



含DVD光盘1张



GNSS

应用与方法

GNSS Applications and Methods

© [美] Scott Gleason, Demoz Gebre-Egziabher 主编

© 杨东凯 樊江滨 张波 张敏 译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

GNSS 应用与方法

GNSS Applications and Methods

Scott Gleason

Demoz Gebre-Egziabher

主编

杨东凯 樊江滨 张波 张敏 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统介绍 GNSS (全球导航卫星系统)的应用及其方法,全书共 17 章:第 1~5 章讲述 GNSS 导航的基础知识,如 GNSS 信号捕获和跟踪,GNSS 位置、速度和时间(PVT)估计,差分 GPS 技术和算法等,其中包括位置和速度应用的 GNSS 测量模拟器演示以及一个完整的 GPS 软件接收机实现;第 6~16 章深入阐述 GNSS 与其他导航系统(如惯性导航器、LADAR、各种射频测量、罗兰系统等)的组合,以及 GNSS 在航空航天、室内和弱信号导航、掩星、大地测量、环境遥感等领域的应用;第 17 章是针对 GPS 开发的新导航信号和未来系统的概述。

本书由本领域的知名专家学者撰写,内容丰富,体系完整,各章均包含实际应用案例,并在随书附带的 DVD 光盘中提供了相应的程序代码,便于读者亲自动手操作和练习。

本书可供从事 GNSS 研究和开发的专业人员以及通信、导航及相关专业的高校师生阅读。

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。

GNSS Applications and Methods

Scott Gleason, Demoz Gebre-Egziabher

ISBN: 978-1-59693-329-3

Original English Edition ©2009 Scott Gleason, Demoz Gebre-Egziabher

Authorized translation from English language edition published by Artech House, Inc.

本书中文版专有出版权由 Artech House, Inc. 授予电子工业出版社。该专有出版权受法律保护。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-3681

图书在版编目(CIP)数据

GNSS 应用与方法 / (美) 格里森 (Gleason, S.), (美) 加布雷格齐亚布泽尔 (Gebre-Egziabher, D.) 主编; 杨东凯等译. — 北京: 电子工业出版社, 2011. 9

书名原文: GNSS Applications and Methods

ISBN 978-7-121-14582-7

I. ①G… II. ①格… ②加… ③杨… III. ①卫星导航—全球定位系统 IV. ①P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 185779 号

责任编辑: 张来盛(zhangls@phei.com.cn) 特约编辑: 杨 琳

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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: 787×1 092 1/16 印张: 23.25 字数: 590 千字

印 次: 2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 69.00 元(含 DVD 光盘 1 张)

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。

译 者 序

在过去的 10 年里,综合利用全球导航卫星系统(GNSS)进行定位、导航和授时的军事、商业和科学应用大幅增加,GNSS 已成为国家重大的空间和信息化基础设施,也成为体现现代化大国地位和国家综合国力的重要标志。它是经济安全、国防安全、国土安全和公共安全的重大技术支撑系统和战略威慑基础资源,也是建设和谐社会、服务人民大众、提升生活质量的重要工具。

随着 GNSS 技术的不断发展和对 GNSS 需求的不断增加,GNSS 正在成为一个新的热门研究领域,越来越多的人开始认识并关注这一领域。但是我国的 GNSS 技术起步较晚,与国外最先进的技术尚有差距,相关的专业书籍并不多。因此,能够将这样一本专业性很强且非常实用的书翻译给国内读者,译者深感荣幸。对于想投身这一领域,或希望对此进行更深度研究的读者来说,本书无疑是很好的选择。

本书内容丰富,结构完整,主要体现了以下几个特点:首先,本书前半部分介绍了 GNSS 的理论基础,后半部分则侧重于实际应用,可以说是一本理论与实践相结合的好书。其次,本书比较全面地介绍了 GNSS 与多种技术的组合,包括惯性传感器、射频系统、罗兰系统等,以及在各个领域的应用,包括航空应用、空间应用、室内导航、掩星、大地测量和测量学以及 GNSS 遥感等领域,因此适合于各个研究方向的学生和专业人士。再次,书中各章均包含实际应用案例,并在随书附带的 DVD 光盘中提供了相应的程序代码,供读者亲自动手操作和练习,使读者在阅读本书的同时可以立即着手开始自己的 GNSS 工作。最后,本书各章均由本领域的知名专家学者撰写,他们都有多年的理论和实践经验,可以说为读者提供了最权威的解释。对于需要接触和了解 GNSS 的人员,无论是科研人员、开发人员,还是学生、教师,相信都可以从这本书中获益良多。

