

# 1、实验名称及目的

**蚂蚁算法多无人机路径规划实验：**通过蚂蚁算法规划出一条可行且较优的路径，这条路径需要符合避障以及避碰的要求。

# 2、实验原理

蚂蚁算法是一种模拟大自然中蚂蚁觅食行为演化出来的智能算法。单个蚂蚁的觅食行为看起来是无序的，但一个蚂蚁种群团结协作就会表现出规律有序的觅食行为。在蚂蚁进行食物搜索的时候，会在行走过的路径上释放一种名为“信息素”的化学物质。当其他蚂蚁经过这条路径时，蚂蚁之间可以通过路径上残留的信息素进行信息交流。单个蚂蚁信息素含量相近，且信息素会随着时间而不断挥发，因此在完全随机的情况下，到达食物源长度越短的路径上遗留信息素的浓度会更高，也会吸引更多的蚂蚁沿着较短路径前进，从而使得较短路径上的信息素浓度不断提高，最终形成一条从巢穴通往食物源的较优路径。在较长路径上，蚂蚁遗留信息素的浓度会较低，也导致更少的蚂蚁选择较长路径，最后导致较长路径上的信息素浓度不断降低。这就是蚂蚁觅食行为中的正反馈的机制。如图 1 直观的表述了蚂蚁觅食行为的信息素协同机制。

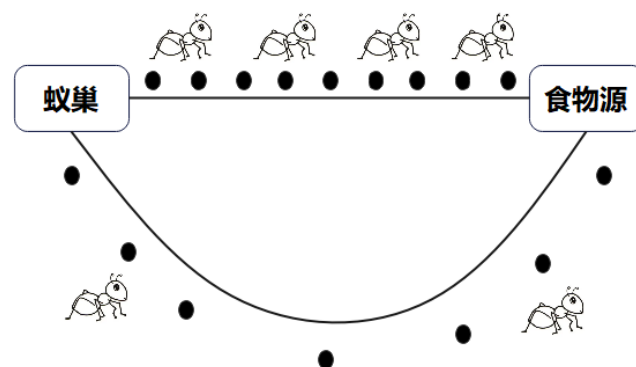


图 1

但并不是所有蚂蚁都一定会沿着信息素浓度高的路径前进，会有少部分蚂蚁去探索信息素浓度偏低的路径，期待着找出比原路径更优的路径。在蚂蚁算法中，利用“信息素”机制，蚂蚁能够记忆已经找到过的较优路径，使得算法后续能够找到适应度较高的解。部分选择信息素浓度低的路径进行探索的蚂蚁，在算法中则表现为解的随机性，使得算法摆脱局部最优，尽可能找到全局最优解。

传统的蚂蚁算法，会对每个蚂蚁走过的路径都进行信息素更新，这样可能会使得一些劣质蚂蚁引导种群发展方向偏离全局最优，增加算法收敛时间。本节对传统蚂蚁算法进行了一些改进：

1、只更新种群中最优蚂蚁走过路径上的信息素，极大的降低了劣质蚂蚁对种群朝着全局最优方向更新的影响，防止蚂蚁算法陷入局部最优。如图 2 所示，假设目前种群中有三只蚂蚁，黑色方格为障碍物。在种群一次迭代中，每只蚂蚁找出路径如图所示，从图中可以很明显的看出蚂蚁 1 找出的路径是本次迭代最优的，所以改进蚂蚁算法只会更新蚂蚁 1

