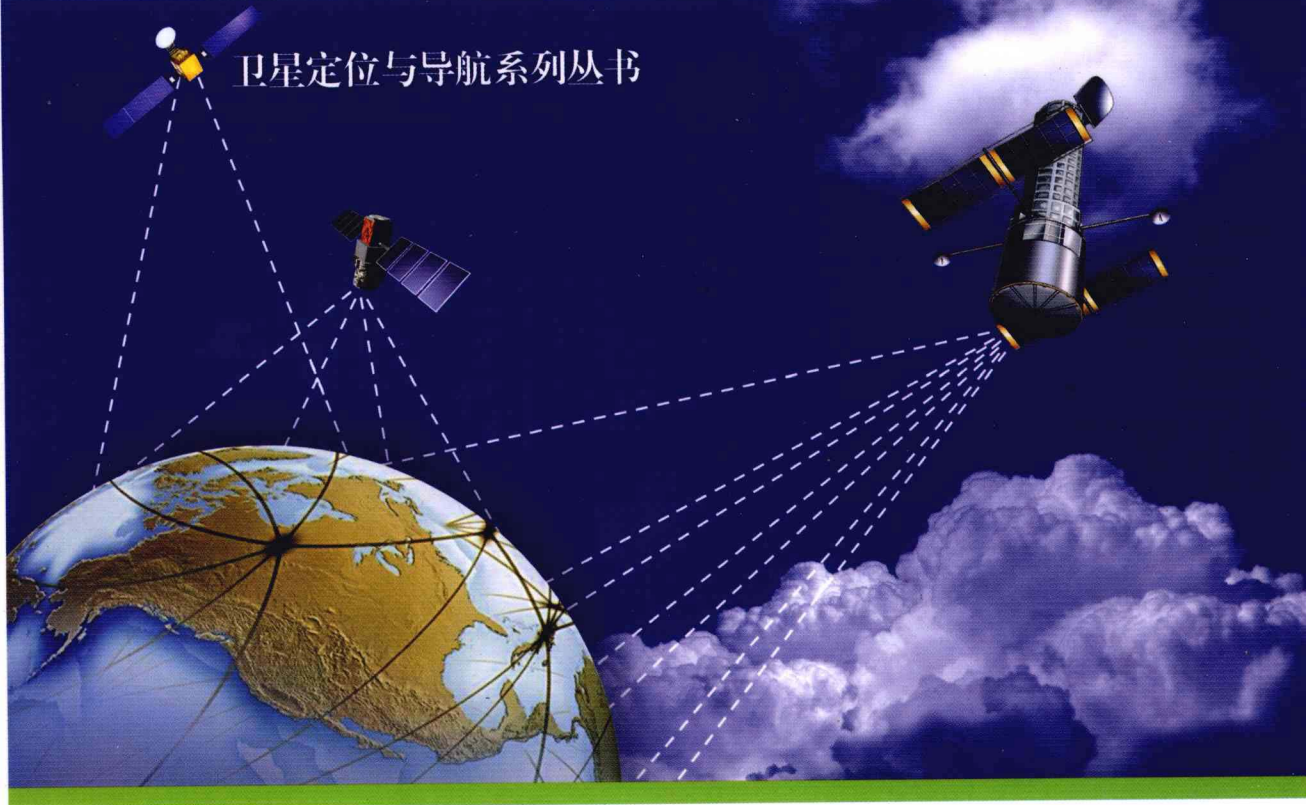


卫星定位与导航系列丛书



GPS全球定位接收机 ——原理与软件实现

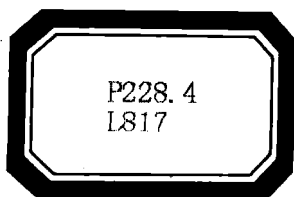
● 鲁 郁 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



卫星定位与导航系列丛书

GPS 全球定位接收机 ——原理与软件实现

鲁 郁 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介



本书从电子技术和通信系统的角度讲解 GPS 接收机的设计开发原理,其内容集中在用户终端,即接收机的设计原理和软件实现上。全书分为两大部分,第一部分为理论篇,第二部分为实现篇。理论篇首先对导航的基本目的进行了阐述,并由一个浅显的二维导航系统对导航信号的特点进行了推导,随后阐述了 GPS 信号格式,对 GPS 信号的基带处理(捕获和跟踪)、伪距和多普勒观测量的性质和提取,以及定位和导航解算算法进行了详细的理论分析,同时对于直接影响接收机性能的射频前端部分做了理论分析;实现篇主要对本书实现的软件 GPS 接收机的系统实现和源代码进行了讲解,同时作为总结,将信号处理的结果和有意义的中间变量以图示的方式给出,可以使读者有一个感性的认识,同时提升学习兴趣。

