

## 客户数量变动扰动下的配送车辆调度研究

曹庆奎,赵丽飞,任向阳

(河北工程大学 管理工程与商学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**针对物流配送活动中经常出现有新客户订货或者是已经订货的客户退货的情况。将客户关系管理与物流配送干扰管理相结合,在考虑客户等级划分的条件下,以扰动过程中的客户数量变动为研究对象,针对客户数量变动问题,构建客户数量变动扰动下的配送车辆干扰管理模型,运用模拟植物生长算法对模型进行优化求解。结合具体实例,验证了模型及算法的有效性。

**关键词:**客户数量;客户等级划分;干扰管理;车辆调度;模拟植物生长算法

**中图分类号:** F253

**文献标识码:** A

## Research on vehicle scheduling problem with customer quantity variation

CAO Qingkui, ZHAO Lifei, REN Xiangyang

(School of Management Engineering and Business, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** Logistics distribution activities often encounter with new customer or customer who wants to return goods for refund. The customer relationship management and the disruption management were combined to set up the distribution vehicle disruption management model under the customer segmentation by taking the customer quantity change as the object. Finally, the model was optimized by the plant growth simulation algorithm. Engineering practice verified the validity of the model and algorithm.

**Key words:** customer quantity; customer grade classification; distribution management; vehicle scheduling; plant growth simulation algorithm

物流配送活动中经常出现有新客户订货或者是已经订货的客户退货的情况。国内外的研究者对于干扰管理进行了大量的研究,Rhalibi等<sup>[1-2]</sup>建立相关模型有效地解决了带有时间限制的车辆延迟问题;王明春<sup>[3-4]</sup>等提出了一种带有时间窗的扰动恢复策略;胡祥培<sup>[5-6]</sup>等提出了从客户满意度、配送成本以及路径偏离量三方面来衡量,改进智能优化算法对模型求解;丁秋雷等提出了基于前景理论的物流配送干扰管理模型;Ding<sup>[4,8-11]</sup>建立了车辆调度的干扰模型;模拟植物生长算法是李彤提出来的一种智能优化算法,该算法目前已经被广泛的运用到各领域。目前的研究中对于客户数量变动方面的扰动的研究并不完善,多数是将其归纳为需求量变动,并没有考虑客户的重要程度。本文在考虑客户等级划分的前提下,建

立了客户数量变动扰动下的配送车辆干扰管理模型,并结合实例,利用模拟植物生长算法对模型进行求解。

### 1 基于云模型的客户细分

针对物流企业客户的特点,从客户的当前价值、客户潜在价值以及关系价值三方面对物流企业客户的客户价值进行分析,建立物流企业客户价值评价指标体系,将云模型以及局部变权理论相结合对各项指标进行处理,对物流企业的客户进行等级划分。

#### 1.1 客户价值评价指标体系

对于物流企业的客户,根据物流企业的特点,从客户的全生命周期出发构建物流企业客户价值

收稿日期:2016-07-07

特约专稿

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61375003);河北省自然科学基金资助项目(F2014402040);河北省社会科学基金资助项目(HB16GL026);河北省人才工程培养经费资助科研项目(A2016001120);河北省教育厅科学研究计划项目(SD161009)

作者简介:曹庆奎(1963-),男,河北唐山人,博士,教授,研究方向为物流与供应链管理。

评价指标体系,该指标体系中有 3 个一级指标,11 个二级指标,如图 1 所示:

1.2 客户指标权重的确定

利用德尔菲法将 11 项二级指标重要性进行两两对比打分,在第一轮打分结束以后,利用云模型对指标的打分进行修正。最终确定各个指标之间的对比情况。客户周期服务费用与客户服务费用两个指标间的打分过程如图 2 所示。得到的判断矩阵如表 1 所示;对表 1 中数据归一化处理,得到各个二级指标的初始权重,如表 2 所示:

1.3 客户分类综合评价价值计算

在得到上述表格中的权重以后,将物流公司客户的各组数据利用公式(1)计算综合评价价值,其中各二级指标作为常权变量。

$$V = \sum_{i=1}^r \frac{W_i^{(0)} X_i^a}{\sum_{k=1}^r W_k^{(0)} X_k^{a-1}} \times \sum_{i=1}^r W_i^{(0)} + \sum_{i=r+1}^m W_i^{(0)} X_i \quad (1)$$

