

# 基于STM32微型四轴无人机的设计与实现

宋楸楹, 尤晓萍

(厦门大学 嘉庚学院, 福建 漳州 363105)

**摘 要** 微型四轴无人机与中大型四轴无人机相比具有成本低、事故代价低、结构简单、量产率高等优势。本文主要介绍基于STM32的微型四轴无人机的硬件设计、程序设计及基本工作原理。无人机以STM32F103CBT6作为控制核心, MPU6050作为姿态运动传感器。控制器与无人机之间采用NRF24L01或BC04-B进行无线通信, 使无人机端即时有效地接收控制器所发出的指令, 使其能够在空间中自由移动。

**关键词** 微型四轴无人机; 无人机设计; STM32

**中图分类号** V279.2 **文献标识码** A **文章编号** 1674-1048(2017)02-0148-07

**DOI** 10.13988/j.ustl.2017.02.013

四轴无人机拥有2对对称旋翼, 可以自由地悬停和移动, 飞行灵活而稳定。它结构简洁, 制造材料简单, 性价比极高。其应用也在不断的拓展之中。在飞行器上挂载通信系统、摄影系统等模块能够实现诸多新功能, 如航拍、APP信息采集等。中小型四轴无人机在军事应用方面具有得天独厚的优势。它们可控、体积小, 在受训士兵的操控下进行战场上近距离、复杂地貌环境的敌情侦察, 还可以用作信标指示定点轰炸或集中打击等<sup>[1]</sup>。民用方面, 四轴无人机应用前景也较为广泛。通过携带指定的传感器模块, 四轴飞行器可以采集农作物的整体指标, 省去了人工调查的时间和成本<sup>[2]</sup>。

四轴无人机的产业已成规模。目前的研究方向主要集中在新传感器技术的发展和运用以及姿态控制方面。整合一体的新传感器模块小型化微型化, 使多轴飞行器的体积可以大大缩小<sup>[3]</sup>。四轴无人机的姿态控制研究主要是飞行姿态的数学建模、控制算法以及滤波原理<sup>[4]</sup>。目前市面上微型四轴无人机的飞行姿态不够稳定, 控制方式相对单一。因此本文设计并制作了此款双遥控模式的微

型四轴无人机, 详细介绍了其硬件设计、程序设计、控制原理和可行方案。并对制作实物进行测试, 使其达到可控、平稳飞行的状态。

## 1 总体方案设计

微型四轴无人机硬件部分主要有微控制器STM32F103CBT6、XC6206 稳压电路, 无线NRF24L01模块、BC04-B蓝牙通信模块、电机驱动电路、LED驱动电路、姿态传感器MPU6050等。采用5 V充电电池作为电源, 通过XC6206芯片稳压到3.3 V为微控制器以及外设供电

无人机可通过NRF24L01模块通信手柄遥控, 或通过BC04-B蓝牙模块与手机通信控制, 通信频道2.4 GHz, 两种不同的控制方式可根据需求自由切换。且采用的蓝牙通信也避免没有wifi时的尴尬局面。控制器采集电位器ADC值以及按键信号实时发送给无人机, 无人机的微控制器通过I2C读取MPU6050的姿态解算值, 在通过PID算法输出PWM控制直流电机实现飞行; 飞行姿态则以变化电机转速进行控制。

