

# 多配送中心冷链运输路径优化

肖青, 赵昊, 马悦

(大连海事大学 交通运输管理学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** **目的** 在降低配送成本的同时, 保证生鲜配送的顾客满意度。**方法** 综合考虑运输距离、配送时间窗约束、生鲜变质等因素, 以运输成本、制冷成本、车辆调用成本、配送中心开放和闲置成本及自提点对配送时间和生鲜品质的满意度为目标函数, 建立双目标生鲜配送路径优化模型。**结果** 利用非支配排序遗传算法求得了不同需求情况下的生鲜配送方案。**结论** 在不同的需求状况下, 合理选择开放配送中心能够在保证一定顾客满意度的情况下, 有效降低了配送成本。

**关键词:** 多配送中心; 路径优化; 冷链运输

中图分类号: U492.2<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)17-0116-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.017

## Optimization of Cold Chain Transportation Route of Multi-distribution Center

XIAO Qing, ZHAO Hao, MA Yue

(College of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**ABSTRACT:** The work aims to ensure the customer satisfaction of fresh delivery while reducing the distribution costs. Based on the comprehensive consideration of such factors as transportation distance, distribution time window constraints and deterioration of fresh food, with transportation costs, refrigeration costs, vehicle call costs, distribution center opening and idle costs, and the satisfaction of self pick-up site in terms of distribution time and fresh quality as functions, a dual-objective fresh delivery route optimization model was established. The non-dominated sorting genetic algorithm was used to obtain the fresh delivery plan under different demand conditions. Under different demand conditions, reasonable selection of open distribution centers can effectively reduce distribution costs while ensuring certain customer satisfaction.

**KEY WORDS:** multi-distribution center; route optimization; cold chain transportation

O2O 模式的发展将商品的线上、线下消费连为一体。生鲜品的供应链运输不同于一般商品物流, 其冷链运输配送成本过高, 致使很多中小型企业无法负担, 因此对 O2O 模式下生鲜冷链运输进行研究的意义在于降低生鲜线上、线下一体消费运输成本的同时, 也可满足顾客对于生鲜配送及时性和食品品质满意度的需求。

长期以来, 学者对配送中心选址<sup>[1-4]</sup>和配送路径

优化做了大量研究。Sulieman<sup>[5]</sup>等考虑到客户需求的不确定性因素, 建立了双目标路径优化模型, 运用 IBEA, MOGA 和 NSGA-II 3 种双目标进化算法求得模型解, 发现模型的稳定性与求解方法有关。Song<sup>[6]</sup>等则将客户需求作为确定因素, 以达到客户最优满意度为目标建立了数学模型, 解决了易腐产品配送的路径优化问题。Vitoria<sup>[7]</sup>为了缩小搜索范围, 提高运算效率, 将蚁群算法和禁忌搜索算法结合使用, 探究了

收稿日期: 2019-03-12

作者简介: 肖青 (1963—), 女, 大连海事大学副教授, 主要研究方向为港口规划。

车辆路径问题。Keizer<sup>[8]</sup>等将仿真算法应用于易腐产品配送网络,通过混合整数优化模型的建立与求解对其进行了优化。葛显龙<sup>[9]</sup>等考虑到实际配送过程中部分配送路段不畅通的状况,建立了交通限行多阶段跨区域联合配送模型,针对模型的特征,并设计了自适应遗传算法进行求解。杨翔<sup>[10]</sup>等采用时间窗模糊化处理方法建立了有鲁棒优化模型,验证了模糊时间窗设置合理有效。Wang 等<sup>[11]</sup>采用聚类、动态规划和启发式算法的混合方法求解多配送中心车辆路径问题。现有的研究主要是在先将客户划分给配送中心然后在进行配送,没有考虑到随着客户需求量的变化,并不一定需要开放所有的配送中心进行配送,也不一定会提高顾客的满意度。

基于上述背景,文中将考虑带有逆向物流的生鲜配送,以运输成本、制冷成本、时间约束、顾客满意度等为因素,以顾客满意度和配送成本为目标建立双目标路径优化模型,通过配送中心开放的合理选择以及配送路径的优化,降低生鲜配送的成本。

