

AH

国防电子信息技术丛书

A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS

辅助GPS 原理与应用

[南非] Frank van Diggelen 著

孟维晓 马永奎 高玉龙 译

电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国防电子信息技术丛书

辅助 GPS 原理与应用

A-GPS

Assisted GPS, GNSS, and SBAS

[南非] Frank van Diggelen 著

孟维晓 马永奎 高玉龙 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书依托于作者在导航定位领域几十年的研究与工程实践经验,深入浅出地讲解了辅助定位技术与 GPS 接收机设计方面的内容,并对未来 A-GNSS 技术的发展方向做出了前瞻。全书在回顾标准 GPS 技术结构的基础上,具体分析了 GPS 系统引入辅助技术的原因,而后结合理论和仿真案例对无精确定时条件下的 A-GPS 技术辅助定位原理进行了详细论述,并讨论了 A-GPS 技术辅助信息的特殊形式、在不同模块中的工作原理及 A-GPS 的工业标准和政府规范。另外,本书也对高灵敏度 GPS 接收机的整体设计理念给出了详细的指导。

本书讲解细致、内容丰富,具有重要的工程实践参考价值,适合作为导航定位技术相关专业的本科生和研究生的参考书籍,也可供相关领域的工程技术人员参考学习。

© 2009 Frank van Diggelen.

685 Canton Street, Norwood, MA 02062.

本书中文翻译版专有出版权由 Artech House Inc. 授予电子工业出版社,未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2010-8184

图书在版编目(CIP)数据

辅助 GPS 原理与应用/(南非)迪格伦(Diggelen, F. V.) 著;孟维晓,马永奎,高玉龙译.

北京:电子工业出版社,2013.1

(国防电子信息技术丛书)

书名原文:A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS

ISBN 978-7-121-17052-2

I. ①辅… II. ①迪… ②孟… ③马… ④高… III. ①全球定位系统 IV. ①P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 099034 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:李秦华

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

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:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:504 千字

印 次:2013 年 1 月第 1 次印刷

定 价:59.00 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 zltz@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

随着导航技术的进步与普及,全球定位系统(GPS, Global Positioning System)应用也变得越来越重要和多样化,能为精细农业、科学研究(野外生物学、气象学、地球科学)、环境监测、突发事件和灾害评估、安全保障、天体与建筑工程,以及自然资源分析等方面,提供实时、全天候和全球性的导航服务,从而广受世人关注。GPS接收机处于室外可拥有相对良好的信号质量,然而人们希望在任何地点都能使用GPS,包括在室内等弱信号环境下工作,基于此出现了辅助GPS(Assisted GPS, 辅助全球卫星定位系统)的构想和技术。A-GPS结合地面网络资源与传统卫星定位,利用基站代为传送辅助卫星信息,以缩减GPS芯片获取卫星信号的延迟时间,受遮盖的室内GPS设备也能借基站接收辅助信息,减轻GPS设备对卫星的依赖度。与纯GPS、基站三角定位相比,A-GPS能提供范围更广、更省电、速度更快的定位服务。

本书作者是A-GPS领域的技术专家,他参与制订了应用于个人导航设备和移动电话中的A-GPS接收机的设计方案。为了将民用A-GPS的设计思想和实际设计中的处理方法与读者分享,作者编写了*A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS*一书,其最大特点是层次条理清晰,内容由浅入深,无论对于GPS领域的初学者还是有经验的工程设计人员都很适用。本书可以分两个层次阅读,每一章的第一节都是本章的学习指南,总结了该部分的主要内容,可以作为A-GPS的浅显易懂的非技术性概括,从第二节开始是具体知识讲解,表述清楚,易于为读者所接受。在较难懂的部分,本书通常会配以表格或图解,具有直观性和易懂性。

本书的内容共分10章,第1章和第2章描述了GPS系统和A-GPS系统,第3章详细介绍了A-GPS系统中辅助信息的内容,第4章和第5章讲解了不同时间精度对导航结果的影响,第6章阐述了高灵敏度A-GPS接收机的设计,第7章引入A-GPS系统中辅助数据的生成,第8章描述了扩展星历的产生及其所起的作用,第9章介绍了相关的工业标准和政府规定,最后,在第10章中展望A-GNSS未来的发展和前景。

译者投入了大量时间和精力,在原书出版两年后完成了全书的翻译工作,将中译本奉献给广大读者,盼望能够为读者所接受,并诚恳希望得到来自各方面的指教与建议。希望我们能够为我国全球卫星导航技术的研究和导航定位技术的发展尽绵薄之力。

