

路径规划与轨迹跟踪实验

1. 实验目的

1. 掌握复杂环境下的路径规划方法，特别是人工势场法
2. 实现路径搜索算法，并与轨迹生成相结合
3. 结合B样条生成满足无人机约束的平滑飞行轨迹
4. 进行完整系统仿真验证，实现精确的轨迹跟踪

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；MATLAB R2022b及以上版本；
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台^[1]。

3. 实验地址

例程目录：

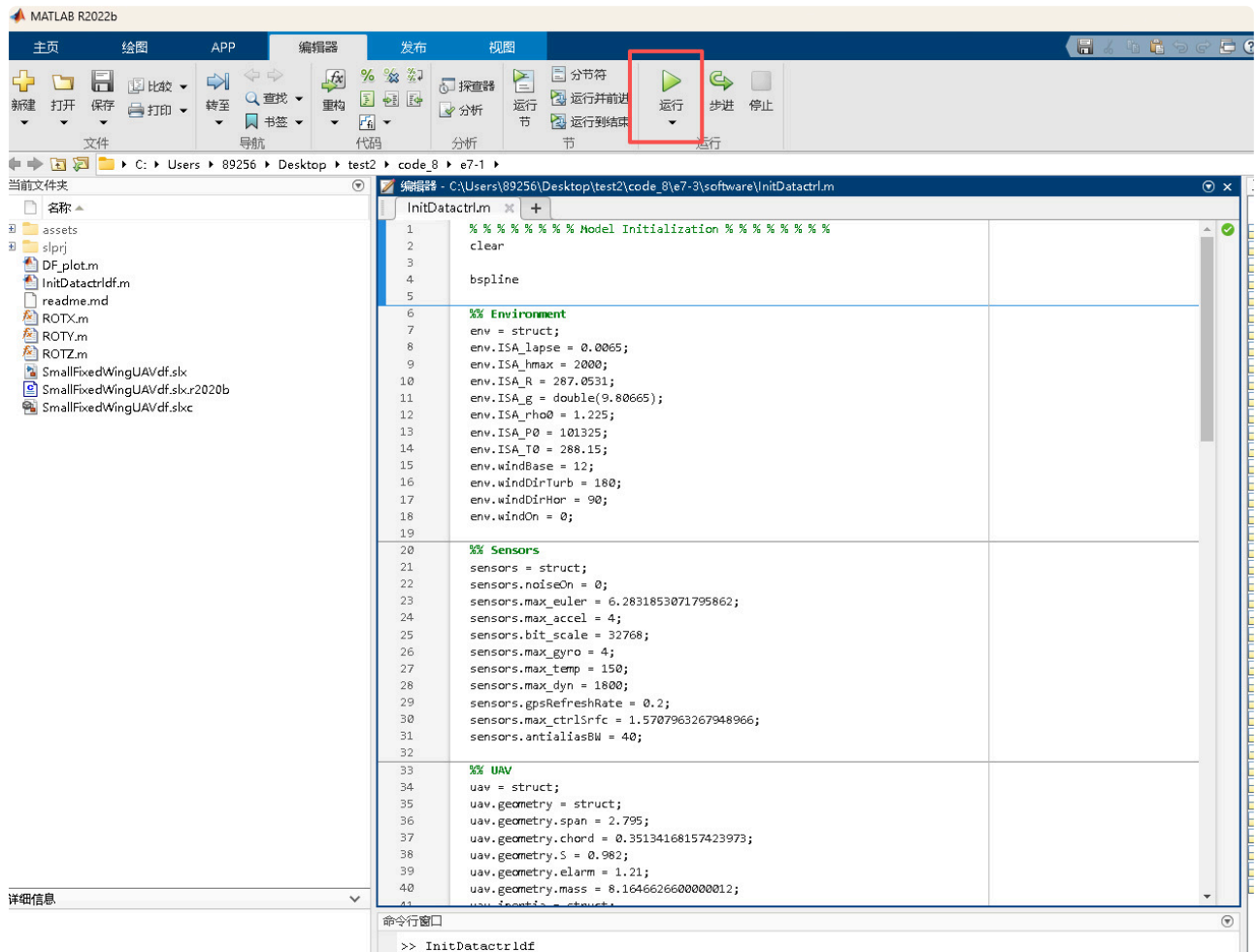
[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code_8\e6-3](#)