### 1 问题描述

在一定区域内建设  $n$  个配送中心和  $m$  个线下实体店。在每个配送周期内,生鲜品在配送中心完成加工处理等工作,通过冷藏车运送至有需求的线下实体店,再由最近的顾客取走。同时对于上个周期搁置在体验店的有退换货需求的生鲜品以及托盘、保鲜箱等生鲜设备,也将由冷藏车运回至配送中心做相应处理。具体运作流程见图 1。

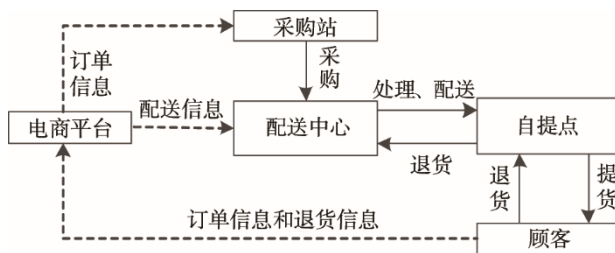


图 1 运作流程  
Fig.1 Operational process

问题相关假设如下所述。

- 1) 所有冷藏车都必须从某一生鲜配送中心出发,然后返回出发点。
- 2) 初始设定的行车路线畅通可行。
- 3) 单位运输距离的运输成本保持不变。
- 4) 仅考虑时间惩罚成本,即未能在约定时间到达线下服务节点所造成的损失,不考虑运输过程中由于生鲜变质等因素产生的货损成本,这部分的货损体现在顾客满意度上。
- 5) 生鲜腐败变质均基于数量损耗,即可量化,不考虑生鲜品质的变化。

- 6) 有足够的冷藏车可供调用。
- 7) 冷藏车厢内温度保持恒定。

### 2 模型建立

$N$  为配送中心的集合;  $K$  为车辆的集合;  $M$  为线下体验店的集合;  $v$  为车辆的行驶速度;  $Q_i$  为配送中心  $i$  的最大处理能力;  $d_{ij}$  为节点  $i$  到  $j$  的距离;  $v_1, v_2$  为卸货和装货速率;  $c_{n1}, c_{n2}$  为运输过程和装卸货过程的制冷成本,  $n$  表示配送中心序号;  $c_{i1}$  为配送中心  $i$  的运营成本;  $c_{i2}$  为配送中心闲置成本;  $c_k$  为车辆的使用成本;  $t_j$  为冷藏车到达自提点  $j$  的时刻;  $T_1(j)$  和  $T_2(j)$  为期望时间窗开始和结束时刻;  $T_1'(j)$  和  $T_2'(j)$  为最大可接受时间窗的最早和最晚时刻;  $\delta_1, \delta_2$  分别为早于时间窗和晚于时间窗到达的惩罚成本;  $f$  为客户总体满意度;  $f_1, f_2$  分别为顾客的平均时间满意度和平均品质满意度;  $f_j$  为自提点  $j$  的顾客时间满意度;  $D_{j1}, D_{j2}$  为自提点  $j$  的需求量和退货量;  $c_i$  为配送中心  $i$  的货物处理成本;  $L_i^k$  为车辆  $k$  离开节点  $i$  的载质量;  $L$  为车辆最大载质量;  $\beta$  为生鲜的变质速率,与温度条件和生鲜的性质等因素有关;  $g$  为车辆总数;  $c_m$  为单位货物单位距离运输成本;  $\omega_1$  为时间满意度权重;  $\omega_2$  为品质满意度权重。

决策变量:  $P_i$  为 0—1 变量,配送中心  $i$  开放则为 1, 否则为 0;  $y_{ij}$  为 0—1 变量,配送中心  $i$  服务于自提点  $j$  则为 1, 否则为 0;  $x_{ij}^k$  为 0—1 变量,车辆  $k$  服务于路径点  $i$  到  $j$  则为 1, 否则为 0。

文中所界定的带逆向物流的生鲜品配送总成本分为 5 部分,即配送车辆使用成本、运输和制冷成本、违反时间窗产生的惩罚成本、配送中心运行或闲置成本、生鲜运输和处理成本。

1) 车辆使用成本。

$$C_1 = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} x_{ij}^k c_k \quad (1)$$

