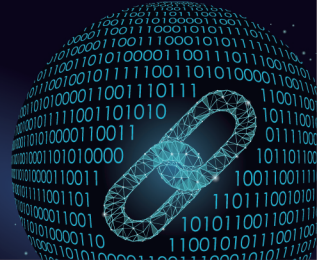




中国科技期刊卓越行动计划项目入选期刊

控制与决策

CONTROL AND DECISION



抢派结合模式下外卖配送问题研究

冯爱兰, 周映雪, 龚艳茹, 杨乐昌

引用本文:

冯爱兰, 周映雪, 龚艳茹, 杨乐昌. 抢派结合模式下外卖配送问题研究[J]. 控制与决策, 2024, 39(9): 3135–3142.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2022.1420>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于时空聚类求解带容积约束的选址-路径问题

Time-space cluster based location-routing problem with capacitate constraints

控制与决策. 2021, 36(10): 2504–2510 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0073>

现货市场补充作用下基于总量折扣的运输服务采购问题研究

Transportation service procurement based on total discount under complementary effect of spot market

控制与决策. 2021, 36(11): 2794–2802 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0274>

车辆与无人机组合配送研究综述

Review on vehicle-UAV combined delivery problem

控制与决策. 2021, 36(10): 2313–2327 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.1315>

基于粒子群算法的满载需求可拆分车辆路径规划

Split vehicle route planning with full load demand based on particle swarm optimization

控制与决策. 2021, 36(6): 1397–1406 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1323>

考虑卸载顺序约束的成品油二次配送车辆路径问题

Vehicle routing problem of refined oil secondary distribution considering unloading sequence constraints

控制与决策. 2020, 35(12): 2999–3005 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1756>

抢派结合模式下外卖配送问题研究

冯爱兰^{1†}, 周映雪², 龚艳茹³, 杨乐昌¹

(1. 北京科技大学机械工程学院, 北京 100083; 2. 中国机械科学研究总院集团机科发展科技股份有限公司, 北京 100044; 3. 北京科技大学天津学院智能制造学院, 天津 301830)

摘要: 目前, 外卖平台持续地提升顾客服务质量和降低成本, 忽视了骑手的权益保障. 针对骑手困境, 引入骑手奖惩激励机制, 建立以平台成本、顾客满意度和骑手激励收益为目标的外卖订单分配模型. 基于抢派结合的订单分配模式, 考虑配送顺路程度、配送距离和配送能力, 构造效用函数来描述骑手自主抢单对订单的偏好及匹配度, 利用 Logit 离散选择模型实现骑手实时抢单决策; 并设计自适应邻域搜索算法, 实现平台派单分配和骑手路径优化. 算例实验表明, 与派单模式相比, 抢派结合模式下配送方案能有效降低配送成本, 提高顾客满意度和骑手收益. 研究结果拓展了外卖订单分配模式等理论研究, 可为外卖行业健康发展提供一定的参考.

关键词: 抢派结合; 外卖配送; 奖惩激励机制; 自适应邻域搜索; 实时抢单; 效用函数

中图分类号: U121; F252 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2022.1420

引用格式: 冯爱兰, 周映雪, 龚艳茹, 等. 抢派结合模式下外卖配送问题研究[J]. 控制与决策, 2024, 39(9): 3135-3142.

Research on takeout distribution based on combination mode of order dispatching and grabbing

FENG Ai-lan^{1†}, ZHOU Ying-xue², GONG Yan-ru³, YANG Le-chang¹

(1. School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Mechanical Development Technology Co., Ltd, China General Academy of Mechanical Sciences Group, Beijing 100044, China; 3. Department of Intelligent Manufacturing, Tianjin College of University of Science and Technology Beijing, Tianjin 301830, China)

Abstract: The takeout platform continues to improve the quality of customer services and reduce costs while ignoring the interests of riders. Considering the dilemma of riders, the incentive mechanism of reward and punishment is introduced, and the takeout order allocation model is established with the platform cost, customer satisfaction and rider incentive income as the objective. Based on the order allocation mode of combination of dispatching and grabbing, considering the convenience, distance and capability, the utility function is constructed to describe the preference and matching degree when grabbing order autonomously, and the Logit discrete selection model is used to simulate order grabbing behavior. The adaptive variable neighborhood search algorithm is designed to implement the platform dispatch allocation and path optimization. The experimental results show that the delivery scheme based on the order allocation mode of order-dispatching and grabbing effectively reduces the overall distribution cost, improve customer satisfaction and rider revenue compared with the mode of order-dispatching. The research results extend the theoretical research on the takeout order allocation mode, and provide reference for the benign development of takeout industry.

Keywords: combination of dispatching and grabbing; takeout distribution; incentive mechanism; adaptive VNS; order-grabbing in real time; utility function

0 引言

目前, 线上到线下 (online to offline, O2O) 外卖行业已进入成熟稳健期, 外卖平台为提升用户体验度、降低成本, 实行严格的惩罚制度, 外卖骑手待遇和安

全问题日益突出. 针对骑手现状, 国家多部门要求放宽考核制度, 保障骑手的基本权益^[1]. O2O 平台、骑手和顾客利益相互影响, 各自冲突, 优化外卖订单分配与配送路径以保证顾客服务质量、平台配送效率和

收稿日期: 2022-08-07; 录用日期: 2023-09-21.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52005032).

责任编委: 梁樑.

[†]通讯作者. E-mail: fengailan@ustb.edu.cn.

