

# 基于遗传算法的冷链物流配送路径优化研究

郑义彬, 邱兴宇, 孙源泽, 刘立博

(武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 针对冷链配送时效性强的特性, 对于不能满足客户特定时间窗的问题, 选用带软时间窗的惩罚成本约束配送企业, 结合生鲜产品在途的冷藏费用随时间延长而上升的实际, 建立冷链配送路径多目标优化模型, 运用遗传算法对模型进行求解, 研究满足客户时间窗条件下总配送成本最小的最优配送方案, 并通过算例对模型及算法的有效性进行验证。

**关键词:** 物流; 冷链配送; 路径优化; 遗传算法; 客户满意度

中图分类号: U492.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)03-0049-04

不少学者对冷链配送路径问题进行了研究。陈婧怡等针对多温共配模式下生鲜农产品冷链配送问题, 采用多温区冷藏车, 构建了考虑运输成本、货损成本、制冷成本的路径优化模型, 利用遗传算法对算例进行求解, 借助 ArcGIS 规划最短路径。张云川等在第三方冷链物流配送路径优化研究的基础上, 考虑车辆行驶速度和载重量对运输能耗的影响, 采用指数函数刻画食品的变质速率, 运用模拟退火算法对模型进行优化。邵举平等引入生鲜度损耗系数反映产品质量随时间的变化, 考虑配送总成本和顾客满意度两个目标, 建立了生鲜农产品配送路径多目标优化模型, 并对模型参数进行了敏感性分析。陶志文等采用粒子群算法求解多目标冷链配送优化模型, 同时对碳税和冷藏车速度进行了灵敏度分析。Xuping Wang 等根据交付时装置和车辆冷藏食品的特殊要求, 以运输成本、配送中心建立成本、罚款成本和损坏成本等总成本最小为目标, 建立了不同运输方式下考虑冷藏食品时间窗的食品配送优化模型。Y. Zhang 等考虑与不同冷冻食品的单位体积相关的装载量的限制, 建立了多品种速冻食品配送中车辆路径优化模型, 采用遗传算法进行求解, 通过实际案例计算验证了模型的可行性和合理性, 并显示了遗传算法参数值的有效组合。但现有研究考虑的环境变量不够全面。该文建立较完善的综合成本生鲜冷链路径配送优化模型, 研究满足客户时间窗条件下总配送成本最小的最优配送方案。

## 1 模型建立

### 1.1 模型假设

某配送中心对多个客户进行配送, 配送产品单

一, 且满足以下条件: 1) 配送车辆有限且最大载重量固定, 每辆车的最大容量满足每条线路的需求量; 2) 配送车辆都从配送中心出发, 配送结束后返回配送中心; 3) 每个客户的需求已知, 且均能被一辆车服务; 4) 客户有规定的时间窗, 若配送到达时间不在客户要求的配送时间窗内, 则产生相应的惩罚成本; 5) 每条配送线路长度均小于车辆最大行驶里程; 6) 车辆匀速行驶, 考虑在途目标是使总配送费用最小且客户满意度较高; 7) 每个客户的服务时间固定。

### 1.2 成本分析

根据假设的目标, 构建以总成本最小为目标的函数。总成本包含运输费用、货损费用、惩罚成本。

参数描述: 配送中心编号为 0, 各客户位置编号为  $1 \sim n$ 。

车辆编号为  $1 \sim k$ , 车辆最大载重为  $Q_m$ 。变量  $x_{ijk}$  表示车辆  $k$  是否经过线路  $i-j$ : 当车辆  $k$  经过线路  $i-j$  时,  $x_{ijk} = 1$ , 否则  $x_{ijk} = 0$ 。若车辆  $k$  服务客户  $i$ , 则  $y_{ik} = 1$ , 否则  $y_{ik} = 0$ 。

冷链配送过程中固定成本与行驶里程无关, 故只考虑与运输里程相关的变动成本, 如油耗、车辆保养和维修。配送车辆的变动成本与行驶里程成正比。运输的变动成本由式(1)计算:

$$F_1 = C_1 \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^m x_{ijk} d_{ij} \quad (1)$$

式中:  $C_1$  为单位运距的油耗成本 (元/km);  $d_{ij}$  为客户  $i$  与  $j$  之间的距离。

为保持生鲜产品的质量而产生的制冷费用, 只考虑行驶过程中产生的制冷成本, 不考虑装卸货过程中产生的制冷费用。计算公式如下:

$$F_2 = \sum_{k \in K} t_k \cdot C_2 \cdot G \quad (2)$$

式中:  $t_k$  表示车辆的行驶时间;  $C_2$  为单位制冷成本(元/kJ);  $G$  为制冷过程消耗的热量,  $G = \alpha RS \Delta T$ ;  $\alpha$  为常数;  $R$  为热传导系数;  $S$  为车厢受热面积( $\text{m}^2$ );  $\Delta T$  为车辆内外温差(K)。

