

---

# 目录

基于蚁群算法的智能小车校园外卖配送路径规划 ..... II

1. 绪论 ..... 2

    1.1 研究背景及目的 ..... 2

    1.2 研究意义 ..... 3

2. 车辆路径规划概念 ..... 3

    2.1 配送路径规划的基本定义 ..... 3

    2.2 基本求解方法 ..... 4

3. 蚁群算法 ..... 4

    3.1 蚁群算法的原理 ..... 4

    3.2 蚁群算法的数学模型 ..... 5

4. 蚁群算法的智能小车路径规划 ..... 6

    4.1 问题描述 ..... 6

    4.2 算法设计 ..... 7

    4.3 实验结果分析 ..... 8

总结与展望 ..... 10

附录 ..... 10

参考文献 ..... 11

# 基于蚁群算法的智能小车校园外卖配送路径规划

**摘 要：**随着互联网和智能手机的普及，校园外卖也取得了迅速的发展。文章以河北师范大学西食堂为外卖配送中心，选取了 18 个外卖配送地点，利用蚁群算法对河北师范大学校园内外卖配送路线进行了合理的规划。

## 1.绪论

### 1.1 研究背景及目的

#### 1.1.1 研究背景

近年来，随着互联网、智能手机的普及和数字经济、平台经济的崛起，外卖行业也得到快速发展，人们的消费行为和消费习惯已经潜移默化的产生巨大变化。外卖产业所拥有的系统化订餐模式与配送体系，完整快捷的外卖流程都让人们感受到外卖带来的便利，因此外卖成为人们就餐的重要形式之一。在线外卖以新型的外卖方式，非凡的吸引力，快捷的速度，形成势不可当的攻势，迅速攻占校园餐饮。

随着生活节奏加快，或是只想宅在宿舍，不愿去买饭，亦或为了减少就餐排队浪费时间，大家就会点外卖来解决就餐问题。为了方便管理，现在大部分高校选择刷脸进入校园，原来能够配送至宿舍楼下的外卖无法进入校园，而学生们对外卖的需求仍持续增加，于是，校园外卖产业就诞生了。

校园外卖作为一种新型就餐形式，为学生带来诸多便利和多样化选择。同时，校园外卖也以方便

灵活、品种丰富、且高效节省等优势，得到广大高校学生的青睐。

#### 1.1.2 研究目的

外卖行业由于其行业自身的特殊性，监管难度较大。外卖平台监管不严格，导致外卖品质无法得到保证，食品安全存在隐患，以及为了维护校园环境与安全等原因，校外人员无关人员不得进入校内。而高校食堂内的商家本身在校内工作经验丰富，由学校管理的菜品的营养以及食品安全问题能够得到保障。再者，大学生人数众多，因为课程原因，在学校就餐时，到了食堂会排长队买饭，较为耗费时间。面对在校工作的教师群体，工作繁忙且办公地点离食堂较远时，校园外卖也可极大程度上便利老师的工作生活。基于这些，校园外卖既可以，节省学生的时间，又可以实惠的吃到健康有营养的饭菜。

便利教师与同学的同时，和商家合作，与人力送餐的效率低下成本较高相比，以智能小车配送校园外卖的方案成本较低且大量节省劳动力，商家能够较大获利。智能小车校园外卖配送能够便利校园生活，促进校园经济发展。基于上述理念，如何实现智能小车配送路径的优化是本文研究的主要对

象。

## 1.2 研究意义

在我国，随着外卖产业的拓展，点外卖消费已经融入生活方方面面，伴随快递、外卖、跑腿等懒散经济的兴起，在“懒人”集中的高校中，由于其巨大的市场潜力下，建立一个校园外卖已然成为热门的创业方式。且校园用户集中、流量大，等项目上线，到时也会有很大配送压力。综合以上情景，研究校园外卖派送的最优路径规划刻不容缓：

（1）校园外卖市场的产品种类丰富多样且价格也较为实惠。食堂食品多样化且均可配送，包括各地美食如：山西饼王、安徽牛肉版面等，以及多种甜点、饮品等，学生们足不出户便可以品尝到多种美食。相较于在校外就餐，校园外卖市场的价格要相对实惠，能够享受到超值服务。

（2）能有效提升配送速率。校园外卖市场的配送服务也非常快捷方便，学生只需要在手机下单，食堂商家根据订单要求打包装入送餐车，机器人根据送餐数量和地点规划最优路径，可减少食品积压，方便客户及早拿到，也有助于提高客户体验和服务质量。

