

文章编号:1003-207(2016)zk-0170-07

## 基于时间满意度的 O2O 外卖配送路径优化问题研究

陈萍<sup>1,2</sup>, 李航<sup>1</sup>

(1. 南开大学商学院, 天津 300071; 2. 南开大学现代物流研究中心, 天津 300071)

**摘要:**本文在分析餐饮 O2O 外卖客户满意度特点的基础上, 基于传统的取送货车车辆路径问题模型, 提出一个适合餐饮 O2O 外卖配送的优化模型, 并提出了能够有效求解该模型的启发式算法。模型以最大化客户时间满意度为目标, 其中客户满意度利用到达客户时间的函数进行刻画。利用调研获取的某外卖平台的某个配送中心的实际数据构造测试算例, 通过数值实验, 验证了模型和算法的有效性。最后, 基于仿真实验结果提出可行的外卖平台改进配送效率和客户满意度的建议。

**关键词:**取送货车车辆路径问题; 时间满意度; O2O 外卖; 时间窗; 启发式算法

**中图分类号:**C931; O22 **文献标识码:**A

### 1 引言

近年来, 餐饮 O2O(Online to Offline)行业高速发展。2014 年餐饮 O2O 市场规模接近千亿, 46.9% 的网民使用过外卖<sup>[1]</sup>。目前, 国内的外卖配送模式分为重模式平台和轻模式平台。其中, 重模式平台自建物流体系, 雇佣专职配送员提供线下配送服务。相较于轻模式, 重模式平台具有配送服务标准化流程化、合作餐馆餐品质量优等优势, 但由于其自建物流成本高昂, 配送调度难度大等特点, 使得顾客实际的配送等待时间较长甚至超出预计到达时间。由于按时配送是外卖配送中影响顾客满意度的重要因素, 因此, 如何提高送餐效率, 尽可能地提高顾客的时间满意度, 是外卖线下配送的重要问题。

基于此, 本文将以提高顾客满意度为目标, 研究外卖配送的带时间窗的取送货车车辆路径问题(Time Satisfaction Maximization Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem with Time Windows, TSM-PDVRPTW)。取送货车车辆路径问题(Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem, PDVRP)车辆路

径问题(Vehicle Routing Problem, VRP)<sup>[2]</sup>的一般形式, 除车辆容量约束外, 还具有取货点和送货点的先后访问次序约束, 即, 同组的送货结点必须与对应的取货结点规划在同一条路径上, 且必须在取货结点之后被访问。由于 PDVRP 在实际生活中广泛存在, 目前各国学者对该问题进行了深入地研究, 并获得丰富的理论研究成果<sup>[3]</sup>。Parragh 等<sup>[4]</sup>对不同类型的取送货路径问题进行了归纳和总结。Parragh 等<sup>[4]</sup>以及 Toth 和 Vigo<sup>[3]</sup>都讨论了带时间窗的取送货路径问题的数学模型模型; 由于 NP 难特性, 许多研究者对求解该问题的启发式算法进行了研究, 包括构造性算法<sup>[5]</sup>、反应式禁忌搜索算法<sup>[6]</sup>、分组遗传算法<sup>[7]</sup>、大规模邻域搜索算法<sup>[8]</sup>和混合启发式算法<sup>[9]</sup>等。近年来, 部分学者也提出了有效求解带时间窗取送路径问题的精确算法, 如 Ropke 等提出的分支剪枝法<sup>[10]</sup>、分支剪枝定价法<sup>[11]</sup>和 Baldacci 等提出的基于集合划分的整数模型的精确算法<sup>[12]</sup>。由于现实生活中 PDVRP 普遍存在, 近年来从实际应用中不断产生新的 PDVRP 问题变形, 如需求可拆分的非配对的 PDVRP<sup>[13]</sup>、考虑三维装箱约束的 PDVRP<sup>[14]</sup>、考虑环境影响的绿色 PDVRP<sup>[15]</sup>和带收益的 PDVRP<sup>[16]</sup>等。国内的学者也对该模型的实际应用进行了深入的研究, 唐加福等<sup>[17]</sup>研究了机场客户接送服务的接送乘客的车辆路径问题, 并提出一种精确算法进行求解。

现有取送货路径问题模型一般是以总路径最短或总成本最小为目标, 并通常考虑车辆的最大载重

收稿日期:2016-07-01; 修订日期:2016-07-13

基金项目:教育部人文社会科学规划资助项目(13YJC630010)

