

分类号:
学号: 20212108028

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



社区农产品团购点优化及配送路径规划 系统研究与实现

学位申请人	谢剑鹏
指导教师	肖婧 教授 周杰 教授
申请学位类别	专业硕士
学科、专业名称	电子信息
研究领域	计算机技术
所在学院	信息科学与技术学院

中国·新疆·石河子
2024年6月

分类号:
学号: 20212108028

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



社区农产品团购点优化及配送路径规划 系统研究与实现

学位申请人	谢剑鹏
指导教师	肖婧 教授 周杰 教授
申请学位类别	专业硕士
学科、专业名称	电子信息
研究领域	计算机技术
所在学院	信息科学与技术学院

中国·新疆·石河子
2024年6月

**Research and Implementation of Agricultural Product
Delivery Route Planning System Based on Community
Group Purchase Point Selection**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

By

Xie Jianpeng

Computer Technology

Dissertation Supervisor: **Xiao Jing, Zhou Jie**

June, 2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：谢剑鹏 时间：2024年5月13日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：谢剑鹏 时间：2024年5月13日

导师签名：肖婧 时间：2024年5月13日

摘要

随着移动互联网的普及和拼多多“拼团优惠”业务的兴起，社区团购已成为人们网上购物的热门选择。社区团购通过线上预订和线下送货方式，实现了商品的批量采购，降低了商品价格，为消费者提供了实惠价格。本文提出的社区团购点选择可以有效地降低配送距离，降低成本，为企业带来竞争优势。同时，优化的农产品物流配送路径能有效降低配送成本，缩短配送时间，大幅提高物流配送利润。因此，研究和实现社区农产品团购点优化及配送路径规划系统在理论和应用上具有重要价值。基于 S 市当地社区团购需求和综合国内外相关研究，本文针对社区团购点选择和配送路径优化问题展开研究。在团购点选择方面，选择一个较优的社区团购点选择方案，有助于降低总体配送距离和服务成本。同时，农产品配送路径的优化关系着成本、时间和利润。最后，本文设计了一款图形化操作界面良好的团购点和路径优化仿真系统，以满足实际需求。综上所述，本文工作主要分为三部分。

(1) 为了解决社区团购节点选择的问题，本文提出了一种新的混沌玻尔兹曼选择麻雀搜索算法(CBSSA)，可以有效地降低社区团购点选择方案的配送距离和服务成本。同时，本文还设计了一个新的社区团购点选择模型，充分考虑了现实中的位置条件和社区团购节点的服务成本等因素。接着，本文利用 MATLAB 软件搭建了社区团购点选择优化的测试环境，并将所提出的算法与经典的遗传算法方法进行了比较。实验结果表明，在多个实验场景下，CBSSA 相比传统遗传算法在配送距离和服务成本上，分别至少降低了 5.9%和 11.65%。这表明，本文所提出的 CBSSA 社区团购点选择方法可以有效地降低配送距离和服务成本。

(2) 为了解决农产品配送的路径规划问题，本文提出了一种新的量子蚁群算法(QACO)，可以有效地减少配送成本和时间、提高经济利润。本文还设计了一个新的农产品配送路径规划模型，并提出了一个新的评价函数。最后，本文设置了多种实验场景，相比最新的改进的蚁群优化(MACO)、可变邻域搜索的蚁群优化算法(VNS-ACO)和经典的蚁群算法(ACO)，QACO 降低了时间和成本、提升了经济利润。其中以社区团购点为 30 个的实验场景为例，本文所提出的 QACO 相比当前最新的 MACO、VNS-ACO 和经典的 ACO 算法在经济利润上，至少要高 5.68%以上，对于配送时间来说，QACO 要均至少要低 17.09%以上，对于配送成本，QACO 则均至少要低 12.31%以上。这表明，本文所提出的农产品路径规划方法可以有效地降低配送成本和配送时间、提高经济利润。

(3) 基于上述两个重要模型与优化算法，本文利用 MATLAB App Designer 平台实现了一个图形化界面的社区农产品团购点优化及配送路径规划仿真系统，包括登录界面、社区团购节点选择界面与物流路径配送规划界面。最后，为了验证系统的可靠性，本文对其进行了全面的系统功能测试，该系统所设计的各项功能均被有效地展示。

关键词：社区团购；农产品配送；社区团购节点优化；配送路径优化；群智能算法

Abstract

With the popularity of mobile internet and the rise of Pinduoduo's "group purchase discount" business, community group buying has become a popular choice for online shopping among people. Community group buying achieves bulk purchases of goods through online reservations and offline delivery, reducing product prices and providing consumers with affordable prices. The community group buying point selection proposed in this thesis can effectively reduce delivery distances, lower costs, and provide competitive advantages for enterprises. At the same time, optimizing the logistics distribution path of agricultural products can effectively reduce distribution costs, shorten delivery times, and significantly increase logistics distribution profits. Therefore, research and implementation of community agricultural product group buying point optimization and distribution path planning systems have important theoretical and practical value. Based on the local community group buying needs in S City and comprehensive research from both domestic and international sources, this thesis focuses on the research of community group buying point selection and distribution path optimization. In terms of group buying point selection, choosing a more optimal solution helps to reduce overall delivery distances and service costs. Additionally, the optimization of agricultural product distribution paths is closely related to costs, time, and profits. Finally, this thesis designs a graphical user interface for a well-performing group buying point and path optimization simulation system to meet practical needs. In summary, the work of this thesis is mainly divided into three parts.

(1) To address the issue of community group buying node selection, this thesis proposes a novel chaotic Boltzmann sparrow search algorithm (CBSSA), which effectively reduces the delivery distance and service costs of community group buying node selection solutions. Additionally, this thesis designs a new community group buying node selection model, taking into account real-world location conditions and the service costs of community group buying nodes. Subsequently, this thesis builds a testing environment for optimizing community group buying node selection using MATLAB software, and compares the proposed algorithm with classical genetic algorithm methods. Experimental results demonstrate that, across multiple experimental scenarios, CBSSA reduces the delivery distance and service costs by at least 5.9% and 11.65%, respectively, compared to traditional genetic algorithms. This indicates that the CBSSA community group buying node selection method proposed in this thesis effectively reduces delivery distance and service costs.

(2) To address the problem of agricultural product distribution path planning, this thesis proposes a novel Quantum Ant Colony Optimization (QACO) algorithm, which effectively reduces delivery costs and time while increasing economic profits. Additionally, a new agricultural product distribution path planning model is designed in this thesis, along with a novel evaluation function. Furthermore, various experimental scenarios

are set up to compare QACO with the latest improved Ant Colony Optimization (MACO), Variable Neighborhood Search Ant Colony Optimization (VNS-ACO), and classical Ant Colony Optimization (ACO) algorithms. Results show that, in a scenario with 30 community group buying points, QACO outperforms MACO, VNS-ACO, and classical ACO algorithms by at least 5.68% in economic profits and reduces delivery time by at least 17.09% while lowering delivery costs by at least 12.31%. These findings indicate that the proposed agricultural product path planning method effectively reduces delivery costs and time while increasing economic profits.

(3) Based on the above two important models and optimization algorithms, this thesis utilized the MATLAB App Designer platform to construct a graphical user interface for simulating the optimization of community agricultural product group buying points and the planning of distribution paths. The system includes login interface, community group buying node selection interface, and logistics path distribution planning interface. Finally, to verify the reliability of the system, comprehensive system functionality testing was conducted, and all designed functions of the system were effectively demonstrated.

Key words: Community Group Buying; Agricultural Product Distribution; Community Group Buying Node Optimization; Distribution Route Optimization; Swarm Intelligence Algorithms

目录

摘要.....	I
Abstract	II
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 社区团购背景的研究现状.....	2
1.2.2 社区团购点选择的研究现状.....	3
1.2.3 配送路径的研究现状.....	4
1.3 论文研究内容.....	7
1.4 研究方法与创新之处.....	8
1.4.1 研究方法.....	8
1.4.2 创新之处.....	9
1.4.3 文章结构图.....	10
1.5 论文组织与安排.....	10
第 2 章 相关理论和技术工作.....	12
2.1 社区团购业务的发展和背景.....	12
2.2 社区团购点选择技术.....	13
2.3 农产品配送路径规划.....	14
2.4 MATLAB App Designer 开发平台.....	15
2.5 本章小节.....	16
第 3 章 基于 CBSSA 的社区团购点选择方法.....	17
3.1 社区团购点选择模型.....	17
3.1.1 模型假设.....	17
3.1.2 影响社区团购点选择的约束因素以及目标函数.....	18
3.2 混沌玻尔兹曼麻雀搜索算法.....	20
3.2.1 种群编码和初始化.....	21
3.2.2 麻雀位置更新.....	23
3.2.3 CBSSA 的玻尔兹曼选择策略.....	25
3.3 社区团购点选择算法实验验证.....	26
3.4 本章小结.....	30
第 4 章 基于 QACO 的农产品配送路径规划方法.....	31

4.1 问题描述	31
4.2 农产品配送路径规划模型的构建	32
4.2.1 农产品配送路径规划模型的要素分析	32
4.2.2 农产品配送路径规划模型的假设	34
4.3 各项影响因素的分析	34
4.3.1 成本因素分析	34
4.3.2 耗时分析	35
4.3.3 农产品配送路径规划模型的构建	36
4.4 基于量子蚁群算法的农产品物流配送路径规划方法	37
4.4.1 量子比特编码	38
4.4.2 量子旋转门更新	38
4.4.3 路径选择	39
4.4.4 信息素更新	40
4.5 农产品物流配送路径规划实验验证	41
4.6 本章小结	47
第 5 章 社区农产品团购点优化及配送路径规划系统设计与实现	48
5.1 系统需求分析	48
5.1.1 功能性需求	49
5.1.2 非功能性需求	51
5.2 系统总体架构设计	52
5.3 模块设计与实现	53
5.4 系统测试和结果展示	59
5.5 本章小结	65
第 6 章 结论与展望	66
6.1 结论	66
6.2 展望	66
参考文献	68
致谢	73
作者简介	74

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

随着我国农业经济的不断发展，以及城市区域的快速进步，面向城市农产品物流行业的发展也是日新月异^[1]。与此同时，人们对物流的时效性有了更高的要求，从而也暴露出传统的城市物流行业存在的一些问题。一方面，城乡一体化的进程正在加快，物流环境不断变化，导致物流行业无法实时适应城乡一体化的需求^[2]；另一方面，互联网的不断发展，激励了物流行业从传统物流向智慧物流进行转变^[3]。

农产品是人们日常生活的必需品，随着对生鲜农产品配送时间和质量要求的提高，城市农产品市场对农产品物流配送提出了更高的要求^[4]。由于部分农产品在常温下难以长期保鲜的特性，以及中国生鲜农产品城市物流的发展尚不成熟，中国农产品城市物流配送的传统路径安排中存在诸多问题，主要表现为物流成本高、运输时间长、运输距离远和路径规划时间慢等^[5]。

解决农产品在城市物流运输过程中出现的问题，并且满足城市物流的需求被认为是一个多目标优化问题，也是对现代物流行业提出的新挑战^[6]。从农产品城市物流配送的商业模式来看，社区团购点作为物流产品配送的“最后一站”已经成为热门的发展方向。大型物流配送公司和农贸公司通常将货物分散至社区团购点，由其负责配送给目标客户。因此，如何精选部分农产品配送点作为配送距离最短、服务成本更低的社区团购点选择方案，已成为优化物流配送和农产品配送模式的热门研究方向和重要商业决策过程^[7]。同时，对于后续农产品物流配送路径的进一步研究发现，提高企业效益、减少配送时间和降低运输成本也是急需解决的问题。然而，目前我国物流行业的发展情况显示，大多数物流企业尚未真正采用高效智能物流系统，导致农产品配送成本高、配送时间长、配送利润低的问题。要提高整个供应链的效率和竞争力，必须解决农产品运输的痛点问题，优化城市农产品物流智慧运输路径^[8]。

物流配送节点的选择和路径规划是物流配送链中非常重要的管理和决策过程^[9]。通过设计一个高效的社区团购点选择和农产品配送路径规划系统，解决农产品物流配送过程中存在的社区团购节点选择不合理、配送成本高、物流成本大、运输距离远和时间长的问题，可以让农产品配送更为智能、经济、绿色^[10]。

在社区团购的农产品实际配送中，由于社区团购点选择和路径规划依然局限于人工经验，导致城市农产品配送企业遇到主要问题包括：配送网络设计不合理导致配送距离长、社区团购点配送成本高、利润低和时间长的问题。通过对社区团购点适当的

选择和配送车辆行驶路线合理规划, 配送企业可以显著降低物流成本并提高物流效率, 并保证对客户进行高质量的配送服务, 形成物流配送活动中的集约效应和规模效应^[11]。社区团购用户的体验与企业盈利目标离不开城市农产品物流运输路径规划系统的支撑。高效率的城市社区团购点选择与农产品物流运输路径规划系统需要保证时效性, 这对城市农产品智慧物流行业的实践和发展有着重要意义^[12]。

综上所述, 关于社区团购点与农产品配送路径综合性优化的理论与商业模式已引起国内外许多学者的关注, 他们对此进行了广泛研究。因此, 本研究选择以传统农贸与社区团购盛行的 S 市为研究对象, 深入考虑社区团购点的地理位置特点以及农产品配送路径, 对 S 市社区团购业务的现状、社区团购点分布以及最终的路径优化问题进行了全面分析。通过这一研究, 旨在解决 S 市社区团购业务中存在的问题, 包括配送距离长、配送成本高、配送时间长、配送利润低等难题。希望为 S 市社区团购行业提供合理的社区团购点方案优化以及农产品物流配送路径优化的参考与对策建议。同时, 本研究也为 S 市社区团购业务的降本增效提供了可行性的参考建议。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 社区团购背景的研究现状

社区团购是中国崭新的电商模式, 通过线上平台集体购买商品, 享受折扣。2016 年湖南长沙率先推行线上订购+线下配送服务, 为社区居民提供便利^[13]。随着生活水平提升, 越来越多人选择社区团购获取日常所需。本地化服务让消费更加便捷, 也促进了社区内的互动与联系^[14]。拼多多旗下的多多买菜业务进一步推动了社区团购的普及。学者们对其运行机制和影响因素展开研究, 尤其关注团购点选择、配送路径规划和平台设计等方面^[15]。这种研究有助于深入了解社区团购模式的本质, 为未来商业模式的发展提供借鉴和启示^[16]。

南开大学的李世杰等人^[17]对电商平台进入社区团购市场的影响进行了探讨, 并提出了一种全新的社区型电子商务概念。这一概念符合许多城市居民以社区为单位进行集中化管理的大趋势, 同时也通过对客户管理和物流配送方面的优势进行了分析研究, 为社区团购市场带来了新的发展机遇。华南理工大学的魏宗财等人^[18]通过分析广州市社区团购自提点的空间分布, 发现社区团购行业受到便利店密度、人口密度、超市密度等因素的显著影响。上海海事大学的戚淳浩等人^[19]提出了一种基于众包模式的两级冷链协同优化配送策略, 通过改进的自适应大领域搜索算法实现了高效解决社区团购生鲜品冷链物流问题。柳西波等人^[20]探讨了以泸州合江荔枝生鲜电商为例的社区团购商业模式创新路径, 分析了社区团购商业模式创新的协同发展策略, 以促进生鲜产品

市场流通。李瑾等人^[21]提出社区团购业需要通过正确的数据分析,从而成功提升了社区团购的客户留存和销售量,为新零售时代下的社区团购商业模式创新提供了有价值的研究方向。林庆洪等人^[22]认为社区团购的商业模式可以推动社区商业的多元化发展,以满足居民多样化的生活消费需求。张秦^[23]认为社区团购作为一种全新零售模式,尤其对廊坊市胜芳蟹的流通体系优化具有积极影响。周冲冲^[24]发现社区团购的便利性、安全性、人际互动、服务质量对消费者的感知有用性和感知易用性具有显著影响。湖南科技大学的彭建华等人^[7]通过分析易耗农产品的社区团购模式及其库存特点,建立了基于订货批量和再订购点的库存总成本模型,结果表明产品高需求率对库存总成本的影响较明显,成本利用率随着产品日均需求率的增加而提高。陆森^[25]以社区新零售模式下的供应链重构机制为研究对象,提出了通过实时共享的供应链平台。

总的来说,国内外对于社区团购问题已经开展了大量成熟的研究。当前,一些研究主要是集中于社区团购点的选择问题、社区团购的农产品路径规划问题。但是,能够综合考虑到社区团购点的选择和社区团购农产品路径规划的问题依然还是比较少,解决这个问题对于社区团购行业的发展具有重要意义。

1.2.2 社区团购点选择的研究现状

物流节点选择问题是社区团购农产品物流配送行业的新研究方向之一。物流节点选择问题直接影响到农产品后续物流配送过程的路径选择,从而极大地影响到社区团购业的成本、时间与利润^[26]。社区团购点的选择需要综合考虑多个因素,包括但不限于社区团购点的地理位置、服务成本、需求量等因素。在市场需求波动或业务变化时,合理的节点选址使得供应链能够更快速地调整以适应新的情况。目前,关于配送点选择问题的研究主要集中在配送中心的选择、配送中转节点的选择与货物配送点的选择。其中,由于美国、英国、荷兰等城市地理环境的特点以物流运输业发达,城市人口密度小的特点,国外的研究主要集中于配送中心地址的选择。与此同时,国内由于“社区团购”新兴业务的兴起与社区小区内人口密度集中等特点,近年来,物流节点选择的研究方向开始向中国特色的社区团购货物配送点选择而转变,并提出了许多新颖与可行的研究思路与方法^[27]。

国外学者们较早开始关注配送节点选择问题的研究。近期国外学者们配送节点选择问题上有了新的突破,Deja 提出了一种基于物流分析的创新模型,用于研究智慧可持续城市中多层制造集群的物流节点,并探讨了平衡不确定性的效果^[28]。Shahmanzari 提出了一种两阶段数学启发式方法来解决大型实例,该方法首先处理城市物流节点选择,然后专注于路径生成^[29]。Cakmak 提出了一种 BPSO 算法,可以有效地寻找物流中心的选址,为城市规划者和供应链管理者提供了一种分析大都市交通网络关键节点的工具^[30]。Ozmen 提出了一种三阶段方法,使用线性 BWM 对标准进行加权,

然后使用 EDAS 方法和不同的距离度量对物流节点位置进行排名, 以提供有用的结果^[31]。Uyanik 针对城市物流中心位置选择问题, 提出了一种系统的多标准决策方法, 有效解决了实际问题^[32]。

我国学者关于配送选址问题的研究起步较晚, 但是深入研究的学者在近几年随着商业社区团购业务的兴起开始不断猛增, 在研究方法的创新与研究目标的选择上更具现实意义。中国民航大学的刘光才^[33]通过设计了一种改进模拟退火遗传算法, 以解决城市场景下物流配送选择及任务分配问题, 在不同环境下展现了良好的适应性。南京工业大学的杨小琴等人^[34]针对求解物流配送点选择问题, 提出了一种改进麻雀搜索算法(M-SSA), 通过均匀化 Logistic 映射、正余弦优化和惯性权重机制改进发现者位置更新, 进而降低了物流配送成本, 提升了配送效率。兰州交通大学的武蓉等人^[35]提出了一种物资物流配送中心动态选择方法通过分析影响选址的因素、构建评价指标体系、剔除无用备选点等步骤, 采用多目标粒子群算法求解动态选址模型, 实现了选址时间短、精度高的效果。贵州大学的陶娟等人^[36]提出了一种自学习蝗虫优化算法(IGOA)通过设计佳点集种群初始化方法、引入伪对立学习、根据适应度对种群对半划分等步骤, 对物流配送中心选择问题进行迭代寻优, 该算法能够降低物流配送成本、提高配送效率。上海海事大学的吕星皓等人^[37]通过运用复杂网络理论、弗洛伊德算法、熵权 TOPSIS 等技术, 提出了一种新应急物流配送中心的选址方法, 为应急物流规划提供了决策支持。交通运输部科学研究院的董娜等人^[38]针对农村物流节点布局问题, 以陕西省宝鸡市扶风县 2022 年的物流需求为例, 提出了改进的麻雀搜索算法对模型进行求解, 提高了农村物流配送效率, 降低了农村物流成本。聂闻聪等人^[39]提出了一种基于城市交通的物流配送系统选择模型, 采用多线配送模式可以大幅提升系统覆盖能力, 减少需求不确定性造成的系统浪费。韦修喜等人^[40]提出了一种改进的鸽群优化算法, 通过引入灰狼优化算法的捕食策略, 有效提高了算法的局部搜索能力和寻优性能, 特别适用于高维物流配送中心选址问题的求解。

综上所述, 国外对于物流节点选择问题已经有了许多成熟的研究。同时大多都是聚焦于自己国内的物流运输业的发展问题。因此, 立足于我国特殊的城市物流运输业发展情况, 考虑具有我国城市特色的物流节点选择问题便显得十分的重要。当前国内已有不少的研究机构与研究者提出了许多的办法用于解决这一问题。其中, 大多数的研究者选择使用群智能算法解决。然而, 通过对这些研究方法的仔细调查, 发现当前这些所提出的算法, 存在有收敛速度慢、收敛精度不够准确的问题, 针对社区团购节点选择问题, 仍需要通过提出一个新群智能算法用于选择方案的优化。

1.2.3 配送路径的研究现状

配送路径选择问题(Delivery Route Selection Problem)是车辆路径问题(Vehicle

Routing Problem) 的一种表现形式。车辆路径问题最早由 Dantzig 和 Ramser 在 1959 年提出, 他们的研究主要关注如何有效地安排一组车辆, 以最小化它们的行驶距离, 并满足一组客户的需求^[44]。随着现代商业与物流行业的兴起, 车辆路径问题衍生出了许多相应的研究方向, 主要集中在解决配送方案与配送路线规划的核心问题上。由于车辆路径问题是一个组合优化问题, 求解难度较大, 因此国内外的研究学者们提出了许多方法用于寻找理论上与现实可行的最优解方案。

基于欧美等以大公司、集群化跨城市、跨国际物流运输业的研究背景, 国外的学者对于配送路径的选择问题做出了许多的研究。其中, 以美国、欧洲等大货运公司为代表的研究主要集中在跨国、城市之间的路径规划问题, 同时这类问题的货物运输主要集中为家具、家电等工业产品^[41]。

Sabo 提出了一种新颖的基于混合整数规划的选择性车辆路径问题的数学模型, 并通过与现有模型比较, 验证了该模型的一致性和优越性^[42]。Agardi 提出一个广义的车辆路径问题的本体论模型, 并以实际案例作为研究^[43]。Nosrati 提出了一种双目标优化的混合车辆路径问题, 通过考虑替代路径、不同长度和可靠性, 提出的模型采用混合整数非线性规划, 模拟退火算法作为解决策略^[44]。Brunner 考虑了陡峭道路和车辆载重对燃料消耗成本的综合影响, 提出了一种称为陡峭道路车辆路径问题的模型, 并进行了启发式求解^[45]。

由于我国独特的地理环境与人口分布情况, 当前我国的城市分布情况与行政设置并不如同国外城市分布跨度较大, 加之近年来兴起的社区团购与国内城市化发展进程, 我国的车辆路径问题研究主要集中于当前城市内的货物配送、城市内部和近郊农贸货物运输的问题^[46]。同时, 随着我国电子商务蓬勃发展的十年带动了物流行业飞速发展, 伴随着社区团购业务、拼多多“多多买菜业务”和疫情期间团长买菜等消费习惯的培育, 关于农产品城市物流配送行业越发的兴盛^[47]。同时, 关于产品配送路径问题的研究也愈发丰富与深入, 基于这些研究背景之下, 国内的相关研究也围绕着车辆路径规划问题不断进一步探讨与求解。研究者们在城市内物流运输、农产品运输特点与社区团购的特点下提出了许多更符合国情与国内物流行业现实实际意义的思路与方法。

北京交通大学曹艳丽^[48]提出了一种基于改进蚁群算法的最优路径规划方法, 通过改进蚂蚁对下个目标节点的选择方式, 并对非最优解加以重复利用来充分探索可能的配送路径, 最终提高了算法跳出局部最优的概率, 进而提高了算法的效率和准确性。华南理工大学的王艳^[49]聚焦于社区团购生鲜配送问题, 通过混合聚类算法、蚁群算法和大规模邻域搜索改进的遗传算法等方法, 实现了有效降低企业配送成本、提高配送效率, 为社区团购企业的发展提供了新的理论参考和实践建议。西南大学的王小康等人^[50]提出一种基于改进 Q 学习算法的物流配送车路径规划方法, 通过调整贪婪因子 ϵ 和连续奖励机制, 实现平衡探索与利用, 提高了规划效率和收敛速度。暨南大学的钟

海威^[51]以社区团购模式为研究对象,针对物流企业存在的物流配送网络问题,提出了一种物流配送选址-路径优化模型,通过 weighted k-means 聚类方法和改进的遗传算法,为企业确定了最佳的前置仓选址及最优的路径配送网络,验证了该模型和算法在优化网格仓物流配送网络方面的有效性。东北大学的唐传茵等人^[52]提出一种改进蚁群算法(IACO),结合大规模邻域搜索算法(LNS),提高了社区外卖配送效率,从而支持社区团购平台派送系统的可持续化发展。南昌大学的刘静华等人^[53]为解决多车物流在复杂情况下的配送问题,引入免疫计算方法,将配送目标看作免疫算子,模仿其在免疫系统中的衍生规律及配送时间、需求点需求等信息,以实现多车物流配送的规划。中国民航大学的任新惠^[54]提出了基于 K-means 算法和遗传算法的配送中心选址和路径规划模型,以及在天津市主城区的应用结果分析,为城市配送提供了有益的建议。大连海事大学的赵子威^[55]从线上线下两个视角出发,通过购买方式的不同构建了客户满意度函数,构建了社区生鲜超市门店选址与路径优化模型,并设计了三阶段启发式算法对问题进行了求解,为生鲜电商企业提供了一定的决策支持。

