

模糊需求下企业间联盟车辆路径及遗传算法^①

田 洋¹, 杨皎平², 包玉梅¹

¹(辽宁工程技术大学 理学院, 阜新, 123000)

²(渤海大学 管理理学院, 锦州, 121000)

摘 要: 建立了基于模糊需求的企业间联盟车辆路径问题, 并基于模糊结构元理论将模糊需求问题转化为清晰需求问题. 针对该模型, 提出一种基于二维结构的编码表示方式和遗传算子, 并用计算实例进行了验证.

关键词: 车辆路径问题; 企业联盟; 模糊需求; 遗传算法

Enterprise Alliance Vehicle Routing Problem Based on Fuzzy Demand and Its Genetic Algorithm

TIAN Yang¹, YANG Jiao-Ping², BAO Yu-Mei¹

¹(College of Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

²(School of Management, Bohai University, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The mathematical model of Enterprise transfer alliance vehicle routing problem based on fuzzy demand is established, and the problem based on fuzzy demand is transformed into a clear demand through the structured element theory. In order to solve this model, a planar structure chromosome and its genetic algorithm is proposed, which is proved by an experiment.

Key words: vehicle routing problem; enterprise alliance; fuzzy demand; Genetic Algorithm

协同运输是近年发展起来的现代物流模式, 它使相对独立的运输企业协同运作, 以达到减少车辆空载、降低运输成本和提高企业效率等目的^[1,2]. 各个运输主体之间如何实施有效地协同, 引起了相关学者的注意, 如蔡延光等^[3,4]提出了联盟运输问题(Allied Vehicle Routing Problems, AVR P), 陈宁等^[5]提出了多企业协同运输问题, 如刘冉等^[6]提出了多车场协同运输问题, 但是这些模型均讨论的是一种产品的运输问题, 即不区分多个企业的产品, 实际上这些模型中讨论的“多企业”可以理解为一个企业的“多车场”, 为此杨皎平等提出了企业间联盟运输问题(Enterprise Alliance Vehicle Routing Problem, EAVRP)模型^[7-9], 并假设不同企业供给的产品不同, 或客户需要的产品不同, 也就是说某一组客户需求为某个企业所独占, 不能随意的分配给其他企业; 但是每个企业的物流资源(即车辆)是相同的. 在此情况下多企业的协同运输就是互相借

对方的车辆来运输自己的产品, 以达到车辆空载率最低、整体运输成本最小的目的. 本文便是在企业间联盟运输问题的基础上开展研究的.

在许多实际的应用中, 由于受客观世界中存在的不确定性因素以及人类观察、认识事物的模糊性的影响, 车辆路径问题的某些信息可能是模糊的. 特别是随着消费者需求的不确定性和多样性的大大增加, 如何面对需求的模糊性进行车辆路径的优化成为很多企业需要应对的问题. 关于模糊需求车辆路径问题, Perincherry^[10]通过模糊线性规划来处理客户需求量的模糊问题, Lucic^[11]则采用模糊逻辑的方法解决了客户需求模糊的车辆路径问题, 国内学者曹二保^[12]采用模糊可能性理论的模糊机会约束模型表示了模糊需求车辆路径问题, 并采用模糊模拟的方法求解了该模型, 鉴于模糊需求的车辆路径问题比较复杂, 学者们多采用了智能型的优化算法对其进行了求解, 谢小良^[13]采

① 基金项目: 辽宁省自然科学基金(201202004); 辽宁省教育厅基金(2009B096)

收稿时间: 2012-12-08; 收到修改稿时间: 2013-01-10

用了禁忌搜索的方法, 柳毅^[14]采用了人工鱼群算法, 陈宝文^[15]采用了蚁群算法, 张建勇^[16]采用了遗传算法.

从学者的研究成果来看, 学者们对模糊需求的描述几乎均采用了模糊可能性理论, 但是由于模糊可能性理论的复杂性, 使得本就复杂的车辆路径问题, 求解更加困难, 因此对模型的求解方法均为近似优化算法. 本文所不同的是, 首先对模糊需求企业间联盟车辆路径问题, 然后采用基于结构元的模糊理论^[17]将模糊需求模型问题转化为清晰需求模型, 最后提出解决该问题的遗传算法.

