



浮标倾角测量中误差补偿方法

吴伟伟¹, 翁 竞¹, 刘华松¹, 吴允平², 李汪彪², 苏伟达²

(1. 闽卹吉星数码科技有限公司, 福建 福州 350003; 2. 福建师范大学, 福建 福州 350007)

摘要:介绍一种浮标遥测遥控终端的倾角测量误差补偿方法。该系统主要由三轴加速度传感器、MCU 处理器和电源模块组成。对其硬件电路和软件电路进行了完整的设计, 通过精细的调试测试, 使测量得到的倾角值的误差范围在 0°~1°之间, 方法简单, 实用性强。

关键词:浮标终端; 倾角测量; 误差补偿

中图分类号: TN 492

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)11-0048-03

Error compensation in angle measurement for buoy

WU Wei-wei¹, WENG Jing¹, LIU Hua-song¹, WU Yun-ping², LI Wang-biao², SU Wei-da²

(1. Minyou Jixing Digital Technology Co., Ltd., Fuzhou 350003, China; 2. Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: This paper introduces an angle measurement error compensation method of a buoy telemetry and remote control terminal. The system is mainly composed of three axis accelerometers, a MCU processor and a power supply module. The circuit of hardware and software are designed completely through meticulous debugging test, the error angle measured by the method is within 1 degree. So the method is simple and highly practical.

Keywords: buoy terminal; angle measurement; error compensation

浮标作为一种助航设施, 长时间漂浮在波动的水面上, 用于指示船舶正常航向, 保障水上交通安全。通常浮标终端安装在浮标上, 检测浮标的状态, 传送到中心以实现远程智能化管理。远程管理人员通过浮标终端上传的电压、倾角等参数, 判断是否需要出船维护浮标。但由于浮标终端安装位置的不确定性, 且长时间漂浮于流动的水面上, 因此会带来以下几点影响: 1) 浮标终端安装位置决定加速度传感器所处的位面, 不同的位面使用的倾角计算公式是不同的; 2) 浮标处于波动的水面上, 若不通过特殊方法的处理, 加速度传感器对非静态重力加速度的测量很困难。这样容易因测量不到准确的倾角值导致维护资源的浪费。为此, 笔者设计了一种浮标终端的倾角测量误差补偿方法。该方法基于三轴加速度传感器采

集数据的原理, 通过加速度传感器位面判断和倾角校准值补偿使该方法测量得到的倾角值的误差在 0°~1°范围。

1 总体方案

本系统主要由三轴加速度传感器、MCU 处理器和电源模块组成 (图 1)。

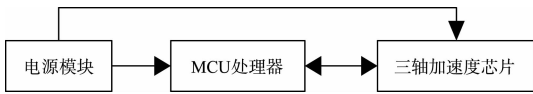


图 1 主系统组成

2 系统单元电路设计

2.1 三轴加速度传感器 ADXL345 电路

三轴加速度传感器 ADXL345 电路如图 2 所示。

收稿日期: 2014-09-16

作者简介: 吴伟伟 (1991—), 男, 工程师, 从事航标遥测遥控终端研发工作。

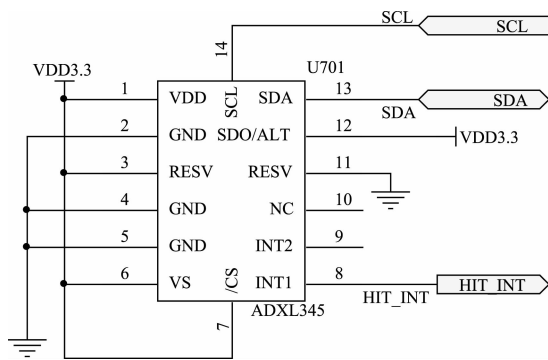


图2 ADXL345 电路

ADXL345 是一款小而薄的超低功耗三轴加速度传感器, 分辨率高 (13 位), 其量程范围为 $\pm 1.2g_n^{[1]}$ 。数字输出数据为 16 位二进制补码格式, 可通过 IIC 数字接口或 SPI (3 线或 4 线) 访问。它在倾斜应用中测量静态重力加速度, 能够测量 $0^\circ \sim 1^\circ$ 范围内的倾角角度变化^[2-3]。芯片引脚直接与控制模块连接。

2.2 倾角测量补偿计算方法

倾角计算通过 ADXL345 返回的三轴加速度值, 测量静止物体的重力, 这个重力反映在每个轴的分量为: $A_x = g\cos a$ 、 $A_y = g\cos b$ 、 $A_z = g\cos c^{[3-4]}$ 。其中 a 、 b 、 c 就是 X 、 Y 、 Z 轴与重力方向的夹角^[2], 再通过每个轴分量计算弧度值, 将弧度值转换为角度值。

弧度转角度公式: 角度 = 弧度 $\times (180/\pi)$; 而弧度值可从 $-\pi/2 \sim \pi/2$ (即 $-1.57079 \sim +1.57079$), 为了不出现负角度情况, 若出现 -15° 和 $+15^\circ$, 其实均指倾角为 15° , 故将 $-1.57079 \sim +1.57079$ 处理至 $0 \sim 1.57079$, 即对弧度取绝对值。

本方法基于三轴加速度传感器采集数据的原理, 其处理步骤如下:

- 1) 确定浮标终端安放位置;
- 2) MCU 处理器连续采集三轴加速度数据一小段时间, 计算三轴加速度平均值, 如 A'_x 、 A'_y 和 A'_z ;
- 3) 三轴加速度平均值中最大者所在轴线即为中心轴线, 垂直于中心轴线的平面为浮标终端所处位面;

