

全球卫星定位系统

GPS 卫 导 仪

鄢天金 编著



大连海事大学出版社

全球卫星定位系统

GPS 卫 导 仪

鄢天金 编著

大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

全球卫星定位系统 GPS 卫导仪/鄢天金编著. —大连:大连海事大学出版社, 1994

ISBN 7-5632-0590-X

I. 全…

I. 鄢…

Ⅱ. ①航海导航:卫星导航-导航设备 ②卫星导航:航海导航-导航设备
③导航设备:航海导航-卫星导航

N. U666.134

大连海事大学出版社出版

(大 连)

大连海事大学出版社印刷厂印刷

大连海事大学出版社发行

1994 年 10 月第 1 版

1994 年 10 月第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:11.25

字数:281 千 印数:0001~1000

定价:16.80 元

内 容 简 介

全球卫星定位系统(GPS)是美国继阿波罗登月计划和航天飞机计划之后的第三项庞大的空间计划,现正完成组网进入全面实施。这一工程的实现,使海上、陆上、空间的定位与导航发生了划时代的变革。GPS系统建成之后,子午仪卫星系统及有些无线电导航系统将逐步由该系统所替代。

GPS系统可在全球范围内全天候地为海上、陆上、空间提供高精度的连续的三维定位、速度和时间信息。它发射两种伪随机码,即精码(P码)与粗码(C/A码)。公开民用为C/A码,定位精度原为25m。

本书从海上实用角度出发,搜集了各公司最新生产的和我国船舶使用的小型高集成化的GPS卫导仪资料,叙述其定位与导航的功能和使用方法。考虑船员的实际水平,以物理概念介绍了伪随机噪声编码的基本知识、GPS系统的定位原理和误差。

本书可供广大船舶驾驶员、船舶无线电报务员、检修人员和航海类大专院校师生及航运界各单位有关人员等参考。

目 录

第1章 GPS 伪距定位导航原理	1
§1-1 全球卫星定位系统概况	1
§1-2 伪随机码	2
§1-3 伪随机码测距原理	8
§1-4 伪距导航定位原理	9
第2章 GPS 导航电文及其接收	12
§2-1 导航电文码的接收	12
§2-2 电文码的解调	14
§2-3 GPS 卫星的导航电文内容	15
第3章 伪距导航定位解算及其误差和定位精度	20
§3-1 伪距导航定位解算	20
§3-2 航速测定	23
§3-3 GPS 伪距定位的主要误差和定位精度	23
§3-4 坐标变换	25
第4章 一般船用 GPS 卫导仪	28
§4-1 船用 GPS 卫导仪性能指标	28
§4-2 船用 GPS 卫导仪功能	28
§4-3 船用 GPS 卫导仪的启动	28
§4-4 GPS 卫导仪面板按键	29
§4-5 GPS 卫导仪安装	30
§4-6 GPS 卫导仪安装后初始化输入数据	30
§4-7 船用 GPS 卫导仪类型	32
§4-8 船用 GPS 卫导仪简化框图	32
§4-9 GPS 卫导仪的工作过程	33
§4-10 GPS 系统的现状与前景	34
第5章 古野(FURUNO)公司 GP-500 型卫导仪	36
§5-1 GP-500 型卫导仪性能指标	36
§5-2 GP-500 型卫导仪面板与功能	36
§5-3 GP-500 型卫导仪开关机	38
§5-4 输入初始数据	38
§5-5 冷启动	40

