

文章编号: 1000-6788(2009)02-0106-08

基于混合差分进化算法的模糊需求车辆路径问题

曹二保^{1,2}, 赖明勇^{1,2}, 李董辉³

(1. 湖南大学 经济与贸易学院, 长沙 410079; 2. 湖南省 物流信息与仿真技术重点实验室, 长沙 410079; 3. 湖南大学 数学与计量经济学院, 长沙 410082)

摘要 研究具有模糊需求的车辆路径问题, 建立基于模糊可信性理论的模糊机会约束规划模型, 提出求解该问题的一种基于随机模拟的混合差分进化算法. 同时, 在车辆行驶总距离最小的目标下, 运用随机模拟方法研究决策者主观偏好值对最终决策目标的影响, 并给出最佳主观偏好值.

关键词 物流配送; 车辆路径问题; 模糊可信性; 随机模拟; 差分进化; 优化

中图分类号 O221; U116.2

文献标志码 A

Vehicle routing problem with fuzzy demands based on hybrid differential evolution

CAO Er-bao^{1,2}, LAI Ming-yong^{1,2}, LI Dong-hui³

(1. College of Economics and Trade, Hunan University, Changsha 410079, China; 2. Hunan Province Laboratory of Logistics Information and Simulation Technology, Changsha 410079, China; 3. College of Mathematics and Econometrics, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract In this paper, the vehicle routing problem with fuzzy demands is considered. A fuzzy chance constrained program model is designed based on fuzzy credibility theory. Stochastic simulation and an improved differential evolution algorithm are integrated to design a hybrid intelligent algorithm to solve the fuzzy vehicle routing model. Moreover, the influence of the decision-maker's preference on the final objective of the problem is discussed using the method of stochastic simulation, and the rational range of the preference number is obtained.

Keywords logistics distribution; vehicle routing problem; fuzzy credibility; stochastic simulation; differential evolution; optimization

1 引言

车辆路径问题 (Vehicle Routing Problem, VRP) 由 Dantzing^[1] 于 1959 年提出, 属于经典的复杂组合优化问题, 自提出来以后, 成为运筹学和组合优化领域的前沿与研究热点问题, 然而在已往的绝大多数 VRP 研究中, 人们一般假设在构造路径之前, 包括客户信息、车辆信息、路况信息以及线路制定者信息等在内的所有信息都是已知的、确定的, 并在该假设条件下提出相关算法来求解. 但在实际中, VRP 的某些信息可能无

收稿日期: 2007-09-17

资助项目: 国家科技支撑计划 (2006BAJ07B03); 高等学校博士点基金 (20050532029)

作者简介: 曹二保 (1980-), 男, 湖南益阳人, 湖南大学应用经济学在站博士后, 主要研究方向为: 物流与供应链管理, Email: czp9491@163.com; 赖明勇 (1965-), 男, 江西吉安人, 湖南大学经济与贸易学院院长, 教授, 博士生导师; 李董辉 (1962-), 男, 湖南邵东人, 湖南大学数学与计量经济学院, 教授, 博士生导师.

法获得其统计特征,在一定时期内只能是模糊的、不明确的,从而形成了模糊车辆路径问题(Fuzzy Vehicle Routing Problem, FVRP),在这种情况下,确定性条件下的VRP理论和方法不能处理该类问题,因此需要研究新的FVRP的理论与方法.目前国内外对模糊车辆路径问题的研究相对较少. Teodorovic 和 Pavkovic^[2]通过引入决策者偏好,提出了一种运用模糊推理求解具有模糊客户需求的车辆路径问题的算法; Lucic 和 Teodorovic^[3]运用蜂群系统和模糊逻辑求解了具有模糊客户需求的车辆路径问题. Zheng 和 Liu^[4]运用混合遗传算法研究了具有模糊行驶时间的车辆路径问题; Chen 和 Gen^[5]运用遗传算法求解了具有模糊预约时间的车辆路径问题; 张建勇等^[6]基于模糊可能性理论运用混合遗传算法研究了模糊需求车辆路径问题的求解. 本文在已有工作的基础上,研究模糊需求车辆路径问题(Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demands, VRPFD),它是FVRP的特殊情形,利用可信性理论建立VRPFD的模型,使得建立的模型更能反映模糊事件本质以及决策者偏好对决策目标的影响,以弥补模糊推理求解的过于复杂和可能性在模糊理论的不足.此外,我们对近年来提出的差分进化算法(Differential Evolution)(DE)^[7]加以改进,并应用于求解车辆路径问题.