收稿日期 2017-03-26。

基金项目 福建省中青年教育科研项目(JT160649)。

作者简介 宋楸楹(1994—), 男, 辽宁鞍山人。

通讯作者 尤晓萍(1985—), 男, 福建南安人。

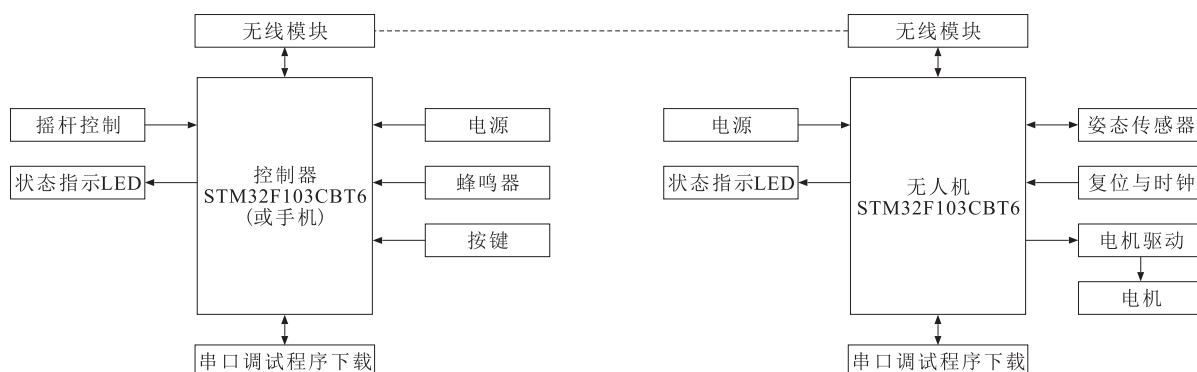


图1 硬件系统总体框图

Fig.1 Hardware system block diagram

### 1.1 通信模块

微型四轴无人机设计选用 NRF24L01 和 BC04-B 两种通信模块,可根据需求自由切换。手机 APP 或控制手柄的 MCU 读取摇杆 ADC 值及按键值,通过通信模块发送给无人机端,无人机端接收后做出相应的动作。

### 1.2 姿态传感器

微型四轴无人机姿态传感器主要测量偏转角速度及加速度。设计采用集 3 轴加速度计与三轴陀螺仪的 MPU6050。MPU6050 与无人机微控制器之间通过 I2C 协议交互通信,速率可达 400 kHz,通信协议较为简单,产品较为成熟,可模块化处理,符合系统的整体要求。

### 1.3 电机驱动

微型四轴无人机电机驱动电路主要是微控制器通过控制 PWM 输出从而控制开关二极管通断作为开关实现控制电机的转动。

### 1.4 LED 状态指示

在微型四轴无人机整体系统设计中,首先必须要有电源 LED 指示灯,通过其亮灭来判断系统是否通电;其次要有信号 LED 指示灯,指示无人机和控制器间是否通信成功;最后是指示无人机飞行状态模式等。

## 2 系统硬件设计

在微型四轴无人机硬件电路设计中,原理图采用模块化绘制,这样可以让整个控制器电路直观显示出包含哪些哪类模块系统。所需连接的地方用接口标识连接,这使得模块单元之间的连接

也非常清楚。在此部分中,对以下几个主要的模块如主控单元电路、无线通信模块电路、姿态传感器电路等进行更加详细的介绍。

### 2.1 主控单元电路设计

微控制器是微型四轴无人机系统的核心,本文中控制器和无人机均采用 STM32F103CBT6 作为主控芯片,STM32F103CBT6 是低功耗、高集成、高性价比的 MCU 芯片。STM32F103CBT6 基于 32 位 ARM Cortex-M3 内核;支持 SPI、I2C 等通信协议的外设。程序下载和调试可以通过 FlyMCU 和 JLINK SWD 模式两种方式进行。STM32F103CBT6 具有多路定时器 PWM,可以完美驱动无人机的四台直流电机。

### 2.2 无线通信模块电路设计

设计的微型四轴无人机系统遥控方式有两种:控制手柄和无人机间通信采用 NRF24L01 模块;手机和无人机通信采用 BC04-B 蓝牙模块。

NRF24L01 工作电压 1.9~3.6 V,可接受 5 V 电平的输入,内置链路层,数据传输率 1 或 2 Mbps,有 125 个可选工作频道并且频道切换时间较短可用与跳频,具有自动应答及自动重发和地址、CRC 检验的功能。

NRF24L01 无线通信模块的通信距离在不接 PA 射频时在开阔可视直线距离为 30~50 m,2.4 GHz 的无线通信频段,与微控制器之间通过 SPI 通信协议进行通信传输,1 MHz 的速率。