本书的读者对象可涵盖参与研究、开发、系统设计、试验和应用GPS/GNSS的全球卫星导航技术的相关从业人员,同时导航和通信领域的高年级本科生和研究生也可将本书作为参考书籍。

本书由孟维晓教授、马永奎副教授、高玉龙副研究员三位教师翻译。其中,孟维晓教授负责主审和整体的统稿工作,并完成前言、第1章至第4章的翻译工作,第5章至第7章由马永奎副教授翻译,第8章至第10章、附录、表及索引由高玉龙副研究员翻译。此外参与文档整理、录入和校对的人员还有哈尔滨工业大学电子与信息工程学院通信工程系的几位博士及硕

士研究生，他们是：刘恩晓、陈雷、史雨薇、方睿、李殿为、王晓宇、谭萍等。在此对他们所付出的努力表示衷心的感谢！

由于本书涉及面广，译者的翻译水平及技术能力有限，译本中难免存在不当或欠妥之处，恳请广大读者和专家批评指正。

译 者
于哈尔滨工业大学

序

自从我们中的一部分人有幸参与 GPS 的设计, 35 年的时间已经过去了。Transit、Timation、621B、DNSS 和原子钟等系统和设计都为 GPS 提供了基础。虽然 GPS 最初被缺少导航理论知识的技术人员认为是无用的冒险, 但现在 GPS 已经变得家喻户晓, 其在飞行器、船舶、测量、建造, 特别是手机和汽车等业务范围内拥有数以百万的用户(大多是民用方面)。

辅助 GPS(A-GPS)是 GPS 广泛应用的一个重要手段, 特别是对于手机和其他便携设备。A-GPS 融合了 GPS 和通信工具, 并利用了低功耗的 GPS 芯片和数以千计的相关器。GPS 卫星能够利用有限的功率为地面上数千英里^①范围内的用户提供服务。A-GPS 通过单独的通信信道可以提供重要的信息, 从而极大地提高了 GPS 接收机的处理能力, 使接收机可以成功地工作在诸如建筑物内部、森林和山丘等地区和环境, 这些地区和环境中的 GPS 信号可能被部分减弱, 对信号接收不利。

辅助全球定位系统、全球导航卫星系统和星基增强系统, 由 Frank 博士汇集了这些技术及其理论, 并重点强调其已经实用或即将实用的产品和芯片组的实例。他利用大量 MATLAB 代码的例子, 以及为数众多的图表信息补充对 A-GPS 的描述。此外他还从实用的角度规范了行业标准。他利用对未来 A-GNSS 的展望进行了总结, 其中包括新一代 A-GPS 和其他即将在轨的辅助全球导航卫星系统。

James J. Spilker 博士, 美国国家工程院院士
电气工程和航空航天咨询部教授
· 斯坦福大学定位、导航和授时中心创始人之一
2009 年 3 月

① 1 英里 \approx 1.609 km——编者注。

前 言

本书最初为那些参与研究、试验、设计或应用 GPS/GNSS 的全球卫星导航技术专业人士准备的,同时大部分内容也适合于非专业的读者。为了达到这两个目的,本书在每章之初都会对该章内容进行概述。非专业的读者和那些想要快速理解全书内容的读者可以先阅读第 1 章的全部内容,然后是 2.1 节和 3.1 节等。这大约 50 页左右的内容就像一个嵌入的学习指导。

对于 GPS 技术的专业人士,本书就是一本完整的辅助 GPS 设计指导:它是为那些熟悉基础的 GPS 工程师和科学家设计的。

笔者在最初的 GPS 系统运行前,就参与了 GPS 接收机的开发工作。在过去十年中,笔者参与的 A-GPS 接收机设计方案与装置已经安装在了世界范围内的数以千万的个人导航设备和移动电话中。因此,本书介绍了商用 A-GPS 的实际设计思想。着重讲解了工业生产中的实际工作。因此,读者可能会注意到,有些问题与大多数 GPS 教材中描述的常规处理方法不同,尤其是在高灵敏度的信号处理领域。这主要是对实际工作的一种反映,同时还表达了另一层意思,即对早期工作中已经覆盖或者涉及的某些主题,提供一种可选择的研究方法。因此,如果发现某些论述不是所习惯的,希望这是由于新的方法所造成的。

尽管本书的目的是提供实用技术,但我们不回避必要的理论细节。第 4 章和第 5 章讲解导航时,详细讲解了线性代数;第 6 章(高灵敏度)提到了很多数字信号处理中的统计分析知识。为了使文章更容易理解,我们提供了 MATLAB 的工作实例(包括可以阅读、复制并运行的 MATLAB 脚本)来说明某些概念或复制的结果。

