

伪随机噪声码



主讲人：李亮

卫星导航信号应具备的功能特点

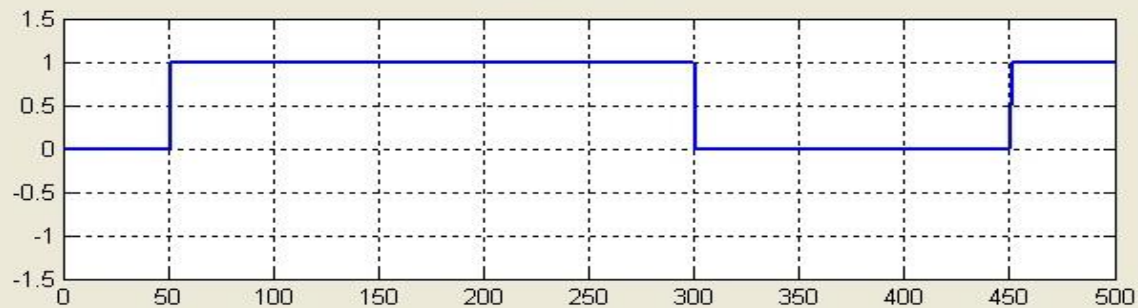
- (1) 确保系统精度，完成卫星的**多址区分**。
- (2) 能在一定程度的**多径干扰**下正常工作。
- (3) 能容许一定电平的**随机或故意干扰**、堵塞或模仿GPS信号的欺骗干扰。

GPS卫星发射的信号采用直接**序列扩频调制体制**，在发送端对导航电文进行**扩频调制**和**载波调制**，在接收端利用信号的相关性予以**解调**。

DIGITAL MODULATION

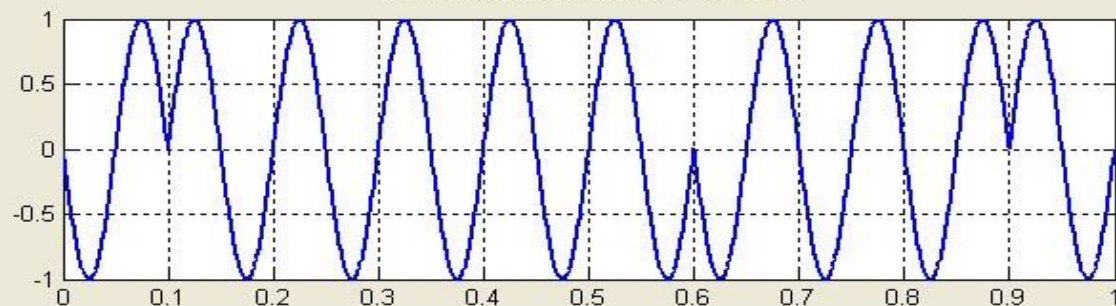
0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 RANDOM

