

第 5 章 无线电导航

位置信息是物体的另一个重要属性,本章主要介绍导航的基本原理及其通信技术。

5.1 分类

从基础设施的类型上看,无线电导航分为两类。

1) 通过地面站发射器进行的导航

过去数十年,空中航行主要依靠这种形式的测向设备。导航信息是从固定的地面发射器发射的,接收方则是机载接收设备。每个地面发射器都有一个独特的无线电频率。利用无线电波的传播特性可测定飞行器的导航参量(如方位、距离和速度等),算出与规定航线的偏差,由飞行员(或自动驾驶仪)操纵飞行器消除偏差以保持正确航线。当到达发射器后,飞行员调整接收设备的频率为下一段航线的发射器的频率,飞向下一个发射设备。将这些发射器串起来,即形成整条航线。

飞行员常用的无线电导航系统包括甚高频全向信标系统(VORS)、测距装置系统(DMES)和塔康导航系统(TACANS)等。这种无线电导航的无线电波在大气中传播几千千米,由于受电离层折射和地球表面反射的干扰较大,所以精度不是很理想。另外,如果航线数规模很大,则需要部署巨量的地面基站,费用太高。为此,越来越多的研究人员借助卫星实现定位。

2) 通过卫星进行的导航

卫星导航技术是当前应用的热点,作为战略性技术受到各国的重视。20 世纪 60 年代,美国实施了子午仪(Transit)卫星导航系统并取得成功,此后各国发展了多个卫星导航系统,最著名的是美国的 GPS(Global Positioning System)、俄罗斯的 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)和中国的北斗(COMPASS)。欧洲的伽利略系统则发展较为缓慢,印度等国也在积极推动自己的卫星导航技术。

卫星导航技术在军事和民用方面起到重大的作用,可以轻松获得物体的位置信息,本章主要对其进行介绍。

5.2 GPS

GPS 是一个中距离圆形轨道卫星导航系统,它可以为地球表面绝大部分(98%)地区提供准确的定位、测速和高精度的授时服务,基于 GPS 的系统如案例 3-3。

1993 年起,GPS 开始向各种用户提供三维位置、三维速度和时间信息,精度如下。

- 对于军用或其他有高精度要求的需求,可以提供的定位精度优于 10m,速度优于

0.1m/s,时间优于 100ns。

- 对于民用需求,获得的定位精度为 30m,但是出于国家安全方面的考虑,故意将民用码的定位精度降到 100m,即在卫星的时钟和数据中引入了误差。

2000 年 5 月,美国空军宣布启动新一代 GPS 系统计划——GPS Block III(简称为 GPS 3),较当时用的 GPS 卫星更精确、更可靠。例如,在目前无法定位的环境(如室内)依然可以精准地定位。GPS 3 还计划使卫星开始具备抗干扰能力。

5.2.1 GPS 工作原理

GPS 采用的是 WGS84 坐标系统,时间起点是 1980 年 1 月 6 日的 00:00:00。GPS 系统定位的大概过程如下。

- (1) 卫星已知自己的位置,并将其包含在卫星发射的信号中(还包括发出的时间)。
- (2) 用户/GPS 接收机收取多颗卫星的信号,求各卫星和用户之间的相对距离。
- (3) 用户接收机解算得到用户自身位置。

理想情况下,若用户接收机和卫星的时间一致,则可以利用 $R=C \times t$ 求得第(2)步所需的距离,其中 t 为信号到达接收机所经过的时间, C 为电磁波速度。

第(3)步只需同时接收三个卫星的信号,就可以得到三个以卫星为球心,以用户到卫星的距离为半径的球面,三个球面的交点就是用户接收机所在位置(实际上求得的是 2 个交点,但是远离地球的那个交点可以被排除)。

但是,由于不能在接收机上安装高精度原子钟,所以接收机无法和卫星做到时间上的同步(所有卫星的时间是严格同步的),所以用 $R=C \times t$ 求出的距离是不准确的,是伪距(PR),因此称 GPS 是基于“无线电伪距定位”技术的。伪距可以表示为

$$PR_i = R_i + C \times \Delta t = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + C \times \Delta t \quad (5-1)$$

