

基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度研究

慕静, 杜田玉, 刘爽, 王仙雅, 刘超, 王国利

(天津科技大学 经济与管理学院, 天津 300222)

摘要: 基于参与众包物流配送模式的人员闲散、积极性不高, 以及客户对即时配送要求并非完全刚性的特征, 引入模糊时间窗, 将客户满意度量化为众包物流配送人员到达客户位置时刻的模糊隶属度函数。在一定客户满意度下, 以最大化众包物流配送人员收益为目标, 构建了基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度问题模型, 考虑到机会、逾时、超载惩罚成本, 利用带有动态权重的粒子群算法, 通过算例验证分析, 结果表明该模型在保证客户满意度和提高众包物流配送人员积极性方面具有可行性和有效性。

关键词: 众包物流; 即时配送; 收益激励; 客户满意度; 粒子群算法

中图分类号: F252.5 **文章标识码:** A **文章编号:** 1007-3221(2018)05-0058-08 **doi:** 10.12005/orms.2018.0111

Research on Crowdsourcing Logistics Capacity Scheduling Based on Instant Distribution and Revenue Incentives

MU Jing, DU Tian-yu, LIU Shuang, WANG Xian-ya, LIU Chao, WANG Guo-li
(Tianjin of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Based on the characteristics of customer requirements for instant delivery that are not entirely rigid, and of participants' enthusiasm that is not high in the crowdsourcing logistics distribution mode, this paper introduces the fuzzy time window, and quantifies the customer satisfaction rate into the fuzzy function of time that the crowdsourcing logistic personnel arrives at purchaser location. Under the premise of ensuring a certain customer satisfaction, the research on logistics scheduling based on instant distribution and revenue incentives model is constructed in order to maximize the crowdsourcing logistics personnel's earnings considering the opportunity, overtime, overload punishment cost. Then this paper uses particle swarm optimization (PSO) algorithm with the dynamic weight to solve the proposed problems, and through the example analysis, the results show that the model is feasible and effective in keeping balance between customer and crowdsourcing logistics personnel.

Key words: crowdsourcing logistics; instant distribution; revenue incentive; customer's satisfaction; particle swarm optimization

0 引言

全球网络科技颠覆性的发展, 推动了 O2O 的迅猛发展。随着餐饮、生鲜、零售企业在 O2O 领域实现线上线下的无缝对接和深度融合, 物流配送呈现出送货点分散且点多面广、送货批量小且成本高等特点。由于专业物流企业运力有限^[1], 物流行业不得不重新考虑新的物流模式。基于此, 以共享

经济为基础的众包物流模式应运而生, 并且成为解决同城配送的最佳方式。

众包物流是一种新兴的第三方物流配送模式, 它具有整合社会闲置大众资源、保证配送时效、提高配送效率、降低物流配送成本等特点, 为提高客户满意度、满足个性化需求的即时配送提供了可能。但是众包物流作为现有配送方式的一种最灵活的补充, 交货超时、客户不满意导致订单无法保证, 参与人员闲散、积极性不高导致配送人员数量

收稿日期: 2017-09-29

基金项目: 天津市哲学社会科学规划项目“生鲜食品众包物流模式建设机理及路径研究”(TJGL16-009Q)

作者简介: 慕静(1966-), 女, 山西大同人, 教授, 博士、硕士生导师, 主要研究方向为复杂系统理论, 物流供应链与管理仿真; 杜田玉(1991-), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 研究方向: 物流供应链与管理仿真。

无法保证,这将在很大程度上制约众包物流未来的发展。因此,众包物流平台如何做出即时配送、提供客户满意度确保订单量以及如何分配众包物流配送人员收益,提高其积极性的运力调度方案已成为众包物流发展亟待解决的问题。

本文提出的众包物流运力调度问题类似于传统的车辆路径问题(vehicle routing problem 简称VRP),是一个经典的运筹优化问题。关于VRP,众多学者已经对其进行了广泛的研究。任锡德、朱建民^[2]等以最小化调度车辆数目、运行距离和提高客户满意度为目标,提出了包含时间窗、车辆容量约束的服务线路随机规划模型。王旭坪、阮俊虎^[3]等从配送路线、配送成本和客户满意度三个方面进行干扰辨识和度量,建立车辆调度组合干扰管理模型。王君、李波^[4]等以最小化车辆的行驶距离和最小化配送的服务延迟时间,建立了多目标模糊机会约束规划模型。目前,针对带时间窗的车辆调度问题,有些学者采用的模糊化处理时间窗的方法,准确描述和反映客户需求。Wang^[5]等首先提出采用模糊理论对中国邮路问题进行研究。张建勇^[6]等研究了模糊信息需求条件下的实时动态车辆调度问题数学模型,并说明了模糊车辆调度问题的重要性。王旭坪^[7]等对客户服务时间进行了模糊化处理,构建了基于模糊时间的车辆调度问题,并改进混合遗传算法进行求解。CAO^[8]等分别应用遗传算法和差分进化算法,并结合模糊模拟来求解具有模糊需求的车辆路径问题。GONCALVES^[9]等基于可能性理论,进一步研究了带有时间窗的模糊需求车辆路径问题,通过建立模糊机会补偿模型,用模糊模拟和智能算法求解。

