

21世纪高等院校教材

GPS卫星导航定位技术与方法

黄丁发 熊永良 周乐韬 编著
张献州 李春华 罗德安



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

GPS 卫星导航定位技术与方法

黄丁发 熊永良 周乐韬 编著
张献州 李春华 罗德安

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地论述了全球定位系统(GPS)卫星导航定位的理论与数据处理方法。在GPS技术的发展历程中,数据处理与分析发挥了极其重要的作用。本书从数据处理的角度,结合作者多年科学研究和教学实践的经验,理论与实际应用相结合,系统地论述了GPS的基本原理和现代发展。全书共分12章,内容包括卫星无线电导航定位方法、坐标与时间系统、卫星轨道运动、基本观测量与观测方程、误差分析与建模、静态与实时动态定位(RTK)、周跳探测与整周模糊度解算、差分改正模型与编码方法、网络GPS/RTK原理与算法模型,以及卫星测量控制网建网方法与数据处理实践等。

本书可用作高等院校测绘、土木、交通、农林、水利、地质、矿产、海洋、航空航天等专业的本科生及研究生教材,同时也可供相关专业从事勘测设计、信息系统、位置服务与导航工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

GPS卫星导航定位技术与方法/黄丁发等编著. —北京:科学出版社, 2009

21世纪高等院校教材

ISBN 978-7-03-024659-2

I. G… II. 黄… III. 全球定位系统(GPS)—高等学校—教材 IV. P228.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第085661号

责任编辑:郭 森 赵 冰 / 责任校对:包志虹

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年6月第一次印刷 印张:17

印数:1—3 000 字数:328 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

编委会名单

顾问：刘经南(武汉大学)

主编：黄丁发(西南交通大学)

编委：(以姓氏拼音为序)

何秀凤(河海大学)

胡友健(中国地质大学)

李春华(西南交通大学)

李玉宝(西南科技大学)

罗德安(北京建筑工程学院)

施 闯(武汉大学)

王解先(同济大学)

王泽民(武汉大学)

肖东升(西南石油大学)

熊永良(西南交通大学)

余代俊(成都理工大学)

张献州(西南交通大学)

周乐韬(西南交通大学)

前 言

全球定位系统(GPS)自问世以来,以其高精度、全天候、全球覆盖和广泛的应用前景吸引了全世界的关注,成为代替传统导航、定位和测时的重要手段。GPS作为实时动态定位服务的基础平台,是信息社会的重要基础设施,可为测绘、交通、土建、农林、水利、矿产、地质、海洋、航空航天、国土资源、安全防卫、防灾减灾、环境监测、科学研究等诸多领域提供实时、高精度、高可靠性和高效率的空间位置信息服务。

编著本书的目的是满足 GPS 卫星导航定位技术发展的需要,充分体现 GPS 理论研究和技術发展的最新成果,向广大的工程技术人员和学生系统地介绍卫星导航定位的基本理论和最新发展。本书从数据处理的角度,结合作者多年的科学研究和教学实践的经验,系统地论述了 GPS 的基本原理和现代发展,内容包括卫星无线电导航定位方法、坐标与时间系统、卫星轨道运动、基本观测量与观测方程、误差分析与建模、静态与实时动态定位(RTK)、周跳探测技术与模糊度解算理论、差分改正模型与编码方法、网络 GPS/RTK 原理,以及卫星测量控制网建网方法与数据处理实践等。

本书由黄丁发负责大纲的制订和统稿。从构思到编写,编著者得到了武汉大学刘经南院士的指导与帮助。编委会成员对大纲编写和内容的制订提出了非常好的建设性意见与建议。本书相关的研究工作得到了国家高技术研究发展计划项目(2007AA12Z315)和国家自然科学基金项目(40771173、40271091)的资助。参加部分章节相关研究工作的有李成钢博士、李国平博士、殷海涛博士、袁林果博士和黄泽纯讲师等。邓芳女士及研究生陈豪、曹利民、董兴干、冯威、韩非、李萌、刘雪梅、钱文进、吴亚东和徐韶光等做了大量排版和校对工作。在此一并表示衷心的感谢!

