

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2024.04.012

动态价格约束下生鲜无人零售点选址-路径方法研究

邹筱, 孙唯雅

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

摘要:“新零售”创新了生鲜无人零售的渠道和销售模式,通过研究网络化无人售货的技术优势,引入在线动态定价机制,解决了生鲜无人销售品控难、客户黏度低的问题,有效减低了系统综合成本;同时构建了一种面向生鲜商品的无人零售的干线和支线混杂配送模型,在多目标求解、问题解耦和 PSO 全局优化等方面进行突破,建立了一种动态价格约束下的带时间窗选址-路径二级运输模型(2E-dPLRPTW),并进行了案例验算,确认该方法能有效提升生鲜商品无人售卖的效益。

关键词: 生鲜无人零售; 动态价格; 带时间窗选址-路径模型; 粒子群优化算法

中图分类号: F505

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2024)04-0086-07

引文格式: 邹筱, 孙唯雅. 动态价格约束下生鲜无人零售点选址-路径方法研究[J]. 湖南工业大学学报, 2024, 38(4): 86-92.

Study on Location Routing Method for Unmanned Fresh Retailers Under Dynamic Price Constraints

ZOU Xiao, SUN Weiya

(College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: “New Retail” has innovated the channel and sales model of unmanned fresh food retail. Based on research conducted on the technical advantages of networked unmanned selling, with an online dynamic pricing mechanism introduced, the flaw of a poor quality control and a low customer viscosity in unmanned fresh food sales have been overcome, thus effectively reducing the overall cost of the system. Meanwhile, a hybrid trunk-and-branch distribution model for unmanned retail of fresh goods has been constructed, with breakthroughs made in multi-objective solution, problem decoupling, and PSO global optimization. A location path model with time windows for secondary transportation under dynamic price constraints (2E-dPLRPTW) has been established, followed by a case study to verify the effectiveness of the proposed method in improving the efficiency of unmanned sales of fresh goods.

Keywords: unmanned retail of fresh food; dynamic pricing; location path model with time window; particle swarm optimization algorithm

1 研究背景

随着信息和物联网技术的快速发展,生鲜无人零售已进入百姓日常生活,自动椰子机、自动牛奶机等

“新零售”方式,精准对接了现代青年的消费偏好,创新了生鲜商品的销售新业态,推动了物流、仓储技术的发展。不同于普通的商品售卖,生鲜产品易腐化、易耗损,时效性较强,且售卖时的新鲜度会直接影响

收稿日期: 2023-04-03

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2022JJ50089); 湖南省教育厅科研基金资助重点项目(22A0405)

作者简介: 邹筱,女,湖南工业大学教授,博士,主要研究方向为物流工程与管理, E-mail: Shellyzx2405@163.com

其销售量,若生鲜商品过期还会导致无法售出。针对这些问题,拟基于当前互联网和智能监控技术,开展新零售方式下的生鲜商品售卖和物流新模式研究,通过引入实时商品状态监控和售价在线动态调整,有效提升客户的购买期望,降低生鲜商品损耗及综合物流周期,实现多渠道成本控制和效益增速。

生鲜商品的无人零售解决了传统零售人力投入多、库存量大、时效性较差等问题,但其模式复杂、参数较多,通过研究配送中心与无人售货点耦合的选址、车辆路径规划等,可创新无人零售的集约化运营与智能化调度模式,建立人工效率高、场地利用率高、综合运营成本低的物流新业态。生鲜商品无人零售一般考虑干线和支线两种分离的配送方式,与传统的选址-路径问题(location-routing problem, LRP)不同,其选址布点受运输路径的长度和单次运输的时间综合影响,行业内多采用带时间窗的选址-路径方式(location-routing problem with time windows, LRPTW)解决。刘亚平等^[1]考虑顾客有送货和取货两种需求,使用改进烟花算法有效解决了带时间窗的同时送取货选址路径问题(LRPSPTW);王成林等^[2]针对两层级生鲜农产品配送网络,提出多目标LRP模型,通过加入违反时间窗的惩罚成本保证了物流服务质量;Wang Y.^[3]针对电动汽车充电站的选址和路径规划进行了研究,通过引入运输资源共享策略和服务周期划分优化电动汽车充电站选址-路径问题,有效提高了电动汽车配电网使用效率;M. S. Farham等^[4]利用列生成法解决了中小规模的仓库带时间窗选址-路径问题,通过引入分支定价和上下限等约束条件,大大提高了求解效率;张雷^[5]针对特种行业的应用,构建了个性化带时间窗的LRP模型,如地震应急物资的配送,提出了基于两阶段的遗传算法和可变集理论方法,充分考虑应急物资配送优先级这个前提条件,实现了总耗时最少的运送目标。现有的选址-路径时间窗模型已将生鲜商品的时效性纳入模型进行研究,但基于互联网实现生鲜商品动态定价的相关应用案例很少。动态定价对提升生鲜商品的购买期望值、物流系统的综合满意度有很大的帮助^[6-7]。江亿平等^[8]通过在线评测的方法实现了鲜果动态定价,并融合高斯回代的交替方向乘法对模型进行求解,获得了更高的销售利润。潘琳等^[9]提出了基于微分变分不等式的社区生鲜食品供应商和零售商的动态均衡模型,通过建立供应商和零售商各自渠道的动态价格折扣策略,提高了系统决策的科学性。毕文杰等^[10]针对生鲜产品销售环境的复杂性,提出了基于深度强化学习的生鲜商品联合库存控制和动态定

