

# 具有模糊时间窗的转运联盟车辆路径及遗传优化<sup>①</sup>

雷 晖<sup>1</sup>, 杨皎平<sup>2</sup>, 张丽凤<sup>2</sup>, 田 洋<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(苏州工业职业技术学院 软件与服务外包学院, 苏州 215008)

<sup>2</sup>(渤海大学 管理学院, 锦州 121000)

<sup>3</sup>(辽宁工程技术大学 理学院, 阜新 123000)

**摘 要:** 在对带有模糊时间窗的企业间转运联盟车辆路径问题进行描述的基础上, 构建了该问题的多目标规划模型; 针对该模型提出了一种混合遗传算法, 该算法在经典车辆路径遗传编码的基础上, 通过若干转化和修正算法得到了一种三元式编码, 并改进了交叉和变异算子; 最后通过实例说明了模型和算法的有效性.

**关键词:** 车辆路径问题; 模糊时间窗; 企业转运联盟; 遗传算法

## Enterprise Transfer Alliance Vehicle Routing Problem Based on Fuzzy Time Windows and its Genetic Algorithm

LEI Hui<sup>1</sup>, YANG Jiao-Ping<sup>2</sup>, ZHANG Li-Feng<sup>1</sup>, TIAN Yang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(Software and Service Outsourcing College, Suzhou Institute of Industrial Technology, Suzhou 215104, China)

<sup>2</sup>(School of Management, Bohai University, Jinzhou 121000, China)

<sup>3</sup>(College of Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

**Abstract:** After general description of enterprise transfer alliance vehicle routing problem based on fuzzy time windows, a multi-objective mathematical model for the problem is built up. Then, a hybrid genetic algorithm is proposed to this kind of problem. In this algorithm, a ternary type chromosome coding mode is used through some transformation and correction algorithms, based on the classical vehicle routing genetic coding. Additionally, crossover operator and mutation operator are also improved. In the end of the article, the validity of model and the algorithm is proven by an example.

**Key words:** vehicle routing problem; fuzzy time windows; enterprise transfer alliance; 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<sup>[1,2]</sup>. 很多学者讨论了协同运输模型, 如蔡延光等<sup>[3,4]</sup>提出的联盟运输问题, 陈宁等<sup>[5]</sup>提出的多企业协同运输问题, 刘冉等<sup>[6]</sup>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, 杨皎平等<sup>[7]</sup>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则考虑了协同运输的多企业和多产品的特性.

带模糊时间窗的车辆路径问题近年来才引起学者的关注, Cheng 和 Gen<sup>[8]</sup>最早提出了带有模糊预约时

间的车辆路径问题, 并研究了单对单货物收发情况下的车辆路径问题, 在此基础上, 张建勇<sup>[9]</sup>建立了具有模糊预约时间的多对多货物收发情况下的车辆路径问题模型, 并给出了一种启发式算法, 关于模糊时间窗车辆路径问题的求解, 张建勇<sup>[9]</sup>和王旭平<sup>[10]</sup>采用了混合遗传算法, 崔雪丽<sup>[11]</sup>则试图通过蚁群算法对此进行求解, TANG<sup>[12]</sup>则采用两阶段优化方法, 王君等<sup>[13]</sup>则提出了一种多目标禁忌搜索算法.

在上述基础上, 本文首先建立基于模糊时间窗的企业间转运联盟问题模型, 然后提出求解该问题的遗传算法, 最后以实例证明所建立模型在提高客户满意

<sup>①</sup> 基金项目:辽宁省自然科学基金(201202004);辽宁省社科基金项目(L11BJY016)

收稿时间:2013-07-24;收到修改稿时间:2013-08-22

度、节省企业物流资源等方面的有效性。

## 1 问题描述及数学模型

### 1.1 问题描述

具有模糊时间窗的企业间转运联盟车辆路径问题(ETAVRPFTW)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  $C(i,h)$  的指定的服务时间为三角模糊数  $[ET(i,h), DT(i,h), LT(i,h)]$ , 产品的需求量为  $D(i,h)$ , 第  $i$  个企业的第  $k$  辆车为  $V(i,k)$ , 每个车辆的载荷为  $\Omega$ , 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, 一条配送线路既包括企业  $i$  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.

