



北斗系统与应用出版工程

“十二五”国家重点图书出版规划项目

国家出版基金项目

技术篇

新一代卫星导航 系统信号设计 原理与实现技术

◎ 姚 铮 陆明泉 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

北斗系统与应用出版工程

“十二五”国家重点图书出版规划项目

国家出版基金项目

新一代卫星导航系统信号 设计原理与实现技术

姚 铮 陆明泉 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是国际上第一本比较深入系统地论述新一代卫星导航系统信号设计理论与技术的学术专著,全面阐述了卫星导航系统信号设计中的基本概念、基础理论以及各项关键技术,并从导航信号的基本要素出发,把信号设计的传统技术与新发展的先进技术纳入到一个通用框架下作为一个有机的整体进行讨论,给读者呈现一个完整系统的信号设计脉络。全书共分8章,内容包括卫星导航系统及其信号的发展背景、卫星导航信号的基本结构、扩频调制的特性、扩频调制的实现方式、性能分析方法、恒包络复用的基本理论及实现技术等。本书充分反映了近年来国内外学术界和工业界在卫星导航信号设计领域的新思想和新技术,同时也融入了作者在信号设计方面的研究成果。

本书内容丰富,结构清晰,是一本理论与实践并重的专著,可以作为卫星导航定位及相关领域科技工作者的参考书,也可以作为高等院校相关专业教师和研究生的教材或扩展阅读材料。

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

新一代卫星导航系统信号设计原理与实现技术 / 姚铮, 陆明泉著. —北京: 电子工业出版社, 2016.4
北斗系统与应用出版工程

ISBN 978-7-121-28522-6

I. ①新… II. ①姚… ②陆… III. ①卫星导航—全球定位系统—信号设计 IV. ①TN967.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 069430 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 夏平飞

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

装 订: 三河市兴达印务有限公司

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: 720×1000—1/16 印张: 16.25 字数: 337 千字

版 次: 2016 年 4 月第 1 版

印 次: 2016 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 68.00 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, 88258888。

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。

本书咨询联系方式: mariams@phei.com.cn。

北斗系统与应用出版工程

指导委员会

主 任

孙家栋：中国科学院院士，两弹一星功勋奖章获得者

副主任

张履谦：中国工程院院士

刘经南：中国工程院院士

沈荣骏：中国工程院院士

杨元喜：中国科学院院士

杨小牛：中国工程院院士

谭述森：中国工程院院士，北斗卫星导航系统副总设计师

杨长风：北斗卫星导航系统总设计师

李祖洪：北斗卫星导航系统副总设计师

夏国洪：原中国航天科工集团公司总经理，党组书记，科技委主任

张荣久：中国卫星导航定位协会会长

委 员（以下按姓氏汉语拼音排列）

敖 然 陈少洋 刁石京 高晓滨 李忠宝 刘九如 柳其许 苗前军
冉承其 宋起柱 于春全 赵 坚

编审委员会

主 任

曹 冲

副主任（以下按姓氏汉语拼音排列）

郭树人 景贵飞 李冬航 陆明泉 施 闯 王传臣 王飞雪 王俊峰
王 莉 魏永刚 夏 青 肖雄兵 杨强文 郁文贤 张代平 赵丽松
周建华

委 员（以下按姓氏汉语拼音排列）

鲍志雄 蔡 毅 陈涤非 陈洪卿 陈向东 高玉平 韩云霞 何在民
华 军 金永新 李 变 李成钢 鲁 郁 潘高峰 蒲小兵 施浒立
王李军 吴才聪 吴海涛 武建锋 夏建中 夏林元 熊 立 姚 铮
俞能杰 苑严伟 郑瑞锋