其中 Δt 为接收机和卫星的时钟误差,可为正、负; (x_i, y_i, z_i) 为卫星 i 的空间坐标。这样,需求解的未知数包括用户的三维坐标 x, y, z 和 Δt ,因此,GPS 不得不接收 4 颗卫星($i=1 \sim 4$)的信号才能正常工作。由此,GPS 导航的过程如下。

(1) 接收机接收并根据 4 颗卫星的信息形成四元二次方程组,进行求解得到位置和时间信息。

(2) 根据(1)中求得的经、纬度,结合电子地图里面的经、纬度调出地图,并确定接收机在地图上的位置,从而完成 GPS 定位在地图上的显示。

一般可以先用 3 颗星的信息快速计算,进行粗定,然后再用第 4 颗卫星精确定位,这是一个较为实用的方法。如果采用差分技术,GPS 可以达到提高定位精度的目的。

5.2.2 GPS 组成

GPS 系统主要由空间星座、地面监控和用户设备三部分组成。

1) 空间星座

空间星座负责周期性地发出定位信号,最初的 GPS 的卫星星座由 24 颗卫星组成,21 颗工作,3 颗备用。卫星均匀地分布在 6 个轨道上,每个轨道 4 颗。后期的 GPS 发展为 32 颗卫星。空间星座部分的功能包括:

- 接收并执行由地面站发来的控制指令,如调整卫星姿态和启用备用卫星等。

- 卫星上设有微处理机,进行部分必要的数据处理工作。
- 通过星载的高精度铷钟、铯钟产生基准信号和提供精密的时间标准。
- 向用户不断发送导航定位信号。

需要注意的是, GPS 系统由美国控制, 美国随时可以扩大信号误差、甚至关闭特定区域的信号让 GPS 失灵。由美国主导的臭名昭著的银河号事件中, 中国的银河号货轮就是因为所在地区 GPS 被关闭, 导致无法正常航行。

更严重的是, 早期中国电信的 CDMA 和中国移动的 TD-SCDMA 在网络时间同步等方面严重依赖 GPS 系统, 因此当 GPS 系统升级时或人为关闭时, 网络就会受到严重的影响。后期, 我国网络利用北斗卫星作为时间信号源, 摆脱了对 GPS 的依赖。

2) 地面监控

地面监控部分由 6 个监测站(Monitor Station)、1 个主控站(Master Control Station)和 4 个地面天线站(Ground Antenna, 又叫注入站、加载站)组成, 工作方式如下。

(1) 当某颗 GPS 卫星通过当地时, 监测站便汇集从卫星接收到的导航电文等数据, 将其发送给主控站。

(2) 主控站对导航电文数据进行计算和处理后, 制定出这颗 GPS 卫星的星历和星钟偏差参数, 形成注入电文, 并将其发送给注入站。主控站还可以对卫星进行一定的控制, 向卫星发布指令, 当工作卫星出现故障时, 调度备用卫星工作进行替代, 等等。

(3) 注入站将注入电文发送给该卫星。

利用这种方式, GPS 卫星的电文数据每天至少更换一次, 使整个系统始终处于良好的工作状态。

3) 用户设备

GPS 的用户设备就是 GPS 信号接收机。GPS 信号接收机的任务包括:

- 捕获卫星信号, 选择并接收至少 4 颗卫星的导航信号并跟踪这些卫星的运行。
- 对接收到的 GPS 信号进行变换、放大和处理。
- 解析 GPS 卫星所发送的导航电文。
- 实时计算接收机的三维位置、速度和时间。进行坐标的变换, 计算出在地图上的位置, 由显示设备显示出地图和自身所在位置, 以及速度和时间等信息。

5.2.3 GPS 通信技术

1. GPS 多址接入

接收机如何与 4 颗卫星同时通信呢, 这需要多址技术。多址技术和信道的多路复用技术非常密切, 甚至可以说属于同一种技术, 属于物理层的技术。

1) 多址技术

多址技术指多个用户共享使用一个公共传输媒质, 实现各用户之间无冲突地共同通信的技术。在 GPS 场景下就是多个卫星的信号需要同时在空间传送而不能相互干扰。那么, 为什么前面的 RFID 做不到相互不干扰, 而需执行防止冲突算法呢?

