

煤矿勘测型四旋翼外环控制系统硬件设计与实现

李业钧 孙龙杰 陈 旻 孙 弋

西安科技大学 陕西西安 710054

摘 要:在原有四旋翼飞行器结构上添加外环控制系统。该系统具有自主飞行控制功能以及煤矿环境勘测功能,实现对煤矿环境进行勘测。控制中心通过传感器 MPU9250 获取自身飞行姿态值,6 组超声波传感器获取煤矿空间障碍物距离以及 CH₄、CO 传感器勘察煤矿空气情况。飞行器数据通过 WiFi 模块无线传送到上位机。由于传感器模块较多,为了提高整个系统的工作效率以及减少超声波模块之间的干扰,需要对传感器采集进行特殊设计。

关键词:四旋翼飞行器;煤矿勘测

The design and achievement of quadrotor external control system in colliery survey

Li Yejun, Sun Longjie, Chen Yang, Sun Yi

Xi'an Science and technology University, Xi'an, Shanxi 710054

Abstract: Adding external control system on original quadrotor which has autonomous flight control and colliery survey functions can work in colliery. The CPU can get the flight attitude value by MPU9250 sensors, the distance of colliery space by 6 groups ultrasonic sensors and air data include CH₄, CO in colliery by CH₄ sensor and CO sensor. Aircraft data transmitted by wireless wifi module to the first place machine. Due to the external control system contain much more sensors, we need special design the scheme for sensors in order to improve the efficiency of the system and reduce the interference between the ultrasonic sensors.

Keywords: quadrotor; colliery survey

煤矿灾害发生后,救援的首要任务是确保煤矿环境适合人员进入,以防止二次灾难发生。煤矿环境的测量任务,可以利用四旋翼无人机进行探测。无人机进入矿井后,测量煤矿环境气体,把参数通过无线方式输送至一线救援人员设备当中。虽然市面上四旋翼飞行器平衡稳定性好,然而并不是自主飞行方式且没有煤矿环境勘察功能。因此,需要设计一款既有自主飞行功能,又有煤矿环境勘测功能的飞行器,以满足煤矿环境勘测任务。

针对上述问题,经过分析,该飞行器需要由三大系统组成,一个是飞行器平衡内环系统,一个是飞行器自主飞行外环控制系统以及煤矿环境勘测采集系统。目前利用市面上四旋翼平衡系统就作为本飞行器的内环平衡系统,而在此基础上再设计一套自主飞行避障外环控制系统并加载煤矿环境勘察功能。

本文主要讲述自主飞行外环系统硬件设计与实现。

1 系统总体原理介绍

1.1 煤矿勘测型四旋翼架构

图 1 表示该煤矿环境勘测型四旋翼硬件总体架构。煤矿环境采集系统主要有煤矿气体(如 CH₄、CO 等)传感器,通过模拟信号传输至外环控制系统。外环控制系统通过超声波等传感器判断当前飞行器所处煤矿空间结构,再由 4 路 PWM 控制信号输送至飞行器平衡内环系统实现自主飞行。平衡内环系统根据当前控制量自动调整飞行姿态。

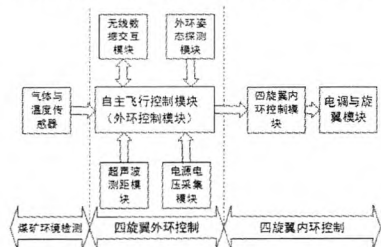


图 1 煤矿环境勘测型四旋翼硬件总体架构图

1.2 外环控制系统工作原理

外环控制系统以 STM32F407VE 作为主控芯片,以姿态传感器 MPU9250 实现对飞行器自身姿态测量,6 组超声波传感器模块作为四旋翼在煤矿环境下避障,寻迹功能的采集模块。当飞行器根据算法判断出当前障碍物情况以及煤矿空间结构的情况后,再通过 4 组 PWM 控制方式给飞行器平衡内环系统提供控制量。从而实现飞行器在煤矿环境内的自主飞行功能。所采集的数据通过无线模块传输至上位机,以供勘测员提供数据显示。

2 外环控制系统硬件设计

2.1 外环控制系统结构设计

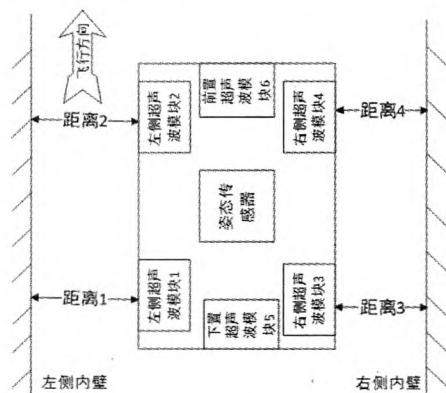


图 2 外环控制系统传感器分布图

图 2 表示外环控制系统传感器分布图。其中,两端各放置 2 对超声波模块,用于测量飞行器左右到煤矿两端距离值。前置端与底部各放置一组超声波模块,分别测量飞行器前端障碍物距离以及飞行器的飞行高度。在控制系统的中部放置九轴姿态传感器模块。在该系统中,还包括 WiFi 无线传输模块以及矿井环境勘测传感器模块。