近年来,在进化计算领域,DE算法作为一种性能卓越的优化算法正受到日益关注,DE是基于群体智能理论的优化算法,通过群体内个体间的合作与竞争产生的群体智能指导优化搜索,相比于进化算法,DE保留了基于种群的全局搜索策略,采用实数编码、基于差分的简单变异操作和一对一的竞争生存策略.与遗传算法^[5,6,13]相比,差分进化算法最大的特点就是在每个新个体的生成过程中用到了父代多个个体的线性组合,而不是遗传算法传统单一的父代染色体交叉技术.同时,DE特有的记忆能力使其可以动态跟踪当前的搜索情况,以调整其搜索策略,具有较强的全局收敛能力和鲁棒性,且不需要借助问题的特征信息,适于求解一些利用常规的数学规划方法所无法求解的复杂环境中的优化问题.其应用领域也越来越广^[8],应用领域涉及化工、电力、机械设计、经济学、环境工程和运筹学等.但国内外还没有出现运用差分进化算法对车辆路径问题的研究.

本文首次运用改进的差分进化算法求解车辆路径问题,算法采用序数编码和辅助算子,有效解决了变异问题,使之能有效处理离散优化问题,然后设计一种交叉率随进化代数自动更新的交叉算子,在进化的初始阶段,能提高算法的全局搜索能力,在进化的后期,能提高算法的局部搜索能力.

2 模糊可信性理论

模糊集理论(Fuzzy Set Theory)由Zadeh^[9]于1965首先提出,之后模糊集理论得到了很快的发展,Kaufmann^[10]提出了模糊变量的概念,Zadeh^[11]提出了模糊可能性理论,最近Liu^[12]提出了模糊可信性的公理体系.假设 Θ 为非空集合, ϕ 为空集, $p(\Theta)$ 表示 Θ 的幂集.

公理 1^[12] $Pos\{\Theta\}=1$.

公理 2 $Pos\{\phi\}=0$.

公理 3 对于 $p(\Theta)$ 中的任意集合 $\{A_i\}$, $Pos\{\cup_i A_i\} = \sup_i Pos\{A_i\}$.

公理 4 如果 Θ_i 是非空集合,其上定义的 $Pos_i\{\cdot\}, i=1, 2, \dots, n$, 满足前三条公理,并且 $\Theta = \Theta_1 \times \Theta_2 \times \dots \times \Theta_n$, 则对于每个 $A \in p(\Theta)$,

$$Pos\{A\} = \sup_{(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \in A} Pos_1\{\theta_1\} \wedge Pos_2\{\theta_2\} \wedge \dots \wedge Pos_n\{\theta_n\}.$$

定义 1^[10] 假设 $(\Theta, P(\Theta), Pos)$ 是可能性空间, A 是幂集 $p(\Theta)$ 中的一个元素,则称 $Nec\{A\} = 1 - Pos\{A^c\}$ 为事件 A 的必要性测度.

定义 2^[12] 假设 $(\Theta, P(\Theta), Pos)$ 是可能性空间, A 是幂集 $p(\Theta)$ 中的一个元素,则称 $Cr\{A\} = \frac{1}{2}(Pos\{A\} + Nec\{A\})$ 为事件 A 的可信性测度.