GPS 卫星导航定位技术与方法的发展非常迅速,本书力求系统而全面地反映最新的研究成果,紧跟发展前沿,但由于作者水平所限,书中疏漏与不妥之处在所难免,恳切希望同行专家、学者及广大读者批评指正。

编著者

2009年2月

目 录

前言

第 1 章 全球定位系统概论	1
1.1 无线电定位原理	1
1.2 GPS 的发展历程	3
1.3 GPS 的构成及特点	6
1.4 GPS 卫星的信号	9
1.5 GPS 卫星导航电文	15
1.6 GPS 的限制性政策	19
第 2 章 坐标与时间系统	21
2.1 天球坐标系	21
2.2 地球坐标系	24
2.3 WGS84 大地坐标系和我国国家大地坐标系	31
2.4 不同坐标系的坐标转换	37
2.5 时间系统	39
第 3 章 卫星轨道运动及卫星坐标计算	43
3.1 开普勒三大定律	43
3.2 卫星轨道运动	45
3.3 卫星星历	48
3.4 卫星坐标计算	54
第 4 章 基本观测量及其误差分析	63
4.1 GPS 基本观测量	63
4.2 与卫星有关的误差	67
4.3 与信号传播有关的误差:电离层延迟	68
4.4 与信号传播有关的误差:对流层延迟	75
4.5 与接收设备有关的误差	79
4.6 相对论的影响	80
4.7 多路径的影响	80
4.8 其他误差的影响	84
4.9 观测量的线性组合	84

第 5 章 GPS 绝对(单点)定位	90
5.1 绝对定位观测方程	90
5.2 伪距绝对定位数据处理与精度评定	92
5.3 时间传递与速度测量	95
5.4 卡尔曼滤波的应用	98
第 6 章 GPS 相对(差分)定位	101
6.1 相对(差分)定位的模式	101
6.2 静态相对定位模型	104
6.3 动态相对定位模型	110
6.4 数据通信与 RTCM SC-104 标准	114
第 7 章 GPS 基线数据处理模型	120
7.1 观测方程的线性化与平差模型	120
7.2 整周模糊度的确定方法	127
7.3 周跳探测与修复	132
第 8 章 卫星网与地面网的联合处理与变换	137
8.1 概述	137
8.2 GPS 网的无约束平差	141
8.3 卫星网与地面网的联合平差	144
8.4 GPS 高程测量	152
8.5 网平差软件与数据处理实践	161
第 9 章 GPS 控制网建网与数据处理实践	164
9.1 控制网的技术设计	164
9.2 GPS 测量前准备工作	173
9.3 GPS 野外数据采集与处理	179
9.4 GPS 网平差与技术报告	191
第 10 章 综合卫星定位服务网络系统	197
10.1 概述	197
10.2 综合卫星定位服务网络的发展现状	198
10.3 网络 RTK 定位技术的发展及其特点	200
10.4 网络 RTK 技术的分类和系统组成	202
10.5 网络 RTK 定位原理	205
10.6 网络 RTK 定位系统的实现	213
第 11 章 GPS 卫星导航定位技术的应用	220
11.1 GPS 在科学研究中的应用	220
11.2 GPS 在工程技术中的应用	229

11.3 GPS 在军事上的应用	235
11.4 GPS 在其他领域的应用	236
第 12 章 GNSS 展望与现代化	239
12.1 概述	239
12.2 GLONASS	240
12.3 GALILEO 系统	244
12.4 北斗卫星导航系统	250
12.5 GPS 现代化	254
参考文献	258

第 1 章 全球定位系统概论

全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)是随着现代科学技术的发展而建立起来的新一代卫星无线电导航定位系统,目前包括美国的全球定位系统(global positioning system, GPS)、俄罗斯的格罗纳斯系统(global navigation satellite system, GLONASS)、中国的北斗卫星定位系统(COMPASS)以及欧洲联盟(以下简称欧盟)正在建设之中的伽利略系统(GALILEO)。这些全球卫星定位系统在系统组成和定位原理方面具有许多相似之处,因此本书将以 GPS 为例进行论述。由于 GPS 建成最早,拥有全球最多用户,并已广泛应用于诸多领域,因此 GPS 几乎成了 GNSS 的代名词。为了更好地理解 GPS,本章首先介绍卫星无线电定位的基本原理,然后介绍卫星导航定位系统的发展历程、GPS 系统结构、GPS 信号构成及其限制性政策等内容。

