

文章编号:1671-5497(2006)Suppl. 2-0147-05

基于模糊聚类分析的车辆优化调度

鹿应荣¹, 杨印生¹, 吕 锋²

(1. 吉林大学 生物与农业工程学院, 长春 130022; 2. 河南科技大学 机电工程学院, 洛阳 471003)

摘要:应用模糊聚类分析对物流配送需求点进行分类,建立了车辆调度问题的数学模型,将标准遗传算法与爬山算法集成,构造了一种改进的混合遗传算法。试算结果表明,对需求点分类后,应用遗传算法可有效解决联合物流模式的车辆调度问题。

关键词:交通运输工程;车辆调度;遗传算法;模糊聚类

中图分类号:U116.2 **文献标识码:**A

Optimal vehicle routing problem based on fuzzy clustering analysis

Lu Ying-rong¹, Yang Yin-sheng¹, Lv Feng²

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: The demand points for physical distribution were classified by the fuzzy clustering analysis, and a mathematical model for the vehicle routing problem was established. An improved hybrid genetic algorithm integrating the standard genetic algorithm and the climb-up algorithm was constructed. The trial calculation results show that vehicle routing problem for logistics alliance model can be solved efficiently by the improved hybrid algorithm through the classification of the demand points.

Key words: engineering of communications and transportation; vehicle routing problem; genetic algorithm; fuzzy clustering

物流配送的核心技术问题是车辆调度问题,最早由 Dantzig 和 Ramser^[1]于 1959 年提出,是一类重要的组合优化问题。车辆优化调度问题属于 NP-hard 问题,只有在规模很小时才能存在可行的精确解,通常采用启发式算法求得满意解^[2]。国内外专家把主要精力集中在构造启发式算法上,例如 Gillett 和 Miller^[3]构造的 Sweep 算法,李军^[4]等构造的序列优化启发式算法,其思路均为先分组后安排路线,其分组只考虑重心距离和车辆的容量约束,将位置比较靠近的需求点分成一

组。为有效地降低物流成本,很多企业结合自身实际采用物流外包的模式,尤其是中小型企业,在自营物流向物流外包转变的过程中,往往采用一种过渡的物流模式——联合物流模式,即将自营的车辆和第三方的车辆统一调配使用。已有的文献大多从单一运营模式角度研究车辆调度问题,对于联合模式的车辆如何调度尚没有有效的方法。本文将应用模糊聚类分析对物流配送需求点进行分类,确定企业自营物流的需求点和物流外包的需求点,通过建立车辆调度的数学模型,将标

收稿日期:2006-02-16.

基金项目:吉林省科技发展规划项目(20040528).

作者简介:鹿应荣(1965-),女,副教授.研究方向:物流系统优化与设计. E-mail:luyr@jlu.edu.cn

通讯联系人:杨印生(1963-),男,教授,博士生导师.研究方向:农业系统工程. E-mail:yys@jlu.edu.cn

准遗传算法与爬山算法集成,构造了一种改进的混合算法。

1 配送需求点模糊聚类分析

1.1 配送需求点统计指标的选定与数据标准化

在指标体系建立的系统性、科学性、简洁性、独立性以及定性定量相结合的原则框架下,参考了相关文献,通过筛选和综合,选择了如图 1 所示的统计指标。这些指标意义明确,有较强的分辨力和代表性。

为了便于分析和比较。采用标准差法^[5]将各代表点的统计指标的数据作标准化处理。

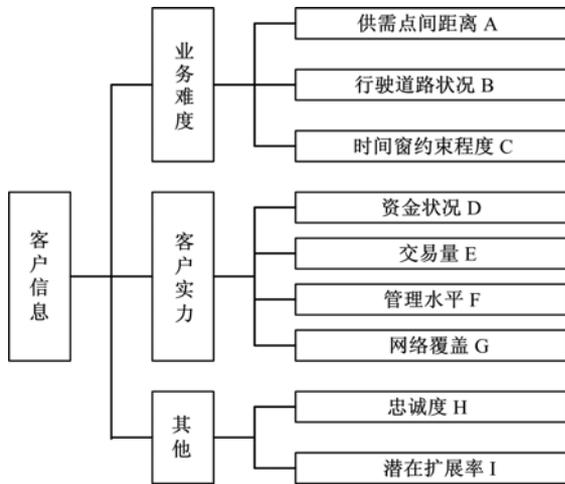


图 1 指标体系

Fig. 1 Evaluation index system

1.2 标定

为了建立模糊相似矩阵 \tilde{R} ,引入了表示 2 个样本 x_i 与 x_j 之间相似程度的相似系数 r_{ij} , r_{ij} 越接近于 1,表明这 2 个样本越接近。本文采用欧式距离法确定 r_{ij} 。 \tilde{R} 的具体表示如下

