

DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2021.19.023

引用格式:丁电宽,赵晨浩,贾天光.基于STM32的四旋翼无人机控制系统设计[J].现代电子技术,2021,44(19):113-118.

基于STM32的四旋翼无人机控制系统设计

丁电宽¹, 赵晨浩², 贾天光¹

(1.安阳师范学院 物理与电气工程学院, 河南 安阳 455000;
2.南京邮电大学 自动化学院 人工智能学院, 江苏 南京 210023)

摘要:为提升四旋翼无人机的控制性能和抗干扰能力,设计基于STM32的四旋翼无人机控制系统。控制系统由遥控装置和四轴飞控两部分组成。其中,飞控核心为STM32F407处理器,惯性传感单元采用MPU6050传感器,定高测量采用超声波HC-SR04模块,遥控通信选用2.4 GHz无线通信模块;遥控装置由STM32F103处理器、nRF24L01无线传输模块和遥感电位器组成。系统通过遥控装置实时操作四轴飞控及定高。通过测试平台的调试可知,四轴飞控能快速准确地响应遥控装置的指令,顺利定位相应的高度,说明所设计系统具有较好的控制效果、较强的抗干扰能力。

关键词:无人机控制系统;四旋翼无人机;定高测量;遥控装置;四轴飞控;姿态解算;PID控制

中图分类号: TN92-34; TP872

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2021)19-0113-06

Design of quadrotor unmanned aerial vehicle control system based on STM32

DING Diankuan¹, ZHAO Chenhao², JIA Tianguang¹

(1. School of Physics and Electrical Engineering, Anyang Normal University, Anyang 455000, China;
2. College of Automation & College of Artificial Intelligence, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to improve the control performance and anti-interference ability of the quadrotor unmanned aerial vehicle (UAV), a quadrotor UAV control system based on STM32 is designed. The control system consists of a remote control device and a four-axis flight control part. In terms of the system, the core of the flight control is equipped with the processor STM32F407, the inertial sensing unit is equipped with the sensor MPU6050, the ultrasonic HC-SR04 module is used for the altitude setting and measurement, and the 2.4 GHz wireless communication module is used for the remote control communication. The remote control device of the system is composed of the processor STM32F103, the wireless transmission module nRF24L01 and remote sensing potentiometer. The remote control device of the system is used to implement the four-axis flight control and altitude setting in real time. The debugging of the test platform shows that the four-axis flight control can quickly and accurately respond to the instructions of the remote control device and smoothly set the corresponding altitude. Therefore, the designed system has good control effect and strong anti-interference ability.

Keywords: UAV control system; quadrotor UAV; altitude measurement; remote control device; four-axis flight control; posture solution; PID control

0 引言

四旋翼无人机作为多翼无人机的一种,越来越受到国内外无人机爱好者的青睐,再加上其具有机动性强、体积小、响应快速等特点,在很多场合都派上了用场,如植保、拍摄、侦查、搜救等领域。随着其应用的发展和功能的多样化,对四旋翼无人机控制系统的稳定性和敏捷性提出了更高的要求^[1]。目前市场上无人飞行器常用的

控制器有STC的增强型51系列单片机、意法半导体(ST)的STM32F1系列以及STM32F4系列单片机等。其中,增强型51单片机STC15F2K60S2工作主频最高为35 MHz,STM32F103微处理器工作主频达到了72 MHz,相比51单片机而言,STM32F103处理器内部资源丰富,且有独特的开发库函数,但两者都不具备浮点运算能力;STM32F407微处理器处理速度高达168 MHz,内部扩展接口除了常规的I²C、SPI、USART外,还添加了数字摄像头接口、DMA控制器等资源,并集成FPU浮点运算指令,是一款性价比超高的32位微处理器。基于此,本系统设计了一套基于STM32F407ZGT6处理器为控制核

心的四轴飞控,遥控装置采用 STM32F103C8T6 处理器为核心,两个装置之间通过 2.4 GHz 无线传输模块通信^[2]。

1 系统整体方案设计

控制系统由两部分组成,整体框图如图 1 所示。图 1a) 为遥控装置框图,摇杆控制遥感电位器,通过 ADC 采样数据经 2.4 GHz NRF24L01 无线通信模块发送

I²C 给四轴飞控。遥控装置左边摇杆作为油门,右边摇杆作为方向摇杆,用来控制无人机俯仰角和横滚角。图 1b) 为飞控系统框图,系统以 STM32F407ZGT6 为处理器核心,通过 HC-SR04 超声波模块和 MPU6050 传感器模块将获得的数据进行解算融合之后,输出 PWM 信号控制无刷电机。通过 2.4 GHz NRF24L01 无线通信模块收取遥控装置进行指定动作的信息^[3-5]。