1.1 无线电定位原理

无线电技术用于导航和通信几乎是同步的。它最早用于船只或飞机导航,是通过定向天线量测到两个以上的无线电信标的方位实现的。第二次世界大战以来,引导飞机航行的无线电导航系统快速发展,较有代表性的无线电导航系统如伏加、塔康、仪表着陆系统和微波着陆系统等。这些都是陆基、短距离、视线系统。在陆地或海上导航,只需要水平或者二维的位置坐标,但是,在航空导航中,飞行员需要实时了解飞行的高度;同时在测绘科学技术领域,由于地图制图的需要,必须测定高程。过去通常是采用不同的技术,把水平位置和垂直高度分开处理,而今采用卫星导航系统就可以实现实时三维定位。

1.1.1 测边交会定位

假定无线电波以已知的恒定速率(光速 C)进行传播,因此如果测量出信号发射台和信号接收台之间的传输时间,那么它们之间的距离也随之而定。设测得的传播时间为 τ ,利用物理学中距离等于速率乘时间这个简单公式,就可以得到发射台和待测点之间的真实距离 $R=C\tau$ 。而利用测量待测点到已知点之间的距离求得待测点坐标的方法就称为测边交会法,也称为到达时间(time of arrival, TOA)方式。

如图 1.1 所示,如果待测点到已知点 S_1 的真实距离为 R_1 ,那么待测点的位置

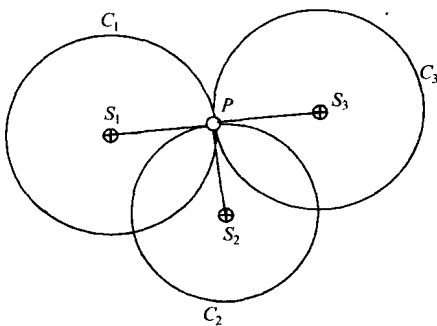


图 1.1 测边交会定位原理

必定在以 S_1 为球心、 R_1 为半径的球面 C_1 上。同样,若待测点到已知点 S_2 的真实距离为 R_2 ,那么待测点的位置也必定在以 S_2 为球心、 R_2 为半径的另一个球面 C_2 上。类似地,如果再有一个以 S_3 为球心、 R_3 为半径的球面 C_3 ,三个球面必定相交于一点 P ,这就是待测点的位置,也是测边交会法的几何原理。GPS、GLONASS 和 GALILEO 等卫星定位系统的定位原理就是依据测边交会法建立起来的。

1.1.2 双曲线定位

双曲线定位,主要采用到达时间差

(time difference of arrival, TDOA)的方式,其原理是通过测量无线电波到达两个基站的时间差,而不是由到达的时间来确定待测点的位置。待测点必须位于以两个基站为焦点的双曲线上,确定待测点的二维位置坐标需要建立两个以上双曲线方程,两双曲线的交点即为待测点的二维位置坐标。

如图 1.2 所示,在平面上,用户站到基站的距离差和基站之间的距离决定一条双曲线。同样,可以得到用户站与其他基站决定的另一条双曲线,曲线的交点即为用户站的位置。设 (x, y) 为待测点的待估坐标, (X_i, Y_i) 为第 i ($i=1, 2, 3$) 个基站的已知位置,则待测点和第 i 个基站之间距离为

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (1.1)$$

那么,相应的距离差为

$$R_{21} = ct_{21} = R_2 - R_1 = \sqrt{(X_2 - x)^2 + (Y_2 - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (1.2)$$

$$R_{31} = ct_{31} = R_3 - R_1 = \sqrt{(X_3 - x)^2 + (Y_3 - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (1.3)$$