本书由北京航空航天大学杨东凯教授组织翻译,张波博士、张敏博士和中国北方车辆研究所樊江滨高工翻译了部分章节。其中第 1,2,5,17 章由杨东凯翻译,第 3,4,6,7 章由张波翻译,第 8~12 章由樊江滨翻译,第 13~16 章由张敏翻译;杨尧、秦瑾、黄毅、刘德荣、张帅等研究生参与了少量翻译工作,并对译稿的部分图表及文字进行了编辑整理。

由于译者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

译 者
2011 年 7 月

前言

在过去的 10 年里,利用全球卫星导航系统(GNSS)的应用,其数量稳步上升。这种变化的最明显的表现,可能就是基于 GNSS 的消费类技术的发展和广泛应用。例如,配备全球定位系统(GPS)导航系统的汽车或手机现在已不鲜见。此外,出现了许多即使最初的系统设计人员也无法想象的应用,环境遥感就是一个这样的例子。鉴于这一趋势,我们有理由期待,伴随着新卫星导航系统的发展,未来将会出现更多基于卫星导航的应用。

过去,熟悉 GNSS 具体运作的专业人士均来自专责组。随着应用数量的增长,专业人员需要了解这一技术以及如何应用,随着新应用的出现和现有应用的扩展,专业人员这一群体不断增长,包括广泛的技术学科人员。写作本书的主要动因,是为不断扩展领域的专业人员提供我们认为非常重要的需求——使对 GNSS 感兴趣的专业人士(甚至是业余爱好者)有机会获得有关算法、应用和数据的实际或实践经验。我们希望本书能让读者通过“做”来了解 GNSS,因为我们相信这是理解一个复杂课题最有效的方式。本书将拓展读者对 GNSS 系统内部基本理论的认识,并将新的见解应用于实际工程和科学应用。

本书的第二个动因是因为这样的事实,那就是迄今为止大多数人学习基本的 GPS 应用一直依赖于开创性的两卷集 *Global Positioning System: Theory and Applications*,该书由 B. Parkinson、J. Spilker、P. Axelrad 和 P. Enge 编辑。这些书籍俗称“GPS 蓝皮书”,是几乎每个学习卫星导航的学生的宝贵资源,并且今后几年仍将是一个有益的参考。它们在许多读者触手可及的书架上。然而,自 GPS 蓝皮书首次出版以来,在导航和 GNSS 的各个传统领域已经发生了许多进步。例如,基于微机电系统(MEMS)的惯性传感器以及价格低廉、结构紧凑、功能强大的计算资源已经变得随手可得。计算机处理工具的可用性,以及某些应用通过这些工具而变得相对易于描述和论证,使得我们相信,为那些希望学习 GNSS 及其应用的读者提供一个更为实际的方法是可能的。现在可以让感兴趣的专业人员有机会在实施基于 GNSS 的算法和应用上“一展身手”。本书为尽可能多的新应用的深入研究提供了额外的资源和大量实际的例子,所有这些例子都与免费获得的工具兼容,并在免费和开源许可下发布,我们相信这对于开发人员来说将是一个受欢迎的新资源。

本书的目的不是提供一个笼统的 GPS 或卫星导航的全面介绍,也不是为了取代 GPS 蓝皮书或者目前一些优秀的教材,如 Pratap Misra 和 Per Enge 的 *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance*(第二版),Elliot Kaplan 和 Christopher Hegarty 的 *Understanding GPS: Principles and Applications*(第二版)。相反,我们的目的是提供一本书向这些基础教材致意,为在广泛的导航应用中寻找关于 GNSS 基本概况的主要和实用介绍的科学家和工程师提供一个额外的资源。

本书将使读者更深入地“挖掘”GNSS 发挥重要作用的具体应用,并开始回答这样一个问题:如何利用 GNSS 来解决这个特定的问题?对于那些已经熟悉 GNSS 接收机的操作,但对寻求具体应用感兴趣的读者,本书将给他们有用的例子。对于想进一步了解的读者,将允许他们去探索新的领域,并且(希望)鼓励他们提问:“我从这里去哪里?”或“下一步是什么?”

