

毕业设计:惯性组合导航系统

摘要

为了克服卫星信号盲区GPS定位中断或失效以及航位推算(DR)定位误差随时间积累等缺陷,通过分析各种车辆组合导航定位系统方案,设计了一种基于Kalman滤波的惯性组合导航系统。

惯性导航系统(INS)可连续提供信息,短时间精度高,但是定位误差随时间积累。GPS系统长期稳定性好,但易受到干扰,数据更新频率低。由于MEMS器件本身的缺点,应用其作为惯性测量器件的惯导系统需有GPS辅助。INS和GPS构成的组合导航系统,它包括一个由多轴陀螺仪和一个加速度计组成的惯性导航系统(INS)并集成了GPS接收机。惯性导航系统的误差是通过一个组合INS/GPS卡尔曼滤波器(KF)来估计,该滤波器是基于位置、速度、航向的动态误差模型以及陀螺仪和加速度计的随机误差模型。卡尔曼滤波器(KF)模块可单独提供定位信息以防GPS失效。

本文介绍了GPS和INS的基本原理和组成,建立了组合导航系统误差模型,推导了惯性导航系统误差方程,主要研究了INS/GPS组合导航中卡尔曼滤波技术的应用问题。以MATLAB语言为仿真语言环境对常规卡尔曼滤波、联邦滤波进行了研究和仿真分析。通过各种不同时间长度下由GPS接收机、车辆加速度计芯片、多轴陀螺仪采集到道路的测试数据来进行的大量GPS失效仿真实验验证了该系统拥有较高的导航精度,具有一定的应用价值。

关键词:组合导航;GPS;航位推算(DR);惯性导航系统(INS);卡尔曼滤波;嵌入式系统

Abstract

In order to overcome shortcomings such as disconnection and invalidity of GPS when the signal of satellites is unusable and the accumulation of navigation location calculation errors with time passing, through analysing various schemes of vehicle navigation and location system, inertial integrated navigation system of INS/GPS based on embedded system is designed.

The inertial navigation system INS can provide the information continuously, has superior precision in short time, but position error accumulates with time. The GPS has long-term stability, but is disturbed easily and the data renewal frequency is low. As a result of MEMS component shortcoming, the inertial navigation system with MEMS component needs assistance from GPS. INS/GPS integrated navigation system involves a INS consisting of a multiple-axis gyroscope and an accelerometer integrated with GPS receiver. INS errors are estimated by an integrated INS/GPS Kalman filter KF which relies on a dynamic error model of position, velocity and heading as well as stochastic models for gyroscope and accelerometer errors. In case of a GPS outage, the designed KF module

provides positioning information.

This dissertation introduces basic principle and composition of GPS and INS, infers the system error equations, gets the error mode, studies application of kalman filtering in the INS/GPS integrated navigation system mainly. Using MATLAB simulation language, the general filter, the federated filter are researched and simulated. The navigation system achieves high navigation

accuracy, which were validated imposing numerous simulated GPS outages of varied lengths on road test trajectory data of GPS receiver, car chip accelerometer and multiple-axis gyro, and is valuable in practical application

Key words: Integrated

Navigation; GPS; Dead Reckoning DR; Inertial Navigation System INS; Kalman filter; Embedded System

目 录

第一章 绪论 1

1.1 课题来源 1

1.2 惯性导航系统的应用现状 1

1.3 惯性组合导航系统的研究现状 2

1.4 论文组织结构 4

第二章 惯性组合导航定位研究 5

2.1 全球定位系统 5

2.1.1 GPS定位系统组成 5

2.1.2 GPS卫星信号 7

2.2 惯性导航系统 9

2.2.1 惯性导航系统简介 9

2.2.2 惯性导航原理 10

2.2.3 陀螺仪和加速度计 11

2.3 GPS/INS组合导航系统 13 第三章 卡尔曼滤波理论 15

3.1 常规卡尔曼滤波	15
3.1.1 离散卡尔曼滤波基本方程	15
3.1.2 滤波状态和量测初值的选取	19
3.1.3 卡尔曼滤波的特点	19
3.1.4 有色噪声的处理技术	20
3.1.5 卡尔曼滤波的发散抑制	20
第四章 基于Kalman滤波的组合导航系统设计实现	22
4.1 Kalman滤波器设计与实现	22
4.1.1 联邦卡尔曼滤波器结构	22
4.1.2 联邦卡尔曼滤波算法描述	24
4.1.3 联邦卡尔曼滤波器设计	25
4.1.4 卡尔曼滤波器仿真结果	27
4.2 嵌入式组合导航定位系统设计	30
4.2.1 组合导航系统总体设计	30
4.2.2 硬件设计	32
4.2.3 软件设计	32
4.3 实验测试及结果分析	33
4.3.1 系统定位精度测试数据与结果分析	35
4.3.2 系统定位精确度测试数据与结果分析	36
结束语	38
致谢	39
参考文献	40
附录	41
第一章 绪论	
1.1 课题来源	

