

# 1. 实验名称及目的

## 避障控制器设计实验 (分析实验):

固定避障控制器参数  $a_0$ 、 $k_1$  和  $k_2$  中的两个参数，同时修改另一个参数进行仿真。对比各组避障轨迹，分析规律并得出结论。分析实验仍采用与基础实验相同的避障方案，多旋翼初始位置为(0,0)，目标位置为(25,6)，障碍物位置为(12,0)，障碍物半径为 2m，安全半径设置为 3m。偏航角始终保持为 0，高度始终保持在 1m。本实验具体目标包括以下几点。

- (1) 理解与熟悉人工势场法的理论与推导过程；
- (2) 实现多旋翼的单机避障控制并分析各个参数对避障控制的作用；
- (3) 使用相同的控制器进行仿真 2.0 实验，对比两种模型的仿真结果。

# 2. 实验原理

## 1) 整体模型

打开 Simulink 文件 “e5\e5.2\sim1.0\e5\_2\_Avoidance\_Segment.slx”，如图 8.14 所示，可以看到与基础实验相似的模型，区别在于控制输入模块。

## 2) 控制输入模块

控制输入模块内部如图 8.15 所示，避障算法的实现可以单击该模块查看完整代码。关键代码如表 8.4 第 4~7 行所示，对应式 (8.12) 和式 (8.7)，本质上这是一个局部期望位置的迭代过程。分析实验需要修改参数  $a_0$ 、 $k_1$  和  $k_2$ ，对应表 8.4 前三行代码。需要注意的是，在选取其中一个参数进行实验时，要保证另外两个参数不变并在一个合理的范围，以便尽可能分析出参数的改变对于算法的影响。

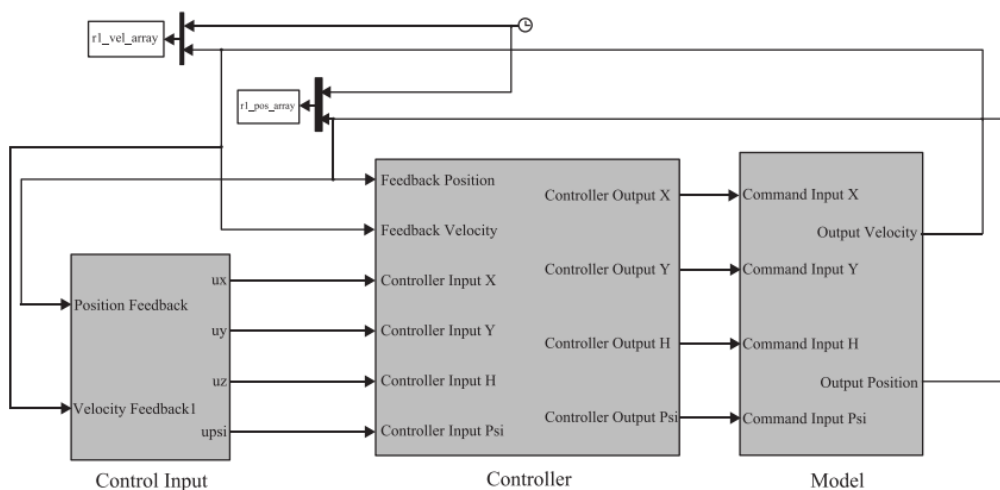


图 8.14 整体模型，Simulink 模型详见 “e5\e5.2\ sim1.0\ e5\_2\_Avoidance\_Segment.slx”