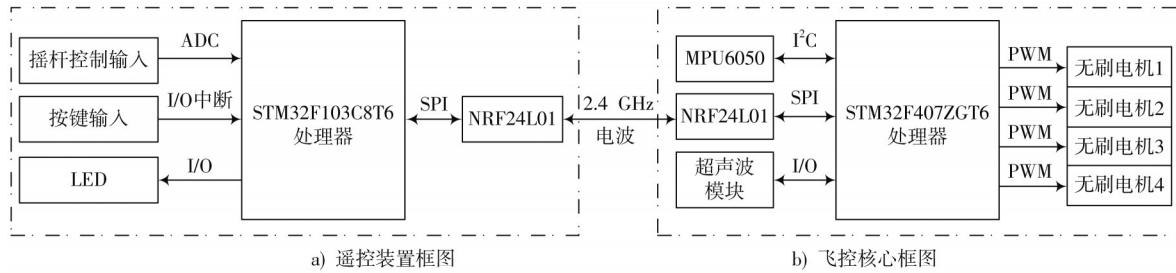


图 1 系统整体框图

2 四轴飞控电路设计

四轴飞控电路主要由 STM32F407ZGT6 处理器、MPU6050 传感器、NRF24L01 无线传输模块、超声波模块、无刷电机、多路电源模块构成。

2.1 STM32F407ZGT6 处理器介绍

STM32F407ZGT6 带有 FPU 的 ARM® 32 位 Cortex®-M4 CPU、主频高达 168 MHz, MPU, 能够实现高达 210 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1) 的性能, 具有 DSP 指令集, 并具有 192 KB SRAM、1 024 KB FLASH、12 个 16 位定时器和 2 个频率高达 168 MHz 的 32 位定时器、2 个 DMA 控制器(共 16 个通道)、3 个 SPI、3 个 I²C、6 个串口、2 个 CAN、3 个 12 位 ADC、2 个 12 位 DAC、1 个 FSMC 接口、1 个摄像头接口以及 112 个通用 I/O 口等。STM32F407ZGT6 处理器根据读取 MPU6050 传感器的数据, 融合姿态解算数据和遥控装置通过 NRF24L01 无线传输模块得到的数据, 通过 PID 控制算法控制 4 个无刷电机, 达到控制飞控的目的^[6]。

2.2 MPU6050 传感器电路模块设计

MPU6050 传感器是 InvenSense 公司的一种六轴传感器, 能同时检测三轴陀螺仪(三轴角速度)、三轴加速度的运动数据以及温度数据, 自带数字运动处理器(Digital Motion Processor, DMP), 通过主 I²C 接口, 向应用端输出完整的 9 轴融合演算数据。四旋翼无人机的首和尾是以 MPU6050 传感器的安装方向来讲的, 一般令 MPU6050 传感器的 Y 方向为 PITCH 方向, X 方向为 ROLL 方向。安装时为了避免四旋翼无人机机架对陀螺仪和机架震动产生的影响, 可在下方垫 1 cm 的泡沫

起缓冲作用^[7]。

MPU6050 的引脚与控制器连接如表 1 所示。MPU6050 传感器检测轴如图 2 所示。

表 1 飞控板 MPU6050 传感器引脚连接表

| MPU6050 传感器功能引脚 | STM32F407ZGT6 处理器 | 功能说明 |
|-----------------|-------------------|------|
| SCL | PB8 | 时钟线 |
| SDA | PB9 | 数据线 |

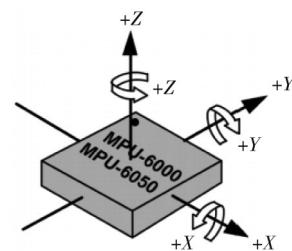


图 2 MPU6050 检测轴及其方向

2.3 NRF24L01 无线模块设计

无线模块采用低电压、高速率、远距离的 NRF24L01 作为通信模块, 实现主控器接收遥控器发送的指令实时控制。该模块最高传输速率可达 2 Mb/s, 抗干扰能力强, 工作损耗也较低, 低电压工作在 1.9~3.6 V, 保证了在四旋翼无人机和遥控装置之间的通信可靠, 连接稳定^[8]。

