

电子罗盘水平状态下航向角误差补偿算法的研究

贺云凯¹, 刘卫玲², 韦 啸¹, 段晋军¹, 常晓明¹

(1. 太原理工大学 计算机科学与技术学院, 太原 030024;

2. 太原理工大学 物理与光电工程学院, 太原 030024)

摘要: 针对电子罗盘测量时存在传感器的零位、灵敏度误差和干扰磁场引起的航向角误差问题, 应用一种航向角误差补偿算法进行校正; 在分析了电子罗盘航向角测量的工作原理、航向角误差形成原因的基础上, 详细阐述了该补偿算法的实现原理, 并通过 LabVIEW 软件仿真验证; 同时设计了两种测量方案和测试系统, 利用 HMC1043 芯片的电子罗盘进行多次实测验证并得出结论; 实验结果表明: 补偿后电子罗盘测量的航向角误差在 4.5° 以内; 该补偿算法补偿效果良好, 实现简单。

关键词: 电子罗盘; HMC1043; 补偿算法; LabVIEW

Research of Electronic Compass Heading Angel Error Compensation Algorithm under Horizontal State

He Yunkai¹, Liu Weiling², Wei Xiao¹, Duan Jinjun¹, Chang Xiaoming¹

(1. College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. College of Physics and Photoelectric, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: A heading angle error compensation algorithm, which deals with the existing problem of electronic compass heading angle error caused by sensor's zero error, sensitivity error and disturbing magnetic error, is applied. The principle of compensation algorithm implementation is elaborated on the basis of analyzing the working principle of electronic compass heading angle measurement and the reasons of heading angle error formed, and this compensation algorithm is also simulated with LabVIEW. Two measurement solutions and test systems are designed at the same time, and the conclusion is drawn according to lots of measurement and verification with electronic compass of HMC1043 chip. The results show that electronic compass heading angle error that has been compensated is less than 4.5° . The compensation algorithm has a good compensation effect and is easy to implement.

Keywords: electronic compass; HMC1043; error compensation; LabVIEW

0 引言

随着科技的进步, 近年来智能探测技术得到了广泛的应用, 其中电子罗盘广泛应用于方位识别领域。电子罗盘是传感技术和电子技术结合的产物, 是利用地磁与磁阻传感器相互作用的原理解算航向角。目前应用广泛的是磁阻式电子罗盘, 它具有抗震性、测量精度高等优点, 但是易受到除地磁场之外的其它磁场等因素的干扰, 导致测量的航向角产生误差。

如何实时有效地消除或尽量减小外界干扰磁场对电子罗盘精度的影响, 是保证电子罗盘能够广泛应用的关键所在^[1]。本文在理论分析的基础上, 针对电子罗盘应用中存在的零位误差、灵敏度误差和干扰磁场引起的罗差, 采用一种补偿算法, 通过软件仿真和实际测量验证补偿算法的可行性。

1 航向角测量算法

1.1 测量模型

水平状态下电子罗盘测量航向角时, 可直接利用磁阻传感器相互垂直的敏感轴 x 轴和 y 轴进行测量。在此设电子罗盘位于飞行器上, H 为当地地磁场矢量在水平面的投影, 罗盘的

敏感轴 x 轴的方向为飞行器正前方, 其与地磁北极 N_M 的夹角为地磁航向角 α , 与地理北极 N_G 的夹角为地理航向角 γ , 而地磁北极 N_M 与地理北极 N_G 的夹角为磁偏角 β ^[2], 如图 1 所示。

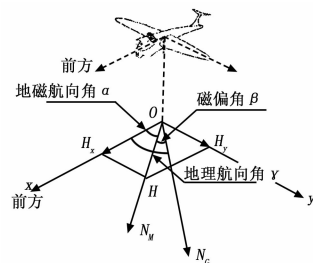


图 1 电子罗盘航向角测量模型

根据规定, 地磁北极 N_M 向东偏时磁偏角 β 为正, 向西偏时为负。结合图 1, 地磁航向角 α 、地理航向角 γ 和磁偏角 β 有式 (1) 所示的关系。

$$\gamma = \alpha + \beta \quad \gamma \in [0, 360) \quad (1)$$

另外, 敏感轴 x 轴和 y 轴上的磁场矢量投影 H_x , H_y 有式 (2) 所示的关系。

$$\begin{cases} H_x = H \cdot \cos\alpha \\ H_y = H \cdot \sin\alpha \end{cases} \quad (2)$$