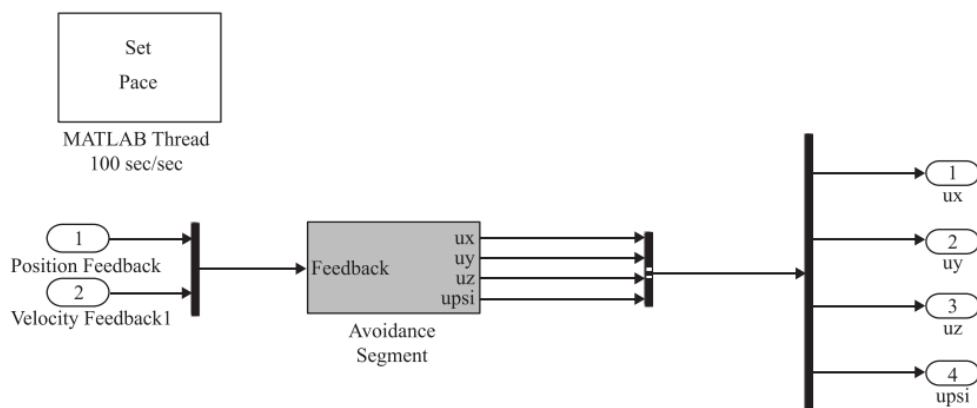


图 8.15 控制输入模块

表 8.4 期望位置生成关键代码及参数

```

1 a0=1;
2 k1=0.5;
3 k2=10;
4 a=k1; %参数
5 b=k2/((norm(ksi_0)-r_0)^2+0.000001)/(norm(ksi_0)+0.000001);
6 temp = satgd(-a*ksi_wp+b*ksi_0,a0);
7 P_d = P_feedback+ temp; %局部期望位置

```

### 3. 实验效果

通过示波器显示出仿真模型不同  $a_0$  值下水平通道位置响应曲线对比、不同  $a_0$  值下水平通道期望位置轨迹对比。

### 4. 文件目录

文件夹/文件名称	说明
Sim1.0	e5_2_Avoidance_code.m
	e5_plot.m
	e5_2_Avoidance_Segment_2017b.slx
	startSimulation.m
	SaveData.m
sim2.0	e5_2_TF_Avoidance_code.m
	e5_plot.m
	e5_2_TF_Avoidance_Segment_2017b.slx
	startSimulation.m
	SaveData.m
	e5_compare_plot.m

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 平台免费版		
3	MATLAB 2017B 及以上版本		

①：推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com>

6. 仿真 1.0(sim1.0)实验步骤

Step 1:

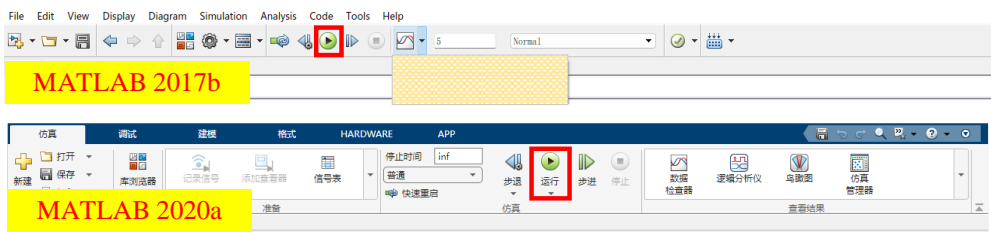
学习本书第 2 章的内容，对于 simulink 模型有一个初步的了解。

Step 2:

打开本章所附带文件夹中的“e5\5.2\sim1.0”文件夹，打开“e5\5.2\sim1.0\ startSimulation.m”文件，并单击“运行”按钮，初始化参数。

Step 3:

打开“e5\5.2\sim2.0\5\_2\_Avoidance\_Segment\_2017b.slx”模型文件，将看到多旋翼避障 Simulink 仿真平台，如图 8.8 所示。



Step 4:

打开图 8.16 的“X”模块，分别修改  $a_0$ 、 $k_1$  和  $k_2$  的值，进行仿真。

(1) 修改  $a_0$  的值

在调试后，选取参数  $k_1 = 0.5, k_2 = 10, a_0 = 0.6、0.8、1$  进行实验，仿真时长为 60s。在“Data Inspector”中，观察到水平前向通道位置响应曲线对比如图 8.17 所示，该图是由所有数据保存至工作区通过“e5\_plot\_a0\_time.m”文件绘制得到的。从图中可以看出，在保持其他两个参数不变的情况下，改变饱和上限  $a_0$  的值，多旋翼到达目标位置的速度越来越快。这说明饱和上限的作用是控制多旋翼的飞行速度，使之以一个合理的速度靠近轨迹，避免过大或者过小。打开并运行文件“e5\_plot\_a0\_2D.m”得到图 8.18，从图中可以看出，随着饱和上限的增大，多旋翼靠近目标位置的期望输入轨迹曲线愈加陡，甚至在出现一种类似“超调”的现象。这说明  $a_0$  值越大，多旋翼靠近轨迹的速度越快。

