

微小型固定翼无人机飞行控制 设计与实践

第7章 路径跟随与规划实验

全 权

qq_buaa@buaa.edu.cn

自动化科学与电气工程学院



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY



可靠飞行控制研究组

RELIABLE FLIGHT CONTROL GROUP

ni 北京航空航天大学·编辑组·无人机教师组·RflySim编写

微小型固定翼无人机
飞行控制设计与实践

全权 主编
高文海 刘国清 陈嘉泉 副主编
吕书礼 徐琳 李俊 编



FIXED-WING UNMANNED
AERIAL VEHICLE

中国工业出版社 电子工业出版社

大纲



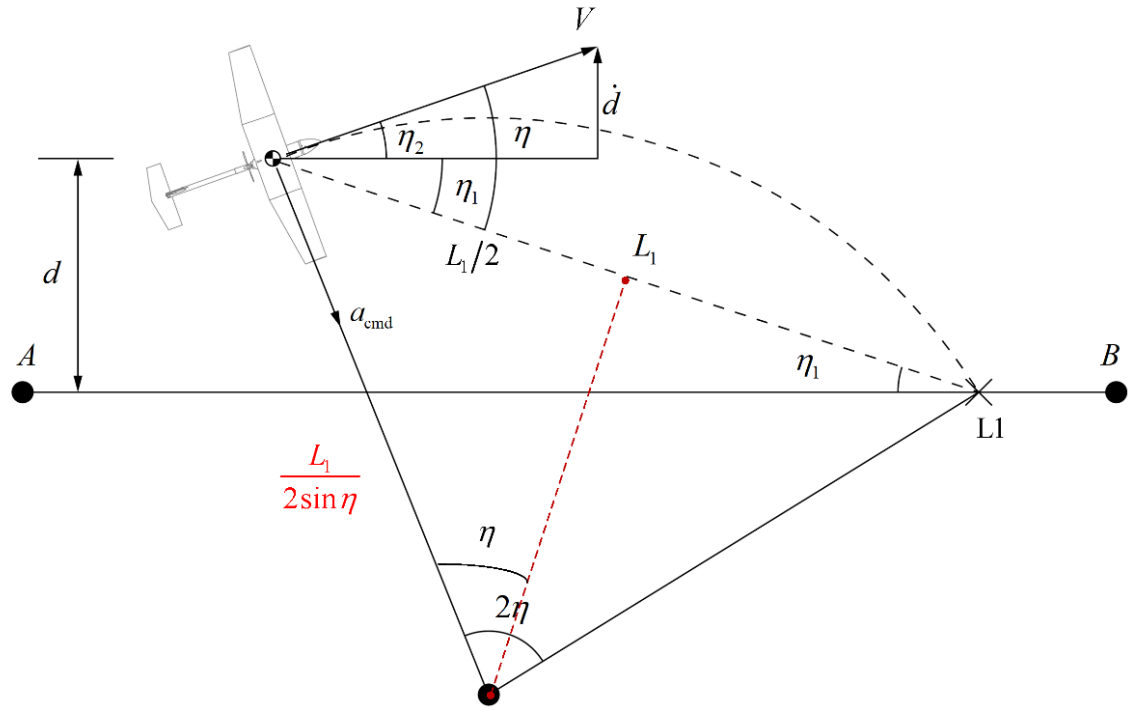
1. 实验原理

2. 基础实验

3. 分析实验

4. 设计实验

路径跟随算法——L1直线路径跟随



AB 为期望跟随的直线路径，根据向心加速度计算公式可得

$$a_{\text{cmd}} = 2 \frac{V^2}{L_1} \sin \eta$$

在小角度假设之下，加速度控制量可以进一步表示为

$$a_{\text{cmd}} = 2 \frac{V^2}{L_1} \sin(\eta_1 + \eta_2) \approx 2 \frac{V}{L_1} (d + \frac{V}{L_1} d)$$

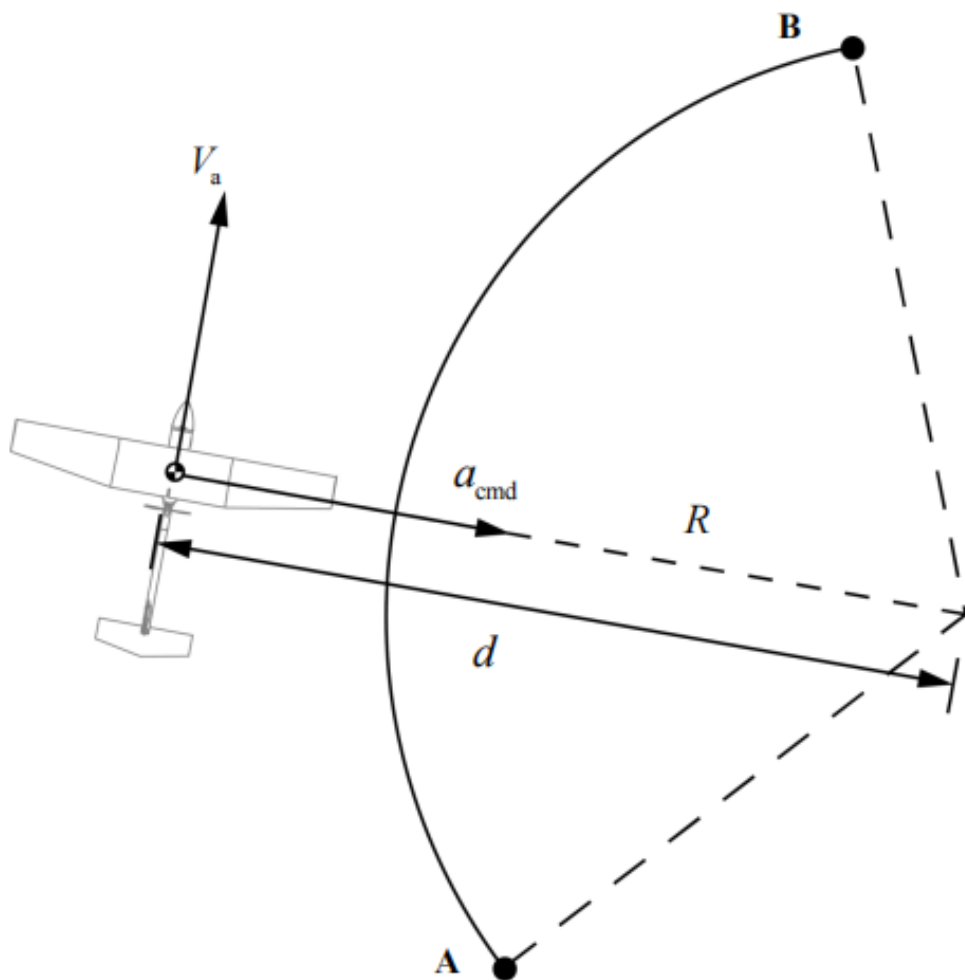
可以等价于如下的二阶系统

$$\ddot{d} + 2\xi\omega_n\dot{d} + \omega_n^2 d = 0$$

为了动态的配置该二阶系统的频率和阻尼，自动驾驶仪设计 L_1 为如下形式，进一步可得到系统的自然频率

$$L_1 = L_{1,P} \frac{L_{1,D} V}{\pi} \quad \omega_n = \frac{\sqrt{2}V}{L_{1,P} L_{1,D} \frac{V}{\pi}} = \frac{\sqrt{2}\pi}{L_{1,P} L_{1,D}}$$

路径跟随算法——偏距圆弧路径跟随



AB 为期望跟随的圆弧路径，将距离 d 与半径 R 之差 $e_d = d - R$ (侧偏距) 作为误差项引入比例控制，同时考虑圆周运动向心力的作用，那么

$$a_{\text{cmd}} = K_p e_d + \frac{V^2}{R}$$

实际中，如果只引入比例项，其 e_d 会呈现振荡。为消除该振荡的误差进而引入误差的微分项，即

$$a_{\text{cmd}} = K_p e_d + K_d \dot{e}_d + \frac{V^2}{R}$$

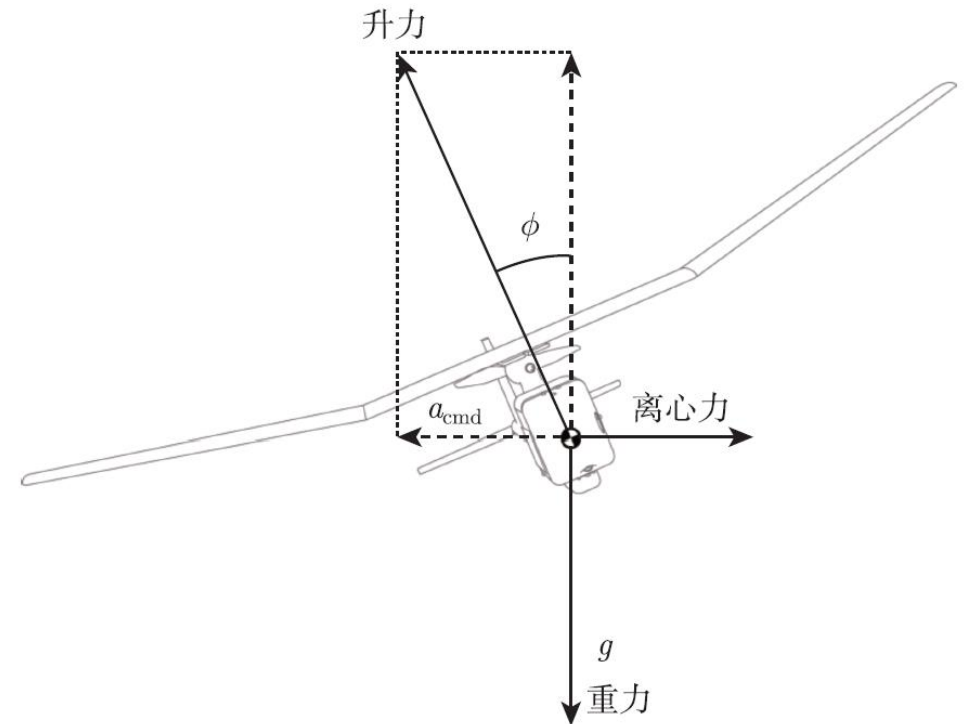
路径跟随指令与固定翼底层飞控模型的关联

为了与第六章底层飞行控制章节提供的模型关联起来，需要将期望加速度指令转化为期望的滚转角指令。微小型固定翼无人机在进行路径跟随时满足协调转弯条件，因此可得期望滚转角与期望加速度之间的关系为

