

生鲜冷链配送区域划分两阶段模型构建

房庆军,王 旭

(青岛理工大学 管理工程学院,山东 青岛 266520)

[摘 要]构建生鲜冷链配送“区域划分+区域调整”两阶段模型,第一阶段,以快速响应为前提,延续传统K-means聚类过程,以最短配送时间为聚类准则进行初始区域划分;第二阶段,引入均衡载货指标,调整初始划分区域,使各个区域内配送任务达到均衡,保证配送质量,提高配送效率。

[关键词]生鲜品;冷链配送;区域划分;区域调整

[中图分类号]F252.14;U16

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2020)09-0063-05

Construction of Two-stage Model for Division of Fresh Cold Chain Distribution Area

Fang Qingjun, Wang Xu

(School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

Abstract: In view of the critical role of competent logistics distribution in ensuring the quality and customer experience of the fresh product business and in advancing its high-level development, we constructed a two-stage model of the division and adjustment of fresh cold chain distribution area, whereof, in the first stage, while securing rapid response, we continued the traditional K-means clustering process, and initially divided the distribution area with shortest delivery time as the clustering criterion; then in the second stage, we introduced in the index of balanced loading to adjust the initially divided area, so that the distribution tasks were evenly spread across the subareas, ensuring the high quality and efficiency of the distribution processes.

Keywords: fresh product; cold chain distribution; area division; area adjustment

1 引言

随着互联网迅速普及,生鲜品线上需求日益增长,生鲜领域已经成为电商相互争夺的“最后一块蓝海”。但由于生鲜品高时效性、高腐损率等特性,给生鲜电商的物流配送环节带来巨大挑战,生鲜品物流配送质量直接影响着生鲜电商运营的成败。

目前对生鲜冷链配送区域划分的相关研究比较成熟,大多学者主要应用聚类算法解决大规模配送点问题,于晓寒等^[1]针对城市内快速配送问题,提出了基于障碍的约束聚类算法,以“障碍距离”作为差

异度量标准,建立BSP树简化距离进行计算;何梦军等^[2]采用改进的吸引子传播聚类算法对同城物流网点配送区域进行优化。

通过上述文献综述发现,目前对配送区域划分方面的研究缺少对生鲜品特性以及工人任务量的考虑,只有在配送过程中考虑生鲜品特性的影响才能更好地保证其品质不受影响,只有保证工人配送任务量均衡,才能高效完成配送任务,提高用户体验。因此,本文在前人研究的基础上,将配送区域划分问题分为两个阶段,首先以配送时间最短为前提进行初始区域划分,在此基础上加入对配送量均衡的考

[收稿日期]2020-07-30

[基金项目]青岛理工大学校级重点教学与改革项目“‘智能+’背景下基于虚拟仿真技术在供应链管理类课程中的应用研究”

[作者简介]房庆军(1981-),山东沂源人,青岛理工大学讲师,研究方向:供应链管理、物流工程;王旭(1997-),山东烟台人,青岛理工大学管理工程学院学生。

虑,进行配送区域调整,保证配送效率。

2 问题描述

本文的研究场景是基于生鲜O2O“冷链物流+终端自提”配送模式,在这一模式下,生鲜电商与便利店合作,在配送区域内建立自营店、便利店、餐馆、小超市、小区自提柜等多种形式的线下体验店。通过线上下单购买商品的消费者,选择一个合适的配送地点,接到到货通知后进行自提;在便利店、自营店进行消费的顾客可以直接选择自己所需的生鲜商品,同时所在的便利店、自营店会自动被定义为配送点,库存水平降低到安全库存,会有冷链运输车辆进行配送补货。O2O信息平台会整合所有客户的订单信息,由冷链运输车辆对自营店、便利店、餐馆、小超市、小区自提柜等终端进行配送,送达自营店、便利店、小区自提柜的生鲜品,会根据顾客要求,等待顾客自提或者由配送员利用电瓶车在规定时间内配送上门。

