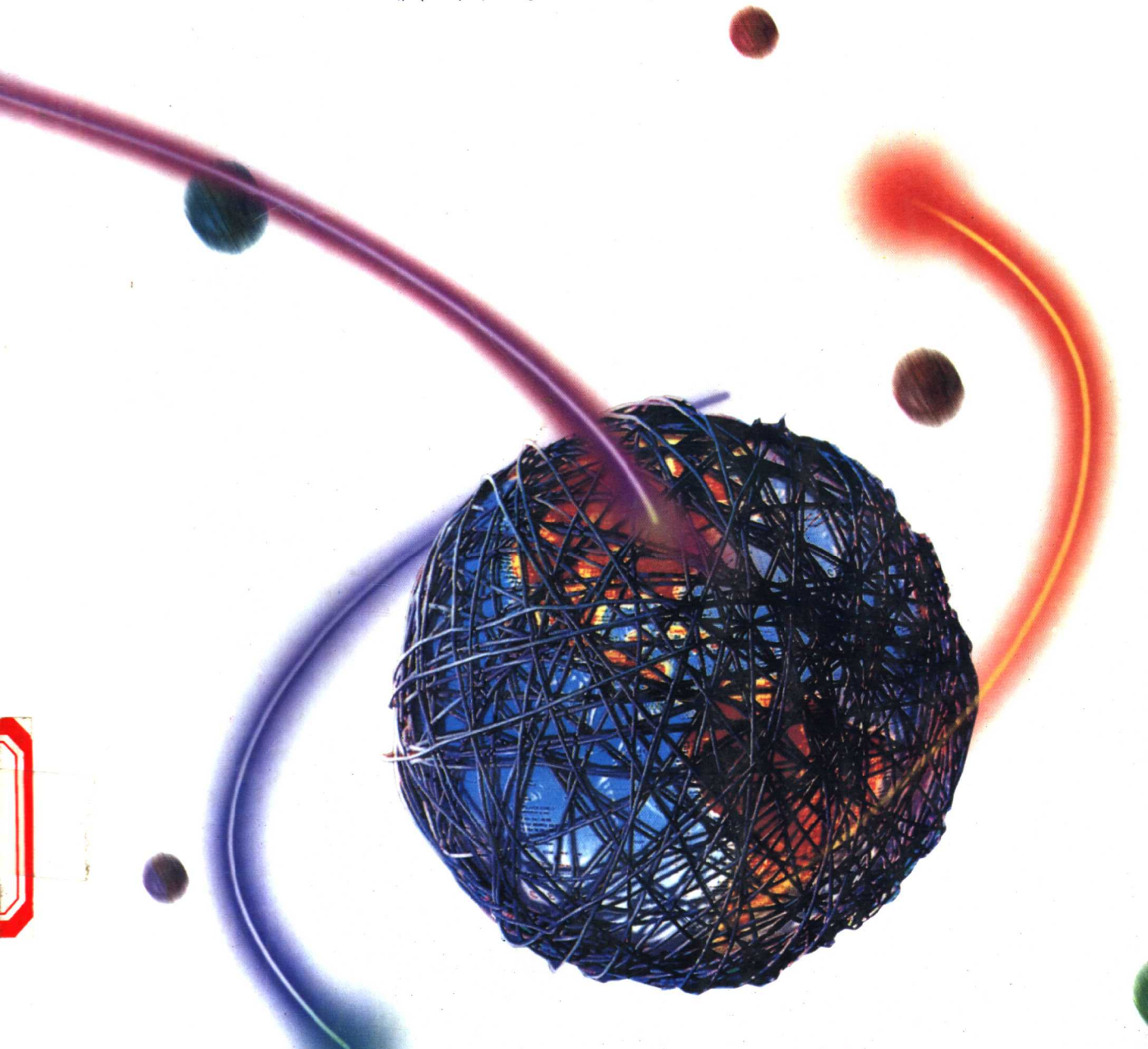


GPS

全球定位系统技术及其应用

QUANQIUDINGWEIXITONGJISHIJIQIYINGYONG

洪大永 / 编著



GPS

全球定位系统技术及其应用

洪大永 编著

厦门大学出版社

责任校对:刘焕堂

361005



GPS
全球定位系统技术及其应用
洪大永 编著

*

厦门大学出版社出版发行
(地址:厦门大学 邮编:361005)
三明地质印刷厂印刷
(地址:三明市富兴路15号 邮编:363001)

