

基于 NSGA-Ⅱ 的物流末端人员配置的多目标决策*

李翰章, 马 喆

(1. 长安大学 运输工程学院; 2. 长安大学 经济与管理学院, 西安 710064)

摘要: 研究同时考虑客户满意度和成本的物流末端配送环节中快递人员配置问题。在考虑到满意度和快递员的情况下, 通过人员配置成本、惩罚成本和运输成本所构成的总成本最小和顾客满意度最大时的人员配置方案, 并采用 NSGA-Ⅱ 算法在 Python 软件上求解物流末端配送问题, 最后进行了案例分析。分析结果表明: 所建立的物流末端人员配置和路径优化的多目标优化模型实现了人员配置、客户满意度和成本的优化, 且能够在保证客户满意度的情况下降低人员成本。所提出的方案为物流末端快递人员配置的多目标优化问题提供了理论依据。

关键词: 人员配置; NSGA-Ⅱ; 多目标优化; 客户满意度; 路径优化

中图分类号: F252

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2024)02-0100-09

随着电子商务的兴起, 物流业得到了蓬勃发展, 而如何降低物流成本始终为物流企业所重视。人工成本尤其是快递员成本偏高一直是物流配送环节成本居高不下的一个主要原因。因此, 物流企业需要在保证较高客户满意度下合理调配快递员, 从而节约人力资源、提高运行效率和创造更大的效益。在类似需求的相关研究中, 宋叶等人^[1]建立了考虑救援任务时间满意度和救援队伍能力的指派模型, 并将原有问题转化为单目标问题后再通过 LINGO 软件求解; Song 等人^[2]考虑到食品变质情况, 以满意度最大化求解生鲜配送问题, 并采用基于优先级的启发式算法求解; Xu 等人^[3]考虑到车辆速度变化, 以软时间窗为约束, 建立了多目标路径规划模型, 通过结合自适应和贪婪策略的 NSGA-Ⅱ 算法求解; Amorim 等人^[4]针对具有时间窗的车辆路径问题建立配送成本最小化和交付产品新鲜度最大化的多目标优化模型; 韩世莲^[5]采用模糊系统聚类方法进行客户分类, 运用智能加权集成动态属性生成配送策略; 李波等人^[6]结合 k -means 聚类 and 模糊聚类划分配送区域, 采用遗传算法规划车辆路径。

在上述研究基础上, 本研究综合考虑了配送过程的成本和客户满意度, 构建了物流末端人员配置和配送路径优化的多目标优化模型, 采用 NSGA-Ⅱ 算法对有关案例进行求解, 从而得到了较为满意的结果。经过进一步验证, 本研究提出的改进派件方法在满足顾客满意度的情况下, 可以有效减少物流企业快递员成本, 并且使物流配送工作效率更高。

1 物流末端配送问题描述

物流末端派送的问题描述如下: 在某一区域内, 负责该区域的配送中心有若干名快递员, 每个快递员的每日工作时间有上限值, 并且因工作年限不同导致工作效率存在差异。在需要派送的区域中, 包含多个派送点, 每个派送点内的取件人群结构不同对快递员在该派送点的等待时间有影响。在充分考虑客户满意度的条件下, 通过优化人员配置和路径规划, 以达到在物流末端降低配送成本和提升配送效率的目的。

2 模型构建

2.1 模型假设

本研究中的多目标优化问题属于 NP-困难问题, 为了使模型更加合理可行, 做出如下假设: 1) 每个派送点只会由 1 个快递员进行派送; 2) 配送中心、各派送点位置均已知; 3) 每个快递员在派送过程中的速度会根据当前

* 收稿日期: 2022-06-30 修回日期: 2023-06-25 网络出版时间: 2023-06-25 T11:22

资助项目: 陕西省哲学社会科学重大理论与现实问题年度研究项目 (No. 2020Z353)

第一作者简介: 李翰章, 男, 研究方向为物流工程与管理, E-mail: 853566396@qq.com; 通信作者: 马喆, 男, 副教授, 博士, E-mail: 104425051@qq.com