1 EAVRPFDF的数学模型

1.1 问题描述

EAVRPFDF问题可以描述如下: 有 N 个企业, 每个企业生产不同的产品(即产品种类也为 N), 并负责将产品运输到各自的客户, 每个企业的客户群用 $C(i)$ 表示($i=1, 2, \dots, N$), 所有企业的车辆之间无差异. 该 N 个企业结成物流联盟, 第 i 个企业的一辆车在载荷范围内完成指定的本企业某些客户需求后, 可以返回本企业, 也可以就近驶向第 j 个企业为第 j 个企业服务. 由于企业之间相对独立, 并且车辆无差异, 要求每个企业开出的车辆总和等于开进的车辆总和.

令第 i 个企业的第 h 个客户为 $C(i,h)$, 第 i 个企业的客户总体为 $C(i)=\{C(i,1), C(i,2), \dots, C(i,M_i)\}$, 用户 $C(i,h)$ 的模糊需求为 $\tilde{D}(i,h)$, 第 i 个企业的第 k 辆车为 $V(i,k)$, 第 i 个企业的车辆总体为 $V(i)=(V(i,1), V(i,2), \dots, V(i,K_i))$, 每个车辆的载荷为 Q , 每个车辆从企业 i 到企业 j 只使用一次(i 和 j 相同或不同), $x_{h,l}^k(i) = x_{C(i,h)C(j,0)}^{V(i,k)}$ 表示第 i 个企业的第 k 辆车是否由 $C(i,h)$ 开往 $C(i,l)$, $x_{h,l}^k(i)$ 取 1 或 0, $e_{h,l}(i)$ 表示从用户 $C(i,h)$ 到用户 $C(i,l)$ 的运输成本, 它的含义可以是距离、费用、时间等, 每个企业(也为车场)用 $C(i,0)$ 表示. 研究如何调度车辆, 使得完成所有配送任务的总费用最小.

1.2 数学模型

根据问题的描述可以建立如下模型.

$$\begin{aligned} \text{目标函数: } \min z &= \sum_{i=1}^N \sum_{h=0}^{M_i} \sum_{l=0}^{M_i} \sum_{k=1}^{K_i} e_{h,l}(i) \times x_{h,l}^k(i) + \\ &\sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^{M_i} \sum_{j=1, j \neq i}^N \sum_{k=1}^{K_j} e_{C(i,l),C(j,0)} \times x_{C(i,l),C(j,0)}^{V(i,k)} \\ \text{约束(1): } \sum_{l=1}^{M_i} \sum_{k=1}^{K_i} x_{0,l}^k(i) &\leq K_i, i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{约束(2): } \sum_{l=1}^{M_i} \sum_{k=1}^{K_i} x_{0,l}^k(i) &= \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{M_j} \sum_{k=1}^{K_j} x_{C(j,l),C(i,0)}^{V(j,k)}, \\ &i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{约束(3): } \sum_{l=1}^{M_i} \sum_{k=1}^{K_i} x_{h,l}^k(i) + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} x_{C(i,h)C(j,0)}^{V(i,k)} &= 1, \\ \forall C(i,h) \in C(i), i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{约束(4): } \sum_{h=0}^{M_i} \sum_{k=1}^{K_i} x_{h,l}^k(i) &= 1, \forall C(i,l) \in C(i), \\ i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{约束(5): } \sum_{h=1}^{M_i} \tilde{D}(i,h) x_{h,l}^k(i) &\leq Q, k \in (1, 2, \dots, K_i), \\ i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{约束(6): } \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} x_{C(i,0)C(j,0)}^{V(i,k)} &= \sum_{k=1}^{K_i} x_{h,h}^k(i) = 0, \\ \forall C(i,h) \in C(i), i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

$x_{h,l}^k(i), x_{C(i,h)C(j,0)}^{V(i,k)}$ 取 0 或 1, $C(i,h) \in C(i), i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, N$

目标函数中第 1 项表示每个企业的车辆完成任务再返回原企业的总费用, 第 2 项表示当第 i 企业的车辆进入其他第 j 个企业的费用. 第 1 个约束保证各企业派出的车辆数目不能超过该企业所拥有的车辆数; 第 2 个约束表示每个企业开出的车辆等于开回的车辆; 第 3 个约束和第 4 个约束表示每个用户被一辆车服务一次, 第 5 个约束表示车辆的容量约束, 为模糊约束; 第 6 个约束表示车辆不能直接从企业到企业, 不能从客户到客户自身.