*

开本 787×1092 1/16 11印张 280千字
1998年9月第1版 1998年9月第1次印刷
印数:1—2000册

ISBN 7-5615-1393-3/T·40

定价:20.00元

本书如有印装质量问题请直接寄印刷厂调换

内 容 提 要

本书共分十三章,前八章叙述了 GPS 的发展情况,卫星导航的基本知识,GPS 系统的组成,GPS 信号,GPS 定位、测速、授时原理和系统误差,差分 GPS 的原理和各种工作方式,GPS 接收机组成、主要技术指标和使用要求。后五章详细分析和介绍了 GPS 在海、空、陆以及军用、民用各领域的应用。

本书吸收了国内外关于 GPS 研究的新成果和作者对于 GPS 研究的成果和应用的经验。本书力求深入浅出,避免冗长的数学推导,以满足多方面读者需求。

本书内容新颖、详实,具有先进性、实用性、系统性和通俗性等特点。本书适用于从事 GPS 设备生产、销售和开发研究的工程技术人员,大中专院校师生和 GPS 接收机使用人员阅读和参考,也可作为 GPS 爱好者学习。

洪大永
1998年4月

序 一

集美大学座落在风景秀丽的集美学村。80多年前,著名爱国华侨陈嘉庚先生在这里相继创办了师范、水产、航海、商业等一批专门学校,这些学校经过几十年的发展,如今已经具有了相当规模。1994年10月,集美学村原五所高等院校合并组建成集美大学。合并组建集美大学,是贯彻《中国教育改革和发展纲要》的重大举措,目的在于实现“资源共享,优势互补”,提高办学水平和办学效益。

建校以来,我们根据教育部的部署,积极开展本科教学工作合格评价,实施“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”。这些工作的开展,对提高集美大学的办学水平,推进学校的实质性合并,起到了一定的作用。令人欣慰的是,随着这项工作的深入开展,涌现出了一批有较高质量的教学科研成果,我们从中精选了12部教材予以资助出版。这些教材内容丰富,科学性强,涉及理、工、文、经贸、体育、艺术等诸多领域,凝聚了编写者的大量心血,是他们长期的教学实践经验和科研成果的结晶。这批教材的出版,经过严格的筛选和同行专家、学者的认真审定,并得到他们的充分肯定,既具有实用性,也有一定的理论深度,有的还填补了国内空白,堪称优秀之作。

伴随着知识经济的挑战,新世纪正向我们走来:知识经济的竞争,就是人才的竞争,就是人才素质的竞争。高等教育肩负着前所未有的责任,最根本的任务就是要培养高水平、高素质、具有创新精神的,能适应不断变化的新时代要求的人才。要完成这样的任务,高校教师首先要做到的,就是积极开展教学科研工作,创造出更多、更新的成果,把自己的创造奉献给这个世界,使之产生巨大的物质力量和精神力量。

凡从事教育工作的同志们都知道,要编一部好教材绝非易事,而要出版一部专著那就更难了。但不管怎么说,集美大学建校以来首批资助出版的教材终于和大家见面了,这是我们向大家汇报集美大学这几年教学科研成果的一次机会,是一件值得高兴的事情。我希望,这批教材的面世,能起到抛砖引玉的作用,带动我校更多的教师积极投身于“面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的工作之中,积极投身于教学和科研工作。同时,我也相信,随着我校教学和科研水平的不断提高,一定会有更多更高水平的教材、专著问世。

借此机会,我要向这次获得资助的集美大学的教师们表示祝贺,对他们多年来扎扎实实、勤勤恳恳的工作精神表达我的敬意。这批教材能得以顺利出版,有赖于厦门大学出版社有关人员的热情支持和大力协助,在此向他们表示衷心的感谢!

辜建德

1998年7月

序 二

GPS 是美国经历 20 多年研究开发的全球卫星定位系统,它为全球用户提供连续、实时、高精度的三维位置、三维速度和时间信息。1994 年美国 24 颗工作卫星已进入预定轨道,系统全面运行。

GPS 卫星广播 P 码和 C/A 码信号,1991 年美国政府宣布免费向全球提供 C/A 码服务,因此 GPS 是一种可供无限多用户共用的空间资源。GPS 已发展成为新兴的产业,世界上 GPS 产品日新月异、琳琅满目,功能越来越多,用途也越来越广。

随着 GPS 用户设备价格的降低,在我国 GPS 产品已广泛用于舰船和飞机导航、精密测绘、作战训练、海洋捕捞、资源开发。近几年来,车辆导航与跟踪、农业、公安和旅游等方面也纳入 GPS 的应用范畴。