显然一个模糊事件的可能性为 1,该事件也未必成立,另一方面,即使一个模糊事件的必要性为 0,该事件也可能成立.但是若一个模糊事件的可信性为 1,则该事件必然成立;反之,若一个模糊事件的可信性为

0, 则该事件必然不成立^[12]. 上述模糊理论中的可信性测度相当于随机理论中的概率测度, 它比可能性测度具有更好的性质. 考虑三角模糊数 $d = (d_1, d_2, d_3)$, 由上述定义容易得到:

$$Pos\{d \geq r\} = \begin{cases} 1, & \text{若 } r \leq d_2 \\ \frac{d_3 - r}{d_3 - d_2}, & \text{若 } d_2 \leq r \leq d_3 \\ 0, & \text{若 } r \geq d_3 \end{cases} \quad (1)$$

$$Nec\{d \leq r\} = \begin{cases} 1, & \text{若 } r \leq d_1 \\ \frac{d_2 - r}{d_2 - d_1}, & \text{若 } d_1 \leq r \leq d_2 \\ 0, & \text{若 } r \geq d_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$Cr\{d \geq r\} = \begin{cases} 1, & \text{若 } r \leq d_1 \\ \frac{2d_2 - d_1 - r}{2(d_2 - d_1)}, & \text{若 } d_1 \leq r \leq d_2 \\ \frac{d_3 - r}{2(d_3 - d_2)}, & \text{若 } d_2 \leq r \leq d_3 \\ 0, & \text{若 } r \geq d_3 \end{cases} \quad (3)$$

3 问题描述及模型

具有模糊需求的车辆路径问题可以描述为: 某一运输网络中有一车场和 n 个待服务的客户, 分别用 0 和 $1, 2, \dots, n$ 表示, 车辆从车场出发, 服务一定数量的客户后返回车场; 每辆车具有相同的容量 C 和最大行驶距离 L ; 每个客户只能由一辆车一次完成服务; 每辆车只能使用一次; 每个客户的需求量为三角模糊数 $d = (d_1, d_2, d_3)$, 客户 i 与客户 j 之间的距离为 c_{ij} ; \bar{k} 为配送中心最大车辆数目; 求完成所有客户服务的最短车辆行驶路线. 我们考虑车辆到每个客户装货的服务 (送货时是在车场用货物把车装满, 下个客户的需求量大于车上货物量时, 车辆返回车场, 可以类似考虑.), 由于每个客户的需求为模糊数, 对于给定的客户 i 的需求模糊数 $d_i = (d_{1i}, d_{2i}, d_{3i})$, 某一车辆服务 k 个客户后, 其总运载量 $d'_k = \sum_{i=1}^k d_i$, 车辆的剩余运载能力为 $Q_k = C - \sum_{i=1}^k d_i$, Q_k 也为一个三角模糊数, 且有

$$Q_k = \left(C - \sum_{i=1}^k d_{3i}, C - \sum_{i=1}^k d_{2i}, C - \sum_{i=1}^k d_{1i} \right) = (q_{1,k}, q_{2,k}, q_{3,k})$$

则下一客户需求量小于车辆剩余运输能力的可信性

$$Cr = Cr\{d_{k+1} \leq Q_k\} = Cr\{(d_{1,k+1} - q_{3,k}, d_{2,k+1} - q_{2,k}, d_{3,k+1} - q_{1,k},) \leq 0\}$$

$$= \begin{cases} 0, & \text{若 } d_{1,k+1} \geq q_{3,k} \\ \frac{q_{3,k} - d_{1,k+1}}{2 \cdot (q_{3,k} - d_{1,k+1} + d_{2,k+1} - q_{2,k})}, & \text{若 } d_{1,k+1} \leq q_{3,k}, d_{2,k+1} \geq q_{2,k} \\ \frac{d_{3,k+1} - q_{1,k} - 2 \cdot (d_{2,k+1} - q_{2,k})}{2 \cdot (q_{2,k} - d_{2,k+1} + d_{3,k+1} - q_{1,k})}, & \text{若 } d_{2,k+1} \leq q_{2,k}, d_{3,k+1} \geq q_{1,k} \\ 1, & \text{若 } d_{3,k+1} \leq q_{1,k} \end{cases} \quad (4)$$