在以上描述中, 可能出现这样的情况, 虽然保证了每个企业的车辆数没有变化, 但是回来的不是自己的车, 即车辆进行了对换. 不过如果假设以上的运输问题是多周期的, 则经过车辆的多周期对换, 便有可能会再次回到自己的企业.

在上述模型中, 对于表示节点模糊需求的模糊数 $\tilde{D}(i,h)$, 通常用三角模糊数 $\tilde{D}(i,h) = (d_1^{i,h}, d_2^{i,h}, d_3^{i,h})$ 表示. 为了不失一般性, 本文中的 $\tilde{D}(i,h)$ 可以由结构元 E 生成的任意模糊数 $\tilde{D}(i,h) = f_{ih}(E)$, 关于结构元理论简要介绍如下:

设 E 为实数域 R 上的模糊集, 隶属函数记为 $E(x)$, $x \in R$. 如果 $E(x)$ 满足: (1) $E(0) = 1, E(1+0) = E(-1-0) = 0$; (2) 在区间 $[-1,0]$ 上 $E(x)$ 是单增左连续函数, 在区间 $[0,1]$ 上是单降右连续函数; (3) 当 $-\infty < x < -1$ 或者 $1 < x < +\infty$ 时, $E(x) = 0$. 则称模糊集 E 为 R 上的模糊结构元. 若

E 满足: (1) $\forall x \in (-1,1)$, $E(x)$ 连续, 且在 $[-1,0)$ 上严格单增, 在 $(0,1)$ 上严格单降, 则称 E 为正则的.

定理 1.^[17] 设 E 是 R 上的任意模糊结构元, 具有隶属函数 $E(x)$, $f(x)$ 是 $[-1,1]$ 上单调有界函数, 则 $f(E)$ 是 R 上有界闭模糊数, 反之, 对于给定的正则模糊结构元 E 和任意的有界闭模糊数 \tilde{A} , 总存在一个 $[-1,1]$ 上的单调有界函数 f , 使得 $\tilde{A} = f(E)$, 称模糊数 \tilde{A} 是由结构元 E 生成的.

定理 2.^[17] 若模糊数 $\tilde{A} = f(E)$, 则 \tilde{A} 的隶属函数 $E(f^{-1}(x))$, $f^{-1}(x)$ 是 $f(x)$ 关于变量 x 和 y 的轮换对称函数(若 $f(x)$ 是连续严格单调的, 则 $f^{-1}(x)$ 是 $f(x)$ 的反函数)

由于模型中存在一个模糊不等式约束, 因此为模糊规划, 如何将模糊规划转化为清晰规划, 学者们通常采用模糊可能性理论将模型中的第 5 个约束变为:

$$\text{pos} \left(\sum_{h=1}^{M_i} \tilde{D}(i, h) x_{h,i}^k \leq Q \right) \geq \alpha$$

其中 $\alpha \in [0,1]$ 表示决策者是否安排车辆继续服务下一任务的主观偏好值. 本文则采用模糊序的理论将模糊约束转化为清晰约束, 其中用到的理论如下:

定理 3.^[18] 设 $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2 \in \tilde{N}_c(R)$, 其结构元表达式分别为 $\tilde{A}_i = f_i(E)$, $i=1,2$, 其中 E 是给定的某个正则模糊结构元, 隶属函数为 $E(x)$, f_1, f_2 是 $[-1,1]$ 上的同序单调函数(具有相同单调性的函数), 则由下式确定的关系“ \leq ”为 $\tilde{N}_c(R)$ 上的全序, 称为模糊数的结构元加权序.

$$\tilde{A}_1 \leq \tilde{A}_2 \Leftrightarrow F(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = \int_{-1}^1 E(x)(f_1(x) - f_2(x))dx \leq 0$$

根据定理 3, 模型(1)中的第 5 个模糊约束可转化为清晰约束: $\sum_{h=1}^{M_i} x_{h,i}^k(i) \times \int_{-1}^1 E(x) f_{ih}(x) dx \leq Q \int_{-1}^1 E(x) dx$

从而将模糊需求约束环境下的企业间联盟车辆路径问题, 化归为清晰需要环境下的企业间联盟车辆路径问题.