2) 运输和制冷成本。由于生鲜产品的保鲜要求,冷藏车必须在配送过程中保持低温状态,为保持这种低温状态所消耗的能耗成本即为制冷成本,其与冷链物流车辆制冷系统的能耗量直接相关。这部分的成本分为 2 方面,一方面是运输过程中,冷藏车的距离成本以及为抵消冷藏车厢与外界进行热交换所产生的制冷成本,与冷藏车的行驶距离和载质量有关;另一方面是装卸货过程中,车门处于开启状态,冷藏车厢与外界产生了热交换,由此产生的制冷成本。

$$C_2 = (c_m + c_{n1}) \sum_{k \in K} \sum_{i, j \in N \cup M} x_{ij}^k d_{ij} + c_{n2} \sum_{j \in M} \left( \frac{D_{j1}}{v_1} + \frac{D_{j2}}{v_2} \right) \quad (2)$$

3) 惩罚成本。未能在其期望可接受的时间范围内将货物送到,将会产生一定的惩罚费用<sup>[12]</sup>,惩罚成本函数见式(3)。

$$C_3 = \begin{cases} \infty & t_j < T'_1(j) \\ \delta_1 \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} x_{ij}^k (T_1(j) - t_j) & T'_1(j) \leq t_j \leq T_1(j) \\ 0 & T_1(j) \leq t_j \leq T_2(j) \\ \delta_2 \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} x_{ij}^k (t_j - T_2(j)) & T_2(j) \leq t_j \leq T'_2(j) \\ \infty & T'_2(j) < t_j \end{cases} \quad (3)$$

4) 配送中心成本。其包括开放、闲置成本以及生鲜处理成本。

$$C_4 = \sum_{i \in N} P_i c_{i1} + (n - \sum_{i \in N} P_i) c_{i2} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} c_i y_{ij} (D_{j1} + D_{j2}) \quad (4)$$

成本目标函数见式(5),为车辆使用成本、运输成本、惩罚成本以及配送中心成本之和。式(6)和式(7)保证配送中心和车辆数量不超过已有数量;式(8)和式(9)保证一个节点只有一个配送中心进行配送,所有节点只接受一辆车的服务以及自提车流平衡。式(10)和式(11)保证不超过配送中心的处理能力和车辆载质量。式(12)保证所有车辆都会回到出发点。

$$\min C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (5)$$

约束条件为:

$$\sum_{i \in N} P_i \leq n \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} x_{ij}^k \leq g \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{i, j \in M} x_{ij}^k + x_{ji}^k = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in M} y_{ij} (D_{j1} + D_{j2}) \leq Q_i \quad (10)$$

$$\sum_{i, j \in N \cup M} x_{ij}^k D_{j1} \leq L \quad (11)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in M} x_{ij}^k = \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} x_{ji}^k \quad (12)$$

满意度目标函数:

$$\max f = \omega_1 f_1 + \omega_2 f_2 \quad (13)$$

$$f_1 = \frac{1}{m} \sum_{j \in M} f_j \quad (14)$$

$$f_j = \begin{cases} 0 & t_j < T'_1(j) \\ \frac{t_j - T'_1(j)}{T_1(j) - T'_1(j)} & T'_1(j) \leq t_j \leq T_1(j) \\ 1 & T_1(j) \leq t_j \leq T_2(j) \\ \frac{T'_2(j) - t_j}{T'_2(j) - T_2(j)} & T_2(j) \leq t_j \leq T'_2(j) \\ 0 & t_j < T'_2(j) \end{cases} \quad (15)$$

$$f_2 = 1 - \frac{\beta \sum_{k \in K} \sum_{i, j \in M \cup N} x_{ij}^k \frac{d_{ij}}{v} L_i^k}{\sum_{j \in M} D_{j1}} \quad (16)$$