NRF24L01 模块通过 SPI 与控制器通信, 连线如表 2 所示。

2.4 HC-SR04 超声波模块设计

HC-SR04 超声波性能比较稳定, 模块精度识别高, 测量距离也精准, 体积小巧, 易于安装。超声波模块与

主控器引脚连接如表3所示^[9]。

表2 飞控板NRF24L01无线模块引脚连接表

| NRF24L01 无线模块 | STM32F407ZGT6 处理器 | 功能说明 |
|------------------|----------------------|-----------|
| CE | PG6 | 模式选择引脚 |
| CSN | PG7 | SPI协议的片选段 |
| SCK | PB3 | SPI时钟引脚 |
| MOSI | PB5 | 主出从入数据引脚 |
| MISO | PB4 | 主入从出数据引脚 |
| IRQ | PG8 | SPI信号中断引脚 |

表3 四轴飞控HC-SR04超声波模块引脚连接表

| HC-SR04超声波模块 | STM32F407ZGT6处理器 | 功能说明 |
|--------------|------------------|----------|
| TRIG | PA6 | 触发控制信号输入 |
| ECHO | PA0 | 回响信号输出 |

2.5 遥控装置电路设计

无人机遥控器主要由STM32F103C8T6主控芯片、摇杆电位器、状态指示灯、2.4 GHz无线通信模块NRF24L01、USB接口等主要部件组成。主控芯片读取摇杆电位器的ADC数值后,通过无线通信模块发送遥控指令到无

人机,同时通过状态指示灯显示当前遥控器状态。通过拨动开关1可以控制无人机处于悬停状态,拨动开关2可以使无人机紧急制动,无线模块设置为发送模式^[10]。主控芯片用到的引脚转接到40引脚的直插式转接板上,遥控装置电路原理图如图3所示。

3 四轴无人机软件设计

软件设计主要包括四轴飞控的软件设计和遥控装置的软件设计。软件设计在MDK环境下Keil μVision5软件,C语言编写程序,采用ST-Link仿真器对四轴飞控和遥控装置下载,使用USB转TTL设备在串口助手上对四轴飞控进行调试。

3.1 四轴飞控软件设计

系统上电,初始化无刷电机、MPU6050、NRF24L01无线模块、超声波模块,对系统做零偏处理,等待遥控装置起飞信号。当收到起飞信号时,电机开始加速到起飞速度,同时由MPU6050不断测得角度,无线模块接收遥控装置发送的数据,当接收到进入定高模式之后,就会把基础油门交给定高PID控制系统,然后MCU进行姿态解算,每隔5 ms调整一次四轴飞行器的姿态。