骑手权益是促进外卖行业良性发展的需要。

外卖订单的时效性和动态性对订单履行过程提出了较高的要求,骑手抢单模式下由骑手控制外卖配送体验,派单模式下由平台派单规则决定顾客体验。而抢派结合模式综合两者优势,既考虑算法公平性和普适性等特点,系统全局派单决策,避免骑手盲目抢单、偏远低价订单无人去抢;同时考虑骑手配送经验,允许自主选择订单,缓解派单模式复杂、调度周期长以及强制派单等情况,保障配送效率,提高骑手工作积极性。

目前,针对外卖订单分配和骑手配送路径优化的研究较为丰富。针对O2O行业订单分配模式问题,邓娜等^[2]定性总结了各种外卖订单分配模式的优缺点及应用场景;杜子超等^[3]有机结合众包抢单和派单配送模式,采用蚁群-量子粒子群混合优化算法分两阶段先派后抢求解众包车辆调度问题,并通过实验验证了从距离和成本角度“抢/派单”配送模式相较于传统配送模式的优势;杨东林等^[4]研究了电商最后一公里配送问题中贪婪抢单、区域聚类抢单和基于禁忌搜索算法的中央配单方式对服务质量和系统效率的影响;Jin等^[5]针对O2O即时配送问题,考虑订单规模、配送距离等因素,提出了随机派单、平台实时派单和延迟派单的调度策略,提高了分配效率,降低了资源浪费;戴韬等^[6]基于众包配送特点,设计了基于贪心策略的订单评分机制,利用改进遗传算法求解众包模式下订单选择与订单执行路径问题。

外卖订单配送问题具有多骑手、时间窗约束、先取后送和开环等特征,实质上是带时间窗的多车场取送货车辆路径问题(multi-depot pickup and delivery vehicle routing problem with time window, MDPDVRPTW),已有研究主要从平台或顾客的角度出发设计启发式算法,求解外卖配送问题。邱金红等^[7]设计了多目标进化优化算法,求解考虑配送收益均衡的绿色车辆路径规划问题;徐倩等^[8]基于外卖订单大规模和即时性的特点,运用自适应大邻域搜索算法求解以平台成本为目标的车辆路径问题;Ulmer等^[9]以订单延迟配送时间最少为目标,设计了订单预分配策略并采用马尔科夫决策过程求解外卖订单分配与路径规划问题;张力娅等^[10]考虑外卖订单优先级,从平台和顾客角度出发构建了带时间窗的取送货车辆路径模型,并设计了两阶段动态调度策略和改进迭代局部搜索算法求解问题;李桃迎等^[11]以配送成本和时间惩罚成本增量最小为目标,利用 k -means对“商家-客户”聚类,设计了遗传算法优化配送路径。此

外,已有文献从骑手角度出发引入奖惩激励机制,提升工作积极性。慕静等^[12]考虑订单距离等因素,以配送员激励收益最大和惩罚成本最小为目标优化众包物流运力调度;余海燕等^[13]提出了固定额度、线性、发红包、打赏4种激励机制,比较不同激励机制和调度策略下配送员收益差异,为外卖平台应用激励机制提供了决策支持。

综上所述,相关文献主要从平台和顾客角度设计智能算法,研究系统派单模式下外卖配送问题,而未考虑骑手配送经验和状态等因素对骑手自主抢单的影响。实际上,外卖配送过程中既有抢单也有派单行为,而目前对同时考虑骑手抢单和平台派单的抢派结合订单分配模式研究较少,且对骑手利益关注不足。因此,本文兼顾外卖平台、顾客和骑手三方利益,考虑订单距离、配送紧急程度和安全配送等因素,引入骑手奖惩激励机制,建立以平台配送成本、顾客满意度和骑手激励收益为目标的外卖订单分配模型,设计自适应邻域搜索算法,求解平台派单订单分配和路径优化问题,构造抢单效用函数以描述骑手对订单的偏好及匹配程度,基于Logit离散选择模型模拟骑手自主抢单决策,实现抢派结合模式下外卖订单配送优化。

1 问题描述与建模

1.1 问题描述

本文研究的问题可描述为:O2O外卖配送场景下基于抢派结合的订单分配模式,平台利用派单算法确定订单分配与配送路线方案,配送过程中骑手根据配送状态及自身偏好实时抢单,骑手抢单后优化配送路径,完成抢派单任务。抢派结合模式下如何设计平台派单订单分配与路径优化算法,如何体现骑手抢单决策过程,使得外卖配送过程平台配送成本最小、顾客满意度和骑手激励收益最大,是本文研究的重点。

1.2 模型假设

- 假设1: 骑手以恒定速度进行配送服务;
- 假设2: 配送容量相同且无行驶最大里程约束;
- 假设3: 骑手取餐或送餐时服务时间恒定;
- 假设4: 商家正常出餐。

