

基于MSP430的磁阻罗盘自差自动校正设计

Digital Magnetic Compass Autodyne Automatic Elimination Based on MSP430

姚伟萍 冯桂兰 田维坚 蒙志军 (中国计量学院光学与电子科技学院,浙江 杭州 310018)

摘要

由于磁航向测量系统应用领域日趋拓宽,数字磁罗盘的航向精度亟待提高。简要介绍了由磁阻罗盘、角度传感器和单片机组成的数字磁罗经系统的软硬件组成及工作原理。探讨了使用八角度法进行误差补偿的可行性。通过实验验证能准确自动消除自差实现导航数据的精确、实时、高清晰的显示。

关键词:磁罗盘,MSP430,角度传感器,自差

Abstract

As magnetic heading measurement system applications increasingly expanding,the direction accuracy of the digital magnetic compass needs to be improved.This paper briefly introduces the hardware structure,software design and working principle of the digital magnetic compass system which composed by the magnetic compass,angle sensor and microcontroller. The feasibility on the use of eight point method for autodyne compensation was discussed.Through experiment,system can automatically eliminate autodyne to achieve accurate,real-time and clear heading data display.

Keywords:digital magnetic compass,MSP430,angle sensor,autodyne

本文提出了一种将数字方位仪嵌入磁罗经系统的设计,由方位仪提供实时的方位信息,实现对磁罗盘的实时自动的标定。利用角度传感器作为数字磁罗盘的辅助设备组成小型航向测量系统,通过微处理器自动计算出航向自差对磁航向进行补偿。设计达到系统微型化、实用化、安装简易化;实现自差自动补偿,减少工作人员劳动强度同时避免人为误差;实现数字显示,同时航向信息不仅可以用于指向,还可以直接输出到伺服系统,控制船舶的操纵实现自动航行,在航测领域有广泛的应用前景。

1 误差补偿原理

自差的校正基于自差的准确测算。下面就对磁罗盘自差的测算和校正原理做简要的介绍。首先,介绍几个概念及其在本文中的表示约定:(如图1)

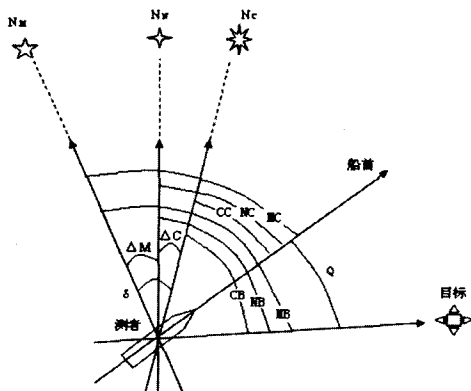


图1 向位及其表示

- Nn:包括地球北极的子午圈的半圆投影所得到的南北线部分所确定的方向(简称真北);
- Nc:罗经的北线方向(简称罗北);
- Nm:地磁力线北端方向(简称磁北);
- ΔC:罗北与真北的水平夹角(简称罗差);
- ΔM:磁北与真北的水平夹角(简称磁差);

- δ:罗北与磁北的水平夹角(简称自差);
- NC:以真子午线北部开始计算的航向(简称真航向);
- CC:以罗子午线北部开始计算的航向(简称罗航向);
- 磁差是地磁南北极与地理南北极之间的偏差,也是误差校正的一部分。但目前航海活动频繁的中低纬度,人们已经掌握磁差规律并收编成磁差库,故本文重点研究自差的校正。

