

学校编号: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 200329001

UDC_____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

基于加速度传感器的定位系统研究

Study of Position System Based on Acceleration Sensor

陈 义 华

指导教师姓名: 孙道恒 教授

专 业 名 称: 精密仪器及机械

论文提交时间: 2006 年 8 月

论文答辩时间: 2005 年 9 月

学位授予日期: 2005 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 8 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

随着微机电技术的发展，微型惯性测量组合 (MIMU: Micro-inertial measurement unit) 已经显现出了其优异的性能，而加速度测量在微惯性测量组合中具有极其重要的作用。通过加速度计可以得到载体的运动速度和位置等导航信息，因此开展微惯性测量组合的研究具有十分重要的意义。

本文针对以微加速度计 ADXL203 为核心组成的微惯性测量组合的平面定位系统进行了研究，探讨此微惯性组合的特性和信号。本文主要包括以下几个方面的内容：

一、根据加速度计 ADXL203 的特性，设计了其外围电路。主要有加速度计带宽的设定、加速度计与后续电路的阻抗匹配和加速度计输出信号的滤波处理。

二、完成并优化了系统的算法和软件设计。通过对加速度积分算法的分析，提出了一种基于相对加速度的积分方法，降低了系统的漂移；同时通过设定加速度的阈值和自动更新传感器的静态输出值的方法，进一步提高了系统的精度。

三、根据组建的硬件系统，在 VC++ 6.0 平台上，开发了相对应的软件，实现了传感器信号的采集和处理。

四、对开发的系统进行调试和测试，并对测试结果进行了分析。分别进行了系统一维和二维直线运动的测试实验，得到了系统的定位误差小于 5 % 的结论。

五、对系统开发进行了总结，提出了有待进一步深入研究的工作。

关键词：微机电系统；微惯性测量组合；定位；

Abstract

With the development of MEMS (Micro Electrical Mechanical System), Micro-Inertial Measurement Unit (MIMU) has gradually showed its excellent performance. The measurement of acceleration plays a very important part in the field of Inertial Measurement. By measuring the acceleration of the carrier, the navigation information such as the speed and position of the carrier can be obtained. So it is of great significance to start researching and developing in this field.

This paper mainly focuses on the two-dimensional space orientation system which uses the accelerometer as the core. We discuss the character and signal output of the MIMU. So, the paper mainly includes the following contents:

1. Build the hardware system according to the characteristic of ADXL203 and the device we have. This step main includes setting the bandwidth of ADXL203、matching the impedance between ADXL203 and the subsequent circuit、filter the noise in the output signal.

2. Complete and optimized the arithmetic of the system and design the architecture of the software. By analyzing the output signal of ADXL203, an integral method based on relative acceleration has been put forward. It helps reduce the offset of the system. By setting the threshold of the acceleration and updating the static output of accelerometer automatically, the precision of the system has been improved.

3. Develop the software which is used to collect and process the output data of ADXL203 according to the hardware system using VC++6.0 platform.

4. Test and debug the system and analyze the result. One-dimensional motion and two-dimensional translational motion experiments have been carried out here and a conclusion that the orientation error is below 5% in both experiments has been made.

5. Make a conclusion and bring forward the works that can be further developed next steps.

Key Words: MIMU; MEMS; Orientation

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 课题背景	1
1.2 微惯性测量组合的发展现状	2
1.3 本课题的研究内容	3
第二章 微惯性测量组合的原理和结构	4
2.1 惯性导航系统	4
2.2 微惯性测量组合的坐标系统	6
2.3 本文的系统架构	10
2.4 本章小结	11
第三章 硬件系统的组成与设计原理	12
3.1 硬件系统概述	12
3.2 数据采集卡	12
3.3 传感器的选型和信号输出	13
3.4 低通滤波器	20
3.5 本章小结	26
第四章 系统的软件组成	27
4.1 软件系统的设计	27
4.2 软件的实现	31
4.3 本章小结	54
第五章 定位平台及测试实验	55
5.1 定位平台	55
5.2 测试实验	56
5.3 本章小结	68
第六章 开发总结与展望	69
6.1 开发总结	69
6.2 展望	70
参 考 文 献	71