本书基于一门在 2001 年 3 月第一次授课的室内 GPS(或高灵敏度的 A-GPS)方面的课程。第 6 章讲解了高灵敏度接收器设计,几乎与本书的其他部分无关。本书的其余部分涉及了 A-GPS 的其他方面,其中包括辅助数据的生成与分析;GPS 导航的数学知识,特别是粗时间导航;长期轨道;行业标准;政府的规定和未来的辅助全球导航卫星系统。

作为实际解决方法的一部分重点,本书包括一个附录,以介绍辅助全球导航卫星系统设计师和研究人员日常工作中经常用到的转换因子和首要规则表。这些表包括对每个议题的分析和有关章节的交叉引用。笔者每天都在案头参考这些表,希望读者同样能得到帮助。

笔者感谢读者指出错误并且提出改进建议(www.frankvandiggelen.com)。

致 谢

笔者有幸与许多杰出的 GPS 工程师一起共事。Navsys 公司的 Alison Brown 博士、Charles Abraham, 还有同时在 Ashtech、Global Locate、Broadcom 公司效力的 Sergei Podshivalov 三位 GPS 工程师, 他们都才华横溢, 知识渊博, 并且经常抽出宝贵的时间与笔者交流。可以说没有他们的帮助, 本书会黯淡不少。

本书的材料源自 2001 年为 NavtechGPS 公司开设的一门课程。这些年 NavtechGPS 公司的 Carolyn McDonald、Keith McDonald、Franck Boynton、F' Lynne Didenko 及 Yelena Teterina 都一直在帮助笔者准备并讲授这门课程。笔者在 Global Locate 的同事是其授课的第一批实验对象。当时约有 20 人参加了笔者的授课, 其中大部分人现仍与笔者共事, 他们是 Alex Usach、Chris Lane、Charles Abraham、David Lundgren、Don Fuchs、Emre Tapucu、Huan Phan、Javier de Salas、John Pavan、Keith Evans、Phong Van、Scott Pomerantz、Serge de la Porte、Sergei Podhsivalov 和 Vinny Hyunh。

在 2007 年 Global Locate 公司被 Broadcom 公司收购后, 笔者开始萌发把这门课程的教案改编成一本书的想法。由于 Broadcom 公司的 Scott Pomerantz、Bob Rango、Nambi Seshradi、Henry Samueli, 还有 Artech House 出版社的 Mark Walsh 的热情支持, 才得以梦想成真。

很荣幸能与斯坦福大学的 GPS 小组合作, 通过 2008 年暑期的一些讲座, 对书中的每一章都进行了校对与讨论。许多想法与观点都要感谢这个小组的成员: Alan Chen、Alex Ene、David De Lorenzo 博士、David Powell 教授、Di Qiu、Godwin Zhang、Jiwon Seo、Aalborg 大学的 Kai Borre 教授、东京海洋大学的 Nobuaki Kubo 教授、Shankar Ramakrishnan、Todd Walter 博士、Tom Langenstein、Y. C. Chao 博士。尤其要感谢 Per Enge 教授与 Sherman Lo 教授组织了这些讲座, 感谢 Juan Blanch 博士优化了第 5 章的多状态定理的证明, 感谢 Grace Gao 博士对第 3 章、第 6 章及第 10 章大部分的录入工作, 感谢 James Spilker 教授对每章的录入及建议, 并使笔者领悟到配有完整、详细说明的优质图片是十分重要的。

还要感谢 Skyhook Wireless 公司的 Farshid Alizadeh 博士对第 7 章的贡献。

移动通信的行业标准是很难理解的, 并且字母缩写表不断变化, 这里要对 Broadcom 公司的 Javier de Salas 和 Nokia 公司的 Jari Syrjarinne 博士表示由衷地感谢, 多谢他们为第 9 章的行业标准所做的工作, 以及对 ME-PE 结构和接口的描述。

从初始文稿与半成形的理论中理清头绪是十分困难的, 很感激笔者的同事所做的出色工作。十分感谢 Jason Goldberg 博士围绕第 6 章进行富有建设性的探讨; 感谢 Emre Tapucu 在午餐时讨论的一些问题; 感谢 Roberto Zanutta 渊博的专业知识; 感谢 Randall Silva 对 Talon NAMATH 系统做出的贡献以及他夯实的 GPS 知识; 感谢 Richard Najarian 对政府规定的研究; 感谢 Hongming Li 博士、Vijay Venkatasubramanian、Matt Riben 及 Premal Medhani 对轨道分析和 SBAS 方面的录入, 还要感谢 Kathy Tan 对第 4 章的审阅及修改。