图 3 为 NRF24L01 无线通信模块电路图,该电路与控制器之间采用 SPI 通讯,图 4 为 SPI 通讯过程中各引脚的时序图。

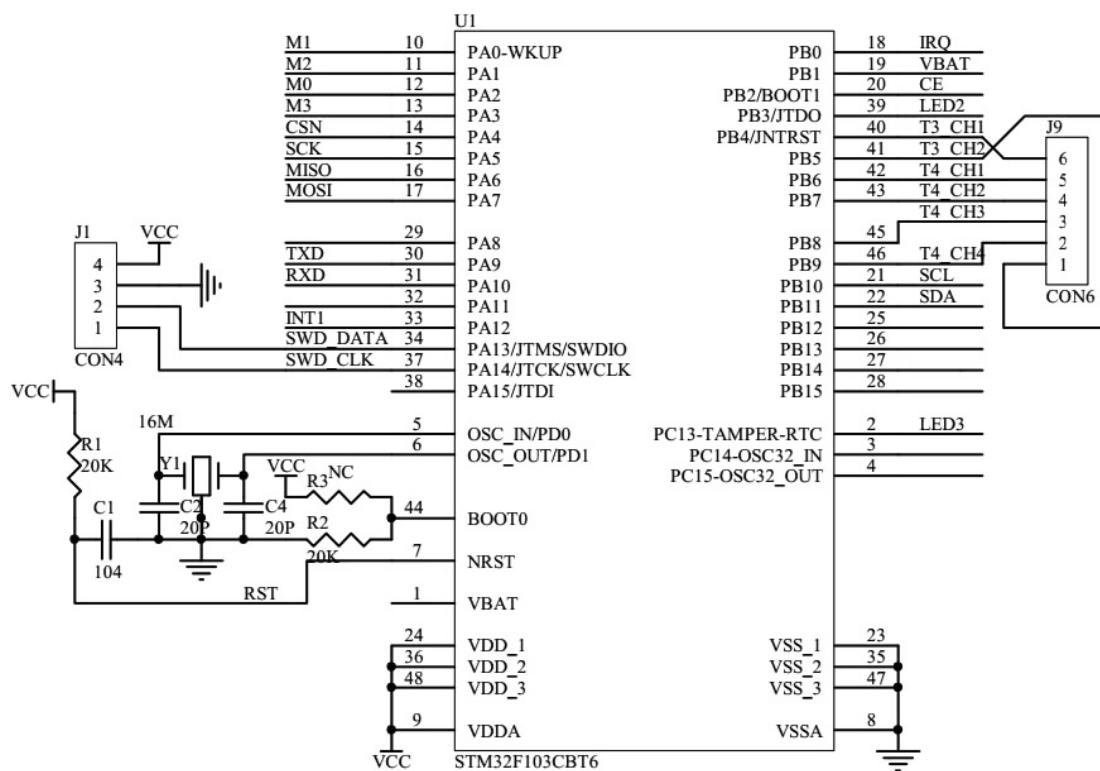


图2 飞行器最小系统原理图

Fig.2 Quadcopter minimum system schematic diagram

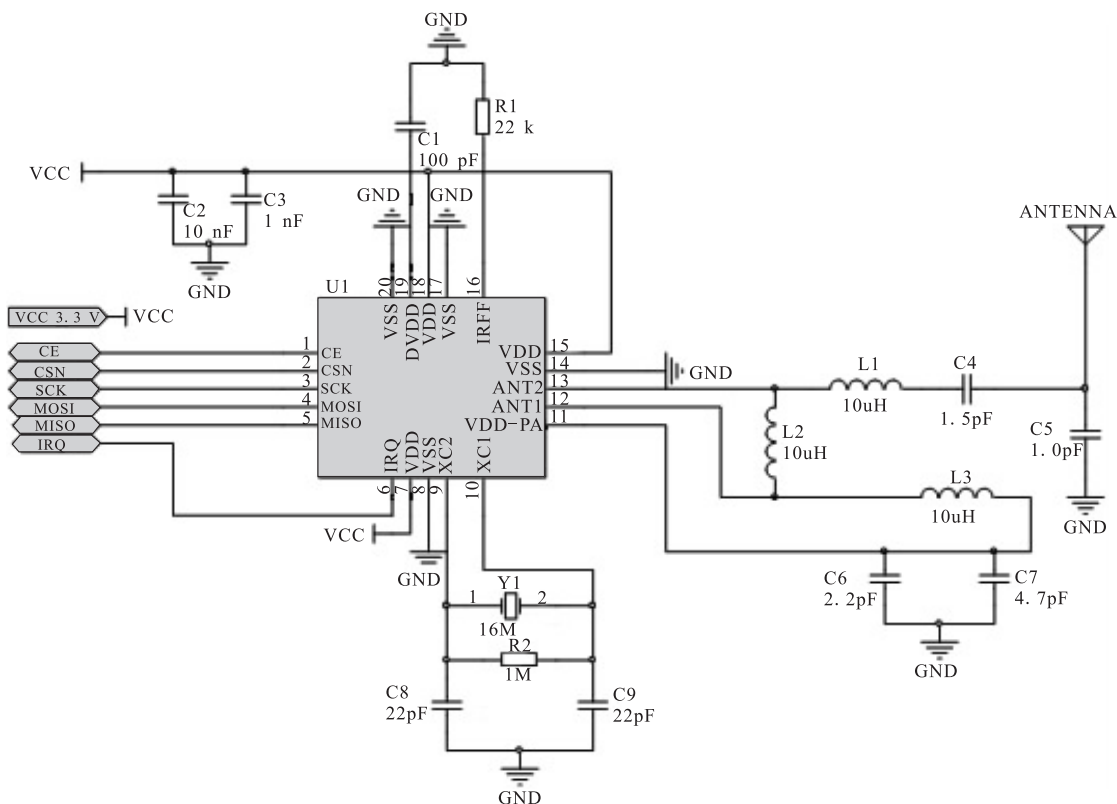


图3 NRF24L01无线通信模块电路图

Fig.3 NRF24L01 wireless communication module circuitry

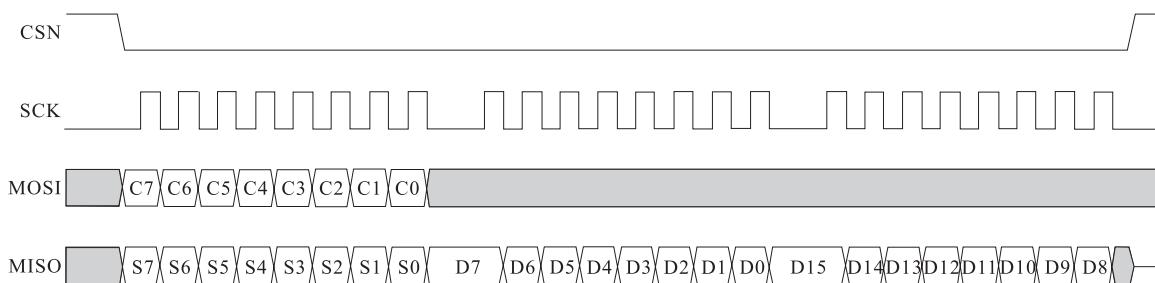


图4 SPI通信协议时序图

Fig.4 SPI communication agreement sequence diagram

BC04-B模块是采用蓝牙标准V2.1+EDR的通讯模块,其供电电压3.3 V,功耗较低,输出功率Class 2,支持SPI,UART,USB,等接口,最多可连接7个从属设备并且支持主从一体,通过REACH、ROHS认证,通过它可轻松的与手机设备之间通讯。

### 2.3 姿态传感器电路设计

MPU6050 是一种姿态传感器,其与STM32F103CB6间采用I2C协议进行数据传输。

其速率可达400 kHz,MPU6050集3轴加速度计与三轴陀螺仪于一体但其与微控制器之间连接只需两根线,其一是I2C数据线SDA与微控制器的PB11引脚连接,其二是I2C时钟线SCL与微控制器的PB10引脚连接。如图5所示,3个3K上拉电阻R6、R7、R8是为了增强其驱动能力。

