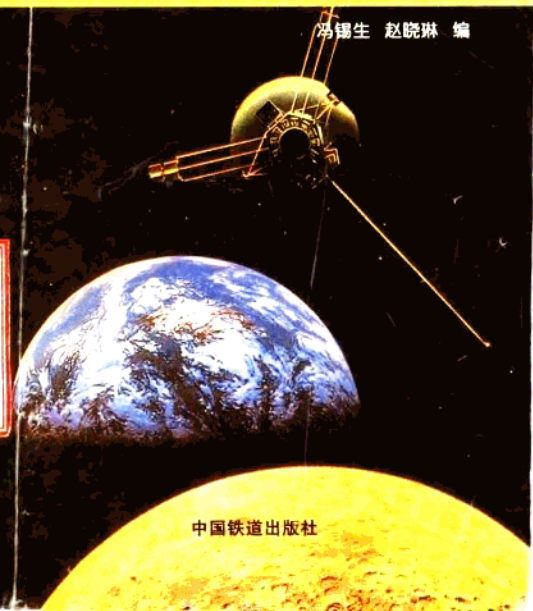


通信新技术丛书

GPS 及其通信组网

冯锡生 赵晓琳 编

中国铁道出版社

The book cover features a space-themed illustration. At the top, a GPS satellite is shown in orbit, with its solar panels and antennas extended. Below the satellite, a large, curved horizon of the Earth is visible, showing blue oceans and white clouds. At the bottom of the image, a portion of the yellow, cratered surface of the Moon is visible. The background is a deep black space with some faint stars.

前 言

全球定位系统(Global Positioning System—GPS)是美国70年代发展起来的卫星定位系统,现在已全部实施完毕,正式投入使用。

GPS系统是目前技术上最成熟且已实用的一种卫星导航和定位系统,能向全世界的用户提供高精度的、可连续的、实时的导航定位。GPS在海湾战争中充分展示了其作用和所具有的潜力,GPS定位技术已引起了世界各国的重视,各大公司纷纷开展对GPS的研究开发工作。

目前,在经济建设和科学技术的广泛领域,都采用了GPS的精密定位技术,充分显示了其高精度和高效益。我国的GPS定位技术也有了迅速的发展,在导航、勘测、工程应用等方面进一步展示了它所具有的优越性。GPS技术还将进一步发展,它的应用将扩展到人们生活中的各个领域,为国民经济的发展作出更大的贡献。

作者编写本书的目的,在于向广大读者介绍GPS定位的原理及其通信组网的有关知识,以利于该技术的普及。全书共分九章,第一章为GPS系统的概述,简要介绍了导航与定位技术的发展及全球定位系统(GPS)的组成概况,使读者对GPS有一个初步的了解,并对GPS定位原理作了介绍。第二章介绍了有关GPS卫星信号的基本概念以及GPS接收机的基本概念和工作原理,并介绍了国外厂家生产的GPS接收机的主要技术指标,以供读者参考。第三章介绍了差分GPS的

原理,分析了定位误差的主要来源,并介绍了GPS和其他定位系统联合使用以减少定位误差的方法。第四章介绍了GPS系统的应用,以说明GPS的广阔应用前景。第五章到第七章介绍了数据传输的有关知识,为后面的GPS信息的数据传输打下基础。其中第五章介绍了数据通信的一些基础知识,如调制、差错控制、传输方式等。第六章介绍了数据通信的硬件与规程。由于一般都需要组网来传送GPS信号,因此在第七章介绍了数据通信网的有关知识。第八章具体介绍了GPS信号的数据传输,并简要介绍了一些国外的GPS数据传输网,对读者进行GPS数据传输、组网有一定的参考价值。最后在第九章简要地介绍了GPS系统的发展前景。

GPS集高科技的导航技术和通信技术为一体,是一门新兴的技术,其系统还在不断完善,应用领域也在不断扩展,发展非常迅速。由于作者水平有限,书中错误或不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1996.1