作者简介:陈萍(1981—), 女(汉族), 山东人, 南开大学商学院讲师, 博士, 研究方向:城市物流、车辆优化调度、智能优化算法。

等约束。在 O2O 外卖配送中,企业更注重客户对送餐时间的满意度。因此,本文从服务满意度的角度出发,基于以下假设建立模型:首先,本文假定每个客户都有一定的服务时间窗,并基于实际配送时间与时间窗的关系,定义客户对外卖服务的时间满意度函数,目标是最大化所有客户的时间满意度;此外,考虑到快餐商品通常体积小、数量少的特点,因此本文假设不考虑配送车辆承载力的约束;第三,由于配送高峰期通常需要全体配送人员参与配送,因此假定车辆数是固定的;第四,实际 O2O 外卖配送通常使用电动车,考虑到电动车的续航能力,本文假定具有最大行驶里程约束;第五,外卖配送属于配对取送货问题,因此节点之间具有访问先后次序约束。根据以上假设,本文建立了 O2O 外卖配送的混合整数规划模型。考虑到模型的 NP 难特性,本文设计了一种遗传算法对模型进行求解。基于实地调研数据构建算例,并通过算例验证了模型及算法的有效性,并结合实验结果为 O2O 外卖企业提出可行的提高配送效率的建议。

## 2 模型的建立

### 2.1 问题描述

本文的研究问题 TSM-PDVRPTW 可用图  $G=(N,A)$  进行描述,其中  $N=\{0\}\cup N^+\cup N^-$ ,表示所有节点的集合,包括配送中心(0)、n 个订单中所有餐馆的集合  $N^+$  以及所有客户的集合  $N^-$ ;  $A=\{(i,j)|i\in N,j\in N\}$  为所有弧的集合。假设配送中心有 K 个配送员,某时刻要对 r 个外卖订单进行配送,配送员 k 完成所分配订单后返回配送中心。订单  $r=(p_r,d_r)$ ,  $p_r\in N^+$ ,  $d_r\in N^-$ , 订单集合表示为 R。由于外卖一般重量和体积都不大,通常配送车辆为电动车,因此可以忽略配送车辆的容量约束,但要考虑配送车辆最大行驶里程限制 L。假设餐馆每单需要的平均备餐时间为 wt,送餐时客户的平均服务等待时间为 st。要求订单 r 中  $p_r$  与  $d_r$  同属于一条路径,并且先访问  $p_r$ 。假设客户 i 的送餐的时间窗为  $[e_i, l_i]$ ,可接受的最迟送餐时间为  $L_i>l_i$ ,客户满意度为  $S_i$ ,目标是合理分配订单并安排快递员的取送餐路径,使得所有客户的总时间满意度最高。

本文使用服务时间窗下的线性连续时间满意度函数<sup>[18]</sup>来量化顾客时间满意度。假设配送到达和

离开结点 i 的时刻分别为  $T_{Ai}$  和  $T_{Li}$  快餐的配送到达时间与顾客的满意程度关系如图 1 所示:

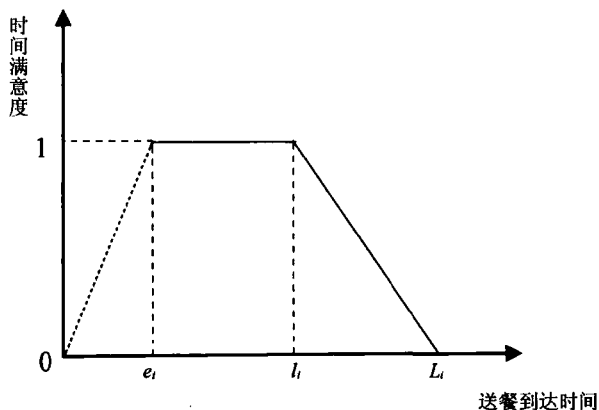


图 1 顾客 i 的时间满意度函数

时间满意度函数  $S_i$  的计算公式如下:

$$S_i = \begin{cases} 1, & e_i \leq T_{Ai} \leq l_i \\ \frac{L_i - T_{Ai}}{L_i - l_i}, & l_i \leq T_{Ai} \leq L_i \\ 0, & T_{Ai} \geq L_i \end{cases} \quad (1)$$