最后, 也是最重要的, 要感谢笔者善解人意的妻子 Alison 和两个孩子 Lewis 和 Tanera, 他们能容忍笔者从早到晚甚至在周末也在忙于这本书的撰写工作, 现在他们对 GPS 的了解已今非昔比了。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 A-GPS 概述	1
1.2 本书内容结构	3
1.3 民用卫星导航信号	3
1.4 理论与实践方法	4
1.5 术语:辅助全球定位系统(A-GPS), 辅助全球导航卫星系统(A-GNSS)	4
1.6 本书读者定位	4
1.7 本书的新内容	5
参考文献	5
第 2 章 标准 GPS 回顾	7
2.1 概述:GPS 是如何设计的	7
2.2 GPS 信号功率	8
2.3 卫星轨道	10
2.4 卫星时钟	15
2.5 星历	17
2.6 GPS 信号	18
2.7 GPS 接收机的基本功能	20
参考文献	22
第 3 章 辅助, A-GPS 中的“A”	25
3.1 捕获和辅助概述	25
3.2 频率/码延迟搜索空间	28
3.3 标准 GPS 系统的频率/码延迟搜索	30
3.4 跟踪、重新捕获和辅助	34
3.5 移动台辅助和基于移动台的 GPS	35
3.6 A-GPS 频率辅助	35
3.7 A-GPS 码延迟的时间辅助	39
3.8 典型的辅助方案, 辅助冷启动	43
参考文献	48
第 4 章 粗时段导航——瞬时 GPS	49
4.1 概述	49
4.2 导航, 代数描述	51
4.3 粗时导航方程	54
4.4 毫秒整周期和常见的偏差	56

4.5 更多导航细节	77
参考文献	80
第5章 粗时间精度衰减因子	82
5.1 概述:水平精度衰减因子、精确度、3GPP 标准	82
5.2 额外状态定理	84
5.3 粗时间 HDOP 例子	92
参考文献	101
第6章 高灵敏度:室内 GPS	102
6.1 概述	103
6.2 标准 GPS 接收机架构	106
6.3 前端分析	107
6.4 相关和相干累积	112
6.5 高灵敏度接收机结构	127
6.6 更长的相干累积时间	130
6.7 I、Q 平方和非相干累积	136
6.8 高灵敏度信噪比工作表	148
6.9 其他影响灵敏度的因素	167
6.10 高灵敏度小结	177
参考文献	177
第7章 辅助数据的生成	180
7.1 概述	180
7.2 参考站	182
7.3 全球性参考站网络	183
7.4 辅助数据中的初始位置	189
7.5 手持终端生成的端到端辅助数据	189
参考文献	190
第8章 扩展星历和长期轨道	192
8.1 概述:没有辅助时的辅助	192
8.2 扩展星历的产生	195
8.3 运用扩展星历代替完整 A-GPS 的增强自主系统	205
8.4 完好性监测——处理轨道和时钟变化	215
参考文献	216
第9章 工业化标准和政府规定	219
9.1 概述	219
9.2 3GPP 定位标准	223
9.3 3GPP2	225
9.4 OMA-SUPL	225

9.5	A-GPS 手持终端的最低运行性能要求	226
9.6	测量单元和定位单元	229
9.7	政府授权	232
	参考文献	234
第 10 章	A-GNSS 的前景	237
10.1	概述	237
10.2	原始 GPS 中的意外收获与智能化设计	238
10.3	未来 A-GNSS 系统的 TTFF、灵敏度和精度	243
	参考文献	258
附录 A	导航方程的推导	260
附录 B	HDOP 与多状态定理的替代证明	268
附录 C	分贝、莱斯分布和瑞利分布	271
附录 D	星历	273
附录 E	转换因子、经验法和常数	280
	术语、定义和常用符号	282

第1章 绪 论

A-GPS 可以为你提供怎样的服务？截至 2004 年，美军应用最广泛的一款 GPS 接收机是 PLGR^[1, 2]。这是一款五通道，L1 单频点接收机，其首次定位时间超过 1 min，并且价格要超过 2000 美元。PLGR 能够接收加密的 P 码军用信号，防水，质量为 3 磅^①，并且比现代的任何手机都稳定。然而，现代手机大多数都应用了能够在 1 s 内就计算出位置并能捕获比 PLGR 低 100 倍信号的 A-GPS，并且手机所增加的成本还不到 5 美元。这就是进步。

当然，A-GPS 为了达到这种性能，还有很多系统和实现的问题需要解决，这就是工程师的任务所在，以及本书的主要目的：详细描述 A-GPS 系统，探究本领域内的挑战与问题，并指出如何去克服它们。