由于企业间转运时, 企业也充当了客户, 假定其指定的服务时间为任意值.

$x(\alpha, \beta, \gamma)$  表示车辆  $\alpha$  是否经由  $\beta$  开往  $\gamma$ ,  $x(\alpha, \beta, \gamma)$  取 1 或 0,  $T(\beta, \gamma)$  表示从节点(企业或用户)  $\beta$  到节点(企业或用户)  $\gamma$  的行驶时间, 假设单位时间的费用为 1,  $ST(\beta)$  表示车辆为节点  $\beta$  开始服务的时间,  $KT(\beta)$  表示车辆在节点  $\beta$  花费的服务时间,  $w(\beta)$  表示车辆在节点  $\beta$  处等待开始服务的时间,  $\mu(\beta, ST(\beta))$  表示车辆在节点  $\beta$  处的开始服务时间  $ST(\beta)$  在模糊时间窗  $[ET(\beta), DT(\beta), LT(\beta)]$  的隶属度, 代表顾客的满意程度.

### 1.2 数学模型

针对上述描述, 在综合考虑企业物流成本最低和顾客满意水平最高的基础上, ETAVRPFTW 的优化目标有如下两个:

目标函数 f1: 最小化运输费用

目标函数 f2: 最大化顾客总体满意度

$$\begin{aligned} \min f_1 = & \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{K_i} \left( \sum_{j=1}^N \sum_{h=1}^{M_j} T(E_i, C(j,h)) \times x(V(i,k), E_i, C(j,h)) \right. \\ & + \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^N \sum_{h=1}^{M_s} T(C(j,h), C(s,l)) \times x(V(i,k), C(j,h), C(s,l)) \\ & \left. + \sum_{s=1}^N \sum_{l=1}^{M_s} T(C(s,l), E_j) \times x(V(i,k), C(j,h), E_j) \right) \\ & + \sum_{j \neq i, j=1}^N \sum_{l=1}^N T(E_i, E_j) \times \text{int} \left\{ \sum_{k=1}^{K_i} \left( \sum_{h=1}^{M_j} \sum_{s=1}^{M_s} D(j,h) \times x(V(i,k), \right. \right. \\ & \left. \left. C(j,h), C(s,l)) + \sum_{h=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N D(j,h) \times x(V(i,k), C(j,h), E_s) \right) / \Omega \right\} \\ \max f_2 = & \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^{m_i} \mu(i,h, ST(i,h)) \end{aligned}$$

目标函数 f1 中 int 为向上取整, 综合取值约束, 运输能力约束和顾客满意度约束等, 可以给出如下的约束条件, 其中约束(1)和约束(2)表示有 1 辆执行配送任务的车辆路过某客户.

约束(1):

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^N \sum_{l=1}^{M_s} x(V(j,k), C(i,h), C(s,l)) \\ & + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^N x(V(j,k), C(i,h), E_s) = 1 \\ & \forall C(i,h) \in C(i), i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

约束(2):

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^N \sum_{h=1}^{K_s} x(V(j,k), C(s,h), C(i,l)) \\ & + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{s=1}^N x(V(j,k), E_s, C(i,l)) = 1 \\ & \forall C(i,l) \in C(i), i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

约束(3)表示每个执行配送任务车辆的载荷约束:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{M_j} \sum_{s=1}^N \sum_{h=1}^{M_s} \left[ D(j,l) x(V(i,k), C(s,h), C(j,l)) \right. \\ & \left. + D(j,l) x(V(i,k), E_s, C(j,l)) \right] \leq \Omega \\ & k=1,2,\dots,K_i, i=1,2,\dots,N \end{aligned}$$

约束(4)表示每个配送车辆不能从某个节点到自身:

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

约束(5)表示顾客的满意度不低于最低要求  $\sigma_{ih}$ :

$$\mu(i,h, ST(i,h)) \geq \sigma_{ih}, \quad h=1,2,\dots,m_i, i=1,2,\dots,N$$

约束(6)表示一条线路上两个节点相邻的条件:

$$x(\alpha, \beta, \gamma) \times w(\gamma) \geq 0$$

$$w(\gamma) = ST(\gamma) - (ST(\beta) + KT(\beta) + T(\beta, \gamma))$$

$$\alpha \in \cup V(i); \beta, \gamma \in \cup C(i)$$

## 2 混合遗传算法

遗传算法的编码中, 基于张建勇<sup>[9]</sup>和王旭平<sup>[10]</sup>的遗传编码并取消了顾客的插入操作, 使得编码染色体和解码染色体一一对应。