在客户的需求为模糊数时, 我们知道当车辆的剩余运输能力越大, 下一个客户的需求量越大, 运用模糊可信性理论, 显然 Cr 越大, 该车能够完成下一客户配送服务的机会越大, 我们要求车辆服务下一客户时, 只有下一个客户的需求量不超过车辆剩余运输能力的可信性 Cr 高于置信水平 C_r^* ($C_r^* \in [0, 1]$) 时, 才派车服务下个客户, 此时置信水平 C_r^* 表示决策者就是否安排车辆继续服务下一任务的主观偏好值 (或主观临界值), 该值作为决策者风险态度的某种反映, 对于希望充分利用车辆剩余运输能力而甘冒车辆剩余能力不能满足下一客户需求而导致“失败”风险的“风险追求者”来说, 他们通常会选择较小的 C_r^* 值, 以充分利用车辆

剩余能力; 相反, 对于害怕“失败”风险的“风险规避者”, 他们通常会选择较大的 C_r^* 值, 以保证派往下一客户的车辆的剩余能力能够满足该客户需求的可信性尽量大, 从而减少“失败”的风险^[2,6].

对于给定的 C_r^* 值, 下一客户需求量小于车辆运输能力的可信性为 Cr , 在车辆路径的安排过程中, 当 $Cr \geq C_r^*$ 时, 派车继续完成下个客户的运输任务, 若 $Cr < C_r^*$, 则该车返回车场, 新派车完成剩余运输任务. 重复上述过程, 直到客户排列中所有客户都安排完毕, 这样可产生一个可行的车辆安排, 但在实际的配送过程中, 当车辆按计划的可行路径达到某个客户时, 客户的实际需求是其三角模糊数内一个确定的实数, 因此可能会由于车辆剩余运输能力不能满足该客户需求而导致任务失败, 车辆只能返回车场卸货后空驶至该失败点继续完成剩余运输任务, 从而产生额外的行驶距离. 因此, 在对一个车辆路径安排的优劣进行评估时, 不仅要考虑按预计路径行驶的预计运行距离, 而且要考虑由于可能存在的路径失败而产生的额外行驶距离. 因此, 该模糊需求车辆路径问题, 在逻辑上便产生了如何确定最优的决策者主观偏好值 C_r^* , 使得总的预计行驶距离和额外行驶距离之和最短的问题.

设 $x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 从顾客 } i \text{ 直接达到顾客 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$, $y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{顾客 } i \text{ 的任务由车辆 } k \text{ 完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$, 则基于可信性理论的 VRPFD 的模糊机会约束规划模型为:

$$\min \sum_{k=1}^{\bar{k}} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ijk} \quad (5)$$

$$\min c' \quad (6)$$

$$\text{s.t. } Cr \left(\sum_{i=1}^n d_i y_{ik} \leq C \right) \geq C_r^*, k = 0, 1, \dots, \bar{k} \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^{\bar{k}} x_{ijk} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} - \sum_{i=0}^n x_{jik} = 0, \quad j = 0, 1, \dots, n, k = 0, 1, \dots, \bar{k} \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, \bar{k} \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = y_{jk}; \quad j = 0, 1, \dots, n, k = 0, 1, \dots, \bar{k} \quad (11)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = y_{ik}, \quad i = 0, 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, \bar{k} \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ijk} \leq L \quad k = 0, 1, 2, \dots, \bar{k} \quad (13)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, y_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 0, 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, \bar{k} \quad (14)$$

在上述表达式中, 目标函数 (5) 为最小化计划行驶距离; 目标函数 (6) 为最小化由于“路径失败”产生的额外行驶距离, 该值通过随机模拟方法产生; 约束条件 (7) 说明每辆车的载运量不超过容量的可信性应高于置信水平; (8) 每个客户仅由一辆车一次完成服务; 约束条件 (9) 说明对每个客户达到和离开它的车辆相同; 约束 (10) 说明最多只能使用 \bar{k} 辆车; 约束条件 (11) 和 (12) 表明两个决策变量间的关系; 约束 (13) 是每辆车的行驶距离约束, L 是每辆车的最大行驶距离; 约束 (14) 为决策变量属性.