$$\phi_d = \arctan\left(\frac{a_{\text{cmd}}}{g}\right)$$

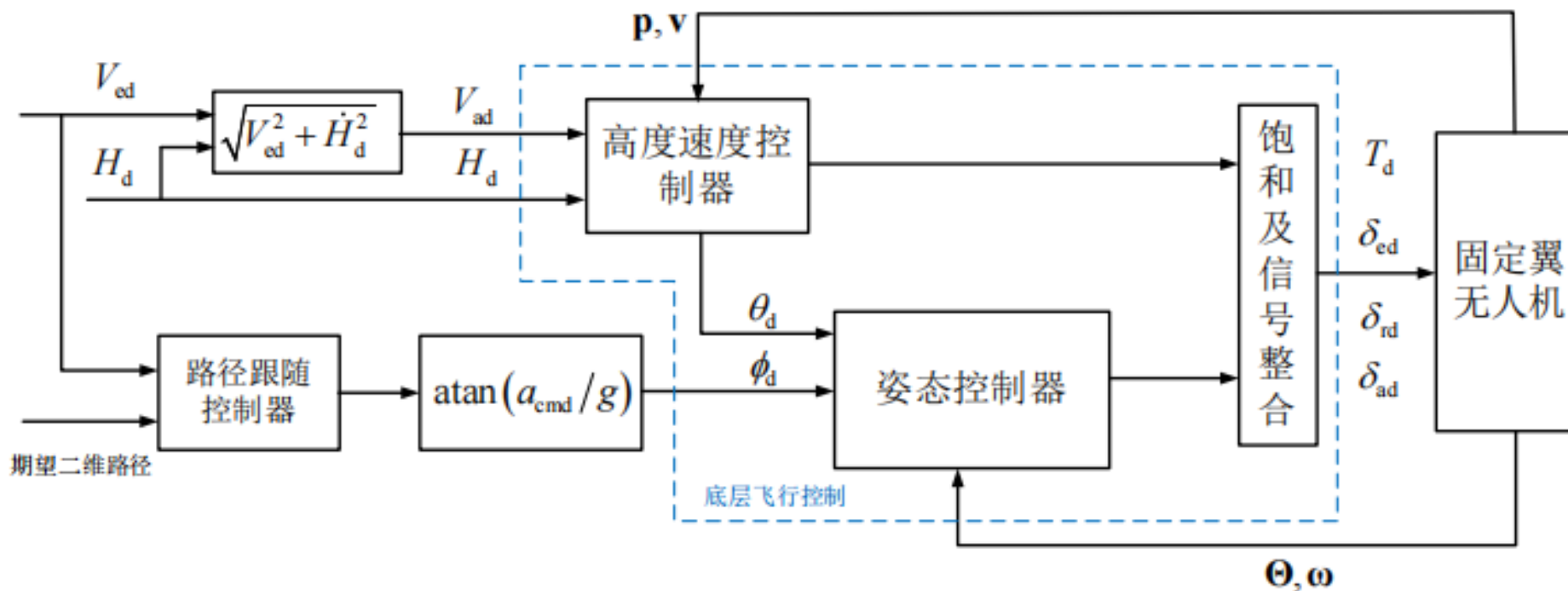
可知期望偏航角变化率和期望滚转角之间的关系为

$$\dot{\psi}_d = \frac{g}{V_a} \tan \phi_d$$



路径跟随指令与固定翼底层飞控模型的关联

将期望滚转角和期望偏航角速率输入到姿态控制器就可以实现路径跟随效果。路径跟随控制与底层飞行控制之间的关系如下所示。



Dubins 曲线是在满足曲率约束和规定的始端和末端切向方向的条件下，连接两个二维平面的最短路径，并假设飞行器只能向前行进。共可见Dubins曲线分为四种情况：

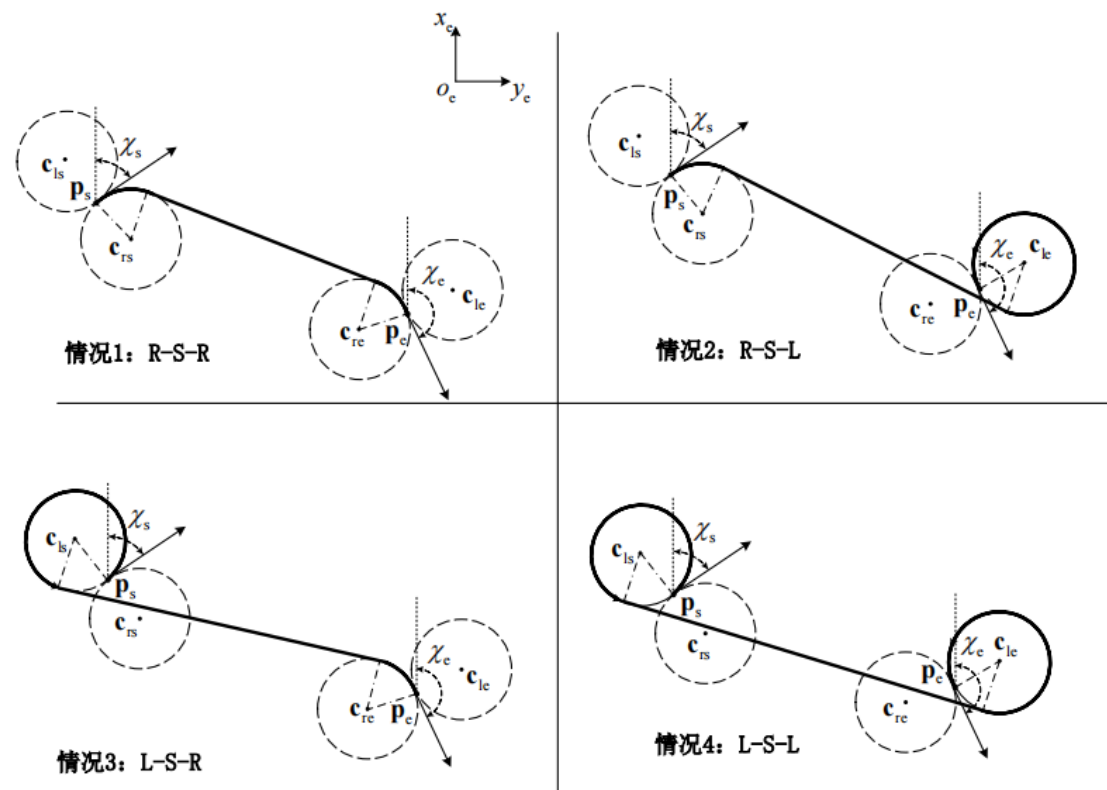
R-S-R：右旋弧加上直线再加上另一段右旋弧。

R-S-L：右旋弧加上之间再加上另一段左旋弧。

L-S-R：左旋弧加上直线再加上另一段右旋弧。

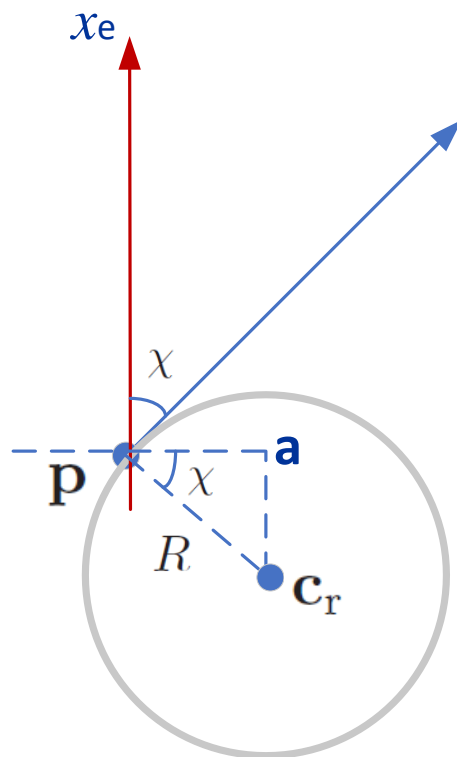
L-S-L：左旋弧加上直线再加上另一段左旋弧。

Dubins 路径定义为上述四种情况中的最短路径。路径规划即将起点与终点通过多段Dubins曲线连接起来。



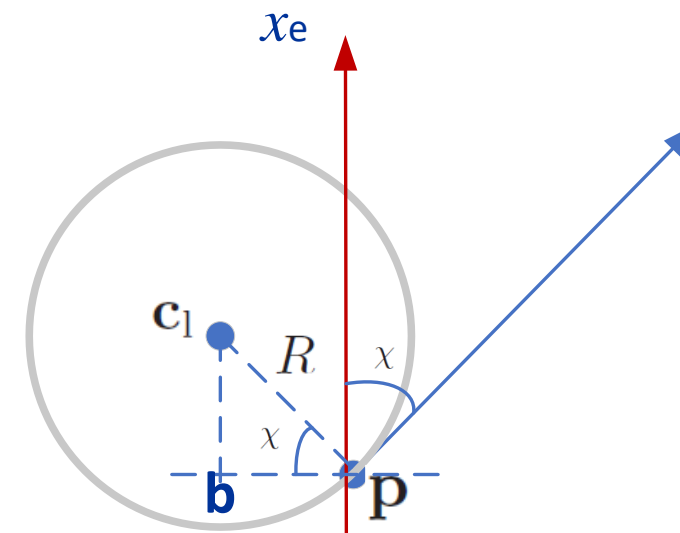
Dubins曲线

右转



$$\mathbf{c}_r = \mathbf{p} + R \begin{bmatrix} \cos\left(\chi + \frac{\pi}{2}\right) & \sin\left(\chi + \frac{\pi}{2}\right) & 0 \end{bmatrix}^T$$
$$\mathbf{c}_r = \mathbf{p} + R \begin{bmatrix} -\sin \chi & \cos \chi & 0 \end{bmatrix}^T$$