1.1 A-GPS 概述

辅助全球定位系统(A-GPS)，在接收卫星信号的同时，还能够通过备用通信信道提供的信息来提高标准 GPS 性能。图 1.1 和图 1.2 给出了 A-GPS 的概况。注意到 A-GPS 并未使接收机省去接收和处理卫星信号的步骤，它只是使这项工作简化了，使需要从卫星接收的信息量和时间量最小化。A-GPS 接收机仍然通过卫星进行测量，但比无辅助的接收机更快，可处理更弱的信号。

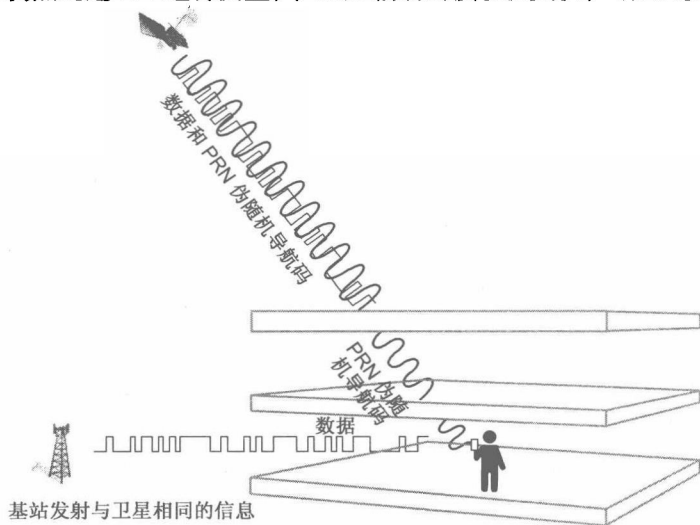


图 1.1 A-GPS 概述——数据和编码。每个 GPS 卫星发送伪随机噪声 (PRN) 码，形成数据流。伪随机码在图中用正弦曲线表示，数据用方波表示。信号通过障碍物后会变弱；此时，可能检测不到数据，但是可以检测到扩频码。在一个 A-GPS 系统中，相同或者等效的数据通过小区基站发射。因此，A-GPS 接收机能接收与卫星信号没有阻塞时相同的信息。与此类似，因为数据从小区基站传输到接收机比从卫星传输快得多，因此即使卫星信号不被阻碍，A-GPS 接收机的定位计算也比标准 GPS 接收机快

① 1 磅 ≈ 0.454 kg——编者注。

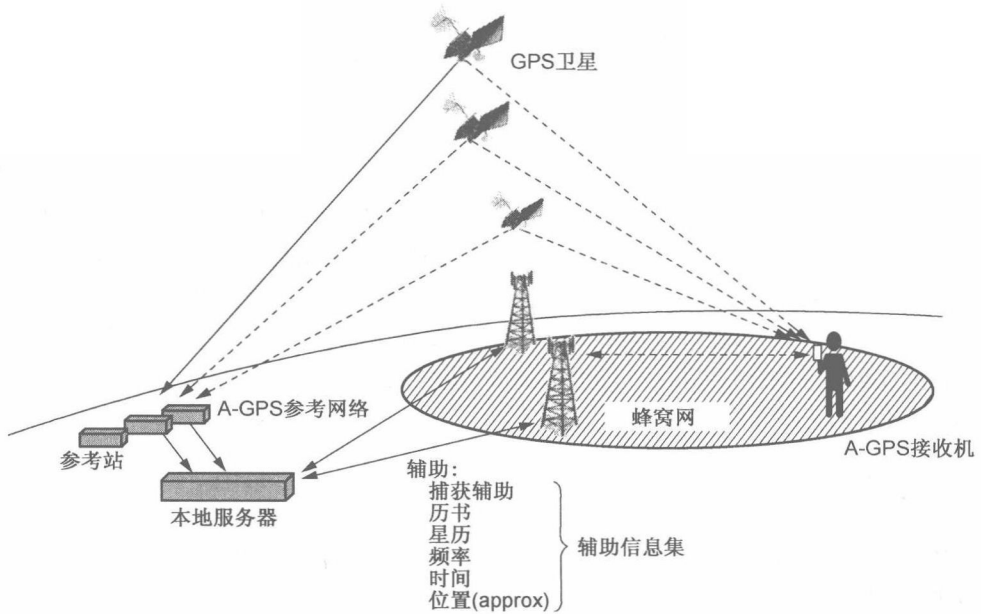


图 1.2 A-GPS 概述——系统描述。卫星数据通过 A-GPS 参考网络和定位服务器进行收集和 处理。辅助数据通常（不是必需的）通过无线网络提供，最常见的是通过蜂窝小 区的数据信道。A-GPS 接收机的近似位置通常可以从小区基站的位置数据库中得到