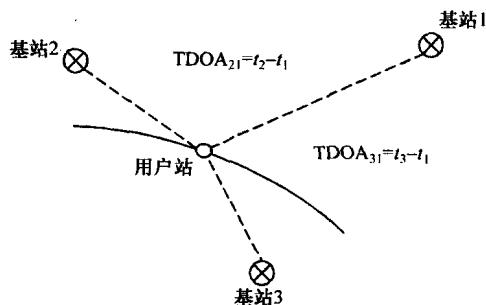


图 1.2 双曲线定位原理

对方程组进行求解,即可得到用户站的坐标 (x, y) 。利用双曲线原理建立的无线电导航系统有罗兰 A、罗兰 C、台卡和奥米伽等。

1.1.3 多普勒定位

如图 1.3 所示,多普勒定位原理是通过测定同一信号发射源不同间隔时段其信号的多普勒频移,从而确定发射源在各时段相对观察者的视向速度和视向位移,再利用发射源所给定的 $t_1, t_2, t_3, t_4, \dots$ 时刻的空间坐标,结合对应的视向位移解算出测站空间坐标 $P(X, Y, Z)$ 。发射源在 $t_1, t_2, t_3, t_4, \dots$ 站上的坐标是已知的,视向位移为任意两个相邻已知点到待定点 P 的距离差,可根据给定发射源经过期间,发射源和观测点 P 之间距离改变引起的频移的测量值求得。设信号的发射频率为 f ,观测点信号接收机跟踪信号,接收机与发射器之间的相对运动 ds/dt 产生的接收频率 $f_s(t)$ 随时间变化的关系为

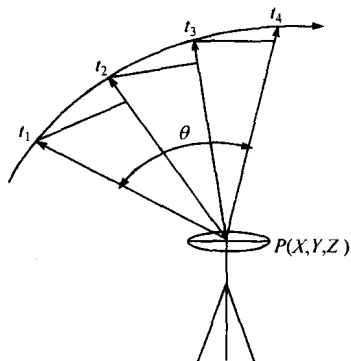


图 1.3 多普勒定位原理

$$f_s(t) = f \left(1 - \frac{1}{c} \cdot \frac{ds}{dt} \right) \quad (1.4)$$

这就是多普勒效应。给定时间间隔 t_j, t_k 上观测到的频移,并转换为距离差值 Δr_p^{jk} 。与此相关的观测方程为

$$\|r^k - r_p\| - \|r^j - r_p\| = \Delta r_p^{jk} \quad (1.5)$$

一个动点 p 到两定点的距离差为一定值时,该动点 p 的轨迹处在一旋转双曲面上,这两个定点就是该双曲面的焦点。于是以卫星所在的 $t_1, t_2, t_3, t_4, \dots$ 任意两个相邻已知定点作焦点,未知点 p 作动点构成对应的四个特定的旋转双曲面。其中,两个双曲面相交为一曲线(p 点必在该曲线上),曲线与第三个双曲面相交于两点(其中一点必为 p 点),第四个双曲面必与其中一点相交,该点就是待定点 p 点。因此,要解算 p 点的三维坐标,必须对同一发射器有四个积分间隔时段的观测,得出发射器在四个时段的视向位移,从而获得四个旋转双曲面,它们的公共交点就是待定点 $p(x, y, z)$ 。

利用多普勒定位原理的导航定位系统有子午卫星系统、星载多普勒无线电定轨定位系统。

1.2 GPS 的发展历程

1957 年 10 月世界上第一颗卫星发射成功,之后科学家开始进行卫星定位

和导航的研究工作。1958 年底,美国海军武器实验室委托约翰·霍普金斯大学应用物理实验室,研究美军用于舰艇导航服务的卫星系统,即海军导航卫星系统(navy navigation satellite system, NNSS)。这一系统于 1964 年 1 月研制成功,成为世界上第一个卫星导航系统。由于该系统的卫星轨道均通过地极,因此又称为“子午卫星系统”(transit)。利用该卫星定位系统,不论在地球表面任何地方,任何气候条件下,一小时内均能测定其位置,其定位精度根据观测卫星的次数可高可低(1~500m)。因此该系统被誉为是一种简便可靠的全天候全球导航卫星系统。

