



清华大学自动化系
交叉项目综合训练实验

实 验 报 告

(20XX 年秋季学期)

实验名称: 第一项 四旋翼飞行器参数特性研究

报告人姓名: 杜澍滢 班级: 自 71 学号: 2017011010

同组人姓名: 李晨 班级: 自 71 学号: 2017011566

同组人姓名: 缪谨蔚 班级: 自 75 学号: 2017012002

同组人姓名: 郭梦雪 班级: 自 76 学号: 2017011600

报告内容			
1	实验名称/实验原理/实验数据/实验数据分析/作图		
2	实验报告要求内容及思考题回答		
3	签过字的原始实验数据		

声明:实验报告没有抄袭他人实验数据,也没有抄袭他人的实验报告。

报告人签名: 杜澍滢 日期: 2020.2.24

实验报告评分（以下内容由教师填写）

评分细则		得分	总分
1	实验报告内容正确（50%）		
2	实验报告分析透彻（40%）		
3	实验报告文字通畅、叙述简洁、逻辑结构清晰（10%）		
综合评语：			

评阅教师签名：_____ 日期：_____

一、实验目的及要求

实验目的：巩固四旋翼基本飞行原理相关知识，研究四旋翼飞行器参数对其功能实现的影响。

实验要求：熟悉相关硬件及软件的使用，按照指导书完成各个流程，分析实验现象和数据。

二、实验硬件及软件

硬件：Quanser Qdrone 第三代飞行器，摄像头，校准棒(CW-500)，直角坐标工具(CS-200)，Spektrum DXE 操纵杆，Spektrum USB 加密狗。

软件：MATLAB/Simulink (R2018a)，QUARC (2018)，Visual Studio Community Compiler (2017)，Motive (2.0)。

三、实验原理

不同的控制参数设置会对四旋翼无人机的稳定性造成不同的影响。

四、实验步骤

(1) 前期流程

前期流程包括了安全设置、Optitrack Cameras 安装、接线连接、电池充电、软件测试和操纵杆设置，这些步骤在实验前已由老师和助教完成。

(2) 摄像头定位及校准

校准工作区域的标记已经提前完成，要进行定位，首先要将 Motive 打开大约 15~30 分钟，使摄像机预热。然后逐个调整每个摄像机，使得最靠近它的校准标记在框架底部的灰度视图中可见并根据工作区中的不规则性对每个摄像机进行微调。

摄像头的校准包括“确定摄像机相对于彼此的位置”和“确定摄像机组相对于地面的位置”两部分。前者要求在 Motive 中完成相关设置后在工作区中人为移动校准棒，此时摄像机检测到的标记将产生点云，需保持移动校准棒直至每个摄像机都记录到大约 6000~8000 个采样点；后者使用到直角坐标工具。

(3) QDrone 通信

首先需要保证路由器到 PC 已经连接好，然后插入 QDrone 并通过 PC 指令和回复判断是否成功连接，然后按照指示书流程用 MATLAB 下载和启动既有模型。

(4) 定义智能体

QDrone 上已经放置了标记，只需要在 Motive 中标记此刚体结构。按照指示书流程操作即可。

(5) QDrone 功能测试

按照指示书完成软件配置后，插上电池并打开 QDrone，将它放在工作区的

中心，通过 ping 来建立与无人机的连接。确保一切就绪后单击 QUARC 下拉菜单的开始，听到 2 声蜂鸣声后将模型中的电机开关由 0 设为 1。此时应该能观察到四个电机按顺序和预期方向开始旋转，然后将电动机开关设置为 0 并进行后续检查工作。

(6) QDrone 飞行测试

同样按照指示书进行相关设置后单击 QUARC 下拉菜单的开始，应听到 2 声嘟嘟声，接着无人机顶部的 5 个 LED 应变为蓝色。然后切换 Arm/Disarm 为 2，电机开始缓慢旋转，5 个 LED 灯变为绿色。切换起飞/平台切换到 2，无人机起飞那根线停在工作区中心，高度约 1 米。切换起飞/陆地到 0，无人机降落在工作区中心。最后将 Arm/Disarm 切换为 0。可以修改相关参数多次尝试。