一般客户要求的时间窗为软时间窗, 允许配送到达时间在客户满意时间之外的一定阶段, 在这一阶段会产生相对应的惩罚成本。设客户  $n$  要求的时间窗为  $[E_n, L_n]$ , 车辆  $k$  到达客户  $i$  的时刻记为  $t_{ik}$ ,  $e_{ik}$  表示在时间窗之前到达,  $l_{ik}$  表示在时间窗之后到达, 则惩罚成本由下式计算:

$$F_3 = a(E_n - e_{ik}) + b(l_{ik} - L_n) \quad (3)$$

式中:  $a$  为提前到达的惩罚系数;  $b$  为延迟到达的惩罚系数。

### 1.3 数学模型构建

冷链物流配送总费用以  $F$  表示, 目标函数如下:

$$\min F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4)$$

约束条件:

$$y_{ki} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot y_{ki} \leq Q \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1 \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ojk} = \sum_{i=1}^n x_{ioh} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ik} = N \quad (9)$$

式(5)表示车辆的载重量不超过其满载; 式(6)表示一个客户只被服务一次; 式(7)表示每个客户只被一辆车服务; 式(8)表示车辆从配送中心出发, 完成配送后返回配送中心; 式(9)表示所有门店都能接受到配送服务。

## 2 算法设计

采用遗传算法对冷链物流配送路径优化模型进行求解(见图1)。

(1) 变异。采用两点互易进行变异: 1) 产生 2 个随机自然数  $r_1, r_2$ ; 2) 交换第  $r_1, r_2$  位的基因。

(2) 交叉。采用两点交叉: 1) 随机选择 2 个染色体作为父本; 2) 产生 2 个随机自然数  $r_1$  和  $r_2$ ; 3) 将  $r_1$  至  $r_2$  之间的基因片段进行交换, 得到 2 个子代

染色体, 并进行修订处理, 使其不发生冲突。

(3) 解码。根据载重约束和时间窗约束对一个编码  $S$  进行划分, 步骤如下: 1)  $i = 1$ ; 2) 开始第  $i$  条路线  $R_i = [0]$ , 0 为配送中心; 3) 尝试将编码  $S$  中的第 1 个点加入  $R_i$ , 如果加入  $R_i$  后车辆载重满足, 则进入下一步, 否则  $i = i + 1$ , 转入步骤 2; 4) 删除  $S$  的第 1 位编码, 如果  $S$  空, 则进入下一步, 否则转入步骤 3; 5) 输出各子路径。

(4) 选择。采用轮盘赌选择, 个体被选中的概率与其适应度函数值成正比。

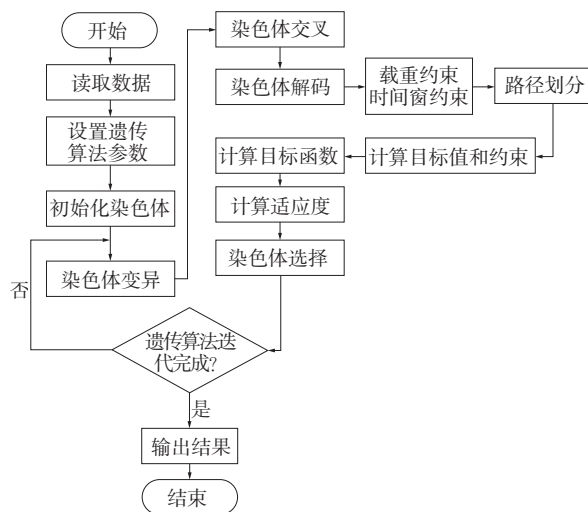


图1 遗传算法设计流程

## 3 算例分析

某配送中心以额定载重 3 t 的车辆给 10 个客户配送货物, 各客户的位置及需求量  $q_i$  见表 1, 相关参数见表 2。下面运用上述优化模型, 通过合理安排车辆及配送路线使总配送成本最小。

表1 各客户的位置及需求量

配送节点	坐标	需求量/t	配送节点	坐标	需求量/t
$V_0$	(0,0)	0.0	$V_6$	(-6.5,-1)	1.2
$V_1$	(2.7,-6.7)	1.0	$V_7$	(-2.2,-0.6)	0.7
$V_2$	(9.2,15.2)	0.5	$V_8$	(1.7,7.4)	1.4
$V_3$	(-11.3,3.6)	0.9	$V_9$	(17.9,7)	1.5
$V_4$	(4.3,-0.3)	1.1	$V_{10}$	(13.8,7.1)	1.8
$V_5$	(1.6,3.6)	0.5			

