

基于磁阻传感器和加速度计的电子罗盘设计

杨红红,程慧娟

(泰州机电高等职业技术学校 电子信息工程系,江苏 泰州 215300)

摘要: 介绍了三轴磁阻传感器 MMC3120MQ 的技术特点,并利用此传感器、三轴加速度传感器 ADXL335 和微控制器 MSP430F2618 设计了一种具有倾斜补偿功能的手持式电子罗盘。详细分析了磁阻传感器的误差模型,并给出了基于最小二乘椭圆拟合的误差补偿算法。在无磁测试转台上进行了测试,试验结果验证了该电子罗盘能够达到较高的精度,水平放置时航向角绝对误差最大值为 1.2° 左右,可广泛应用于民用导航领域。

关键词: 电子罗盘;磁阻传感器;加速度传感器;倾角补偿

中图分类号: V241.611

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2011)15-0093-03

Design of an electronic compass based on magnetoresistance sensor and accelerometer

Yang Honghong, Cheng Huijuan

(Electronics and Information Engineering Department, Taizhou Higher Vocational School
Mechanical & Electrical Technology, Taizhou 215300, China)

Abstract: The technical features of 3-axis magnetoresistance sensor MMC3120MQ are introduced. Based on MMC3120MQ, 3-axis accelerometer ADXL335 and MCU MSP430F2618, an electronic compass with tilt compensation is developed. The analysis about the errors of magnetoresistance sensor is provided and the compensation method is also presented based on least square ellipsoid fitting. At last, the practical testing is performed with electronic compass on nonmagnetic test turntable, and the results have proved the electronic compass can reach to the high accuracy, and maximum of absolute errors of yaw angle is about 1.2° when leveled. So the electronic compass can meet the requirement of civil navigation field widely.

Key words: electronic compass; magnetoresistance sensor; accelerometer; tilt compensation

电子罗盘是一种重要的导航定位工具,通过磁敏传感器测量地球磁场,能够实时提供运动物体的航向和姿态。磁敏传感器是传感器技术的一个重要组成部分,近年来,随着磁性薄膜的各向异性磁阻效应和铁磁/非磁金属多层结构薄膜的巨磁电阻在国外引起了基础理论研究和应用方面的高度重视,薄膜磁阻传感器迅速成为磁性传感器技术中最活跃的一个分支。磁阻传感器具有体积小、功耗低、易于安装,且温度特性好、实时性和抗干扰能力强、误差不随时间积累等特点,使基于磁阻传感器的电子罗盘越来越受到人们的重视^[1]。随着当前通信技术、汽车电子、太阳能发电跟踪器和智能手机的快速发展,三维电子罗盘作为航向、俯仰和翻转等参数的测量而得到大量的使用。

1 电子罗盘工作原理

地球的磁场强度为 0.5~0.6 G,无论何地,磁场的水平分量永远指向磁北,这是所有磁罗盘的制作基础。三维电子罗盘能实时提供活动物体的航向角、俯仰角和横滚角,通过这三个角度可确定物体的姿态参数,实际上就是确定了载体坐标系与地理坐标系之间的方位关系,如图 1 所示。三维电子罗盘可以在任意姿态进行地磁场分量的测量,得到罗盘表面三个方向的磁场强度为 M_x^p 、 M_y^p 、 M_z^p 。然后根据三轴加速度传感器测得重力加速度在罗盘表面三个方向的重力加速度分量为 G_x 、 G_y 、 G_z ,根据公式 $\gamma = \tan^{-1} \frac{G_x}{G_z}$, $\theta = \tan^{-1} \frac{G_y}{-G_x \sin \gamma + G_z \cos \gamma}$ 求得俯仰角 θ ,横滚角 γ ^[2]。在三维空间内,当载体机体坐标系的 XY

平面不在水平面内,即载体存在横滚角 γ 和 θ 俯仰角时(如图1),需要将沿机体坐标系测量的地磁场信息转换到地平坐标系 h 系内,求解载体的磁航向角。机体坐标系和地平坐标系之间的转换矩阵为:

$$C_{h}^b = \begin{bmatrix} \cos\gamma & 0 & -\sin\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma \cdot \sin\theta & -\sin\gamma \cdot \cos\theta \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\gamma & -\cos\gamma \cdot \sin\theta & \cos\gamma \cdot \cos\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