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

上述标定过程得到的模糊关系 \tilde{R} 一般只具有自反性和对称性,不满足传递性,故要用平方自合成法求得模糊相似矩阵 \tilde{R} 的传递闭包矩阵 \tilde{R}^* , \tilde{R}^* 即为模糊等价矩阵。

1.3 聚类

得到模糊等价关系 $t(\tilde{R})$ 后,选择不同的 λ 值,得到不同的水平截集,将模糊等价关系中大于

λ 值的元素归为一类,可以得到动态聚类结果,生成动态聚类树,然后,构造下列形式的 F 统计量

$$F = \frac{\sum_{i=1}^r n_i \|\bar{x}^i - \bar{x}\|^2 / (r - 1)}{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_j} \|x_j^i - \bar{x}^i\|^2 / (n - r)}$$

式中: $\|\bar{x}^i - \bar{x}\| = \sqrt{\sum_{k=1}^m (\bar{x}_k^i - \bar{x}_k)^2}$ 为 \bar{x}^i 与 \bar{x} 的距离, $\|x_j^i - \bar{x}^i\|$ 为 \bar{x}^i 与 x_j^i 的距离。

F 统计量分子表示类与类之间的距离,分母表示类内样本间距离,因此 F 值越大,说明分类越合理。对应于 F 统计量最大的水平 λ 即为最佳值。

2 车辆优化调度问题的数学模型

车辆优化调度问题可以描述为:从某物流中心用多台配送车辆向多个客户送货,每个客户的位置和货物需求量一定,每台配送车辆的载重量一定,其一次配送的最大行驶距离一定,要求合理安排车辆配送路线,使目标函数得到优化,并满足以下条件:①每条配送路径上各客户的需求量之和不超过配送车辆的载重量;②每条配送路径的长度不超过配送车辆一次配送的最大行驶距离;③必须满足每个客户的需求,且只能由一台配送车辆送货。

设物流配送中心有 K 台配送车辆,每台车辆的载重量为 $Q_k(k=1,2,\dots,K)$,其一次配送的最大行驶距离为 D_k ,需要向 L 个客户送货,每个客户的货物需求量为 $q_i(i=1,2,\dots,L)$,需求点 i 到 j 的运距为 d_{ij} ,物流中心到各客户的距离为 $d_{0j}(i,j=1,2,\dots,L)$ 。再设 n_k 为第 k 台车辆配送的客户数($n_k=0$ 表示未使用第 k 台车辆),用集合 R_k 表示第 k 条路径。其中的元素 r_{ki} 表示客户 r_{ki} 在路径 k 中的顺序为 i (不包括物流配送中心),并令 $r_{k0}=0$ 表示物流中心。以配送总里程最短为目标函数,建立车辆优化调度问题的数学模型^[6] 为

$$\min Z = \sum_{k=1}^K \left[\sum_{i=1}^{n_k} d_{r_{k(i-1)}r_{ki}} + d_{r_{kn_k}r_{k0}} \text{sign}(n_k) \right] \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} q_{r_{ki}} \leq Q_k \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} d_{r_{k(i-1)}r_{ki}} + d_{r_{kn_k}r_{k0}} \text{sign}(n_k) \leq D_k \tag{3}$$

$$0 \leq n_k \leq L \tag{4}$$

$$\sum_{k=1}^K n_k = L \quad (5)$$

$$R_k = \{r_{ki} \mid r_{ki} \in \{1, 2, \dots, L\}, i = 1, 2, \dots, n_k\} \quad (6)$$

$$R_{k_1} \cap R_{k_2} = \phi, \forall k_1 \neq k_2 \quad (7)$$

$$\text{sign}(n_k) = \begin{cases} 1 & n_k \geq 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

$$s_{r_{k(i-1)}} + t_{r_{k(i-1)}} + t_a q_{r_{k(i-1)}} + t_{r_{k(i-1)}r_{ki}} = s_{r_{ki}} \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, n_k$$