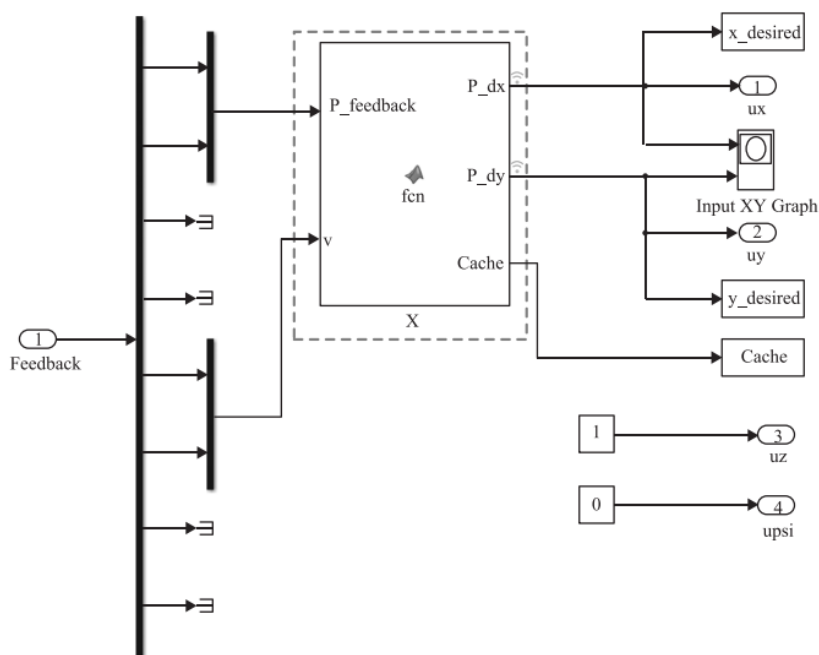


图 8.16 各通道控制输入

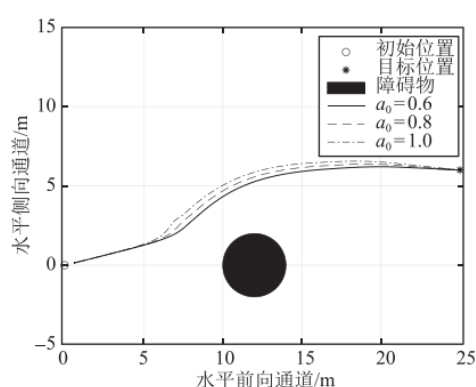
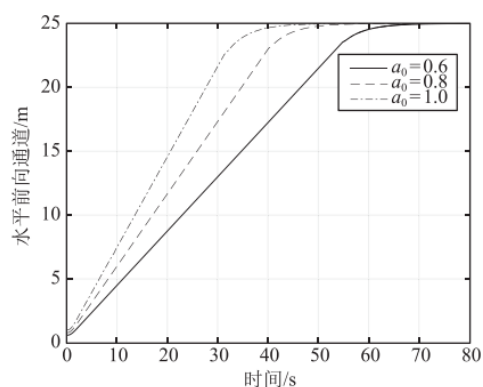


图 8.17 不同  $a_0$  值下水平通道位置响应曲线对比 图 8.18 不同  $a_0$  值下水平通道期望位置轨迹对比

## Step 5:

### (2) 修改 $k_1$ 的值

在调试后, 选取参数  $a_0 = 1, k_2 = 10, k_1 = 0.5、2.5、5$  进行实验, 仿真时长为 40s。在“Data Inspector”中, 观察到水平侧向通道位置响应曲线对比如图 8.19 所示, 该图是由所有数据保存至工作区通过“e5\_plot\_k1\_time.m”文件绘制得到的。从图中可以看出, 在保持其他两个参数不变的情况下, 增大参数  $k_1$  的值, 多旋翼更加靠近障碍物。打开

并运行文件“e5\_plot\_k1\_2D.m”得到不同  $k_1$  值下期位置轨迹对比图, 如图 8.20 所示。该图也说明了这个规律: 随着参数  $k_1$  值的增大, 多旋翼越晚开始避障, 避障过程越靠近障碍物。

