

小型四旋翼飞行器试验平台设计

韩志凤,李荣冰,刘建业,杭义军

(南京航空航天大学 自动化学院,江苏 南京 210016)

摘要:为了实现小型四旋翼飞行器的自主导航,进行自主飞行的相关试验,并为控制器设计和微小型导航系统性能试验等研究工作提供实体验证平台,开展了小型四旋翼飞行器系统的设计。完成了系统的模块化设计,进行硬件电路设计和调试以及平台的搭建,实现导航、控制、通信等功能模块的集成。设计PC机监控软件,完成了基于USB HID协议的操纵杆数据读取,对操纵杆遥控控制模式下小型四旋翼飞行器进行实时监测,实现人机交互、控制方式选择、对飞行姿态和路线的设置、飞行器导航参数的显示等功能,开展了飞行试验,验证所设计平台各功能模块的可行性。

关键词:四旋翼飞行器;试验平台;自主飞行;飞控系统;PC机监控软件

中图分类号:V22 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8829(2013)10-0121-04

Design of Test Platform for Small Scale Quadrotors

HAN Zhi-feng, LI Rong-bing, LIU Jian-ye, HANG Yi-jun

(School of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to realize the independent navigation and autonomous flying on small scale quadrotors, a small quadrotor aircraft platform is designed. It can also be used as entity verification platform for the design of flight controller and performance test of micro navigation system. The vehicle system is designed, including design of the hardware circuit and building of the platform. The navigation, control, communication and other function modules are integrated. In addition, a PC software is designed to monitor the status of small scale quadrotor. Reading of data, human-machine interaction, setting of the flight attitude and display of the vehicle's status are realized. The flight experiment proves that each module of the small scale quadrotor is feasible.

Key words: quadrotor; test platform; autonomous flight; flight control system; PC snoopware

小型四旋翼飞行器是一种非共轴、多旋翼式飞行器,通过改变4个旋翼产生的升力大小实现姿态稳定及精确定位。小型四旋翼飞行器的结构简单、体积较小、飞行平稳、隐蔽性好,常用于近地面监视、侦察、航拍,具有重要的研究价值和广阔的研究前景^[1-2]。目前,国内外有很多单位和高校开展有关小型四旋翼飞

行器的研究工作^[3-6],从近年来的有关文献中可以看出,国外有些国家对四旋翼飞行器的相关技术研究已经较为全面,已实现基于多种控制算法的控制器设计并在实际飞行试验中进行验证,已经实现了自主悬停控制和航迹跟踪,有些国家已实现四旋翼飞行器的自主飞行控制和自主导航功能,并向智能导航控制、多机编队飞行控制等方向发展。国内大多数研究工作主要针对四旋翼飞行器的动力学建模和控制器设计,而且大多数设计工作对最终结果只进行了仿真验证,实现飞行器自主飞行的案例并不多。为了进行小型四旋翼飞行器自主飞行的相关试验,并为控制器设计和微小型导航系统性能试验等研究工作提供实体验证平台,设计了小型四旋翼飞行器试验平台,对硬件系统和软件系统进行了分析和设计。

1 小型四旋翼飞行器试验平台总体设计

小型四旋翼飞行器系统的设计采用模块化设计思

收稿日期:2012-07-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60904091,61104188)

作者简介:韩志凤(1989—),女,山东日照人,博士研究生,主要研究方向为微小型飞行器导航与控制、惯性技术与导航定位;李荣冰(1977—),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为惯性技术与组合导航、大气数据传感技术及微小型飞行器自主导航技术;刘建业(1957—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为惯性技术、卫星导航、多传感器组合导航;杭义军(1986—),男,博士研究生,主要研究方向为惯性技术与组合导航、微小型飞行器自主导航技术。