从现有的文献来看,国内外学者对于如何提高客户满意度的车辆优化调度问题做了大量的研究,这对于本文研究众包物流平台做出保证即时配送,提高客户满意度的运力调度方案具有重要的借鉴意义。然而国内外学者对于车辆优化调度问题大多只考量企业的配送成本,而把配送成本和收益激励同时考虑的研究较少。众包物流调度问题区别于传统的车辆优化问题,其运力主要是指自愿接单的众包物流配送人员,众包物流自身就有降低物流配送成本的特点,因此将即时配送确保客户订单,对配送人员进行收益激励提高其积极性两个目标

结合起来的研究对众包物流的进一步发展有非常重要的理论价值和现实意义。本文在借鉴了国内外学者对带有模糊时间窗的车辆调度问题的处理方法的基础上,从众包物流平台这一决策者的角度出发,以最大化众包物流配送人员的收益和客户满意度为目标,建立了众包物流运力调度模型,并运用带有动态权重的粒子群算法对其进行求解,最后应用到实例中并分析所建模对于研究该问题的实践意义。

1 众包物流运力调度问题的描述及量化模型

1.1 问题的描述

基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度问题可以描述为:某一时刻,一个众包物流平台,支配 m 个众包物流配送人员从商家出发,向 n 个客户位置配送货物;每个客户需要的货物数量以及每个客户距离商家的距离、各客户间的距离等信息确定。每个众包物流配送人员可向多个客户位置配送货物,但每个客户位置只能由一个众包物流配送人员配送。而且众包物流配送人员在完成配送后必须返回商家,在满足众包人员最大的载货量、客户时间窗等约束条件下,通过合理的调度方案使得目标函数最优。由于众包物流运力调度问题区别于以往的车辆调度问题,将对众包物流配送人员进行收益激励做为目标函数之一,考虑到现实因素,制定了运力调度过程中遵循的调度原则:一是尽可能保证将货物在客户时间窗内送到客户手中,保证客户满意度;二是尽可能选择最少的众包物流配送人员,充分利用众包物流配送人员的运力,增大众包物流配送人员的平均收益,提高积极性。

1.2 模糊时间窗

在现实生活中,客户对物流配送时间要求并不是完全刚性的,客户的偏好是随着配送人员到达客户 i (i 表示客户的编号集, $i=1, \dots, n$)位置的时间与客户期望时间窗的偏离程度而变化的,即客户期望的配送时间是有上下限,送太早或者太晚都不能让客户满意。因此本文采用服务时间窗模糊处理的方法来刻画客户的实际需求,并把客户 i 的满意度定义为众包物流配送人员到达该客户位置时间的模糊隶属函数^[7],如公式(1)所示:

$$U(S_i) = \begin{cases} \left(\frac{S_i - EET_i}{ET_i - EET_i}\right)^\beta & S_i \in [EET_i, ET_i) \\ 1 & S_i \in [ET_i, LT_i] \\ \left(\frac{LLT_i - S_i}{LLT_i - LT_i}\right)^\beta & S_i \in [LT_i, LLT_i] \\ 0 & S_i \notin [EET_i, LLT_i] \end{cases}$$

式(1)中, S_i 为众包物流配送人员到达客户 i 位置的时刻, ET_i 为客户 i 非常满意时允许开始的最早时间, LT_i 为客户 i 非常满意时允许结束的最晚时间。 EET_i 为客户 i 感到非常不满意所能接受的最早时间。 LLT_i 为客户 i 感到非常不满意所能接受的最晚时间。 $\beta > 0$ 为时间的敏感系数。当众包物流配送人员到达客户 i 位置的时间在 $[ET_i, LT_i]$ 内, 客户的满意度恒为 1; 当众包物流配送人员到达客户 i 位置的不在 $[EET_i, LLT_i]$ 范围内, 则客户的满意度恒为 0; 否则客户的满意度会随着与期望时间偏离程度的增大而降低。

