

# 四旋翼无人机串级PID控制器仿真与分析

李子卓 曹力天 秦国栋 张涵佶 夏怡 迟英姿 王明

南京工业大学浦江学院 汽车工程学院, 中国·江苏 南京 211200

**【摘要】**随着时代进步,四旋翼无人机运用场景不断扩展丰富。对于四旋翼无人机,其飞行姿态的控制是关键部分,通过查阅不同控制方法,发现PID控制系统的稳定对无人机的飞行姿态控制有着深远影响。本课题通过建立四旋翼无人机数学模型,将其带入MATLAB/Simulink进行动力学建模的方式对无人机PID控制系统进行仿真分析,得出串级PID对无人机飞行姿态的控制有着良好作用。

**【关键词】**无人机姿态;SIMULINK仿真;PID控制

## Simulation and Analysis of PID Controller

Li Zizhuo, Cao litian, Qin Guodong, Zhang Hanji, Chi Yingzi, Wang Ming

School of Automotive Engineering, Pujiang University, Nanjing University of Technology, Jiangsu China, Nanjing 211200

**[Abstract]** With the advancement of the times, the application scenarios of quadrotor UAVs have been continuously expanded and enriched. For the quadrotor UAV, the control of its flight attitude is a key part. By consulting different control methods, it is found that the stability of the PID control system has a profound impact on the flight attitude control of the UAV. By establishing the mathematical model of the quadrotor UAV and bringing it into MATLAB/Simulink for dynamic modeling, this topic simulates and analyzes the PID control system of the UAV, and obtains the control of the flight attitude of the UAV by the cascade PID. has a good effect.

**[Keywords]** UAV attitude;SIMULINK simulation;PID control

### 1 研究背景及现状

#### 1.1 研究背景

随着时代发展与科技进步,无人机领域涌入了大量的人才。无人机能得以快速发展的原因,主要是因为其机械结构简单,且足够灵活。如何控制无人机飞行姿态稳定却是无人机的一个难题。

#### 1.2 研究现状

通过查阅相关资料,我们了解到,当前线性控制广泛用于无人机控制中,有单PID控制、串级PID控制、LQR控制、滑模控制与反步法控制等。

LQR控制需要根据系统的响应曲线找出合适的状态变量和控制输入的矩阵,其缺点在于对于目标模型在大角度调整时精确性较低,对无人机控制存在局限性。滑模控制是一类变结构控制方法,利用切换开关改变系统在状态空间切换面两边的结构,迫使系统按照给定的“滑动模式”状态轨迹运动,缺点在于对模型、参数误差和外部干扰具有不敏感性。反步法控制在Lyapunov稳定性理论的基础上,通过反向递推构造函数从而达到设计控制使是系统实现全局逐渐稳定其缺点在于操作过于繁琐、难度更大。由于上述三种方法存在局限性,反步法相对来说较为合理,但操作难度较大,不易使用。遂决定采用串级PID控制器对四旋翼无人机姿态进行控制。

通过串级PID控制器来控制系统是改善控制质量的有效方法之一,所谓串级控制,就是采用双环甚至三环PID控制器串联工作,外环控制器的输出作为内环控制器的设定值,由内环控制器的输出去操纵控制阀,从而对外环被控量具有更好的控制效果。而单级PID相较于串级PID,稳定性、抗干扰性都不及串级PID。所以当在一个系统出现两个及以上的PID时,使用串级PID则效果更好。

### 2 数学模型

数学模型建立:

为了得到输入的力与加速度的关系,通过牛顿方程可以得到平动的加速度,通过欧拉方程可以得到角加速度,得到在惯性坐标系下无人机的线运动方程式和角运动方程式对四旋翼进行建模,使用了刚体运动的知识,质心平动用牛顿方程描述,绕质心的转动用欧拉方程定义。最后得到一组牛顿欧拉方程,如式(1)。

$$\begin{cases} Fs = \frac{dP}{dt} = m \frac{dV}{dt} \\ Ms = \frac{dL}{dt} = J \frac{d\omega_{body}}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

通过牛顿方程可以得到平动的加速度,通过欧拉方程可以得到角加速度,对参数进行最终计算简化得到四旋翼无人机的非线性模型(式(2))。利用飞行评估等工具,得到参数。

其中x为对应x轴水平方向,y为对应y轴水平方向,z为对应z轴水平方向, $\phi$ 为翻滚角, $\theta$ 为俯仰角, $\psi$ 偏航角。

$$\begin{cases} \phi = \frac{U_x}{I_x} \\ \theta = \frac{U_y}{I_y} \\ \psi = \frac{U_z}{I_z} \\ x = \frac{U_1}{m} (\sin \theta \cos \phi \cos \psi + \sin \phi \sin \psi) \\ y = \frac{U_1}{m} (\sin \theta \cos \phi \sin \psi - \sin \phi \cos \psi) \\ z = \frac{U_1}{m} (\cos \theta \cos \phi - g) \end{cases} \quad (2)$$