本书适合从事卫星导航接收机研发的技术人员和卫星通信接收机研究的研究人员,尤其是从事北斗系统研发的专业人员、CDMA 通信系统研发人员,以及通信电子类专业的高年级本科生和研究生阅读,既可作为教学培训的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考资料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

GPS 全球定位接收机——原理与软件实现/鲁郁编著. —北京:电子工业出版社,2009.6

(卫星定位与导航系列丛书)

ISBN 978-7-121-08848-3

I. G... II. 鲁... III. 全球定位系统(GPS)—接收机 IV. P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 075441 号

策划编辑:宋梅

责任编辑:宋梅

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:18 字数:403 千字

印 次:2009 年 6 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:43.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

出版说明

对于定位和导航的需求伴随着人类文明的发展史一直是一个重要的问题,而进入 21 世纪以来,人类社会对于这种需求却从未像今天这样迫切。定位和导航技术在国防和军事上的重要性不言而喻,同时在民用领域也已经展现了巨大的应用前景和广阔的商业市场,势必在不远的将来改变我们每一个人的思维方式和生活习惯。随着现代科学技术的发展,尤其是通信、航天和半导体技术的飞速发展,基于卫星的无线电导航系统已经成为目前主流的定位和导航系统的系统架构。目前,全世界已经投入运行的卫星定位和导航系统有美国的 GPS 和俄罗斯的 GLONASS,即将投入运行的有欧盟的 GALILEO 和中国的北斗系统。从系统构成的角度分析,基于卫星的定位和导航系统主要由空间卫星网络、地面控制中心和用户终端构成;从技术的角度分析,卫星定位和导航系统涵盖了卫星姿态控制、卫星通信、原子钟技术、控制理论、微电子技术、系统状态参数估计和测绘测量等诸多现代科技分支。总体而言,基于卫星的定位和导航系统是现代科技多分支的有机结合,体现了一个国家的综合技术实力,是当前世界大国和主要利益集团之间竞相发展和竞争的热点科技领域。

在这样的背景下,为了推进祖国卫星定位和导航技术的快速发展,同时共享世界上已经成熟的相关理论和应用,我们携手业界知名专家和相关技术人员,借鉴了在学术界和工业界都已经成熟的卫星定位和导航理论,注重实际经验的总结与提炼,策划出版了这套面向 21 世纪的《卫星定位与导航系列丛书》。本套丛书中除了有国内专家、学者创作的技术专著外,还包括我们精挑细选从国外引进的一些精品图书。丛书的作、译者都是当今站在卫星定位和导航技术前沿的专家、学者及相关技术人员,丛书凝聚了他们在理论研究和实践工作中的大量经验和体会,以及电子工业出版社编书人的心血和汗水。丛书立足于卫星定位和导航系统中所涉及的最新和成熟技术,以实用性、工具性、可读性强为特色,注重读者在实际工作和学习中关心的问题,涵盖了从初学者到具有一定水平的工程技术人员和学术研究人员不同需求,对卫星定位和导航技术的基本概念、多学科的技术细节和实现,以及未来技术展望进行了深入浅出的翔实论述。其宗旨是将卫星定位和导航技术中最实用的知识、最经典的技术应用奉献给业界的广大读者,使读者通过阅读本套丛书可得到某种启示,在日常工作中有所借鉴。

本套丛书的读者定位于卫星定位和导航相关产业的工程技术人员、技术管理人员、高等院校相关专业的高年级学生、研究生,以及所有对卫星定位和导航技术感兴趣的人。

在本套丛书的编辑出版过程中,我们得到了业界许多专家、学者的鼎力相助,丛书的作、译者们为之付出了大量的心血,对此,我们表示衷心感谢!同时,也热切欢迎广大读者

对本套丛书提出宝贵意见和建议,或推荐其他好的选题(E-mail: mariams@phei. com. cn),以帮助我们在未来的日子里,为广大读者及时推出更多、更好的卫星定位和导航技术类优秀图书。