目 录

第一章 GPS 系统概述	(1)
1.1 GPS 系统的发展	(1)
1.2 GPS 系统的特点	(2)
1.3 GPS 定位原理	(4)
1.3.1 定位方法的分类	(4)
1.3.2 定位原理	(6)
1.4 GPS 系统的组成	(9)
1.4.1 空间部分	(9)
1.4.2 控制部分	(11)
1.4.3 用户设备部分	(12)
第二章 GPS 信号及其接收机	(13)
2.1 GPS 卫星的导航电文	(14)
2.2 GPS 的测距码	(16)
2.3 GPS 接收机概述	(19)
2.4 GPS 接收机工作原理	(22)
2.5 GPS 接收机的天线	(26)
2.6 GPS 接收机举例	(27)
第三章 差分定位原理与定位误差的消除	(38)
3.1 差分 GPS	(38)
3.1.1 差分 GPS 原理	(38)
3.1.2 多次差分技术和多个参考站的 DGPS 技术	(41)

3.1.3 扩展的差分 GPS 技术	(43)
3.2 定位误差	(44)
3.2.1 与卫星有关的误差	(45)
3.2.2 卫星信号的传播误差	(47)
3.2.3 与接收设备有关的误差	(48)
3.3 与其它定位系统的联合使用	(49)
3.3.1 GPS/GLONASS 组合系统	(49)
3.3.2 其它 GPS 组合系统	(54)
第四章 GPS 系统的应用	(57)
4.1 GPS 在海洋方面的应用	(57)
4.2 利用 GPS 进行精确授时	(59)
4.3 GPS 在地球动力学研究方面的应用	(59)
4.4 GPS 在航空方面的应用	(60)
4.5 GPS 在水利和工程方面的应用	(61)
4.6 GPS 在测速方面的应用	(64)
4.7 GPS 在电子战中的应用	(65)
4.8 GPS 在铁路上的应用	(68)
第五章 数据传输	(71)
5.1 数字通信系统简介	(71)
5.1.1 数据通信的基本工作方式	(73)
5.1.2 数据通信中的符号速率和信息 速率	(74)
5.1.3 数据通信系统的质量要求	(74)
5.1.4 信道	(76)
5.2 数据通信系统	(82)
5.2.1 并行传输和串行传输	(83)
5.2.2 同步传输和异步传输	(84)

5.2.3	数据传输方式	(85)
5.3	数字调制	(86)
5.3.1	数字调幅	(86)
5.3.2	数字调频	(88)
5.3.3	数字调相	(89)
5.3.4	MSK 调制和 GMSK 调制	(94)
5.3.5	正交幅度调制(QAM)	(95)
5.4	差错控制	(95)
5.4.1	基本概念	(95)
5.4.2	分组码	(99)
5.4.3	卷积码	(102)
5.5	多路复用与多址技术	(103)
5.5.1	多路复用	(104)
5.5.1.1	频分多路(FDM)	(104)
5.5.1.2	时分多路(TDM)	(106)
5.5.2	多址方式	(107)
第六章	数据通信网硬件与规程	(111)
6.1	通信控制器	(111)
6.2	RS-232-C 标准	(114)
6.3	调制解调器	(120)
6.4	开放系统互连(OSI 七层结构)	(127)
6.5	传输控制规程	(130)
6.5.1	面向字符数据传输控制规程	(131)
6.5.2	高级数据链路控制规程(HDLC)	(137)
第七章	数 据 网	(146)
7.1	普通电话交换网的数据通信	(146)
7.2	数据通信网	(150)