价算法,优化了收益管理。徐兵等^[11]通过分析生鲜商品价格和平均新鲜度对消费者购买期望值的影响,构建了两阶段定价决策模型,并进行了模型求解和参数敏感性分析,揭示了生鲜商品定价、存储时间、存储成本等内在联系,为今后新零售销售模式的设计奠定了基础。

而在现有研究中,LRP与动态定价模式还未有效融合,在生鲜商品的销售中未充分利用互联网和智能化等技术优势,对生鲜商品新零售形式的推广和利润提升有较大局限性,课题组拟通过在传统的选址-路径问题中,融入生鲜商品的品质和动态价格因素,构建动态价格约束下的带时间窗选址-路径二级配送模型(2E-dPLRPTW)。该模型首先通过聚类方法获取特定无人售货点周边的客户需求总量,为了获取普适性结果,采用多场景、多商品的迭代试算,在求解过程中,采用PSO的模拟退火法准则对生鲜商品的定价、存储时间、存储成本、运输成本、客户购买期望值等多参数进行归一化求解,以有效提高系统总体利润,提升客户满意度。

2 分析与建模

在动态价格约束下,带时间窗选址-路径的二级配送模型中,研究对象是在不同场景下由多个备选配送中心和多个无人售货点构成的物流系统,由固定的一个区域中心冷库供货。冷库根据需求给每个配送中心发送多种类型的生鲜商品,商品由冷藏运输车负责配送;获取商品后的配送中心再向所辖的无人售货点配送有限种类的生鲜商品,将运输时间和储存时间作为总耗时,由总耗时决定客户的购买期望值,由期望值和前期预测的购买基础量决定某生鲜商品的价格,该价格实时变化。候选配送中心、车辆的运输价格与速度、购买人群基本信息、服务时间窗等信息均已知。系统使用冷藏车和物流配送车2类车辆,冷藏车从固定的区域中心冷库出发,前往各配送中心,等待客户完成装卸后继续行驶到下一个配送中心,最终返回区域中心冷库;配送中心收货后,派物流配送车往无人售货点送货,当生鲜商品全部送完,最终返回出发时的配送中心。每辆车最多行驶1条路径。在满足客户需求量、交付时间窗、最低新鲜度和车辆承载能力的要求下,确定配送中心的位置及二级配送路径,最终实现总成本最小化和销售利润最大化。

2.1 目标函数分析

动态价格约束下,带时间窗选址-路径的二级配送模型中,为了获得最大的销售收益并充分发挥无

人售货机的互联网实时互动优势, 课题组创新了支持动态价格的选址-路径的时间窗优化模式, 并对关键的目标函数进行分析。

1) 购买期望值。采用双栏模型 (double-hurdle model) 分析生鲜商品保鲜时间对消费者购买决策的影响。模型将决策机制分为两个阶段: 第一个阶段是参与决策阶段, 即消费者是否愿意购买; 第二个阶段是期望值预测阶段, 即消费者购买商品的欲望。该模型假设两个过程没有先后之分且彼此相互独立, 只有两个决定同时成立的才构成一个完整的决策约束。模型可以描述如下:

第一阶段, 根据距离决定是否购买, 表达式为

$$d_i^* = \alpha Z_i' + \mu_{1,i}, \quad \mu_{1,i} \sim N(0,1), \quad (1)$$

$$d_i = \begin{cases} 1, & d_i^* > 0; \\ 0, & \text{其他。} \end{cases} \quad (2)$$

式 (1) (2) 中: d_i^* 为参与决策的潜在变量, 呈标准正态分布; α 为调节系数, 这里取 0.153~0.287; Z_i' 为消费者离无人售货点的距离; $\mu_{1,i}$ 为随机误差项; 被解释变量 d_i 是二元变量, 由 d_i^* 决定, d_i 为 1 表示会购买, 为 0 则不会购买。