电子工业出版社

2009 年 6 月

序

GPS 系统的应用越来越广泛,关于 GPS 内容的书已有很多,有的侧重于 GPS 系统的描述和工作原理的介绍,有的侧重于 GPS 系统的应用。鲁郁博士写的这本书与众不同:作者从 GPS 接收机开发与研制者的需求出发,以 GPS 接收机的工程实现为目标,系统而深入地阐明了必要的基础理论和相关的专业知识,并把自己多年积累起来的理论成果与实践经验融入其中。所以这本书以内容的完整性、很强的工程实践性、理论与实际相结合的密切性为主要特点。

内容的完整性在于,从理论上看是完整的,包括相关的基础知识、GPS 系统工作原理、GPS 信号格式及其构成原理、GPS 信号的捕获跟踪原理、数据解调和观测量的提取、定位和导航数据的解算等;另外,在工程实现上也是完整的,在硬件方面包括射频、中频、基带的统一平台,在软件方面包括各编程模块的源程序、应用软件和真实的 GPS 信号的采样数据等。很强的工程实践性在于,如果按照书中给出的硬件平台设计方案和软件源程序即可构成可以工作的 GPS 信号接收机,且可以用本书配套网站上提供的真实 GPS 信号采样数据进行性能测试。理论与实际相结合的密切性在于,书中的基础知识和专业理论为 GPS 接收机的设计起到了铺垫和指导作用,在学习理论的同时也可以运行本书所附的应用程序去加深对理论的理解。反过来,如果你在工程实践中遇到不明白的理论问题,可从本书的理论部分得到解答。

本书对 GPS 接收机的研发者来说,是一本必要的参考书。对于在 GPS 接收机研发上有经验的人,或从事其他类型信号接收机研发的科研人员,从本书中可以得到一些启发,用以改进自己的工作。对还没有什么经验的刚走进相关领域的研发人员,本书会起到引路和指导作用,当你遇到问题不知所措时,从本书中可以找到解决问题的办法。对于还没有走出校门的相关专业的大学生来说,可把本书作为工程实践入门读物,甚至可利用或模仿本书提供的模块结构、相应软件和信号源,自己去尝试完成 GPS 接收机或类似的工程实现这样一道技术含量很高的大习题,用以弥补自己在工程实践方面的不足。

 教授

2009 年 2 月于北京大学

前 言

自古以来,知道自己身处何方对人们就有着重要的意义,尤其对于那些在茫茫大海或沙漠里航行的人们,知道自己的精确位置往往是攸关生死的大事。远古的人们就已经知道通过观察日月星辰的相对位置来推测自己大致的方位。在导航方面,我们中国人发明了人类历史上最早的导航设备:指南针。通过不断的改进,在遥远的航海时代,指南针被远航的船只用来指明航向。但这些出现在人类文明早期的导航手段显得落后,而且有着各种各样的限制,掌握这些导航技术的人们还是不能在浩瀚的海洋里随心所欲地航行,只能在靠近陆地的海域里航行。

随着数学和天文学的进步,人们编出了较为精确的天文历。六分仪的出现使得人们可以通过测量天体尤其是太阳相对自己的高度角,从而可以直接得到所在位置的纬度,结合天文历和本地时间与太阳最高点的时刻的时间差就可以知道自己的经度,从而确定航向。六分仪测量的准确性在很大程度上取决于水天线的清晰度和观测者的熟练程度,有一定经验的观测者在正常条件下白天单一观测的均方误差为 $\pm 0.7' \sim \pm 1.0'$ 。六分仪具有携带轻便,在颠簸的船体上依然能够使用等优点,但受天气的影响较大,在阴雨天无法使用,蒙气差、眼高差和视差等一系列修正量也会影响天体高度角的测量。

进入 20 世纪以来,电磁波理论和电子技术的发展使得无线电导航技术开始进入人们的视野。无线电导航(Radio Navigation)的基本思想是在一些已知坐标的参考点发射电磁波,接收机通过接收电磁波信号并利用某种定位算法推算出自己的位置。这里的定位算法包括三边测量法、双曲线法和多普勒定位法等。人们首先在地球表面的一些参考点建立发射站,通过这些发射站发送调制某些信息的电磁波信号实现了陆基无线电导航系统(Ground-based Radio Navigation System)。但陆基无线电导航系统也有一些缺憾,比如覆盖范围有限,只能实现地球表面的二维定位,并且受复杂地形对电磁波信号的干扰等影响较大。