图6为I2C总线起始和停止信号的时序图,S表示起始位,P表示停止位,当SCL是高电平时,SDA从高电平向低电平切换表示起始条件,

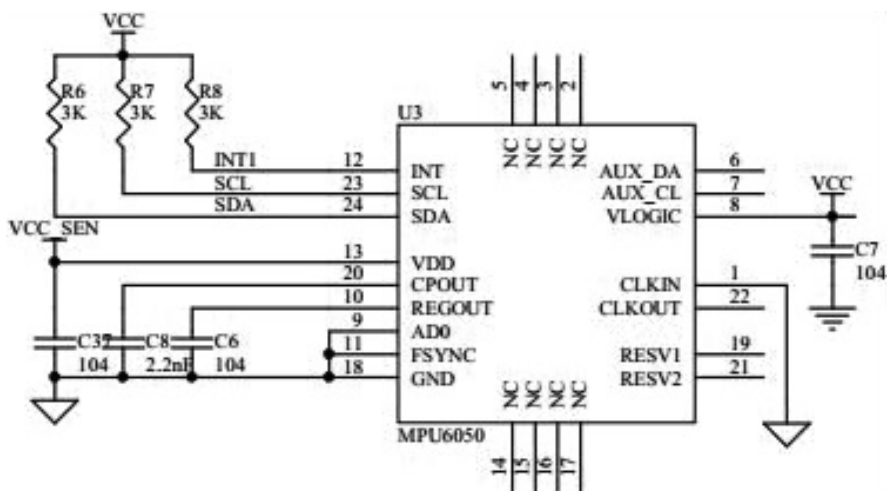


图5 惯性测量单元电路图

Fig.5 Inertial measurement module circuitry

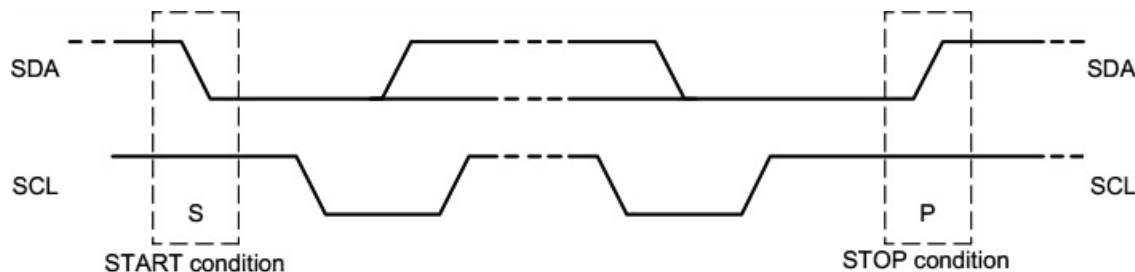


图6 I2C总线起始和停止信号

Fig.6 Start and stop signal of I2C bus

SDA 线由低电平向高电平切换表示停止条件。

### 3 系统程序设计

#### 3.1 程序设计框图

微型四轴无人机系统程序设计主要包括两大部分。其一为控制器程序设计,其二为无人机程序设计。控制器主要作用就是采集电位器ADC值和按键信息发送给无人机端,无人机程序包括接收控制器传输数据和姿态传感器数据读取及处理。

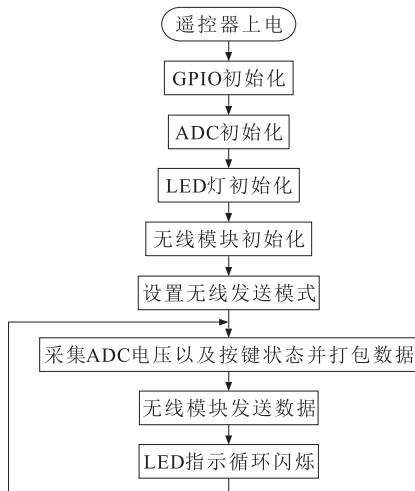


图7 控制器程序流程图

Fig.7 Controller program flow diagram

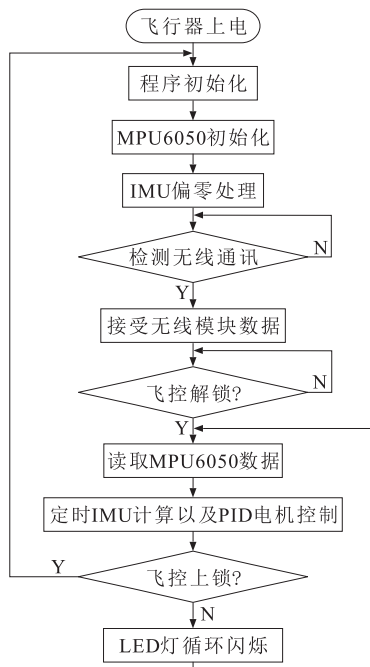


图8 无人机程序流程图

Fig.8 Quadcopter program flow diagram

#### 3.2 姿态计算IMU

姿态计算是指MCU通过读取姿态传感器数据,实时计算其姿态角的过程,姿态计算也是飞行器能否平衡稳定飞行或定向飞行的关键。

设计的微型四轴无人机系统中姿态计算程序主要是把MPU6050读取出来的数据值进行零偏置、分辨率、IMC、互补滤波这四个步骤处理最终得到欧拉角度值<sup>[5]</sup>。