磁阻传感器的测量值 M_x^b 、 M_y^b 、 M_z^b 转换到地平坐标系的公式为:

$$M^h = C_{h}^b \cdot M^b \quad (2)$$

公式(2)的分量形式为:

$$\begin{cases} M_x^h = \cos\gamma \cdot M_x^b + \sin\gamma \cdot M_z^b \\ M_y^h = \sin\gamma \cdot \sin\theta \cdot M_x^b + \cos\theta \cdot M_y^b - \cos\gamma \cdot \cos\theta \cdot M_z^b \\ M_z^h = -\sin\gamma \cdot \cos\theta \cdot M_x^b + \sin\theta \cdot M_y^b + \cos\gamma \cdot \cos\theta \cdot M_z^b \end{cases} \quad (3)$$

则磁航向角:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{M_y^h}{M_x^h}\right) \quad (4)$$

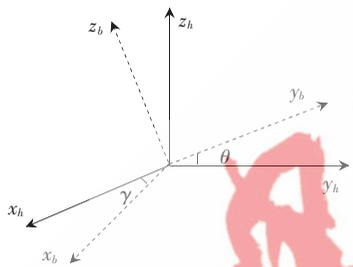


图1 机体坐标系 b 和地平坐标系 h 方位关系

2 硬件设计

三维电子罗盘的硬件原理框图如图2所示。系统使用三轴磁阻传感器MMC3120MQ和三轴加速度传感器ADXL335分别得到三维空间中的地磁场分量和重力加速度分量,采用TI公司的MSP430F2618来完成传感器数据采集,并进行传感器数据处理和误差校正等,最终得到三个姿态角后控制LCD进行结果显示。

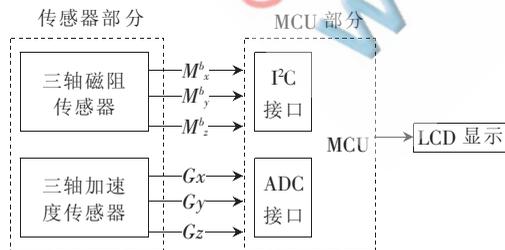


图2 三维电子罗盘硬件原理框图

2.1 传感器部分

MMC3120MQ是MEMSIC公司2009年推出的三轴AMR(Anisotropic Magnetoresistant)各向异性磁阻传感器,它具有I²C数字接口,可直接连接微控制器,数据读写

非常方便,并且芯片内部已经集成复位/置位功能,可以抵御强磁破坏。MMC3120MQ的工作电压范围为2.7V~5.25V,工作温度范围为-40°C~+85°C,分辨率为512 counts/gauss,可满足民用领域的应用要求。

ADXL335是ADI公司一款小尺寸、薄型、低功耗、完整的MEMS三轴加速度传感器,以最小 $\pm 3g$ 的满量程范围测量加速度,并提供经过信号调理的电压输出,可直接接入A/D转换器。通过对测得的加速度值进行运算即可得到载体的俯仰角和横滚角。

2.2 MCU部分

MSP430F2618是一款TI公司推出的最低功耗16bit通用MCU。由于在3.3V电压下实现了16MHz的全速处理器状态,电池使用寿命与系统成本得以进一步优化。该产品中的片上选项包括八通道12bitADC,通用串行通信接口(UCSI)能通过灵活的标准实施方案(支持PC、SPI、I²C与UART)来缩短开发时间。MSP430F2618通过PC接口直接与磁阻传感器连接,使用三个12bitADC通道与ADXL335的电压输出端口连接,因此可快速地进行数据采集,然后根据算法进行计算得到结果,最后在LCD显示模块PCF8833上显示结果。