1.3 基于模糊时间窗的众包物流运力调度模型

设 $R = I \cup \{0\}$, 其中客户编号的集合 $I = \{i | i = 1, \dots, n\}$, 其中 0 为商家; K 为可支配的众包物流配送人员的集合 $K = \{k | k = 1, \dots, m\}$, P 为单位距离单位件数的收益 (P 是根据不同的商家货物的不同给定的); d_{ij} 为由客户 i 的位置与客户 j 的位置之间的距离; g_j 为客户 j 所需货物数量; q_k 为第 k 个众包物流配送人员所能配送的最大货物量; T_{ij} 表示众包物流配送人员从客户 i 的位置到客户 j 的位置所需要的时间。

基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度模型可以描述为:

$$\max f_1 = \frac{1}{k} \sum_{k \in K} \sum_{j \in R} \sum_{i \in r} P d_{ij} x_{ijk} g_j \quad (2)$$

$$\max f_2 = \frac{1}{n} \sum_{i \in r} U(S_i) \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i \in r} g_i \cdot y_{ik} \leq q_k, \forall k \in K \quad (4)$$

$$S_i = \sum_{k \in K} \sum_{j \in R} x_{jik} (S_j + T_{ji}), \forall i \in r \quad (5)$$

$$EET_i \leq S_i \leq LLT_i, \forall i \in r \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1, \forall i \in r \quad (7)$$

$$\sum_{i \in R} x_{ijk} = y_{ik}, \forall j \in r, \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{j \in R} x_{ijk} = y_{ik}, \forall j \in r, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i, j \in S \times S} x_{ijk} \leq |S| - 1, S \subseteq \{1, 2, \dots, n\}, \forall k \in K \quad (10)$$

$$\begin{cases} y_{ik} = 1, \text{第 } k \text{ 个众包物流配送人员对客户 } i \text{ 配送} \\ y_{ik} = 0, \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} x_{ijk} = 1, \text{第 } k \text{ 个众包物流配送人员对客户 } i \text{ 到客户 } j \\ x_{ijk} = 0, \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

式(2)、式(3)为目标函数, 式(2)表示在满足众包人员最大的载货量、客户时间窗等约束条件下, 考虑到众包物流平台要解决的现实问题, 最大化众包物流配送人员的平均收益。式(3)表示最大化客户的整体满意度。

式(4)表示每个参与配送的众包物流配送人员的配送量不能超过其自身最大的载货量。式(5)表示众包物流配送人员到达客户位置时间的表达式。式(6)表示众包物流配送人员到达客户位置的时间约束。式(7)表示保证每个客户的货物都被配送且每个客户只由一个众包物流配送人员配送。式(8)、式(9)保证如果客户 i, j 在众包物流配送人员 k 的行驶路线上, 那么客户 i, j 将由众包物流配送人员 k 服务。式(10)表示消除子回路。式(11)、式(12)表示 x_{ijk}, y_{ik} 的取值范围。

2 粒子群算法

2.1 粒子群算法简介

粒子群优化算法 (PSO, particle swarm optimization) 是 1995 年由美国心理学家 Kennedy 和电气工程师 Eberhart 提出, 该算法模拟鸟群觅食行为, 通过鸟之间的集体协作使群体达到最优目标。在 PSO 算法中, 每一个粒子被认为是问题的一个可行解, 粒子在解空间根据其自身与同伴飞行经验动态的调整自己的飞行速度和方向, 通过追踪当前和历史最优粒子最终找到最优解。在每一次迭代中, 粒子速度和位置更新公式为:

$$v_{id}(i+1) = w \times v_{id}(i) + c_1 \times \text{rand}() \times (P_{best} - x_{id}(i)) + c_2 \times \text{rand}() \times (g_{best} - x_{id}(i)) \quad (13)$$

$$x_{id}(i+1) = x_{id}(i) + v_{id}(i+1) \quad (14)$$

其中, d 表示粒子的维度, w 为惯性权重, c_1 和 c_2 为学习因子, $\text{rand}()$ 为 $[0, 1]$ 之间的随机数 P_{best} 为粒子 i 所经历的最优值, g_{best} 为所有粒子经历过的历史最优值。为了减少粒子离开搜索空间的可能性, 对粒子的速度区间和位置范围进行了适当的限制。