2.2 超声波传感器模块

超声波模块主要用于对障碍物检测功能。而左右两侧的超声波模块,还具有飞行器寻迹功能。通过同一侧两组超声波模块所测量的距离之差,可以检测出飞行器与该侧模块之间的偏航情况,从而该飞行器可以根据煤矿边缘的方向进行寻迹飞行。

2.3 姿态传感器模块

虽然左右两侧超声波传感器可以很好解决飞行器飞行方向(偏航角)问题,但由于超声波模块采集时间较长,时效性较差。因此,还需要利用姿态传感器 MPU9250 进行配合,其高采集率可以提高系统的姿态测量速率。

2.4 矿井空气勘测传感器

根据煤矿环境的安全要求,需要对 CH_4 、 CO 进行监测,故添加 CH_4 传感器模块(MQ-2)以及 CO 传感器模块(型号为 MQ-9)。根据使用说明书,该传感器主要以模拟信号输出方式。

2.5 外环控制系统的其他模块

上述是外环控制系统的监测数据模块,主要是对煤矿环境的勘测以及飞行姿态的检测。除此外,外环控制系统还包括最小控制系统模块(基于 STM32F407VE 的最小系统),对飞行器供电电源的监测模块以及电源模块。供电电源采用的是 11.1V, 2200mAh 航模电池。因此,电源模块以及电源监测模块都需要降压至 5V 与 3.3V。

2.6 无线通信模块

通过 WiFi 模块(HLK-RM04),实现数据交互。该模块属于串行通信接口,符合网络标准,内置 TCP/IP 协议栈^[3]。串口通信最高波特率为 230.4Kbps 可满足系统的通信需求(13Kbps)。

3 外环控制系统数据采集设计

3.1 传感器组采集方案

对于超声波传感器,若采取同一时刻启动,对于左右两侧超声波传感器容易引起同类干扰现象。但若按照逐个模块启动方式,则采样周期过长。因此,根据超声波传感器的分布结构,采取左右各自两端逐次采集,与前置和下置模块同时时刻进行采集的工作方式。经过试验证明,整个系统的采集时间大大减缩,由原始的最长采集时间约为 360ms 缩减至最长采集时间为 120ms。

MPU9250 模块采集频率高较高,数据量较大。其中,采集的数据包括加速度值,磁场值以及角速度与自身解算的姿态角(偏航角,俯仰角与滚轴角)。经过验证,采集频率在 100Hz 时所得到的参数,特别是对角速度的积分叠加,所解算出飞行器的姿态角值,与模块自身的解算得到很好的拟合。

所涉及的气体传感器以及电源监测模块,以模拟量输出,需 AD 转换。STM32F407VE 可以提供 12 位分辨率的 ADC 模数转换。鉴于煤矿环

境下气体变化较为缓慢,而电源是使用锂电池直流电源,故采样周期为超声波采样周期。

3.2 无线通信模块发送处理

无线通信模块(HLK-RM04)采用 TCP 协议,经过试验验证,该模块每以 TCP 协议发送数据,最短时间需要 300ms。无线通信模块数据发送时间采取 1s 发送一次数据包(约 13Kbp)。而每一组发送数据包总共包含 8 组超声波采集数据,100 组九轴姿态传感器数据以及 8 组模拟输出型传感器(包含煤矿气体勘测传感器,电源监测数据)。

4 硬件实现与结束语

图 3 是该煤矿勘测型四旋翼外环控制系统硬件效果图,煤矿勘测型四旋翼效果图以及飞行实验图。

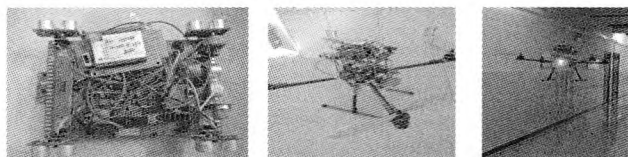


图 3 外环控制系统硬件效果图 煤矿勘测型四旋翼效果图 飞行实验图

本文主要讲述煤矿勘测型四旋翼外环控制系统硬件设计与实现。该系统最大特点是传感器数目较多,采样数据较大,而且每种传感器都有各自的采集时间。

如何把握好每种传感器模块的性能,特点以及在采集数据良好的情况下提高整个系统的效率,是外环控制系统硬件设计要求。其中分析了各个传感器的性能,采集的方式以及分布情况。为后续信号处理以及飞行器控制提供了良好的硬件平台。

参考文献:

- [1] Hamel T, Mahony R, Lozano R, et al. Dynamic modeling and configuration stabilization for an X4-Flyer [C]. 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain, 2002: 665-670.
- [2] 肖支才, 姜鹏, 戴洪德, 康宇航. 室内四旋翼无人飞行器定位导航的研究现状与关键技术[J]. 飞航导弹, 2014.
- [3] 颜平, 王丽丹, 李梦柯. 基于 STM32 的四旋翼飞行器设计与实现[A]. 电子设计工程, 2016, 24(2).

作者简介:

李业钧(1991-), 男, 汉族, 广东广州人, 工程硕士, 西安科技大学微电子学与固体电子学专业, 研究方向: ASIC 及系统集成电路(SOC)设计。