

# 1. 实验名称及目的

## 避障控制器设计实验(实飞实验):

如图 8.24 (a) 所示, 在 8.4 节设计的避障算法和第 6 章 6.5.2.1 节设计的跟踪控制器的基础上, 实现双机避障的实飞实验。考虑到实飞场地大小有限, 本实验将两架多旋翼的起始位置设置为 $(-1.5, -0.1)$ 和 $(1.5, 0.1)$ , 目标位置分别设置为 $(1.5, -0.1)$ 和 $(-1.5, 0.1)$ 。多旋翼模块替换成第 4 章 4.5 节的位置/角度-位置/角度的四通道传递函数模型, 设计控制器引导两架多旋翼相互避障, 飞向对方初始位置, 最后记录多旋翼避障轨迹。本实验具体目标包括以下几点。

- (1) 进一步理解和熟悉人工势场法的理论与推导过程以及在实际飞行中的具体应用;
- (2) 将设计的控制器及多机避障算法应用于实际飞行实验。

# 2. 实验原理

## 1) 整体模型

打开 Simulink 文件 “e5\5.4\sim1.0\ e5\_4\_Avoidance\_Segment.slx”, 如图 8.37 所示, 从图中可以看到与设计实验相似的模型, 有所区别的是多旋翼模块。

## 2) 控制输入模块

控制输入模块内部如图 8.38 所示, 打开 “Avoidance1 Segment” 后得到图 8.39, 单击该模块查看避障算法完整代码, 其中的关键代码如表 8.11 第 3~6 行所示, 本质上这是一个局部期望位置的迭代过程。本实验需要适当修改参数  $a_0$ 、 $k_1$  和  $k_2$ , 获得效果较好的避障效果。

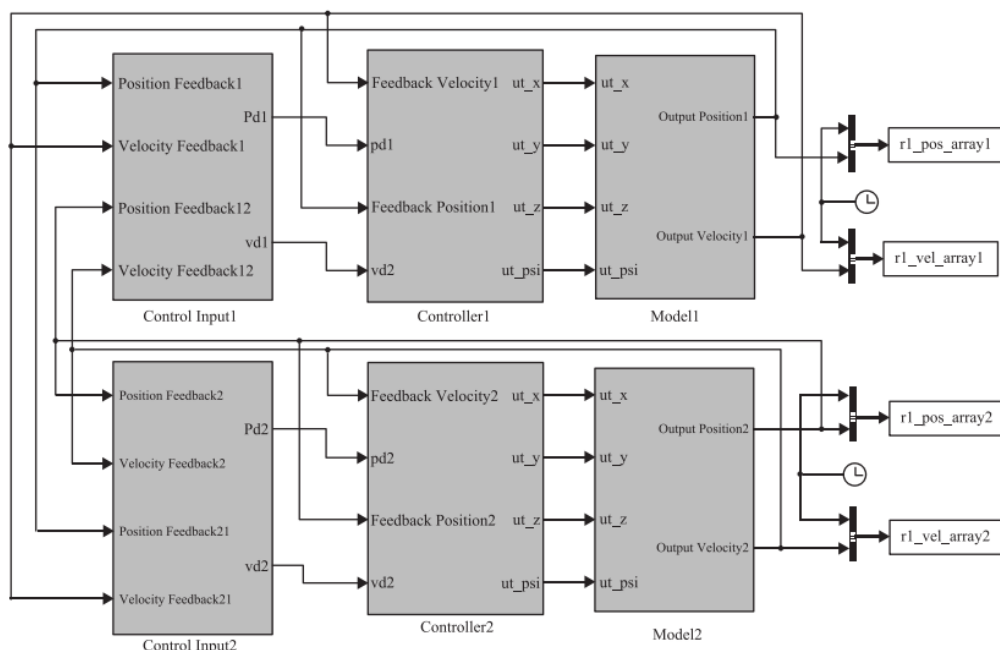


图 8.37 整体模块, Simulink 模型详见 “e5\5.4\ sim1.0\ e5\_4\_Avoidance\_Segment.slx”