公式(1)表明,若配送员在时间窗内将餐送达顾客处,则顾客时间满意度为 1;若配送员到达时刻超出允许最迟送餐时间,则顾客时间满意度为 0;在二者之间送达,则顾客时间满意度随着送餐时刻的推移递减。

图 2 给出了具有 2 个配送员,3 个订单的问题示意图。在图 1 中,配送员 1 服务订单 A,即从订单 A 中指定的餐馆 A 处取餐后,送至客户 A',最后返回配送中心;配送员 2 服务订单 B 和 C,即从餐馆 B 和 C 取餐后,先送至客户 C',再送至客户 B',最后返回配送中心。根据公式(1)可以计算本次配送服务的总体客户满意度。

### 2.2 模型构建

决策变量:

$x_{ijk}$ :第 k 辆车从结点 i 行驶到结点 j 时为 1,否则为 0;

$z_{rk}$ :将订单 r 分派给车辆 k 时为 1,否则为 0;

$S_i$ :顾客 i 的时间满意度。

基于以上的假设条件和参数定义、符号说明,可以建立时间满意度最大化的带时间窗的取送货车车辆路径问题模型 TSM-PDVRPTW:

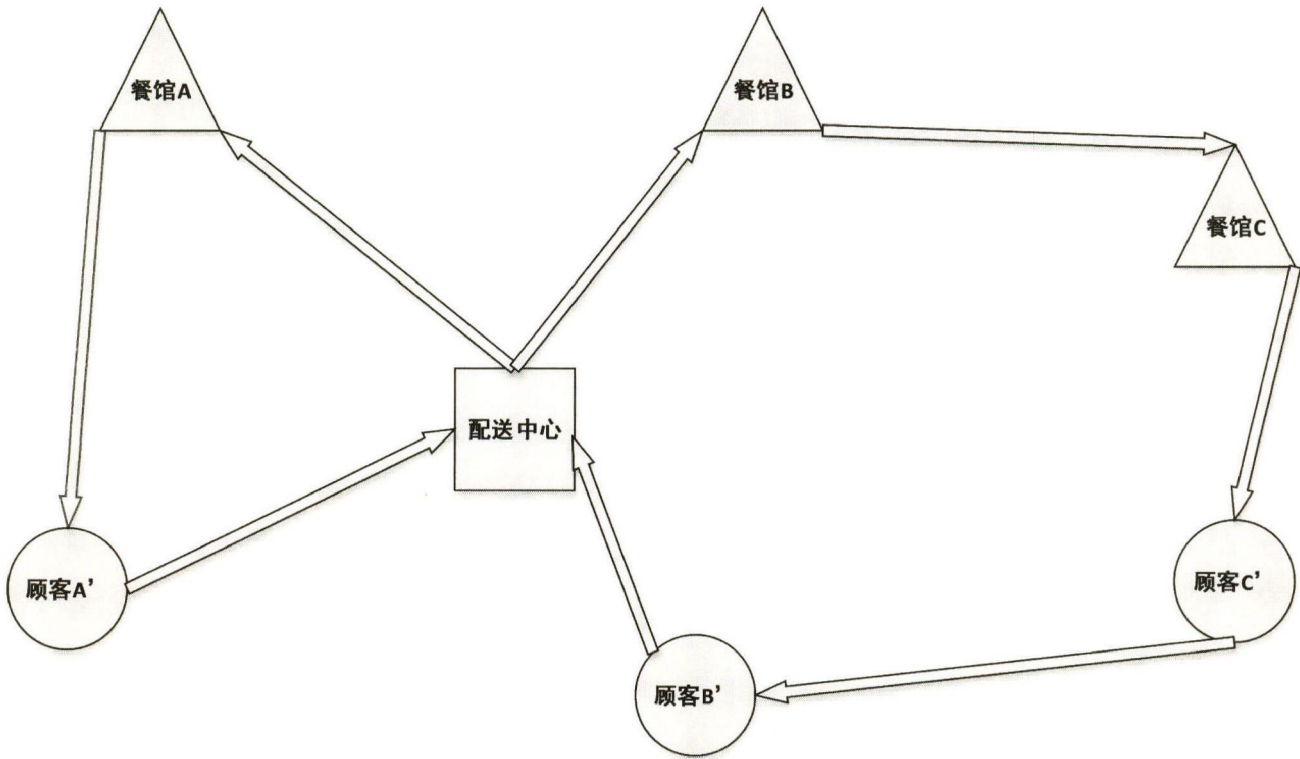


图2 外卖配送路径示意图

$$\text{Maximize } \sum_{i \in N^+} S_i$$

s. t.