$$\beta = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (17)$$

式(13)为满意度目标函数。式(14)为客户平均时间满意度计算方法。式(15)为各自提点顾客时间满意度计算方法,实际送达时间与客户的最大可接受时间存在一个时间差,而客户的最大可接受时间与期望时间之间也存在一个时间差,两个时间差作比,比值越大说明生鲜送达自提点的时间越接近期望时间,对应的客户时间满意度就越高。送达时间在期望时间窗内满意度最大,取值为1。式(16)为客户对生鲜品质满意度计算公式,即客户满意度体现为生鲜变质质量与生鲜需求量的比值,比值越大说明生鲜变质越多,客户满意度则越小。式(17)为阿伦尼乌斯方程,其反映了变质速率与温度的关系,其中, $R$ 为摩尔气体常量; $T$ 为热力学温度; $E_a$ 为反应的活化能; $A$ 为指前因子; $E_a$ 和 $A$ 为常数,可通过实验获得。可以看出,当 $T$ 变大时, $\beta$ 随之增大,即随着温度升高,腐败速率逐渐增大,且呈指数增长趋势;当温度升到一定程度后,腐败率不再增加,这与事实相符,即当食物腐败到一定程度,腐败率将不再变化。文中假设冷藏车内温度恒定,因此 $\beta$ 为定值。

### 3 算法实现

#### 3.1 主要编码过程

文中采用改进的非支配排序遗传算法(Improved Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, NSGA-II)对问题进行求解;采用 Matlab 计算软件进行算法的求解与计算。程序运行 PC 配置主要有 Inter XeonE3-1226v3, 8.00GB, Windows10 专业版。

##### 3.1.1 编码与解码

采用实数编码的方式,染色体长度为自提点数量与2倍车辆数量之和,并引入 Tent 混沌算子生成自提点顺序。染色体见图2。



图2 染色体示例  
Fig.2 Chromosome example

此时的配送中心数量为3,线下自提点数量为6,车辆数量为3,因此染色体长度为12。645321代表节点顺序;246代表64,53,21节点分别由3辆车进行运输;12代表车辆1,2分别从1,2配送中心出发;0代表车辆3未使用。

### 3.1.2 选择操作

多目标遗传算法根据种群个体的非支配排序以及拥挤度对个体进行选择操作，随着迭代次数增加，低序值个体逐渐减少，高序值个体逐渐稳定，致使在迭代中种群得不到更新，种群多样性降低，陷入局部最优<sup>[13]</sup>。为了避免陷入局部最优解，保证种群多样性，当选择操作完成时应对个体的序值进行检验，若均为支配个体，则接受一定数量低序值个体。

### 3.1.3 交叉和变异

为了加快算法的收敛速度，将传统遗传算法的选择算子引入交叉和变异，使优秀个体进行更多交叉，较差个体进行更多变异<sup>[14-15]</sup>。具体过程如下所述，首先根据非支配排序结果，给每个排序层分配一个选择概率，进行轮盘赌操作；选择进行交叉的 2 个集合，再随机从集合中选取个体进行交叉。交叉和变异方式分别为顺序交叉和单点变异。

交叉和变异选择概率计算方式如式 (18) 所示。

$$P_i = \begin{cases} i/\text{sum}(I) & \text{变异} \\ (\max(I)+1-i)/\text{sum}(I) & \text{交叉} \end{cases} \quad (18)$$

式中： $I$  为非支配排序层序号值集合； $i$  为第  $i$  层序号值。

## 3.2 算法主要步骤

算法的主要步骤如下所述。

1) 产生初始种群，并计算适应度，进行快速非支配排序。

2) 交叉和变异。计算非支配排序各层交叉和变异选择概率，进行轮盘赌选择交叉层，并随机选取层

内个体进行交叉和变异。

3) 将子代和父代合并，计算适应度，进行快速非支配排序，计算各染色体拥挤度。

4) 进行选择操作形成新的种群，根据各层序值高低进行选择直到满足种群规模，优先选择高序值层。在选择该层部分个体时，进行拥挤度比较，优先选择拥挤度大的个体。

5) 判断所选个体是否为同一排序层个体，若是则接受  $M$  个低序值个体，否则转下一步。

6) 判断是否达到最大迭代次数，若是则输出序值为 1 的个体，若否则转步骤 2。

## 4 实例分析

### 4.1 算例数据

F 公司目前有 3 个配送中心，对 11 个生鲜自提点进行配送，自提点距离和配送中心相关参数见表 1 和表 2。F 公司于清晨 5 点 20 对各线下节点进行统一配送，在此过程中，会接收前一天生鲜品冷链设备以及顾客退回的货物，统一运送至配送中心。针对线上服务部分，订单周期为 1 天，期间 O2O 电商平台不停地处于信息更新中。