其中: $W_i^{(0)}$ 表示各项指标初始权重; $X_i^a$ 表示变权变量; $X_i$ 表示常权变量; $a$ 表示补偿系数,在 0 ~1 之间取值<sup>[16]</sup>。

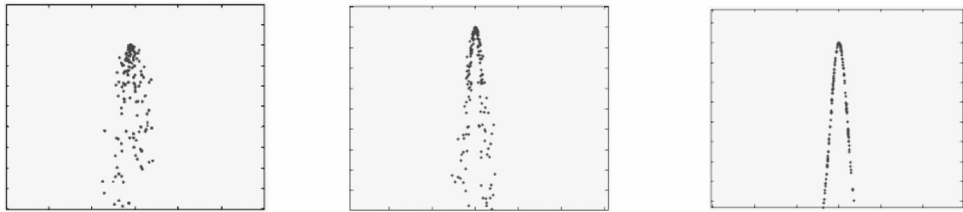
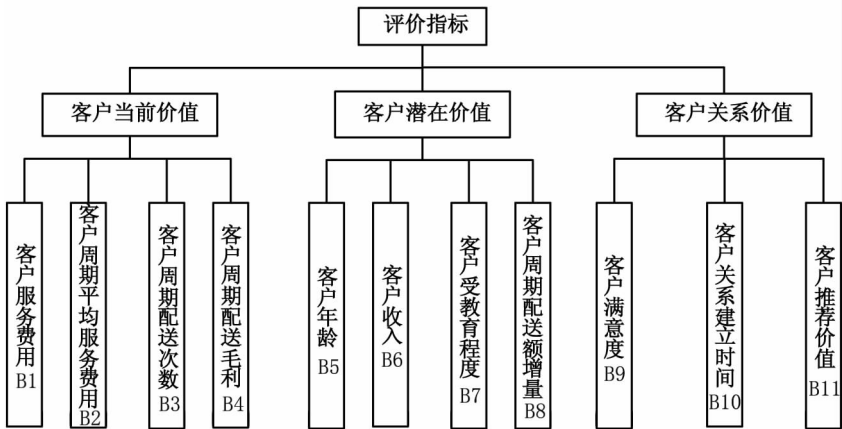


图2 专家打分情况云模型  
Fig.2 Cloud model of expert scoring

表 1 专家打分后得到的判断矩阵  
Tab.1 Judge matrix after scoring

二级指标	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>	B <sub>10</sub>	B <sub>11</sub>
B <sub>1</sub>	1	1.471	3.125	5	2.273	4.167	3.571	5	3.125	8.333	5
B <sub>2</sub>	0.680	1	2.125	3.4	1.545	2.833	2.429	3.4	2.125	5.667	3.4
B <sub>3</sub>	0.32	0.471	1	1.6	0.727	1.333	1.143	1.6	1	2.667	1.6
B <sub>4</sub>	0.2	0.294	0.625	1	0.455	0.833	0.714	1	0.625	1.667	1
B <sub>5</sub>	0.439	0.647	1.376	2.198	1	1.833	1.571	2.2	1.375	3.667	2.2
B <sub>6</sub>	0.24	0.353	0.75	1.2	0.546	1	0.857	1.2	0.75	2	1.2
B <sub>7</sub>	0.28	0.417	0.875	1.4	0.637	1.167	1	1.4	0.875	2.333	1.4
B <sub>8</sub>	0.2	0.294	0.625	1	0.455	0.833	0.714	1	0.625	1.667	1
B <sub>9</sub>	0.32	0.147	1	1.6	0.727	1.333	1.143	1.6	1	2.667	1.6
B <sub>10</sub>	0.12	0.176	0.345	0.6	0.273	0.5	0.429	0.6	0.375	1	0.6
B <sub>11</sub>	0.2	0.294	0.625	1	0.455	0.833	0.714	1	0.625	1.667	1

表2 各二级指标的初始权重

Tab.2 Initial weights of second level indexes

二级指标	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>	B <sub>10</sub>	B <sub>11</sub>
$W_i^{(0)}$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.11	0.06	0.07	0.05	0.08	0.03	0.05

### 1.4 客户等级划分

定义客户的评语集为:  $V = (v_1, v_2, v_3)$ , 其中  $v_1$  (85 ~ 100 分), 表示重要客户;  $v_2$  (40 ~ 85 分) 表示较重要客户;  $v_3$  (0 ~ 40 分) 表示一般客户。依据公式(1)计算出的客户综合评价值物流企业客户根据其不同的客户价值进行客户等级划分。