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Table of Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 Development of MIMU	2
1.3 Content of This Paper	3
Chapter 2 Principles and Sturcture of MIMU	4
2.1 Inertial Navigation System	4
2.2 Coordinates System of MIMU	6
2.3 Framework of The System	10
2.4 Summary	11
Chapter 3 Principle and Components of Hardware System... 12	12
3.1 Introduction of Hardware System	12
3.2 Data-Collecting Card	12
3.3 Selection of Sensor and Signal Output	13
3.4 Low-Pass Filter	20
3.5 Summary	26
Chapter 4 Components of Software System..... 27	27
4.1 Design of Software System	27
4.2 Development of Software	31
4.3 Summary	54
Chapter 5 Locating Platform and Experiments..... 55	55
5.1 Locating Platform	55
5.2 Experiments	56
5.3 Summary	68
Chapter 6 Conclusion and Outlook	69
6.1 Conclusion	69
6.2 Outlook	70
References	71

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪 论

1.1 课题背景

微机电系统 (Microelectronic Mechanical Systems, MEMS), 是20世纪末, 21世纪初兴起的工程科学前沿, 是当前一个十分活跃的研究领域。经过几十年的发展, 微机电系统已成为世界瞩目的重大科技领域之一。它涉及多种学科与技术, 具有广阔的应用前景。MEMS继承和发展了微电子技术, 主要具有以下特点: 体积小、重量轻、性能稳定; 通过IC等工艺可批量生产、成本低, 性能一致性好; 功耗低; 谐振频率高、响应时间短; 综合集成度高、附加值高。基于MEMS技术的器件不仅具有信号处理功能, 还具有对外界的感应和作用功能, 以此为基础而发展起来的高精度、高集成度的智能化微型传感器及执行器将成为众多技术领域的核心器件, 对现在及未来人们的社会生产和生活方式将产生革命性的影响^[1]。

MEMS技术的迅猛发展促进了各类微型传感器的研究。其中, 微惯性器件(主要指微加速度计和微陀螺仪)就是一类典型的MEMS微传感器, 是惯性器件的一个重要分支。随着微加速度计和微陀螺仪性能上的不断提高, 极大地推动了微惯性测量组合(MIMU)的发展。MIMU是种新型的捷联惯导系统(Strapdown Inertial Navigation System, SINS), 它继承了传统SINS的特性^[2]: 完全自主式、保密性强(在军事应用领域尤为重要)、不存在信号的电磁干扰、全天候、机动灵活; 同时, 它又具有传统SINS所无法比拟的优点: 尺寸小、重量轻、成本低、功耗小、寿命长、可靠性高、动态范围宽、响应速度快和便于安装调试等。国外微惯性测量组合技术的发展已经有30年的历史, 西方国家尤其是美国, 在MEMS惯性器件、微惯性测量技术以及微惯性导航技术等方面处于领先的优势^[3]。微惯性测量组合主要应用于军事领域, 其高可靠性、小体积和抗恶劣环境的能力使其广泛地应用于战术导弹、炮弹的惯性导航系统, 另一个主要应用领域是汽车领域。因此, 微惯性测量组合的应用前景也越来越广阔, 其研究工作也日益受到重视。

1.2 微惯性测量组合的发展现状

微惯性测量组合的电子线路由三部分组成：传感器电路组件、转换电路组件和数据处理组件。最终目标是将所有功能模块集成在一块硅片上。每一个惯性仪表都有专用集成电路并产生相应的输出，送给微处理器进行数据处理产生导航信息。德雷珀实验室 1994 年研制成微惯性测量组合，它由 6 个传感器组成，包括 3 个微机械陀螺仪和 3 个微机械加速度计，配置在立方体的三个正交面上，整个惯性测量组合的尺寸为 2cm X 2cm X 0.5cm^[4]。

美国国防部的 DARPA（国家高级研究计划局）以及其他部门在 MEMS 惯性导航技术方面的投资也在逐渐增加，研究低成本、战术级导航系统。惯性技术领域的著名研究机构，如 Draper 实验室、Honeywell、喷气推进实验室（JPL）、BEL 公司以及其他一些著名的大学、研究中心都在 MEMS 惯性器件、MEMS-IMU 和低成本战术级的微惯性与组合导航技术等方面展开了大量的研究，成效显著，系统正在走向中精度、组合导航^[5]。自 20 世纪 90 年代初开始，Draper 将 MEMS 惯性技术用于军用领域，其研究工作的进展通过下表可以体现：

表1.1 Draper 实验室近年来MEMS-INS的项目状况表^[6]