（3）提升商家效益。对于食堂商家，降低配送成本，有利于直接增加利润。科学合理的路径规划及配送方案都可有效减少花费，提高收益。

（4）节省资源，保护环境。校外的外卖配送站，作为主要交通工具的电动车等会产生污染，例如空气污染与噪音污染。而我们的快递小车使用电

能，且有科学合理的路径规划配送，减少配送时间及路程，且不会污染环境。

（5）安全快捷。传统外卖配送需要人力，且因为时间规定限制，在路上骑行过快，就会有潜在危险。而智能小车有智能算法控制，不易造成事故发生。

由上面描述的意义可知，智能小车的使用以及合理配送的路径规划不但能便利学生，有效提高外卖配送的效率和服务质量，而且能有效减排，减少资源消耗，不会污染环境，具有良好的经济效益和举足轻重的社会意义。

## 2. 车辆路径规划概念

### 2.1 配送路径规划的基本定义

路径规划问题最早于 19 世纪 60 年代被提出，当时主要应用于公共交通领域。路径规划问题不仅具有组合优化领域的理论价值，而且具有物流配送、车辆调度、仓库选址等现实问题中的实际价值。路径规划问题是指在给定的地图和起点终点之间，找到一条最短或最优的路径，使得路径满足一定的约束条件，比如避开拥堵路段、避免行驶在不允许通行的区域等。而车辆规划问题是在此基础上考虑车辆的特性和限制，如车辆的载重量、车速、油耗等，从而确定最优的车辆行驶方案，使得车辆行驶的效率最高，成本最小，同时满足约束条件。下表为路径规划的主要组成要素。

表 2-1 路径规划的相关要素

组成要素	定义
配送货物	指配送的物品，主要包括食品、生活用品、生产原料等。
配送中心	指车辆集中点，也是每辆配送车的起点或终点。
客户	指配送的服务对象。
车辆	指送取物品的交通工具，各个车辆都有其自身的固定参数。
交通网络	指客户与客户之间、客户与配送中心之间道路相互连接构成的运输网络基础。
约束条件	指货物配送过程中存在的限制因素，主要包括车辆载重量约束、车辆最大行驶距离、每个客户智能被服务一次、从配送中心出发最后再返回配送中心等。

## 2.2 基本求解方法

车辆路径规划问题从提出至今，已有大量学者在其求解问题上进行研究探索，前期是研究以精确算法为主，中期的研究以启发式算法为主，现今以智能算法为主。

（1）精确式算法：精确式算法包括分枝定界法、动态规划法、整数规划法等。精确式算法可以对特定的数学模型采用精准的数学计算分析手段来求解出最优解，但其只适用于规模较小的车辆路径规划问题。

（2）启发式算法：启发式算法包括节约算法、最邻近算法和插入算法等。启发式算法可以在大规模问题中寻找最优解，弥补了早期精确式算法只能求解小规模问题的缺点，启发式算法可以应用于多种优化问题，如连续优化、离散优化、多目标优化等。

（3）智能算法：智能算法可以解决复杂的路

径规划问题，在较短的时间内找到近似最优解，被应用于多种路径规划问题，如连续路径规划、离散路径规划等。智能算法主要包括遗传算法、粒子群算法、蚁群算法、人工神经网络算法等。

## 3. 蚁群算法

### 3.1 蚁群算法的原理

蚁群算法是根据蚂蚁觅食现象思考总结得到的，由于蚁群具有较强的自组织性和智能性，使蚂蚁能够在觅食过程中快速找到蚁巢到食物源的最短路线。依据蚂蚁觅食这一特点，抽象出人工蚂蚁在随机搜索周围环境时，在分叉路口处，选择较短路径的蚂蚁留下较多信息素，对后来蚂蚁的吸引力越强，选择走这条路的蚂蚁越多，反之越少，因而在蚁群个体中形成了一种正反馈机制，最终，最短路径上积累的信息素越来越多，其余路径上的信息素随时间的推移不断减少，蚁群找到最优觅食路径。流程如图 3-1 所示。