- point mass文件夹：包含点质量模型相关的仿真文件
- software/SmallFixedWingUAVdf.slx：轨迹规划与微分平坦控制Simulink模型
- [software/InitDatactrl.m](#)：模型及控制参数初始化程序
- [software/DF_plot.m](#)：仿真结果绘制程序
- [software/bspline.m](#)：B样条轨迹生成函数
- [software/path_search.m](#)：路径搜索设定
- [software/APF.m](#)：人工势场搜索函数
- [software/iter_first.m](#)：调用人工势场搜索函数
- [software/ROTX.m](#), [ROTY.m](#), [ROTZ.m](#)：旋转矩阵函数

4. 实验内容或步骤

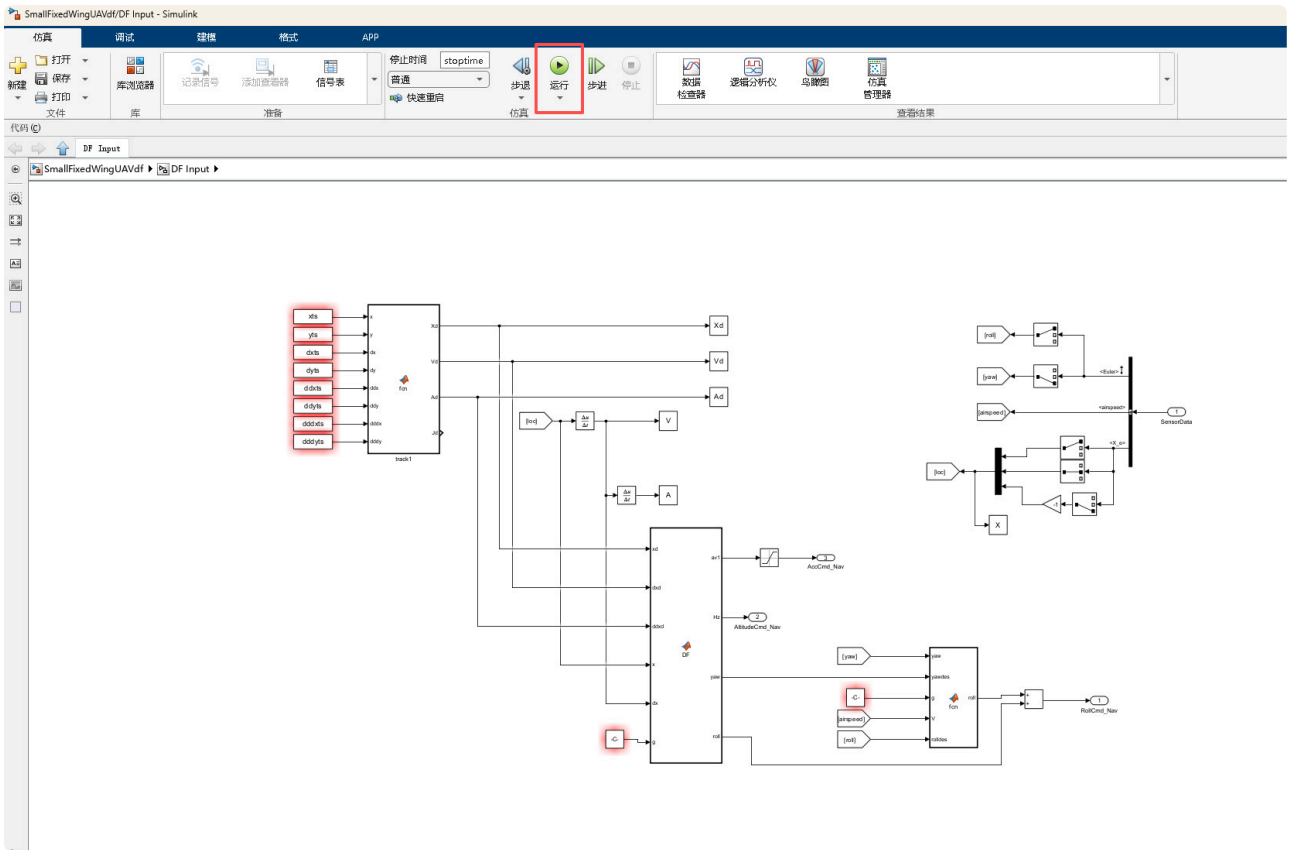