本文的模型假设如下:(1)配送中心及各个客户点位置已知,且短时间内不会发生变化;(2)一个客户订单配送任务有且只能由一辆车完成;(3)将配送员及冷链配送车辆看做一个整体,即一次配送任务由一个配送员配备一辆运输工具完成;(4)配送的起点是各个配送中心,配送的终点是各个自营店、便利店、餐馆、小超市、小区自提柜;(5)每个配送中心的辐射范围相互不重合,一个客户点只能被一个配送中心服务;(6)每辆车在任何时刻装载的生鲜品不能超过最大载重量。

3 “区域划分+区域调整”两阶段模型构建

3.1 目标函数及约束条件

目标函数:

所有配送车辆遍历完所有配送点完成所有配送任务的最少时间:

$$\min T = \min \left(\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m \sum_{a=1}^k \left(\frac{q_j P_{ij} g_{ija}}{v} + Td_j \right) + \partial \sum_{i=0}^m \sum_{a=1}^k x_{ia} \cdot \max \{ y_{ia} - LT_i, 0 \} \right) \quad (1)$$

约束条件:

(1)保证每个配送点都有一个配送车辆进行服务:

$$\sum_{a=1}^k \sum_{i=0}^m g_{ija} = 1, \forall a \in M, j \in P \quad (2)$$

(2)保证每辆配送车辆到达和离开的配送点数量相等:

$$\sum_{i=1}^m g_{ija} - \sum_{i=1}^m g_{jia} = 1, \forall a \in M, j \in P \quad (3)$$

(3)保证每辆车辆的载货量不得超过最大载重量:

$$\sum_{j=1}^m q_j z_{ja} \leq Q, \forall a \in M, j \in P \quad (4)$$

(4)车辆从配送中心出发的时刻为0:

$$y_{oa} = 0, \forall a \in M \quad (5)$$

(5)保证每个订单一定有配送车辆服务:

$$g_{ija} \leq z_{ia}, \forall a \in M, j \in P, i \in P \quad (6)$$

(6)配送车辆的路径是由配送点*i*到达配送点*j*:

$$(y_{ja} - y_{ia}) \geq 0, \forall a \in M, j \in P, i \in P \quad (7)$$

(7)配送车辆从配送点*i*到达配送点*j*的时间迭代关系:

$$y_{ja} = g_{ija} \left(y_{ia} + \frac{P_{ij}}{v} \right), \forall a \in M, j \in P, i \in P \quad (8)$$

(8)配送车辆是否经过路径,是否经过配送节点,订单对配送时间是否有要求限制:

$$g_{ija}, z_{ia}, x_{ia} \in \{0, 1\}, \forall a \in M, j \in P, i \in P \quad (9)$$

式中, $P = \{i | i = 0, 1, \dots, m\}$ 表示配送中心、自营店、便利店、餐馆、小超市、小区自提柜的集合; $M = \{a | a = 1, 2, \dots, k\}$ 表示配送车辆的集合; P_{ij} 表示 P 集合中点 i 到点 j 的配送距离; v 表示车辆行驶速度; q_j 表示客户点 j 的需求量; Td_j 表示车辆在客户点 j 的等待时间; LT_j 表示允许配送车辆到达客户点 j 的最晚时间; T 表示配送车辆完成配送的总时间; y_{ia} 表示车辆 a 到达客户点 i 的实际时间; g_{ija} 表示车辆 a 是否从点 i 到点 j 的判断参数,若是, $g_{ija} = 1$; 否则, $g_{ija} = 0$; z_{ia} 表示车辆 a 是否经过点 i 的判断参数,

若是, $z_{ia} = 1$, 否则, $z_{ia} = 0$; x_{ia} 表示车辆 a 配送到点 i 是否有时间要求, 若是, $x_{ia} = 1$, 否则, $x_{ia} = 0$; Q 表示配送车辆最大载重量; δ 表示违反客户所规定的配送时间而产生的时间成本系数。