### 3 仿真模拟

#### 3.1 理论模型

PID 算法是一个集比例、积分和微分为一体的算法。因为其结构简单，性能稳定，方便调整，被广泛应用在实际。PID 控制将期望值与输出值之差重新反馈回来再次输入系统，通过不断调节，从而使系统保持稳定的状态。

本次研究中 PID 控制器在四旋翼中的应用原理是：首先确实一个值通过计算，得到当前的姿态角数据和初始值。对其进行加和处理。其次调整 PID 参数，使其多次反馈，最终增强四旋翼无人机姿态角的稳定。PID 算法的表达式，流程图如下：

$$U(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{d}{dt} e(t)$$

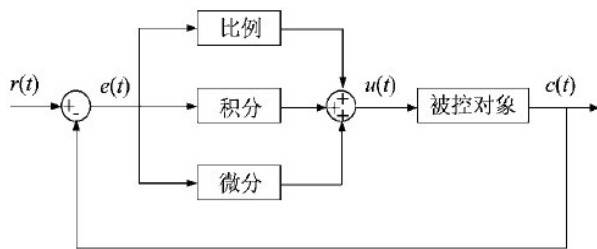


图1 PID 算法表达式

四旋翼无人机的 PID 控制器由姿态 PID 和位置 PID 两个控制回路组成。通过 XYZ 三轴输入进外环，外环通过模拟计算输出内环 PID 进行二次控制，通过研究发现姿态角度的改变会导致位置发生变化，所以将姿态控制作为内环控制器。位置控制作为外环控制器。因为无人机四输入六输出的不完全控制特性，最后的 PID 系统框图如图 2。

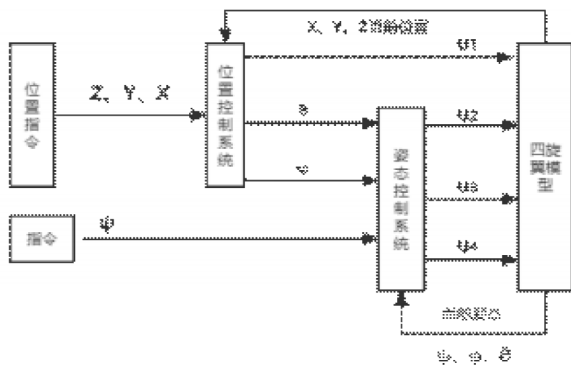


图2 串级 PID 系统框图

#### 3.2 实验模型

通过设计位置回路控制器与姿态回路控制器，将电机转速

输入进所设计的四旋翼无人机的系统模型中，将各模块进行组合得到的整体模型框架图，如图 3 所示。

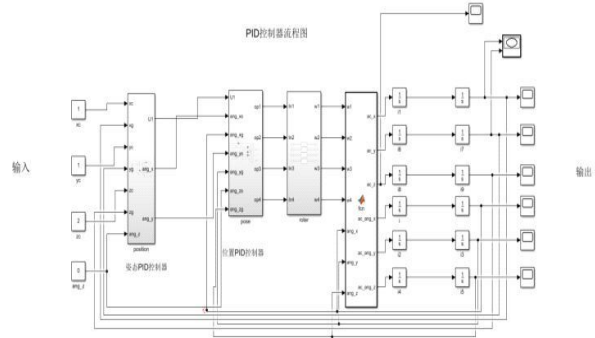


图3 整体模型框型图

### 4 PID 分析

在分析 PID 之前，首先应对 PID 三个参数有所了解，p 解决振荡幅度，i 解决响应速度，d 解决静态误差，在聊这三个参数有何作用后，可以有目的的调试。在实践当中，对于无人机 PID 的调节方法是“拷四轴”法，此方法可以较好的控制变量，调试一个角度，在该角度调试完成后，再继续下一个角度的调试。在模型中调试也需要控制变量，串级 PID 下，内环起到的作用更大，所以需要先调节号内环 PID，再进行外环 PID 的调整。

### 5 结语

旋翼无人机在飞行控制中关键的是姿态控制，笔者使用了刚体运动的知识，通过对牛顿欧拉方程推导，得到简化后四旋翼无人机的非线性模型，利用 MATLAB/Simulink 模块建立四旋翼无人机的动力学模型，在单 PID 控制器下做出拓展，形成由双 PID 控制器组成的串级 PID 调节无人机姿态。通过多次调试，确认此模型能对无人机姿态控制起到作用，但未考虑到多种复杂情况下无人机姿态该如何调节。

### 参考文献：

[1] 向朝兴, 茅健. 四旋翼无人机的旋翼空气动力学建模与仿真[J]. 计算机仿真, 2021, 38(10): 48-52.  
 [2] 刘洋, 行鸿彦, 侯天浩. 四旋翼无人机串级变论域模糊 PID 姿态控制研究[J]. 电子测量仪器学报, 2019, 33(10): 46-52. DOI: 10.13382/j.jemi.B1902077.  
 [3] 刘昌龙. 四旋翼无人机建模与控制问题研究[D]. 湖北工业大学, 2016.  
 [4] 孟佳东, 赵志刚. 小型四旋翼无人机建模与控制仿真[J]. 兰州交通大学学报, 2013, 32(01): 63-67.