7.3 无线信道的访问方式	(154)
7.3.1 ALOHA 方式	(154)
7.3.2 SRMA(信道分割预约)访问方式	(157)
7.3.3 CSMA(载波侦听)访问方式	(157)
7.3.4 MSAP(小时隙优先权交替)访问 方式	(157)
7.4 CCITT X.25 建议	(158)
7.5 计算机局域网(LAN)	(163)
7.6 综合业务数字网(ISDN)中的数据通信	(171)
7.7 无线数据网络	(173)
7.7.1 无线数据通信网的主要技术	(176)
7.7.2 无线分组交换数据网 ——Data TAC	(179)
7.7.3 分组无线数据网——PAKNET	(183)
7.7.4 无线分组交换数据网——CDPD	(186)
7.7.5 蜂窝移动数据通信网 ——Mobitex	(190)
第八章 GPS 信号的数据传输	(194)
8.1 超短波 GPS 数据传输系统	(194)
8.1.1 系统框图、组成和容量设计	(195)
8.1.2 通信控制器的设计	(197)
8.1.3 底层软件设计	(200)
8.1.4 中央管理系统与数字地图	(203)
8.2 利用卫星通信进行 GPS 信号的传送	(209)
8.3 GPS 信号在短波信道中的传输	(211)
8.4 利用集群系统进行 GPS 数据传输	(215)
8.5 几种国外 GPS 系统应用的介绍	(219)

8.5.1 陆地应用	(219)
8.5.1.1 利用 Mobitex 无线广域网的 陆地定位和导航系统	(223)
8.5.1.2 GPS 车辆定位和跟踪系统	(229)
8.5.2 船用 GPS 系统	(237)
8.5.3 军用 GPS 系统	(243)
第九章 GPS 定位系统的发展前景	(250)
9.1 GPS 的应用前景	(250)
9.2 2000 年以后的 GPS	(254)
9.3 GPS 和 PLRS 系统的比较	(256)
9.4 提高 GPS 的竞争力	(260)
附录 GPS 术语	(265)
参考资料	(272)

第一章 GPS 系统概述

1.1 GPS 系统的发展

在卫星定位系统出现之前,远程的导航与定位系统可采用三种方法:(1)无线电导航系统;(2)天文导航系统;(3)惯性导航系统。在实际应用中,可以是这三种方法中的两种或多种组合。

无线电导航定位系统根据使用的工作频率、定位方式可建立不同的实际系统。罗兰—C 导航系统工作在 100kHz,采用脉冲相位双曲线定位。该系统一般由三个地面导航台组成,导航工作区域约为 2000km。其定位精度一般约为 200~300m,且与航行器相对于导航台的距离有关,距离越远,其定位误差越大。它不适合高动态飞行器(如战斗机),也不适合在城市使用,因为来自交流电源设备的过量干扰会产生低频干扰。

Omega(奥米加)导航系统工作在十几千赫,采用相位双曲线定位。因其工作的波长较长,电磁波通过大气波导传播,所以它的导航工作区域比罗兰—C 的要大得多,建 8 个地面导航台就可以提供全球覆盖。但是由于工作频率低,电波传播带来的定位误差较大,精度为几英里。另外,工作频率低,需要庞大的发射天线和地网。

多卜勒导航系统是利用多卜勒频移的原理,通过测量其频移得到飞行器的参数(地速和偏流角),推算出飞行器的位置。它属于自备式航位推算系统,其累积误差随航行距离而累加,即定位误差随距离增加而增大,一般约为航行距离的 1%~0.5%。

天文导航系统是以天空中的星体作为导航台,星光作为导航信号的测角定位系统。由于星体距离飞行器非常遥远,使得该系统很小的测角误差就会带来非常大的定位误差。为保证一定的定位精度,对设备的要求非常苛刻。但是,天文导航给宇宙飞行器的定位带来方便,因为它覆盖的工作区域非常广阔。

惯性导航系统是通过测量飞行器的加速度,进行二次积分来推算出飞行器的位置,它也属于自备式航位推算系统。由于存在累积误差,随着航行时间的延长其定位精度变差。

无线电导航定位系统的主要缺点在于:覆盖的工作区域小;电波传播受大气影响;定位精度不高。天文导航系统虽然覆盖的工作区域很大,但定位精度不高,且可见光的传播受气象影响。总之,都不太理想。