路,总体结构如图1,主要包括导航系统、飞行控制系统、执行机构、无线传输模块及地面站PC机监控软件等功能模块。

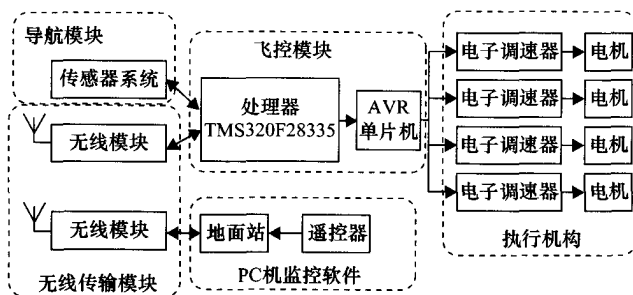


图1 系统总体设计结构图

导航模块可获取飞行器即时的姿态位置等信息,并通过串口与飞控模块核心处理器进行信息传递。同时,PC机监控软件将编码后的遥控器指令或设定的自主飞行参数指令,通过无线传输模块传递给核心处理器。飞行控制模块由主从式双处理器电路拓扑构成,其中DSP进行控制算法解算,AVR单片机集中控制4个旋翼电调来控制旋翼转速,并进行通信数据收发。整个小型四旋翼飞行器系统可实现遥控器控制模式下的姿态控制和自主飞行模式下的姿态稳定。

2 导航系统硬件设计

微惯性系统中,MEMS惯性传感器包括3个单轴MEMS陀螺(含温度传感器)、3个单轴MEMS加速度计(含温度传感器),数据采集、误差补偿、姿态解算则采用1片高性能嵌入式数字信号处理器,MEMS陀螺仪采用串行外设接口(SPI)总线与数字信号处理器通信,MEMS加速度计及其温度传感器的信号则通过高精度A/D转换电路采集。微惯性导航系统如图2所示,其信号输出由标准RS422接口输出^[7]。

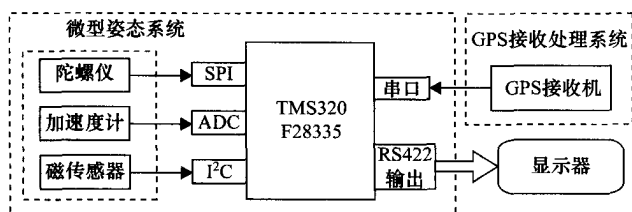


图2 惯性导航系统

由于微惯性导航系统器件精度相对传统惯性导航系统精度较低,单独使用导航输出参数的误差会迅速积累、随时间发散速度快,不能满足长时间自主飞行的需要。因此,选用高性能GPS模块LEA-5T,与微惯性导航系统组成速度位置组合导航系统,抑制微惯性导航系统误差,提高导航精度。另一方面,采用单芯片集成的3-轴数字罗盘,为微惯性导航系统提供方位角参

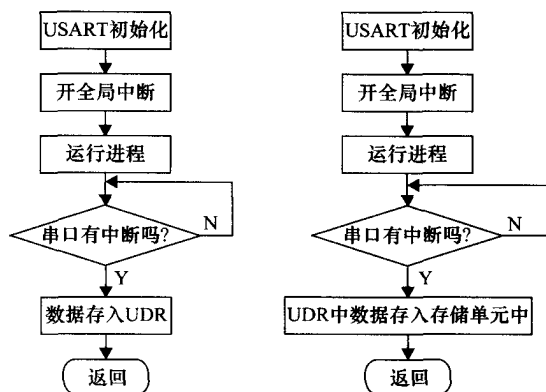
考,采用大气压力传感器MPX6115来实时测量小型四旋翼飞行器飞行高度的变化,增大微惯性导航系统高度通道阻尼,提高高度测量精度。

3 无线通信数据链

飞行器需要进行室外飞行,因此选用无线串口模块来实现地面站与飞行器之间信息的双向传输。无线通信必须具有良好的实时性和准确度,根据飞行距离和传输速率的要求,选用APC220-43多通道微功率嵌入式无线数据传输模块。