国内外学者已经对粒子群算法进行了广泛的研究, 实践表明, PSO 在多维空间多峰问题寻优、动态目标寻优等方面有着速度快、解质量高、鲁棒性强等优点。

2.2 粒子群算法改进

由于 PSO 应用于配送问题时, 易早熟收敛、寻

劣特性差等问题突出。为了避免这些问题的出现,本文采用 Shi 建议的线性递减权值策略^[9]。

$$w^{(t)} = (w_{ini} - w_{end})(T_{max} - t)/T_{max} + w_{end} \quad (15)$$

式中: T_{max} 为最大迭代次数, w_{ini} 为初始惯性权重, w_{end} 为进化到最大代数时的惯性权重。动态惯性权重 w 可以保持粒子的多样性,使得粒子遵循全局搜索能力和局部搜索能力之间的平衡关系,加快众包物流配送路径优化速度,防止局部最优的出现,最终能够获得最优的物流配送路径。

3 基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度的粒子群算法

3.1 粒子编码

合理的粒子编码是实现算法的关键问题之一。本文借鉴了 SALMAN A^[10] 等人的研究,构造一个 $2n$ 维的空间,对应 n 个客户的配送任务。设存在一个 $2n$ 维向量 X ,它的两个子向量为 X_v 、 X_r ,都是 n 维子向量。 X_v 表示服务任务的的众包物流配送人员的编号, X_r 表达众包物流配送人员在客户点经过的路径次序。

例如,某一时刻,众包物流平台可支配 2 个众包物流配送人员,从商家出发向 8 个客户配送货物,设某个粒子的位置向量为:

$$\begin{array}{l} \text{客户: } 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \\ X_v: \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 1 \\ X_r: \quad 2 \quad 4 \quad 1 \quad 3 \quad 3 \quad 2 \quad 5 \quad 1 \end{array}$$

由于众包物流配送人员从商家出发最后会返回商家,则对应的众包物流配送人员配送货物的路径为:

众包物流配送人员 1:0-8-6-4-0

众包物流配送人员 2:0-3-1-5-2-7-0

该表示方法的最大优点是保证每个客户都能被配送,且仅能被一个众包物流配送人员完成配送,使解的可行化过程计算大大减少。虽然该方表示方法的维数较高,但由于粒子群算法在多维寻优问题上有着很好的特性,所以维数的增加并不会增加计算的复杂性。

3.2 适应度函数的设计

本文将最大化众包物流配送人员的收益作为目标函数,众包物流配送人员的收益又与其配送的距离具有正相关性,为了使众包物流配送人员的收益激励更加的符合实际生活,本文引入了机会成本、逾时惩罚成本和超载惩罚成本。客户 i 期望众包物流配送人员配送的时间窗为 $[ET_i, LT_i]$,如果

众包物流配送人员到达客户 i 位置的时间早于 ET_i ,则众包物流配送人员需在客户 i 处等待,对于众包物流配送人员来说将会产生一定的机会成本(经济学中,机会成本是指为了得到某种东西而所要放弃另一些东西的最大价值,这里指众包物流配送人员在等待时间里做其他工作所能获得的最大收益),设 PE 表示众包物流配送人员在 ET_i 之前到达客户 i 位置的单位机会成本,则众包物流配送人员所面临的机会成本为 $PE \times (ET_i - S_i)$;如果众包物流配送人员到达客户 i 位置的时间晚于 LT_i ,则客户 i 的配送任务将会延迟,众包物流配送人员会面临一定的逾时惩罚,设 PL 表示众包物流配送人员在 LT_i 之后到达客户 i 位置的单位逾时惩罚成本,则众包物流配送人员所面临的逾时惩罚成本为 $PL \times (S_i - LT_i)$ 。此外,当众包物流配送人员超过其自身的最大运载能力还会面临超载惩罚成本,设 α 是单位超载惩罚成本。基于上述因素,可以将 f_1 转化成:

$$\max f_3 = \sum_{k \in K} \sum_{i \in R} \sum_{j \in R_1} Pd_{g_{ijk}} g_j - PE \sum_{i \in R} \max(ET_i - S_i, 0) - PL \sum_{i \in R} \max(S_i - LT_i, 0) - \alpha \sum_{k \in K} \max(\sum_{i \in R} g_i y_{ik} - q_k, 0) \quad (16)$$

式(16)第二项、第三项和第三项分别表示众包物流配送人员会面临的机会成本、逾时惩罚成本和超载惩罚成本。其中 PE 、 PL 以及 α 的取值都是大于 P 值的正数,考虑到现实生活中,众包物流配送人员是不可能负荷超出自己能力范围的货物,所以 α 的取值则远远大于 PE 、 PL 的取值。