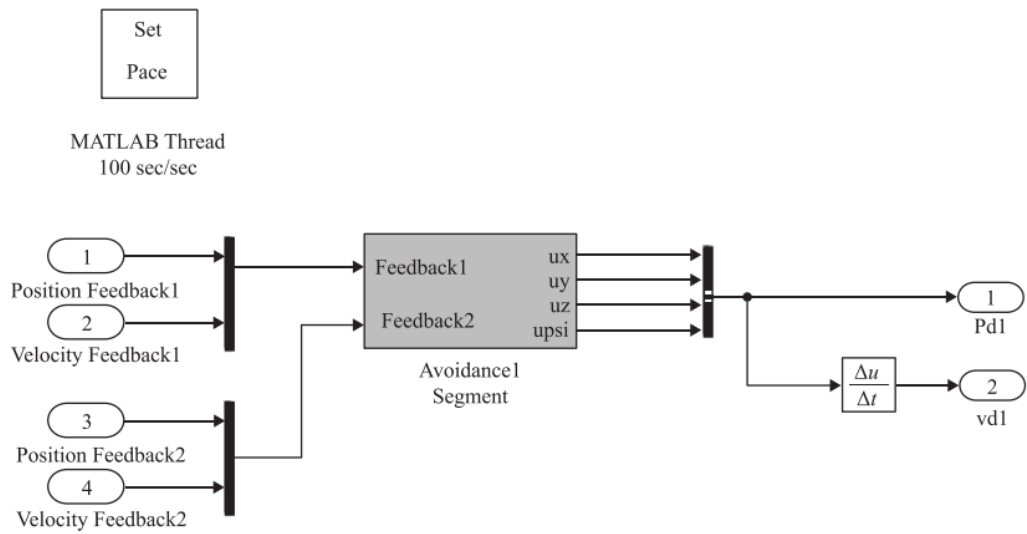


图 8.38 控制输入模块

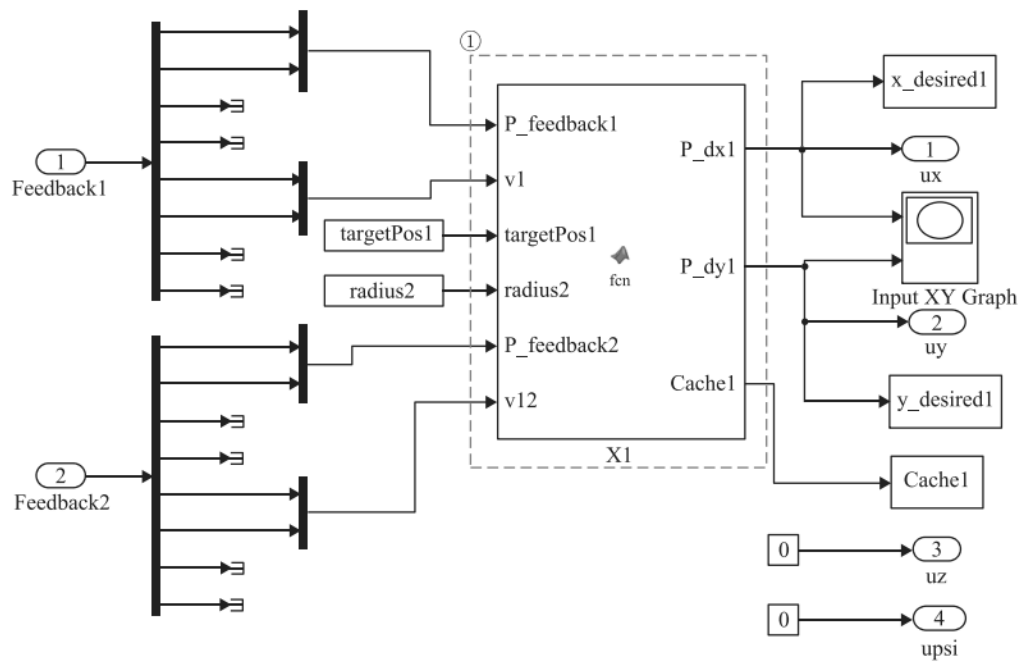


图 8.39 各通道控制输入

表 8.11 期望位置生成关键代码及参数

```

1 a0=1;k0=0.2;
2 k1=0.2;k2=0.11;
3 a=k1;
4 b=k2/((norm(ksi_0)-r_0)^2+0.000001)/(norm(ksi_0)+0.000001);
5 temp = satgd(-a*ksi_wp+b*ksi_0,a0);
6 P_d = P_feedback+ temp; %局部期望位置

