

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 23320131153261

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

GNSS 接收机多路径噪声影响
及其消除方法的研究

Research on Multipath Noise and its Elimination Method for
GNSS Receiver

刘英达

指导教师姓名: 林世俊 副教授

专业名称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2016 年 月

论文答辩时间: 2016 年 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2016 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

近年来一些新的全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 开始建设发展, 如欧盟的 Galileo 导航卫星系统、中国的北斗二代导航卫星系统和其它区域导航卫星系统等。与此同时, 美国的 GPS 导航卫星系统、俄罗斯的 GLONASS 导航卫星系统及其增强系统也在逐步深化其现代化过程。全球导航卫星系统之间的协作定位成为了必然的趋势, 将明显提高其定位导航服务的准确性、正直性、连续性和有效性, 并迅速扩大其应用范围, 特别是民用领域。而各种复杂环境的严峻挑战也随之而来, 如: 城市峡谷和林荫道等。在上述环境下, 可见卫星空间分布变得很差, 而且伪距、多普勒频率和载波相位等测量值引入了非高斯噪声, 如: 多路径噪声, 使得传统卡尔曼滤波算法模型不再符合, 直接影响了定位精度, 这就是典型的多路径效应。为了保证各种环境下定位导航服务质量的一致性, 同时为了推广民用领域的标准硬件 GNSS 接收机, 在定位导航算法层面直接消除多路径噪声显得尤为重要。本文将对多路径噪声影响及其消除方法进行研究, 针对大环境下越来越多可见卫星测量值使得多路径噪声在某一历元时刻具有稀疏性, 本文将基于压缩感知理论和凸优化理论, 使用编码卡尔曼滤波算法及其改进算法对多路径噪声进行估计并消除。仿真和实测结果都表明上述算法性能优异。

关键字: 全球导航卫星系统; 多路径效应; 卡尔曼滤波; 压缩感知; 稀疏性

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In recent years, some new global navigation satellite systems have been beginning to build, such as the European Union's Galileo navigation satellite system, China's Beidou second generation navigation satellite system, and other regional navigation satellite systems, etc. At the same time, the American GPS navigation satellite system, Russia's GLONASS navigation satellite system and their enhanced systems have been deepening modernization process gradually. The cooperative of the global navigation satellite systems has become an inevitable trend, which will obviously improve its positioning and navigation service's accuracy, integrity, continuity and effectiveness, and rapidly expand its application range, especially for civilian areas. And a variety of complex environments also pose serious challenges, such as urban canyon and avenue, etc. Under these circumstances, the visible satellite get worse spatial distribution, and the pseudo range, Doppler frequency and carrier phase measurements are introduced into the non-Gauss noise, such as multipath noise, which makes the traditional kalman filtering algorithm model failure and damages the positioning accuracy directly. And this is called the multipath effect. It is particularly important to eliminate the multipath noise directly at the navigation algorithm level for ensuring the consistency of positioning and navigation service in a variety of environments and promoting the standard hardware GNSS receiver. The paper focuses on mitigating the effects of GNSS multipath noise. More specifically, more and more visible satellite measurements make the multipath noise sparse and compressible in a certain epoch, the paper estimates and eliminates the multipath noise by using the coded kalman filtering algorithm and its improved algorithm, recent mathematical results that underlie the field of compressive sensing and convex optimization. The results show the algorithms outperform traditional kalman filtering algorithm by a significant margin in simulated and live-sky multipath scenarios.

Key Words: Global Navigation Satellite System; Multipath Effect; Kalman Filtering;

