

易腐产品运输调度问题的优化^①

汤雅连, 蔡延光, 章 云, 乐 峰

(广东工业大学 自动化学院, 广州 510006)

摘 要: 针对易腐产品在运输过程中容易变质, 具有时效性和货物关联性的特点, 构建一种带软时间窗的关联运输调度问题的数学模型来考虑易腐产品的配送, 并采用免疫克隆选择算法求解这个复杂问题. 通过对该问题进行分析建模和数值求解, 说明了该模型和算法的合理性和有效性. 与遗传算法相比较, 免疫克隆选择算法能更有效地解决关联运输调度问题.

关键词: 易腐产品; 关联运输调度问题; 免疫克隆选择算法; 遗传算法

Optimization of Perishable Products in Incident Vehicle Route Problem

TANG Ya-Lian, CAI Yan-Guang, ZHANG Yun, LE Feng

(School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The perishable products go bad easily in transportation process and have the trait of timeliness and incident among goods. This paper proposed a mathematical model of Incident Vehicle Route Problem with Time Window (IVRPTW) to consider production distribution for perishable products. And adapt the Immune Clonal Selection Algorithm (ICSA) to solve this complex problem. On the basis of modeling and simulating examples of this problem, it is shown that the programming model and algorithm are reasonable and efficient. Experiment result also shows the immune clonal selection algorithm can find the optimal or nearly optimal solution effectively compared with the genetic algorithm.

Key words: perishable products; incident vehicle route problem with time window; immune clonal selection algorithm; genetic algorithm

易腐产品^[1]在运输中极易变质, 具有时效性、依赖时间等特点. 在运输交付的过程中, 产品快速衰减, 从而严重影响了供应商的经济收入, 所以易腐产品必须在允许的时间内及时送达. 并且易腐产品有多种, 比如生活海鲜、水果、蛋糕、面包等容易受外界因素而变质, 所以必须制定一个综合的运输调度路线使得供应商既能及时提供新鲜产品, 又能减低成本. 产品的属性和包装是选用配送车辆的类型及决定该产品是否能与其他类混装在同一辆车的依据, 因而也属于关联物流运输调度问题(Incident Vehicle Route Problem, IVRP). 不少学者^[2,3]也曾研究过这类产品的运输, 但是对易腐产品的 IVRP^[4]研究不多, IVRP 是指若干个客户有一定的货物需求且货物之间存在某种关联性, 车辆从供货点

将货物送到各个客户, 然后返回车场, 在满足所有客户要求的前提下, 使配送成本最低. 在本文中, 供应商生产产品, 然后销售给零售商, 也就是本文中的客户. 运输的时间越长, 越多的产品会腐坏变质, 所以本文考虑的模型是带软时间窗的关联易腐产品的运输调度模型, 要求合理安排车辆、时间和运输路线, 在满足所有客户需求的前提下, 降低成本.

1 问题描述及数学模型的建立

1.1 问题描述

带货物关联约束的易腐货物的关联运输调度问题可以简单描述为, 假设给定配置中心信息以及客户信息(位置和货物需求量等), 货物之间存在某种关联性

① 基金项目: 国家自然科学基金(61074147, 60374062, 61074185); 广东省自然科学基金(S2011010005059, 8351009001000002); 广东省教育部产学研结合项目(2012B091000171, 2011B090400460); 广东省科技计划项目(2012B050600028, 2010B090301042)

收稿时间: 2013-01-17; 收到修改稿时间: 2013-03-07

以及腐坏率, 不考虑装载时间, 考虑卸货时间, 车辆必须遵守载重约束和里程约束, 要求合理安排车辆、时间和运输路线, 在满足所有客户需求的前提下, 使配送成本最低。

1.2 数学模型

供应商可以提供的车辆数为 m , 有 l 个客户. c_{ijk} 表示第 k 辆车从 i 到 j 的运输成本, c 是易腐货物的单位成本, t_{ij} 为客户 i 到 j 路段所花费的时间, s_i 为客户 i 所需货物数量, Q 为每辆车的载重, α_1 、 α_2 和 α_3 分别为运输过程中的货物腐坏率、卸货过程中货物腐坏率和车辆为保鲜制冷产生的能源消耗单位成本. $t_{kj} - t_{0k}$ 为车辆 k 从出发到完成最后一个客户 j 的货物配送所花的时间. γ_{ij} 为客户 i 与 j 所需货物的关联系数, γ_{ij} 越大表明货物间的关联程度高, 能混装的概率大, 不兼容性小, 反之, 不兼容性大. $[ta_i, tb_i]$ 为客户 i 允许的时间窗, $[tc_i]$ 为车辆 k 到 i 的时间, β_1 和 β_2 分别为货物早到和晚到的惩罚系数。