3.2 第一阶段初始区域划分模型

3.2.1 确定初始 k 值

$$k = \frac{R}{Q} \quad (10)$$

其中, R 表示在一个配送周期中的生鲜配送总量; Q 表示每辆生鲜冷链运输车的最大载货量。

3.2.2 确定初始聚类中心。选择合适的初始点可以使算法收敛更快, 因此本文选用均分选择法来确定初始点, 其主要思想是: 若需要初始点的个数 $k = p \cdot q$, 则将整个配送区域地图划分成 p 行 q 列, 每个区域的正中心附近的节点可选择为初始节点, 这样选择的节点更趋于均匀, 有利于聚类收敛, 且不会出现明显的分布不均匀的起始状态。

3.2.3 收敛性检验。K-means 聚类算法要求计算每个新聚类得到的聚类中心, 不断重复这一过程直到符合收敛条件。对上述运算得到的 k 个聚类中心进行检验, 若已经达到收敛条件, 则下转进行第二阶段的聚类调整; 否则根据重心法重新计算聚类中心, 再次聚类, 反复迭代, 直到算法达到收敛条件为止。

3.3 第二阶段划分区域调整模型

3.3.1 均衡指标计算。均衡载货量指标 W_i 的现实意义是实现各个划分区域内的配送量达到均衡。 W_j 表示第 j 个聚类的 W_{area} 值。从计算得到的 k 个 W 中, 找出最大值 W_{max} 和最小值 W_{min} , 调整的目的是为了让各个区域内的载货量均衡, 因此需要将载货最大值 W_{max} 和载货最小值 W_{min} 的差控制在合理范围内, ε 表示可接受的残差, 该数值通常由人工设定输入, 且取值大小取决于可接受的载货量差异。

因此, 第二阶段的收敛条件为 $\|W_{max} - W_{min}\| \leq \varepsilon$ 。当聚类结果满足这个条件时, 则说明目前的区域划分结果较为合理, 每个区域内的载货量基本均衡; 反之, 就说明区域之间的载货量不均衡, 有的区域载货量过大, 就需要进行调整。

3.3.2 点集的调整。若上一步的检验没有通过, 则需要对此时的聚类结果进行调整。 $\|W_{max} - W_{min}\| \leq \varepsilon$ 不成立意味着此时聚类划分的各个区域之间的工作量极差较大, 说明在这种情况下, 有些地区配送任务很快就可以完成, 但是有些地区的配送则需要耗时很长, 这样会拉低整个区域的配送效率。因此, 就需要对区域划分进行如下调整:

在包含最大值 W_{max} 的点集中, 筛选出与聚类中心距离最远的数据点, 将其弹出该聚类, 这样该聚类的 W 值就会降低, 同时, 将弹出的数据点加入到该点的 k 个 T 中数值次小的另一个聚类中。

为了防止某个数据点被反复弹出, 需要对被弹出的数据点进行标记, 当下次检验时又识别到标有特殊标记的该数据点时, 则不予处理, 转而遍历别的数据点, 弹出聚类中距离次远的点。这种机制可以有效避免出现某个数据点无法加入到任何一个聚类中的情况, 也就是不会出现为某个客户点单独送货的情况。

3.3.3 重新迭代。在对点集进行调整后, 有两个聚类的 W 值发生变化, 需要对这两个聚类重新计算 W 值, 再次检验; 不断迭代, 直到划分的各个区域之间的载货量基本均衡, 即各个区域的工作量极差在可接受的范围之内; 最后, 停止迭代, 最终聚类结果以点集的形式输出。

3.4 两阶段区域划分模型实施步骤

改进的两阶段 K-means 聚类算法流程如图 1 所示, 两阶段区域划分模型具体实施步骤总结如下:

Step1: 选取 k 个初始点聚类中心。

Step2: 建立坐标系, 标记每一个点的位置坐标, 坐标值用经纬度表示; 利用公式计算每一个点到 k 个聚类中心的时间 T , 录入初始数据库表中。

Step3: 在计算的 k 个配送时间 T 中选取最小数值对应的点加入到对应类中。

Step4: 采用 K-means 聚类法进行初始阶段聚类, 计算得到 k 个聚类中心。计算每个聚类的 W 值, $W_j (j = 1, 2, \dots, k)$ 为配送区域内车辆的总载货量。