$$\sum_{k \in V} z_{rk} = 1, \forall r \in R$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1, \forall i \in N$$

$$\sum_{j \in N} x_{0^+jk} = 1, \forall k \in V$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0^-k} = 1, \forall k \in V$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0, \forall k \in V, \forall h \in N$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{0^+jk} \leq K$$

$$\sum x_{ijk} * d_{ij} \leq L, \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in V$$

$$T_{Li} + t_{ij} = T_{Aj}, \text{ 当 } x_{ijk} = 1, \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in V$$

$$T_{Li} \leq T_{Aj}, \forall i \in N_r^+, \forall j \in N_r^-$$

$$T_{Li} \geq wt, \forall i \in N^+$$

$$T_{L0^+} = 0$$

目标函数(2)表示最大化总的顾客时间满意度;约束(3)确保每一张订单由且只由一辆车来完成;约束(4)确保每个结点最多被一辆车访问一次;约束(5)和约束(6)确保每辆车从配送中心出发,并最终返回到配送中心;约束(7)确保车辆到达一个结点

(非配送中心结点)后一定会从该结点离开。约束(8)确保分派出去的配送员数量小于配送员总数;约束(9)是车辆最大行驶里程约束;约束(10)和约束(11)是配送时间和顺序的限制;约束(12)确保取餐结点的离开时间不早于餐馆的备餐时间;约束(13)规定车辆从配送中心出发的时刻为0时刻。

### 3 求解算法

本文在 Jung 和 Haghuni<sup>[19]</sup> 的基础上,提出一种改进的遗传算法(Genetic Algorithms, GA)进行求解。本文算法中采用整数编码。在染色体中自然缺省配送中心0,染色体中只编码顾客(送餐)结点。在一条配送路径上有n个订单,本文用1,2,...,n来表示送餐结点,例如在一次配送任务中有8张订单,则其中的一条染色体可表示为(1 2 3 4 8 7 6 5)。初始种群本文采用随机生成的方式产生,初始种群规模为N=50。首先将染色体上的基因位按照解码规则分组,确定路径数及每条路径上的送餐结点,而后在每条路径中插入配对的取餐结点,配对的取餐结点应当在送餐结点之前。例如,染色体(1 2 3 4 8 7 6 5)中的前三个结点分配为第一条路径,则在(1 2 3)中插入相应的取餐结点9,10,11,例如(9 1 10 2 11 3)。

本文算法中的适应度函数为  $F(i) = \max \{S(i)_j\}, j=1,2,\dots,n!$ , 其中,  $S(i)$  表示第  $i$  条染色体所示路径的总顾客满意度, 插入方式共有  $n!$  种, 因而  $j=1,2,\dots,n!$ 。规定不符合联结约束(送餐结点在配对的取餐结点之前被访问)的路径适应度函数值为 0。

本文算法借鉴曹道友和程家兵<sup>[20]</sup>中的改进选择算子, 对染色体进行选择。本文采用的交叉方法为正向连续交叉<sup>[21]</sup>, 将种群中的染色体随机配对, 对于要产生变异的两条染色体, 随机产生两个交叉点, 将两条染色体交叉点之间的基因互换, 排列到基因位尾端并消除原序列中与之重复的基因位, 将得到的两条子代染色体与两条父代染色体按照适应度值由高到低排列, 保留适应度值高的两条染色体作为交叉结果。例如, 交叉点为 3 和 6, 染色体 E1 和 E2 进行正向连续交叉的过程如图 3 所示。