重庆交通大学的张国勛^[56]针对社区团购配送中心选址-路径优化问题,设计算法分别求解选址、车辆路径问题,并通过实例结果的分析提出了对策建议,有助于提高客户满意度。中北大学的李珂珂^[57]对社区团购企业的运输成本、货损、配送时效等问题,以生鲜农产品社区团购企业 S 公司为例,提出了一种基于总成本最小化的选址模型和配送路径优化模型,通过遗传算法求解,优化后的方案在各项成本上均有所降低。长沙理工大学的吴腊梅^[58]通过分析应急物流特点、长沙市洪灾情况和应急物流配送现状,建立了基于道路畅通性的应急物流配送模型,并用遗传算法进行求解,促进了地区应急物流配送系统的完善。刘长石等人^[59]针对城市交通复杂的实际情况,综合考虑多种因素,提出了改进蚁群算法求解该模型,能够有效降低总配送成本,减少燃油车油耗与碳排放。李春发等人^[60]认为通过构建数学优化模型和基于双曲正切函数改进的蚁群算法,可以解决冷链物流配送路径优化问题,实现了企业经济与环保双赢。何宇翔^[61]提出了基于改进蚁群算法的最优路径规划方法,有效解决了物流配送的路径优化问题,提高了全局最优解的能力。张荣等人^[62]提出了一种新的生鲜农产品车辆配送路径优化方案,通过模糊 K-means 聚类方法确定配送中心位置,以最小化配送总成本为目标函数,利用蚁群算法配送算法求解目标函数,最终实现了显著降低生鲜农产品配送总体成本、提升配送效率的目的。张凯月等人^[63]提出利用智慧物流系统头脑风暴算法,结合 MATLAB 工具,实现了应急物资的调度和路径规划,提高了应急物资运输效率。

综合国内外的研究看来,配送路径规划问题是一个十分成熟的研究方向,可以有效地应用于商业物流、城市配送、农产品运输等领域。在国外,大型货运公司和物流企业已经建立了完善的配送网络,通过车辆路径问题的研究,他们能够更高效地安排车辆行驶路线,最大程度地降低运输成本。在国内,随着城市化进程的加速和社区团

购的兴起，配送路径规划问题也成为了研究的热点。研究者们通过结合城市内物流运输、农产品运输的特点，提出了一系列适合国情与实际需求的解决方案，为我国物流行业的发展提供了有力支持。

然而，上述国外的文献研究主要聚焦于大企业、大城市之间的配送路径问题。同样地，我国的现实情况表明社区团购的兴起使得配送需求更加多样化和个性化，需要更灵活的配送方案。国内的研究提出了许多针对性的问题，并在现实的行业中有了很好的解决方案，但是依然存在配送路径的成本较高、时间较长、利润较低的情况，并没有考虑到农产品社区团购这一现实背景下的需求，这需要进一步思考并提出一个新的配送路径规划算法，能够使得算法收敛速度更快、精度更高、更能满足农产品社区团购配送业务的现实要求。

1.3 论文研究内容

本文通过分析国内外当前研究的现状，提出以两个阶段求解 S 市的农产品社区团购行业的社区团购点选择和配送路径规划问题。其中，第一个阶段，通过社区团购点选择模块选择合适的社区团购点作为配送目标集合，提出改进的麻雀搜索算法对 S 市社区团购点需求量、位置、库存、服务成本进行划分，通过聚类的方法求得在当前条件下，社区团购点选择方案的近似最优分配方案。在第二个阶段，通过农产品路径优化模块，在分析了农产品运输成本、农产品运输时间、农产品运输利润因素之后，提出量子蚁群算法进行路径规划，从而得到最终的农产品物流路径分配方案。最后，本文设计并实现了一个图形化仿真系统，为社区农产品团购业工作人员提供了便捷的优化方案。本文的主要研究内容如下所示：

1、社区团购点选择模型与算法设计

社区团购点选择方案的优化是农产品物流配送路径的重要前提，针对了当前社区团购点的特点以及配送节点选择的因素进行了研究。首先，本文构建了一个社区团购点的选择模型，然后为了提升社区团购点选择的合理性，通过将社区团购点需求量、位置和服务成本因素纳入了目标函数的考虑范围，并给出带有约束条件的适应度函数。根据适应度函数的大小，判断当前社区团购点选择方案的优劣程度。基于这个社区团购点的选择模型，本文设计了一种改进的麻雀搜索算法进行方案的优化。同时，在这个阶段，本文还设计了一种新的玻尔兹曼选择策略（**Boltzmann Selection Strategy**）和混沌优化策略（**Chaotic Strategy**）用于增加麻雀搜索算法的全局搜索速度与提高局部搜索解方案的精度，从而有效减少社区团购点选择方案的配送距离与服务成本。

2、农产品配送路径规划模型与算法设计

农产品配送路径规划阶段是指导农产品社区团购配送的核心。通过前文得到的社

区团购点选择优化方案，本文综合分析影响当前社区农产品社区配送商业模式中存在的现实因素，提出了一个农产品配送路径规划模型。为了提高配送路径的合理性，本文将配送路径成本、配送时间与配送利润作为评价配送路径方案优劣的关键影响因素，由此提出了一个新的目标函数。同时，本文设计了基于改进的蚁群算法，同时设计了量子算子用于提高算法的整体搜索能力，可以得到路径成本更低、配送时间更短与配送利润更高的解决方案。

3、社区团购点优化与农产品配送路径规划仿真系统的设计

为了便于农产品社区团购从业人员的使用与数据操作交互，本文基于 MATLAB App Designer 平台开发一个具备良好图形化界面的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统仿真系统。本文对系统进行需求分析，然后介绍系统的总体架构设计和所使用的系统开发工具。设计的系统包括四大模块，分别是系统登录模块、系统菜单模块、社区团购点选择模块和农产品配送路径规划模块。后两个模块作为系统的核心模块并对应前面两个研究内容中所提出的数学模型和相对应的算法。此外，该系统还设计了一些额外的辅助功能，例如对运行环境的清理、历史结果的查看和用户使用说明手册。系统搭建完成后，对其进行全面的系统功能测试，并详细分析所得到的测试结果。

1.4 研究方法与创新之处

1.4.1 研究方法

本文的研究方法主要由以下两个部分所组成。首先是文献研究归纳法，通过搜集、整理和归纳国内外相关文献，从而全面了解配送节点选择与农产品物流配送领域或主题的研究现状、发展趋势和已有研究成果。明确所需的信息和文献的范围，使用如图书馆数据库、学术搜索引擎等，检索与研究主题相关的文献。仔细阅读选定的文献，并对文献中的重要信息、研究方法、发现和结论进行归纳总结。在归纳的基础上，分析文献中的模式、趋势和共性，寻找本文所研究内容的一般性规律或关键问题。

然后是数学建模法与对应的解决算法通过以上的方方法确定问题的基本要素、变量、关系和限制条件，将社区团购点选择与农产品配送的实际问题抽象为数学模型。通过数学工具的运用，并通过使用提出的新的群智能算法进行求解，并提供对问题深入理解的途径。

1.4.2 创新之处

本文在研究了国外发达物流配送行业的基础上，针对国内兴起的社区团购业务特点进行归纳总结。相比于国外学者大多注重于国际间、城市间的大型跨区域行业配送节点选择与物流配送问题，本文立足于国内城市社区集群性强、人口密度大的特点，针对城市内部的农产品物流配送业务进行了详细研究。同时，本文拓展了以往对于固定社区团购点配送的研究，提出了针对多个社区团购点集合，选择合适的社区团购点的方案，为指导农产品物流配送的降本增效提出了新的研究思路。针对以往研究集中于传统的单一目标方法优化、方案准确性低和方法收敛速度慢的问题，本文根据社区团购农产品业务两个阶段的特点，提出了两个改进的群智能算法，丰富了社区团购农产品物流配送路径问题的思路与方法。本文还综合考虑了社区团购点的地理位置、服务成本、时间因素纳入了考虑范围内，丰富了社区团购农产品物流配送路径问题的研究内容总的来说，本文的创新之处如下所示：

1、本文提出了一种新的混沌玻尔兹曼选择麻雀搜索算法(Chaotic Boltzmann Selection Sparrow Search Algorithm)，可以有效地降低社区团购点选择方案的配送距离和服务成本。同时，本文还设计了一个新的社区团购点选择模型和相应的目标函数，充分考虑了现实中的位置条件和社区团购节点的服务成本等因素。

2、本文提出了一种新的量子蚁群算法(Quantum Ant Colony Algorithm)，可以有效地减少配送成本和时间、尽可能地提高经济利润。本文还设计了一个新的农产品配送路径规划模型，并提出了一个新的评价函数。

3、基于上述两个重要模型与优化算法，本文充分利用 MATLAB App Designer 平台的功能，成功搭建了一个全新的图形化界面的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统仿真系统。为农产品团购从业者提供了一个直观的工具，有助于他们更好地管理团购业务。

1.4.3 文章结构图

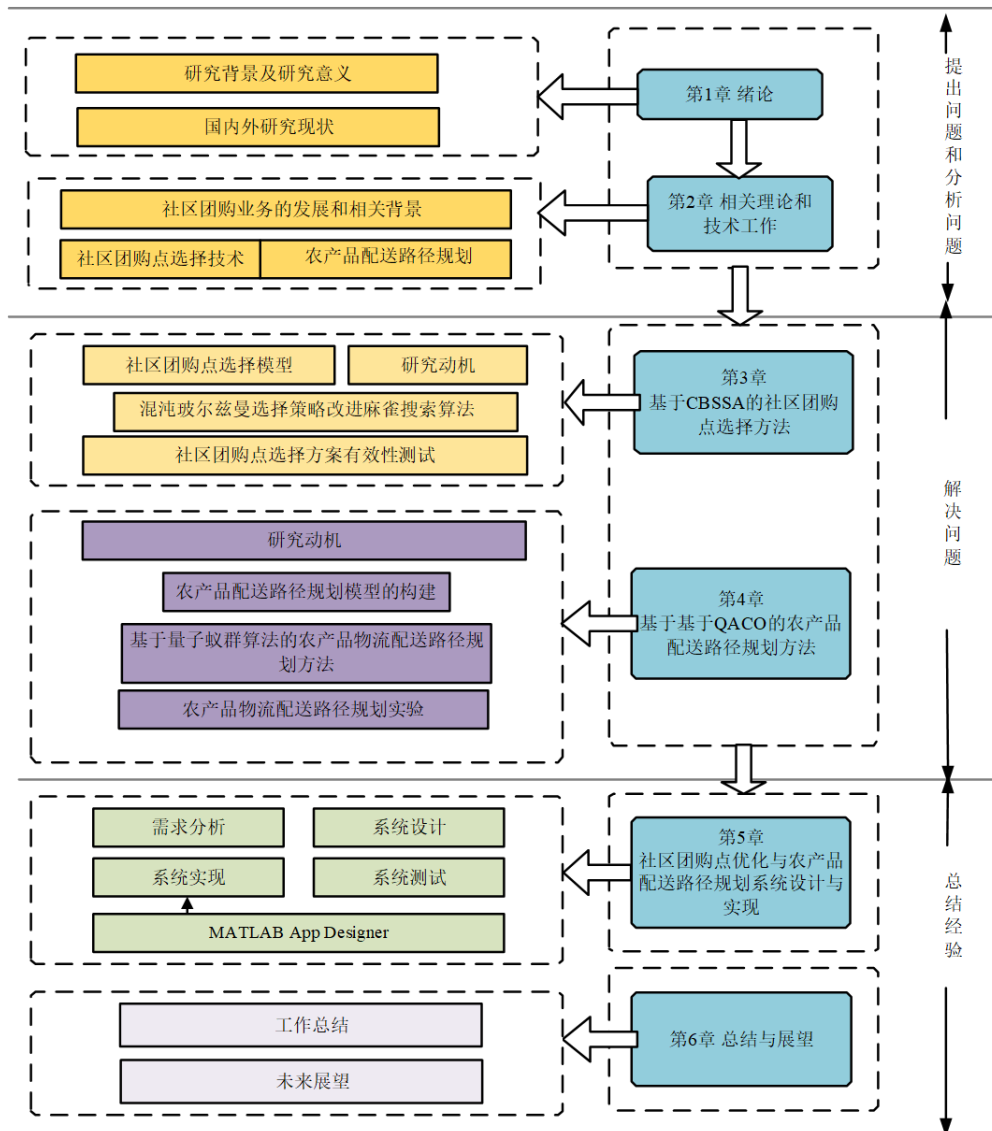


图 1-1 文章结构图

Fig. 1-1 Article structure diagram

1.5 论文组织与安排

本文以社区农产品团购点优化及配送路径规划系统的研究与实现为目标，总共分为六个章节，其详细组织结构如下：

第 1 章，绪论。该章介绍了农产品社区团购的背景和发展现状，指出了社区团购行业亟待解决的问题，阐述了基于社区农产品团购点优化及配送路径规划系统开发的必要性和意义，并详细列出了本文的研究内容和组织结构。

第 2 章，系统相关理论和技术工作。该章介绍了在构建社区农产品团购点优化及配

送路径规划系统过程中将使用到的社区团购点技术、农产品配送路径规划技术、群智能优化技术以及 MATLAB APP Designer 开发平台。

第3章，基于 CBSSA 社区团购点选择方法。该章将从社区团购点选择模型构建、选择方法设计与社区团购点选择方案有效性测试来进行展开。

第4章，基于 QACO 农产品配送路径规划方法。该章将从农产品配送路径规划模型构建、配送路径规划方法设计与配送路径规划方案有效性测试来进行展开。

第5章，系统设计与实现。该章将集成第3章和第4章中所涉及到的两个农产品社区团购问题，完成系统 GUI 界面的开发，并详细阐述系统主要功能模块的实现方法，最后进行综合的系统功能测试。

第6章，结论与展望。该章负责总结本文的主要研究工作，讨论所设计的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统的优势与不足，并对未来工作进行合理展望。

第 2 章 相关理论和技术工作

为了方便理解本文后续内容，本章节将介绍构建社区团购点选择与农产品配送路径规划系统所需的相关理论基础。具体分为四个部分：第一部分阐述农产品社区团购配送业务的概念与特点，分析社区团购业务的特点，深化相关方向的研究背景；第二部分详细介绍社区团购点选择与相关技术理论；第三部分详细介绍农产品配送路径规划与系统搭建中需要用到的 MATLAB App Designer 开发平台；最后对本章的内容进行总结。

2.1 社区团购业务的发展和背景

社区团购是随着互联网技术和电子商务的崛起而兴起的一种新型零售模式^[64]。它利用微信群、小程序等社交软件将具有相似消费需求的居民聚集起来，形成购买力集聚的群体^[65]。这种模式不仅提高了居民的购物便利性，还推动了社区零售的发展。在疫情形势和政府政策的双重推动下，社区团购经历了一轮爆发式增长，消费者更加倾向选择社区团购服务^[66]。随着，2020 年的疫情形势和政府政策的推动，使得社区团购迎来了一轮爆发式的增长^[67]。消费者更加主动选择社区团购，而相对较低的获客成本也使得社区团购企业经历了一轮爆发式的增长。拼多多公司推动的“多多买菜”业务为社区团购带来了更多机遇和潜力，使其成为创新模式，满足了消费者需求并提高了效益^[68]。

社区团购以“预售+自提”创新模式为核心，解决了订单集中和配送成本高的问题^[69]。通过预售集中订单，自提可以减少配送成本，团长引入私域流量，从而降低获取成本和营销成本，增强社群消费者忠诚度^[70]。相较传统模式，社区团购可以有效降低企业成本，提升效益，拓展市场空间。次日达保障配送时效性，无需冷链服务或大库存。社区团购点简易改装，通过微信群招募团长形成强大购买力，实现高效商品流转^[71]。团长在社区团购中扮演着关键角色，是企业和社群消费者之间的纽带。他们发布信息、处理客户问题，维护和运营微信群。团长的沟通、运营微信群以及维护客户关系是社区团购成功的关键因素^[72]。企业通过团长的反馈获取信息，帮助企业了解社区居民需求，提供更受欢迎的商品和优质服务，建立稳定的客户群，增强用户粘性，并通过口碑传播扩大客户群规模^[73]。

社区团购平台每天将团购活动推送给团长，团长将活动信息传播至微信群中，每晚十点截止。平台后台汇总商品订单，并在当晚 11 点前发送给供应商配货。次日，供

应商送货至农产品配送中心，农产品配送中心会进行分拨，将商品发往各团长处。团长通知客户到自提点提货或配送。通过团长扩散企业销售范围是基于信任的裂变，社区团购以团长为支点，利用团长与小区居民的信任情感，建立温馨的购物场景^[74]。

为了适应不同规模的社区团购点选择问题的计算，同时反映当天实时的社区团购点物资动态需求，本文在充分研究了 S 市的社区团购点分配情况与物流运输行业的特点之后，选择使用群智能算法对本文的社区团购点选择模型进行求解。因此，本文选择了 2023 年 5 月 W 社区团购公司的经营数据为例，数据背景为 W 公司在 S 市的合作社区团购点和农产品配送中心，包含有 100 多个社区团购点和 1 个农产品配送中心的经营数据。其中经过调研所得，农产品配送中心每年的租金约为 65 万，估算日租金为 1780 元，且社区团购点和农产品配送点的位置均已知，其服务成本与相关配送成本已知，其需求数据为已知当日晚上 23 点前所收集到的消费者订单。

2.2 社区团购点选择技术

从国内社区团购业务角度出发，农产品的货物配送往往需要通过物流集散中心发往社区团购点，完成货物配送，最后由社区订购用户完成货物自提流程^[75]。因此，选择一个合理的社区团购点方案是完成农产品配送的重要前提^[27]。在传统的物流配送行业中，物流配送节点通常是固定的大型物流仓库。然而，由于新兴的社区团购点行业中，物流配送点往往是改造过的小型商超、社区之中的便利店等^[76]。因此，社区团购中的物流配送节点表现出灵活性和易变性，这源于业务的快速发展和需求的动态变化。这为物流配送提出了更高的协调和规划要求。这种复杂性使得社区团购物流配送的管理需要更具创新性和适应性，以适应市场的动态变化和客户需求的多样性^[9]。为物流配送区域选择合适的物流配送节点发难，可以有效地降低整个物流系统的运输成本。

通过了解社区团购业务的相关情况，发现当前的社区团购点的选择存在着：社区团购点数量较多、社区团购点的设置不够合理的问题。这源于目前的社区团购点规划通常是采用行业内人员的人工经验，走访调查与大数据热力图选择^[76]。参考国内外的研究中，物流配送节点的研究主要分为传统的精确算法与启发式算法。其中，精确算法以割平面方法、动态规划方法等，可以确刻画问题的数学结构，提供相对高精度的解决方案，特别适用于对精度要求较高的问题^[77]。然而对于大规模问题，割平面方法的计算复杂度通常较高，求解时间可能随问题规模的增加而急剧增加。面对实时问题可能会面临计算资源不足的问题，尤其是在需要考虑大量可能性的情况下^[78]。另一方面，启发式算法分为传统的启发式算法和现代启发式算法。传统的启发式算法通常设计简单，易于理解和实现。这使得它们在解决问题时更加直观，但是倾向于在搜索过程中陷入局部最优解，难以全局搜索问题的最优解，对于大规模、复杂的问题，传统

启发式算法可能因搜索空间庞大而失效，难以在合理时间内找到令人满意的解^[38]。

麻雀搜索算法是一种群体优化算法，灵感源自于麻雀在寻找食物和躲避捕食者的行为^[38]。在这个算法中，麻雀种群被分为两类：发现者和跟随者。发现者负责搜寻食物并向其他个体提供食物信息，而跟随者则紧随其后，共同寻找食物。整个觅食过程中，个体之间相互监视，以攻击者身份争夺食物资源，从而提高自身的觅食成功率。这种模仿自然界麻雀觅食行为的算法在群体优化领域具有广泛的应用前景。

为了适应不同规模的社区团购点选择问题的计算，同时反映当天实时的社区团购点物资需求，本文在充分研究了 S 市的社区团购点分配情况与物流运输行业的特点之后，选择使用 CBSSA 算法对本文的社区团购点选择模型进行求解。

2.3 农产品配送路径规划

农产品社区团购路径规划问题是物流配送行业中最为热门的车辆路径问题(VRP)问题。该问题最早于 1959 年由 Dantzig 和 Ramser 所提出，它的目标是有效规划一组车辆的行驶路径，使得这些车辆能够从一个中心出发，经过一系列客户点，最终回到中心，同时满足一定的约束条件和优化目标^[14]。

由于农产品社区团购的特点，业务为当天自取完成，社区团购需求按日变化的特点。本文所研究的问题是针对农产品社区团购配送车载容量一定条件的容量限制的路径优化问题(CVRP)。在这个问题中，在确定了社区团购点的选择方案之后，需要有效规划配送车辆的路径，同时最小化总配送成本、尽可能降低时间和提高物流企业的利润^[79]。为实现这一目标，研究会考虑每辆车的容量限制，社区的需求量，以及路径优劣相关的约束条件，以找到满足配送要求的可行解^[80]。这种研究对于提高农产品社区团购配送效率、降低运输成本具有实际意义。

通过对现有的国内外关于路径优化问题的研究，目前针对这类问题的思路与方法主要分为多个方向。首先，传统的整数规划方法在解决路径优化问题上取得了一些成果，通过数学建模和求解整数规划问题，可以得到精确的最优解^[81]。其次，基于深度学习的方法也逐渐应用于路径优化领域，通过神经网络模型学习复杂的路径规划策略，取得了一些令人瞩目的成果^[82]。此外，启发式算法在解决大规模路径优化问题上表现出色，如遗传算法、模拟退火算法、蚁群算法等，这些算法能够在较短的时间内找到接近最优解的结果。

传统的蚁群算法曾被广泛提出用于解决经典的车辆路径问题。其灵感来源于蚂蚁在寻找食物时释放的信息素，并通过信息素的挥发和沉积来实现路径的优化搜索^[83]。然而，尽管蚁群算法在某些问题上表现出了良好的效果，但它也存在一些缺点。首先，蚁群算法容易陷入局部最优解，特别是在问题复杂度较高、搜索空间较大的情况下。

其次，蚁群算法的收敛速度相对较慢，需要较长的时间才能找到较优解。此外，传统的蚁群算法对于问题的动态变化较为敏感，难以适应动态环境下的优化需求。

综合而言，数学建模方法可以提供精确的最优解，特别是在问题规模较小且约束条件清晰的情况下。但是随着问题规模的增大，整数规划等数学建模方法的计算复杂度会急剧增加，不适用于大规模问题。深度学习能够从大量数据中学习复杂的非线性关系，适用于实际路径规划问题中存在的多变因素，但是训练深度学习模型通常需要大量计算资源和时间。针对 S 市社区团购的日需求量与农产品配送行业的不断变化的特点，本文选择使用群智能算法，相比于上述算法大规模问题上表现较为出色，能够进行全局搜索，有能力找到问题的全局最优解。

2.4 MATLAB App Designer 开发平台

MATLAB 是一种由 MathWorks 公司开发的计算软件，它在数学领域中被广泛使用。它的主要功能包括矩阵运算、数值计算、图形处理、仿真建模和数据可视化等。MATLAB 还提供了丰富的编程语法和工程工具，使得用户可以轻松地进行软件开发，它的编程效率和功能性使得它在工程和数学领域中非常受欢迎。

MATLAB App Designer 是一个图形化系统，用于创建 GUI 应用程序，基于 MATLAB 编程语言开发。它允许用户通过迭代的方式设计和开发应用程序，利用视觉组件和编程行为来实现功能划分和组件布局，帮助用户构建图形化系统。MATLAB App Designer 提供了构造函数、代码语句、类、变量属性和组件属性等功能，使得用户可以轻松地集成设计和开发工作。它还提供了图形用户界面和交互式功能，使得用户可以更加方便地使用和操作应用程序。

得益于 MATLAB App Designer 友好的面向用户特性，许多的研究人员都使用其进行软件系统的开发。例如湖南大学的陈雅含^[84]基于 MATLAB App Designer，开发了项目进度管理决策支持系统，用于快速且准确估算大型工程项目的未按期完工概率，以提高算法在实际工程中的应用价值。中国石油大学的肖文生^[85]基于 MATLAB App Designer，将系统 Markov 过程的分析以可视化界面呈现了出来，过可视化界面呈现系统 Markov 过程的分析结果，为超深水打桩锤系统的国产化设计提供了理论支持。中国矿业大学的郝井焱^[86]基于 MATLAB App Designer 设计了一种计算机控制的锁相放大器测试系统，实现了对锁相放大器的高效控制和多参数数据的可视化，为传感器元件在交流激励下的特性表征提供了一种测试方法。湖南大学的刘可心^[87]基于 MATLAB App Designer，开发了基于 BIM 与子集模拟的施工项目多资源均衡优化系统，以提高施工项目中资源均衡优化的准确性与效率。大连理工大学的张庚^[88]基于 MATLAB App Designer 开发了一款桥梁结构损伤识别系统集成了多种损伤识别方法，通过界面友好、

高效的操作流程，为工程人员提供了一套损伤识别体系。

综上所述，MATLAB App Designer 是一种直观、易用的界面设计工具，它允许用户创建交互式的应用程序，而无需编写代码。用户可以通过拖放组件和连接组件来创建应用程序的逻辑，同时还可以集成 MATLAB 的各种功能。用户还可以通过编写 MATLAB 代码来扩展应用程序的功能，以满足更多的功能需求。总的来说，MATLAB App Designer 为用户提供了一种友好的面向用户的特性，使其能够快速创建交互式的应用程序，并且可以根据需要进行扩展，以实现更多的功能需求。

2.5 本章小节

本章从农产品社区团购配送行业的角度出发详细介绍了构建社区农产品团购点优化及配送路径规划系统的相关理论与技术。首先阐述了社区团购业务的发展与其行业特点。其次介绍了关于社区团购点选择的必要性、相关技术研究，然后介绍了农产品配送路径的研究与相关技术，最后介绍了在构建社区农产品团购点优化及配送路径规划系统所需要用到的 MATLAB App Designer 技术服务平台。

第3章 基于 CBSSA 的社区团购点选择方法

社区团购是一种新型零售模式，受互联网技术推动，迅速崭露头角。它通过线上微信群、小程序等社交软件，连接线上线下，为社区居民提供集体购物和团购优惠。然而，社区团购点的位置选择对其运营至关重要。在 S 市社区团购行业中，发现了社区团购点数量庞大、服务质量差等问题。在城市农产品的物流配送中，选择合适的团购点位置可以有效减少不必要的配送成本、配送距离。因此，开展社区团购点选择模型的研究至关重要，由于社区团购的特点，需要分析影响社区团购点选择的因素，以提高配送效率和降低成本。

因此，本研究旨在综合考虑社区团购点选择过程中的多个关键因素，提出了一种新的玻尔兹曼选择策略（Boltzmann Selection Strategy）和混沌优化策略（Chaotic Strategy），可以用于增加麻雀搜索算法的全局搜索速度，提升局部搜索解方案的精度，并构建一个更全面、实用的社区团购点选择模型。对于社区团购点选择方法 CBSSA，可以有效地降低配送点选择方案的服务成本、尽可能地减少配送点到配送中心的总体距离、提高服务质量。本文旨在为农产品社区团购企业提供科学、合理的团购点选择策略，从而提高其运营效益、用户满意度，推动社区团购行业的健康发展。下面的内容将详细介绍社区团购点选择模型与社区团购点选择方案的优化算法。