4 VRPFD 的混合算法

对于每个给定的主观偏好值 C_r^* , 在车辆运输能力范围内随机生成 n 个三角模糊数作为每个客户的需求量, 先使用差分进化算法得到客户在模糊需求下的预计行驶距离. 而当车辆达到客户时, 该客户的实际需求

必然是其三角模糊数内一个确定的实数, 我们再运用随机模拟算法来模拟客户在其模糊需求下的实际需求。而当客户实际需求超过车辆剩余容量时, 发生“路径失败”, 配送车辆必须返回车场先卸货然后再继续服务发生“路径失败”的客户, 从而产生额外行驶距离。最后将预计行驶距离与额外行驶距离两者之和作为总的行驶距离, 再运用差分进化算法得到在该主观偏好值下最小的总行驶距离, 给定不同的主观偏好值将得到不同的车辆行驶距离。因此该混合差分进化算法不仅可以得到给定主观偏好值下的最优距离, 而且还能得到不同主观偏好值下的最优距离, 本文重点研究不同主观偏好值对车辆行驶距离的影响。

4.1 随机模拟算法

由于客户需求的模糊性, 安排路径前, 我们并不确切知道路径失败产生的地点、次数及由此产生的额外行驶距离, 因此, 对于任一“可行”路径安排(用染色体表示), 对其由于“路径失败”产生的额外行驶距离的估计用随机模拟方法产生, 其基本步骤如下^[6]:

Step 1 对每一客户, 生成估计额外行驶距离用的“实际”需求, 该“实际”需求也用模拟方法产生, 其步骤是: (1) 在某客户的模糊需求数范围内随机生成一个数 x 并计算其隶属度 u ; (2) 生成一个 $[0, 1]$ 范围内的随机数 a ; (3) 比较 a 与 u , 如果 a 小于 u , 则 x 为该客户的实际实现的需求量, 否则, 重复以上步骤; (4) 重复上述步骤, 直至生成所有客户的模拟“实际”需求量。

Step 2 计算在此“实际”需求条件下, 该路径安排由于“失败”产生的额外行驶距离;

Step 3 重复 step1、step2 M 次;

Step 4 计算 M 次模拟的平均值, 以其作为该路径安排由于可能存在的“失败”而产生的额外行驶距离的估计值。

4.2 差分进化算法

差分进化 (Differential Evolution, DE) 算法是由 Rainer^[7] 为求解切比雪夫多项式而于 1996 年共同提出的一种采用浮点矢量编码在连续空间中进行随机搜索的优化算法^[8], 它的整体结构类似于遗传算法^[6,13], 与遗传算法的主要区别在变异操作上, 差分进化的变异操作是基于染色体的差异向量进行的, 交叉和选择操作与遗传算法类似。具体步骤如下:

1) 生成初始种群

根据服务的客户数目 (n), 随机产生一个关于客户数目的排列作为一条染色体, 重复产生多条染色体, 直到达到种群规模, 得到需要的初始种群。即: $Chrom(i, :) = randperm(n)$; $i = 1, 2, \dots, NP$, 其中 n 为服务的客户数目, NP 为种群规模。初始可行种群可按如下步骤产生:

Step 1 产生包含所有客户的一个随机排列;

Step 2 取出客户排列中最左边的客户, 根据该客户的需求量和当前车辆的剩余运输能力, 根据 (4) 式计算 Cr 值, 对于给定的主观偏好值 C_r^* , 若 $Cr \geq C_r^*$, 则将该客户分配给当前车辆; 否则, 新开一辆车, 将该客户分配给新开车辆;

Step 3 从客户排列中删除该客户;

Step 4 重复 step2、step3, 直至所有客户安排完毕, 产生一个“可行”染色体;