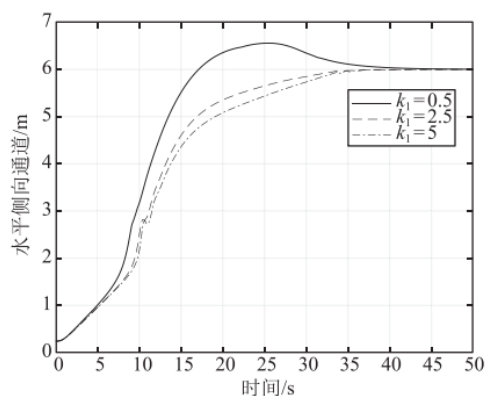


图 8.19 不同  $k_1$  值对应的水平侧向通道位置响应

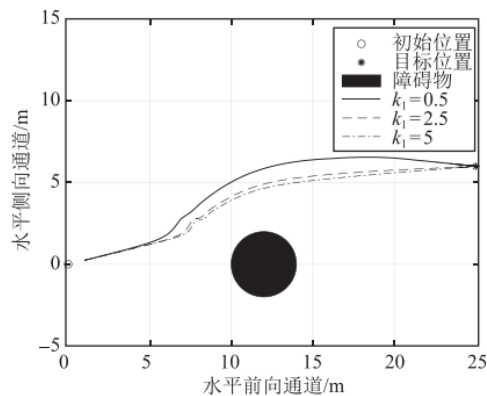


图 8.20 不同  $k_1$  值下水平通道期望位置轨迹对比曲线对比

## Step 6:

### (3) 修改 $k_2$ 的值

在调试后, 选取参数  $a_0 = 0.5, k_1 = 0.5, k_2 = 5、10、20$  进行实验, 仿真时长为 80s。在“Data Inspector”中, 观察到水平侧向通道位置响应曲线对比如图 8.21 所示, 该图是由所有数据保存至工作区通过“e5\_plot\_k2\_time.m”文件绘制得到的。从图中可以看出, 在保持其他两个参数不变的情况下, 增大参数  $k_2$  的值, 多旋翼更加远离障碍物。打开并运行文件“e5\_plot\_k2\_2D.m”得到不同  $k_2$  值下期位置轨迹对比图, 如图 8.22 所示。该图也说明了这个规律: 随着参数  $k_2$  值的增大, 多旋翼越早开始避障, 避障过程越远离障碍物。