## 2 考虑客户细分配送干扰管理模型

首先, 建立初始的物流配送数学模型, 配送过程中扰动发生以后, 在原始配送方案<sup>[7]</sup>的基础上, 根据客户的重要程度不同, 对初始配送方案进行调整, 构建考虑客户等级划分的物流配送车辆调度模型。

### 2.1 参数变量及说明

$m$ : 未完成配送任务客户总数量;  $DS$ : 未被服务的客户;  $V$ : 客户点集合,  $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_{m+k}\}$ ,  $v_0$  代表初始配送中心;  $v_1, \dots, v_m$  代表未完成配送任务的客户;  $v_{m+1}, \dots, v_{m+k}$  表示当前配送车辆所在位置, 即虚拟配送中心;  $D_p$ : 对货物到达的不满意程度;  $D_F$ : 物流配送运营商对配送成本的不满意程度;  $D_N$ : 配送业务员即货车司机对路径偏离量的不满意程度;  $VC$ : 表示虚拟客户点集;  $RT = VC \cup DS$ ;  $t_{ijk}$  为路径偏离参数, 并且

$$t_{ijk} = \begin{cases} -1, & \text{原方案中有, 新方案中没有的路径} \\ 0, & \text{原方案以及新方案中均没有的路径} \\ 1, & \text{原方案中没有, 新方案中有的路径} \end{cases}$$

### 2.2 考虑客户细分的扰动度量函数

客户不满意度量: 这里假定客户的不满意程度只与时间有关, 由于在构建模型时, 目标函数使用最小化构建, 因此这里采用客户的不满意程度。客户接受货物的时间一般会同时满足软时间窗与硬时间窗, 即当货物送达的时间在客户要求的时间内, 客户的满意程度最高, 当货物配送时间早于或者迟于客户要求的时间时, 客户的满意程度就会下降, 但是并不会拒绝收货。因此, 这里设置相应的惩罚函数  $P_i(t_i)$ <sup>[11]</sup>;

$$P_i(t_i) = \begin{cases} M & t_i \leq ER_i \text{ 或者 } t_i \geq LR_i \\ a_i (EC_i - t_i)^{m_i} & ER_i \leq t_i \leq EC_i \\ 0 & EC_i \leq t_i \leq LC_i \\ b_i (t_i - LC_i)^{n_i} & LC_i \leq t_i \leq LR_i \end{cases} \quad (2)$$

其中:  $M$  是无穷大的数,  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $m_i$  和  $n_i$  均为惩罚系数。

(2)式是对某一客户不满意程度的度量, 对于配送系统中整体不满意程度的度量, 本文采用客户分级的策略对整体的扰动大小进行度量, 根据客户分类, 用  $Z_1$ 、 $Z_2$  和  $Z_3$  分别表示客户所属等级的集合,  $Z_1$  表示重要客户,  $Z_2$  表示较重要客户,  $Z_3$  表示一般客户。同时, 分别定义这三类客户重要程度相关系数为  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$ , 因此, 客户整体不满意度量公式为:

$$D_p = \sum_{i \in DS \cap z_1} \alpha \cdot p_i(t_i) + \sum_{i \in DS \cap z_2} \beta \cdot p_i(t_i) + \sum_{i \in DS \cap z_3} \gamma \cdot p_i(t_i) \quad (3)$$

物流服务提供商配送成本度量: 这里所说的配送成本区别于原始的配送成本, 指的是扰动发生以后所产生的成本偏差, 当扰动事件发生以后主要应对方法有两种, 等待和救援。由于物流配送中心一般没有闲置的车辆, 并且启用救援车辆的成本一般会比较大会比较大, 因此, 一般情况下不予采用。对于等待有两种情况, 分别为重新调度和不重新调度。若不重新调度, 那么由于干扰事件产生的额外的配送成本为零; 如果重新调度, 配送路线的长度会大于原计划, 此时, 物流提供商配送成本扰动度量公式为:

$$D_F = \sum_{k \in K} \sum_{i \in RT} \sum_{j \in RT} c_{ij} t_{ijk} \quad (4)$$

