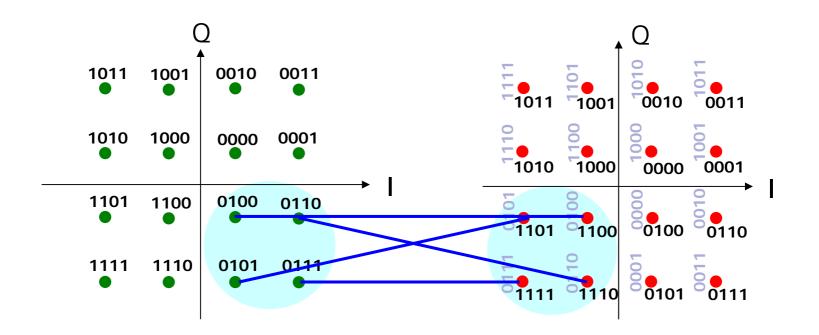


载波相位旋转900





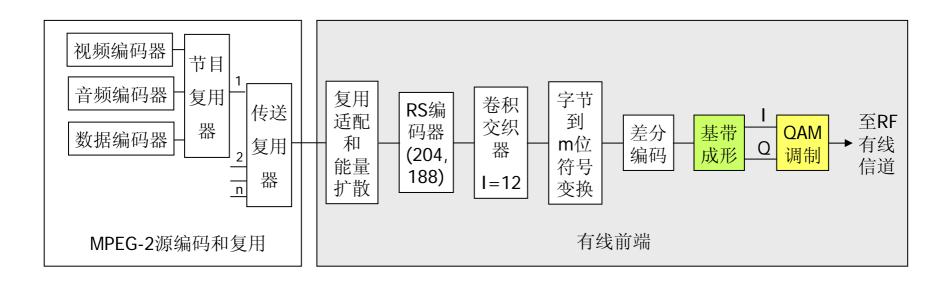
62



 解调时载波恢复发生相位π/2、π、3π/2 模糊度时,除前两个MSB的LSB不会发生 错误,而2个MSB经差分译码后也不会发 生错误。



### 基带成形滤波



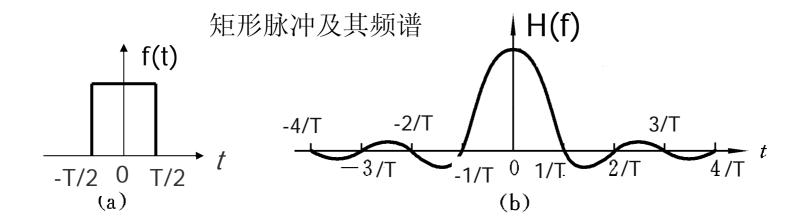
■ 调制前, I、Q信号进行平方根升余弦滚降滤波, 滚降系数为0.15。



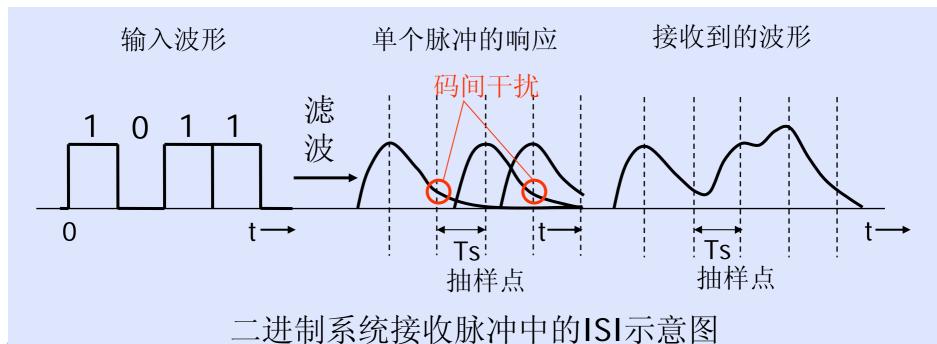


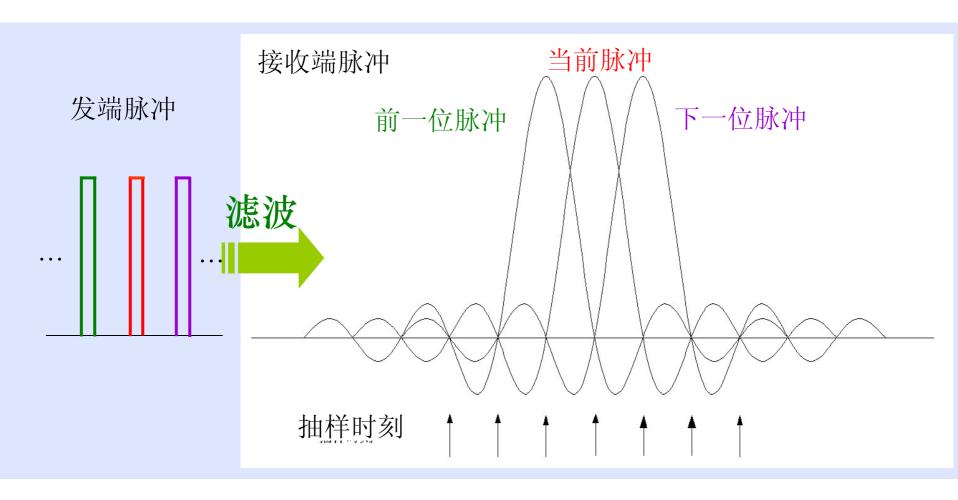
#### 基带成形滤波的作用

- 编码器产生矩形基带脉冲,其频谱无限延伸,为无失真传输需要无限宽的信道。
- 而实际信道都是带宽受限的,对所传输的信号造成频谱失真,反映在时域波形上即畸变和波形展宽,使相邻的脉冲波形在时间上互相重叠,造成了符号间干扰(ISI)。 ▶
- 若基带脉冲波形是某种适当的波形,那么可以保证抽样点上不存在ISI。 ▶
- ▶ 为此,调制前需对编码器产生的基带脉冲进行基带成形滤波。