多址技术是在事先安排、调度好相关资源(如频带、时间、空间、代码序列等)的前提下才能实现的, 这种情况下, 用户的通信只使用安排好的资源即可。根据相关资源, 多址技术主要分为频分多址、时分多址、空分多址、码分多址等。

(1) 频分多址(Frequency Division Multiple Access, FDMA)。

以不同的频率实现对通信用户的区分,即一对通信用户使用的信道,其频率范围和其他用户对的频率范围是不同的,用户对之间不会产生相互干扰,如同广播电台的工作机制一样。可以简单地理解为把总的信道分成若干子信道,不同的用户对使用不同的子信道。而如果知道了子信道的频率范围,也就知道了这是哪一对用户。

频分多址如图 5-1 所示。

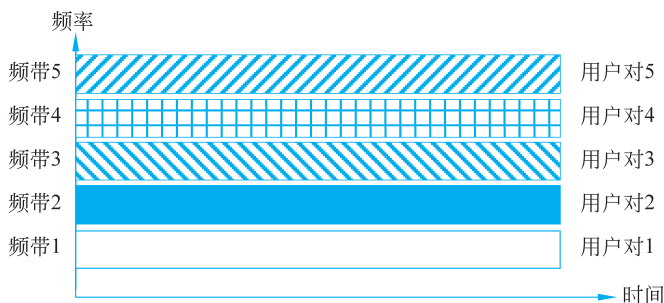


图 5-1 频分多址

(2) 时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)。

时分多址是以不同时隙实现对通信用户的区分,如图 5-2 所示。

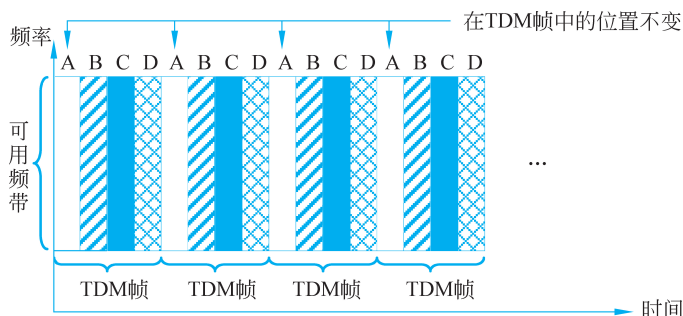


图 5-2 时分多址

TDMA 把时间分成周期,一个周期称为一个 TDM 帧,在 TDM 帧内按照用户使用情况把时间划分成若干时隙,每一对用户使用一个时隙,且该时隙在 TDM 帧中的位置固定不变。通信过程中信道的总频带资源全部都给某一对用户使用,但是使用时间受限,用户对只能在属于自己的时隙内使用,到了时间必须让给后续用户使用。当所有用户对都发送完毕,便开始下一个 TDM 帧,如此循环。

如果知道时隙在 TDM 帧中的位置,也就知道了这是哪一对用户在通信。

(3) 空分多址(Space Division Multiple Access, SDMA)。

空分多址是以不同空间的信号实现对通信用户的区分。该机制下用户占用不同空间(如空间角度)的传输媒质,形成自己独享的信道。如图 5-3 所示,基站 A 可以向两个方向发出相同的射频信号,同时与 B 和 C 进行通信。

(4) 码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)。

码分多址是以不同的代码序列实现对通信用户的区分。

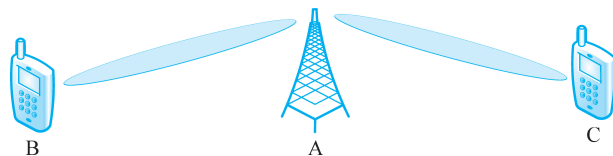


图 5-3 空分多址

2) 码分多址

GPS 使用 CDMA 体制,使 24 颗卫星能够在共享的信道中同时通信而不相互干扰。

在 CDMA 的通信系统中,多址接入的实质是给每个用户安排一个设计良好的伪随机码字(代码序列),它实质上是一个扩频码序列,又称为码片(Chip)序列。

通信过程中,用户终端使用自己的码字将欲发送的数据转换成宽带扩频信号,即用自己的码字代表数据中的“1”,用码字的反码代表数据中的“0”,则原来的 1、0 序列就变成了由码字组成的、更长的新序列。