子午卫星系统是世界上第一个卫星导航系统。该系统在美国海军授权下,用于北极星核潜艇的导航定位,并逐步用于各种军舰的导航定位。1967 年 7 月,经美国政府批准,对其广播星历解密,并提供民用,为远洋船舶导航和海上定位服务。

子午卫星系统采用 6 颗工作卫星(图 1.4),主要参数包括:①卫星高度为 1000km;②卫星的运行周期为 107min;③定位精度为 1~500m。

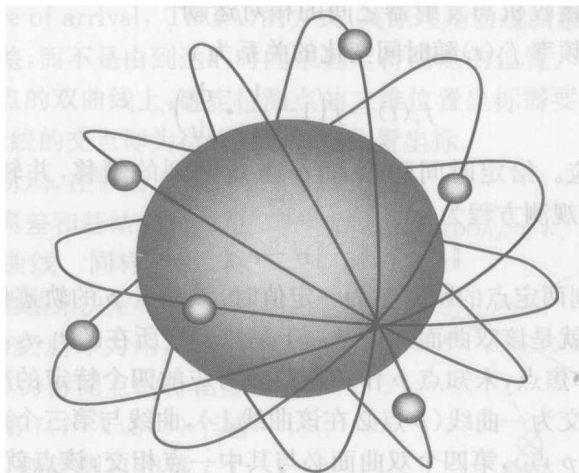


图 1.4 子午卫星星座

由于该系统存在较大的缺陷,例如,卫星数目较少,会出现卫星发送的无线电信号的突然间断,观测所需等待卫星出现的时间较长(35~100min),以及高精度定位虽然可以达到 1m,但需要观测 40 次以上的卫星通过(数天),且需要使用精密星历等,这些都不能满足当前实时、动态、精确的定位需要。因此,随着 GPS 的提出,美国政府在美国联邦无线电导航计划中已宣布终止该系统的研制与应用。

20 世纪 60 年代末,美国着手研制新的卫星导航系统,以满足陆海空三军和民

用部门对导航的高要求。为此美国海军提出了名为“Timation”的计划,该计划采用12~18颗卫星组成全球定位网,并于1967年5月31日和1969年9月30日分别发射了Timation-1和Timation-2两颗试验卫星。与此同时,美国空军提出了名为“621-B”的计划,采用3~4个星群覆盖全球,每个星群由4~5颗卫星组成。考虑到这两个计划的优缺点以及军费负担等原因,1973年12月17日美国代理国防部长批准建立新的卫星导航定位系统计划,为此成立了联合计划局,并在洛杉矶空军航空处内设立了由美国陆军、海军、海军陆战队、国防制图局、交通部、北大西洋公约组织和澳大利亚的代表组成的办事机构,开始进行系统的研究和论证工作。1978年第一颗试验卫星发射成功,1994年顺利完成了24颗卫星的布设。这就是“导航卫星授时与测距全球定位系统”(navigation satellite timing and ranging global positioning system, NAVSTAR GPS),简称全球定位系统(GPS)。

全球定位系统不仅集成以前所有的单用途卫星系统,并且致力于更广泛的用途。该系统具有比其他导航系统优越的特点:①全能性,能在空中、海洋、陆地等全球范围内进行导航、授时、定位及测速;②全球性,在全球的任何地点都可进行定位;③全天候,白天黑夜都可以工作。

GPS计划实施共分三个阶段。

第一阶段为方案论证和初步设计阶段:1973~1979年,共发射4颗试验卫星,研制了地面接收机并建立地面跟踪网,从硬件和软件上进行了试验。试验结果令人满意。

第二阶段为全面研制和试验阶段:1979~1984年,又陆续发射7颗试验卫星。这一阶段的卫星称为Block I卫星。与此同时,研制了各种用途的接收机,主要是导航型接收机,同时测地型接收机也相继问世。试验表明,GPS的定位精度远远超过设计标准。利用粗码的定位精度几乎提高了一个数量级,达到14m。由此证明,GPS计划是成功的。