(非正常比例,仅供演示)







## 升余弦滚降滤波器的脉冲成形

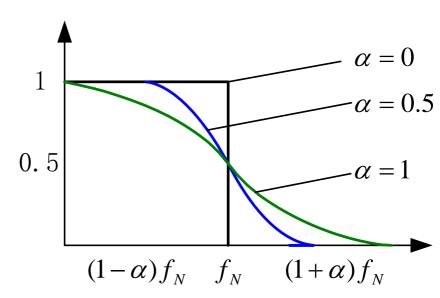
■ 截止频率为1/2符号率的理想LPF可以满足无 ISI要求,但过渡带无限滚降,不能实现。

■ 实际滤波器的过渡带有适当的滚降,但不一 完满显示ISI供给

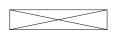
定满足无ISI传输。

 升余弦滚降滤波 特性关于f<sub>N</sub>齐对 称,满足无ISI 传输。f<sub>N</sub>=f<sub>s</sub>/2

■a称为滚降系数。

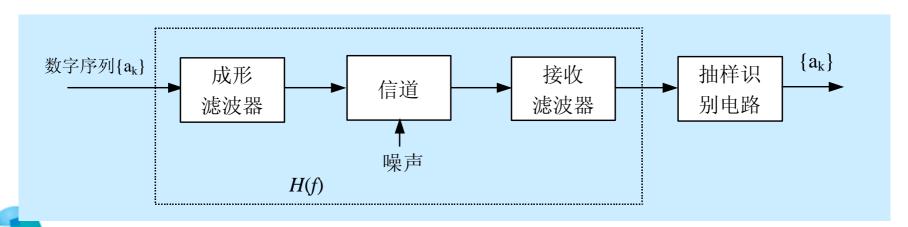




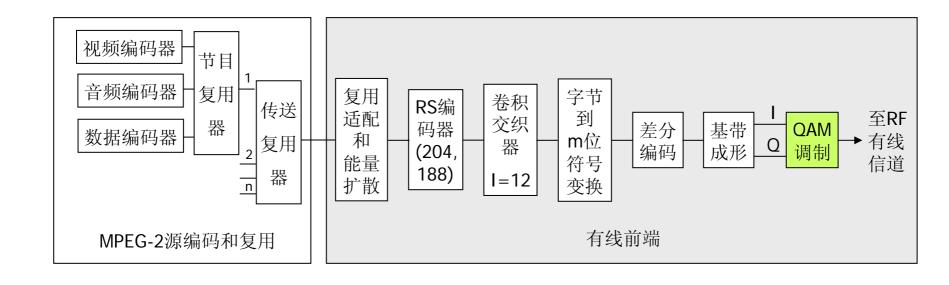


#### 升余弦滚降滤波器的脉冲成形(续)

- 若所传输信号的符号率为 $f_S$ ,则基带带宽为  $(1+\alpha)f_S/2$ ,调制后的射频带宽为 $(1+\alpha)f_S$ 。
- 升余弦滚降特性是包括发送滤波器、信道和接收 滤波器的总的滤波特性,如图。
- 最好分配方案,是每个滤波器的特性是总特性的 均方根——平方根升余弦滚降。