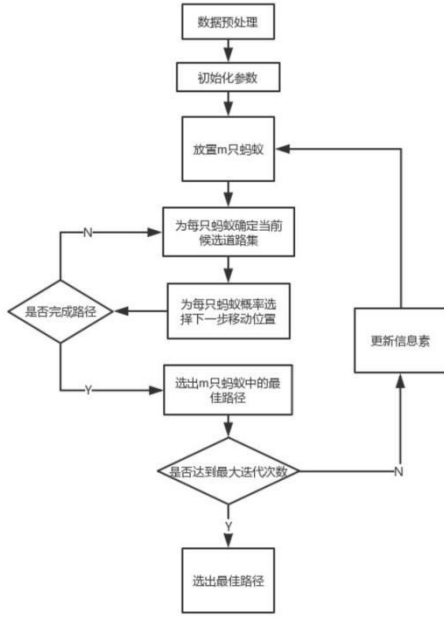


图 3-1 蚁群算法流程

### 3.2 蚁群算法的数学模型

基本蚁群算法的数学模型可以从对  $n$  个城市的经典 TSP 问题中分析给出。

在  $n$  个城市的 TSP 问题中，人工蚂蚁从  $n$  个城市中任选一个为起始城市，开始随机访问，且对其余城市仅访问一次并最终回到起始城市，最终要求得一条最短的访问路径。人工蚂蚁在寻优过程中，一句不同路径上信息量以及启发信息等来计算状态转移概率如下①所示：

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta} & j \in \text{allowed}_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $P_{ij}^k(t)$  表示在  $t$  时刻蚂蚁  $k$  由元素（城市） $i$  转移到元素（城市） $j$  的转移概率； $\alpha$  和

$\beta$  分别表示信息素和启发式信息在蚁群搜索路径过程的相对重要程度； $\tau_{ij}(t)$  是  $t$  时刻城市  $i$  与城市  $j$  之间路径上的信息量；这里用禁忌表  $\text{tabu}_k (k = 1, 2, \dots, m)$  来记录第  $k$  只蚂蚁当前已经走过的元素（城市）集合，说明式①不会再次选择禁忌表中的元素（城市），保证了求解最优路径选择的合法性。由式①可见，当前路径的信息素浓度越大，行走距离越短，则选择该路径的概率越大。

信息素时蚂蚁可以找到最短路径的关键，为了保证其有效性，需要对遗留的信息素进行更新处理，在每只蚂蚁走完一步或者走完所有  $n$  个城市后，对遗留的信息进行更新处理。用 Ant-Cycle 模型来更新信息素可得  $t + n$  时刻在城市  $i$  与城市  $j$  之间路径上的信息量可按式②进行更新。

$$\begin{cases} \tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t) \\ \Delta \tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t) \end{cases} \quad (2)$$

$\rho$  表示信息素挥发系数，则  $1-\rho$  表示信息素残留因子； $\tau_{ij}(t)$  表示本次循环中城市  $i$  与城市  $j$  之间路径上的信息量；初始时刻  $\tau_{ij}(0) = 0$ ； $\Delta \tau_{ij}^k(t)$  表示第  $k$  只蚂蚁在本次循环中留在城市  $i$  与城市  $j$  之间路径上的信息量。

如果第  $k$  次蚂蚁在本次循环中经过路径  $(i, j)$  则

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{L_k} \quad (3)$$

其中， $L_k$  表示第  $k$  次蚂蚁在本次循环中经过的总长度； $Q$  为信息素因子。

4.蚁群算法的智能小车路径规划

本文研究的问题是针对一个食堂的多辆智能小车向河北师范大学多个园区的不同配送点配送外卖的场景。因此，该智能小车外卖配送路径规划问题可以描述为在满足智能小车车载容量约束和最短送餐路径约束的前提下，对智能小车的外卖配送路径进行合理规划，以提高配送效率并满足约束条件。整体规划出的路径需要将智能小车的使用数目、每辆小车的行驶距离达到最小。

4.1 问题描述

本次研究选取职技楼、理科群、启智园、诚朴园、崇实园四个地点为送餐点，以西食堂为出发点，又按地理位置将启智园与职技楼和理科群划分成一个送餐园区点，将诚朴园和崇实园和为一个送餐点，并在两个园区内选取配餐中转点记为 A1、A2。再对每个园区进行划分最终取得最小的 18 各配送点（详见表 4-1），并进行分类编号，各配送点分布如下图 4-1 所示，以西食堂配送中心 S 为总出发点，通过高德地图测绘工具进行多次测量，求取平均值等方式，得到较为精准的各分配点距离数据，并对每个园区不同的配送点数据进行处理取整，得到以下配送点的位置数据表。将自进自出的距离定义为无穷大 INF。

