

基于 MEMS 传感器的姿态测量应用研究

边海关

(昌河飞机工业(集团)有限公司,江西景德镇, 333000)

摘要:介绍了 ADIS16375 器件性能指标,利用 STM32F103 单片机搭建了一个硬件姿态采集平台,通过 SPI 接口实现对 MEMS 传感器数据读取,经单片机解算后通过数传电台发送到上位机,实时显示姿态信息。借助直升机航模进行了动态测试,结果表明,该传感器在动态条件下能够准确的测定直升机航模实时姿态角,可用于小型飞行器飞控系统。

关键词:传感器; MEMS; ADIS16375; 姿态测量

DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2019.13.005

Application of MEMS in Attitude Measurement System

Bian Haiguan

(Changhe Aircraft Industries Corporation, Jingdezhen Jiangxi, 333000)

Abstract: The performance criteria of ADIS16375 sensor were introduced. A hardware attitude acquisition platform was constructed using STM32F103 microcontrollers. The sensor data was read through SPI interface. After the microcontrollers calculation, the attitude information was sent to the host computer by digital radio, and displayed in real time. Dynamic test in the helicopter model are carried out. The results show that the sensor can accurately measure the real-time attitude angle of the helicopter model under dynamic conditions, and can be used in the flight control system of small aircraft.

Keywords: sensor; MEMS; ADIS16375; attitude measurement

0 引言

随着计算机及人工智能技术的高速发展,出现了各种无人飞行器、无人车及智能机器人等智能装备,同时也对姿态测量技术提出了更高的要求。MEMS 传感器由于其体积小、重量轻、价格低、数据处理简单等优点,得到了广泛应用。近年来,基于 MEMS 惯性传感器构建低成本航姿测量系统成为惯性技术领域的一个研究热点^[1,2]。本文中,选择 ADI 公司的 ADIS16375 作为姿态敏感器件,选用意法半导体公司 Cortex-M3 内核的 STM32F103 芯片作为核心处理器,将姿态信息采集、结算后,经 RS232 接口发送至数传电台,同时地面采集系统接收信息后利用 LabVIEW 软件实现可视化显示。

1 ADIS16375 概述

ADIS16375 是 ADI 公司于 2008 年 9 月推出的一款具有 SPI 接口和寄存器结构能够实现更快数据收集和配置控制的惯性测量器件。内置一个三轴陀螺仪和一个三轴加速度计,可在 -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内提供精确的姿态测量。

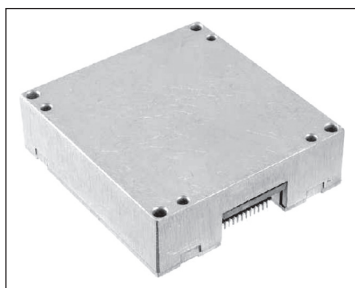


图1 ADIS16375 实物图

系统除分别提供 3 个轴方向上的角速度、角加速度以外,还包括自动偏置校准、数字滤波与采样速率、自检、电源管理、条件监控、模数转换,以及辅助数字输入/输出等功能^[3]。与复杂的分立设计方案相比,ADIS16375 为精确的多轴惯性检测与工业系统的集成提供了简单而高效的方法,模块尺寸约为 $44\text{mm}\times 47\text{mm}\times 14\text{mm}$,提供灵活的连接接口,安装方向有多种选择。图 1、图 2 分别为 ADIS16375 实物图及内部框图^[4]。

