

# 基于 Arduino 平台的微小型四轴飞行器设计与飞行控制系统实现

张崇晖, 黄建龙

(南通航运职业技术学院 机电系, 江苏 南通 226010)

**摘要:**文章以 Arduino 单片机为平台设计制作了一款微小型四轴飞行器, 以 ATmega328P 单片机为主控芯片, 通过 MPU6050 三轴数字陀螺仪进行飞行姿态测量, 同时还研究了易于调试和移植的微小型四轴飞行器特性平稳姿态控制算法, 具有一定的参考价值。

**关键词:**微小型四轴飞行器; Arduino; 平稳姿态控制算法

**中图分类号:** V278

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-9891(2017)03-0044-05

## 0 引言

近年来, 以四轴飞行器为代表的多旋翼飞行器呈现出小型化、微型化的发展趋势。微小型四轴飞行器具有易操控、体积小、隐蔽性好等特点, 特别适合在城区、管道和室内等不易进入的环境中执行监控任务, 在军事和民用领域都有广阔的应用前景, 具有很高的研究价值。本文基于 Arduino 平台, 对微小型四轴飞行器及其飞行控制系统进行了设计, 以供参考。

## 1 微小型四轴飞行器总体设计

### 1.1 四轴飞行器飞行原理

当飞行器的旋翼转动时, 会对机身产生一个反扭矩, 会导致机身朝旋翼反方向旋转。所以, 为了平衡电机之间的反扭矩, 避免产生自旋, 四轴飞行器的四个旋翼中设计成正反桨的结构, 如图 1 所示。要确定四轴飞行器在空中的姿态必须建立一个三维坐标系, 采用“东-北-天”地理坐标系, 即:  $x$  轴正方向指向东, 负方向指向西;  $y$  轴正方向指向北, 负方向指向南;  $z$  轴正方向指向天, 负方向指向地。四轴飞行器进行旋转或者平移时, 就是在这三个坐标轴上进行正负两个自由度的运动。因此, 四轴飞行器有垂直、俯仰、滚转、偏航、前后这六种基本飞行动作。这些基本飞行动作靠相邻或者相对位置的旋翼转速来实现。

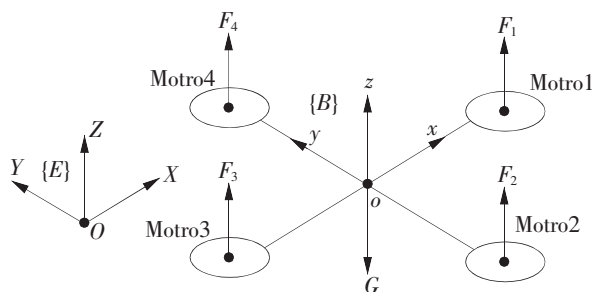


图 1 四轴飞行器结构模型

### 1.2 四轴飞行器结构设计

根据四轴飞行器原理, 绘制了四轴飞行器硬件框图, 具体如图 2 所示。微小型四轴飞行器结构主要由飞行控制系统、驱动部件、传感器模块、通讯模块、机架等组成。传感器模块检测飞行器的飞行姿态, 并将采集

收稿日期: 2017-01-18

基金项目: 2016 年度江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目“基于 Arduino 平台的四轴飞行器”(项目编号 201612703007Y)。

作者简介: 张崇晖(1982—), 男, 江苏南通人, 南通航运职业技术学院机电系实验师。

到的姿态数据传送到飞行控制系统。飞行控制系统将接收到的数据进行融合、姿态解算得出控制量, 并输出控制量到驱动部件, 从而控制飞行器的飞行。通讯模块用于实现飞行器与遥控器之间的通信。机架是四轴飞行器的主要承载平台。<sup>[1]</sup>

