

基于多目标优化的渔获物冷链配送

曹守启^a, 陈莹^a, 陈成明^a, 花传祥^b

(上海海洋大学 a.工程学院, b. 海洋科学学院, 上海 201306)

摘 要:远洋渔获物从港口出发被运输至各个需求市场的过程中,冷链配送方案的规划对于提高运输效率与降低成本投入等方面都起着至关重要的作用.为了提升配送效率和降低配送成本,根据渔获物受配送时间和环境温度等影响发生不同程度耗损的特点,引入低温能耗与需求时间窗等成本要素,建立了以配送服务时间最短和成本最小为目标的多目标冷链配送模型.根据所建立模型的决策变量,设计相应的遗传算法求解并结合某港口配送中心的算例进行分析.结果表明:本文提出的冷链物流配送模型可以为企业实现较少配送时间与较低成本,进而验证了模型的可行性.

关键词:水路运输;远洋渔业;冷链物流;多目标优化;模型

中图分类号:U612.1 **文献标志码:**A

Ocean catches cold chain distribution based on multi-objective optimization

CAO Shouqi^a, CHEN Ying^a, CHEN Chengming^a, HUA Chuanxiang^b

(a.School of Engineering Science and Technology,
b. School of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: During the process that ocean catches are transported from ports to markets, one reasonable cold chain distribution plan plays an important role in raising transport efficiency and lowering the cost input. In order to improve the distribution efficiency and reduce distribution costs since fish catches can be affected by the distribution time and environmental temperature in different levels, the multi-objective cold-chain distribution model is established aiming to achieve shortest delivery time and minimum cost. The model takes multiple cost elements into account including energy consumption at low temperature and demand time window. Then according to the decision variables of the model, the corresponding genetic algorithm is designed and a case study about one port distribution center is analysed. The results show that the proposed cold-chain logistics distribution model can achieve less delivery time and lower distribution cost for the enterprise and the models have been proved feasible.

Keywords: waterway transportation; pelagic fishing; cold chain logistics; multi-objective optimization; model

收稿日期:2016-08-15
基金项目:国家科技支撑计划(2013BAD13B05);上海市科技创新行动计划(15DZ1202202)
Foundation item: National Key Technology Research and Development Program of China(2013BAD13B05); Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan(15DZ1202202)
第一作者:曹守启(1973—),男,山东莒南人,副教授,博士.研究方向为海洋工程装备设计、物联网工程等.email: sqcao@shou.edu.cn.
引用格式:曹守启,陈莹,陈成明,等.基于多目标优化的渔获物冷链配送[J].北京交通大学学报,2017,41(3):34-38.
CAO Shouqi, CHEN Ying, CHEN Chengming, et al. Ocean catches cold chain distribution based on multi-objective optimization [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2017, 41(3): 34-38. (in Chinese)

远洋渔获物是指由远洋渔船出海捕捞获得的水产品,如金枪鱼、竹荚鱼、鲑鱼等.远洋渔获物具有高含量的营养价值且捕捞成本较高,为了在送至水产品市场过程中降低质量等损伤,因此配送选用冷链物流的方式.而我国冷链物流目前处于起步阶段,存在着运输成本高、效率低等问题.因此,为了响应渔获物配送保鲜和及时的特点,选择合适的配送计划是极为关键的.同时,合理优化的配送计划也决定着运输的成本与效率.