第三阶段为实用组网阶段:1989年2月4日第一颗GPS工作卫星发射成功宣告GPS系统进入工程建设阶段。这种工作卫星称为Block II和Block II A卫星。这两组卫星的差别是:Block II A卫星增强了军事应用功能,扩大了数据存储容量;Block II卫星只能存储供14天用的导航电文(每天更新三次);而Block II A卫星能存储供180天用的导航电文,确保在特殊情况下使用GPS卫星。实用的GPS星座包括21颗工作卫星和3颗备用卫星,今后将根据情况需要,适时更换失效的卫星。

实践证明:GPS对人类活动影响极大,应用价值极高,因此得到美国政府和军队的高度重视,他们甚至不惜投资300亿美元来建立这一工程,成为继阿波罗登月计划和航天飞机计划之后的第三项庞大空间计划。该工程从根本上解决了人类在地球上的导航和定位问题,可以满足各种不同用户的需要。对舰船而言,GPS能

在海上协同作战,为海上交通管制、海洋测量、石油勘探、海洋捕鱼、浮标建立、管道和电缆敷设、海岛暗礁定位、海轮进出港引航等方面作出贡献。对飞机而言,GPS 可以为飞机进场着陆、航线导航、空中加油、武器准确投掷及空中交通管制等进行服务。在陆地上,GPS 可用于各种车辆、坦克、炮兵、空降兵和步兵等的定位。在空间技术的应用方面,GPS 可以用于弹道导弹的引导和定位、空间飞行器的精密定轨等。总之,GPS 的建立,给导航和定位技术带来了巨大的变革。

1.3 GPS 的构成及特点

1.3.1 GPS 的构成

GPS 利用卫星发射无线电信号进行导航定位,具有全球、全天候、高精度、快速实时的三维导航、定位、测速和授时功能。目前,它已广泛应用于大地测量、工程测量、运载工具导航和管制、地壳运动监测、工程变形监测、资源勘察、地球动力学等多学科领域,从而给测绘学科带来了一场深刻的技术变革。GPS 主要由 GPS 卫星星座(空间部分)、地面监控部分、用户接收处理部分组成,如图 1.5 所示。