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20230621.1953.012>

时段道路情况和自身疲劳程度进行改变;4) 不考虑存在顾客无法取货情况发生。

2.2 影响因素分析

1) 人员配置成本。该项成本的计算方法如下:

$$C_R = \sum_{K \in M} (C_K \times D_K \times X_K + \theta_K),$$

其中: C_R 为人员配置成本; $M = \{1, \dots, H\}$, 即当前最多有 H 个员工可以支配; $K = \{1, \dots, h\}$, 即当前最多需要 h 个员工; X_K 为 0-1 变量, $X_K = 0$ 表示不选择第 K 个快递员, $X_K = 1$ 选择第 K 个快递员; C_K 为员工每单快递提成; D_K 为第 K 个快递员所派送的快递量; θ_K 为第 K 个快递员基础工资。

2) 顾客满意度。顾客满意度通常采用时间窗^[7-8]来衡量。本研究采用软时间窗, 假设惩罚成本和派送时间成线性关系。设某个派送任务为 j ($j \in R$, R 表示工作人员的集合), 快递员完成派送任务的时间为 t ; 当快递员在 $[t_{E(j)}, t_{L(j)}]$ 时间区间内完成派送任务, 顾客会有最大的满意度, 对应的数值为 100; 若快递员在 $t_{E(j)}$ 前完成派送则会产生早到惩罚系数 ϵ_1 和惩罚成本 c_1 , 快递员在 $t_{L(j)}$ 后完成派送任务则会产生迟到惩罚系数 ϵ_2 和惩罚成本 c_2 , ϵ_1 和 c_1 应分别小于 ϵ_2 和 c_2 。因此, 某个派送任务 j 的顾客满意度 G_j 用下式表示为:

$$G_j = \begin{cases} 100 - \epsilon_1(t_{E(j)} - t), & t < t_{E(j)}, \\ 100, & t_{E(j)} \leq t < t_{L(j)}, \\ 100 - \epsilon_2(t - t_{L(j)}), & t \geq t_{L(j)}. \end{cases}$$

同时, 惩罚成本函数 C_p 定义为:

$$C_p = \begin{cases} c_1(t_{E(j)} - t), & t < t_{E(j)}, \\ 0, & t_{E(j)} \leq t < t_{L(j)}, \\ c_2(t - t_{L(j)}), & t \geq t_{L(j)}. \end{cases}$$

由此产生的惩罚成本 $C_{p(j)}$ 为:

$$C_{p(j)} = \sum_{j \in R} (c_1 \max((t_{E(j)} - t), 0) + c_2 \max((t - t_{L(j)}), 0)).$$

3) 运输成本。该项成本通过下式进行计算:

$$C_{tc} = \sum_{K=1}^h \sum_{j \in R} (C_j \times D_j \times X_j^K + C_R),$$

其中: C_{tc} 为运输成本, C_j 为配送中心到派送点的单位运输成本, D_j 为配送中心到派送点的距离, X_j^K 表示派送点 j 选择第 K 个快递员, 为 0-1 变量。

4) 快递员行驶速度。在物流末端的派件环节, 快递员的工作效率与自身从业时间有关; 效率越高的快递员在派送过程中对派送区域的道路等情况更加熟悉, 因此快递员行驶速度会越快。通过对多名快递员的从业时间 t_K 和行驶速度 v_K 进行调查, 再采用 Eureka 软件^[9]对有关数据进行拟合, 从而得到 v_K 与 t_K 的函数关系式。同时, 由于不同时段道路的车流量不同, 对应的道路通行状况也有所差异, 因此快递员实际行驶速度会受到上述因素的影响。此外在每日的工作过程中, 快递员的疲劳程度随着工作时间的延长而增加, 行驶速度也随之逐渐下降。因此, 快递员的实际行驶速度会根据当前时段道路通行状况和快递员当前工作时间长短而进行调整。

2.3 模型构建

本研究建立的优化模型如下:

$$\max G = (100 - \epsilon_1(t_{E(j)} - t)) + 100 + (100 - \epsilon_2(t - t_{L(j)})), \quad (1)$$

$$\min L = C_{tc} + C_R + \sum_{j \in R} (C_{p(j)}(1 - H_j)), \quad (2)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^K \sum_{i=1, i \neq j}^K (\sqrt{S_i^2 - S_j^2} \times X_K) \leq \partial, \quad (3)$$

$$\sum_{P_i \in c_j} \text{dist}(P_i, V_j) \times \frac{1}{v_K} + \sum_{j \in p_i} W_j \times \eta_j \leq \gamma, i, k = 1, \dots, h, \quad (4)$$

$$\sum_{K \in M} X_K \geq 1, \quad (5)$$

$$\sum_{K \in M} Q_K \times X_K \geq \sum_{j \in R} q_j, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^h X_j^K = 1, K = 1, \dots, h, \quad (7)$$

