

固定翼无人机路径规划实验

1. 实验目的

1. 掌握Dubins路径规划算法的原理与实现方法
2. 学会处理包含障碍物规避和直线隧道约束的路径规划问题
3. 通过MATLAB编程实现复杂环境下的路径规划算法

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链^[1]；MATLAB R2022b及以上。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台^[2]。

3. 实验地址

例程目录：

[安装目录]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code_7\e5-2

- `path_plan.m`：路径规划主程序
- `evaluate.m`：路径评估程序
- `set_path_to_aircraft.m`：设置路径信息程序
- `path_plan_func`：包含路径规划核心算法函数

4. 实验内容或步骤

4.1 配置路径规划参数

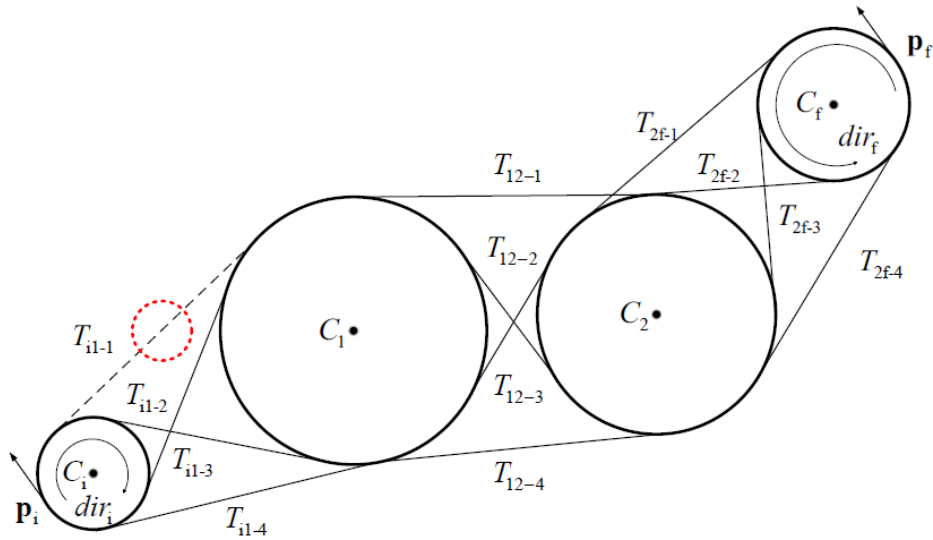
在e5-2文件夹中，双击打开"`path_plan.m`"文件，该文件可设置规划算法输出数据，包括出发点、终点、障碍物以及隧道等信息；其中"`tunnel`"表示隧道起始横坐标、隧道起始纵坐

标、隧道方向、隧道长度，"diri_tunnel"与"dirf_tunnel"分别表示了进出隧道的转弯方向。

```
path_plan.m x +
2   clc
3   close all
4
5   addpath('./path_plan_func')
6
7
8   rmin=30;%最小转弯半径
9
10  %出发点
11  xi=0;
12  yi=0;
13  alpha=pi/6;
14  ri=rmin;
15  diri=1;%大于0表示逆时针旋转，否则为顺时针旋转。
16
17  %终止点
18  xf=600;
19  yf=600;
20  beta=0;
21  rf=rmin;
22  dirf=-1;
23
24  %障碍物
25  obs_in=[
26      400 100 70;
27      50 80 30;
28      150 120 40;
29      350 300 60;
30      490 440 60;
31      100 400 70
32  ];
33
34  %隧道
35  tunnel=[250 200 0 40];
36  diri_tunnel=-1;
37  dirf_tunnel=1;
38
39  if(~isempty(tunnel))
40      [XTU,YTU]=myline(tunnel(1),tunnel(2),tunnel(3),tunnel(4));
41      [U1, D1, X1, Y1]=dubins_path(xi, yi, alpha, rf, XTU(1), YTU(1), tunnel(3), rmin, dirf, diri_tunnel, obs_in, tunnel);
```