1957 年,苏联成功发射了人类第一颗人造地球卫星 Sputnik I。这颗卫星虽然不是直接用于导航目的的,却对后来的导航系统的发展有着深远的影响。因为 Sputnik I 的成功发射,使人们建立空间的定位参考点成为可能,同时科学家也证明了通过星历数据可以确定卫星的精确位置。由此开始,空间无线电导航系统(Space-based Radio Navigation System)进入了人们的视野。空间无线电导航系统和陆基系统相比,最大的区别就是将已知位置的参考点从地球表面搬到了空间,而卫星就成为空间参考点的不二选择。空间无线电导航系统的优点和陆基系统相比也是显而易见的,比如,覆盖范围极为广泛、不受复杂地形对电磁波传输干扰,以及全天候应用等。

第一个空间无线电导航系统应该是美国海军委托霍普金斯大学研制的海军导航卫星系统(Navy Navigation Satellite System, NNSS), 又名子午仪系统(Transit)。该系统利用多普勒原理为船舶提供导航服务。具体实现是在地球外空间有 4~7 颗低轨道运转的卫星, 卫星在近圆轨道上, 它们连续地发射 150 MHz 和 400 MHz 的信号, 地面的用户每次只能见到一颗卫星, 为了接收到第二颗卫星发射的信号, 用户必须等待上百分钟的时间。装在船舶上的卫星接收设备收到信号后要连续记录信号的多普勒频移, 同时解调出卫星的导航电文, 最终通过多普勒计数计算出用户位置。子午仪系统不受天气和无线电传输偏差等因素的干扰, 大大地提高了定位精度和定位及时性, 但在使用中也逐渐暴露出一些问题, 主要是由于该系统卫星数目较少(4~7 颗), 运行高度较低(平均约为 1 100 km), 从地面观测到卫星的时间间隔较长(平均 1.5 h), 因而无法连续地提供实时三维定位信息, 难以充分满足军事用户和某些民用用户的定位要求。

GPS 全球定位系统就是在这种背景下应运而生的。首先, 现有的导航系统已经不能满足人们越来越高的要求; 其次, 长久以来的技术积累使得更高标准的空间导航系统成为可能。GPS 的全称为授时与测距导航系统/全球定位系统(Navigation System Timing and Ranging/Global Position System-NAVSTAR/GPS), 是由美国国防部倡导研制的, 其主要目的是在子午仪系统的基础上, 实现全球性、全天候、时间上连续的高精度定位和导航系统。GPS 的星座分布经过了严谨的理论论证, 使得地球上的绝大多数地方都能同时至少见到 4 颗 GPS 卫星, 最多可以见到的卫星数目超过 12 颗。GPS 卫星在系统设计初期发射两种载波频率的信号, 分别是 $L1=1\,575.42\text{ MHz}$ 和 $L2=1\,227.60\text{ MHz}$, 都处于 L 波段。在 2000 年以后开始了 GPS 现代化进程, 预期未来的 GPS 信号将会有至少 3 个民用信号, 包括目前的 L1 的 C/A 码信号和新的 L2C 和 L5 信号, 同时还会有更新的军用码 M 信号。通过使用直接扩频信号, 多颗卫星能共享相同的载波频率, 同时伪随机码的应用也提供了测距信号。GPS 系统从 20 世纪 70 年代开始立项论证和初步设计, 经历了 20 世纪 80 年代的全面研制和设计, 直到 20 世纪 90 年代中期, 系统空间组网全部完成, 历时近 20 年, 耗资 300 亿美元。值得一提的是, 在 20 世纪 90 年代初的海湾战争中, 当时还没有完全投入运营的 GPS 系统就发挥了巨大的威力, 被称为“战争效能倍增器”。配备了 GPS 接收单元的作战单位能及时向战地指挥官报告自己的精确位置坐标, 被包围的部队或被击落的飞机驾驶员也能及时向后方报告自己的方位, 从而使得准确的救援行动得以及时展开, 大大提高了军队在现代化战争环境下的信息化程度, 增强了军队在恶劣环境下的生存能力。同时, 由 GPS 导航设备导引的精密制导武器极大地提高了武器的杀伤效能。由此可见, 空间导航系统在军事和国防领域中具有重大意义。