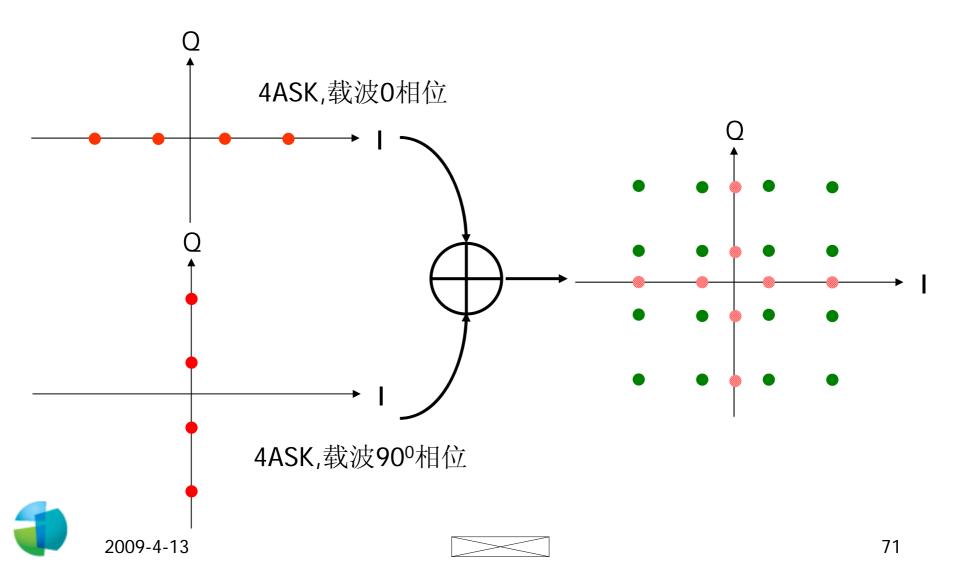


### 调制



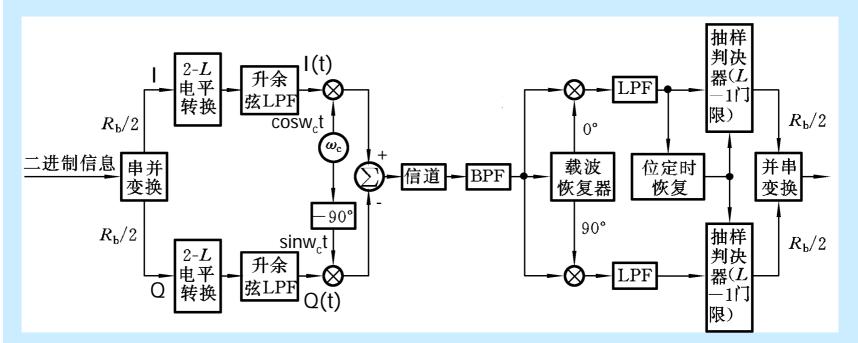


## QAM的正交调制实现



#### QAM调制器、解调器原理框图

- M-QAM由2路正交的L-ASK信号叠加而成
- $M=L^2$





#### 符号率、带宽的关系

- 对QAM信号,占用射频带宽B与符号率Rs 的关系为: B=(1+α) Rs
- 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)