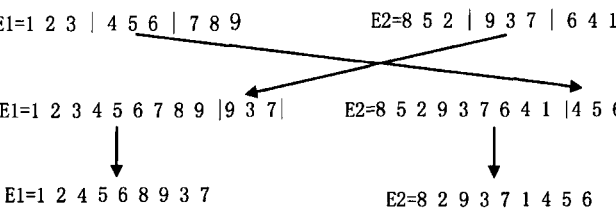


图 3 正向连续交叉示意图

本文采用逆转变异算子, 即对染色体 E 随机产生两个变异点, 将变异点之间的基因倒序排列, 产生新的染色体 E1, 示意图如图 4 所示。

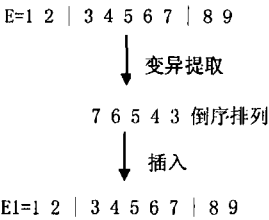


图 4 逆转变异示意图

4 实验结果与分析

为验证本文模型和合理性和算法的有效性, 本文通过实地调研 Y 公司外卖 NK 配送中心, 获取合作商户、客户分布、配送人员数量、订单等相关数据, 构建测试算例, 并进行仿真实验。

4.1 算例构建

场景 1:

某时刻 T, 配送中心共有待处理订单 30 个, 可用配送人员 10 人, 假设配送使用车辆的最大行驶里程为  $L=15\text{km}$ , 餐馆的平均备餐时间  $wt=5\text{min}$ , 顾客的平均服务时间  $st=2\text{min}$ , 配送速度  $v=10\text{km/h}$ 。用数字 1~30 代表餐馆序号, 符号(1)~(30)代表配对的顾客序号, 取送餐结点的坐标位置通过地图获取, 如表 1 所示, 其中两结点之间的距离为城市距离, 即  $d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$ 。送餐客户的服务时间窗和允许最迟送餐时间如表 2 所示。

表 1 测试算例相关数据信息(单位:米)

客户结点	X	Y	$e_i$	$l_i$	$L_i$	餐馆结点	X	Y
配送中心	1612.5	750.0	—	—	—	配送中心	1612.5	750.0
(1)	1925.0	2062.5	0	10	20	1	2725.0	2200.0
(2)	1787.5	412.5	0	10	20	2	575.0	587.5
(3)	737.5	425.0	0	10	20	3	1062.5	875.0
(4)	1837.5	2362.5	0	10	20	4	1650.0	1512.5
(5)	1262.5	2075.0	0	10	20	5	637.5	1012.5
(6)	1687.5	1650.0	0	10	25	6	1425.0	1887.5
(7)	737.5	1537.5	0	10	25	7	1650.0	1512.5
(8)	862.5	2575.0	0	10	25	8	2962.5	1150.0
(9)	1262.5	2075.0	0	10	25	9	625.0	2562.5
(10)	2712.5	1737.5	0	10	25	10	2137.5	1987.5
(11)	2000.0	2350.0	0	20	30	11	1262.5	2637.5
(12)	1612.5	2250.0	0	20	30	12	875.0	1125.0
(13)	1487.5	2225.0	0	20	30	13	725.0	1450.0
(14)	2350.0	2600.0	0	20	30	14	1375.0	1850.0

续表

客户结点	X	Y	$e_i$	$l_i$	$L_i$	餐馆结点	X	Y
(15)	1837.5	2362.5	0	20	30	15	1375.0	1850.0
(16)	1862.5	1425.0	0	30	40	16	2087.5	1250.0
(17)	2400.0	2375.0	0	30	40	17	1450.0	2700.0
(18)	1437.5	1362.5	0	30	40	18	2187.5	625.0
(19)	325.0	2762.5	0	30	40	19	675.0	1975.0
(20)	750.0	1512.5	0	30	40	20	87.5	1125.0
(21)	3262.5	2625.0	10	30	35	21	2300.0	2062.5
(22)	1925.0	1887.5	10	30	35	22	2800.0	2325.0
(23)	2250.0	2175.0	10	30	35	23	2650.0	2225.0
(24)	2012.5	1750.0	10	30	35	24	2825.0	2425.0
(25)	1825.0	2050.0	10	30	35	25	887.5	1137.5
(26)	2350.0	1725.0	20	50	60	26	2675.0	1325.0
(27)	1462.5	2387.5	20	50	60	27	1512.5	1362.5
(28)	1800.0	1050.0	20	50	60	28	2625.0	2262.5
(29)	1687.5	1650.0	20	50	60	29	2625.0	2262.5
(30)	2175.0	737.5	20	50	60	30	912.5	687.5

场景 2:

为研究顾客服务时间窗范围对结果的影响,重

新设置服务时间窗及最迟送餐时间,其余设置

与场景 1 中保持一致,如表 2 所示。

表 2 顾客服务时间窗和最迟送餐时间(单位:min)