表 4-1 校园配送地点标号

序号	地点	序号	地点	序号	地点
Q1	启智 1、2	P3	诚朴 3	L3	理科群 3
Q2	启智 3、4	P4	诚朴 6	L4	文科楼
Q3	启智 5、6	C1	崇实 7、8	A1	启智配送点
Q4	启智 7、8	C2	崇实 9	A2	诚朴配送点
Q5	启智 9、10	C3	崇实 10、11	A3	崇实配送点
Q6	职技楼	C4	崇实 12	A4	理科群配送点
P1	诚朴 1、2	L1	理科群 1	S	西食堂
P2	诚朴 4、5	L2	理科群 2		



图 4-1 坐标点位图

表 4-3 崇实、诚朴园区各点位置数据表

配送点 <sup>e3</sup>	A2 <sup>e3</sup>	P1 <sup>e3</sup>	P2 <sup>e3</sup>	P3 <sup>e3</sup>	P4 <sup>e3</sup>	C1 <sup>e3</sup>	C2 <sup>e3</sup>	C3 <sup>e3</sup>	C4 <sup>e3</sup>
A2 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	152 <sup>e3</sup>	152 <sup>e3</sup>	245 <sup>e3</sup>	245 <sup>e3</sup>	594 <sup>e3</sup>	642 <sup>e3</sup>	594 <sup>e3</sup>	642 <sup>e3</sup>
P1 <sup>e3</sup>	152 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>
P2 <sup>e3</sup>	152 <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>
P3 <sup>e3</sup>	245 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>
P4 <sup>e3</sup>	245 <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>
C1 <sup>e3</sup>	594 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>
C2 <sup>e3</sup>	642 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>
C3 <sup>e3</sup>	594 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	435 <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	526 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>
C4 <sup>e3</sup>	642 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>	527 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>	512 <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	100 <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>

表 4-4 启智园、理科群、职技楼各点位置数据

配 送 点 <sup>e3</sup>	A1 <sup>e3</sup>	Q1 <sup>e3</sup>	Q2 <sup>e3</sup>	Q3 <sup>e3</sup>	Q4 <sup>e3</sup>	Q5 <sup>e3</sup>	Q6 <sup>e3</sup>	L1 <sup>e3</sup>	L2 <sup>e3</sup>	L3 <sup>e3</sup>	L4 <sup>e3</sup>
A1 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	200 <sup>e3</sup>	208 <sup>e3</sup>	137 <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	133 <sup>e3</sup>	351 <sup>e3</sup>	672 <sup>e3</sup>	662 <sup>e3</sup>	651 <sup>e3</sup>	54
Q1 <sup>e3</sup>	200 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>	40 <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>	220 <sup>e3</sup>	380 <sup>e3</sup>	711 <sup>e3</sup>	685 <sup>e3</sup>	751 <sup>e3</sup>	57
Q2 <sup>e3</sup>	208 <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	150 <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	250 <sup>e3</sup>	500 <sup>e3</sup>	874 <sup>e3</sup>	809 <sup>e3</sup>	871 <sup>e3</sup>	70
Q3 <sup>e3</sup>	137 <sup>e3</sup>	440 <sup>e3</sup>	150 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	140 <sup>e3</sup>	200 <sup>e3</sup>	376 <sup>e3</sup>	686 <sup>e3</sup>	624 <sup>e3</sup>	696 <sup>e3</sup>	51
Q4 <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	170 <sup>e3</sup>	60 <sup>e3</sup>	140 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	230 <sup>e3</sup>	490 <sup>e3</sup>	780 <sup>e3</sup>	716 <sup>e3</sup>	777 <sup>e3</sup>	61
Q5 <sup>e3</sup>	133 <sup>e3</sup>	220 <sup>e3</sup>	250 <sup>e3</sup>	200 <sup>e3</sup>	230 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	320 <sup>e3</sup>	561 <sup>e3</sup>	459 <sup>e3</sup>	557 <sup>e3</sup>	38
Q6 <sup>e3</sup>	351 <sup>e3</sup>	380 <sup>e3</sup>	500 <sup>e3</sup>	376 <sup>e3</sup>	490 <sup>e3</sup>	320 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	316 <sup>e3</sup>	265 <sup>e3</sup>	324 <sup>e3</sup>	15
L1 <sup>e3</sup>	672 <sup>e3</sup>	711 <sup>e3</sup>	874 <sup>e3</sup>	686 <sup>e3</sup>	780 <sup>e3</sup>	561 <sup>e3</sup>	316 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	450 <sup>e3</sup>	540 <sup>e3</sup>	46
L2 <sup>e3</sup>	662 <sup>e3</sup>	685 <sup>e3</sup>	809 <sup>e3</sup>	624 <sup>e3</sup>	716 <sup>e3</sup>	459 <sup>e3</sup>	265 <sup>e3</sup>	450 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	210 <sup>e3</sup>	25
L3 <sup>e3</sup>	651 <sup>e3</sup>	751 <sup>e3</sup>	871 <sup>e3</sup>	696 <sup>e3</sup>	777 <sup>e3</sup>	557 <sup>e3</sup>	324 <sup>e3</sup>	540 <sup>e3</sup>	210 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	16
L4 <sup>e3</sup>	541 <sup>e3</sup>	579 <sup>e3</sup>	703 <sup>e3</sup>	519 <sup>e3</sup>	611 <sup>e3</sup>	389 <sup>e3</sup>	158 <sup>e3</sup>	460 <sup>e3</sup>	250 <sup>e3</sup>	160 <sup>e3</sup>	INI