虽然 f_3 对众包物流配送人员的收益进行了规范,但现实条件下,机会成本以及逾时惩罚成本的取值并不足够大,将众包物流配送人员为客户配送的时间完全的约束在客户期望的时间窗内是不现实的。基于这一考虑,将 f_3 与问题模型中 f_2 进行整合,均衡客户满意度以及众包物流配送人员的收益,建立适应度函数如下:

$$Z = \rho_1 \left(\frac{TP - TP_{min}}{TP_{max} - TP_{min}} \right) + \rho_2 \left(\frac{1}{n} \sum_{i \in K} U(S_i) \right) \quad (17)$$

由于 f_3 与问题模型中 f_2 量纲不一致,本文采用归一法将这两个目标函数整合成一个综合目标,式(17)中, ρ_1 、 ρ_2 为权重,表示两个目标的相对重要性, $\rho_1 + \rho_2 = 1$, TP 表示众包物流配送人员所获得的收益(此处的 TP 为 f_3), TP_{max} 、 TP_{min} 分别表示当前种群中众包物流配送人员所收获最大和最小收益,二者都是有 f_3 计算得出。在算法的求解过程中,式(16)、式(17)能够先后有效地判断每次更新的粒子是否符合约束条件,对于不满足的解进行

剔除,然后进行后续的步骤,不仅给求解过程带来方便,还使得所求解更加有效。

3.3 调度优化流程

用粒子群求解即时配送和收益激励的众包物流运力调度的流程图如图2所示。

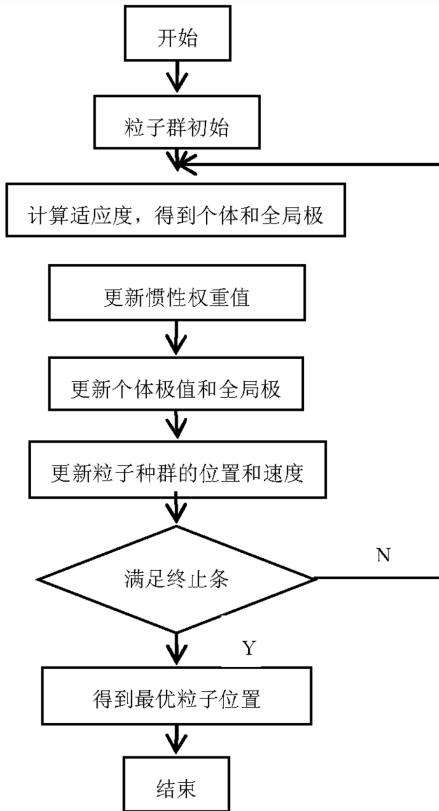


图1 基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度问题的粒子群算法流程图

4 算例分析

4.1 实验设计

目前对于基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度问题尚未有标准的验证数据,关于众包物流配送人员的实际调度应根据客户的实际需求以及众包物流配送人员的实际情况进行获得。本文通过调研济宁某一西点商家获得初始数据。本文时间窗以十分钟为一个单位,比方,客户1的时间窗为 $[0.5, 1, 4, 5]$ 表示:众包物流配送人员在10分钟以后,40分钟以前送到,客户满意度为1,在5分钟以前或者50分钟后送到,客户的满意度为0。本文采用了Python语言编写了基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度问题的粒子群算法程序。测试环境配置为:操作系统是Windows 10 64位专业版,处理器Intel Core i7-2600CPU 3.40GHz,内存10GHz。某一时刻,商家需要向15个客户配送西点外卖,可支配的众包物流配送人员充足,每个众包物流配送人员一次最多可配送量为15(由于外卖配送有专门的配送箱,所以众包物流配送人员的最大配送量是相同的),车速为5,单位距离单位件数的收益为0.1,超载惩罚为:20,超过时间窗的单位惩罚为: $PE = PL = 5$ 。

表1 客户点信息

客户点序号	货运量 g_i	$[EET_i, ET_i, LT_i, LLT_i]$	客户点序号	货运量 g_i	$[EET_i, ET_i, LT_i, LLT_i]$
1	2	$[0.5, 1, 4, 5]$	9	4	$[2, 4, 7, 10]$
2	2	$[3, 4, 6, 6.5]$	10	3	$[0.5, 2, 4, 6]$
3	4	$[0.5, 1, 2, 2.5]$	11	2	$[1, 5, 9, 10]$
4	3	$[3.5, 4, 7, 7.5]$	12	2	$[4, 5, 5, 9, 12]$
5	1	$[2, 3, 5, 5, 6]$	13	1	$[5, 7, 11, 12]$
6	4	$[1.5, 2, 5, 6]$	14	3	$[0, 1, 6, 7.5]$
7	3	$[4, 5, 9, 11]$	15	3	$[1, 2, 5, 5, 8]$
8	3	$[1, 1.5, 4, 4.5]$			