§ 5-6 GP-500 型卫导仪定位数据显示	41
§ 5-7 GP-500 型卫导仪导航功能	43
§ 5-8 GP-500 型卫导仪计划航线的编制与选用	46
§ 5-9 航次计划计算	48
§ 5-10 偶发事件船位的存取	49
§ 5-11 GP-500 型卫导仪报警功能	50
§ 5-12 测地系的选择	57
§ 5-13 显示单位的选择	61
§ 5-14 磁差的输入	62
§ 5-15 速度及航向的手动输入	62
§ 5-16 清除存储器	63
第 6 章 KGP-95 型及 KGP-97 型 GPS 卫导仪	66
§ 6-1 KGP-95 型卫导仪性能	66
§ 6-2 KGP-95 型卫导仪面板与按键	67
§ 6-3 KGP-95 型卫导仪操作使用	68
第 7 章 古野(FURUNO)GP-70 型 GPS 卫导仪	73
§ 7-1 GP-70 型 GPS 卫导仪面板、开关机与启动	73
§ 7-2 GP-70 型 GPS 卫导仪显示屏上符号与英汉对照	75
§ 7-3 基本显示键	80
§ 7-4 方向指示器	83
§ 7-5 功能菜单键	84
§ 7-6 航线编制	86
§ 7-7 报警功能	87
§ 7-8 卫星状态显示	90
§ 7-9 测试	91
§ 7-10 新安装 GP-70 型卫导仪后须置定的参数	93
§ 7-11 下次定位时间表	97
第 8 章 美国天宝(TRIMBLE)公司 TRANSPAK I 型卫导仪	98
TRANSPAK GPS 卫导仪的功能与用法	98
第 9 章 JLR-6000 型 GPS 卫导仪	101
§ 9-1 特殊功能表	101
§ 9-2 开机、关机与亮度	102
§ 9-3 初始输入	102
§ 9-4 磁差改正量	103
§ 9-5 检测卫星状态数据	103
§ 9-6 存储现在船位	104
§ 9-7 输入与清除航路点	104
§ 9-8 航路点航行	105
§ 9-9 编制航线	105

§ 9-10 船位修正	106
§ 9-11 时间置定	106
第10章 MX-200型GPS卫导仪	107
§ 10-1 MX-200型GPS接收机面板与按键	107
§ 10-2 定位功能	108
§ 10-3 导航功能	109
§ 10-4 标绘	110
§ 10-5 计划航线	111
§ 10-6 优化	114
§ 10-7 报警	116
§ 10-8 计算	117
§ 10-9 GPS卫星	118
§ 10-10 置定	119
§ 10-11 人落水	123
§ 10-12 置定预计到达时间	123
§ 10-13 船舶旋回菜单	124
第11章 雷星(RAYSTAR)590及JLR4110GPS卫导仪	126
§ 11-1 基本性能	126
§ 11-2 RAYSTAR 590面板	126
§ 11-3 开关机,调亮度和初始化	128
§ 11-4 选用工作模式	130
§ 11-5 导航模式	132
§ 11-6 航路点模式	137
§ 11-7 编制航线与报警模式	139
§ 11-8 人员落水	142
第12章 KGP-930型卫导仪	143
§ 12-1 面板与按键作用	143
§ 12-2 启动	144
§ 12-3 五种显示模式	144
§ 12-4 存储航路点位置和编制航线	147
§ 12-5 报警	149
§ 12-6 置定参数	149
第13章 KGP-911型卫导仪	153
§ 13-1 面板键盘作用	153
§ 13-2 变换显示模式	154
§ 13-3 显示现在本船船位	156
§ 13-4 输入存储航路点	156
§ 13-5 编制航线	158
§ 13-6 航路点航行	158

§ 13-7 航线航行	160
§ 13-8 报警	161
§ 13-9 标绘	161
§ 13-10 置定 SET	162
§ 13-11 人员落水显示(MOB)	164
附录 GPS 卫导仪常用缩写代码中英文对照表	165
参考文献	172

第 1 章 GPS 伪距定位导航原理

§ 1-1 全球卫星定位系统概况

GPS 系统(GLOBAL POSITIONING SYSTEM)是由空间部分、地面监控部分和用户接收机三大部分组成的。

空间部分原确定为 18 颗高度约 20 200km 的卫星组成,分布在六个等间隔的轨道面上,轨道面相对赤道面的夹角为 55° 。每个轨道面有 3 颗卫星,卫星间隔为 120° 。相邻轨道面的邻近卫星的相位相差 40° ,见图 1-1 所示。GPS 卫星轨道近圆形,运行周期 $43\,078.3\text{s} \pm 2\text{s}$ 约为 $11^{\text{h}}58^{\text{m}}$ 。为了保证全球任何地区,任何时刻有不少于 4 颗卫星可供观测和一定的定位精度又增添 3 颗,共 21 颗工作卫星,以便提供全球和时间上连续导航的能力。还有 3 颗备用卫星。

卫星发送两个无线电载波信号频率: $L_1 = 1\,575.42\text{MHz}$, $L_2 = 1\,227.6\text{MHz}$ 。在 L_1 载波上调制有 1.023MHz 的伪随机噪声码,即 C/A 码(称粗/捕获码)和 10.23MHz 的伪随机噪声码 P 码(或称精码),以及每秒 50 比特的导航电文。在 L_2 载波上只调制有 P 码和导航电文。C/A 码用于低精度测距并过渡到捕获精码,P 码用于精密测距。所有这些信号都受卫星上的原子频标控制。