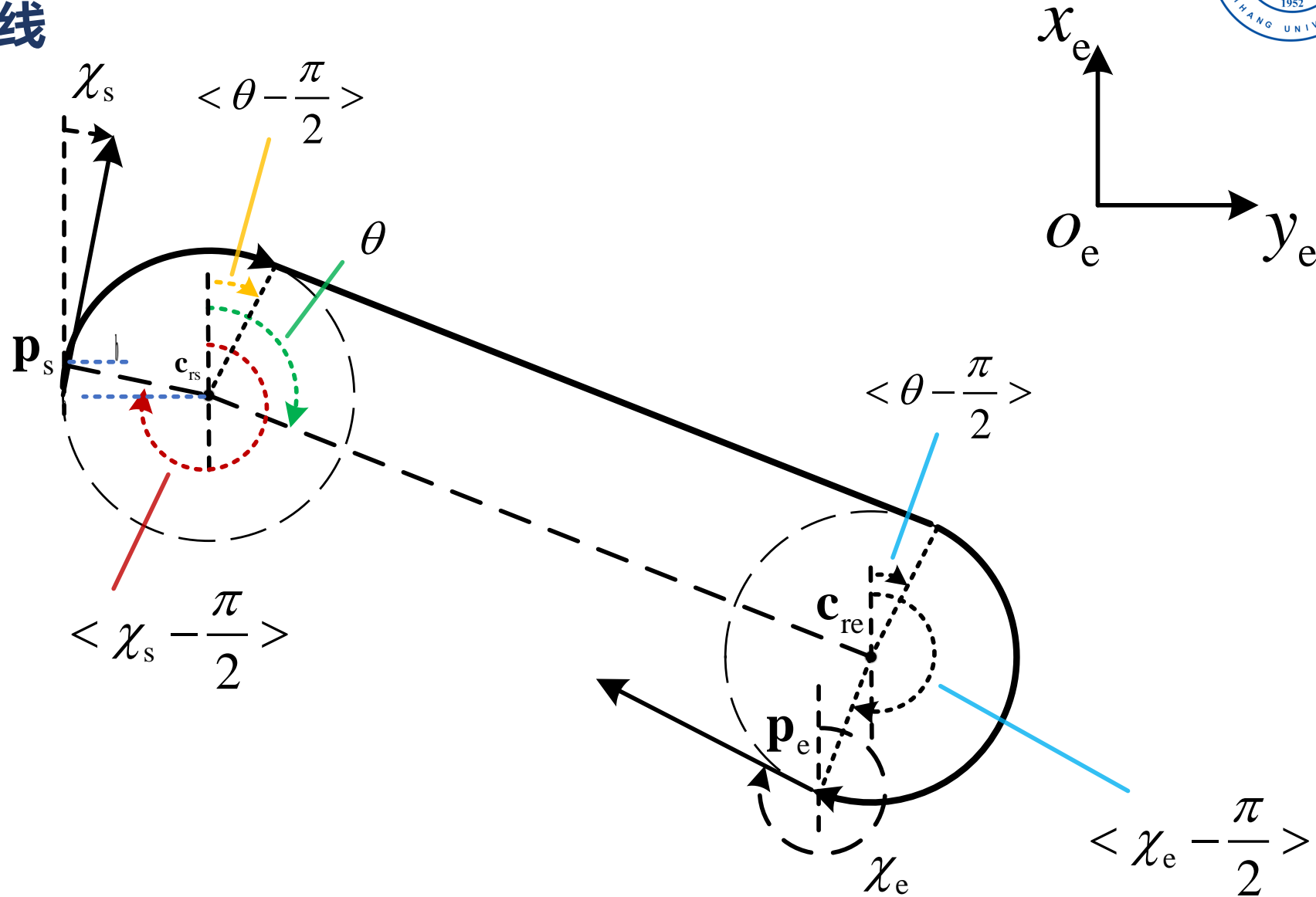
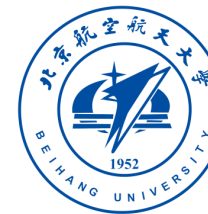
左转



$$\mathbf{c}_l = \mathbf{p} + R \begin{bmatrix} \cos\left(\chi - \frac{\pi}{2}\right) & \sin\left(\chi - \frac{\pi}{2}\right) & 0 \end{bmatrix}^T$$
$$\mathbf{c}_l = \mathbf{p} + R \begin{bmatrix} \sin \chi & -\cos \chi & 0 \end{bmatrix}^T$$

实验原理

Dubins曲线



Dubins曲线

不同情况的 Dubins 曲线均可以表示为圆心直线距离和圆弧长度之和，对于情况 **R-S-R** 的几何图形如图所示。其中 θ 是由 $\overline{\mathbf{c}_{rs}\mathbf{c}_{re}}$ 与 $o_e x_e$ 形成的夹角，因此得到绕 \mathbf{c}_{rs} 的角距离为

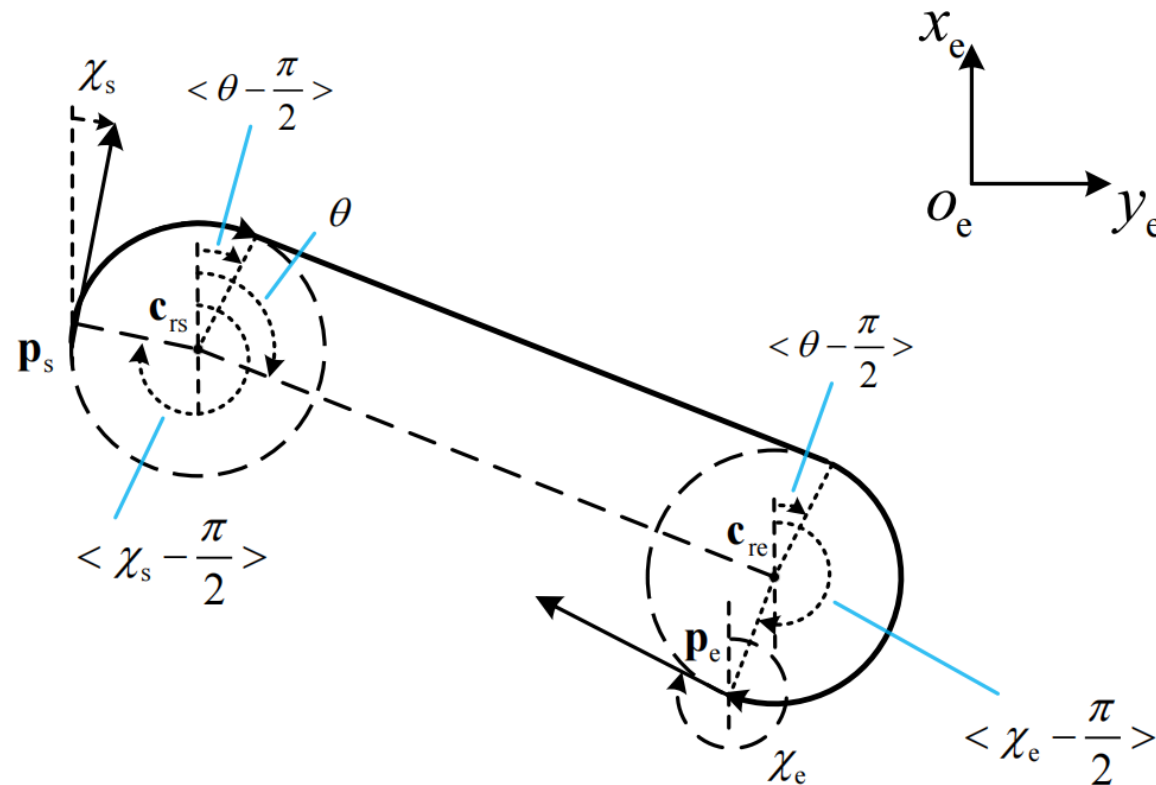
$$R \langle 2\pi + \langle \theta - \frac{\pi}{2} \rangle - \langle \chi_s - \frac{\pi}{2} \rangle \rangle$$

其中定义为 $\langle \phi \rangle = \phi \bmod 2\pi$ ， R 为圆的半径， χ_s 为起点的航机偏角。同样可得绕 \mathbf{c}_{re} 的角距离为

$$R \langle 2\pi + \langle \chi_e - \frac{\pi}{2} \rangle - \langle \theta - \frac{\pi}{2} \rangle \rangle$$

其中 χ_e 为终点的航迹偏角。因此，可得情况 **R-S-R** 的总路径长度为

$$L_1 = \|\mathbf{c}_{rs} - \mathbf{c}_{re}\| + R \langle 2\pi + \langle \theta - \frac{\pi}{2} \rangle - \langle \chi_s - \frac{\pi}{2} \rangle \rangle + R \langle 2\pi + \langle \chi_e - \frac{\pi}{2} \rangle - \langle \theta - \frac{\pi}{2} \rangle \rangle$$



大纲



1. 实验原理

2. 基础实验

3. 分析实验

4. 设计实验

实验目标

已知

(1) 软件：MATLAB R2022b 或以上版本。

(2) 程序：实验指导包“e5/e5-1”。指导包“e5/e5-1”中有：固定翼无人机状态初始文件“InitDatactrl.m”，固定翼无人机路径跟随仿真 Simulink 仿真模型“SmallFixedWingUAVfollow.slx”，圆心计算函数“circlecenter.m”以及用于绘制飞行路径与期望路径的文件“Drawxy.m”。