3.1 社区团购点选择模型

3.1.1 模型假设

为了确保社区团购点选择模型的合理性，本研究对模型中所使用到的关键假设进行如下明确定义：

- (1) 每一个社区团购点的位置是固定的，且每一个团购节点的位置都是已知的。
- (2) 社区团购点周边的人口数量密度是已知的，且能够感知到周边的货物需求量。
- (3) 每一个社区团购点在地图上都是可达的，相互间的距离都是实际道路情况下的最短距离。
- (4) 社区团购点都具有各自所属的社区编号，且社区团购点选择任务优先选择还未被选择过的社区编号中的社区团购点。
- (5) 当社区团购点的社区编号内只有自己本身一个社区团购点的时候，且当前社区团购点选择方案中有剩余的社区团购点选择名额，则一定会被加入到社区团购点选择

方案中，确保服务公平与完全的原则。

(6) 当一个社区团购点没有被选择时，它会将自己社区内的服务需求转交给社区内距离最近的社区团购点代替服务。

基于上述的模型假设，本文所提出的社区团购点选择模型如图 3-1 所示。

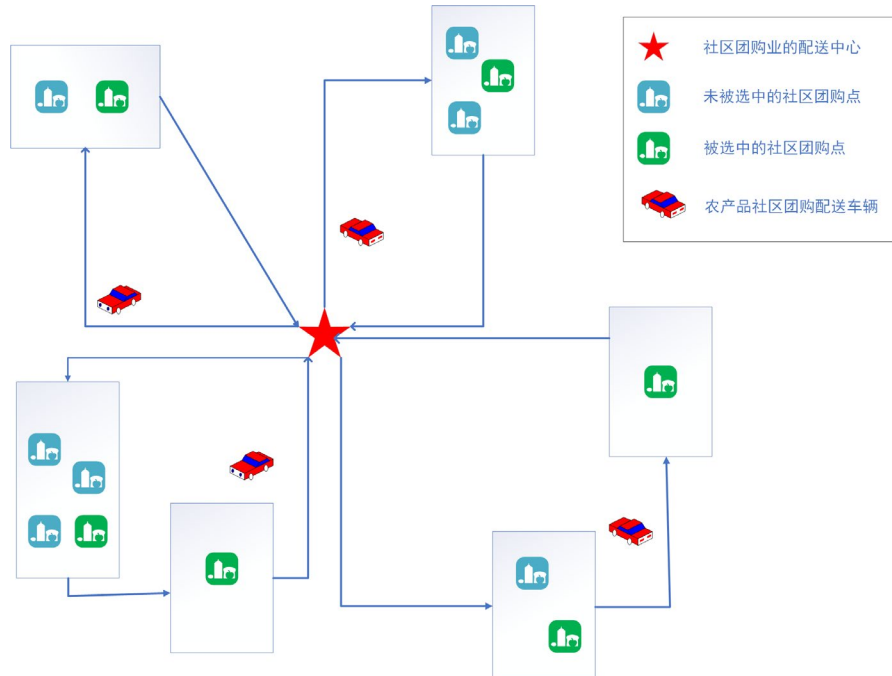


图 3-1 社区团购点选择模型

Fig. 3-1 Community Group Purchase Point Selection Model

3.1.2 影响社区团购点选择的约束因素以及目标函数

社区团购点选择方案的好坏决定了整个社区团购系统的效益和用户满意度。好的方案需要能够确保用户可以方便地获得服务。不好的方案则会出现社区团购距离和服务成本增加的问题，导致部分社区居民无法享受到社区团购的便利。此外，一个好的社区团购点选择方案需要充分考虑到社区团购点到物流配送中心的距离、订单需求、服务成本等参数的问题。

(1) 到物流配送中心的距离

社区团购点到物流配送中心的距离通常使用的是现实生活中社区团购点到物流配送中心实际道路的可达距离。社区团购点距离物流配送中心距离越大，则意味着需要花费更多的物流配送成本，因为随着距离的增加，运输过程中可能涉及更多的燃料、时间和人力资源。这会对物流效率和成本产生直接影响，因为长距离的运输可能需要更多的车辆、更多的人手，以及更复杂的路线规划。因此，在物流和分配策略的决策过程中，考虑社区团购点与物流配送中心之间的实际道路距离，以最优化物流网络并降低整体成本。本文所提出的社区团购点距离物流配送中心的距离可以通过公式 (3-1)

所示。

$$f^{dt} = \sum_{i=1}^y \text{dist}(B(i), DC) \quad (3-1)$$

在公式 (3-1) 中表示的为方案中所有被选择的社区团购点到社区团购配送中心的距离之和。其中， DC 表示为社区团购配送中心， y 表示为被选中的社区团购点个数。同时， dist 表示为在二维坐标中一个节点到另一个节点的距离计算公式。 $B(i)$ 代表被选中的社区团购点集合。

(2) 订单需求

社区团购点的订单需求通常由分布于社区团购点社区内的订单需求所决定。其中， S 市客户的订单需求通常会上传到自己所选的社区团购点中，在当日的 23 点截止上传到社区团购微信群后台中。其通常与社区团购点需要配送的农产品量相关，社区团购点周边的订单需求越多，意味着这个团购点越可能代替同一社区的其他社区团购点被选择作为当前物流路径的分配节点。当被选择为一个社区的社区团购点后，将会整合社区内其他社区团购点的需求量进行服务。在社区团购点选择方案评价中，这也代表着社区团购点选择方案的优劣。随着社区需求的增加，社区团购点成为物流路径的理想选择，因为它们在服务区域内有更广泛的用户基础。因此这不仅提高了物流效益，还有助于降低了运输成本。本文所提出的社区团购点的订单需求可以通过公式 (3-2) 所示。

$$f^{nd} = \sum_{i=1}^k \text{Need}(i) \quad (3-2)$$

在公式 (3-2) 中表示的为方案中所有被选择的社区团购点自身的需求量之和。其中， $\text{Need}(i)$ 代表 i 社区团购点的需求量。

(3) 服务成本

服务成本指的是在是社区团购点中对从农产品配送中心输送过来的货物进行打包分拣，由自提点为单位的包裹所需的维护固定成本、人工、材料等其他成本所组成。社区团购点的服务成本通常与社区团购点服务的情况相关。因此，优秀的社区团购点选择方案应该尽可能地减少社区团购的服务成本，提高服务质量。这可以有效提高服务效率，降低物流企业的用工成本。本文所提出的社区团购点的服务成本可以通过公式 (3-3) 所示。

$$f^{ct} = \sum_{i=1}^y (Ma_i + pk_i \cdot \text{Need}(NB_j(i))) \quad (3-3)$$

在公式 (3-3) 中表示的为方案中所有被选择的社区团购点的服务成本之和。其中，

Ma_i 代表 i 社区团购点的固定使用成本， pk_i 代表 i 社区团购点的平均分拣成本， $NB_j(i)$ 则代表社区 j 中的社区团购点集合。

$$\begin{aligned}
 F_s &= f^{dt} + f^{nd} + f^{ct} \\
 &= \sum_{i=1}^k \text{dist}(B(i), DC)T_i + \sum_{i=1}^k \text{Need}(i)T_i \\
 &\quad + \sum_{i=1}^k (Ma_i + pk_i \cdot \text{Need}(NB_j(i)))T_i \\
 &\text{S.T.}
 \end{aligned} \tag{3-4}$$

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^g T_{i,j} \geq 1 \tag{3-5}$$

于上述因素，本文提出了一个新的目标函数与相关约束条件用于判断社区团购点选择方案的优劣，如公式（3-4）所示。整个适应度函数的目标是寻找一组社区团购点选择方案使得适应度最优，即距离小、服务成本低。约束条件如下，公式（3-5）表示社区团购业务下当前社区的社区团购服务中至少要建立一个社区团购点。

3.2 混沌玻尔兹曼麻雀搜索算法

社区团购点选择的问题在现实农产品物流配送行业需要同时考虑到多个因素，来满足最优方案的目的。这在研究中被证明是属于 NP-hard 问题。针对上述问题，SSA 作为近年来提出的新颖的群智能算法，由于其良好的全局搜索精度与局部收敛能力，被广泛地用于解决 NP-hard 问题中。然而，虽然 SSA 在解决这类问题中有着很好地表现，但是其容易陷入局部最优，从而导致得出的解方案不能够很好地得到距离综合小，服务成本低的方案。针对上述存在的问题，本文提出了一个新的搜索玻尔兹曼选择策略，可以极大地提高 SSA 的收敛精度，并由此提出了一种新的混沌玻尔兹曼麻雀搜索算法（CBSSA）。其整体的方案流程图如图 3-2 所示。

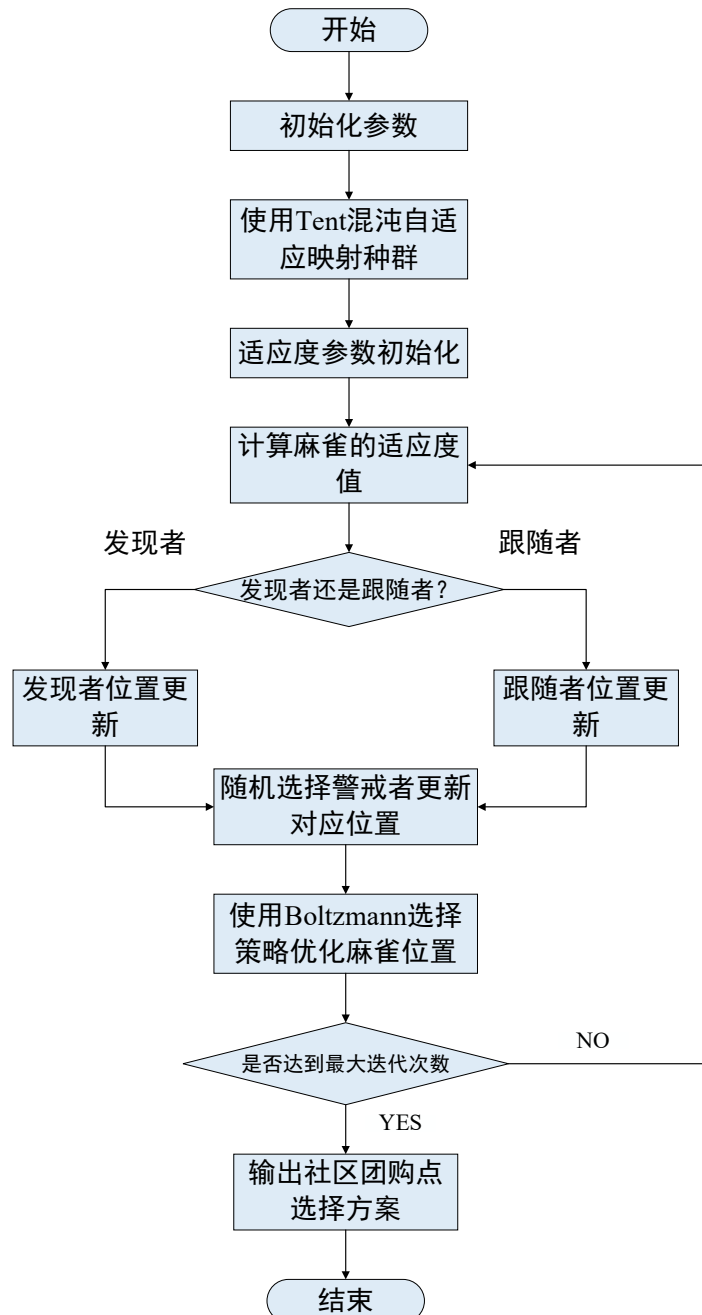


图 3-2 基于 CBSSA 的社区团购点选择流程图

Fig. 3-2 Process diagram for selecting community group buying points based on CBSSA

3.2.1 种群编码和初始化

在社区团购点选择模型建立的优化过程中，确定个体的编码方式是十分关键的第一步。在这个问题中，一个社区团购点是否便被选中具有布尔属性，即若被选为社区团购点的方案则用 1 表示，反之用 0 表示。因此，CBSSA 采用二进制编码来对种群中的个体进行表示。基于这种编码方式，一个可行的初始种群形式可以表达为式 (3-6) 所示。

$$SA = \begin{bmatrix} SP_{1,1} & SP_{1,2} & \cdots & SP_{1,M-1} & SP_{1,M} \\ SP_{2,1} & SP_{2,2} & \cdots & SP_{2,M-1} & SP_{2,M} \\ \vdots & & & & \vdots \\ SP_{N-1,1} & SP_{N-1,2} & \cdots & SP_{N-1,M-1} & SP_{N-1,M} \\ SP_{N,1} & SP_{N,2} & \cdots & SP_{N,M-1} & SP_{N,M} \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

此外， SA 为 CBSAA 的种群编码举证，其中 SA 中每一行都需要满足式 (3-7) 的约束。

$$\sum_j^m SP_{i,j} = ch, \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3-7)$$

若一个社区团购点被选择为了配送方案的节点，则该团购点的二进制位为 1，否则为 0。其中， ch 为 S 市中加入社区团购的社区数量。例如，在一个具有 10 个社区团购点的集合中，一种可行的个体编码方式如式 (3-8) 所示。

$$SQ = [0,1,0,0,1,0,0,0,0,1] \quad (3-8)$$

根据前面定义的规则，可以看出式 (3-8) 中第 2、5、10 个社区团购点被选入了社区团购点的选择方案，而其余的社区团购点则没有被选入。

此外，种群的初始化阶段是决定群智能算法收敛精度与速度的一个重要因素。良好的种群初始化不仅能够提高算法的初始搜索质量，也能影响到算法在后续迭代中的收敛性能。有效的初始化可以使群体更快地收敛到问题的潜在解，从而减少搜索空间的浪费。在设计群智能算法时，科学合理地选择种群的初始状态，考虑到问题的特性和算法的动态调整，是优化算法性能的关键一步。因此，本文提出通过 Tent 混沌映射对种群进行初始化，如公式 (3-9) 和公式 (3-10) 所示。

$$S(SP_{i,j}^{t+1}) = \frac{1}{1 + \exp^{-SP_{i,j}^{t+1}}} \quad (3-9)$$

使用 Tent 混沌映射初始化种群能够生成复杂的、无规律的序列，有助于模拟混沌系统的特性，适应性更强。同时，为了得到最终的二进制解形式，需要对得到的最优解方案进行二进制化，本文使用 Sigmoidal (S 形) 传递函数应用连续每个维度的压缩解决方案，这迫使麻雀在二进制搜索空间中移动，然后使用随机阈值转换为二进制值具体如公式 (3-10) 和公式 (3-11) 所示。其中， r 为混沌初始化的系统参数， v 为随机转化的阈值。

$$SP_{n+1,j} = \begin{cases} r \cdot SP_{n,j} & \text{if } 0 \leq SP_{n,j} < \frac{1}{r} \\ r \cdot (1 - SP_{n,j}) & \text{if } \frac{1}{r} \leq SP_{n,j} \leq 1 \end{cases} \quad (3-10)$$

$$SP_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} 0, & \text{if } v < S(SP_{i,j}^{t+1}) \\ 1, & \text{if } v > S(SP_{i,j}^{t+1}) \end{cases} \quad (3-11)$$

3.2.2 麻雀位置更新

为了获得相对最优的社区团购点选择方案，本文所提出的 CBSSA 是模拟了现实大自然中麻雀群体觅食行为的特点，通过发现者和加入者的协同机制实现搜索和优化问题的解。在所出题的 CBSSA 中适应度值较高的个体表示其社区团购点选择方案质量较高，因为这表明该个体所携带的团购点选择序列中的团购点选择的组合具有更优的位置距离和更低的服务成本。因此，基于该适应度函数，CBSSA 通过模拟麻雀群体的行为，以一种协同和竞争的方式，实现了对搜索空间的全局搜索和局部优化，从而可以逐步淘汰适应度值较低的个体，保留适应度值较高的优秀个体，从而使整个种群朝着最优社区团购点选择方案的方向演化。

通过观察自然界中麻雀群体的觅食行为，CBSSA 将麻雀分为发现者和加入者，以模拟群体中个体在协同觅食中的不同角色和行为。发现者在群体中扮演着寻找食物、探索未知区域的关键角色，其高适应度值使其能够有效地探索并提供关键的觅食信息。加入者则利用发现者提供的信息，通过协同行动来共享和获取食物资源，从而形成一种群体智能的协同觅食策略。

每只麻雀在发现天敌时会立即报警，当报警值超过安全值时，发现者会引领加入者移至其他安全区域觅食。麻雀的身份根据其是否找到更好的食物而定义，尽管身份可能随时转变，发现者和加入者在种群中的比重保持不变。能量储备较高的麻雀担任发现者角色，而能量较低的加入者可能会飞到其他地方寻找食物。在觅食过程中，加入者始终跟随能量储备较高的发现者，以提高自身的捕食率，通过监视发现者来争夺更多的食物资源。当天敌构成威胁时，位于群体边缘的麻雀为躲避威胁而快速向安全区域移动，而位于种群中间的麻雀则会随机移动，形成一种协同和适应性的群体行为策略。

这种模拟麻雀群体行为的方式使 CBSSA 更贴近自然界的协同机制，通过区分不同角色的个体，使算法更具灵活性和适应性。发现者和加入者之间的相互作用反映了群体中个体之间信息传递和协同合作的重要性，为算法提供了一种自适应的搜索和优化

机制。

在 CBSSA 中，发现者（在麻雀中以目标函数值为基准的前 20% 人口）在寻找食物时具有优先权。在寻找最优解的过程中，发现者负责全局搜索并引导整个群体的移动。发现者位置更新公式如式 (3-12) 所示。其中， $iter_{\max}$ 为最大迭代次数， R_2 为麻雀报警阈值， ST 为麻雀安全阈值， Q 则是满足正态分布的随机数。

$$SP_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} SP_{i,j}^t \cdot \exp\left(\frac{-i}{\alpha \cdot iter_{\max}}\right), R_2 < ST \\ SP_{i,j}^t + Q, R_2 \geq ST \end{cases} \quad (3-12)$$

在 CASSA 中，其余的麻雀在搜索过程中作为加入者跟随发现者进行局部搜索。加入者的局部搜索过程可以表现为对特定区域的深入探索，试图在当前搜索空间中进一步提升解的质量。通过引入跟随机制，CASSA 使得整个搜索过程更具多样性和全局搜索能力，有助于维持算法的多样性和避免陷入局部最优解。更新搜索者位置的公式如式 (3-13) 和 (3-14) 所示。其中， SP_{worst}^t 代表为全局最差迭代位置， L 代表为 $1 \times d$ 的矩阵， SP_p^{t+1} 则代表麻雀发现者中的最佳位置。

$$SP_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} Q * \exp\left(\frac{SP_{\text{worst}}^t - SP_{i,j}^t}{i^2}\right), i > \frac{m}{2} \\ SP_p^{t+1} + |SP_{i,j}^t - SP_p^{t+1}| * A^+ * L, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3-13)$$

$$A^+ = A^T (AA^T)^{-1} \quad (3-14)$$

CBSSA 选择了一些 (10-20%) 的麻雀作为哨兵，在麻雀群觅食时进行警戒。存在一定的随机概率使得麻雀群移动到新的位置。为了引入一定的随机性和探索性，CBSSA 设计了一定的随机概率，使得麻雀群有机会移动到新的位置。这种机制有助于算法在搜索空间中保持一定的多样性，防止陷入局部最优解，并增加全局搜索的可能性。CBSSA 麻雀警戒机制的更新公式如式 (3-15) 所示。其中， SP_{best}^t 代表全局的最佳迭代位置， β 为阶跃控制参数， K 是区间为 -1 到 1 的随机数， f_i 和 f_w 则分别麻雀 i 的适应度和全局最差适应度值。

$$SP_{i,j}^{t+1} = \begin{cases} SP_{\text{best}}^t + \beta * (SP_{i,j}^t - SP_{\text{best}}^t), f_i \neq f_g \\ SP_{i,j}^t + K * \left(\frac{SP_{i,j}^t - SP_{\text{worst}}^t}{(f_i - f_w) + \varepsilon}\right), f_i = f_g \end{cases} \quad (3-15)$$

如公式 (3-15) 所示，如果此次警告的麻雀位于当前的最优位置，它会逃往其附近的位置。这个新位置取决于它自身距离最差位置和最差食物位置的变化。如果麻雀

不在最优位置，则它会逃到靠近当前最优位置的位置。

3.2.3 CBSSA 的玻尔兹曼选择策略

当前，社区团购点选择的现有群智能解决方法中存在着收敛速度过慢、收敛精度不准确的问题，这会极大地影响社区团购选择方案的精准性，从而增加社区团购点选择方案的距离、提高服务成本。面对这样的行业困境，本文提出的 CBSSA 方法创新性地采用了 Boltzmann 分布和温度参数的利用，提供了一种更全面的选择策略，相比现有的群智能方法中常用的轮盘赌选择策略更具优势。通过考虑个体适应值的分布，CBSSA 方法实现了对全局解空间和局部最优解的更协调的探索。因此，它有效提升了算法的搜索能力和全局优化性能。CBSSA 方法有效地克服了轮盘赌选择策略中遇到的过早收敛的问题，该策略仅依赖于个体适应值来确定选择概率。此外，它避免了在精英选择策略中仅保留每一代中最优秀个体所引起的群体多样性不足和受限搜索能力的问题。通过巧妙地协调局部搜索能力和全局搜索速度，Boltzmann 选择策略有效改善了 CBSSA 群体选择过程中解决方案的质量，从而提高了方法的整体性能。Boltzmann 选择策略作为一种概率选择机制，用于识别在给定群体中具有优越适应性的个体。该策略受到 Boltzmann 分布函数的启发，该函数通过评估与每个个体相关的能量值来确定选择概率。同时，在社区团购点选择算法中，变异和选择是对最终社区团购选择解方案的精度产生深远影响的关键组成部分。

为了解决 CBSSA 中发现者随机选择方向引导加入者的问题，本研究分析了 Boltzmann 选择策略的特点，并将其整合到搜索过程中。这种方法允许根据算法在寻找最优解时的运行阶段调整选择压力。随着算法的推进，更加有效的选择压力变得必要，缩小搜索空间并加速当前最优解的细化。Boltzmann 选择器的选择概率定义如式 (3-16) 和控制强度的参数公式如 (3-17) 所示。

$$P(SP_{i,j}^{t+1}) = \frac{e^{b*SP_{i,j}^t}}{Z} \quad (3-16)$$

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n SP_{i,j}^t \quad (3-17)$$

当 $b > 0$ 时，增加具有较高适应度值的个体被选中的概率；当 $b < 0$ 时，减少该概率。因此，通过采用玻尔兹曼选择策略，可以快速地探索解空间，最终发现优越的解决方案，并增加获得高水平结果的可能性。

3.3 社区团购点选择算法实验验证

社区团购行业近年来呈现迅猛发展的趋势，与城市物流系统的快速进步密不可分。这一行业的崛起使得农产品社区团购成为备受瞩目的物流配送业盈利方向。在 S 市社区团购行业，每日都有多种新鲜的农产品供顾客选择购买，而次日达的快速配送服务成为该行业的一项显著特色。

通过深入的走访和调研，本文了解到 S 市社区团购业务与当地便利多、商超以及便民商店等多个实体店兼职服务的社区团购点展开了合作。社区用户在在线平台上选购商品后，将购物需求与附近的社区团购点进行绑定，并将订单信息上传至社区团购中心平台进行处理。这些社区团购点通常是离居民较近的实体店，服务成本清晰可见。

为深入研究 S 市社区团购业务，本文选取了 2023 年 5 月某一天的部分订单进行研究，特别关注当日 23:30 社区团购中心平台截止的货物订单。选择了 100、70 个总社区团购点的情况进行详细研究。结合 S 市社区团购点的实际地址信息和用工成本，本文得到了 S 市 100 个社区团购点的分布情况如图 3-3 所示。



图 3-3 社区团购点的分布图

Fig. 3-3 Distribution Map of Community Group Purchase Points

根据 S 市的农产品集散运输条例，大批量的农产品集中于九鼎批发市场集运，因此本文的研究年农产品配送中心以九鼎批发市场的 W 公司合作商户仓库作为配送中心。相对应的 100 个自提点的部分坐标位置、社区团购点与中心点距离的最小距离表与货物需求如下表 3-1 所示。

表 3-1 社区团购点的信息
Tab. 3-1 Information of Community Group Purchase Points

坐标轴的位置	需求量 (kg)	标签	运营成本 (元/kg)	与中心点的距离 (km)
(45, 48)	34.3	1	5.35	3.2
(54, 47)	64.2	1	6.33	5.2
(41, 43)	71.3	2	4.81	4.7
(54, 41)	53.9	2	5.35	9.4
(41, 58)	42.1	2	6.33	10.3
(55, 37)	73.2	3	7.12	12.5
(41, 43)	44.2	2	3.22	15.6
(57, 38)	21.3	3	6.31	11.5
(55, 34)	11.3	3	3.67	13.8
.....
(14, 45)	5.1	22	3.22	36.3
(13, 25)	12.9	23	4.22	45.6

为了验证所提出的社区团购算法在提高社区团购点选择方面的有效性, 本文计划通过在 MATLAB 平台上搭建的社区团购点选择方案进行详细测试。在构建该方案时, 我们尽可能使所使用的各项参数与实际 S 市社区团购点的分布情况和需求环境保持一致。测试环境基于 MATLAB R2020a, 社区团购点选择实验如下所示:

本文在实际测试中针对三种不同的场景进行了方案验证: (1) 在 70 个社区团购点中选择 20 个社区团购点的方案; (2) 在 100 个社区团购点中选择 20 个社区团购点的方案; (3) 在 100 个社区团购点中选择 30 个社区团购点的方案。