1.3 符号说明

模型涉及到的参数及变量定义如表1所示。

1.4 数学模型

为兼顾外卖平台、顾客和骑手的利益,本文引入骑手奖惩激励机制,构建外卖订单分配模型以实现多主体利益共享共赢。

表1 模型符号说明

符号	含义说明	符号	含义说明
I	外卖订单集合	$[a_i, b_i]$	平台给出的订单 i 预计送达时间窗
i_p	订单 i 的取餐点 p (商家)	$[et_i, lt_i]$	订单 i 的最晚送达时间窗
i_d	订单 i 的取餐点 d (顾客)	$[et_i, alt_i]$	最低满意度 s_0 下订单 i 可接受送达时间窗
N	订单的取餐点和送餐点集合	v_0	骑手平均配送速度/(km/h)
K	骑手集合	$\theta_1, \theta_2, \theta_3$	订单超时程度
d_{uv}	节点 u, v 之间的距离	c_d	单位距离配送成本/(rmb/km)
t_{uk}	骑手 k 到达节点 u 处的时刻	c_{ik}	骑手 k 配送订单 i 的超时惩罚成本/rmb
T_u	节点 u 处的服务时间	c_1, c_2	不同超时区间下订单惩罚系数
s_0	顾客可接受最低满意度	R_k	骑手 k 配送过程总激励收益/rmb
Q_k	骑手 k 允许最大配载量	x_{uvk}	骑手 k 从节点 u 前往 v ($u = v$), $x_{uvk} = 1$ 或 0
L_k	骑手 k 到达节点 u 处的配载量	y_{ik}	骑手 k 负责配送订单 i , $y_{ik} = 1$ 或 0
q_{iu}	订单 i 在节点 u 处的取餐或送餐量, 取餐 $q_0 > 0$, 送餐 $q_0 < 0$		

1.4.1 骑手超时惩罚函数

外卖订单送达时间影响顾客满意度以及骑手和平台成本,为缓解骑手配送超时风险,将精准的预计送达时刻调整为模糊的预计送达时间窗. 顾客满意度 s 与订单送达时刻 t_i 的函数关系如图1所示. 订单 i 在预计时间窗 $[a_i, b_i]$ 内送达顾客满意度为1,根据实际情况骑手提前送达时顾客满意度仍为1,送达时间在 $[et_i, lt_i]$ 之外时顾客满意度为0,考虑订单的时效性,顾客对于订单送达时间存在最低限定满意度 s_0 .

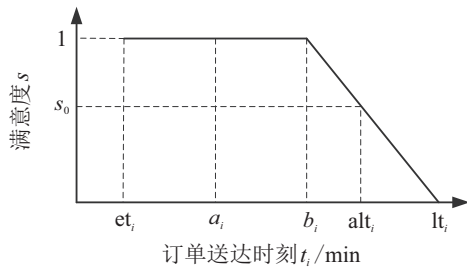


图1 顾客满意度函数

在对应的可接受送达时间窗 $[et_i, alt_i]$ 内划分不同程度的超时率区间,构建弹性超时惩罚阶梯函数,骑手 k 配送订单 i 超时率 θ 与惩罚成本函数如下:

$$c_{ik} = \begin{cases} 0, & 0 \leq \theta < \theta_1; \\ c_1, & \theta_1 \leq \theta < \theta_2; \\ c_2, & \theta_2 \leq \theta < \theta_3. \end{cases} \quad (1)$$

1.4.2 骑手激励收益函数

为调动骑手工作积极性,构建基于服务质量、配送效率和安全保障的多属性骑手绩效奖励体系,引入包含骑手订单完成量和订单配送时间以及安全配送的激励函数,促进骑手提高接单量,提升订单配送效率,督促骑手配送过程遵守交通规则. 骑手激励奖励函数如下所示:

$$R_k = r_n o_k + r_t y_{ik} + r_p e^{-\mu \frac{d_{uvk}/(h_i - t_{uk})}{v_0}} t_{uk} x_{uvk}. \quad (2)$$

其中: r_n 为订单量奖励系数, o_k 为骑手配送的订单量, r_t 为骑手在预计时间内准时配送订单 i 的奖励系数, r_p 为骑手配送过程遵守交规奖励系数, μ 为骑手违章与配送速度关系系数. 以骑手实际配送速度预测违章可能性,骑手当前位置到下一节点的距离与当前时刻到下一节点的预计送达时间之差的比值表示实际速度,实际速度与模型平均速度比值越大,骑手违章可能性越大,激励越少.

1.4.3 模型构建

基于问题描述、假设和参数定义,建立以配送成本最小、顾客满意度和骑手激励收益最大的多目标 MDPDVRPTW 模型如下:

$$\min Z_1 = \sum_{k \in K} \sum_{u \in N} \sum_{v \in N} x_{uvk} d_{uv} c_d; \quad (3)$$

$$\min Z_2 = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} c_{ik} y_{ik}; \quad (4)$$

$$\max Z_3 = \sum_{k \in K} R_k. \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1, \forall i \in I; \quad (6)$$

$$\sum_{u \in N} x_{i_p u k} = 1, \forall i \in I, k \in K; \quad (7)$$

$$\sum_{u \in N} x_{u i_d k} = 1, \forall i \in I, k \in K; \quad (8)$$

$$\sum_{u \in N} x_{uvk} = \sum_{u \in N} x_{vuk}, \forall v \in N, k \in K; \quad (9)$$

$$x_{uvk} \left(t_{uk} + T_u + \frac{d_{uv}}{v_0} - t_{vk} \right) \leq 0, \quad \forall k \in K, \forall u, v \in N; \quad (10)$$

$$y_{ik} (t_{i_p k} - t_{i_d k}) \leq 0, \forall k \in K, \forall i \in I; \quad (11)$$

$$et_i \leq t_{ik} \leq alt_i, \forall k \in K, \forall i \in I; \quad (12)$$

$$L_{uk} + q_{iu} - Q_k \leq 0, \forall k \in K, \forall u \in N; \quad (13)$$

$$x_{uvk}, y_{ik} \in \{0, 1\}, \forall k \in K, \forall i \in I, \forall u, v \in N. \quad (14)$$