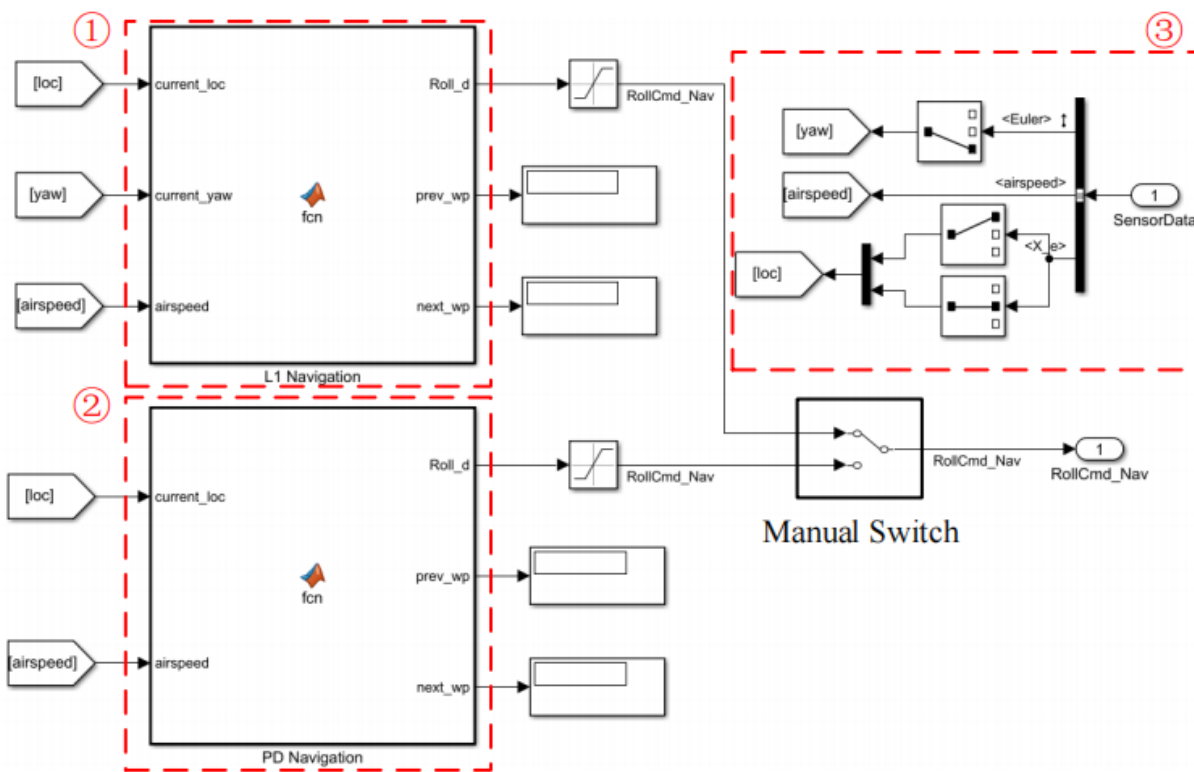
目标

在已有固定翼无人机基础飞行控制的程序“e4/e4-1”中，补全“Path Follow”模块，实现 L1 直线跟随算法和偏距圆弧跟随算法，并进行软件在环仿真。

实验步骤

步骤一：搭建“Path Follow”模块

在指导包“e5/e5-1”的“SmallFixedWingUAVfollow.slx”文件中搭建“Path Follow”模块，其整体框架如图所示。



- ① L1 路径跟随算法模块“L1 Navigation”。
- ② PD 路径跟随算法模块“PD Navigation”。
- ③ 状态反馈模块。

“Manual Switch”方便进行仿真实验时切换直线飞行实验输出和圆弧飞行实验输出。

导航滚转指令“RollCmd_Nav”输出到固定翼控制器模块作为期望滚转角

实验步骤

步骤二：在“L1 Navigation”模块中编写直线跟随算法

- (1) 代码3-4行，设置直线航路，即给定起始坐标点与终止坐标点。
- (2) 代码7-10行，设置L1算法中所需的相关参数与常数变量，包括阻尼比 $L_{1,D}$ ，周期 $L_{1,P}$ 等。并通过参数“dist_min”限制最终计算得到的L1长度，以保证算法稳定性。
- (3) 代码第13行，根据反馈量中的空速数据，计算当前位置距直线上L1点的距离，即L1长度。
- (4) 代码45-84，根据L1直线向量和航路直线向量确定角度 η_1 ，即代码中的“Nu1”变量，以及根据速度向量和航路直线向量确定角度 η_2 ，即代码中的“Nu2”变量。
- (5) 代码86-94行，通过角度 η_1 和角度 η_2 得到侧向加速度，从而解算期望的滚转指令。

实验步骤

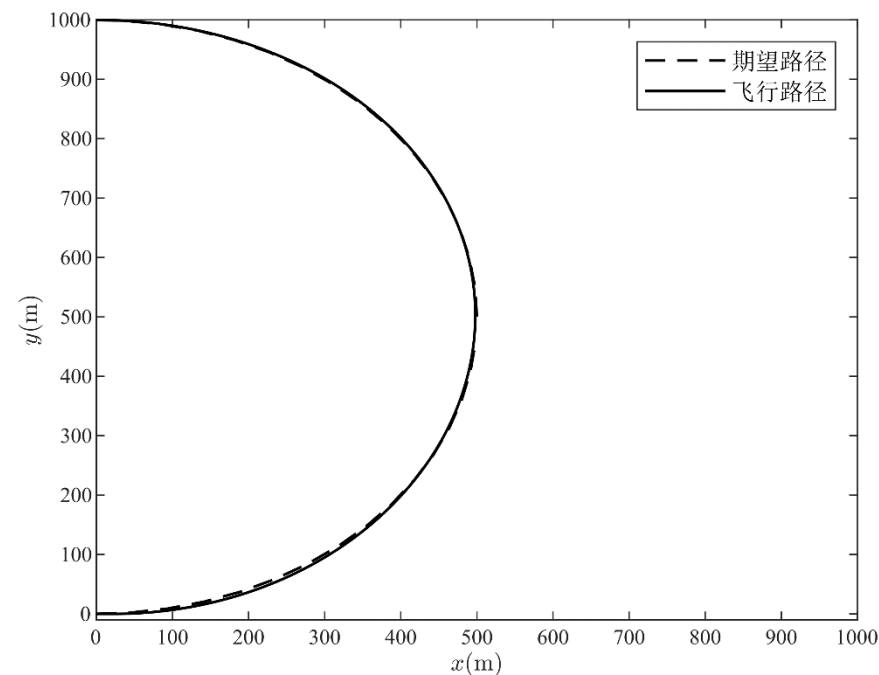
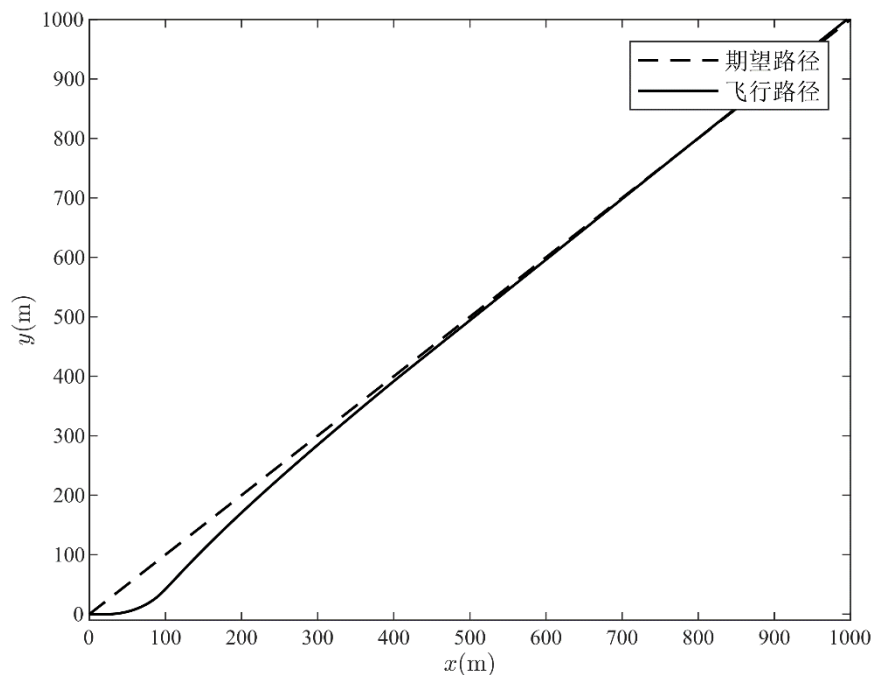
步骤三：在“PD Navigation”模块中编写偏距圆弧跟随算法

- (1) 代码2-7行，设置当前圆弧路径，即给定起始坐标点、终止坐标点、转弯半径与转弯方向，同时初始化静态变量“`rdist_prev`”保存上一时刻的偏距，用于计算偏距的微分项。
- (2) 代码19-55行，基于当前给定的圆弧路径信息，通过给定的起点、终点、半径、转向可以确定两个圆心位置“`center1`”与“`center2`”。
- (3) 代码第57-75行，通过转向的顺时针或逆时针确定围绕哪个圆心旋转。从而选择出固定翼无人机的旋转重心“`center`”。
- (4) 代码78-91，设置 K_p 参数“`K_rdist_P`”和 K_d 参数“`K_rdist_D`”，基于偏距误差求得期望加速度，进一步求得期望滚转指令。并设置偏距圆弧跟随算法控制器的参数，最后通过几何关系得到期望的滚转指令。

实验步骤

步骤四：设置初始条件进行软件在环仿真

- (1) 运行初始化脚本“InitDataCtrl”，用于初始化无人机参数。
- (2) 通过“Manual Switch”选择直线跟随与圆弧跟随，运行“SmallFixedWingUAVfollow.slx”。
- (3) 运行脚本“Drawxy.m”绘制图像，实验结果如下所示。



HOME PLOTS APPS

New Script New Live Script New Open Find Files Compare Import Data Clean Data Variable Save Workspace Clear Workspace

Analyze Code Run and Time Clear Commands

Simulink Layout Preferences Set Path Parallel Add-Ons Help Community Request Support Learn MATLAB

C:\Users\bhcxq\Desktop> fixedwing-book-rfly> ch5> code>

Current Folder

Name ^	Git
e5	.