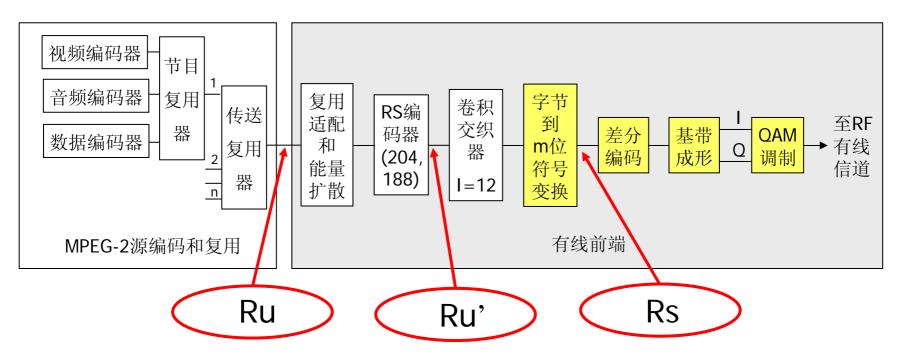




8MHz -

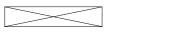
#### 比特率与符号率的关系

#### 有用比特率Ru、总比特率Ru'、符号率Rs



 $Ru=Ru'(188/204) = (log_2M)Rs(188/204)$ 





#### 举例

有用比特率Ru	总比特率Ru'	有线	占用带宽	
(MPEG-2传送层)	包含RS(204,188)	符号速率Rs		调制方案
[Mbit/s]	[Mbit/s]	[MBaud]	[MHz]	
38.1	41.34	6.89	7.92	64-QAM
31.9	34.61	6.92	7.96	32-QAM
25.2	27.34	6.84	7.86	16-QAM
31.672 PDH	34.367	6.87	7.90	32-QAM
18.9	20.52	3.42	3.93	64-QAM
16.0	17.40	3.48	4.00	32-QAM
12.8	13.92	3.48	4.00	16-QAM
9.6	10.44	1.74	2.00	64-QAM
8.0	8.70	1.74	2.00	32-QAM
6.4	6.96	1.74	2.00	16-QAM

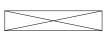




# 内容

- 数字传输系统概述
- ■信道编码
- 数字信号的载波调制
- ■举例: DVB-C
- ■IQ信号分析





## IQ信号分析

- ■假设
  - 一个有M种符号点的星座图
  - 有N个数据点的测量样点,N远大于M
  - 每个接收数据点j的坐标( $I_j$ +δ,  $I_jQ_j$ +δ $Q_j$ ), 其中 ( $I_j$ ,  $Q_j$ )为目标矢量,( $\delta I_j$ ,  $\delta Q_j$ )为误差矢量。
- 可分析出若干与矢量误差相关的参数,它们对深层分析有不同影响,并且这些参数都会损伤信号。





#### MER与EVM

■ MER: 调制误差率

$$MER(dB) = 101g \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} (I_j^2 + Q_j^2)}{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} dB$$

■ EVM: 误差矢量幅度

$$EVM = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} (\delta I_{j}^{2} + \delta Q_{j}^{2})}}{\sqrt{(I_{j}^{2} + Q_{j}^{2})_{\text{max}}}} \times 100\%$$



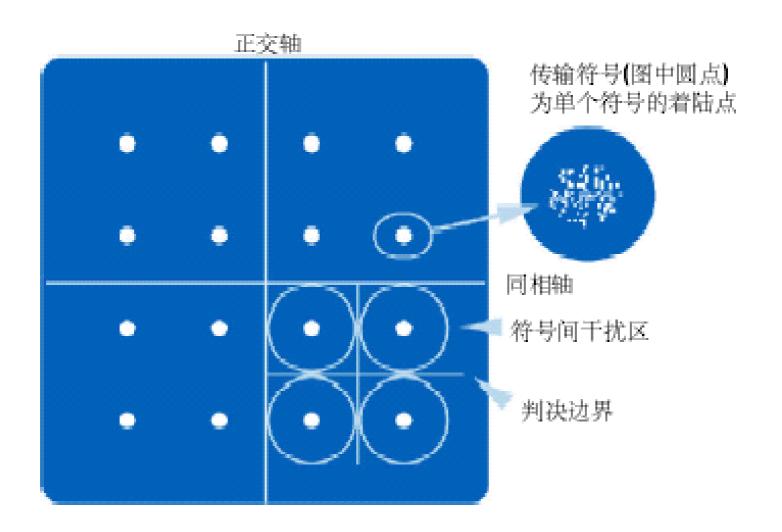
#### MER与EVM

- MER与EVM的关系
  - ■可以相互转换,MER=EVM<sup>2</sup> P<sub>max</sub>/P<sub>av</sub>
  - MER是DVB系统信号质量专用指标,包含了所有损伤类型,近似于基带数字信号的S/N,可作为接收信号的品质因数。
  - 具有测量的灵敏性和测量典型值。
  - 由于上述原因,优先选择MER测量。