### 2.1 染色体结构

本文将染色体分为编码染色体 P 和解码染色体 Q, 两者一一对应, 编码染色体就是一个客户间顺序的排列, 解码染色体用基因序列(Q1,Q2,...,QN)表示(如图 1)。

车辆: $V(i, k_1)$	车辆: $V(j, k_1)$	...	车辆: $V(i, v)$
客户: $\beta$	客户: $\gamma$	...	客户: $z$
服务时间: $ST(\beta)$	服务时间: $ST(\gamma)$	...	服务时间: $ST(z)$

图 1 解码染色体表达方式

其中基因  $Q_i$  是一个三元组( $V(i, k), \beta, ST(\beta)$ ), 表示某个客户  $\beta$  由第  $i$  个企业的第  $k$  辆车服务, 开始服务时间为  $ST(\beta)$ 。要求 Q 中第一元组  $V(i, k)$  字段相同的基因相邻近, 同为  $V(i, k)$  的基因中, 客户出现的顺序就为车辆的服务顺序。

### 2.2 种群初始化

初始化种群主要包括三个阶段, (1)假定 N 个企业供应的产品相同, 在此情况下产生初始可行的染色体; (2)采用 Cheng 和 Gen<sup>[8]</sup>提出的推一碰一掷模糊优化程序对初始可行染色体的开始服务时间进行优化以使顾客获得最大的满意度; (3)借鉴杨皎平<sup>[7]</sup>的染色体编码思路, 通过在初始可行染色体尾部追加基因片段, 来考虑因企业间产品不同需要发生的转运问题。

#### 2.2.1 产生初始可行种群:

(1) 将所有企业的所有顾客随机排列, 得到初始编码染色体;

(2) 根据初始编码染色体, 采取如下填充式启发算法得到初始解码染色体;

Step1: 令  $n=1$ , 提取编码染色体 P 中排列最前面的顾客  $P_n$ , 令  $\beta=P_n$ , 选择到达该顾客时间最短的一个企业  $E_i$ , 从企业  $E_i$  开出一辆车  $V(i, k)$  服务该顾客(此时  $k=1$ ), 令  $ST(\beta)=ET(\beta)$ , 将( $V(i, k), \beta, ST(\beta)$ )填入到编码染色体 Q(此时 Q 为空)的基因  $Q_n$  中。

Step2: 从初始编码染色体中删除该顾客  $P_n$ , 令  $P=P \setminus P_n$ , 如果  $P=\Phi$ (空集), 则算法结束, 得到初始解码

染色体; 否则执行 Step3。

Step3: 令  $n=n+1$ , 提取 P 中最前面的顾客  $P_n$ , 令  $\beta=P_n$ , 判断  $ST(P_{n-1})+KT(P_{n-1})+T(P_{n-1}, \beta) \leq LT(\beta)$  是否成立, 若成立, 执行 Step4, 否则执行 Step5。

Step4: 令  $ST(\beta)=\max[ET(\beta), ST(P_{n-1})+KT(P_{n-1})+T(P_{n-1}, \beta)]$ , 将( $V(i, k), \beta, ST(\beta)$ )填充到第一元字段为  $V(i, k)$  的基因片段的紧后片段  $Q_n$  中, 执行 Step2。

Step5: 对于顾客  $\beta$ , 选择达到该顾客时间最短的一个企业  $E_i$ , 新开出一辆车  $V(i, k)$ , 令  $ST(\beta)=ET(\beta)$ , 将( $V(i, k), \beta, ST(\beta)$ )填入到编码染色体  $Q_n$  中, 执行 Step2。

在上述算法中, 有两点需要说明: (1)为了保证  $\mu(i, h, ST(i, h)) \geq \sigma_{ih}$ , 可令  $ET_i = \min\{t | \mu(i, h, t) = \sigma_{ih}\}$ ,  $LT_i = \max\{t | \mu(i, h, t) = \sigma_{ih}\}$ , 即截去  $C(i, h)$  可容忍范围  $[ET(i, h), DT(i, h), LT(i, h)]$  中隶属度小于  $\sigma_{ih}$  的时间段。(2)由于企业间的转运需要时间, 因此在新开出车辆时, 寻找达到顾客  $\beta$  时间最短的一个企业  $E_i$  时, 如果  $\beta \in C(i)$ , 且  $\beta \in C(j)$ , 一定要满足  $T(E_j, E_i) + KT(E_i) + T(E_i, \beta) \leq LT(\beta)$ 。