其中:式(3)和(4)表示平台配送成本和骑手超时惩罚成本目标最小;式(5)表示骑手激励收益目标最大;式(6)表示每个订单任务仅由一名骑手配送;式(7)和(8)表示订单的取送餐节点只能被访问一次;式(6)~(8)表示外卖订单成对约束,同一订单的取餐和送餐任务由同一骑手完成;式(9)表示骑手到达节点取餐或送餐后会从该点离开,保证流量平衡;式(10)表示骑手到达节点 u, v 需满足的时间要求;式(11)表示同一订单骑手必须先取餐后送餐;式(12)表示订单在顾客可接受时间内送达,保证顾客满意度不小于最低要求;式(13)表示骑手配送时不得超过允许最大配载量;式(14)为决策变量的约束。

本文构建的外卖订单分配模型考虑平台、顾客和骑手三方利益,不同主体的目标期望相互联系、相互矛盾,为获得满意解,本文采用线性加权法将多目标问题转化为单目标问题,成本函数隶属于成本型指标,骑手激励收益目标隶属于效益型指标,利用min-max标准化方法统一量纲后,目标组合如下所示:

$$\min Z = \omega_1 \frac{\{Z_1 + Z_2\} - \min\{Z_1 + Z_2\}}{\max\{Z_1 + Z_2\} - \min\{Z_1 + Z_2\}} + \omega_2 \frac{\max\{Z_3\} - Z_3}{\max\{Z_3\} - \min\{Z_3\}}. \quad (15)$$

2 抢派结合模式的订单分配策略

抢派结合模式下,初始阶段利用自适应变邻域搜索算法求解平台派单分配和骑手配送路径优化问题.骑手配送过程中平台发布紧急抢单任务,考虑骑

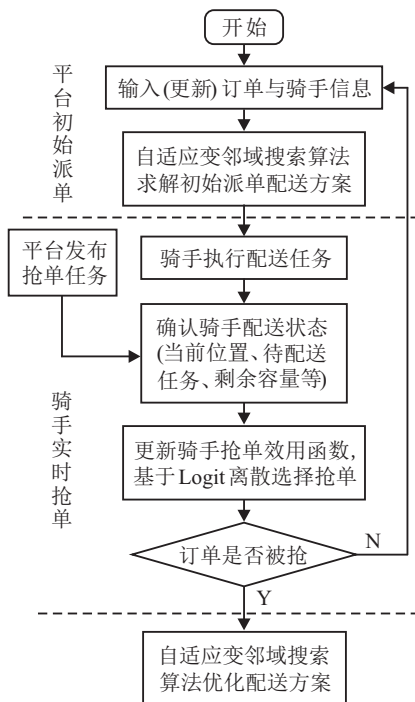


图2 抢派结合订单分配策略

手顺序程度、配送距离和配送能力,基于抢单效用函数实现骑手自主抢单决策,优化骑手配送路径.订单分配策略如图2所示。

2.1 求解算法

针对平台派单订单规模大、求解耗时短的要求,本文设计自适应变邻域搜索算法(adaptive variable neighborhood search, AVNS)求解抢派结合模式下平台派单配送问题.算法结合变邻域搜索框架和自适应选择策略,考虑订单特点设计局部搜索策略,对当前最优解 x_b 随机扰动生成新的当前解 x_1 ,自适应选择局部搜索策略,邻域搜索产生新解 x_2 .若当前目标值 Z_2 优于最优值 Z_b ,则更新当前最优解,并继续在当前策略下局部搜索;否则更新各策略权重,变换局部搜索策略,满足终止准则时输出当前最优解,得到平台派单阶段订单分配与骑手配送方案.算法流程如图3所示。

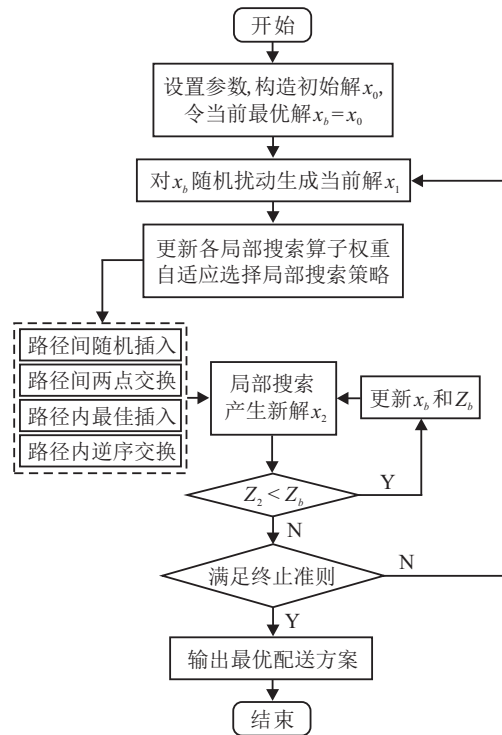


图3 算法流程

1) 编码与构造初始解

编码方式:本文采用整数编码,构造包括 $3n$ 个基因(n 为订单总数)的解编码.其中:前 n 个基因决定订单分配过程,基因位置和编号表示订单与骑手的配对关系;后 $2n$ 个基因决定骑手路径规划过程,由所有订单的取送餐节点排列组合,订单 i 的取送餐节点由 i 和 $i + n$ 表示,为满足解的有效性,后 $2n$ 个基因排列需要满足订单先取后送约束.编码如图4所示,共有2个骑手,4个订单.订单1包括取餐节点1和送餐节点5,骑手1负责配送订单1、3和5,配送顺序

1→5→6→3→8→10; 骑手2负责订单2和4, 配送顺序2→4→9→7.

