

基于 LabVIEW 和 Arduino 的无人机 辐射监测系统设计与实现

陈达, 陈晓薇, 林幼贤, 何星星, 刘颖

(南京理工大学 环境与生物工程学院, 南京 210094)

摘要: **目的** 克服传统环境核辐射监测的局限性, 设计一种搭载 GM 计数管的固定翼无人机进行高空远距离环境核辐射剂量率监测的系统。**方法** 系统通过编程简单、拓展强等开发特点的 Arduino 单片机完成探测器的硬件设计, 同时利用 LabVIEW 的强大 VISA 通讯模块实现地面站的设计, 最后借助无人机自驾仪 Pixhack 以实现对无人机稳定可靠控制。**结果** 系统地面站操作界面简洁, 测量数据图表直观。探测器对于放射源具有较好的计数响应。Pixhack 对飞行平台有良好的稳定和控制作用。**结论** 系统借助 GM 计数管作为辐射探测器探头, 能够完成高空远程辐射监测任务, 在结构设计仍具有很大的拓展空间, 可满足日常环境核辐射本底剂量率普查, 以及核应急、大范围辐射监测、远程辐射监测等任务。

关键词: Arduino; LabVIEW; Pixhack; 核应急; 辐射监测; GM 计数管

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.03.016

中图分类号: V416

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2020)03-0093-07

Design and Implementation of UAV Radiation Monitoring System Based on LabVIEW and Arduino

CHEN Da, CHEN Xiao-wei, LIN You-xian, HE Xing-xing, LIU Ying

(School of Environmental and Biological Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

ABSTRACT: The work aims to design a fixed-wing UAV equipped with GM counter tube for the monitoring of high-altitude long-range environmental nuclear radiation dose rate, in order to overcome the limitations of traditional environmental nuclear radiation monitoring. The hardware of the detector was designed with Arduino MCU featured by simple programming and strong development. At the same time, the powerful VISA communication module of LabVIEW was used to design the ground station. Finally, the Pixhack was used to stably and reliably control the UAV. The proposed system ground station had a simple operation interface and intuitive measurement data chart. The detector had a good counting response to the radioactive source. Pixhack had good stability and control for the flight platform. With the aid of the GM counter tube as a radiation detector probe, the system can complete the high-altitude remote radiation monitoring task, and still has a large expansion space in terms of

收稿日期: 2018-08-31; 修订日期: 2018-10-13

Received: 2018-08-31; Revised: 2018-10-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11205089); 南京理工大学本科生科研训练“百千万”计划立项资助 (省级项目) (201710288013Y)

Fund: Supported by the National Natural Fund Project (11205089) and Nanjing University of Science and Technology Undergraduate Research Training "100 Million" Plan Project Funding (Provincial Project) (201710288013Y).

作者简介: 陈达 (1996—), 男, 四川人, 主要研究方向为辐射防护与核安全。

Biography: CHEN Da (1996—), Male, from Sichuan, Research focus: radiation protection and nuclear safety.

通讯作者: 刘颖 (1978—), 女, 吉林人, 博士, 讲师, 主要研究方向为辐射防护与核安全。

Corresponding author: LIU Ying (1978—), Female, from Jilin, Doctor, Lecturer, Research focus: radiation protection and nuclear safety.

structural design, which can satisfy the daily environmental nuclear radiation background dose rate survey and nuclear emergency, large-scale radiation monitoring, remote radiation monitoring and other tasks.

KEY WORDS: Arduino; LabVIEW; Pixhack; nuclear emergency; radiation monitoring; GM counter tube

随着我国核工业及相关核技术的不断发展,航空辐射监测显得日益重要,它具有快速性、及时性和降低受照剂量的特点,能够快速获取辐射监测的结果,为辐射防护决策提供可靠的依据^[1]。自1988年开始,成立了核工业航测遥感中心,1994年发展成为核工业航空测量中心,2004年成立了国家核应急航空监测中心^[2]。目前,我国航空辐射监测领域主要针对核电厂的环境辐射本底评价与核应急事故的监测,从设备上国内广泛采用大型机载伽马能谱仪进行实地辐射监测,而国外则广泛采用大型直升机悬停测量^[3-5]。