#### 2.2.2 使用推一碰一掷算法确定最佳服务时间

基于 2.2.1 产生的可行解码染色体中每个顾客的开始服务时间均为最早可行的开始服务时间, 服务时间并不是最优的, 因此需要对其服务时间进行微调, 使其在不改变染色体可行性的条件下, 达到顾客满意度最大化, 对于这一微调, Cheng 和 Gen<sup>[8]</sup>提出了推一碰一掷模糊优化程序, 在此基础上张建勇<sup>[9]</sup>进行了改进和拓展, 本文借鉴这一算法来确定顾客的最佳服务时间, 具体算法不再赘述, 可参见相关文献, 其基本原理是以路径计划中的紧路径为基本处理对象, 对  $ST(\beta)$  进行后移, 使其最大限度的靠近顾客的期望服务时间  $DT(\beta)$ , 所谓紧路径是指任何相邻顾客间都没有等待时间的顾客序列。

可以用图 2 加以说明, 图 2 为一个车辆服务客户的先后顺序, 根据 2.2.1 可知每个顾客的服务时间均为最早可行的服务时间, 其上部共有 3 个紧路径。首先对紧路径 1 中的各个顾客开始服务时间“统一后移”使其中各个顾客的满意度提升, 紧路径 1 不移动; 接着对紧路径 2 中各个顾客的开始服务时间“统一后移”(后移的时间既要保证顾客的满意度递增, 又不能超过后面的车辆等待时间); 最后对紧路径 3 的开始服务时间进行后移, 紧路径 3 不后移。

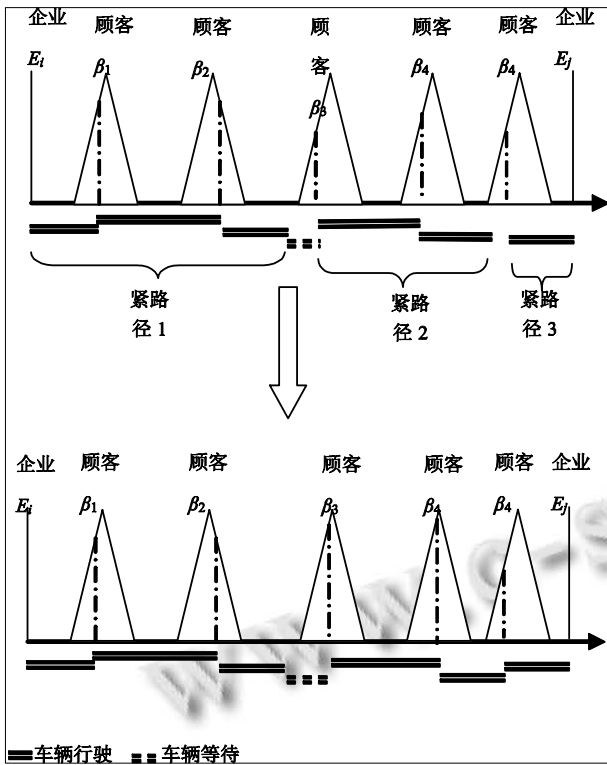


图 2 顾客最佳服务时间修正

以图 3 所示的 2 个企业 A, B, 每个企业 5 个客户为例, 其中客户 1 至 5 为 A 的客户, 6 至 10 为 B 的客户。

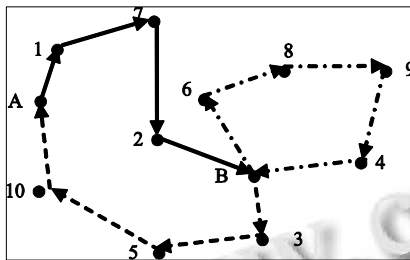


图 3 企业间转运联盟示例

对于如图 4 实线所示的初始解码染色体, A 企业为 B 企业配送了客户 7, B 企业为 A 企业配送了客户 3、4、5, 因此企业 B 为了将自己的产品运往 A 需要共派  $Z_{BA} = \text{int}((D(7)/\Omega))$  次车辆, 同时企业 A 为了将自己的货物运往 B 需要派往企业 B 共  $Z_{AB} = \text{int}((D(3) + D(4) + D(5))/\Omega)$  次车辆, 不妨假定  $Z_{BA} = 1, Z_{AB} = 2$ , 则需要上述编码后面追加三个基因(如图 4 虚线所示)。