$$t_i = \max\{a_i - s_i, 0\}, i = 1, 2, \dots, L \quad (10)$$

上述数学模型中,式(1)为目标函数,即最小化总的行驶费用;式(2)保证每条路径上各客户的货物需求量之和不超过配送车辆一次配送的最大载重量;式(3)保证每条配送路径的长度不超过配送车辆一次配送的最大行驶距离;式(4)表示每条路径上的客户数不超过总客户数;式(5)表示每个客户都得到配送服务;式(6)表示每条路径的客户组成;式(7)表示限制每个客户仅能有一台配送车辆送货;式(8)表示当第 k 辆车服务的客户数 $n_k \geq 1$ 时,说明该台车参加了配送,则取 $\text{sign}(n_k) = 1$;否则,取 $\text{sign}(n_k) = 0$;式(9)表示每条配送路线上配送车辆到达下一个客户的时刻为车辆到达当前客户的时刻、配送车辆在当前客户的等待时间、在当前客户的卸货时间以及从当前客户到下一个客户配送车辆的行驶时间的总和;式(10)表示保证了配送车辆卸货的时刻不早于客户时间窗开始的时刻。

3 车辆优化调度问题的求解算法

针对车辆优化调度问题的特点,构造求解该问题的遗传算法。

(1) 编码方法的确定。本文采用客户直接排列的解的表示方法。

(2) 初始群体的确定。初始群体采取插入启发式算法来确定。基本过程描述如下^[7]:

Step1 :给所有的车辆指派空路径;

Step2 :在所有未安排的客户集合中任意选取一个客户,将此客户插入能使目标函数增加最小的位置;

Step3 :如果没有可行的插入位置,新建一条路径,将此客户插入到新路径中去;

Step4 :从未安排的客户集合中删除此客户;

Step5 :重复 Step2—Step4,直到未安排的客户集合为空,产生一个个体;

Step6 :产生 N 个这样的个体,即形成初始群体。

(3) 适应度计算。对种群中某一染色体 j ,解码求得对应的路径分配方案。根据式(1)求得目标函数值

$$F = 1/(Z + M \times P_w) \quad (11)$$

式中: M 为配送路径条数与配送车辆总台数之差; P_w 为每条不可行路径的惩罚权重。

(4) 自然选择操作。本文采用保留最佳的轮盘赌选择法^[8],即将每代群体中的 N 个个体按适应度由大到小排列,排在第一位的个体性能最优,将它复制一个直接进入下一代,并排在第一位。下一代群体的另 $(N - 1)$ 个个体需要根据前代群体的 N 个个体的适应度,采用轮盘赌选择法产生。此选择方法可以保证最优个体生存至下一代,又能保证适应度较大的个体以较大的机会进入下一代。

(5) 交叉重组操作。对通过选择操作产生的新群体,以一定的交叉概率对染色体进行交叉重组,在此采用一种类似 OX 法^[9]的交叉方法,除排在第一位的最优个体外,另 $N - 1$ 个个体要按交叉概率 P_c 进行配对交叉重组。这种交叉算子的最大特点是在两父代个体相同的情况下仍能产生一定程度的变异效果,这在一定程度上能够避免传统遗传算法“早熟收敛”的缺点。

(6) 变异操作。采用易位变异操作。取以一定的变异概率随机选取发生变异的个体染色体,然后在该染色体上随机选取两个基因位。把这两个位置之间的基因互换,形成新的基因串。

(7) 爬山操作。对于通过遗传操作形成的每代群体中的最优个体,要通过邻域搜索实施爬山操作。本文采用基因换位算子实现爬山操作^[10]。

4 实例分析

以某农产品物流企业为例,调查其配送需求点。本文将选取此企业及其具有代表性的 8 个需求点进行研究(原始数据见表 1 和表 2)。经标准化处理后,得标准化数据矩阵见表 3。

表 1 需求点 x_j 原始数据
Table 1 Original data of the clients

客户	指 标								
	A/km	B(10 分计)	C/h	D/万元	E/t	F(10 分计)	G/km ²	H(10 分计)	I/%
1	3506.41	5	1.5	50	5.5	8	200.0	7	90
2	10543.8	9	1	60	8.5	5	43.50	9	50
3	3854.87	7	1	100	7.8	9	322.0	4	60
4	1504.16	6	1	150	4	10	580.0	10	100
5	1648.91	10	2	70	5	6	429.2	8	120
6	5203.99	8	1	80	3	7	392.0	6	40
7	1700.37	8	1	30	2.5	6	400.0	7	80
8	3347.13	3	1	50	2	5	278.3	7	80