时至今日, 除了在军事上的运用外, GPS 系统也开始在民用领域显示了蓬勃的生机。在车辆导航、野外救护、户外运动、特殊人士跟踪、地震监测、大气监控以及基于位置服务(Location Based Service)等方面已经显现了非常广阔的应用前景和巨大的商业市场, 同时也由此导致了对导航专业人才的迫切需求。目前基于 GPS 的服务正在吸引越来越多

的商业目光,必将给人们的生活带来更多的便利,同时也必将提供更多的就业机会。

综观国内和 GPS 相关的专业书籍和出版物,大部分集中在讲述对商业 GPS 接收机的使用上,或者是从测绘测量的应用角度讲述如何利用 GPS 接收机,深入讲述 GPS 接收机内部设计原理的还很少,这不能不说是一种遗憾。本书集中在 GPS 接收机的设计原理和实现上,读者通过阅读本书将理解 GPS 接收机设计的理论,同时还能体验到最直接的有关 GPS 接收机设计的工程实践。虽然本书侧重点在于 GPS 接收机的原理和设计上,但由于 GPS 系统是个相当复杂的系统,主要包括空间星座部分、地面监控部分和用户设备部分,所以仅仅局限于接收机本身的结构和原理是远远不够的。读者为了真正明了接收机的工作机理,至少要了解空间星座的分布和卫星发射的信号格式,尤其是卫星信号格式,在很大程度上决定了接收机硬件的构成和软件的设计。大多数讲解 GPS 接收机的书籍都是从讲解卫星信号格式开始,这样的安排并无不妥,只是让读者一开始就陷入复杂的信号格式里不能自拔,以至于在他们花了很多时间来理解信号格式后已经忘了如此复杂的信号格式究竟为何被设计成这个样子。本书作者在几年前阅读的第一本关于 GPS 接收机的书是 James Bao-Yen Tsui 的《Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach》^[13],后来又陆续读了 Elliott D. Kaplan^[8] 和 Pratap Misra & Per Enge^[9] 的书,在 GPS 接收机理论方面可以说是有所积累,可是只有在亲自实现了一台 GPS 接收机以后才真正了解了 GPS 信号格式其中的精妙。GPS 信号之所以被设计成这个样子,每一个特质都有其被设计为此的目的。根据自身的亲身体验,本书作者觉得从最初的定位目的开始讲解是个比较好的方式。由一个最本质的目的,一步步导出更旁支的目的,结合这些目的来讲解 GPS 信号格式的每一个特质,相信这样可以使读者能更容易地理解 GPS 接收机的原理。

本书分为两大部分,第一部分为理论篇,主要从最基本的定位目的出发,讲述了 GPS 卫星的信号格式和信号处理方式,包括信号的捕获和跟踪、伪距观测量和多普勒观测量的提取,以及最终定位导航的解算方法,第一部分的最后还讲述了 GPS 接收机设计中必须要考虑的射频前端的一些理论问题;第二部分为实现篇,主要根据第一部分的理论知识,如何实现 GPS 中频数据采集的软、硬件设计,并结合面向对象的思想实现了一台软件中频接收机。软件接收机是基于对实际的硬件 GPS 接收机功能模块进行分析的,对于每一个功能模块,都通过一个 C++ 语言中的对象来抽象,并通过软件语言实现,最终将从底层到高层的各个软件模块结合在一起,实现了一台软件接收机。本书第二部分对其中的主要源代码进行了详细描述,同时以图示的形式给出了最终的处理结果,包括信号捕获的结果、信号跟踪的结果,以及最后的定位结果。为了使读者方便获取源代码,作者把所有的源代码都放在和本书配套的网站上(<http://www.softwaregnss.com/book> 和 <http://www.phei.com.cn>),读者可以从该网站下载最新的源代码,同时也有一些辅助材料,比如一些限于篇幅没有收录在书中的附录和背景知识介绍。

由于采用了面向对象的编程思想,整个软件的编程思想非常清晰,可读性好,同时软

件的可维护性很高,软件模块的复用性也很好,有些通用模块基本可以不加改动或只需很少改动即可被用于其他相关的软件接收机的设计中。尤其是随着我国的北斗卫星定位系统在未来几年内逐步投入运营,在学习了本书中 GPS 接收机的原理和软件实现的基础上,设计北斗系统的软件接收机的门槛将大大降低。