4.2 分析多个中间圆的Dubins路径规划算法

首先定义中间圆的概念，从障碍圆中随机取若干个圆，作为中间圆，则中间圆的定义如下图所示：



- 1) 飞行器从出发点出发，必须依次绕过中间圆。
- 2) 从切线方向进入中间圆的边缘，沿边缘绕行一定距离，最终沿另一切线方向离开中间圆。
- 3) 在出发点和终止点的位置给定情况下，经过中间圆的Dubins 路径规划伪代码如下：

Algorithm 5-1 经过中间圆的避障 Dubins 路径规划算法

输入：出发点 p_i 、速度方向角 α 、转弯半径 r_i 、转弯方向 dir_i 、终点位置 p_f 、速度方向角 β 、转弯半径 r_f 、转弯方向 dir_f 、中间圆集合 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$

输出：所有可能路径集合 $PATH_P$

- 1: 确定起始圆 C_i 和终止圆 C_f
- 2: 确定 C_i 与 C_1 ， C_1 与 C_2 ， \dots ， C_n 与 C_f 之间的切线，并排除障碍物
- 3: 从无障碍切线中，依次选出一条切线，构成从起始点到终止点的一条可能路径所要经过的切线组合。
- 4: 记录上述所有的切线组合，并记为 $path$ ， m 记为集合 $path$ 中切线组合的数量

```

5: for  $i = 1 \rightarrow m$  do
6:   if  $path$  内的切线符合前后圆弧旋转方向匹配要求 then
7:     if  $path$  内任意相邻两切线之间都符合前后连接关系 then
8:       该切线组合  $path\_P$  是一条可行路径
9:     end if
10:  end if
11: end for
12: 记录上述所有的可行路径  $path\_P$  则得到了所有可能路径集合  $PATH\_P$ 

```

4.3 分析直线隧道的Dubins路径规划算法

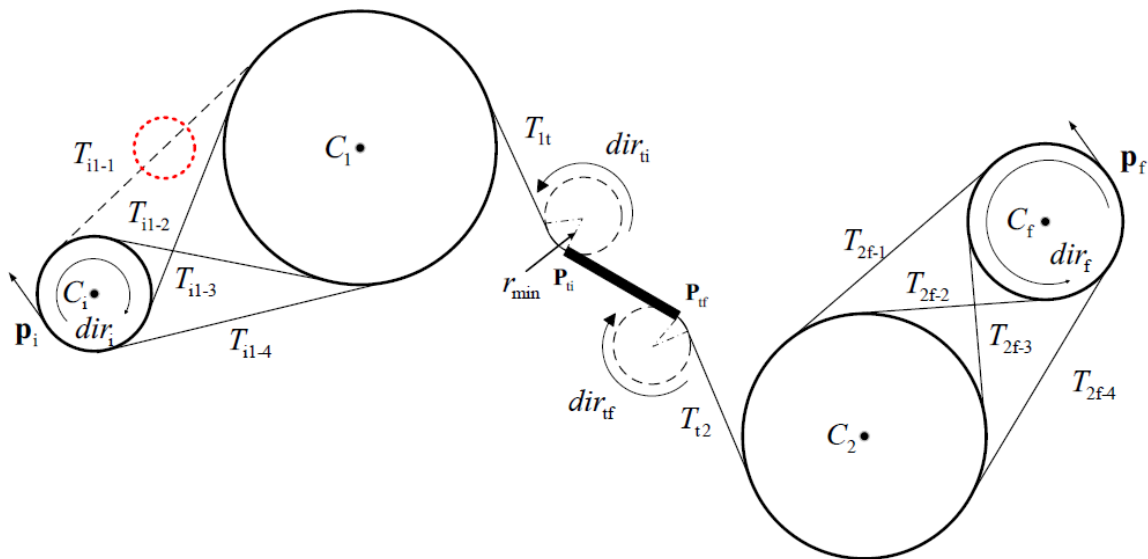
假设隧道起点为 P_{ti} ，终点为 P_{tf} ，从起点到终点的方向角为 θ 。可以将路径分为三段进行规划：