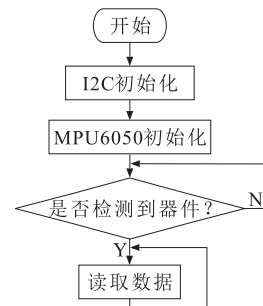


图9 MPU6050数据读取流程图

Fig.9 MPU6050 data reads flow diagram

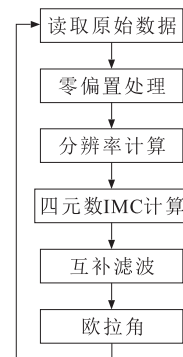


图10 MPU6050数据存储流程图

Fig.10 Data processing reads flow diagram

#### 3.3 PID电机控制

对四轴无人机的基本要求是飞行平稳,PID电机调速控制自然也成为程序设计中关键的一环。图11是本文所设计四轴无人机直流电机的调速框图。首先,给定速度 $n_0(t)$ 与转速 $n(t)$ 进行比较,其差值为 $e(t)=n_0(t)-n(t)$ ,经过PID控制器调整后的电压控制信号 $u(t)$ , $u(t)$ 经过功率放大后,驱动直流电机改变其转速<sup>[6]</sup>。





图11 小功率电机调速系统

Fig.11 Low power motor speed regulation system

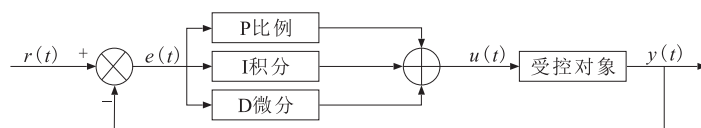


图12 常规的模拟PID控制系统原理框图

Fig.12 Normal simulation PID control system schematic diagram

PID部分程序代码如下所示:

```
void CONTROL (float rol_now, float
pit_now, float yaw_now, float rol_tar, float
pit_tar, float yaw_tar) //当前姿态角,目标姿态角
floatrol = rol_tar + rol_now;
float pit = pit_tar + pit_now;
float yaw = yaw_tar + yaw_now;
PID_ROL.OUT = PID_ROL.pout +
PID_ROL.iout + PID_ROL.dout;
PID_PIT.OUT = PID_PIT.pout + PID_PIT.
iout + PID_PIT.dout;
PID_YAW.OUT = PID_YAW.pout +
PID_YAW.iout + PID_YAW.dout;
```

## 4 实验结果

图13为设计的微型四轴无人机的实物。直接采用PCB板作为机身,节省空间,减小体积。遥控手柄NRF24L01+PA模式下遥控距离为80 m,手机蓝牙模式遥控距离为9~10 m。经过一系列室内室外飞行实验验证,飞行器可以实现稳定可控飞行。

表1比较可以看出,与MK和Ardone四轴无人

机相比,本文提出的设计选用了功能更强大的MPU6050作为运动组件,控制方式也有手机和手柄两种,可根据需求自由切换。且手机端采用的是蓝牙通信,也避免没有wifi时的尴尬局面。



图13 无人机实物图

Fig.13 Quadcopter material object drawing

图14所示偏角为两架无人机从静止水平状态绕水平Y轴旋转后所得。可以看出,设计的无人机在陀螺仪加速度与陀螺仪角速度姿态融合后,可以得到较为平滑和准确的角度曲线,而MK无人机只有陀螺仪加速度,测量值不够稳定。

表1 现有开源四轴无人机对比

Tab.1 Contrast with existing open source quadcopter

| 机型类别                  | MCU | 运动处理组件           | 实际操作          |
|-----------------------|-----|------------------|---------------|
| MK <sup>[7]</sup>     | AVR | 陀螺仪+加速度+电子罗盘     | 遥控手柄控制,较为简易   |
| Ardone <sup>[7]</sup> | ARM | 陀螺仪+加速度+电子罗盘+气压计 | 手机wifi控制,飞行平稳 |
| 本次设计                  | ARM | 陀螺仪+加速度+角速度+电子罗盘 | 手机手柄双模式,自由    |

