

模糊需求下转运联盟车辆路径及混沌粒子群优化^①

田 洋¹, 杨皎平², 张丽凤²

¹(辽宁工程技术大学 理学院, 阜新 123000)

²(渤海大学 管理学院, 锦州 121000)

摘要: 建立了基于模糊需求的企业间转运联盟车辆路径问题, 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, 提出了一种混沌粒子群算法, 该算法在经典粒子群算法的基础上融入了两次混沌变换, 有效的利用了粒子群算法和混沌算法各自的优势.

关键词: 车辆路径问题; 模糊需求; 企业转运联盟; 粒子群

Enterprise Transfer Alliance Vehicle Routing Problem based on Fuzzy Demand and its Chaos Particle Swarm Optimization Algorithm

TIAN Yang¹, YANG Jiao-Ping², ZHANG Li-Feng²

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, the chaos particle swarm optimization algorithm is proposed, this algorithm adds two chaotic transform in classical particle swarm algorithm, it has a good performance by combining particles swarm optimization with the chaotic partial searching.

Key words: vehicle routing problem; fuzzy demand; enterprise transfer alliance; particles swarm

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]. 近年来, 很多学者讨论了协同运输模型, 如蔡延光等^[3,4]提出的联盟运输问题(Allied Vehicle Routing Problems, AVR), 陈宁等^[5]提出的多企业协同运输问题, 如刘冉等^[6]提出的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, 杨皎平等^[7]在此基础上提出的企业间产品可转运的联盟车辆路径问题(Enterprise Alliance Vehicle Routing Problem with Product can Transfer each other, EAVRPPT)则强调了协同运输的多企业和多产品的特性, 该模型假设不同企业供给的产品不同, 因此某一组客户为某个企业所独占, 其他企业无法满足这组客户的需求; 在此情况下多

个企业通过建立转运运输联盟可以借用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.

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. 文章在以上文献的基础上, 讨论客户产品需求数量为模糊需求的企业间产品转运的联盟车辆路径问题. 关于模糊需求的车辆路径问题, 已经引起了国内外学者的研究重视, Perincheri^[8]通过模糊线性规划来处理客户需求量的模糊问题, Lucic^[9]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

^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: 2012-12-31; 收到修改稿时间: 2013-01-28

学者曹二保^[10]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优化算法对其进行了求解, 谢小良^[11]采用了禁忌搜索方法, 柳毅^[12]采用了人工鱼群算法, 陈宝文^[13]采用了蚁群算法, 张建勇^[14]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, 同时对模型的求解方法均为近似优化算法. 文章所不同的是采用基于结构元的模糊理论^[15]将模糊需求模型问题转化为清晰需求模型, 并提出解决该问题的粒子群优化算法.

1 问题描述及数学模型

1.1 问题描述

基于模糊需求的企业间转运联盟车辆路径问题(EAVRVPPTFD)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, 每个企业的客户群体用 $C(i)$ 表示($i=1, 2, \dots, N$), 所有企业的车辆之间无差异. 第 i 个企业为 E_i , E_i 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). 设该 N 个企业结成运输联盟, 在如下两个领域内进行运输协同:

① 企业 i 可以将自己企业的产品直接运输到企业 j , 由企业 j 将企业 i 的产品和企业 j 自身的产品一同配送到企业 j 周围的企业 i 的客户和企业 j 的客户, 并且假设不同产品可以装在一辆车上, 因此对于企业 j 来说, 一条配送线路即包括企业 i 的客户也包含企业 j 的客户.

② 企业 i 到企业 j 的车辆直接停留在企业 j , 不用立即返回, 同时企业 i 的一辆车在完成某配送任务后可以就近停靠在其他企业.

$x(\alpha, \beta, \gamma)$ 表示车辆 α 是否经由 β 开往 γ , $x(\alpha, \beta, \gamma)$ 取 1 或 0, $e(\beta, \gamma)$ 表示从节点(企业或用户) β 到节点节点(企业或用户) γ 的距离, 假设单位距离的费用为 1.

1.2 数学模型

针对上述描述, 研究如何调度车辆, 使得完成所有配送任务的总费用最小, 则可以建立如下的基于模

糊需求的多企业联盟车辆路径模型.

