# 动态系统建模（四旋翼飞行器仿真）实验报告

来源：网络 作者：梦里花开 更新时间：2025-06-26

*动态系统建模（四旋翼飞行器仿真）实验报告院（系）名称大飞机班学号学生姓名任课教师2024年X月四旋翼飞行器的建模与仿真一、实验原理I．四旋翼飞行器简介四旋翼飞行器通过四个螺旋桨产生的升力实现飞行，原理与直升机类似。四个旋翼位于一个几何对称的...*

动态系统建模（四旋翼飞行器仿真）

实验报告

院（系）名称

大飞机班

学号

学生姓名

任课教师

2025年

X月

四旋翼飞行器的建模与仿真

一、实验原理

I．四旋翼飞行器简介

四旋翼飞行器通过四个螺旋桨产生的升力实现飞行，原理与直升机类似。四个旋翼位于一个几何对称的十字支架前、后、左、右四端，如图1-1所示。旋翼由电机控制；整个飞行器依靠改变每个电机的转速来实现飞行姿态控制。

在图1-1中，前端旋翼1

和后端旋翼3

逆时针旋转，而左端旋翼2

和右端的旋翼4

顺时针旋转，以平衡旋翼旋转所产生的反扭转矩。由此可知，悬停时，四只旋翼的转速应该相等，以相互抵消反扭力矩；同时等量地增大或减小四只旋翼的转速，会引起上升或下降运动；增大某一只旋翼的转速，同时等量地减小同组另一只旋翼的转速，则产生俯仰、横滚运动；增大某一组旋翼的转速，同时等量减小另一组旋翼的转速，将产生偏航运动。

图1-1

四旋翼飞行器旋翼旋转方向示意图

从动力学角度分析，四旋翼飞行器系统本身是不稳定的，因此，使系统稳定的控制算法的设计显得尤为关键。由于四旋翼飞行器为六自由度的系统（三个角位移量，三个线位移量），而其控制量只有四个（4

个旋翼的转速），这就意味着被控量之间存在耦合关系。因此，控制算法应能够对这种欠驱动（under-actuated）系统足够有效，用四个控制量对三个角位移量和三个线位移量进行稳态控制。本实验针对四旋翼飞行器的悬浮飞行状态进行建模。

II．飞行器受力分析及运动模型

（1）整体分析

如图1-2所示，四旋翼飞行器所受外力和力矩为：

Ø

重力mg，机体受到重力沿-Zw方向

Ø

四个旋翼旋转所产生的升力Fi(i=1,2,3,4)，旋翼升力沿ZB方向

Ø

旋翼旋转会产生扭转力矩Mi

(i=1,2,3,4)，Mi垂直于叶片的旋翼平面，与旋转矢量相反。

图1-2

四旋翼飞行器受力分析

（2）电机模型

Ø

力模型

（1.1）

旋翼通过螺旋桨产生升力。是电机转动力系数，可取，为电机转速。

Ø

力矩模型

旋翼旋转产生旋转力矩Mi(i=1,2,3,4)，力矩Mi的旋向依据右手定则确定。

（1.2）

是电机转动力系数，可取为电机转速。

Ø

转速模型

当给定期望转速后，电机的实际转速需要经过一段时间才能达到。实际转速与期望转速之间的关系为一阶延迟：

（1.3）

响应延迟时间可取0.05s(即)。期望转速则需要限制在电机的最小转速和最大转速之间，范围可分取[1200rpm，7800rpm]。

（3）运动方程

飞行器受到外界力和力矩的作用，形成线运动和角运动。线运动由合外力引起，符合牛顿第二定律，如公式(1.4)所示：

（1.4）

r为飞机的位置矢量。注意：公式（1.4）是在地平面坐标系中进行描述的。

角运动由合力矩引起。四旋翼飞行器所受力矩来源于两个方面：1）旋翼升力作用于质心产生的力矩；2）旋翼旋转产生的扭转力矩。角运动方程如公式（1.5）所示。其中，L

为旋翼中心建立飞行器质心的距离，I

为惯量矩阵。

（1.5）

III．控制回路设计

控制回路包括内外两层。外回路由Position

Control

模块实现。输入为位置误差，输出为期望的滚转、俯仰和偏航角。内回路由Attitude

Control

模块实现，输入为期望姿态角，输出为期望转速。Motor

Dynamics

模块模拟电机特性，输入为期望转速，输出为力和力矩。Rigid

Body

Dynamics

是被控对象，模拟四旋翼飞行器的运动特性。如图1-3

图1-3

包含内外两个控制回路的控制结构

（1）内回路：姿态控制回路

对四旋翼飞行器，我们唯一可用的控制手段就是四个旋翼的转速。因此，这里首先对转速产生的作用进行分析。假设我们希望旋翼1的转速达到，那么它的效果可分解成以下几个分量：