为此,本书的安排如下:第1~5章介绍GNSS导航的基础知识,或者说传统情况下使用GNSS需要考虑什么。GNSS基本原理的介绍包括:GNSS信号捕获和跟踪;GNSS位置、速度和时间(PVT)估计;差分GPS技术和算法。这些章节既包括用于演示传统的位置和速度应用的GNSS测量模拟器,也包括GPS接收机的一个完整的软件实现,它可以处理实际的空中信号。

接下来的章节解决GNSS与其他导航系统的组合。这包括GNSS与惯性导航系统(第6章、第7章)、LADAR(第8章)、各种射频(RF)测量(第9章)以及像罗兰这样的地面无线电导航系统(第11章)的组合。

此外,还有许多章节针对特定的应用领域或GNSS信号独特的使用。这些章节涵盖了广泛的应用领域,如:航空(第10章),室内和弱信号导航(第12章),航天应用(第13章)、大地测量与测量学(第14章)。最后,介绍了两个新应用,展示了GNSS信号如何用于环境遥感(第15章和第16章)。我们希望这些章节可以扩展读者关于GNSS可能用途的视野。

当然,在过去10年中GPS是唯一一直可用和运行的GNSS。出于对GPS现代化的期待,本书提供了为GPS开发的新信号和系统的概述。与此相关的课题是新GNSS星座的出现,如欧洲的Galileo计划。这些都是本书最后一章(第17章)的主题。对于每一章具体内容的详细信息,以及本书所包含的DVD上的工具和数据集,请参阅第1章中总结的路线图。

最后,我们想要感谢在准备这本书时许多人所给予的相当大的支持。列出本书编写过程中给予帮助的所有人员是不切实际的,我们要感谢帮助审阅手稿的各项修订并提供重要的反馈的审阅人,以及测试和评估书中各章附带的软件程序的人员,他们是(按姓氏字母顺序):Mounir Adjrad、Vibhor Bageshwar、Susmita Bhattacharyya、Paw Yew Chai、Maria Paola Clarizia、Jason Da Ponte、David De Lorenzo、Paul Groves、Steve Hilla、Thomas Jakel、Alexander Mittleman、Oliver Montenbruck、Curtis Olson、Rohit Pandita、Todd Walter、Gary Wick、Zhiqiang Xing 和 Guijin Zheng。

最后我们想要说明的是,出售这本书所得的所有编辑和撰稿人的版税将捐赠给以下慈善组织:Meédecins Sans Frontières(无国界医生组织,Doctors Without Borders)和导航学会的学生奖学金及奖励计划。

对于本书所包含的很多应用和代码的额外信息,建议读者访问网站:

www.gnssapplications.org。

Scott Gleason
Demos Gebre-Egziabher
2009年8月

目 录

第 1 章 全球卫星导航系统:现在与未来	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 当前和计划中的 GNSS 星座	(1)
1.1.2 GNSS 用户架构	(2)
1.1.3 当前的 GNSS 应用	(4)
1.1.4 定位性能评估	(6)
1.2 GNSS 信号的改进	(6)
1.2.1 增加的 GPS 频率	(6)
1.2.2 高精度测距	(7)
1.2.3 更长的测距码	(7)
1.2.4 更高的传输功率水平	(8)
1.3 先进的接收机技术	(8)
1.3.1 传统接收机	(8)
1.3.2 基于 FPGA 的接收机	(9)
1.3.3 软件定义的 GNSS 接收机	(9)
1.4 路线图:如何使用本书	(10)
1.5 扩展阅读	(14)
参考文献	(14)
第 2 章 GNSS 信号的捕获与跟踪	(15)
2.1 引言	(15)
2.2 GNSS 信号的背景	(15)
2.2.1 BOC 信号调制	(16)
2.2.2 PRN 码	(17)
2.3 PSK 信号的搜索	(18)
2.4 PSK 信号的跟踪	(23)
2.4.1 锁相环(PLL)	(23)
2.4.2 锁频环(FLL)	(24)
2.4.3 延迟锁定环(DLL)	(25)
2.5 BOC 信号的搜索	(27)
2.6 BOC 信号的跟踪	(29)
2.6.1 利用单边带(SSB)技术的 BOC 信号跟踪	(30)
2.6.2 利用多门鉴别器(MGD)的 BOC 信号跟踪	(30)
2.6.3 利用碰撞与跳跃(BJ)算法的 BOC 信号跟踪	(32)
2.6.4 利用双重估计器(DE)的 BOC 信号跟踪	(32)
参考文献	(36)