货车司机满意度量: 货车司机的满意程度主要由路径偏离量引起, 因此用路径偏离量来代替货车司机的满意度。路径偏离量扰动公式为:

$$D_N = \sum_{k \in K} \sum_{i \in RT} \sum_{j \in RT} |t_{ijk}| \quad (5)$$

### 2.3 字典序的多目标干扰管理模型

以考虑客户细分的扰动度量函数为基础, 采用字典序的多目标规划方法, 构建基于客户等级划分的车辆调度干扰模型。

$$\min Lex = (P_1 : D_p, P_2 : D_F, P_3 : D_N) \quad (6)$$

$$P_1 \geq P_2 \geq P_3 \tag{7}$$

$$\sum_{i \in RT} q_i y_{ik} \leq Q \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \tag{8}$$

$$\sum_{i=1}^K y_{(m+i)k} = 1 \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \tag{9}$$

$$\sum_{i=1}^{m+K} x_{i0k} = 1 \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \tag{10}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{m+K} x_{ijk} (t_i + w_i + t_{ij}) = t_j \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \tag{11}$$

$$t_i \geq ET_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \tag{12}$$

$$t_i + w_i \leq LT_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \tag{13}$$

(6)式为目标函数表达式,表示扰动发生以后对整个系统的扰动最小;(7)式表示不同目标的优先级,由于采用字典序建立多目标模型,该模型中客户不满意度为一级目标,对配送成本的扰动作为二级优化目标,货车司机不满意度为三级优化目标;(8)式表示车的货运量不能大于其额定的承载力;(9)式表示每辆车都从虚拟配送中心出发;(10)式表示车辆对客户服务结束以后,返回初始配送中心;(11)表示各变量之间的关系;(12)、(13)式表示满足客户时间窗。

3 模拟植物生长优化算法设计

利用模拟植物生长算法对该模型求解,根据上述建立的车辆调度干扰管理模型可知,该优化模型为字典序多目标优化模型,在求解上述模型时,逐级优化。具体步骤如下:

步骤一:确定扰动发生后的初始可行方案即树根,记为 $x^0$ ,编码方式采用自然数编码,随机产生码串以后,对该码串是否满足约束条件进行检

验,如果满足约束条件,求出初始调度方案对应的函数值,记为 $f(x^0)$ ,并将其作为当前的最优解。

步骤二:以初始调度方案为基点,在其邻域内进行 $2N$ 次搜索并产生新的生长点,对新的生长点进行约束条件的校验,当满足约束条件时,求出各生长点相应的函数值,并与 $f(x^0)$ 进行对比,如果新生长点的函数值小于 $f(x^0)$ ,则用新的生长点替换 $f(x^0)$ ,记为 $f(x^1)$ 。当新的生长点的函数值大于 $f(x^0)$ 或者不符合约束条件的则直接舍弃。

步骤三:根据形态素公式计算待生长点集内所有生长点的形态素浓度 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 。

步骤四:建立 $[0, 1]$ 之间的概率空间,利用计算机随机选取下一次的生长点。

步骤五:重复步骤二到步骤五,当没有新的生长点产生或者达到迭代次数的时候终止。

4 案例分析

以某物流公司配送任务对模型进行求解计算,配送中心坐标为 $[21, 21]$ ,有4辆车进行配送,本次送货需要对13个客户点进行配送,假设每辆车的载重量为10 t,匀速行驶且行驶速度为40 km/h,每个配送车辆的固定成本为150元/辆,变动成本为每行驶一公里增加2.5元。当 $t = 1.5$  h,客户12取消本次订货。

首先,利用上述云模型对客户等级划分,各个客户的情况如表3所示,其中分别表示客户所属集合, $Z_1$ 其中表示重要客户, $Z_2$ 表示较为重要客户, $Z_3$ 表示一般客户。

表3 客户情况一览表  
Tab.3 List of customers

编号	客户位置		需求	服务时间	时间窗
	X坐标	Y坐标			
1 - $Z_2$	35	31	3	0.25	[1.31, 3.52]
2 - $Z_1$	38	22	2	0.22	[1.22, 2.31]
3 - $Z_2$	12	24	1.5	0.24	[0.11, 0.53]
4 - $Z_2$	36	21	2	0.18	[1.49, 2.12]
5 - $Z_3$	16	25	2	0.24	[2.1, 11]
6 - $Z_1$	41	28	3.5	0.24	[1.43, 2.8]
7 - $Z_2$	22	26	3.5	0.26	[1.2, 1.63]
8 - $Z_2$	37	24	2.5	0.13	[1.32, 2.1]
9 - $Z_2$	53	34	2.5	0.27	[1.5, 1.72]
10 - $Z_2$	32	44	2.5	0.27	[0.81, 1.8]
11 - $Z_3$	16	11	3	0.25	[0.15, 0.27]
12 - $Z_1$	38	42	4.5	0.27	[1.31, 1.8]
13 - $Z_2$	31	13	2.5	0.19	[0.5, 1.51]

