

双旋翼垂尾飞机控制器设计实验

1. 文件目录

2. 总体说明

3. 关键功能的实现

[尾座式无人机建模总体构造及工作原理](#)

[尾座式无人机控制策略总体构造及工作原理](#)

[旋翼控制器构造及工作原理](#)

[固定翼控制器构造及工作原理](#)

[模式切换模块及工作原理](#)

4. 相关文献

[附加资源](#)

3. 文件目录

例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\3.CustExps\e7_Tailsitter_CtrlExp](#)

序号	实验名称	简介
1	双旋翼垂尾PID控制数值仿真实验	在双旋翼垂尾运动仿真模型（详细建模案例参见...\\.\4.RflySimModel\3.CustExps\e3_VTOLM的基础上搭建自定义PID控制器，在Simulink中给定控制信号，利用示波器观察尾座式无人机的状态是否可以跟踪到给定的期望的指令，验证旋翼模式下的控制器和固定翼模式下的控制器的控制效果，同时可以通过延时模块给定过渡通过判断尾座式无人机的状态和所处的模式来验证所设计的过渡策略是否可以使无人机完成旋翼
2	双旋翼垂尾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
3	双旋翼垂尾飞机实飞实验	将通过硬件在环仿真验证无误的控制算法移植到真实飞机进行实飞测试

总体说明

尾座式无人机是一种尾座坐地式垂直起降飞行器，机头朝上，机身成垂直状态，并通过尾座支撑停放在地面上。通过动力系统提供的推力将机身垂直拉起，当达到一定高度后，机身转换成水平飞行状态；降落时，无人机通过控制机构将机头拉起，并将机身转换成垂直状态，并逐渐降低推力直至平稳降落。尾座式无人机的飞行过程经历了多旋翼垂直起降、固定翼水平飞行和姿态转换（过渡飞行）三种飞行状态。过渡飞行可以看做是固定翼飞行的大俯仰角的机动飞行。相应的尾座式无人机的控制器设计包括旋翼控制器、固定翼控制器和过渡策略，每个部分在飞行过程中都扮演着关键角色。旋翼控制器在无人机进行垂直起降时起到关键作用，确保飞行器能够平稳升空并稳定在所需的高度和姿态上。完成起飞阶段后，可以手动启动前过渡程序，逐步转换为固定翼模式，以提升速度和效率。固定翼控制器则专注于维持姿态稳定、控制飞行速度和高度。当飞机稳定飞行时，可以手动启动后过渡程序，使得飞行器能够安全地从固定翼模式过渡回旋翼模式，以完成垂直着陆或其他需要的操作。

尾座式无人机系统在垂直飞行阶段无人机是具有四个独立输入，分别是总推力和三轴力矩，输出是三轴位置和姿态。该无人机系统是一个欠驱动系统。在巡航飞行阶段，飞行器不使用电机差速去提供偏航力矩，所以该飞行控制系统只具有三个独立输入。飞行控制系统分为四个层次分别是位置控制、姿态控制、控制分配和执行机构控制。位置控制是将期望位置pd输入到位置控制器输出得到期望推力以及期望姿态角。姿态控制是根据期望姿态角解算出所需要的力矩。控制分配是根据期望总推力和期望力矩解算出两个电机的期望转速和两个舵机的期望偏角。执行机构控制是利用电机的期望转速和舵机的期望偏角计算电机的油门和舵机的控制信号。姿态和位置反馈形成闭环控制系统，位置控制器输出期望力以及输出到姿态控制器输入端的期望角度。