Command Window

```
f >>
```

Workspace

Name ^	Value
--------	-------

Details

Select a file to view details

大纲



1. 实验原理

2. 基础实验

3. 分析实验

4. 设计实验

实验目标

已知

- (1) 软件：MATLAB R2022b 或以上版本。
- (2) 程序：实验指导包“e5/e5-2”。指导包“e5/e5-2”中有：路径规划主程序“path_plan.m”，坐标点生成程序“myline.m”，Dubins 曲线生成程序“dubins_path.m”。

目标

- (1) 分别分析以下两种情况下 Dubins 路径规划算法：
 - 起点到终点之间需经过多个中间圆；
 - 起点到终点之间需经过直线隧道。
- (2) 编写 MATLAB 程序，给定起点、终点、中间障碍物、中间直线隧道等参数，规划合理的 Dubins 航线。

实验步骤

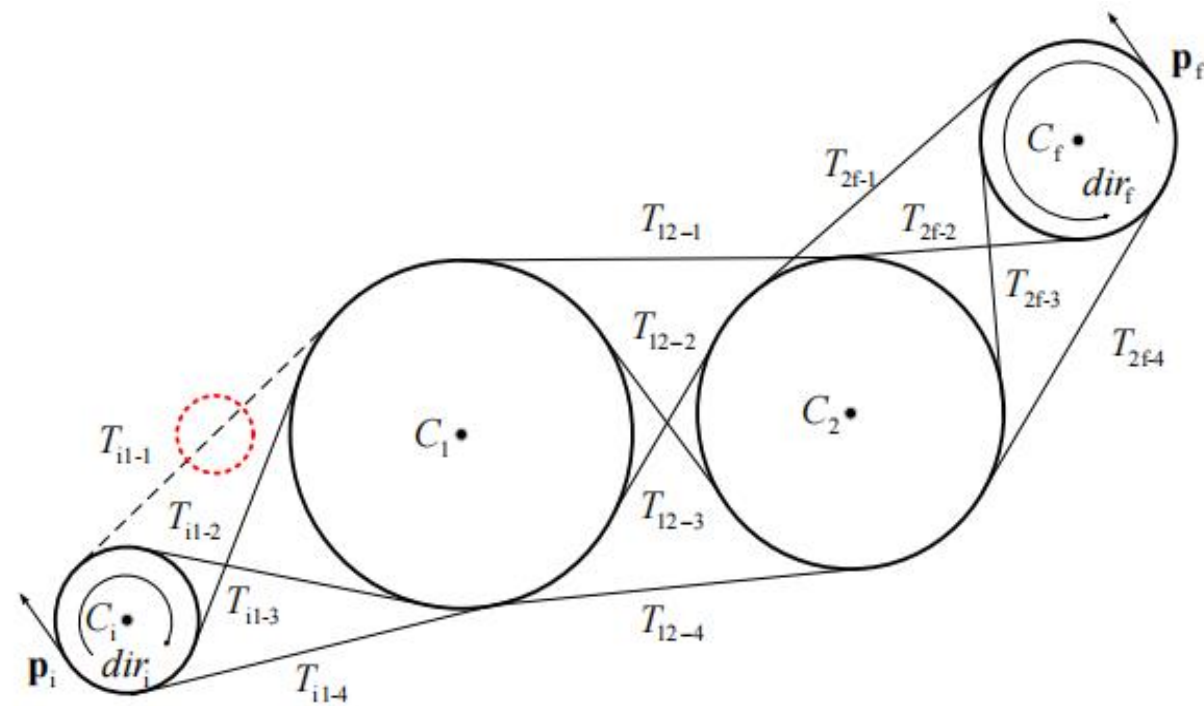
步骤一：分析起点到终点之间需经过多个中间圆的 Dubins 路径规划算法

将起点到终点之间的若干障碍物区域建模为若干障碍圆区域，表示为 $\{O_1, O_2, \dots, O_k\}$ 。

从障碍圆中随机取若干个圆作为中间圆

$\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$:

- 飞行器从出发点出发，必须依次绕过中间圆 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$;
- 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。



步骤一：分析起点到终点之间需经过多个中间圆的 Dubins 路径规划算法

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 7-1 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 $PATH_P$

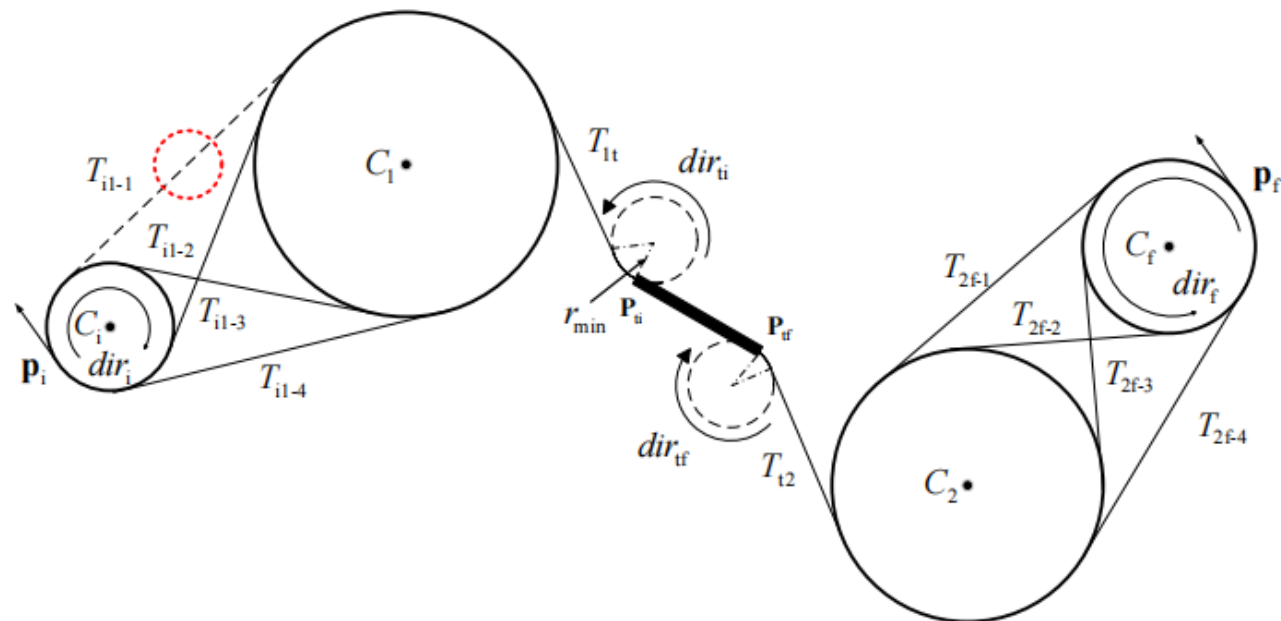
- 1: 确定起始圆 C_i 和终止圆 C_f
 - 2: 确定 C_i 与 C_1 , C_1 与 C_2 , \dots , C_n 与 C_f 之间的切线，并排除障碍物
 - 3: 从无障碍切线中，依次选出一条切线，构成从起始点到终止点的一条可能路径所要经过的切线组合。
 - 4: 记录上述所有的切线组合，并记为 $path$, m 记为集合 $path$ 中切线组合的数量
 - 5: **for** $i = 1 \rightarrow m$ **do**
 - 6: **if** $path$ 内的切线符合前后圆弧旋转方向匹配要求 **then**
 - 7: **if** $path$ 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 $PATH_P$
-

实验步骤

步骤二：分析起点到终点之间可能需经过直线隧道的 Dubins 路径规划算法

假设隧道起点为 \mathbf{p}_{ti} ，终点为 \mathbf{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：

- 第一段的起始点 \mathbf{p}_i 、速度方向角 α 、转弯半径 r_i ，转弯方向 dir_i 、终止点 \mathbf{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} ；
- 从 \mathbf{p}_{ti} 到 \mathbf{p}_{tf} 的直线路径；
- 第二段的起始点 \mathbf{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_{tf} 、终止点 \mathbf{p}_{tf} 、速度方向角 β 、转弯半径 r_f 、转弯方向 dir_f 。



步骤三：设计航路段信息向量

设计可统一表示直线路径和圆弧路径航路信息向量，如下表所示，其中进入圆弧方向角取值范围为 $[0, 2\pi)$ ，旋转方向大于零表示逆时针绕圆飞行，反之则为顺时针。