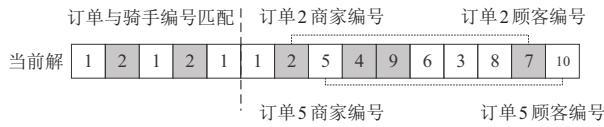


图4 解编码示意

构造初始解: 本文采用贪婪思想构造初始配送方案, 在不超过配送容量和时间窗约束下, 将订单分配给距离最近的骑手, 选择目标值增量最少的位置依次插入订单取送餐节点.

2) 局部搜索.

本文根据外卖订单配送特点, 设计骑手路径间、骑手路径内4种局部搜索策略, 如图5所示. 在前n个基因位置进行骑手路径间订单交换调整, 从而各骑手配送路径也随之改变. 具体操作如下.

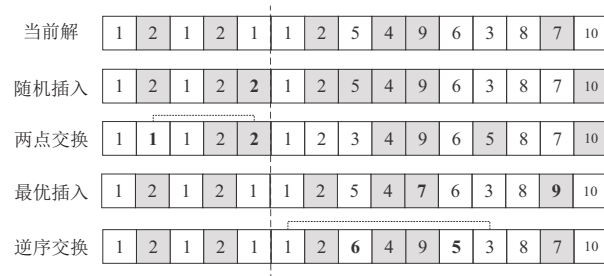


图5 局部搜索策略

随机插入: 随机移除骑手负责的一组订单, 在满足容量约束前提下, 将对应订单取送餐节点依次插入到其他骑手的配送路径中.

两点交换: 随机交换两骑手的一组订单取送餐节点, 满足容量约束和先取后送约束时执行交换.

在后2n个基因位置进行骑手路径内配送顺序调整, 具体操作如下.

最优插入: 随机移除骑手配送路径中一点, 在满足容量和先取后送约束下, 计算插入原路径其他位置的目标值, 选择最佳位置插入, 得到新的配送路径.

逆序交换: 将骑手配送路径上两节点之间的路径翻转位置, 若其中包含一组订单的取送餐节点, 则保持其位置不变, 交换前后应满足容量和先取后送约束.

3) 扰动搜索.

扰动阶段扩大当前解邻域搜索范围, 使算法有更大可能寻找到全局最优解. 本文通过在骑手路径间和路径内执行随机插入操作进行扰动搜索, 避免算法过早陷入局部最优.

4) 自适应选择邻域结构策略.

本文在局部搜索阶段增加邻域结构寻优能力的

判断, 判断算子对解的改进效果, 使算法能够自觉选择优质算子对解进行破坏与修复. 设第j次迭代时算子i的权重为 w_{ij} , 局部搜索时算子改进当前最优解, 当前局部解分别增加得分 λ_1 、 λ_2 , 更新算子累计得分 g_i 和被选择的次数 n_i , ρ 为权重更新系数, 算子权重 w_{ij} 计算公式如下:

$$w_{ij} = \begin{cases} w_{ij}, & n_i = 0; \\ (1 - \rho)w_{ij} + \frac{\rho g_i}{n_i}, & n_i \neq 0. \end{cases} \quad (16)$$

2.2 基于离散选择的骑手抢单模拟

离散选择模型 (discrete choice model, DCM) 描述了决策者在多个不同的备选方案中以效用最大化理论为依据的选择决策行为. Gaudry等^[14]提出了多元Logit模型应用于交通出行方式需求预测问题, 并验证了模型效用函数的随机误差项一定服从极值分布. DCM是研究个体选择行为的最有力工具, 在交通出行选择与消费选择等领域应用广泛. Lebeau等^[15]考虑物流运输公司的偏好, 研究了基于离散选择模型的配送车型选择问题; 林湛等^[16]基于效用理论描述了乘客出行路径选择行为并基于Logit模型模拟交通客流分配.

骑手的抢单决策从行为选择角度来看, 是骑手对配送环境和订单特征粗略判断后进行订单选择的过程, 抢单决策受到多重因素的影响, 骑手总是选择配送收益更大、更便捷、时间更充裕的订单进行抢单, 因此, 通过标定订单的效用值来体现骑手抢夺订单所产生的效益大小.

抢单效用函数考虑了订单距离、顺路程度、配送能力和骑手路网熟悉程度等因素. 骑手根据配送经验进行抢单选择, 由于配送环境的复杂多变, 骑手对其抢单产生的配送收益或惩罚的认知与实际情况存在偏差. 因此, 定义t时刻骑手k选择抢夺订单i的效用函数为

$$U_{ki}^t = V_{ki}^t + \varepsilon_{ki}, \quad (17)$$

$$V_{ki}^t = \beta_1 \phi_{ki} + \beta_2 \psi_{ki} + \beta_3 q_k, \quad (18)$$

$$\phi_{ki} = e^{-\frac{a_{ki_p} + a_{ki_d}}{a_0}}, \quad (19)$$

$$\psi_{ki} = \frac{2\pi - \varphi_1 - \varphi_2}{\pi}. \quad (20)$$

其中: 式(17)表示骑手抢单效用函数, ε_{ki} 表示天气、交通和骑手路网熟悉程度等难以量化观测的随机项; 式(18)表示t时刻骑手抢夺订单i的固定效用, 自主抢单考虑骑手当前位置与订单配送距离、配送顺路程度和剩余配送能力相关因素; 式(19)表示骑手抢单时考虑订单取送餐节点距离骑手远近, 通常不抢夺超

出期望距离 d_0 的偏远订单;式(20)表示骑手配送订单的顺路程度,以骑手当前前进方向(即骑手当前位置、下一配送点与新订单取餐点的夹角 φ_1)和将来前进方向(即骑手当前位置、配送终点与新订单送餐点的夹角 φ_2)量化顺路程度.