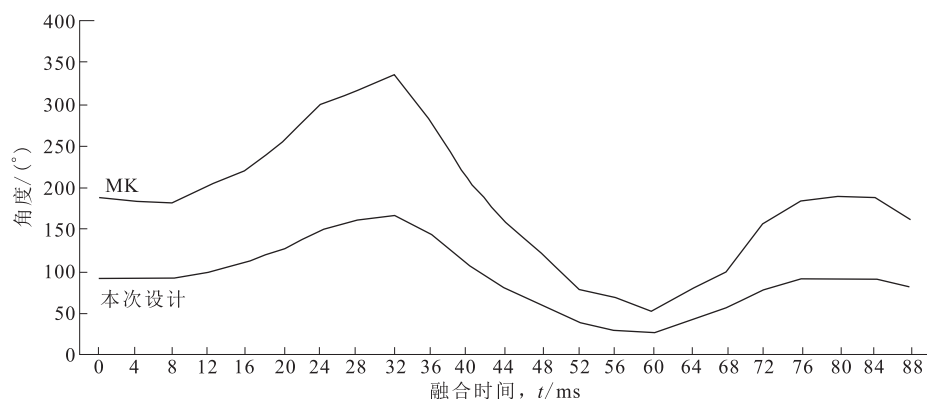


图14 无人机姿态偏角

Fig.14 Quadcopter deflection angle quadcopter

## 5 结 论

本文介绍了微型四轴无人机的系统设计,系统采用 STM32F103CBT6 作为核心处理单元, MPU6050 作为姿态传感器,融合 3 轴陀螺仪和 3 轴加速度计,可实现无人机的飞行、锁尾、自转、前后移动等功能。控制器段主要采集传输控制摇杆的 AD 值和按键的动作值,通过 NRF24L01 或 BC04-B 模块发送给无人机端。无人机端接受 NRF24L01 和 BC04-B 模块发出的控制器指令, MCU 取得 MPU6050 的姿态信息后,采用滤波算法和控制算法,对飞机姿态进行控制。通过与目前主流的几款小型四轴设备进行比较,本设计在飞行器,在相同的扰动情况下振动更小,姿态调整更快。

## 参 考 文 献:

- [1]包强,隋毅,刘阳,等.微型无人飞行器的使用及研制现状[J].飞航导弹,2008,2(9):29-32.
- [2]祝彬,陈笑南,范桃英.国外超高空长航时无人机发展分析[J].中国航天,2013(11):28-32.
- [3]唐懋.基于 Arduino 兼容的 Stm32 单片机的四旋翼飞行器设计[D].厦门:厦门大学计算机与信息工程学院,2014.
- [4]周谟,徐光辉,罗章凯,等.四旋翼飞行器的自适应单神经元 PID 控制研究[J].军事通信技术,2013(3):7-11.
- [5]吕强,王国胜,等.四轴飞行器姿态控制系统设计[J].计算机测量与控制,2011,19(3):583-585.
- [6]金志祥.滚筒洗衣机速度模糊控制方法[P].江苏:CN1851101,2006-10-25.
- [7]CASTILLO P, DZUL A, LOZANO R. Real-time stabilization and tracking of a four-rotor mini rotorcraft [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2004, 12(4): 510-516.

## Design and implementation of micro quadcopter based on STM32

SONG Fuying, YOU Xiaoping

(School of Xiamen University Tan KahKee College, Zhangzhou 363105, China)

**Abstract:** The micro quadcopter has the advantage of low cost, low accident cost, simple structure and higher production rate etc., compared with the large quadcopter. This paper mainly introduces the hardware design, program design, base working principle of the micro quadcopter base on STM32. The quadcopter's core control system is SMT32F103CBT6, attitude sensor is MPU6050. The NRF24L01 or BC04-B is used for wireless communication between quadcopter and controller to receive the data timely and efficiently, by which the micro quadcopter can move freely in the space.

**Keywords:** quadcopter; unmanned aerial vehicle design; STM32

(Received March 26, 2016)