找出的路径上的信息素，防止误导下一轮迭代的蚂蚁朝蚂蚁 2 或蚂蚁 3 的方向前进。

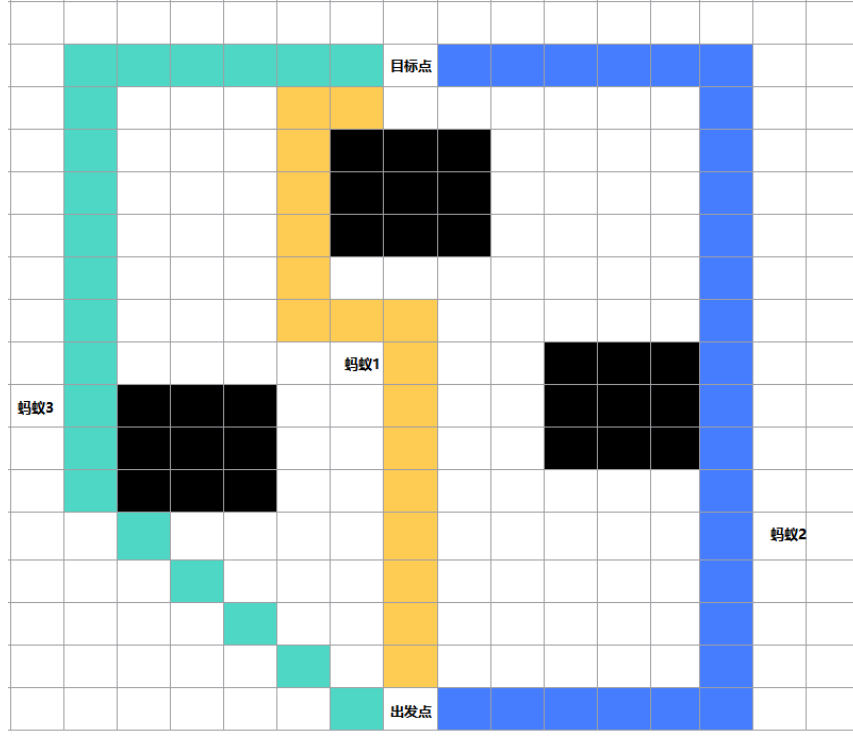


图 2

由于传统蚂蚁算法对目标点没有导向性，只会避开障碍物。如公式 1，其中  $\tau_{ij}$  表示方格  $i$  到  $j$  路径上信息素浓度， $\eta_{ij}$  表示从方格  $i$  到  $j$  转移的期望程度， $allow_k$  为可转移方格集合， $p_{ij}$  为从  $i$  转移到  $j$  的转移概率。由基本蚂蚁算法的转移函数的构成可知，其对目标点导向性不强。

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{s \in allow_k} [\tau_{is}]^\alpha [\eta_{is}]^\beta}, & j \in allow_k \\ 0 & , j \notin allow_k \end{cases} \quad (\text{公式 1})$$

本节在传统目标转移函数中加入蚂蚁当前位置到目标点距离的倒数，引导蚂蚁朝向目标点的方向前进，提高算法收敛的速度。如公式 2 所示，其中  $n$  为可转移方格数量， $P_i$  为转移到相对于当前方格的第  $i$  个方格的概率， $d_{b,i}$  为相对于当前方格的第  $i$  个方格与障碍物的最近距离， $1/d_{aim,i}$  为相对于当前方格的第  $i$  个方格与目标点的距离的倒数， $\tau_i$  为相对于当前方格的第  $i$  个方格的信息素含量。其中  $\alpha$ ， $\beta$ ， $\gamma$  表示三者的重要程度。

$$P_i = \frac{(d_{b,i})^\alpha * (\frac{1}{d_{aim,i}})^\beta * (\tau_i)^\gamma}{\sum_{j=0}^n (d_{b,j})^\alpha * (\frac{1}{d_{aim,j}})^\beta * (\tau_j)^\gamma} \quad (\text{公式})$$

2)

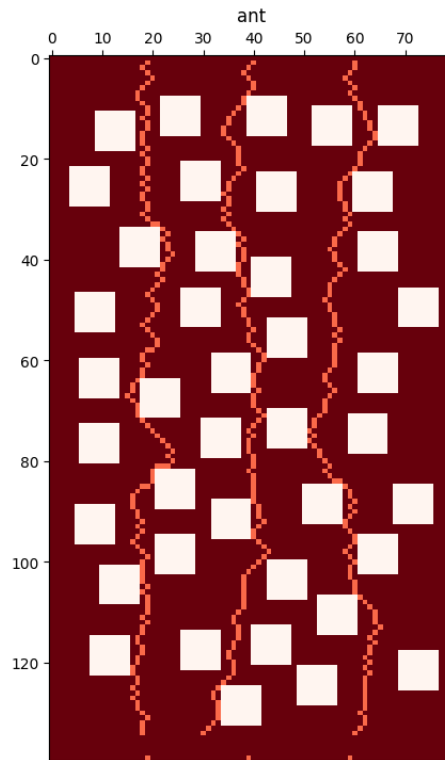
在多无人机航迹规划中，还需考虑多无人机的协同约束。为了使得本节描述不会过于复杂，本节仅考虑空间约束，即多个无人机在进行航迹规划的过程中，彼此之间必须保持安全距离，避免碰撞。机体之间的距离  $D_{ij}$  需满足：

$$D_{ij} \geq D_{safe}$$

在本节中，为了简单起见，我们采用蚂蚁算法，以多个无人机的总体航程最短作为优化目标进行多无人机轨迹规划。读者可在后续工作中，加入更多的约束条件实现轨迹规划。

### 3、实验效果

本实验通过蚂蚁算法规划出的路径如下：



## 4、文件目录

文件夹/文件名称	说明
Cylinder&Cylinder.xml	RflySim3D 场景障碍物模型文件
CopySceToRflySim3D.bat	场景文件复制脚本
main.py	用于启动飞机以及运行蚂蚁算法
Detect.py	蚂蚁算法的具体实现
Barrier.py	用于随机生成障碍物
PX4MavCtrlV4.py	RflySim 视觉、集群接口文件
PathPlanningSITL.bat	RflySim 平台一键启动软件在环仿真脚本