Step5:对 W_j 数值进行排序,得到 W 最大值为 W_{max} ,最小值为 W_{min} 。

Step6:输入残差 ε ,设定的收敛条件为 $\|W_{max} - W_{min}\| \leq \varepsilon$,若满足收敛条件则结束运算;否则,转Step7。

Step7:将第 n 类中到聚类中心配送时间最长的点弹出,加以标记,在之后的循环迭代中遇到有标记的数据点则不予处理,而处理配送时间次短的数据点;将该数据点加入到除 n 之外配送时间最短的聚类中,重新计算 W 值,跳转 step5,继续检验、迭代,直至算法满足收敛条件。

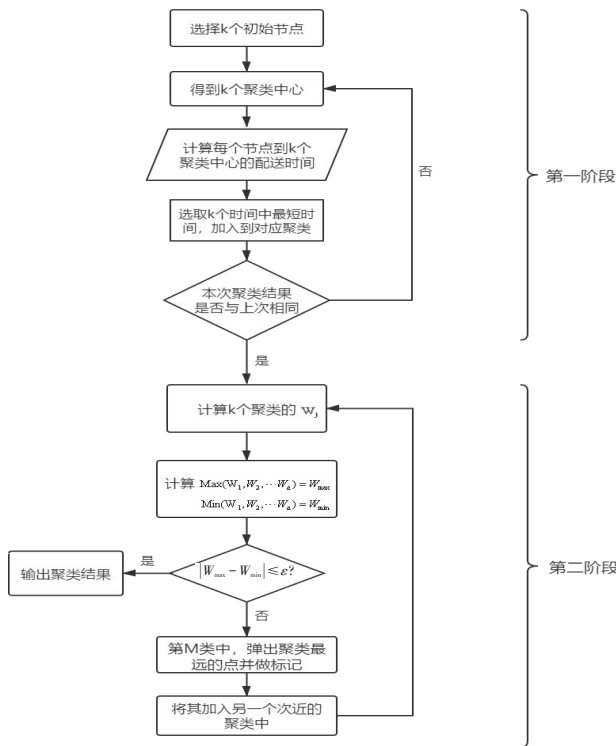


图1 改进的两阶段K-means聚类算法流程图

4 案例分析验证

4.1 案例介绍及参数设置

本文选取生鲜电商企业的一个配送中心一天的配送订单信息,包括该配送中心一天的客户点位置、配送量以及客户时间窗要求等。配送中心及其20个客户节点位置坐标及其他信息见表1,位置散点图如图2所示。