基于“效用最大化”理论,骑手抢夺概率最大的订单进行配送,将骑手的抢单选择问题转换为概率选择问题,抢单成功的概率取决于随机误差项的分布和骑手自身确定的固定效用值.若 ε_{ki} 相互独立且服从 Gumbel 分布,则 t 时刻骑手 k 抢夺订单 i 的可能性可表示为

$$P_{ki}^t = \frac{\exp(\tau V_{ki}^t)}{\sum_{k \in K} \exp(\tau V_{ki}^t)}, \quad (21)$$

$$y_{ik} P_{ki}^t = \max(P_{ki}^t). \quad (22)$$

式(21)和(22)表示骑手基于 Logit 离散选择模型的抢单策略,选择综合效用最大的订单,敏感系数与随机项成反比.抢单阶段以式(17)~(22)为约束,骑手考虑订单距离、配送顺路程度和容量等因素,选择综合效用值最大的订单实现抢单;考虑配送成本、顾客满意度与骑手激励收益,以综合目标式(15)优化更新骑手配送路线.

3 算例验证与分析

3.1 算例描述

为验证抢派结合模式下自适应邻域搜索算法求解平台派单配送问题与基于 Logit 离散选择模型模拟骑手抢单决策的有效性,选取某大学附近两公里的餐饮店铺和顾客作为研究对象,设计若干骑手和订单作为算例,部分订单信息如表2所示,为符合实际,允许多个订单对应同一商家,骑手位置随机分布.骑手行驶速度 18 km/h,车容量为 12,配送成本为 3.45 rmb/km,最低满意度为 0.8,订单超时 3%、10% 和 15% 的惩罚系数为 0、1.5 和 3 rmb/单,骑手激励系数为 2、1.5、1 rmb/单,敏感系数算例参考文献[16]取值 1.8.实验采用 Matlab R2018a 在 PC 机上运行(i5-10210U 处理器,16 G 内存,Windows10 64 位操作系统).

表2 初始派单订单信息

订单编号	商家经纬度	顾客经纬度	容量	预计送达时间窗
1	(116.372, 39.999 2)	(116.372 7, 39.994 6)	2	[30, 35]
2	(116.367 9, 40.007 4)	(116.365 5, 40.001 8)	3	[30, 35]
...				
19	(116.345 2, 39.998 8)	(116.346 5, 39.999 2)	2	[32, 37]
20	(116.371 1, 40.003 1)	(116.366 3, 39.994 3)	2	[32, 37]

3.2 算例求解与分析

抢派结合模式下平台初始派单阶段,采用自适应邻域搜索算法对问题求解.订单分配和骑手配送路线如图6所示.

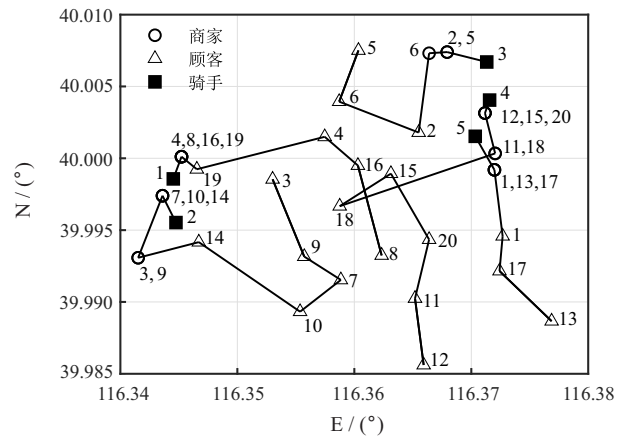


图6 平台初始派单配送方案

将兼顾平台、顾客和骑手利益的目标模型 I 与仅考虑平台成本和顾客满意度的模型 II 进行对比分析,配送结果如表3所示.与模型 II 相比,模型 I 配送方案中骑手激励收益增加了 20.65%,顾客满意度略有降低,配送订单最大超时时间略微增加,但配送超时订单数减少 50%,同时配送成本仅增加 8.9%.因此,本文构建的多目标外卖订单分配模型既能保证订单配送准时率,同时又增加了骑手收益,激发了骑手工作热情.

表3 模型对比

模型	配送成本 /rmb	顾客平均满意度 /%	超时订单数 / 个	最大超时时间 /min	骑手收益 /rmb
I	55.3	98.67	2	3.36	37.22
II	50.8	99.02	4	2.88	30.85

为分析决策者偏好对结果的影响,在同一算例数据下,对不同的 ω_1 和 ω_2 进行测试,以比较不同决策权重下各目标的变化,结果如图7所示.