目标函数:

$$\begin{aligned} \min z = & \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{K_i} \left(\sum_{j=1}^N \sum_{h=1}^{M_j} e(E_i, C(j, h)) \times x(V(i, k), E_i, C(j, h)) \right. \\ & + \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^{M_s} \sum_{l=1}^{M_s} e(C(j, h), C(s, l)) \times x(V(i, k), C(j, h), C(s, l)) \\ & + \left. \sum_{s=1}^{M_s} \sum_{l=1}^N e(C(s, l), E_j) \times x(V(i, k), C(j, h), E_j) \right) \\ & + \sum_{j \neq i, j=1}^N \sum_{l=1}^N e(E_i, E_j) \times \text{int} \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} \left(\sum_{h=1}^{M_j} \sum_{l=1}^{M_j} \tilde{D}(j, h) \times x(V(i, k), \right. \right. \\ & \left. \left. C(j, h), C(s, l) \right) + \sum_{h=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \tilde{D}(j, h) \times x(V(i, k), C(j, h), E_s) \right\} / Q \end{aligned}$$

约束(1):

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{j=1}^N \sum_{h=1}^{M_j} x(V(i, k), E_i, C(j, h)) + \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{j=1}^N x(V(i, k), E_i, E_j) \leq K_i$$

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

约束(2):

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^{M_s} \sum_{l=1}^{M_s} x(V(j, k), C(i, h), C(s, l)) \\ & + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^N x(V(j, k), C(i, h), E_s) = 1 \end{aligned}$$

$$\forall C(i, h) \in C(i), i = 1, 2, \dots, N$$

约束(3):

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^{K_s} \sum_{h=1}^{M_h} x(V(j, k), C(s, h), C(i, l)) \\ & + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^N x(V(j, k), E_s, C(i, l)) = 1 \end{aligned}$$

$$\forall C(i, l) \in C(i), i = 1, 2, \dots, N$$

约束(4):

$$\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{M_j} \sum_{s=1}^{M_s} \left[\tilde{D}(j, l) x(V(i, k), C(s, h), C(j, l)) + \tilde{D}(j, l) x(V(i, k), E_s, C(j, l)) \right] \leq Q$$

$$k = 1, 2, \dots, K_i, i = 1, 2, \dots, N$$

约束(5):

$$x(V(i, k), E_i, E_i) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{j=1}^N \sum_{h=1}^{M_j} x(V(i, k), C(j, h), C(j, h)) = 0$$

该模型中, 目标函数中第 1 项表示车辆从企业 E_i 出发配送完一组用户后回到 E_j 的运输费用, (E_i 与 E_j 相同或不同); 第二项表示从 E_i 若干次直接运输货物到 E_j 的运输费用, 其中函数 int 为向上取整, 该函数值为从 E_i 到 E_j 的运输次数.

约束(1)保证各企业派出的车辆数目不超过该企业所拥有的车辆数; 约束(2)和约束(3)表示有 1 辆执行配送任务的车辆路过某客户; 约束(4)表示每个执行配送任务车辆的载荷约束, 为模糊约束, 约束(5)表示每个配送车辆不能从某个节点到自身.

模型存在一个模糊不等式约束, 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 4 个约束变为:

$$\text{pos} \left(\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \sum_{h=1}^{M_s} \left[\tilde{D}(j,l)x(V(i,k),C(s,h),C(j,l)) + \tilde{D}(j,l)x(V(i,k),E_s,C(j,l)) \right] \leq Q \right) \geq \sigma \quad (1)$$

其中 $\sigma \in [0,1]$ 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.

1.3 结构元理论及应用

在上述模型中, 对于模糊需求 $\tilde{D}(i,h)$, 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. 不失一般性, 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. 若模糊结构元 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^[15] 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^[15] 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).

与式(1)将模糊约束转化为可行性约束不同, 文章采用如下模糊序理论将模糊约束转化为清晰约束.

定理 3^[16] 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

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

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.