第二阶段, 对某商品的购买期望值 Y_i 进行预测, 其表达式为

$$Y_i^* = X_i' \beta + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), \quad (3)$$

$$Y_i = Y_i^* d_i. \quad (4)$$

式 (3) (4) 中: Y_i^* 为数量决策的潜在变量; X_i' 是解释变量的线性函数; ε_i 为随机误差项, 服从标准正态分布、期望为 0 且标准差为 σ^2 的正态分布, 且两误差项服从相关系数为 ρ 的二元联合正态分布; β 为价格因素, 与时间函数成反比。

2) 预测送货量。无人售货点送货量的表达式为

$$m_i(\omega) = \sum_{i=0}^n C_i(\omega) Y_i(\Delta t) F(\Delta t); \quad (5)$$

配送中心送货量的表达式为

$$M_i(\omega) = \sum_{i=0}^n m_i(\omega). \quad (6)$$

式 (5) (6) 中: ω 为场景; C_i 为某生鲜商品平均购买量; Δt 为生鲜商品运输储存时间; F 为惩罚函数。

ω 场景下, 根据本地区某公司提供的水果、蔬菜、肉品等商品的长期购买数据信息进行统计分析, 获得某生鲜商品的平均购买量 C_i 。 Δt 越长该生鲜商品的购买期望值越低, 且 F 离时间窗越远, F 越大, 系统总成本越高。

3) 生鲜商品的综合运输成本。生鲜商品运输采

用 2 级送货模式, 先由固定的区域中心冷库送到配送中心, 再由配送中心输送到无人售货点。每条送货路线不超过单台车辆的运载能力和行驶距离, 其费用可用式 (7) 表示:

$$Z = \sum_{i=1}^n k_1 v_1 t_1 M_i'(\omega) + \sum_{i=1}^n k_2 v_2 t_2 m_{ik}'(\omega), \quad (7)$$

式中: k_1 为区域中心冷库到配送中心的单位运输成本; k_2 为运输配送中心到无人售货点的单位运输成本; v_1 、 v_2 为速度; t_1 、 t_2 为运输时间; $M_i'(\omega)$ 、 $m_{ik}'(\omega)$ 均为连续变量, 前者表示 ω 场景下 t 时刻区域中心冷库向配送中心 i 的运货量, 后者表示 ω 场景下 t 时刻配送中心 k 将商品运输至无人售货点 i 的运输量。

4) 无人售货点保鲜成本。生鲜商品保鲜成本与当前存储的生鲜商品数量成正比, 商品囤积越多所需要的单位保鲜成本越高; 反之无人售货点售货速度越快, 保鲜成本越低; 无人售货点的商品存储量上限越大, 该售货点的建设成本越高。

$$B_1(\omega) = \sum_{i=1}^n E_i s_i'(\omega) + \sum_{i=1}^m G_i (1 - Y_i')(\omega) + \sum_{i=1}^k f_i, \quad (8)$$

式中: E_i 为生鲜商品 i 的保鲜成本; $s_i'(\omega)$ 为连续变量, 表示 ω 场景下 t 时刻时无人售货点 i 中生鲜商品的库存量; G_i 为生鲜商品 i 的单位缺货成本; Y_i' 为商品 i 在 t 时刻的购买期望值; f_i 为无人售货点的建造单价, 其与储存货物的能力成正比。

5) 配送中心保鲜成本。配送中心具备一定的库容量, 通过所辖无人售货点的送货总需求决定其库存能力, 其保鲜成本与 t 时刻从冷藏中心按配送中心上限运输来的商品减去当前已运输到无人售货点的商品总量, 以及配送中心建设费用等相关, 其中建设费用与配送中心的存储能力成正比。

$$B_2(\omega) = \sum_{i=1}^n z_i \Delta m_i'(\omega) + \sum_{i=1}^k D_i, \quad (9)$$

式中: z_i 为单位保鲜成本; $\Delta m_i'(\omega)$ 为 ω 场景下, t 时刻时配送中心 i 中剩下的生鲜商品量; D_i 为配送中心建设的单价费用。