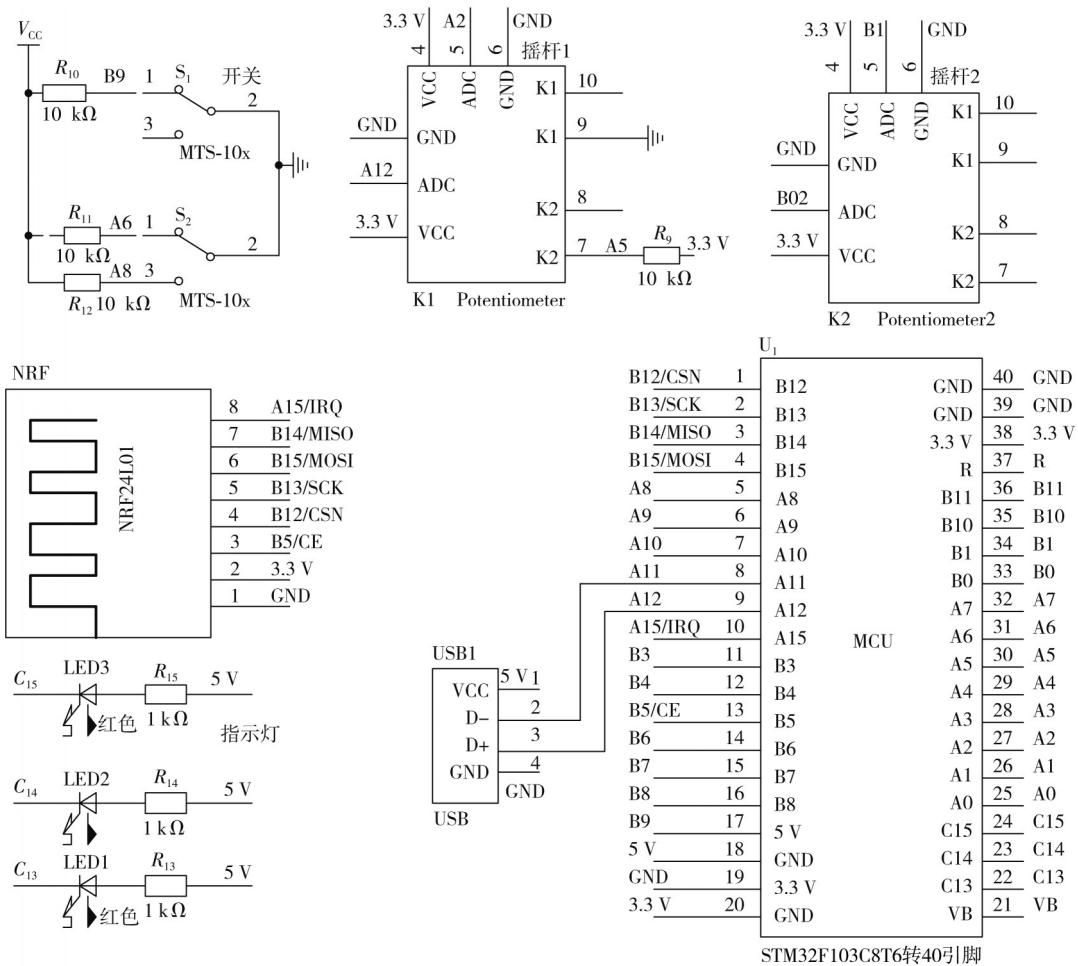


图3 遥控装置电路原理图

飞控系统程序设计流程如图4所示。

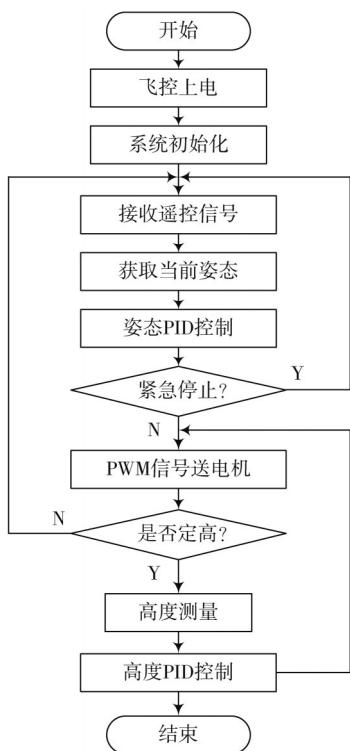


图4 飞控系统设计程序流程图

3.2 MPU6050模块软件设计

MPU6050姿态传感器模块采用I²C接口,内嵌数字运动处理器(DMP),可以完成复杂的姿态解算工作。每次上电都需要对其进行初始化设置,配置加速度计(陀螺仪)量程范围及灵敏度、系统时钟选择、采样频率等参数。本设计设置加速度计量程为±2g,使用以x轴陀螺作为参考的PLL为时钟源,采样频率选择1 kHz。配置DMP流程如图5所示^[11]。

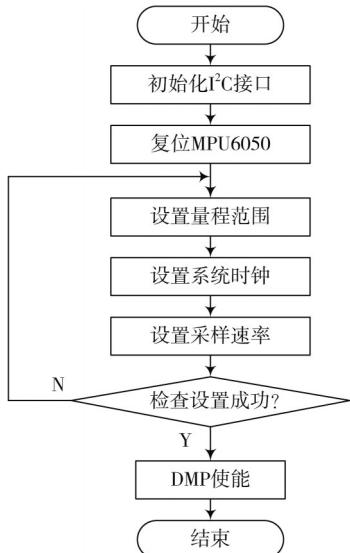


图5 DMP配置流程图

3.3 NRF24L01模块软件设计

NRF24L01模块采用SPI(串行外设总线)接口,该模块最大的特点就是硬件接口少,通信速率高,最高工作速率为2 Mb/s。初始化NRF24L01模块如图6所示。