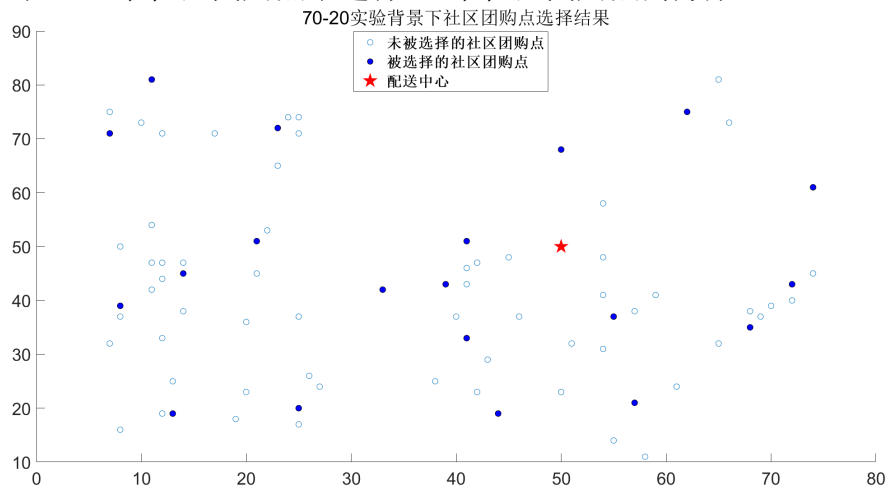


图 3-4 社区团购点选择方案: 70-20

Fig. 3-4 Community Group Purchase Point Selection: 70-20

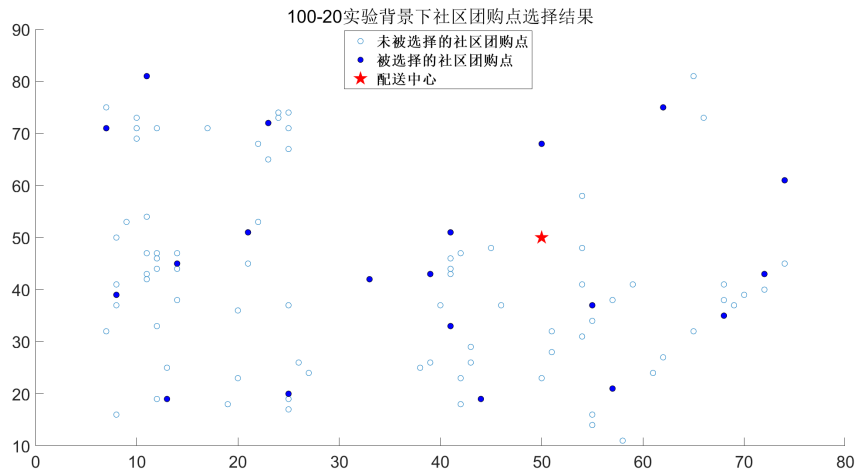


图 3-5 社区团购点选择方案：100-20

Fig. 3-5 Community Group Purchase Point Selection: 100-20

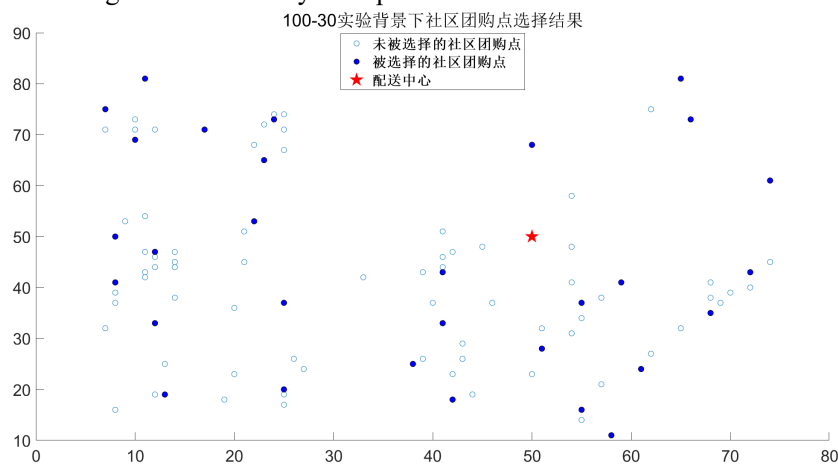


图 3-6 社区团购点选择方案：100-30

Fig. 3-6 Community Group Purchase Point Selection: 100-30

测试结果表明，我们提出的社区团购点优化选择方案能够有效降低社区团购业务中因社区团购点过多而导致的高成本问题。仅需选择一个社区中的一个团购点，即可完成相应的配送服务任务，从而提高了效率，降低了整体成本。这一优化方案为社区团购业务提供了更加灵活和经济的解决方案。这简化了整个配送流程，提高了操作的便捷性，减少了资源调配的复杂性。同时，这一优化方案尽可能地提高了效率，减少了重复的工作，降低了整体的运营成本。通过精心选择社区团购点，业务能够更加集中和有序地进行，为社区团购业务提供了更加灵活和经济的解决方案。同时为下文农产品物流配送路径的选择打下基础。

在该社区团购点选择方案的有效性测试过程中，本研究采用了遗传算法和提出的混沌麻雀搜索算法对模型进行对比验证。在求解过程中，首先确定了遗传算法的运行参数。具体的遗传算法参数设置如表 3-2 所示

表 3-2 遗传算法参数设置
Tab. 3-2 Genetic Algorithm Parameter Settings

参数名称	参数值
种群规模	100
交叉概率	0.7
变异概率	0.15
最大迭代次数	200

在社区团购点选择任务中，距离是影响社区团购点选择方案优劣的一个重要指标，因为距离直接影响到社区团购点与农产品配送中心的运输成本和时间。社区团购点与农产品配送中心之间的距离越近，在后续的农产品物流配送阶段运输成本和时间就越低。这是因为距离较近的社区团购点可以更快地到达农产品配送中心，从而减少了运输时间和成本。通过观察图 3-7 所示，可以发现对于社区团购点与农产品配送中心的总距离之和这个关键试验指标上，本文所提出的 CBSSA 在 70 选 20 (70-20)、100 选 20 (100-20) 和 100 选 30 (100-30) 这三个实验场景下，分别要比传统的遗传算法要低 5.9%、7.01% 和 8.47%。特别是，在 100 选 30 个的实验场景下，本文所提出的 CBSSA 在距离上要比传统的遗传算法 GA 要少 42KM。这表明本文提出的社区团购点选择方法，能有效解决社区团购点选择中距离农产品配送中心总体距离较远的问题。同时，在多个实验条件的背景下，本文提出的 CBSSA 同样可以有效地降低社区团购点方案的总体的距离。

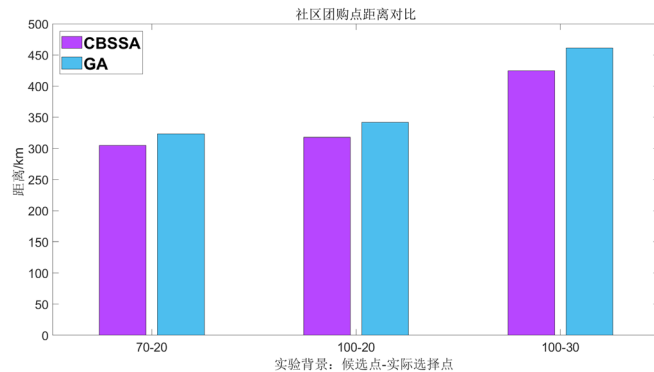


图 3-7 距离对比图

Fig. 3-7 Comparison of Distances

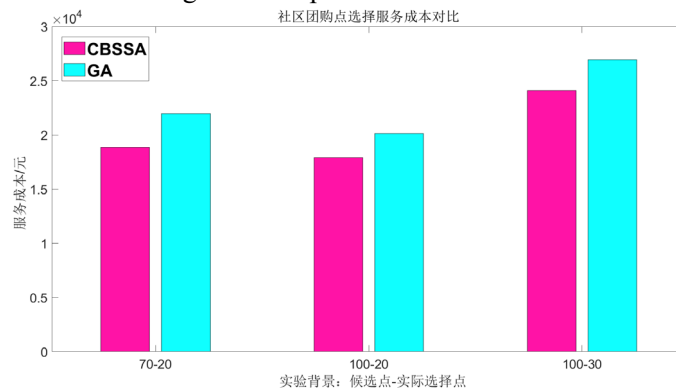


图 3-8 服务成本对比图

Fig. 3-8 Comparison of Service Costs

表 3-3 不同实验场景下的距离优化和服务成本优化百分比

Tab. 3-3 Optimization percentage of distance and service cost under different experimental backgrounds

实验场景	距离的优化	服务成本的优化
70-20	5.92%	16.63%
100-20	7.01%	12.41%
100-30	8.47%	11.65%

在社区团购点选择任务中，服务成本同样是影响社区团购点选择方案优劣的一个十分重要指标。社区团购服务成本的高低，直接关系到农产品社区团购业的经营成本和利润水平。一个好的社区团购点选择方案需要充分考虑到社区团购点方案总体的服务成本。在制定社区团购点选择方案时，应该优先选择服务成本较低的候选社区团购点加入到社区团购点的选择方案中。这样可以降低社区团购业的经营成本，提高社区团购业的盈利能力，同时也可以提高团购点的服务质量，满足社区居民的需求。通过观察图 3-8 所示，可以发现对于社区团购点的总服务成本这个关键试验指标上，本文所提出的 CBSSA 在 70 选 20、100 选 20 和 100 选 30 这三个实验场景下，分别要比传统的遗传算法要低 16.63%、12.41% 和 11.65%。特别是在 100 选 20 这个实验场景下，本文所提出的 CBSSA 在服务成本上要比传统的遗传算法 GA 要少 2225 元。这表明，本文提出的社区团购点选择方法，能有效解决社区团购点选择中服务成本总体过高的问题。同时，在多个实验条件的背景下，本文提出的 CBSSA 同样可以有效地控制社区团购点选择方案的总体服务成本。

通过对上述现实因素的分析和对比较算法的实验比较，可以得出结论：本文提出的社区团购点选择方法在多个方面都具有优势。首先，该方法在综合考虑距离与服务成本因素的基础上，能够有效地降低团购点的总体服务成本，提高农产品社区团购业的经营效率。其次，该方法在选择团购点时，能够充分考虑到社区居民的需求，选择服务成本较低的候选社区团购点，从而提高团购点的服务质量。

3.4 本章小结

本章提出了一种专为社区团购点选择问题设计的社区团购点选择模型和求解方法。首先，本研究提出了一种新的构建社区团购点选择模型。该规则考虑了社区团购点与物流配送中心的距离、订单需求、服务成本的问题。通过引入上述因素，本章中构建了一个新的目标函数，其目标是最小化函数值。接着，基于这一模型，我们提出了一种名为 CBSSA 的社区团购点选择方法，该方法借助混沌算子和玻尔兹曼选择策略对传统的麻雀搜索优化算法进行了改进。通过对社区团购点选择方案进行详尽的测试，验证了 CBSSA 在优化社区团购点方面的有效性。

第 4 章 基于 QACO 的农产品配送路径规划方法

在农产品社区团购业务中，涉及到多种任务，除了前文提到的社区团购点选择的任务，还包括社区团购点任务优化、车辆配送路径选择任务等。若仅仅依赖传统的以人工经验的方式运营执行这些任务，可能因为中心运营的繁琐和社区团购点的复杂情况而导致效率不高。在这一背景下，农产品配送路径规划作为提升效率的有效手段被引入社区团购中，用于优化从农产品配送过程中的路径优化中。然而，社区团购运营人员在分配车辆配送方案与路径规划时面临一个共性问题，即如何有效地规划农产品配送路径。不同任务的执行难度不同。为了解决这一问题，本章设计一种新的面向社区团购农产品配送路径规划模型和算法。这将有助于为社区农产品的配送降本增效。

4.1 问题描述

针对 S 市社区农产品团购配送业务的实际情况和需求，本研究综合考虑 S 市社区团购点的分布、运营状况以及当前存在的主要问题，以建立一个多目标配送路径优化模型。该模型的设计旨在实现总成本小、利润高、配送时间短的目标，为 S 市的社区团购配送提供科学、高效的解决方案。在考虑到社区团购点运营和公司经营状况时，本文强调模型的灵活性，社区团购点的选择方案可能会在短时间内发生变化，因此本文的路径选择模型允许随时根据这些变动进行调整，以确保新的优化路径能够及时适应市场和业务的变化。通过建立这一多目标配送路径优化模型，我们的研究旨在帮助 S 市的社区农产品团购业务实现更加智能、高效和成本更低的配送系统。这不仅有助于提升整体配送效能，还能够在业务发展中取得更为可观的经济和社会效益。

本研究专注于 S 市社区团购农产品配送场景。在这个背景下，顾客通过在线平台下单选择生鲜产品，平台收集社区团购点的订单需求，并在隔日进行配送。本文的研究集中于社区团购自提点，考察配送车辆从物流配送中心出发，服务社区自提点，最终完成配送任务并返回社区团购点的全过程。研究问题包括配送车辆服务多个社区自提点的情况，所有车辆在完成任务后回到配送中心。为了满足社区团购点配送服务业的商业需求，对于农产品配送路径的时间、成本、利润有所限制。因此，本文核心关注点是如何制定最优的配送方案，即配送成本更低、配送时间更短、配送利润更高的农产品配送路径。

4.2 农产品配送路径规划模型的构建

本文提出了一种在实际社区团购环境中可行且高效的农产品配送路径优化方案，综合考虑了全面要素。通过对实际 S 市社区团购行业的深入研究，本文将农产品配送路径问题抽象为多个关键要素，其中包括货物、配送中心、用户、社区团购点、车辆、运输网络、优化目标以及约束条件等。农产品配送路径规划模型如图 4-1 所示。

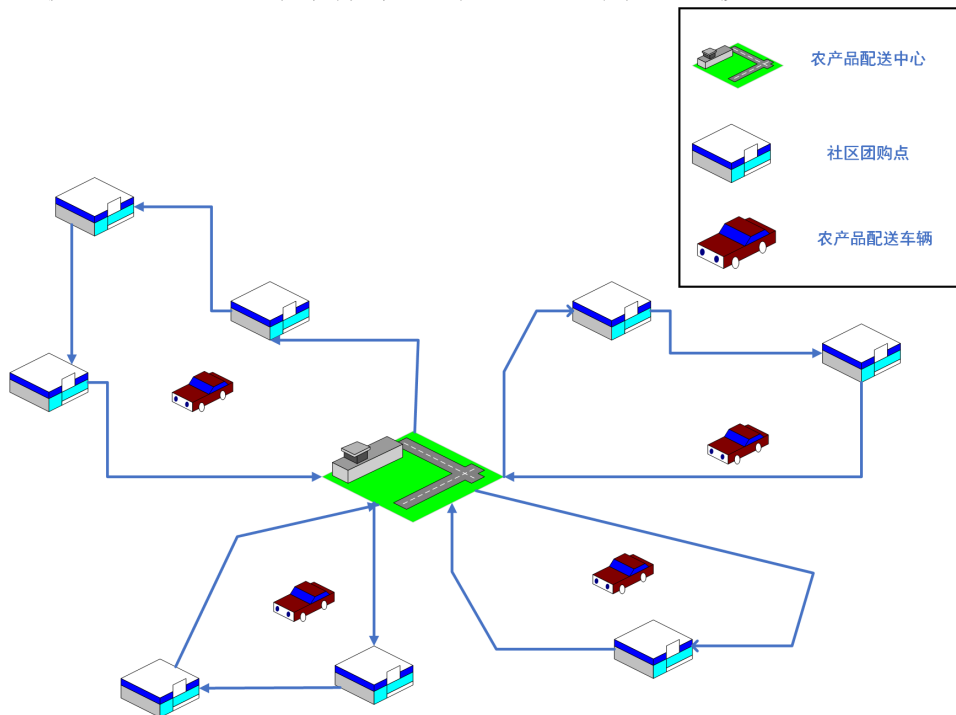


图 4-1 农产品物流路径规划模型

Fig. 4-1 Agricultural Product Logistics Path Planning Model

4.2.1 农产品配送路径规划模型的要素分析

通过调查与分析 S 市当地农产品社区团购业的经营情况，我们可以总结出以下会影响到农产品物流配送路径规划的相关因素。

(1) 货物

货物作为配送中心服务的对象，货物拥有多重属性对车辆路径问题产生深远的影响。其中，货物的重量是至关重要的属性，直接影响着配送车辆的装载能力和相应的配送成本。这个因素在路径规划中具有决定性的作用，需要在确保有效配送的同时最大限度地减少成本支出。

(2) 配送中心

在配送路径规划模型中，配送中心发挥着至关重要的作用，是货物装卸的核心场所。作为每一条车辆路径的出发点或终点站，配送中心对整个配送流程至关重要。它不仅仅是货物流通的中转站，更是负责向客户提供配送服务或接收货物的重要枢纽。

(3) 用户

在本文所提出的社区团购农产品配送路径规划模型中，客户作为配送需求的起点，对于货物的需求是多样且关键的。在本文中，本文将抽象客户的需求，将其归纳为对货物的需求，以社区团购点为集中需求汇总的地点。

(4) 社区团购点

在本文所提出的社区团购农产品配送路径规划模型中，社区团购点是承载社区配送服务的核心节点，不仅是接收配送货物的关键地点，同时也是物流配送路径上可达到的最终节点。社区团购点在整个配送流程中发挥着至关重要的作用。

(5) 车辆

车辆是配送中心完成对客户送货服务的重要载体。车辆在配送流程中具有关键的基本属性，包括但不限于车型、油耗量、载重量、容积、最大行驶时间或最长行驶距离等。这些属性直接决定了车辆的运输能力和适应性，对整个配送系统的效率和成本产生深远的影响。

(6) 运输网络

运输网络构成了一个复杂系统，由节点和带有非负权值的弧组成。这些节点可以代表配送中心或客户点，而弧则表示节点之间的连接关系。弧在运输网络中具有多种属性，如方向性和重量，可根据这些特征分为有向弧、无向弧、单向弧、双向弧等类型。每条弧都被分配了权重，这些权重可以表示为运输成本、运输距离等因素。在本研究中，我们将运输网络中的弧抽象为两个节点在地理交通环境下可达的最短距离，从而更好地模拟和优化社区团购配送的路径规划问题。这一深入研究有助于确保运输网络的高效性和整体优化。

(7) 优化目标

在车辆路径问题的研究和实际应用中，优化目标涵盖单一目标和多目标两种情况。单目标优化的目标可能包括追求最短的运输距离、最高的车辆满载率以及最小的配送成本等。而多目标优化则考虑在解决车辆路径问题时同时满足多个优化目标。这包括对单一目标的两个或多个进行组合，例如在追求最高车辆满载率的同时保持最短的运输距离。本研究专注于社区团购配送路径的成本、利润和时间的多目标优化问题，旨在找到综合考虑多个方面的最优解，以提高整体社区团购配送的效率和经济性。

(8) 约束条件

在解决车辆路径问题时，必须考虑多方面的约束条件。不同类型的车辆路径问题由于其独特的特性，其约束条件也各有不同。例如，载量约束是其中一项重要的制约条件，它规定了任何车辆所装载的总重量不得超过车辆的能力负荷限制。在规划配送路径时，必须确保每辆车所携带的货物总重量在车辆的承载极限内，以确保运输过程

的安全和合理性。这一约束条件对于社区团购配送尤为关键，因为它直接关系到配送车辆的稳定性和运输效率。

4.2.2 农产品配送路径规划模型的假设

结合实际 S 市社区团购行业与农产品配送路径规划模型的要素分析，将现实的社区团购配送模型抽象为数学优化模型，对农产品配送路径规划模型做出如下假设。

(1) 配送中心坐标已知，且在上述的社区团购模型中得到的配送点方案可知每个社区团购点的位置和需求量。

(2) 配送路径中的车辆只有一种车型，每辆车的属性相同，可以满足配送任务的运输要求。

(3) 由于 S 市的市内运输安全条例，车辆的载重有所限制，运输途中不会考虑交通堵塞、车辆违章、恶劣天气造成的运输影响等不可抗力的情况。

(4) 物流配送过程中，单位距离的运输费用固定，运输费用与运输距离成正比。

(5) 社区团购的配送业务只考虑商品的配送过程，并不负责商品的退换货问题。

(6) 每一个社区团购点均由一个从配送中心的车辆服务，车辆在完成配送任务之后会回到配送中心。

(7) 商品会从配送中心发出，装载入运输车辆之后配送至各自的社区团购点，由居民自行前往社区团购点提取货物。

(8) 所有的商品尺寸都是经由相同的配送箱打包，尺寸大小相同。

4.3 各项影响因素的分析

在 S 市社区团购农产品行业的实际背景下，结合社区团购的预购需求模式和配送的次日达要求，本文聚焦于农产品社区团购点选择方案确定后的配送路径规划问题。本文提出了一个多目标优化的目标函数，用以建立配送路径规划的模型，详细的指标将在后文中进行讨论。

4.3.1 成本因素分析

社区团购路径配送问题的成本主要由两个关键部分构成，即固定使用成本和运输成本。固定成本是指确保完成履约和保障商品质量所需的固定车辆使用成本。这一部分成本包括了车辆的制冷设备成本、定期折旧和维护费用、人工费用，以及保险费用等。

运输成本则主要涉及车辆在向自提点交付商品的运输过程中由燃料产生的费用。这一方面成本直接与配送路径的长短有关，本文在研究中充分考虑了运输成本与配送

距离成正比的关系，以深入了解不同配送距离对成本的具体影响。这有助于更有效地规划配送路径，降低整体成本。

(1) 车辆使用的固定成本

根据对 S 市社区团购行业运输情况的实地调研，我们发现社区团购的车辆使用固定成本主要包括车辆使用的固定损耗成本和运输从业驾驶员的薪资成本。考虑到当地社区团购行业中的运输车辆存在不同的型号，主要以福田奥铃 T3、小卡之星 3 和东风小康 K17 为主。在人力成本方面，驾驶员的薪资由基本的固定工资和与运输次数相关的计件工资构成。为了更准确地描述 S 市社区团购的车辆使用固定成本，我们设定了运输车辆的固定损耗成本为行业平均水平，而驾驶员薪资成本则采用了固定的人力使用成本。经过调研，我们得出每次车辆的固定使用成本为 160 元，具体计算公式如 (4-1) 所示。

$$f_{vf} = \sum_{k \in LV} VC_k \quad (4-1)$$

其中， VC_k 代表为车辆 k 的固定成本， LV 则代表社区团购配送车辆集合。

(2) 车辆运输成本

车辆的运输成本主要考虑运输过程中的油耗成本，涉及到车辆的燃油效率、行驶里程以及碳排放成本等多个因素的综合影响。燃油效率直接影响油耗成本，而行驶里程则是决定车辆油耗的关键因素之一。依据 S 市市内运输行业规定，社区团购运输业的运输车辆在市内的最高行驶速度限制为 40KM/h。值得注意的是，本研究在考虑运输车辆行驶速度时，并未纳入道路堵塞、极端天气（如大雾暴雪）等非常规情况，也未涉及其他不可确定的非强制因素的影响。在这一背景下，S 市社区团购业务的车辆运输成本主要由每个配送点到其他点的距离、单位距离成本和碳排放成本所构成，具体计算方式可参考公式如 (4-2) 所示。

$$f_{tf} = \sum_{i,j \in CG} \sum_{k \in LV} (CT_{i,j} + CB) * D_{ij} \quad (4-2)$$

其中， CG 表示为经过第一阶段得到的社区团购点集合， $CT_{i,j}$ 则表示为配送过程中从 i 节点到 j 节点的配送费用。

4.3.2 耗时分析

时间是影响农产品社区团购路径规划路线的一个重要因素。随着社区团购的不断发展，农产品从生产到消费的时间节点日益受到关注。在路径规划过程中，需要考虑时间尽可能地段来确定最优的配送路线。同时，合理安排配送时间，是社区团购路径规划中需要解决的问题之一。在这一背景下，S 市社区团购业务的配送路径总耗时主要

由每个配送点到其他点的距离、车辆行驶速度所构成，具体计算方式可参考公式如（4-3）所示。

$$f_{pt} = \sum_{k \in LV} \frac{D_k}{V_k} \quad (4-3)$$

其中， D_k 表示为车辆 k 的行驶距离， V_k 则表示为车辆 k 的平均行驶速度。

4.3.3 农产品配送路径规划模型的构建

在以上小节的分析中，本研究已经对各项成本进行了详尽的分析。在综合考虑这些影响物流配送路径的实际因素的基础上，本文提出了一个新的农产品配送路径规划目标函数，如公式（4-4）所示。在前一章中社区团购点选择方案已经确定的基础上，针对 S 市的社区农产品配送，本文考虑了社区团购点的位置、配送时间、配送成本等因素，以建立更为合理和高效的配送路径规划。

$$\begin{aligned} F_L &= f_{vf} + f_{pt} + f_{tf} \\ &= \sum_{k \in LV} VC_k + \sum_{k \in LV} \frac{D_k}{V_k} \\ &+ \sum_{i,j \in CG} \sum_{k \in LV} (CT_{i,j} + CB) D_{ij} V_{ij}^k \\ \text{S.T.} \end{aligned} \quad (4-4)$$

$$\sum_{i,j \in CG} \sum_{k \in LV} V_{ij}^k = \sum_{i,j \in CG} \sum_{k \in LV} V_{ij}^k \quad (4-5)$$

$$\sum_{i,j \in CG} \sum_{k \in LV} V_{ij}^k = 1 \quad (4-6)$$

$$\sum_{i,j \in CG} \sum_{k \in LV} Nd_i V_{ij}^k \leq K \quad (4-7)$$

$$\sum_{i \in CG} \sum_{k \in LV} V_{DCi}^k = \sum_{i \in CG} \sum_{k \in LV} V_{iDC}^k \quad (4-8)$$

$$\sum_{i \in CG} \sum_{k \in LV} V_i^k = CG \quad (4-9)$$

上述数学模型中的约束条件如下，公式（4-5）和（4-6）表示一个社区团购点只由一辆农产品社区团购配送车辆进行配送；其中， V_{ij}^k 表示为决策变量，值为 1 时表示为车辆 k 从节点 i 到节点 j ，否则其值为 0。公式（4-7）表示，为了安全起见农产品社区团购配送车辆每一次配送任务的农产品载货量都不能超过车辆规定的额定载重量；公式（4-8）表示每辆农产品社区团购配送车辆在从农产品配送中心进行配送的时候采取

巡回配送的方式，即车辆到达一个社区团购点之后，从当前社区团购点出发去给下一个社区团购点进行配送服务，最终回到农产品配送中心；公式（4-9）则表示所有社区团购点都会有对应的农产品社区团购配送车辆服务。

4.4 基于量子蚁群算法的农产品物流配送路径规划方法

在面对 S 市社区团购行业存在的复杂问题时，本文提出了一种量子蚁群算法，旨在解决社区农产品的物流配送路径规划难题。通过量子蚁群算法的独特优势，本文可以得到运输成本更低、运输时间更短、运输经济利润更高的配送路径，以满足 S 市社区农产品行业在运输方面的需求。这一算法的引入旨在克服传统规划方法面临的复杂性和不确定性，通过量子计算的并行性和蚁群算法的自组织特性，为 S 市社区农产品的物流配送提供更加智能、灵活的解决方案，从而有效地增加 S 市社区配送业的经济利润、降低运输成本。算法流程图如图 4-2 所示。