地面监控部分设有多个监控站、注入站和一个主控站。监控站设在夏威夷、阿拉斯加的埃尔门多夫空军基地、关岛、加利福尼亚的范登堡空军基地和马绍尔群岛。监控站设有 GPS 接收机、原子钟、搜集当地气象数据的传感器和进行数据初步处理的计算机。监控站的主要任务是取得卫星观测数据并将其传送至主控站。主控站设在范登堡空军基地,它对地

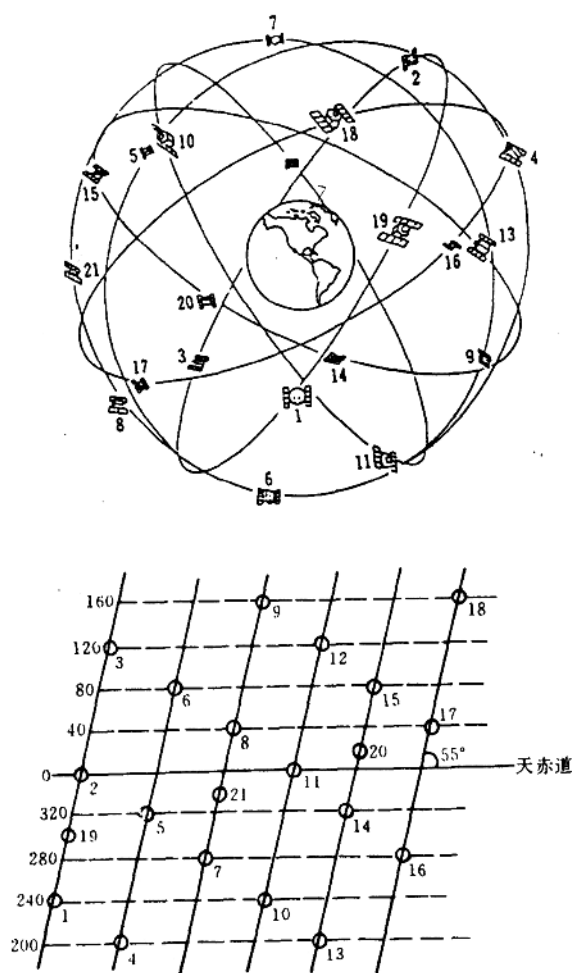


图 1-1 21 颗 GPS 卫星分布示意图

面监控站实行全部控制,其主要任务是搜集各监控站对 GPS 卫星的全部观测数据,利用这些数据计算每颗 GPS 卫星的轨道和卫星钟改正量,依此外推一天以上的卫星星历及钟差并按一定格式转化为导航电文,由上行注入站注入到卫星的存储器。上行注入站也设在范登堡空军基地,它的任务是在每颗卫星运行至临空时将导航数据及主控站的指令注入到卫星。

用户接收机主要功能是接收卫星发播的信号并利用本机产生的伪随机噪声码(PRN)取得距离观测量和导航电文,根据导航电文提供的卫星位置和钟差改正信息计算接收机的位置。

从实际测到的结果,使用 P 码的 GPS 接收机实时定位精度优于 10m(RMS)。C/A 码接收机的实时定位精度在 25m 左右。

从目前看, GPS 具有精度高(定位,测速,测时)、近于实时、连续定位、抗干扰能力强的全球三维定位。

§ 1-2 伪随机码

伪随机码,也称伪噪声码,是一种可以预先确定并可以重复产生和复制,又具有随机统计特性的二进制码序列。

有多种伪随机码,我们只讨论其中易于产生,应用广泛,也为全球卫星定位系统(GPS)所采用的一种伪随机码——最长线性移位寄存器码序列,也称为 m 序列。它是由若干级移位寄存器中的某些特定级输出,以模 2 运算反馈而产生的。

一、移位寄存器

移位寄存器可由数个串接的双稳态存储器和一个时钟脉冲发生器组成的。双稳态存储器可以是一个 R-S 触发器(置位—复位触发器)。图 1-2 为由四个与非门组成的 R-S 触发器,其中 R 与 S 分别为复位与置位输入端,当时钟脉冲 CP 没有到来时(低电平)与非门 C、D 的输出端均为高电平,与非门 A、B 输出端 Q 与 $\bar{Q}$ 只能有一个为高电平,另一个为低电平。若 Q 为高电平,则 A 的输入端均为高电平,其输出端 $\bar{Q}$ 为低电平。若 Q 为低电平,则 A 的输入端有一个为低电平,其输出端 $\bar{Q}$ 为高电平。R-S 触发器在时钟脉冲 CP 的作用下置位(Q 为高电平)与复位(Q 为低电平)的功能,R、S 端只允许其中一个为高电平而另一个为低电平,则输出端 Q 才能确定为高电平(或是低电平),其真值表如表 1-1 所示。