最早的卫星定位系统是美国的子午仪系统(Transit),1958年开始研制,1964年正式投入使用。它不采用测距方法,而是利用卫星运行引起的多卜勒频移的方法。它为美国海军北极星核潜艇提供全球导航定位之用。由于该系统卫星数目较少(5~6颗),运行高度较低(平均约1000km),从地面站观测到卫星的时间间隔较长(平均约1.5h),因而它无法提供连续的实时三维导航,而且精度也较低。

为了满足军事部门和民用部门对连续实时和三维导航的迫切要求,1973年制定了“授时与测距导航系统/全球定位系统”(Navigation System Timing and Ranging/Global Positioning System—NAVSTAR/GPS)计划,通常简称为“全球定位系统”(GPS),提供高精度的、可连续的、实时的导航定位。它能同时提供用户的三维坐标、三维速度分量和精确定时。它是目前技术上最成熟且已实用的一种卫星导航和定位系统。整个系统已经全部实施完毕,现已正式投入使用。

1.2 GPS 系统的特点

GPS 定位系统是利用卫星作为导航台的无线电定位系统。它由地球站、卫星及用户设备组成。地球站收集来自卫星及系统内有关的信息数据,经过加工处理后发出导航信号和控制指令,通过卫星转发给覆盖区域内的用户设备。装在飞行器上的用户设备接收并处理来自卫星的导航信号,进行定位计算,其结果可用来导航。卫星的作用有二:其一是转发地球站的导航信号;其二是接收来自地球站的控制指令,并向地球站发送卫星的遥测数据。因此,它具有如下几个特点:

(1)全球及全天候导航定位

GPS 导航卫星距离地面高度约为 20200km,且处于近似圆轨道上,其覆盖区域之大是任何地面导航台所不可及的。GPS 的卫星数目较多且分布合理,所以地球上任何地点都可连续同步地观测到至少 4 颗卫星,从而构成全球定位系统。另外工作波段为 L 波段,电波传播受电离层、对流层的影响很少,气象因素及昼夜的影响也不大,因此保障了全天候连续的实时导航与定位。

(2)多功能

GPS 可为各类用户连续地提供动态目标的三维位置、三维速度和时间信息,可以利用卫星通信和卫星广播技术,构成一种具有通信、导航定位、识别及授时的多功能系统。除用于军事目的外,还可民用。例如可开发应用于铁路列车的运行、公路的汽车运输、内河及海洋船舶的航行以及地质勘探人员的流动作业等方面。

(3)定位精度高

一个导航定位系统的重要性能指标是定位精度。地面无

线电导航系统的定位精度受地波和天波相互干扰的影响,电波传播的环境复杂,尚未能建立精确的传播规律来修正误差。但是通过对电离层和对流层的研究,已找出电波在其中的传播规律并且建立了精确的模型。因此,采用卫星定位,可以有效地修正因传播带来的误差。另外,空间技术、信息处理、信号的最佳接收、精密时钟等各种先进技术都为卫星定位精度提供了保障条件。目前 GPS 系统单点实时定位精度可达 $5\sim 10\text{m}$,静态相对定位精度可达 $1\sim 0.1\text{ppm}$,测速精度为 0.1m/s ,而测时精度约为数十纳秒。随着 GPS 测量技术和数据处理技术的发展,其定位、测速和测时的精度将进一步提高。

(4) 实时定位速度快

利用全球定位系统,在一秒至数秒钟内便可完成一次定位和测速工作(Transit 约需 $8\sim 10\text{min}$),这对高动态用户来说非常重要。

(5) 抗干扰性能好,保密性强

由于 GPS 采用了数字通信特殊编码技术,即伪随机噪声码技术,因而 GPS 卫星所发送的信号,具有良好的抗干扰性和保密性。

(6) 高技术

GPS 系统建立在各种高技术的基础上,整个系统是庞大而复杂的。因此初始投资是昂贵的,系统的维护与管理费用很高,但是随着技术的进步,设备费用将不断下降,接收机的价格会越来越便宜,从而达到用户可以负担的程度。