Step 5 重复以上过程, 直至产生给定的 NP 个“可行”染色体。

2) 变异操作

变异是将个体染色体编码串中的某些基因座上的基因值用该基因座的其它等位基因来替换, 从而形成新的个体。子代染色体通过父代染色体的基因值差分计算产生, 即 $v = Chrom(c, :) + F \cdot [Chrom(a, :) - Chrom(b, :)]$, a, b, c 是随机选择的三个父代染色体, F 是 $[0, 2]$ 内的实数, 为缩放因子, 用于控制差分项的幅度, 通常取 0.5。在车辆路径问题中, 生成的后代染色体的基因值必须是 $\{1, 2, \dots, n\}$ 中的整数, 且互不相同, 否则需使用如下基于整数序规范的辅助算子: 设生成的后代染色体 v 的基因值为 (\min, \max) 内的实数, \min 是最小的基因值, \max 是最大的基因值, 则先把每条染色体按每个基因值从大到小排序, 最大的基

因值变为最大的客户 n , 第二大的基因值对应 $n-1$; 依次类推, 直到最小的基因值变为 1; 如变异操作后生成的染色体为 [7.8, 6.8, 3.4, 6.4, -3.6, 7.4, 3.8, 4], 则对基因值 7.8 进行变换后变为 8, -3.6 变为 1, 依次进行辅助算子操作后得到的染色体为 [8, 6, 2, 5, 1, 7, 3, 4]. 通过变异操作产生的染色体, 若不采用整数序规范, 而是采用其它的取整方法如向下取整方法、向上取整方法或者四舍五入取整方法都不能得到与编码方法一致的染色体, 得到的染色体基因值超出了规定的范围, 这是限制差分进化算法求解车辆路径问题的一个主要原因, 本文提出的基于整数序规范的辅助算子有效解决了变异操作使染色体基因值超出范围的问题, 使差分进化算法能用于求解混合整数规划问题.

3) 交叉操作

交叉是将两个染色体, 按照某个交叉概率 CR 交换染色体的部分基因, 而得到不同的染色体的过程. 交叉操作是为了增加群体的多样性, 对于群体中目标矢量个体 $Chrom(i, :)$, 将与变异矢量 v 进行交叉操作, 产生探测个体 $trial$. 为保证个体 $Chrom(i, :)$ 的进化, 首先通过随机选择, 使得 $trial$ 的基因至少有一位由 v 贡献, 而对于其它基因, 可利用一个交叉概率因子 CR , 决定 $trial$ 中哪位由 v 贡献, 哪位由 $Chrom(i, :)$ 贡献. 交叉操作的方程为

$$trial(j)^{G+1} = \begin{cases} v(j)^{G+1}, & rand(j) \leq CR \text{ or } j = randn(i) \\ Chrom(i, j)^G, & rand(j) > CR \text{ and } j \neq randn(i) \end{cases}$$

其中 CR 为交叉率, 显然 CR 越大, v 对 $trial$ 的贡献越多, 当 $CR = 1$ 时, $trial = v$, 有利于局部搜索和加速收敛速率; CR 越小, $Chrom(i, :)$ 对 $trial$ 的贡献越多, 当 $CR = 0$ 时, $trial = Chrom(i, :)$, 有利于保持种群的多样性和全局搜索. 显然种群多样性与收敛速度之间存在着矛盾, 为了增加差分进化算法的性能, 使交叉率随进化代数不断变化, 令 $CR = CR_{min} + g \cdot \frac{(CR_{max} - CR_{min})}{G}$, 其中 CR_{min} , 分别为最小交叉概率, CR_{max} 为最大交叉概率, g 为当前进化代数, G 为总的进化代数. 显然在进化的初始阶段, 能提高算法的全局搜索能力, 在进化的后期, 能提高算法的局部搜索能力, 加快收敛速度.