另外为了进一步体现企业之间的联盟合作, 即企业 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(如图 2 所示客户 1、7、2, 配送车辆由企业 A 出发, 终到企业 B; 客户 3、5、10, 配送车辆由企业 B 出发, 终到企业 A; 客户 6、8、9、4, 配送车辆由企业 B 出发, 并回到 B), 在对图 4 所示解码染色体解码时需要进行进一步转化, 如图 4 所示。

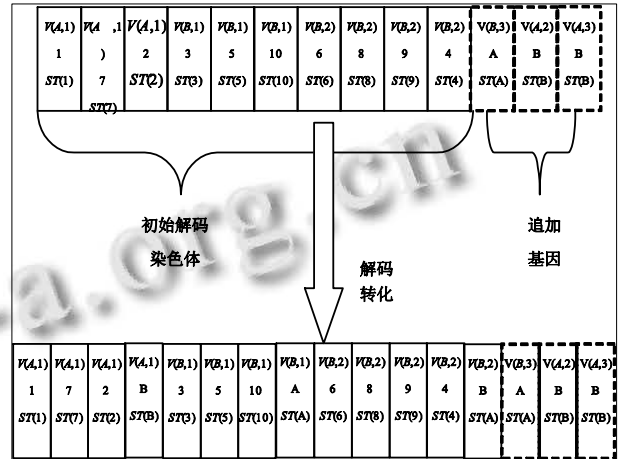


图 4 解码染色体修正

对于一般的初始解码染色体, 只需要执行的程序如下:

Step1: 令企业  $E_i$  向  $E_j$  的转运量  $\Delta_{ij} = 0$ , 逐个进行扫描解码染色体用基因序列  $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_N)$ , 对于  $Q_i = (V(i, k), \beta, ST(\beta))$  中, 若  $\beta \notin C(i)$ , 且  $\beta \in C(j)$ , 则  $\Delta_{ij} = \Delta_{ij} + D(\beta)$ 。

Step2: 令  $Z_{ij} = \text{int} \Delta_{ij}$ , 向基因序列 Q 尾部增加  $Z_{ij}$  个基因  $(V(i, k), j, ST(j))$ 。

### 2.3 遗传操作

在遗传操作中, 复制、交叉、变异操作对象均为编码染色体, 即客户顺序的排列, 在计算适应度时再将其转化为解码染色体。

#### 2.3.1 适应度计算

对于任意一代的编码染色体, 首先经过 2.2.1、2.2.2 和 2.2.3 逐步转化为可行的解码染色体; 接着按照图 4 所示的原理进行解码然后计算目标函数  $f_1$  和  $f_2$ ; 然后对两个目标函数值进行综合, 由于每个染色体的  $f_1$  和  $f_2$  不在一个数量级别, 因为普通的加权平均很难兼顾两个目标, 本文则将所用个染色体的  $f_1$  和  $f_2$  进行分别从小到大排序, 令某个染色体的  $f_1$  值排序为第  $\pi(f_1)$ ,  $f_2$  的排序值为第  $\rho(f_2)$ , 则该染色体对应的车辆路径计划的适应度为  $\lambda \times \pi(f_1) + (1 - \lambda)\rho(f_2)$ , 其中  $\lambda$  为  $[0, 1]$  之间的实数, 表示两个目标的权重。

### 2.3.2 复制算子

复制操作在采用轮盘复制策略的基础上和加入精英保留策略,以个体的相对适应值作为该个体在下一代中的存活率.