表 1-1 R-S 触发器真值表

R	S	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	不定
0	0	不定

由 r 个双稳态存储器组成的移位寄存器。称为 r 级移位寄存器。

图 1-3 中有四个 R-S 触发器自左向右每级输出端 Q 与下一级置位端 S 相连, $\bar{Q}$ 端与下

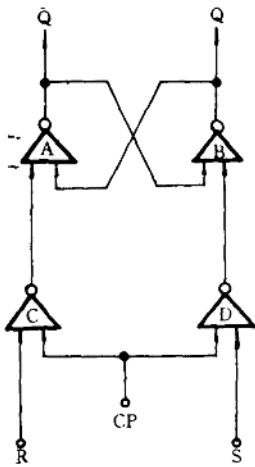


图 1-2 R-S 触发器

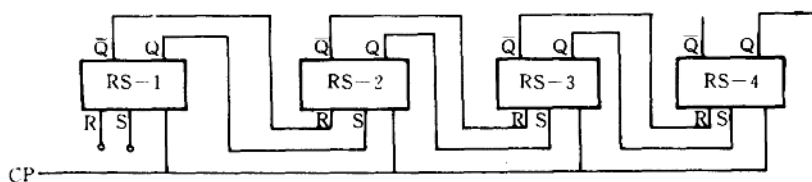


图 1-3 四级移位寄存器

一级复位端 R 相连，各级接有时钟脉冲 CP，便构成一个四级移位寄存器。

假定移位寄存器的初始状态为 0010，且 RS-1 的 S、R 端保持为 1、0。随着时钟脉冲的陆续到来，移位寄存器各级向右移位取值如表 1-2 所示。

表 1-2 移位寄存器状态

时钟脉冲序号	RS-1	RS-2	RS-3	RS-4
0	0	0	1	0
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	1	1	1	0
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

从表中可以看出，由于 RS-1 的置位端始终为 1，经过四次移位后成为全 1 状态并持续下去，这样 RS-4 输出就不是随机序列。

二、模 2 运算

每一级移位寄存器的输出有两种可能——高电平或低电平，分别以 1 和 0 表示。若有两级移位寄存器分别输出不同的 1 或 0，送到图 1-4 模 2 加法器（不进位加法器）的 a、b 端，则其输出端 $a \oplus b$ 对 1、0 的模 2 运算逻辑为：

$$0 \oplus 0 = 0$$

$$0 \oplus 1 = 1$$

$$1 \oplus 0 = 1$$

$$1 \oplus 1 = 0$$

式中 $\oplus$ 表示模 2 加法运算。

三、最长线性移位寄存器序列

如图 1-3 所示的移位寄存器并不能产生一个伪随机码（伪随机序列），但是若将某些特定级的输出，经模 2 加法运算的结果输入到第 1 级的输入端，则在最后一级输出端可以产生一个伪随机序列。

例：图 1-5 是一个四级线性反馈的移位寄存器，它取第 4 级与第 3 级的状态（0 或 1）经模 2 加法运算后反馈到第 1 级，这样，在第 4 级输出端可得到一个四级最长线性移位寄存器序

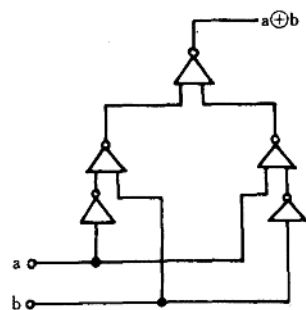


图 1-4 模 2 加法器

列。假定,其各级的初始状态为 1111,随着时钟脉冲的相继到来,各级的状态变化情况如表 1-3 所示。

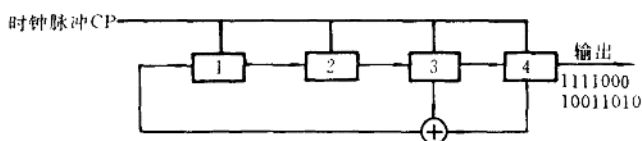


图 1-5 四级线性移位寄存器

表 1-3

移位寄存器状态序列

时钟脉冲 NO	第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	反馈值 $3 \oplus 4$
1	1	1	1	1	0
2	0	1	1	1	0
3	0	0	1	1	0
4	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0
7	0	0	1	0	1
8	1	0	0	1	1
9	1	1	0	0	0
10	0	1	1	0	1
11	1	0	1	1	0
12	0	1	0	1	1
13	1	0	1	0	1
14	1	1	0	1	1
15	1	1	1	0	1
16	1	1	1	1	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