Compressive Sensing; Sparse

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

目 录.....	V
Contents	VII
第一章 绪论	1
1.1 课题研究背景及意义	2
1.2 国内外研究现状	5
1.2.1 接收机天线层面	6
1.2.2 捕获跟踪阶段信号处理层面	6
1.2.3 定位解算阶段导航算法层面	7
1.3 课题研究内容	8
1.4 论文主要贡献及结构安排	9
第二章 全球导航卫星系统	11
2.1 GNSS 卫星轨道理论.....	11
2.1.1 GNSS 空间坐标系	11
2.1.2 GNSS 时间坐标系	15
2.1.3 GNSS 卫星轨道理论	16
2.2 GNSS 测量及其误差.....	18
2.3 GNSS 定位解算原理.....	20
2.3.1 单模导航卫星系统定位解算原理	20
2.3.2 多模导航卫星系统定位解算原理	23
2.3.3 GNSS 定位精度分析	24
2.4 本章小结	25
第三章 多路径效应及其影响	27
3.1 多路径效应	27
3.2 卡尔曼滤波定位算法	29
3.2.1 卡尔曼滤波算法	30
3.2.2 扩展卡尔曼滤波算法	31

3.2.3 卡尔曼滤波定位算法	33
3.3 仿真分析	35
3.4 本章小结	39
第四章 基于压缩感知的多路径噪声消除方法	41
4.1 压缩感知理论	41
4.1.1 稀疏表示	41
4.1.2 测量矩阵	42
4.1.3 重构算法	42
4.2 编码卡尔曼滤波算法	44
4.3 最小 l_1 范数问题最优化	47
4.4 编码卡尔曼滤波算法的改进算法	48
4.5 仿真分析	49
4.6 本章小结	52
第五章 多路径噪声消除方法性能实测	53
5.1 接收机自主交换格式标准文件	53
5.2 导航接收机实测平台	54
5.3 多路径消除方法性能实测	55
5.3.1 实测环境	55
5.3.2 实测结果	56
5.4 本章小结	58
第六章 总结与展望	59
6.1 论文工作总结	59
6.2 后期工作展望	60
参考文献	61
致谢	65
攻读硕士学位期间参与的科研项目	67

Contents in Chinese	V
Contents in English.....	VII
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research Background and Significance	2
1.2 Research Actuality	5
1.2.1 Receiver Hardware Level	6
1.2.2 Signal Processing Level.....	6
1.2.3 Navigation Algorithm Level.....	7
1.3 Research Contents	8
1.4 Main Contribution and Thesis Framework.....	9
Chapter 2 Global Navigation Satellite System.....	11
2.1 Satellite Orbit Theory of GNSS.....	11
2.1.1 Space Coordinate System of GNSS.....	11
2.1.2 Time Coordinate System of GNSS.....	15
2.1.3 Satellite Orbit Theory of GNSS.....	16
2.2 Measurement and its Error of GNSS.....	18
2.3 Localization Principle of GNSS.....	20
2.3.1 Localization Principle of Single-Mode Navigation.....	20
2.3.2 Localization Principle of Multi-Mode Navigation	23
2.3.3 Localization Accuracy Analysis of GNSS.....	24
2.4 Brief Summary.....	25
Chapter 3 Multipath Effect and its Influence	27
3.1 Multipath Effect.....	27
3.2 Kalman Filtering Localization Algorithm.....	29
3.2.1 Kalman Filtering Algorithm	30
3.2.2 Extended Kalman Filtering Algorithm	31
3.2.3 Kalman Filtering Localization Algorithm	33

3.3 Simulation and Analysis	35
3.4 Brief Summary	39
Chapter 4 Elimination Method of Multipath Noise Based on Compressive Sensing	41
4.1 Compressive Sensing Theory	41
4.1.1 Sparse Representation	41
4.1.2 Measurement Matrix	42
4.1.3 Reconstruction Algorithm	42
4.2 Coded Kalman Filtering Algorithm	44
4.3 L1 Norm Optimization Problem	47
4.4 Improved Algorithm of Coded Kalman Filtering Algorithm	48
4.5 Simulation and Analysis	49
4.6 Brief Summary	52
Chapter 5 Performance Testing of Multipath Noise's Elimination Method	53
5.1 Receiver Independent Exchange Format	53
5.2 Testing Hardware Platform of Receiver	54
5.3 Performance Testing of Multipath Noise's Elimination Method	55
5.3.1 Testing Environment	55
5.3.2 Testing Result	56
5.4 Brief Summary	58
Chapter 6 Conclusion and Prospect	59
6.1 Conclusion	59
6.2 Prospect	60
References	61
Acknowledgement	65
Research during Pursuing Master Degree	67