1.3 GPS 定位原理

1.3.1 定位方法的分类

利用 GPS 进行定位的方法有许多种,按照参考点的不同

位置可以分为：

——绝对定位(单点定位)。即在地球协议坐标系统中,确定观测站相对地球质心的位置,这时,可认为参考点和地球质心相重合。

——相对定位。即在地球协议坐标系统中,确定观测站与某一地面参考点之间的相对位置。

按照用户接收机天线在测量中所处的状态,定位方法可以分为：

——静态定位。即在定位过程中,接收机天线的位置是固定的,处于静止状态。所谓静止状态,通常是指特定点的位置相对其周围的点位置没有发生变化,或变化极其缓慢,以致在观测期内(例如数天或数星期)可以忽略。

——动态定位。即在定位过程中,接收机天线处于运动状态。

在绝对定位和相对定位中,都可以包括静态与动态两种方式。

为了缩短观测时间,提高作业效率,在以上基本定位方式的基础上,近年来又发展了一些快速定位的方法,如准动态相对定位法和快速静态相对定位法等。

GPS 卫星信号中包含有多种定位信息,根据不同的要求可以获得不同的观测参数,其中主要包括：

- 根据载波相位观测得出的伪距；
- 根据码相位观测得出的伪距；
- 由积分多卜勒计数得出的伪距差；
- 由干涉法测量得出的时间延迟。

目前广泛采用的观测参数主要有两种：码相位观测量和载波相位观测量。码相位观测,即测量 GPS 卫星发射的测距

码信号(C/A 码或 P 码)到达用户接收机天线的传播时间,也称为时间延迟测量。载波相位观测,即测量接收机收到的具有多卜勒频移的载波信号与接收机产生的参考载波信号之间的相位差,它是目前最精确的观测方法。

1.3.2 定位原理

GPS 的基本定位原理是:卫星不间断地发送自身的星历参数和时间信息,用户接收到这些信息后,经过计算求出接收机的三维位置、三维方向以及运动速度和时间信息。下面作具体说明:

如图 1.1 所示,每一颗卫星连续不断地向 GPS 接收机发送可跟踪的唯一编码序列,GPS 接收机可根据编码辨认相关的卫星,进而计算出接收机的确切位置和准确时间。其中伪距法是 GPS 系统实时导航定位的基本方法,应用数学公式表示为:

$$P = p + c(dt - dT) + d_{ion} + d_{trop}$$

式中 P ——接收机到卫星间的测量距离;

p ——接收机到卫星间的几何距离;

c ——光速;

dt ——卫星时钟与 GPS 标准时间偏差;

dT ——接收机时钟与 GPS 标准时间偏差;

d_{ion} ——电离层时延而产生的距离偏差;

d_{trop} ——对流层时延而产生的距离偏差。

因此,测出每颗可视 GPS 卫星的导航信号从卫星到用户接收设备天线的传播时间,乘上电波传播速度,即可计算出卫星到用户天线之间的距离。测量传播时间要用到两个不同时钟。第一个时钟在卫星上,记录信号接收时间;第二个时钟在接收机上,记录信号接收时间。这两个时钟彼此不同步,因而

在时间的测量上存在着偏差,假定卫星都与 GPS 标准时间同步,则时间偏差只决定于接收时钟。GPS 接收机就是根据这些信息去计算它与上空卫星的距离。

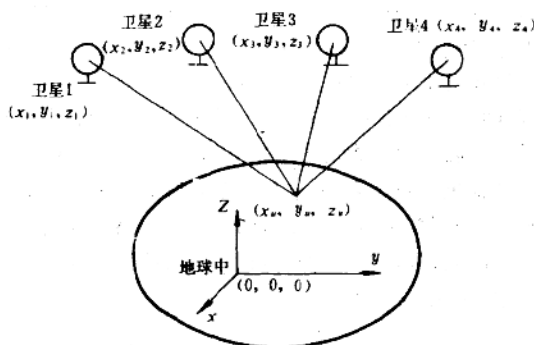


图 1.1 GPS 定位原理

一般情况下, GPS 接收机接收到一颗卫星的信号,便能确定出时间;若接收到了三颗卫星的信号,便能确定出准确的二维信息(经度和纬度);而接收到四颗 GPS 卫星的信号,便可实现三维定位(经度、纬度和高度)。因此,联立四个方程即可求出结果,每个方程都可在三维空间内确定某颗卫星到用户的距离。