按照各节点坐标计算配送中心及每个客户之间的距离, 两点间的距离近似看作直线。计算结果见表 3。

表 2 相关参数设置

参数名称	参数值	参数名称	参数值
车辆单位油耗成本 $C_1/(\text{元} \cdot \text{km}^{-1})$	3	单位制冷成本 $C_2$	4.5
热传导系数 $R$	0.2	提前到达的惩罚系数 $a$	50
车厢受热面积 $S/\text{m}^2$	16	延迟到达的惩罚系数 $b$	90
车辆内外温差 $\Delta T/\text{K}$	22	客户节点的服务时间 $T/\text{min}$	6
$\alpha$	0.002		

表 3 客户节点之间的距离

配送节点	$V_0$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$V_{10}$
$V_0$	0.0	7.3	17.7	11.9	4.3	3.9	6.6	2.3	7.6	19.2	15.6
$V_1$	7.3	0.0	22.9	17.4	6.6	10.4	10.9	7.8	14.2	20.5	17.8
$V_2$	17.7	22.9	0.0	23.5	16.2	13.9	22.6	19.4	10.7	11.9	9.3
$V_3$	11.9	17.4	23.5	0.0	16.1	12.9	6.7	10.1	13.6	29.4	25.4
$V_4$	4.3	6.6	16.2	16.1	0.0	4.7	10.9	6.5	8.2	15.4	12.1
$V_5$	3.9	10.4	13.9	12.9	4.7	0.0	9.3	5.6	3.9	16.7	12.7
$V_6$	6.6	10.9	22.6	6.7	10.9	9.3	0.0	4.4	11.8	25.7	21.9
$V_7$	2.3	7.8	19.4	10.1	6.5	5.6	4.4	0.0	9.0	21.5	17.8
$V_8$	7.6	14.2	10.7	13.6	8.2	3.9	11.8	9.0	0.0	16.2	12.1
$V_9$	19.2	20.5	11.9	29.4	15.4	16.7	25.7	21.5	16.2	0.0	4.0
$V_{10}$	15.6	17.8	9.3	25.4	12.1	12.7	21.9	17.8	12.1	4.0	0.0

运行遗传算法进行计算。运行至 50 代时目标函数值为 435.95 元,对应的最优方案为配送中心选用 3 辆冷藏车进行配送,配送线路分别为 0—3—6—7—4—0、0—5—9—1—0、0—8—2—10—0。图 2 为遗传算法迭代曲线,图 3 为遗传算法求解的最优路径,图 4 为经验法得到的初始配送方案。