$$X_{s,i}^K - \sum_{i \in R, j \in R} X_{ij}^K = 1, K = 1, \dots, h, \quad (8)$$

$$\sum_{K=1}^h X_j^K = \begin{cases} 1, j \in R \\ h, \text{否则} \end{cases}, \quad (9)$$

$$X_j^K = \begin{cases} 1, \text{第 } K \text{ 个快递员向派送点 } j \text{ 配送} \\ 0, \text{否则} \end{cases}, \quad (10)$$

$$H_j = \begin{cases} 1, \text{派送点 } j \text{ 的时间窗可以满足} \\ 0, \text{否则} \end{cases}, j \in R, \quad (11)$$

$$X_k = \begin{cases} 1, \text{选择第 } K \text{ 个快递员} \\ 0, \text{否则} \end{cases}, \quad (12)$$

$$\eta_j \in (0, 1). \quad (13)$$

其中:式(1)表示追求最大的顾客满意度 G ;式(2)表示目标函数 L 由运输成本、配送成本和惩罚成本组成;式(3)中 ϑ 为容忍度,即第 i 个、第 j 个快递员每日工作量的差值上限, $S_j = \sum_{p_i \in \epsilon_j} \text{dist}(P_i, V_j) \times \alpha_{ij} \times \omega$ 表示空间距离的

修正值, α_{ij} 和 ω 为修正系数, $\sum_{j=1}^k \sum_{i=1, i \neq j}^k \sqrt{S_i^2 - S_j^2} \times X_k$ 控制在 ϑ 以内,保证各快递员的工作量相对平衡;式(4)表示快递员每日工作量不能超过自身上限,其中 W_j 为第 j 个派送点的等待时间, η_j 为第 j 个派送点中用户取件影响因素的加权系数, γ 为工作时间上限;式(5)表示配送站至少需要 1 个快递员工作;式(6)表示所使用快递员的配送量需要大于派送点的需求量, Q_K 为第 K 个快递员装载货物的上限件数;式(7)表示 1 个派送点只能由 1 个快递员配送;式(8)表示采取遍历环形配送方式,其中 $X_{s,i}^K$ 代表第 K 个快递员是否从配送中心到第 i 个派送点;式(9)~(13)表示满足的条件。

3 模型求解

在本文构建的模型中,优化其中一个目标会影响到另外一个目标的求解。目前,相关算法有粒子群算法^[10]、SPEA2 算法^[11]、IBEA 算法^[12]等。Schaffer^[13]首次在多目标优化领域引入遗传算法,之后多目标遗传算法成为了热点,典型的该类算法有 NSGA^[14]和 NSGA-II^[15]。其中,NSGA-II 算法采用快速的非支配排序降低算法的复杂度,使之由 $O(MN^3)$ 下降到 $O(MN^2)$;同时还采用拥挤度比较算子来避免人为输入参数的不确定性,对 NSGA 算法进行了改进。

NSGA-II 算法是一种建立在 Pareto 最优解理论上的多目标智能优化算法,具有运行速度快和解集收敛性好的优点。假设 m_i 为第 i 代种群,而 m_0 为初始种群,种群中个体数为 N , p_i 是种群通过遗传算法产生的第 i 代子代,数目为 N ,具体算法描述如下:

步骤 1,随机产生初始代种群 m_0 ,个体数为 N ;

步骤 2,通过交叉算子与遗传算子得到子代 P_0 ;

步骤 3,合并种群 m_0 与 p_0 ,得到个数为 $2N$ 的种群;

步骤 4,通过快速非支配排序算法求得种群中每个个体的适应度函数;

步骤 5,通过拥挤比较算子执行自然选择过程。同时,在选择过程中引入精英机制,保留排在前面的非支配曲面。具体来说,首先保留最优非支配曲面的所有解,如果个数小于 N ,则继续保留第 2 非支配曲面的解,以此类推,直至无法保留此非支配曲面的所有解,即保留总数大于 N ,则运用拥挤比较算子选攻适应度函数值更优的解,直至总数达到 N ,完成选择过程;

步骤 6,得到个体数为 N 的下一代种群 m_1 ;