表2 客户点与商家及各个客户点间的距离

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	4	6	7.5	9	20	10	16	8	12	5	14.5	15	18	8	10
1	4	0	6.5	4	10	5	7.5	11	10	5	13	7	16	12.5	11	9
2	6	6.5	0	7.5	10	10	7.5	7.5	7.5	11	9	5	9	13	13	6
3	7.5	4	7.5	0	10	5	9	9	15	17	8	6	10	12	8	7.5
4	9	10	10	10	0	10	7.5	7.5	10	19	7	15	10.5	6	10	16
5	20	5	10	5	10	0	7	9	7.5	7	6	18	6	20	4	10
6	10	7.5	7.5	9	7.5	7	0	7	10	8	10.5	5	13	7.5	16	10
7	16	11	7.5	9	7.5	9	7	0	10	6	13	18	15	8	9	7.5
8	8	10	7.5	15	10	7.5	10	10	0	18	6	13	11	8.5	10	18
9	12	5	11	17	19	7	8	6	18	0	12	17	9	10	16	11
10	5	13	9	8	7	6	10.5	13	6	12	0	7.5	9	7.5	12	10
11	14.5	7	5	6	15	18	5	18	13	17	7.5	0	12	10	8	15

12	15	16	9	10	10.5	6	13	15	11	9	9	12	0	15	7.5	9
13	18	12.5	13	12	6	20	7.5	8	8.5	10	7.5	10	15	0	18	7.5
14	8	11	13	8	10	4	16	9	10	16	12	8	7.5	18	0	16
15	10	9	6	7.5	16	10	10	7.5	18	11	10	15	9	7.5	16	0

算法的参数设置:

种群粒子数为 160, $w_{ini} = 0.9$, $w_{end} = 0.4$, $c_1 = c_2 = 1.48365$, 算法重复 150, 每次迭代 1000。

实验结果如表 3。

对应的配送路径为:

众包物流配送人员 1: 0-8-10-2-4-7-0

众包物流配送人员 2: 0-3-6-9-11-13-0

众包物流配送人员 3: 0-15-1-5-14-12-0

表 3 仿真实验最优解

客户编号	X_v	X_r	客户编号	X_v	X_r
1	3	2	9	2	3
2	1	3	10	1	2
3	2	1	11	2	4
4	1	4	12	3	5
5	3	3	13	2	5
6	2	2	14	3	4
7	1	5	15	3	1
8	1	1			

根据仿真结果, 客户的平均满意度为 100%, 是非常理想的; 参与此次配送任务的众包物流配送人员人数为 3, 其装载率均在 73% 以上, 获得的总

表 5 时间窗扩展后的客户点信息

客户点序号	货运量 g_i	$[EET_i, ET_i, LT_i, LLT_i]$	客户点序号	货运量 g_i	$[EET_i, ET_i, LT_i, LLT_i]$
1	2	[0.5, 0.8, 4.4, 5]	9	4	[2, 3.2, 8.2, 10]
2	2	[3, 3.6, 6.2, 6.5]	10	3	[0.5, 1.4, 4.8, 6]
3	4	[0.5, 0.8, 2.2, 2.5]	11	2	[1, 3.4, 9.4, 10]
4	3	[3.5, 3.8, 7.2, 7.5]	12	2	[4, 4.9, 10.2, 12]
5	1	[2, 2.6, 5.8, 6]	13	1	[5, 6.2, 11.4, 12]
6	4	[1.5, 1.8, 5.4, 6]	14	3	[0, 0.6, 6.6, 7.5]
7	3	[4, 4.6, 9.8, 11]	15	3	[1, 1.6, 6.5, 8]
8	3	[1, 1.3, 4.2, 4.5]			

时间窗扩展后, 将众包物流配送人员的最大载重量定义为 30 (一方面为了确保 2 名众包物流配送人员时不会超载, 另一方面货物量大且配送时间紧张的情况下选择载重量大的配送人员完全符合实际生活), 分别计算出当满意度为 100% 和 60% 时, 得到的众包物流配送人员的总收益和平均收益。如表 6 所示。

表 6 满意度参数分析

满意度参数	众包物流配送人员数量	载重量	众包物流配送人员总收益	众包物流配送人员平均收益
100%	2	30	-58.470	-29.235
60%	2	30	28.400	14.200