第 3 章 GNSS 导航:对位置、速度和时间的估计	(38)
3.1 概述	(38)
3.2 位置、速度、时间(PVT)估计	(38)
3.2.1 估计接收位置和时钟偏差	(39)
3.2.2 电离层误差的影响	(42)
3.2.3 卫星-用户几何结构的影响(DOP)	(43)
3.2.4 估计接收机速度和时钟漂移	(44)
3.2.5 估计时间	(45)
3.2.6 使用扩展卡尔曼滤波器(EKF)的 PVT 估计	(45)
3.2.7 通过载波相位定位增强精度	(46)
3.2.8 误差源	(46)
3.3 GNSS 模拟器	(47)
3.3.1 GNSS 模拟器的测量细节	(47)
3.3.2 GNSS 模拟器接口文件	(49)
3.3.3 后处理 GNSS 模拟器输出文件	(50)
3.4 GNSS 模拟器实例	(50)
3.4.1 例 1:简单的导航	(50)
3.4.2 例 2:目的地之间移动	(52)
3.4.3 例 3:FlightGear 航点导航	(54)
3.4.4 例 4:双频计算	(55)
3.4.5 例 5:增加 Galileo 卫星	(57)
3.4.6 例 6:基于航天器的接收机	(58)
3.5 总结	(59)
3.6 DVD 中提供的程序与工具	(59)
参考文献.....	(60)
第 4 章 差分 GNSS:准确性与完好性	(61)
4.1 DGNSS 简介	(61)
4.2 差分 GNSS 的基本原理.....	(61)
4.2.1 误差来源与空间关联度	(62)
4.2.2 局域/区域 DGNSS 改正数和 DGNSS 网络	(65)
4.2.3 DGNSS 改正数的分发方法.....	(66)
4.2.4 DGNSS 改正数的延迟管理.....	(67)
4.3 DGNSS 完好性威胁和抑制	(68)
4.3.1 完好性威胁和 GNSS 故障	(68)
4.3.2 DGNSS 系统故障造成的完好性威胁.....	(76)
4.3.3 信号传播异常导致的完好性威胁	(76)
4.4 总结	(80)
4.5 DVD 中提供的数据	(81)
参考文献.....	(81)
第 5 章 GPS 软件接收机	(86)
5.1 引言和背景	(86)
5.2 许可、开发环境和开发工具	(86)

5.2.1	许可	(86)
5.2.2	GNU/Linux 操作系统	(87)
5.2.3	微软 Windows 系统	(87)
5.2.4	苹果 Mac OS X 系统	(87)
5.2.5	显示接收机输出	(87)
5.3	示例数据集	(88)
5.3.1	数据集 1	(88)
5.3.2	数据集 2, 与 WAAS 修正数据一起使用	(89)
5.4	fastgps 软件接收机的使用	(89)
5.4.1	配置文件	(90)
5.4.2	输出文件	(92)
5.5	fastgps 软件接收机的结构	(94)
5.5.1	定时和时钟管理	(94)
5.5.2	主处理循环	(95)
5.5.3	捕获	(96)
5.5.4	跟踪	(98)
5.5.5	导航	(101)
5.6	对未来改进的建议	(103)
5.7	扩展阅读	(104)
	参考文献	(104)
第 6 章	GNSS 和 INS 的组合: 第一部分	(106)
6.1	引言	(106)
6.2	惯性导航	(107)
6.2.1	惯性传感器	(107)
6.2.2	坐标系	(107)
6.2.3	动力学方程	(108)
6.2.4	系统初始化	(111)
6.2.5	INS 误差模型	(112)
6.3	GNSS/INS 组合的概念	(113)
6.3.1	GNSS/INS 组合的动机	(113)
6.3.2	组合结构概述	(113)
6.3.3	GNSS/INS 松组合	(114)
6.3.4	GNSS/INS 紧组合	(115)
6.3.5	GNSS/INS 深组合	(116)
6.4	滤波/估计算法	(117)
6.4.1	GNSS/INS 扩展卡尔曼滤波器(EKF)概述	(117)
6.4.2	GNSS/INS 系统的时间演化	(119)
6.5	GNSS/INS 组合的实现	(120)
6.5.1	IMU 传感器误差模型	(120)
6.5.2	GNSS/INS 组合: 分步步骤	(122)
6.6	实际考虑的因素	(123)
6.6.1	杠杆臂	(123)
6.6.2	时间要求	(123)