3 误差分析与软件设计

磁阻传感器通过感知地磁场大小和方向来确定航行角,当没有误差的情况下,磁阻传感器的X、Y、Z轴输出可用图3(a)表示,在坐标系上映射出一个球体。但是由于传感器本身的制作工艺,安装误差及周围环境的铁磁干扰等因素影响,航行角误差是不可避免的。电子罗盘的误差主要分为:制造误差、安装误差和环境误差等。制造误差可分为三类:零位误差、灵敏度误差、正交误差。其中,零位误差为单周期误差,灵敏度误差为双周期误差,而正交误差则由常值误差和双周期误差构成。安装误差造成磁航行角存在常值误差。环境误差产生于使用环境的铁磁介质材料,包括软铁干扰和硬铁干扰。其中软铁误差与制造类误差模型类似,而硬铁误差则属于零位误差^[3]。在零位误差和灵敏度误差的情况下磁阻传感器的X、Y、Z轴输出可用图3(b)表示;同时如果还有软磁干扰和正交误差,则磁阻传感器的X、Y、Z轴输出可用图3(c)表示。

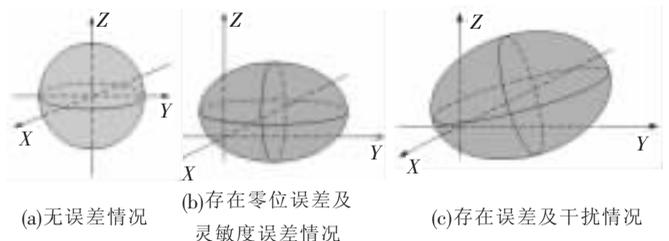


图3 磁阻传感器X、Y、Z轴数据映射曲面

针对以上误差,本文使用最小二乘椭球拟合磁误差补偿算法拟合磁阻传感器输出值映射的椭球曲面。图3

所示的椭球曲面可用二次多项式方程表示:

$$\begin{cases} F(x,y,z)=aX^2+bY^2+cZ^2+2fYZ+2gXY+2hYZ+2uX+2vY+2wZ+d \\ a+b+c=1 \end{cases} \quad (5)$$

式(5)描述的最小二乘问题具有椭球拟合唯一解,且为全局最小解。基于最小二乘椭球拟合磁误差补偿算法的基本设计思路是:使磁阻传感器在环境磁场中均匀地进行一次三维全方位的旋转,微控制器按一定的采样频率同步采集原始磁场强度数据,然后进行最小二乘椭球拟合磁误差补偿算法得到式(5)的系数,根据系数即可求得磁阻传感器三轴输出椭球曲面模型的中心点、灵敏度和椭球的倾斜度,由此完成磁阻传感器三轴数据的归一化过程,最后使用式(4)求得误差修正后的磁航向角值。

4 实验结果分析

本文根据硬件设计方案研制了手持式三维电子罗盘,并使用电子罗盘航向角求解算法和最小二乘椭球拟合磁误差补偿算法编制了在MSP430F2618上运行的软件代码,最后对所研制的三维电子罗盘在无磁测试转台上进行了测试。电子罗盘水平放置并均匀旋转一周,对每5°为一个测量点,得到误差校正前与误差校正后的电子罗盘航向误差曲线,如图4所示。未经过误差校正的电子罗盘航向角绝对误差最大达到7.5°,经过误差校正后的航向角绝对误差最大为1.2°。可见使用最小二乘椭球拟合磁误差补偿算法可有效补偿大部分的磁阻传感器误差。

本文使用一种新型的数字三轴磁阻传感器和三轴MEMS加速度传感器设计了一款手持式三维电子罗盘,分析了磁阻传感器中存在的误差,提出了最小二乘椭球



图4 误差校正前后电子罗盘航向角绝对误差曲线

拟合磁误差补偿算法进行误差补偿,实验结果表明,电子罗盘具有较高的精度和稳定性,可用于民用导航领域。

参考文献

- [1] 王君,罗冰.基于磁阻传感器的带倾斜补偿的电子罗盘的研制[J].河南大学学报,2009,39(3):244-246.
- [2] Liu Jianye, Li Rongling, Niu Xinyuan, et al. MEMS-based inertial integrated navigation technology for micro air vehicles [C]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Keystone, Colorado, 2006:21-24.
- [3] 李珊,范大鹏,张智永,等.三轴磁罗盘高精度误差补偿算法研究[J].传感器世界,2005(9):19-22.

(收稿日期:2011-03-01)

作者简介:

杨红红,女,1981年生,工学硕士,主要研究方向:应用电子技术方面的教学与研究工作。