2 遗传算法

2.1 编码表示

由于讨论的模型中, 客户具有独占性, 即不同企业向不同客户进行物流服务, 为此提出采用二维的染色体结构, 具体表示为一个表格结构, 表格的每 i 行代表第 i 企业的所有客户, 对于每一行中客户用自然数表示, 企业用 A, B, C 等表示.

例如某染色体结构的第 1 行表示为: $A-4-5-2-B-A-3-1-7-A-A-6-8-C$,

表示对企业 1 的客户服务需要 3 辆车, 第一辆从企业 A 出发顺序服务 4, 5, 2 驶往企业 B, 第二辆从企业 A 出发顺序服务 3, 1, 7 开回企业 A, 第三辆从企业 A 出发顺序服务 6, 8 驶往企业 C.

对于第 i 行染色体编码来说, 需要满足如下条件:

① 车辆必须从企业 i 指派, 即编码当中第奇数个企业(车场)必为企业 i , 如上例中奇数企业均为 A .

② 车场的分布为首尾各一个, 中间位置为两两紧挨出现.

③ 第 i 行出现的非 i 企业(车场)次数等于其他行出现的企业 i 次数

为了满足以上的约束条件, 在生产初始种群的每个染色体时, 可以按照如下的步骤进行

Step 1 :

For $i=1: N$

生成从 $N+1$ 到 $N+M_i$ 共 M_i 个自然数, 并随机排列为字符串 A_i ;

End

Step 2:

For $i=1: N$

对 A_i 中根据各客户的需求和 Q 的大小, 在字符串中插入 0 字符, 其中在首尾各插入 1 个 0 字符, 中间成双插入 0 字符得到新字符串 A_i ; 将 A_i 中的第奇数个 0 替换为 i , 再次得到新字符串 A_i ; 记录 A_i 中 0 元素的个数.

End

得染色体 A. 得到 A 中 0 元素的总数 S.

Step 3 :

$i=0$

Do while $S > 0$

$i=i+1$;

For $j=1: M_i$,

If $A_i(j)=0$

将 $A_i(j)$ 随机替换为 $\{1, 2, \dots, N\}$ 中任一数,

$S=S-1$;

End

If $A_i(j) \neq i$

将 A 中除 i 行外的任一个 0 元素替换为 i 字符. $S=S-1$;

End

End

End

至此得到满足约束条件的染色体 A 。

上述编码生成的解满足了本文 1.2 数学模型中的约束 2、约束 3、约束 4 和约束 6，尚不一定满足约束 1 和约束 5，这一点可以通过适应度函数加以调整。

2.2 遗传算子

(1) 适应度函数和选择算子

适应度函数选择 $f_i = b \times Z^* / Z_i$ ，其中 Z^* 表示当前种群中的最好染色体的目标函数值， Z_i 表示第 i 个个体的目标函数值， b 为常数。同时当染色体不满足约束 1 和约束 5，令 $f_i = \varepsilon$ （一个非常小的正数）表示惩罚。本算法的选择算子采用转盘式选择策略，以个体的相对适应值作为该个体在下一代中存活的概率，使每个个体都有被选择的机会。

(2) 交叉算子

对于以上编码的染色体，交叉算子为两个染色体之间相同行的交叉，例如两个父代个体 R_1 和 R_2 的第 1 行字符串为：

父代 R_1 第一行： $A-4-5-2-B-A-3-1-7-A-A-6-8-C$

父代 R_2 第一行： $A-3-8-1-A-A-4-7-B-A-2-5-6-A$

去掉所有车场即为：

父代 R_1 第一行： $4-5-2-3-1-7-6-8$

父代 R_2 第一行： $3-8-1-4-7-2-5-6$

借鉴钟石泉等^[19]的方法，任选一个交叉点，例如第 4 个位置，得到交叉后代为：

子代 CR_1 第一行： $4-5-2-3-8-1-7-6$

子代 CR_2 第一行： $1-7-6-8-3-4-2-5$

将此时的子代 CR_1 、 CR_2 执行编码中的 step2 和 step3 得到最终的子代 CR_1 、 CR_2 。

(3) 变异算子

变异算子分为两类，第一类为：对某个染色体的每行内部将两个客户代码互换，并重新安排车场位置，即执行 step2 和 step3，第二类为：将染色体内某两行间的偶数位车场对调。在参与变异的染色体群中，一部分参与第一类变异，另一部分参与第二类变异，通过这两类变异算子，分别引入了新的客户排列顺序和在保证客户顺序不变的情况下对车场进行调整。