### 星座图显示





#### 与矢量误差相关的参数

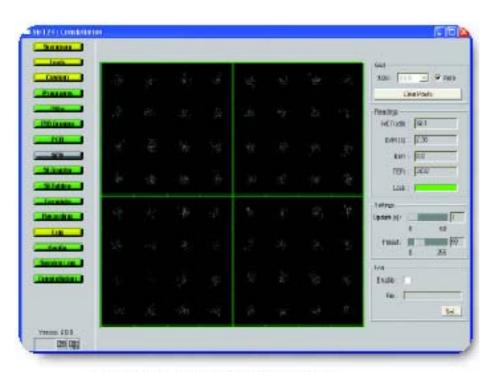
利用上述星座图,可以判断下述调制问题(计算式略):

- 幅度不平衡
- 正交错误
- 相干干扰
- 噪声误差
- 相位抖动
- 载波抑制度





#### 噪声误差



噪声误差 (QAM-64 有线系统)

噪声误差(来自卫星的 QPSK 信号)

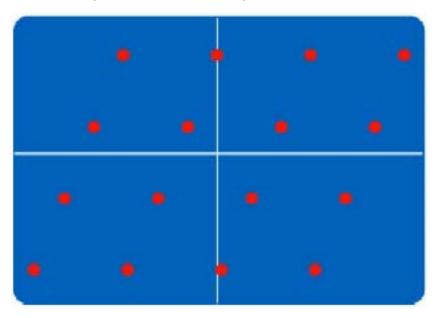
噪声是任何信号中最常见的也是无法避免的信号损伤,常见形式是AWGN,使得所接收的符号在星座图中呈云斑状分散在理想位置附近。