根据定理 3, 模型(1)中的第 5 个约束可转换为:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \sum_{h=1}^{M_s} \left[(x(V(i,k),C(s,h),C(j,l)) + x(V(i,k),E_s,C(j,l))) \times \int_{-1}^1 E(x)f_{jl}(x)dx \right] \leq Q \int_{-1}^1 E(x)dx \quad (2)$$

同理可以将目标函数中的

$$\sum_{h=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \sum_{l=1}^{M_s} \tilde{D}(j,h) \times x(V(i,k),C(j,h),C(s,l)) + \sum_{h=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \tilde{D}(j,h) \times x(V(i,k),C(j,h),E_s)$$

项转化为:

$$\sum_{h=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \sum_{l=1}^{M_s} \int_{-1}^1 E(x)f_{jh}(x)dx \times x(V(i,k),C(j,h),C(s,l)) + \sum_{h=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \int_{-1}^1 E(x)f_{jh}(x)dx \times x(V(i,k),C(j,h),E_s)$$

经过上述处理, 将模糊规划模型转化为清晰规划模型, 从而可以使用求解清晰规划模型的算法对模糊需求条件下的企业间转运联盟车辆问题进行求解. 文章下面针对该问题提出了一种混沌粒子群算法.

2 混沌粒子群法

2.1 标准粒子群算法

设优化问题的解空间为 D 维, 总粒子数为 n , 第 i 个粒子位置 (第 i 个可行解) 用向量 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ 表示; 第 i 个粒子“飞行”历史中的最优位置 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$, 其中第 g 个粒子的历史最优位置 P_g 为所有 P_i 中的最优; 第 i 个粒子位置变化率为向量 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$, 每个粒子的位置按如下公式进行变化^[17].

$$v_{id}(t+1) = w \times v_{id}(t) + c_1 \times \text{rand} \times [p_{id}(t) - x_{id}(t)] + c_2 \times \text{rand} \times [p_{gd}(t) - x_{id}(t)] \quad (3)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq d \leq D \quad (4)$$

其中 $c_1 > 0, c_2 > 0$ 为加速因子, rand 为 $[0,1]$ 之间的随机数, w 为惯性因子, w 较大适合对解空间进行大范围探查, w 较小适合进行小范围探查. 第 d ($1 \leq d \leq D$) 维的位置变化范围 $[x_d^{\min}, x_d^{\max}]$, 速度变化范围为 $[v_d^{\min}, v_d^{\max}]$, 迭代中位置和速度超过边界范围则取边界值.

2.2 引入混沌优化的粒子群算法

文章在李毅^[18]和田东平^[19]算法的基础上, 将两种

算法进行了充分融合,即在构造初始解和粒子位置变换时均引入了混沌优化,同时在粒子位置的混沌变换中加入了概率算子,具体算法如下:

第一步,用 D 个逻辑自映射函数:

$$z_{k+1}^d = 1 - \mu(z_k^d)^2 \quad (5)$$

其中 $k=0,1,2,\dots,n-1; d=1,2,\dots,D, -1 < z_k^d < 1, \mu$ 为控制参量,通常 $\mu=2$.

产生混沌序列 $z_i^d (i=1,2,\dots,n; d=1,2,\dots,D)$, 并通过式(6)将其映射到优化问题的可行域当中.

$$\begin{cases} x_{id}(1) = x_d^{\min} + (x_d^{\max} - x_d^{\min}) \times z_i^d, \text{if } z_i^d > 0 \\ x_{id}(1) = x_d^{\min} - (x_d^{\max} - x_d^{\min}) \times z_i^d, \text{if } z_i^d < 0 \end{cases} \quad (6)$$

第二步,对于第 t 次粒子更新中,在所有粒子按照式(3)和式(4)进行更新的基础上.然后对最优粒子 $x_{id}(t) = p_{gd}(t)$ 按式(7)进行更新.

$$x_{id}(t) = \begin{cases} x_d^{\min} + (x_d^{\max} - x_d^{\min}) \times \left| 1 - \mu \left(\frac{x_d^{\max} - x_{id}(t)}{x_d^{\max} - x_d^{\min}} \right)^2 \right|, \text{if } \rho < P_m \\ x_{id}(t) & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

其中 ρ 为 $[0,1]$ 中的随机数,当 $\rho < P_m$ 时式(7)表示对最优个体的位置进行混沌变换, P_m 为对第 t 次最优粒子进行混沌变换的概率, P_m 的计算公式参见文献[20].