6.7 总结和扩展阅读	(124)
参考文献	(124)
第7章 GNSS 和 INS 的组合:第二部分	(127)
7.1 引言	(127)
7.2 案例 1:低成本 GNSS/INS 组合导航仪	(127)
7.3 案例 2:车辆侧滑估计	(130)
7.3.1 动机	(130)
7.3.2 可观测性	(132)
7.4 案例 3:INS 辅助高精度 GNSS	(133)
7.4.1 GNSS 模糊度解析概述	(133)
7.4.2 INS 模糊度解析的优点	(134)
7.5 软件示例	(135)
参考文献	(135)
第8章 LADAR、INS 和 GNSS 组合导航	(137)
8.1 引言	(137)
8.2 基于 LADAR 的 TERRAIN 组合方法	(137)
8.3 基于 LADAR 的地形参考位置估计	(140)
8.3.1 位置估计和表面 SSE	(140)
8.3.2 穷举网格搜索	(142)
8.3.3 基于梯度的搜索	(143)
8.4 惯性速度误差的估计	(145)
8.5 TERRAIN 系统性能的案例研究	(145)
8.5.1 个案研究 I——通用定位系统	(145)
8.5.2 个案研究 II—精密进近引导系统	(147)
参考文献	(151)
第9章 GNSS 与射频系统结合	(152)
9.1 定位系统备选方案	(152)
9.2 RF 定位类型和分类	(153)
9.2.1 接近(proximity)定位	(155)
9.2.2 无线电测向(DF)和到达角(AOA)定位	(156)
9.2.3 使用多普勒频率定位	(158)
9.2.4 使用信号强度的位置估计	(160)
9.2.5 用时间、相位和到达时间差(TOA、POA 和 TDOA)定位	(161)
9.3 估计方法	(163)
9.3.1 用三角测量作确定性估计	(163)
9.3.2 用最近邻法作确定性估计	(165)
9.3.3 基于非测距的位置估计	(167)
9.3.4 使用质心/中心的概率估计	(167)
9.3.5 贝叶斯状态估计	(168)
9.4 组合方法	(169)
9.4.1 最小二乘组合	(169)
9.4.2 卡尔曼滤波组合	(169)

9.4.3 语境处理.....	(170)
9.5 系统实例	(170)
9.5.1 伪卫星.....	(170)
9.5.2 伪同步.....	(171)
9.5.3 自同步网络.....	(171)
9.5.4 GPS 和相对导航	(171)
9.5.5 基于电视的定位.....	(172)
9.5.6 蜂窝定位系统和 GNSS 的组合	(173)
9.6 DVD 中包含的例子	(173)
9.7 扩展阅读	(174)
参考文献	(174)
第 10 章 航空应用	(178)
10.1 引言	(178)
10.2 航空增强系统的分类	(178)
10.3 GPS 及其增强系统对航空用户的优势	(179)
10.3.1 海上飞行	(179)
10.3.2 陆上飞行:途中导航、终端导航和非精密进近	(180)
10.3.3 精密进近和着陆	(180)
10.4 GNSS 航空导航的未来	(181)
10.4.1 GNSS 现代化	(181)
10.4.2 下一代空中交通管理系统(NextGen)	(182)
10.4.3 航空导航能力备份	(182)
10.5 航空增强系统的功能	(183)
10.5.1 增强系统的性能要求	(183)
10.5.2 正常情况下的误差限	(184)
10.5.3 异常情况下的误差限	(186)
10.5.4 监测	(189)
10.6 结论	(191)
10.7 扩展阅读.....	(192)
参考文献	(192)
第 11 章 GNSS 与罗兰系统组合	(196)
11.1 引言	(196)
11.2 罗兰概述.....	(196)
11.2.1 罗兰 C	(196)
11.2.2 eLoran	(197)
11.3 工作原理.....	(198)
11.4 GNSS/Loran 组合的历史原因	(200)
11.5 组合方案.....	(201)
11.5.1 位置域组合	(201)
11.5.2 距离域组合	(202)
11.5.3 Déjà Vu 导航:距离域组合案例	(205)
11.5.4 距离域组合的完好性	(207)