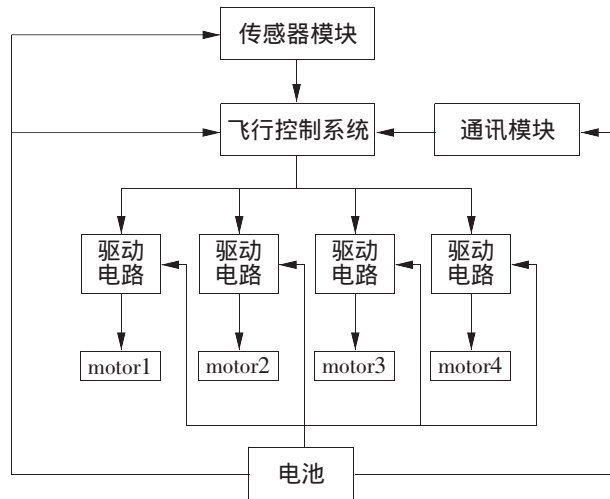


图2 四轴飞行器硬件框图

根据四轴飞行器硬件框图在 Altium Designer 软件中进行硬件电路的绘制, 具体如图3所示。

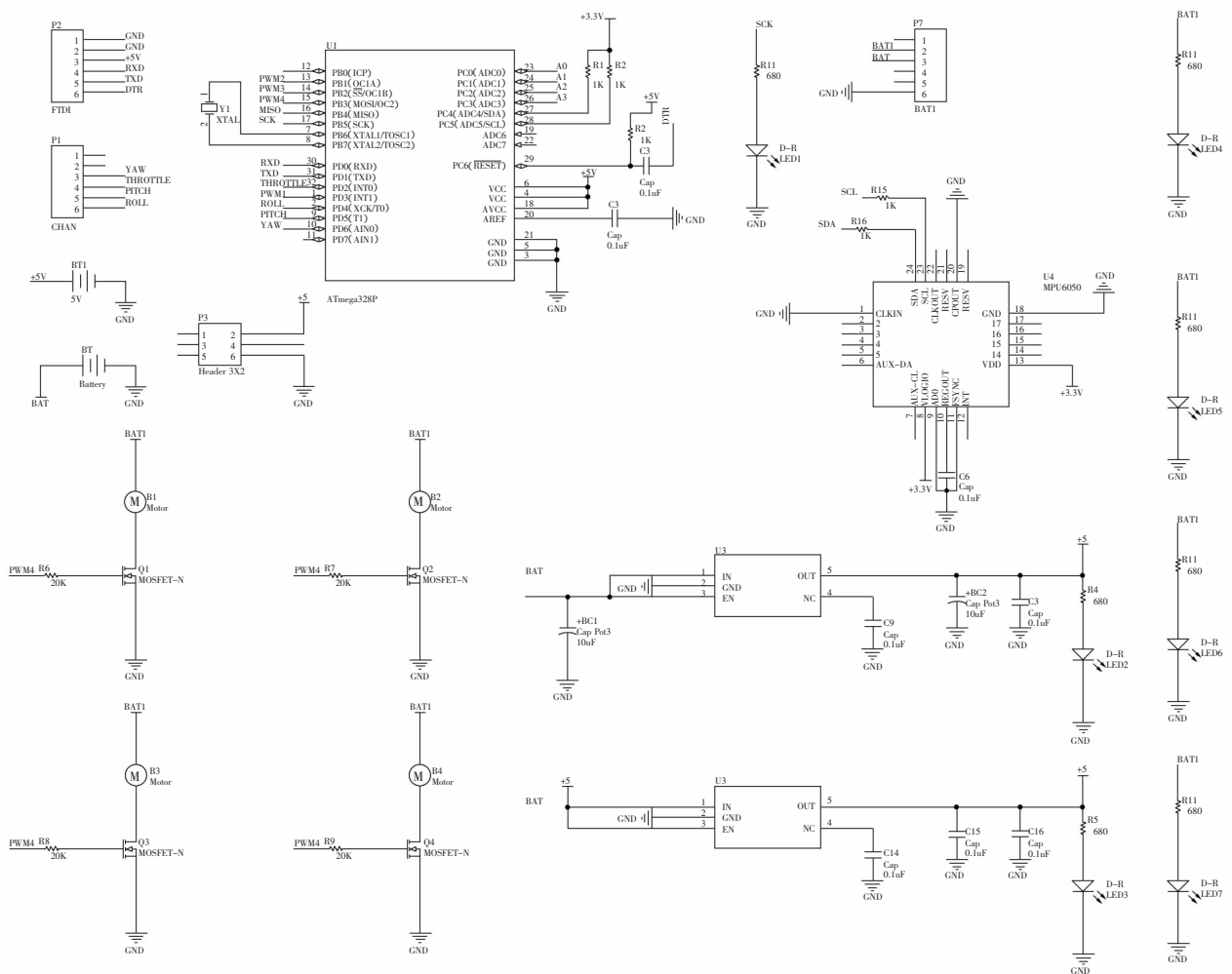


图3 总体硬件电路图



端,规格为 55 mm 为宜。经测量,在 3.5 V/0.8 A 时,单个旋翼可提供近 14 g(克)左右的推力。

## 2 飞行控制系统设计

飞行控制系统总体设计思路如图 6 所示。四轴飞行器上电启动后,首先进行系统初始化,目的是配置单片机和传感器。传感器初始化完成后开始工作,采集三轴的加速度和三轴角加速度,通过四元数法计算出表征四轴飞行器姿态的三个欧拉角:滚转角(roll)、俯仰角(pitch)、偏航角(yaw),对欧拉角进行PID控制,以此实现四轴飞行器平稳飞行。

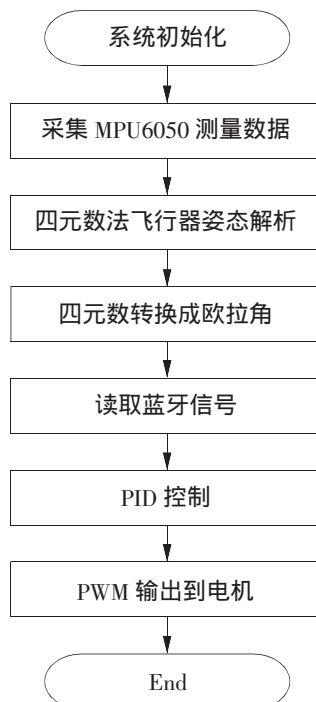


图 6 飞行控制系统程序框图

### 2.1 姿态解算

四轴飞行器稳定飞行的前提是对传感器采集的数据进行精确的姿态解算。当前四轴飞行器姿态计算普遍采用三角函数运算较多的欧拉角方式。为了减少姿态解算运算量,提高的运算速度,采用四元数法进行运算,将运算的结果再转化为欧拉角。<sup>[3]</sup>