从表中可以看出,其第 4 级(末级)输出的码序列为:

111100010011010

该序列具有周期性,一周期内包含 $2^4 - 1 = 15$ 个码元,称为码长。这是四级移位寄存器的一个最长重复周期,故称为最长线性移位寄存器序列,简称 m 序列。该移位寄存器不会出现全 0 状态(如每级寄存器的状态均为 0,则输出将持续地为 0),但并不是所有可能的反馈逻辑都能产生 m 序列。对四级移位寄存器,还可以把第 4 级与第 1 级经模 2 相加后反馈到第 1 级,其末级输出也是另一个 m 序列($2^4 - 1 = 15$ 码元)。这样由移位寄存器级数相同而反馈逻辑不同所产生的码序列称为同族码序列。四级移位寄存器,只有上述两种反馈逻辑才能产生周期为 $2^4 - 1$ 的两种不同的 m 序列。

四、m 序列的统计特性

对于一个只有两种可能的随机事件,如投掷硬币所产生的随机序列来说,其随机统计特性

有:

1) 序列中两种元素“1”与“0”出现的次数大致相等。

2) 若把 n 次同一种元素连续出现叫做一个长度为 n 的元素游程, 则序列中长度为 n 的元素游程比长度为 $n+1$ 的元素游程多一倍。

对于 m 序列是一个确定的码序列, 不同于随机事件, 但它却具有与随机事件相似的统计特性。 m 序列是周期序列, 它的统计特性为:

1) 在每一周期内, 两种元素出现的次数相差一个。

2) 在一周期内, 长度为 n 的游程出现次数比长度为 $n+1$ 的游程出现次数多一倍。

五、 m 序列的循环相加特性

各级输出的 m 序列结构相同, 只是相互移了若干码位, 称为等价平移序列。

两个等价平移序列模 2 相加, 必为此序列的另一等价平移序列。

例: $u(t_3): 100010011010111$

$$\begin{array}{r} u(t_1): 1111000100110101 \\ \oplus \\ 011010111100010 \end{array}$$

六、 m 序列的相关特性

1) m 序列的自相关函数

m 序列的自相关函数 $\rho(\tau)$ 定义为:

$$\rho(\tau) = \frac{A-D}{A+D} = \frac{\text{相同码元个数} - \text{相异码元个数}}{\text{相同和相异码元的总个数}}$$

m 序列具有双值自相关函数:

$$\rho(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{当 } \tau=0 \text{ 时} \\ -\frac{1}{m} & \text{当 } \tau \neq 0 \text{ 时} \end{cases}$$

图 1-6 是 m 序列的自相关函数曲线。

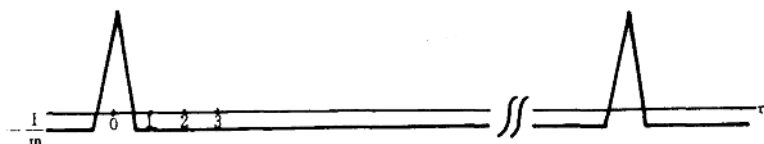


图 1-6 m 序列的自相关函数曲线

m 序列的自相关特性提供了一种检测一个 m 序列(码)与另一个复制的序列(码) 0 时延的方法, 即当自相关输出极大值时为 0 时延。伪随机码测距技术就是利用了这个特性。