表 4-5 各园区位置数据表

配送点 <sup>e3</sup>	S <sup>e3</sup>	A1 <sup>e3</sup>	A2 <sup>e3</sup>
S <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	0 <sup>e3</sup>	318 <sup>e3</sup>
A1 <sup>e3</sup>	0 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>	318 <sup>e3</sup>
A2 <sup>e3</sup>	318 <sup>e3</sup>	318 <sup>e3</sup>	INF <sup>e3</sup>

经上述操作后，本文研究的校园外卖配送路径规划问题可表示为以河北师范大学新校区的 18 个配送点为研究对象，设置西食堂为总出发点，在不同园区内历经所需配送点后，回到西食堂的最短路径规划 TSP 类问题。

4.2 算法设计

4.2.1 模型假设

根据实际问题，对基于蚁群算法的模型提出一下假设：

- （1）由食堂配送中心负责完成有关配送点的物流配送；
- （2）以食堂配送中心为原点，已知各个点之间的距离，以及各配送点送餐需求量；
- （3）每个园区均配备 10 辆规格相同的智能小车，每辆智能小车最大可容纳 30 份餐，所有误差可忽略不计；
- （4）车辆完成所有配送任务后需要回到食堂
- （3）求解每只蚂蚁遍历过的各园区所需配送

配送中心；

4.2.2 蚁群算法的实现

本文通过获取各个园区每个配送点所需的送餐数量，从各园区 1 号位置开始，根据不同园区配送点的送餐数目分配智能小车，一辆智能小车一次最多可配送 30 份，由于智能小车数量限制，每个园区送餐总数需小于 300 份。获得所需小车数量与所需前往的配送点，使用蚁群算法，求得每辆智能小车送餐的最短路径。

本文采用基于信息素的蚁群算法处理 TSP 问题操作步骤为：

- （1）初始化蚁群各项基本参数以及各条配送路径上的信息素，根据不同配送点的送餐数量需求，分配所需前往的各个园区的不同配送点，设置蚂蚁的种群数量为 m，n 表示为此次配送过程中该园区所需配送点的数量，每只蚂蚁从各园区的起始点出发，并从这 n 个配送点中随机挑选的任一配送点前往。
- （2）往复迭代。在每一次的路径循环中，第 k 只蚂蚁根据每条配送路径上的信息素量来判断其接下来的移动方向。使用禁忌表的记录形式来记录当前 k 只蚂蚁所遍历过的配送点。随着蚂蚁的不断搜索，蚂蚁种群会依照每条配送路径上的信息素量跟当前配送路径上滞留的启发信息来求解当前状态转移概率，从而选择下一个配送点。