GPS 最初被设计用来引导导弹、飞机、士兵和海员。在这些情况下，GPS 接收机需要处于 室外并且工作在天气晴朗的条件下。该系统冷启动大约需要 1 min，然后将持续工作。现在 GPS 更多用于民用而非军事用途。与人们的普遍观点不同，GPS 的民用需求已经大大超过以 往。目前人们希望在任何地点都能使用 GPS，甚至有时包括在室内也能工作；在需要几乎是 即时单点定位的环境下已经出现了定时定位应用，实现这些功能的同时，还要保证主设备的 成本、尺寸、功耗增加要尽量少。这些需求推动了 A-GPS 的发展。

要计算一个位置（或方位），GPS 接收机必须先搜索并接收每颗卫星的信号，然后解码卫 星的数据。我们可以用 FM 收音机做类比来理解这个过程。第一次搜索信号就好比在长途旅 行中打开车上的 FM 收音机寻找一个电台。由于卫星高速运动（超过 3 km/s）产生的多普勒 频移而使每颗卫星都处于不同的频率。观察到的多普勒频移是观察位置的函数。在接收机知 道自身位置之前多普勒频移是无法计算的。标准的 GPS 接收机会像调收音机旋钮一样穷举 搜索所有可能的频率。搜索到信号后需要对数据解码给出卫星的位置。这类似于一旦搜到了 电台后将等待电台报台来确定这是什么电台。只有接收机解码卫星数据并计算出卫星位置后 才能计算用户的位置。

A-GPS 通过提供信息使 GPS 接收机在捕获之前就知道应该捕获的频率范围，然后辅助数 据再提供用来计算 GPS 用户位置的卫星位置。捕获了卫星信号后，剩下的工作就是伪距测量 （这需要几毫秒，而不是几分钟），然后 A-GPS 接收机开始计算用户的位置。首次定位时间从 1 min 的量级缩短到 1 s 的量级。

此外，由于 A-GPS 接收机被设计的预先知道需要搜索哪个频率，接收机的结构变得允许

进行更长时间的累积,从而增加了在每个特定的频率接收到的能量。这增加了 A-GPS 接收机的灵敏度,并允许它捕获更弱的信号。

1.2 本书内容结构

本书可以分两个层次阅读。每一章的第一节都是本章的学习指南,作为 A-GPS 的非技术性概括。因此,非专业性的读者应该侧重于 1.1 节和 2.1 节等,在钻研细节前能对本书有一个总体的了解。对于专业读者,详细的章节都在概述章节之后。如果起初只是想要对本书内容有一个概括性了解,概述的章节将满足你的所有需要,可以日后在书架上找到这本书阅读详细内容。

为什么 GPS 首先需要辅助?答案在第 2 章和第 3 章。在第 2 章中,我们回顾了标准 GPS 系统的应用初衷是什么(室外连续导航),以及如何设计标准的 GPS 接收机。这揭示了 GPS 系统和标准接收机的缺陷:信号很微弱,接收机只能在室外工作,即便如此它首次定位还需要一个相当长的时间。这些技术细节上的缺陷以及据此提出的解决方案在第 3 章中进行讲解,在那里提到了 A-GPS 中的“A”。我们了解辅助数据是如何减少寻找信号所需的搜索次数,然后了解辅助数据如何使来自卫星的所需信息量最小化。这两个技术共同作用从而改善首次定位时间。此外,由于接收机不必在大范围内搜索信号,它可以在搜索范围内停留接收更长的时间,增加了灵敏度使其能够捕获到更弱的信号。

第 4 章涵盖了 A-GPS 首次定位如何及时完成的细节问题,这种技术被称为粗时导航。

第 5 章通过检测精度衰减因子(DOP)解释了粗时导航对定位精度的影响。

第 6 章是一个大章节,详细说明了如何针对高灵敏度设计 A-GPS 和接收机,使接收机能够在更多的地方(甚至在室内)工作。

第 7 章介绍了如何生成辅助数据。

第 8 章着眼于特别形式的辅助数据,如星历扩展或长期轨道数据,可以预测未来数天内精确的卫星轨道。

第 9 章涵盖了 A-GPS 的产业标准和移动电话定位的政府授权。

在第 10 章,展望未来的 A-GNSS 系统。我们回顾了 A-GPS 中使用的 GPS 的一些功能,然后根据从 A-GPS 的设计中吸取的能够改善首次定位时间、灵敏度和准确性的经验探讨了未来的全球导航卫星系统的功能特点。