客户结点	$e_i$	$l_i$	$L_i$	客户结点	$e_i$	$l_i$	$L_i$
(1)	0	20	30	(16)	0	30	40
(2)	0	20	30	(17)	0	30	40
(3)	0	20	30	(18)	0	30	40
(4)	0	20	30	(19)	0	30	40
(5)	0	20	30	(20)	0	30	45
(6)	0	25	35	(21)	0	40	50
(7)	0	25	35	(22)	0	40	50
(8)	0	25	35	(23)	0	40	50
(9)	0	25	35	(24)	0	40	50
(10)	0	25	35	(25)	10	40	50
(11)	0	25	40	(26)	10	40	50
(12)	0	25	40	(27)	10	40	50
(13)	0	25	40	(28)	10	40	50
(14)	0	25	40	(29)	10	40	50
(15)	0	25	40	(30)	10	40	50

## 4.2 实验结果

结合算例规模,设定遗传算法参数如下:种群规模  $N=100$ ,迭代次数  $T=100$ ,变异概率  $P_m=0.1$ 。使用 Matlab R2014a 运行遗传算法。

实验结果表明,场景 1 的总客户满意度为 27.4,订单分配与路径安排情况如表 3 所示。从表 3 的结果可以看出,每个配送员都配送 3 个订单,行程时间相对均衡。

表 3 最优解中的配送员订单分配与路径安排

配送员	配送订单	路径安排	行程时间(min)
1	8,20,27	8-20-27-(8)-(27)-(20)	85.80
2	6,13,18	6-13-18-(13)-(6)-(18)	49.95
3	9,11,22	9-11-22-(11)-(22)-(9)	76.20
4	5,15,23	5-15-23-(23)-(15)-(5)	54.30
5	7,16,28	7-28-16-(28)-(7)-(16)	57.90
6	2,19,29	2-19-29-(29)-(2)-(19)	102.28
7	3,26,30	3-30-26-(26)-(30)-(3)	55.50
8	4,12,17	4-12-17-(4)-(12)-(17)	66.75
9	10,24,25	10-25-24-(25)-(10)-(24)	75.75
10	1,14,21	1-14-21-(21)-(14)-(1)	68.70

为了分析配送速度和服务时间窗的弹性对模型解的影响,本文比较了场景 2 和场景 1 的最优解,结果如表 4 所示。

表 4 实验结果对比分析

场景	配送速度(km/h)	时间窗平均值			最优解 顾客满意度
		$e_i$	$l_i$	$L_i$	
1	10	5	25	35	27.4
2	10	2	30	41	29.5

从表 4 中可以看出,服务时间窗的范围对顾客满意度具有较大的影响,因此,适当提高服务时间窗的弹性,能够有效地提高送餐的客户满意度。

## 5 结语

本文引入顾客整体满意度作为优化目标,提出了外卖配送的带时间窗的取送货车路径优化题模型,并设计了遗传算法进行求解,仿真实验的结果验证了模型和合理性和算法的有效性。此外,实验结果表明,相同条件下,时间窗范围越大,越容易提升顾客的满意度。因此,本文提出以下建议:外卖平台企业应增进与消费者的互动交流;一方面,要在配送结束时及时咨询顾客对于等待时间的态度及满意程度,收集整理顾客数据,做好顾客服务时间窗的大数据分析。另一方面,要在线上订单页面适当延长预期到达时间,减少顾客不满意的主观体验,从而增强顾客黏性,扩大市场份额。

由于本文研究的模型属于确定性 VRP,随着个体需求的个性化以及灵活性不断增加,在未来研究中,可以考虑订单分派和配送过程中的不确定因素。随着餐饮 O2O 外卖市场规模的不断扩大,该问题对应的求解规模对于现有的调度方式是一个巨大的挑战,在后续研究中,我们将深入研究各种求解的启