近年来,很多学者对配送过程中的路径优化进行研究,以求降低配送成本,提高配送效率.文献[1]建立了以最短路径为目标的多个车场多个车辆的物流配送模型,并利用粒子群算法进行了优化与模型求解.文献[2]则建立了关于车辆路径问题(Vehicle Routing Problem, VRP)的仿真优化模型,从仿真动态角度研究 VRP 问题的解决方法.文献[3]针对蚁群算法在水产品运输路线优化中的应用进行研究,通过提出单回路配送问题的蚁群优化算法进行案例分析.而针对冷链物流问题的研究,文献[4]对带时间窗的生鲜产品冷链配送优化模型的构建与应用进行了研究,并采用禁忌搜索算法与 Matlab 对实例进行分析.文献[5]研究了多种温度下的传统配送路径优化,以配送成本最优为目标进行分析.文献[6]以冷链物流配送过程中的客户满意度最大化与成本最小化为目标,在考虑模糊时间窗的前提下,构建了冷链车辆配送路径多目标优化模型.文献[7]建立了以成本和最小为目标的车辆冷链物流路径数学规划模型,并进行算例分析与主要参数的敏感度分析来验证模型的合理性.文献[8]研究了多人配送下的车辆路径优化问题并运用启发式算法进行模型求解.

针对已有的冷链物流研究分析,大多数是在考虑顾客时间窗的基础上,以成本最小或者路径最短为目标进行优化研究;或者聚焦于求解算法的改进,从而获得最优解.但最终仅仅考虑成本最小或路径最短已无法满足实际的需求,因此,本文作者在分析远洋渔获物从港口出发到各个水产品市场的物流过程的基础上,以远洋渔业公司在港口设置的仓库为配送中心,结合时间窗增加货损成本与能耗成本等,建立以配送服务时间最短和成本最小为目标函数的多目标配送模型,并进行案例分析验证.

1 远洋渔获物冷链物流配送模型

1.1 模型概述

在港口配送中心设有冷藏运输车辆,并有多多个渔获物需求方在等待渔获物的配送.各个需求方与

配送中心的距离已知,且需求方的需求量通过需求预测的结果可以得到.通过建立合适的目标函数,求解最优的配送路线,使得整个配送服务时间最短、成本最小.此外,在完成配送服务过程中,往往会遇到一系列复杂的情况.为简化问题,本文作者做出了如下假设:

- 1)供应方在需求商订货单到达前,已经通过往年的需求方订货量与市场需求量对需要配送方的需求量做了预测,保证需求方订货发生时,库存量足够满足各个需求方的需求;
- 2)需求方订单未到达之前,供应方不进行发货操作;订单到达后,即刻发货;
- 3)供应方与需求方之间的交易为同一种产品;
- 4)所有配送车辆在配送完成后,回到供应商配送中心;
- 5)冷链配送车辆的规格、型号等一致;
- 6)不同车辆不对同一需求方进行配送和卸货服务;
- 7)车辆配送完成后,即为空车时不进行制冷运输.

1.2 多目标模型建立

建立模型所需要的变量如下: m 为配送车辆的个数; n 为需求方的个数; q_i 为需求方 i 的需求量; f 为单个车辆配送的固定成本; Q 为车辆的最大承载量; D 为车辆的最大行驶距离; c 为单位距离的运输成本; p 为渔获物单价; u_1 为运输过程中货物的单位货损系数; u_2 为卸货过程货物的单位货损系数; u_3 为配送过程中的单位时间能耗系数; u_4 为需求方提供卸货服务时,因搬运水产品引起热侵入所产生的单位时间能耗系数; u_5 表示车辆 k 早于需求方 i 时间窗下限的单位等待成本; u_6 表示车辆 k 晚于需求方 i 时间窗上限的单位惩罚成本; d_{ij} 表示需求方 i 与需求方 j 之间的距离; v 为冷链运输车辆的平均行驶速度; t_i^k 为车辆 k 到达需求方 i 的时间; x_{ij}^k 表示车辆 k 是否从需求方 i 到需求方 j 进行服务; y_i^k 表示配送车辆 k 到达需求方 i 后是否进行卸货服务; g 为卸货平均速度; $[a_i, b_i]$ 表示需求方 i 期望配送到达的时间窗; $[A_i, B_i]$ 表示需求方 i 可接受配送到达的时间窗; $C_{\text{总}}$ 表示冷链物流运输总成本; $T_{\text{总}}$ 表示车辆运输总时间.