4.1 系统初始化

在文件夹e6-3/software中，找到并运行InitDatactrl.m进行初始化，包括参数初始化、路径搜索和B样条轨迹规划。



4.2 仿真运行

在文件夹e6-3/software中，打开SmallFixedWingUAVdf.slx并运行仿真。



4.3 结果可视化

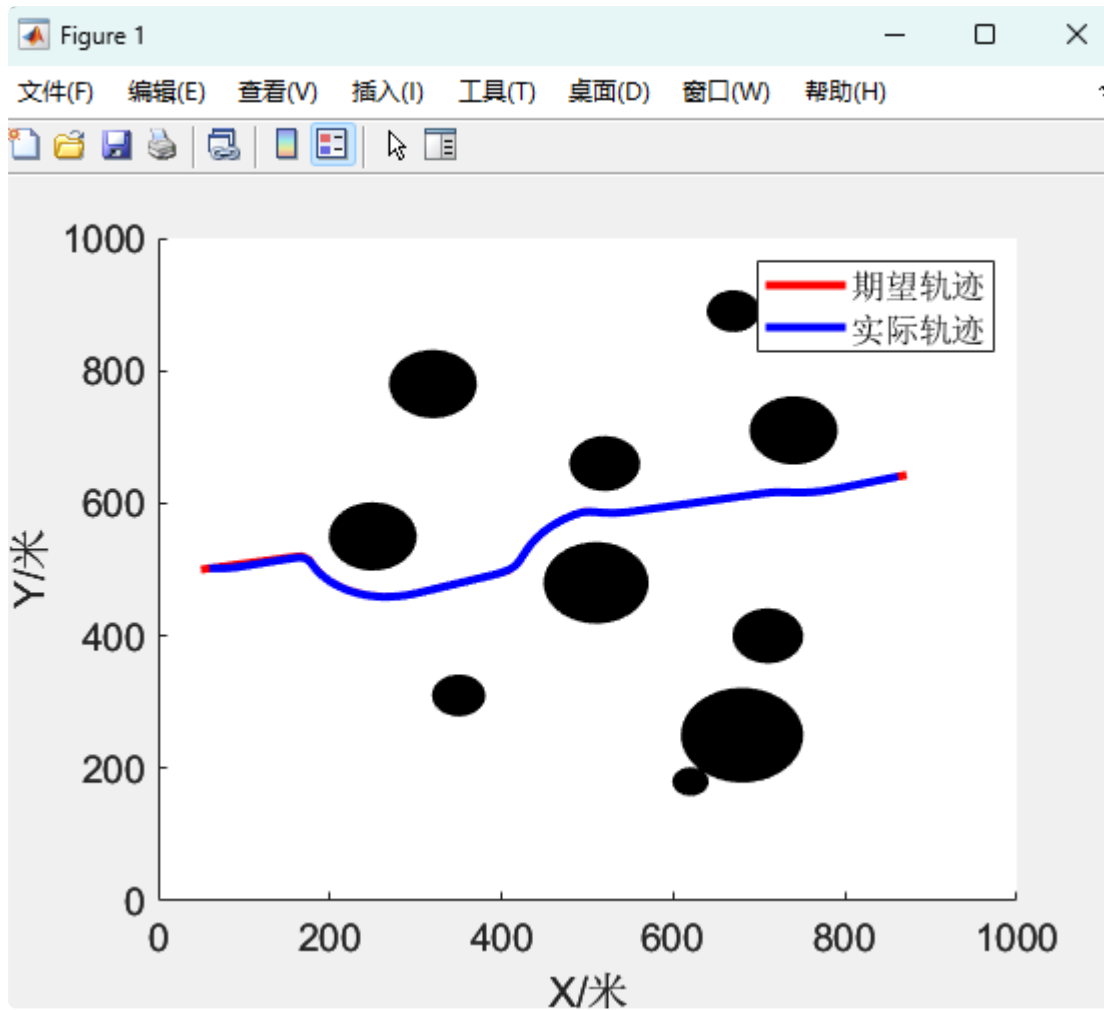
在文件夹e6-3/software中，找到并运行DF_plot.m进行仿真结果可视化。

```

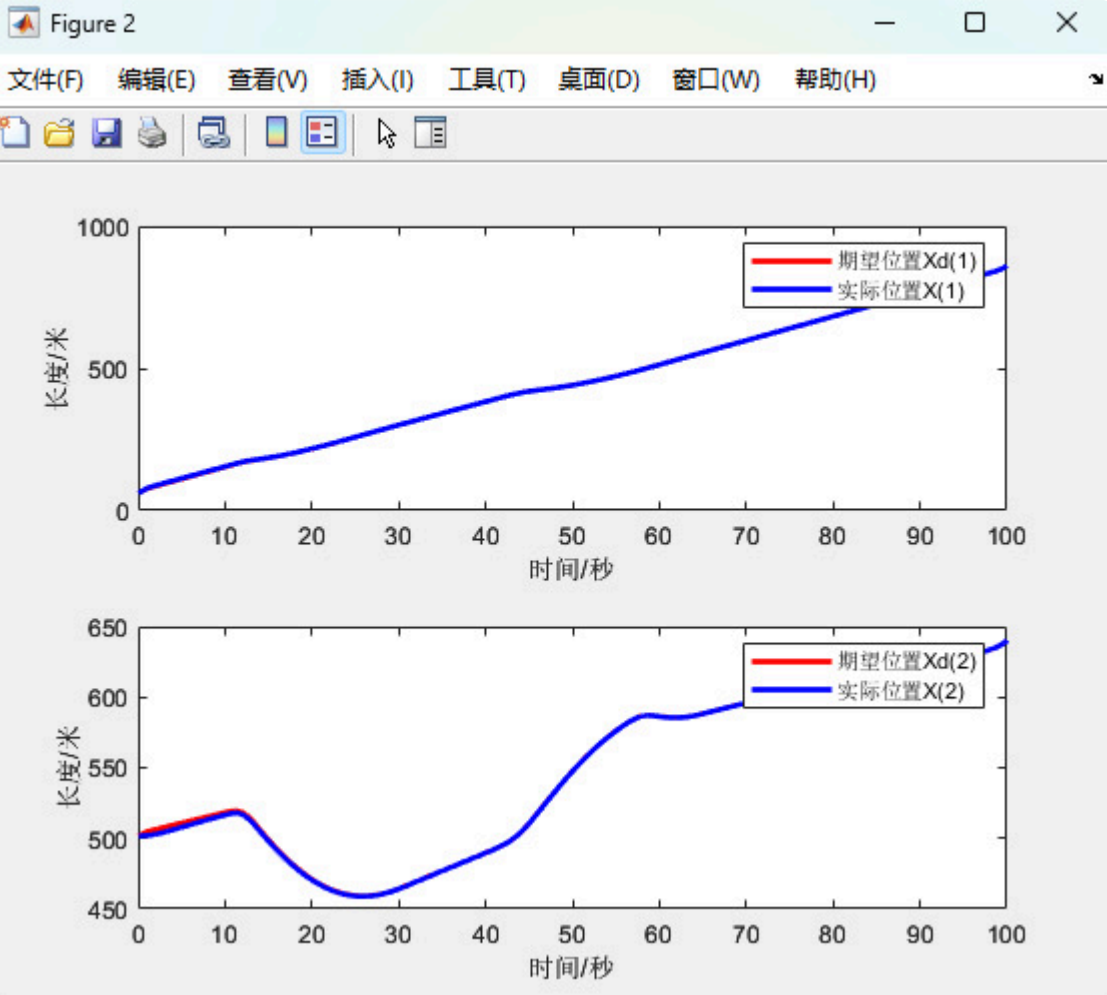
1  figure(1)
2  cla;
3  hold on
4  for i = 1: size(obs, 1)
5      rectangle('Position', [obs(i,1)-obs(i,3), -obs(i,2)-obs(i,3), obs(i,3)] * 2, obs(i,3) * 2), 'Curvature', [1 1],