从中选取 3 次客户订单作为研究样本。线下 11 个体验店编号为 m1—m11，自提点需求量以及服务时间窗见表 3。车辆额定载质量为 3t。在装卸过程中由于开关门会导致车厢内温度上升，为保持箱内温度恒定，需要适当加大制冷力度，进而导致该阶段成单位时间的制冷成本有所提高。相关参数汇总见表 4。

表 1 自提点距离  
Tab.1 Distance of self pick-up site

km

自提点	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11
m1	0	5.3	10	10.2	5.1	10.7	11.7	15.2	8	3	13.6
m2	5.3	0	5.9	6.6	5.5	5.9	15.5	11.5	13	3.7	9
m3	10	5.9	0	2.3	4.7	5.1	10.8	7.7	8.7	6.3	6.1
m4	10.2	6.6	2.3	0	4.9	5.9	9.6	6.5	7.4	6	5.3
m5	5.1	5.5	4.7	4.9	0	7.3	11.6	11.1	9	2.1	9.8
m6	10.7	5.9	5.1	5.9	7.3	0	15.3	6.5	14.3	7.7	4.1
m7	11.7	15.5	10.8	9.6	11.6	15.3	0	16.1	3.8	12.4	12.3
m8	15.2	11.5	7.7	6.5	11.1	6.5	16.1	0	13.3	11.2	2.9
m9	8	13	8.7	7.4	9	14.3	3.8	13.3	0	8.7	13
m10	3	3.7	6.3	6	2.1	7.7	12.4	11.2	8.7	0	10.5
m11	13.6	9	6.1	5.3	9.8	4.1	12.3	2.9	13	10.5	0

表2 配送中心相关数据  
Tab.2 Relevant data of distribution center

配送中心	运营成本/元	闲置成本/元	处理能力/t	处理单位成本/(元·kg <sup>-1</sup> )
1	3000	1000	10	0.3
2	2500	800	9	0.4
3	2100	600	7	0.6

表3 自提点需求量和 service 时间窗  
Tab.3 Self pick-up site demand and service time window

自提点	需求量/kg			退货量/kg			[EET,ET,LT,ELT]
	1	2	3	1	2	3	
m1	600	209	1405	40	45	79	[5:20,5:30,6:10,6:20]
m2	800	283	1557	30	30	43	[6:30,6:40,7:20,7:30]
m3	1000	579	971	40	59	18	[6:00,6:10,6:50,7:00]
m4	500	201	1482	30	99	32	[5:10,5:20,6:00,6:10]
m5	900	328	2059	40	30	27	[6:20,6:30,7:10,7:20]
m6	1300	1057	1676	25	19	43	[5:50,6:00,6:40,6:50]
m7	1000	719	1905	12	23	19	[5:20,5:30,6:10,6:20]
m8	1100	840	1450	55	76	93	[5:20,5:30,6:10,6:20]
m9	900	504	1481	20	83	52	[6:10,6:20,7:00,7:10]
m10	900	562	1106	30	62	87	[6:30,6:40,7:20,7:30]
m11	600	210	1405	60	63	34	[6:50,7:00,7:40,7:50]

表4 相关参数汇总  
Tab.4 Summary of related parameters

参数名称	数值	参数名称	数值
车辆行驶速度	40 km/h	单位运输成本	2元/km
货物装车效率	30 kg/min	车辆使用成本	200元
货物卸车效率	40 kg/min	生鲜变质速率	0.05%/h
品质满意度权重	0.6	装卸制冷成本	0.3元/min
送达时间满意度权重	0.4	早到惩罚成本	0.2元/min
运输制冷成本	0.2元/km	迟到惩罚成本	0.3/min
车辆数量	8		