秘书组成员（以下按姓氏汉语拼音排列）

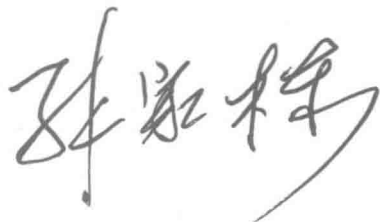
来春丽 宋 梅

策划编辑

宋 梅

总 序

“北斗系统与应用出版工程”丛书，能作为国家出版工程推进，是件很好的事情，我表示热烈的祝贺，欣然作序予以鼓励支持。北斗系统不仅是项充满活力的新兴技术，而且是国家重要的时空信息基础设施，同时由于它与其他技术和产业的多重关联性和融合性，故成为现代智能信息产业群体的重大技术支持系统和具有巨大带动力的时代产业发展引擎，与国家安全、国民经济和社会民生密切相关，与两个“中国梦”密切相关，能够服务全中国和全世界。北斗系统的建设和运营，给国家和社会的兴邦强国、行业和企业的建功立业、团队和个人的著书立说与创新创业创造精神的大发挥、大发展，提供了百年难遇的良好机会。“北斗系统与应用出版工程”丛书，也承载着同样的使命，它所包括的内容包括系统、技术和应用三个方面，这种选择非常符合实际需要，很全面，且顾及了眼前和长远，而且应用方面所占的分量相当大。我建议在应用的服务领域要多下点功夫，这是北斗系统和时空信息服务体系的关键。在当今的条件下，推进这个出版工程，具有明显的现实意义和长远价值。为此，我在这里要强调三点：一是一定要把国内外 GNSS 领域的成功经验和教训，进行系统总结，作为良好的参考；二是应该将我们在系统建设中的实践，上升为理论与模式，进一步推进我们的工作与事业；三是在上面两点的基础上，我们要有所前进，有所创造，在理论、实践、产业和体系化发展推进上有所突破，逐步走向世界的前列，真正把这一出版工程，做成北斗系统伟大工程的一个不可分割的组成部分，反过来对于系统工程发挥指导促进作用，发挥其 GNSS 里程碑效应和效能。



2015 年 12 月

序

全球导航卫星系统是一种重大的空间信息基础设施，主要包括美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧盟的 Galileo 和我国的北斗卫星导航系统（BDS），可以为全球用户提供高性能的定位、导航与授时服务，在军事、经济、社会和科研领域都有十分广泛的应用，甚至在很大的程度上改变了人类的斗争、生产和生活方式，并在全球范围内形成了一个高新技术产业，成为新的国民经济增长点。我国高度重视卫星导航系统的建设和应用，2000 年建成了北斗试验系统，使我国成为继美国和俄罗斯后第三个拥有卫星导航系统的国家。2012 年建成的北斗区域系统是一个富有中国特色的卫星导航系统，除了具有基本的定位、导航与授时功能外，还可以提供短报文服务，自建成以来一直连续稳定运行，性能稳中有升，应用推广和产业化取得重要突破，正在国家安全和经济社会中发挥着重要作用。根据“三步走”的发展战略，目前我国正在积极推进北斗全球系统的建设，将在 2020 年完成组网并形成全球服务能力，建成国际一流的全球卫星导航系统。

卫星导航信号是卫星导航系统的一个重要组成部分，不但是联系卫星导航系统空间段、控制段和用户段三大组成部分的核心纽带，而且是卫星导航系统向用户播发测距信息的唯一载体，对于卫星导航系统整体性能的形成、性能的发挥，乃至应用推广和产业发展都具有十分重要的影响，因此，在卫星导航系统中具有独特的地位和作用，很大程度上已经成为卫星导航系统的重要标志。国际上几个卫星导航大国的主管部门、工业界和学术界都十分重视卫星导航信号的设计，特别是 GPS 现代化计划的实施和 Galileo 的建设，对卫星导航信号的理论和技术发展起到了极大的推动作用，在近 20 年来取得重要突破，形成了以频谱分离、导频与数据正交为主要特征的新一代信号体制，代表了卫星导航信号体制的发展方向，并已在 GPS 和 Galileo 中得到应用。这些成果不但使卫星导航信号的设计逐步摆脱了长期以来对雷达信号和通信信号的模仿，走上了独立发展的道路，形成了自己的特色，更为重要的是，新型信号体制直接提升了新一代卫星导航系统的性能，确保了卫星导航产业的可持续发展，也已经成为卫星导航系统更新换代的主要标志。