全书理论与实践相结合,读者在学习理论的同时也可以运行本书所给出的具体代码去实际体验 GPS 接收机带给我们的神奇和惊喜,从而提高学习兴趣,反过来又能深化对理论的理解。本书配套网站上除了给出软件接收机的源代码以外,还提供了长达 60 s 的中频采样数据文件。该中频数据文件是基于 Zarlink 公司的 GP2015 射频前端,由本书作者于 2005 年 9 月 28 日 UTC 时间 23:24:16 从位于 University of California at Riverside 的工程学院大楼顶部的静止 GPS 天线采集到的,该数据文件是本书中实现的软件接收机处理的输入信号源,同时也使读者能够在理解本书所述理论的基础上,根据自身要求开发自己的软件接收机或者新的信号处理算法。

在本书从开始编写到付梓的过程中,得到了许多朋友的大力协助。我首先要对我的在读博士期间的导师 Jay A. Farrell 博士表示衷心的感谢,他不仅在专业上给我尽心尽力的指导,而且让我学会了如何对待自己身边的一切;同时感谢郑波博士(美国 Qualcomm 公司)帮助验证了本书大部分的理论推导;江兆根和王理砚作为本书的第一批读者提出了许多宝贵的意见;电子工业出版社的高级策划宋梅老师对本书的出版也给予了大力支持和鼓励,在此也表示衷心感谢。我还需要感谢我的妻子何炎和我的孩子们,他们是我不断前行的动力。

由于自己的学识和经验有限,在全书编写过程中,错误和纰漏在所难免,希望通过本书结交更多的朋友,也欢迎广大的读者朋友批评斧正,共同提高。

鲁 郁

2009 年 3 月于加州 Irvine

目 录

理 论 篇

第 1 章 定位、坐标系和时间标准	(3)
1.1 问题的提出	(3)
1.1.1 基本的目的和基本的定位系统	(3)
1.1.2 时钟问题	(5)
1.1.3 一个改进的系统	(7)
1.1.4 改进后系统的总结	(9)
1.2 常用坐标系	(11)
1.2.1 地心惯性坐标系	(11)
1.2.2 测地坐标系	(11)
1.2.3 ECEF 坐标系	(13)
1.2.4 ENU 坐标系	(16)
1.2.5 本体坐标系	(17)
1.3 时间系统	(18)
1.3.1 太阳时和恒星时	(19)
1.3.2 力学时	(20)
1.3.3 原子时和协调世界时 UTC	(20)
1.3.4 GPS 时	(21)
第 2 章 GPS 卫星和导航信号	(24)
2.1 GPS 卫星星座分布	(24)
2.2 GPS 信号的基本结构	(28)
2.3 GPS 信号中的伪随机码	(31)
2.4 GPS 信号中的导航电文	(36)
2.5 不同卫星信号的时间关系	(43)
第 3 章 GPS 信号的捕获	(47)
3.1 信号捕获的基本概念	(47)

3.2	基于硬件相关器的信号捕获	(51)
3.3	基于 FFT 算法的信号捕获	(56)
3.4	基于相位补偿和同步数据块累加的快速捕获	(58)
第 4 章	GPS 信号的跟踪	(68)
4.1	基本锁相环	(68)
4.1.1	一阶环	(70)
4.1.2	二阶环	(72)
4.2	基本锁相环噪声分析	(73)
4.3	载波跟踪环	(76)
4.4	伪码跟踪环	(81)
4.5	GPS 接收机中的跟踪环	(88)
第 5 章	数据解调和观测量的提取	(92)
5.1	导航电文的解调	(92)
5.2	卫星参数解算	(95)
5.2.1	卫星轨道的理论分析	(96)
5.2.2	利用星历数据计算卫星位置和速度	(101)
5.3	伪距观测量的提取	(108)
5.4	多普勒观测量的提取	(111)
第 6 章	定位和导航解算	(115)
6.1	Least Square 方法	(115)
6.1.1	Least Square 基本原理	(115)
6.1.2	加权的 Least Square 方法	(118)
6.1.3	位置解算	(121)
6.1.4	速度解算	(126)
6.1.5	几何精度因子	(128)
6.1.6	卫星的仰角和辐角	(133)
6.2	卡尔曼滤波方法	(135)
6.2.1	递归最小二乘法(RLS)	(135)
6.2.2	基本的卡尔曼滤波器	(140)
6.2.3	从连续时间系统到离散时间系统	(142)
6.2.4	扩展卡尔曼滤波器	(146)
6.2.5	GPS 接收机常用的几种 KF 模型	(148)