BINARY SIGNAL



BPSK

MODULATED BINARY SIGNAL

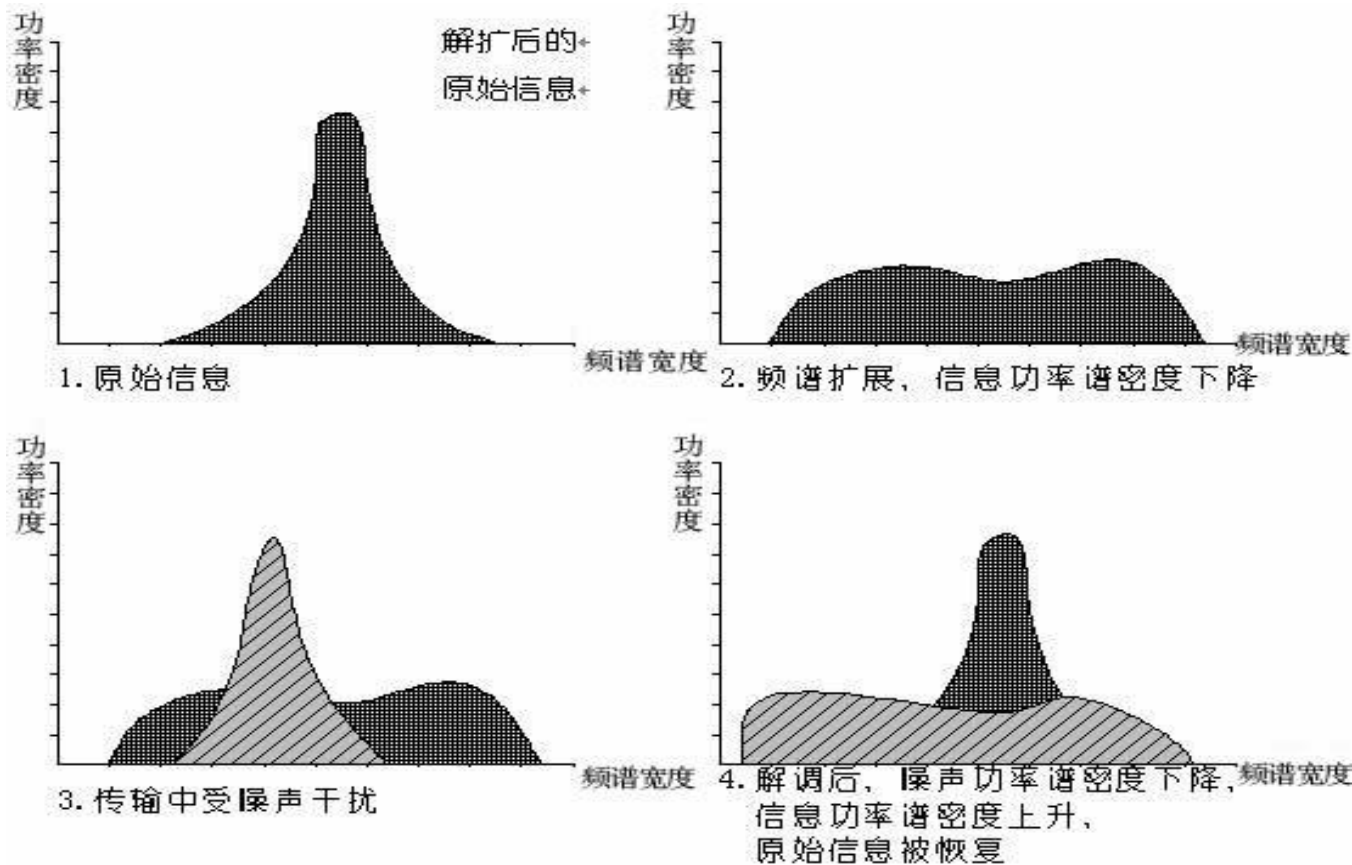


扩频通信原理

将待传输信息的频谱通过编码使之扩大许多倍，送入信道中传输，在接收端通过解码将信息还原。由于在信道中实际传输的信号比原始信号的频谱扩展了许多倍，因此称之为**扩频通信**。

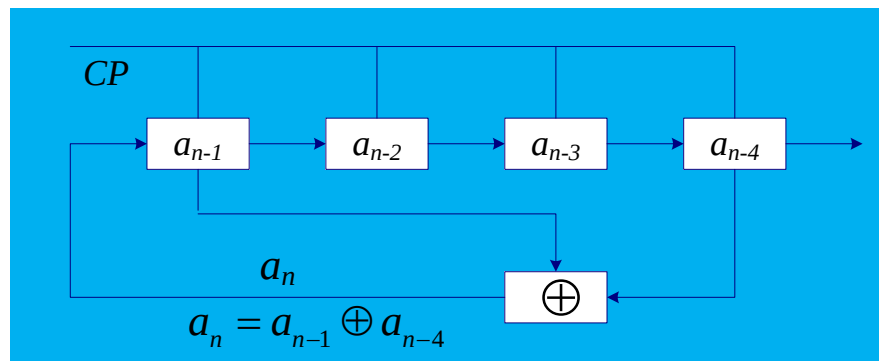
GPS系统采用**CDMA多址技术**的原理是基于扩频技术，即将需要传送的信息数据，用一个带宽远大于信号带宽的高速伪随机码和它相乘，使原数据信号的带宽被扩展**(扩频)**，再经载波调制发送出去。接收端则使用完全相同的伪随机码，对解调出来的宽带信号做相关处理，把宽带信号变换成原信息数据的窄带信号**(解扩)**，以实现信息通信。