近年来,由于电子技术的迅速发展,国内外无人机航测技术均有较大的发展。比如根据单片机研发了多代开源无人机自驾仪^[6-7],而且在无人机自主控制技术上取得了较大突破^[8],有效地降低了小型无人机的制作成本,保证飞行稳定性的同时,拓展了更多飞行功能。我国在无人机航测技术中也有广泛的应用,主要包括地质环境的测量、遥感摄影等方面应用^[9-11]。此外, γ 能谱仪在旋翼型无人机辐射探测应用上也取得了较大的突破,研发了用于环境辐射测量及寻源功能的小型旋翼辐射探测系统^[12-13]。在自动化控制与电子测量领域,Arduino单片机控制器也有了较大的发展^[14],并且Arduino控制测量系统也有了许多的应用^[15]。LabVIEW作为常用的虚拟测量仪器软件,不仅有着简明的图形化编程语言,而且具有很强的灵活性和扩展能力。在与Arduino的交互设计中,有许多相关的研究成果^[16-17]。国内目前搭载 γ 能谱仪的旋翼型无人

机成本较高,续航时间短,测量范围有限,且在核事故高计数率环境下测量具有较长的死时间。

由此,研制基于GM计数管的探测系统,以Arduino和LabVIEW相结合进行系统控制的小型固定翼型无人机辐射监测,能够实现其成本低、续航长、速度快、测量响应快等特性,并通过新型无人机自驾仪进行远程控制,对系统进行测试。

1 系统结构及工作原理

系统主要由Arduino探测器及搭载Pixhack开源无人机自驾仪的固定翼飞行平台组成,其中Arduino探测器由GM计数管模块、Arduino Mega 2560微处理器、APC220数传模块、DHT22数字温湿度传感器、MS5611气压计、NEO-7N GPS模块组成。系统总体结构如图1所示。主要工作原理为:GM计数管模块通过中断程序每15s采集一次环境中 γ 射线的计数率(Count Per Minute, CPM),经Arduino微处理器完成计数率至剂量率的浮点运算后,通过APC220数据传输模块将剂量率、GPS、气压、温湿度等数据发至计算机,供上位机程序采集。Arduino探测器上位机采用LabVIEW软件,借助VISA串口通信协议实现LabVIEW软件与Arduino单片机交互通信。此外,Pixhack开源无人机自驾仪通过3DR数传模块将固定翼飞行数据发送回地面站,经地面站Mission Planner软件通过MAVlink^[18]协议解析出飞行数据,以实现远程监控飞行参数,或进行飞行航线规划等。