收益为 33.45, 平均收益为 11.15。结果表明, 算法给出的众包物流人员的调度路径保证了客户满意度, 做到了即时配送, 同时充分利用众包物流配送人员的运力。

表 4 众包物流配送人员调度基本情况

众包物流配送人员编号	配送路径	装载率	单次收益	客户满意度
1	0-8-10-2-4-7-0	93.3%	11.25	100%
2	0-3-6-9-11-13-0	100%	14.20	100%
3	0-15-1-5-14-12-0	73.3%	8.00	100%

4.2 大促时期众包物流运力调度方案分析

影响平台方案制定的因素还有客户满意度的大小, 通常情况下, 当一定时间段内的待配送货物数量非常大时 (例如双 11 时期), 平台不再硬性要求所有配送任务都能在客户期望的最佳时间内完成, 而是希望这一时间段内所完成的配送任务让客户客户的平均满意度达到一定的水平之上即可。本文通过左右扩展时间窗来分析客户的满意度变化对总体目标的影响。扩展后的客户服务时间窗如表 5 所示。

从表 6 中可以发现, 当满意度为 100% 时, 众包物流配送人员的总收益及平均收益均为负数, 而当满意度调整为 60% 时, 众包物流配送人员的总收益及平均收益均为正数, 其中平均收益为 14.2, 收益可观。实验表明, 当面临货物量比较大时, 平台完全可以选择较大载重量的众包物流配送人员, 和客户协商配送时间来制定配送方案, 保证得到的方案既能相对即时送货, 又能对众包物流配送人员起到利益激励的作用。因此, 在现实生活中, 可以通过有效的沟通和谈判获得较为宽松的服务时间窗, 对于短时间内完成货物量大的配送任务和提升客户满意度都具有重要的积极意义。

4.3 不同运力分配方案的收益激励分析

根据对现有几家众包物流平台的调研,在平台发布任务、众包物流人员接单这一过程中,众包物流人员的数量是充足的,抢单采取的主要是“先抢先得”的原则,是比较随机的,而且众包物流人员的接到的配送任务通常是“一对一的”。显然,这样的运作流程一定程度上难以充分的发挥众包物流人员的运力,平台对众包物流配送人员数量的选取和路线安排,不仅影响到客户是否在理想时间内收到货物以及众包物流配送人员所收到的个人收益,还直接关系着商家在物流配送的成本。

为了进一步的研究所建模型给出的收益分配能够起到收益激励的作用,即这一方案能够让众包物流人员在为商家创造效益的同时也为自己谋取利益,进而提高其积极性。本文将对众包物流配送人员的数量从1~15时的最优解进行分析。经过本文设计的粒子群算法计算后,得出不同众包物流配送人员数量选取对应的总体收益和平均收益的最优解集图,如图2。其中纵坐标代表的是众包物流配送人员的收益情况,横坐标代表的是众包物流配送人员的数量。黑色菱形对应的是总收益,灰色正方形对应的是平均收益。如图所示,总收益及平均收益在众包物流配送人员的数量为1~2时以及11~15时均为负数,经分析,当众包人员数量为1~2时,众包物流配送人员不仅要面临高昂的逾时惩罚成本还面临着高额的超载惩罚成本,因此无法完成配送任务,这类方案是不可取的;当众包物流配送人员的数量为11~15时,能够充分的体现现有的众包物流平台的运作过程,这种方案是可以完成配送任务的,但是由于众包物流配送人员数量冗余,造成了较大的机会成本,对于众包物流人员来说是不公平的,因此该类方案也是不可取的。

当众包物流配送人员的数量为3~10时,无论是众包物流配送人员的总收益还是平均收益都为正数,说明这些方案都可以满足配送要求,图中A点坐标为(6,39.3),即当众包物流配送人员的数量为6时,总收益为39.3,此时众包物流配送人员的总收益最大,而B点坐标为(3,11.15),即当众包物流配送人员的数量为3时,平均收益为11.15,此时众包物流配送人员的平均收益最大,经分析,由于众包物流配送人员的总收益从另一个角度来讲是商家所要支付的配送成本,为了吸引更多的商家下单以及激励更多的配送人员接单,作为众包物

流平台会在这些满足配送要求的方案中,选择总收益相对较小,平均收益最大的方案,这样方案既能让商家以最小的成本获得最大的效益又能使得众包物流配送人员获得可观收益,起到收益激励的作用,所以算法给出的最优方案是选择3名众包物流配送人员进行配送,这一方案的选择也完全符合前面制定的配送原则,尽可能选择最少的众包物流配送人员,充分利用众包物流配送人员的运力,增大众包物流配送人员的平均收益,提高积极性。实验表明:在保证客户满意度的前提下,平台可以根据自身的发展战略权衡商家和配送人员的利益,对众包物流配送人员进行收益激励,提高其积极性,对众包物流运力进行合理的规划。

