

带时间窗的模糊需求多类型车辆路径 问题禁忌搜索算法

朱晓锋, 蔡延光

(广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510006)

摘要: 在对模糊需求和决策者偏好的概念进行介绍的基础上, 研究了一类单车场单发情况下客户需求模糊、车辆类型不同、车辆数量确定、时间窗约束的车辆路径优化问题. 利用禁忌搜索算法对该问题进行求解, 并给出了该问题的一个计算实例.

关键词: 模糊需求; 决策者偏好; 时间窗; 多类型车辆路径问题; 禁忌搜索算法

中图分类号: TP319

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2008) 03-0055-06

车辆路径问题 (vehicle routing problem, VRP)^[1-2]是指为服务于已知的一组顾客的一个车队, 设计一组开始和结束于一个中心出发点的最小费用路径. 每个顾客只能被服务一次, 而且一个车辆服务的顾客数不能超过它的能力. 对于传统的确定性需求的车辆路径问题, 当车辆剩余的货物量少于下一服务的客户的需求量时, 车辆把剩余的货物拉回车场, 装满货物后再返回该客户继续服务. 如果车辆剩余的货物量在客户可以接受的范围内, 则作为成功地为该客户完成了一次服务, 现实生活中这种现象也比较普遍. 例如一个货物批发配送中心, 它每天为零售商配送货物, 一辆运输车可能在配送完第 i 个客户后, 根据当前车辆的剩余能力, 车辆的剩余货物不能完全满足下一客户的期望服务需求, 但基本上可以满足客户的期望服务需求 (在客户的满意度范围内), 还是为它服务, 作为一次成功的配送服务, 还有少量的可以往后补上, 这样可以节省额外的运输费用 (剩余货物往返增加的重载费用和空载费用^[3]). 而如果放弃为该客户服务, 这样可能会造成运行中的一些“不智”行为, 从而造成不必要的资源浪费.

本文在对模糊需求和决策者偏好的概念进行介绍的基础上, 研究了一类基于模糊需求带时间窗的多类型车辆路径优化问题, 并提出解决该问题的一种禁忌搜索算法.

1 问题描述

当前对于不确定性需求的研究主要分为随机需求和模糊需求, 袁健、刘晋等人^[4-6]提出了解随机需求 VRP 问题的初步模型和解决策略, 建立一个解随机需求 VRP 问题的模型需确立三个因素: 一是每一个路径包含服务点数的范围, 二是允许服务失败的次数及策略的选择, 三是每个路线总距离的均值的计算.

李军、郭耀煌、张建军等人^[7]提出了解模糊需求信息条件下的动态 VRP 问题, 通过引入决策者偏好, 当模糊可能性大于决策者偏好值时, 允许服务下一个节点. 总之, 他们都允许服务失败, 并不允许部分服务. 本文从另外一个角度对一类模糊需求的 VRP 进行研究. 模糊需求定义为一种反映客户满意度的需求模糊数, 表示为关于需求 D 的模糊数. 本文采用三角模糊数, 客户的需求模糊数由该模糊数的隶属度函数 $\mu_{(x)}$ 表示, 如图 1 所示. 模糊需求应包含可接受的需求范围 $[d_{i\ l}, d_{i\ u}]$ (i 表示第 i 个客户) 和期望服务需求 $d_{i\ m}$ 两部分, 当客户在期望服务需求 $d_{i\ m}$ 被服务时, 客户满意度最大 ($\mu = 1$); 否则, 客户满意度随着实际服务需求与期望服务需求之间的差距的增大而降低. 若服务需求落在可接受需求范围之外 ($d_{i\ m} < d_{i\ l}$ 或 $d_{i\ m} > d_{i\ u}$), 则客户不满意 ($\mu = 0$).