第一章 绪论

全球导航卫星系统是一个基于测距的定位导航系统，它利用卫星发射精密测距信号，完成对用户终端位置、速度和时钟偏差的测量计算工作，它能够对全球范围内的各类用户终端提供全天候、连续、准确的定位、授时和导航服务^[1]。目前，全球导航卫星系统处于稳定运行状态，GPS 系统和 GLONASS 系统将逐步深化其现代化进程，Galileo 系统正忙着完成星座部署，而我国的北斗二代系统也将继续快速发展，提高服务质量，稳步过渡到全球导航卫星系统^[2]。

近几年，导航卫星系统相关产业高速进入民用市场，使得普通大众对导航卫星系统定位精度的要求越来越高。而众所周知，多路径效应是单点定位接收机和差分定位接收机的主要误差来源，特别是在城市峡谷、林荫道等常见又复杂的环境下。许多学者已经在接收机天线和信号处理层面提出了各种多路径抑制技术，包括：扼流圈天线、多天线系统、窄相关器、strobe 相关器等，这些技术已经被证明可以有效抑制多路径效应。然而，这类技术都要求接收机要有特殊的硬件，这对现存的、大部分的、拥有标准硬件的导航卫星系统相关应用用户来说是不适用的。因此，在导航算法层面上深入研究多路径效应抑制技术具有重要的理论意义和应用价值。



图 1.1 四大全球导航卫星系统

1.1 课题研究背景及意义

目前四大全球导航卫星系统包括美国 GPS 系统、俄罗斯 GLONASS 系统、欧盟 Galileo 系统和中国北斗二代系统，如图 1.1 所示。除此之外，还有一些区域导航系统和增强系统，如美国 WAAS 广域增强系统、LAAS 局域增强系统、欧盟 EGNOS 欧洲静地导航卫星重叠系统、日本 QZSS 准天顶导航卫星系统、印度 IRNSS 区域导航卫星系统等^[3]。

GPS 系统是全球首个正式投入使用的全球导航卫星系统，从 1973 年 4 月美国国防部提出研究、创建新一代导航卫星与定位系统的计划，到 1978 年 2 月 22 日，美国在范登堡空军基地发射第一颗 GPS 实验卫星，再到 1991 年美国空军在海湾战争中首次使用 GPS，最后到 1994 年 3 月完成对全星座 24 颗卫星的发射部署工作。历时 20 年有余，1995 年美国宣告 GPS 正式进入全面运行的状态^[4]。2010 年 GPS 第四代卫星开始研制和测试，截止至 2013 年 7 月，GPS 全星座总共有 32 颗卫星。GPS 信号分为公开的民用信号（C/A 码）和授权信号（P 码）两种，分别为不同等级的用户提供了标准定位服务和精密定位服务两种不同的定位服务方式。对于民用信号，用户只需要具有 GPS 接收机就可以使用由该系统提供的定位和授时服务，且由于 GPS 接收机使用无源工作状态，即只需接收卫星信号以实现定位功能，GPS 系统可支持不限数量的用户同时使用。自美国政府于 2000 年 5 月 2 日终止了 SA 政策后，GPS 标准定位服务的定位精度从以前的 100m 提高至 25m 左右。而随着美国总统布什声明永久性地取消 SA 政策，GPS 系统迅速在全球范围内得到了广泛应用，在包括船舶远洋导航和进港引水、汽车自主导航、飞机航路引导和进场降落、网络系统授时与校频、大地测量、地壳运动监测、工程变形监测和资源勘查等各类应用场景中都发挥着极大的作用^[1]。下一代 GPS 系统计划在 2017 年开始发射卫星，这是 GPS 现代化计划的主要步骤，将继续提高 GPS 卫星信号的精度和可用性。毫不犹豫地说，GPS 是继国际互联网之后，美国国防部免费奉献给世界各国人民享用的第二大产品。

类似于美国的 GPS 系统，前苏联在吸取美国 GPS 系统成功经验的基础上，于 20 世纪 80 年代初便开始着手建设军用导航卫星系统。在苏联解体后，俄

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.