$$\min f = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^l x_{ik} [\alpha_1 t_{ij} + \alpha_2 \cdot c \cdot s_i + (1 - \gamma_{ij})] + \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^l x_{jk} [\alpha_3 (t_{kj} - t_{0k})] + \beta_1 * \sum_{i=1}^l \max(t_{ai} - t_{ci}) + \beta_2 * \sum_{i=1}^l \max(t_{ci} - t_{bi}) \quad (1)$$

$$\sum_{j=0}^l x_{ijk} = x_{ik} \quad i=1,2,\dots,l \quad k=1,2,\dots,m \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^l x_{ijk} = x_{jk} \quad j=1,2,\dots,l \quad k=1,2,\dots,m \quad (3)$$

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } k \text{ 由点 } i \text{ 行驶到点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

$$y_i^k = \begin{cases} 1 & \text{产品 } i \text{ 由车辆 } k \text{ 完成} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^l s_i \sum_{j=1}^l x_{ij}^k \leq Q \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l d_{ij}^k \leq D, \quad i, j=1,2,\dots,l \quad (7)$$

$$t_{ij} = t_{0i} + t_i' + d_{ij}/v \quad (8)$$

目标函数式(1)由 4 部分组成, 包括车辆的运输成本、易腐产品的腐坏成本、车辆能源损耗成本和由车

辆在约定的时间窗外到达的惩罚成本. (2)和(3)为每个客户点的流量守恒限制. (4)和(5)为决策变量. (6)表示每辆车所运送的货物重量不能超过该车辆的载重限制. (7)表示车辆的行驶里程约束. (8)表示客户 i 到 j 路段所花费的时间, t_i' 为车辆在 i 处的卸货时间。

2 算法设计

克隆选择是生物免疫系统理论的重要学说, 通过从不同角度模拟生物学抗体克隆选择机理, L.N.DeCastro 等人相继提出了不同的克隆选择算法^[5-9]. 其中, 仅采用克隆选择算子的算法称为免疫克隆选择算法^[5,6](Immune Clonal Selection Algorithm, ICSA). 它模拟自然免疫系统功能的一种新的智能方法^[10], 通过克隆复制来增加种群数目, 扩大搜索空间, 再经过变异操作来增加种群的多样性, 跳出局部最优, 获得全局最优, 保证了该算法能快速地收敛到全局最优解, 并兼顾了全局和局部搜索, 加上克隆算子的作用, 有效增加了种群的多样性, 并以变异作为主要的基因操作。

2.1 编码

采用自然数编码, 用 0 表示车场, 1,2,...,l 表示客户. 每条子路径始于车场, 也必须回到车场. 例如, 对于一个有 1 个车场 3 辆车的 VRP, 抗体 01230450670 表示如下车辆配送路径安排: 路径 1:0-1-2-3-0; 路径 2:0-4-5-0; 路径 2:0-6-7-0.

2.2 产生初始群体

初始化规模为 N 的抗体种群 Ab , 采用自然数编码。

2.3 计算亲和力

计算初始种群亲和力, 如式(15)所示. 并按照亲和力由大到小降序排列, 得到 $Ab = \{Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_N\}$, 且 $aff(Ab_i) > aff(Ab_{i+1})$, $i=1,2,\dots,N-1$. $aff()$ 为亲和力函数, $aff(Ab_i)$ 为第 i 个抗体对于抗原的亲和力. f 表示目标函数。

$$aff(Ab_i) = 1/f \quad (15)$$

2.4 克隆选择算子

定义克隆规模函数, 如式(16)所示. N_c 为克隆后的抗体群规模; β 为克隆系数, 用来控制克隆的规模; $round$ 为取整函数. 由于抗体是按照亲和力大小降序排列的, 由上式知, 抗体群中第 i 个抗体将会克隆出 $round(\beta * N/i)$ 个相同的抗体, 即抗体的亲和力越高, 克隆的规模越大, 从而使高亲和力抗体中的优秀基因能够更好地保存和发展. 记 Ab 克隆后产生的抗体群

为 Ab_c .

$$N_c = \sum_{i=1}^N \text{round}(\beta * N / i) \quad (16)$$

2.5 重组和变异

1) 抗体交换算子: 单个抗体按照一定的交换概率 P_e , 随机选取抗体中的两个点, 交换这两个点的基因, 形成新的抗体.