随着国民经济的高速发展和城市化进程的加快,我国机动车拥有量及道路交通量急剧增加,尤其是大中城市,交通拥挤阻塞以及由此导致的交通事故的增加是我国城市面临的极其严重的“城市病”之一[1]。以湖北省十堰市为例,全市2010年年末机动车拥有辆40.2万辆;而在2000年年末,该市城区机动车总量还不足4万辆。加之山区城市道路拓宽空间受限,疏通城区道路显得更加艰难。机动车快速增长与相对滞后的道路规划建设之间的矛盾日益突显。

智能交通系统Intelligent Transportation

System,ITS是新型汽车信息电子产品的典型代表[2],它是将导航定位技术、信息技术、数据通信技术等技术有效地综合运用于城市交通,从而建立一种全方位的,实时、准确、高效的运输综合管理系统[3]。

在智能交通系统中,车辆的可靠、准确定位导航是一个基础和核心的部分。车辆定位导航是指在应用地理信息系统GISGeograDhie InformationSystem

技术构建数字化路网地图的基础上,运用航位推算Dead Reckoning,DR、全球定位系统GPS、地图匹配Map Matching,MM等定位技术进行车辆定位,为用户提供静态或实时的最优行车路线信息,并在行使过程中对用户实时发出或响应用户的操控指令。车辆定位导航系统可以使出行者在一个陌生之地随时熟悉周围的状况,而且有了适时的路径引导,用户可以将精力集中在驾车上,提高了交通运输安全水平,从而可以减少交通事故。在交通运输管理中,车辆的定位导航结合无线传输网络技术可以使管理中心实时知道车辆的位置,对于车辆监控、管理、物流、安全、调度等有重要意义。

1.2 惯性导航系统的应用现状

车辆定位导航系统是随着汽车在人们日常生活中的地位不断提高而发展起来的一项新兴技术。车辆惯性导航利用航空导航的一般原理,通过使用一些相对简单的设备,如陀螺、里程仪、罗盘等,完成对汽车的速度、方向和位移等车辆状态信息的测量。结合GPS定位信息,通过一定的融合算法,求解出载体当前位置并显示在地图上。与航空导航定位技术相比,它要求系统的结构简单、成本较低、易于实现并且要有较高的定位精度,这些要求使得车辆定位导航系统的研究具有了一定的难度。

目前,美国在车辆惯性导航系统已具有很高的水平,应用也相当广泛。例如,Etak.INC公司研制的汽车导航系统,不仅可以为用户提供精确的定位信息,而且可以为用户提供多条可选的路线以及最佳路线,实现实时、准确、可靠导航。日本也于1971年开始智能交通系统的CACS计划。目前欧洲各国正在进行Telematics的全面应用开发工作,计划在全欧范围内建立专门的交通无线数据

通信网。智能交通系统的交通管理、车辆行驶和电子收费等都围绕Telematics

和全欧无线数据通信网来展开。

相比较而言,我国汽车惯性导航系统的研究只是刚刚起步。我国车辆导航应用系统主要以GPS的指挥监控、调度报警系统为主,但结合GPS信息并基于Kalman滤波等多传感器信息融合算法的惯性导航系统却一直没有发展强大起来。

1.3 惯性组合导航系统的研究现状

目前,用于车辆定位导航系统中的定位技术大致有:全球定位导航系统GPS、惯性导航系统INS、航位推算(DR)、地图匹配(MM等[4]。

INS系统的特点是自主性强,它主要由惯性测量装置陀螺和加速度计、计算机和稳定平台组成,输出方向变化率;但惯性器件误差会使得系统误差随时间不断积累,且成本昂贵。GPS具有全球、全天候、高精度、实时三维的测定位置和速度的能力,因而有很大的优势;但它同时有其致命的弱点,它

必须收到空中未被遮挡的卫星信号才能提供准确、连续的位置信息。当GPS信号被树木、城市高层建筑和桥梁等遮挡或GPS接收不到四颗及以上的卫星信号时, GPS接收机将无法输出有效信息。

通过比较得到,INS与GPS之间有很强的互补性,具体体现在:

GPS属于非自主式导航系统,其接收机天线可能被遮挡造成信号暂时丢失定位中断。而INS是完全自主式导航系统,其导航信息不受外界干扰,无信号遮挡问题,可提供连续的导航信息。