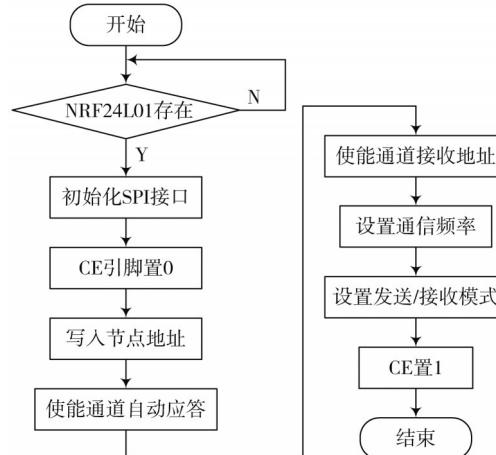


图6 NRF24L01初始化程序流程图

3.4 姿态解算软件设计

1) 互补滤波算法

加速度计用来测量加速度,静态稳定性好,但在运动状态下,数据相对不可靠。陀螺仪用来测量角速度,动态稳定性好,但是在静止的状态下,数据相对不可靠。通过加速度计的输出修正陀螺仪的漂移误差,实现加速度传感器和陀螺仪传感器的数据互补,再进行滤波处理得到稳定可靠的输出^[12]。互补滤波算法流程如图7所示。

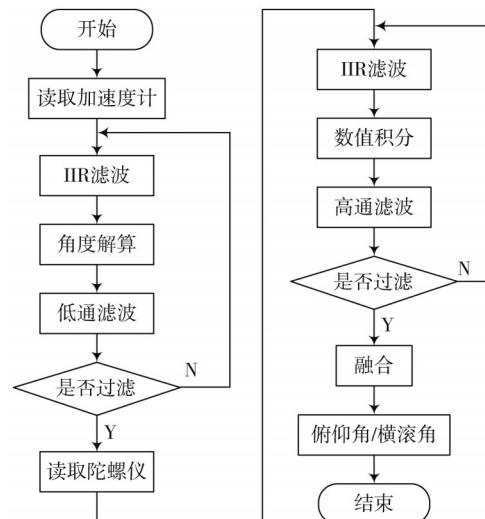


图7 互补滤波算法解算流程图

2) 串级PID控制

角速度闭环为串级PID的内环,角度闭环为串级PID的外环。外环输入量为角度值,输出量为角速度值,内环输入量为角速度值,输出量为PWM值,直接送给电机,进而改变无人机的整个姿态,所以姿态变化引

起了无人机的角速度变化和角度变化。

3.5 定高解算软件设计

本系统根据超声波模块输出信号的特点,巧妙利用定时器捕获功能测量回响脉冲信号的宽度(时间),然后参考声音的传播速度计算出离地高度,不仅提高了测量精度,也提高了代码执行效率。接下来对测量的高度数据进行滤波处理,提高系统抗干扰性能,最后将高度数据反馈给高度PID控制系统,实现定高功能,如图8所示。

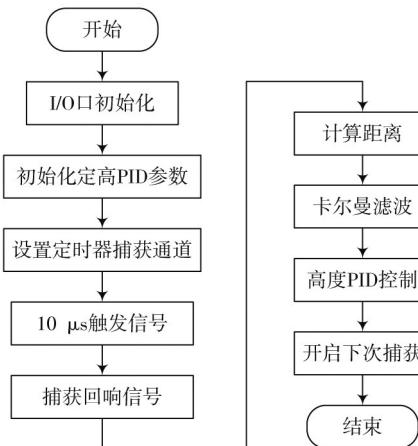


图8 超声波定高流程图

3.6 遥控装置软件设计

无人机遥控器主控芯片读取摇杆电位器的ADC数值后,通过无线通信模块发送遥控指令到无人机,同时通过状态指示灯显示当前遥控器状态。通过拨动开关1可以控制无人机处于悬停状态,拨动开关2可以使无人机紧急制动。

遥控装置系统流程图如图9所示。

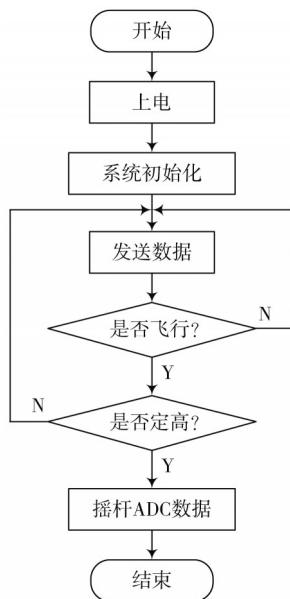


图9 遥控装置系统程序设计流程图

4 调 试

1) 测试条件

电机是朗宇X2212无刷直流电机,按“X字”安装,电调是好盈乐天XRotor系列电子调速器(亚太版)20 A电调,电池型号为3S 4000mAh 25C, F450铝合金机架,1045正反桨,如图10所示。