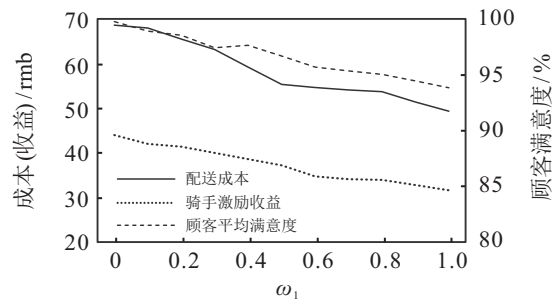


图7 权重变化对各目标值影响

由图7可知:平台成本与顾客和骑手利益呈正相关,随着 ω_1 增加,平台配送成本减少,由于可降成本空间有限,成本减少速度减缓,同时顾客满意度和骑

手激励收益降低;此外在 ω_2 较小时,骑手激励收益增长较缓慢,究其原因是激励收益相较于配送成本较小,当权重较大时才有明显效果.因此,外卖平台决策时要均衡考虑各目标权重,本文权重 ω_1 和 ω_2 均取值0.5.

骑手配送过程中新产生的订单信息如表4所示.

表4 紧急新增订单信息

订单编号	商家经纬度	顾客经纬度	容量	预计送达时间窗
21	(116.350 2, 40.008 8)	(116.358 1, 40.007 2)	1	[36, 41]
22	(116.360 3, 39.992 6)	(116.355 5, 39.997 6)	2	[36, 41]
23	(116.366 1, 39.987 2)	(116.372 4, 39.995 1)	2	[36, 41]
24	(116.353 5, 40.005 7)	(116.371 2, 40.003 1)	1	[37, 42]
25	(116.352 4, 39.987 0)	(116.362 1, 39.988 9)	1	[37, 42]

实时抢单阶段,骑手基于Logit离散选择模型进行抢单决策并优化配送路线,配送路线如图8所示.图8中:虚线表示骑手已完成配送,实线表示待完成的抢派单任务.

为了验证抢派结合订单分配策略的有效性,仍采用派单分配新订单任务,对抢派结合模式(order-

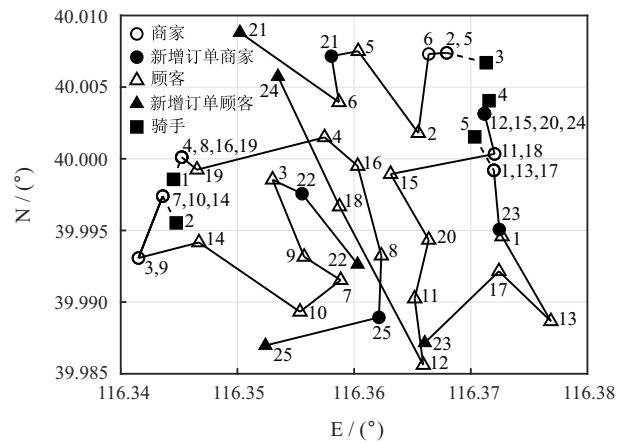


图8 实时抢单配送方案

grabbing and dispatching, ODG)和派单模式(order-dispatching, OD)下配送方案进行比较分析,10次平均求解结果如表5所示.相较于派单,抢派结合模式下平台发布新订单后骑手基于配送状态各抢一单,各骑手配送任务较为均衡,平台配送成本降低4.5%,顾客平均满意度提升1.3%,骑手激励收益增加9%左右.抢派结合模式下骑手根据配送状态自主抢单,订单分配过程更加灵活.

表5 抢派结合模式与派单模式下骑手配送方案比较

目标	骑手1		骑手2		骑手3		骑手4		骑手5		抢派结合	派单模式
	ODG	DG	ODG	DG	ODG	DG	ODG	DG	ODG	DG		
配送成本/rmb	13.89	11.08	17.19	20.87	12.45	16.35	16.82	18.01	9.74	7.12	70.09	73.43
顾客平均满意度/%	98.6	100	96.4	90.3	97.8	96.6	89.4	89.0	100	100	96.44	95.18
骑手激励收益/rmb	7.3	4.7	12.9	14.8	5.5	4.2	13.8	11.5	5.2	5.8	44.7	41.0

3.3 算例对比

为进一步验证算法和模型的有效性,将本文提出的算法与粒子群算法(PSO)进行对比,将两种算法对该区域内100个订单进行配送测试,得到的10次平均结果如表6所示.

表6 算法结果对比

模型	目标平均解			求解时间/s	标准差(stdev)
	配送成本/rmb	顾客满意度/%	骑手激励收益/rmb		
AVNS	402.3	98.9	124.7	28.91	4.58
PSO	406.7	98.2	120.1	25.83	4.45

对比两种算法求解结果,相较于粒子群算法,尽管自适应邻域搜索算法求解时间有所增加,但求解质量得到提升,各目标值有较大的优化,从而验证了本文设计的模型和算法应用于外卖订单配送问题是合理且有效的.

4 结论

本文针对抢派结合模式下的外卖配送问题,引入骑手奖惩激励机制,建立了以平台配送成本、顾客满意度和骑手激励收益为目标的外卖订单配送模型,构建了抢单效用函数以描述骑手对订单的选择偏好,基于Logit离散选择模型模拟骑手抢单决策,并设计了自适应邻域搜索算法求解平台派单场景下订单分配与路径优化问题,通过算例验证了所提出算法和模型的有效性.实验结果表明,抢派结合的订单分配模式在平台高效派单的基础上结合了骑手的自主选择,能有效提高配送效率,提升骑手的工作积极性.