GPS 还在继续开发研究,新型 GPS 卫星和用户设备的研制、提高 GPS 精度的差分 GPS 技术的研究、GPS 应用的研究正在各国深入进行。

本书作者长期从事导航技术的研究、导航工程建设和教学工作。早在 1979 年就参与我国借用国外同步卫星首次进行精密时间传递和导航的系统试验,近年来承担有关导航技术教学和 GPS 课题研究工作,比较全面地了解 GPS 的发展和现状。在书中,作者吸收了 GPS 发展中的新成果,特别是国内外应用 GPS 的新成果和作者本人近年来的研究成果。该书较全面地介绍了 GPS 定位、测速、授时的原理和各种工作方式、GPS 系统误差、差分 GPS 技术和 GPS 接收机,详细论述了 GPS 在海、陆、空领域和民用、军事方面的应用。

本书内容新颖、详实,具有先进性、实用性、系统性和通俗性等特点。本书可作为大专院校教学参考书和从事 GPS 开发研究、生产、使用、营销等方面的工程技术人员和使用人员阅读参考。

李连亭
1998 年 4 月

目 录

第一章 概述	(1)
§ 1.1 地面无线电导航定位系统的局限性	(1)
§ 1.2 卫星定位的由来和发展	(2)
§ 1.3 GPS 发展概况	(3)
第二章 坐标变换和卫星位置计算	(5)
§ 2.1 地心直角坐标系和大地坐标系	(5)
一、地心直角坐标系	(5)
二、大地坐标系	(5)
§ 2.2 坐标变换	(6)
一、地心直角坐标和大地坐标的变换	(6)
二、不同坐标系的相互转换	(7)
§ 2.3 卫星运行规律及轨道参数.....	(10)
一、卫星运行规律.....	(10)
二、卫星运行的轨道参数.....	(11)
三、卫星摄动轨道和摄动运行的轨道参数.....	(12)
四、GPS 卫星位置的计算	(13)
§ 2.4 导航卫星轨道参数的选择.....	(16)
一、卫星离地面的高度.....	(16)
二、卫星轨道形状.....	(18)
三、卫星轨道倾角.....	(18)
第三章 GPS 的组成	(19)
§ 3.1 GPS 卫星	(19)
一、GPS 卫星发射	(19)
二、GPS 卫星星座	(21)
三、卫星的组成部分及其功能.....	(22)
四、选择可用性反电子欺骗技术.....	(23)
§ 3.2 地面支助系统.....	(24)
一、主控站.....	(25)
二、监测站.....	(25)
三、地面控制站.....	(26)
§ 3.3 GPS 用户设备	(26)

第四章 GPS 信号	(27)
§ 4.1 信号结构与时间基准	(27)
一、信号结构	(27)
二、时间基准	(27)
§ 4.2 导航电文	(28)
一、导航电文格式	(28)
二、导航电文内容	(29)
§ 4.3 伪随机码的产生和它的特性	(33)
一、移位寄存器和模二相加器	(33)
二、m 序列的产生	(34)
三、反馈逻辑函数多项式	(34)
四、m 序列的一些特性	(35)
五、截短码与复合码	(36)
§ 4.4 C/A 码与 P 码	(38)
一、C/A 码	(38)
二、P 码	(39)
§ 4.5 伪码扩频和相关接收	(40)
一、伪码扩频	(40)
二、相关接收	(41)
§ 4.6 伪码和载波相位与跟踪	(42)
一、伪码的搜索和捕获	(42)
二、伪码的跟踪	(43)
三、载频相位跟踪	(43)
§ 4.7 GPS 导航仪的原理框图	(45)
一、天线部分	(45)
二、高频电路	(45)
三、码跟踪环和伪距测量电路	(46)
四、载波锁相和数据解调	(46)
五、微处理机	(47)
第五章 GPS 定位、测速和授时原理	(48)
§ 5.1 伪距测量定位	(48)
一、卫星无源测距定位	(48)
二、伪距测量定位	(49)
§ 5.2 多普勒测量定位	(49)
一、多普勒频移	(49)
二、多普勒积分求距差	(50)
三、多普勒定位原理	(50)

§ 5.3 载波相位测量定位	(51)
一、载波相位测量原理	(51)
二、载波相位测量方法	(52)
§ 5.4 干涉法定位	(53)
§ 5.5 测量型接收机的综合测量技术	(54)
§ 5.6 GPS 测速原理	(54)
§ 5.7 GPS 授时原理	(55)
一、单站法时间传递	(55)
二、共视法时间传递	(56)