步骤 7,按照模型的规定进化次数重复执行步骤 2~6,直至完成算法。

模型求解具体步骤如下。

1) 编码与解码。单个染色体(I_c)设计为 2 个部分,由 I_{c1} 和 I_{c2} 组成,如图 1 所示。 I_{c1} 由 a 个基因组成,表示总共 a 个派送点分别由快递员 $I_{c1}^1, I_{c1}^2, \dots, I_{c1}^a$ 派送; I_{c2} 与 I_{c1} 相对应,表示 I_{c1} 中快递员对自己分配到的派送

点进行派送的优先顺序。以 $I_c = \{(1, 2, 5, 2, 1, 5, 1), (5, 6, 2, 3, 1, 4, 7)\}$ 为例,该例表示在当前7个派送点的派送任务中只需要编号为1、2、5号的3名快递员,其中:1号快递员负责1、5、7号派送点,派送路径为 $0 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow 0$ (0代表配送中心),其余快递员负责的快递点编号和路径情况以此类推。

$$I_c = \underbrace{(I_{c1}^1, I_{c1}^2, I_{c1}^3, \dots, I_{c1}^a)}_{I_{c1}}, \underbrace{(I_{c2}^1, I_{c2}^2, I_{c2}^3, \dots, I_{c2}^a)}_{I_{c2}}$$

图1 个体编码方式

Fig. 1 Individual coding method

2) 种群初始化。初始的种群由随机产生的个体组成,这样不容易陷入局部最优解。 I_{c1} 由 a 个随机数组成,取值为 $[1, a]$, I_{c2} 由1到 a 个数随机排列组成,避免造成路径重复现象。

3) 交叉和变异^[16]。 I_{c1} 采取多点位随机交叉, I_{c2} 采取对随机选择的相同数值位置进行交叉,防止相同数值出现,如图2、图3所示。 I_{c1} 采取多点位随机变异, I_{c2} 采取随机选择多个交叉点位,并对已选择的点位数据重新排序再依次放回的变异方式,如图4、图5所示。

父代1: 1 2 5 2 1 5 1
 父代2: 4 3 1 2 4 1 2
 ↓ 多点位随机交叉
 子代1: 1 3 5 2 4 5 1
 子代2: 4 2 1 2 1 1 2

图2 I_{c1} 交叉过程Fig. 2 I_{c1} crossover process

父代1: 5 6 2 3 1 4 7
 父代2: 1 3 4 2 5 7 6
 ↓ 多点位随机交叉
 子代1: 5 1 2 3 6 4 7
 子代2: 6 3 4 2 5 7 1

图3 I_{c2} 交叉过程Fig. 3 I_{c2} crossover process

父代: 1 2 5 2 1 5 1
 ↓ 多点位随机变异
 子代: 1 2 5 1 1 3 1

图4 I_{c1} 变异过程Fig. 4 I_{c1} variation process

父代: 5 6 2 3 1 4 7
 ↓ 随机选择多个交叉点位
 ↓ 对已选择点位数据重新排序再依次放回
 子代: 5 1 2 3 4 6 7

图5 I_{c2} 变异过程Fig. 5 I_{c2} variation process

4) 选择。对群体 p_0 进行非支配排序,初始化每个个体的 rank 值,每个解被分配1个和非支配层级对应的适应度值,并用下式计算拥挤距离(d_i):

$$d_i = \frac{1}{2} \left(\frac{|f_1^{i+1} - f_1^{i-1}|}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} + \frac{|f_2^{i+1} - f_2^{i-1}|}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \right),$$

其中: f_1^{i+1} 和 f_2^{i+1} 分别表示 $i+1$ 点的第1个目标函数的函数值和第2个目标函数的函数值; f_1^{i-1} 和 f_2^{i-1} 分别表示 $i-1$ 点的第1个目标函数的函数值和第2个目标函数的函数值; $f_1^{\max} - f_1^{\min}$ 表示第1个目标函数的最大值与最小值之差; $f_2^{\max} - f_2^{\min}$ 表示第2个目标函数的最大值与最小值之差。

5) 终止条件。本文预先设置终止算法的迭代次数,在循环达到预设的迭代次数时算法终止,从而控制算法在运行过程中的精确度和时间。

4 实例分析

以西安市某区域为实验对象,派送范围以咸宁中路、东二环路、幸福林带和建工路所围成的区域,面积约为 1.44 km^2 (图6)。

4.1 数据描述

4.1.1 派送点信息

如表1显示了某物流公司在2021年9月10日的派件情况(当日派件量为该月单日派件量的最大值),该公司共派出5名快递员。经过调研发现,派送点所在居住区的人口结构、面积、功能等均会对快递员等待时间产生不同结果。