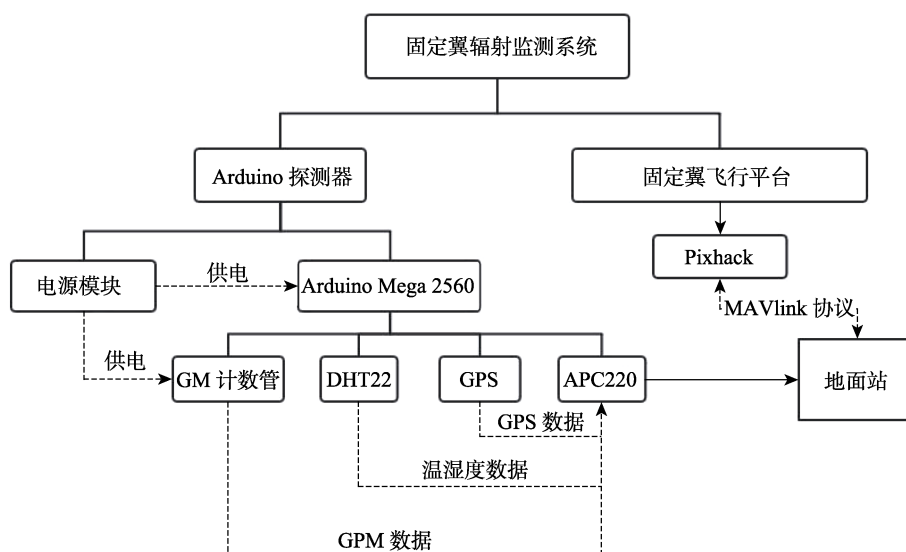


图1 系统工作结构

Fig.1 System work structure

2 系统硬件设计

系统硬件结构的设计主要包括 Arduino 探测器与无人机飞行平台, 其中飞行平台包括固定翼型无人机及 Pixhack 开源无人机自驾仪。

2.1 探测器设计

系统通过 GM 计数管模块获取环境辐射信息, 再经由 Arduino 微处理器处理发送回地面站。GM 计数管采用工作电压为 380~420 V 的 J305 $\beta\gamma$ 型计数管, 该计数管是一种充气二极管, 外壳为玻璃, 管内充有惰性气体和少量的猝灭气体, 可用于探测 α 、 β 粒子及 γ 、 x 射线。将 J305 $\beta\gamma$ 型计数管安装至可支持工作电压为 400~500 V 的 GM 计数管模块电路中, 通过调节电位器以实现对环境辐射进行探测。模块主要电路原理如图 2 所示, 计数管结构如图 3 所示。

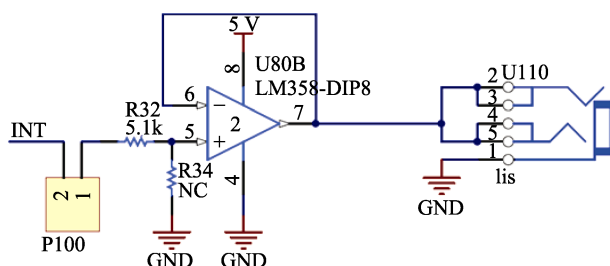


图 2 GM 计数管模块主要工作电路

Fig.2 Main working circuit of GM counter tube module

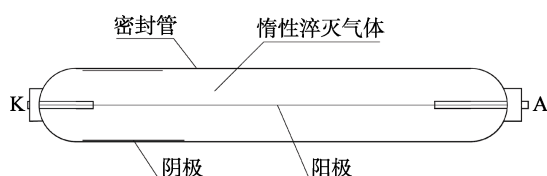


图 3 J305 $\beta\gamma$ 型计数管结构

Fig.3 Structure of J305 $\beta\gamma$ type counter tube

Arduino 微处理器采用 Arduino Mega 2560 作为控制器, 不同于常见的 Arduino UNO 控制器, 它主要包括 54 路数字 I/O 口 (其中 16 路可作为 PWM 输出), 16 路模拟输入, 4 路 UART 串口, 一个 16 MHz 晶振, 6 路外部中断口及一个复位按钮, 具有简易的 IDE 编程环境, 广泛应用于如 3D 打印等多传感器系统。256 kB Flash 内存中 8 kB 用作 BOOT 区存储引导程序, 实现串口下载程序的功能^[19]。

探测器组装完成后, 需要进行串口程序的烧录。首先通过 USB 连接电脑, 通过 Arduino IDE 烧录完主程序后, 打开电源模块开关, 通过 APC220 数传模块即可实现与上位机建立无线通讯。

2.2 飞行平台设计

本系统采用的是固定翼型无人机作为飞行平台, 主要由动力模块及飞行控制器组成。其中, 飞行平台

采用 Pixhack 开源无人机自驾仪作为核心飞行控制器, 可以有效地保证系统的稳定性及安全性。

飞行平台硬件结构采用固定翼型无人机, 主要由 Pixhack 飞控、动力模块、图传模块、数传模块及 GPS 模块组成, 将探测器安装至飞行平台, 并对飞行平台进行调试。需要通过 USB 接口将 Pixhack 与地面站 Mission Planer 进行连接, 在初始设置界面进行固定翼型无人机固件下载安装, 将现有最新的固定翼开源飞行控制代码直接下载到 Pixhack 飞行控制板中。待固件下载完毕后, 需要连接 Pixhack 控制板, 然后完成罗盘、加速度计、遥控器校准及飞行模式设置等。系统通过 Pixhack 实现对固定翼无人机自动控制飞行如图 4 所示。