### 2.3.3 交叉算子

根据遗传算法的模式定理,一个染色体的优或劣是因为其蕴含了优或劣的模式,企业间转运联盟车辆路径问题的方案的优劣,主要取决于顾客之间的服务顺序、顾客之前的聚类等信息,因此本文的交叉算子采用如下两种:

#### (1) 交叉算子 1

由于 VRP 问题的一个关键点就是客户的服务顺序,所以在交叉算子中要尽量将优良个体的“客户顺序”基因保留下来,为此提出如下的交叉方式:

父代 A: 1-3-5-2-6-4-7 父代 B: 2-6-4-7-1-5-3

上两个父代基因中选择一个区间如下:

父代 A: 1-3-|5-2-6|-7-4 父代 B: 6-2-|4-7-1|-5-3

然后生成的两个子代为:

子代 A: 1-3-6-2-5-7-4 子代 B: 6-2-1-7-4-5-3

其中对于父代 A 被选中需要交叉的基因片段:“5-2-6”,被替换为“6-2-5”,字符没有发生变化,顺序由父代 B 中这三个字符的顺序决定,进而得到子代 A;子代 B 的生成法则同理.

在实际操作中以  $P_a$  的概率选择交叉算子 1,以  $P_b$  的概率选择交叉算子 2.

#### (2) 交叉算子 2

由于 VRP 问题的一个令关键点就是客户的聚类,所以在交叉算子中要尽量将优良个体的“相邻客

户”基因保留下来,为此提出如下的交叉方式:

父代 A: 1-3-5-2-6-4-7 父代 B: 2-6-4-7-1-5-3

上两个父代基因中选择一个区间如下:

父代 A: 1-3-|5-2-6|-7-4 父代 B: 6-2-|4-7-1|-5-3

然后生成的两个子代为:

子代 A: 1-7-4--3-6-2-5 子代 B: 5-2-6-1-7-4-3

其中对于父代 A 被选中需要交叉的基因片段:“5-2-6”移到父代 B 的最前边,并将原父代 B 中“5、2、6”三个基因删除,得到子代 B;子代 A 的生成法则同理.

### 2.3.4 变异算子

变异算子是为了引入新的模式,以防止寻优陷入局面最优状态,本文的变异算子为:对选中的父代个体,随机选择一点,然后从该点开始,将父代个体编码倒置.即父代: 1-3-5-2-6-4-7 中“5”被选中,则变异后得到子代: 1-3-7-4-6-2-5.

## 3 实验结果与分析

对带有模糊时间窗的 VRP 尚未标准的验证数据,考虑企业间转运联盟的 VRP 数据更少,本文以文献[7]的数据为基础,加上模糊时间窗,得到的数据如表 1 和表 2,其中车辆的允许容量为 4,单位时间的运输成本设为 1,车辆的运行速度为 1,各个节点的服务时间为 0,即从节点  $i$  到节点  $j$  的运输时间和费用为两点之间的距离.

表 1 企业(车场)数据

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

表 2 各企业的客户位置、需求量和模糊时间窗

E <sub>1</sub>	配送点	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
	客户	坐标	(44,86)	(46,67)	(35,53)	(16,90)	(10,69)	(10,52)	(0,50)
E <sub>2</sub>	配送量	3	2.1	1.2	2	1.1	1.1	1.1	1.1
	时间窗	[60,90,120]	[60,100,140]	[76,150,224]	[65,95,125]	[110,150,190]	[73,120,167]	[90,125,160]	[115,160,205]
E <sub>3</sub>	配送点	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>
	客户	坐标	(25,16)	(19,0)	(46,23)	(71,64)	(58,43)	(70,18)	(86,67)
E <sub>3</sub>	配送量	1.8	1.3	0.8	0.9	0.8	0.6	1	0.6
	时间窗	[50,90,130]	[75,120,165]	[150,175,200]	[70,125,180]	[65,100,135]	[175,205,235]	[100,135,170]	[155,195,235]
E <sub>3</sub>	配送点	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>19</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>24</sub>
	客户	坐标	(83,54)	(59,74)	(61,0)	(77,80)	(29,64)	(40,97)	(16,24)
E <sub>3</sub>	配送量	1.2	2	2.6	1.7	0.6	0.9	0.7	0.9
	时间窗	[48,88,128]	[45,90,135]	[100,125,150]	[97,127,157]	[55,105,155]	[70,110,150]	[152,192,232]	[85,115,145]

遗传算法参数设置中, 种群规模  $N=80$ ; 交叉概率  $P_a=0.3$ ,  $P_b=0.3$ , 变异概率  $P_m=0.08$ ; 最大迭代代数为 500, 顾客最低服务水平均为  $\sigma_{ih}=0.5$ .