建立最少配送服务时间与最小冷链成本目标函数为

$$\min f(x_{ij}^k) = \min f(T_{\text{总}}, C_{\text{总}}) \tag{1}$$

配送服务时间 $T_{\text{总}}$ 为

$$\min T_{\text{总}} =$$

$$\sum_{k=1}^m \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^k \left[\left(\frac{d_{0,i} + d_{ij} + d_{j,0}}{v} \right) + \frac{q_i}{g} y_i^k + \max(A_i - t_i^k, 0) \right] \right\} \quad (2)$$

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$y_i^k = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (7)$$

冷链总成本为

$$C_{\text{总}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (3)$$

各个成本的含义及计算如下：

1)固定成本 C_1 :车辆的损耗及驾驶员的工资成本之和,不随需求方的数量及位置距离等变化,即总固定成本是所有各个车辆固定成本之和.

2)运输成本 C_2 :包括车辆的油耗、维修等成本,与车辆运输距离有关.

3)物损成本 C_3 :冷链物流配送活动中,虽然是冷藏车低温运输,但是由于配送服务时间的积累,超过一定的时间,渔获物发生变质的概率也会被提高.产生货损成本的因素有很多,本文主要考虑以下两种货损成本:一是因运输时间过长而导致渔获物腐坏;二是因配送车辆在需求方搬卸货物,在开、关车门的过程中由于外界热空气涌入造成的变质.

4)能耗成本 C_4 :配送车辆的车体内保持低温状态,能够保证渔获物不腐坏.但是由于车厢内外的温度差,会引发热传导现象,进而造成冷链配送车辆的能耗.除此,在每到达一个需求方进行开关车门装卸产品时,外界的热空气都会涌入车内,也会增加配送车辆的能耗成本.本文假设冷藏冷冻车辆的能耗仅仅与车辆的配送行驶时间与到达各个需求方后的卸货时间相关.

5)违反时间窗成本 C_5 :当配送车辆早于可接受时间窗下限到达,则需等待至可接受时间窗下限,因此会产生等待成本且期间货损系数不变;若配送车辆晚于期望时间窗上限但早于可接受时间窗上限,则产生惩罚成本;若晚于可接受时间窗上限到达,则该需求方不接受货物,货物全部损失.

$$C_5 = \begin{cases} (u_1 q_j + u_5)(A_j - t_j^k), t_j^k < A_j \\ 0, A_j \leq t_j^k \leq b_j \\ u_6(t_j^k - b_j), b_j \leq t_j^k \leq B_j \\ p q_j, B_j < t_j^k \end{cases} \quad (4)$$

$$\min C_{\text{总}} = \sum_{k=1}^m f^k + \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^k \left\{ \sum_{i=1}^n [c(d_{0,i} + d_{ij} + d_{j,0}) + (u_1 p q_j + y_j^k u_3) \cdot \frac{d_{0,i} + d_{ij}}{v} + y_k^k q_j (u_2 p + \frac{u_4}{g}) + C_5] \right\} \quad (5)$$

模型的约束条件如下

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n q_j \cdot x_{ij}^k \leq Q_k \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}^k \leq D \quad (9)$$

$$n_j^k = Q_k - \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n q_i x_{ij}^k \leq Q_k \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ij}^k = 1, i \neq j \quad (11)$$

其中:式(6)为 0 表示车辆 k 不从需求方 i 到需求方 j 进行服务,为 1 表示车辆 k 从需求方 i 到需求方 j 进行服务;式(7)为 0 表示车辆 k 到需求方 i 后不进行卸货服务,为 1 表示车辆 k 到需求方 i 后进行卸货服务;式(8)表示所配送的需求方的需求量之和不超过最大车载量;式(9)表示车辆的行驶距离之和不超过车辆的最大行驶距离;式(10)为计算 k 车在到达需求方 j 之前的车载量不超过最大承载量;式(11)表示同一辆车不进行往返配送服务.