6  end
7  plot(xd, -yd, '--', LineWidth=2, Color='k')
8  plot(X(:,1), X(:,2), LineWidth=2, Color='k')
9  legend("期望轨迹", "实际轨迹")
10 xlabel("x/米")
11 ylabel("y/米")
12 set(gca, "FontSize", 14)
13
14 w1 = 1.5;
15 w2 = 1.5;
16 figure(2)
17 len = size(Xd,1);
18 t = stoptime/len:stoptime/len:stoptime;
19
20 subplot(211)
21 plot(t, Xd(:,1), LineWidth=w1, Color='k', LineStyle='--')
22 hold on
23 plot(t, X(:,1), LineWidth=w2, Color='k')
24 legend("期望位置(North)", "实际位置(North)")
25 xlabel("时间/秒")
26 ylabel("长度/米")
27
28 subplot(212)
29 plot(t, Xd(:,2), LineWidth=w1, Color='k', LineStyle='--')
30 hold on
31 plot(t, X(:,2), LineWidth=w2, Color='k')
32 legend("期望位置(East)", "实际位置(East)")
33 xlabel("时间/秒")
34 ylabel("长度/米")
35
36
37 figure(3)

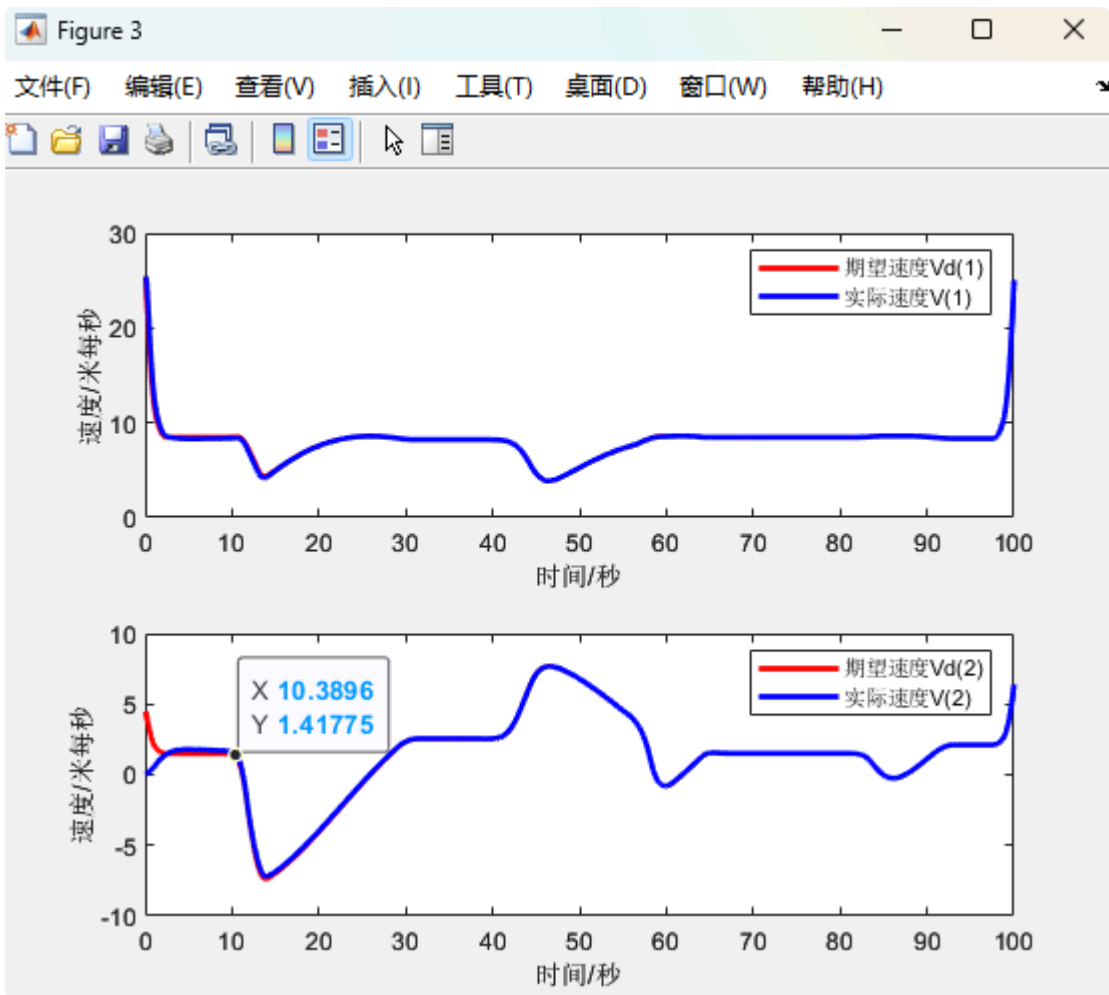
```