点的路径长度 L，将路径长度与西食堂到该园区起

始出发点的距离求和，并保存当前最短路径  $L$ 。

(4) 更新配送路径上的信息素。

(5) 对蚂蚁种群的迭代次数进行判断看其是否满足迭代终止条件。

(6) 获得该次配送最短路径。

### 4.3 实验结果分析

#### 4.3.1 实验参数的选择

在本文中，对传统的蚁群算法进行运行参数的选择，设信息重要程度因子  $\alpha=1$ ，启发式因子  $\beta=2$ ，信息素挥发因子  $\rho=0.5$ ，每只蚂蚁携带的信息素总量  $Q=100$ ，设蚂蚁数量  $\text{num\_ants}=32$ ，最大迭代次数  $\text{num\_iterations}=190$ ；

参数确定：利用二分法迅速找到保证结果正确下的最小参数，首先用  $\text{num\_ants}=200$ 、 $\text{num\_iterations}=600$ ，此值明显偏大，以此保证结果的绝对正确，之后控制变量，利用二分法找到能保证结果正确的极限最小值。得到结果为  $\text{num\_ants}=16$ 、 $\text{num\_iterations}=95$ 。故选用  $\text{num\_ants}=32$ 、 $\text{num\_iterations}=190$  保证结果准确性的同时，加快程序的运行速度。（固定蚂蚁数量为两百时测试结果见图 4-1 和 4-2、迭代次数为一百时测试结果见图 4-3 和图 4-4）