对于数字磁罗经系统,有下面的关系式表示:

$$\text{真航向} = \text{罗航向} + \text{磁差} + \text{自差}$$

$$\text{即 } NC = CC + \Delta M + \delta \tag{1}$$

$$\text{也即 } \delta = NC - CC - \Delta M \tag{2}$$

以上等式是一个子式的等价变形,但是二者的含义不同:式(1)表明由磁罗盘所获取的真航向是由罗盘输出的罗航向经过磁差补偿和自差校正后得到的结果,这是磁阻罗盘的基本工作目的;而式(2)的意思是,在特定的地域和时间内,罗盘的自差数值为该考察点处的真航向减去罗盘输出的罗航向,再减去此处的磁差值,这是磁阻罗盘自差校正的基本原理。罗盘在使用中不仅受到地磁场力的作用,还受到硬铁船磁、软铁船磁的干扰。综合分析各自差力的产生性质及规律,推导出自差公式:

$$\delta = A + B \sin CC + C \sin CC + D \sin 2CC + E \cos 2CC \tag{3}$$

式中CC表示罗盘输出航向,A、B、C、D、E分别表示五种自差力的自差系数。这里系统设计采用八位置最小二乘法,即测算罗盘在八个主方向(0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315°)上的自差值,代入公式(1-3)中得自差补偿系数A、B、C、D、E后,即可以根据式(1-3)得到任意航向上的自差值,从而对磁罗盘进行有效补偿。

2 系统硬件组成

根据式(1)可知,校正过程需要真方位对罗盘进行标定。目前



图2 系统结构图

的方位仪主要基于磁场原理和陀螺原理。两种方位仪都存在技术老化、操作不方便和精度不够等缺点。其中基于磁场原理的方位仪同样受自差的影响,基于陀螺的方位仪存在容易磨损、需要强电源和价格高昂等缺点。基于此种情况,现提出一种组合航测系统的设计,将采用无磁原理的方位仪嵌入数字磁罗经系统,不仅对航向实时测量和显示,还可以自动校正误差得到精确的航向信息,图 2 所示为用于自差校正的旋回台。首先由太阳方位法确定真北方向并用瞄准装置进行标定,调整磁阻罗盘位于正南北线上,按下仪器面板上自差校正按键以后转动转台一周,仪器自动完成自差系数计算,在航行中可实时进行航向自差补偿,结构图如图 3 所示。

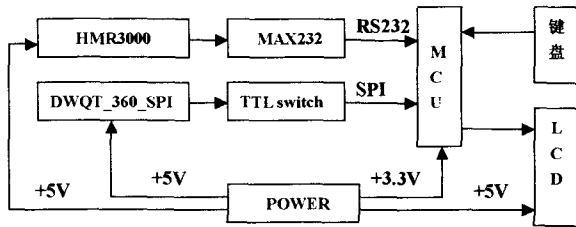


图 3 系统结构框图

系统采用“双 SENSOR+MCU”的硬件架构思想。主控芯片采用美国 TI 公司的 16 位低功耗单片机 MSP430F149, 基于其功能强大、片上外围模块丰富及存储器容量大的特点;磁阻罗盘 HMR3000 来自美国霍尼韦尔公司,它是一种电子罗盘,航向精度达到 0.5°,与 MCU 通过串口(USART)方式进行数据传输。角度传感器是一款可编程 360°测量的传感器(以下简称 DWQT_360_SPI)。DWQT_360_SPI 具有三线形式(/SS、SCK、MOSI/MISO)的 SPI 串行通信接口,通过 SPI 接口与 MCU 通讯,支持 SPI 模式 1。实际应用中,因为 MCU 供电电压上限 3.6V, DWQT 供电电压 5V,所以需要电平转换电路。

3 系统软件流程

本系统的软件采用 C 语言编写,C 语言既具有一般高级语言的特点,又能直接对单片机的硬件进行操作,表达和运算能力也非常强。IAR 嵌入式工作平台 Embedded Workbench 为开发不同的 MSP430 目标处理器项目提供了强有力的开发环境,并为每一种目标处理器提供工具选择。本系统的软件全部在 IAR Embedded Workbench 开发环境下进行编写、调试。