例如,设结点 S 的 8bit 码字为 00011011(实际参与计算的是向量 $(-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)$)。S 在发送比特 1 时,就发送码字 00011011,发送比特 0 时,就发送其反码序列 11100100,即 $(+1, +1, +1, -1, -1, +1, -1, -1)$ 。在此例下,若原来 S 欲发送 n 比特的序列,但实际上发送的是 $8 \times n$ 比特的序列,发送数据率相同的情况下,最终发送信号的频率是原来所需频率的 8 倍,这就是所谓的扩频,如图 5-4 所示。

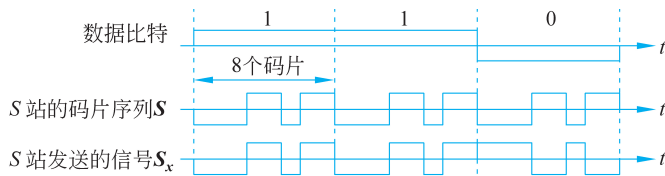


图 5-4 CDMA 发送数据示例

扩频是利用高速率扩频码片流与低速率信息数据流相乘,把一个符号扩展为多位的码字,从而将窄带信息频谱扩展为宽带频谱。扩频有直接序列扩频(直扩)、跳变频率(跳频)、跳变时间(跳时)和线性调频等,CDMA 属于直扩。扩频技术是当前通信技术中常用的一项重要技术,主要优势是抗干扰、抗多径衰落、低截获概率等。

CDMA 中的码字的选取有严格的规定:

- 分配给结点的码字必须各不相同,以便对结点进行区分,如同身份证。
- 不同结点的码字必须互相正交,这是 CDMA 用户在共享信道上同时传输数据的基础。

令向量 $\mathbf{S}_v$ 表示结点 S 的码字向量,令 $\mathbf{T}_v$ 表示另一个结点 T 的码字向量。所谓**正交**,就是向量 $\mathbf{S}_v$ 和向量 $\mathbf{T}_v$ 的规格化内积等于 0,即满足:

$$\mathbf{S}_v \cdot \mathbf{T}_v \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (5-2)$$

其中 m 为向量 $\mathbf{S}_v$ 和 $\mathbf{T}_v$ 的维数。举例来说,设 T 的码字为 00101110,则 $\mathbf{S}_v \cdot \mathbf{T}_v = [(-1 \times -1) + (-1 \times -1) + (-1 \times 1) + (1 \times -1) + (1 \times 1) + (-1 \times 1) + (1 \times 1) + (1 \times -1)] / 8 = 0$ 。即 $\mathbf{T}_v$ 和 $\mathbf{S}_v$ 满足正交关系,符合上述规定。

如果两个码字正交,则其中一个码字与另一个码字的反码也正交,即

$$\mathbf{S}_v \cdot (-\mathbf{T}_v) \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i (-T_i) = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (5-3)$$

任何一个码字向量和自己的规格化内积都是 1。

$$\mathbf{S}_v \cdot \mathbf{S}_v = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = 1 \quad (5-4)$$

一个码字向量和自己的反码向量的规格化内积是 -1。

$$\mathbf{S}_v \cdot (-\mathbf{S}_v) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i (-S_i) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m -S_i^2 = -1 \quad (5-5)$$

根据 CDMA 技术的工作原理,即便要发送的比特串同样为 110 三个比特,结点 S 和结点 T 也是可以同时在同一个共享信道上发送的。也就是说,即便两者的信号在空间进行了叠加,也不影响接收方对自己想要数据的接收。更多结点同样。

下面举例说明 CDMA 的工作原理。如图 5-5 所示,为了发送比特“1”,S 发送的是 $\mathbf{S}_x$ = $\mathbf{S}_v$,而 T 发送的是 $\mathbf{T}_x = \mathbf{T}_v$,两者叠加的信号 $\mathbf{S}_x + \mathbf{T}_x = (-2, -2, 0, 0, +2, 0, +2, 0)$ 。