```

### 3. 实验效果

在 Simulink 中实现在实飞过程中期望轨迹和实际位置对比。

## 4. 文件目录

文件夹/文件名称		说明
Sim1.0	e5_plot.m	绘图文件
	e5_4_Avoidance_Segment_2017b.slx	多旋翼避障控制器仿真 1.0 文件
	startSimulation.m	初始化参数文件
sim2.0	e5_4_avoidance_two_2017b.slx	多旋翼避障控制器实飞文件
	start_tello_two.m	初始化参数文件

## 5. 运行环境

序号	软件要求	硬件要求	
		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑 <sup>①</sup>	1
2	RflySim 平台个人版	Pixhawk 6C <sup>②</sup>	1
3	MATLAB2017B 及以上	遥控器 <sup>③</sup>	1
		遥控器接收器	1
		数据线、杜邦线等	若干

①：推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com>

②：须保证平台安装时的编译命令为：px4\_fmuv6c\_default，固件版本为：1.13.3。其他配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com>

③：本实验演示所使用的遥控器为：天地飞 ET10、配套接收器为：WFLY RF209S。遥控器相关配置见：[..\e11\\_RC-Config\Readme.pdf](..\e11_RC-Config\Readme.pdf)

## 6. 仿真 1.0

### Step 1:

在完成了参数设计之后，可以开始仿真。打开文件夹“e5\5.4\ sim1.0”，运行“start-Simulation.m”文件初始化参数，其中包含实验所需要的控制器参数以及多旋翼起始位置等信息，可以根据需要自行设置。单击 Simulink 的仿真按钮，获得仿真结果。

### Step 2:

在调试后，选取参数  $a_0 = 1, k_1 = 0.2, k_2 = 0.11$  进行实验。仿真结束后通过运行“e5\_plot.m”文件轨迹绘制，结果如图 8.40 所示。从图中可以看出，从初始位置开始，多旋翼期望位置轨迹与实际位置轨迹基本吻合，并且成功进行避障到达目标位置。可以认为，设计的避障算法对于使用真实的多旋翼进行辨识得到的模型是可行的。因此，可以根据实际情况微调一些参数，将算法用于实飞实验。

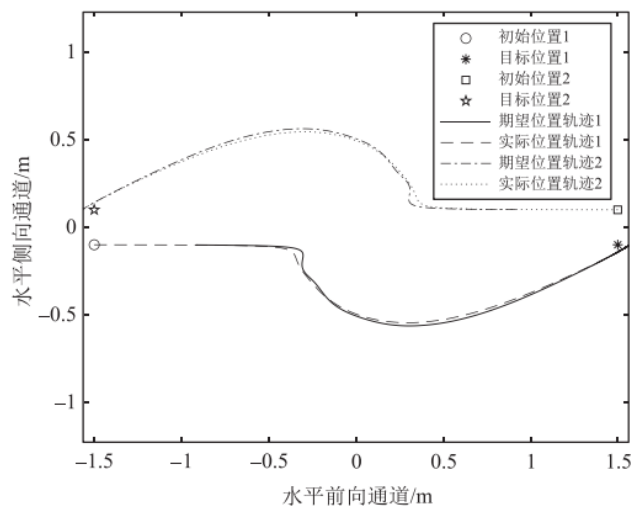


图 8.40 期望位置轨迹和实际位置轨迹对比

## 7. 实飞(Rfly)实验步骤

以 Tello 飞行器和 OptiTrack 室内定位系统为例，这里我们给出一个设计好的例子，见文件“e5\5.4\Rfly\ e5\_4\_avoidance\_two\_2017b.slx”。

### Step 1:

在 MATLAB 中单击运行“start\_tello\_two.m”文件，进行初始化以及启动相应的 Simulink 程序“e5\_4\_avoidance\_two\_2017b.slx”文件，模型如图 8.41 所示。控制模型由七部分组成，每个模块具体作用可参考第 2 章 2.3 节。