第六章 GPS 精度 (57)

§ 6.1 GPS 伪距测量误差	(57)
一、卫星误差	(57)
二、电波传播误差	(58)
三、接收设备误差	(60)
四、SA 引入误差	(60)
五、用户等效测距误差	(61)
§ 6.2 定位误差	(61)
一、精度系数	(61)
二、GPS 位置和时间误差的计算	(63)
§ 6.3 GPS 速度测量误差	(64)
§ 6.4 GPS 时间传递误差	(65)
§ 6.5 GPS 设备使用引入误差	(66)
一、不同坐标系引入误差	(66)
二、天线高度设置引入误差	(66)

第七章 差分 GPS (67)

§ 7.1 差分 GPS 提高定位精度的依据	(68)
一、减小星历误差	(68)
二、卫星钟误差的消除	(69)
三、减小电离层和对流层引入误差	(69)
§ 7.2 差分 GPS 原理	(69)
一、位置差分 GPS 原理	(69)
二、伪距差分 GPS 原理	(70)
三、相位平滑伪距差分原理	(72)
四、载波相位差分原理	(73)
§ 7.3 差分 GPS 的数据链	(77)
一、电文格式和内容	(77)
二、电文发送速率	(83)

三、数据传输所用频段	(84)
四、调制方式	(85)
§ 7.4 差分 GPS 无线电信标网	(87)
一、海用差分 GPS 无线电信标的发展	(87)
二、差分 GPS 信标的覆盖区	(87)
三、差分 GPS 无线电信标网	(88)
§ 7.5 广域差分 GPS	(89)
一、工作原理	(89)
二、电离层修正模型	(89)
三、对流层修正模型	(90)
四、卫星星历计算	(90)
五、广域差分 GPS 的优缺点	(90)
§ 7.6 伪卫星技术及其应用	(91)

第八章 GPS 用户接收机 (92)

§ 8.1 GPS 用户接收机的分类	(92)
一、按用途分类	(92)
二、按载体分类	(92)
三、按性能分类	(92)
四、按编码信息分类	(92)
五、按接收机所处理信号分类	(93)
六、按接收机通道方式分类	(93)
七、按电子器件分类	(93)
八、按工作模式分类	(93)
§ 8.2 GPS 用户接收机的组成	(94)
一、天线单元	(94)
二、接收单元	(94)
三、计算和控制部分	(95)
四、电源	(95)
§ 8.3 GPS 接收机的主要技术指标	(95)
一、通道数与跟踪方式	(95)
二、信号的载频和伪随机码	(95)
三、接收机灵敏度	(96)
四、精度	(96)
五、首次定位时间	(96)
六、动态性能	(97)
七、工作高度	(97)
八、工作环境	(97)
九、电源	(97)
十、天线类型	(97)

十一、体积和重量	(97)
§ 8.4 GPS 接收机的接口	(99)
一、RS-232C 接口标准	(99)
二、标准输出格式	(99)
§ 8.5 GPS 接收机的安装	(100)
一、天线安装	(100)
二、接收机的安装	(102)
§ 8.6 GPS 接收机的操作使用	(102)
一、设置参数	(102)
二、接收机使用和维护应注意的问题	(104)

第九章 GPS 在航海中的应用 (105)

§ 9.1 海上导航与定位	(105)
一、现代航海对导航的要求	(105)
二、高精度定位	(106)
三、测定航速航向	(106)
四、测定流速流向	(106)
五、航路点的存储和到达航路点的导航	(107)
六、编制和存储计划航线	(107)
七、导航报警功能	(108)
§ 9.2 GPS 在航海中的综合利用	(108)
一、为电子海图提供信息	(108)
二、船位报告和船舶动态监视	(108)
三、船舶交通管理	(109)
四、与雷达配合使用	(109)
五、浮标和锚位移位监测	(110)
六、水下定位	(110)
七、GPS 与搜救信标组合	(110)
八、GPS 与航海黑匣子和自动驾驶仪连接	(111)
§ 9.3 GPS 测定其他船用导航设备的测量误差	(111)
一、测定船用雷达的测距测向误差	(111)
二、测定无线电测向仪的无线电自差	(112)
三、测定罗经差	(113)
四、测定罗兰 C 误差	(113)

第十章 GPS 在航空和航天中的应用 (115)

§ 10.1 飞机航路导航和进场着陆	(115)
一、飞机航路导航	(115)
二、飞机进场和着陆	(115)