关键功能的实现

尾座式无人机建模总体构造及工作原理

详细建模案例参见...\\.\4.RflySimModel\3.CustExps\3_VTOLModelCtrl\2.Tailsitter_Duo

尾座式无人机控制策略总体构造及工作原理

尾座式垂直起降无人机的控制器总体构造包括旋翼模式控制器、固定翼模式控制器、飞行模式切换模块和控制器输出选择模块组成。系统总体连接图如下图所示：

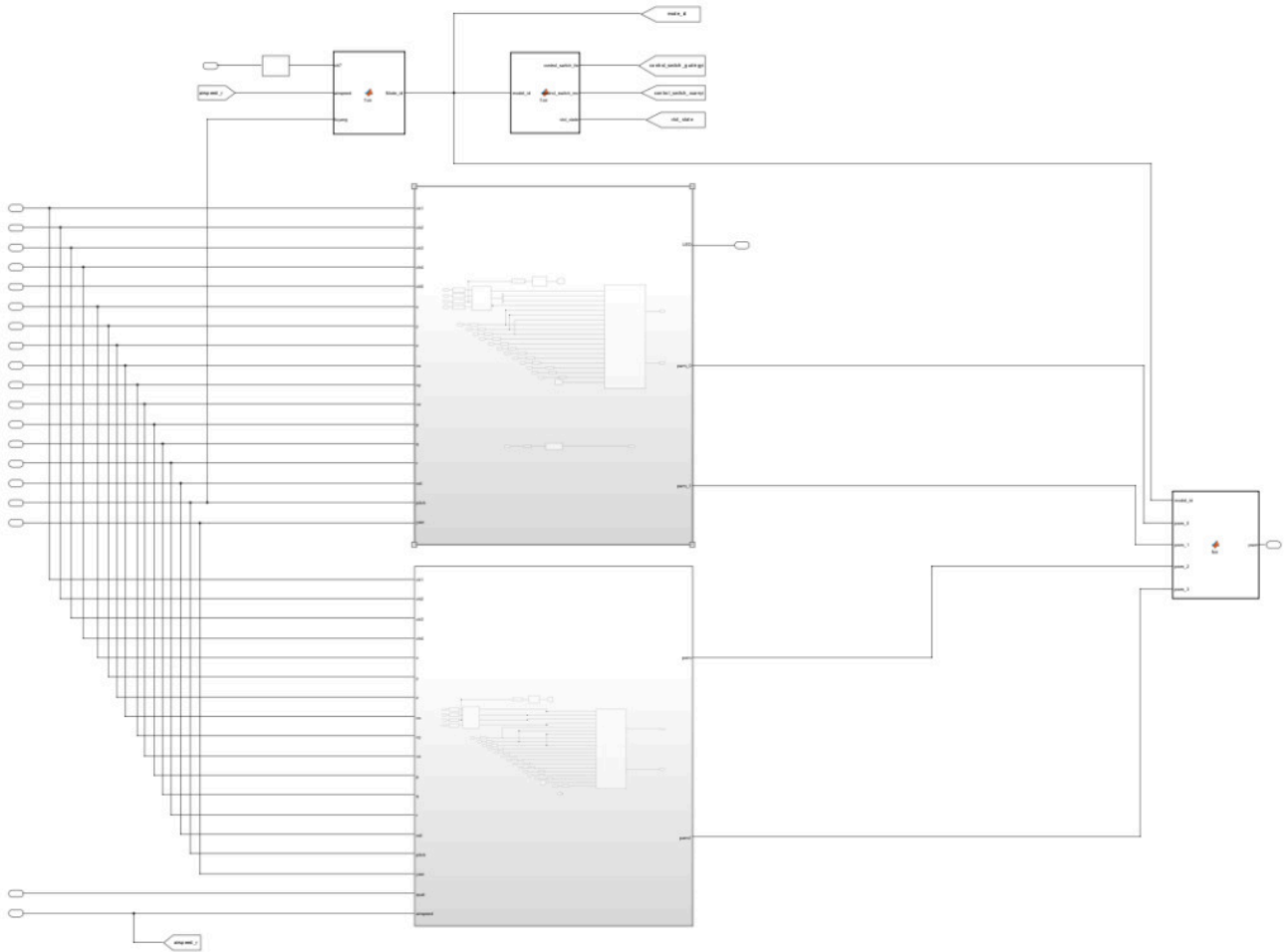


图 1 系统总体连接关系图

其中中间两个模块分别为旋翼控制器和固定翼控制器，上方两个模块飞行模式切换模块，右侧为输出选择模块。

旋翼控制器构造及工作原理

旋翼控制器共三个部分，包括位置控制器、姿态控制器和混控器。其结构如下图所示。

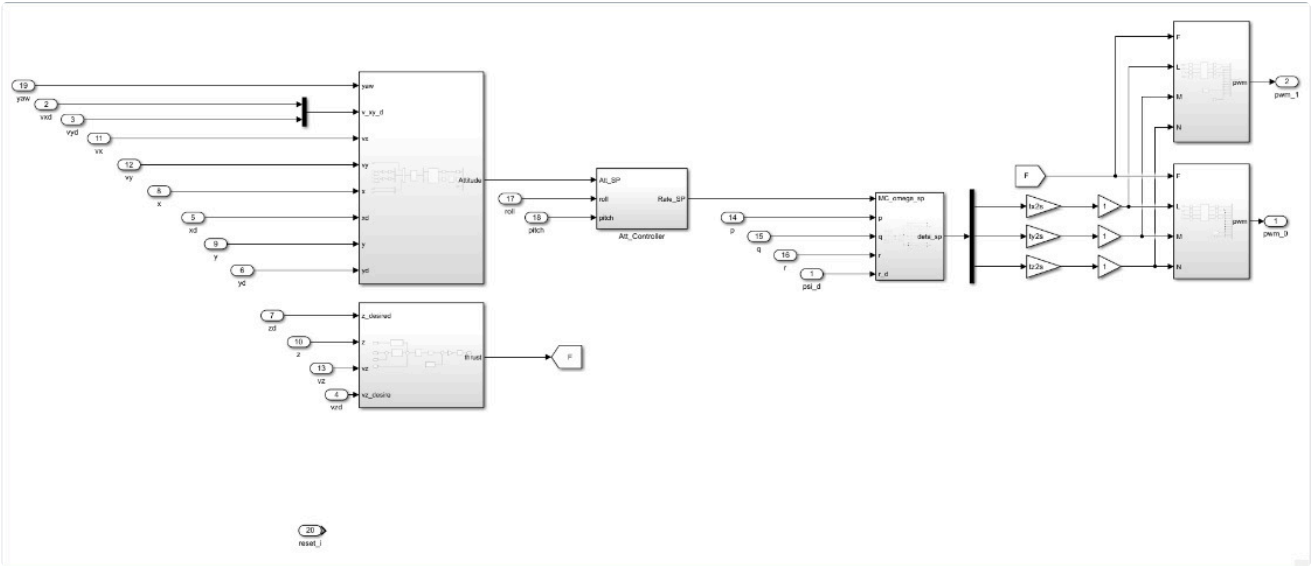


图2 控制结构图

旋翼模式的控制算法采用PID控制算法，利用PID控制算法，通过持续的调整控制输出来响应飞行器当前状态和期望状态之间的差异。