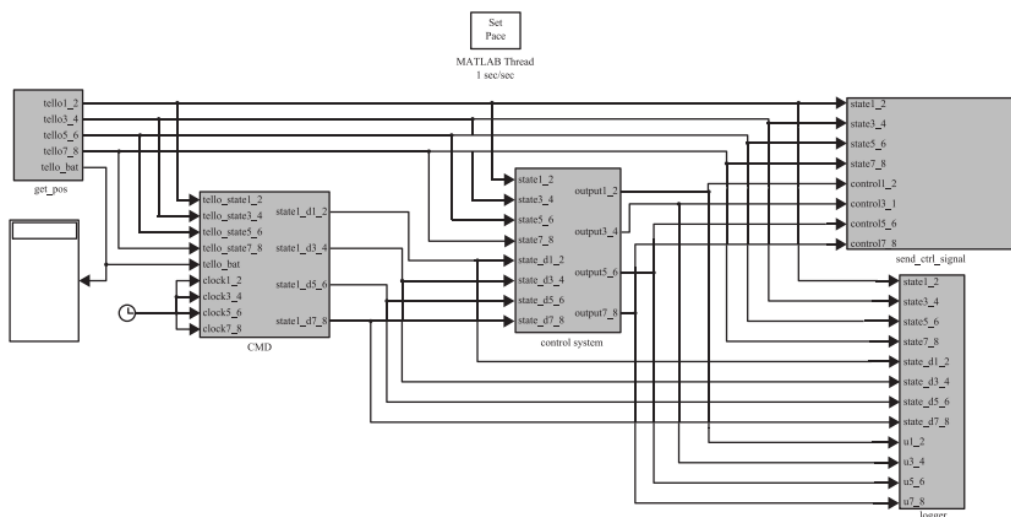


图 8.41 MATLAB 控制模型，Simulink 模型详见“e5\_4\_avoidance\_two.slx”

## Step 2:

本实验与其他的实飞实验不同，需要使用多架多旋翼进行实验。具体操作为：打开图 8.41 中的“CMD”模块，选择图 8.42 中的两个多旋翼期望输入模块，例如 3 号和 4 号多旋翼。点开虚线框③，得到图 8.43。根据实验原理，避障实验的避障控制器需要引入自身的速度和位置反馈以及其他多旋翼（4 号多旋翼）的速度和位置反馈，如虚线框①所示。点开虚线框②中的函数模块，可以看到双机避障核心算法，如表 8.12 所示，包括参数设置以及目标位置设置。4 号多旋翼的设置与 3 号多旋翼类似。