图 6 西安新城区某区域派送点分布

Fig. 6 Distribution of delivery points in a certain area of Xi'an new urban area

表 1 2021 年 9 月 10 日派送点信息

Tab. 1 Delivery point information in September 10th, 2021

序号	名称	类别	经度/(°)	纬度/(°)	派件量/件	人口结构对等待 时间影响程度/%	等待时间/h
0	配送中心		109.009 162	34.245 186			
1	普天小区	居民区	109.002 337	34.249 809	21	0	0.4
2	陕钢家属院	居民区	109.005 180	34.250 208	25	5	0.5
3	东新世纪广场	商场	109.003 603	34.248 700	4	—5	18
4	信号场社区	居民区	108.999 993	34.246 935	28	5	45
5	西安铁路信号场家属区	居民区	108.997 745	34.245 645	16	5	33
6	多客快捷酒店	酒店	108.997 579	34.244 279	17	—5	21
7	金海岸酒楼	酒店	108.998 786	34.243 476	19	0	24
8	今天商务宾馆	酒店	109.002 525	34.244 802	21	—5	25
9	电气工程学院	学校	109.003 678	34.246 594	32	—10	62
10	西安铁路高级技工学校	学校	109.003 995	34.243 982	29	—10	56
11	信步闲庭小区	居民区	109.005 813	34.247 157	28	5	47
12	西安仲德骨科医院	医院	109.005 551	34.246 088	23	—5	40
13	东新城市花园	居民区	109.005 513	34.244 164	21	5	40
14	105 街坊	居民区	109.009 241	34.250 163	26	10	45
15	101 街坊	居民区	109.013 147	34.250 252	17	10	35
16	106 街坊	居民区	109.008 361	34.248 376	22	10	41
17	东方中学	学校	109.012 851	34.248 407	18	—10	31
18	104 街坊	居民区	109.012 823	34.244 191	30	10	52
19	雅苑东方	居民区	109.007 381	34.243 930	15	0	0.3

4.1.2 从业时间与行驶速度关系

根据对 89 名快递员的从业时间(T_K)和行驶速度(V_K)进行调查,得到表 2 的数据,通过 Eureka 软件对数据进行拟合,得到函数关系式如下:

$$V_K=20.3+2.29\times T_K。$$

4.1.3 配送中心和快递员情况

快递员工资参考西安某快递公司,基础工资折合为每日 150 元,每单提成为 1.5 元,快递员行驶速度见表 3。每个快递员所能携带快递数量上限为 200 件。配送中心每日的平均成本为 4 500 元。

4.1.4 时段和工作时间对行驶速度影响程度

根据对配送区域的道路时段车流量的调查,不同时间段对快递员行驶速度影响不同,其中早高峰、晚高峰对速度影响最大。具体情况见表 4 所示。随着工作时间的增加,快递员工作效率有所降低,但变化不大。根据调查发现,快递员在下班前的行驶速度比刚开始上班的速度仅降低 10%;为方便研究,本文将行驶速度按每小时降低 1.3% 进行处理,快递员每日工作 8 h,因此工作结束前行驶速度降低了 9.94%,符合实际情况。

表 2 快递员从业时间与行驶速度数据调研数据
Tab. 2 Survey data on the working time and driving speed of couriers

快递员 序号	从业 时间/a	行驶速度/ (km·h ⁻¹)	快递员 序号	从业 时间/a	行驶速度/ (km·h ⁻¹)	快递员 序号	从业 时间/a	行驶速度/ (km·h ⁻¹)	快递员 序号	从业 时间/a	行驶速度/ (km·h ⁻¹)
1	0.8	22	24	1.1	24	47	1.9	25	70	3	27
2	0.9	22	25	1.4	25	48	1.7	26	71	3.6	28
3	0.8	21	26	1.1	24	49	2	26	72	3.7	28
4	0.6	23	27	1.1	24	50	2	25	73	3.4	28
5	0.6	23	28	1.5	25	51	2.2	26	74	3.1	27
6	0.7	22	29	1.1	25	52	2.3	26	75	3.2	27
7	1	23	30	1.3	24	53	2.1	26	76	3.8	28
8	0.9	22	31	1.4	25	54	2.4	26	77	3.2	27
9	0.6	23	32	1.5	25	55	2.5	26	78	3.9	28
10	0.6	23	33	1.4	24	56	2.4	26	79	3.5	28
11	1	23	34	1.4	24	57	2.1	26	80	3.9	28
12	1	23	35	1.2	24	58	2.5	26	81	3.4	28
13	0.9	22	36	1.5	25	59	2.4	26	82	3.5	27
14	0.8	23	37	1.5	24	60	2.5	26	83	3.5	28
15	0.6	23	38	1.3	25	61	2.7	27	84	3.6	27
16	0.8	23	39	1.1	24	62	2.8	28	85	3.6	28
17	0.5	22	40	1.6	25	63	2.6	28	86	3.9	28
18	0.9	22	41	2	26	64	2.7	28	87	3.1	28
19	0.8	22	42	2	25	65	2.8	29	88	3.4	28
20	1.4	25	43	2	25	66	2.8	28	89	3.1	27
21	1.2	25	44	1.7	25	67	3	27			
22	1.4	25	45	1.8	25	68	2.9	27			
23	1.4	24	46	1.9	25	69	2.8	27			