例: 我们仍以四级线性移位寄存器所产生的 m 序列来讨论其自相关特性。

$$\begin{array}{r} 111100010011010 \\ \text{(后移一位, } \tau=1) \oplus \\ 011110001001101 \\ \hline 100010011010111 \end{array}$$

$$\rho(\tau=1) = \frac{7(0) - 8(1)}{15} = -\frac{1}{15}$$

$$\begin{array}{r} 111100010011010 \\ \text{(后移两位, } \tau=2) \oplus \\ 101111000100110 \\ \hline 01001101011100 \end{array}$$

$$\rho(\tau=2) = -\frac{1}{15}$$

$$\text{零时延}(\tau=0): \begin{array}{r} 111100010011010 \\ 111100010011010 \\ \hline 000000000000000 \end{array} \oplus$$

$$\rho(\tau=0) = \frac{15}{15} = 1$$

2)m 序列的互相关函数

上述说明, m 序列的自相关函数是一个简单的双值函数。然而, 两个长度(周期)相同的、不等价的 m 序列之间的互相关函数却不具有简单的特性。在 GPS 系统中, 一个 GPS 接收机要同时接收 3 颗以上卫星发播的信号, 当利用相关检测某一卫星信号的码序列以求得到最大自相关输出时, 其它卫星的码序列则以互相关函数值叠加于相关输出。显然, 较大的互相关函数值会严重干扰目标卫星的自相关输出。因此, 在应用中总是选择互相关函数小的那些码序列。

为了产生具有良好的自相关特性和互相关特性, 又能满足码分多址的要求, R. Gold 提出了戈尔德序列(G 序列)。

设有两个具有相同码长 $P=2^r-1$ 的 m 序列 a 与 b, 则

$$G(a, b) = a \oplus bT_i$$

形成一个周期序列, 其码长仍为 $P=2^r-1$ 。式中 T_i 表示其左面的码序列左移(前移) i 个码元。该式表示取 a 序列与左移 i 个码元的 b 序列的模 2 相加, 得到一个 G 序列, 称为戈尔德序列。C/A 码采用戈尔德码。它选用具有良好的自相关特性和较小的互相关函数值特性, 又适用码分多址, 使各卫星在用同一频段同时发射, 在接收时相互间不存在严重干扰。图 1-7 给出了这样的戈尔德序列的自相关函数与互相关函数的示意图。

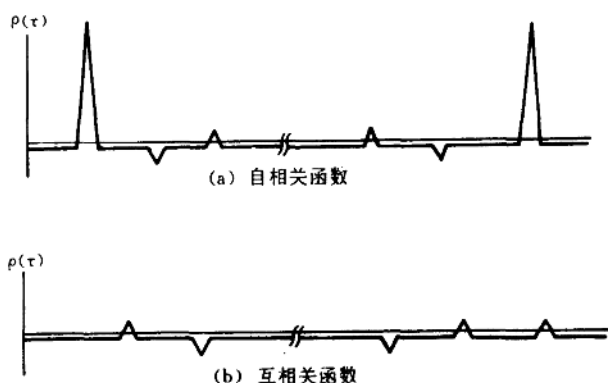


图 1-7 戈尔德序列的相关函数

七、截短码与复合码

1) 截短码

用 r 级线性移位寄存器产生码长为 $P=2^r-1$ 的 m 序列, 它只能产生若干个特定值的伪随机序列的码长。在实际应用中往往不能满足对码长的要求, 为此可用截短序列(或称截短码)和复合序列来调整码长。

例如, 欲产生码长为 12 的截短码, 假如我们选取码长为 $P=2^4-1=15$ 的四级移位寄存器

进行截短。图 1-8(a) 是该移位寄存器的反馈逻辑；(b) 为截短码反馈逻辑。表 1-4 为对应的寄存器状态。图中 1000 状态检测器由逻辑电路组成，其功能是当移位寄存器的状态为 1000 时输出为 1，其它状态时输出为 0。将状态检测器的输出加入模 2 加法器中，则状态检测器的输出为 0 时，不影响模 2 加法器的输出；当检测器输出为 1 时，使原模 2 加法器的输出由 0 变为 1。因此，移位寄存器的状态为 1000(跳跃点)时，在状态检测器作用下，下一状态将不是 0100，而是 1100，状态序列跳过了三个状态，从而使序列的周期从 $2^4-1=15$ 变为 12，完成了一个序列的截短。

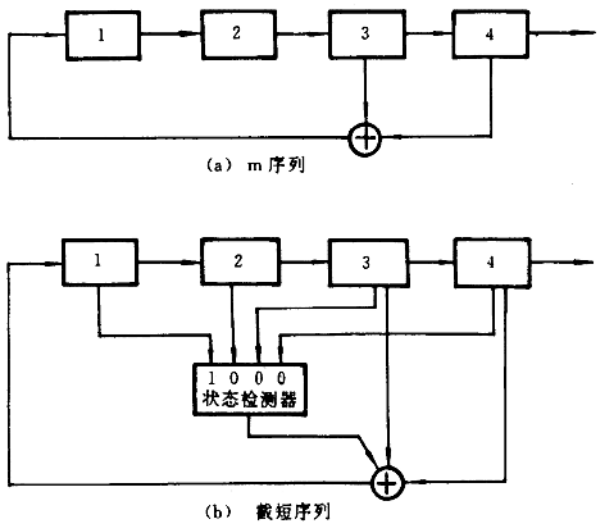


图 1-8 m 序列与截短序列的反馈逻辑

表 1-4 寄存器状态

1	1	1	1
0	1	1	1
0	0	1	1
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
1	0	0	1
1	1	0	0
0	1	1	0
1	0	1	1
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