2) 抗体逆转算子: 单个抗体按照一定的逆转概率 P_i , 随机选取抗体中的两个点, 从第一个点开始将这两个点之间的基因段首尾倒转过来形成新的抗体.

3) 抗体移位算子: 单个抗体按照一定的移位概率 P_s , 随机选取抗体中的两个点, 将两个点之间基因段中的基因循环向左移位, 再将该基因段的末位基因移到段的首位形成新的抗体.

4) 抗体变异算子: 单个抗体按照一定的突变概率 P_m , 随机选取抗体中的一个或多个点, 将这些点的基因抽出后插入原抗体随机的某个位置, 形成新抗体.

2.6 免疫克隆选择算法的步骤

Step1 初始化抗体群 Ab , 随机产生 N 个抗体, 产生初始种群.

Step2 对 Ab 中抗体的亲和力, 按降序排列, 从中选取前 M 个抗体进行克隆, 得到规模为 N_c 的抗体群 Ab_c .

Step3 对 Ab_c 中抗体的亲和力, 按降序排列, 进行删除操作, 从中选取前 M 个抗体进行克隆, 得到规模为 N_c 的抗体群 Ab_e .

Step4 合并 Ab 和 Ab_e , 选出亲和力高而相异的 N_d 个抗体组成抗体群 Ab_d .

Step5 随机产生规模为 N_r 的抗体群 Ab_r , 选出亲和力最高的 N_s 个抗体组成抗体群 Ab_s .

Step6 用 Ab_s 代替 Ab_d 中亲和力最低的 N_s 个抗体, 形成规模为 N 的抗体群 Ab .

Step7 如果算法达到给定的迭代次数或者最优值保持不变, 算法结束; 否则, 转 Step2 继续执行.

3 仿真实例

某供应商有一个配送中心, 配送中心 A 的位置为 (40, 40), 有同类型的车辆若干. 配送中心与客户信息表如表 1. 假设货物的价格相同, 每辆车的最大配送里程为 140 km, 载重为 8 吨. 客户所需货物之间的关联系数由 Matlab 随机产生. 本文中的实验是在 Intel(R) Core™i3 CPU2.53GHz、内存为 2.0G、安装系统为 win7 的 PC 机上采用 Microsoft Visual C++6.0 和 Matlab7.1 编程实现.

表 1 客户位置信息表

客户	1	2	3	4	5
坐标	[4,20]	[30,10]	[15,55]	[18,75]	[19,19]
客户	6	7	8	9	10
坐标	[45,55]	[11,30]	[40,80]	[5,85]	[38,75]
客户	11	12	13	14	15
坐标	[60,10]	[70,3]	[0,40]	[15,35]	[60,2]
客户	16	17	18	19	20
坐标	[4,60]	[40,10]	[80,6]	[0,50]	[55,55]
客户	21	22	23	24	25
坐标	[60,20]	[70,70]	[28,71]	[65,55]	[0,10]
客户	26	27	28	29	30
坐标	[8,45]	[80,15]	[43,34]	[58,78]	[72,45]

表 2 客户的货物需求量与时间窗限制

客户编号	1	2	3	4	5
需求量	0.5	1.5	0.8	1.0	1.6
时间窗	[5:30 7:00]	[5:00 6:40]	[5:00 6:30]	[5:00 6:30]	[5:00 6:00]
客户编号	6	7	8	9	10
需求量	1.8	0.9	2.4	1.2	1.0
时间窗	[5:00 5:20]	[6:00 7:00]	[6:00 7:30]	[5:00 6:20]	[6:00 6:50]
客户编号	11	12	13	14	15
需求量	1.2	0.8	1.1	0.8	0.4
时间窗	[5:20 5:40]	[6:10 6:50]	[6:20 6:50]	[7:00 7:40]	[6:00 6:40]
客户编号	16	17	18	19	20
需求量	1.1	1.8	0.2	0.8	0.5
时间窗	[5:10 5:40]	[6:30 7:00]	[6:20 7:40]	[5:30 6:00]	[6:30 7:00]
客户编号	21	22	23	24	25
需求量	0.8	0.4	1.5	0.8	1.1
时间窗	[5:10 5:40]	[5:10 6:00]	[5:00 6:30]	[5:50 6:50]	[5:00 6:20]
客户编号	26	27	28	29	30
需求量	1.2	2.1	1.4	1.7	1.4
时间窗	[5:20 6:00]	[6:30 7:20]	[5:00 6:00]	[5:10 5:40]	[5:30 6:30]