扩频通信原理



最长线性移位寄存器序列—m序列

不同的移位寄存器反馈方式，可以产生不同的二元序列，周期最长的称为m序列（maximum sequences）。



a_{n-4}
11110101100100011110...

四级反馈移位寄存器

四级移位寄存器最多有 $2^4 - 1 = 15$ 种不同状态，其中全0状态不允许出现，若处于全0状态，则输出将持续地为0，因此，最多有15个状态。

状态编号	各级状态				模2加反馈 ①⊕④	末级输出的 序列
	①	②	③	④		
1	1	1	1	1	0	1
2	0	1	1	1	1	1
3	1	0	1	1	0	1
4	0	1	0	1	1	1
5	1	0	1	0	1	0
6	1	1	0	1	0	1
7	0	1	1	0	0	0
8	0	0	1	1	1	1
9	1	0	0	1	0	1
10	0	1	0	0	0	0
11	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	1	1	1
13	1	0	0	0	1	0
14	1	1	0	0	1	0
15	1	1	1	0	1	0

最长线性移位寄存器序列—m序列

同族m序列：

由相同级数的移位寄存器组成但反馈逻辑不相同而产生的m序列，称为同族m序列。

r 级移位寄存器可产生的同族码序列个数 J_r 可按式计算：

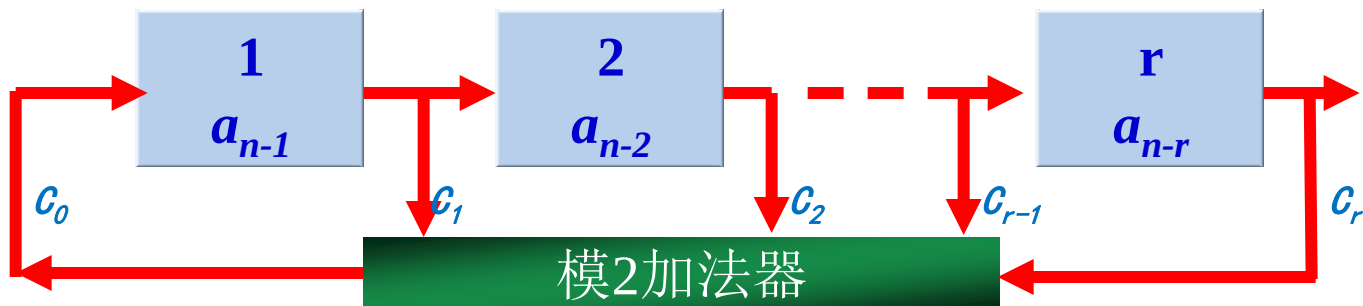
$$J_r = \varphi(2^r - 1) / r$$

$\varphi(x)$ ：欧拉函数，其数值可等于1, 2, ..., (x-1) 中所有与x互素的正整数的个数。

最长线性移位寄存器序列—m序列

反馈移位寄存器的反馈逻辑用特征多项式函数表示：

$$F(x) = C_0x^0 + C_1x^1 + C_2x^2 + \cdots + C_rx^r = \sum_{i=0}^r C_ix^i$$



m序列的统计特性和相关特性

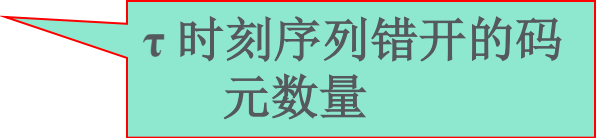
1. 每一周期内，两种元素出现的次数仅相差一次，即“1”的个数比“0”的个数多一个。
2. 每一周期内，长度为 n 的游程（同一元素连续出现 n 次）出现的次数比长度为 $(n+1)$ 的游程出现的次数多一倍。
3. r 级移位寄存器最多可能有 2^r 种不同的状态，线性反馈最多允许有 2^r-1 种（排除全0状态）。
4. 伪噪声特性： m 序列在出现概率、游程分布和自相关函数等特性上与随机噪声十分相近。

m序列的相关特性

当 $x_1(t) = x_2(t)$ 时 $\rho(t)$ (或 $x_1(t)$) 的自相关系数

$$\rho(\tau) = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} x_1(\tau) x_1(t - \tau) dt$$