收稿日期: 2007-12-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60374062); 广东省自然科学基金资助项目 (4009488); 广东省科技计划资助项目 (2004B10101038)

作者简介: 朱晓锋 (1976-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为人工智能、系统优化与决策支持.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

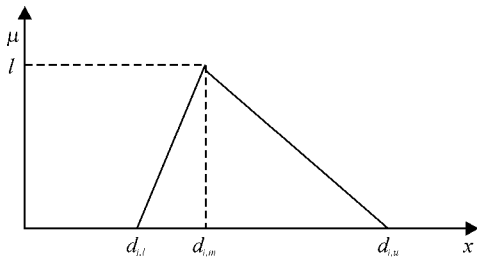


图 1 三角模糊数

具有模糊需求单发(单收)的多类型 VRP 描述为:一车场共有 K 辆各种车型的服务车辆,各辆车以 $k(k=1, 2, \dots, K)$ 表示, k 型车的容量为 $b_k(k=1, 2, \dots, K)$. 此处为简化问题,不考虑线路最大允许长度,该车场向 L 个节点(分别以 $1, 2, \dots, L$ 表示)服务,由车场派出 m 辆车($m \leq K$)完成该 L 个节点的服务,服务完成后返回车场结束服务.同时,在运行过程中要根据客户的期望需求和决策者偏好对车辆行驶路径进行动态调整.

一个最基本的假设是 $b_k \geq q(k=1, 2, \dots, K)$, 即表示各种型号的车辆至少可以服务一个节点.每个节点事先知道的需求量为模糊数 $\tilde{D}_i$. 期望实现的需求量为 d_{im} , 节点 i 与节点 j 之间的距离为 c_{ij} (假定节点间距离满足三角不等式), 求满足运输需求的行驶距离最短的车辆行驶路线. 若每个节点的服务还要求在一定的时间范围内完成, 则问题就成为有时间窗的车辆路线安排问题. 以 S_i 表示服务 i 节点的开始时间, 设完成服务 i 需要的时间(装货或卸货)表示为 T_i . 又设服务 i 的开始时间需要在一定的时间范围 $[ET_i, LT_i]$ 内, 其中 ET_i 为服务 i 的允许最早开始时间, LT_i 为服务 i 的允许最迟开始时间. 如果车辆到达 i 的时间早于 ET_i , 车辆需在 i 处等待. 如果车辆到达 i 的时间晚于 LT_i , 服务 i 要延迟进行. 这个问题称之为有时间窗的 VSP. 时间窗约束可分为软时间窗约束和硬时间窗约束两种.

对于表示节点模糊需求, 本文采用三角模糊数 $[d_{il}, d_{im}, d_{iu}]$ 来表示, 如图 1 所示. 其中 $[d_{il}, d_{im}, d_{iu}]$ 由调度人员根据以往经验和某些可利用的信息通过主观估计而获得, 分别表示该模糊数的左边界、隶属度为 l 的点及右边界.

该模糊数用隶属度函数可表示为

$$\mu_{\tilde{D}_i}(x) = \begin{cases} 0 & x < d_{il} \\ (x - d_{il}) / (d_{im} - d_{il}) & d_{il} \leq x \leq d_{im}, (d_{il} \neq d_{im}) \\ (d_{iu} - x) / (d_{iu} - d_{im}) & d_{im} \leq x \leq d_{iu}, (d_{im} \neq d_{iu}) \\ 0 & x > d_{iu} \end{cases} \quad (1)$$

对于时间窗约束的处理可分为软时间窗约束的 VSP 问题和硬时间窗约束的 VSP 问题.

1) 软时间窗约束的 VSP 问题

如果服务 i 的开始时间在 $[ET_i, LT_i]$ 范围内, 如果配送车辆到达 i 时的时间早于 ET_i 或者晚于 LT_i , 则配送车辆要付出一定的惩罚费用. 设配送车辆到达服务 i 的时间为 R_i , 则惩罚费用 $P_i = a \max(ET_i - R_i, 0) + b \max(R_i - LT_i, 0)$, P_i 表示惩罚费用, a, b 为早到和晚到的惩罚系数.