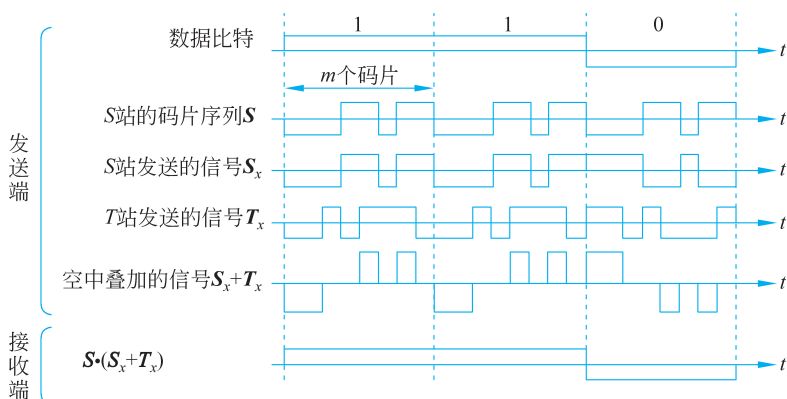


图 5-5 CDMA 发送举例

在接收数据之前,接收端必须首先通过一定的协议交互来获得发送端的码字(例如 S 的向量 $\mathbf{S}_v$)。接收端在得到叠加的空间总信号($\mathbf{S}_x + \mathbf{T}_x$)后,将其与 $\mathbf{S}_v$ 进行规格化内积,即 $\mathbf{S}_v \cdot (\mathbf{S}_x + \mathbf{T}_x)$ 。读者可以自己证明,这个计算过程是满足分配律的,即

$$\mathbf{S}_v \cdot (\mathbf{S}_x + \mathbf{T}_x) = \mathbf{S}_v \cdot \mathbf{S}_x + \mathbf{S}_v \cdot \mathbf{T}_x \quad (5-6)$$

根据式(5-2)和式(5-4)可得, $\mathbf{S}_v \cdot (\mathbf{S}_x + \mathbf{T}_x) = \mathbf{S}_v \cdot \mathbf{S}_v + \mathbf{S}_v \cdot \mathbf{T}_v = 1 + 0 = 1$ 。最后的 1 即接收方恢复出来的数据比特 1。

为了发送比特“0”,S 发送 $-\mathbf{S}_v$,T 发送 $-\mathbf{T}_v$,接收端进行同样的处理,最后得出的结果为 -1,代表接收方恢复出来的数据比特为 0。其他两种情况(结点 S 发送比特 1,而结点 T 发送比特 0;结点 S 发送比特 0,而结点 T 发送比特 1)同样。

有了 CDMA,用户接收机在发现 4 颗卫星的过程中,可以获得这 4 颗卫星的码字,通过 4 个码字,可以同时获取这 4 颗卫星的信号。

2. GPS 的调制

每颗工作卫星均工作在 L 波段(L1=1575.42MHz 为主频率,L2=1227.60MHz 为次频率)范围内。大气电离层对该波段无线电信号的折射影响较小。

L1 波段的信号用两个正交的伪随机码进行调制。

- C/A 码,用于粗略测距和捕获 P 码的粗码,也称捕获码,供民用。C/A 码不加密,很容易截取。
- P 码,提供精确定位服务的精密码。如果希望捕获 P 码,需先捕获 C/A 码,然后利用其中转换字(Hand Over Word, HOW)所提供的信息,完成 P 码的捕获。

L2 波段的信号一般只使用 P 码进行调制,特殊情况下也可以用 C/A 码调制。

P 码和 C/A 码都采用二相 BPSK 调制技术。

BPSK 又称二进制相移键控,是最基本的调制技术之一。最简单的 BPSK 是用载波的 0 和 π 两种相位代表数字 1 和 0,如图 5-6 所示。还可以有更多的相位作为参数进行调制,如四相调制、八相调制等。

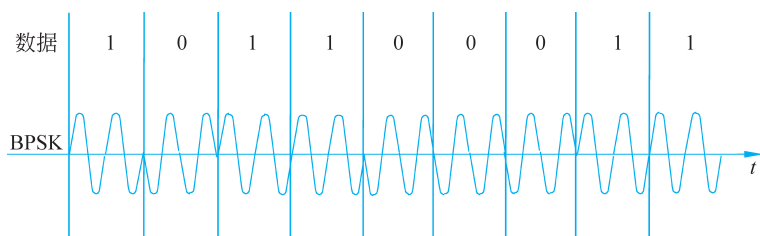


图 5-6 二相调制波形

四相调制又称为正交相移键控(QPSK)调制,是一种频谱利用率高、抗干扰性强的数字调制方式,广泛应用于各种通信系统中。QPSK 通过改变载波的相位(例如 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$),将载波调制出 4 种状态的正弦波(码元),如图 5-7 所示。因为具有 4 种状态,所以每个码元可以携带 2 比特的信息。