11.5.5	用于罗兰完好性的准确度改进	(208)
11.5.6	跟踪环境组合	(208)
11.6	结论	(209)
	参考文献	(209)
第 12 章	室内和弱信号导航	(211)
12.1	引言	(211)
12.2	与微弱信号处理相关的注意事项	(212)
12.2.1	弱信号捕获	(213)
12.2.2	时钟稳定性和积分时间	(214)
12.2.3	弱信号跟踪	(214)
12.2.4	互相关和干扰信号	(215)
12.2.5	多径抑制	(215)
12.2.6	未来 GNSS 的好处	(217)
12.3	辅助的可能性和支持系统	(217)
12.3.1	辅助	(217)
12.3.2	GNSS 支持系统	(218)
12.4	弱信号条件下的导航算法	(219)
12.4.1	用户运动的约束	(220)
12.4.2	地图匹配	(220)
12.4.3	自适应算法	(221)
12.5	质量和完好性监测	(221)
12.5.1	完好性监测简介	(221)
12.5.2	可靠性测试	(222)
12.5.3	加权最小二乘法	(223)
12.5.4	残差和冗余	(224)
12.5.5	全局测试	(224)
12.5.6	局部测试	(225)
12.5.7	零假设和备择假设	(226)
12.5.8	用于故障检测与排除的参数	(227)
12.5.9	多个异常	(227)
12.5.10	卡尔曼滤波中的故障检测与排除	(228)
12.5.11	质量控制	(228)
12.5.12	质量控制的实际考虑	(229)
12.6	DVD 中包含的例子	(230)
12.6.1	例 1:弱信号捕获	(230)
12.6.2	例 2:故障检测与排除	(233)
12.7	总结	(234)
12.8	扩展阅读	(234)
	参考文献	(234)
第 13 章	空间应用	(238)
13.1	引言	(238)
13.2	操作注意事项	(238)

13.2.1	航天器速度	(238)
13.2.2	轨道几何结构	(239)
13.2.3	天线方向	(240)
13.2.4	体积和功率	(240)
13.2.5	多径	(240)
13.2.6	信号强度	(241)
13.2.7	环境	(241)
13.3	应用	(242)
13.3.1	精密定轨	(242)
13.3.2	实时导航	(242)
13.3.3	编队飞行和近距离作业	(243)
13.3.4	遥感	(244)
13.3.5	定姿	(244)
13.3.6	高轨 GNSS	(245)
13.3.7	发射、入轨和着陆	(245)
13.4	GNSS 现代化	(246)
13.5	例子:处理来自 GRACE 卫星的原始测量数据	(246)
13.6	总结	(248)
	参考文献	(248)
第 14 章	大地测量和测量学	(251)
14.1	背景介绍	(251)
14.1.1	GNSS 测量技术	(251)
14.1.2	GNSS 大地测量	(253)
14.2	技术概述	(253)
14.2.1	GNSS 大地测量和测量学的数据库模型和处理策略	(253)
14.2.2	数学模型	(254)
14.2.3	基线处理	(256)
14.2.4	定位的网络处理	(259)
14.3	GNSS 地面设施——连续运行参考站(CORS)网络	(259)
14.3.1	IGS 基础设施	(260)
14.3.2	国家 CORS 基础设施	(263)
14.4	测量和大地测量应用及运行模式	(265)
14.4.1	GNSS 测量技术	(265)
14.4.2	GNSS 大地测量	(268)
14.5	未来:下一代 GNSS	(271)
14.5.1	更多卫星和信号的好处	(271)
14.5.2	GNSS 基础设施的提高	(272)
14.5.3	应用和未来	(273)
	参考文献	(273)
第 15 章	使用 GNSS 掩星的大气遥感	(276)
15.1	引言	(276)
15.2	掩星测量	(277)

15.3	大气反演	(279)
15.3.1	弯曲角度廓线推导	(279)
15.3.2	电离层校正	(280)
15.3.3	大气廓线的推导	(281)
15.4	天气和气候应用	(283)
15.5	最新进展	(283)
15.6	DVD 中包含的脚本和数据	(285)
15.7	扩展阅读	(286)
	参考文献	(286)
第 16 章	基于双基 GNSS 反射信号的遥感	(289)
16.1	引言	(289)
16.1.1	传统遥感技术的一般性讨论	(289)
16.1.2	利用 GNSS 反射信号的遥感技术	(290)
16.2	反射几何关系	(291)
16.2.1	表面反射点位置的估计	(291)
16.2.2	延迟和多普勒在表面的分布	(291)
16.3	信号处理	(293)
16.3.1	检测和表面映射	(293)
16.3.2	平均连续相关	(294)
16.3.3	延迟波形与延迟多普勒图	(295)
16.4	遥感理论	(297)
16.4.1	双基表面散射	(297)
16.4.2	双基雷达散射截面	(298)
16.4.3	海面建模	(299)
16.4.4	双基陆地散射	(300)
16.4.5	海冰的双基散射	(301)
16.5	海面测高	(301)
16.5.1	动机	(302)
16.5.2	机载测高	(302)
16.5.3	空间 GNSS 海洋测高	(303)
16.6	海风及海浪遥感	(304)
16.6.1	飞机上的海风及海浪测量	(304)
16.6.2	航天器上的海浪遥感	(305)
16.7	GNSS 双基陆地与冰块遥感	(307)
16.7.1	GNSS 陆地反射的历史与应用	(307)
16.7.2	航天器检测到的地面反射	(307)
16.7.3	GNSS 冰面反射的历史与应用	(309)
16.7.4	航天器检测到的海冰反射	(309)
16.8	DVD 上提供的数据	(312)
16.8.1	镜面反射点计算脚本	(313)
16.8.2	表面散射模型	(313)
16.8.3	航天器数据和处理工具	(313)