2) 硬时间窗约束的 VSP 问题

如果服务 i 的开始时间在 $[ET_i, LT_i]$ 范围内, 则它要求配送车辆必须在这个时间范围内到达. 惩罚费用: $P_i = M \max(ET_i - R_i, 0) + M \max(R_i - LT_i, 0)$, P_i 表示惩罚费用, M 为早到和晚到的惩罚系数 $+\infty$. 用计算机优化时, 硬时间窗的惩罚系数可用一很大的正数代替 $+\infty$.

3) 软硬时间窗约束的处理对于时间窗约束, 本文采用的是增加惩罚的方式. 如果在规定的时间内完成任务, 则不加惩罚; 如果在时间窗之外到达送货点, 则会给这条路径加一个惩罚值, 使它具有较小的适应性, 路径的适应值为

$$f_i = \sum_{x_i} \sum_{y_j \neq i} dx_i y_j + a \max(ET_j - R_j, 0) + b \max(R_j - LT_j, 0),$$

其中, f_i 为路径的适应值, 适应值越小表示路径越好; $[ET_j, LT_j]$ 为送货点的时间窗; $dx_i y_j$ 为 x 送货点到 y 送货点的距离, i, j 为配送顺序; a, b 为软时间窗条件下配送车辆早到和晚到送货点的惩罚系数(若为硬时间窗, a, b 可取一很大的正数); R_j 为配送车辆到达送货点 j 的时间.

2 模型建立

任意给定一个顾客排列, 对于确定性 VSP^[8], 随着车辆服务节点数的增加, 很容易确定该车辆是否能继续服务下一节点. 但对于具有模糊需求的 VSP 来说^[9], 很多情况下很难确定该车辆在完成前 l 个节点的服务后, 是否还有能力继续服务下一节点. 只是有一点很明白, 当车辆剩余容量越大、下一节点需求量越小, 车辆能够服务下一节点的机会就越大. 给定节点模糊需求 $\tilde{D}_i = (d_{il}, d_{im}, d_{iu})$ 和实际期望的需求为 $d_i (d_{im} = d_i)$. 一车辆服务 l 个节点以后, 车辆载运量为 $\tilde{D}'_l = \sum_{i=1}^l \tilde{D}_i$, 车辆剩余容量为 $\tilde{Q}_l = C - \tilde{D}'_l$. 在车辆调度过程中, 由 $\tilde{Q}_l$ 和下一节点需求 $\tilde{D}_{l+1}$

的比较来确定是否继续服务下一节点。

但在实际运行中, 当完成某节点服务后, 此时有必要 (而且随着信息技术的飞速发展有可能) 根据当时的车辆实际装载情况来决定是否继续服务下一节点, 即对车辆路径进行实时、动态的调整。这种情况下, 当车辆服务 l 个节点以后, 车辆剩余能力为一确定量 $\tilde{Q}_l$ 。

根据模糊数学知识, 车辆剩余能力能否达到下一节点需求量的客户满意度为 P , 且

$$P = \text{pos}(|\tilde{D}_{l+1}| \leq \tilde{Q}_l) = \begin{cases} 1 & d_{m, (l+1)} \leq \tilde{Q}_l \\ (\tilde{Q}_l - d_{l, (l+1)}) / (d_{m, (l+1)} - d_{l, (l+1)}) & d_{l, (l+1)} < \tilde{Q}_l < d_{m, (l+1)}, \\ 0 & d_{l, (l+1)} \geq \tilde{Q}_l \end{cases} \quad (2)$$

很明显, P 越大, 顾客满意度越大, 该车能够完成下一任务的可能性就越大。在此, 令 P^* 表示客户是否接受该车为他服务的 P 的临界值 (这里称为主观者偏好)。当 $P \geq P^*$ 时, 该客户接受为他服务, 若 $P < P^*$, 该客户不接受该服务, 该车返回车场再从车场派一种型号的车辆装满货物后继续完成剩余运输任务。令 n_k 为第 k 辆车所包含的节点数 (若 $n_k = 0$ 表示未启用第 k 辆车), 用集合 R_k 表示第 k 条路径, 其中的元素 $r_{k,i}$ 表示节点 $r_{k,i}$ 在路径 k 中的顺序为 i (不包含车场)。令 $r_{k,0} = r_{k,n_k+1}$ 表示车场, 则可建立如下具有模糊需求带时间窗的多类型车辆路径问题的数学模型^[10]:

$$\sum_{k=1}^K \left[l_k \sum_{i=1}^{n_k+1} C r_{k,i-1}, r_{k,i} + a \max(\text{ET}_{(r_{k,i})} - R_{(r_{k,i})}, 0) + b \max(R_{(r_{k,i})} - \text{LT}_{(r_{k,i})}, 0), \right] \quad (3)$$

$$\text{s.t. } |C r_{k,i-1}, r_{k,i} > 0 \Rightarrow \text{pos}|\tilde{D}_{r_{k,i}}| \leq \tilde{Q}_{r_{k,i-1}}| \geq P^* \quad (i = 1, 2, \dots, n_k), \quad (4)$$

$$C r_{k-1, n(k-1)}, r_{k,1} = 0 \Rightarrow \text{pos}|\tilde{D}_{r_{k,1}}| \leq \tilde{Q}_{r_{k-1}, n(k-1)}| < P^* \quad (k = 1, 2, \dots, K), \quad (5)$$

$$0 \leq n_k \leq L \quad (k = 1, 2, \dots, K; n_k \text{ 为整数}). \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K n_k = L \quad (7)$$

$$R_k = \{r_{k,i} \mid r_{k,i} \in \{1, 2, \dots, L\}, i = 1, 2, \dots, n_k\}, \quad (8)$$

$$R_v \cap R_w = \varnothing, \forall v \neq w (v, w = 1, 2, \dots, K), \quad (9)$$

$$l_k = \begin{cases} 1, & n_k \geq 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (10)$$

$$S r_{k, (i-1)} + t r_{k, (i-1)} + T_i + t r_{k, (i-1)}, r_{k,i} = S r_{k,i} \quad (11)$$

$$t_i = \max\{\text{ET}_i - S_i, 0\} \quad (i = 1, 2, \dots, L), \quad (12)$$
$$S_i \leq \text{LT}_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, L). \quad (13)$$

模型中, 目标 (3) 表示最小化行驶费用; 约束 (4) 表示一条路径中两任务可连续服务的条件, 即下一客户是否接受该车为他服务的满意度 P 的临界值应不小于主观偏好 P^* ($P^* \in [0, 1]$), $\tilde{D}_{r_{k,i}}$ 表示 $r_{k,i}$ 客户的需求量, $\tilde{Q}_{r_{k,i-1}}$ 表示车辆完成 $r_{k,i-1}$ 点服务后车辆剩余容量; 约束 (5) 表示第 $(k-1)$ 辆车在服务完 $(k-1)$ 路径的最后一个客户后的剩余能力不能满足 K 路径的第 1 个客户的基本需求 (在客户的满意度范围之外); 式 (6) 表明每条路径服务的节点数不超过总节点数; 等式 (7) 要求每个节点都得到车辆的服务; 等式 (8) 表示每条路径的节点组成; 等式 (9) 则限制每个节点的需求仅能由一辆车来完成; 式 (10) 表示第 k 辆车是否启用, 1 表示启用, 0 表示未启用; 式 (11) 表示每条配送路线上配送车辆到达下一个客户的时刻 = 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 + 从当前客户到下一个客户配送车辆的行驶时间; 式 (12) 保证了配送车辆卸货的时刻大于或等于该客户的时间窗开始时刻, 当车辆到达该客户的时刻小于 (即早于) 该客户的时间窗开始时刻时, 车辆需要在该客户处等待, 一直等到时间窗开始时刻, 才进行卸货, 即等待时间为该客户的时间窗开始时刻与车辆到达该客户的时刻的差; 当车辆到达该客户的时刻大于 (即晚于) 或等于该客户的时间窗开始时刻时, 则车辆在该客户处不等待, 即等待时间为 0。式 (13) 表示车辆到达某个客户的时刻必须小于 (即早于) 或等于该客户的时间窗结束时刻。式 (12)、(13) 共同保证满足客户的时间窗约束。