项目计划名称	时间	体积 /cm ³	MEMS INS 中的IMU			与GPS 组合方式
			IMU 构成	陀螺漂 移/(°)/h	加表零 偏/10-3g	
ERGM(Extend-Range Guided Munition)	1995	2065	6 个单轴 MEMS 惯性器 件	500	20	C/A 码 GPS 紧 组合
CMATD (Competent Munitions Advanced technology Demonstration)	1997	213	6 个单轴 MEMS 惯性器 件	50	1mg	P 码GPS 紧组合
MMIMU(MEMS IMU)	2000	131	2 个三轴惯性 测量模块	10	0.1	P/Y 码 GPS 深 组合
Low-Cost INS/GPS	2003 ~ 2005	49	1 个六轴惯性 测量模块	1	0.1	利用GPS 芯片深组 合

另外，其他国家的一些科研机构也对这种基于 MEMS 技术的微型惯性测量

组合在导航等应用领域展开研究。我国 MEMS 技术研究始于 90 年代初,在“八五”、“九五”期间得到总装备部、国家科技部、国家自然科学基金委和教育部的重点支持,并将 MIMU 作为“九五”微米/纳米技术预研的需求牵引^[7]。目前,全国已有 50 多家高等院校及科研院所开展了 MEMS 相关方面的研究工作并在微惯性传感器及 MIMU 等诸多方面取得一定成果。

1.3 本课题的研究内容

采用传统机械惯性器件组成的航向、姿态系统已经有几十年的发展历史,但利用微机械惯性器件构造的导航产品则处于发展阶段。国外相关报道中有类似的大多采用激光陀螺,而国内正处于发展阶段^[8]。本论文是基于 MEMS 器件具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高、精度适中等特点,从对实际的微惯性测量组合的研究出发,来研究利用加速度计组成的定位系统。通过在物体上安装加速度计以敏感物体运动的加速度并通过采集卡将加速度计的输出信号传送到计算机进行积分等运算处理得到物体运动的位移,以实现物体定位或者导航的目标。

本文的主要研究内容:

(1) 根据加速度计 ADXL203 的特性并结合实际情况,组建硬件系统。在这部分中包含加速度计外围电路的设计即带宽的选择和设定、加速度计与后续电路的阻抗匹配电路以及加速度计输出信号的滤波电路的设计;

(2) 完成并优化了系统的算法和软件设计。根据组建的硬件系统,开发了相对应的软件,实现了传感器信号的采集和处理。这里通过对加速度积分算法的分析,提出了一种基于物体相对加速度的积分方法,降低了系统的漂移;同时通过设定加速度的阈值和自动更新传感器的静态输出值的方法,进一步提高了系统的定位精度;

(3) 对开发的系统进行调试和测试,并对测试结果进行了分析。在对系统的测试中,分别进行了系统一维和二维直线运动的测试实验并且通过实验得到了系统的定位误差小于 5% 的结论,实现了对物体的位置进行定位的目标;

(4) 对系统的开发进行了总结,提出了有待进一步深入的工作。

第二章 微惯性测量组合的原理和结构

2.1 惯性导航系统

微型惯性测量组合的基本工作原理是以牛顿力学定律为基础,在微型惯性测量组合的载体内部测量载体运动的加速度、角加速度,经由积分运算得载体的速度和位置信息即载体的导航信息。

微型惯性测量组合的原理如图 2-1 所示,微型惯性测量组合由六个微传感器组成,包括三个单自由度微陀螺和三个微加速度传感器^[9]。这六个传感器安装在立方体的三个正交平面上,它们的敏感轴相互垂直,组成测量体的三维坐标系。当微型惯性组合的信号提取出来后,传递给计算机进行处理,最终达到确定载体方位信息的目标。

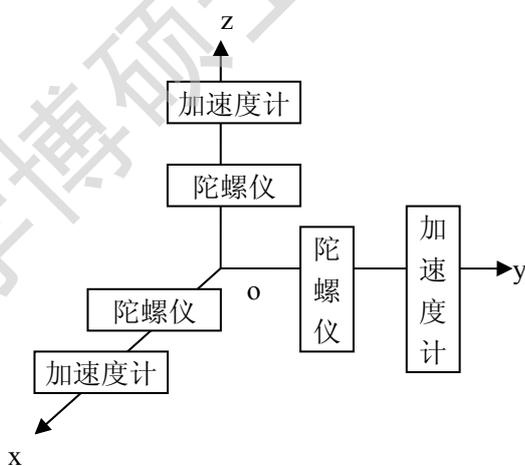


图 2-1 微型惯性测量组合原理图

微型惯性测量组合系统结构可分为平台式惯性导航系统(惯性导航组合安装在惯性平台的台体上)和捷联式惯性导航系统(惯性导航组合直接安装在载体上)。后者省去平台,所以结构简单、体积小、维护方便,但仪表工作条件不佳,影响精度且计算工作量大。