参考文献(References)

[1] 国家七部委. 关于落实网络餐饮平台责任切实维护外卖送餐员权益的指导意见[EB/OL]. (2021-07-26) [2022-08-22]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-07/26/content_5627462.htm.

[2] 邓娜, 张建军. O2O外卖订单配送任务分配模式研

- 究[J]. 上海管理科学, 2018, 40(1): 63-66.
(Deng N, Zhang J J. Study on assign mode of O2O takeaway order delivery tasks[J]. Shanghai Management Science, 2018, 40(1): 63-66.)
- [3] 杜子超, 卢福强, 王素欣, 等. 众包物流配送车辆调度模型及优化[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2021, 42(8): 1210-1216.
(Du Z C, Lu F Q, Wang S X, et al. Vehicle scheduling model and optimization of crowdsourcing logistics distribution[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2021, 42(8): 1210-1216.)
- [4] 杨东林, 荣鹰. 在O2O情景下的送取货集成决策[J]. 管理工程学报, 2019, 33(2): 205-210.
(Yang D L, Rong Y. Comparison of different pick-up and drop-off modes under the O2O environment[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2019, 33(2): 205-210.)
- [5] Jin W, Wu W, Shi J, et al. Simulation based scheduling strategies comparison of O2O instant delivery system[C]. 2019 IEEE 14th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. Dalian, 2019: 196-203.
- [6] 戴韬, 沈静. 基于众包的外卖配送订单选择研究[J]. 工业工程, 2021, 24(2): 125-133.
(Dai T, Shen J. A research on take-away delivery task selection in crowdsourcing[J]. Industrial Engineering Journal, 2021, 24(2): 125-133.)
- [7] 邱金红, 孙靖, 仲兆满. 基于配送收益均衡的多目标绿色车辆路径优化算法[J]. 控制与决策, 2023, 38(2): 365-371.
(Qiu J H, Sun J, Zhong Z M. A multi-objective green vehicle routing optimization algorithm based on delivery benefit balance[J]. Control and Decision, 2023, 38(2): 365-371.)
- [8] 徐倩, 熊俊, 杨珍花, 等. 基于自适应大邻域搜索算法的外卖配送车辆路径优化[J]. 工业工程与管理, 2021, 26(3): 115-122.
(Xu Q, Xiong J, Yang Z H, et al. Route optimization of takeout delivery vehicles based on adaptive large neighborhood search algorithm[J]. Industrial Engineering and Management, 2021, 26(3): 115-122.)
- [9] Ulmer M W, Thomas B W, Campbell A M, et al. The restaurant meal delivery problem: Dynamic pickup and delivery with deadlines and random ready times[J]. Transportation Science, 2021, 55(1): 75-100.
- [10] 张力娅, 张锦, 肖斌. 考虑顾客优先级的多目标O2O外卖即时配送路径优化研究[J]. 工业工程与管理, 2021, 26(2): 196-204.
(Zhang L Y, Zhang J, Xiao B. Multi-objective O2O take-out instant delivery routing optimization considering customer priority[J]. Industrial Engineering and Management, 2021, 26(2): 196-204.)
- [11] 李桃迎, 吕晓宁, 李峰, 等. 考虑动态需求的外卖配送路径优化模型及算法[J]. 控制与决策, 2019, 34(2): 406-413.
(Li T Y, Lyu X N, Li F, et al. Routing optimization model and algorithm for takeout distribution with multiple fuzzy variables under dynamics demand[J]. Control and Decision, 2019, 34(2): 406-413.)
- [12] 慕静, 杜田玉, 刘爽, 等. 基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度研究[J]. 运筹与管理, 2018, 27(5): 58-65.
(Mu J, Du T Y, Liu S, et al. Research on crowdsourcing logistics capacity scheduling based on instant distribution and revenue incentives[J]. Operations Research and Management Science, 2018, 27(5): 58-65.)
- [13] 余海燕, 李红梅, 王姝翔. O2O外卖众包即时配送平台的激励机制适用性[J]. 系统工程, 2022, 40(4): 89-99.
(Yu H Y, Li H M, Wang S X. Applicability of incentive mechanism of O2O take-out crowdsourcing instant delivery platform[J]. Systems Engineering, 2022, 40(4): 89-99.)
- [14] Gaudry M, Domencich T A, McFadden D. Urban travel demand: A behavioral analysis[J]. The Canadian Journal of Economics, 1977, 10(4): 724.
- [15] Lebeau P, Macharis C, Van Mierlo J. Exploring the choice of battery electric vehicles in city logistics: A conjoint-based choice analysis[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016, 91: 245-258.
- [16] 林湛, 蒋明青, 刘剑锋, 等. 城市轨道交通客流分配的改进Logit模型及方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(6): 145-151.
(Lin Z, Jiang M Q, Liu J F, et al. Improved logit model and method for urban rail transit network assignment[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012, 12(6): 145-151.)

作者简介

冯爱兰(1963—), 女, 副教授, 硕士, 从事物流管理、物流网络构建与优化、物流设施规划与设计等研究, E-mail: fengailan@ustb.edu.cn;

周映雪(1998—), 女, 硕士, 从事物流配送的研究, E-mail: 1904039472@qq.com;

龚艳茹(1983—), 女, 讲师, 硕士, 从事物流工程的研究, E-mail: 635500687@qq.com;

杨乐昌(1987—), 男, 副教授, 博士, 从事系统工程与可靠性的研究, E-mail: yanglechang@ustb.edu.cn.