

---

# 自定义倾转旋翼控制模型设计实验

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 1. 文件目录.....             | 1 |
| 2. 总体说明.....             | 1 |
| 倾转旋翼机控制算法开发系统调试指导说明..... | 1 |
| 3. 关键功能的实现.....          | 2 |
| 倾转旋翼机建模总体构造及工作原理.....    | 2 |
| 倾转旋翼机控制策略总体构造及工作原理.....  | 3 |
| 4. 相关文献.....             | 4 |
| 附加资源.....                | 4 |

# 1. 文件目录

例题目录: [\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\3.CustExps\3.MCC-CtrlExp\](#)

| 序号 | 实验名称                | 简介  | 文件地址                                       |
|----|---------------------|---|--|
| 1  | 简化倾转旋翼 PID 控制数值仿真实验 | 设计简化状态（仅包括直升机和固定翼两种主要模态以及加/减速切换两种过渡模态）的倾转旋翼机控制模型并在此基础上搭建自定义 PID 控制器，通过数值仿真观察各通道的响应并调试控制器。 | <a href="#">1.Tiltrotor_SIM\Readme.pdf</a> |
| 2  | 简化倾转旋翼 PID 控制硬件在环实验 | 将通过数值仿真调试完成的 PID 控制器迁移到自动代码生成模板中，烧录到飞控中实现硬件在环仿真。  | <a href="#">2.Tiltrotor_HIL\Readme.pdf</a> |

## 2. 总体说明

### 倾转旋翼机控制算法开发系统调试指导说明

本项目倾转旋翼无人机控制器采用完全不依赖模型的 PID 控制，直升机模态、固定翼模态和过渡模态均采用内外环串级 PID 控制，过渡模态控制将过渡过程分割为 6 段。PID 控制简单实用，易工程实现，但其参数调节需要经验支撑，尤其是本项目倾转旋翼控制中需要调试的控制参数众多，本部分给出 PID 控制参数调试说明供参考。

**比例（P）控制：**是一种最简单的控制方式。其控制器的输出与输入误差信号成比例关系。当仅有比例控制时系统输出存在稳态误差。

**比例积分（PI）控制：**积分（I）控制中，控制器的输出与输入误差信号的积分成正比关系。对一个自动控制系统，如果在进入稳态后存在稳态误差，则称这个控制系统是有稳态误差的或简称有差系统。为了消除稳态误差，在控制器中必须引入“积分项”。积分项对误差取决于时间的积分，随着时间的增加，积分项会增大。这样，即便误差很小，积分项也会随着时间的增加而加大，它推动控制器的输出增大使稳态误差进一步减小，直到等于零。因此，比例+积分（PI）控制器，可以使系统在进入稳态后无稳态误差。

**比例微分（PD）控制：**微分控制（D）中，控制器的输出与输入误差信号的微分（即误差的变化率）成正比关系。自动控制系统在克服误差的调节过程中可能会出现振荡甚至失稳。其原因是由于存在有较大惯性组件（环节）或有滞后(delay)组件，具有抑制误差的作用，其变化总是落后于误差的变化。解决的办法是使抑制误差的作用的变化“超前”，即在误差接近零时，抑制误差的作用就应该是零。这就是说，在控制器中仅引入“比例”项往往是不够的，比例项的作用仅是放大误差的幅值，而目前需要增加的是“微分项”，它能预

测误差变化的趋势，这样，具有比例+微分的控制器，就能够提前使抑制误差的控制作用等于零，甚至为负值，从而避免了被控量的严重超调。所以对有较大惯性或滞后的被控对象，比例+微分(PD)控制器能改善系统在调节过程中的动态特性。