表1 配送中心及各个客户节点基本信息

| 编号 | 横坐标(km) | 纵坐标(km) | 需求量(kg) | 期望时间窗 | 可接受时间窗 | 服务时间(min) |
|----|-------------|------------|---------|-------------|-------------|-----------|
| 0 | 105.284 454 | 28.680 724 | | | | |
| 1 | 105.496 440 | 28.895 537 | 120 | 6:00-8:30 | 6:30-8:00 | 25 |
| 2 | 105.182 374 | 28.651 171 | 280 | 7:30-9:30 | 8:00-9:00 | 20 |
| 3 | 105.260 192 | 28.891 916 | 200 | 10:30-12:30 | 11:00-12:00 | 15 |
| 4 | 105.317 980 | 28.678 075 | 180 | 6:30-8:30 | 7:00-8:00 | 18 |
| 5 | 105.278 187 | 28.673 313 | 180 | 8:00-10:00 | 8:30-9:30 | 18 |
| 6 | 105.349 268 | 28.314 751 | 220 | 11:00-12:30 | 11:30-12:00 | 15 |
| 7 | 105.400 677 | 28.525 416 | 330 | 16:00-18:00 | 16:30-17:30 | 25 |
| 8 | 105.187 848 | 28.750 563 | 190 | 16:30-19:00 | 17:00-18:30 | 20 |
| 9 | 105.284 271 | 28.673 613 | 200 | 6:20-8:30 | 7:10-8:00 | 15 |
| 10 | 105.239 606 | 28.409 705 | 120 | 7:00-9:30 | 7:30-9:00 | 10 |
| 11 | 105.145 800 | 28.718 912 | 250 | 7:30-10:00 | 8:00-9:30 | 25 |
| 12 | 105.201 385 | 28.471 773 | 180 | 6:30-8:30 | 7:00-8:00 | 18 |
| 13 | 105.478 081 | 28.388 043 | 380 | 6:00-8:30 | 6:30-8:00 | 30 |
| 14 | 105.378 081 | 28.743 278 | 180 | 8:00-10:00 | 8:30-9:30 | 18 |
| 15 | 105.342 578 | 28.617 406 | 220 | 11:00-12:30 | 11:30-12:00 | 15 |
| 16 | 105.318 514 | 28.654 546 | 330 | 16:00-18:00 | 16:30-17:30 | 25 |
| 17 | 105.436 754 | 28.356 428 | 190 | 16:30-19:00 | 17:00-18:30 | 20 |
| 18 | 105.365 490 | 28.684 320 | 200 | 6:20-8:30 | 7:10-8:00 | 15 |
| 19 | 105.347 852 | 28.534 285 | 120 | 7:00-9:30 | 7:30-9:00 | 10 |
| 20 | 105.265 434 | 28.478 370 | 250 | 7:30-10:00 | 8:00-9:30 | 25 |

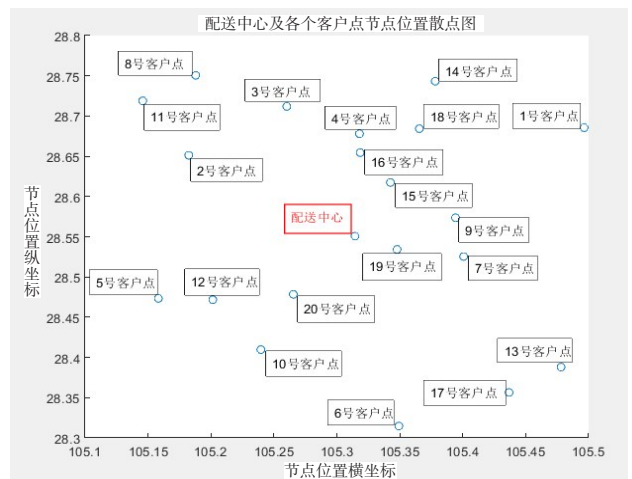


图2 配送中心及各个客户节点位置散点图
模型中各参数的取值情况见表2。

4.2 区域划分模型验证及结果分析

在第一阶段,延续传统的K-means聚类过程,应用Matlab软件,以总配送时间最短为聚类准则,进行

表2 模型中参数取值

| 模型参数 | 取值 |
|--------------------------|---------|
| 车辆运输标准速度 v | 50km/h |
| 冷链运输车辆最大载重 Q | 1 420kg |
| 时间成本系数 θ | 0.45 |
| 载货量差异可接受残差 ε | 50kg |