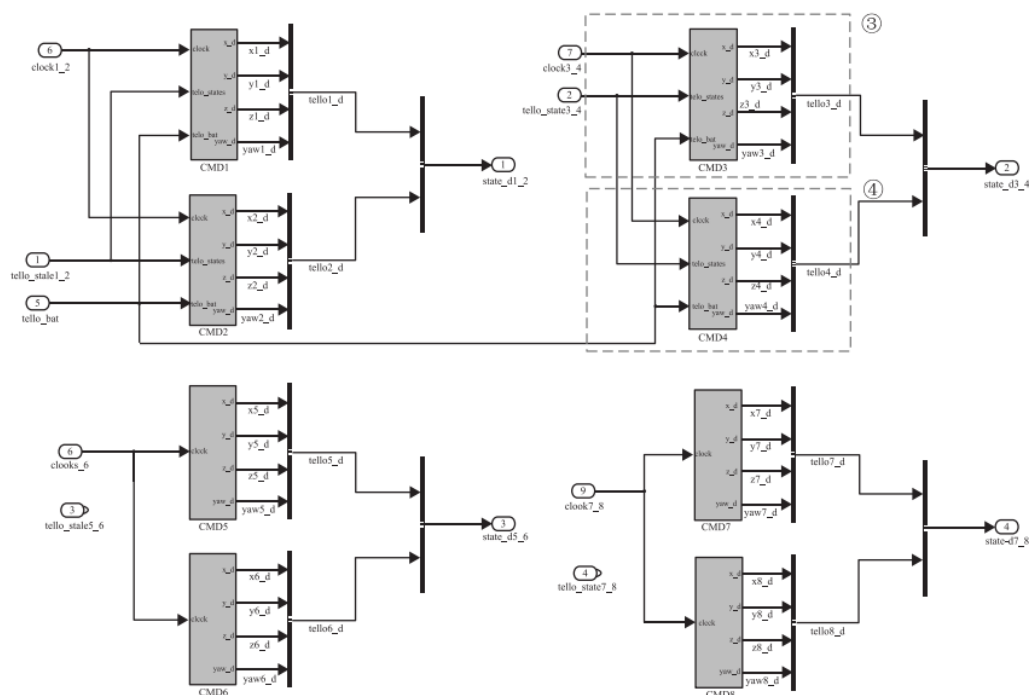


图 8.42 期望输入模块内部

表 8.12 实飞实验双机避障核心算法

```

1  a0=0.8;k0=0.5;
2  k1=0.12;k2=0.04;
3  r0=0.05; r_0_=r0+k0*a0;    % 参数
4  P_wp=[0;-1];                % 目标位置
5  P2=P_feedback2;
6  ksi=P_feedback1+k0*v1;
7  ksi_wp=P_wp+k0*v_wp;
8  ksi_wp=ksi-ksi_wp;          % 目标位置的滤波误差
9  ksi_0=P2+k0*v2;
10 ksi_0=ksi-ksi_0;            % 障碍物位置的滤波误差
11 a=k1;
12 b=k2/((norm(ksi_0_-r_0_)^2+0.000001)/(norm(ksi_0_)+0.000001));
13 temp1 = satgd(-a*ksi_wp+b*ksi_0_,a0); % 期望位置
14 P_d1 = P_feedback1+ temp1;

```

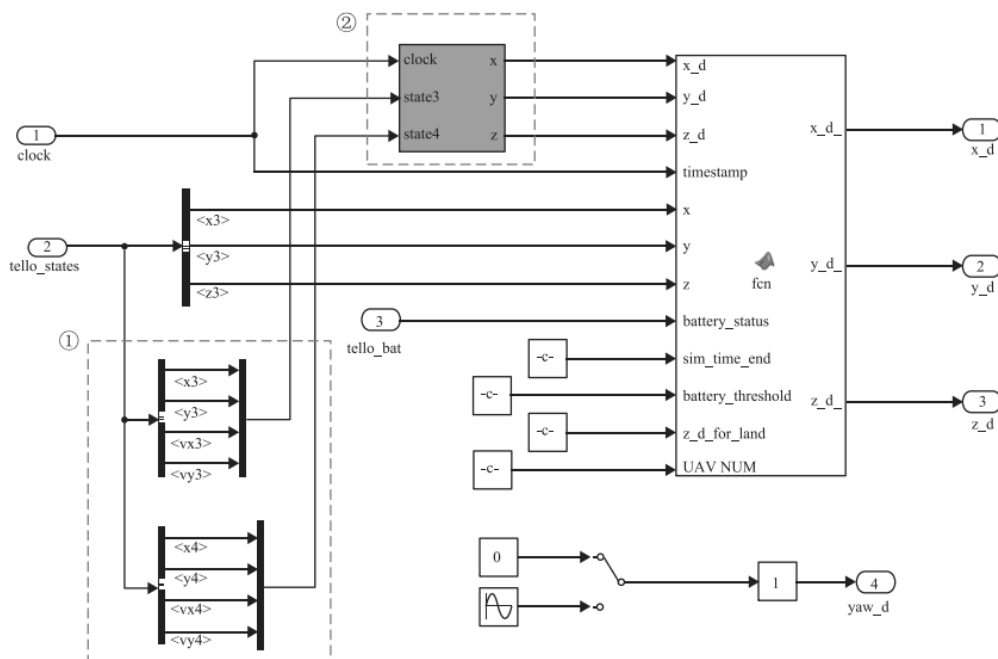


图 8.43 3 号多旋翼期望输入模块内部

### Step 3:

#### (1) 启动 OptiTrack

打开一个新终端，运行命令 “`roslaunch mocap_optitrack multi_rigidbody8.launch`”。

#### (2) 启动 tello\_driver

打开一个新终端，运行命令 “`roslaunch tello_driver tello_node.launch`”。

#### (3) 起飞 Tello

打开一个新终端，运行命令 “`roslaunch tello Tello_takeoff_all`”，可以看到两架多旋翼起飞并保持悬停在正上方高度为 1m 的位置。