表 3 用人成本及快递员派送量
Tab. 3 Employment cost and delivery volume of couriers

快递员 序号	从业时间/ a	行驶速度/ (km·h ⁻¹)	快递员 序号	从业时间/ a	行驶速度/ (km·h ⁻¹)	快递员 序号	从业时间/ a	行驶速度/ (km·h ⁻¹)
1	2	25	3	2	25	5	3	27
2	4	30	4	1	23			

表 4 不同时段对快递员速度影响

Tab. 4 Influence of different time periods on courier speed

时段/min	影响程度/%	时段/min	影响程度/%	时段/min	影响程度/%	时段/min	影响程度/%
[0,60]	5	(120,180]	2	(240,300]	4	(360,420]	3
(60,120]	3	(180,240]	4	(300,360]	2	(420,480]	5

4.1.5 时间窗的设定

客户满意度的时间窗综合考虑到派送点以往出现投诉的时间和快递员到达派送点需要等待用户取货的时间为参考,作为各个派送点时间窗上下限。各个派送点时间窗限制和服务时间如表 5 所示。

4.1.6 参数值的确定

从配送中心到派送点的单位运输成本等参数如表 6 所示。

4.2 结果分析

种群规模设置为 200 个,交叉概率设为 2%,变异概率设为 0.5%,迭代次数为 300 次。多目标问题的目标间通常互相冲突,因此最终结果为 Pareto 最优解集,即每个点对应的成本和满意度都是最优的,如图 7 所示。此外,表 7 为以成本最低和以满意度最高的 2 种结果所对应的快递员工作安排,图 8、图 9 分别为成本最低的快递员工作路线图及迭代曲线,可以看出 NSGA-II 算法运算结果得到了很好的收敛。

表 5 派送点时间窗限制和服务时间

Tab. 5 Dispatch point time window limit and service time

序号	名称	时间窗 上限/h	时间窗 下限/h	服务 时间/h	序号	名称	时间窗 上限/h	时间窗 下限/h	服务 时间/h
1	普天小区	6	8	2	11	信步闲庭小区	6	8	2
2	陕钢家属院	4	8	4	12	西安仲德骨科医院	0	8	8
3	东新世纪广场	6	8	2	13	东新城市花园	6	8	2
4	信号场社区	4	8	4	14	105 街坊	4	8	4
5	西安铁路信号场家属区	4	8	4	15	101 街坊	4	8	4
6	多客快捷酒店	0	6	6	16	106 街坊	4	8	4
7	金海岸酒楼	0	8	8	17	东方中学	0	8	8
8	今天商务宾馆	0	6	6	18	104 街坊	4	8	4
9	电气工程学院	0	8	8	19	雅苑东方	6	8	2
10	西安铁路高级技工学校	0	8	8					

表 6 各参数数值

Tab. 6 Value of each parameter

参数	符号	数值	单位
每件快递提成	C_k	1.5	元·件 ⁻¹
惩罚系数(机会)	c_1	0.5	元·件 ⁻¹ ·min ⁻¹
惩罚系数(惩罚)	c_2	1	元·件 ⁻¹ ·min ⁻¹
快递员派送量上限	R_k	150	件
单位运输成本	C_j	1.5	元·km ⁻¹
可调度的快递员数量	n	5	人
最大工作时间	ϵ	8	h·d ⁻¹