4) 选择操作

选择是建立在对个体的适应度进行评价的基础上的, 是按照一定的原则或方法在种群中选择生命力强的个体产生新的群体的过程. 选择的目的是为了从当前种群中选出优良的个体, 使它们有机会作为父代为下一代繁衍子孙. 根据 (5) 式得到预计行驶距离 (c), 根据 (6) 式得到额外行驶距离 (c'), 二者之和为总行驶距离, 将总行驶距离的倒数作为适应度值, 即: $f = 1/(c + c')$. DE 采用“贪婪”的搜索策略, 经过变异与交叉操作后生成的探测个体 $trial$ 与 $Chrom(i, :)$ 进行竞争, 只有当 $trial$ 的适应度值较 $Chrom(i, :)$ 更优时才被选作子代, 否则, 直接将 $Chrom(i, :)$ 作为子代. 以最小化为例, 适应度值越大性能越好, 选择操作的方程为

$$Chrom(i, :)^{G+1} = \begin{cases} trial^{G+1}, & f(Chrom(i, :)^G) < f(trial^{G+1}) \\ Chrom(i, :)^G, & f(Chrom(i, :)^G) \geq f(trial^{G+1}) \end{cases}$$

5 数值实验及结果分析

随机实验由 30 个客户组成, 车场的位置为 0(0,0), 每个客户的位置的坐标为 [100*100] 范围内随机产生的序数对, 模糊需求则是在车辆运输能力范围内随机生成的三角模糊数, 所有车的容量为 8 吨, 每辆车至少能服务一个客户. 数值实验的相关其它参数设置如表 1 所示.

表 1 模型参数及差分进化算法参数设置

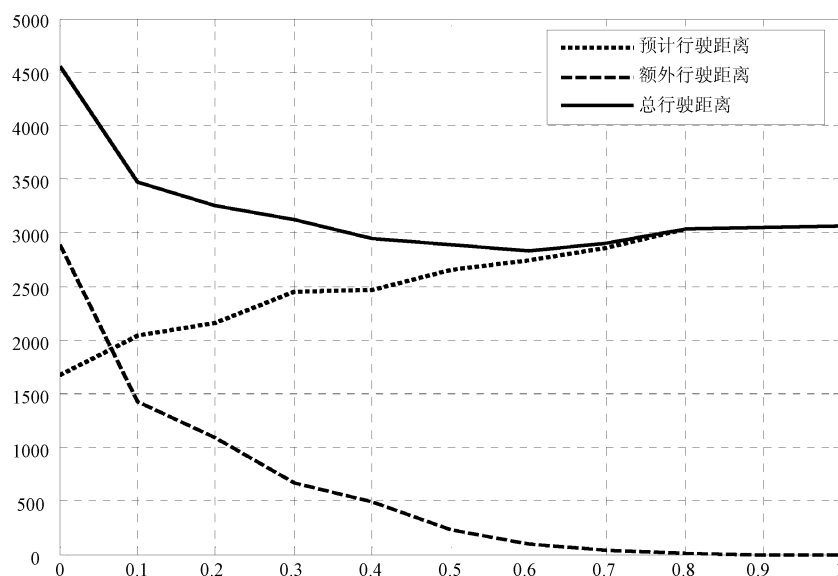
n	C	\bar{k}	G	M	L	NP	CR_{min}	CR_{max}	F
30	8	30	200	100	2000	40	0.3	0.9	0.5

将上述混合差分进化算法程序用 MATLAB7.0 编译, 使用 Pentium 4、3.06GHz, 1G 内存微机运行该程序, 在上述基本设置下, 让给定的主观偏好参数值 C_r^* 在 0 到 1 之间变动, 每个设置下 10 次运行结果的均值如表 2 所示, 其变化趋势如图 1 所示.