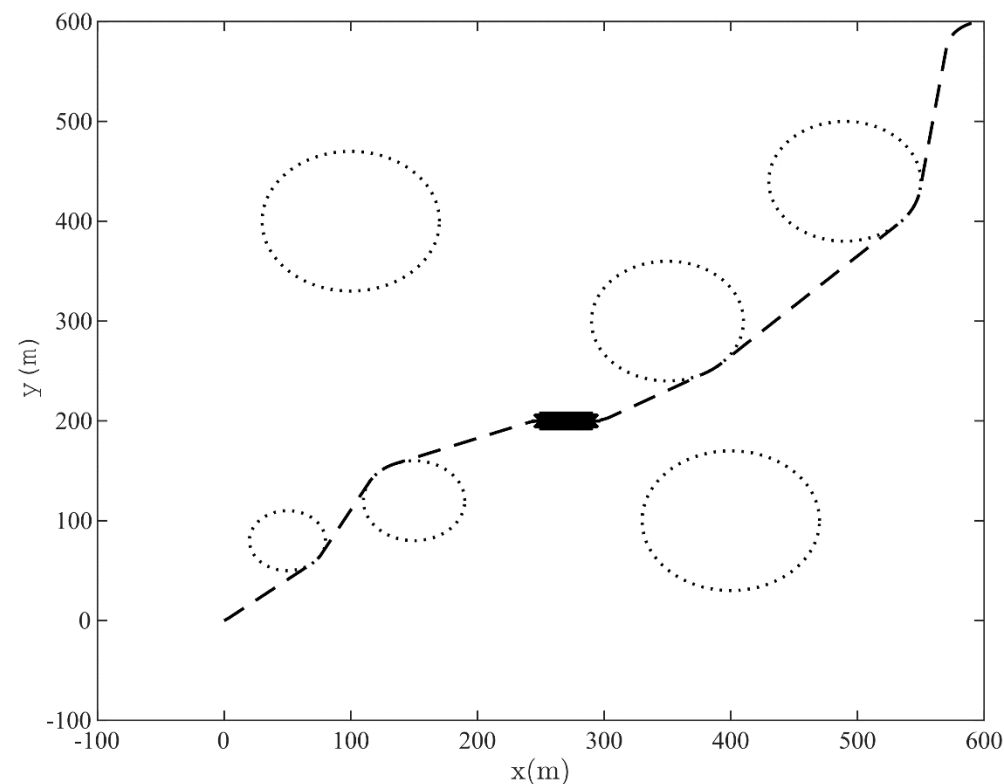
L	L(1)	L(2)	L(3)	L(4)	L(5)	L(6)	L(7)
直线航路信息向量							
例	-1	1.5	2	5	6	0	0
含义	任意负数	起点 x 坐标	起点 y 坐标	终点 x 坐标	终点 y 坐标	任意数	任意数
圆弧航路信息向量							
例	$\pi/3$	1.5	2	5	6	2	1
含义	圆弧的方向角	起点 x 坐标	起点 y 坐标	终点 x 坐标	终点 y 坐标	圆弧半径	旋转方向

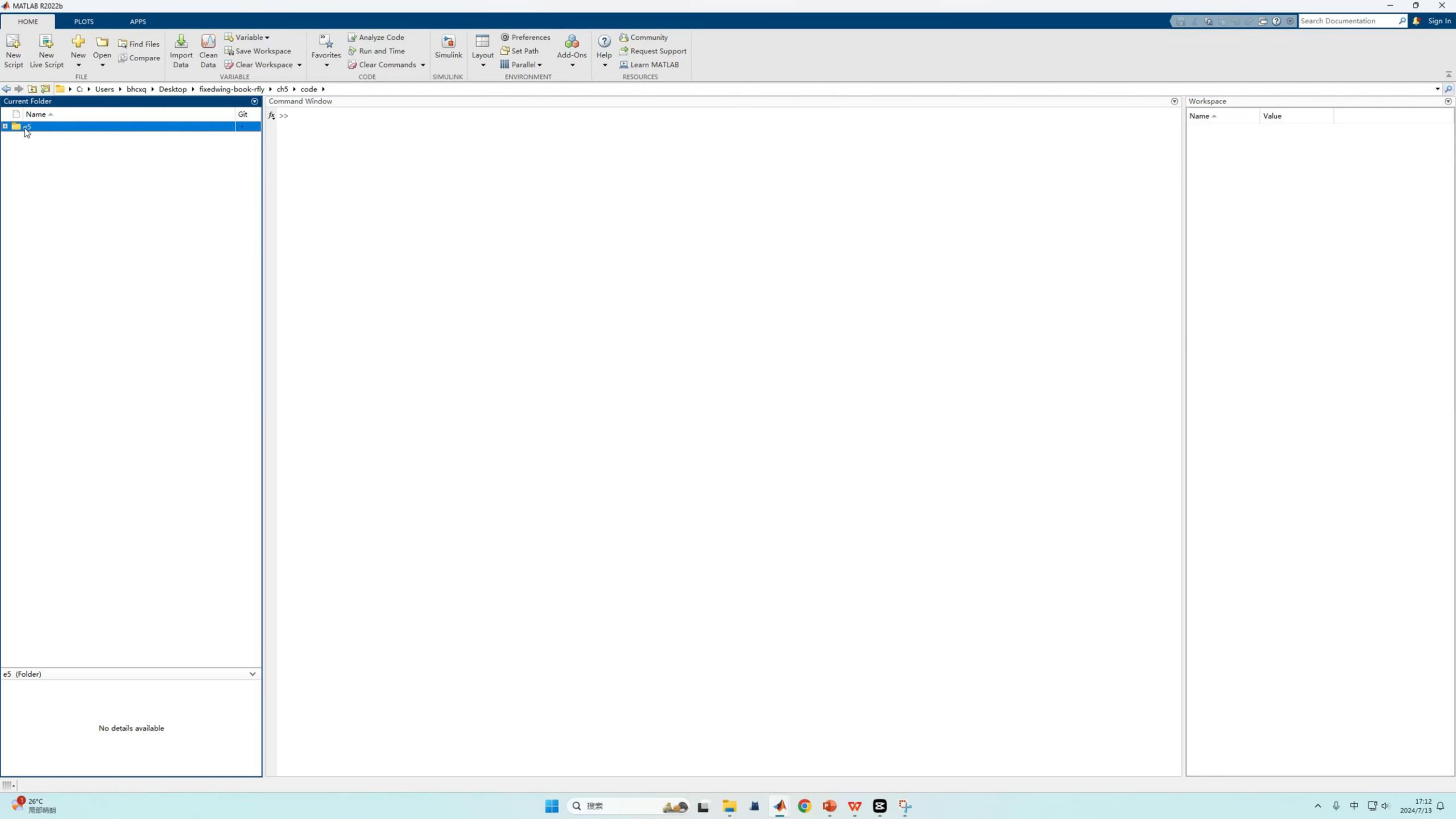
步骤四：在MATLAB中编写Dubins路径规划算法

(1) 在“e5/e5-2/ path_plan.m”中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，详见代码1-30行。

(2) 代码32-43行，综合步骤一和步骤二的分析，搭建算法框架。首先检查是否存在直线隧道，若存在则将路径分为两个部分进行规划，调用“dubins_path.m”函数，得到分段的Dubins曲线，然后将三段路径进行拼接，得到最终路径；若不存在直线隧道，则对整段路径进行求解。

(3) 运行“e5/e5-2/ path_plan.m”得到规划路径。





HOME PLOTS APPS

New Script New Live Script New Open Find Files Compare Import Data Clean Data Variable Save Workspace Clear Workspace

Analyze Code Run and Time Favorites Clear Commands

Simulink Layout Preferences Set Path Add-Ons Help Community Request Support Learn MATLAB

ENVIRONMENT RESOURCES

C:\Users\bhcxq\Desktop\fixedwing-book-rfly\ch5\code

Current Folder

Name ^	Git
e5	

e5 (Folder)

No details available

Command Window

```
f5 >>
```

Workspace

Name ^	Value
--------	-------

大纲



1. 实验原理

2. 基础实验

3. 分析实验

4. 设计实验

实验目标

■ 已知

- (1) 软件：MATLAB R2022b 或以上版本，RflySim 工具链提供的微小型固定翼无人机硬件在环仿真环境。
- (2) 程序：实验指导包“e5/e5-3”与“e5/e5-4”。指导包“e5/e5-3”中包含路径规划文件“Path_plan”，固定翼无人机状态初始化文件“InitDatactrl.m”和固定翼无人机Simulink仿真模型文件“SmallFixedWingUAVplan.slx”，用于软件在环仿真实验。指导包“e5/e5-4”中包含固定翼无人机状态初始化文件“InitDatactrl.m”和固定翼无人机 Simulink 仿真模型文件“SmallFixedWingUAVplanHIL.slx”，用于硬件在环仿真实验。
- (3) 硬件：CubePilot/Pixhawk 自驾仪, 遥控器及接收机。

■ 目标

设定当前小型固定翼无人机需完成低空环境监测任务，具体参数详见第七章设计实验。在执行任务过程中，要保证以下任务目标：

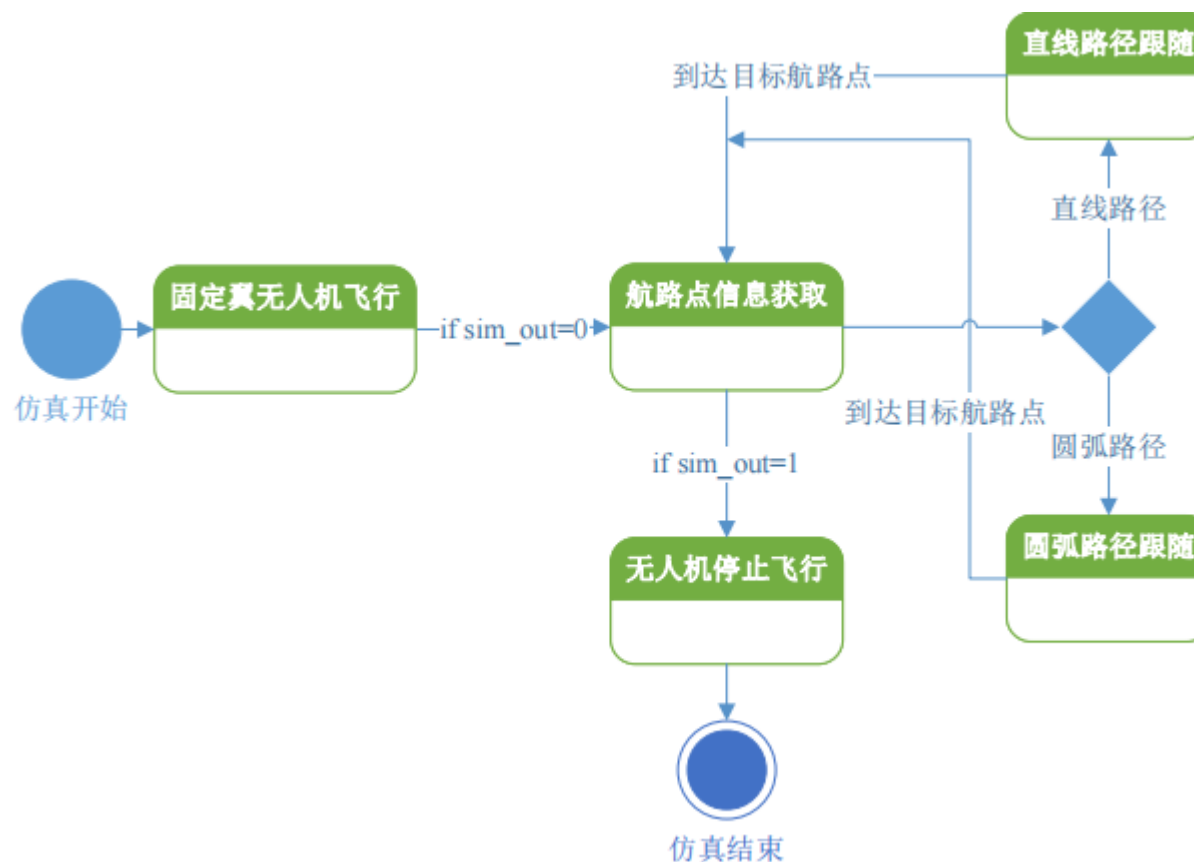
- 由起飞点出发开始任务，在回收点降落结束任务；
- 飞行过程中需要避开山体和其他障碍物；
- 需要监测山谷区域的环境参数；
- 无人机电量有限，要选择一条最短路径。