6.2.6 具体实现中的问题	(155)
6.3 最小二乘法和卡尔曼滤波的比较	(158)
第 7 章 射频前端	(162)
7.1 卫星信号的发射与接收	(162)
7.2 带通采样原理	(166)
7.3 中频采样方案	(169)
7.4 射频采样方案	(171)
7.5 射频载噪比和基带信噪比的关系	(175)
7.6 射频前端频率方案实例分析	(177)

实 现 篇

第 8 章 GPS 中频数据采集的硬件实现	(183)
8.1 常用的几种射频前端芯片	(184)
8.1.1 Zarlink 公司的 GP2010/GP2015	(184)
8.1.2 SiGe 公司的 SE4110	(187)
8.1.3 Maxim 公司的 MAX2769	(191)
8.2 PC 接口的软硬件设计	(194)
第 9 章 GPS 软件接收机的 C++ 实现	(198)
9.1 面向对象的编程思想	(198)
9.2 核心信号处理模块	(204)
9.2.1 多通道相关器	(204)
9.2.2 控制器	(213)
9.2.3 信号捕获模块	(218)
9.3 应用软件接口	(219)
9.3.1 信号源	(219)
9.3.2 应用软件和核心处理模块接口	(221)
第 10 章 程序运行界面和数据处理结果分析	(223)
10.1 程序运行界面	(223)
10.1.1 控制台应用程序	(223)
10.1.2 图形界面应用程序	(226)
10.2 数据处理结果分析	(233)

附录 A 基本的矩阵和向量运算..... (247)

 A. 1 逆矩阵及其性质 (247)

 A. 2 矩阵的特征值和特征向量 (248)

 A. 3 二次型和有定矩阵 (249)

 A. 4 几种重要的矩阵分解 (251)

 A. 5 矩阵分析初步 (255)

附录 B 直角坐标系的转换和旋转 (258)

附录 C 级联系统的噪声系数 (265)

附录 D 和椭圆相关的推导 (267)

参考文献..... (270)

理论篇



第1章 定位、坐标系和时间标准

本章 1.1 节将从最基本的问题出发,一步步用浅显易懂的语言来描述 GPS 系统的基本原理。“貌似非常复杂的 GPS 全球定位接收机的基本原理竟然如此简单”——希望读者读了本章以后有如此的惊叹。在这一节中,尽量用浅显的生活语言来描述问题,繁杂的理论推导和数学公式将尽量避免,这样做的目的是让初学者从阅读本书的开始就能保持对学习接收机理论的兴趣。

定位目的本身要求接收机必须身处一定的坐标系中,这样才能给出有意义的定位结果。所以本章 1.2 节简要阐述了几种不同的坐标系,并对常用坐标系之间的相互转换进行了介绍。同时 GPS 系统对于时间的要求非常高,时间测量的精确程度直接影响到定位的准确性。有些学者甚至认为 GPS 系统首先是一个严格的同步系统,然后才能谈论其定位的功能,所以在本章 1.3 节讨论了目前世界上常用的几种时间系统,并对不同时间系统之间的关系进行了分析。

1.1 问题的提出

1.1.1 基本的目的和基本的定位系统

GPS 接收机最基本的目的是定位,通俗地说,就是回答一个问题:我身在何处? 关于这一点,很少有人会表示异议,于是就让我们从这个最基本的目标谈起。

我们生活的世界是个三维空间,所以最直接的问题应该是个三维的定位问题。可是三维的情况比较复杂,我们还是从二维开始比较容易入手。当然我们也可以从一维开始,可是这个切入点有些过于简单了。二维的情况相比三维世界要简单很多,同时也很容易扩展到三维的情况。

考虑一个二维世界的 A 先生,生活在一个二维直角坐标系,如图 1.1 所示。

A 先生想知道自己的坐标 (x, y) ,最简单最直接的方法就是用一把尺子量一量自己距离两个坐标轴的远近,可是这个方法有很大的

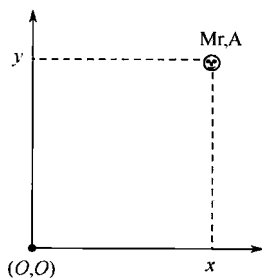


图 1.1 生活在二维世界里的 A 先生