2.1.1 平台式惯性导航系统

平台式惯性导航系统将惯性测量元件安装在惯性平台上，惯性平台模拟一个导航坐标系，把加速度计的测量轴稳定在导航坐标系，并用模拟的方法给出载体的姿态和方位信息。为了克服作用在平台上的各种干扰力矩，平台必须具有以陀螺仪作为敏感元件的稳定回路^[10]，图 2-2 给出了平台式惯性导航系统的示意图。由于加速度计和陀螺仪安装在惯性平台上，与载体的角运动隔离，因而其角运动的动态工作范围小，惯性器件的精度容易得到保证，具有导航精度高的特点。

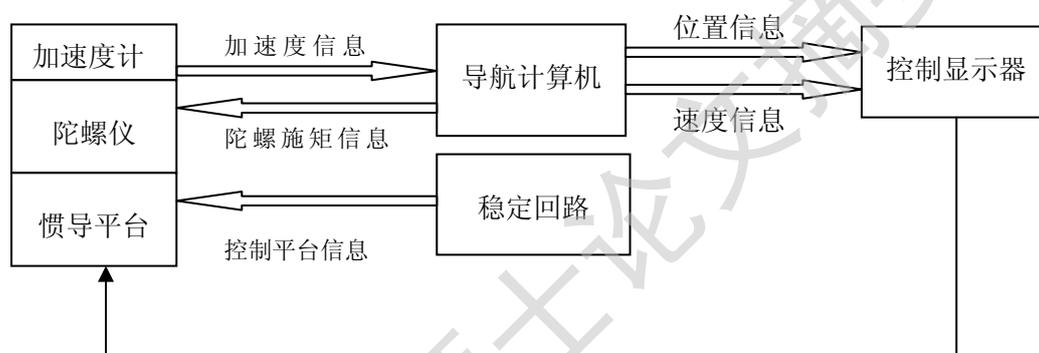


图 2-2 平台式惯导系统原理示意图

由图可见，一组加速度计安装在惯性平台上，为导航计算机的计算提供加速度信息。导航计算机根据加速度信息和控制台给定的初始条件进行导航计算，得出载体的运动参数及导航参数，一方面送去显示器显示，另一方面形成对平台的指令角速率信息施加给平台上的陀螺仪，再通过平台的稳定回路控制平台精确地跟踪选定的导航坐标系，同时从平台框架轴上的角传感器可以拾取载体的姿态信息送往显示器显示。

2.1.2 捷联式惯性导航系统

捷联式惯导系统如图 2-3 所示，加速度计和陀螺仪直接安装在载体上。加速度计测量的是物体在载体坐标系三个方向上的加速度的分量，此时必须通过陀螺仪测得载体相对于惯性空间所转动的角度，然后再结合加速度计的输出信号通过解算得到物体的实时位置、姿态等信息。

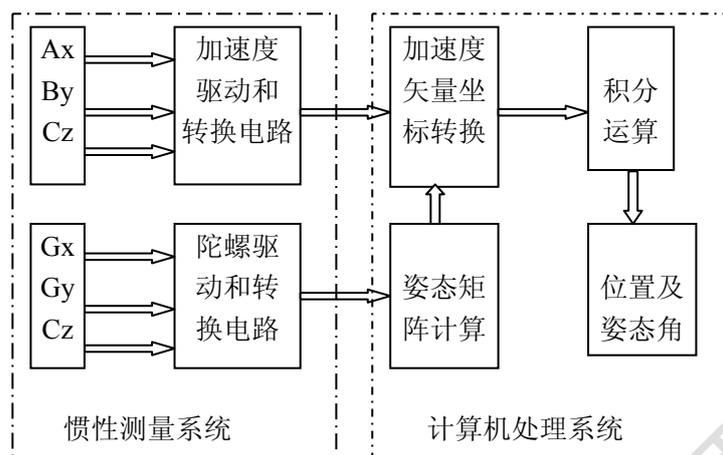


图 2-3 捷联式惯性导航系统原理图

研究捷联式惯导系统所需解决的技术难点有两点，一是捷联式惯导系统对惯性器件特别是陀螺仪的要求更加的苛刻，二是由于是通过计算机进行微分方程的解算和多种坐标系的转换而得到载体的速度和位置信息，即计算机代替了平台式惯导系统中的平台，因此对处理信息的计算机的速度和精度提出了更高的要求。