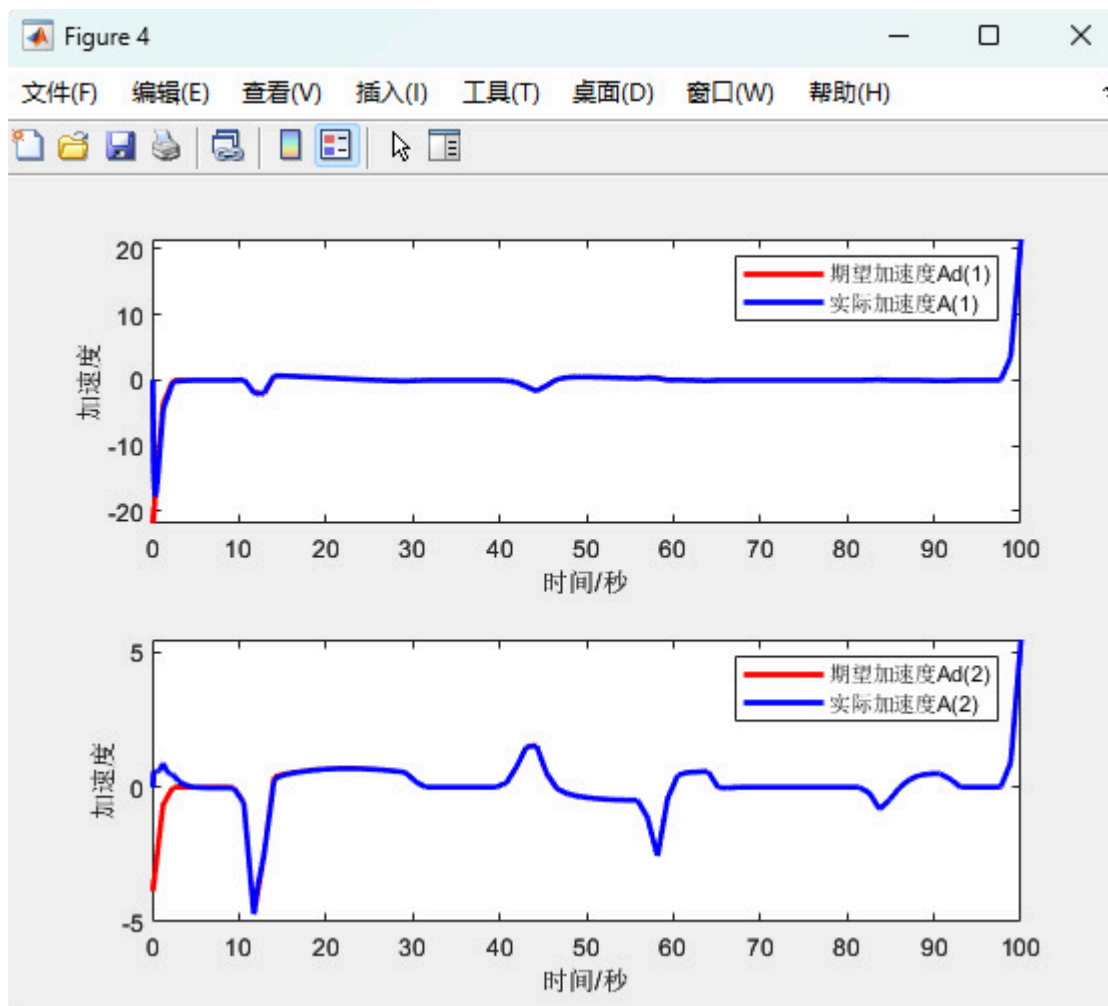
实际曲线与跟踪的期望曲线的对比如图所示。



位置曲线、速度曲线、加速度曲线的跟踪效果分别如图所示。







根据实际曲线与跟踪的期望曲线的对比可以看出，微分平坦控制实现了对期望轨迹的跟踪，对速度和加速度的跟踪，由于期望曲线存在较大的变化，因此跟踪存在一定误差。

基于上述过程，微小型固定翼无人机可以实现更具机动性的飞行动作和时变轨迹的高精度跟踪。

5. 关键知识点

关键知识点1：人工势场法路径规划实现

在 [APF.m](#) 中实现人工势场法路径规划算法。算法核心是计算每个点的合力，包括目标点的引力和障碍物的斥力。

```

1  function [result, obs] = APF(start, target, obs, step, countMax, kAttr, kRep, kObs)
2      result = zeros(countMax, 2);
3      count = 1;
4      rob = start;
5      while norm(rob - target) > 0.2 && count < countMax
6          count = count + 1;
7          % 计算引力
8          Fattr = AttractiveForce(target, rob, kAttr);
9          % 计算斥力
10         Frep = [0, 0];
11         for i = 1 : size(obs, 1)
12             Frep = Frep + RepulsiveForce(obs(i, 1:2), rob, kRep, obs(i, 3) * kObs);
13         end
14         % 计算合力
15         F = Fattr + Frep;
16         % 机器人移动
17         result(count, :) = rob;
18         move = step * F / norm(F);
19         rob = rob + move;
20     end
21     result = result(1:count, :);
22 end

```

关键知识点2：路径到轨迹的转换

在 `bspline.m` 中实现路径到轨迹的转换，使用B样条插值生成平滑轨迹。

```

1 path_search
2 ctrlpoints=[xd';yd'];
3 % n+1=10
4 n = size(ctrlpoints,2)-1;
5 pp = 3;
6 m = 1+pp+n;
7 stoptime = 100;
8 t1 = zeros([1,pp+1]);
9 t3 = stoptime*ones([1,pp+1]);
10 t2 = linspace(0,stoptime,m+1-2*pp-2);