码元的种类数(n)和一个码元能够携带/代表的比特数(len)的关系是:

$$\text{len} = \log_2 n \quad (5-7)$$

通信领域中常采用星座图辅助描述对载波的调制情况。星座图采用了极坐标系,其中星座点的极径长度代表了波形的振幅,极角代表了波形的相位。如图 5-8 所示的星座图展示了图 5-7 中四种码元的相位、振幅情况。

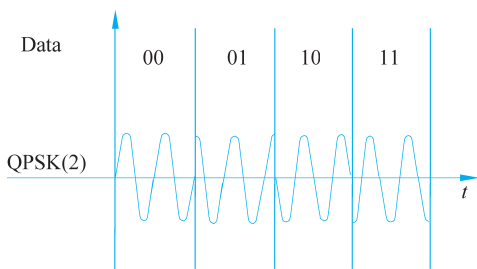


图 5-7 QPSK

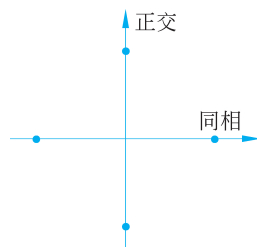


图 5-8 星座图

3. GPS 导航电文

卫星发射信号的主要内容导航电文(Navigation Messages),是用户定位的数据基础,主要包括卫星工作状态信息、卫星星历、卫星时钟校正参数、电离层传播延时校正参数、从 C/A 码转换为 P 码所需的时间同步信息等。导航电文又被称为数据码、D 码。

一般的 GPS 接收机只能接收 L1 波段的信号,并从该信号中提取出导航电文。

一个 GPS 电文由 25 个连续的主帧(Frame/Page)构成,每个主帧 1500bit,一共

37500bit。电文的广播速率为 50b/s,因此一个完整的 GPS 电文传输时间长达 12.5min。

每一主帧又分为五个子帧(sub-frame/sub-page),每个子帧 300bit,分为 10 个字,每个字为 30bit。每个子帧的开头都是遥测字和转换字。

- 遥测字(Telemetry Word,TLM)前 8 位是用于同步的二进制数 10001011,其后的 16 位用于授权的用户,最后 6 位是奇偶校验位。
- 转换字(Hand Over Word,HOW)的前 17 位表示星期时间(从周日 00:00:00 到周六 23:59:59,从 0 开始计数,每 6 秒加 1),20 到 22 位表示子帧页码,最后 6 位为奇偶校验位。

下面介绍奇(偶)校验法。奇(偶)校验法是最简单的数据错误检验方法。基本的奇(偶)校验法分为以下两种。

- 偶校验:如果给定数据中 1 的个数是奇数,那么校验位就设为 1,否则为 0,从而使得所传数据(包含校验位)中 1 的个数是偶数。
- 奇校验:如果给定数据中 1 的个数是偶数,那么校验位就设为 1,否则为 0,从而使得所传数据(包含校验位)中 1 的个数是奇数。

采用奇(偶)校验的典型例子是面向 ASCII 码的数据帧的传输,ASCII 码是七位,用第八位作为奇偶校验位。奇偶校验存在一个问题:对数据中出错比特个数为偶数个的情况(2,4,6,⋯比特出错了)无能为力。

复杂一些的包括双向奇(偶)校验(又称方块校验、垂直水平校验)。下面举例进行介绍:把传输的数据进行分组(如 7bit 一组),一组为一行,6 行组成一个数据块,则图 5-9 实现了对 6 组数据的双向奇(偶)校验。