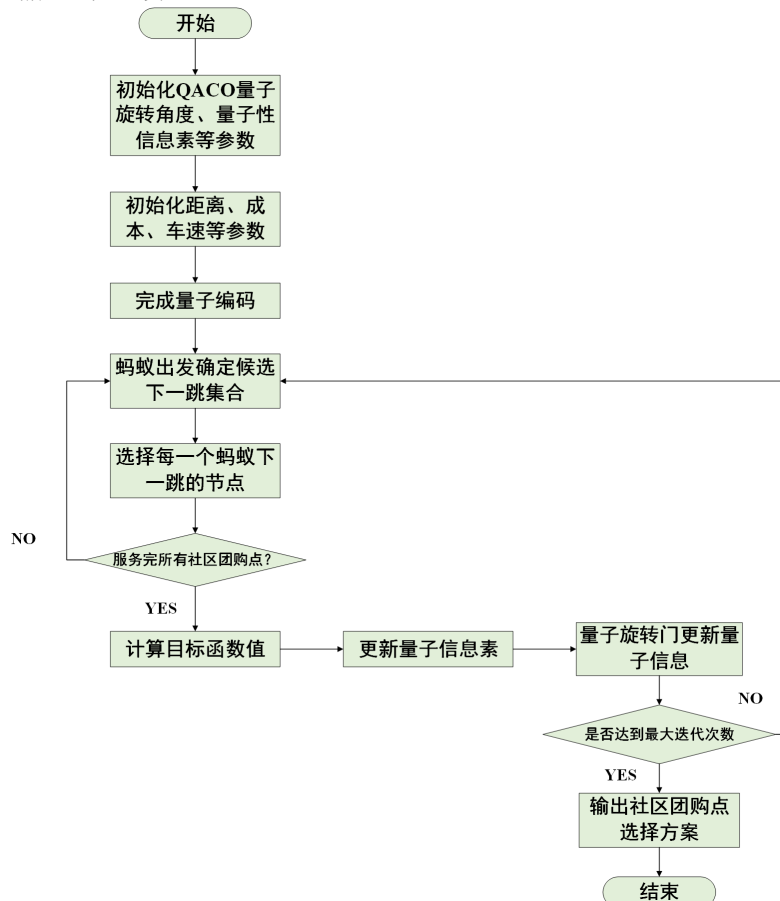


图 4-2 QACO 算法流程图

Fig. 4-2 QACO Algorithm Flowchart

4.4.1 量子比特编码

在传统的群智能算法解决农产品物流配送路径规划方法常常存在难以寻找到运输成本更低、运输时间更短、运输经济利润更高的配送路径。这是由于在算法的初期阶段，种群初始化极大地影响后续算法的收敛性和搜索能力，从而影响到最终的路径规划解方案。传统的群智能算法在解决农产品物流配送路径规划问题时，通常采用随机初始化种群的方式，这种方式容易导致种群陷入局部最优解，难以全局搜索到最优解。因此，为了提高群智能算法的搜索能力和收敛性，需要设计一种新的种群初始化方法，以更好地解决农产品物流配送路径规划问题。量子蚁群算法中的量子比特编码是指将问题的状态信息以及蚂蚁在搜索空间中的位置等信息量子化的过程。这种编码方式利用了量子比特的叠加和纠缠等特性，使得算法在处理复杂问题时具有更强大的计算能力。

在量子计算中，信息的表示采用了量子比特（qubit）的概念，这与经典计算机中的比特（bit）有所不同。在量子计算中，一个量子比特可以同时处于多个状态的叠加态，这是量子超 position 的特性。这种叠加态的表示通常用 Dirac 符号，即 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ ，分别表示量子比特的基本状态。

在量子蚁群算法中，问题的状态通常以量子比特的形式进行表示。其信息的表示是用 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 来实现的，类似于数字计算机中的 0 和 1。 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 是量子的两种基础态，其基本单元为量子比特或称为量子位。在量子世界中，因为量子具有叠加的特性，所以微观粒子的状态是不可确定的，量子比特不但可以表示 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 还能够表示 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 之间的任意一种叠加态。其中， λ 、 ω 为量子态的概率幅，且满足归一化。更具体地说， λ 表示量子态被观测为 1 态的概率， ω 表示量子态被观测为 0 态的概率，其受式（4-10）约束。

$$|\lambda\rangle^2 + |\omega\rangle^2 = 1 \quad (4-10)$$

定义完量子状态后，个体所携带的一组量子位矩阵如式（4-11）所示。其中， W_i 代表个体*i*所携带的一组量子位矩阵。

$$W_i = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_m \\ \omega_1 & \omega_2 & \dots & \omega_m \end{bmatrix} \quad (4-11)$$

4.4.2 量子旋转门更新

在蚁群算法中，信息素的更新是该算法中至关重要的一环，而在蚁群算法中引入了量子理论的特性后，信息素的更新采用了一种创新性的方式，通过量子旋转门来实现。传统的蚁群算法中，信息素的更新通常遵循蚂蚁在路径上留下的信息浓度和信息

素挥发的原则，以调整路径的选择概率。然而，引入量子理论后，信息素的更新更加灵活和高效。量子旋转门作为量子计算中的基本操作之一，在信息素更新中发挥了关键作用。通过量子旋转门的引入，使得算法更灵活地应对问题的不同特性，从而取得更优的搜索和优化效果。量子旋转门公式如（4-12）所示。其中， θ 为量子旋转角度。

$$M(\Delta\theta) = \begin{bmatrix} \cos \Delta\theta & -\sin \Delta\theta \\ \sin \Delta\theta & \cos \Delta\theta \end{bmatrix} \quad (4-12)$$

在量子蚁群算法中，对蚂蚁走过的路径上的量子信息素进行更新的关键步骤是利用量子旋转门。量子旋转门的作用是根据特定的路径信息，调整相应量子比特的相位，从而影响路径的选择概率。其更新公式如（4-13）所示。其中， γ'_i 和 η'_i 是第 t 代种群中的第 i 个量子位的概率幅值，

$$\begin{bmatrix} \gamma_i^{t+1} \\ \eta_i^{t+1} \end{bmatrix} = M(\Delta\theta) \begin{bmatrix} \gamma_i^t \\ \eta_i^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_i^t \\ \eta_i^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \Delta\theta & -\sin \Delta\theta \\ \sin \Delta\theta & \cos \Delta\theta \end{bmatrix} \quad (4-13)$$

同时，旋转角的选取对算法的性能具有至关重要的影响。其旋转角度的公式如（4-14）所示。其中， $p(\gamma_i, \eta_i)$ 代表为量子旋转角的方向，其中， κ 为量子搜索参数。

$$\Delta\theta = \kappa * p(\gamma_i, \eta_i) \quad (4-14)$$

旋转角度的合理选择能够在信息素更新过程中平衡全局搜索和局部优化的需求，从而使得算法更加高效地收敛于问题的最优解。

4.4.3 路径选择

蚂蚁在路径选择过程中，路径选择概率会决定了蚂蚁在每次移动时选择某一路径的可能性。在蚁群算法中，路径选择概率的计算公式通常包含三个主要的成分：信息素浓度、启发信息和量子信息素强度。信息素浓度代表了蚂蚁在路径上留下的化学物质，是一种蚂蚁之间进行通信的方式。启发信息则是根据问题的实际情况给出的启示，通常反映了路径的质量或期望，形成了路径选择概率，决定了蚂蚁应该沿着哪条路径前进。具体表达式如（4-15）和（4-16）所示。其中， ε 为大于 0 的值，为信息启发式因子， φ 为大于 0 的值，表示为量子比特启发式因子。同样的， σ 为大于 0 的值，表示为期望的启发式因子。

$$o_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\varepsilon \cdot [\delta_{ij}]^\sigma \cdot [o_j]^\varphi}{\sum_{l \in Y} [\tau_{il}]^\varepsilon \cdot [\delta_{il}]^\sigma \cdot [o_j]^\varphi} \quad (4-15)$$

$$\delta_{ij} = \frac{1}{D_{ij}} \quad (4-16)$$

而量子信息素的引入为优化蚂蚁路径选择过程提供了一种新的手段。量子信息素的强度对蚂蚁在路径选择中的决策起到关键的调节作用，旨在避免陷入早熟收敛或者收敛精度过低的问题。具体表达式如（4-17）所示。其中 δ_{ij} 表示而节点 i 到节点 i 路径上的量子信息素强度， $|\chi_j|^2$ 代表为第 j 个量子位的量子态探索为 $|0\rangle$ 的概率

$$e_j = \frac{1}{|\chi_j|^2} \quad (4-17)$$

4.4.4 信息素更新

蚂蚁在进行路径搜索的过程中，路径上的信息素会随着时间的推移不断挥发。这一机制有助于防止蚂蚁集中在过去的路径上，促使其探索新的路径。同时，蚂蚁在走过的路径上会释放新的信息素，以强化经过的路径，引导其他蚂蚁更倾向于选择相同的路径。信息素的更新过程遵循如下的更新方程，其中公式如（4-18）和（4-19）所示。

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (4-18)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{C \cdot (|\zeta_{ij}^n|^2)}{RA^k} & (i, j) \text{在蚂蚁} k \text{的路径上} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \quad (4-19)$$

其中 ρ 表示为信息素挥发因子， $\Delta\tau_{ij}^k$ 表示蚂蚁 k 在经过节点 i 到节点 j 这条边上所释放的信息素总量。同时， C 为信息素释放常量， RA^k 则为蚂蚁 k 所构建的路径长度。路径上的信息素随着时间的推移不断挥发。这个设计有助于防止蚂蚁过度集中在过去的路径上，从而避免陷入局部最优解。挥发的过程使得旧有路径上的信息素逐渐减弱，不再对蚂蚁的路径选择产生强烈的影响。这样一来，蚂蚁更有可能探索到未经搜索的区域，提高了算法的全局搜索能力。同时，蚂蚁在走过的路径上会释放新的信息素。这种机制则有助于强化经过的路径，引导其他蚂蚁更倾向于选择相同的路径。这样可以有效传递并积累有关良好路径的信息，加速算法的局部优化过程。

4.5 农产品物流配送路径规划实验验证

在社区团购农产品业务中，农产品的物流配送路径规划是决定社区团购中物流配送成本、利润的关键一环。这一环节直接影响着配送的时效性、成本和顾客满意度。有效的物流配送路径规划不仅能够降低运输成本，还能提高配送效率，在满足消费者需求的同时实现企业自身的可持续发展。

通过第三章所得到的社区团购点选择方案，本文根据系统提出的最佳社区团购点方案，展开农产品物流配送路径规划。为验证本文提出的量子蚁群算法在 S 市农产品物流配送路径规划中的实际效果，本文选择了上一章获得的部分最佳社区团购点方案进行路径规划。具体而言，本文选取了 70-20、100-20 和 100-30，共计三种社区团购点的最佳选择方案，并结合 S 市社区团购点的地理位置、需求信息等因素进行深入研究。其中以 100 个候选点选择 30 个配送节点背景下得到的选择优化方案为例，相对应的最优社区团购点选择方案部分信息如表如 4-1 所示：

表 4-1 100 个选 30 个社区团购点方案的信息
Tab. 4-1 Information on 100 options for 30 community group buying points

坐标轴的位置	需求量 (kg)
(50, 68)	56.5
(65, 81)	75.1
(72, 43)	101.5
(68, 35)	133.9
(59, 41)	87.1
(61, 24)	84.2
(55, 15)	97.1
(51, 28)	156.2
(55, 37)	132.2
.....
(58, 11)	162.1
(7, 75)	116.9

车辆信息是影响农产品配送路径规划模型和最后配送路径结果方案的重要因素。根据相关研究和实地调研收集的信息总结整理表如 4-2 所示。车辆的相关信息关系到后续实验的具体表现，也影响到整体的配送效率。

表 4-2 车辆信息
Tab. 4-2 Vehicle Information

车辆名称	运输费用 (元/km)	固定费用 (元/次)	额定载重量 (吨)	车速 (km/h)
小卡之星 3	95	160	1.6	45

通过上述信息，本文针对第三章所得到的(1)70 个候选点中选 20 个社区团购点方案;(2)100 个候选点中选 20 个社区团购点方案;(3)100 个候选点中选 30 个社区团购点方案的结果，进行了有效的测试。采用量子蚁群算法，结合社区团购点的基本位置、需求信息以及模型参数数据，进行多次运算。其中，红色的五角星表明为 S 市的配送中

心位置，其余的红色节点则为上文中所得到的社区团购点配送方案的配送节点。同时根据上传的数据信息如：社区团购点的服务成本、车辆载运量与地理位置等其他信息的分析，从多次运算中获取一次具有最佳结果的配送路线方案，其车辆路线信息与实验结果已整理如下表与实验图所示：

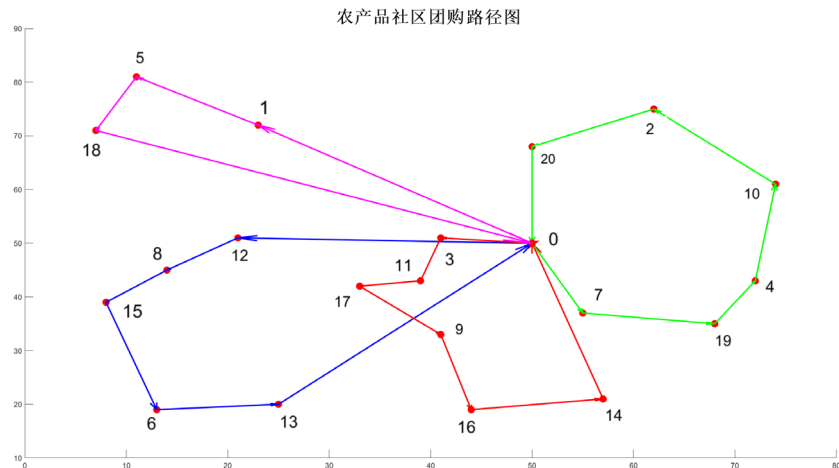


图 4-3 农产品社区团购配送路线详情：70 个候选点选择 20 个配送节点

Fig. 4-3 Delivery route details for agricultural product community group buying: Select 20 delivery nodes from 70 candidate points

表 4-3 农产品配送路线详情：70-20

Tab. 4-3 Agricultural product delivery route details: 70-20

路线	配送方案	车辆满载率
1	0 → 7 → 19 → 4 → 10 → 2 → 20 → 0	93.00%
2	0 → 3 → 11 → 17 → 9 → 16 → 14 → 0	82.71%
3	0 → 12 → 8 → 15 → 6 → 13 → 0	91.57%
4	0 → 1 → 5 → 18 → 0	46.57%

如图 4-3 和表 4-3 所示，当实验场景被设定为从 70 个社区团购候选点中选择 20 个配送节点作为农产品配送方案的最优节点情况下，由配送中心出发会安排四辆车辆负责配送方案的社区团购节点进行农产品配送服务。在当前的最优路径规划方案中，会尽可能地考虑到运输距离、利润与运输总成本的三者的综合情况。通过解决方案，我们得到了 4 条配送路线，可以计算每辆车在配送中的行驶里程、实际货物容载量以及从运输配送中心到社区团购点的总成本和最终的经济利润。可以的到实验结果为，其在 70 个社区团购候选点中选择 20 个配送节点作为农产品配送方案的最优节点背景下，产生的运输成本为 11,236 元。在不考虑退换货的情况下，本次运输任务最终可以的得到的经济利润为 35,882 元。该次农产品的运输任务总耗时约为 95 分钟，同时，当前的配送方案中第 1、2、3 条的满载率均在 80% 以上，说明物流资源的利用都比较充分，达到了预期的优化效果。

为了验证本文所提出的 QACO 在面临现实物流配送行业中由于配送节点变化而产生的情况，同时也为了体现本文提出的 QACO 的鲁棒性，本文还选择了 100 个社区团购候选点中选择 20 个配送节点作为农产品配送方案的最优节点情况下的背景。从图 4-

4 和表 4-4 所示, 由配送中心出发将会安排四辆车负责配送方案的社区团购节点进行农产品配送服务。同时, 可以得到其在 100 个社区团购候选点中选择 20 个配送节点作为农产品配送方案的最优节点背景下, 产生的运输成本为 9,512 元。在不考虑退换货的情况下, 本次运输任务最终可以得到的经济利润为 38,527 元。该次农产品的运输任务总耗时约为 81 分钟, 同时, 当前的配送方案中第 1、2、3 条的满载率均在 85%以上, 其中第 4 条运输路线的满载率将近 70%, 这说明了本文所提出的算法在应对多变背景下的社区农产品配送背景下, 依然可以对物流资源实现充分利用, 较好地达到了预期的优化效果。

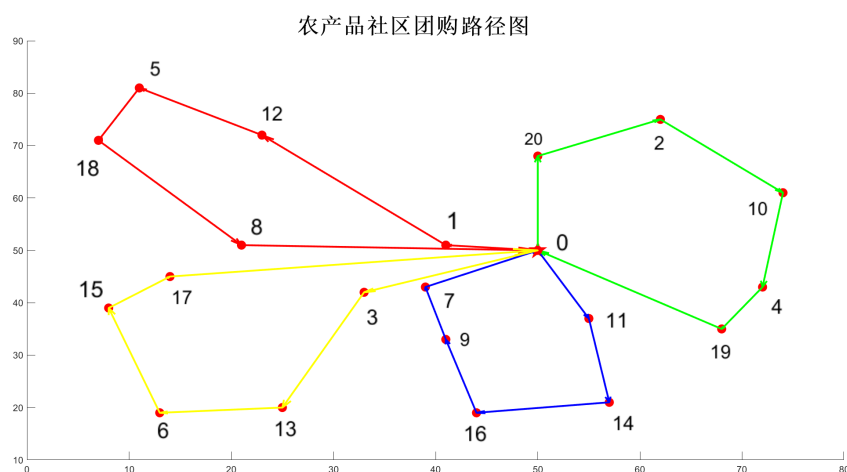


图 4-4 农产品社区团购配送路线详情: 100 个候选点选择 20 个配送节点

Fig. 4-4 Delivery route details for agricultural product community group buying: Select 20 delivery nodes from 100 candidate points

表 4-4 农产品配送路线详情: 100-20

Tab. 4-4 Agricultural product delivery route details: 100-20

路线	配送方案	车辆满载率
1	0 → 20 → 2 → 10 → 4 → 19 → 0	86.00%
2	0 → 11 → 14 → 16 → 9 → 7 → 0	89.75%
3	0 → 1 → 12 → 5 → 18 → 8 → 0	93.32%
4	0 → 17 → 15 → 6 → 13 → 3 → 0	69.63%

同时, 为了验证未来配送节点增多的情况或者尽可能地保证多的配送节点的行业要求, 本文选择了在 100 个候选点选择 30 个配送节点背景下验证本文所提出的算法对于解决农产品社区团购行业问题的可行性与拓展性。从图 4-5 和表 4-5 所示, 在配送 30 个社区团购点的任务下, 配送中心将会派出五辆运输车负责配送方案的社区团购节点进行农产品配送服务。可以看到, 本文所提出的算法可以很好地完成对于配送服务任务的需要, 配送方案都实现了 50%以上的装载率。这表明, 即使是在未来更多的配送节点的行业要求下, 本文所提出的算法依然可以具有可行性。同时通过计算可以得出, 其在 100 个社区团购候选点中选择 30 个配送节点作为农产品配送方案的最优节点背景下, 产生的运输成本为 14,371 元。在不考虑退换货的情况下, 本次运输任务最终可以得到的经济利润为 47,213 元。该次农产品的运输任务总耗时约为 116 分钟。

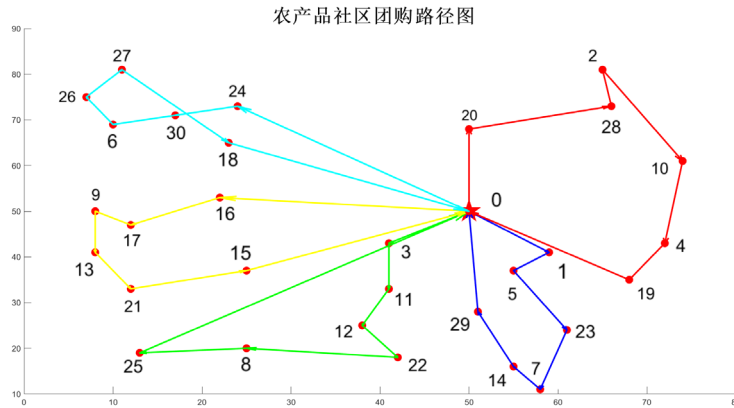


图 4-5 农产品社区团购配送路线详情：100 个候选点选择 30 个配送节点

Fig. 4-5 Delivery route details for agricultural product community group buying: Select 30 delivery nodes from 100 candidate points

表 4-5 农产品配送路线详情：100-30

Tab. 4-5 Agricultural product delivery route details: 100-30

路线	配送方案	车辆满载率
1	0 → 20 → 28 → 2 → 10 → 4 → 19 → 0	95.87%
2	0 → 1 → 5 → 23 → 7 → 14 → 29 → 0	96.93%
3	0 → 3 → 11 → 12 → 22 → 8 → 25 → 0	88.67%
4	0 → 16 → 17 → 9 → 13 → 21 → 15 → 0	82.13%
5	0 → 24 → 30 → 6 → 26 → 27 → 18 → 0	56.91%

为了进一步验证本文所提出算法的有效性，我们还从现实社区团购行业中所关注的经济利润、运输时间、运输成本的三个现实因素出发，设置了对比实验。分别对于当前最新的 MACO^[89]、VNS-ACO^[90]和经典的 ACO 算法进行了比较。其对比实验的结果如下：

本文重点研究关于现实社区团购行业中经济利润、运输时间、运输成本的三个现实因素，设置了对应的实验指标，分别由下图所展示。其中为了验证本文所提出的社区团购点路径规划方法的鲁棒性与应用性，本文设置了多次不同物流分配节点的实验。在这些实验场景下，被选择的物流配送节点和对比算法都有着相同的实验场景。针对社区团购业中所关注的经济利润情况，从图 4-6 可以得出，当随着物流分配节点的增加，本文所提出的 QACO 均保持在了 35,000 元以上的经济利润，且均比当前最新的 MACO、VNS-ACO 和经典的 ACO 算法要高。从表 4-6 可知，当社区团购点为 100-30 的实验场景下，本文所提出的 QACO 在经济利润分别要比当前最新的 MACO、VNS-ACO 和经典的 ACO 算法相比均分别要高 7.38%、5.68%、11.85%。同时，随着物流配送节点增加的过程中，在农产品配送利润的试验指标上，本文所提出的算法相比于其他三种对比算法至少要高 5% 以上。这说明，本文所提出的社区团购点规划方法可以规划出一条优秀的配送路径，其有效地提升农产品社区团购配送业中的经济利润。

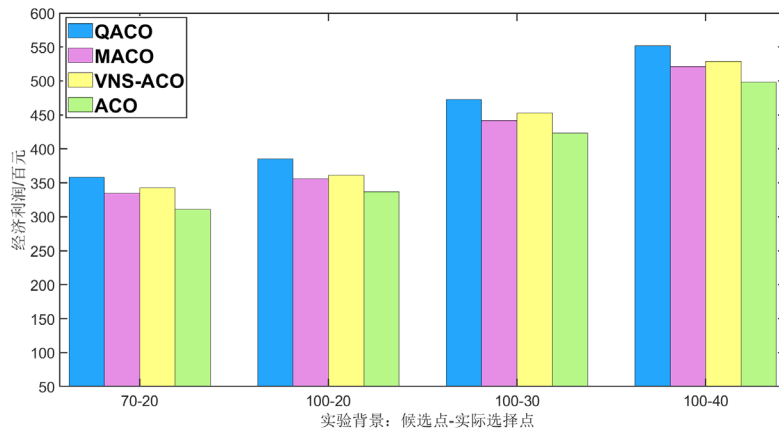


图 4-6 经济利润对比图

Fig. 4-6 Comparative Economic Profits

表 4-6 QACO 与其他算法在经济利润上的对比表

Tab. 4-6 Comparison Table of QACO with Other Algorithms in Economic Profit

算法名	实验场景: 候选点-实际选择点			
	70-20	100-20	100-30	100-40
MACO	7.21%	8.24%	7.38%	5.87%
VNS-ACO	8.78%	6.64%	5.68%	6.11%
ACO	15.41%	13.98%	11.85%	10.65%

社区团购业中配送路径的时间成本也是一个极为重要的因素，它直接影响着配送效率和服务质量。在确定配送路径时，除了考虑距离和成本外，还需要综合考虑配送所需的时间。合理规划配送路径可以最大程度地减少配送时间，提高配送效率，从而提升用户的满意度和体验。因此，优化配送路径不仅可以降低物流成本，还能够优化时间利用，提高服务水平。本文设置了多次不同物流分配节点的实验。从图 4-7 可以得出，随着物流配送节点的不断增加，农产品配送的运输时间不可避免地增加。然而，本文所提出的 QACO 在减少农产品的物流配送时间方面依然有着独特而明显的优势。从表 4-7 可知，当社区团购点为 100-30 的实验场景下，本文所提出的 QACO 在配送时间上分别要比当前最新的 MACO、VNS-ACO 和经典的 ACO 算法相比均分别要低 17.09%、22.31%、32.1%。同样地随着社区团购点的不断增加，本文所提出的算法在控制配送时间上相比于其他三种算法有着十分明显的效果。通过合理规划配送路径，可以有效减少车辆在路上的行驶时间，最大限度地提升了配送效率。这对于社区团购业务来说至关重要，不仅能够提高配送速度，还能够更好地满足消费者的需求，增强用户的满意度和忠诚度。

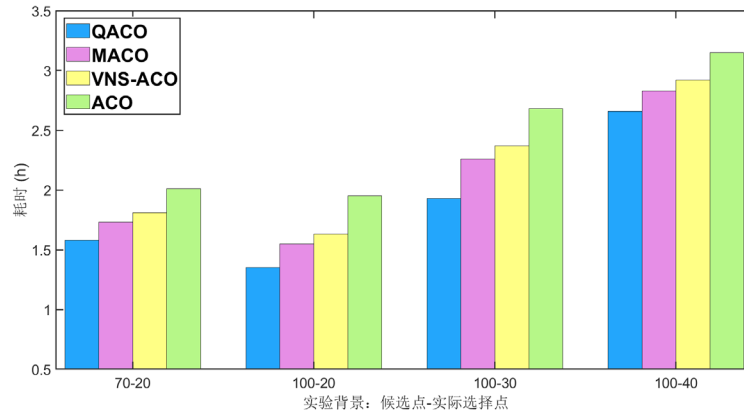


图 4-7 路径耗时对比图

Fig. 4-7 Comparative Time Consumption

表 4-7 QACO 与其他算法在配送时间上的对比表

Tab. 4-7 Comparison Table of QACO with Other Algorithms in Delivery Time

算法名	实验场景: 候选点-实际选择点			
	70-20	100-20	100-30	100-40
MACO	9.49%	14.81%	17.09%	8.39%
VNS-ACO	14.55%	20.74%	22.31%	11.77%
ACO	27.21%	35.66%	32.10%	21.15%