从表 2 和图 1 可以看出,随着主观偏好值 C_r^* 增大,预计行驶距离严格单调递增,而额外行驶距离却严格递减,但当 $C_r^* \leq 0.6$ 时,预计行驶距离的增加量小于额外行驶距离的减小量,从而使得随着 C_r^* 值增加,总行驶距离严格递减;而当 $C_r^* > 0.6$ 时,预计行驶距离的增加量大于额外行驶距离的减小量,从而使得随着 C_r^* 值增加,总行驶距离逐渐增加;且在主观偏好值 $C_r^*=0.6$ 左右,总的行驶距离最小. C_r^* 值越小,表明充分利用车辆容量的主观愿望越强列,预计行驶距离越短;但同时,较小的 C_r^* 值使发生“路径失败”的机会增加,会产生较多的额外行驶距离;相反,较大的 C_r^* 值,会使预计行驶距离增加,额外行驶距离减小.因此,在实际的模糊车辆调度中,从总的行驶距离最小化的角度出发,决策者的主观偏好值 C_r^* 应该选择在 0.6 左右,也就是说当客户的需求量不超过车辆剩余容量的“机会”在 60%的时候派车服务该客户,得到的总的车辆行驶距离最短.

表 2 不同 C_r^* 下的运行结果

C_r^*	预计行驶距离	额外行驶距离	总行驶距离
0.0	1672.3	2882.2	4554.6
0.1	2041.6	1426.8	3468.3
0.2	2161.6	1086.0	3247.6
0.3	2448.3	669.00	3117.3
0.4	2465.6	486.70	2952.3
0.5	2653.6	226.70	2880.4
0.6	2735.0	98.000	2833.0
0.7	2860.2	36.100	2896.3
0.8	3027.2	1.9000	3029.1
0.9	3048.4	0	3048.4
1.0	3063.2	0	3063.2

图 1 随 C_r^* 值变化的行驶距离变化趋势图

6 结论

由于可信性测度在模糊理论中起到的作用类似于概率测度在随机理论中的作用,故可信性与决策者主观偏好的比较,更能反映决策者的风险态度,比可能性测度更能刻画问题的本质.通过对传统车辆路径问题

的拓展, 本文建立了模糊车辆路径问题的模糊机会规划模型, 并提出了求解该问题的一种混合差分进化算法. 同时, 由于决策者主观偏好值的选取对最终决策结果有巨大影响, 通过随机试验方法研究了决策者主观偏好值对最终决策目标的影响.

参考文献

- [1] Dantzing G, Ramser J. The truck dispatching problem[J]. *Management Science*, 1959, 10 (6): 80–91.
- [2] Teodorovic D, Pavkovic G. The fuzzy set theory approach to the vehicle routing problem when demand at nodes is uncertain[J]. *Fuzzy Sets and Systems* 1996, 82(3): 307–317.
- [3] Lucic P, Teodorovic D. Vehicle routing problem with uncertain demand at nodes: The bee system and fuzzy logic approach[J]. *Fuzzy Sets in Optimization*, 2003: 67–82.
- [4] Zheng Y, Liu B. Fuzzy vehicle routing model with credibility measure and its hybrid intelligent algorithm[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, 176(2): 673–683.
- [5] Cheng R, Gen M. Vehicle routing problem with fuzzy due-time using genetic algorithm[J]. *Japanese Journal of Fuzzy Theory and Systems*, 1995, 7(5): 1050–1061.
- [6] 张建勇, 李军. 模糊车辆路径问题的一种混合遗传算法 [J]. *管理工程学报*, 2005, 19(2): 23–26.
Zhang J Y, Li J. A hybrid genetic algorithm to fuzzy vehicle routing problem[J]. *Journal of Industrial Engineering/Engineering Management*, 2005, 19(2): 23–26.
- [7] Storn R. Differential evolution design of an IIR-filter[C]//*Proceedings IEEE Conference Evolutionary Computation*, Nagoya, Japan: IEEE, 1996, 268–273.
- [8] DE Home page. <http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>.
- [9] Zadeh L. Fuzzy sets[J]. *Information and Control*, 1965, 3(8): 338–353.
- [10] Kaufman A. *Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets*[M]. New York: Academic Press, 1975.
- [11] Zadeh L. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1978, 1(1): 3–28.
- [12] Liu B. *Uncertain Theory: An Introduce to its Axiomatic Foundations*[M]. Springer, Berlin, 2004.
- [13] Gen M, Cheng R. *Genetic Algorithms and Engineering Design*[M]. Wiley, New York, 1997.