由式 (2) 可得式 (3):

收稿日期: 2014-01-16; 修回日期: 2014-03-11。

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20121402110017)。

作者简介: 贺云凯(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事计算机监测与控制方向的研究。

$$\alpha = \arctan\left(\frac{H_y}{H_x}\right) \quad (3)$$

电子罗盘在磁场作用下输出的电压 V_x 和 V_y 有式 (4) 的关系。

$$\begin{cases} V_x = k_x \cdot H_x \\ V_y = k_y \cdot H_y \end{cases} \quad (4)$$

式中, k_x 为电子罗盘的灵敏度 (V/Gs), k_y 为电子罗盘的灵敏度 (V/Gs)。

理想情况下 $k_x = k_y = k$, 则由式 (3) 和式 (4) 可得地磁航向角 α 的计算公式可变为式 (5)。

$$\alpha = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right) \quad (5)$$

当电子罗盘在水平面旋转一圈时, 以 V_x 为横坐标和 V_y 为纵坐标形成的图形为以 kH 为半径、圆心在原点的圆。

1.2 误差分析

由于传感器制造和外界环境因素的影响, 电子罗盘测量的航向角会出现误差, 其中传感器的零位误差、灵敏度误差和外界的干扰磁场引起的误差较为明显。传感器的零位误差使电子罗盘的偏置电压不为零, 灵敏度误差将使电子罗盘的敏感轴 x 轴和 y 轴的灵敏度 k_x 和 k_y 不相等。而与电子罗盘位姿保持不变的、恒定的外界干扰磁场的影响相当于在敏感轴方向上增加恒定的磁场矢量 h_x 和 h_y ^[3], 等同于电子罗盘输出电压增加了一个电压常量, 与零位误差的影响相同。最终上述误差使电子罗盘的输出电压由式 (4) 变为式 (6)。

$$\begin{cases} V_x = k_x \cdot H_x + d_x \\ V_y = k_y \cdot H_y + d_y \end{cases} \quad (6)$$

式中, d_x, d_y 是由零位误差和与罗盘位姿保持不变的外界干扰磁场影响的结果, 灵敏度误差则使罗盘两轴的灵敏度 k_x 和 k_y 不相等。在上述误差因素的影响下, 电子罗盘的 V_x 和 V_y 形成的图形就由圆变为椭圆, 并且椭圆的中心点为 (d_x, d_y) , 轴长为 $k_x H$ 和 $k_y H$ 。

1.3 误差补偿算法

从几何角度考虑, 多种误差使电子罗盘输出 V_x 和 V_y 的图形由圆变为椭圆, 相应的误差补偿算法就应将椭圆矫正为圆。因此, 误差补偿算法可通过以下两步完成。

- 1) 修正椭圆, 使椭圆的长轴和短轴的长度相等;
- 2) 平移椭圆, 使椭圆的中心点与坐标原点重合。

要实现航向角误差补偿算法, 首先需要找到椭圆上 x 轴和 y 轴方向上的最大值和最小值^[4], 在此分别用 $V_{x\max}, V_{x\min}, V_{y\max}$ 和 $V_{y\min}$ 表示。之后按补偿算法即可计算出航向角的误差补偿参数, 如式 (7)^[5] 所示。

$$\begin{cases} X_{sf} = \max\left(1, \frac{V_{y\max} - V_{y\min}}{V_{x\max} - V_{x\min}}\right) \\ Y_{sf} = \max\left(1, \frac{V_{x\max} - V_{x\min}}{V_{y\max} - V_{y\min}}\right) \\ V_{x\text{off}} = \left(\frac{V_{x\max} - V_{x\min}}{2} - V_{x\max}\right) \cdot X_{sf} \\ V_{y\text{off}} = \left(\frac{V_{y\max} - V_{y\min}}{2} - V_{y\max}\right) \cdot Y_{sf} \end{cases} \quad (7)$$

式中, X_{sf} 为电子罗盘 x 轴数据修正系数, Y_{sf} 为电子罗盘 y 轴数据修正系数, $V_{x\text{off}}$ 为电子罗盘 x 轴数据的偏置电压 (V), $V_{y\text{off}}$ 为电子罗盘 y 轴数据的偏置电压 (V)。