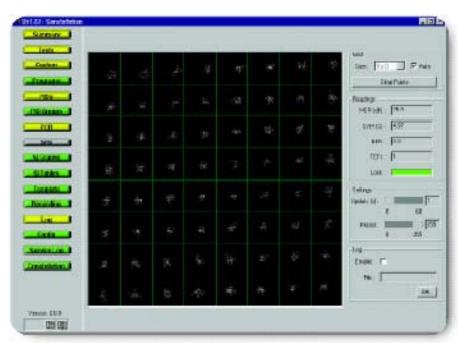


#### 正交误差

■ 馈给I和Q调制器的两个载波相位差不是准确的90°时,星座图失去了"方形"结构而呈现为平行四边

形或呈菱形。





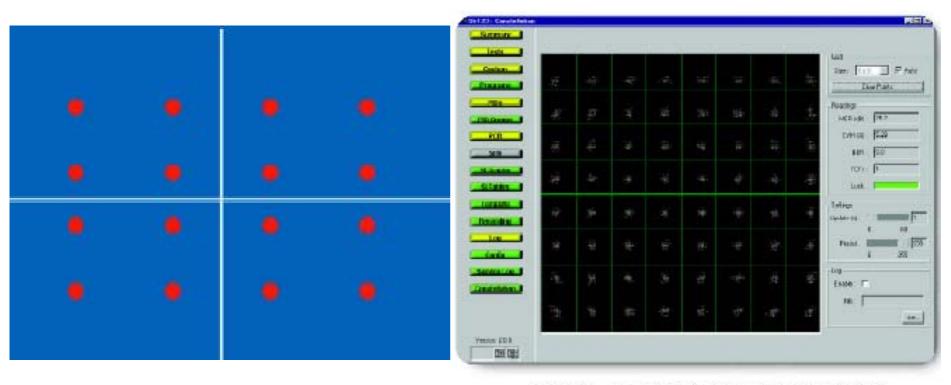
MTM400 中的屏幕俘获显示, 说明IQ 间有5 度的 正交相位差。

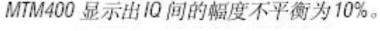


83

#### 幅度不平衡

信号的同相分量和正交分量间的增益差使得星座图不为方形而为矩形。



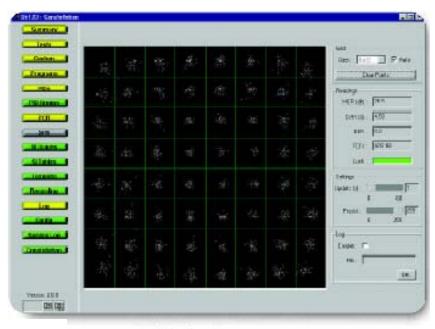




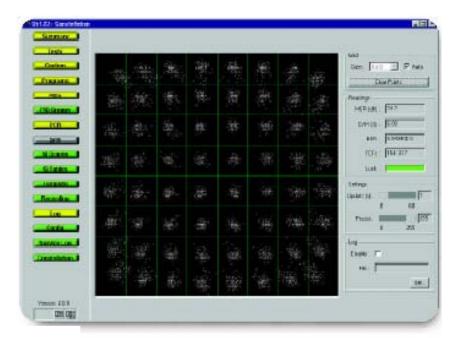
2009-4-13

#### 增益压缩

■ 高幅度电平下的非线性失真,在 I 和Q坐标显示图形的边角处呈圆弧形。



MTM400 的增益压缩显示。

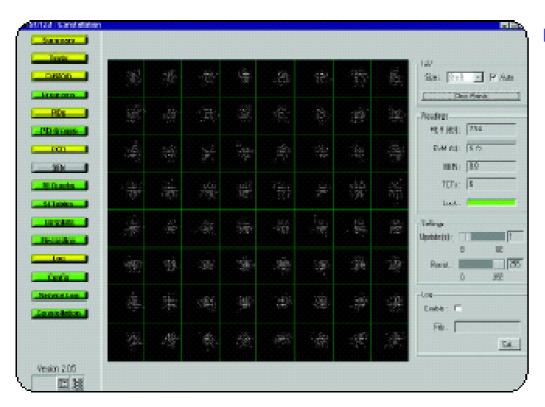


MTM400 的显示图形,该信号具有明显 的增益压缩误差。



2009-4-13

#### 载波抑制度

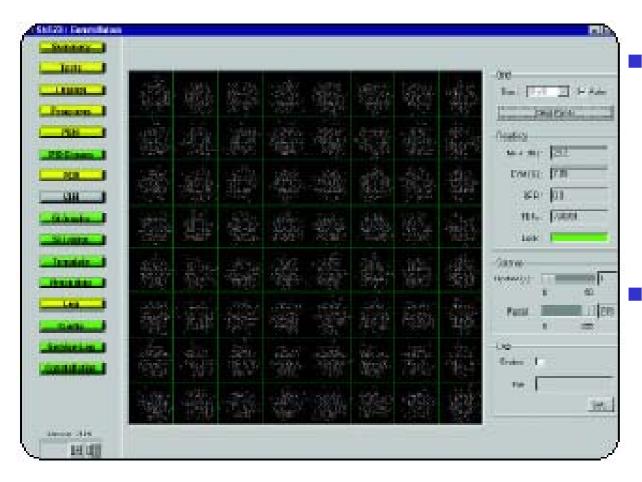


同相轴上的一种"直流偏置"效应,载波 抑制为10%。在MTM400的显示中,符号位 置向右偏移。 剩余载波是加到QAM 信号上的不希望有的 相干等幅波信号。它 可能是由调制1和/或 调制Q信号的直流偏 置电压产生的,也可 能是来自调制器内的 调制载波串扰形成的。



86

#### 非相干干扰

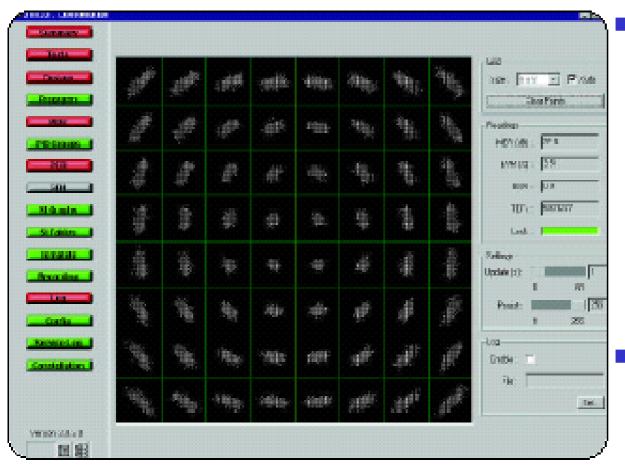


- 非相干干扰是一种与IQ信号相锁定的通道干扰或谐波分量。
- 非相干干扰的 存在使得显示 的云斑呈环状 或呈"圆环图"。





#### 相位抖动



星座图显示的 载波符号呈现 为同心圆弧状。





# 謝

2009-4-13