11 knots=[t1, t2, t3];
12 % m+1=14 m=p+n+1 p =3 up ~ un-p
13 p = spmak(knots,ctrlpoints);%生成B样条函数
14 t = linspace(knots(pp+1),knots(m-pp+1),10000);
15 dp = fnder(p);
16 ddp = fnder(dp);
17 dddp = fnder(ddp);
18 Xd = fnval(p, t);
19 Vd = fnval(dp, t);
20 Ad = fnval(ddp, t);
21 Jd = fnval(dddp, t);
22 xt = Xd(1,:);
23 yt = Xd(2,:);
24 dxt = Vd(1,:);
25 dyt = Vd(2,:);
26 ddxxt = Ad(1,:);
27 ddyt = Ad(2,:);
28 dddxt = Jd(1,:);
29 dddyts = Jd(2,:);
30 % plot(xt,yt,LineWidth=3,Color='r')
31 xts = timeseries(xt,t);
32 yts = timeseries(yt,t);
33 dxts = timeseries(dxt,t);
34 dyts = timeseries(dyt,t);
35 ddxts = timeseries(ddxt,t);
36 ddyts = timeseries(ddyt,t);
37 dddxts = timeseries(dddxt,t);
38 dddyts = timeseries(dddyts,t);
39 stoptime = knots(m-pp+1);

```

更多详细实验原理可见：全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微型固定翼无人机飞行控制设计与实践. 北京, 2025

6. 参考资料

1. RflySim官方文档
2. PX4飞控固件官方文档: <https://docs.px4.io/>

3. 飞思实验室官网: <http://www.feisilab.com/>

4. 全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦. 微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践. 北京, 2025.

7. 常见问题

Q1: 人工势场法出现局部极小点怎么办?

A1: 局部极小点是人工势场法的固有缺陷。可以采用改进的势场法，如引入随机扰动或使用其他路径规划算法（如A*算法）作为全局规划器。

Q2: 轨迹跟踪误差较大怎么办?

A2: 可以检查路径规划生成的路径是否过于复杂，超出了无人机的机动能力。也可以调整控制器参数，优化控制效果。

1. 推荐配置请见: <https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf> ↩