2 冷链物流配送模型求解

本文建立的模型为渔获物冷链物流配送多目标优化模型,并结合遗传算法理论进行求解,流程如图 1 所示.

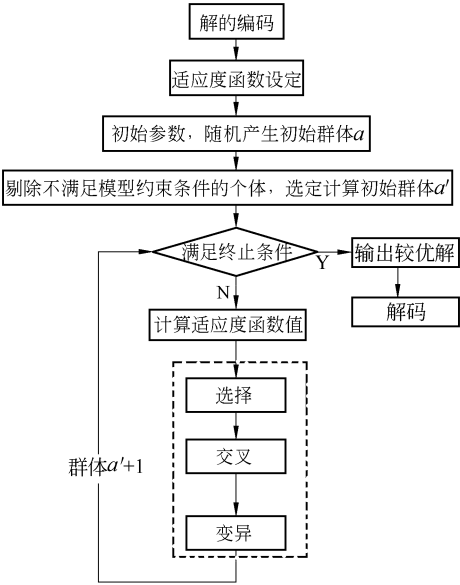


图 1 遗传算法求解流程

Fig.1 Solving process of genetic algorithm

1)解的编码.

模型的决策变量为 x_{ij}^k .经过进一步分析,可将

本文解的编码设为 $[V_1, V_2, \cdots, V_n, 0, Z_1, Z_2, \cdots, Z_m]$, V_n 表示需求方被服务的顺序, Z_m 表示车辆按顺序服务需求方的个数.如 $[3, 2, 5, 6, 1, 4, 0, 2, 4]$ 表示车辆 1 的配送路径为:配送中心-客户 5-客户 2-配送中心;车辆 2 的配送路径为:配送中心-客户 1-客户 6-客户 3-客户 4-配送中心.

2)适应度函数.
本文取目标函数的反函数为适应度函数,即 $f' = 1/f$, 适应度函数值高者为优.

3)选定初始群体.
根据遗传算法的理论,在随机产生一组初始群体的基础上,将其中不满足模型约束条件的解剔除,符合条件的解构成初始群体.

4)遗传操作.
本文首先采用轮盘赌选择的方式,随机采样获得个体,并计算其适应度值进行评价,选择适应度值高的个体进入后续遗传;在遗传操作中采用顺序交叉法,从父代 1 中随机选取一个编码子串,将其放入子代 1 的对应位置,同时子代 2 空余的编码位置则从父代 2 中的编码进行剩余顺序选取,保障与已有

的编码不重复;并运用交换法,通过在一个个体与另一个个体之间随机挑选两个点进行基因交换,从而获得不同的解.

5)终止条件及解的输出.
通过设定迭代次数,终止算法循环迭代过程;算法结束后,会得出多个帕累托(Pareto)解集,比较其适应度函数值,输出函数值较大的为较优解.

3 算例及结果分析

为更好地进行冷链配送优化模型的合理性研究,进而解决冷链物流配送优化问题,设某港口配送中心在某一段时间内需要为 15 个需求商进行配送服务,共有 5 个配送车辆进行选择.为案例计算方便,设配送中心与需求方及各个需求方之间为直线运输.

参数设定如下: $Q = 10 \text{ t}$, $D = 2\ 000 \text{ km}$, $v = 60 \text{ km/h}$, $f = 500 \text{ 元}$, $c = 5 \text{ 元/km}$, $p = 2\ 000 \text{ 元/t}$, $g = 1 \text{ t/h}$, $u_1 = 0.02$, $u_2 = 0.03$, $u_3 = 0.01$, $u_4 = 0.02$, $u_5 = 5 \text{ 元/h}$, $u_6 = 8 \text{ 元/h}$. 各个需求方的相对距离如表 1 所示,其中 0 表示港口配送中心.