## 4.2 运算结果

多目标遗传算法主要设置参数如下所述,最大迭代代数  $\lambda_{\max}=200$ ;交叉概率  $P_c=0.8$ ;变异概率  $P_m=0.1$ ;低序值个体接受数量  $M=10$ 。将程序反复运行 20 次,分别进行配送中心全部开放和配送中心选择开放这 2 种情况的运算,得到相应的成本和路径结果,2 种情况分别得到 10 次运算结果。对这两种情况进行两两对比,记录满意度最高、满意度大于 0.8、成本最低的相关数据及配送路径,共分为 3 个样本,其结果见表 5—6。

从上述计算结果可以看出,与全部开放情况相比,选择开放情况虽具有更低的配送成本,但客户满意度会降低,而如果要提升客户满意度,就要开放更多的配送中心或调用更多车辆,配送成本随之上升;在仅考虑配送成本的情况下,随着需求量上升,客户满意度会较低,可能会导致客户流失;在客户满意度相近的情况下,选择开放能使配送成本较全部开放明显下降,样本 1 下降了 39%,样本 2 下降了 27%,样本 3 下降了 22%。与仅考虑配送成本相比,在开放相同配送中心和同等运力的情况下,综合考虑成本和客户满意度的路径规划能够更好地满足客户要求。

表 5 计算结果  
Tab.5 Calculation results

样本	选择开放				全部开放		
	满意度	成本/元	车辆数量	配送中心	满意度	成本/元	车辆数量
1	0.95	15 382.1	4	1,3	0.95	17 038.8	4
	0.85	10 631.4	4	1	0.82	14 230.3	5
	0.85	9826.9	4	1	0.80	13 658.2	5
2	0.98	10 747.9	3	1,2	0.98	13 016.1	4
	0.86	8697.6	3	1	0.88	11 392.7	4
	0.85	7895.3	3	1	0.89	10 971.6	4
3	0.83	22 041.2	8	1,2,3	0.84	23 290.8	8
	0.82	19 734.3	7	1,2	0.83	21 610.6	7
	0.71	18 659.7	7	1,2	0.70	20 876.3	7

表 6 选择开放配送路径  
Tab.6 Choosing open distribution route

样本	配送路径
1	P1—5—6—2—P1, P3—7—3—10—P3, P1—4—1—P1, P3—8—9—11—P3
	P1—1—10—5—P1, P1—8—11—2—P1, P1—7—9—3—P1, P1—4—6—P1
	P1—1—10—5—P1, P1—8—11—2—P1, P1—7—9—3—P1, P1—4—6—P1
2	P1—1—4—9—5—P1, P2—7—3—10—11—P2, P2—8—6—2—P2
	P1—4—3—5—10—P1, P1—8—6—11—2—P1, P1—7—9—1—P1
	P1—4—3—5—10—P1, P1—8—6—11—2—P1, P1—7—9—1—P1
3	P3—7—3—P3, P2—2—P2, P2—8—9—P2, P3—10—6—P3, P2—4—P2, P1—11—P1, P2—5—P2, P2—1—P2
	P1—8—9—P1, P1—11—2—P1, P2—7—3—P2, P2—10—6—P2, P1—5—P1, P2—4—P2, P1—1—P1
	P2—8—11—P2, P2—6—3—P2, P1—5—P1, P1—10—2—P1, P1—9—1—P1, P2—4—P2, P1—7—P1

## 5 结语

文中针对生鲜易腐的特点，综合考虑了运输距离、配送时间约束、变质等因素的影响，建立了综合运输成本、制冷成本、车辆调用成本、配送中心成本的成本目标函数与以自提点对配送时间和生鲜品质的满意度为满意度目标函数的双目标配送路径优化模型。运用改进的多目标遗传算法对模型进行求解，比较配送中心全部开放和选择开放这 2 种情况下的配送成本和客户满意度结果，发现在考虑一定顾客满意度的情况下，选择开放能够有效降低配送成本，为生鲜电商的配送路径和配送中心开放选择提供了参考依据。

### 参考文献：

[1] 袁群, 左弈. 基于改进混合遗传算法的冷链物流配送中心选址优化[J]. 上海交通大学学报, 2016, 50(11): 1795—1800.  
YUAN Qun, ZUO Yi. Selection of Cold Chain Logistics

Distribution Center Location Based on Improved Hybrid Genetic Algorithm[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2016, 50(11): 1795—1800.