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

为了验证算法的可行性，在邹彤等^[20]提供的数据库基础上，加上产品需求不同且为模糊需求的限制，即

得到数据表 1 和 2，车辆的允许容量为 25，单位距离的运输成本设为 1，即从节点 i 到节点 j 的运输费用为两点之间的距离。其中各个用户的模糊需求采用结构元的线性生成模糊数^[17]， E 为三角形模糊结构元。

表 1 用户数据

用户	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
位置	(21,65)	(46,38)	(23,11)	(63,48)	(36,72)
模糊需求	$14+2E$	$10+2E$	$3+0.4E$	$10+1.5E$	$8+1.1E$
用户	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
位置	(29,54)	(30,46)	(74,29)	(64,26)	(72,42)
模糊需求	$6+E$	$11+1.6E$	$3+0.5E$	$9+1.2E$	$9+1.3E$
用户	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
位置	(67,80)	(92,80)	(76,86)	(88,15)	(66,16)
模糊需求	$5+0.8E$	$7+1.1E$	$4+0.7E$	$6+E$	$5+0.8E$

表 2 企业数据

企业（车场）	A	B	C
位置	(55,25)	(90,55)	(40,65)
车辆数量	5	5	5

用 Matlab7.0 软件对该 3 企业 15 客户的运输问题进行了仿真实验，通过遗传算法的 20 次迭代得到了最终结果，车辆总行驶的距离为 546.3530，发车车场、配送路径以及配送里程见表 3，配送路径如图 1 所示。

表 3 车辆路径方案

发车企业	回车企业	配送路径	模糊需求	配送里程
A	A	$A_4-A_2-A_3$	$23+3.9E$	114.4715
A	C	A_1-A_5	$22+3.1E$	77.1128
B	C	B_2-B_1	$17+2.6E$	84.2899
B	B	$B_5-B_4-B_3$	$21+3E$	81.0611
C	A	C_4-C_5	$11+1.8E$	105.8714
C	B	$C_1-C_3-C_2$	$16+2.6E$	83.8714

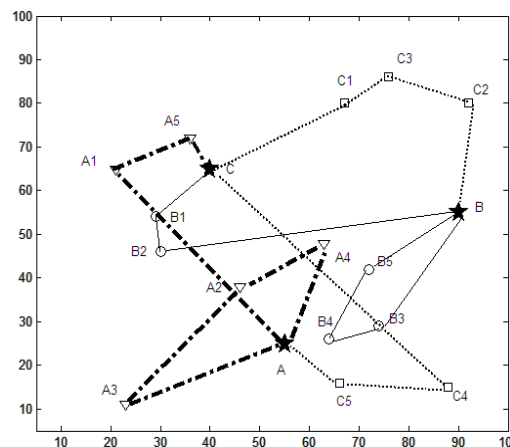


图 1 物流资源共享时的配送路径

3.2 实验分析

上面的结果为3个企业结成物流同盟时,共享物流资源的总运输费用,如果3个企业不对物流资源进行共享时,同样我们计算出其最终的调度方案,如图2所示,该方案总共的车辆行驶距离为704.7361。通过比较可以看出,进行物流资源共享后,大大节省了空载率进而运输费用,虽然这种联盟可能导致企业的车辆进行了对换,但是当上述运输任务重复多个周期后,最终的车辆仍会回到自己的企业,如上述例子两个周期后,车辆便可回到自己的企业。