三、直升飞机导航	(117)
§ 10.2 GPS 在空中交通管理中的应用	(118)
§ 10.3 GPS 测定地球卫星轨道	(119)
一、集中式地面测控体系存在的问题	(119)
二、基于 GPS 的分布式空间测控体系	(119)
§ 10.4 GPS 在航空摄影和航空物探中的应用	(121)
一、航空摄影	(121)
二、航空物探	(121)
§ 10.5 GPS 用于姿态测定	(122)
§ 10.6 GPS 与 INS 的组合应用	(123)
第十一章 GPS 在车辆跟踪与导航中的应用	(124)
§ 11.1 概述	(124)
一、GPS 车辆跟踪与导航的发展	(124)
二、关键的技术问题	(125)
§ 11.2 车辆跟踪与导航的通信问题	(126)
一、车辆跟踪与导航的通信方式	(126)
二、集群通信系统	(126)
§ 11.3 GPS 在车辆指挥监控和报警系统中的应用	(127)
一、监控中心	(128)
二、车载单元	(129)
§ 11.4 GPS 与其他系统兼容在车辆导航中的应用	(130)
一、GPS 与航位推算导航的组合	(130)
二、GPS 与 Glonass 的组合应用	(131)
三、GPS 与电子地图的组合应用	(132)
§ 11.5 GPS 在火车导航中的应用	(133)
第十二章 GPS 在军事上的应用	(135)
§ 12.1 GPS 在战场上的应用	(135)
一、空中轰炸	(135)
二、战场侦察	(135)
三、精密制导	(136)
四、搜索救援	(136)
五、地面作战	(136)
六、布雷扫雷和回避雷区的航行	(136)
§ 12.2 GPS 在电子战争中的应用	(137)
一、对威胁发射源的定位	(137)
二、诱惑导弹脱靶	(137)
§ 12.3 GPS 在武器试验中的应用	(137)

一、外弹道测量	(137)
二、靶场武器装备试验	(137)
§ 12.4 GPS 在雷达超视距定位中的应用	(139)
第十三章 GPS 在测地授时农业及其他领域中的应用	(140)
§ 13.1 GPS 在大地测量中的应用	(140)
一、测定大地测控网点	(140)
二、重大工程的测量	(140)
三、在建立地理信息系统中的应用	(141)
四、在水下地形测绘中的应用	(141)
五、在研究地球动力学和地震预报中的应用	(142)
§ 13.2 GPS 在授时中的应用	(143)
一、在科学研究方面的应用	(143)
二、系统之间的时间同步	(144)
三、系统内部的时间同步	(144)
四、典型的 GPS 时间传递系统	(145)
§ 13.3 GPS 在农业上的应用	(145)
一、减小飞机喷撒作业的重叠和遗漏	(146)
二、引导农机具夜间作业	(146)
三、根据土壤性质合理施肥	(146)
§ 13.4 GPS 在海洋石油资源开发中的应用	(146)
一、海洋石油勘探	(146)
二、钻探和平台定位	(147)
§ 13.5 GPS 在大气层研究中的应用	(148)
一、监视电离层的变化	(148)
二、GPS 用于探空	(148)
§ 13.6 GPS 在旅游自然保护和森林防火中的应用	(148)
一、在旅游方面的应用	(148)
二、在自然保护区中的应用	(149)
三、在森林防火中的应用	(149)
§ 13.7 GPS 在自然资源评估和地质勘探中的应用	(149)
附录 I 全球差分 GPS 无线电信标台分布情况	(150)
附录 II 部分提供 GPS 产品的公司和代理商	(155)
附录 III GPS/雷达超视距目标定位的计算模型	(158)
参考文献	(160)

第一章 概述

§ 1.1 地面无线电导航定位系统的局限性

1885年,英国著名物理学家麦克斯威发表了电磁波辐射理论,1887年德国物理学家赫兹通过实验验证了这个理论。在以后的一系列的实验中,发现无线电波传播具有三个特征:

- (1)在理想的均匀媒质中沿着直线传播;
- (2)在理想的均匀媒质中传播的速度为常数;
- (3)在不同媒质的边界面上产生反射。

根据无线电波的传播特性,利用接收机测定在地面上的方位、距离、距离差等参数,确定测点的位置,完成对船舶、车辆、飞机等运载体的导航和其他各种军事、民用目的。根据不同的要求,选用不同的工作频率和选择不同的工作方式,组成多种无线电导航定位系统。目前正在用的或过去曾用的主要的无线电导航定位系统有无线电测向(Radio Direction Finding)、雷达(Radar)、罗兰C(Loran-C)、奥米加(Omega)、台卡(Decca)等。这些无线电导航系统都由建立在地面的或地面载体上的发射台和用户接收机组成,称为地面无线电导航系统,或称为陆基无线电导航系统。