图10 测试平台

2) 调试过程

首先固定无人机,调整一个方向,先调内环参数,外环参数都设置为零,首先用串口助手对内环参数 P 进行调整,从0慢慢往上加,合适的参数 P ,当人为干扰时,能感觉到有抵抗力,无人机会震荡几下趋于平衡位置。然后再调 D , D 的效果十分明显,能抑制无人机超调,现象是当人为干扰无人机时,无人机能快速地恢复到平衡位置。最后在 P , D 的基础上加上 I , I 的作用可以使得在一定角度范围内(30°左右)可以修正重力带来的影响,合适的参数 I ,当打舵回中时,不会因为重力或惯性作用继续转动。内环参数调整之后,使用串口助手调整外环参数 P ,从0往上加,加上外环 P 时,无人机表现比较明显,无人机会转到平衡状态。ROLL的参数和PITCH方向的内外环参数一样。当PITCH方向和ROLL方向的参数调整好之后,就可以调整YAW的参数了,步骤和调前两个方向参数一样,先调内环参数,再调外环参数。

通过调试,四轴飞控能快速准确地响应遥控装置的指令。在定高模式中,能顺利定位相应的高度。具有较好的控制效果、较强的抗干扰能力。可手动切换自动/手动控高模式,飞行器能够完美地按照遥控指令做出相应动作,完成预期设计目标。

5 结语

本文设计了基于STM32的四旋翼无人机控制系统,以STM32作为主控电路设计四轴飞控电路,在MDK环境下设计四轴无人机软件功能部分,采用互补滤波算法完成飞行器姿态控制,根据定时器捕获测量高度数据,完成飞行器定高,最后设计遥控装置,完成四旋翼无人机控制系统设计。调试结果表明,飞行器能够依照遥控指令完成动作,具有较好的控制效果和抗干扰能力,有很大的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 王雯,王日俊,张健.基于观测器的四旋翼飞行器自适应滑模姿态控制[J].电光与控制,2019,26(6):75-79.
- [2] 马思迁,董朝阳,马鸣宇,等.基于自适应通信拓扑四旋翼无人机编队重构控制[J].北京航空航天大学学报,2018,44(4):841-850.
- [3] 厉小伟,郭玉英.四旋翼飞行器的动力学建模与飞行控制[J].自动化与仪器仪表,2017(1):130-132.
- [4] 刘云平,黄希杰,李先影,等.四旋翼飞行器的滑模PID轨迹跟踪控制[J].机械科学与技术,2017,36(12):1859-1865.
- [5] POKORNÝ J, OMETOV A, PASCUAL P, et al. Concept design and performance evaluation of UAV-based backhaul link with antenna steering [J]. Journal of communications and networks, 2018, 20(5): 473-483.
- [6] GENG K, CHULIN N A. Applications of multi-height sensors data fusion and fault-tolerant Kalman filter in integrated navigation system of UAV [J]. Procedia computer science, 2017, 103: 231-238.
- [7] PANAGIOTIDIS D, ABDOLLAHNEJAD A, SUROVÝ P, et al. Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery [J]. International journal of remote sensing, 2017, 38(8/10): 2392-2410.
- [8] 黄辉先,胡鹏飞.基于共轭梯度法的反馈差分进化混合算法及其在弹簧设计中的应用[J].计算机工程与科学,2018,40(7):1316-1322.
- [9] 付振彪,王太勇,张雷,等.滚珠丝杠进给系统动力学建模与动态特性分析[J].振动与冲击,2019,38(16):56-63.
- [10] CUMMINGS A R, KARALE Y, CUMMINGS G R, et al. UAV-derived data for mapping change on a swidden agriculture plot: preliminary results from a pilot study [J]. International journal of remote sensing, 2017, 38(8): 2066-2082.
- [11] XAVIER B, GUILLAUME C, NICOLAS L, et al. Full-field OCT technique for high speed event-based optical flow and particle tracking [J]. Optics express, 2017, 25(11): 12611-12621.
- [12] CHEN J, CAI Z M, LAI J H, et al. Efficient segmentation-based PatchMatch for large displacement optical flow estimation [J]. IEEE transactions on circuits and systems for video technology, 2019, 29(12): 3595-3607.

作者简介:丁电宽(1971—),男,河南濮阳人,硕士,副教授,研究方向为嵌入式技术、信号检测、无人机飞控系统。

赵晨浩(1997—),男,河南新乡人,硕士研究生,研究方向为无人机飞行控制、slam、三维重建。

贾天光(1998—),男,河南濮阳人,研究方向为嵌入式技术、无人机、机器视觉。