假设从 MPU-6050 中读取到角速度 $\vec{\omega}$ ,则在单位时间 $\Delta t$ 内,转过的角度 $\phi$ 如式(1)所示。

$$\phi = |\vec{\omega}| \Delta t \quad (1)$$

转动方向 $\vec{e}$ 如式(2)所示。

$$\vec{e} = \frac{\vec{\omega}}{|\vec{\omega}|} \quad (2)$$

$\phi$ 用四元数表示,如式(3)所示。

$$q = [w_q \ x_q \ y_q \ z_q]^T = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \\ \vec{e} \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中 $w_q$ 为四元数的标量, $q = [x_q \ y_q \ z_q]^T$ 为四元数的矢量,其约束条件如式(4)所示。

$$w_q^2 + x_q^2 + y_q^2 + z_q^2 = 1 \quad (4)$$

$\phi$ 用超复数形式表示,如式(5)所示。

$$q = \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) + i \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) + j \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) + k \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (5)$$

其约束条件如式(6)所示。

$$\begin{cases} i^2 = j^2 = k^2 = -1 \\ ij = -ji = k \\ jk = -kj = i \\ ki = -ik = j \end{cases} \quad (6)$$

四元数转换成姿态矩阵,如式(7)所示。

$$A = \begin{bmatrix} w_q^2 + x_q^2 + y_q^2 + z_q^2 & 2(x_q y_q + w_q z_q) & 2(x_q z_q + w_q y_q) \\ 2(x_q y_q + w_q x_q) & w_q^2 - x_q^2 + y_q^2 - z_q^2 & 2(x_q y_q + w_q x_q) \\ 2(x_q z_q + w_q y_q) & 2(y_q z_q + w_q x_q) & w_q^2 - x_q^2 - y_q^2 + z_q^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

## 2.2 姿态控制

飞行器的六种基本飞行动作都要通过悬停来完成准备动作,或者动作完成后到达一个新的悬停状态。所以,飞行器姿态控制的关键就是通过 PWM 控制电机转速,使飞行器悬停时能抵抗风等外界干扰因素,保持空间位置不变化,姿态角为零。当前四轴飞行器的主流控制策略是围绕 PID 控制算法展开的,就是针对系统中出现的误差进行比例(P)、积分(I)、微分(D)三种运算。比例部分决定了四旋翼飞行器抵抗干扰能力,积分部分决定了四旋翼飞行器对过往飞行状态的依赖程度;微分部分决定了四旋翼飞行器对飞行状态的反应灵敏程度。假设  $t$  时刻  $x$  轴的欧拉角为  $angle\_x$ ,则将其分别做微分和积分运算,如式(8)、式(9)所示。

$$angle\_I\_x_t = \int_0^t angle\_x_t dt \quad (8)$$

$$angle\_d\_x_t = \frac{angle\_x_t - angle\_x_{t-1}}{dt} \quad (9)$$

则通过 PID 控制后的 PWM 输出如式(10)所示。

$$pwm = speed + angle\_x_t \cdot P + angle\_d\_x_t \cdot D + angle\_I\_x_t \cdot I \quad (10)$$

式中  $speed$  是平稳悬停时 PWM 占空比,后面三项是 PID 控制量。

## 3 结束语

本文在 Arduino 开源硬件架构下,以 ATmega328P 单片机为主控芯片,通过四元数法对 MPU6050 三轴数字陀螺仪采集的数据进行飞行姿态解算,同时还研究了易于调试和移植的特性平稳姿态控制算法,实现了微小型四轴飞行器的平稳飞行,可为四轴飞行器的设计与优化提供参考。

## 参考文献:

- [1]单海燕.四旋翼无人直升机飞行控制技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2008.
- [2]谢晨,杜坚,韩屹松,等.基于四轴飞行器的无刷电机驱动设计[J].自动化与仪器仪表,2013(5):52-53.
- [3]李杰,齐晓慧,韩帅涛.小型四旋翼飞行器新型非线性 PID 姿态控制器设计[J].机械科学与技术,2013(8):1163-1166.

# Design of Micro-miniature Four-axis Aircraft and Realization of Flight Control System Based on Arduino Platform

ZHANG Chong-hui, HUANG Jian-long

(Dept. of Mechatronics, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

**Abstract:** This article applies single chip Arduino platform to designing and making a micro-miniature four-axis aircraft with ATmega328P as the main control chip. It applies MPU6050 three-axis digital gyroscope to measuring the flight attitude. In addition, it studies the algorithm for the feature-steady attitude control of the micro-miniature four-axis aircraft, which is easy to debug and transplant. It has certain reference value.

**Key words:** Micro-miniature four-axis aircraft; Arduino; Steady attitude control algorithm