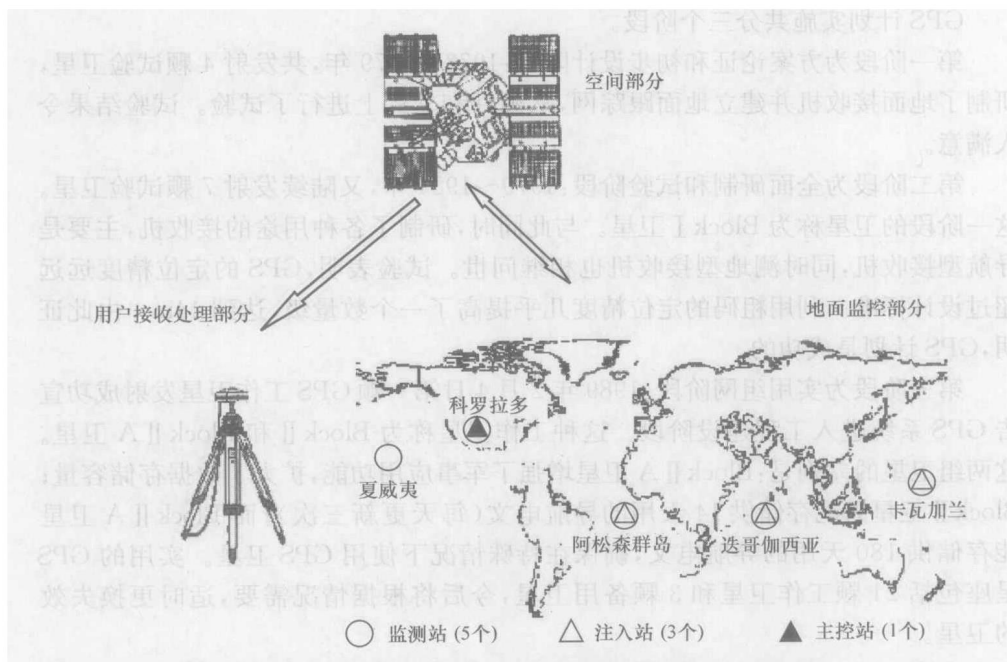


图 1.5 全球定位系统构成示意图

1. 空间部分

GPS的空间部分由24颗GPS工作卫星组成,这些GPS工作卫星共同组成了GPS卫星星座,其中21颗为可用于导航的卫星,3颗为活动的备用卫星,如图1.6所示。这24颗卫星分布在6个倾角为 55° 的轨道上绕地球运行,卫星的运行周期约为12恒星时。每颗GPS工作卫星都发射用于导航定位的信号。GPS用户正是利用这些信号来进行工作的。

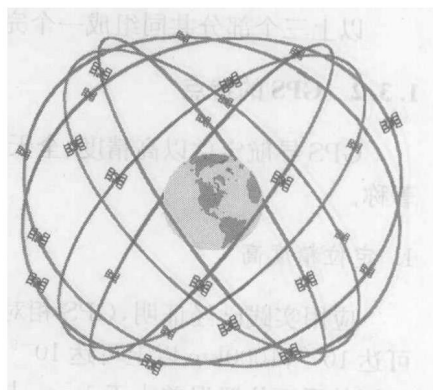


图 1.6 GPS 卫星星座

2. 地面监控部分

GPS的地面监控部分由分布在全球的若干个跟踪站组成的监控系统所构成,根据其作用的不同,这些跟踪站又被分为主控站、监控站和注入站。主控站有一个,位于美国科罗拉多(Colorado)的法尔孔(Falcon)空军基地,它的作用是根据各监控站观测的GPS数据,计算出卫星的星历和卫星钟的改正参数等,并将这些数据通过注入站注入卫星中;同时,它还对卫星进行控制,向卫星发布指令,当工作卫星出现故障时,调度备用卫星,替代失效的工作卫星工作;另外,主控站也具有监控站的功能。监控站有5个,除了主控站外,其他4个分别位于夏威夷(Hawaii)、阿松森群岛(Ascension)、迭哥伽西亚(Diego Garcia)、卡瓦加兰(Kwajalein),监控站的作用是接收卫星信号,监测卫星的工作状态;注入站有3个,它们分别位于阿松森群岛、迭哥伽西亚、卡瓦加兰,注入站的作用是将主控站计算出的卫星星历和卫星时钟改正数等注入卫星中。

3. 用户接收处理部分

GPS的用户部分由GPS接收机、数据处理软件及相应的用户设备(如计算机气象仪器等)组成,如图1.7所示。它的作用是接收GPS卫星所发出的信号,并利用这些信号进行导航定位工作。

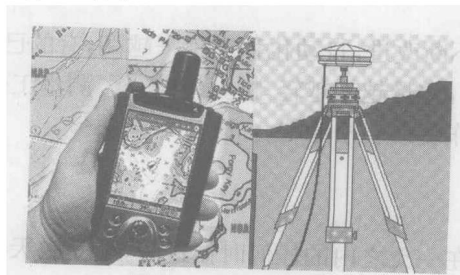


图 1.7 GPS 接收机

以上三个部分共同组成一个完整的全球定位系统。

1.3.2 GPS 的特点

GPS 导航定位以高精度、全天候、高效率、多功能、操作简便、应用广泛等特点著称。

1. 定位精度高

应用实践已经证明, GPS 相对定位精度在 50km 以内可达 10^{-6} , 100~500km 可达 10^{-7} , 1000km 以上可达 10^{-9} 。在 300~1500m 工程精密定位中, 1h 以上观测的解其平面位置误差小于 1mm, 与 ME-5000 电磁波测距仪测定的边长比较, 其边长校差最大为 0.5mm, 校差的中误差为 0.3mm。