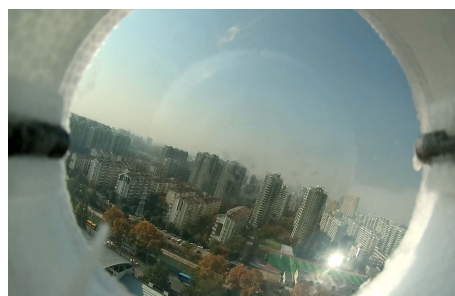


图 4 搭载 GM 探测器固定翼无人机航点飞行

Fig.4 GM detector fixed-wing drone waypoint flight

3 系统软件设计

系统采用集成开发环境 Arduino IDE 作为 Arduino 控制器的代码开发平台, 选用 LabVIEW 作为系统地面站的开发平台。由于官方工具包 LabVIEW Interface for Arduino (LIFA) 所支持的传感器有限, 本系统采用 LabVIEW 自带 VISA 函数完成 LabVIEW 与 Arduino 的交互通信。

3.1 Arduino 下位机程序设计

为了保证系统的稳定性以及可拓展性, Arduino 的主要程序设计过程主要包括第三方库的导入及调用、初始 setup 函数的调用、Arduino 主体程序在 loop 函数的实现。程序主要流程如图 5 所示。为获得环境中的剂量率信息, 采样程序具体实现过程如下: 定义计数器最大计数及计数时间分别为 60 s、15 s。即 Arduino 控制板在 15 s 内检测并记录 GM 计数管模块

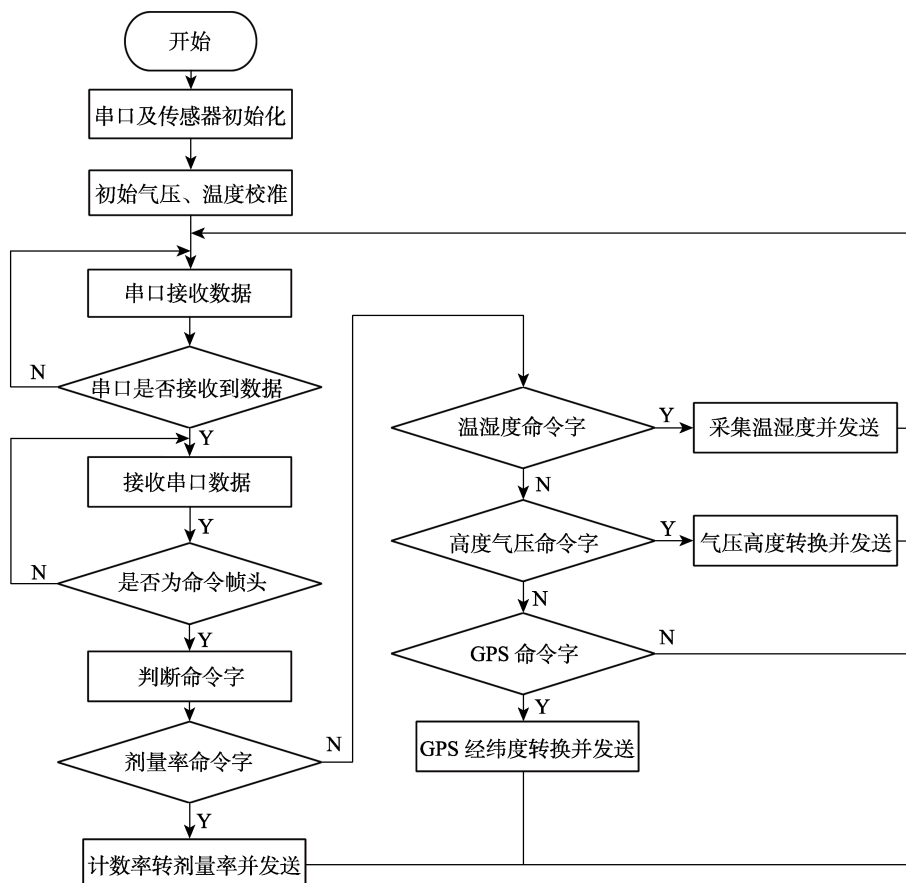


图5 Arduino 程序流程框

Fig.5 Arduino program flow diagram

引发的中断事件次数，通过时间周期计算出计数率 CPM 数值，再通过已经校准数值完成计数率至剂量率浮点运算。

3.2 LabVIEW 上位机软件设计

LabVIEW 上位机作为地面状态机，负责向 Arduino 下位机发送数据请求命令，再通过 VISA 串口函数完成对数据的接收、处理与绘图，并将所接收的数据保存为以系统时间为名的文本文件。其中前面板包括：串口号选择框、温湿度显示仪表、高度气压显示仪表、剂量率时间 XY 图、剂量率经纬度 3D 散点图、打开串口及关闭串口、串口工作指示灯、剂量率警报灯等。上位机主程序框图主要结构包括：条件结构+顺序结构+while 循环。