## 5、运行环境

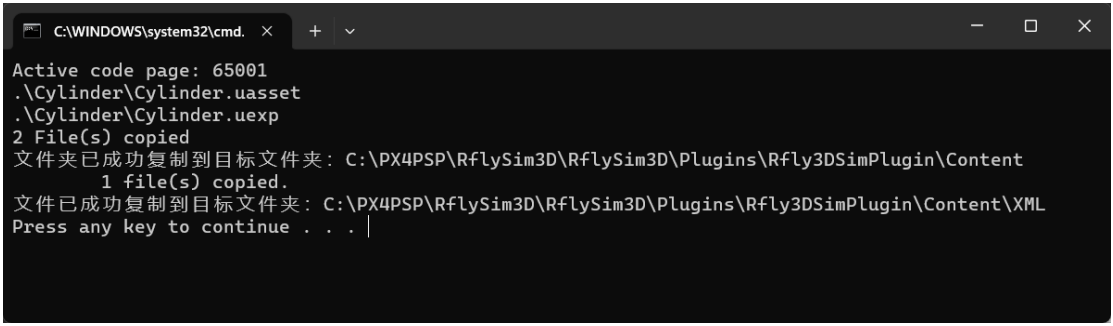
序号	软件要求	硬件要求	
		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑 <sup>①</sup>	1
2	RflySim 平台高级版		

①：推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com/1.1InstallMethod.html>

## 6、实验步骤

### Step 1:

配置障碍物文件，双击运行 CopySceToRflySim3D.bat 文件，该文件运行过程中会将文件夹 Cylinder 和文件 Cylinder.xml 复制到 RflySim3D 对应的路径下。



```
C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
Active code page: 65001
.\Cylinder\Cylinder.uasset
.\Cylinder\Cylinder.uexp
2 File(s) copied
文件夹已成功复制到目标文件夹: C:\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Plugins\Rfly3DSimPlugin\Content
1 file(s) copied.
文件已成功复制到目标文件夹: C:\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Plugins\Rfly3DSimPlugin\Content\XML
Press any key to continue . . . |
```

注：本步骤只需在 RflySim 平台首次运行本例程时进行，后续运行可跳过本步骤。本步骤是将文件夹 Cylinder 放在..\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Plugins\Rfly3DSimPlugin\Content 路径下；将 Cylinder.xml 文件放在..\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Plugins\Rfly3DSimPlugin\Content\XML 路径下。也可手动进行复制。

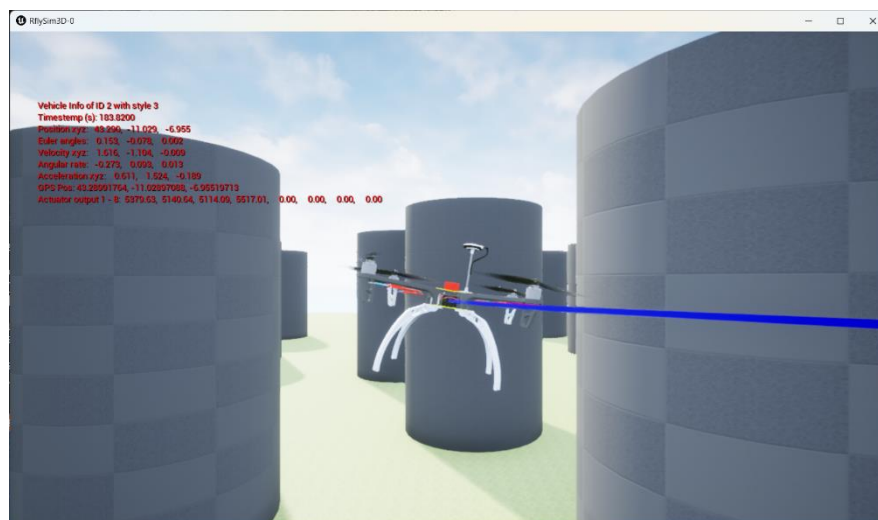
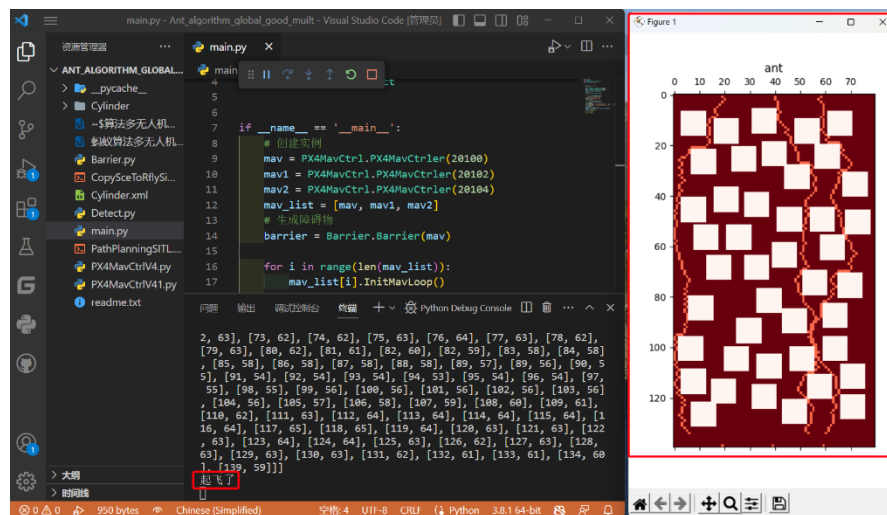
### Step 2:

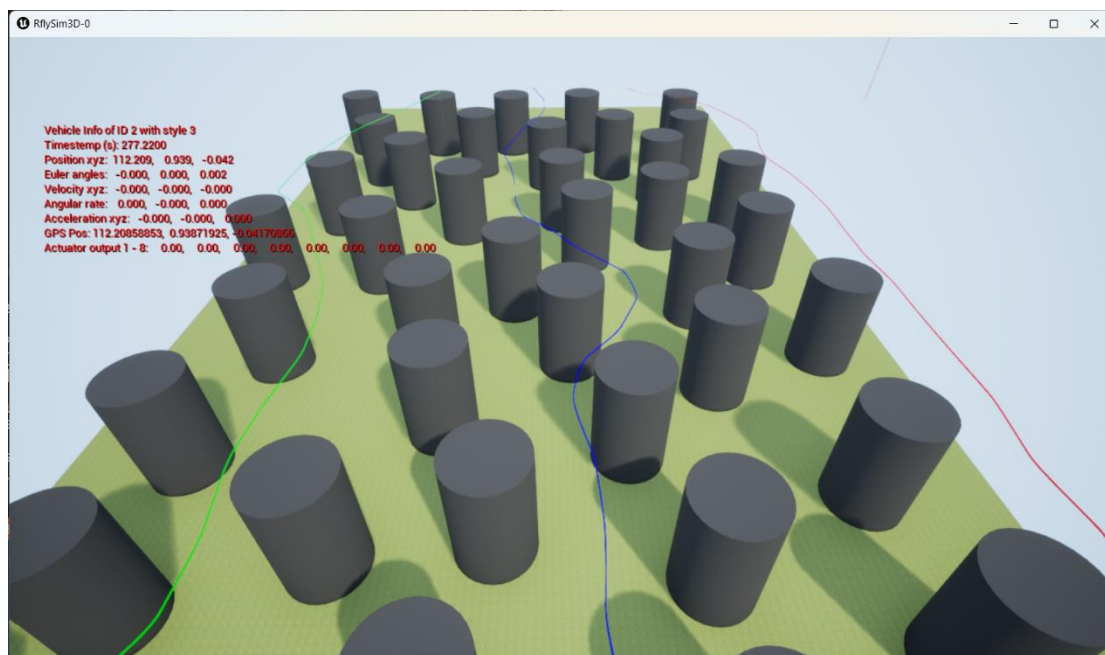
双击运行 PathPlanningSITL.bat 脚本，观察 RflySim3D 左上角出现 “CopterSim/PX4 EK F 3DFixed: 3/3” 即表示初始化完成，在 RflySim3D 中会显示三架飞机。



### Step 3:

打开 VS Code，运行程序 main.py，等待程序进行迭代，VS code 弹出“起飞了”，即表示算法迭代完成。即可在 RflySim3D 中看到三架无人机起飞，并开始避开障碍飞行。





## 7、参考资料

- [1]. 杨爽.群智能优化算法在路径规划中的应用[J].电子技术与软件工程,2019(23):244-245.
- [2]. L. Huan, Z. Ning and L. Qiang, "UAV Path Planning Based on an Improved Ant Colony Algorithm," 2021 4th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (ICoIAS), 2021, pp. 357-360, doi: 10.1109/ICoIAS53694.2021.00070.
- [3]. 苏梅梅,程咏梅,胡劲文,赵春晖,贾彩娟,徐钊,张剑锋.基于改进蚁群算法的无人机集群任务分配和路径规划联合优化[J].无人系统技术,2021,4(04):40-50.DOI:10.19942/j.issn.2096-5915.2021.4.035.
- [4]. 刘永建. 基于改进蚁群算法的室内机器人路径规划研究[D].上海工程技术大学,2020.DOI:10.27715/d.cnki.gshgj.2020.000585.

## 8、常见问题

Q1: 路径规划完成，无人机还没有起飞

A1: 可能需要断网，进行实验，避免局域网干扰