配送成本问题是农产品社区团购业中极为关注的因素，直观地表示物流配送中产生的配送成本问题可以极大地帮助社区团购从业者对于成本、盈利目的的掌控。因此，本文选择了对于农产品社区团购配送路径中成本因素的影响作为实验指标。本文同样设置了多次不同物流分配节点的实验。从图 4-8 可以看出，随着物流配送节点的不断增加，农产品物流配送过程中产生的成本因素一样随着增加。然而，本文所提出的 QACO 在减少农产品物流配送成本方面相比其他三种算法有着明显的成果。从表 4-8 可知，当社区团购点为 30 个的实验场景下，本文所提出的 QACO 在配送成本上分别要比当前最新的 MACO、VNS-ACO 和经典的 ACO 算法相比均分别要低 17.12%、12.31%、25.95%。同样地随着社区团购点的不断增加，从图表中的成本增长幅度来看，本文所提出的算法在控制配送成本上相比于其他三种算法有着十分好的效果。通过优化配送路径，均衡规划车辆行驶路线，从而降低了物流配送过程中的成本。这一优化策略不仅能够有效地降低企业的运营成本，增强企业的竞争力和可持续发展能力。

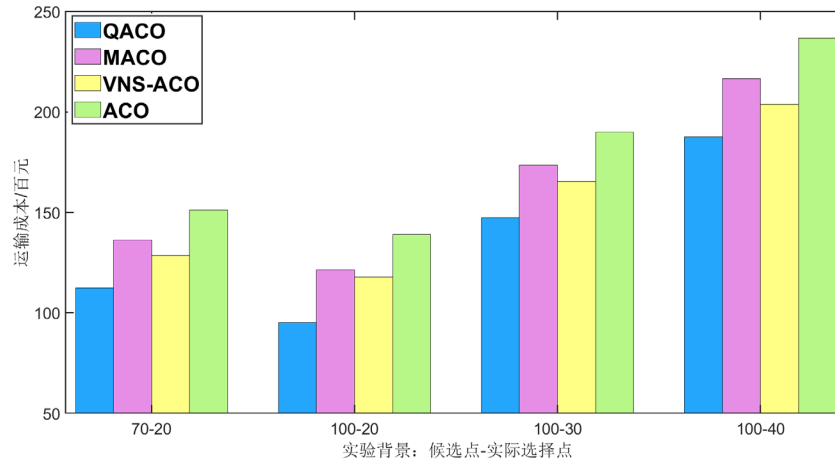


图 4-8 成本对比图

Fig. 4-8 Comparative Cost

表 4-8 QACO 与其他算法在运输成本上的对比表

Tab. 4-8 Comparison Table of QACO with Other Algorithms in Transportation Costs

算法名	实验场景: 候选点-实际选择点			
	70-20	100-20	100-30	100-40
MACO	21.24%	27.56%	17.12%	15.37%
VNS-ACO	15.31%	23.85%	12.86%	8.56%
ACO	34.53%	39.15%	25.95%	23.32%

通过对上述三个现实因素的分析 and 对比算法的实验比较, 可以得出结论: 本文提出的农产品社区团购物流配送路径规划方法在多个方面都具有优势。首先, 该方法在综合考虑经济利润、时间和成本等因素的基础上, 能够有效地优化物流配送路径, 实现了资源的最优配置和利用, 从而降低了配送过程中的成本和时间消耗。其次, 与其他对比算法相比, 本文提出的算法在实验中表现出更高的效率和更好的配送效果, 验证了其在提升配送效率和降低成本方面的优越性。综上所述, 本文所提出的农产品社区团购物流配送路径规划方法对促进物流配送行业的发展和提升社区团购服务质量具有积极意义。

4.6 本章小结

本章详细介绍了基于农产品社区团购物流配送路径规划的数学模型和算法。首先, 我们建立了农产品物流路径规划模型, 引入了运输成本、耗时、利润分析以更准确地描述农产品社区团购行业的运营情况。其次, 我们提出了一种改进的蚁群算法, 即量子算子改进的蚁群算法, 用于解决农产品物流路径规划问题。最后, 我们对该算法进行了有效性测试, 并对测试结果进行了详细的分析。实验结果表明, 本文所提出的改进的蚁群算法可以有效地降低配送成本、降低配送时间、提高经济利润。

第5章 社区农产品团购点优化及配送路径规划系统设计与实现

在前述第3章和第4章中，本研究对S市社区团购点选择系统与农产品物流配送系统进行了详细介绍，包括采用的数学模型和算法。而本章则重点关注这一系统的实际开发和测试阶段。为简洁表述，除非有特别说明，下文将统一采用术语“系统”来指代本研究中开发的“社区农产品团购点优化及配送路径规划系统”。

5.1 系统需求分析

社区团购与农产品物流配送是当前社会经济活动中的重要组成部分，然而在实际操作中，存在着一系列问题和挑战。现有的研究与系统可能未能充分解决以下方面的需求，从而催生了对系统需求分析的迫切需求：

(1) 当前对于社区团购点选择与农产品物流配送路径规划的研究主要集中在理论算法层面，仅仅通过运行算法代码来获取结果并不够便捷，需要一个直观、易操作的图形化界面，以更直观地理解和管理相关任务过程。因此，提升系统的用户友好性和操作便捷性，使其更贴近社区团购从业人员的实际需求，成为社区农产品团购点优化及配送路径规划系统发展中的亟待解决的问题。

(2) 传统的社区团购配送行业研究的路径规划算法存在性能欠佳的问题，且难以解决社区团购点多、需求量情况复杂的问题，目前的物流路径规划算法在选择最优物流路径时考虑的因素不够全面和合理。其中一些方法仅考虑了路径距离等因素，但忽略了社区团购点选择后影响物流配送成本的重要因素。这导致了现有算法在实际应用中可能无法有效提高农产品社区团购行业的整体利润。因此，有必要研究并设计更为全面、高效的社区团购点选择与农产品配送路径规划算法，以优化系统的性能。

(3) 相关任务结果的展示缺乏直观性，对社区团购业工作人员而言，有必要设计一个具备直观展示功能和与多种算法对比的系统，以提高系统结果的可理解性和选择性。

本文提出的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统致力于解决前文所述的社区团购点选择与农产品物流配送路径规划的问题，为社区团购业务的工作人员提供相对最优的任务规划方案。具体而言，该系统通过获取S市社区团购点的具体参数以及农产品物流配送路径的相关参数，并运用改进的群智能算法对社区团购点的优化和农产品配送路径进行规划，为业务工作人员提供低成本、高可靠的系统。图5-1生动展示了该系统的业务流程。

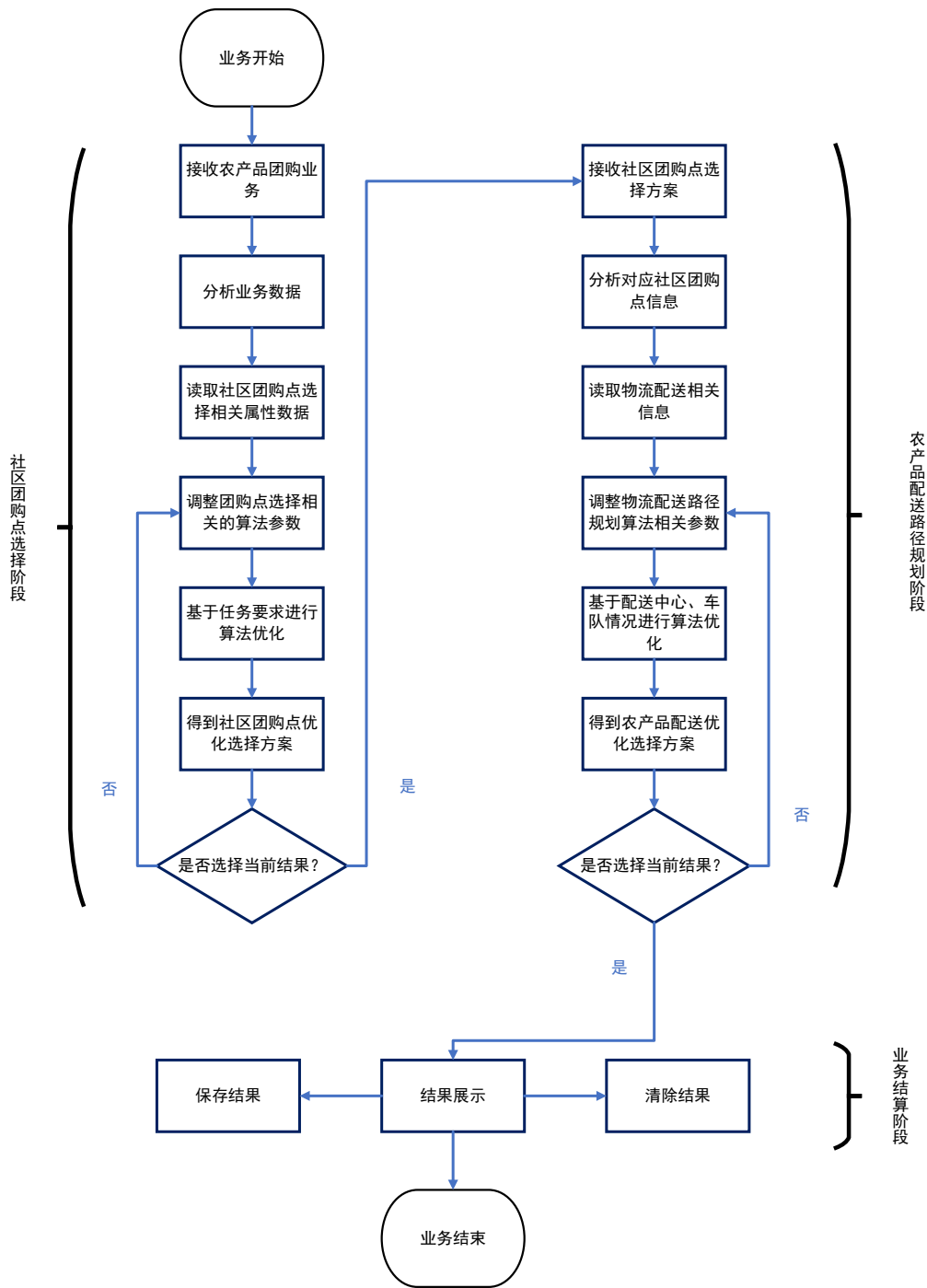


图 5-1 业务流程图

Fig. 5-1 Business Process Diagram

5.1.1 功能性需求

为满足 S 市社区农产品配送业工作人员的仿真需求，本系统主要包括四个关键功能模块，分别是系统登录模块、系统菜单模块、社区团购点选择模块和农产品配送路径规划模块。同时，本文对这些主功能模块进行了更细致的划分，形成了多个子功能模块，详细的模块分解见图 5-2。

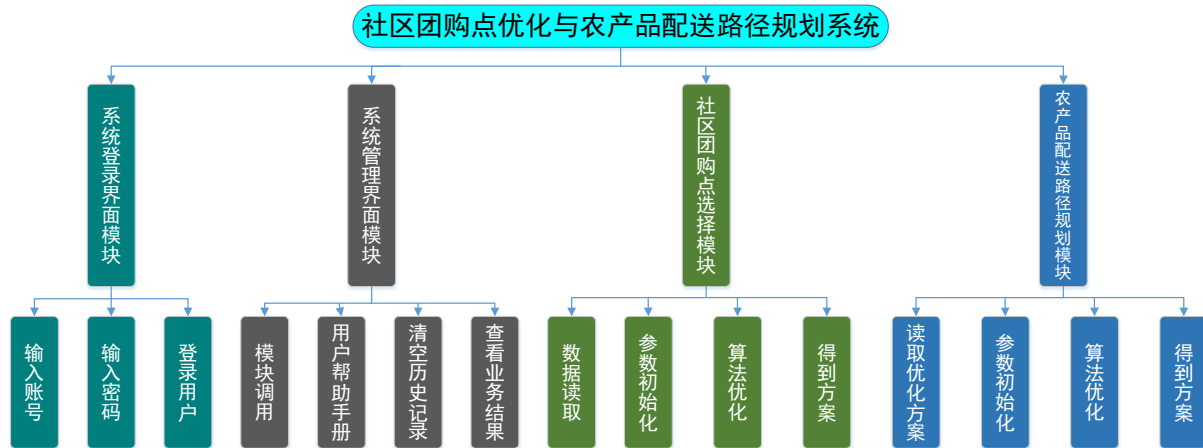


图 5-2 功能分解图

Fig. 5-2 Functional Decomposition Diagram

从图 5-3 中可以发现，该系统菜单界面的具体功能包括以下 5 个：

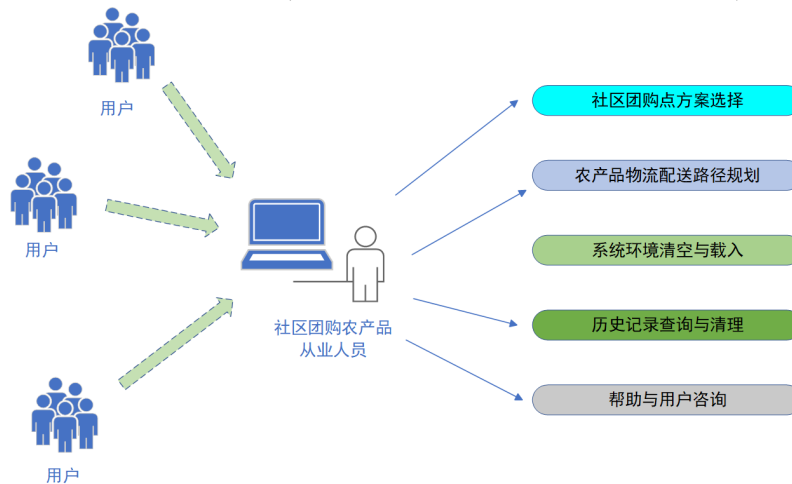


图 5-3 系统业务示意图

Fig. 5-3 System Business Diagram

- (1) 社区团购点选择模块调用；
- (2) 农产品路径规划模块调用；
- (3) 清空系统环境；
- (4) 查看历史结果；
- (5) 查看用户手册。

系统的核心功能包括社区团购点选择模块和农产品路径规划模块。这两个核心模块是整个系统的关键部分，负责社区团购点选择和农产品路径规划。此外，系统的菜单界面还提供了三个辅助功能，旨在提供更佳的系统使用体验。为了获得较优的相关结果方案，社区团购点选择模块和农产品路径规划模块应具备以下功能：

- (1) 参数读取

该控件负责读取相关的参数文件，为后续使用群智能算法进行相关任务的优化提供必要的基础数据。

(2) 开始优化

基于“参数读取”控件提供的数据，该控件通过相关算法进行问题求解与优化。作为整个模块的核心部分，它决定了最终的相关结果方案。

(3) 清除结果

该控件负责清除当前的仿真结果，包括环境变量和生成的仿真图，以便为下一次运行做好准备。

(4) 保存结果

“保存结果”控件负责将获得的相关模块结果保存，便于用户后续查看历史结果记录。

(5) 优化结果展示

该控件用于展示不同相关任务算法的运行结果曲线，包括本文提出的算法以及其他对比算法。

(6) 结果表格显示

为提供更详细的方案结果信息，该控件显示了当前实验规划中获得的最佳实验结果。

(7) 参数调整

为方便用户对相关算法进行性能调控，该控件提供了调整算法参数的接口。

5.1.2 非功能性需求

考虑到 S 市社区团购点快速增长的发展趋势，社区团购点的数量是不定的。随着社区团购业务规模的不断扩大，基于群智能优化算法的该系统的计算速度可能受到一定的影响。然而，该系统的核心目标是完成所指定的社区团购点选择，并根据社区团购点选择最优的农产品规划路径，即两个核心模块能找到一种较合适的优化方案。对系统的性能并没有过于苛刻的要求，只需在规定的迭代次数内获得正确的优化方案即可。在综合考虑的基础上，该系统的非功能性需求如下：

(1) 稳定性需求：系统需要能够持续稳定的运行，尽可能减少“系统崩溃”级别灾难的发生。同时在系统的运行过程中，对于用户的输入数据能够按照要求返回正确的优化结果。

(2) 便捷性需求：由于该系统面向社区团购业工作人员，其界面应该简洁明了，操作方便，能够清晰的展示仿真结果。

(3) 扩展性需求：若日后需要添加一些其他的社区团购相关的业务功能，该系统也要能够满足功能扩展的需求。

5.2 系统总体架构设计

本文前述章节涉及两种不同的社区团购农产品配送业务任务，分别是社区团购点选择任务和农产品路径规划任务。对于这两种任务，不同的分配算法具有各自适用的条件。本文设计的系统旨在集成一些高效的社区团购点选择与农产品配送路径规划算法，并为社区团购业务工作人员提供一个直观的图形化操作界面。通过这样的设计，该系统能够在实际社区团购业务系统管理中发挥出更为优越的作用。图 5-4 展示了该系统的总体架构。

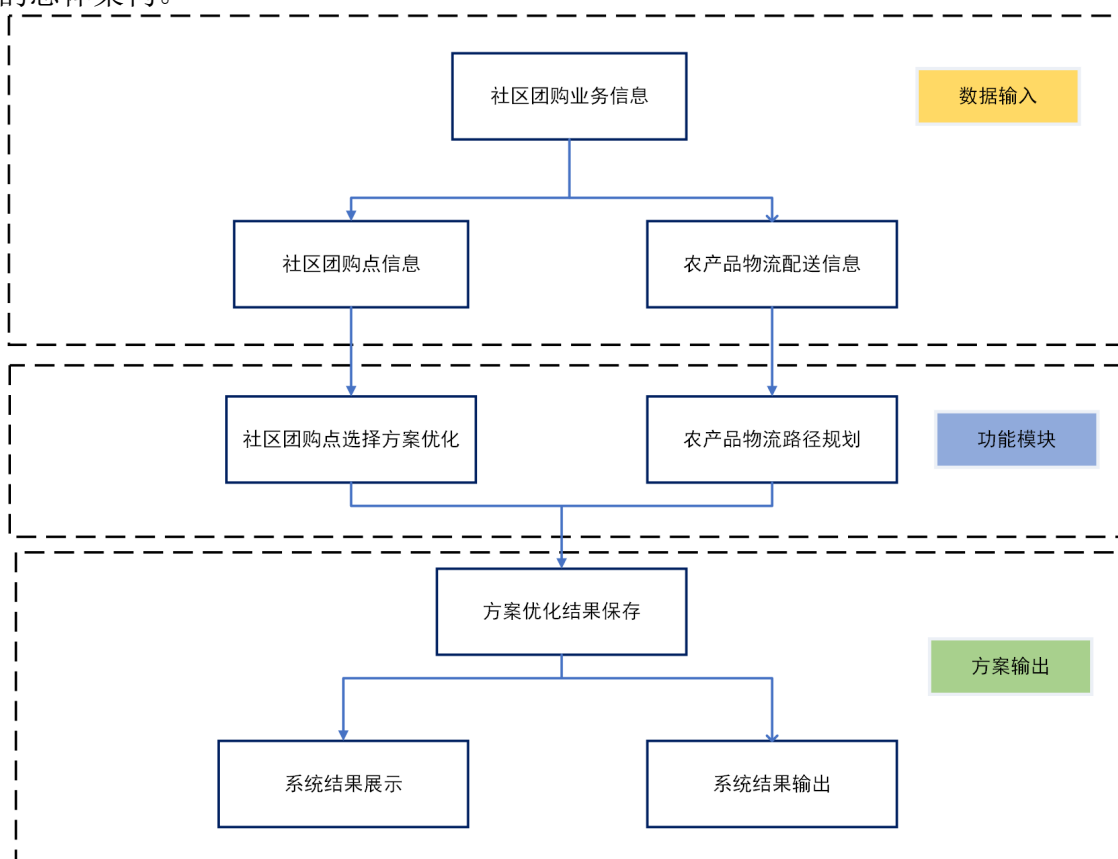


图 5-4 系统层次图

Fig. 5-4 System hierarchy diagram

据图 5-4 的系统架构，该系统具有自由读取相关输入参数的能力，并能够通过多种算法进行社区团购业务的优化。在算法执行完成后，用户可以轻松获取所指定社区团购业务的仿真结果，并一键保存这些结果，以供社区团购业务工作人员参考和进行进一步规划。

系统的输入模块涵盖 S 市社区团购相关信息输入。社区团购点选择模块输入信息主要包括社区团购点数量、分布位置、商品需求等属性。农产品配送路径的相关参数输入同样包括社区团购点选择方案、配送中心位置、距离数组、需求数组和配送车辆的相关属性。

系统的功能模块主要包括社区团购点选择模块和农产品配送路径规划模块。这两个模块之间存在递进关系，因为在社区团购业务中，农产品配送路径规划任务需要社区团购点选择模块选择出社区团购点的选择方案指导。

系统的输出模块负责将经过算法优化后的优化结果保存为.mat 数据文件。通过这些保存的结果数据文件，社区团购业务工作人员可以通过终端控制相关的配送中心下发农产品社区团购配送任务，完成相应的配送业务。

在满足课题需求的背景下，我们最终选择 MATLAB 作为系统的开发语言。MATLAB 的 App Designer 平台提供了友好的开发界面，用户可以轻松拖动其中的组件，并编写回调函数，实现所需的功能。系统的开发主要包括以下两个主要步骤：

步骤 1：图形用户界面（Graphical User Interface, GUI）设计。这一阶段通过在 MATLAB App Designer 平台中拖动组件来完成系统的图形化界面布局。

步骤 2：功能模块代码的具体实现。在完成系统 GUI 界面布局设计后，需要编写各个控件相应回调函数的代码，从而实现相应的功能。

介绍了基于 MATLAB App Designer 的通用系统开发过程后，本文提出的系统的具体开发流程如图 5-5 所示。此外，我们采用了 MATLAB R2021a 版本所携带的 MATLAB App Designer 平台进行实际的系统开发。接下来将详细介绍系统各个模块的设计过程。

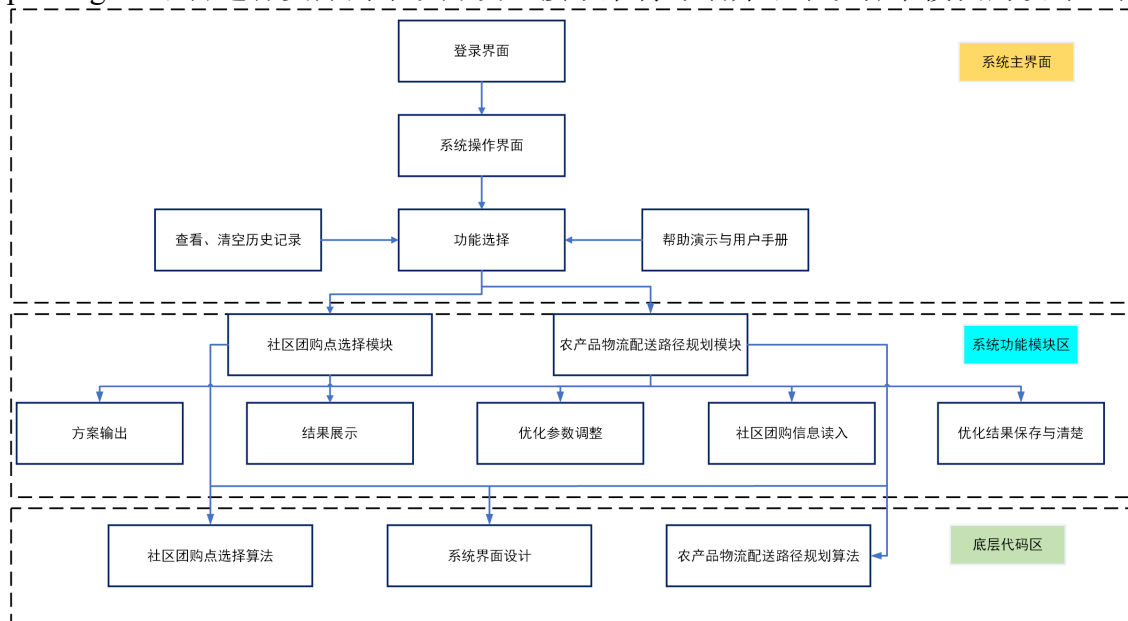


图 5-5 系统开发流程图

Fig. 5-5 System Development Process Diagram

5.3 模块设计与实现

在系统的具体开发过程中，用户需要通过系统登录界面输入正确的账号和密码后才能进入系统菜单界面。该登录界面的布局如图 5-6 和图 5-7 所示。



图 5-6 系统登录界面

Fig. 5-6 System Login Interface

登录界面的存在有两个主要目的。首先，它旨在让合法的用户能够进入系统，从而实现相关的系统需求。其次，通过设置登录界面，有助于提升系统的可扩展性和可维护性。若不在系统中进行登录界面和菜单界面的区分，随后若想要添加新功能可能需要重新调整页面布局，这是既不方便开发者也不便于用户的。

一旦用户成功输入账号和密码，将进入“系统菜单”界面，如图 5-8 所示。系统菜单的存在旨在为合法用户提供访问系统相关功能模块的媒介。接下来，将逐一介绍该界面上主要控件的具体设计与实现。



图 5-7 系统菜单界面

Fig. 5-7 System Menu Interface



图 5-8 系统菜单界面详细展示

Fig. 5-8 Detailed Display of System Menu Interface

在菜单界面中，“模块列表”用于选择两种提供的任务模块，即“社区团购点选择推荐方案”模块和“农产品路径规划”模块。该控件通过 App Designer 组件库中的“下拉框”组件实现，这种选择方式的设计有助于后续系统功能的扩展。例如，若需要在已有的两个核心功能模块上添加新的系统模块，只需在下拉框中增加一个条目，而不占用有限的菜单界面空间，无需改变已固定好的界面布局。菜单界面中的“进入模块”按钮允许用户在选择“模块列表”下拉框中的模块后进入相应的任务模块界面。

此外，整个“菜单界面”右下角有三个按钮，旨在实现一些与系统相关的辅助功能。首先，“清空环境”按钮允许用户在进行新的社区团购业务操作前，在没有干扰因素的系统环境下运行，实现清除变量和关闭图片的目的。其次，“历史结果”按钮让用户查看已保存的任务结果文件，通过调用系统的另一个模块实现。这些设计旨在提高系统的可扩展性和可维护性，避免在后期功能扩展时重新调整页面布局。这个功能的实现主要是通过对如图 5-9 和如图 5-10 所示的另外一个模块的调用。



