

# 基于 Arduino 平台的四轴设计与飞行控制实现

栾志勇, 王非, 朱训, 李莉莉

南通大学电子信息学院

**摘要:**本文介绍实现基于 Arduino 平台的四轴飞行器硬件组成和飞行控制。整个系统使用 Arduino 编译平台,以 ATmega328P 单片机为核心控制系统,以无刷直流电机为核心动力驱动系统,以 2.4GHz 无线遥控收发器为核心无线遥控系统。通过采集 MPU6050 模块集成的三轴数字陀螺仪和三轴数字加速度传感器,数字气压传感器(BMP085)以及三轴数字磁阻传感器(HMC5883L)获取的数据,以 PID 算法处理,实现四旋翼姿态控制。

**关键词:**四轴无人机;控制系统;姿态控制

四轴飞行器凭借其性能优良和操作简便的优点,已成为当前主流无人飞行器。四轴飞行器是指由 4 个电机推动飞行的无人机。通过对四个电机的 PID 控制(即通过 PID 算法改变每个电机的相对速度来改变推力,进而改变各个方向的扭矩)得以实现对无人机方向和速度的控制。而 Arduino 平台的编程语言是建立在 C/C++ 基础上,简单来讲即基础的 C 语言。Arduino 平台把 AVR 系列单片机相关的底层硬件参数封装成函数,使用者可以不用了解他的底层,快速实现所需功能,同时 Arduino 也支持 ISP 在线烧录,使用方便。

当前,我国国内四轴飞行器由于起步较晚,缺乏核心技术,以致应用领域相当受限。国外例如欧美等发达国家,在四旋翼领域已经取得相当大的成就,应用到了军事商业等多个领域。

## 1 四轴飞行器控制系统

### 1.1 总体架构

本系统以 ATmega328P 单片机为核心控制芯片,使用 Arduino 平台编程语言,通过离散式采集运动传感器包括 MPU6050 三轴数字陀螺仪,三轴数字加速度传感器, BMP085 数字气压传感器, HMC5883L 三轴数字磁阻传感器的数据以及接收 2.4GHz 无线遥控器发送的数据,通过 PID 算法处理,控制电调驱动电机产生相应,以达到实现四旋翼姿态控制的目的。

### 1.2 四轴飞行器硬件

主要模块有:飞行控制模块、电机旋翼电调模块、机身模块、电源模块、遥控器模块

#### 1.2.1 飞行控制模块

集成主控芯片模块: ATmega328P 单片机;数据采集模块: MPU6050 三轴数字陀螺仪+三轴数字加速度传感器(自动稳定用), BMP085 数字气压传感器(锁定高度用), HMC5883L 三轴数字磁阻传感器(电子罗盘,锁定航向用);电源模块:分离的双路电源稳压器, 3.3V/5V 的最大电流为 150mA/500mA 等。通过数据采集模块采集飞行数据包括俯仰角,翻滚角,气压值,航向角,送到主控芯片进行算法处理,做出姿态调整,使四旋翼飞行平稳,飞。

#### 1.2.2 机身模块

采用 F450 型号机架固定飞行控制模块、电源和连接电机、电调、旋翼。机架力臂采用 PA66+30% 超高强度材料制成,耐摔、耐撞击。主体采用集成 PCB 板连线,配备高强度镀金复合 PCB 电路板,使电源、电调等连线更加快捷、安全。

#### 1.2.3 电机旋翼电调模块

电机采用外转子 2212A 无刷电机,驱动螺旋桨旋转。无刷电机具有功率大,使用寿命长以及不存在磨损的特点。

旋翼,在桨片上以“L”字母标注的是正桨,从正桨片的正面来看,桨片以逆时针旋转拨动气流。在桨片上以“R”字母标注的是反桨,从反桨片的正面来看,桨片以顺时针旋转拨动气流。在四个旋翼转速一致时,假如都用逆时针转动的桨片话,每个桨片都会产生一个逆时针旋转的自旋扭力,使得整个飞控向右自旋。四轴为抵消这种自旋需用 2 个正桨片 2 个反桨片, 2 个顺时针转的桨片 2 个逆时针转的桨片按照顺序排列,一对桨片产生偏左扭矩,一对桨片产生偏右扭矩,相互抵消使飞机所受外力矩均衡。