在这一技术方案中，比例项（P）用于根据当前误差来产生控制输出，增益参数（Kp）决定了对误差的直接响应程度；积分项（I）通过积累误差的历史信息来消除静态误差，增益参数（Ki）控制积分效果的强度；微分项（D）则根据误差变化率来预测未来的趋势，增益参数（Kd）用于控制微分响应的灵敏度，以改善系统的动态响应和抑制振荡。

旋翼控制器采用了串级控制系统，姿态控制器作为内环负责生成期望的角加速度；而位置控制器则作为外环，产生期望的横滚角和俯仰角。旋翼控制器的输出包括期望的拉力、横滚力矩、俯仰力矩和偏航力矩。这些输出经过混控器处理后，最终转化为期望的电机和舵机信号。工作原理框图如下图所示：

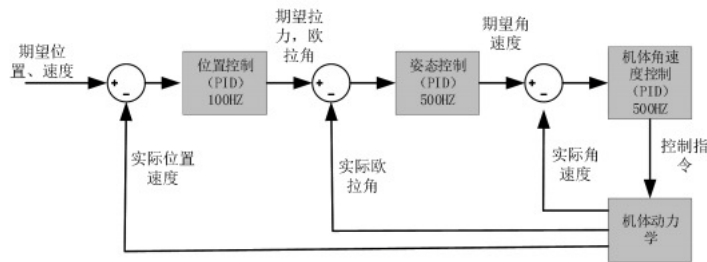


图3 工作原理框图

在给定控制信号后，旋翼控制器结合惯性测量单元（IMU）和全球定位系统（GPS）数据，获取的飞行器的姿态、位置和速度信息，通过PID控制算法实时输出控制指令，使得尾座式无人机在旋翼模式下可以准确的跟踪给定指令。

固定翼控制器构造及工作原理

尾座式无人机的固定翼PID控制器技术方案是为确保飞行器在水平飞行模式下稳定运行而设计的关键组成部分。该控制器利用PID控制算法，通过实时调整控制输出，使飞行器能够尽可能接近预期的飞行状态。其结构如下图所示：