X_{sf} 和 Y_{sf} 可修正椭圆, 使其长轴和短轴相等, $V_{x\text{off}}$ 和

$V_{y\text{off}}$ 可使椭圆中心平移至坐标原点。利用误差补偿参数, 可补偿电子罗盘的输出电压, 如式 (8)^[5] 所示。

$$\begin{cases} V'_x = V_x \cdot X_{sf} + V_{x\text{off}} \\ V'_y = V_y \cdot Y_{sf} + V_{y\text{off}} \end{cases} \quad (8)$$

式中, V'_x 为 x 轴补偿后输出电压 (V), V'_y 为 y 轴补偿后输出电压 (V)。

2 算法验证

在 LabVIEW 环境下对式 (7) 和式 (8) 所示补偿算法软件仿真的基础上, 将其应用在 HMC1043 电子罗盘中进行实测。笔者开发的 HMC1043 电子罗盘主要由三轴磁阻传感器 HMC1043 和双轴加速度传感器 ADXL203 组成, 其验证系统如图 2 所示。

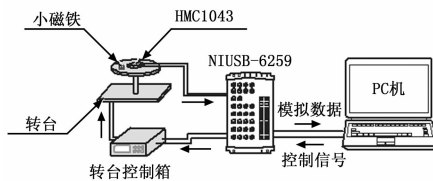


图 2 误差补偿算法验证系统

在图 2 所示的系统中, 使用小磁铁的磁场模拟外界的干扰磁场, 以此验证所述的航向角补偿算法对干扰磁场的补偿效果; 拿去小磁铁时则可验证所述的航向角补偿算法对零位误差和灵敏度误差的补偿效果。

方案中 PC 机利用 LabVIEW 编写的控制软件, 一方面利用 NI USB-6259 发送控制信号给转台控制箱, 转台控制箱产生相应的驱动信号驱动转台转动; 另一方面 NI USB-6259 采集与转台捷联在一起的电子罗盘的敏感轴 x 轴和 y 轴的输出电压, 并送至 PC 机, 采集完成后在 Origin 中处理, 分析航向角的补偿算法在两种环境下对误差干扰的补偿效果。

3 测试结果及分析

根据图 2 所示的测量系统, 在 LabVIEW 环境下完成相应的控制软件后, 首先在拿去小磁铁的环境下测量。当 HMC1043 电子罗盘随转台转动一圈时, 测得 HMC1043 的输出电压 V_x 和 V_y 组成的图形如图 3 所示。

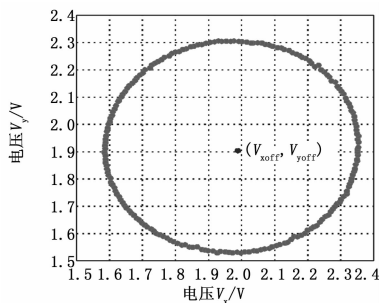


图 3 零位、灵敏度误差影响结果

由图 3 测得的结果可知: V_x 和 V_y 组成的图形是中心点位于 $(V_{x\text{off}}, V_{y\text{off}})$ 且不为 $(0, 0)$ 的椭圆 (近似圆)。利用航向角补偿算法补偿后, 测得 HMC1043 的输出电压 V'_x 和 V'_y 组成的图形如图 4 所示。

由图 4 所示的结果可知: 补偿后罗盘的输出电压 V'_x 和 V'_y 组成的图形为圆心在原点的圆。在图 3 和图 4 对应的情况下,

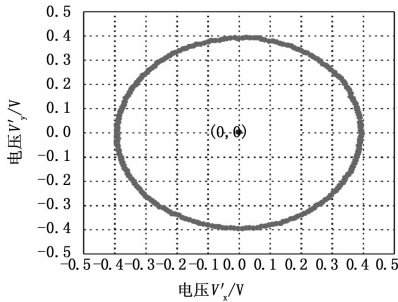


图 4 对零位、灵敏度误差的补偿效果

罗盘测得的地磁航向角 α 与转台转过的角度 φ 的关系如图 5 所示。

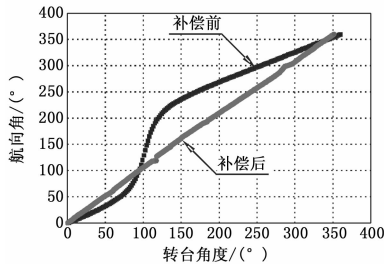


图 5 零位、灵敏度误差下航向角测量结果

由图 5 所示的测量结果可知: 补偿前由于 V_x 和 V_y 形成的椭圆中心点为 (V_{xoff}, V_{yoff}) 不为 $(0, 0)$, 所以 HMC1043 电子罗盘测量的磁航向角 α 与转台角度 φ 并非线性关系; 补偿后罗盘的输出电压 V_x 和 V_y 组成的图形为圆心在原点的圆, 对应的磁航向角 α 与转台角度 φ 的关系已接近直线。由补偿前后的结果对比可知, 通过所述的补偿算法可以有效地补偿传感器的零位、灵敏度误差。