无线模块与处理器之间通过USART串口连接,USART串口采用的是异步全双工通信工作模式,发送与接收设备使用各自的时钟来控制数据的发送和接收过程,它的帧结构由一个起始位、8个数据位、一个校验位和一个停止位组成,比特率选择了57600 bit/s。

数据的发送和接收都是通过中断来实现的,程序流程图如图3所示。



(a) 串口发送中断子程序 (b) 串口接收中断子程序

图3 串口发送、接收程序流程图

4 执行机构控制

执行机构由无刷电机、电调、旋翼构成,小型四旋翼飞行器一共有4个电调,每个电调都有一个单片机,由单片机控制电机转动。电机的转速是分级的,0~255级,一共256个级别,向每个电机发送相应的级数控制它们的转速。

4个从单片机由1个主单片机通过I²C总线向它们发送电机数据进行控制,I²C总线只有两根双向信号线,一根是数据线SDA,另一根是时钟线SCL。I²C总线通过上拉电阻接正电源,各器件的SDA及SCL都是线“与”关系。每个接到I²C总线上的器件都有唯一的地址,对4个电机进行寻址和数据传输。主机对从机的寻址是通过TWI中断来实现的。

5 基于DSP的控制系统电路设计

硬件系统电路设计如图4所示,包括电源模块、电

平转换模块、JTAG 仿真模块、RS232 串口、RS422 串口、外扩 SRAM 数据存储模块等。

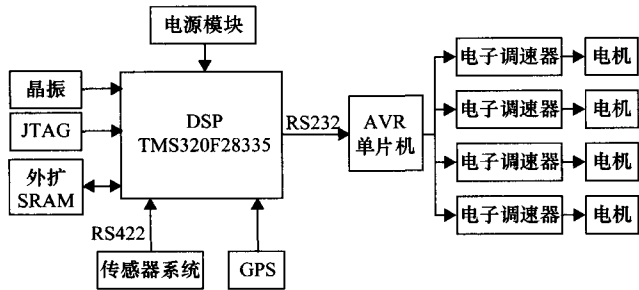


图 4 硬件系统总体电路结构

整个电路拓扑以 TMS320F28335 芯片为核心,由电源模块为整个电路提供工作电压,由于各模块芯片工作电压不同,电源模块需提供 1.9 V、3.3 V、5 V 电压。另外,由于各模块工作的电平协议不同,需由电平转换模块来实现电平转换。陀螺仪、GPS 分别通过 RS422 接口与数字式信号处理器进行通信,而处理器的主控信号通过 RS232 接口传送给 AVR 单片机,由 AVR 单片机控制 4 个电子调速器来控制相应的电机转速。此电路还包括晶振、JTAG 仿真模块、用于数据存储的外扩 SRAM 模块。

6 PC 机监控软件设计

6.1 监控软件设计需求分析

为实现对小型四旋翼飞行器的实时监测,PC 机监控软件需实现的基本功能包括:

- ① 摇杆设备输入信号的获取、保存;
- ② 信号的编码与解码;
- ③ 通过无线模块发送、接收信息;
- ④ 参数的编辑、选择和显示。

为了使用者更直观地了解飞行器状态,对飞行器的姿态参数、陀螺和加速度计数据应有较为可观的显示。此外,所设计的 PC 机监控软件应具有友好的人机交互界面,控制方式、串口、定时器频率等应做到可编写可选择,以方便使用者操作。

6.2 面向对象程序设计

PC 机监控软件的设计按功能可分为:摇杆设备信息获取、串口通信、信息显示优化设计、参数设定、软件安全保护。其中,摇杆信息获取模块是基于 HID 控件进行设计的,采用 USB HID 接口协议,实现对摇杆设备的检测与选择与对信息的读取与保存。Windows 为应用程序访问 HID 设备提供了强大的支持,有一整套对 HID 设备进行访问的 API。采用异步方式来读写数据,则不会发生读写时阻塞,从而提高程序的效率。在 Delphi 软件设计中,采用 HID 控件完成对 HID 设备的枚举和访问,实现读和写的功能。