1) 顺序结构第一帧。完成串口的配置，包括禁用终止符、VISA 名称输入、波特率、奇偶位、错误输入。创建打开串口指示灯局部变量，并写入 True 值，打开指示灯。获取系统当前时间，并创建程序所在文件路径。

2) 顺序结构第二帧。等待 5 s，确保 Arduino 与 LabVIEW 串口均打开，以保证上、下位机正常通讯，若不进行等待程序将会出错。由第一帧创建的以系统

时间为名字的文本路径，创建打开文本文件，并完成文本文件第一行格式化字符串的写入，包括经度、纬度、剂量率、气压值、相对高度、温湿度等，将文件写入标志移至文件结尾下一行。

3) 顺序结构第三帧。While 循环事件，若程序停止按钮未打开，则进行循环。主要数据采集循环为向下位机依次发送十六进制校验与命令帧头。等待 200 ms 后，读取串口缓存数据，并完成剂量率-时间绘图、温湿度数值显示及经纬度-剂量率 3D 散点绘图。再等待 15 s，完成剂量率采集的一次循环。对于剂量率 XY 图绘制，需要以程序开始时间为横坐标，并且以实际接收到的剂量率数值为纵坐标进行 XY 绘图。将程序运行时间与剂量率数值存入数据，并打包成簇，再写入 XY 图。剂量率-时间图绘制循环如图 6 所示。

对于经纬度-剂量率 3D 散点图的绘制，需要通过扫描字符串函数，将缓存区的纬度、经度、剂量率存入数组。再通过添加移位寄存器保存每次循环数值，最后将经度、纬度、剂量率创建向量数组，并且写入 3D 散点图函数的 X、Y、Z 向量值，完成散点图的绘制。纬度-剂量率 3D 散点图绘制循环如图 7 所示。

循环最后，需要将程序获得的经度、纬度、剂量

在 400 s 时, 将 ^{137}Cs 置于距离 GM 计数管模块 5 cm 处开始测量, 系统每隔 15 s 记录一次测量数据, 之后每隔 200 s 移动固定距离。同时, 选用 X、 γ 辐射巡检仪 CM5001 进行对比测试实验, 每隔 10 s 记录一次测量数据, 之后每隔 200 s 移动固定距离。从原