1.3 民用卫星导航信号

本书关注的是使用最广泛的 GPS 民用信号的应用,如手机和个人导航设备。这种民用信号指的是 GPS L1 频点的 C/A 码。

据统计,超过 99% 的 GPS 接收机是 L1 单频点 C/A 码接收机。通过销售的手机与个人导航设备(PND)中的接收机的数量与双频接收机及军用接收机的数量之间的比较很容易知道这一点。

移动电话每年销售数量超过 10 亿^[3]。2008 年,带有 GPS 功能的手机的数量估计为 2 亿 4 千万^[4]。2009 年和 2011 年之间,出售的新手机中包含 GPS 接收机的将占出售手机总数的 30%^[4-6]。目前这些在移动电话中的接收机都是 GPS L1 C/A 码接收机。

2007 年, 售出个人导航设备的数量约为 3500 万台^[7, 8]。

2008 年, 应用于精确定位(如测量)的双频接收机总数约为 30 万^[9]。

军用或 P 码接收机的总数估计不到 200 万, 这是基于一些应用最广泛的军用接收机的公开数字: PLGR(总数 200 000 台), DAGR(总数 200 000 台)和 GB-GRAM(总数 40 000 台)^[2, 10]。

综上所述, L1 单频 C/A 码民用接收机在 2009 年可出售 3 亿多台。军用 P 码接收机和双频接收机的总数估计不到 300 万; 即不到所有 GPS 设备的 1%。

本书主要关注 GPS L1 C/A 码信号, 并没有涉及军用 P 码或 GPS L2 频率。

1.4 理论与实践方法

在本书对 A-GPS 的分析、设计和解释方法都尽可能地符合实际工程方法。因此, 我们不仅给出理论依据, 而且还利用 MATLAB 脚本来说明和分析。本书主要介绍的是关于 A-GPS 在实际中是如何工作的。书中的材料源于一个 2001 年开办的关于高灵敏度接收机设计的课程^[11], 该课程目前已经有 300 多名 GNSS 工程师和研究人员参加过。

书中大部分内容在之前的 GPS/GNSS 的教科书中都没有提及, 尤其是粗时导航, 粗时 DOP, GPS 多普勒导航和高灵敏度设计的一些细节。你可能会觉得书中的某些内容有些深奥, 但这些知识都会在第 9 章进行重新描述, 第 9 章讲述了实际应用 A-GPS 设备的设计理论和方法。在本书中所涵盖的许多内容已被应用在 Hammerhead A-GPS 接收机。由 Global Locate(即现在的 Broadcom)和 Infineon 生产的 A-GPS 芯片被应用于许多各种各样的 PND 和移动电话, 并且是 2008 年到 2009 年世界上销量最大的独立 GPS 芯片^[6, 12]。

有些内容对于熟悉传统 GPS 设计的读者可能显得有些不同寻常。这是一个自然的结果, 也是本书的预期目标。说是自然的结果, 是因为该设计方法是紧随最先进的 A-GPS 的技术发展水平, 因此其不同于传统的做法; 另一方面, 说是预期目标, 是因为我们有意地采用了在许多优秀的 GPS 文章中已提出的关于这一主题的其他方法, 以使本书不再重复已有的方法, 而是对其进行补充。

1.5 术语: 辅助全球定位系统(A-GPS), 辅助全球导航卫星系统(A-GNSS)

在本书中, 主要使用术语 A-GPS。这不是一个形式的问题(GPS 和 GNSS 之间的选择), 而是因为要着重描述 GPS 系统的设计特点。我们将探究对于不同的 GNSS 系统的不同设计细节, 并且书中大多数内容都侧重于 GPS 的 L1 频点的 C/A 码。按此方法, 会指出对于其他的 GNSS 系统哪些方面做出了改变。而在第 10 章, 将视角扩展到现有的和计划中的导航系统: GPS III, GLONASS(格洛纳斯), Galileo(伽俐略), Compass(北斗), QZSS, IRNSS 和 SBAS。

1.6 本书读者定位

本书主要是为已熟悉标准 GPS 系统的 GPS/GNSS 工程师、学生以及研究人员所设计的, 同时也为对如管理、销售、营销和购买 A-GPS 的设备等一些不涉及技术的读者提供了有关 A-GPS 的综述。