毫无疑问，卫星导航信号体制的理论和技术创新不但对我国建设独立建设、自主运行的北斗卫星导航系统的意义重大，而且对我国卫星导航的应用和产业的发展以及国际合作与交流影响深远，将与星间链路、星载原子钟等主要核心技术共同支撑北斗全球系统跻身世界一流行列。为了彻底改变我国长期以来在卫星信号的理论和技术研究基础比较薄弱、在系统建设中信号体制的设计主要借鉴国外技术的被动局面，近年来我国在北斗全球系统建设中非常重视卫星导航信号设计工作，在中国卫星导航系统重大专项关键技术攻关中设立了信号设计专题，从多层次、多方面部

署了一批信号设计及相关课题，组织了国内多个优势科研团队开展信号设计的理论研究和关键技术攻关，还在历届中国卫星导航学术年会设立了专门的分会开展学术交流，大大促进了我国卫星导航信号理论和技术的发展。经过多年的努力，我国在卫星导航信号设计方面取得了重要进展，一批自主创新的学术成果、技术成果已经在国内外学术界和工业界产生了重要影响，部分成果已经在北斗全球系统试验卫星工程中得到应用。可以相信，具有自主知识产权、代表我国信号设计技术水平的新型卫星导航信号体制将作为北斗全球系统的标志和名片，以优异的性能服务于全人类，向全世界展示我国卫星导航技术创新和系统建设的最新成就。

本书作者来自清华大学卫星导航科研团队，在卫星导航技术方面有十多年的研究经历，近年来参与了北斗卫星导航系统重大专项关键技术攻关的信号设计及相关课题，在信号设计方面取得了有影响的成果，受到了国内外专家和学者的关注。他们通过对大量文献资料的系统梳理和深入挖掘，厘清了几十年来卫星导航信号的演化脉络，逐步形成了统一的卫星导航信号理论和技术框架，并对卫星导航信号的发展趋势作了有益的探讨探索，在此基础上结合自己的研究成果和心得体会总结提炼成本书，把国内外卫星导航信号设计方面的最新成果呈现给广大读者。相信本书的出版，将会对我国卫星导航技术的发展、北斗卫星导航系统的建设和应用起到一定的促进作用。

谭述森

2015年10月29日

前 言

近 50 年以来, 导航定位技术无论在空间与时间的覆盖性上还是在精度上, 都取得了革命性的进步, 特别是以美国全球定位系统 (GPS) 和俄罗斯的全球导航系统 (GLONASS) 为代表的全球导航卫星系统 (GNSS) 的出现, 导航定位技术已经在很大程度上改变了人类的生产和生活方式。但人们对导航定位性能的要求是永无止境的。随着需求的不断增长, 半个世纪前设计建造的 GPS 在性能上的局限性已经变得越来越明显。同时, 物理、航天、通信以及卫星导航本身的理论研究和技術发展都有了长足的进步。新一代 GNSS, 如不断演进的 GPS、正在进行改造的 GLONASS 以及欧盟的 Galileo、我国的北斗卫星导航系统 (BDS), 都在吸取数十年来经验教训的基础上融入了新的技术, 正在迅速发展之中。

信号设计是整个卫星导航系统建设的核心之一。卫星导航信号内在的性能极限决定了整个系统的先天性能。系统的空间段、地面段都是围绕着信号的发射、接收而不断运行的。如果卫星发射的信号在设计上存在缺陷, 即使系统其他环节的设计再完美, 整个系统在定位、测速、授时精度等关键性能上仍然存在难以弥补的不足, 应用与产业化也会受到严重制约。

随着卫星导航应用领域的不断扩展、服务需求的不断细化, 新一代 GNSS 广播的导航信号数量显著增多, 对信号的性能要求也越来越高, 一方面使原本有限的卫星导航频谱变得愈加拥挤, 而信号性能的提升受制于带宽的限制; 另一方面也使现有的恒包络复用技术的功率效率降低, 卫星载荷的复杂度提升。同时, 信号接收复杂度的限制、系统之间互操作的要求以及后向兼容等需求, 让信号设计目标优化问题的约束条件变得越来越多。设计理论的欠缺、技术发展与未来需求相比的滞后, 以及需求膨胀与资源匮乏之间的矛盾, 使得新一代卫星导航系统的信号设计面临着系列的挑战。