表 2 配送任务(其中 0 表示农产品物流企业)

Table 2 Distribution assignment

需求点	横坐标 X	纵坐标 Y	货物需求量 Q	时间窗约束 T	需求点	横坐标 X	纵坐标 Y	货物需求量 Q	时间窗约束 T
0	449497	59645	0	[0.0,0.0]	5	449075	61239	5	[4.0,6.0]
1	447446	62489	5.5	[13.0,14.5]	6	444757	61793	3	[4.0,5.0]
2	438964	59168	8.5	[7.0,8.0]	7	448312	61223	2.5	[8.0,9.0]
3	446399	57352	7.8	[20.0,21.0]	8	447559	62374	2	[11.0,12.0]
4	450664	58696	4	[15.0,16.0]					

表 3 标准化数据矩阵

Table 3 The matrix of standardization data

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	-0.136914	-0.881917	0.840027	-0.635151	0.297211	0.540062	-0.808326	-0.136444	0.470063
2	2.228729	0.881917	-0.504016	-0.367719	1.548628	-1.080123	-1.776770	0.955109	-1.034140
3	-0.019778	0.000000	-0.504016	0.702009	1.256631	1.080123	-0.053373	-1.773775	-0.658089
4	-0.809977	-0.440959	-0.504016	2.039168	-0.328497	1.620185	1.543167	1.500886	0.846114
5	-0.761318	1.322876	2.184070	-0.100287	0.088642	-0.540062	0.609996	0.409333	1.598216
6	0.433734	0.440959	-0.504016	0.167145	-0.745636	0.000000	0.379797	-0.682221	-1.410190
7	0.744020	0.440959	-0.504016	-1.170014	-0.954205	-0.540062	0.429302	-0.136444	0.094013
8	-0.190456	-1.763834	-0.504016	-0.635151	-1.162775	-1.080123	-0.323795	-0.136444	0.094013

模糊等价矩阵为

$$t(\tilde{R}) = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.68 & 0.95 & 0.63 & 0.83 & 0.95 & 0.95 & 0.95 \\ 0.68 & 1.00 & 0.68 & 0.63 & 0.68 & 0.68 & 0.68 & 0.68 \\ 0.95 & 0.68 & 1.00 & 0.63 & 0.83 & 0.95 & 0.95 & 0.95 \\ 0.63 & 0.63 & 0.63 & 1.00 & 0.63 & 0.63 & 0.63 & 0.63 \\ 0.83 & 0.68 & 0.83 & 0.63 & 1.00 & 0.83 & 0.83 & 0.83 \\ 0.95 & 0.68 & 0.95 & 0.63 & 0.83 & 1.00 & 1.00 & 0.99 \\ 0.95 & 0.68 & 0.95 & 0.63 & 0.83 & 1.00 & 1.00 & 0.99 \\ 0.95 & 0.68 & 0.95 & 0.63 & 0.83 & 0.99 & 0.99 & 1.00 \end{bmatrix}$$

相应的动态聚类见图 2。聚类结果见表 4。

计算构造的 F 统计量可知:当 $\lambda = 0.68$ 时, F 统计量为最大值。结合聚类图和企业的实际情况分析,当 $0.68 \leq \lambda \leq 0.83$ 时,能较好地反映各个

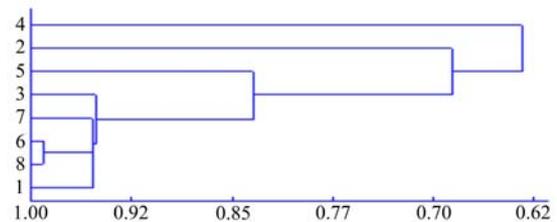


图 2 动态聚类图

Fig. 2 Dynamic clustering chart

需求点间的差异性和相似性,将需求点分为 3 个区域:(2),(4),(1,3,5,6,7,8)。综合考虑各要素,区域(2)配送距离较远,配送限制过高,扩展潜力不大,为非经济合理区域,可以考虑将配送服务外包。区域(4)及(1,3,5,6,7,8)配送距离适