在 PID 参数进行整定时如果能够有理论的方法确定 PID 参数当然是最理想的方法，但是在实际的应用中，更多的是通过凑试法来确定 PID 的参数。

增大比例系数 P 一般将加快系统的响应，在有静差的情况下有利于减小静差，但是过大的比例系数会使系统有比较大的超调，并产生振荡，使稳定性变坏。

增大积分时间 I 有利于减小超调，减小振荡，使系统的稳定性增加，但是系统静差消除时间变长。

增大微分时间 D 有利于加快系统的响应速度，使系统超调量减小，稳定性增加，但系统对扰动的抑制能力减弱。

在试凑时，可参考以上参数对系统控制过程的影响趋势，对参数调整实行先比例、后积分，再微分的整定步骤。

### 3. 关键功能的实现

#### 倾转旋翼机建模总体构造及工作原理

倾转旋翼无人机总体 Simulink 仿真模型构造如下图 1 所示：

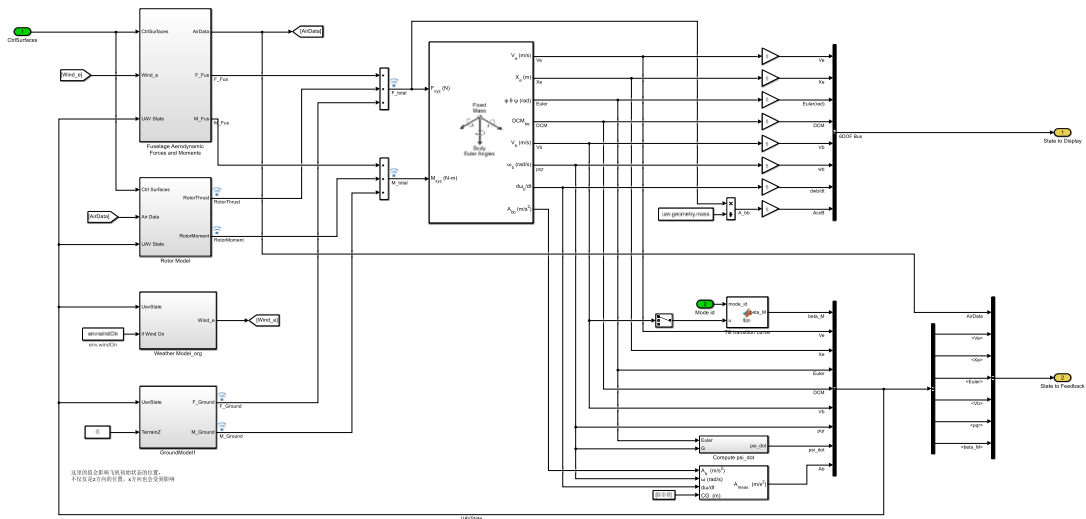


图 1 倾转旋翼无人机 Simulink 仿真模型

总体仿真模型包括 Fuselage Aerodynamic Forces and Moments 模块（对应于固定翼部分的气动力与力矩）、Rotor Model 模块（对应于旋翼建模）、Weather Model\_org 模块、Ground Model 模块、6DOF (Euler Angles) 模块（对应于总体数学模型）和 Tilt Transition Curve 模块（对应于倾转走廊设计）。

与 Simulink 仿真模型对应的硬件在环模型如下图 2。



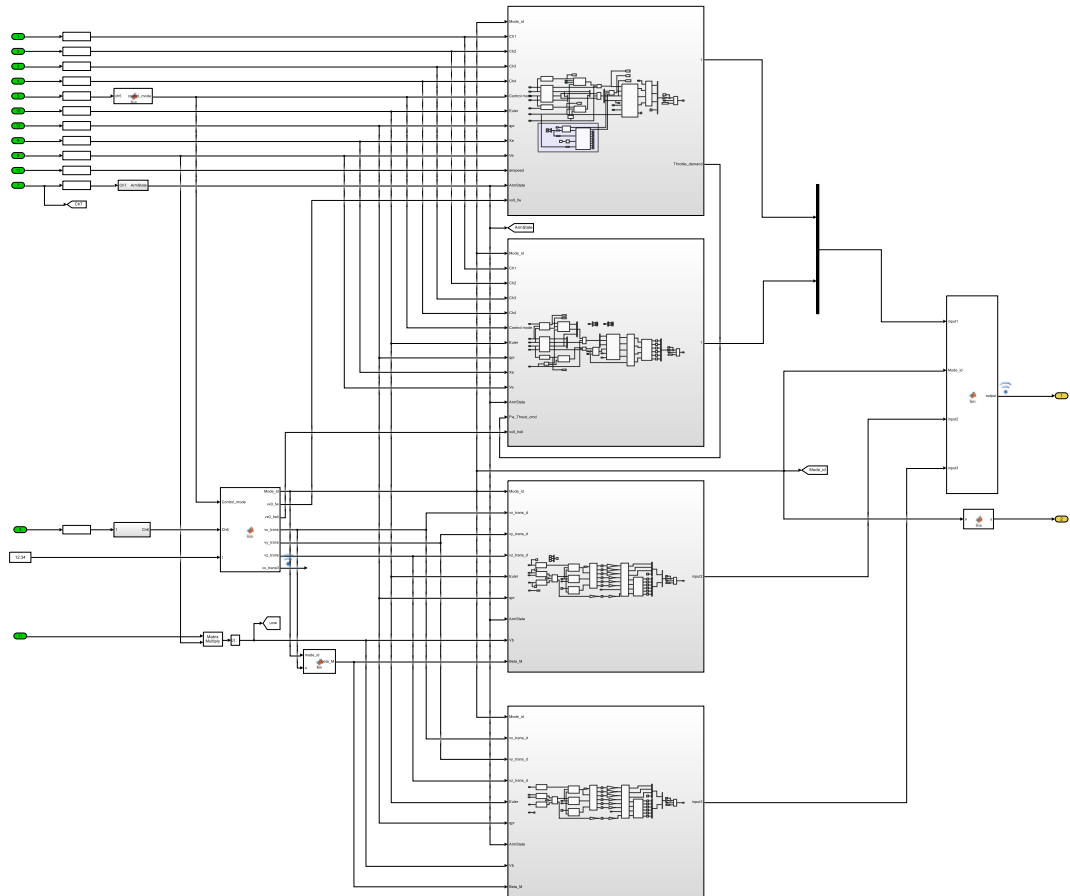


图 3 倾转旋翼无人机控制策略总体构造

鉴于倾转旋翼无人机的模型比较复杂，控制量输入在模型中很难被分离出来，所以控制方法采用完全不依赖被控对象模型的 **PID** 控制，另外在过渡模态的控制中加入通道切换分配模块和冗余舵面分配模块解决过渡模态下控制操纵面的冗余与切换。本项目倾转旋翼无人机控制策略的思路是首先通过模态切换逻辑模块为直升机模态、固定翼模态、加速过渡模态和减速过渡模态赋模态 **ID**，再分别为四个模态设计四套 **PID** 控制策略。其中直升机模态控制策略中提供自稳、定高、定点控制模式；固定翼模态控制策略提供自稳、定高、定速控制模式，以及固定翼航迹跟踪控制；加、减速过渡模态控制的介入是在直升机定点模式和固定翼定速模式之间，过渡模态控制由通道切换分配和冗余舵面分配将控制器得到的控制量合理的分配到所需舵面上。最终根据模态 **ID** 将对应的控制量传到模型中。

## 4. 相关文献

### 附加资源

官方文档：RflySim 官方文档：<https://rflysim.com/doc/zh/>

社区交流：加入 RflySim 技术交流群：951534390