第三步,判断是否满足终止条件,若满足则结束迭代,否则转移到第二步.

在本算法中,用到了两次混沌变换函数,第一次是产生初始粒子,第二次是对最优个体进行混沌变换,两次都采用了遍历均匀性良好的逻辑自映射函数,一方面保证了从更多范围进行搜索最优,一方面又保证了算法不会陷入局面最优的局面.

3 EAVRVPPTFD混沌粒子群法

3.1 编码规则

关于车辆路径问题的粒子群算法中,编码规则主要有两种,第一种借鉴了 Salmen^[21]的思路,用一个 $2L$ 维空间的粒子编码来表示 1 个车场 L 个客户 VRP 问题,每个粒子的 $2L$ 维位置向量 X 分成两个 L 维向量:表示各任务对应车辆的和 X_v 和表示各任务在对应的车辆路径中的执行次序 X_r . 第二种借鉴了 Pawlak^[22]的思路,用一个 L 维度空间的粒子编码来表示 1 个车场 L 客户的 VRP 问题,每个 L 维向量 X 中,整数部分相同的客户用一个车辆运输,小数部分则表示车辆对客户的服务顺序. 文章的研究采纳了第二种编码思路.

表1 粒子编码

客户	1	2	3	4	5	6
编码	1.1	1.7	2.2	4.1	2.3	3.3
客户	7	8	9	10	11	12
编码	1.4	3.4	1.6	2.6	4.5	3.7

文章讨论的模型中,共有 N 个独立企业,多个企业可以进行联盟转运,为体现这一特殊性,在解码时需要进行做适当修正,为了说明问题,以 2 个企业 A, B , 每个企业 6 个客户为例,其中客户 1 至 6 为 A 的客户, 7 至 12 为 B 的客户,对于如表 1 所示编码.按照 Pawlak^[22]的思路,该编码对应 4 条线路:

线路 1: 1-7-9-2; 线路 2: 3-5-10; 线路 3: 6-8-12; 线路 4: 4-11.

对于每条线路,令车辆从距离起点最近的企业出发,并回到距离终点最近的企业.对上述 4 条线路,假设客户 1、4、11、12 距离企业 A 接近,客户 2、3、6、10 距离企业 B 接近,则该编码对应的 4 条线路修正为:

线路 1: $A-1-7-9-2-B$; 线路 2: $B-3-5-10-B$; 线路 3: $B-6-8-12-A$; 线路 4: $A-4-11-A$

即企业 A 为企业 B 配送了客户 7, 9, 11; 企业 B 为企业 A 配送了客户 3, 5, 6, 因此企业 B 需要往 A 共派 $Z_B = \lceil (\tilde{D}(7) + \tilde{D}(9) + \tilde{D}(11)) / Q \rceil$ 次车辆将货物运往 A , 同时企业 A 为了将货物运往 B 需要派往企业 B 共 $Z_A = \lceil (\tilde{D}(3) + \tilde{D}(5) + \tilde{D}(6)) / Q \rceil$ 次车辆, ($\lceil \cdot \rceil$ 为解模糊并向上取整算子).不妨假设 $Z_B=3, Z_A=2$, 因此除了对应上述四条线路外,还对应 3 个 $B-A$ 和 2 个 $A-B$.

3.2 算法步骤

Step1: 令 $t=1$, 初始化粒子群和所有参数, 对于每一个粒子 i 依次进行如下操作:

Step1.1 根据式(5)和式(6)的混沌映射产生粒子的初始位置 $X_i(t)$, 并随机产生速度向量 $V_i(t)$;

Step1.2 计算适应度 $f_i(t)$ // 不可行的粒子对应的适应度赋一个极大值;

Step1.3 初始化 P_i 为 $X_i(t), f_i^* = f_i(t)$;

Step1.4 初始化 P_g 为当前群中适应度值最低的粒子, 即 P_g 为 f_g^* 对应的粒子, 其中 $f_g^* = \min\{f_1^*, \dots, f_n^*\}$.