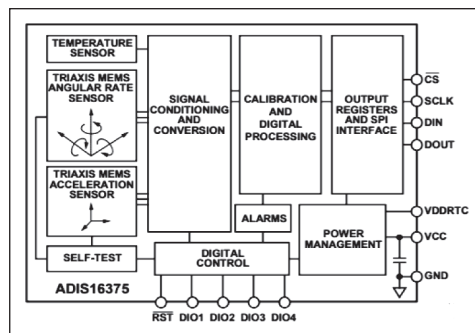


图2 ADIS16375 内部框图

2 硬件设计

该系统硬件主要由惯性敏感器件 ADIS16375、主控芯片 STM32F103、数传电台及相应外围电路等构成。STM32F103 设备使用 Cortex-M3 内核,最高 CPU 速度为 72MHz。该产品组合包括 16K-1M 的闪存,集成定时器, CAN, ADC, SPI, I2C, USB, UART 等多种功能。数传电台选用 RS232 接口, 1W 功率, 433MHz 工业级无线数传电台,工作电压范围 $\text{DC}8\text{V}\sim 28\text{V}$,波特率设置为 115200bit/s,起到将直升机航模姿态信息传

送到地面采集系统的作用。MAX3232 将无线数传电台发出的 RS232 数据转换为 USB 数据方便与上位机进行信息交互。系统硬件框图如图 3 所示。惯性传感器 ADIS16375 将姿态信息通过 SPI 接口传送到微控制器 STM32F103, 微控制器经滤波、解算处理后, 通过 RS232 接口传送到数传电台机载端, 数传电台地面端接收数据后通过 RS232 转 USB 接口传送到上位机进行显示。

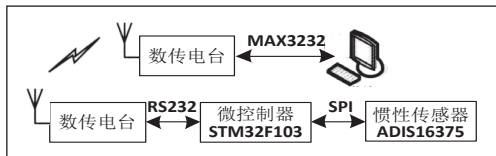


图3 系统硬件框图

ADIS16375 通过 SPI 接口与微处理器连接, 其连线如图 4 所示。微处理器个引脚功能分别为: SS 为从器件选择; SCLK 为连续时钟; MOSI 为主器件输出, 从器件输入; MISO 为主器件输入, 从器件输出; IRQ 为中断请求。

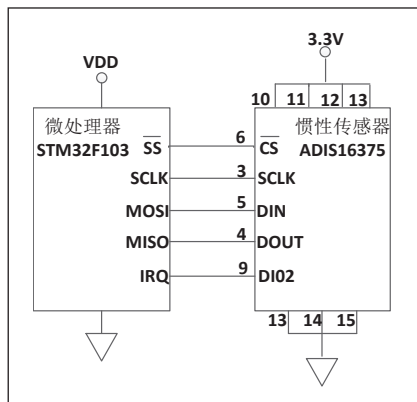


图4 SPI 连接示意图

3 软件设计

3.1 软件总体设计

微控制器 STM32F103 直接控制惯性传感器的工作状态并通过 SPI 接口实时采集角速度、角加速度等信息, 为了满足数据通信的实时性, 采用中断模式, 当 ADIS16375 有数据需要发送时, 中断通知微控制器进行读取。微控制器将采集到的数据进行积分及滤波处理, 并将处理后的信息存储在片内 FLASH 中。当微控制器接收到数据请求时, 通过 RS232 接口发送数据。图 5 为系统软件主流程图^[3]。

3.2 数据采集设计^[4]

微控制器通过 SPI 总线与惯性传感器通信, 通过 SPI 接口可读取惯性传感器的温度, 三轴陀螺仪值, 三轴加速度值, 三轴角加速度, 时间, 产品批号等数据。当需要读取微控制器数据时, ADIS6375 自动启动并激活 OPAGE, 一边进行数据寄存器访问。访问任何其后 PAGE 后, 将 0x00 写入 PAGE_ID 寄存器, 以激活 OPAGE, 为后续数据访问做好准备。一个寄存器读操作需要两个 16 位 SPI 周期。在第一个周期中, 利用图 6 中的位分配功能请求读取一个寄存器的内容; 在第二个周期中, 寄存器内容通过 DOUT 输出。DIN 命令的第一位是 0, 然后