对于码长为 L_p 二码m序列，其自相关和互相关函数分别为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(\tau) = \frac{1}{L_p} \sum_{m=1}^{L_p} a_m a_{m-(\tau)} \\ \rho(\tau) = \frac{1}{L_p} \sum_{m=1}^{L_p} a_m b_{m-(\tau)} \end{array} \right.$$


τ 时刻序列错开的码元数量

m序列的相关特性

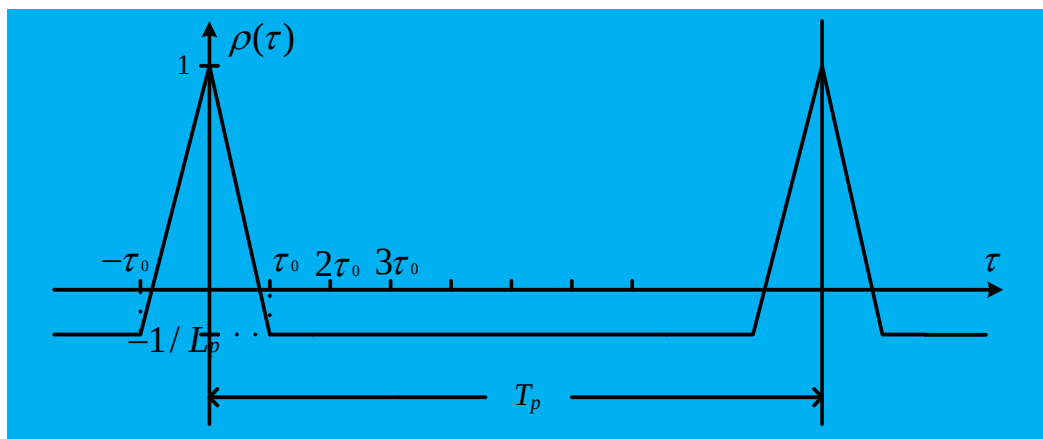
对于m序列，自相关函数为

$$\rho(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = 0, \pm T_p, \pm 2T_p, \dots, \pm nT_p \\ -\frac{1}{L_p} & \tau \neq 0 \text{ 或 } jT_p (j = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n) \end{cases}$$

注：m序列的周期为 T_p ， τ 为整数倍周期时，m序列的自相关值为1（具有最大相关性），否则为m序列周期的负倒数（极小值）

m序列的相关特性

原始序列



伪随机序列自相关



测距

m序列的互相关特性

若一个r级m序列， $r \leq 16$ ，且 $r \neq 4i (i=1,2,\dots)$ ，则存在一组m序列（ M_r 个），其两两互相关函数为一个三值函数（r为移位寄存器级数）。

$$\rho(\tau) = \begin{cases} -\frac{1}{L_p} \\ -\frac{t(r)}{L_p} \\ \frac{t(r-2)}{L_p} \end{cases}$$

m序列的互相关特性

r	同族M序列数 J_r	码长 L_p	$ r _{\max}$	Mr	$t(r)/L_p$
5	6	31	0.29	3	0.290
6	6	63	0.36	2	0.270
7	18	127	0.32	6	0.134
8	16	255	0.37	0	0.129
9	48	511	0.32	2	0.065
10	60	1023	0.37	3	0.064

此组内的m序列具有良好的互相关特性。若用此组内的各m序列作为各卫星的伪随机码，则不同卫星的信号就不会造成严重干扰，解决了目标识别问题(码分多址)。

伪随机噪声码



主讲人：李亮