16.9 扩展阅读.....	(313)
参考文献	(314)
第 17 章 发展中的新导航信号和未来系统.....	(317)
17.1 GNSS 的历史	(317)
17.1.1 GPS	(317)
17.1.2 卫星载波信号的调制	(318)
17.2 发展的目的	(318)
17.2.1 Galileo 运行的主要概念	(319)
17.3 新调制策略	(320)
17.3.1 现有的扩谱符号——BPSK 调制	(320)
17.3.2 二进制偏置载波(BOC)调制	(322)
17.3.3 多路复用 BOC 调制.....	(328)
17.3.4 复合 BOC 调制.....	(329)
17.3.5 时分多路 BOC 调制.....	(331)
17.3.6 其他扩频符号调制方案	(332)
17.3.7 交替 BOC(AltBOC)调制	(334)
17.4 信号多路复用技术	(336)
17.4.1 QPSK	(337)
17.4.2 Interplex	(337)
17.4.3 其他技术	(338)
17.5 干扰	(338)
17.5.1 性能指标	(339)
17.5.2 频谱分离系数(SSC)	(341)
17.6 建议的系统和信号特性列表	(345)
17.6.1 全球 CDMA 卫星导航系统 I:GPS	(345)
17.6.2 全球 CDMA 卫星导航系统 II :Galileo	(347)
17.6.3 全球 CDMA 卫星导航系统 III :Compass	(348)
17.7 总结	(349)
参考文献	(349)
作者简介	(350)

第 1 章 全球卫星导航系统:现在与未来

Scott Gleason, Demoz Gebre-Egziabher

1.1 引言

虽然“导航”一词还没有普遍认同的定义,但本书用这个词来描述确定一个物体的位置、速度以及某些情况下确定其姿态(或方向)的过程。这个物体(如一辆车)的位置、速度和姿态是我们想要知道的,称为用户,而产生位置、速度和姿态的解的系统就是导航器。位置、速度和姿态解一起被称为用户的导航状态矢量。对很多应用来说,一种产生用户导航状态矢量的准确、可靠的方法是必不可少的。然而,在全球卫星导航系统(GNSS)出现之前,精确导航几乎是为那些非常熟练的导航员或者那些能买得起昂贵导航系统的人而准备的。现在,GNSS 使得大众都负担得起精确导航。通过处理已知轨道上的卫星所传递的信号,GNSS 被用来产生对位置、速度和时间的估计。在现代导航中,一个最重要和最普遍的应用实例是被称为全球定位系统(GPS)的 GNSS。它的准确性、普及性和低成本使它成为很多用户的导航和授时系统的选择。

在过去的 10 年,综合利用准确定位和授时信息的军事、商业和科学应用的数量大幅增加。有趣的是,很多应用不是或不可能是最初的设计者所能预见的。例如,其中很多应用将目光投向在原来并不打算使用的环境中使 GPS;也就是说,GPS 过去主要是为有清晰视野的户外应用设计的。这种进入到新用户领域的扩展产生了 GNSS 的大量新应用,很多超出了导航和制导的领域。当前很多应用的普及,使得有理由期待新颖的基于 GNSS 的应用数量会持续增加。

本书是为具备 GNSS 基础知识的读者而编写的,旨在为他们提供深入研究 GNSS 实践性知识的机会。这很快就能实现,通过亲身体验一下用来实现很多 GNSS 基础应用的算法即可。本书还向读者介绍了很多新颖的 GNSS 应用,包括超出基本的导航和授时应用的系统的使用,而最初的系统是为这些基本应用而设计的。为此,本章首先概述现有的 GNSS 星座;接着讨论由于使用 GNSS 而产生的一些流行的应用;然后,讨论与现有 GNSS 星座和在建新星座的现代化计划有关的特点和问题,其中包括对现代 GNSS 接收机技术的一个简短讨论;最后,是本书的“路线图”和关于本书所提供资料的使用方法的建议。