2.2 约束条件分析

从问题描述中可知, 需要做出的决策包含配送中心选址、无人售货点选址、配送中心与无人售货点间的配送路径规划、区域中心冷库与新建配送中心之间的运输分派 4 个方面内容。对于配送中心选址部分, 存在着一系列的备选点以供选择。对于路径规划部分, 存在着往返于区域中心冷库与配送中心的冷藏运输车, 也存在着配送中心与无人售货点之间的城市物流配送车。针对所研究的问题, 约束假设如下:

1) 区域中心冷库负责所有配送中心的送货需求,

完成配送任务后,冷藏车辆回区域中心冷库。

2) 配送中心具有前置仓的功能;配送中心负责所辖无人售货点的送货需求,完成配送任务后,物流车返回配送中心。

3) 所有车辆都有最远行驶距离和最大载货量和整体数量的约束。

4) 每一个无人售货点只能由一个配送中心提供服务,且生鲜商品需求量受购买期望值和运输存储时间等多因素影响。该无人售货点生鲜商品需求量信息由地区人口密度、收入水平、历史生鲜销售数据等相关资料计算获取,为了表征方便,采用圆形图案表示。

2.3 模型求解

模型求解采用两阶段启发式算法。第1阶段,利用启发式算法,对无人售货点进行聚类,初步确定某配送中心下多个无人售货点选址,从而将多中心选址-路径问题向单中心路径问题转换,降低求解难度;第2阶段,利用改进 PSO 算法提高求解速度,在全局规划中寻求最优解。具体的算法流程见图1。

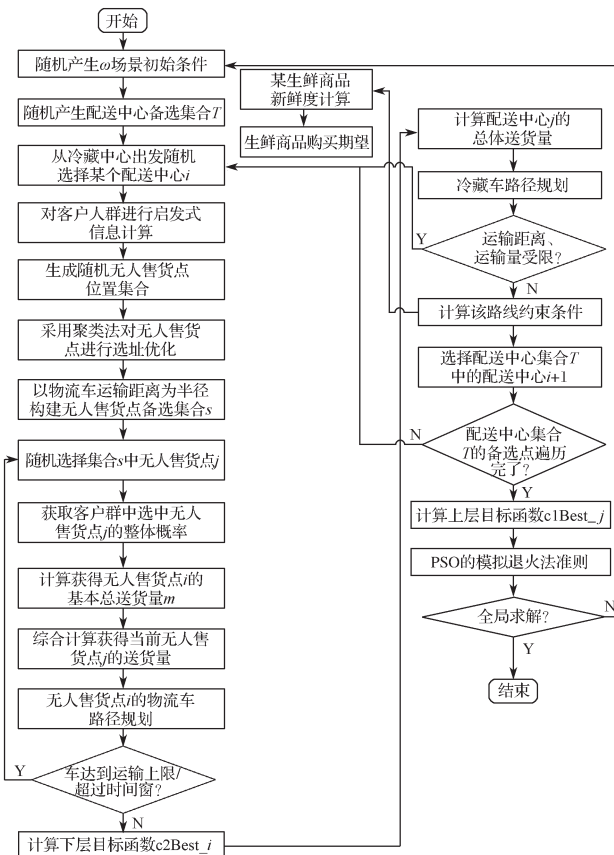


图1 模型求解算法流程

Fig.1 Model solving procedure

首先,建立场景初始条件,指定冷藏中心位置,备选配送中心及无人售货点位置的集合、时间窗、客户群信息(不同分布区域、场景的购买能力不同)、车辆的最大载质量、最大行驶距离、单位距离行驶成

本等。其它约束如下:1)应用车型,两种车型(冷藏车、物流配送车);2)需求不可拆分,一个需求只用一辆车满足;3)车辆充足,车辆数量有限但能满足配送需求;4)非满载,任意配送中心/无人售货点的一次需求量小于车辆最大载质量。

具体步骤描述如下。

Step 1 ω 场景下,从集中冷藏中心出发,随机选取集合内备选的配送中心 i ,并分配冷藏车送货。

Step 2 采用广度优先原则确定该条路线后续访问的配送中心 $i+1$,并累加前面计算获得的相关联无人售货点的送货总量。

Step 3 以冷藏车的运货量和运输距离为约束条件,确定单次配送中心的选址和运货路径规划。

Step 4 以运输成本、运输时间等为约束条件,计算上层目标函数的初始函数值,记为 $c1Best$ 。

Step 5 在 ω 场景下确定配送中心选址及路径规划,并删除存货量大于上限或小于下限的配送中心,然后计算每种配送路线下的总体成本,将每次得到的上层目标函数值记为 $c1Best_1$ 。

在计算配送中心的节点综合成本时,也用类似的方式对售货点进行处理,一般用 Solomon 法则,具体步骤如下:

Step 1 ω 场景下,依照配送中心的路径次序,选中第 i 个配送中心。

Step 2 生成随机无人售货点集合,根据无人售货点位置与客户的距离关系初始化聚类。

Step 3 随机选择一个客户 c ,计算其初始确定性信息、启发式信息,并计算客户 c 选择附近无人售货点的概率,且将客户的需求累加至无人售货点 j 上。

Step 4 根据行业的经验分析确定聚类的合理性,不合理就重复 Step 3,合理就确定无人售货点的选址。

Step 5 依据有限偏差搜索原则,以距离和库存容量为约束,随机选择无人售货点集合中的 m 个点,作为选中配送中心的管理对象集合。

Step 6 在无人售货点 j 的服务范围内(由客户特性决定)选择下一个客户 $c+1$,并进行客户选择计算,直到所有客户做出选择,否则重复 Step 4、Step 5。

Step 7 完成一个无人售货点的销售统计后,得到该点 j 的初始需求量(初始送货量) m ,在后文示例图中用圆形表示。随机选择下一个无人售货点 $j+1$,并重复开始客户的购买量计算及累加等。

Step 8 以物流配送车的运载量和运输距离为上限,确定是否开启下一个无人售货点的选择计算操作。

Step 9 将所有的配送时间和存储时间之和作为

客户履约率的参考时间系数，控制定价，计算购买期望值；将时间窗的误差时间作为综合成本的惩罚参数，将物流系统的总体成本作为总目标值；仿真优化中，通过减少无人售货点数量、调整位置等方式，获得最优的下层目标函数值，记为 $c2Best$ 。

求解流程通过 PSO 的模拟退火法准则计算全局综合成本最优值，通过总体成本的曲线收敛趋势确定是否接受新的解。通过增加种群的方式提高系统多样性，防止算法陷入局部最小。

3 算例分析

以本地区某无人售货服务公司提供的数据进行模拟优化。

3.1 算例概况

该无人售货服务公司以湖南某区域的人流、售货类型等统计数据和运输现状，对生鲜无人售货点进行了初步布局，课题组成员通过公司提供的 GPS 数据，叠加百度地图，经可视化处理后得到其布局，因商业保密需要，对配送点的位置数据做了等值换算，如图 2 所示，故所得结果也呈等比变化。其中标记  为生鲜无人售货点的初始化选址位置。通过评估配送中心、无人售货点的布局和服务时间，将设定好的位置信息和窗口时间写入 Excel 文件，第 1 行是冷藏中心，第 2~5 行是配送中心，其它数据行为存放无人售货点的信息，其部分数据如表 1 所示。

表 1 位置与时间窗信息

Table 1 Location and time window information

编号	坐标点	时间窗	服务时间
0	(22.3, 2.5)	[0, 230.0]	0
A	(14.3, 6.0)	[0, 230.0]	0
B	(21.7, 7.9)	[0, 230.0]	0
C	(5.9, 9.5)	[0, 230.0]	0
D	(6.0, 4.2)	[0, 230.0]	0
5	(2.5, 3.4)	[46.0, 56.0]	10
6	(5.6, 2.0)	[54.0, 64.0]	10
7	(6.7, 1.5)	[44.0, 54.0]	10
8	(8.7, 1.2)	[50.5, 60.5]	10
9	(11.3, 1.3)	[36.0, 46.0]	10
10	(15.0, 0.7)	[55.0, 65.0]	10
11	(17.8, 1.0)	[56.0, 66.0]	10
12	(20.7, 2.5)	[60.0, 70.0]	10
13	(16.9, 2.9)	[50.0, 60.0]	10
14	(22.9, 4.1)	[35.5, 45.5]	10
15	(20.5, 5.8)	[18.0, 28.0]	10
16	(22.3, 6.3)	[15.0, 25.0]	10
17	(18.8, 7.2)	[21.0, 31.0]	10
18	(24.1, 8.4)	[18.5, 28.5]	10
19	(20.6, 8.6)	[8.0, 18.0]	10
20	(23.3, 10.4)	[20.0, 30.0]	10
21	(18.1, 10.6)	[22.0, 32.0]	10
22	(20.4, 11.2)	[26.0, 36.0]	10
23	(22.0, 14.1)	[51.5, 61.5]	10
24	(23.5, 12.6)	[48.0, 58.0]	10