是寄存器的高位或地位地址。后 8 位是无关位, 但 SPI 需要完整的 16 个 SCLK 来接收请求。

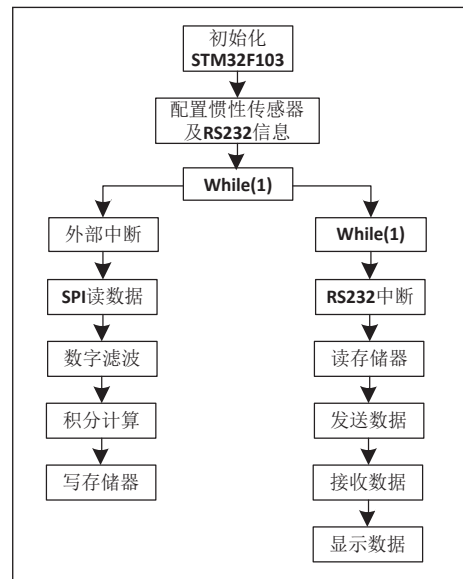


图5 软件主流程图

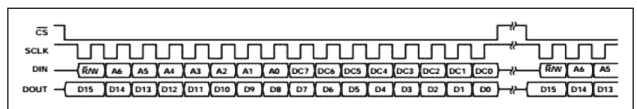


图6 SPI 通信时序

如图 7 所示, 显示了两个连续的寄存器读操作, 首先是 DIN=0x1A00, 请求 Z_GYRO_OUT 寄存器的内容, 然后是 DIN=0x1800, 请求 Z_GYRO_LOW 寄存器的内容。图 8 给出了四个 SPI 信号重复读取 PROD_ID 的示例。PROD_ID 的内容是预定义的并且保持不变。



图7 SPI 读操作

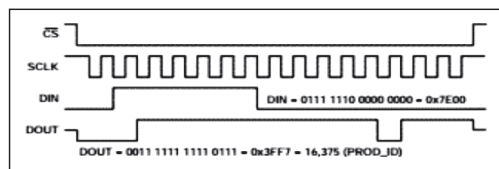


图8 SPI 读操作, 第二个 16 位序列

3.3 数据处理设计

为消除直升机航模飞行过程中由于振动引起的姿态跳变问题, 很有必要对惯性传感器 ADIS16375 输出的姿态数据进行滤波处理, 以便剔除数据点中的野值。本文采用均值滤波算法进行数据处理, 为避免出现大的“毛刺”使得整个均值出现错误, 采用文献的均值滤波算法。

$$y_n = \text{mean}(x(1 : N)) \quad (1)$$

y_n ——均值输出

mean——求平均值

x ——传感器原始数据

N ——求平均值的数据点个数

完成第一次求均值后得到数据 y_1 , 剔除原始数据中的最大值、最小值再按照 (1) 进行取均值, 得到 y_2 , 如果 $|y_2 - y_1| \leq 0.1$, 则说明传感器数据中没有野值存在, 如果不满足条件则继续进行上面的处理, 直至 $|y_2 - y_1| \leq 0.1^{[1]}$ 。

3.4 上位机软件设计

上位机软件采用图形化编辑语言 G 编写程序显示界面如图 9 所示, 可实时接收、显示 X_GYRO、Y_GYRO、Z_GYRO、X_ACCL、Y_ACCL、Z_ACCL、X_DELTA_ANG、Y_DELTA_ANG、Z_DELTA_ANG、X_DELTA_VEL、Y_DELTA_VEL、Z_DELTA_VEL、俯仰角、横滚角信息。