之后再次按图 2 所示的测量系统, 在小磁铁产生干扰磁场的环境下, 经过补偿算法前后 HMC1043 测得的地磁航向角 α 与转台角度 φ 的关系如图 6 所示。

同理由图 6 的测量结果对比可知: 在小磁铁产生干扰磁场的环境下, 补偿前 HMC1043 测得的磁航向角 α 与转台转过的角度 φ 并非线性关系; 补偿后则已接近直线关系。

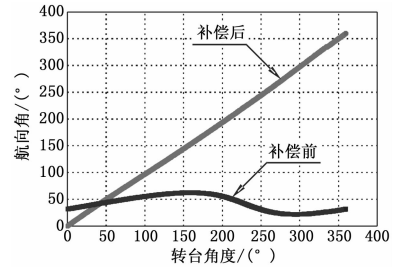


图 6 干扰磁场下航向角测量

通过在 HMC1043 电子罗盘中的实实验证可知: 所述误差补偿算法可以有效地补偿电子罗盘测量过程中的零位、灵敏度误差和干扰磁场引起的误差。经测量分析可知, 用小磁铁的磁场模拟外界干扰磁场时, 罗盘补偿后测得地磁航向角 α 与转台转过的角度 φ 之间的误差小于 6.7° , 无磁铁时小于 4.5° 。

4 结论

本文论述了电子罗盘水平状态下的航向角误差补偿算法, 主要完成的工作如下:

- 1) 建立了误差补偿算法的数学模型;
- 2) 通过将补偿算法在 HMC1043 电子罗盘中进行实实验证, 验证论述的补偿算法可补偿零位、灵敏度误差以及与罗盘位姿保持不变的干扰磁场的影响, 并且可使地磁航向角 α 在磁铁的干扰下误差小于 6.7° , 无磁铁时小于 4.5° 。

参考文献:

[1] 杨新勇, 黄圣国. 磁罗盘的罗差分析与验证 [J]. 电子科技大学学报, 2004, (10): 547-550.
 [2] 陈丽芬. 三维磁阻电子罗盘的应用开发及性能评价研究 [J]. 太原理工大学, 2012, (07): 25-26.
 [3] 刘诗斌. 微型智能航向系统研究 [J]. 西安: 西北工业大学, 2001, (2): 79-81.
 [4] 范寒柏. 电子罗盘的倾斜补偿和干扰补偿的理论分析及实验验证 [J]. 传感技术学报, 2012, 25 (9): 1280-1283.
 [5] 崔瑞芬. 微型磁阻式电子罗盘的设计及罗差补偿方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18: 2608-2611.

(上接第 2514 页)

bMap-HalfB-Dhuf 混合压缩算法在压缩过程中能够实现较高的压缩比, 达 76% 以上。从而证明采用该算法对雷达导航回波数据文本进行压缩是有效的。

5 总结

本文主要是对船舶雷达导航回波文本数据进行无损压缩算法的研究, 根据文本类型回波数据的特点, 设计了 bMap-HalfB-Dhuf 混合压缩算法, 经过实践检验, 此压缩算法对文本类型雷达导航回波数据压缩效果非常显著, 既保证压缩比高又处理速度快, 能满足船舶雷达导航原始数据的存储需求, 非常适用于船舶雷达导航系统。

参考文献:

[1] 沈 良. 船舶导航雷达回波信号仿真研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2007.
 [2] 吴乐南. 数据压缩 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
 [3] Kasumov N K. The universal coding method in the data compression algorithm [J]. Automatic Control and Computer Sciences, 2010, 445.
 [4] 刘 萌. 电力线载波窄带通信报文压缩算法研究 [D]. 中国海洋大学, 2011.
 [5] 娄华平, 孙运强, 姚爱琴. 数据采集系统中的数据压缩算法设计 [J]. 机械管理开发, 2007, 06: 84-85, 87.
 [6] 李 啸. 多普勒气象雷达原始回波数据混合压缩算法研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2011.
 [7] 沈 玲. 雷达数据处理的研究及其软件实现 [D]. 南京: 南京理工大学, 2012.