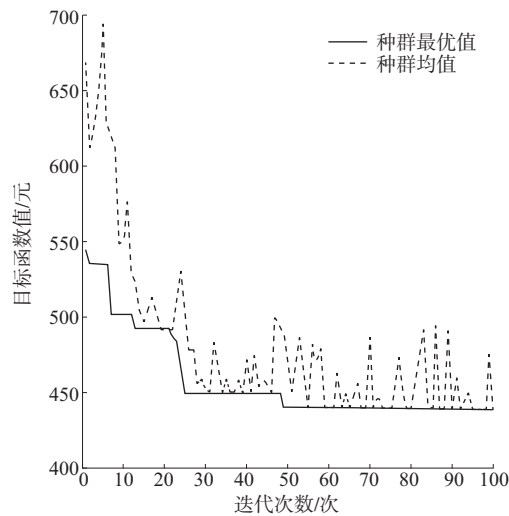


图 2 遗传算法优化迭代曲线

从图 2 可看出:采用遗传算法求解冷链物流配送

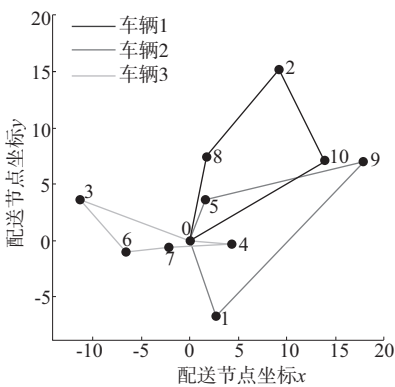


图 3 遗传算法优化得到的配送路径

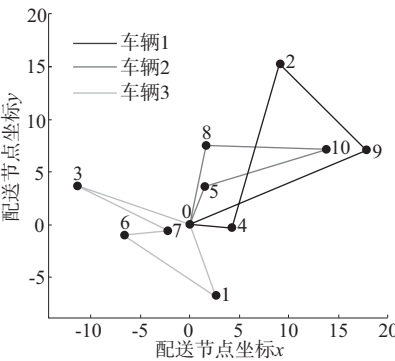


图 4 根据经验法得到的初始配送方案

路径优化模型,迭代超过 50 次后,曲线基于平稳,逐渐收敛于最优值 435.95 元,相较于初始方案的总成本 543.65 元,优化模型的总成本降低较大。

#### 4 结语

该文对冷链配送各部分成本进行分析,以运输成本、货损成本及针对客户满意度的惩罚成本最小为目标建立考虑客户时间窗的冷链配送路径优化模型,并设计遗传算法对模型进行求解。算例计算结果表明,该总费用最小模型及算法有效,可为冷链配送路径优化决策提供理论依据。但需在以下两方面进行完善:1) 针对不确定环境下冷链物流配送方案的选择;2) 配送车辆及配送种类不固定情形下的配送方案选择。

#### 参考文献:

- [1] 陈婧怡,邱荣祖.基于 ArcGIS 的多温区冷藏车辆路径优化[J].上海海事大学学报,2019,40(1).
- [2] 张云川,邹婷.生鲜食品冷链物流配送路径优化[J].江苏农业科学,2019,47(3).
- [3] 邵举平,曹倩,沈敏燕,等.生鲜农产品配送中带时间窗的

- VRP 模型与算法[J].工业工程与管理,2015,20(1).
- [4] 陶志文,张智勇,石艳,等.碳税规制下多目标冷链物流配送路径优化[J].武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2019,41(1).
- [5] Xuping Wang, Meng Wang, Junhu Ruan, et al. The multi-objective optimization for perishable food distribution route considering temporal-spatial distance [J]. Procedia Computer Science, 2016, 96.
- [6] Zhang Y, Chen X D. An optimization model for the vehicle routing problem in multi-product frozen food delivery[J]. Journal of Applied Research and Technology, 2014, 12(2).
- [7] 姜晶,周寒,胡轶群.时变路网下带硬时间窗的城市生鲜物流配送路径选择[J].公路与汽运,2019(1).
- [8] 张银利,陈德勇,苏艳.物流配送路径优化问题的一种混合遗传算法[A].第十届中国不确定系统年会、第十四届中国青年信息与管理学者大会论文集[C].2012.
- [9] 周艳聪,孙晓晨,余伟翔.基于改进遗传算法的物流配送路径优化研究[J].计算机工程与科学,2012,34(10).
- [10] 蓝永联.广交长运冷链物流配送路径优化研究[D].广州:华南理工大学,2017.

收稿日期:2019-09-20

(上接第 48 页)

表 6 人口聚集段安全防护设计

措施类型	措施的实施
人、车分离	横向干扰严重的事故多发路段设置护栏、隔离栏杆,减少同向干扰和行人横穿;城镇外路段设置波形梁护栏,城镇内路段设置隔离栏杆;路侧房屋密集、公路断面较宽时,设置路宅分离设施,分离沿线居民生活区与道路功能区,并规范路侧开口
限制速度	增设限制速度标志,设置视错觉立体标线、薄层铺装,提高驾驶员警惕性,控制车速;在村庄路段的起终点,通过设置渠化标线、适当加宽路基的方式压缩车道或改变车辆行驶轨迹,提升驾驶员注意力,降低车辆速度
增强警示	村庄路段人行过街密集区域,除设置人行横道、必要的交通警示标志、标线外,在行人、非机动车出入较密集的人行道口,通过渠化设计压缩机动车道、增加视错觉标线,增强警示效果

连接段安全防护现状的调查和分析,对安全隐患较大路段的风险因素进行归纳,根据路段特点进行有针对性的安全防护设计,提出实施措施及方案。防护措施实施后,公路风险等级提升到 D 类以上,交通安全水平得到提高。

#### 参考文献:

- [1] 李克山.公路安全生命防护与反光技术[J].中国公路,2019(15).
- [2] 麦超武.公路交通工程安全防护设施的作用与质量控制分析[J].交通世界,2019(17).

- [3] 周雪梅.完善农村公路生命安全防护工程重要性[J].工程技术研究,2018(10).
- [4] 夏良,尹耀霄,杨曼娟.农村公路安全生命防护工程实施问题及对策研究[J].公路交通科技:应用技术版,2018(8).
- [5] 曹红艳,薛鹏涛,查晨昕.普通公路安全生命防护工程设计方法研究[J].智能城市,2018,4(9).
- [6] 杜兰顺.公路交通工程安全防护设施的作用与质量控制分析[J].交通世界,2017(10).
- [7] JTG D81—2017,公路交通安全设施实施细则[S].

收稿日期:2019-12-16