3 算法

禁忌算法是近年来由局部邻域搜索扩展而来的一种全局逐步寻优算法, 通过模拟人的记忆过程, 达到整体寻优的效果。标准的 TS 算法的基本思想是:

给定一个当前解和邻域操作,然后在当前解的邻域中确定若干候选解,若最佳候选解对应的目标值优于“best so far”状态,则忽视其禁忌特性,用其替代当前解和“best so far”状态,并将相应的对象加入禁忌表,同时修改禁忌表中各个对象的任期;若不存在上述候选解,则选择在候选解中非禁忌的最佳状态为新的当前解,而无视它与当前解的优劣,同时将相应的对象加入禁忌表,并修改禁忌表中各个对象的任期;如此重复上述迭代搜索过程,直至满足停止准则。

为避免 TS 的整体寻优能力受初始解影响太大的缺点,本文改进禁忌算法构造多个初始解,同时改进禁忌表的禁忌范围。构造的多个初始解能大大扩大搜索邻域的范围,而改进的禁忌表存储了各个初始解的禁忌路径。由于初始解的增多,候选解范围的扩大,因而它所要求的禁忌长度也会变长。改进的禁忌表作用有两点:一是避开独立的单个初始解邻域的重复循环搜索;二是各个初始解的邻域之间能互相联系,向新的搜索范围和优化目标前进。在改进的禁忌表的影响下,能最大程度上摆脱对单个初始解的依赖性,不会局限于点点操作,提高整体寻优能力。

3.1 初始解的产生

采用自然数编码,用 0 表示车场,其他自然数表示客户。首先产生一组自然数序列,再根据客户满意度和决策者偏好插入车场 0 例如一初始解表达为: 0-4-5-2-0-1-3-0 该初始解表示两条路径: ①0-4-5-2-0 ②0-1-3-0 从车场 0 出发,顺序服务 4、5、2 后,返回车场装货后,继续顺序服务送货点 1、3 返回车场。

3.2 邻域的搜索

邻域函数采用 2-OPT 交换产生,每变换一次,重新根据 $P < P^*$ 约束分配车场,如路径 0-4-5-2-0-1-3-0 如果选择 5 和 1 进行变换,则变换后为: 0-4-1-2-0-5-3-0 如果 1 结点的货物较多,根据约束条件分配车场后路线最终变为: 0-4-1-0-2-5-3-0

3.3 禁忌表的处理

改进的 TS 由于采用了多个初始解,所以禁忌表的长度应该比一般的 TS 禁忌表长。禁忌表中每加入一个禁忌对象,它所禁忌的不仅是当前初始解的邻域,同时也禁忌其他各个初始解的相同邻域。各个初始解各自搜索自己的邻域,而加大的禁忌表把各个初始解联系起来,这样,不仅保持了 TS 局部“爬山”能力强的优点,同时也使其全局寻优能力大大加强。

3.4 车辆数量限制的处理

本文采用的是增加惩罚的方式,如果限制了车辆的使用数量不能超过 K 辆,派出的车辆数 m 超出了规定的最大车辆数 K ,则这次运输调度方案要付出一定的惩罚费用: $H_k = h \max(m - K, 0)$, H_k 表示惩罚费用, h 为超出规定车辆数的惩罚系数。由于车场车辆数有限,不允许出现这样的运输调度方案, h 为超出规定车辆数的惩罚系数 + ∞ 。为使它具有较小的适应性,用计算机优化时,惩罚值可用一个很大的正数代替 + ∞ 。运输调度方案的适应值为

$$\min f_h = \sum_{k=1}^k \left[l_k \sum_{i=1}^{n_k+1} C r_{k(i-1)}, n_{k,i} \right] + h \max(m - K, 0).$$

3.5 容量约束的处理

本文所描述的有决策者偏好的约束,当 $P \geq P^*$ 时,该车继续完成下一运输任务;如果 $P < P^*$,插入车场 0 该车返回车场装满货物后继续完成剩余运输任务。