然后利用模拟植物生长算法对客户数量变动后的干扰管理模型以及全局的重新调度模型进行求解。本文采用 matlab7.1 编程实现模拟植物生长算法对该模型的求解。求解对比结果见表 4。

表 4 物流运营商满意度对比

Tab.4 Comparison of logistics operators' satisfaction

	客户的不满意程度	配送成本/元
重新调度模型	0.375	2 277.74
干扰管理模型	0.224	2 265.23

经对比结果分析可知,数量变动后干扰管理模型与重新调度模型的对比中,虽然成本比较接近,但是,客户的不满意程度比一般的干扰配送管理的满意程度低 15%。

5 结论

本文考虑客户价值,构建了客户数量变动下的车辆调度干扰管理模型,利用云模型以及变权理论对客户的重要程度进行动态划分,将物流企业有限的资源合理分配在客户中。对结果分析可知,数量变动后干扰管理模型与重新调度模型对比,虽然配送成本比较接近,但是,客户的不满意程度降低了 15%。

参考文献:

[1] RHALIBI A E, KELLEHER G. An approach to dynamic vehicle routing, rescheduling and disruption metrics [C]//IEEE International conference on systems, Man and Cybernetics, 2003(4):3613-3618.

[2] HUSIMAN D, FRELING R, WAGEIMANS A P M. A robust solution approach to the dynamic vehicle scheduling problem[J]. Transportation Science, 2004, 38(4):447-458.

[3] 王明春,高成修,曾永廷. VRPTW 的扰动回复及其 TABU-SEARCH 算法[J]. 数学杂志, 2006, 26(32):231-236.

[4] 王旭坪,阮俊虎,张凯,等. 有模糊时间窗的车辆调度组合干扰管理研究[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6):2-15.

[5] 胡祥培,孙丽君,王亚楠. 物流配送系统干扰管理模型研究[J]. 管理科学学报, 2011, 14(1):50-60.

[6] 闫卓楠,王承文,俞虹. 城市灾害应急物流配送干扰管理系统模型研究[J]. 工程管理学报, 2014, 28(2):61-65.

[7] 丁秋雷,胡祥培,姜洋. 基于前景理论的物流配送干扰管理模型研究[J]. 管理科学学报, 2014, 17(11):1-19.

[8] DING Q, HU X, WANG Y. A model of disruption management for solving delivery delay[C]//Advances in Intelligence Decision Technologies: Proceedings of the Second KES International Symposium IDT, Baltimore, USA, 2010:227-237.

[9] 胡祥培,于楠,丁秋雷. 物流配送车辆的干扰管理序贯决策方法研究[J]. 数学杂志, 2006, 26(32):231-236.

[10] 丁秋雷. 物流配送受扰延迟问题的干扰管理模型研究[J]. 中国管理信息化, 2012, 15(22):59-61.

[11] 丁秋雷,胡祥培,姜洋. 物流配送受扰问题的干扰管理两阶段决策方法[J]. 运筹与管理, 2012, 21(6):84-93.

[12] 曹庆奎,刘新雨,任向阳. 基于模拟植物生长算法的车辆调度问题[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(6):1449-1456.

[13] 唐海波,叶春明,张新功. 应用模拟植物生长算法求解置换流水车间调度问题[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(10):3670-3672.

[14] 郗莹,马良,戴秋萍. 多目标旅行商问题的模拟植物生长算法求解[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(10):3733-3735.

[15] 龚承晋,李明明. 基于云模型及变权理论的中小零担物流企业客户分类方法研究[J]. 物流科技, 2014, 37(4):73-76.

(责任编辑 王利君)

声 明

为适应我国信息化建设的需要、提高本刊的学术影响力、扩大作者知识信息交流渠道,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、万方数据库等以数字化方式通过信息网络传播本刊全文。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。