始测量数据对比曲线可以看出,系统探测器模块所测剂量率与X、 γ 辐射巡检仪所测值及变化趋势基本一致。

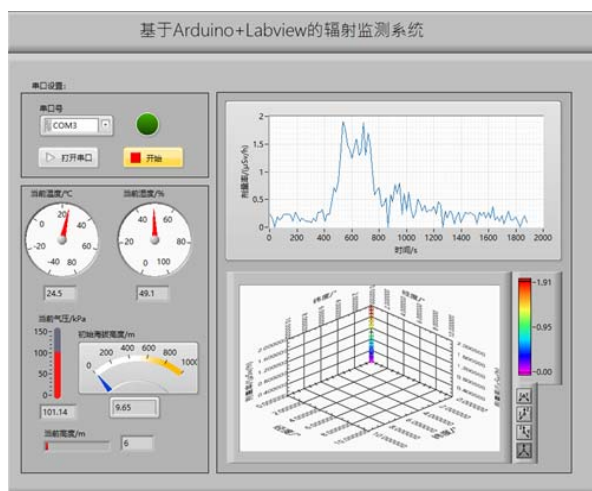


图9 实验室上位机软件测试结果

Fig.9 Laboratory PC software test results

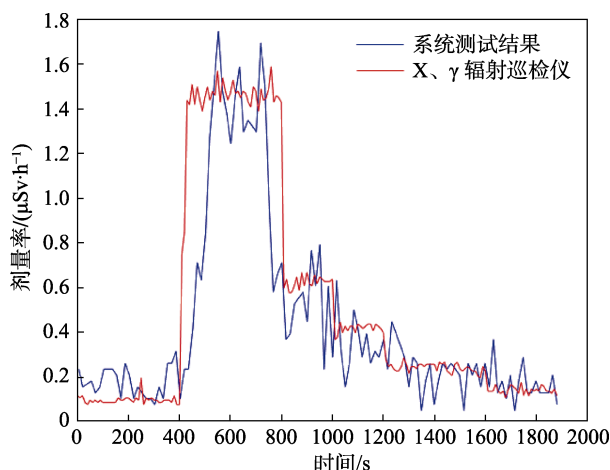


图10 探测器模块与X、 γ 巡检仪原始数据曲线对比

Fig.10 Comparison of the original data curve between the detector module and the X and γ inspection instruments

此外,从测试结果可以看出,由于探测器模块未对采集数据进行平滑滤波处理,因此GM计数管模块对放射源的测试响应较X、 γ 辐射巡检仪具有较高的灵敏度,且温湿度、高度、GPS坐标值等数据程序均正常获得,未发生错误,系统稳定性较好。

经过实验测试,GM计数管模块具有稳定性好、响应快等优点,所测量结果较为准确,可借助于无人机飞行平台,可以完成环境本底剂量率及大型核事故等测量任务。

5 结语

结合LabVIEW软件和Arduino微处理器,借助于固定翼型无人机飞行平台设计实现了一个高空核

辐射监测系统,克服了由于地形带来的测量不便,可以应用于核应急事件、烟羽辐射监测、环境核辐射本底普查等任务。实验中采用Arduino Mega2560微处理器采集剂量率、经纬度等信息,系统拓展性强,可以根据实际任务要求添加相应的传感器并按照相似程序框图进行编程。

此外,为了进行大型核事故的辐射测量,系统可以通过添加硬件设备及结构以实现一次性远程辐射测量任务。系统可添加SD卡模块,将所测量的环境剂量数据保存在SD卡内部,或添加GPRS模块,将所测数据上传至云服务器。通过所设计弹射结构,将飞行控制器及其他主要内部传感器进行弹射回收处理,可以有效减少一次性飞行成本。

最后,本系统具有较低的成本,较好的便捷性,可以实现简易的辐射测量任务。同时为一些远程复杂的大气环境无人机监测系统设计提供了重要参考,具有良好的发展前景。

参考文献:

- [1] 熊建平,张松寿.航空辐射监测研究[J].核电子学与探测技术,2003(5):490-493.
XIONG Jian-ping, ZHANG Song-shou. A Study on Aviation Radiation Monitoring[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2003(5): 490-493.
- [2] 胡明考,王怀武,李素歧,等.703-I型核应急航空综合测量系统简介[C]//第二次全国天然辐射照射与控制研讨会论文汇编.北京:中国核学会,2005.
HU Ming-kao, WANG Huai-wu, LI Su-qi, et al. Introduction to the Model 703-I Nuclear Emergency Aviation Integrated Measurement System[C]. //Second National Conference on Natural Radiation Exposure and Control. Beijing: Chinese Nuclear Society, 2005.
- [3] 倪卫冲.内陆核电站核与辐射安全的航空监测[C]//中国核学会2009年学术年会论文集.北京:中国核学会,2009.
NI Wei-chong. Aviation Monitoring of Nuclear and Radiation Safety for Inland Nuclear Power Plants[C]. //Proceedings of the 2009 Annual Conference of the Chinese Nuclear Society. Beijing: Chinese Nuclear Society, 2009.
- [4] 吴其反,于长春,周锡华,等.环境辐射的高精度航测调查[C]//第二次全国天然辐射照射与控制研讨会论文汇编.北京:清华大学,2005.
WU Qi-fan, YU Chang-chun, ZHOU Xi-hua, et al. High-precision Aerial Survey of Environmental Radiation[C]. //Second National Conference on Natural Radiation Exposure and Control. Beijing: Tsinghua University, 2005: 404-407.
- [5] 张利民,倪卫冲,王彩霞,等.山东海阳核电站环境辐射本底航空测量调查[J].铀矿地质,2016(1):36-42.
ZHANG Li-min, NI Wei-chong, WANG Cai-xia, et al. Survey of Environmental Radiation Background of Hai-