初始区域划分,其聚类结果如图3所示。

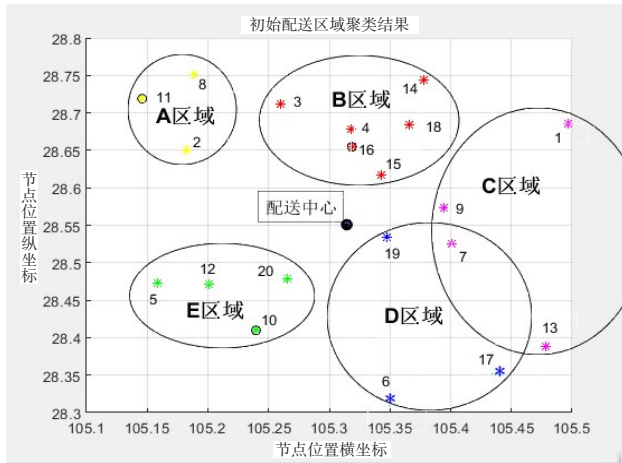


图3 初始配送区域划分结果

从图3中可知,初始区域划分结果为五个配送区域,A区域、B区域、C区域、D区域以及E区域,分别覆盖3个客户点、6个客户点、4个客户点、3个客户点以及4个客户点,各个区域覆盖的客户节点见表3。

表3 初始配送区域划分及覆盖客户节点

| 区域编号 | 区域覆盖的客户节点 |
|------|-----------------------|
| A | 2号、8号、11号 |
| B | 3号、4号、14号、15号、16号、18号 |
| C | 1号、7号、9号、13号 |
| D | 6号、17号、19号 |
| E | 5号、10号、12号、20号 |

4.3 区域调整模型验证分析

在第二阶段,引入均衡载货指标,对初始区域进行调整,使各个划分区域内的配送量达到均衡,从而保证配送效率。调整后配送区域划分结果如图4所示。

由图4可知,配送区域仍被划分为五个区域,但是各个区域覆盖的客户节点有所调整,C区域初始覆盖范围由1号、7号、9号、13号客户点调整为1号、7

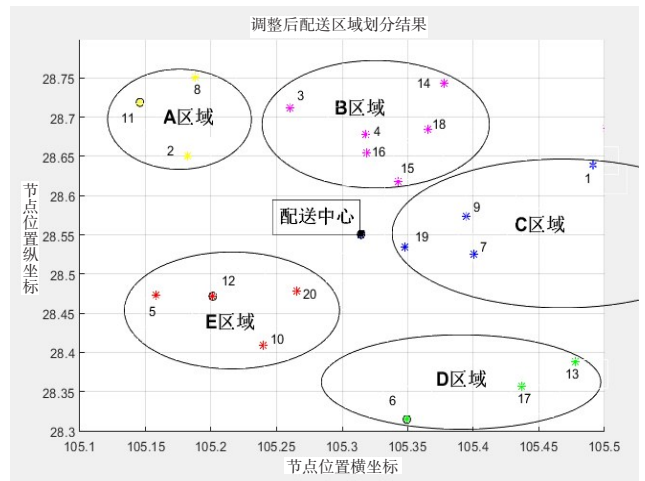


图4 调整后的配送区域划分结果图

号、9号、19号客户点,D区域初始覆盖范围由6号、17号、19号客户点调整为6号、13号、17号客户点,调整后的配送区域及各个区域覆盖的客户节点见表4。

表4 调整后的配送区域划分及覆盖客户节点

| 区域编号 | 区域覆盖的客户节点 |
|------|-----------------------|
| A | 2号、8号、11号 |
| B | 3号、4号、14号、15号、16号、18号 |
| C | 1号、7号、9号、19号 |
| D | 6号、13号、17号 |
| E | 5号、10号、12号、20号 |

从调整后的配送区域可以看出,划分的各个区域不仅考虑到配送时间因素,而且加入了对车辆载货量均衡的考虑,从而保证在快速响应的前提下,使各个划分区域内的配送任务量达到均衡,提高配送效率。

5 结语

本文构建了生鲜冷链配送“区域划分+区域调整”两阶段模型,首先进行初始区域划分,延续传统K-means聚类过程,以配送时间最短为聚类准则,可以保证生鲜配送的快速响应,在此基础上,引入均衡载货指标,对初始配送区域进行调整,使各个划分区域内的配送任务量达到均衡,保证配送质量,提高配送效率。

(下转第73页)