2) 复合码

如果需要一个较长的码序列，可以由两个或两个以上的短码(称子码)构成一个长码。

例如，一个码长 $P_a=3$ 的码序列 $a(011)$ 和一个码长 $P_b=7$ 的码序列 $b(1110100)$ 取模 2 相加，就可得到一个码长为 $P_a P_b$ 的长码，如图 1-9 所示。

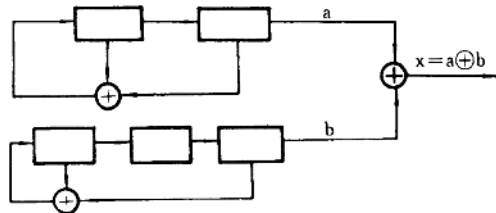


图 1-9 模 2 相加复码

$a: 011011011011011011011011 \quad 011 \dots$
 $b: 111010011101001110100 \quad 111 \dots$
 $x: 100001000110010101111 \quad 100 \dots$

从图中可以看出，只有经过二码长的最小公倍数(21)后，a 码 b 码才能同时处于初始状态，以后重复这一过程。由两个以上子码经模 2 运算构成的复合码，当 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 为互素，则该复合码长度为 $P = P_1 P_2 \dots P_n$ 。

由若干子码的模 2 和构成的复合码称为模 2 和复合码。它有一个重要特性是它的自相关函数可表示为子码自相关函数的乘积，如图 1-10 所示。

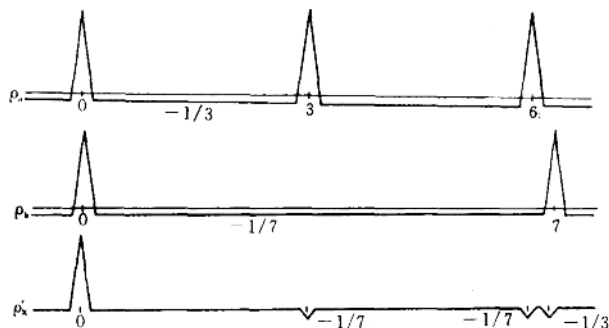


图 1-10 模 2 和复合码的自相关函数

用短子码构成的复合码的真正意义不完全在于增加码长,更重要的是在于可以利用子码缩短最大自相关的过程,缩短了捕获时间。在 GPS 系统中,用户对快速捕获 P 码就利用了这个特性。

§ 1-3 伪随机码测距原理

全球卫星定位系统(GPS)采用伪随机码测距,它具有抗干扰能力强、保密性能好、所需信号功率小、无模糊等优点。GPS 接收机是利用所收到的卫星发播的伪随机码信号测量其传播时间进行测距的,同时收到卫星发播的卫星位置信息进行导航定位解算。

单程测距要求卫星时钟与用户接收机的时钟同步。如果两个时钟不同步,那么在所测量的传播延迟时间(接收时刻与发播时刻之差)中,除了因卫星至用户接收机之间距离所引起的传播延迟之外还包含了两个时钟时间的钟差。

假如卫星钟与用户接收机时钟完全同步,以 t_{uG} 表示卫星发播其随机码的时刻,以 t_{uG} 表示用户接收机收到该随机码的时刻,则用户至卫星的真实距离(设在真空中传播)R 为:

$$R = c(t_{uG} - t_{eG}) \quad (1-1)$$

式中, c 为电波传播速度。因为两个钟的完全同步在实际中很难做到,所以全球定位系统采用了统一的原子时系统。

现以 t_u 表示用户接收机时钟的钟面时,以 Δt_u 表示用户接收机时钟与 GPS 原子时的钟差,称用户钟差,则 t_u 为:

$$t_u = t_{uG} + \Delta t_u \quad (1-2)$$

以 t_s 表示卫星钟的钟面时,以 Δt_s 表示卫星钟与 GPS 原子时的钟差,称卫星钟差,则 t_s 为

$$t_s = t_{sG} + \Delta t_s \quad (1-3)$$

实际上,卫星发播的信号要经过电离层对流层才能到达用户,信号在传播中要产生传播延迟误差,设为 Δt_A 。

对于在随机噪声条件下检测信号的最佳接收机是相关接收机。它是用发射伪随机码信号的复制——称本地码,进行本地码移位延迟,使它与所接收到的卫星伪随机码及白噪声之和进行相关检测。当达到相关函数输出最大值时,本地码所移的码位即可确定目标卫星的观测距离。该观测距离等于卫星至接收机的距离和传播延迟误差与钟差等效距离之和,通常称伪距离

或伪距,以 $\tilde{R}$ 表示,如图 1-11 所示。

$$\tilde{R} = c(t_u - t_s + \Delta t_A)$$

将(1-1)(1-2)(1-3)代入,得

$$\tilde{R} = R + c\Delta t_A + c(\Delta t_u - \Delta t_s) \quad (1-4)$$

白噪声对相关输出的影响很小。当天空中不只一颗 GPS 卫星时,这些信号也同时被接收机所接收并进行互相关检测。由于所选用各卫星之间的码序列族具有良好的互相关特性,这些互相关函数通常不会同时达到最大值,故不会对自相关输出造成严重干扰以致发生误检测。这说明可以利用不同的本地码观测不同码的卫星,解决了卫星的识别问题。

为了精确测距,必须精确测量卫星信号传播延迟,这就要求测量分辨率要高,同时还要消除或减小诸如电离层对信号传播延迟的误差。测量分辨率在很大程度上取决于一码元的宽度,或者说取决于码的比

特率(单位时间内码元数,单位为波特 Baud)。码的比特率愈高,分辨率也愈高,但是过高的比特率将占用更大的带宽。GPS 系统用于精密测距的伪随机码称为精码(P 码:Precise),它的比特率为 10.23 兆波特,即其移位寄存器时钟频率为 10.23MHz。为了能无模糊地测定信号传播延迟,其码周期要大于卫星至测者的传播延迟。P 码周期约为 266.4 天(23 017 555.5s),这样长的码周期足以使任何用户可进行无模糊测距。

电离层的传播误差是信号传播延迟测量的主要误差源之一。为了削弱电离层传播延迟误差, GPS 使用 L 波段两个频率作为载波频率: L_1 的中心频率为 1 575.42MHz; L_2 的中心频率为 1 227.6MHz。因为 P 码是调制在 L_1, L_2 载波上的,所以可以削弱电离层的传播延迟误差,以得到精确的测距。C/A 码只调制在 L_1 的载波上,其电离层传播延迟误差只能根据数学模型估算来校正,因此测距精度要比 P 码差。选择 L 波段的原因之一是电磁波的云雨吸收在这一波段比较小。

应用伪随机码测定信号传播延迟,需检测相关输出的最大值,这只能靠本地码逐个移动码位进行检测。在事先不知待测距离及用户钟差的情况下,码长愈长(例如 P 码),所需的捕获时间就愈长。为了缩短捕获时间, GPS 系统的卫星除了发播精码(P 码)外,还发播一种短码(称 C/A 码),其码长只有 1 023 比特,周期为 1ms,即比特率为 1.023 兆波特。这样,在捕获这一短码之后,可以很快地通过子帧转换字来捕获精密测距码。

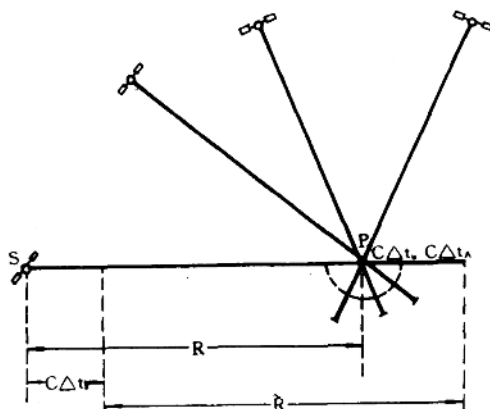


图 1-11 伪距图

§ 1-4 伪距导航定位原理

如图 1-12 所示, O 点为地心, OXYZ 为地球坐标系。测者接收机三维坐标值为 X, Y, Z。卫星在同一坐标系中的坐标为 X_s, Y_s, Z_s 。接收机至卫星的距离 R 为