#### 1.2.4 遥控收发器模块

包括遥控器和接收机两部分,使用 2.4GHz 频率。遥控器操作包括左右、上下、前后等。目前主流遥控器有“日本手”和“美国手”

两种,手势各有不同,主要是左右手使用习惯的差异。

### 1.2.5 电源模块

动力电池使用聚合物锂电池,具有电压稳定,电力持久的特点。

## 2 四轴飞行器控制实现

### 2.1 飞行原理

四轴飞行器结构框架:在 X 模式下,飞控板上箭头指向前端两电机的中间位置,飞行灵活多变,适合特技飞行,但设计实现较难。

### 2.2 姿态角的 PID 调整

数字 PID 控制算法,支持在线调试。P 是指比例, I 指积分, D 指微分。主控芯片处理器根据采样时刻偏差值计算控制量也就是指进行离散式控制。这是因为处理器只能进行采样控制。过程中采样序号,采样周期,连续时间分别以 k, T, t 表示,即离散时间用 kT 表示。算法中用增量形式代替连续时间微分形式,用求和形式代替连续时间积分形式

$$t \approx kT$$

$$\int_0^t e(t)dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jT) = T \sum_{j=0}^k e_j$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T} = \frac{e_k - e_{k-1}}{T}$$

将上式代入 PID 计算公式(TI 为积分常数, Kp 为比例系数, TD 为微分常数)

$u(t) = K_d e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} + u_0$  得到离散 PID 表达式:

$$u_k = K_d e_k + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e_j + \frac{T_d}{T} (e_k - e_{k-1}) + u_0$$

定义微分系数  $K_d = K_p \frac{T_d}{T}$ , 积分系数  $K_i = K_p \frac{T}{T_i}$  采用增量式 PID 算法得

$$\begin{aligned} u_{k-1} &= K_d(error(k-1)) + K_i \sum_{j=0}^{k-1} error(j) \\ &\quad + K_d(error(k-1) - error(k-2)) \\ \Delta u_k &= K_d(error(k) - error(k-1)) + \\ &\quad K_i error(k) + K_d(error(k) - \\ &\quad 2error(k-1) + error(k-2)) \end{aligned}$$

将飞行器质量参数、角度参数分别带入上式,经化简后可得到结果。

当然,在调试过程中,由于受到电压阈值的限制、放大饱和度的约束等,算法无法达到预期值,所以,整个飞控算法必须要有修正。当四旋翼在大幅度加减速时, PID 中含积分项会得到较大积累,这时会超过系统预定范围。为了修正、消除和减弱上述出现的问题,可以在适当时刻,去掉积分项,避免或减弱因饱和效应产生的影响。

## 3 结语

本设计是基于 Arduino 语言编译平台实现的四轴飞行器设计与飞行控制。在进行多次实地的飞行演练后,发现飞行稳定,性能良好,基本实现悬停。同时,飞行控制较为简单方便,可以适应不同人群。四轴飞行器凭借其优越的机动性能,低廉的成本,简单的机械结构,使其具有极其广泛的应用前景,在军事侦查,农业监测,灾区救援,以及快递运输等领域将越来越多的出现它的身影。

### 参考文献:

- [1] 费科程, 吴佳伟, 邱晓荣. 基于 Multiwii 的开源四轴飞行器[J]. 电脑知识与技术, 2014, 28: 6758-6760.
- [2] 李秀英, 刘彦博. 基于 PWM 的四旋翼飞行器控制方法[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2011, 05: 464-472.
- [3] 方美发, 李龙棋, 唐晓腾. 一种四旋翼飞行器样机的制作[J]. 闽江学院学报, 2014, 02: 59-66.

通信作者: 栾志勇