由表3的数据可知, $\frac{C_d}{\omega} = 0.437/1.667 = 0.26$, 落在区间(0.15, 2.21)内, $c^* = 7$, 故堆场管理者应该安排7台装卸设备服务客户可以使总成本最低, 最低总成本为10.33元/min。结合前文对排队系统指标的分析可知, 此时的排队系统内车辆等待时间、逗留时间都处于较低的状态, 分别为1.21min和23.49min, 车辆可以较快的完成提货作业, 因此对于该物流园区管理者而言, 安排7台装卸设备进行作业是比较合理的, 既能使顾客满意度达到较高的水平, 又能节省企业成本。

6 结语

本文基于排队论的基础理论, 建立了符合堆场运作实际的排队论模型, 统计收集并分析车辆的到达数据、装卸设备服务时间数据, 以企业和顾客总成本最小化为目标建立模型, 通过对模型分析得出钢铁堆场服务系统最优装卸设备数量配置, 为企业管理提供可靠的决策依据, 对于减少顾客排队等待时间, 提升顾客满意度, 具有良好的指导意义。虽然本文研究时将企业增加服务台的成本和顾客等待成本考虑进来使模型更具实际意义, 但在企业的实际运营中, 顾客满意度会因等待时间过长而降低, 故未来将企业因顾客等待而造成的信誉损失成本增加到模型中, 会使模型更贴近实际。另外, 本文计算的是一个相对较长时间段的车辆总体平均到达率, 但某较小时段车辆平均到达率可能存在显著差别, 故堆场

管理者应根据实时到达率调控装卸设备运行数量以适应客户需求。

[参考文献]

- [1]朱明珠,齐二石,杨甫勤.基于开排队网络的医院门诊服务台优化配置[J].工业工程与管理,2016,21(5):129-133,140.
- [2]表明高,胥如迅,张强,等.基于排队论的铁路售票窗口设置分析与优化[J].工业控制计算机,2016,29(5):100-101,104.
- [3]张晓磊,马从安,申晨.基于排队论的车站售票系统优化与改善[J].工业工程与管理,2014,19(5):76-81.
- [4]蔡文婧,葛连升.基于排队论的银行业务窗口设置优化[J].山东大学学报(工学版),2013,43(3):23-29.
- [5]杨米沙,易昆南.基于排队过程的银行柜台设置优化探讨[J].浙江大学学报(理学版),2009,36(5):514-518,529.
- [6]刘浩.基于排队论的日照港航道通过能力研究[J].物流技术,2015,34(6):174-177.
- [7]陈美璘.基于排队论的商业银行前台支持设施优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [8]Ozgecan S U, Tayfur A. Waiting time approximation in single-class queueing systems with multiple types of interruptions: modeling congestion at waterways entrances[J]. Annals of Operations Research, 2009, 172(1): 291-313
- [9]Onno J Boxma, David Perry, Wolfgang Stadje. The (S-1, S) inventory model and its counterparts in queueing theory[J]. Operations Research Letters, 2019, 47(6).
- [10]刘维奇,马庆庆,李继红. N-策略工作休假 M/M/1 排队系统中的顾客行为研究[J]. 系统工程理论与实践, 2016, 36(7): 1 848-1 856.
- [11]陆传贻. 排队论[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2009.
- [12]黄惠春,马海英. 医药配送中心排队论运用研究[J]. 物流技术, 2015, 34(11): 186-188.

(上接第67页)

[参考文献]

- [1]于晓寒,王东.基于带约束K-means聚类的城市快递配送区域划分[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2016,32(5):631-634,640.
- [2]何梦军,吴怀岗,丁翔.带时间窗的同城物流配送区域划分与路径优化[J].南京师范大学学报(工程技术版),2018,18(2):70-76.
- [3]王勇.物流配送区域划分模型及优化计算研究[D].重庆:重庆交通大学,2009.
- [4]朱培芬,汉吉庆,杨华龙,等.基于改进K-means算法的烟草配送区域划分[J].物流工程与管理,2009,(6):84-85.
- [5]Bozkaya B, Zhang J, Erkut E. An efficient genetic algorithm for the p-media problem[Z]. 2002.