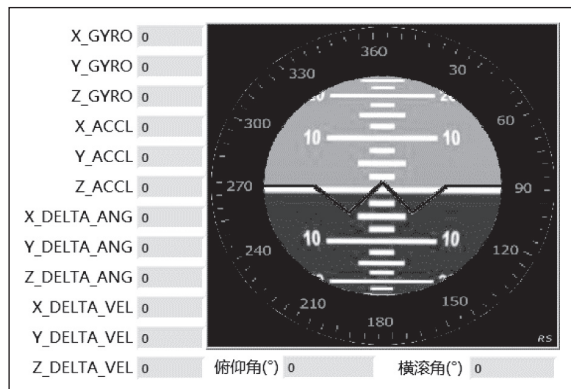


图9 上位机显示界面

4 测试结果

为了验证所设计的系统是否满足数据正确性要求, 分别将整个系统安装于亚拓-700 直升机航模进行数据正确性验证。

通过上位机数据和直升机航模实时反馈回地面站的姿态数据相比较。结果表明, 该系统可实时采集航模姿态, 准确度高, 滤波效果好。能够实现航模飞行姿态监控功能。

5 结论

本文设计的基于 MEMS 传感器的姿态测量系统具有结构简单、精度高、性能可靠等优点。可以在动态情况下获得优良的性能, 可满足小型飞行器的导航与控制等方面的需求, 具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 李洋, 闫学坤, 谷铁男. 基于 STM32F103 的 ADIS16405 数据采集系统设计 [J]. 电子测试, 2017(17), 5-7.
- [2] 禄坡远, 刘师斌, 刘昭远, 崔智军. 基于 ADIS16354 的姿态角传感器设计 [J]. 传感技术学报, 2010.23(2).192-195.
- [3] 邓德源, 简震, 高林. 基于 ADIS16365 的惯性传感系统设计 [J]. 现代电子技术, 2016.34(12).195-197.
- [4] Analog Devices Corporation. Programmable low power gyroscope ADIS16375 [EB/OL]. 2011. https://www.analog.com/media/cn/technical_documentation/evaluation-documentation/ADIS16375.pdf.
- [5] 陈国华, 王刚. 基于 ADIS16255 MEMS 芯片陀螺仪的应用研究 [J]. 中国惯性技术学报, 2008.16(4).480-483.
- [6] 尚婷婷, 黄丽琼, 喻娜, 周洪涛. 基于 ADIS16375 的误差补偿在姿态解算中的应用 [J]. 火力与指挥控制, 2016.41(7).121-124.

(上接第 29 页)

输出端 Y, 它是一种多路转换器或多路调制器。可通过模拟电路进行设计^[8] 如图 4 所示。

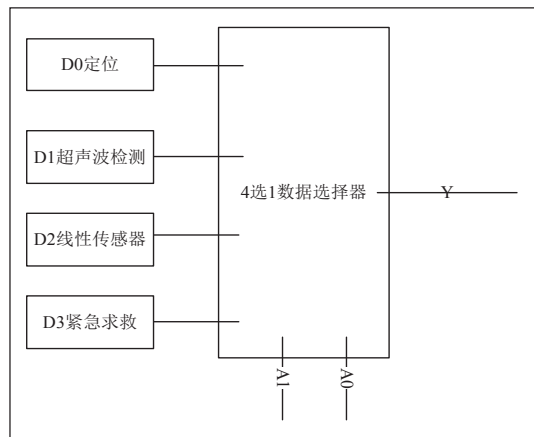


图4 4选1数据选择器

4 结论

智能导盲拐杖的使用, 为盲人的行走提供了可靠的帮助, 提高了出行安全性。具有定位导航、规划最佳出行路线的

功能; 遇到危急情况, 能够迅速发出警报, 向路人求救并发送定位报警到指定手机客户端。总之, 智能导盲拐杖在提高盲人出行质量、保证盲人安全方面, 具有突出的表现, 具有很高的推广价值。

参考文献

- [1] 吴建平著. 传感器原理及应用 [M]. 机械工业出版社, 2009 年.
- [2] 郑峰等著. 51 单片机典型应用开发范例大全 [M]. 中国铁道出版社, 2011 年.
- [3] (美) 卡普兰著. 邱致和等译. GPS 原理与应用 [M]. 电子工业出版社, 2002 年.
- [4] 俞阿龙等著. 传感器原理及其应用 [M]. 南京大学出版社, 2010 年.
- [5] 宋戈等著. 单片机应用开发范例大全 [M]. 人民邮电出版社, 2010 年.
- [6] 王惠南著. GPS 导航原理与应用 [M]. 科学出版社, 2003 年.
- [7] 谢自美主编. 电子线路综合设计 [M]. 华中科技大学出版社, 2006 年.
- [8] 青木英彦著. 模拟电路设计与制作 [M]. 科学出版社, 2005 年.