这四个方程为:

$$\begin{cases} (x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2 = (R_1 - C_B)^2 \\ (x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2 = (R_2 - C_B)^2 \\ (x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2 = (R_3 - C_B)^2 \\ (x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2 = (R_4 - C_B)^2 \end{cases}$$

式中 R_i ——伪距离($i=1,2,3,4$);
 x_i, y_i, z_i ——卫星位置($i=1,2,3,4$);
 x_u, y_u, z_u ——用户位置;
 C_B ——用户时钟偏差

由方程可知,要求输入的参量是:伪距离,伪时间和卫星位置坐标。伪距离是接收机测得的到卫星的距离,伪时间是接收机时钟相对于卫星时钟的偏差量,卫星位置坐标则是根据控制部分测出并加在信号中的卫星天文历数据推算出来的。

接收机确定卫星到用户的距离的方法是:调整机内产生的一个伪随机编码序列,使之与卫星发射的一个同样的序列相匹配;根据调整量的大小即可确定卫星的码序列到达接收机所需的时间;再根据此时间量和已知的信号速度即可求出卫星到用户的距离。伪距离计算公式如下:

$$R_i = C \times t_i$$

式中 R_i ——伪距离($i=1,2,3,4$);
 C ——光速;
 t_i ——信号从一个卫星到达接收机所需的时间
($i=1,2,3,4$)。

利用这种方法可消除接收机与卫星时钟不同步而产生的测量误差。公式中的 C_B 是距离校正量,根据用户移动时测得的卫星载波频率的多卜勒频移可以测出用户的移动速度。

根据用户接收机天线所处的状态,绝对定位可以分为动态绝对定位和静态绝对定位。当用户接收设备安在移动体上而处于动态的情况下,确定移动体瞬时绝对位置的定位方法,称为动态绝对定位,它广泛应用于飞机、船舶和陆地车辆等移动体的导航。当接收机天线处于静止状态,确定观测站绝对坐标的方法称为静态绝对定位,它主要用于大地测量。

相对定位的示意图如图 1.2 所示,两个或多个观测站同步观测相同卫星,利用这些观测量的不同组合进行相对定位,从而提高定位精度。它可分为动态相对定位和静态相对定位两种。静态相对定位中,接收机的位置是固定不动的,可以通过重复观测取得充分的多余观测数据,以改善定位精度。动态相对定位是用一台接收机安在参考点上固定不动,另一台接收机安在移动体上,两台接收机同步观测相同的卫星,以确定运动点相对参考点的位置。

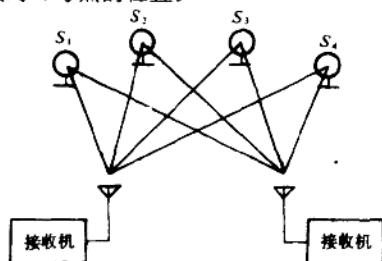


图 1.2 相对定位示意图

1.4 GPS 系统的组成

GPS 由三个独立的部分组成:空间部分、控制部分和用户设备部分,如图 1.3 所示。

1.4.1 空间部分

空间部分由 21 颗工作卫星和 3 颗在轨道上的备用卫星组成。工作卫星分布在六个轨道平面上,每个轨道面上有四颗卫星。卫星轨道面相对于地球赤道面的倾角为 55° ;各轨道平面升交点的赤经相差 60° ;在相邻轨道上,卫星的升交距角相差 30° 。轨道平均高度约为 20200km,卫星运行周期为 11h58min,因此,同一观测站上每天出现的卫星分布图形相