标准遗传算法中参数设置: 种群规模为 30, 最大迭代次数 $Gen=100$, 交叉概率为 0.25, 变异概率 0.05, 采用自然数编码. 免疫克隆选择算法中参数设置: 最大迭代次数 $Gen=100$, 编码长度 $l=9$, 抗体群规模 $N=11$, $N_r=30$, $N_s=2$, 克隆系数 $\beta=0.9$. 令 P_c , P_i , P_s 为 0.9, p_m 为 0.7. 分别运行程序 20 次.

最优配送路径详细信息和配送路径的配送时刻表如表 4 和表 5 所示. 最优配送网络图如图 1 所示. 两种算法比较结果如表 6 所示. 图 2 是两种算法的一次收敛过程, 图中显示, 免疫克隆选择算法在进入第 14 代时就找到了较好的次优解, 明显优于遗传算法.

表 3 相关参数设定值

参数名称	参数符号	单位	参数值
易腐产品单位成本	c	元/吨	1500
产品腐坏率	α_1, α_2	%	0.1
单位运输成本	c_{ijk}	元/吨*千米	1
能源损耗单位成本	α_3	元/小时	20
运输速度	v	千米/小时	60
卸货时间	t'	小时/客户	0.05
时间窗早到惩罚系数	β_1	元/小时	50
时间窗晚到惩罚系数	β_2	元/小时	100

表 4 最优配送路径详细信息

车辆	路径	装载量/吨	运输成本/元	腐坏成本/元	能源成本/元	时间窗惩罚成本/元	总成本/元
1	0-3-16-19-26-13-1-7-14-0	7.2	135.38	10.80	45.0	30	224.98
2	0-25-5-2-17-0	6.0	125.24	9.00	35.7	23	194.94
3	0-28-21-11-15-12-18-27-0	6.9	123.39	10.37	35.3	12	183.06
4	0-9-4-23-8-10-0	7.1	139.62	10.67	39.3	8	199.70
5	0-6-29-22-30-24-20-0	6.6	125.15	9.93	40.9	12	191.00
	合计	33.8	648.78	50.77	196.2	85	993.68

表 5 最优配送路径的配送时刻表

路径	到达客户的时间
0-3-16-19-26-13-1-7-14-0	5:00-5:30-5:45-5:59-6:11-6:23-6:46-7:02-7:11-7:40
0-25-5-2-17-0	5:00-5:50-6:14-6:31-6:44-7:17
0-28-21-11-15-12-18-27-0	5:00-5:07-5:32-5:45-5:56-6:14-6:28-6:40-7:30
0-9-4-23-8-10-0	5:00-5:55-6:14-6:28-6:46-6:55-7:33
0-6-29-22-30-24-20-0	5:00-5:16-5:45-6:02-6:30-6:45-6:58-7:22

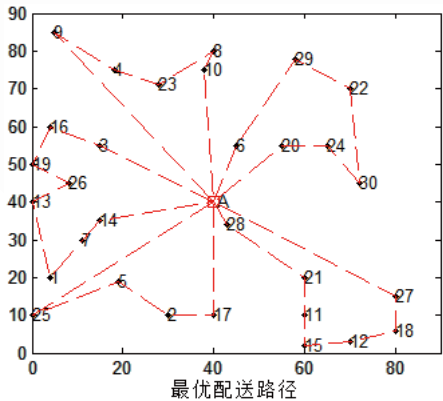


图 1 最优配送网络图

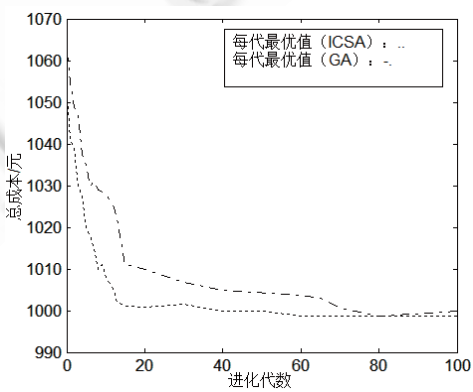


图 2 两种算法求解算例的一次收敛过程

表 6 两种算法比较结果

算法比较	免疫克隆选择算法	遗传算法
首次出现最优解的代数	5	11
最优解平均值	998.65	1014.52
收敛到最优解的平均运行代数	15	29
CPU 运行平均时间 (s)	12.4	18.5