6.3 串口通信协议的制定

信息按数据帧的格式进行传输,需要首先制定串口通信协议,对数据帧的格式进行定义。数据帧包括帧头、帧长、数据部分、帧尾校验。具体的串口通信协议如下:

ReadData,即 PC 机监控软件接收到的飞行器参数信息。

帧头: \$ 55AA。
帧长: \$ 18 一个字节。

数据部分:包括 Time、roll、pitch、head、voltage、gyor-X、gyor-Y、gyor-Z、acc-X、acc-Y、acc-Z、hight 共 12 项参数,每项参数由 2 个字节组成,数据部分共 24 个字节,因此帧长为十六进制 \$ 18。

帧尾:将数据部分的 24 个字节相加,取和的低 8 位作为一个校验字节。

SendData,即 PC 机发送给飞行器的指令信息。与 ReadData 不同的是,它含有控制模式的选择,设定 0xAA 为待速模式,0x11 为摇杆模式,0x00 为自主模式,0x55 为停机模式。表 1 为 SendData 数据帧格式。

表 1 SendData 数据帧格式

	帧头	帧长	数据部分	模式	帧尾
待速	AA55	\$ 08	\$ 20、00、00、00、00、00、00	\$ AA	和校验
摇杆	AA55	\$ 08	油门、roll、pitch、head、P、I、D	\$ 11	和校验
自主	AA55	\$ 08	目的地 (X、Y、Z)、任务 (任务号、属性)、节点操作	\$ 00	和校验
停机	AA55	\$ 08	00、00、00、00、00、00、00	\$ 55	和校验

其中,在自主模式中,目的地和任务信息捆绑在一起作为结构体存在,数据的存储采用链式存储方式,每个结构体为一节点,根据节点操作信息进行节点的添加或删除。结构体中的信息包括目的地 X 轴坐标、Y 轴坐标、Z 轴坐标、任务号、任务属性。

6.4 信息显示设计

对于信息的显示,除了进行 Edit 编辑框的显示,为了更直观地显示飞行器姿态,对于飞行器俯仰、横滚、航向姿态参数采用 RotateImage 旋转控件模拟飞行器姿态变化,对于三轴角速度、三轴加速度、高度、电压等参数采用 Chart 控件实现二维坐标显示,以便了解参数的变化过程和趋势。

最终实现的控制界面如图 5 所示。

7 试验验证

在软硬件设计完成的基础上,对系统进行电路加工、平台搭建,完成了小型四旋翼飞行器样机集成。

对硬件平台进行基本性能试验,主要包括组合导航系统的导航解算模块、基于 PID 的姿态稳定控制器模块、动力执行机构等。试验结果表明,小型四旋翼飞

飞行器试验平台的导航、控制、动力等模块工作性能均满足实际设计需要。

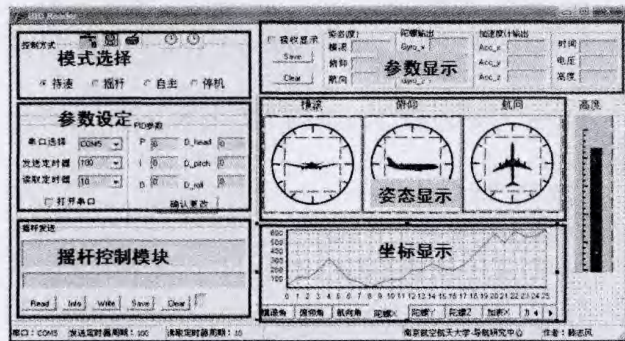


图5 PC机监控软件界面

在此基础上,结合PC机监控软件,对小型四旋翼飞行器进行室内、室外飞行试验。试验结果表明,所设计的PC机监控软件可实现对摇杆信号的获取和处理、通过无线模块与飞行器进行信息双向传输、对参数的可观显示。