1.1.1 当前和计划中的 GNSS 星座

GNSS 是为地球用户或空间用户提供定位和授时信息的卫星星座。目前正在运行的 GNSS 中,使用最广泛的是 GPS。GPS 名义上由接近 12 小时轨道上的 24 颗卫星组成(尽管目前在轨超过 24 颗),该系统由美国国防部设计实现,服役后,其扩充程度少有人能预测。除了军事应用之外,已经出现了大量的商业和公共用户及应用。

一个有代表性但并不完全的列表包括:将 GPS 接收机置于海洋浮标上以测量海浪高度和方向^[1];监控地球的地壳变形^[2];用掩星技术遥感大气,正如用 CHAMP 卫星实现的那样^[3]。

除了 GPS,近几年完全投入运行的另一个 GNSS 是俄罗斯联邦的 GLONASS。GLONASS 曾运行着全星座的 24 颗卫星(主要是在 1996 年),2001 年减少到 8~10 颗工作卫星^[4]。

近几年,关于 GLONASS 系统未来的不确定性限制了接收机处理信号的需求和可用性。在并不清楚 GLONASS 的未来会是什么样的情况下,目前,GLONASS 信号以及能够处理这些信号的接收机的可用性出现了复苏。

尽管 GPS 得到了普遍应用,但很多用户仍对可替代它的系统感兴趣。促使他们这么做的部分动机是因为 GPS 是一个由美国国防部操纵和控制的系统。因此,有些用户想要保有不唯一基于 GPS 的导航能力。另一个技术上的动机是由于 GPS(或者任何其他 GNSS)是一个单系统,可以想象一个失误就会导致大量用户得不到服务。多 GNSS 可以提供一定程度的冗余,从而在一定程度上增加了 GNSS 应用的鲁棒性。

Galileo 星座是欧盟的成果,它既是 GPS 的替代物又是对 GPS 的补充。第一颗 Galileo 卫星于 2005 年 12 月发射,不久之后开始发送测试信号^[5]。Galileo 星座有望在 2010 年后开始运行。(译者注:目前 Galileo 星座仍未开始运行,其全运行(FOC)计划已经推迟。)

在 GPS、GLONASS 和 Galileo 之外,目前还有其他发展中的 GNSS,如中国的 COMPASS 星座。这个 GNSS 是由中国设计实施的,目前基于中国区域的用户群正在增长。COMPASS 当前处于在轨验证(IOV)阶段,计划在 2010 年前在亚太地区投入使用。未来数年大量补充发射被提上了日程,计划中全运行星座(FOC)有 5 颗静止卫星和 30 颗中地轨道卫星覆盖全球。第 17 章将更详细地讨论 GNSS 的未来及其信号。(译者注:COMPASS 计划于 2012 年前部署完成区域系统,全球系统将于 2020 年部署完成,包含 5 颗 GEO 卫星、3 颗 IGSO 卫星和 27 颗 MEO 卫星。)

1.1.2 GNSS 用户架构

采用多种配置使用 GNSS 信号进行导航是可能的。以下各节是一个最通用配置的概述。

1.1.2.1 独立卫星导航

独立卫星导航是 GNSS 导航的基本方法,接收信号只来自一个 GNSS 星座,如公用的 GPS 标准定位服务(SPS)。它包括的应用如只用一个独立接收机辅助船只在进出港时找到方向。正如第 3 章和第 4 章所阐述的那样,独立的 GNSS 只能用于有限的应用。很多应用不是渴望就是需要其精度比独立 SPS 所能提供的精度更高。由于这个原因,GNSS 常与其他传感器和信号结合使用。

1.1.2.2 差分 GNSS(DGNSS)导航

差分系统主要是为了改进 GNSS 接收机位置估计的精度,同时也提供位置完好性的信息。经常使用差分载波相位 GNSS 应用的一个例子是测绘工程。图 1.1 展示了一个 DGNSS 实现的基本配置。

“差分”是指引入差值来抑制独立导航估计中存在的一些误差,以改善用户对于自身位置的认知。差分系统通常包含一个参考系统,测量某些卫星系统误差并通过无线电链路传输给附近的用户。覆盖北美的广域增强系统(WAAS)就是此类系统的一个例子。

1.1.2.3 网络辅助 GNSS(A-GNSS)导航

一个通信网络无论何时被用于为 GNSS 接收机传递信息,它都可叫做接收辅助。这被称为辅助 GNSS 或 A-GNSS。鉴于此,前面描述的 DGNSS 可被看做是 A-GNSS 的子集。这种