近年来, 针对卫星导航信号设计中面临的问题, 学术界和工业界提出了大量新颖的解决办法。在扩频调制方面, 以 BOC 和 MBOC 为代表的谱分裂调制方式开始被应用到新一代导航信号中, 在恒包络复用方面, 也有许多先进的技术不断涌现。此外, 扩频码、信道结构、电文结构等方面也出现了新的成果。这些新技术的出现给新一代卫星导航系统的设计者带来了更大的择优余地, 但同时也对信号设计者对技术的理解和需求的把握提出了更高的要求。由于各系统建设所背负的历史负担不同, 具体使命和应用需求也不尽相同, 而且信号的各个要素的设计约束互相耦合, 将各种技术简单拼凑或是对其他系统片面模仿都无法设计出整体性能优异的新型导航信号。信号设计者只有深刻理解每一项技术的特点和适用条件, 做到知其然更知其所以然, 才有可能面对具体的需求和约束选择最合适的配置, 最终设计出综合性

能优异的导航信号。此外，新一代系统的信号无论在结构上还是可能的处理方式上，都与传统 GPS 存在很大的不同。对新一代 GNSS 信号性质的深入理解和系统性的把握，对接收机的开发者而言也是非常重要的。

本书作者有幸参与到我国北斗卫星导航系统（全球系统）的建设中，在卫星导航信号设计方面有多年的工作经验。平时与国内外同行的交流，加深了我们对导航信号设计的认识。在自己的研究过程中，我们也取得了一些有特色的研究成果。为了让我们已有的认识和知识能够对新一代系统的建设和应用有所贡献，我们有了将这个领域的最新研究与应用成果进行总结与整理，出版一本中文著作的想法，希望能借此与更多的同行进行更多的交流，共同完善下一代 GNSS 信号的设计以及接收处理技术开发的探索。

国内外卫星导航系统原理和应用的论著很多，也不乏精品，对卫星导航系统的工作原理、系统构成、接收机原理及应用的论述已非常详尽。本书内容着重信号设计，将与上述著作构成有效的互补，使卫星导航系统相关的知识体系更加完整。本书以卫星播发的导航信号为主线，集中讨论导航信号的结构以及各组成要素背后的设计思想、设计理论，以及最新的研究成果。在写作思路，我们尝试根据自己的理解去组织、描述和评价现有的工作。本书不同于基于各卫星导航系统的信号接口控制文档（ICD）进行“使用手册”式解读的惯例，而是以技术点为维度，把信号设计的传统技术与新发展的先进技术纳入到一个通用框架下作为一个有机的整体进行讨论，而且在论述中尽量避免对各种技术进行简单罗列，尽可能揭示各种技术背后的本质。尽管这样不可避免会影响到书的通俗性，要求读者要有一定的数学基础和信号处理知识，而且各章节之间会具有比较强的耦合关系，但这种表述方法可以引导读者站在卫星导航系统的一个制高点上进行分析和研究，更清晰地看到导航信号的整体结构及各要素之间的关系，以及每一项技术背后的本质、渊源及演化过程，避免出现“只见树木不见森林”的情况。我们希望通过本书直接将读者送到相关研究领域的最前沿去，把握信号设计中每一种技术的特点，而且能够更深层地理解导航信号技术演进背后的科学问题，启发读者的思考，从而产生更多创新的思路，贡献到未来卫星导航系统的研究和建设中去。

全书共分 8 章。第 1 章绪论首先对卫星导航技术发展历程进行了回顾，对四大 GNSS——GPS、GLONASS、Galileo 和 BDS 的发展与现状作了介绍，在详细论述导航信号在系统建设中的重要性之后，对上述各大 GNSS 在信号体制上的发展情况做了一个综述，让读者对新一代 GNSS 信号体制设计的背景有一个全面的认识。