- 1) 第一段的起始点 P_i 、速度方向角 α 、转弯半径 r_i 、转弯方向 dir_i 、终止点 P_{ti} 、速度方向

角 θ ,转弯半径为飞行器的最小转弯半径 r_{min} ,转弯方向 dir_{ti} 。

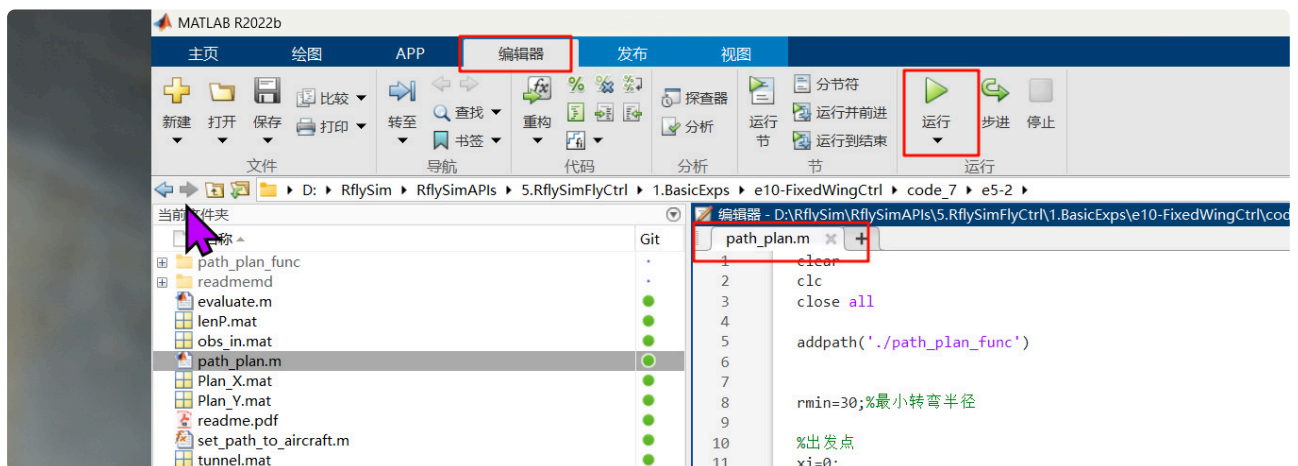
2) 从 P_{ti} 到 P_{tf} 的直线路径。

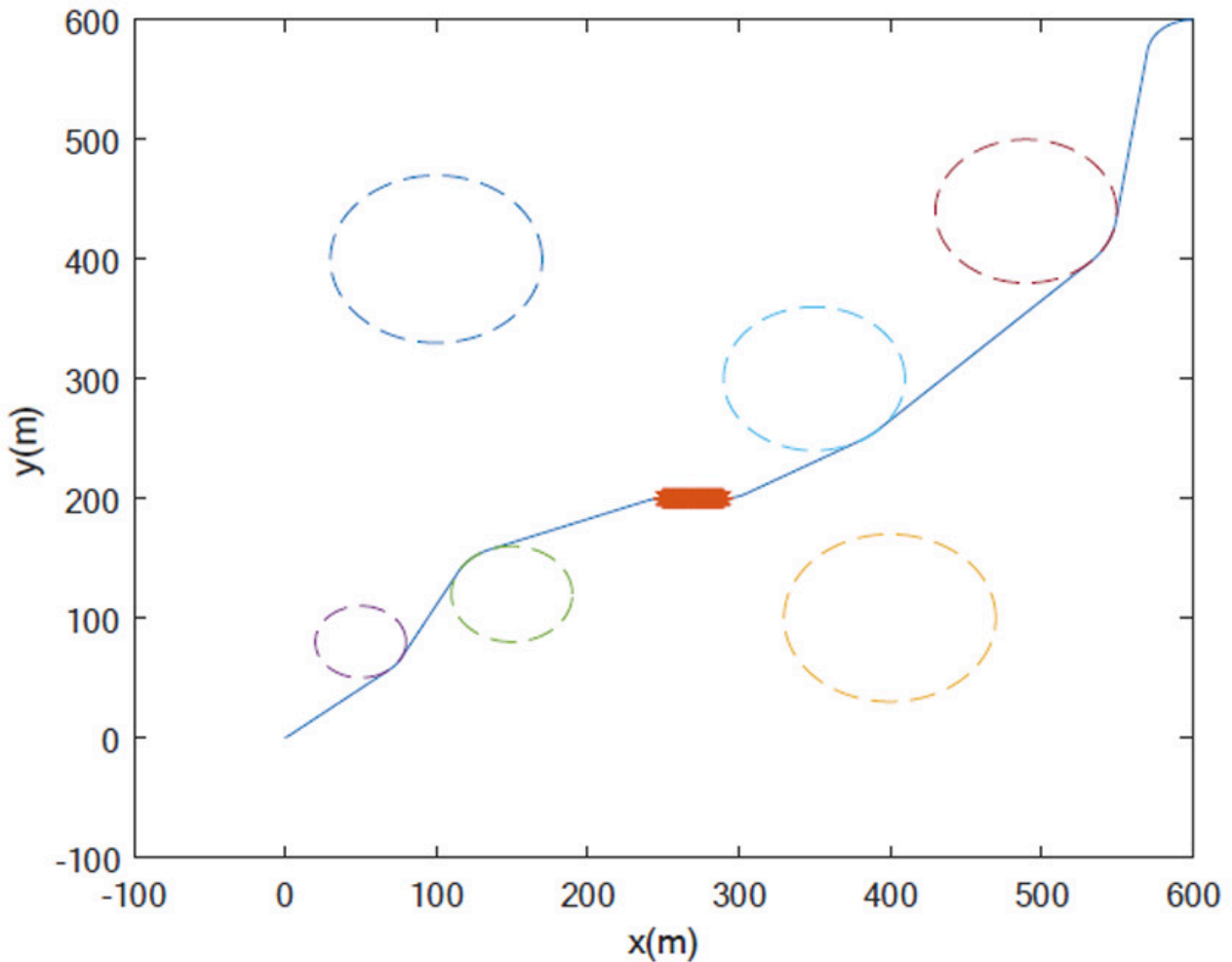
3) 第二段的起始点 P_{tf} 、速度方向角 θ ,转弯半径为飞行器的最小转弯半径 r_{min} ，转弯方向 dir_{tf} 、终止点 P_{tf} 、速度方向角 β ,转弯半径 r_f ，转弯方向 dir_f 。



4.4 验证路径图

运行主程序" path_plan.m "，得到路径图和航线信息向量，如图所示。





5. 关键知识点

关键知识点1：Dubins路径规划算法

Dubins路径规划算法能够生成满足最小转弯半径约束的最短路径（具体分析见实验步骤4.2），包括以下情况：

1. **经过多个中间圆的路径规划**：将障碍物建模为圆区域，规划必须绕过这些圆的路径；
2. **经过直线隧道的路径规划**：处理特殊路径约束，如必须经过某条直线段算法通过切线计算、路径组合和冲突检测等步骤，最终选择最优路径；

关键知识点2：障碍物规避路径规划实现

在实际应用中，无人机需要规避障碍物（具体分析见实验步骤4.2）。本实验通过以下方法实现障碍物规避：

1. 将障碍物建模为圆形区域；
2. 在路径规划过程中检查候选路径是否与障碍物相交；

3. 剔除与障碍物相交的路径；
4. 在剩余路径中选择最优路径；

关键知识点3：直线隧道约束路径规划实现

在某些特殊任务中，无人机需要经过特定的直线隧道（具体分析见实验步骤4.3）。本实验通过以下方法处理这种约束：

1. 将隧道建模为直线段；
2. 将路径规划问题分解为三部分：起点到隧道入口、隧道段、隧道出口到终点；
3. 分别规划各段路径；
4. 组合各段路径形成完整路径；

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.微小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](#)
3. 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：路径规划结果不正确或无法生成路径？

A1：检查输入参数设置是否正确，特别是起点、终点、障碍物和隧道参数。确保参数在合理范围内，避免参数冲突。

Q2：生成的路径与预期不符？

A2：调整算法参数，如最小转弯半径等。检查障碍物建模是否正确，确保障碍物位置和半径设置合理。

1. <https://rflysim.com/> ↩

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