图 5-9 社区团购点选择方案历史结果界面

Fig. 5-9 Community Group Buying Site Selection Historical Results Interface

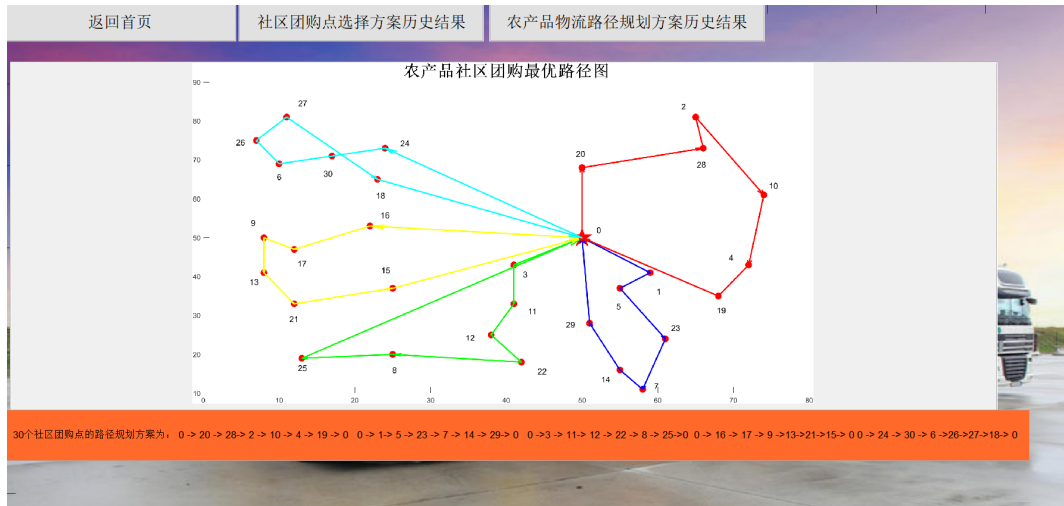


图 5-10 农产品物流路径规划方案历史结果界面

Fig. 5-10 Historical Results Interface of Agricultural Product Logistics Path Planning Scheme

界面中的“用户手册”按钮旨在向用户提供详细的系统使用说明信息，包括系统的主要功能、使用的相关算法等关键信息。通过调用一个模块，系统能够提供具体的使用手册，以使用户更好地了解系统并正确使用其功能。这一设计有助于提高系统的用户友好性和易用性。其次是在系统登录界面之后的系统两大模块部分，具体的操作结果如图 5-11 和 5-12 所示。

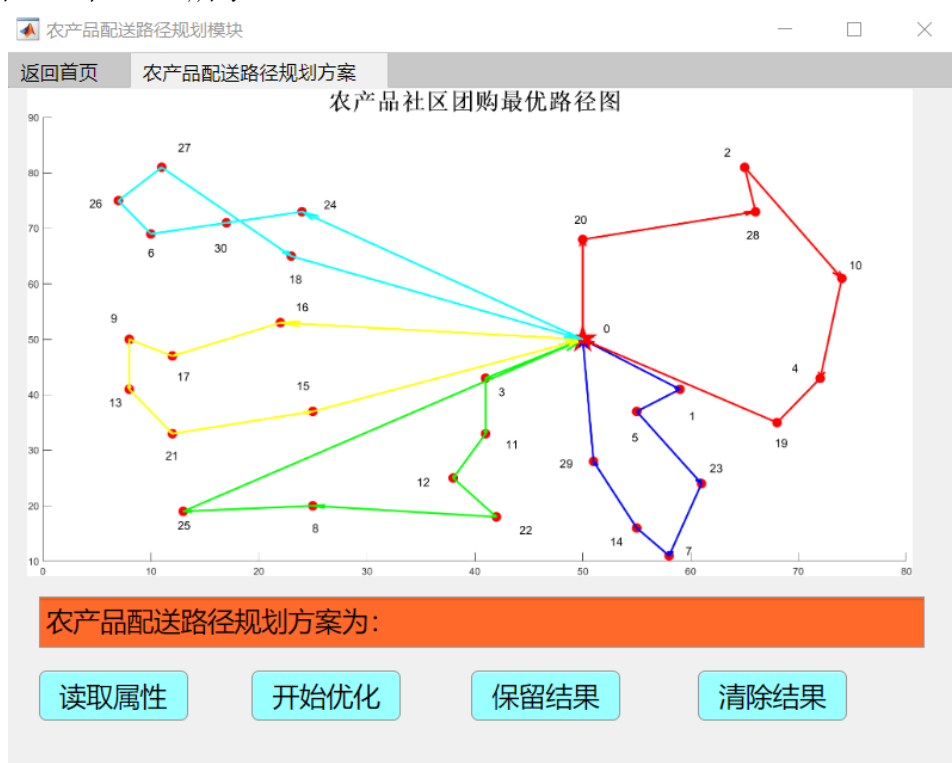


图 5-11 系统路径规划模块界面

Fig. 5-11 System Path Planning Module Interface

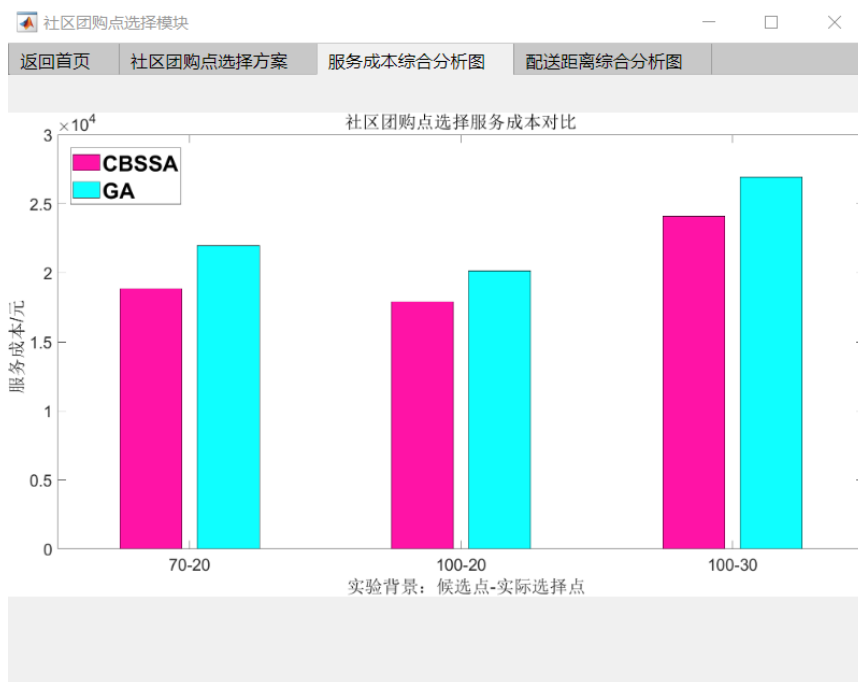


图 5-12 系统结果展示界面

Fig. 5-12 System Result Display Interface

如图 5-13 所示为系统手册展示界面，“用户手册”界面的主要目的是为用户提供系统的相关使用说明和背景介绍，以帮助用户更好地理解系统的功能、操作方法和背景信息，从而更有效地利用系统进行相关任务和管理。用户通过点击用户手册按钮，调用 5-14 所示的模块，可以获取系统相关的帮助信息。该部分的界面模块核心部分是基于 App Designer 组件库中的“树”组件实现的，其中主要的部分包括了系统说明、模块选择与功能分析这三大模块。



图 5-13 系统手册展示界面

Fig. 5-13 System Manual Display Interface



图 5-14 系统手册中系统介绍展示界面

Fig. 5-14 System Introduction Display Interface

根据图 5-11 和 5-12 所示，历史结果展示界面的模块主要分为两部分。第一部分是第三章中阐述的“社区团购点选择方案历史结果界面”，第二部分是第四章中介绍的“农产品物流路径规划方案历史结果界面”。每个实验历史结果部分都详细展示了当前的实验场景以及相关的结果信息。例如，在图 5-11 中描述了在 100 个候选节点中选择 30 个社区团购点的方案，并呈现了实验结果的详细情况。同样，在图 5-12 中描述了在 30 个社区团购点的情况下，关于农产品配送路径规划方案的结果展示及最终路径规划方案信息。

同时，为了让用户能够了解算法参数的设置含义，系统还在当前的参数调整界面存在有参数设置的“说明手册”。在用户点击了“说明手册”按钮之后，用户可以通过点击“说明手册”中各项参数说明列表，查看不同参数的设置含义以及需要参考的说明。如图 5-16 所示，当前的例子为查看参数说明下拉列表中关于“种群大小”含义的说明情况。



图 5-15 参数设置界面

Fig. 5-15 Parameter Setting Interface

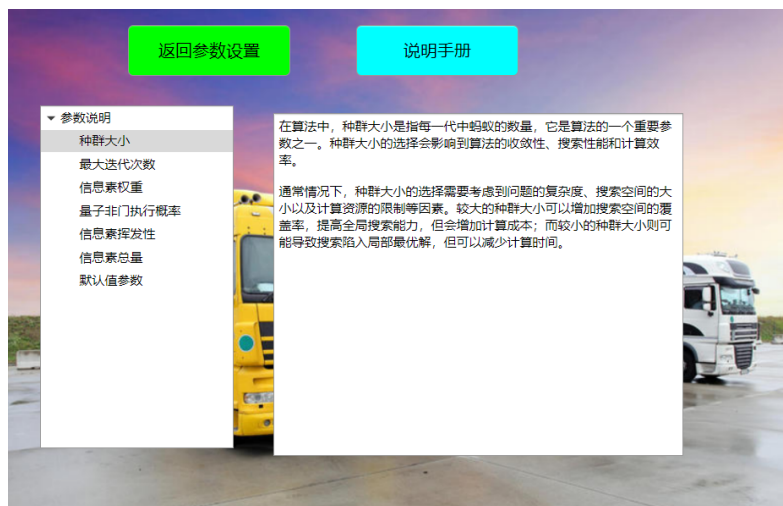


图 5-16 参数设置说明手册界面

Fig. 5-16 Parameter Setting Instruction Manual Interface

“参数调整”面板是为具有一定专业水平的用户提供进一步优化分簇路由算法的控制界面。该面板的布局如图 5-15 所示，其中由“社区团购点选择参数调整”和“农产品物流配送路径算法参数调整”两个模块所组成。如图 5-15 为例，对于“农产品物流配送路径算法参数调整”模块，存在“种群大小”、“最大迭代次数”、“信息素权重”、“量子非门执行概率”、“信息素挥发性”、“信息素总量”六个可以调整的参数值。同时为了确保用户想要保持现有的参数值可以通过“保存设置”按钮来保存当前的参数设置，也可以通过“重置为默认值”让用户选择默认的参数设置。

5.4 系统测试和结果展示

为了验证所设计的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统的有效性，接下来将展示该系统进行详细的功能和实验结果。该测试是为了保证系统处于一个正常的、可用的状态。该系统的测试环境基于一台个人 PC 机，配置是 Intel I713700 处理器，16 GB 内存，Windows 10 专业版操作系统。

首先，为保证系统的可用性和可靠性，主要针对系统的以下功能模块进行测试，测试内容与测试状态如表 5-1 到表 5-3 所示。

表 5-1 用户管理模块测试结果

Tab. 5-1 Test Results of the User Management Module

测试功能	测试内容	测试标准	测试状态
登录	输入正确的用户名和密码	系统登录成功	通过
	输入错误的用户名和密码	系统登录失败	通过
用户管理	添加用户信息	数据库用户信息表相应新的用户信息	通过
	删除用户信息	数据库用户信息表中相应用户信息被删除	通过
	修改用户信息	数据库用户信息表中相应用户信息被修改	通过
访问日志	进行登录、添加检测任务、添加黑白名单等操作	用户访问和执行系统执行的操作出现在日志文件中	通过

表 5-2 社区团购点选择模块测试结果

Tab. 5-2 Test Results of the Community Purchase Point Selection Module

插件信息表	测试内容	测试标准	测试状态
	读取属性	社区团购点信息被正确读取	通过
社区团购点选择模块	开始优化	社区团购点优化算法被正常使用没有中断报错	通过
	保留结果	选择方案正常展示并被保存到默认文件夹中	通过
	清除结果	选择方案在界面中被正常清除	通过

表 5-3 农产品配送路径规划模块测试结果

Tab. 5-3 Test Results of the Agricultural Product Delivery Route Planning Module

插件信息表	测试内容	测试标准	测试状态
	读取属性	社区团购点信息被正确读取	通过
农产品配送路径规划模块	开始优化	农产品配送路径规划算法被正常使用没有中断报错	通过
	保留结果	选择方案正常展示并被保存到默认文件夹中	通过
	清除结果	选择方案在界面中被正常清除	通过

然后，用户通过号输入本系统预设的系统账户“20231257751”，系统默认密码“admin”后，即可进入到如图 5-17 的系统测试登录界面。在当前界面可以看到“忘记密码”账户安全管理模块和“帮助手册”用户登录相关的帮助界面。



图 5-17 系统登录测试界面

Fig. 5-17 System Login Test Interface

在工作人员登录系统后，系统将会自动进入系统的模块化选择界面。在当前界面，工作人员可以根据自己工作任务的需要选择相应的系统功能。从图 5-18 可以看到，工作人员可以选择“社区团购点选择模块”、“农产品额配送路径规划模块”、“算法参数调整”、查看对应的“操作手册”和“历史记录”等。

通过选择“农产品配送路径规划模块”，系统进入到了如图 5-20 所示的社区团购点选择界面。通过读取属性按钮，用户可以读取社区团购点选择阶段所保留的社区团购点优化方案或者读取自己所选择的社区团购点优化方案，为本系统提供相应数据。在点击“开始优化”按钮后，系统将会自动根据本文所提出的 QACO 算法进行社区团购点选择优化并输出优化结果图与相应的农产品配送规划方案。

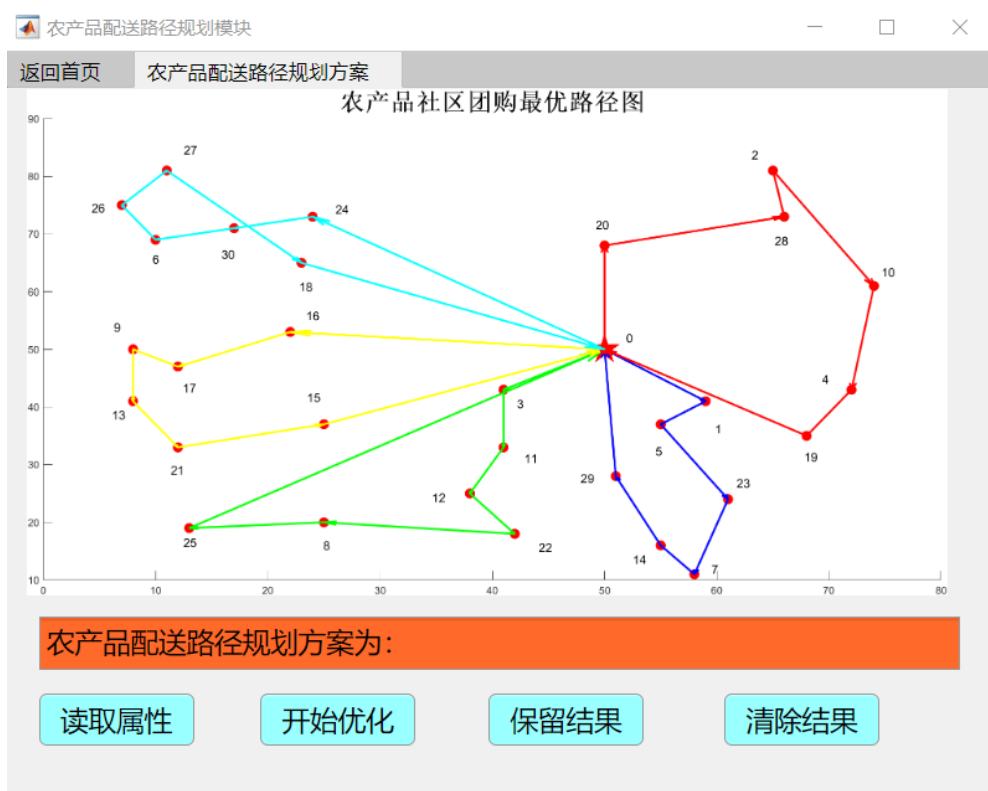


图 5-20 社区团购点选择功能界面

Fig. 5-20 Community group buying point selection function interface

其中，图 5-20 所示的例子为 100 个候选社区团购点选择 30 个团购点实验场景下的农产品配送路径规划方案。工作人员可以选择保留当前结果，或者清除当前的优化结果。

最后，为了展示所设计的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统的优越性，并为工作人员提供其他的工作思路。本文同时还设计了实验结果的对比功能，将本文所提出的算法与其他算法进行比较。通过图 5-18 中的“历史记录”模块，工作人员可以进入选择农产品社区团购业的两个阶段不同实验指标的综合分析。这可以有效地表示出本系统所提出算法的优越性和结果的准确性。

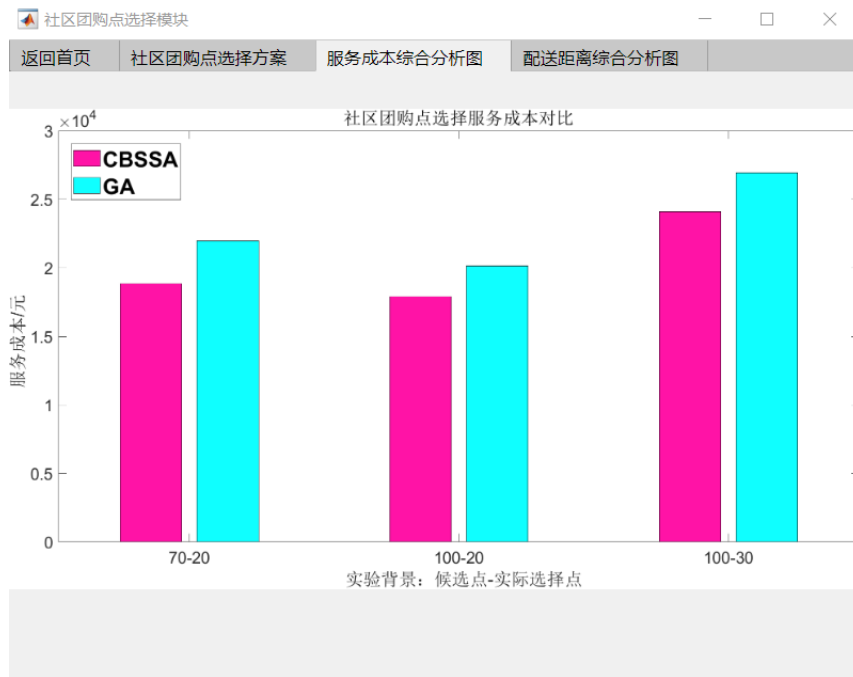


图 5-21 服务成本综合分析界面

Fig. 5-21 Service cost comprehensive analysis interface

如图 5-21 和图 5-22 所示为针对社区团购点选择阶段中，关于农产品社区团购业务所关心的服务成本和配送距离的比较。根据这个模块，农产品社区团购业的工作人员可以清晰地看到本文所提出的 CBSSA 算法与传统 GA 算法在减少服务成本，缩短配送距离上所取得的效果。

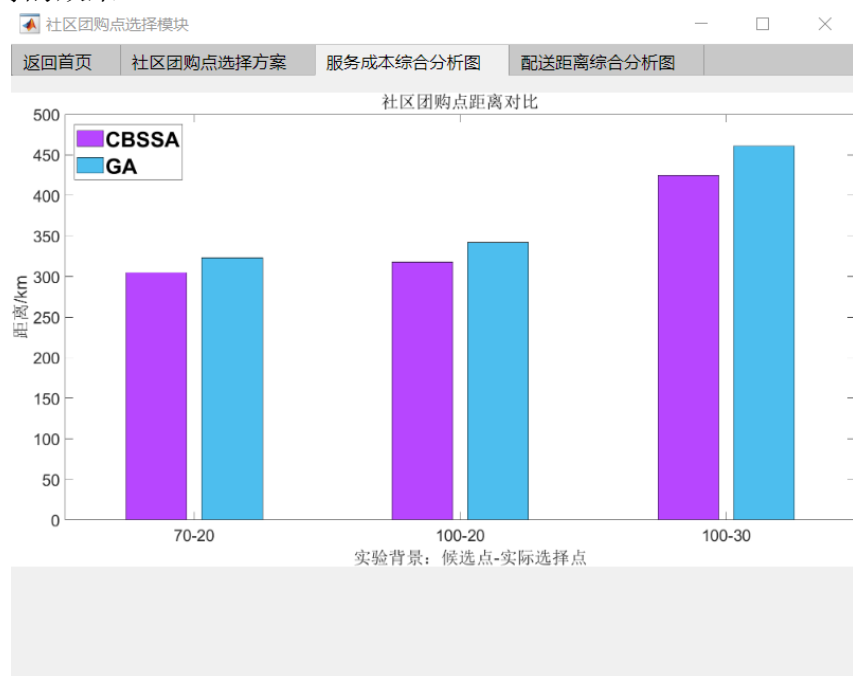


图 5-22 配送距离综合分析界面

Fig. 5-22 Comprehensive analysis interface for delivery distance

如图 5-21、图 5-22 和图 5-23 所示为针对农产品配送路径规划阶段中，关于农产品社区团购业务所关心的运输成本、运输时间和经济利润的比较。根据这个模块，农产品社区团购业的工作人员可以清晰地看到本文所提出的 QACO 算法与传统 ACO 算法和当前最新的 MACO、VNS-ACO 在减少运输成本和运输时间，提高经济利润上所取得的效果。

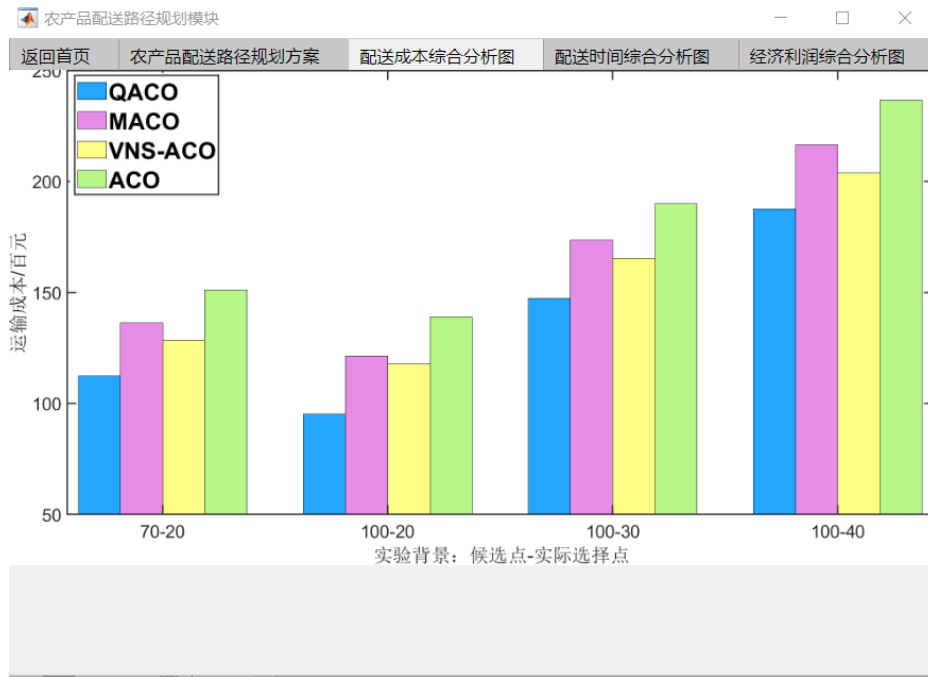


图 5-23 配送成本综合分析界面

Fig. 5-23 Integrated Analysis Interface for Delivery Costs

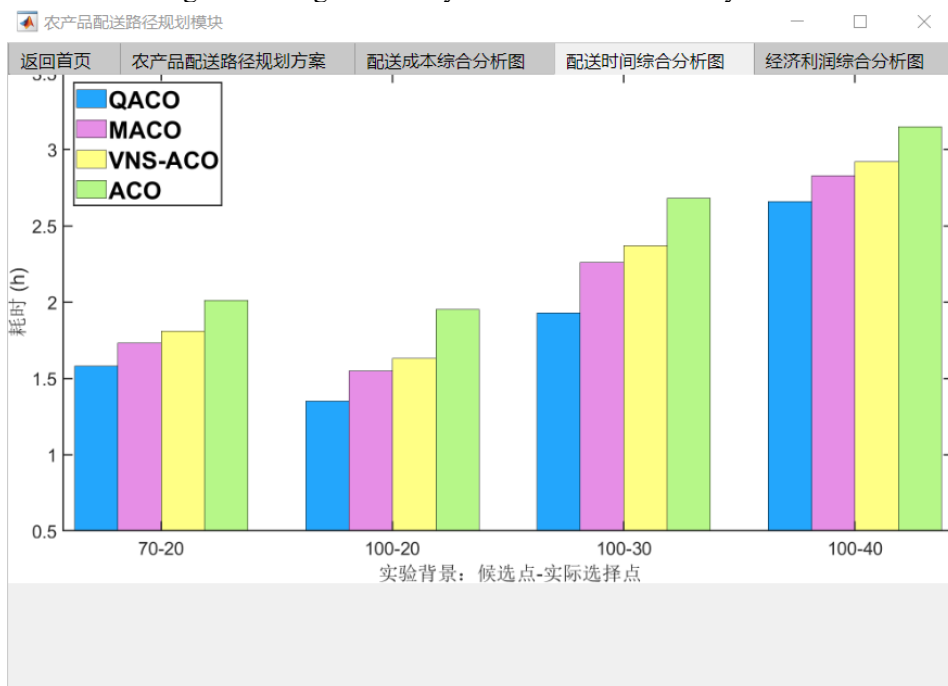


图 5-24 配送时间综合分析界面

Fig. 5-24 Integrated Analysis Interface for Delivery Time

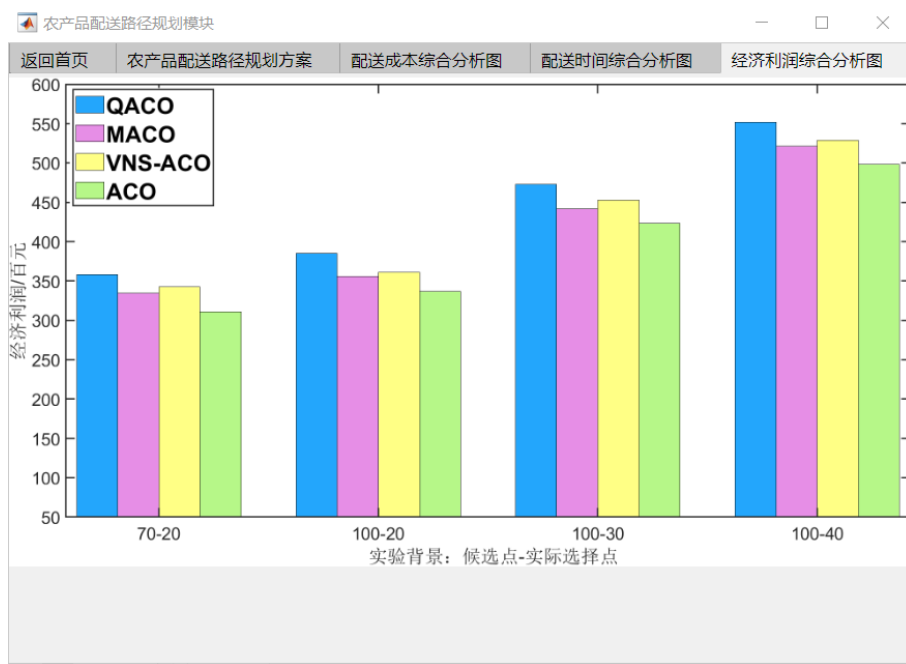


图 5-25 配送距离综合分析界面

Fig. 5-25 Comprehensive analysis interface for delivery distance

综上，该系统所有预期设计的功能均能正常体现本文所提出的算法性能指标，完成相应的农产品社区团购配送业务的相关要求，并在分配完成后向用户展示相应的优化方案与对比实验结果。