第 2 章，首先对卫星导航的基本原理进行介绍，从而明确一个导航信号所要完成的任务，之后以卫星导航信号的结构要素作为主线，系统地梳理在信号体制设计中的若干重要的基本概念，并讨论信号的中心频率、发射功率、极化特性、调制方式、扩频码、电文结构、多路复用等各个要素可能会对系统性能所产生的影响。这

一章是后续章节的基础。因为构成卫星导航信号的要素之间是紧密关联的,信号很多要素的设计都是在利弊权衡与折中的过程中进行的。因此,在对信号设计的各个方面分别展开深入研究之前,对整个信号的结构做一个系统性的了解是非常有必要的。

第3、第4、第5章,深入探讨了卫星导航领域所使用的扩频调制技术。其中,第3章讨论直接序列扩频的一些基本概念和性质,给出扩频调制信号的数学模型、时域以及频域的一些重要特性。这一章的结论在第4章和第5章的讨论中会不断被用到。第4章和第5章是并列的两章,其中第4章详细介绍了在卫星导航领域的一些典型的扩频调制方式,例如BPSK-R、BOC、MBOC等,而第5章则深入系统地阐述了在信号设计阶段对信号性能的一系列分析方法。这两章的内容具有较强的耦合关系,一方面,各种调制方式的特点要通过性能分析的结果反映;另一方面,很多调制方式也是利用性能评估方法优化得到的。因此我们建议第一遍阅读这两章的读者,可以先粗读了解各部分的大致思路和基本结论,之后再将这两章作为一个整体进行精读。

第6、第7章则深入探讨了卫星导航信号的星上恒包络复用的基本理论与实现方法。其中,第6章首先针对一般性的卫星导航信号恒包络复用过程进行数学建模,借助基带复包络的概念给出恒包络的数学描述和几何描述。在此基础之上给出相位映射表、星座图和复用效率等概念,并独创性地从交调分量构造和相位映射表构造这两个看似完全不同的恒包络复用设计理念并行展开,探讨一般性的恒包络复用技术的设计方程与分析方法,最终利用基信号的概念将两种观点下的结论统一起来,给出一个恒包络复用方案的三种等价表示形式。在掌握了这一章所给出的基本理论后,审视第7章所介绍的恒包络复用具体技术,会有一个更加清晰深刻的认识。

第7章详细讨论一些典型的恒包络复用技术。其中一些已经用于运行中的卫星导航系统,另一些则在未来的系统建设中具有良好的应用前景。在对这些实现技术讨论时,我们并没有对各种技术实现方式进行简单罗列,而是将讨论重点放在这些技术背后的本质上,以期读者在了解每一种技术的实现细节的同时,能够感受到它们背后的联系,从而对该研究领域有一个更系统的认识。

第8章是全书的简要总结和展望,对导航信号可能出现的发展趋势做了启发性的介绍。

本书内容充分反映了近年来学术界和工业界在卫星导航信号设计领域的新思想和新技术,同时也融入了作者在信号设计方面多年来的研究成果,重点突出,结构清晰,是一本理论与实践并重的专著,可以作为卫星导航定位及相关领域科技工作者的参考书,也可以作为高等院校相关专业教师和研究生的教材或扩展阅读材料。希望本书的出版能够为我国北斗卫星导航系统的建设和应用添砖加瓦,贡献一份力量。

本书是清华大学卫星导航实验室集体智慧的结晶，我们在信号设计上的成果得益于所在团队十余年来在卫星导航科研方面的积累和沉淀，特别是对卫星导航系统的深刻认识和卫星导航接收机的深入实践。这里要特别感谢冯振明教授、崔晓伟副教授、李洪副教授长期以来的指导与帮助，以及在本书的初稿校对过程中提供帮助的张嘉怡、许海龙、王腾飞、郭甫、马俊杰等多位研究生。本书出版之际，我们还要感谢中国卫星导航系统管理办公室、北京跟踪与通信技术研究所、总参测绘局、北京卫星导航中心、科技部国家遥感中心等机构的领导与专家，以及很多国内外的同行和同事对我们的支持。本书的完成得到了中国第二代卫星导航系统重大专项关键技术攻关项目、中国卫星导航学术年会青年优秀论文资助课题、国家自然科学基金项目（编号 61201190）、清华大学自主科研项目的资助。电子工业出版社的宋梅老师对本书的出版给予了大力支持。在此一并表示感谢。