(7) 观察扰动情况

用电风扇向无人机施加扰动，观察其悬停状态是否稳定。

五、讨论与结论

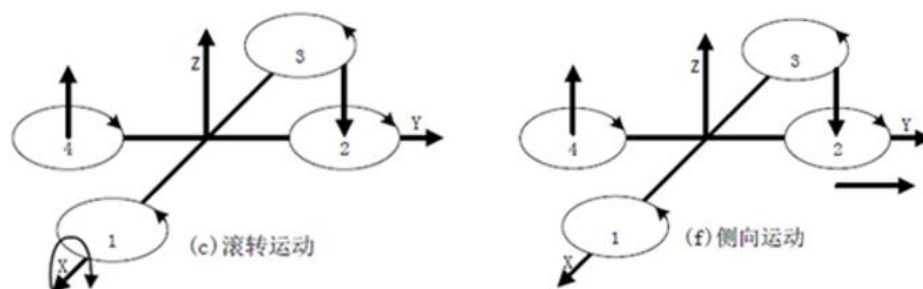
我们组的操作比较顺利，按照指导书的流程没有遇到什么故障和问题。实验中我们成功完成了悬停任务，也观察到了无人机受风扇扰动的现象，还在助教的指导下修改了相关参数，降低了悬停高度，观察到无人机稳定性变差。

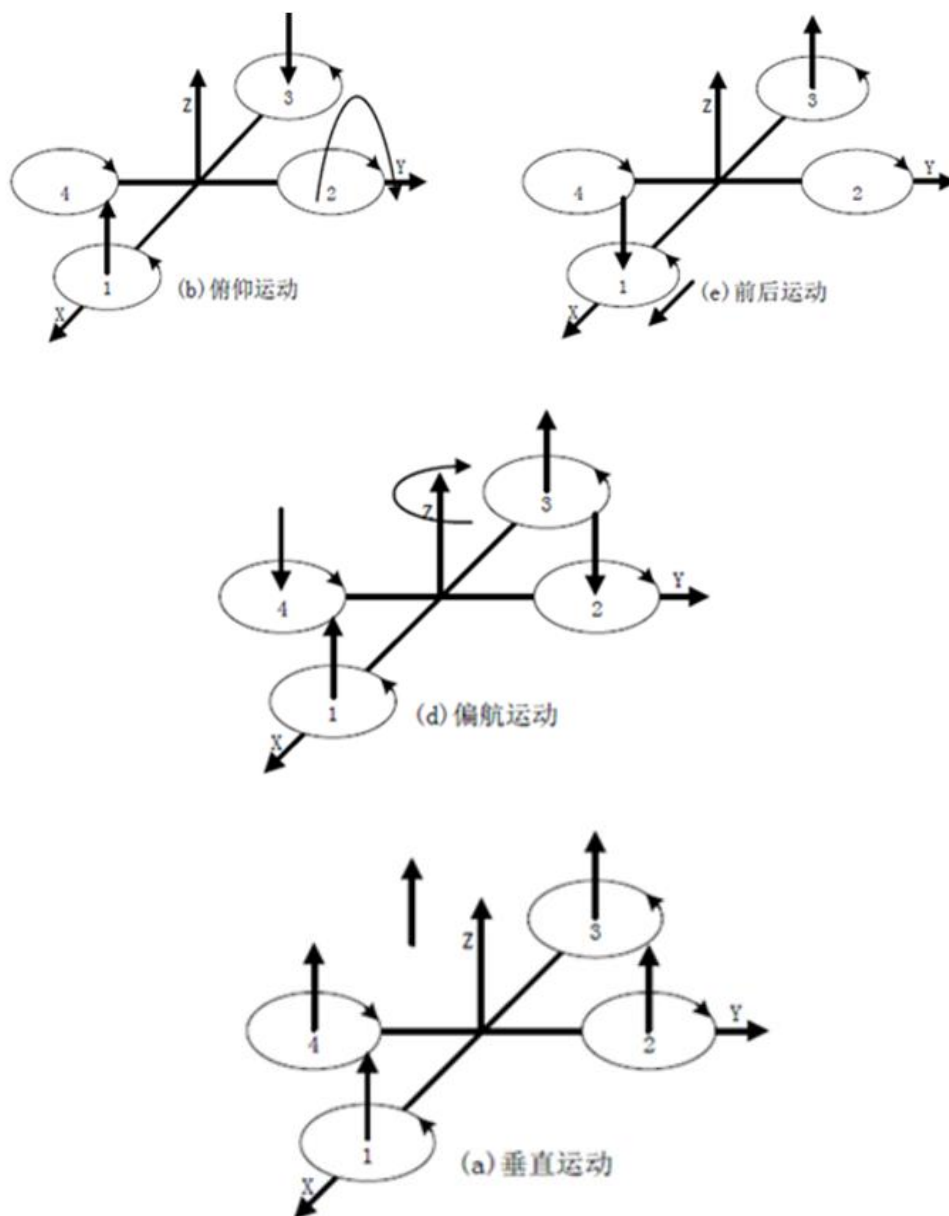
虽然老师和助教已经提前完成了很多准备步骤，但实验中我们仍然把主要的时间花费在一些和实验目的关系不大的软件操作上，这也是因为我们没有经验。如果以后可以安排更多的实验，我们的相关操作熟练之后，相信会有更多的时间用来研究更复杂的模型，观测更丰富的现象。