D ₁₁	D ₁₂	D ₁₃	D ₁₄	D ₁₅	D ₁₆	D ₁₇	P _{r1}
D ₂₁	D ₂₂	D ₂₃	D ₂₄	D ₂₅	D ₂₆	D ₂₇	P _{r2}
D ₃₁	D ₃₂	D ₃₃	D ₃₄	D ₃₅	D ₃₆	D ₃₇	P _{r3}
D ₄₁	D ₄₂	D ₄₃	D ₄₄	D ₄₅	D ₄₆	D ₄₇	P _{r4}
D ₅₁	D ₅₂	D ₅₃	D ₅₄	D ₅₅	D ₅₆	D ₅₇	P _{r5}
D ₆₁	D ₆₂	D ₆₃	D ₆₄	D ₆₅	D ₆₆	D ₆₇	P _{r6}
P _{c1}	P _{c2}	P _{c3}	P _{c4}	P _{c5}	P _{c6}	P _{c7}	

图 5-9 双向奇(偶)校验

其中 D_{xy} 为数据中的一个 bit, P_{rx} 表示横向的奇(偶)校验位, P_{cy} 表示纵向的奇(偶)校验位。这样,每个数的校验程度比单向的校验要高。而且双向奇(偶)校验具有一位纠错的能力。例如,如果校验发现第 i 行的横向校验出现了错误,第 j 列的纵向校验出现了错误,就知道 D_{ij} 错了,把 D_{ij} 取反就可以纠正数据的错误。

GPS 导航电文如图 5-10 所示。25 个主帧中的第 1,2,3 子帧是重复的,实现了每 30s 重复一次。其中,第 1 子帧的第 3~10 字为第一数据块,它包括本星的相关信息:载波的调制波类型、星期序号、卫星的健康状况、卫星时钟改正参数等。第 2、3 子帧是第二数据块,它载有本星的星历、修正的开普勒模型信息等,采用这些数据能够估计出卫星的位置。

每 30s 重复一次意味着 GPS 接收机每 30s 就可以接收到发射信息的卫星的完整星历数据和时钟。

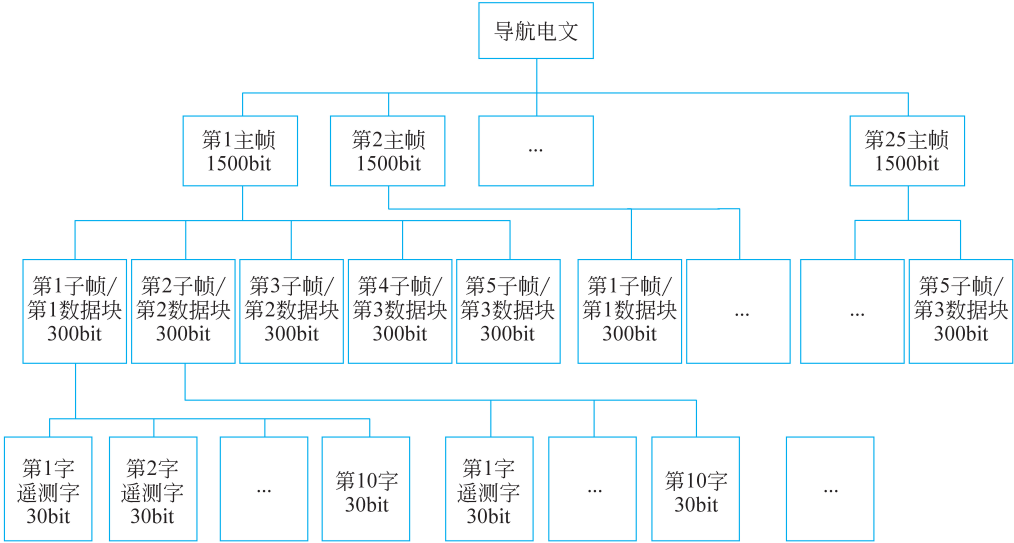


图 5-10 GPS 导航电文

25 个主帧中的所有的 4、5 子帧共同构成了第三数据块，提供其他卫星的概略星历、时钟改正和卫星工作状态等信息。该数据块每 12.5min 为一周期发送给用户接收机。

4. GPS 相关协议

和 GPS 定位技术紧密相关的还有 NMEA0183、NTRIP 等协议，这些协议主要负责将 GPS 的定位信息从 GPS 接收机读出。本书将 NMEA0183 归纳为末端网传输技术在后续章节进行介绍。