Step2: $t=t+1$, 更新粒子群的速度和位置

Step2.1 根据式(3)和式(4)更新粒子的位置和速度;

Step2.2 更新后的位置, 重新计算各粒子适应度值;

Step2.3 如果 $f_i(t) < f_i^*$, 则 $f_i^* = f_i(t)$, 同时更新粒子的历史最优位置 $P_i = X_i(t)$;

Step2.4 如果 $f_i(t) < f_g^*$, 则 $f_g^* = f_i(t)$, 同时更新粒子的

历史最优位置 $P_g=X_i(t)$;

Step2.5 计算 Pm.

Step3 产生一个[0,1]之间的随机数 ρ , 若 $\rho < P_m$, 对全局极值 P_g 按照式(7)进行混沌搜索有效位置, 如果搜索出的解好于 P_g , 则更新 P_g .

Step4 判断是否满足终止条件, 若满足, 则输出 P_g , 并由 P_g 根据编码规则解码, 得到最佳调度方案, 算法结束; 否则, 转 step2.

4 实验结果与分析

此类问题没有公共检验数据, 下面以文献[7]中客户和车场的坐标位置为基础, 将产品的需求模糊化, 得到表 2 和表 3. 车辆的允许容量为 4, 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. 表 2 中各个配送点的模糊需求采用结构元的线性生成模糊数^[15], E 为三角形模糊结构元.

表 2 各企业的客户位置和需求

E1 客户	配送点	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	坐标	(44,86)	(46,67)	(35,53)	(16,90)	(10,69)	(10,52)	(0,50)	(2,24)
	配送量	3+2E	2.1+1.6E	1.2+0.8E	2+1.5E	1.1+0.7E	1.1+0.6E	1.1+0.5E	1.1+0.6E
E2 客户	配送点	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	坐标	(25,16)	(19,0)	(46,23)	(71,64)	(58,43)	(70,18)	(86,67)	(75,27)
	配送量	1.8+0.9E	1.3+0.7E	0.8+0.8E	0.9+E	0.8+0.7E	0.6+0.4E	1+0.5E	0.6+0.3E
E3 客户	配送点	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
	坐标	(83,54)	(59,74)	(61,0)	(77,80)	(29,64)	(40,97)	(16,24)	(0,73)

表 3 企业(车场)数据

企业	E1	E2	E3
坐标	(33,77)	(26,30)	(79,39)

为了验证文章提出的混沌粒子群(CPSO)算法的有效性, 将其与 Teodorovic^[23]的 SW 算法, Michel^[24]的 TS 算法, Cao^[25]的 DE 算法和 Wang^[26]的 PSO 算法在同等条件下进行仿真实验. 用 matlab2009b 编程, 针对上述算例, 采用 5 种算法独立在 1.9GHZ/512MB 的计算机上运行 20 次, 仿真结果如表 4 所示, 其中 MIN 和 STD

分别表示统计数据的最小值和标准差, m 表示平均使用车辆, T 表示平均计算时间, 单位为秒, 从表 4 可以看出, 文章的算法能在更短的时间内获得更好的解.

表 4 仿真结果对比

	MIN	STD	M	T
SW	412.345	26.400	3.29	20.236
TS	356.27	22.135	3.11	16.275
DE	361.91	26.238	3.13	13.287
PSO	389.95	19.892	3.16	6.125
CPSO	353.23	18.291	3.01	6.953

该实例中, 文章算法 CPSO 的最终解的粒子编码为表 5 所示.

表 5 最优解对应的编码

客户	1	2	3	4	5	6	7	8
编码	4.3	3.2	3.5	1.3	1.8	5.1	5.3	5.5
客户	9	10	11	12	13	14	15	16
编码	2.2	2.6	2.8	8.4	8.1	8.8	8.5	8.9
客户	17	18	19	20	21	22	23	24
编码	7.5	6.5	7.8	6.7	3.7	4.8	5.7	1.5

根据编码规则可以得到如表 6 所示的路径方案和图 1 所示的路线图.