当,综合状况良好,为经济合理区域,建议完善对其经济合理配送区域的配送服务,优化配送路径。

表 4 聚类结果

Table 4 The result of clustering

λ	类数	分类结果
0.99	7	(1),(2),(3),(4),(5),(7),(6,8)
0.95	5	(2),(3),(4),(5),(1,6,7,8)
0.83	4	(2),(4),(5),(1,3,6,7,8)
0.68	3	(2),(4),(1,3,5,6,7,8)
0.63	1	(1,2,3,4,5,6,7,8)

应用本文构造的改进算法对经济合理区域(4)及(1,3,5,6,7,8)内的点进行配送路径优化,得到的配送路径(参照文献[10]的参数设置取群体规模:40,进化代数:100,交叉率:0.9,变异率:0.05,爬山次数:40)计算结果如表 5 所示。

表 5 对比计算结果

Table 5 Solution of the example using the paper's algorithm and saving algorithm

	本文算法		节约算法	
	车数	配送距离	车数	配送距离
	4(5)	28874(49962)	6	53258
配送路径		0→5→6→0,	0→1→0,	
		0→4→0,	0→2→0,	
		0→3→0,	0→3→0,	
		0→7→8→1→0,	0→4→0,	
		2 外包	0→5→0,	
		0→6→8→7→0		

注:括号内数据为实行自营配送时的车辆数和配送距离。

同样的任务,通过用节约算法^[11]计算,车辆数与配送距离都要大于本文所采用的算法,表明本文构造的改进算法是有效的。

5 结 论

(1)将客户进行模糊聚类分析,能够对所有需求点的整体结构和各组成部分及它们之间的相互关系有更清晰的认识,进而有针对性地实施配送策略;然后采用改进的遗传算法求解客户子类中的优化运输路线,为解决车辆优化调度问题以及类似的组合优化问题提供了新的思路和途径。

(2)根据遗传算法以及爬山算法的搜索特性,在全局进行最优解(或近优解)的寻找,避免了传统优化算法中的“局部最优”现象的发生,同时能够进行大规模物流配送路径优化问题的寻优。对比实验证明了该算法的有效性。

参考文献:

[1] Golden B L. Transportation planning models[M]. Amsterdam:Elsevier Science Publishers,1984:384-418.

[2] Salvesbergh M W P. Local search in routing problems with time windows[J]. Operations Research, 1985,33(4):285-305.

[3] Golden B L, Assad A A. Vehicle routing, methods and studies[J]. European Journal of Operational Research, 1989,38(1):126-127.

[4] 李军,郭强,刘建新. 组合运输的优化调度[J]. 系统工程理论与实践,2001(2):117-121.

Li Jun, Guo Qiang, Liu Jian-xin. Optimal scheduling on combinatorial transportation[J]. Systems Engineering—Theory & Practice,2001(2):117-121.

[5] 李延忠,杨印生. 应用模糊数学[M]. 长春:吉林人民出版社,2001:48-56.

[6] 张炯,郎茂祥. 有时间窗配送车辆调度问题的禁忌搜索算法[J]. 北方交通大学学报,2004,28(2):103-105.

Zhang Jiong, Lang Mao-xiang. The tabu search algorithm for distribution vehicle scheduling problem with time windows[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2004,28(2):103-105.

[7] Solomon M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints[J]. Operations Research, 1987,35(2):254-265.

[8] Zhigniew Michalewics. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs[M]. Spring -Verlag, Berlin, Heidelberg,1996.

[9] 梁艳春,冯大鹏,周春光. 遗传算法求解旅行商问题时的基因片段保序[J]. 系统工程理论与实践,2000(4):7-12.

Liang Yan-chun, Feng Da-peng, Zhou Chun-guang. Order preserving of gene section for solving traveling salesman problems using genetic algorithms[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2000(4):7-12.

[10] 郎茂祥,胡思继. 用混合遗传算法求解物流配送路径优化问题的研究[J]. 中国管理科学,2002,10(5):51-53.

Lang Mao-xiang, Hu Si-ji. Study on the optimization of physical distribution routing problem by using hybrid genetic algorithm[J]. Chinese Journal of Management Science,2002,10(5):51-53.

[11] 赵鲁华. 城市配送中心车辆调度优化研究[D]. 长春:吉林大学交通学院,2005.

Zhao Lu-hua. Research on vehicle scheduling optimization of city distribution center[D]. Changchun:College of Transportation, Jilin University,2005.