4) 计算浮标终端倾角校准值, 其结果以弧度形式保留;

5) 每次在测量倾角时, 均将测量得到的弧度值结果减去校准值, 再转换为角度值。

例如: 三轴加速度平均值 A'_z 最大, 则浮标终端的中心轴线为 Z 灵敏轴, 浮标终端所处位面为 XY 位面, 其校准值计算公式为: 校准值 = $\sqrt{(A'^2_x + A'^2_y)} / A'_z$, 每次测量倾角取得的三轴加速度分别为: A_x 、 A_y 和 A_z , 则倾角值的计算公式为: 倾角 = $|[(\sqrt{(A^2_x + A^2_y)} / A_z) - \text{校准值}]| \cdot 180/\pi$ 。

3 软件设计

由于倾角计算公式会随着浮标终端在浮标上安装位置的不同而变化, 所以首先执行浮标终端位面判定, 确定浮标终端所处位面和浮标终端中心轴线, 即确定加速度传感器所处位面和用于计算的灵敏轴。然后通过一段时间的加速度传感器数据采集, 使浮标终端适应周围水面波动情况和地形因素, 求取浮标终端倾角校准值, 校准值可排除水波和地形因素的影响, 用作后续倾角测量的补偿参数。设计流程见图 3。

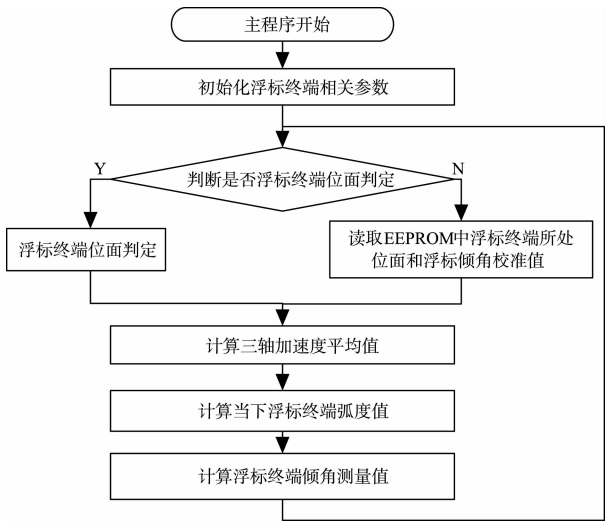


图3 软件设计流程

4 测量测试结果及分析

本方法基于三轴加速度传感器采集数据的原理, 对倾角测量的测试按如下步骤执行:

- 1) 将浮标终端放置于 XY 位面, 双手轻轻晃

动浮标，模拟河道环境，测试 3 组数据；

2) 将浮标终端放置于 YZ 位面，双手轻轻晃动浮标，模拟河道环境，测试 3 组数据；

3) 将浮标终端安装于长江河道浮标灯船上，记录终端传输的倾角数据，与浮标灯船实际情况对比，判断是否合理。结果见表 1。

表 1 倾角测量测试数据

实际安装情况	测量得到信息	实际角度/(°)	测量角度/(°)	误差/(°)	说明
放置于 XY, 双手轻摇	安装位面为 XY, 中心轴为 Z 轴, 校准值约为 0.087 4	30	29.7	0.3	符合 0° ~ 1° 误差
			29.4	0.6	
			30.2	0.2	
		60	59.5	0.5	符合 0° ~ 1° 误差
			60.2	0.2	
			59.3	0.7	
放置于 YZ, 双手轻摇	安装位面为 YZ, 中心轴为 Z 轴, 校准值约为 0.105 1	30	29.9	0.1	符合 0° ~ 1° 误差
			29.7	0.3	
			29.6	0.6	
		60	60.1	0.1	符合 0° ~ 1° 误差
			60.3	0.3	
			60.7	0.7	
安装于长江河道浮标灯船	安装位面为 XY, 中心轴为 Z 轴, 校准值为 0.015 84		1	浮标终端于浮标灯船上无明显倾斜	适合浮标终端在河道上使用
			0		
			0		
			1		

5 结语

浮标，因其所处环境的特殊性，普遍存在倾角测量困难的问题。而本方法通过位面判断和添加倾角校准值的方式，很好地解决了浮标倾角测量的难题，现应用于长江航道遥测遥控浮标终端中。

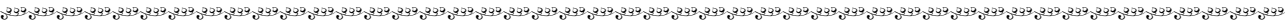
经过测试，满足浮标终端的倾角测量要求，方法简单，实用性强，具有较好的前景。

参考文献：

[1] 田小芳, 陆起涌, 熊超. 基于加速度传感器的倾角仪设

计[J]. 传感技术学报, 2006(6): 361-363.
[2] Analog Devices ADI Inc Digital Accelerometer ADXL345 2008[S].
[3] 肖倩, 陈庆. 基于 ADXL345 的超低功耗倾角测量仪的设计[J]. 计算机工程应用技术, 2014(16): 3 923-3 925.
[4] 张维胜. 倾角传感器原理与发展[J]. 传感器世界, 2002(7): 18-21.
[5] 刘攀, 张辉, 雷龙, 等. 加速度数据的采集及分析[J]. 信息技术, 2013(12): 110-112.

(本文编辑 郭雪珍)



著作权授权声明

全体著作权人同意：论文将提交《水运工程》期刊发表，一经录用，本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。