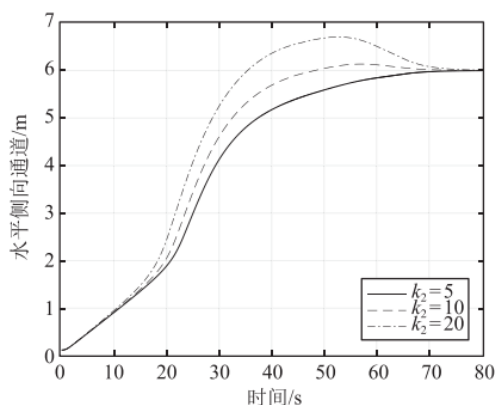


图 8.21 不同  $k_2$  值下水平侧向通道位置响应曲线对比

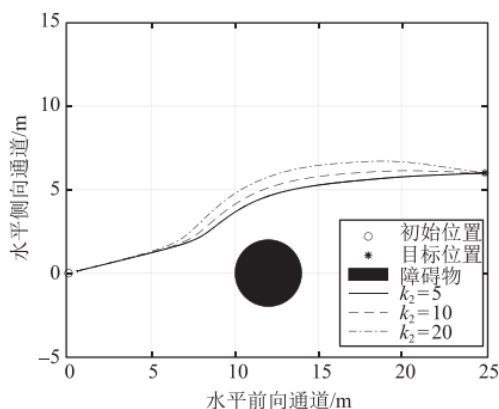


图 8.22 不同  $k_2$  值下水平通道期望位置轨迹对比曲线对比

#### (4) 小结

在对结果进行分析后可以得出结论。首先，在保持其他两个参数值不变的情况下，饱和上限  $a_0$  值越大，多旋翼靠近目标位置的速度会越来越快，但速度也不可能无限加快。因此，只是在一定的区间内存在类似正比的关系。其次，在保持其他两个参数值不变的情况下，参数  $k_1$  的值越大，多旋翼靠近障碍物的程度越“直接”，也就是说，多旋翼在避障过程中更加靠近障碍物；参数  $k_2$  的值越大，多旋翼远离障碍物的程度越“直接”，也就是说，多旋翼在避障过程更加远离障碍物。从理论上分析，参数  $k_1$  是  $(\mathbf{p} - \mathbf{p}_d)$  的系数，该值越大，多旋翼就会越期望靠近目标位置；参数  $k_2$  是  $(\mathbf{p} - \mathbf{p}_o)$  的系数，该值越大，多旋翼就会越期望远离障碍物。进一步，当比值  $k_1/k_2$  越大时，多旋翼更期望以优先靠近障碍物的方式靠近目标位置；反之，当比值  $k_1/k_2$  越小时，多旋翼更期望以优先远离障碍物的方式靠近目标位置。

## 7. 仿真 2.0(sim2.0)实验步骤

接下来，我们将进行仿真 1.0 和仿真 2.0 的对比。对于在传递函数模型中已经完成的实验过程，在这里需要进一步在非线性模型上进行验证。

### Step 1:

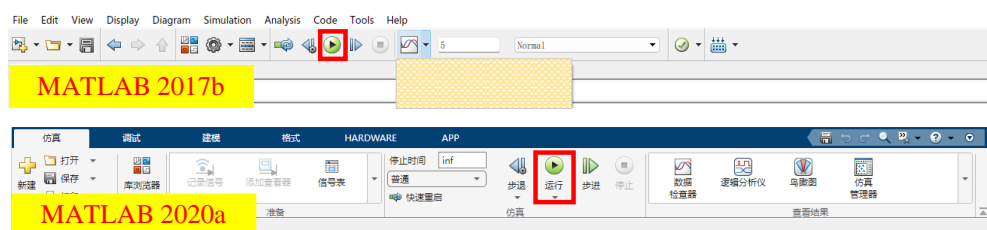
打开命名为“e5\e5.2\sim2.0”的文件夹，其中的文件与上面的“e5\e5.2\sim1.0”文件夹相同，而区别在于文件“e5\e5.2\sim2.0”中的模型为非线性模型。

### Step 2:

打开本章所附带文件夹中的“e5\e5.2\sim2.0”文件夹，打开“e5\e5.2\sim2.0\ e5\_2\_TF\_Avoidance\_code.m”文件以及“e5\e5.2\sim2.0\startSimulation.m”文件，并单击“运行”按钮，初始化参数。

### Step 3:

打开“e5\e5.2\sim2.0\ e5\_2\_TF\_Avoidance\_Segment\_2017b.slx”模型文件，将看到多旋翼避障控制器 Simulink 仿真平台，如图 8.7 所示。



### Step 4:

打开“e5\e5.2\sim2.0\ e5\_compare\_plot.m”文件，并单击“运行”按钮，开始画图。

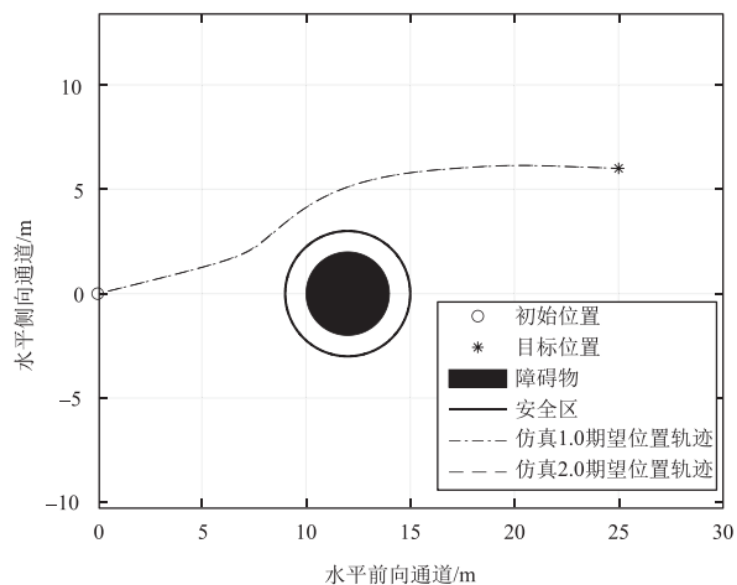


图 8.23 不同模型期望位置轨迹对比

## 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: \*\*\*\*