限于作者专业水平，再加上写作的时间有限，书中难免出现不妥与疏漏之处，敬请专家和读者不吝指正。

作者
2015年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 本章引言	2
1.2 卫星导航系统的发展与现状	4
1.2.1 GNSS 的前身	4
1.2.2 GPS 及其现代化	6
1.2.3 GLONASS 及其现代化	7
1.2.4 Galileo 系统	8
1.2.5 北斗卫星导航系统	9
1.3 导航信号的重要性	11
1.4 卫星导航信号体制的发展	12
1.4.1 GPS 信号体制的发展	12
1.4.2 Galileo 系统信号体制的发展	13
1.4.3 北斗系统信号体制的发展	14
参考文献	16
第 2 章 卫星导航信号的结构	21
2.1 本章引言	22
2.2 卫星导航的基本原理	22
2.2.1 通过测距信号确定位置	22
2.2.2 位置估计的线性化方法	25
2.2.3 用户位置的精度	25
2.2.4 伪距的测量	26
2.3 卫星导航信号的关键要素	27
2.4 载波频率的选择	27
2.5 信号的发射功率	32
2.6 信号的极化方式	35
2.7 信号的多址接入	37
2.8 信号的扩频调制	38
2.9 扩频序列与二次编码	41
2.9.1 扩频序列的偶相关与奇相关	41
2.9.2 扩频序列的构造	43
2.9.3 扩频调制对码相关性的影响	46

2.9.4 二次编码	48
2.10 导频信道与数据信道	49
2.10.1 导频信道的作用	49
2.10.2 数据信道与导频信道的功率分配	52
2.11 多路复用	53
2.12 电文结构与信道编码	54
2.12.1 电文结构	54
2.12.2 信道编码	55
参考文献	57
第3章 直接序列扩频的基本性质	61
3.1 本章引言	62
3.2 扩频调制信号模型	63
3.3 扩频调制信号的时域特性	65
3.3.1 信号相似性的度量方式	65
3.3.2 互相关函数与自相关函数	66
3.3.3 周期信号的相关函数	66
3.3.4 扩频信号的互相关函数	67
3.3.5 阶状码调制信号的互相关函数	69
3.4 扩频调制信号的频域特性	74
3.4.1 功率谱密度	74
3.4.2 无电文调制的扩频信号功率谱	74
3.4.3 带电文调制的扩频信号功率谱	77
3.4.4 非周期扩频信号的功率谱	77
3.4.5 阶状码调制信号的功率谱	78
3.4.6 互功率谱密度	79
3.4.7 功率谱密度的归一化	79
参考文献	80
第4章 卫星导航中的扩频调制技术	81
4.1 本章引言	82
4.2 BPSK-R 调制	84
4.3 BOC 调制	87
4.3.1 BOC 调制的定义	87
4.3.2 BOC 信号的功率谱密度	89
4.3.3 BOC 信号的自相关函数	91

4.3.4	正弦与余弦相位 BOC 调制在特性上的差别	93
4.4	BCS 调制	97
4.5	CBCS 调制	99
4.5.1	CBCS 信号的定义	99
4.5.2	CBCS 信号的自相关函数	101
4.5.3	CBCS 信号的功率谱密度	102
4.5.4	CBCS 信号的互相关偏差	104
4.6	TMBCS 与 QMBCS 调制	107
4.7	MBOC 调制	107
4.7.1	TMBOC 调制	109
4.7.2	CBOC 调制	110
4.7.3	QMBOC 调制	112
4.8	分裂谱信号的处理模糊度	114
4.8.1	问题描述	114
4.8.2	串行捕获策略下的误捕概率	115
4.8.3	并行捕获策略下的误捕概率	117
4.8.4	消除模糊度的方式	120
4.9	其他的扩频调制方式	123
4.9.1	AltBOC 调制	123
4.9.2	MSK 调制	126
4.9.3	GMSK 调制	130
4.9.4	SRRC 扩频波形	130
4.9.5	PSWF 扩频波形	132
4.9.6	带宽受限扩频调制技术小结	133
	参考文献	133