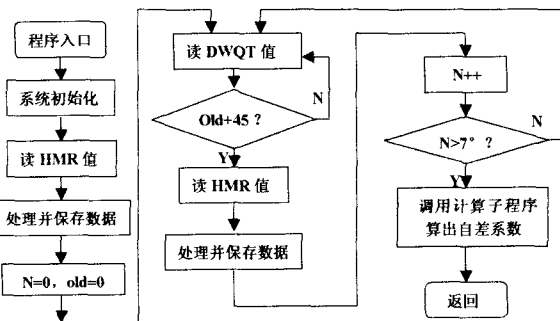


图 4 软件流程图

程序首先完成系统初始化,包括时钟选择、串口的初始化和对 DWQT 和 HMR 的初始设置等。DWQT_360_SPI 用于控制 MCU 在预设位置对 HMR3000 访问,MCU 作为主机不断读取角度传感器的数据并进行换算,当查询转台转过 45°时通知 USART1 读取 HMR 数据,由此得到 HMR 在 45°方向上的自差值。HMR 的串行通讯是根据 NMEA0183 标准制定的简单的、异

步的 ASCII 协议,送入 MCU 的是 ASCII 码,并不能被单片机直接拿来运用,所以单片机接收到数据以后先转换成十六进制代码然后保存。转台旋转一周获得 HMR 在 360°范围内八个主方向上的差值。此时调用自差系数计算程序便可得到 A、B、C、D、E 五个自差系数。

4 实验结果

为了验证实验效果,系统完成后,将磁阻罗盘和角度传感器固定在小型回转台上,并在转台附近放置一块磁铁来模拟船磁对罗盘的影响。分别将罗盘置于在标定模式和未标定模式下,测得在正北 000°、东北 045°、正东 090°、东南 135°等 8 个点的输出航向值(磁差按 3.5°补偿),如表 1 所示。图 5 为自差拟合曲线,其中横坐标为真航向值,纵坐标为自差值,如图所示,未校正时罗盘自差在 12°左右,校正后降低至 0.6°以内,其最大误差值出现在正南方向,精度满足导航系统的要求。

表 1 实验数据

真航向值/°	未校正时输出值	标定后的输出值
000	11.9	0.0
045	57.3	44.5
090	102.6	90.3
135	146.8	135.2
180	192.0	180.6
225	236.8	224.7
270	282.4	269.9
315	327.6	314.7

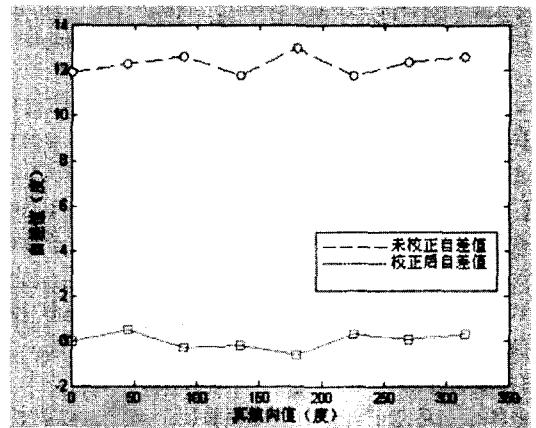


图 5 自差拟合曲线

5 结束语

本文设计的基于磁阻罗盘 HMR3000 和角度传感器的数字磁罗经系统,实现了航向的实时测量及误差的自动补偿。并对自差校正的基本原理、系统硬件结构及软件流程做了详细的阐述。最终的实验结果表明,本文提出的数字磁罗经系统航向测量误差控制在 0.6°以下,完全符合磁罗盘设计精度要求,能充分满足民用船舶导航的使用需要,使测量仪器的小型化和高性能化得以实现。系统预留有磁差数据接口,接下来会将磁差库嵌入磁罗经系统,提高系统性能及精度,适应现代航船自动化的发展方向。

参考文献

- [1]沈建华,等.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004:231-241
- [2]马文,等.数字式磁罗盘的误差补偿方法研究[J].电子测量技术,2007,30(11):76
- [3]葛伟.数字磁罗经系统设计及其自差校正的一种光学实现方法研究[D].西安:西安光学精密仪器研究所,2006
- [4]邱丹,等.组合航向系统中数字磁罗盘的罗盘误差补偿研究[J].仪器仪表学报,2006,27(6):1370-1371

[收稿日期:2008.8.3]