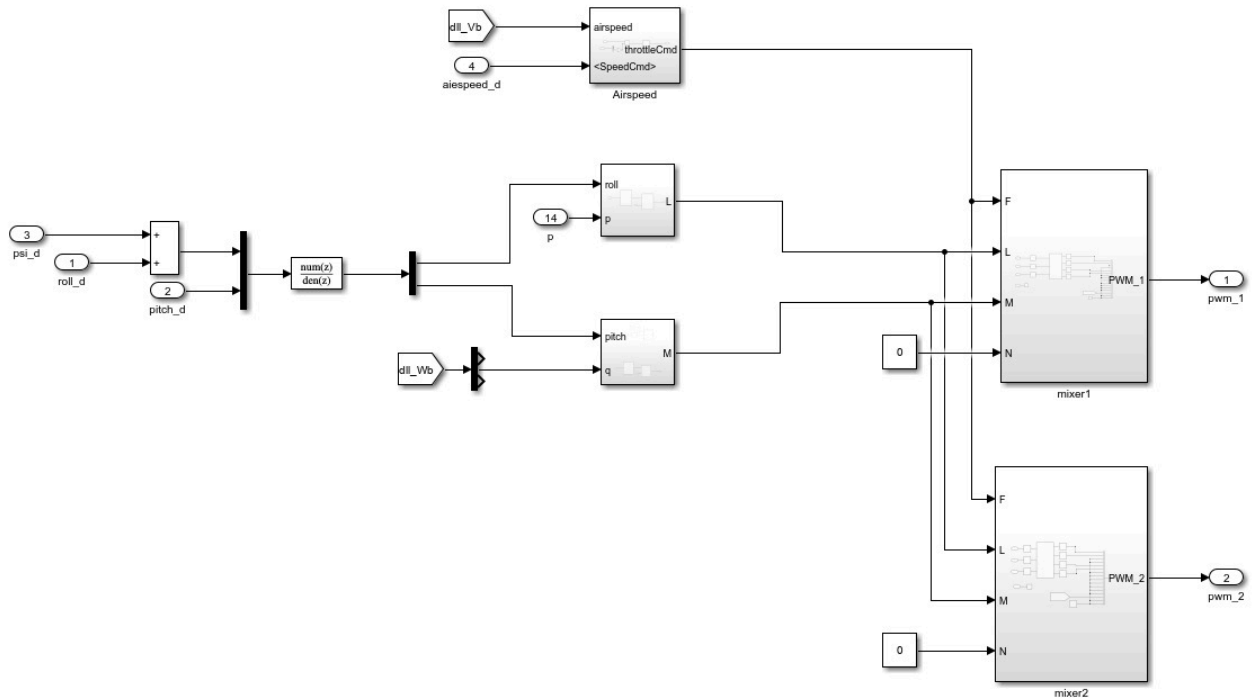


图4 控制结构图

固定翼控制器中姿态控制器负责产生所需的姿态角速度，而位置控制器作为生成期望的飞行速度。控制器输出包括飞行所需的升力、滚转力矩和俯仰力矩。这些输出经过混合器处理后，最终转化为推进器和舵面的控制信号。

在技术方案中，比例控制项（P）根据当前姿态误差生成控制输出，其增益参数（ K_p ）决定了对误差的直接响应程度；积分控制项（I）通过积累历史误差来消除静态误差，其增益参数（ K_i ）控制了积分效果的强度；微分控制项（D）则预测误差变化率，其增益参数（ K_d ）调节了微分响应的敏感度，以优化系统的动态响应和抑制可能的振荡。

此外，方案中还整合了惯性测量单元（IMU）和全球定位系统（GPS）数据，用于实时获取飞行器的姿态、位置和速度信息。高度传感器提供精确的垂直高度测量，使得PID控制器能够精确调节推进器的功率，以维持飞行器在水平飞行中的稳定性和准确性。