表 1 各个需求方相对距离

Tab.1 Relative distance of each demand side																	km
需求方 ID	需求方 ID																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0	0	50	53	61	67	63	54	73	55	77	70	64	45	48	54	57	
1	50	0	55	50	52	56	65	51	54	66	68	75	48	61	46	48	
2	53	55	0	48	53	62	57	70	63	51	49	59	65	58	70	75	
3	61	50	48	0	75	55	54	65	58	68	81	52	47	65	52	61	
4	67	52	53	75	0	71	55	47	68	51	56	48	45	49	76	54	
5	63	56	62	55	71	0	53	63	70	81	59	62	51	50	57	71	
6	54	65	57	54	55	53	0	55	50	57	52	61	72	53	55	69	
7	73	51	70	65	47	63	55	0	65	59	46	47	51	49	58	61	
8	55	54	63	58	68	70	50	65	0	69	58	54	53	56	71	80	
9	77	66	51	68	51	81	57	59	69	0	56	65	82	69	57	51	
10	70	68	49	81	56	59	52	46	58	56	0	66	58	51	59	68	
11	64	75	59	52	48	62	61	47	54	65	66	0	65	58	60	52	
12	45	48	65	47	45	51	72	51	53	82	58	65	0	67	55	49	
13	48	61	58	65	49	50	53	49	56	69	51	58	67	0	60	62	
14	54	46	70	52	76	57	55	58	71	57	59	60	55	60	0	74	
15	57	48	75	61	54	71	69	61	80	51	68	52	49	62	74	0	

每个需求方的需求量、期望时间窗、可接受时间窗如表 2 所示.

根据上述数据,通过仿真计算,设定种群规模为 40、迭代次数为 500 时得到一组较优解为 $[6, 9, 4, 3, 8, 13, 7, 1, 10, 14, 2, 12, 15, 5, 11, 0, 4, 8, 12, 15]$, 如图 2 所示.

结果表明:共需派出配送服务车辆 4 辆,总共行

驶距离为 1 024 km,配送服务时间为 56.5 h,冷链配送成本投入为 3.9 万元.第 1 辆车的路径为: $0 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 0$,共配送 8.6 t 渔获物;第 2 辆车的路径为: $0 \rightarrow 14 \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 0$,共配送 9 t 渔获物;第 3 辆车的路径为: $0 \rightarrow 2 \rightarrow 9 \rightarrow 15 \rightarrow 12 \rightarrow 0$,共配送 9.9 t 渔获物;第 4 辆车的路径为: $0 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 13 \rightarrow 0$,共配送 8.8 t 渔获物.

表 2 需求方各自需求量与时间窗要求
Tab.2 Demand quantity and time window

需求方 ID	需求量/t	期望时间窗	可接受时间窗	需求方 ID	需求量/t	期望时间窗	可接受时间窗
1	1.5	[0.5,1.5]	[0.4,4]	9	3.5	[1.5,2.5]	[1.3,6.5]
2	2.0	[0.7,2]	[0.5,6]	10	4.0	[1.5,2]	[1.4,5.2]
3	2.3	[1,2]	[0.8,5]	11	2.5	[1.8,2]	[1.5,7.5]
4	1.8	[1.2,2.8]	[1,5.5]	12	2.4	[1.1,2.5]	[1,5]
5	1.5	[1.5,3]	[1.3,4.5]	13	4.0	[1.7,3]	[1.5,6.5]
6	0.8	[0.8,1.9]	[0.5,6.5]	14	3.0	[2,4]	[1.8,8]
7	3.0	[1.5,3]	[1.3,7]	15	2.0	[2,3.5]	[1.5,6]
8	2.0	[1.2,2.5]	[1,6]				