3.6 评价函数

$$\min f_h = \sum_{k=1}^K \left[l_k \sum_{i=1}^{n_k+1} C r_{k(i-1)}, n_{k,i} + a \max(ET_{(d_k,i)} - R_{(r_k,i)}, 0) \right] + b \max(R_{(d_k,i)} - LT_{(r_k,i)}, 0) + h \max(m - K, 0).$$

3.7 车型的选择

把每辆车的信息(型号、载重等)存入一个结构体,把各种车辆编号,存为序列,随机打乱顺序,例如:如果车辆的随机序号为: 3 1 2 初始解为 0-4-5-2-0-1-3-0-7-6-0 则车场 0 的插入是由 3 1 2 这个序号顺序的车辆容量与限制的影响下产生的。

3.8 终止规则

当迭代次数达到最大步数或给定的一个连续迭代次数内,且当前的最优解没有改变时,则终止算法。

4 算例

用 c 语言程序 TS 求解有模糊需求容量约束、车辆数限制、客户时间窗约束、多车型情况下的 VSP 问题,并对一个由计算机随机生成的实例(表 1)在主频为 1.4 GHz、内存为 512 MB 的计算机上进行了随机模拟实验,基于以上基本配置,决策者偏好 P^* 在 0 到 1 之间变动,表 2 给出了每个设置下 10 次运行结果中最好的一条路径。

下面给出其中 1 个试验结果及分析,具体资料如表 1。

表 1 实例 1 的 15 个客户的地理坐标、模糊需求量及时间窗数据

客户编号	客户模糊 需求量 /t	时间窗		坐标 /km		客户编号	客户模糊 需求量 /t	时间窗		坐标 /km	
		开始时段	结束时段	X	Y			开始时段	结束时段	X	Y
0	0	0	$+\infty$	50	50	8	0.1, 0.2, 0.4	9	79	56	4
1	0.5, 1.0, 1.5	74	144	19	0	9	1.1, 1.7, 2.3	37	107	16	81
2	1.2, 1.8, 2.5	58	128	33	3	10	0.3, 0.8, 1.4	21	121	68	76
3	0.5, 1.1, 1.7	15	85	35	21	11	0.4, 0.9, 1.5	74	174	41	10
4	0.2, 0.6, 1.0	96	166	53	19	12	0.4, 0.8, 1.2	58	158	83	43
5	1.1, 1.9, 2.6	47	117	70	94	13	1.3, 1.9, 2.5	15	125	25	91
6	0.7, 1.4, 2.2	85	155	27	44	14	1.0, 1.6, 2.1	56	156	73	29
7	0.6, 1.2, 1.8	21	91	10	69	15	0.5, 0.9, 1.3	87	187	70	18

0表示车场,其余自然数表示送货点,设车场现能派出的车辆有 A、B、C 3种型号, B型号车 1辆,代码为 B1, A、C型号各 2辆,代码分别为 A1、A2、C1、C2,车辆在一般公路上速度为 1个单位速度, A、B、C 3种型号的车辆最大容量分别为 5、4、3,相同情况下,容量小的车派出费用小,即如果一项任务质量为 2,虽然 A、B、C型车都能派出完成任务,但是派出 C型车最经济. 这里全部忽略送货点卸货的时间.

求解软时间窗问题,取 $a=0.5$ $b=2.7$,车场时间窗都为 $[0, +\infty]$. 决策者偏好 在 0到 1之间变动,分别取 $\alpha=0.3, 0.6, 0.9, 1$, 在每个设置下进行 10次试验,得到 $\alpha=0.3$ 时的一个近似最优解,最小费用为 577.673 9,如表 2所示.