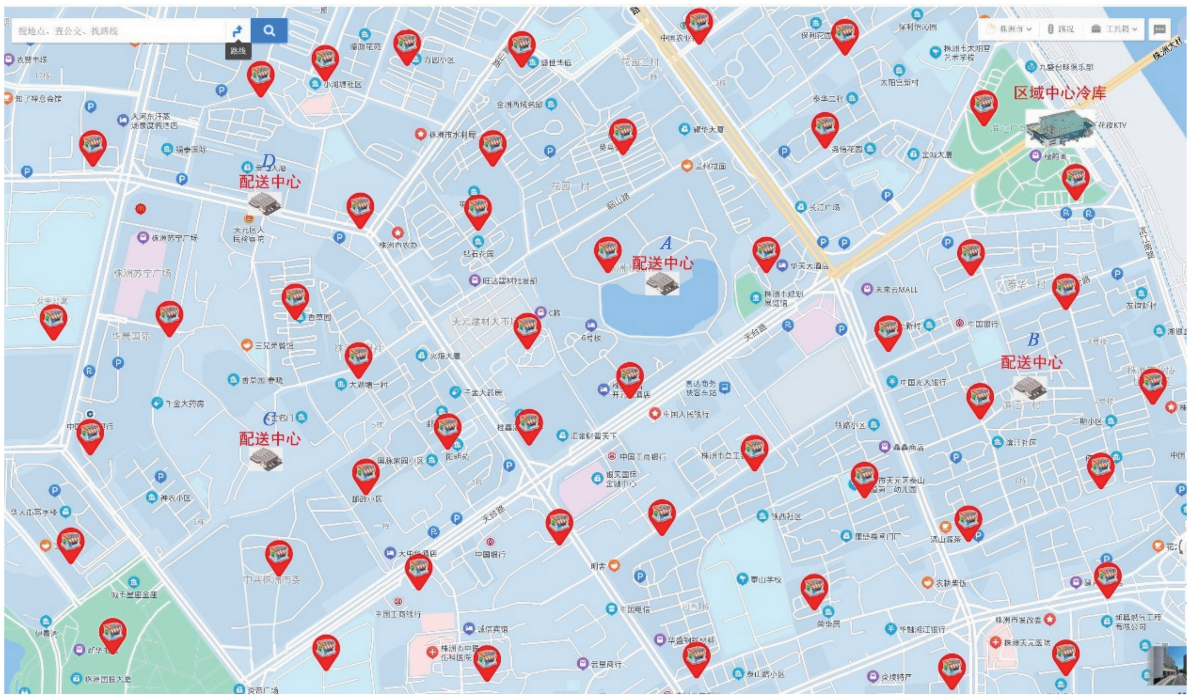


图 2 某地区预设无人售货点布局示意图

Fig. 2 Layout diagram of preset unmanned sales points in a certain area

优化程序根据输入条件初始化系统变量,建立配送中心、无人售货点的距离矩阵,在 ω 场景下采用启发式算法对无人售货点的需求量进行聚类分析,建立 CustomerList 和 SelfSeviceList 变量数组,遍历后形成如图 3 所示含购买需求的布局图,这为后期综合成本的迭代计算提供了基础。

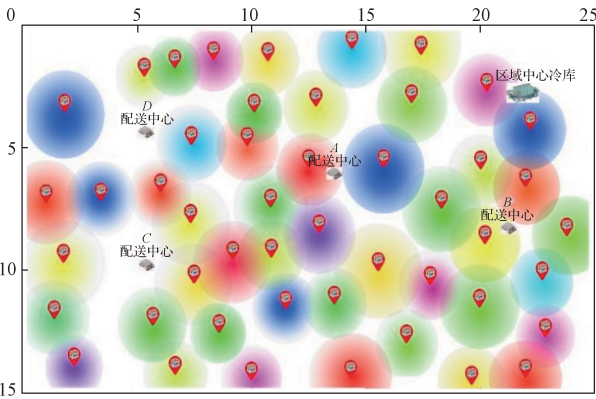


图 3 某地区客户购买需求布局示意图

Fig. 3 Layout diagram of customer purchase demand in a certain region

3.2 结果分析

程序中设置的 PSO 优化参数如下:种群数量为 500,最大迭代代数为 2 000,惯性因子 $w = 0.5$,自我认知因子 $c_1 = 1.5$,社会认知因子 $c_2 = 2.0$ 。在 Matlab 中运行程序,初始设置 1 个冷藏中心、4 个配送中心、53 个无人售货点,经过 2 000 次迭代,全局最优解总成本从 57 957.34 元降至 26 823.66 元,并趋于稳定。对比初始布局,共调整了 19 个无人售货点的位置。通过多场景数据代入运算后,得到优化后的布局与配送中心路径规划如图 4 所示。