8 结束语

本文通过对小型四旋翼飞行器系统模块进行功能划分,针对各模块功能设计需求,进行了系统软硬件优化配置,设计、实现了小型四旋翼飞行器飞行实验平台,并通过飞行试验,验证了飞行器系统的信号处理、信息传输、参数显示等基本性能,对飞行器系统的稳定性、抗干扰能力、姿态控制能力进行测试。结果表明,所设计的小型四旋翼飞行器各模块功能基本满足设计需求,飞行器整体具有较好的飞行稳定性,并具有一定的抗干扰能力。为后续导航和控制算法的研究提供了一个高性能实验验证飞行平台。

参考文献:

[1] Bouabdallah S, Becker M, Siegwart R. Autonomous miniature

flying robots; coming soon!; research, development, and results [J]. IEEE Robotics and Automation Magazine, 2007, 14(3).

- [2] Hoffmann G M, Waslander S L, Vitus Michael P, et al. Stanford testbed of autonomous rotorcraft for multi-agent control [C]//Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2009: 404-405.
- [3] 聂博文, 马宏绪, 王剑, 等. 微小型四旋翼飞行器的研究现状与关键技术[J]. 电光与控制, 2007, 14(6): 113-117.
- [4] McGillvray S J. Attitude stabilization of a quadrotor aircraft [D]. Canada: Lakehead University, 2004.
- [5] Robin A. Design of a flight controller for an X4-flyer rotorcraft [D]. The University of Alabama in Huntsville, 2005.
- [6] Bouabdallah S, Murrieri P, Siegwart R. Design and control of an indoor micro quadrotor [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2004.
- [7] 周权. 四旋翼飞行平台飞行控制和惯性导航研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [8] 彭贞慧. 小型四旋翼无人直升机控制系统设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [9] McKerrow P. Modelling the draganflyer four-rotor helicopter [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2004: 3596-3601.
- [10] 王树刚. 四旋翼直升机控制问题研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [11] 单海燕. 四旋翼无人直升机飞行控制技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [12] 刘焕晔. 小型四旋翼飞行器飞行控制系统研究与设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [13] 黄溪流. 一种四旋翼无人直升机飞行控制器的设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [14] 李荣冰, 刘建业, 段方, 等. MEMS-INS 微型飞行器姿态确定系统的实现研究[J]. 应用科学学报, 2006, 24(6).
- [15] 詹锴. 基于微型四旋翼无人机的智能导航系统[J]. 电子测量技术, 2011, 34(6).

□

(上接第 120 页)

传统上采用的 RS485、RS232 来说,避免了串口通信对 CPU 的占用时间长、容易丢包的弊病,极大地增强了系统运行的实时性。本设计是一种结构精简但功能强大的解决方案。这种硬件上的优势互补、移植操作系统实现任务调度的设计亦可移植到其他类似的嵌入式测控平台上,发挥其强大的作用。

参考文献:

[1] 郑宏捷, 严桂, 黄文芳, 等. 基于 DSP 和 ARM 的电力故障录波器的设计[J]. 电测与仪表, 2007, 44(10): 19-21.

[2] 樊江涛, 陈剑云, 韦宝泉. ARM 处理器 + DSP 构架的微机馈线保护装置的研制[J]. 电力系统自动化, 2005, 29

(2): 77-80.

- [3] 白青刚, 夏瑞华, 周海斌, 等. 采用高性能集成芯片的故障录波装置设计[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(22): 94-96.
- [4] 广州致远电子有限公司. CTM8251AT 通用 CAN 隔离收发器产品数据手册[Z]. 2008.
- [5] 邵贝贝, 宫辉. 嵌入式系统中的双核技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [6] 王涛, 刘建辉. 基于 ARM 微处理器的 $\mu C/OS-II$ 的移植研究[J]. 微计算机信息, 2005(7): 75-77.
- [7] 饶运涛, 邹继军, 王进宏, 等. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 2 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.

□