2. 观测时间短

随着 GPS 的不断完善, 软件的不断更新, 目前, 20km 以内相对静态定位, 仅需 10~20min; 快速静态相对定位, 当每个流动站与参考站相距 15km 以内时, 流动站观测时间仅需 1~2min; 动态相对定位, 流动站出发时观测 1~2min, 然后可实时定位, 每站仅需一个历元的观测。

3. 测站间无需通视

GPS 测量不需要测站之间互相通视, 只需测站上空开阔即可, 因此可节省大量的造标费用。由于无需点间通视, 点位位置根据需要, 可稀可密, 选点工作甚为灵活, 也可省去经典大地网中的传算点、过渡点的测量工作。

4. 可提供三维坐标

经典大地测量将平面与高程采用不同方法分别施测。GPS 可同时精确测定测站点的三维坐标。目前, GPS 水准可满足四等水准测量的应用需求。

5. 操作简便

随着 GPS 接收机不断改进, 自动化程度越来越高, 有的已达“傻瓜化”的程度; 接收机的体积越来越小, 重量越来越轻, 极大地减轻了测量工作者的工作紧张程度和劳动强度, 使野外工作变得轻松愉快。

6. 全天候作业

目前 GPS 观测可在一天之内的任何时候进行, 不受白天、黑夜、刮风、下雨、下雪等的影响。

7. 功能多,应用广

GPS系统不仅可用于测量、导航,还可用于测速、测时。测速的精度可达0.1m/s,测时的精度可达几十毫微秒,其应用领域不断扩大。

1.4 GPS 卫星的信号

GPS卫星所发播的信号包括载波信号(L1和L2)、测距信号(包括C/A码和P码)和导航信号(或称D码)。其中,测距信号是一种伪随机噪声码(pseudo random noise, PRN),本节先介绍PRN的产生及其特性,然后介绍GPS信号的产生和构成。

1.4.1 伪随机噪声码及其特性

由0和1构成的一个序列称为码序列(如10010001),如果0和1的出现完全是随机的,这种无规律的序列称为随机噪声码。这种码无法复制,没有周期性,但具有良好的自相关性。而良好的自相关性对于提高GPS测距码测距精度很重要。但是它不服从任何编码规则,所以无法复制和利用。为了实际应用,GPS采用一种具有某种编码规则,可以复制,具有周期性的编码技术,称为伪随机噪声码编码技术,它具有类似随机噪声码的良好相关性。这种伪随机噪声码是通过一个称为“多级反馈移位寄存器”的装置产生的。

如图1.8所示,假设由4个存储单元组成一个4级移位寄存器。每个存储单元具有两种状态(0或1)。开始工作时,在置1脉冲的作用下,4个寄存器的状态全部置为“1”;此后在钟脉冲的驱动下,每个存储单元的内容都依次转移到下一个存储单元,而最后一个单元的内容便输出。与此同时,将某两个单元的内容进行模二相加(图1.8中的第3和第4个单元),反馈给第1个存储单元。模二相加规则

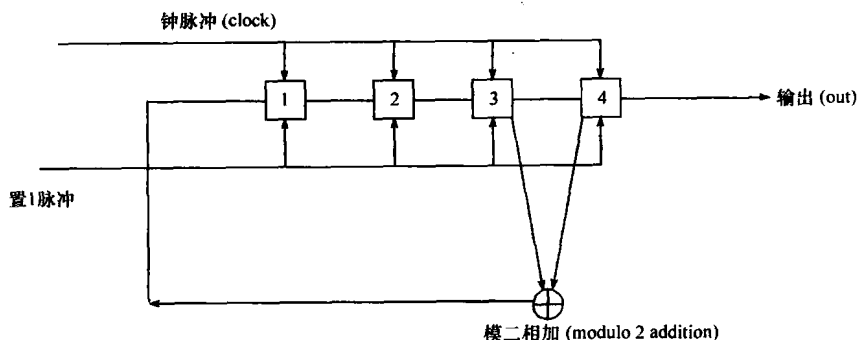


图 1.8 伪随机噪声码的产生