无线电测向系统是最早的无线电导航系统,早在20世纪初期,采用具有环天线的接收机测定信标电台的方位,得到一条通过电台和测点的方位位置线,测量两个以上电台的方位确定测点的位置。无线电信标电台工作于中频或低频频段,在海上白天作用距离可达200 n mile,夜间因天波干扰作用距离仅有50 n mile,定位误差达到几海里。

雷达作为一种武器系统在第二次世界大战期间诞生与发展,以后在民用部门得到广泛应用。船载或机载雷达用于导航定位,陆上警戒雷达用来探测物标的所在位置。雷达工作在微波波段,由于该波段电波传播受视距所限,通常作用距离仅有几十公里,定位精度为几十至几百米。

台卡、罗兰C、奥米加测向仪和雷达以后出现,它们的位置线都是双曲线,是双曲线导航系统。它们必须接收三个或三个以上的地面发射台信号来定位。台卡和罗兰C都在低频上工作,前者发射连续波,由于受天波干扰,有效作用距离仅为100~200 km,定位误差为几百米;后者发射脉冲调制信号,可区分天波与地波,白天有效作用距离达到1200 n mile,定位精度为300~1 000 m。奥米加8个发射台分布于全球,发射10~14 kHz甚低频无线电波,该频段的无线电波传播损耗小,系统覆盖区接近全球。但是,由于甚低频电波传播受到电离层变化的影响,信号从发射台传播到接收点的延迟时间不稳定,定位误差通常在1 n mile以上。

从以上几种常用导航系统可知,地面无线电导航定位系统由于受电波传播和地面发射台只能建立在陆上等条件所限制,通常只能作为区域性或近程导航系统,定位精度难以进一步提高。奥米加系统虽然能实现近乎全球的定位导航,但因定位精度太低,只能满足小部分用户的

要求。

§ 1.2 卫星定位的由来和发展

1957年10月4日,这是一个不平常的日子,原苏联发射了世界上第一颗人造地球卫星,它标志着人类已进入空间时代。人造卫星上天以后,美国霍普金斯大学应用物理研究室的 W. H. 高尹尔等人收听人造卫星发来的无线电信号时,发现无线电波的频率随着空间卫星的移动产生变化,出现多普勒频移现象。他们进一步试验,得出一条多普勒频移与运动的卫星在空间位置的关系曲线,从而导致由多普勒频移求解卫星的轨道参数。另外,他们还利用美国的人造卫星“探险者一号”的 108 MHz 的无线电信号进行了同样的试验,得到同样的结果。于是,该实验室的麦克卢尔 1958 年提出:已知卫星轨道参数,根据多普勒频移的大小,可求得地面上接收点的位置。这样,就把人造卫星和定位联系起来。1958 年 12 月,美国海军武器实验室委托霍普金斯大学应用物理研究室研制美国海军导弹潜艇用的卫星导航系统,即海军导航卫星系统(Navy Navigation Satellite System),简称 NNSS。该系统 1964 年 1 月研制成功并交付使用。卫星导航具有无线电波传播不受地面影响,可进行全球定位,定位精度高等优点。当时美国的一支环球航行舰队立即用它来进行远洋导航。

NNSS 系统由 6 颗低轨道卫星组成,二个发射频率接近 400 MHz 和 150 MHz,卫星离地面的平均高度约 1 100 km,绕地球运行一周需 107 分钟。用户航行时的定位精度为 0.2~0.5 n mile,定点多次测量求均值精度达到几十米。NNSS 卫星运行的轨道都通过地球南北极上空与地球子午线相一致,因此又称子午仪(Transit)系统。

原苏联 70 年代建成类似于子午仪的奇卡达(Tsikada)卫星导航系统,该系统也是测定卫星信号的多普勒频移进行定位。它由 6 颗高约 1000 km 的卫星组成,卫星绕地球运动的周期为 105 分钟,发射频率也是接近 400 MHz 和 150 MHz。但它的轨道倾角为 83°,而不是 90°,信号调制方式与子午仪系统不甚相同。

子午仪系统与地面无线电导航系统比较,尽管具有全球全天候、较高定位精度等优越性,但是由于卫星高度低,系统仅由 6 颗卫星所组成,在实际应用中还存在一些不能解决的严重问题:

(1)定位不连续、不实时。卫星不能连续在测者“视野”内出现,不能连续接收卫星信号进行定位。两次定位的间隔时间不均匀,与测者所在位置的纬度有关,在接近两极的高纬地区间隔时间短,而在接近赤道的低纬地区,有时达到 2 小时以上。一次定位需取得多个多普勒频移数据进行运算,一次成功的定位需要 10~20 分钟。

(2)它提供的位置信息是二维的经纬度坐标,不能给出高度,这对航空、航天、测绘等一些用户的应用受到影响。

(3)卫星运行高度低,受到大地表面大气的严重影响,不仅缩短了卫星的寿命,更主要的是使卫星轨道产生摄动,难以准确修正轨道参数,限制定位精度的进一步提高。

鉴于子午仪系统存在的缺点和军用与民用许多用户对卫星定位要求的进一步提高,美国海军提出了“Timation”计划,该计划采用 10 000 km 高的 12~18 颗中高度卫星,组成全球定位系统,卫星运行周期为 8 小时,并于 1967 年和 1969 年先后发射了“Timation- I”和“Timation- II”两颗试验卫星。与此同时,美国空军提出了“621-B”的全球定位系统计划,它采用了 3~4 个星群,每个星群由 4~5 颗卫星组成,其中一颗采用同步轨道,其余几颗采用 24 小时周

期的倾斜轨道。美国海军和空军的两个全球定位计划目标是一致的,但实施方案不同。为了集两方案的优点,减轻庞大的研制费用,1973年美国国防部批准成立一个联合计划局,由美国海军、空军、陆军、国防制图局、交通部、北大西洋公约等代表组成的办事机构,开始GPS全球定位系统的研究和论证工作。GPS系统经过漫长的研究、试验、研制和组网阶段,经受来自经费和技术方面的挫折,于1994年3月10日24颗工作卫星进入预定轨道,系统投入全面运行。GPS卫星运行高度为20 183 km,轨道倾角 55° ,运行周期接近12小时。它不仅能在世界上任何一个地方任何时候同时接收4颗卫星信号进行高精度的三维位置(经度、纬度和高度)测定,还能实时地对运载体三维速度的测定和高精度的授时。

原苏联1978年开始研制全球导航卫星系统Glonass。该系统与GPS相似,也由24颗卫星组成空间星座,也可为海洋、陆地和空间用户提供位置、速度和精密时间,但卫星运行轨道、发射频率和所采用的坐标系统等方面与GPS不相同。1996年1月18日Glonass的24颗卫星的完满星座已经建成,系统投入正常运行。目前已推出可接收GPS信号与Glonass信号的接收机,这种接收机可用于接收两种系统48颗卫星中任意组合的4颗卫星的信号来定位。由于可用卫星数增加了一倍,用户的定位精度明显提高。

§ 1.3 GPS 发展概况

GPS是英文Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System的字头缩写词ANVSTAR/GPS的简称。它的含义是利用导航卫星进行定时和测距的全球定位系统。

GPS是美国空军系统司令部空间分部在国防部直接领导之下负责研制的。虽然研制GPS的目的主要是为了军用,但美国国会按总统的指示向民用开放,目前民用用户约占90%。

GPS是一种全天候的空基导航系统,用于精密定位、测速和提供精密时间,它可以看作一种卫星从空间已知位置发射信号,用户接收信号测定到达卫星距离的测距系统。测定距离必须知道卫星信号的传播时间,而要测定这个时间要求用户接收机和卫星都装有时间精密同步的钟——原子钟。对于一般用户来说配备这种昂贵的原子钟是不现实的。事实上,普通用户接收机不需原子钟,但这样测定用户至卫星的距离不是真实的距离,而是伪距。通过测量到四颗卫星的伪距,解定位方程,可求得用户在空间的三维位置坐标和钟差四个未知数。

GPS由空间卫星部分、地面控制部分和用户设备组成:

(1) 空间卫星部分

空间卫星早期的方案是由分布在3个轨道面上的24颗卫星组成。后来,因美国国防预算缩减,改为分布在6个轨道面上的18颗卫星组成,但这个方案不能提供满意的全球覆盖而被否决了。大约在1986年计划卫星数增加到21颗,即在18颗卫星星座的基础上增加了3颗有源在轨备用卫星。最后,实际星座是由24颗卫星组成,均匀分布在6个倾角为 55° 轨道面上,其中三颗为有源在轨备用卫星。GPS卫星由收发设备、操作系统和各种辅助设备、太阳能电池等组成。