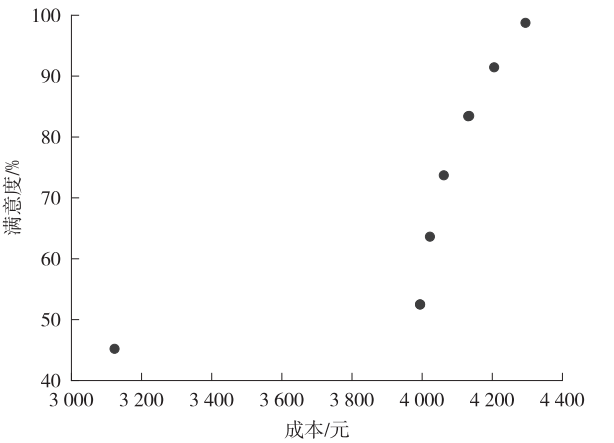


图 7 Pareto 最优解集

Fig. 7 Pareto optimal solution set

表 7 快递员工作安排
Tab. 7 Work arrangement of courier

结果	快递员序号	路径安排	成本/元	满意度/%
成本最低	1	0→4→12→14→11→9→5→0	3 123.26	98.75
	4	0→6→10→7→3→1→2→0		
	5	0→13→16→15→17→19→18→8→0		
满意度最高	1	0→1→5→2→0	4 037.48	45.20
	2	0→17→10→9→8→0		
	3	0→7→11→3→0		
	5	0→4→14→18→19→16→13→15→12→6→0		

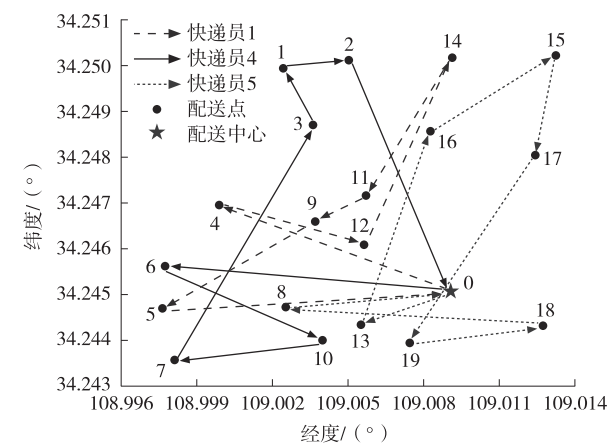


图 8 快递员工作路线

Fig. 8 Route of courier

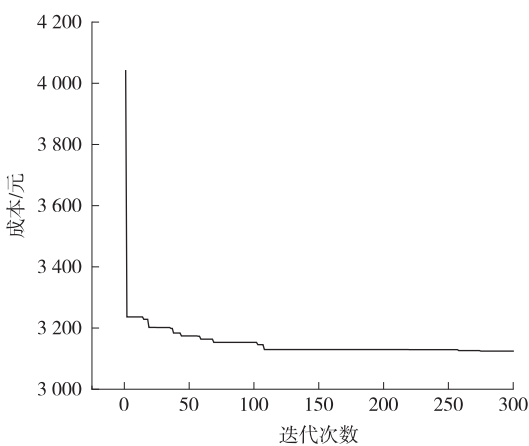


图 9 基于 NSGA-Ⅱ 算法求解模型成本迭代曲线

Fig. 9 Solving model cost iteration curve based on NSGA-Ⅱ algorithm

5 结束语

本文考虑到顾客满意度和成本的影响,构建了物流末端快递人员配置的多目标模型,并对选中的快递员进行派送点安排和路径规划,使用 NSGA-Ⅱ 算法对模型进行求解,最后通过实例证实模型的可靠性。实例分析结果表明:在满意度达到 98.75%的情况下,总成本仍低于实际成本约 10.28%;最终仅使用 4 名快递员便可完成工作,从而减少配送中心 1 名快递员数量,为物流企业减少了末端人员成本并提高了工作效率。本文构建的模型为物流企业快递员配置提供了一定参考价值,在接下来得研究中,还需要继续考虑在动态交通情况和实际道路情况下的解决方案。

参考文献:

[1] 宋叶,宋英华,刘丹,等. 基于时间满意度和胜任能力的地震应急救援队伍指派模型[J]. 中国安全科学学报,2018,28(8):180-185.
SONG Y, SONG Y H, LIU D, et al. Earthquake emergency rescue teams assignment model based on time satisfaction and competence[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(8): 180-185.
[2] SONG B D, KO Y D. A vehicle routing problem of both refrigerated- and general-type vehicles for perishable food products delivery[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 169: 61-71.
[3] XU Z T, ELOMRI A, POKHAREL S, et al. A model for capacitated green vehicle routing problem with the time- varying vehicle speed and soft time windows[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 137: 106011.
[4] AMORIM P, ALMADA-LOBO B. The impact of food perishability issues in the vehicle routing problem[J]. Computers & Industrial Engineering, 2014, 67: 223-233.
[5] 韩世莲. 基于客户动态需求属性的物流配送线路聚类优化[J]. 系统管理学报, 2016, 25(6): 1146-1153.