表 6 路径方案

路径	配送路径顺序	模糊需求	距离
1	E1-C1-C22-E1	3.9+2.5E	47.11
2	E1-C2-C3-C21-E1	3.9+2.7E	60.34
3	E1-C4-C24-C5-E1	3.7+2.6E	79.87
4	E1-C6-C7-C8-C23-E2	4.0+1.9E	95.91
5	E2-C9-C10-C11-E2	3.9+2.4E	87.78
6	E2-C13-C12-C15-C14-C16-E3	4.0+2.9E	149.03
7	E3-C18-C20-E3	3.7+2E	100.33
8	E3-C17-C19-E3	3.8+2.3E	116.79
9	E3-E1	3.1+1.4E	59.67
配送总距离		796.81	

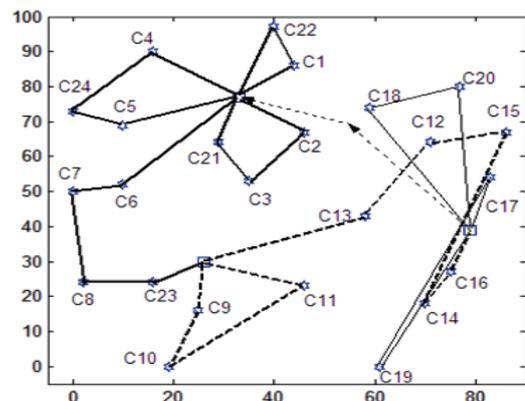


图 1 配送路线图

企业间转运联盟运输可以大大减少车辆的空载率以及所使用的车辆,可以增强企业的配送效率,考虑模糊需求的企业间联盟运输问题更加适应现实需求,具有重要的现实意义.

5 结束语

文章建立了基于模糊需求的企业间转运联盟车辆路径问题,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.同时为了充分利用粒子群算法和混沌搜索算法二者的求解优势,文中设计了一个混沌粒子群算法 CPSO,在该算法中以经典的粒子群算法为基础,使用到了两次混沌变换函数,第一次是产生初始粒子,第二次是对最优个体进行混沌变换,两次都采用了遍历均匀性良好的逻辑自映射函数,一方面保证了从更多范围进行搜索最优,一方面又保证了算法不会陷入局面最优的局面.实证结果表明提出的 CPSO 算法可以有效的求解模糊需求的车辆路径问题.

参考文献

- 1 Brody S, Ones B, Blosser B. 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 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,江志斌,陈峰,刘黎明,刘树军,刘天堂.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 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.
- 8 Perincherry V, Kikuchi S. A fuzzy approach to the transshipment problem. Proc. of ISUMA'90, the International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis. IEEE Computer Press. 1999.
- 9 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.
- 10 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.
- 11 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.
- 12 柳毅.求解模糊需求可回程取货车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.
- 13 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.
- 14 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.
- 15 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.
- 16 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.
- 17 李宁,邹彤,孙德宝.带时间窗车辆路径问题的粒子群算法.系统工程理论与实践,2004(4):130-135.
- 18 李毅,陆百川,刘春旭.车辆路径问题的混沌粒子群算法研究.重庆交通大学学报,2012,31(4):842-845.
- 19 田东平.混沌粒子群优化算法研究.计算机工程与应用,2012.
- 20 蔡延光,魏明.一种新型自适应混沌粒子群算法在联盟运输调度问题中的研究.系统工程,2008,26(8):32-36.
- 21 Salmen A, Ahmad I, Al-Madani B. Particle swarm optimization for task assignment problem. Micro-Processors and Microsystems, 2002, 26: 363-371.
- 22 Pawlak Z, Skowron A. Rudiments of rough sets. Information Science, 2007, 177(1): 3-27.
- 23 Teodorovic D, Pavkovic G. The fuzzy set theory approach to the vehicle routing problem when demand at nodes is uncertain. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 82: 307-317.
- 24 Gendreau M, Hertz A, Laporte G. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem. Management Science, 1994, 40(10): 1276-1290.
- 25 Cao EB, Lai MY. The open vehicle routing problem with fuzzy demands. Expert Systems with Application, 2010(37): 2045-2411.
- 26 Wang WL, Wu B, Zhao YW. Particle swarm optimization for open vehicle routing problem. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2006, 4114: 999-1007.