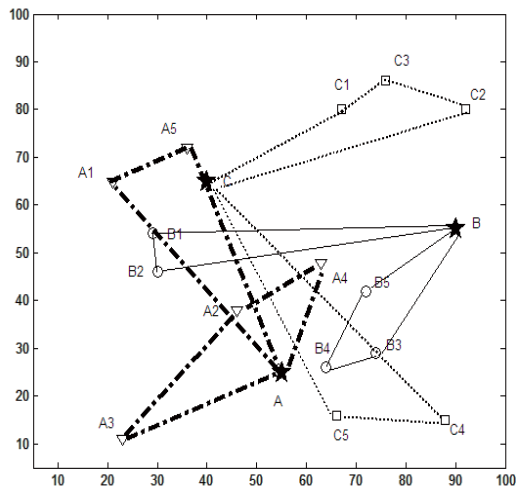


图2 物流资源不共享时的配送路径

4 结束语

文章建立了基于模糊需求的企业间联盟车辆路径问题,并基于模糊结构元理论将模糊需求问题转化为清晰需求问题。基于模糊需求的企业间联盟车辆路径问题在实际当中非常常见,但目前没有见到相关研究的报道,所以对此进行研究具有理论和实际意义。

不足之处是本模型考虑的模糊约束条件比较少,后续研究应考虑诸如模糊时间窗等约束,另外关于该模型,本文提出的遗传算法对于大规模问题是否有效仍需要检验和改进。

参考文献

- 1 Brody S, Ones B, Blosser B, et al. Transportation collaboration in the states: Federal highway administration office of project development and environmental review. Portland: National Policy Consensus Center, 2006.
- 2 Sutherland JL. Collaborative transportation management: A

- 3 solution to the current transportation crisis, USA: Lehigh University Center for Value Chain Research, 2006.
- 3 蔡延光,师凯.带软时间窗的联盟运输调度问题研究.计算机集成制造系统,2006,12(11):1903-1907.
- 4 师凯,蔡延光.联盟运输调度问题模型结构与算法研究.计算机技术与发展,2007,17(1):56-59.
- 5 陈宁,刘会林,傅维新.多企业协同运输研究,武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2005,29(3):440-443.
- 6 刘冉,等.多车场满载协同运输问题模型与算法.上海交通大学学报,2009,43(3):455-459.
- 7 Yang JP, Zhao HX. Research on multi-enterprise allied open vehicle routing problem and its genetic algorithm. Proc. of Int. Conf. on Multimedia Technology. 2010: 1975-1978.
- 8 杨皎平,高雷阜,杨韬.企业间转运联盟车辆路径问题及遗传优化.计算机工程与应用,2011,47(15):232-235.
- 9 杨皎平,高雷阜,王俊.装卸联盟车辆路径问题及两阶段优化方法.计算机工程与应用,2011,47(14):217-221.
- 10 Perincherri V, Kikushis. A fuzzy approach to the transshipment problem. Proc. of ISUMA'90. International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis. IEEE Computer Press, 1999.
- 11 Lucis P, Teodorovic D. Vehicle routing problem with uncertain demand at nodes; the bee system and fuzzy logic approach. Fuzzy Sets in Optimization, 2003: 67-82.
- 12 曹二保,赖明勇,张汉江.模糊需求车辆路径问题研究.系统工程,2007,25(11):14-18.
- 13 谢小良,符卓,杨芳.模糊需求车辆路径问题的模型与算法.计算机系统应用,2009,18(10):65-68.
- 14 柳毅.求解模糊需求可回程取货车辆路径问题的改进人工鱼群算法.模式识别与人工智能,2010,23(4):560-564.
- 15 陈宝文,宋申民,陈兴林.模糊需求车辆路径问题及其启发式蚁群算法.计算机应用,2006,(11):2639-2642.
- 16 张建勇,郭耀煌,李军.模糊需求信息条件下的车辆路径问题研究.系统工程学报,2004,19(1):74-78.
- 17 郭嗣琮.基于结构元的模糊值函数的一般表示方法.模糊系统与数学,2005,19(1):82-86.
- 18 刘海涛,郭嗣琮.基于结构元方法的变量模糊的线性规划.系统工程理论与实践,2008,28(6):94-99.
- 19 钟石泉,杜纲,贺国光.有时间窗的开放式车辆路径问题及其遗传算法.计算机工程与应用,2006,(34):201-204.
- 20 邹彤,李宁,孙德宝,李菁.多车场车辆路径问题的遗传算法.计算机工程与应用,2004,21:82-86.