模式切换模块及工作原理

为了保证尾座式无人机在过渡过程中保持无人机的稳定，在控制器设计根据无人机的状态和给性的控制信号，将尾座式无人机全过程飞行分为四个阶段，包括旋翼模式、前过渡模式、固定翼模式和后过渡模式，在程序中定义Mode_id变量作为标志位定义无人机所处的模式，尾座式无人机通过判断标志位来决定给定的期望和控制器的输出。旋翼模式和固定翼模式需要无人机的姿态保持在临界姿态角内，固定翼模式下的尾座式无人机的空速需要大于临界空速。基于以上要求制定尾座式无人机的过渡策略。模式切换代码如下所示：

```

function Mode_id = fcn(ch7, airspeed, fuyang)
persistent Mode_id0
persistent airspeed_guodu
persistent fuyang_guodu

if isempty(Mode_id0)
    Mode_id0 = 0; % 初始化为旋翼模式
end
if isempty(airspeed_guodu)
    airspeed_guodu = 15; % 空速阈值
end
if isempty(fuyang_guodu)
    fuyang_guodu = -80*pi/180; % 俯仰角度阈值
end

%更新Mode_id, 考虑过渡模式
if (Mode_id0 == 0) && (ch7 > 0.5)
    Mode_id = 1; % 从旋翼模式到固定翼模式的前过渡
    Mode_id0 = 1;
elseif (Mode_id0 == 3) && (ch7 < 0.5)
    Mode_id = 2; % 从固定翼模式到旋翼模式的后过渡
    Mode_id0 = 2;
elseif Mode_id0 == 1
    %前过渡模式处理
    if (airspeed >= airspeed_guodu) && (fuyang <= fuyang_guodu)
        Mode_id = 3; % 完成前过渡, 进入固定翼模式
        Mode_id0 = 3;
    else
        Mode_id = 1; % 前过渡未完成, 保持前过渡模式
    end
elseif Mode_id0 == 2
    %后过渡模式处理
    if (airspeed <= airspeed_guodu) && (fuyang >= fuyang_guodu)
        Mode_id = 0; % 完成后过渡, 进入旋翼模式
        Mode_id0 = 0;
    else
        Mode_id = 2; % 后过渡未完成, 保持后过渡模式
    end
else
    %旋翼模式和固定翼模式处理
    if ch7 < 0.5
        Mode_id = 0; % 旋翼模式
        Mode_id0 = 0;
    else
        Mode_id = 3; % 固定翼模式
        Mode_id0 = 3;
    end
end
end

```

图5 模式切换代码

模式切换的大致思路为无人机在旋翼模式下保持稳定后，为了切换到固定翼模式，无人机需要进行大角度的俯仰角机动，使得无人机的姿态从垂直飞行变换到水平飞行，同时固定翼模式需要无人机的空速大于临界空速。因此，在启动前过渡程序后，旋翼控制器给定俯仰期望和速度期望，尾座式无人机姿态从垂直模式到水平模式，同时速度开始增加。等到俯仰角和空速达到固定翼无人机的临界条件后，控制器的输出切换到固定翼控制器，实现旋翼模式到固定翼模式的前过渡。无人机在固定翼模式下保持稳定后，为了切换到旋翼模式，无人机需要进行大角度的俯仰角机动，使得无人机的姿态从水平飞行变换到垂直飞行。因此，在启动后过渡程序后，旋翼控制器给定俯仰期望和速度期望，尾座式无人机姿态从水平模式到垂直模式。等到俯仰角达到旋翼无人机的临界条件后，控制器的输出切换到旋翼控制器，实现固定翼模式到旋翼模式的后过渡。

在具体实现模式切换的代码中，为了保证尾座式无人机在各个模式下的控制稳定性，定义了尾座式无人机的模式Mode_id。其中，Mode_id=0表示无人机处于旋翼模式；Mode_id=1表示无人机处于前过渡模式；Mode_id=2表示无人机处于后过渡模式；Mode_id=3表示无人机处于固定翼模式。根据无人机在各个模式下的临界状态，定义了空速阈值和俯仰角度阈值。具体的实现逻辑如下：无人机的Mode_id初始化为0，即无人机以旋翼模式起飞。在无人机保持稳定后，收到前过渡信号时，Mode_id变为1，旋翼控制器执行前过渡程序。当无人机的状态满足条件后，Mode_id变为3，此时控制器的输出切换为固定翼控制器的输出。在收到后过渡信号后，Mode_id变为2，固定翼控制器执行后过渡程序。当无人机的状态再次满足条件后，Mode_id变为1，此时控制器的输出切换回旋翼控制器的输出。

| 相关文章

详细的尾座式垂直起降无人机飞行及控制原理可以参考<尾座式使用说明书.pdf>

| 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