发式算法,以适应更加复杂的现实问题。

## 参考文献

- [1] 艾瑞咨询. 2015 年中国外卖 O2O 行业发展报告[EB/OL]. 2015. <http://www.iresearch.com.cn/report/2370.html>.
- [2] Dantzig G, Ramser J. The truck dispatching problem[J]. Management Science, 1959, 6(1): 80-91.
- [3] Toth P, Vigo D. Vehicle routing: Problems, methods, and applications(2<sup>nd</sup> ed.) [M]. Philadelphia: MOS - SIAM series on optimization. 2014.
- [4] Parragh S N, Doerner K F, Hartl R F. A survey on pickup and delivery problems. Part II: Transportation between pickup and delivery locations[J]. Journal für Betriebswirtschaft, 2008, 175(2): 81-117.
- [5] Lu Q, Dessouky M M. A new insertion-based construction heuristic for solving the pickup and delivery problem with time windows[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 175(2): 672-687.
- [6] Nanry W P, Barnes W. Solving the pickup and delivery problem with time windows using reactive tabu search[J]. Transportation Research Part B, 2000, 34(2): 107-121.
- [7] Pankratz G. A grouping algorithm for the pickup and delivery problem with time windows[J]. OR Spectrum,

- 2005, 27(1): 21—41.
- [8] Ropke S, Pisinger D. An adaptive large neighborhood search for the pickup and delivery problem with time windows[J]. *Transportation Science*, 2006, 40(4): 455—472.
- [9] Bent R, van Hentenryck P. A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows[J]. *Computers & Operations Research*, 2006, 33(4): 875—893.
- [10] Ropke S, Cordeau J F, Laporte G. Models and a branch-and-cut algorithm for pickup and delivery problems with time windows[J]. *Networks*, 2007, 49(4): 258—272.
- [11] Ropke S, Cordeau J F. Branch and cut and price for the pickup and delivery problem with time windows[J]. *Transportation Science*, 2009, 43(3): 267—286.
- [12] Baldacci R, Bartolini E, Mingozzi A. An exact algorithm for the pickup and delivery problem with time windows[J]. *Operations Research*, 2011, 59(2): 414—426.
- [13] Chen Qingfeng, Li Kunpeng, Liu Zhixue. Model and algorithm for an unpaired pickup and delivery vehicle routing problem with split loads [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2014, 69(3): 218—235.
- [14] Mannel D, Bortfeldt A. A hybrid algorithm for the vehicle routing problem with pickup and delivery and three-dimensional loading constraints [J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 254(3): 840—858.
- [15] Madankumar S, Rajendran C. Mathematical models for green vehicle routing problems with pickup and delivery: A case of semiconductor supply chain [J]. *Computers & Operations Research*, 2016, DOI: 10.1016/j.cor.2016.03.013
- [16] Li yuan, Chen haoxan, Prins C, et al. Adaptive large neighborhood search for the pickup and delivery problem with time windows, profits, and reserved requests [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 252(1): 27—38.
- [17] Tang Jiafu, Yu Yang, Li Jia. An exact algorithm for the multi-trip vehicle routing and scheduling problem of pickup and delivery of customers to the airport [J]. *Transportation Research Part E*, 2015, 73: 114—132.
- [18] 陈淑姣. 基于客户价值和时间满意度的企业物流配送网络规划研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [19] Jung S, Haghani A. Genetic algorithm for a pickup and delivery problem with time windows [J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2000, 1733, (2): 1—7.
- [20] 曹道友, 程家兴. 基于改进的选择算子和交叉算子的遗传算法[J]. *计算机技术与发展*, 2010, 20(2): 44—47.
- [21] 詹孝龙. 遗传算法在带时间窗的车辆路径问题中的应用[D]. 南昌: 江西理工大学, 2014.

### Optimization Model and Algorithm based on Time Satisfaction for O2O Food Delivery

CHEN Ping<sup>1,2</sup>, LI Hang<sup>1</sup>

(1. Business School, Nankai University, Tianjin 300071 China;

2. The Research Center of Logistics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract:** O2O food delivery has developed quickly in recent years, in which the customer time satisfaction is an essential goal. In this paper, based on the analysis of characteristics of customer satisfaction in O2O food delivery, a proper model is built on the basis of classical pickup and delivery vehicle routing problem. Also, heuristic algorithm is proposed for solving this model. The aim is to maximize the customer time satisfaction, which is described as a function to the arrival time at the customer. A test instance is built based on the data from a real O2O food delivery organization. Computational results demonstrate the effectiveness of the model and algorithm. Finally, suggestions that can potentially improve both the delivery efficiency and customer satisfaction are provided.

**Key words:** pickup and delivery vehicle routing problem; time satisfaction; O2O food delivery; time windows; heuristic algorithm