GPS卫星有五种类型,它们是Block I、Block II、Block II A、Block II R和Block II F。其中Block I为试验卫星,Block II、Block II A为工作卫星,Block II R为Block II和Block II A的替补卫星,Block II F为下世纪初发射的下一代GPS卫星。

为了测量卫星至接收机的伪距,卫星发射三种伪随机码(简称伪码)信号,即C/A码、P码与Y码,它们分别调制在二个载频上发射。C/A码——粗测/捕获码,为民间用户提供标准定

位服务(SPS);P 码——精密码,为美国军方用户和特许的用户提供精密定位服务(PPS)。最初预计 C/A 码的定位精度约为 400 m,但由外场试验结果表明,定位精度可达到 15~40 m,而测速精度达到每秒零点几米。为了美国自身军事目的,美国国防部把精度降低到 100 m(水平位置)和 156 m(高度),测速精度为 0.3 m/s,定时精度 340 ns。以上精度均指 95% 概率。选择可用性 SA(Selective Availability)就是为了达到这一目的而在卫星上采取的技术措施。

P 码是保密码,但 P 码的编码方式已公开。为了严格限制非特许的用户使用 P 码,美国在 1994 年 1 月 31 日在卫星上实施了反电子欺骗 A-S(Anti-Spoofing)的技术措施,将 P 码进一步加密编译成 Y 码。Y 码是 P 码与一个被称为 W 码的密码模二相加而成的。这样,倘若敌方发射虚假的 P 码信号进行电子欺骗,使对方产生错误定位,对方只要采用装有选择 Y 码附加芯片的 P 码接收机,不接收这种假信号,就可达到防止电子欺骗的目的。

(2) 控制部分

控制部分由一个主控站,5 个全球监测站和 3 个地面控制站组成,它的任务是跟踪所有的卫星,进行卫星轨道参数和卫星钟钟差测定,并将预测轨道修正参数和各个卫星的钟差数据编排成电文注入卫星,它还有控制卫星飞行姿态、控制 SA 的大小和接通与不接通 A-S 等功能。

(3) 用户设备

GPS 用户设备包括 GPS 接收机和传感器(GPS—OME 板)。它的种类繁多,例如按工作原理可分为伪距法、载波相位法、多普勒法和干涉法接收机,按用途可分为导航、测量、跟踪、授时等接收机。随着大规模集成电路的发展和信号处理技术的提高,GPS 用户设备的技术性能指标不断提高,电路结构逐步集成化,体积重量减小,价格逐年下降。

为了提高 GPS C/A 码的定位精度,消除 SA 的影响,出现了多种类型的差分 GPS(DGPS)技术。所谓差分 GPS 就是在位置确定的地点,建立差分 GPS 基准站,基准站的 GPS 接收机接收卫星信号,将实测的数据与计算的数据比较,得到基准站位置或基准站至卫星的伪距测量误差。将这些误差数据通过无线电波传递给用户,用户接收机以此来修正自身测定的数据,消除或减小各种因素引起的定位误差。DGPS 的精度主要取决于大气电离层和对流层的空间相关性,在用户与基准站的距离小于 100 海里时,对大气电离层影响的修正有显著的作用,随着距离的增加此种修正作用减弱。但是,在不少高精度的应用中往往要求大于此距离,甚至要求构成高精度的大范围的导航网,于是产生了所谓广域差分 GPS(WADGPS)。为了满足某些要求更高的 GPS 用户需要,在 WADGPS 的基础上又出现广域增强型 GPS 系统(WAAS)。

GPS 从方案论证、研究、试验,到全面运行,经历了 20 余年,如不计算用户设备的费用,耗资 100 多亿美元,已成为美国继阿波罗登月计划和航天飞机后的第三个庞大的空间工程。实践证明,它从根本上解决了定位和导航的问题。早在 1990 年的海湾战争中,尽管系统还未全部建成,它为美军及其盟军部队轰炸、炮击敌军目标,引导部队空越沙漠战斗等方面发挥了重大的作用。

随着 GPS 用户设备价格的不断下降和 GPS 应用研究的不断深入,大量 GPS 用户设备已用于舰船、飞机的导航、导弹卫星测控、精密测绘、精密授时、作战训练、石油资源开发等方面。近几年来,车辆的跟踪和导航、农业、公安和旅游等也纳入了 GPS 的应用范围。

有人说 GPS 是继电子计算机后的又一次世界性的技术革命,也有人把它列入 21 世纪的世界十大工程之一。GPS 是一种新兴的产业,可以预言,十年之内,每个人都将接触到 GPS 技术,用它来为生产或生活服务。