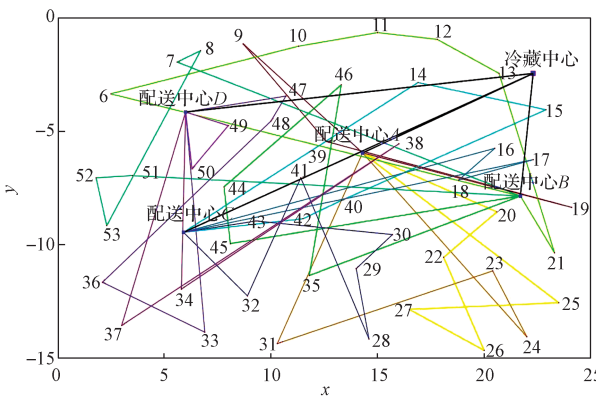


图 4 路径优化后的 2 级路线运输图

Fig. 4 Level 2 route transportation diagram after routing optimization

通过案例进行多次计算与分析,求得最优解:车辆行驶总距离为 401.976 6 km;冷藏车为 12 辆;物

流配送车数为 A 中心 5 辆、B 中心 7 辆、C 中心 6 辆、D 中心 4 辆;综合运输成本为 8 964.68 元;生鲜货品的损耗成本为 12 701.56 元;因调价引发的货物降价费用为 2 160 元;各配送中心需要的货物分别为 A 中心 1 353 kg、B 中心 2 020 kg、C 中心 1 737 kg、D 中心 1 150 kg,具体配送路线如表 2 所示。

表 2 配送路线方案

Table 2 Distribution route scheme		
路线序号	配送中心	配送路径
1	A	0 → A → 19 → 39 → 9 → A
2	A	0 → A → 24 → 23 → 31 → A
3	A	0 → A → 20 → 22 → 26 → 27 → 25 → A
4	B	0 → B → 6 → 10 → 11 → 12 → 13 → 21 → B
5	B	0 → B → 45 → 44 → 46 → 35 → B
6	B	0 → B → 51 → 52 → 53 → 8 → 7 → B
7	C	0 → C → 42 → 40 → 15 → 14 → C
8	C	0 → C → 17 → 18 → 16 → C
9	C	0 → C → 43 → 30 → 29 → 28 → 41 → 32 → C
10	D	0 → D → 33 → 36 → 48 → 47 → D
11	D	0 → D → 50 → 49 → D
12	D	0 → D → 34 → 38 → 37 → D

算法迭代的收敛曲线见图 5。如图 5 所示,采用 PSO 算法,该程序在 i7, 32 GB 内存电脑上的运行时间为 698 s,求解速度相比传统的聚类和遗传算法的求解速度提高了约 13.7%,后期随着问题规模扩大,用户根据无人售货点的数量和最优解的期望值可增加计算代数,进一步提高求解精度。

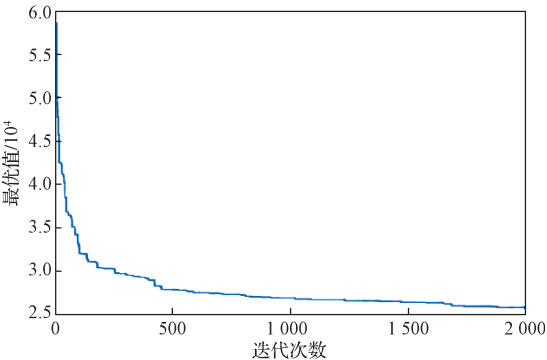


图 5 算法迭代的收敛曲线

Fig. 5 Convergence curve of algorithm iteration

4 结语

依托现代信息技术,开展了新零售模式的研究。通过分析生鲜无人售货的时效性和网络化实时定价技术特点,构建了一种动态价格约束下的带时间窗选址-路径二级配送模型(2E-dPLRPTW),并利用本地区相关案例进行了分析和计算,表明该模型可实现

物流多渠道的成本降低和效益增速,提升客户体验,推动生鲜商品销售新技术的应用研究。在求解无人售货点和配送中心二级配送的耦合问题中,构建了多车型、多层次模型,突破了生鲜商品购买期望低,物流综合成本高等难题。利用课题组所设计的模型,解决了无人售货行业困扰已久的参数耦合和多参数输入难以求解的难题,后期通过比较公司的实际运行数据发现:无人零售行业在引入动态定价后,减少了约 7% 的站点投入,顾客的购买率提高了约 15.8%,并呈上升趋势。