- HAN S L. Distribution routes clustering and optimization based on customer dynamical demand attributes[J]. Journal of Systems & Management, 2016, 25(6): 1146-1153.
- [6] 李波, 邱红艳. 基于双层模糊聚类的多车场车辆路径遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(5): 261-264.
- LI B, QIU H Y. Two-stage fuzzy clustering genetic algorithm for multiple-depot vehicle routing problem[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(5): 261-264.
- [7] LIU S C, TANG K, YAO X. Memetic search for vehicle routing with simultaneous pickup-delivery and time windows[J]. Swarm and Evolutionary Computation, 2021, 66: 100927.
- [8] QURESHI A G, TANIGUCHI E, YAMADA T. An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows[J]. Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review, 2009, 45(6): 960-977.
- [9] SCHMIDT M, LIPSON H. Distilling free-form natural laws from experimental data[J]. Science, 2009, 324(5923): 81-85.
- [10] 戴永彬, 陈海涛. 一种混合引导的偏好多目标粒子群优化算法[J]. 控制工程, 2019, 26(3): 549-554.
- DAI Y B, CHEN H T. A preference multi-objective particle swarm optimization algorithm by hybrid guidance[J]. Control Engineering of China, 2019, 26(3): 549-554.
- [11] 王康, 张树生, 何卫平, 等. 基于 SPEA2 的复杂机械产品选择装配方法[J]. 上海交通大学学报, 2016, 50(7): 1047-1053.
- WANG K, ZHANG S S, WANG M W, et al. Selective assembly of complicated mechanical product based on SPEA2[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2016, 50(7): 1047-1053.
- [12] 王学武, 魏建斌, 周昕, 等. 一种基于超体积指标的多目标进化算法[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2020, 46(6): 780-791.
- WANG X W, WEI J B, ZHOU X, et al. Hypervolume-based multi-objective evolutionary algorithm[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2020, 46(6): 780-791.
- [13] SCHAFFER J D. Some experiments in machine learning using vector evaluated genetic algorithms[D]. Nashville: Vanderbilt University, 1985.
- [14] 关志华. 非支配排序遗传算法(NSGA)算子分析[J]. 管理工程学报, 2004, 18(1): 56-60.
- GUAN Z H. Operators analysing of the nondominated sorting genetic algorithm (NSGA)[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2004, 18(1): 56-60.
- [15] DEB K, PRATAP A, AGARWAL S, et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197.
- [16] 张应辉, 曾庆华, 王志伟. 遗传算法的混合算子策略[J]. 计算机科学, 2007, 34(4): 222-224.
- ZHANG Y H, ZENG H Q, WANG Z W. The genetic algorithm based on mixed genetic operators[J]. Computer Science, 2007, 34(4): 222-224.

Special Topics on Operations Research and Modern Intelligent Transportation

Multi-Objective Decision in Making of Logistics Terminal Personnel Configuration Based on NSGA-II

LI Hanzhang¹, MA Jian²

(1. College of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064;

2. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Research on the configuration of courier personnel in the logistics terminal distribution process that considers both customer satisfaction and cost. Taking into account satisfaction and couriers, a personnel configuration plan was proposed to minimize the total cost of personnel configuration, penalty cost, and transportation cost, and to maximize customer satisfaction. The NSGA-II algorithm was used to solve the logistics terminal distribution problem on Python software, and a case study was conducted. The multi-objective optimization model for logistics terminal personnel configuration and path optimization established has achieved the optimization of personnel configuration, customer satisfaction and cost, and can reduce personnel costs while ensuring customer satisfaction, providing a theoretical basis for the multi-objective optimization problem of logistics terminal express personnel configuration.

Keywords: staffing optimization; NSGA-II; multi-objective optimization; customer satisfaction; route optimization

(责任编辑 方 兴)