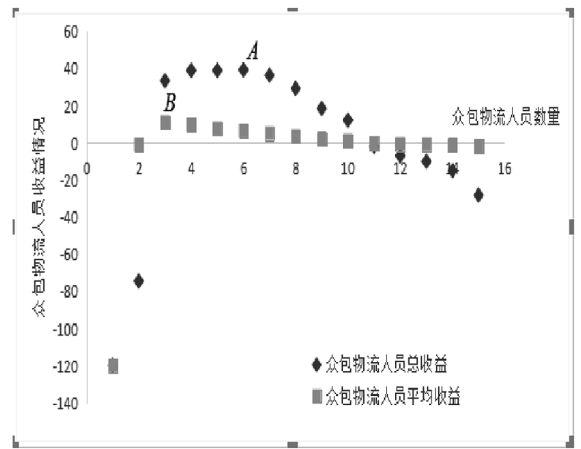


图2 众包物流配送人员数量对应收益解集图

5 结论

进一步推动众包物流的发展,众包物流平台制定的配送方案一方面需要即时交货,提高客户满意度,从而确保订单量,另一方面需要考虑如何对众包物流运力进行收益激励,提高其积极性,确保承接配送订单人员的数量。本文提出了基于即时配送和收益激励的众包物流运力调度问题,通过对时间窗进行模糊化处理,构建客户满意度函数,能够更好的衡量客户对服务时间的偏好,使得客户满意度的衡量更拟合人的实际心理。将最大化众包物流配送人员收益为优化目标,是对众包物流配送人员的一种收益激励,充分利用众包物流配送人员的运力,提高其积极性,同时引入机会成本、逾时惩罚成本和超载惩罚成本,使得众包物流配送人员的收益更加的贴合实际情况。构建了涵盖客户满意度和众包物流配送人员收益的多目标模型,在算法上采用带有权重的

粒子群算法,最后通过实验证明了其有效性,在求解结果达到了理想效果。此外,通过对众包物流配送人员的数量差异对实验结果的影响分析,可以为平台做出兼顾各方利益的方案提供数据支持,便于现实生活中的操作,本文还可依据满意度灵活扩展时间窗,为平台特殊时期提供众包物流运力调度解决方案,具有现实意义和参考价值。

现今,对于众包物流运力调度问题还比较少,本文也只是就众包物流运力调度问题上进行了一些尝试,得到了一些初步的结果。但是实际上影响众包物流的发展的还有更多复杂不确定的因素,因此,进一步研究影响众包物流发展因素的问题也将是一项很有意义的研究。

参考文献:

- [1] 丁秋雷. 客户时间窗变化的物流配送干扰管理模型——基于行为的视角[J]. 中国管理科学, 2015, 5(5): 89-96.
- [2] 任锡德, 朱建民, 王晶, 黄钧. 考虑均衡性的不确定时间车辆调度问题研究[J]. 运筹与管理, 2013, 2(2):

86-91.

- [3] 王旭坪, 阮俊虎, 张凯, 马超. 有模糊时间窗的车辆组合干扰管理研究[J]. 管理科学学报, 2011, 1022(14): 1-13.
- [4] 王君, 李波. 基于多目标优化的模糊需求 VRPTW 动态管理[J]. 管理学报, 2013, 10(2): 238-234.
- [5] Wang H F, Wen Y P. Time-constrained Chinese postman problems[J]. Computer & Mathematics with application, 2002, 44(3-4): 375-387.
- [6] 张建勇, 李军, 郭耀煌. 具有模糊预约时间的 VRP 混合遗传算法[J]. 管理科学学报, 2005, 8(3): 64-71.
- [7] 王旭坪, 张凯, 胡祥培. 基于模糊时间窗的车辆调度问题的研究[J]. 管理工程学报, 2011, 3(3): 149-149.
- [8] CAO, LAI M. A hybrid differential evolution algorithm to vehicle routing problem with fuzzy demands [J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2009, 231(1): 302-310.
- [9] Ai J, Kachitvichyanukul V. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery [J]. Computers & Operation Research, 2009, 36(5): 1693-1702.
- [10] Salman A, Ahmad I, AL-MADANI S. Particle swarm optimization for task assignment problem [J]. Microprocessors and Micro system, 2002, 26(8): 363-371.