：使飞行器保持悬停的转速分量；

：除悬停所需之外，产生沿ZB轴的净力；

：使飞行器负向偏转的转速分量；

：使飞行器正向偏航的转速分量；

因此，可以将期望转速写成几个分量的线性组合：

（1.6）

其它几个旋翼也可进行类似分析，最终得到：

（1.7）

在悬浮状态下，四个旋翼共同的升力应抵消重力，因此：

（1.8）

此时，可以把旋翼角速度分成几个部分分别控制，通过“比例-微分”控制律建立如下公式：

（1.9）

综合式（1.7）、（1.8）、（1.9）可得到期望姿态角-期望转速之间的关系，即内回路。

（2）外回路：位置控制回路

外回路采用以下控制方式：

Ø

通过位置偏差计算控制信号（加速度）；

Ø

建立控制信号与姿态角之间的几何关系；

Ø

得到期望姿态角，作为内回路的输入。

期望位置记为。可通过PID

控制器计算控制信号：

（1.10）

是目标悬停位置是我们的目标悬停位置(i=1,2,3)，是期望加速度，即控制信号。注意：悬停状态下线速度和加速度均为0，即。

通过俯仰角和滚转角控制飞行器在XW和YW平面上的运动，通过控制偏航角，通过控制飞行器在ZB轴上的运动。对（1.4）进行展开，可得到：

（1.11）

根据上式可按照以下原则进行线性化：

（1）将俯仰角、滚转角的变化作为小扰动分量，有，，（2）偏航角不变，有，其中初始偏航角，为期望偏航角（3）在悬停的稳态附近，有

根据以上原则线性化后，可得到控制信号（期望加速度）与期望姿态角之间的关系：

（1.12）

根据式(1.10)已经通过PID

控制器得到了作为控制信号的期望加速度，因此，将（1.12）式反转，由期望加速度计算期望姿态角，作为内回路的输入：

（1.13）

二、实验步骤

I．搭建Simulink仿真控制回路

根据实验原理中运动方程及控制回路设计，搭建Simulink控制回路，如图2-1所示。主要分为五个部分：Position

Control（由期望的位置误差通过控制律设计计算出期望的姿态角），Attitude

Control（由姿态角信息和各轴角速度信息通过控制律计算出给电机的控制信号），Motor

Dynamics（通过给电机的控制信号由电机模型计算出每个电机的输出力和力矩），Rigid

Body

Dynamics为四旋翼飞行器的仿真模型，由产生的力和力矩计算出仿真模型的姿态和位置信息，VR

Sink为四旋翼飞行器的虚拟显示模型。

图2-1

仿真Simulink模型

下面给出每个子系统的仿真结构图及控制律设计部分。

图2-2

Position

Control子系统

图2-3

位置PID控制器结构

图2-4

Attitude

Control子系统

图2-5

姿态角和三轴角速度之间的转换关系

图2-6

Motor

Dynamics子系统输出力及力矩模型

图2-7

Rigid

Body

Dynamics子系统

II．利用V-Realm

Builder建立四旋翼飞行器的虚拟模型

利用V-Realm

Builder建立四旋翼飞行器的大致虚拟模型，并建立四个父类分别为Simulink输入提供质心位移信息和机体姿态信息，如图2-8所示。

图2-8

四旋翼飞行器虚拟模型

III．利用MATLAB

GUI建立四旋翼飞行器仿真的控制界面

利用MATLAB

GUI建立仿真控制界面，所建立的控制界面如图2-9所示。

图2-9

MATLAB

GUI仿真控制界面

界面主要分为四个部分，Struct

Parameters

Panel设置飞行器的结构参数和外部变量，Desired

Position

Panel设置期望控制飞行器所到达的位置，Control

Parameters

Panel设置PID控制律所需的增益参数和仿真时间，Plot

Panel显示仿真结果图形并对图形效果进行简单的控制。

三、仿真结果

运行GUI，输入所需参数或者采用默认参数，点击load

data按钮分别将三组参数载入，点击Start按钮，仿真开始运行。跳出VR显示，并在仿真结束后绘制飞行器三方向的坐标信息曲线和飞行器位置曲线。VR显示过程中某一时刻如图3-1所示，仿真结束后控制界面显示的曲线如图3-2所示。期望达到的目标点设置为（10,15,20）。

图3-1

VR显示四旋翼飞行器运动状态

图3-2

四旋翼飞行器控制平台

四、总结与体会

由仿真结果可以看出，四旋翼飞行器最终位置达到了期望给定的位置，三个方向的响应曲线最终平稳，对应飞行器悬停在期望位置，达到了控制要求。本次试验收获很多，学习到了很多知识，熟悉了SIMULINK由简至繁搭建系统的过程，学习了利用V-Realm

Builder建立虚拟模型，并在SIMULINK中连接，也熟悉了MATLAB

GUI界面的编写和搭建过程。

本DOCX文档由 www.zciku.com/中词库网 生成，海量范文文档任你选，，为你的工作锦上添花,祝你一臂之力！