5.3 北斗卫星导航系统

5.3.1 概述

1. 背景

出于国家安全战略的考虑，中国曾要求加入欧洲伽利略导航系统的研发，未果。中国自行研制出的北斗卫星导航系统（Beidou/COMPASS Navigation Satellite System, BDS），是继 GPS 和 GLONASS 后第三个实用的卫星导航系统，是国家级战略性发展项目，突破了很多国外的技术封锁。案例 4-1 中就是采用北斗卫星导航系统进行渔船的管理。

北斗系统经历了三代（北斗一号、北斗二号和北斗三号）。系统采用了中国 2000 大地坐标系统（CGCS2000），时间叫作北斗时，属于原子时，起算时间是 2006 年 1 月 1 日协调世界时 0 时 0 分 0 秒，最新的卫星系统全部使用国产铷/氢原子钟，突破了国外的封锁，性能优于进口。

北斗也分为军用和民用两种，民用方面制定了神州天鸿终端通信协议。

北斗一号将在后面介绍，并且为方便起见，下面将后两者统称为“北斗 X”。

2. 北斗二、三号

北斗二号属于区域性卫星导航系统,北斗三号属于全球性卫星导航系统。图 5-11 展示了北斗三号的导航定位芯片。北斗 X 除了可以进行无源导航,还继承了北斗一号的短信服务,实现了短报文通信功能,一次可传送 120 个汉字的信息(军用 120,民用版 49)。

北斗 X 卫星导航系统同样包括两类服务:

- 开放服务向全球免费提供定位、测速、授时和短报文信息服务。平面位置精度为 10m;测速精度为 0.2m/s;授时精度为 50ns。
- 授权服务是为那些具有高精度、高可靠导航需求的用户(如军队)提供更安全和更高精度的服务。

北斗 X 还能兼容 GPS 信号,用户可以使用北斗 X 和 GPS 进行双模导航。北斗 X 具有一些其他导航系统所不具备的性能和特点,例如空间段采用三种轨道卫星组成的混合星座,抗遮挡能力强;可提供多个频点的导航信号,能够通过多频信号组合使用等方式提高服务精度;创新融合了导航与短报文通信的能力。

北斗三号关键器件均为中国造,单星设计寿命提高到 10~12 年。另外,北斗还进行了高强度加密等安全设计,传输的信息先经过粉碎化处理,还通过多条信道传输,破解一个信道只能获得一堆无用的碎片,有利于隐私保护。

3. 北斗二、三号系统的组成和工作机制

北斗 X 与 GPS 的组成非常类似,由空间卫星、地面站和用户端三部分组成。地面站相关功能与 GPS 相似。但由于中国缺乏海外基地,所以这些站只能建在国内。

用户接收机端方面,由于建立了完整的产业链和技术,加上工艺、产能的提升,国产北斗芯片单价已降至 6 元。目前,中国所有公务船、危险品车、大客车、班线客车和渔船都安装了北斗终端。百度地图已经优先采用北斗导航信息。

北斗采用无源和有源相结合的方式,针对无源方式,北斗的定位原理和 GPS 完全一样,采用无线电伪距定位。这样的方式保证了系统的用户容量不再受限制,并可提高用户的位置隐蔽性。

【案例 5-1】 带有导航定位的共享单车

当下非常火爆的共享单车都内置了定位芯片,单车的位置信息可以通过芯片进行定位、发送和传输。其中,小蓝单车(见图 5-12)采用的 MT2503 是一枚体积小巧的物联网芯片,其最大特色在于具备秒速定位功能和极低功耗精准轨迹追踪功能,北斗、GPS、GLONASS 等多星系定位的支持让芯片的定位没有死角。※

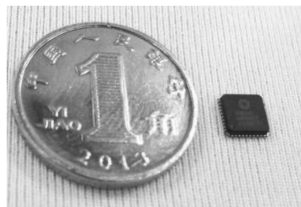


图 5-11 北斗三号的导航定位芯片



图 5-12 带定位技术的共享单车

5.3.2 北斗一号

1. 概述

北斗一号作为实验也称为双星定位导航系统。我国 2000 年开始先后发射了 4 颗导航卫星(地球同步卫星,两颗备份),为用户提供有源区域(主要覆盖中国地区)导航定位、