完成该任务算法设计，并在 MATLAB/Simulink 中进行软件在环仿真，最终通过代码生成的仿真将程序烧录至 CubePilot/Pixhawk 飞控中，在 RflySim 工具链上进行硬件在环仿真。

实验设计

步骤一：设计无人机状态转换关系

- 固定翼无人机飞行：固定翼无人机从当前位置起飞；
- 航路点信息获取：固定翼无人机根据当前位置，从航路信息表获取目标航路点的信息；
- 直线路径跟随：固定翼无人机执行“L1 Navigation”模块的 L1 直线跟随算法；
- 圆弧路径跟随：固定翼无人机执行“PD Navigation”模块的偏距圆弧跟随算法；
- 无人机停止飞行：固定翼无人机在当前位置停止飞行。



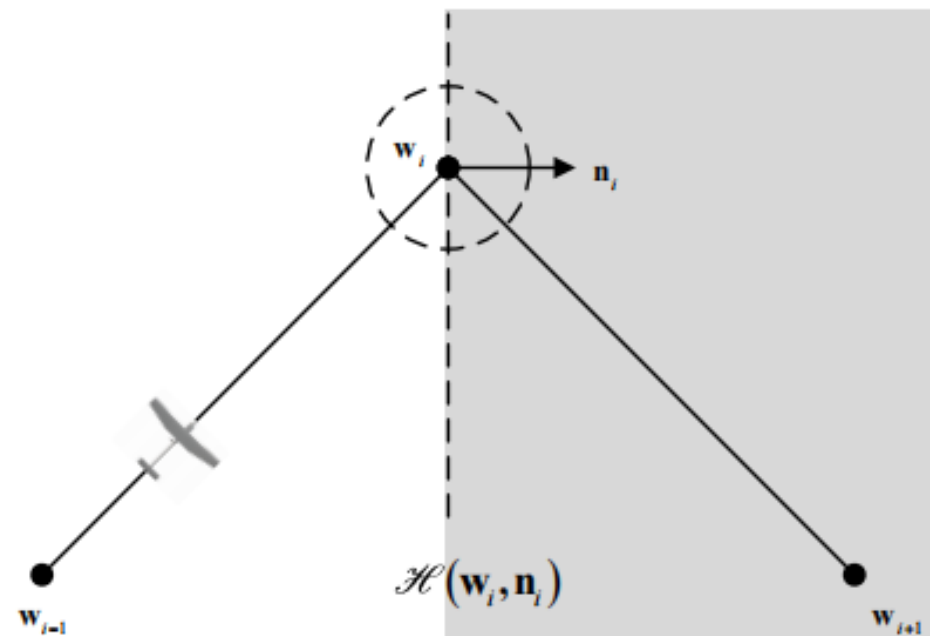
步骤二：设计无人机路径切换算法

实际飞行过程中，无人机并不能精确的到达指定的航路点位置。因此，需要进行无人机航路点的检测与切换。将无人机的路径定义为有序的航路点序列

$$\mathcal{W} = \{\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_N\}$$

如右图所示，可以设计当无人机进入以路径点 \mathbf{w}_i 为圆心，半径为 b 的球形区域内时，切换无人机跟随的路径。球形区域表示如下：

$$\|\mathbf{p}(t) - \mathbf{w}_i\| \leq b$$



如果存在风的干扰，或者 b 选择得太小时，无人机可能永远不会进入球形区域

步骤二：设计无人机路径切换算法

因此，可以采取一个对于跟踪误差不敏感的切换方法，即半平面切换准则。定义半平面为：

$$\mathcal{H}(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = \left\{ \mathbf{p} \in \mathbb{R}^3 : (\mathbf{p} - \mathbf{r})^T \mathbf{n} \geq 0 \right\} \quad \mathbf{n}_i = \frac{\mathbf{q}_{i-1} + \mathbf{q}_i}{\|\mathbf{q}_{i-1} + \mathbf{q}_i\|} \quad \mathbf{q}_i = \frac{\mathbf{w}_{i+1} - \mathbf{w}_i}{\|\mathbf{w}_{i+1} - \mathbf{w}_i\|}$$

当无人机进入半平面时，切换跟随的路径。伪代码如下所示

Algorithm 7-2 无人机航路点路径切换算法

输入：路径点 $\mathcal{W} = \{\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_N\}$ 、无人机位置 \mathbf{p}

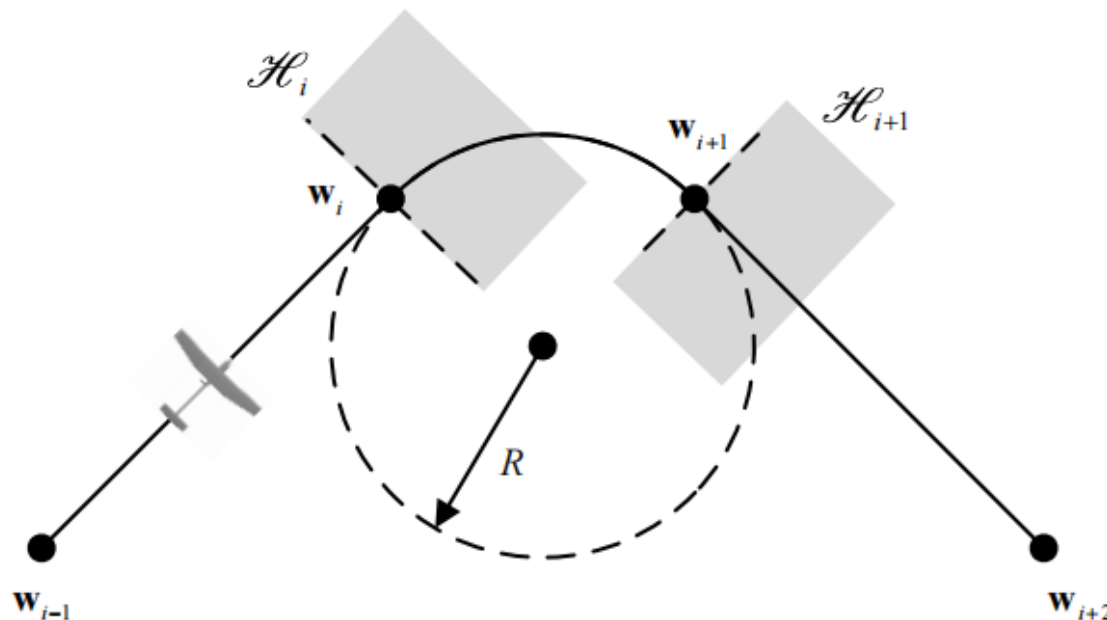
输出：无人机跟随的路径

- 1: **if** 接受到航路点 $\mathcal{W} = \{\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_N\}$ **then**
 - 2: 初始化 $i = 2$
 - 3: **end if**
 - 4: $\mathbf{q}_{i-1} = \frac{\mathbf{w}_i - \mathbf{w}_{i-1}}{\|\mathbf{w}_i - \mathbf{w}_{i-1}\|}$
 - 5: $\mathbf{q}_i = \frac{\mathbf{w}_{i+1} - \mathbf{w}_i}{\|\mathbf{w}_{i+1} - \mathbf{w}_i\|}$
 - 6: $\mathbf{n}_i = \frac{\mathbf{q}_{i-1} + \mathbf{q}_i}{\|\mathbf{q}_{i-1} + \mathbf{q}_i\|}$
 - 7: **if** $\mathbf{p} \in \mathcal{H}(\mathbf{w}_i, \mathbf{n}_i)$ **then**
 - 8: $i = i + 1$ 直到 $i = N - 1$
 - 9: **end if**
 - 10: **Return** 无人机跟随航路点 \mathbf{w}_{i-1} 到 \mathbf{w}_i 的路径
-

步骤二：设计无人机路径切换算法

预先规划好的路径并没有两段直线路径之间的转换，实际的飞行可以如下图所示，因此半平面表示如下

$$\mathcal{H}_i = \mathcal{H}(\mathbf{w}_i, \mathbf{q}_{i-1}) = \left\{ \mathbf{p} \in \mathbb{R}^3 : (\mathbf{p} - \mathbf{w}_i)^T \mathbf{q}_{i-1} \geq 0 \right\}$$
$$\mathcal{H}_{i+1} = \mathcal{H}(\mathbf{w}_{i+1}, \mathbf{q}_i) = \left\{ \mathbf{p} \in \mathbb{R}^3 : (\mathbf{p} - \mathbf{w}_{i+1})^T \mathbf{q}_i \geq 0 \right\}$$



步骤一：设计状态机与路径跟随算法

(1) 在“e5/e5-3/SmallFixedWingUAVplan.slx/Path follow”模型中通过“MATLAB Function”模块设计“Simple State Machine”状态机。首先设置“sim_stop”为结束标志，当整段航线飞行结束后将“sim_stop”赋值为 1 从而终止仿真。当状态为空时，初始化状态变量“state”为 1，并新建航路信息向量表。不断检测固定翼无人机当前位置是否进入当前的切换区域内，若未进入，则输出不变；若进入切换区域，在切换至下一个“Loop”向量，并更新状态值。