#### (4) 运行 MATLAB 控制程序

单击运行 “`e5_4_Avoidance_two.slx`” 文件，可以看到两架多旋翼趋向目标位置，在此过程中相遇于中间某个位置，然后进行如图 8.40 所示的轨迹避障，最后到达各自的目标位置。

#### (5) 降落 Tello

打开一个新终端，运行命令 “`roslaunch tello Tello_land_all`”，在两架多旋翼降落后，结束所有终端。

### Step 4:

“`e5_4_Avoidance_two_2017b.slx`” 文件中包含数据存储模块，可以将实飞数据输出到工作区。如变量 “`tello3_states`”、“`tello3_states_d`”、“`tello4_states`” 和 “`tello4_states_d`”，分别代表两架多旋翼在飞行过程产生的期望指令和实际位置结果，运行 “`e5_plot.m`” 文件，即可得到如图 8.44 所示的实飞结果。

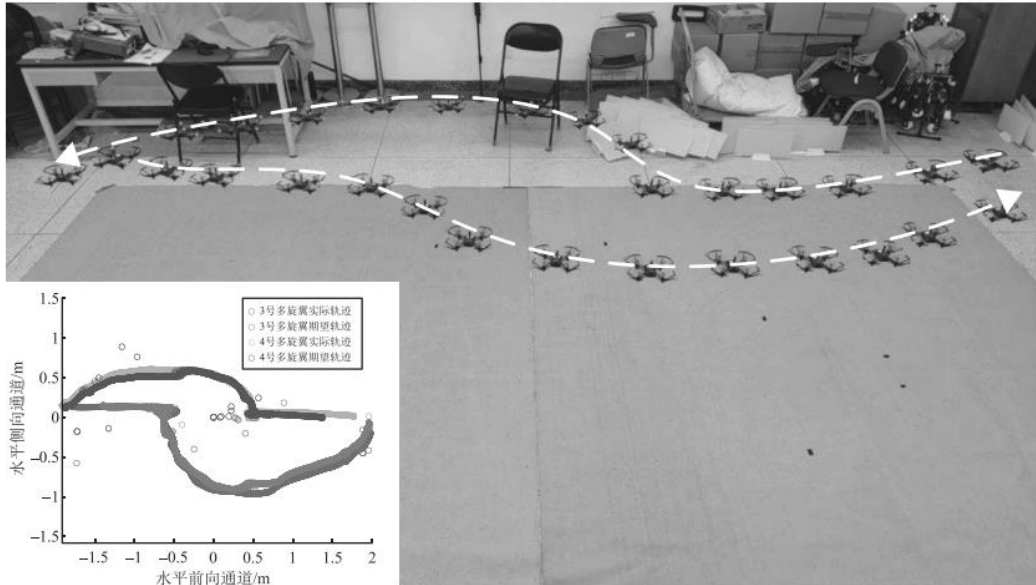


图 8.44 实飞结果（影像进行了叠加）

（具体操作步骤可以观看每章相对应的 PPT，其中由各个实验相对应的演示视频。）

## 8. 参考资料

- [1]. Quan Quan. Introduction to Multicopter Design and Control. Springer, Singapore, 2017
- [2]. 全权 杜光勋 赵峙尧 戴训华 任锦瑞 邓恒译 多旋翼飞行器设计与控制 [M] 电子工业出版社 2018.
- [3]. 全权 戴训华 王帅 多旋翼飞行器设计与控制 实践 [M] 电子工业出版社 2020.
- [4]. 全权 等.多旋翼无人机远程控制实践[M].电子工业出版社,2022.

## 9. 常见问题

Q1: \*\*\*\*

A1: \*\*\*\*