与平台式惯性导航系统相比，捷联式惯导系统具有如下优点[11]

(1) 简化了导航平台，省去了复杂的机械式惯性平台，降低了整个系统的体积、重量和成本，提高了系统的可靠性；

(2) 捷联式惯导系统提供的参数多，可以给出载体轴向的线性加速度和角速度，因此可以得到更多的导航信息；

(3) 捷联式惯导系统更容易安装和维护。

与此同时，捷联式系统也带来了缺点：陀螺仪和加速度计直接安装在载体上，要承受较大的振动和冲击且工作的动态范围较大，因此需要有高精度的陀螺仪和进行捷联陀螺的误差补偿才能保证系统的稳定与可靠，同时计算量大，精度稍低。

2.2 微惯性测量组合的坐标系统

2.2.1 惯性导航的坐标系系统

坐标系是描述运动体位置姿态和运动的参考基准，运动体在空间位置姿态的确定是依据坐标系之间的相互转换和测量加速度和角速率来实现的。确定空间运

动体位置姿态的坐标系很多，正确选择合理坐标系能够使其运动方程组的形式和繁简程度降低，求解方程组更加容易和运动参数描述更加直观。下面对常用的几种坐标系进行介绍^[12]。

1. 地球坐标系

在地球坐标系中，原点 O 与地球的质心重合， Z 轴指向地球北极， X 轴指向赤道平面与格林威治子午面的交线上，如图 2-4 (a) 所示， x 、 y 、 z 轴构成右手坐标体系，该坐标系相对于地心惯性坐标系以地球自转角速度旋转。通常在定位中很少见到用 $OXYZ$ 坐标来表示载体相对地球表面的位置，最常用的是用经纬度坐标表示，在 (a) 图中可以看出 P 点所在位置可以用经度 λ ，纬度 ϕ 和 P 点的高度来表示。

2. 地理坐标系

地理坐标系的原点取在运动物体 M 在地球表面上的位置 O 点，如图 2-4 (b) 所示， OX 指向东方向， OY 指向北方向， OZ 沿当地垂线方向指向天顶即通常所说的东北天配置，且 $OXYZ$ 构成右手坐标体系，除此之外，还常有“北、东、地”或“北、西、天”为顺序构成的右手直角坐标系。当物体在地球上运动的时候，物体相对地球的位置不断的发生变化，而地球不同地点的地理坐标系其相对地球坐标系的角位置是不同的，也就是说物体相对于地球的运动将会引起根据物体定义的地理坐标系的转动，即地理坐标系相对惯性系的转动角速度包含两个分量：一是地球转动所引起的地球坐标系相对于惯性系的转动角速度；二是地理坐标系相对于地球坐标系所产生的转动角速度。地理坐标系随着地球的转动和载体的运动而运动，它是水平和方位的基准。

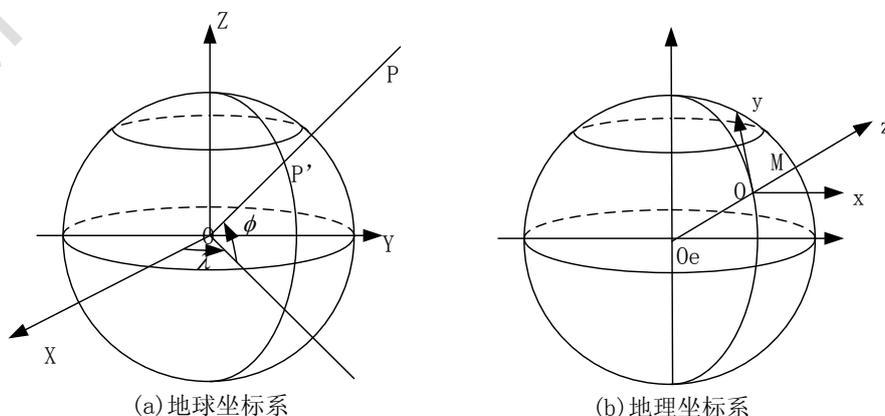


图 2-4 地球坐标系与地理坐标系

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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.

厦门大学博硕士论文摘要库