- yang Nuclear Power Plant in Shandong Province[J]. Uranium Geology, 2016(1): 36-42.
- [6] GUGLIERI G, PRALIO B, QUAGLIOTTI F. Flight Control System Design for a Micro Aerial Vehicle[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, 2006, 78(2): 87-97.
- [7] MEIER L, TANSKANEN P, HENG L, et al. PIXHAWK: A Micro Aerial Vehicle Design for Autonomous Flight Using Onboard Computer Vision[J]. Autonomous Robots, 2012, 33(1-2): 21-39.
- [8] 朱华勇, 牛轶峰, 沈林成, 等. 无人机系统自主控制技术的研究现状与发展趋势[J]. 国防科技大学学报, 2010(3): 115-20.
- ZHU Hua-yong, NIU Yi-feng, SHEN Lin-cheng, et al. Research Status and Development Trend of Autonomous Control Technology for UAV System[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2010(3): 115-20.
- [9] 秦博, 王蕾. 无人机发展综述[J]. 飞航导弹, 2002(8): 4-10.
- QIN Bo, WANG Lei. Overview of UAV Development[J]. Winged Missiles Journal, 2002(8): 4-10.
- [10] 王延莲. 无人机航测技术在地质环境治理中的应用分析[J]. 中国高新技术企业(中旬刊), 2014(2): 83-84.
- WANG Yan-lian. Application Analysis of Aerial Survey Technology of UAV in Geological Environment Management[J]. China High Technology Enterprises (Mid-term publication), 2014(2): 83-84.
- [11] 雷东升, 查东辉, 莫玉梅. 轻小型无人机航摄技术现状及发展趋势[J]. 中国新通信, 2017(12): 118.
- LEI Dong-sheng, ZHA Dong-hui, MO Yu-mei. Status and Development Trend of Aerial Photography Technology for Light and Small Drones[J]. China New Telecommunications, 2017(12): 118.
- [12] 霍建文. 面向多旋翼飞行器的 γ 谱仪关键技术研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2015.
- HUO Jian-wen. Key Technology of γ Spectrometer for Multi-rotor Aircraft[D]. Mianyang: Southwest University of Science And Technology, 2015.
- [13] 闻良生, 龚频, 黄茜, 等. 小型旋翼机载辐射环境监测系统的设计与实现[J]. 强激光与粒子束, 2016, 28(10): 165-172.
- WEN Liang-sheng, GONG Pin, HUANG Qian, et al. Design and Implementation of Airborne Radiation Environment Monitoring System for Small-rotor Aircraft[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2016, 28(10): 165-172.
- [14] 蔡睿妍. Arduino 的原理及应用[J]. 电子设计工程, 2012(16): 155-157.
- CAI Rui-yan. Principle and Application of Arduino[J]. International Electronic Elements, 2012(16): 155-157.
- [15] 杨继志, 郭敬. Arduino 的互动产品平台创新设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012(4): 39-41.
- YANG Ji-zhi, GUO Jing. Innovative Design of Arduino's Interactive Product Platform[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2012(4): 39-41.
- [16] 毛敏, 马艳. 基于 Arduino 和 Labview 的蔬菜大棚温湿度监测系统[J]. 中国仪器仪表, 2017(9): 65-68.
- MAO Min, MA Yan. Temperature and Humidity Monitoring System of Vegetable Greenhouse Based on Arduino and Labview[J]. China Instrumentation, 2017(9): 65-68.
- [17] 毛敏. 基于 Arduino 和 LabVIEW 的温湿度监测系统的设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2017(2): 84-87.
- MAO Min. Design of Temperature and Humidity Monitoring System Based on Arduino and LabVIEW[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2017(2): 84-87.
- [18] 赖七生保. 基于 MAVLink 协议的无人机系统设计[D]. 杭州电子科技大学, 2017.
- LAI Qi-sheng-bao. Design of UAV System Based on MAVLink Protocol[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2017.
- [19] 贾瑞. 基于 ArduinoMega2560 的无线监控小车设计[J]. 数字技术与应用, 2013(10): 144-146.
- JIA Rui. Design of Wireless Monitoring Car Based on Arduino Mega2560[J]. Digital Technology and Application, 2013(10): 144-146.