[2] 王道平, 徐展, 杨岑. 基于两阶段启发式算法的物流配送选址-路径问题研究[J]. 运筹与管理, 2017, 26(4): 70—75.  
WANG Dao-ping, XU Zhan, YANG Cen. Study on Location-routing Problem of Logistics Distribution Based on Two-stage Heuristic Algorithm[J]. Operations Research and Management Science, 2017, 26(4): 70—75.

[3] 陈义友, 韩珣, 曾倩. 考虑送货上门影响的自提点多目标选址问题[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(11): 2679—2690.  
CHEN Yi-you, HAN Xun, ZENG Qian. Multi-objective Pickup Point Location Problem Considering Impact of Home Delivery[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(11): 2679—2690.

[4] 赵泉午, 赵军平, 林娅. 基于 O2O 的大型零售企业城市配送网络优化研究[J]. 中国管理科学, 2017, 25(9): 159—167.  
ZHAO Quan-wu, ZHAO Jun-ping, LIN Ya. A City Logistics Network Optimization Model for Large Chain

- Retailers under Online-offline Channel Integration[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(9): 159—167.
- [5] SULIEMAN D, JOURDAN L, TALBI E G. Using Multiobjective Metaheuristics to Solve VRP with Uncertain Demands[J]. Evolutionary Computation (CEC), 2010, 5(1): 1—8.
- [6] SONG B D, KOY D. A Vehicle Routing Problem of both Refrigerated-and General-type Vehicles for Perishable Food Productsdelivery[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 169: 61—71.
- [7] VITORIA P, REINALDO M, MARC R. Vehicle Routing with Multiple Deliverymen: Modeling and Heuristic Approaches for the VRPTW[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 218(3): 636—647.
- [8] KEIZER M, HAIJEMA R, JACQUELINE M B, et al. Hybrid Optimization and Simulation to Design a Logistics Network for Distributing Perishable Products[J]. Computers & Industrial Engineering, 2015, 88: 26—38.
- [9] 葛显龙, 黄钰, 谭柏川. 城市物流跨区域联合配送模型与算法[J]. 控制与决策, 2017, 32(5): 789—796.  
GE Xian-long, HUANG Yu, TAN Bai-chuan. Multi-stage Combined City Logistics Distribution Problem Considering the Traffic Restrictions[J]. Control and Decision, 2017, 32(5): 789—796.
- [10] 杨翔, 范厚明, 张晓楠, 等. 基于模糊时间窗的多中心开放式车辆路径问题[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(7): 1768—1778.  
YANG Xiang, FAN Hou-ming, ZHANG Xiao-nan, et al. Optimization of Multi-deport Open Vehicle Routing Problem with Fuzzy Time Window[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(7): 1768—1778.
- [11] WANG Y, MA X L, LI Z B, et al. Profit Distribution in Collaborative Multiple Centers Vehicle Routing Problem[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 144: 203—219.
- [12] 梁承姬, 黄涛, 徐德洪, 等. 改进遗传算法求解带模糊时间窗冷链配送问题[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2016, 41(3): 826—835.  
LIANG Cheng-ji, HUANG Tao, XU De-hong, et al. A Solution for Cold Chain Distribution with Fuzzy Time Window Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2016, 41(3): 826—835.
- [13] 孙文彬, 王江. 一种基于遗传算法的 TSP 问题多策略优化求解方法[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(4): 1—4.  
SUN Wen-bin, WANG Jiang. An Algorithm for TSP Problem Based on Genetic Algorithm and Multi-optimization[J]. Geography and Geo-information Science, 2016, 32(4): 1—4.
- [14] 刘桓. 基于遗传算法的冷链物流路径选择研究[J]. 物流技术, 2013, 32(19): 116—119.  
LIU Huan. Study on Selection of Cold-chain Logistics Path Based on Genetic Algorithm[J]. Logistics Technology, 2013, 32(19): 116—119.
- [15] 张异. 包装废弃物回收车辆路径问题的改进遗传算法[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 147—152.  
ZHANG Yi. Improved Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem in Packaging Waste Recycling[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 147—152.