六、思考题

6.1 请简要叙述四旋翼无人机的动力学模型(分横滚/左右、俯仰/前后、偏航、高度四个通道)及其在悬停状态下的简化模型。

【答】四旋翼无人机是一种能够垂直起降的非共轴的多旋翼飞行器，同一对角线上的一组旋翼采用逆时针旋转，另一组旋翼采用顺时针旋转，相互抵消了旋翼旋转带来的反扭矩力，通过调节对称分布的四个旋翼转速，可以不断改变无人机的位置，实现对飞行姿态的控制。四个通道对应图示如下：



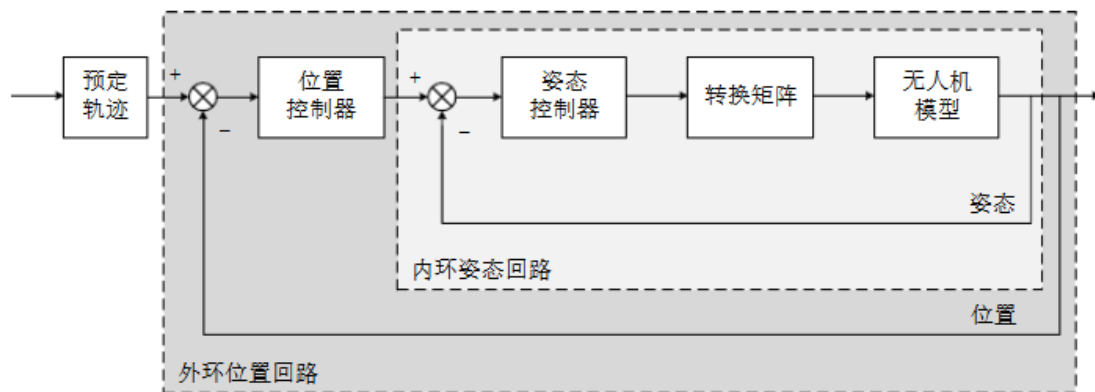


	螺旋桨 1	螺旋桨 2	螺旋桨 3	螺旋桨 4
俯仰	+	0	-	0
滚动	0	-	0	+
偏航	+	-	+	-
向上	+	+	+	+

如图所示，要实现四通道的运动，只需按表设置各旋翼转速即可。悬停可以说是垂直运动的特殊情况，四个旋翼的转速保持同步，其产生的升力刚好等于飞行器自重时即可保持悬停状态。

6.2 请以上述模型为例，简要叙述四旋翼无人机双闭环控制器(内环及外环)的结构及原理。

【答】双闭环控制器结构如下图所示：



如图，姿态控制器的主要功能是控制无人飞行器的滚转角、俯仰角、滚转角速度、俯仰角速度等姿态，使无人飞行器能够快速准确地跟踪操纵指令输入，位置控制器的主要作用是控制无人飞行器纵向、横向速度以及垂向位移等状态。

期望的控制指令信号为控制系统提供纵向线速度、横向线速度和垂向位置等控制指令信息；飞行指令输入到位置控制器，位置控制器开始根据期望的输入量计算得出期望的操纵量以及滚转角、俯仰角、偏航角等姿态状态量并输出；位置控制器的输出量又作为输入量输入到姿态控制器中，经过运算得出各旋翼的控制量，结合位置控制器输出的操纵量，即得到了完成期望飞行所需要施加的操纵控制量；最后，这些操纵控制量输入到无人倾转旋翼飞行器模型中，飞行器模型经过计算得出实际的状态响应并反馈到控制系统中。

6.3 在无人机受到外部扰动影响情况下，请分别描述采用何种措施可以抵消这些影响。(提示：1、外部扰动可分为静态扰动和动态扰动，其中静态扰动的最简单例子为无人机重心不在中心，动态扰动最简单例子为风扰；2、可从内、外环控制器设计角度叙述，如改变某些控制参数或在某个通道增加某些控制项)

【答】当无人机受到静态扰动时，可以通过对内环回路控制的飞行姿态角、机体气动合力和合力矩矢量方向大小等参数的误差进行补偿来调节等效重心位置；当无人机受到动态扰动时，除了对姿态运动的调整外，还需要对飞行速度和位置等的误差进行补偿。

七、实验原始数据