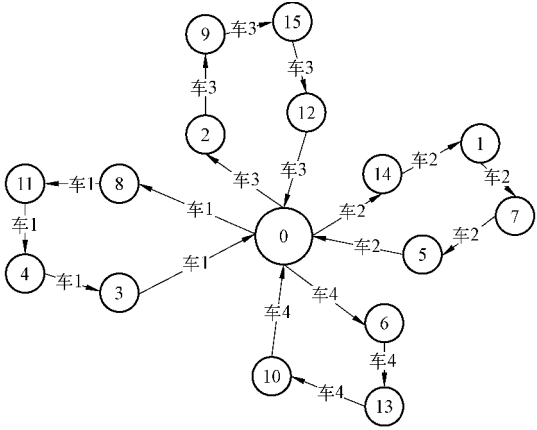


图 2 算例仿真结果图

Fig.2 Simulation results of the example

4 结论

冷链物流配送问题与传统 VRP 问题不同,配送方在路途中要保持运输环境的低温进而会产生相应的能耗,同时渔获物也会由于运输过程中温度、配送时间的变化而发生损耗.因此冷链物流配送方案的制定不仅影响渔获物到达需求点时本身的质量,还会影响企业自身成本的投入量大小与配送效率.

1)在冷链物流配送过程中,影响成本大小的因素有很多,本文作者通过分析整合固定成本、运输成本、物损成本、能耗成本等影响因素,增加了违反时间窗成本,建立了以配送服务时间最短和成本最小的多目标模型.

2)根据所建立模型的决策变量,设计了遗传算法求解并结合算例进行分析,得出了相应的配送时间与成本同时较低的结果.

后续工作将考虑现实中影响该过程成本与服务时间的因素和动态情况,并将这些变量设计在目标函数中.

参考文献 (References):

[1] 李莹莹. 基于优化粒子群算法的物流配送路径问题研究 [D].北京:北京交通大学,2012.
LI Yingying. Research of logistics distribution routing

problem based on PSO[D].Beijing: Beijing Jiaotong University,2012. (in Chinese)

[2] 孙中悦.车辆路径问题的仿真优化方法研究[D].北京:北京交通大学,2011.

SUN Zhongyue. Research on simulation optimization method for vehicle routing problem[D].Beijing: Beijing Jiaotong University,2011.(in Chinese)

[3] 王子渊. 蚁群算法在水产品运输路线优化中的研究[D].上海:华东理工大学,2013.

WANG Ziyuan.Ant colony optimization in the aquatic transport route optimization[D].Shanghai: East China University of Science and Technology,2013. (in Chinese)

[4] 耿秀娥,刘文慧,于庆安.带时间窗的生鲜产品冷链配送优化模型的构建与应用研究[J].机械制造,2015,53(9):83—86.

GENG Xiue, LIU Wenhui, YU Qing'an. Research of fresh products cold chain distribution optimization model with time windows the construction and application[J]. Machinery, 2015,53(9):83—86. (in Chinese)

[5] 蒋伦山.冷链物流多温配送路径优化研究[J].中国市场,2015(50):26—27.

JIANG Lunshan.Research of cold-chain logistics temperature distribution route optimization[J].China Market, 2015(50):26—27. (in Chinese)

[6] 张金凤.带模糊时间窗的冷链物流车辆配送路径优化 [D].武汉:武汉理工大学,2013.

ZHANG Jinfeng.The optimizing of vehicle routing problem in cold logistics based on fuzzy time windows[D].Wuhan: Wuhan University of Technology,2013. (in Chinese)

[7] 李宏.城市冷链物流配送车辆路径问题的研究[D].长沙:长沙理工大学,2006.

LI Hong. The study on vehicle routing problem for distributing refrigerated food[D].Changsha: Changsha University of Science & Technology,2006. (in Chinese)

[8] 柯亚楠.唐山市农产品冷链物流需求分析与预测[D].武汉:华中师范大学,2013.

KE Ya'nan. Analysis and prediction of Tangshan's agricultural products cold chain logistics [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2013. (in Chinese)