表 1.1 列出了每一章的每一部适合的读者。最后一栏是每一章中最专业的领域。

表 1.1 本书的结构和阅读指南

章 节	技术性较低的读者	工程师, 研究员	章节的专业领域
1. 绪论	所有	所有	
2. 标准 GPS 回顾	所有	可选	
3. 辅助, A-GPS 中的“A”	3.1 节	所有	A-GPS 设计
4. 粗时导航——瞬时 GPS	4.1 节	所有	导航, 线性代数
5. 粗时间精度衰减因子	5.1 节	所有	导航, 线性代数
6. 高灵敏度: 室内 GPS	6.1 节	所有	数字信号处理
7. 辅助数据的生成	所有	所有	系统运作
8. 扩展星历和长期轨道	8.1 节	所有	轨道分析, 导航
9. 行业标准和政府规定	9.1 节	所有	标准委员会
10. A-GNSS 的前景	10.1 节以及 GNSS 中全部图表	所有	GNSS 系统设计

1.7 本书的新内容

本书的目的是提供一个完整的 A-GPS 的描述; 包括众所周知的 A-GPS 的主题思想和鲜为人知的技术细节。我们在此为想直接跳转到关键领域的读者列出了一些新颖的想法:

- 第 4 章 粗时导航——瞬时 GPS
 - 4.3 节, 4.4 节及附录 A.4: 推导 5 状态粗时导航方程并解决整毫秒翻转问题。
- 第 5 章 粗时 DOP
 - 5.2 节: 额外状态定理增加一个额外的状态到一个最小二乘问题使所有 DOP 大于或等于其原始值。5.2 节包含了对此定理所有的证明和等价条件的构造。
- 第 6 章 高灵敏度: 室内 GPS
 - 6.8.5 节: 可达到灵敏度的特性曲线, 表征了捕获和跟踪的灵敏度。该曲线的参数由前端噪声系数、相干积分时间和总的非相干积分时间组成。可达灵敏度定律: 频率稳定度每增加两倍, 可达到的灵敏度大约提高 1.5 dB。
- 第 8 章 星历扩展和长期轨道
 - 8.3.1 节和 8.3.2 节: 通过 GPS 多普勒测量进行定位计算, 通过固定多普勒结合伪距测量进行定位计算, 包括只通过一两颗卫星计算位置的情况。通过卫星的多普勒测量来计算位置是最古老的卫星无线电导航形式。但是, 对于 GPS 可以利用精确原子钟的优势通过瞬时多普勒测量值以及多普勒和伪距结合而计算出位置。这不但有理论价值, 而且具有实际意义。

参考文献

- [1] Rockwell Collins; www.rockwellcollins.com/news/gallery/gov/navigation/page2997.html. Accessed January 3, 2009.
- [2] ION Museum, “The PLGR was the most widely used GPS receiver in the military for 11 years

- ...” and “... more than 200, 000 units have been fielded worldwide, ” Institute of avigation: http://www.ion.org/museum/item_view.cfm?cid=7&scid=9&iid=13. Accessed: January 18, 2009.
- [3] GSMA, “20 Facts for 20 Years of Mobile Communications, ” *GSM World Factsheet*, Q42007, www.prnewswire.com/mnr/gsmassociation/29667/. Accessed: January 18, 2009.
- [4] Moss, J. , and M. Ippoliti, “Mobile Location-Based Services, ” *Research Report*, ABI Research, New York, 2Q 2008.
- [5] Wirola, L. , and J. Syrjärinne, “Bringing All GNSSs into Line: New Assistance Standards Embrace Galileo, GLONASS, QZSS, SBAS, ” *GPS World*, September 1, 2007.
- [6] In-stat, “GPS Chips in Mobile Devices, ” Research report: IN0703846WT, October 2007.
- [7] TomTom, “Sales Volume and Ratios, ” PND sales volume in 2007 of 9.6 million, <http://investors.tomtom.com/volume.cfm>. Accessed: January 3, 2009.
- [8] Gilroy, A. , “Garmin Stays on Top in PND Share: Unit Share: Garmin 37% , TomTom 27% , Magellan 19% , ” *TWICE: This Week in Consumer Electronics*, February 11, 2008.
- [9] Lorimer, R. , and E. Gakstadder, “GNSS Precise Positioning Markets 2008-2012, ” Position One Consulting Report, October 2008.
- [10] Madden, D. W. , “GPS Program Update, ” *Proc. ION GNSS 2008*, Savannah, Georgia, September 16-19, 2008.
- [11] van Diggelen, F. “Indoor GPS: Wireless Aiding and Low Signal Strength Detection, ” Navtech Seminars, San Diego, California, March 2001.
- [12] Park, W. , “Apple iPhone 3G production Hits 800K Units per Week, ” www.intomobile.com, accessed August 4, 2008. <http://www.intomobile.com/2008/08/04/apple-iphone-3gproduction-hits-800k-units-per-week.html>. Accessed: January 18, 2009.