5.5 本章小结

本章的核心任务是对提出的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统进行设计、实现和测试。首先，通过需求分析，详细介绍了社区农产品团购点优化及配送路径规划系统设计的合理性和必要性，以及系统应该具备的各项功能。随后，对系统的总体架构进行了设计，并选择采用 MATLAB App Designer 平台进行图形化界面的开发。最后，通过具体实现和功能测试，验证了系统的各项预期功能能够正常运行。

第6章 结论与展望

6.1 结论

本文在总结了国内外关于社区团购点选择与农产品物流路径规划任务相关研究进展的基础上,综合了社区团购点选择方法、农产品点物流路径规划技术、群智能优化技术和 MATLAB App Designer 平台,开发了一个面向 S 市社区农产品配送业的仿真系统。具体来说,本文取得的研究成果和结论如下。

(1) 针对农产品配送业的两种典型任务,本文建立了相应的数学模型并确定了优化目标函数。对于社区团购点选择模型,目标函数综合考虑了团购点距离、商品需求量、团购点运营成本等因素,以寻找到最优社区团购点选择方案为目标。对于农产品配送路径规划模型,考虑了配送耗时、配送成本、经济利润等因素。两个模型可以很好地为农产品配送业的实际应用提供科学依据和决策支持。

(2) 为了优化系统模型,本文设计了两种基于改进群智能优化算法的方法。对社区团购点选择模型,提出了基于改进麻雀搜索算法,通过 Boltzmann Selection 策略和混沌算子的改进,增强了算法对最优选择方案的搜索能力,可以获得距离配送中心距离更短、服务成本更低的社区团购点选择方案。对农产品配送路径规划模型,提出了基于改进蚁群算法,通过量子算子的引入,可以获得配送成本更低、配送时间更短、经济利润更高的农产品物流路径配送方案。

(3) 基于提出的数学模型和算法,成功搭建了社区农产品团购点优化及配送路径规划系统。该系统采用 MATLAB App Designer 平台,包括系统登录、菜单选择、社区团购点选择和农产品路径规划等四大模块。此外,系统提供了运行环境清理、历史结果查看、用户手册等辅助功能,并支持用户保存合适的结果以供后续操作。

总体而言,本文深入研究了社区农产品团购业中团购点选择与路径规划问题,成功设计了一款仿真系统,为社区农产品团购业工作人员提供了便捷的使用软件。

6.2 展望

本研究以 S 市行业分析和群智能优化技术等为基础,对社区团购点选择与农产品物流配送优化问题进行了探讨。然而,由于研究时间有限,存在一些方面需要进一步改进,具体包括但不限于:

(1) 当前物流运输过程中碳排放日益受到社会与行业的关注,这是因为碳排放对

环境和气候变化产生了重要影响。然而，本文所提出的社区农产品团购点优化及配送路径规划并没有考虑到社区团购运营和车辆运输过程中的碳排放情况。未来的研究方向可能包括将碳排放纳入优化模型中，以实现更环保的配送方案。此外，还可以探索不同运输模式和车辆类型的碳排放率，以及设计具有最小碳足迹的最佳路线和配送方案。

(2) 系统 UI 界面的设计方面。在设计该社区农产品团购点优化及配送路径规划系统的过程中，本文首要考虑的是核心目标的实现，即通过群智能优化算法计算得到合适的方案，而在 UI 设计方面存在一些不完善的地方。因此，本文将会进一步地优化该系统的 UI 界面。

(3) 系统的硬件测试方面。尽管本文对所设计的社区农产品团购点优化及配送路径规划系统进行了大量的系统测试，包括系统功能测试和实验结果有效性测试，但这些测试都处于软件层面。由将来随着实验设备的完善，将对所得到的实验结果进行硬件测试部分的补充。

参考文献

- [1] 林殿盛. 生鲜农产品低碳冷链物流网络优化研究[D]. 华南理工大学, 2021.
- [2] 尹超. 城乡商贸物流服务网络资源优化研究[D]. 北京交通大学, 2019.
- [3] 甘含露, 谭文勇. 新零售视角下社区商业服务设施转型思考[C]//人民城市, 规划赋能——2023 中国城市规划年会论文集(19 住房与社区规划). 中国城市规划学会, 2023: 7[2024-03-11].
- [4] 赵萌. “平台—模块”主导的村镇物流生态系统演化研究[D]. 北京交通大学, 2020.
- [5] 王雪雪, 芮飒英, 张淑芳, 等. 社区团购现状及运营模式探讨——以橙心优选为例[C]//劳动保障研究会议论文集(十一). 四川劳动保障杂志出版有限公司, 2021:
- [6] 盛虎宜. 生鲜电商物流配送的车辆路径问题研究[D]. 电子科技大学, 2019.
- [7] 彭建华, 高贵兵. 社区团购易耗农产品库存决策及协调策略[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2023, 38: 51-58. DOI:10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.04.007.
- [8] 刘秀. 低碳视角下城市农产品冷链配送路径优化研究[D]. 大连海事大学, 2018.
- [9] 朱春阳, 毛天婵. 平台逻辑如何嵌入基层? ——社区团购与基层治理的再组织化[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2023(6): 71-81. DOI:10.19836/j.cnki.37-1100/c.2023.06.007.
- [10] 税文兵, 周东民, 郭绍梅. 考虑产品质量和双边服务水平的线上线下竞合供应链协调[J]. 山东大学学报(理学版): 1-10.
- [11] 兰宇琳. 面向城市物流配送的多目标路径优化问题研究[D]. 华南理工大学, 2021.
- [12] 陈传昊. J 公司社区团购冷链物流配送路径优化研究[D]. 济南大学, 2022.
- [13] 朱雪霏. 社区团购模式下生鲜农产品配送研究[D]. 江南大学, 2021.
- [14] 尹瑶玲. 消费者社区团购使用意愿的影响因素研究[D]. 吉林大学, 2020.
- [15] 范闯. 消费者参与农产品社区团购的意愿及行为研究[D]. 吉林大学, 2022.
- [16] 于鹏. 社区团购特征对消费者团购意愿影响研究[D]. 山东大学, 2022.
- [17] 李世杰, 何元. 电商平台跨界社区团购提升竞争力了吗? [J]. 南开管理评论: 1-28.
- [18] 魏宗财, 陈旭华, 刘雨飞, 等. 城市社区团购自提点空间分布格局及其影响因素——以广州市为例[J]. 经济地理, 2023, 43: 109-118. DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2023.07.011.
- [19] 戚淳浩, 朱琳. 考虑满意度的团购两级混合冷链低碳路径优化[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60: 337-347.
- [20] 柳西波, 张静. 分享经济背景下泸州合江荔枝商业模式建构路径[J]. 食品研究与开发, 2023, 44: 227-228.
- [21] 李瑾, 刘云鹏, 邱虹. 基于外卖数据的社区团购选品系统研究与应用[J]. 计算机应用与软件, 2022, 39: 43-48+118.

- [22] 林庆洪, 周筱祺. 居家综合服务背景下社区商业的业态组合分析[J]. 商业经济研究, 2022: 36-38.
- [23] 张秦. 社区团购视野下廊坊市胜芳蟹流通体系建设[J]. 食品研究与开发, 2023, 44: 225-226.
- [24] 周冲冲, 俞滨. 社区团购外部变量对消费者参与团购意愿影响的实证分析[J]. 商业经济研究, 2023: 96-99.
- [25] 陆森. 社区新零售模式下供应链重构机制分析[J]. 商业经济研究, 2023: 11-14.
- [26] 杜红旭. 考虑多车型选择的社区团购末端配送路径规划研究[D]. 燕山大学, 2023.
- [27] 吕林琴. 考虑用户行为选择的社区团购网格仓选址和路径优化研究[D]. 大连海事大学, 2022.
- [28] DEJA A, DZHUGURYAN T, DZHUGURYAN L, et al. Smart Sustainable City Manufacturing and Logistics: A Framework for City Logistics Node 4.0 Operations[J]. ENERGIES, 2021, 14(24). DOI:10.3390/en14248380.
- [29] SHAHMANZARI M, AKSEN D, SALHI S. Formulation and a two-phase matheuristic for the roaming salesman problem: Application to election logistics[J]. EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, 2020, 280(2): 656-670. DOI:10.1016/j.ejor.2019.07.035.
- [30] CAKMAK E, ONDEN I, ACAR A Z, et al. Analyzing the location of city logistics centers in Istanbul by integrating Geographic Information Systems with Binary Particle Swarm Optimization algorithm[J]. CASE STUDIES ON TRANSPORT POLICY, 2021, 9(1): 59-67. DOI:10.1016/j.cstp.2020.07.004.
- [31] OZMEN M, AYDOGAN E K. Robust multi-criteria decision making methodology for real life logistics center location problem[J]. ARTIFICIAL INTELLIGENCE REVIEW, 2020, 53(1): 725-751. DOI:10.1007/s10462-019-09763-y.
- [32] UYANIK C, TUZKAYA G, KALENDER Z T, et al. AN INTEGRATED DEMATEL-IF-TOPSIS METHODOLOGY FOR LOGISTICS CENTERS' LOCATION SELECTION PROBLEM: AN APPLICATION FOR ISTANBUL METROPOLITAN AREA[J]. TRANSPORT, 2020, 35(6): 548-556. DOI:10.3846/transport.2020.12210.
- [33] 刘光才, 马寅松. 城市物流无人机配送中心选址及任务分配研究[J]. 飞行力学, 2023, 41: 88-94. DOI:10.13645/j.cnki.f.d.20230403.009.
- [34] 杨小琴, 朱玉全. 改进麻雀搜索算法求解物流配送中心选址问题[J]. 计算机工程与设计, 2023, 44: 1441-1450. DOI:10.16208/j.issn1000-7024.2023.05.022.
- [35] 武蓉, 贺国先. 建筑供应链物资物流配送中心动态选址仿真研究[J]. 建筑经济, 2023, 44: 583-587. DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.2023S2583.
- [36] 李静, 陶娟. 求解农业物流配送中心选址的自学习蝗虫算法[J]. 计算机工程与设计, 2023, 44: 1749-1757. DOI:10.16208/j.issn1000-7024.2023.06.022.
- [37] 吕星皓, 张子昂, 尹传忠, 等. 区域应急物流二级配送中心选址研究[J]. 铁道运输与经济

- 济, 2023, 45: 55-61. DOI:10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2023.08.09.
- [38] 董娜, 赵良, 沈严航. 基于轴辐式结构的农村物流多层次配送节点选址研究[J]. 公路交通科技, 2023, 40: 218-224.
- [39] 聂闻聪, 楚龙娟, 向楠, 等. 城市轨道物流配送模式研究及节点选址优化[J]. 地下空间与工程学报, 2023, 19: 17-25.
- [40] 韦修喜, 魏超, 黄华娟. 求解物流配送中心选址问题的改进鸽群算法[J]. 燕山大学学报, 2023, 47: 175-188.
- [41] 薛海波. 人工蜂群算法在物流配送路径选择问题中的应用研究[D]. 重庆大学, 2016.
- [42] SABO C, POP P C, HORVAT-MARC A. On the Selective Vehicle Routing Problem[J]. MATHEMATICS, 2020, 8(5). DOI:10.3390/math8050771.
- [43] AGARDIA A, KOVACS L, BANYAI T. Ontology Support for Vehicle Routing Problem[J]. APPLIED SCIENCES-BASEL, 2022, 12(23). DOI:10.3390/app122312299.
- [44] NOSRATI M, KHAMSEH A A. Bi objective hybrid vehicle routing problem with alternative paths and reliability[J]. DECISION SCIENCE LETTERS, 2020, 9(2): 145-162. DOI:10.5267/j.dsl.2020.1.002.
- [45] BRUNNER C, GIESEN R, KLAPP M A, et al. Vehicle routing problem with steep roads[J]. TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE, 2021, 151: 1-17. DOI:10.1016/j.tra.2021.06.002.
- [46] 周佳其. 应急救援物资两级配送路径选择研究[D]. 西安工业大学, 2019.
- [47] 李雪萌. 武汉生鲜农产品社区团购背景下团长特征对居民团购参与行为影响因素研究[D]. 华中农业大学, 2023.
- [48] 曹艳丽. 社区团购背景下考虑产地直供的生鲜物流网络优化研究[D]. 北京交通大学, 2021.
- [49] 王艳. 社区团购生鲜配送问题研究[D]. 华南理工大学, 2021.
- [50] 王小康, 冀杰, 刘洋, 等. 基于改进 Q 学习算法的无人物流配送车路径规划[J]. 系统仿真学报: 1-12. DOI:10.16182/j.issn1004731x.joss.23-0051.
- [51] 钟海威. “社区团购”模式下生鲜物流配送选址—路径优化研究[D]. 暨南大学, 2022.
- [52] 唐传茵, 章明理, 李静红, 等. 基于改进蚁群算法的外卖配送路径规划研究[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版): 1-14. DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.20230311001.
- [53] 付芳, 刘静华. 基于免疫计算的多车物流配送自适应规划仿真[J]. 计算机仿真, 2023, 40: 141-145.
- [54] 任新惠, 王佳雪, 王梦琦. 考虑动态能耗的无人机配送选址路径规划研究[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59: 273-280.
- [55] 赵子威. 社区生鲜超市门店选址与配送路径优化研究[D]. 大连海事大学, 2021.
- [56] 张国勛. 社区团购配送中心选址-车辆路径问题研究[D]. 重庆交通大学, 2022.
- [57] 李珂珂. 社区团购模式下 S 公司生鲜农产品配送中心选址及配送路径优化研究[D].

- 中北大学, 2023.
- [58] 吴腊梅. 长沙市洪灾应急物流配送路径研究[D]. 长沙理工大学, 2018.
- [59] 刘长石, 陈慧璇, 吴张. 城市物流配送的混合车辆路径规划模型与优化算法[J]. 控制与决策, 2023, 38: 759-768. DOI:10.13195/j.kzyjc.2021.1450.
- [60] 李春发, 米新新, 崔鑫. 基于双曲正切函数改进蚁群算法的冷链物流配送路径优化[J]. 公路交通科技, 2023, 40: 236-244+258.
- [61] 何宇翔. 基于蚁群算法的物流配送路径优化方法研究[J]. 电子设计工程, 2023, 31: 49-53. DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2023.20.011.
- [62] 张荣, 庞梦荻, 刘斌. 生鲜农产品车辆和无人机组组合配送路径优化及效果测试[J]. 河南农业大学学报, 2024, 58: 96-105. DOI:10.16445/j.cnki.1000-2340.20231127.001.
- [63] 张凯月, 温海骏, 陈跃鹏, 等. 新冠疫情期间应急物资车辆路径优化方法[J]. 科学技术与工程, 2023, 23: 2518-2525.
- [64] 苏丽. 生鲜农产品社区团购模式下的配送优化研究[D]. 西北农林科技大学, 2023.
- [65] 林玲. H公司灵管家社区团购营销策略优化研究[D]. 华东师范大学, 2023.
- [66] 李华萍. 考虑消费者感知价值的生鲜社区团购模式决策研究[D]. 湖南大学, 2022.
- [67] 冉晓茜. 考虑规模不经济的N社区团购公司网格仓布局优化[D]. 北京交通大学, 2022.
- [68] 冯之洋. 社区生鲜团购的感知价值对消费者购买意愿的影响机制研究[D]. 华中农业大学, 2022.
- [69] 刘忠旭. CX社区团购平台营销策略改进研究[D]. 吉林大学, 2022.
- [70] 张静瑜. 基于社区团购的消费者获得感研究[D]. 兰州大学, 2022.
- [71] 陶媛. H公司社区团购平台4R营销策略的研究[D]. 桂林电子科技大学, 2021.
- [72] 解孟珂. M公司社区生鲜团购运营模式优化研究[D]. 郑州大学, 2022.
- [73] 于飞. 美团社区团购消费者购买决策的影响因素研究[D]. 西安科技大学, 2022.
- [74] 刘梦媛. 社区团购模式订单分批拣选与配送优化研究[D]. 长安大学, 2023.
- [75] 陈治亚, 周于轶. 基于POI的物流业空间集聚特征分析——以浙江省为例[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(10): 2862-2872. DOI:10.19713/j.cnki.43-1423/u.t20211215.
- [76] 王苏林, 邱菲尔, 陈凡, 等. 基于贪心遗传的地下物流节点选择规划研究[J]. 工业工程, 2020, 23(5): 88-95.
- [77] 王紫萌, 周建勤. 线状需求下两阶段设施选址问题[J]. 上海海事大学学报, 2020, 41(3): 60-65. DOI:10.13340/j.jsmu.2020.03.011.
- [78] 李晶, 贺思雨, 林进. 基于两阶段博弈理论的物流节点城市合作机制[J]. 大连海事大学学报, 2020, 46(1): 66-74. DOI:10.16411/j.cnki.issn1006-7736.2020.01.008.
- [79] 周建军, 李林, 陈飞. 改进猫群算法在车辆配送路径优化中的应用研究[J]. 机械设计与制造: 1-8. DOI:10.19356/j.cnki.1001-3997.20230724.016.
- [80] 浦徐进, 郭瑞, 付亚平. 考虑失效风险的农产品配送中心选址和路径优化研究[J]. 系统科学与数学, 2023, 43(7): 1862-1877.

- [81] 罗亮, 陈慧璇, 吴张, 等. 交通与天气状况双重作用下生鲜农产品冷链配送的 VRPTW[J]. 系统工程, 2022, 40(6): 67-75.
- [82] 杨正华, 石俊萍. 电子商务生鲜农产品冷链配送耗时控制算法[J]. 计算机仿真, 2021, 38(4): 447-451.
- [83] 蔡军, 钟志远. 改进蚁群算法的送餐机器人路径规划[J]. 智能系统学报: 1-12.
- [84] 陈雅含. 大型工程项目未按期完工概率的估计算法研究[D]. 湖南大学, 2022.
- [85] 肖文生, 李江昊, 于文太, 等. 基于 Markov 过程的超深水打桩锤系统可靠性研究[J]. 机电工程, 2023, 40: 844-851.
- [86] 郝井焱. 基于 MATLAB 与锁相放大器的测试系统[D]. 中国矿业大学, 2022.
- [87] 刘可心. 基于 BIM 与子集模拟的施工项目多资源均衡优化系统研究[D]. 湖南大学, 2021.
- [88] 张庚. 基于模态变异的桥梁损伤识别软件的开发及应用[D]. 大连理工大学, 2020.
- [89] JUVVALA R, SARMAH S P. Evaluation of policy options supporting electric vehicles in city logistics: a case study[J]. SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY, 2021, 74: 103209. DOI:10.1016/j.scs.2021.103209.
- [90] ISLAM M A, GAJPAL Y. Optimization of Conventional and Green Vehicles Composition under Carbon Emission Cap[J]. SUSTAINABILITY, 2021, 13(12): 6940. DOI:10.3390/su13126940.

致 谢

时光荏苒，岁月如梭，转瞬间硕士研究生生涯已至尾声。回首往昔，恍如隔世，然心中感激之情，难以言表。

首先，我要感谢我的肖婧导师。她学识渊博，治学严谨，不仅在学术上给予我悉心的指导，更在人生道路上为我点亮了前行的灯塔。每当我遇到困惑和挫折，导师总是耐心倾听，给予我鼓励和指引。您的教诲，我将铭记于心，成为我未来前行的动力。

感谢我的同窗和朋友们。我们在实验室中一同度过了这段难忘的时光，共同见证了彼此的成长和进步。在学术上的切磋琢磨，在生活中的互相关照，都让我们结下了深厚的情谊。这份情谊，是我人生中宝贵的财富，也是我未来前行的坚实后盾。无论是从广州、长沙、武汉、杭州、乌鲁木齐再到克拉玛依，希望我们都能不断地前进与成长。

在此，我怀着感激之情，向家人致以诚挚的谢意，是你们的关怀与支持，使我始终坚定前行的步伐，在人生的旅途中，与你们的相伴成为我无尽的动力与鼓舞。在我求学的道路上，他们始终是最坚实的后盾。他们的无私付出和默默支持，让我能够心无旁骛地追求学术梦想。他们的爱，如阳光般温暖，如雨露般滋润，让我在人生的道路上不断前行。

我要感谢这段美好的时光，感谢一直陪伴着我，宽容和接纳我的张明月同学。感谢她的陪伴，让我一直会记起“在那遥远的地方……”这样的一首歌。曾几何时，遥望星河，目光所及之处的星域与光芒却是难以想象的久远。宇宙粒子的空旷与悠久让时间的尺度变得悠久，那数以百亿的纪年也难以横跨的距离与时间的长河总会让人孤寂。所幸，一切的和弦共振，让每一次机会的抉择下让我们相遇在人生短短的时光中。就像两个毫不相干的粒子也因为牵引而产生了互相的羁绊。这段时光，让我收获了知识和成长。我将带着这些宝贵的财富，继续前行。

最后要感谢评委、评审的专家老师们，正是你们辛勤的工作和宝贵的意见，为我的进步提供了巨大的帮助和动力。衷心祝愿各位评委、评审专家老师们学术常青，为学术领域继续贡献智慧和力量。再次向你们表达我最诚挚的谢意！

感激之情，难以尽述。愿诸君安康喜乐，前程似锦。愿你们在未来的日子里，一切顺利，幸福安康！

作者简介

谢剑鹏，男，生于 1997 年 11 月，籍贯湖南桂阳。2020 年毕业于中南林业科技大学计算机信息与工程学院计算机科学与技术专业，获工学学士学位。2021 年 9 月起在石河子大学电子信息专业学习。

在学期间主要参与的研究项目

参与1项科技部科技创新重大项目、1项八师石河子市科技计划项目，1项兵团科技计划项目。

在学期间发表的文章

在学期间共发表学术论文6篇，其中SCI论文5篇，会议论文1篇。以共同第一作者在 EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS (中科院一区Top, IF=8.3)发表 SCI 论文1篇。以第一作者在 SIMULATION MODELLING PRACTICE AND THEORY JOURNAL (中科院二区, IF=4.2, 对应本文第三章算法的思想内容)发表SCI 论文1篇。以第一作者在 IEEE SYSTEMS JOURNAL (中科院三区, IF=4.4, 对应本文第四章算法的思想内容)发表SCI论文1篇。以共同第一作者在 Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences (中科院二区, IF=6.9)发表 SCI论文2篇。以共同第一作者在 International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE, EI检索)发表会议论文1篇。

在学期间发表的专利

以第三发明人获得授权的国家发明专利 1 项。

在学期间的获奖情况

- 1.2022 年度中国大学生自强之星
- 2.2023 年国家奖学金
- 3.2023 年石河子大学三好研究生
- 4.2023 年第十三届 MathorCup 高校数学建模挑战赛研究生组三等奖
- 5.2023 年第三届长三角高校数学建模竞赛研究生组三等奖
- 6.2022 年大数据与人工智能挑战赛西北赛区本研组二等奖

石河子大学硕士研究生学位论文

导师评阅表

研究生姓名	谢剑鹏	学制	3年
专业	电子信息	研究方向	计算机技术
<p>学术评语:</p> <p>在当今日益发展的社区团购物流配送领域，社区团购点优化以及农产品配送路径规划问题成为了研究的热点。这篇论文选题精准，抓住了行业发展的核心问题，具有重要的理论价值和现实意义。</p> <p>论文对国内外相关领域的文献进行了全面而深入的梳理，不仅准确把握了当前的研究现状，还对未来的发展趋势进行了合理预测。基于这一坚实基础，作者综合考虑了社区团购点的选择问题以及农产品配送路径规划问题，提出了新颖且高效的算法。这些算法在收敛速度、精度以及满足现实配送业务需求等方面均表现出色，为解决行业内的实际问题提供了有效的工具和方法。</p> <p>在论文的撰写过程中，作者的研究目标明确，内容重点突出，研究方案科学合理，结论可靠且具有实践指导意义。此外，论文的写作规范，逻辑清晰，语言流畅，体现了作者扎实的学术素养和严谨的科研态度。</p> <p>值得一提的是，作者还成功研制了一个图形化界面的社区农产品团购点优化及配送路径规划仿真系统。这一系统不仅便于用户操作和理解，还大大提高了优化和规划的效率，为相关企业和机构提供了有力的技术支持。</p> <p>从这篇论文中，我们可以清晰地看到作者已经深入掌握了电子信息专业的基础理论和专业知识，并具备了独立承担科学研究和专门技术工作的能力。无论是在理论创新、方法应用还是实践技能方面，作者都展现出了较高的水平，达到了硕士学位论文的要求。</p> <p>最后，这篇论文的完成也为作者未来的学术和职业发展奠定了坚实的基础。通过硕士阶段的学习和研究，作者已经具备了扎实的理论基础和丰富的实践经验，能够独立承担科研项目和技术开发工作。未来，无论是在学术界还是工业界，作者都将有着广阔的发展空间和无限的可能性。</p> <p>综上所述，这篇论文是一篇优秀的硕士学位论文，具有很高的学术价值和实践意义。它不仅为社区团购点优化和农产品配送路径规划问题提供了有效的解决方案，还为相关领域的研究和实践工作提供了宝贵的参考和借鉴。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> 指导教师签字: 育婧 2024年5月12日 </div>			