第 5 章	导航信号扩频调制的性能分析	139
5.1	本章引言	140
5.2	接收信号的基带等效表达	142
5.2.1	扩频信号的复包络表示	142
5.2.2	信号与噪声加干扰的功率谱	143
5.3	扩频码跟踪误差的下界	144
5.3.1	码跟踪误差的 Cramér-Rao 下界	144
5.3.2	高斯白噪声环境下的 CRLB	145
5.4	卫星导航接收机的信号处理模型	147
5.4.1	预检测积分	147

5.4.2	捕获	148
5.4.3	码跟踪	149
5.4.4	载波跟踪	150
5.5	热噪声与干扰下的测距性能	151
5.5.1	问题模型	152
5.5.2	鉴相器输出的统计特性	153
5.5.3	非相干处理下的跟踪误差	154
5.6	捕获、载波跟踪和数据解调的性能	158
5.7	抗多径性能	161
5.8	频谱兼容性	164
5.8.1	频谱分离系数	164
5.8.2	码跟踪频谱灵敏度系数	166
5.8.3	等效载噪比	168
	参考文献	170
第 6 章	扩频信号恒包络复用的基本理论	173
6.1	本章引言	174
6.2	高功率放大器	175
6.3	恒包络复用的基本概念	175
6.3.1	恒包络信号	175
6.3.2	恒包络复用	176
6.4	相位映射表	180
6.5	恒包络复用的设计方程	181
6.6	恒包络复用的效率	184
6.7	恒包络复用信号的表示形式	184
6.7.1	恒包络合成信号的基信号	184
6.7.2	恒包络复用的相位线性组合形式	186
6.7.3	恒包络复用的交调构造形式	187
6.7.4	不同表示形式之间的联系	188
6.8	恒包络复用信号的功率谱密度	188
6.9	恒包络复用的实现方法	189
6.9.1	基于相位映射表的生成方法	189
6.9.2	基于相位合成的生成方法	190
6.9.3	基于交调构造法的生成方法	191
	参考文献	192

第 7 章 扩频信号恒包络复用的构造方法	195
7.1 本章引言	196
7.2 QPSK 复用	197
7.3 时分复用	199
7.4 POCET 技术	202
7.5 正交乘积副载波调制	203
7.5.1 三路信号的 QPSM 复用	204
7.5.2 任意信号数量的情况	205
7.5.3 QPSM 复用应用于 CBCS 信号	206
7.6 基于多数表决逻辑的复用	207
7.6.1 多数表决逻辑	207
7.6.2 等权值 MV 复用	208
7.6.3 利用时分复用实现非等权值 MV	210
7.6.4 交错 MV 复用的相位映射表	212
7.7 双频联合恒包络复用	216
7.7.1 利用复副载波实现边带调制	216
7.7.2 基于方波复副载波的 DCEM	217
7.8 ACE-BOC 调制/复用技术	217
7.8.1 ACE-BOC 信号的直接形式	218
7.8.2 相位旋转形式	220
7.8.3 典型功率配比下的 ACE-BOC 信号	222
7.9 恒包络复用技术的级联	225
7.9.1 InterVote	225
7.9.2 PocetVote	226
7.9.3 TD-AltBOC	226
7.10 恒包络复用实现技术小结	227
参考文献	228
第 8 章 结束语	231
8.1 卫星导航信号的性能评估	232
8.2 卫星导航信号可能的发展趋势	234
缩略语	239

第1章

绪 论

本章要点

- 本章引言
- 卫星导航系统的发展与现状
- 导航信号的重要性
- 卫星导航信号体制的发展