新零售模式充分发挥了互联网技术优势,在运行中引入了动态定价算法,提升了生鲜商品销售效率,降低了传统单点送货的综合成本。后期需进一步细化参数,增加定制车型内容、生鲜商品回收机制、城市道路限行机制、交通拥堵、天气情况等对物流的影响,进一步提高模型的普适性。通过案例比对,发现该模型有效解决了生鲜无人零售企业客户黏性低、综合成本不可控的难题,新的求解算法充分考虑了生鲜商品的新鲜度与客户购买能力的耦合关系,是一种新零售模式下生鲜商品销售的高效解决方案。

参考文献:

- [1] 刘亚平,张惠珍,张莉,等.带时间窗同时送取货选址路径问题及其烟花算法求解[J].计算机应用,2022,42(7):2292-2300.
LIU Yaping, ZHANG Huizhen, ZHANG Li, et al. Fireworks Algorithm for Location-Routing Problem of Simultaneous Pickup and Delivery with Time Window[J]. Journal of Computer Applications, 2022, 42(7): 2292-2300.
- [2] 王成林,郑颖,皇甫宜龙,等.生鲜类物流配送网络选址-路径优化问题研究[J].数学的实践与认识,2020,50(10):33-43.
WANG Chenglin, ZHENG Ying, HUANGFU Yilong, et al. Study on Optimization Problem for Location-Routing of Fresh Logistics Distribution Network[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2020, 50(10): 33-43.
- [3] WANG Y, ZHOU J X, SUN Y Y, et al. Electric Vehicle Charging Station Location-Routing Problem with Time Windows and Resource Sharing[J]. Sustainability, 2022, 14(18): 11681.
- [4] FARHAM M S, SÜRAL H, İYİGUN C. A Column Generation Approach for the Location-Routing Problem with Time Windows[J]. Computers & Operations Research, 2018, 90: 249-263.
- [5] 张雷.基于优先等级的震后应急物资 LRP 优化决策模型[J].系统科学与数学,2017,37(2):491-501.
ZHANG Lei. Location-Routing Problem in Post-Earthquake Emergency Systems Based on Priority Grade[J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2017, 37(2): 491-501.
- [6] 杜康敏.新零售背景下考虑顾客行为的生鲜产品动态定价策略研究[D].重庆:重庆大学,2019.
DU Kangmin. Research on Dynamic Pricing Strategy of Fresh Products Considering Customer Behavior Under the Background of New Retail[D]. Chongqing: Chongqing University, 2019.
- [7] 刘茜.生鲜农产品社区团购定价与车辆配送路径协同优化[D].昆明:昆明理工大学,2020.
LIU Qian. Collaborative Optimization of Pricing and Vehicle Routing Problem for Community Group Purchase of Fresh Agricultural Products[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2020.
- [8] 江亿平,张婷,夏争鸣,等.基于在线评论情感分析模型的鲜果动态定价研究[J].管理学报,2022,19(12):1837-1846.
JIANG Yiping, ZHANG Ting, XIA Zhengming, et al. Fresh Fruit Dynamic Pricing Based on Sentiment Analysis of Online Reviews[J]. Chinese Journal of Management, 2022, 19(12): 1837-1846.
- [9] 潘琳,徐夏静,周荣庭.博弈视角下社区生鲜食品供应链双渠道动态定价研究[J/OL].中国管理科学:1-12.[2023-04-02].<https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.1506>.
PAN Lin, XU Xiajing, ZHOU Rongting. Research on Dynamic Pricing of Dual Channels in the Community Fresh Food Supply Chain from the Perspective of Game Theory[J/OL]. Chinese Management Science: 1-12. [2023-04-02]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.1506>.
- [10] 毕文杰,周玉冰.基于深度强化学习的生鲜产品联合库存控制与动态定价研究[J].计算机应用研究,2022,39(9):2660-2664.
BI Wenjie, ZHOU Yubing. Research on Inventory Control and Dynamic Pricing of Fresh Produce Based on Deep Reinforcement Learning[J]. Application Research of Computers, 2022, 39(9): 2660-2664.
- [11] 徐兵,邱芳.基于消费者选择和产品平均新鲜度的生鲜农产品两阶段定价研究[J].工业工程与管理,2021,26(2):118-126.
XU Bing, QIU Fang. Two-Stage Pricing of Fresh Agricultural Products Based on Consumers' Choice and Average Freshness of Products[J]. Industrial Engineering and Management, 2021, 26(2): 118-126.

(责任编辑:廖友媛)