4 结语

研究表明,应用免疫克隆选择算法能够有效地解决易腐产品配的运输调度问题,同时本文采用的算法也适用于求解其他类似的易腐易逝产品的配送问题.对于易腐产品而言,供应商通常更关心易腐产品的腐坏,并愿意使用更多的车辆或者保护产品的策略来防止腐坏,使用的车辆越多,配送速度越快,保鲜保质措施越到位,客户就越满意,和供应商的合作会更愉快更持久.接下来的研究工作可以进一步拓宽,比如考虑城市路况的随机性、装卸货时车内与车外温差导致的能源损耗、腐坏率随时间变化和客户需求与市场供求的关系等.

参考文献

- 1 李娜,王首彬.不确定需求下易腐产品的生产配送优化模型.计算机应用研究,2011,28(3):927-930.
- 2 谢小良.易逝品库存运输整合优化[学位论文].长沙:中南大学,2010.
- 3 李泽华.带时间窗约束的生鲜产品配送车辆路径优化问题研究[学位论文].大连:大连海事大学,2009.
- 4 汤雅连,蔡延光,赵学才.关联物流运输调度问题的改进遗传

算法.微型机与应用,2012,31(17):69-71.

- 5 Pan LJ. A Clonal Selection Algorithm for Open Vehicle Routing Problem. 2009 Third International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. 786-780.
- 6 秦子玄,陈霞,唐小鹏,梁时木,漆杨,于中华.基于免疫克隆选择算法的固定费用运输问题优化.计算机应用研究,2009,26(7):2530-2534.
- 7 Ma J, Zou H, Gao LQ, Li D. Immune Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows. Proc. of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, 13-16 August 2006: 3465-3469.
- 8 Shi G, Jing YW. Research of Improved Immune Clonal Algorithms and its Applications. CIMS 2009 International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, Hong Kong, China, May 11-13, 2009.
- 9 Guo ZL, Wang SA, Zhuang J. A novel immune evolutionary algorithm incorporating chaos optimization. Pattern recognition letters, 2006, 27: 2-8.
- 10 张向荣,焦李成.基于免疫克隆选择算法的特征选择.复旦学报(自然科学版),2004,43(5):926-929.

(上接第161页)

4 结论

本文在分析研究传统图形平滑方法的基础上,根据地震图像的特点对断层多边形提取与平滑方法进行了研究.本文的断层多边形提取与平滑方法已经进行了大量的试验,并应用到大庆地区的多个区块中.实验表明,采用本文的断层多边形提取与平滑后的地震图像对比度明显提高,断层多边形边缘细节信息保持良好,大大地提高了地震解释的精度和效率.

参考文献

- 1 唐世伟.地震解释中的图像处理方法与技术研究[学位论文].大庆:东北石油大学,2011.
- 2 许辉群,桂志先.边缘检测技术在石油勘探中的研究进展.特种油气藏,2011,18(4):7-10.
- 3 王秋语,程会明.多尺度边缘检测技术在低级序断层识别中的应用.石油天然气学报,2010,32(4):226-228.
- 4 文晓涛,唐湘蓉,贺振华.基于方向信息测度的断层检测方法.石油物探,2008,47(2):128-131.

- 5 赵罡,王爱增,穆国旺.基于小波的非均匀B样条曲线自动光顺算法.计算机辅助设计与图形学,2010,22(11):1925-1931.
- 6 平丽.图像平滑处理方法的比较研究.信息技术,2010,1:65-68.
- 7 Luo Y, Marhoon M, Dossary S A, Alfaraj MA. Edge preserving smoothing and applications. The leading edge, 2002, 21: 136-158.
- 8 Chitwong S, Cheevasuit F, Dejhan K, Mitatha S, Nokyoo C, Paungma T. Segmentation on edge preserving smoothing image based on graph theory. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proc. IGARSS 2000. IEEE 2000 International, 2000, 2: 621-623.
- 9 Berkner K, Wells R. Smoothness estimates for soft-threshold denoising via translation-invariant wavelet transforms. Applied and Computational Harmonic Analysis 2002, 12(1): 1-24.
- 10 王兆湖,刘财,等.基于层位解释的断层多边形自动组合技术.石油地球物理勘探,2009,2:104-106.