(2) 在“e5/e5-3/SmallFixedWingUAVplan.slx/Path follow”模型中的“Navigation”模块中，结合直线与圆弧算法，通过向量信息第一个位置数据“Loop(1)”确定当前是直线路径还是圆弧路径，进行航路段的跟随。

实验步骤

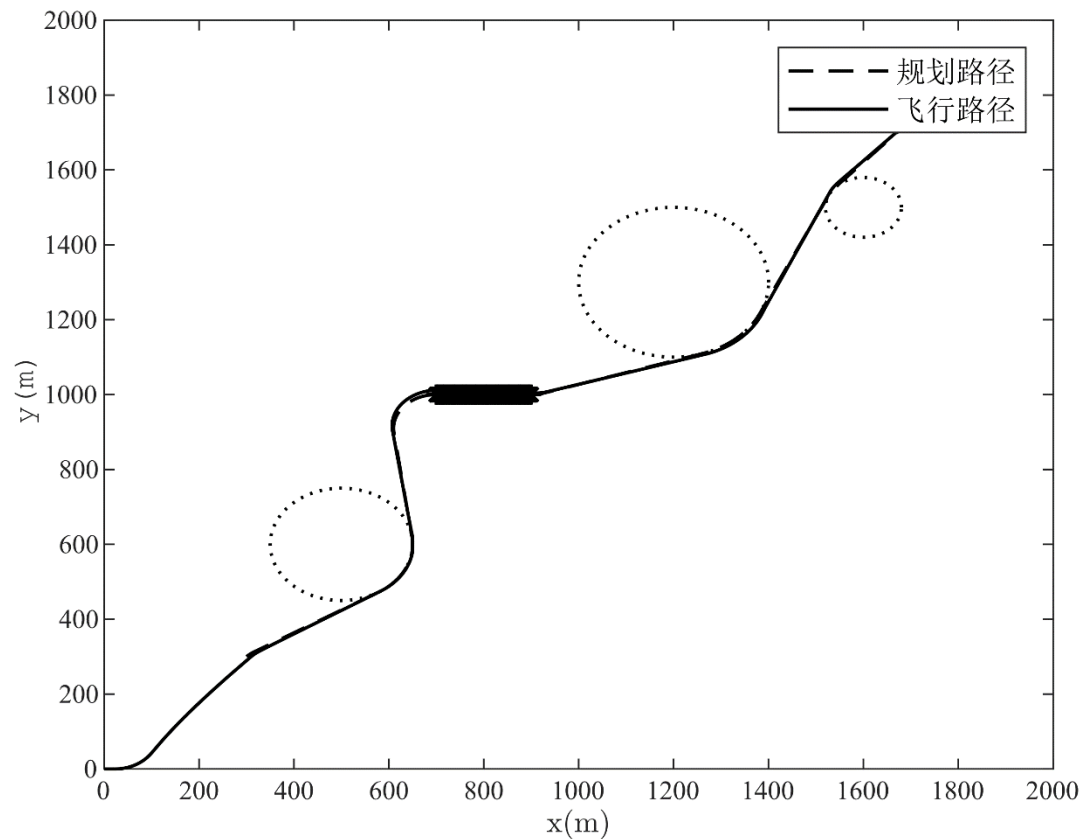
步骤二：在 MATLAB/Simulink 中进行软件在环仿真

(1) 在“e5/e5-3/Path_plan/path_plan.m”中设置起点、终点与障碍物信息等，运行可得航路信息向量列表，并将路径信息输入到“Simple State Machine”状态机模块中。

(2) 运行“e5/e5-3/InitDataCtrl”初始化无人机参数。

(3) 运行“e5/e5-3/SmallFixedWingUAVplan.slx”，进行软件在环仿真。

(4) 运行“e5/e5-3/Path_plan/path_plan.m”绘制软件在环仿真结果。



HOME PLOTS APPS

New Script New Live Script New Open Find Files Compare Import Data Clean Data Variable Save Workspace Clear Workspace

Analyze Code Run and Time Favorites Clear Commands

Simulink Layout Preferences Set Path Parallel Add-Ons Help Community Request Support Learn MATLAB

FILE VARIABLE CODE SIMULINK ENVIRONMENT RESOURCES

C:\Users\bhcxq\Desktop> fixedwing-book-rfly> ch5> code>

Current Folder

Name ^	Git
e5	.

Command Window

```
f >>
```

Workspace

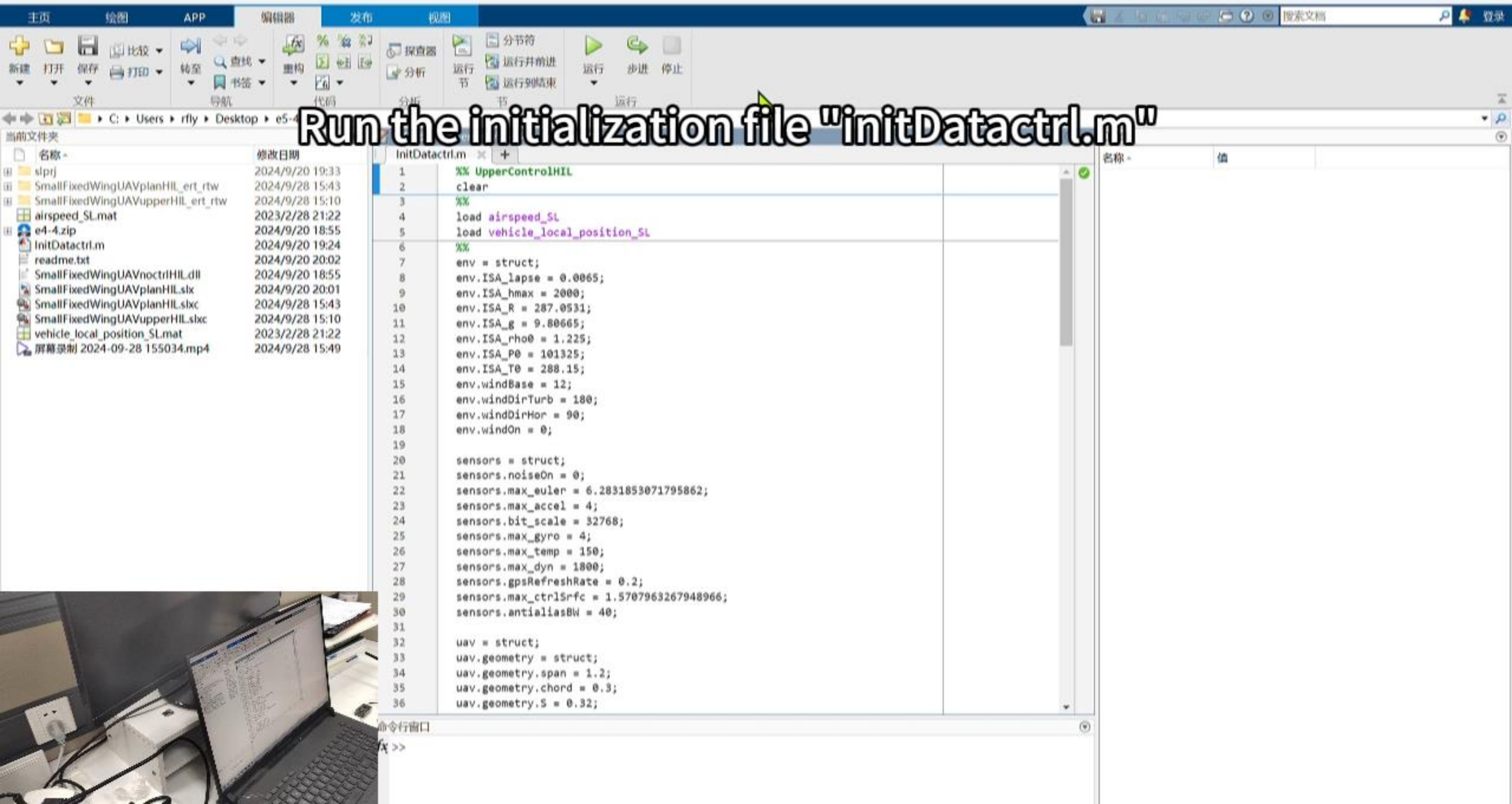
Name ^	Value
--------	-------

Details

Select a file to view details

步骤三：在 RflySim工具链上进行硬件在环仿真

- (1) 首先运行初始化文件“InitDatactrl.m”，打开“SmallFixedWingUAVplanHIL.slx”，在工具栏中点击“Build”对当前程序进行编译。
- (2) 成功编译后，将飞控与电脑连接，点击工具栏中的“code”，选择“PX4 PSP Upload code to PX4FMU”，将代码烧录到 CubePilot/Pixhawk 飞控中。
- (3) 在RflySim 工具链安装目录下“/RflySimAPIs/OtherVehicleTypes/AircraftMathworks”中，双击“Air-craftMathworksHITLRun”脚本启动固定翼硬件在环仿真环境，选择当前 CubePilot/Pixhawk 飞控连接的端口。
- (4) 在“SmallFixedWingUAVplanHIL.slx”程序中预先已经设置好通过“ch5”高位解锁无人机，“ch6”高位启动自动航线飞行，因此在开始仿真前保证遥控器“ch5”、“ch6”通道均处于低位。等待硬件在环仿真环境启动完成后，首先拨动“ch5”将其拨至高位解锁无人机，然后拨动“ch6”将其拨至高位启动自动航线飞行。



致谢



感谢陈鑫泉为本讲PPT做出的贡献



更多信息请访问公众号和网站

可靠飞行控制研究组
RELIABLE FLIGHT CONTROL GROUP



R fly 官网



研究组公众号



视频号



B 站官方账号



优酷账号

rfly.buaa.edu.cn