表 2 各配送车辆的配送数据 ($P^*=0.3$)

选用配送 车辆型号	配送 路径	发车 时间	配送里 程 /km	配送 质量 /t	惩罚 费用 /元	总配 送里程 /km
B1	$0 \rightarrow 13 \rightarrow 9 \rightarrow 0$	0	107.485 3	3.6	0	547.458 8
A2	$0 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 0$	0	153.147 5	5	30.22	
A1	$0 \rightarrow 3 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 4 \rightarrow 15 \rightarrow 14 \rightarrow 0$	0	150.399 6	5	0	
C1	$0 \rightarrow 12 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 0$	0	136.426 3	3	0	

路径 1: B1: $0 \rightarrow 13 \rightarrow 9 \rightarrow 0$

客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗	客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗
0	0		0	$[0, +\infty]$	9	1.7	1	61.47	$[37, 107]$
13	1.9	1	48.02	$[15, 125]$	0			82.56	$[0, +\infty]$

路径 2: A2: ($0 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 0$)

客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗	客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗
0			0	$[0, +\infty]$	7	1.2	1	94.94	$[21, 91]$
2	1.8	1	58.00	$[58, 128]$	6	1.0	0.43	112.57	$[85, 155]$
1	1.0	1	74.00	$[74, 144]$	0			131.21	$[0, +\infty]$

路径 3: A1: ($0 \rightarrow 3 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 4 \rightarrow 15 \rightarrow 14 \rightarrow 0$)

客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗	客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗
0			0	$[0, +\infty]$	4	0.6	1	96.00	$[96, 166]$
3	1.1	1	32.64	$[15, 85]$	15	0.9	1	113.00	$[87, 187]$
8	0.2	1	59.66	$[9, 79]$	14	1.3	0.5	124.00	$[56, 156]$
11	0.9	1	75.82	$[74, 174]$	0			139.12	$[0, +\infty]$

路径 4: C1: ($0 \rightarrow 12 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 0$)

客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗	客户编号	配送质量 /t	P^*	开始服务时刻	时间窗
0			0	$[0, +\infty]$	5	1.4	0.375	112.35	$[47, 117]$
12	0.8	1	58	$[58, 158]$	0			133.23	$[0, +\infty]$
10	0.8	1	94	$[21, 121]$					

5 结束语

本文比较巧妙地把不同车型的指标、车辆数量、时间窗、模糊容量等约束通过控制车场插入和惩罚项加入到优化解中,通过实验,获得了比较好的优化效果.是对 VRP 扩展的进一步探究,是比较切合实际的,为物流配送车辆调度的实用化打下了良好的基础.除此之外,在实际问题中还可能同时发送和接收、考虑路况信息、发车时间、服务时间、模糊运行时间等约束,还有待于做进一步的研究.

参考文献:

- [1] Gendreau M, Hertz A, Laporte G. A tabu search heuristics for the vehicle routing problem [J]. Management Science, 1994, 40(1): 1276-1290
- [2] Gendreau M. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers [J]. Operation Research, 1996, 44(3): 469-477.
- [3] 吴建国. 数学建模案例精编 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [4] 袁健, 刘晋, 卢厚清. 随机需求情形 VRP 的退火网络解法 [J]. 系统工程理论与实践, 2002, 3(4): 109-113.
- [5] 刘浩, 钱小燕, 李舒展. 单类型车辆随机需求 VRP 的一个算法 [J]. 南京建筑工程学院学报, 2001, 4: 25-29.
- [6] 倪勤, 袁健, 刘晋. 随机需求的车辆路线问题的新模型 [J]. 运筹与管理, 2001, 10(3): 74-79.
- [7] 张建勇, 李军, 郭耀煌. 模糊需求信息条件下的实时动态车辆调度问题研究 [J]. 管理工程学报, 2004, 18(4): 69-72.
- [8] 蔡延光, 钱积新, 孙优贤. 多重运输调度问题基于双表的并行表搜索算法 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(11): 20-26.
- [9] 王凌. 智能优化算法及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [10] 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 [J]. 系统工程学报, 2004, 19(1): 75-80.

Research on Multi-Vehicle Scheduling Problems with Fuzzy Demand and Time Windows

Zhu Xiao-feng, Cai Yan-guang

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

Abstract After a simple description of the fuzzy demand problem and decision maker's preference, a series of the multi-vehicle Routing problems with fuzzy demand and time windows in the condition of pure delivery and limit to the number of vehicles are studied. These problems are solved by using Tabu search algorithm.

Key words fuzzy demand; decision maker's preference; time windows multi-vehicle routing problem; Tabu search algorithm