GPS定位精度较高,无时间积累误差,其误差是有界的,INS在长时间运行时,由于陀螺元件存在漂移,故误差是发散的,是无界的。

INS惯性导航系统通常需要较长时间的预热和初始对准周期,而GPS接收设备首次定位时间仅为1-2分钟。

GPS接收机成本较低,而一台高精度的INS的价格很高。

通过分析得到,将GPS和INS组合起来,以使两者取长补短,构成一个有机的整体,可具有多方面的优势,具体体现在:[国防科大1.3]

GPS/INS 组合改善了系统精度

高精度 GPS 信息可用来修正

INS,控制其误差随时间的积累。利用GPS信息可以估计出INS的误差参数以及GPS接收机的钟差等量。另一方面,利用INS短时间内定位精度较高和数据采样率高的特点,可以为GPS提供辅助信息。利用这些辅助信息,GPS接收机可以保持较低的跟踪带宽,从而可以改善系统重新俘获卫星信号的能力。在卫星覆盖不好的时段内,惯性导航系统也可以帮助 GPS 提高定位导航精度。

GPS/INS 组合加强了系统的抗干扰能力

当GPS信号受到高强度干扰使信噪比低到 GPS

信号的跟踪成为不可能时,或当卫星系统接收机出现故障时,惯性导航系统可以独立进行导航定位。惯导系统信号也可被用来辅助 GPS

接收机天线的方向瞄准 GPS

卫星,从而减小了干扰对系统工作的影响[7]。

(3)解决 GPS 动态应用采样频率低的问题

某些动态应用领域中,高频 INS 数据可以在 GPS 定位结果之间高精度内插所求事件发生的位置。由于 INS 的采样率是 20Hz,高于 GPS 的采样率 1Hz。当利用 GPS 进行航位描述时,提供车辆轨迹的细节描述,提高轨迹监控的可信度。

(4)组合系统将降低对惯导系统的要求

在组合系统中,可以采用一种低性能的惯导系统。同时,高精度 GPS 信号可以显著提高组合系统的性能。这种组合导航系统的主要优点是成本低,是目前的发展方向之一。

GPS/INS组合系统是GPS与INS互相补充、互相提高的集成,而不是二者的简单结合。它是通过采集多路传感器的信号来解算出导航定位所需的方位信息,因此,通常需要采用多传感器信息融合技术来提高车辆导航定位的精度和可靠性。

在车辆组合导航中常用的几种融合方法有卡尔曼Kalman滤波、模糊逻辑推理、人工神经网络。模糊逻辑推理和人工神经网络方法目前仅限于理论研究尚无实际应用。卡尔曼滤波仍是车辆组合导航的理论基础。卡尔曼滤波是一种线性最小方差滤波方法,它需要考虑输入信号和量测量的统计特性,利用状态方程对系统模型进行描述。这种方法既能估计平稳的标量随机信号,又能估计非平稳的矢量信号随机过程。卡尔曼滤波又称为递推线性最小方差估计,它采用的是递推计算方法,不要求存储过去的量测值,只要根据当时的量测值和前一时刻的估计值,根据递推公式,利用计算机就可以实时地计算出所需信号的估计值。卡尔曼滤波分为集中卡尔曼滤波、分散卡尔曼滤波和联邦卡尔曼滤波[]。过去,通常用集中卡尔曼滤波器,但它的主要缺点是阶次太高,计算量太大,容错能力差,任何一个导航子系统出现故障,都直接影响组合导航系统的性能,甚至使组合导航失败。后来,分散卡尔曼滤波方法引起了研究者的广泛注意,这种方法把来自每个导航传感器的观测信息各用一个子滤波器处理,然后再用一个主滤波器把各子滤波器的输出信息进行综合,但它要求局部状态估计不相关,而一般情况下局部状态

估计往往是相关的。联邦卡尔曼滤波是基于分数卡尔曼滤波,通过局部滤波器的信息分配方法,对分散滤波器进行了改进。联邦卡尔曼滤波保证了整体状态估计的最优性,不要求局部估计不相关,是目前导航界普遍重视的融合算法[4]。

1.4 论文组织结构

GPS 和 INS 组合导航系统能充分发挥两者各自优势并取长补短,利用 GPS 的长期稳定性与适中精度,来弥补INS的误差随时间传播或增大的缺点,利用 INS 的短期高精度来弥补 GPS 接收机在受干扰时误差增大或遮挡时丢失信号的缺点。GPS/INS 两者组合的关键器件,是作为两者的接口并起到数据融合作用的卡尔曼滤波器。

本文研究了卡尔曼滤波技术的发展以及组合导航中多种卡尔曼滤波的应用问题,详细介绍了联邦卡尔曼滤波方法。全文共分为四章:

第一章首先介绍了课题的来源,概述了惯性导航系统的应用现状,阐述了惯性组合导航的研究现状,说明了惯性组合导航的优点,最后引出了卡尔曼滤波。

第二章简要介绍了卫星导航系统和惯性导航系统的组成和基本原理,研究了惯性陀

螺和加速度计的零位漂移,并以陀螺漂移随温度变化为例说明,最后说明了GPS与INS组合的必要性及其优势,并指出了卡尔曼滤波器在组合导航系统中占有重要的地位。

第三章讨论了卡尔曼滤波理论的基本方程、状态和量测初值的选取以及有色噪声和发散问题的简要处理方法。

第四章首先详细研究讨论了联邦卡尔曼滤波结构、算法和设计,研究了该滤波算法在GPS/INS 组合导航中的应用,并进行了相应的仿真分析。

第七章对全文进行了总结,比较各种卡尔曼滤波方法的优缺点,提出了卡尔曼滤波改善的方向,在 MEMS 器件大规模应用的情况下,提高系统的精度。

第二章 惯性组合导航定位研究

2.1 全球定位系统

2.1.1 GPS定位系统组成

全球定位系统即Global Positioning System,简称为GPS,是美国国防部为军事目的而研制的导航定位授时系统,旨在彻底解决陆地、海上和空中运载工具的导航和定位问题。该系统从1973年开始设计研制,在经过了方案论证、系统试验后,于1989年开始发射工作卫星,1994年全部建成并投入使用。GPS应用非常广泛,例如在地质学,地貌学,城市地理学等大地测量方面,在民用航空,航天,航海,海洋工程,陆地导航和军事领域等都有很高的价值[9]【中北2.1】。

GPS是一种全天候、以无线电通信为基础的卫星导航系统。如图2.1所示,它由三部分组成:(1)空间卫星星座部分;(2)地面监控部分;(3)用户设备部分。

图2.1 GPS系统的组成示意图

(1)空间卫星星座:由均匀分布在6个轨道面内的24颗卫星组成其中有3颗是备用卫星,每个轨道上分布有4颗卫星,轨道的平均高度约为20200km,偏心率为0.01,轨道相对地球赤道倾角约为55度,卫星运行周期为11小时58分。GPS卫星的这种空间分布使得同一观测点上每天出现的卫星分布图相同,只不过每天的时间提前约4分钟;并且每颗卫星每天约有5个小时在地平线以上,同时出现于地平线以上的卫星数目最少为4颗,多达11颗,随时间和地理位置而异,GPS是一

种全球性全天候的连续实时定位系统。

GPS卫星的基本功能为:1接收和储存由地面监控站发来的导航信息,接收并执行监控站的控制指令;2卫星上设有微处理机,进行部分必要的数据处理工作;3通过星载的高精度铷钟和铯钟提供精密的时间标准;4向用户发送定位信息;5在地面监控站的指令下,通过推进器调整卫星的姿态和启用备用卫星。

(2)地面监控部分:

包括卫星监测站,主控站和信息注入站,主要由分布于全球的5个地面站构成。卫星监测站设有双频GPS接收机,高精度原子钟,计算机和环境气象数据传感器。该站在主控站直接控制下自动采集数据,对GPS卫星连续观测,并监控卫星工作状况。观测资料经初步处理后存储并传送给主控站,以便确定卫星的轨道。主控站主要任务是:1由本站及其他监控站的所有观测资料,推算编制各卫星的星历、卫星钟差和大气层的修正参数等,并把这些数据传送到注入站;2提供全球定位系统的时间基准;3调整偏离轨道的卫星并使之沿预定轨道运行;4启用备用卫星以代替失效的工作卫星。注入站主要设备包括天线直径3.6m,C波段发射机和计算机。注入站的作用是在主控站的控制下,将主控站推算和编制的卫星星历、钟差、导航电文和其他控制指令等注入到相应卫星的存储系统中,并监测所注入信息的正确性。

(3)用户设备部分:用来接收GPS卫星发射的无线电信号,以获得必须的卫星轨道信息及观测量,经数据处理而得到定位结果。随着GPS应用领域的日益扩大,用户设备依用途不同而异,主要由GPS接收机硬件,数据处理软件,微处理机及其终端设备组成;硬件又分为主机、天线和电源。

空间卫星星座和地面监控部分是用GPS进行定位的基础,用户只有借助于用户设备才可达到定位的目的。下面主要介绍用户设备部分的GPS接收机组成

及原理。如图2.

2所示,GPS接收机主要由射频前端模块、信号处理模块和应用处理模块三大模块组成。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/177152102013006115>