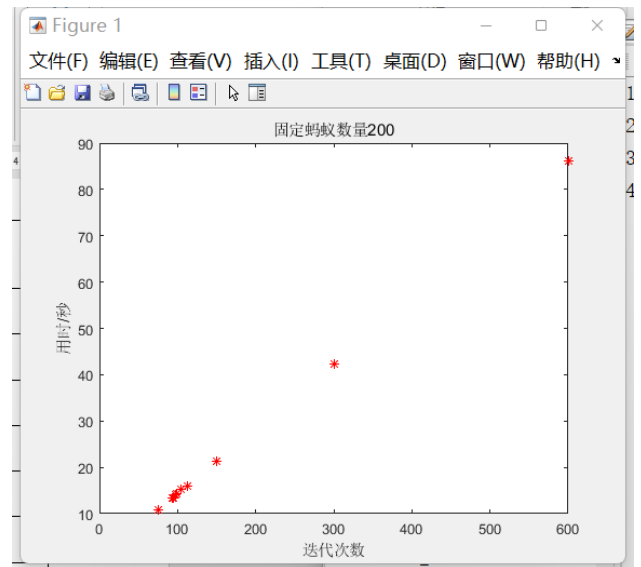


图 4-1

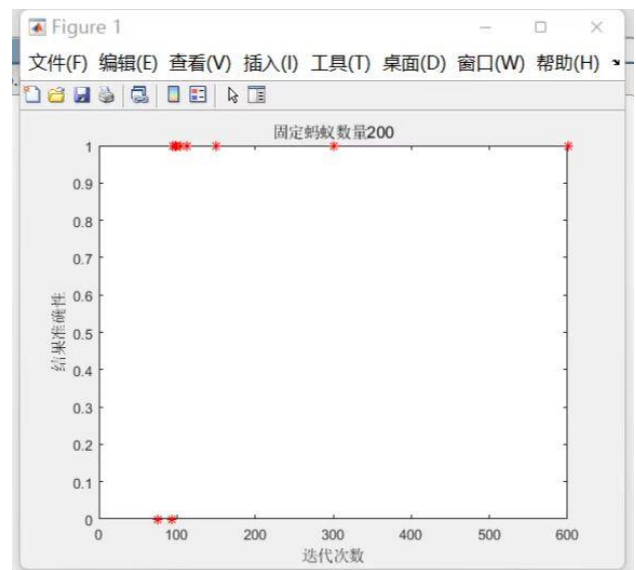


图 4-2



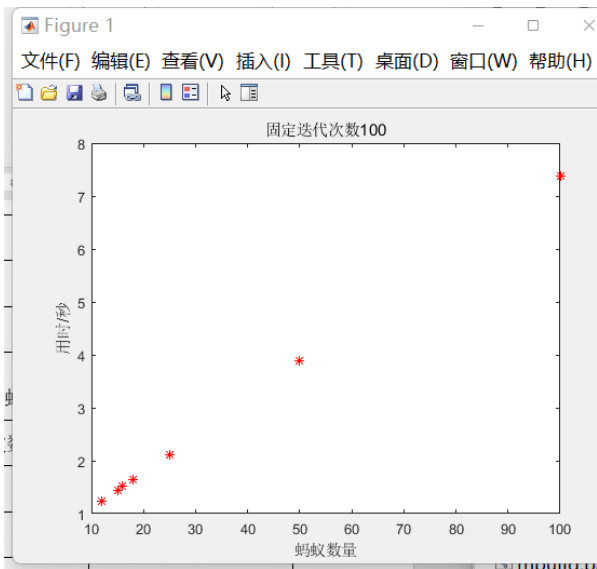


图 4-3

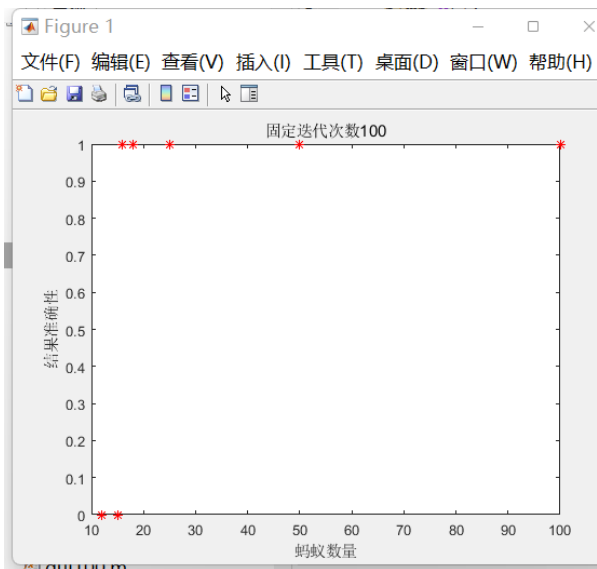


图 4-4

#### 4.3.2 蚁群算法的效果测试

为方便后期观察和使用程序，使用 PyQt6 编写面向用户的良好 GUI 界面（见图 4-5），并调节参数，运行程序进行展示。



图 4-5

由图 4-5 可得本课题的 GUI 设计界面，其中，左侧框图为送餐数量输入窗口，左下窗口规划按钮，点击即可完成对应要求送餐数量的规划，右侧为最终规划结果。（图 4-6、4-7、4-8、4-9 为三种不同的送餐需求下的运行结果）



图 4-6



图 4-7



图 4-8



图 4-9

## 总结与展望

本文基于蚁群算法来求解校园外卖配送类的 TSP 问题，有效地解决了校园内外卖配送的线路规划问题，具有较好的应用价值。但本研究结果仍存在许多尚待改进的地方，比如校园内行人行走的不规范性、外卖配送车辆的行驶速度、配送车辆的装载空间等因素对路径规划结果的影响。

## 附录

附件中包含了程序源码、设计图纸、模拟结果等数据，以供参考。

蚁群算法小车送餐路径规划.exe 本程序为已封装完毕的应用，可以在所有 Windows 平台上运行，您只需要运行并按照提示即可执行。

当您需要查看源代码时，下列给出开发环境：  
Windows 11 22H2、Visual Studio 2022、  
QtDesigner6.4.3、Python 3.9.11、PyQt6.4.2、  
Pandas2.0.2、numpy2.23.5

附录压缩包：基于蚁群算法的智能小车校园外卖配送路径规划.zip

包含内容：

/GUI 设计\_源码 一包含 GUI 的设计源代码

/程序设计\_源码 一包含程序源代码

/答辩与论文 一包含论文与演示文稿

/模拟结果 一包含二分法记录、模拟运行结果

/设计图纸 一包含实现方法的设计图纸

## 参考文献

- [1]陈祥豪.大学校园外卖发展现状及对策分析——以杭州师范大学为例[J].经营与管理,2022.
- [2]郭晓琪.高校校园外卖规范化管理探讨[J].中国物流与采购,2022.
- [3]徐坤.基于改进蚁群算法的小区快递配送路径规划研究[D].新疆大学,2019.
- [4]范立南,吕鹏.基于改进遗传算法的校园外卖配送路径规划[J].物流科技,2021.
- [5]左敏,许华荣.基于改进蚁群算法的智能小车路径规划[J].心智与计算,2011.
- [6]吴开兴,刘小雨.基于改进蚁群算法的物流配送路径规划研究[J].信息与电脑(理论版),2022.
- [7]肖艳秋,焦建强,乔东平等.蚁群算法的基本原理及应用综述[J].轻工科技,2018.