经过计算得到最优编码染色体为:

4-24-5-6-7-8-23-9-10-11-1-22-13-12-15-14-16-18-20-2-3-21-17-19.

其对应的解码染色体如图 5 所示.

$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	接下面
4	24	5	6	7	8	23	9	10	11	1	22	22	90
91.7	115	130	114.8	125	151.1	172	90	120	162.5	78.3	90		
$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,1)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	$V_{(5,2)}$	
13	12	15	14	16	18	20	2	3	21	17	19	19	59.7
95.0	119.7	135	190	200.3	90	112	95.2	113	125.5	68	127.3		

图 5 最优个体编码

将图 5 按照图 2 的转换机制, 可以得到本例的配送线路如表 3 所示.

为了说明企业间的专业联盟可以降低物流成本, 假定企业间各自独立配送自己的客户, 此时问题转化为 3 个经典的模糊时间窗车辆路径问题<sup>[9-11]</sup>, 经过求解, 得到的配送路径如表 4 所示.

对比表 3 和表 4, 企业间建立转运联盟后配送总费用节省了 292.17, 平均客户满意度提升了 0.09, 车辆在客户处等待时间减少了 1.76. 说明转运联盟在不提高客户满意度的同时, 可以降低物流成本.

表 3 企业转运联盟后的车辆路径计划

路径	配送路径顺序	载荷	费用	等待时间序列	满意度序列
1	E1-C4-C24-C5-E1	3.7	79.87	0,4.23	0.89,1,0,0.5
2	E1-C6-C7-C8-C23-E2	4.0	95.91	0,0,0,6.93	0.91,1,0,0.80,0.5
3	E2-C9-C10-C11-E2	3.9	87.78	12.92,7.04	1.0,1,0,0.5
4	E1-C1-C22-E1	3.9	47.11	0	0.61,0.50
5	E2-C13-C12-C15-C14-C16-E3	4.0	149.03	0,0,3.46,0	0.86,0.90,1,0,0.5,0.87
6	E3-C18-C20-E3	3.7	100.33	3.03	1.0,0.5
7	E1-C2-C3-C21-E1	3.9	60.34	0,0	0.88,0.50,0.59
8	E3-C17-C19-E3	3.8	116.79	0	0.5,0.94
9	E3-E1	3.1	59.67	--	--
配送总费用		796.81			
平均满意度		0.76			
客户处等待时间累积		37.61			

表 4 企业间独立的车辆路径计划

路径	配送路径顺序	载荷	距离	等待时间序列	满意度序列
1	E1-C1-E1	3	28.43	--	0.5
2	E1-C2-C3-E1	3.3	58.29	0	0.88,0.5
3	E1-C4-C5-E1	3.1	67.59	13.16	1.0,0.5
4	E1-C6-C7-C8-E1	3.3	94.98	0,0	0.52,0.5,0.53
5	E2-C9-C10-C11-E2	3.9	87.78	12.92,7.04	1.0,1,0,0.5
6	E2-C13-C12-C15-C16-C14-E2	4.0	171.92	0,0,3.22,0	0.86,0.90,1,0.62,0.5
7	E3-C18-C20-E3	3.7	100.33	3.03	1.0,0.5
8	E3-C17-C19-E3	3.8	116.79	0	0.5,0.94
9	E3-C21-C22-E3	1.5	160.57	0	0.5,0.88
10	E3-C24-C23-E3	1.6	202.30	5.45	1.0,0.5
配送费用		1088.98			
平均满意度		0.67			
客户处等待时间累积		39.37			

## 4 结语

首先,针对现实中物流企业之间的联盟问题,为了使得车辆路径问题更加符合物流管理的实际情况,本文建立了带有模糊时间窗的企业间转运联盟车辆路径问题;接着,鉴于该问题的复杂性,文章在相关学者的研究基础上提出了求解该问题的遗传算法模型;最后通过实例说明:(1)带有模糊时间窗的企业间转运联盟相对于各个企业独立配送,可以降低物流成本,提高客户满意度;(2)本文所提出的遗传算法可以有效解决此类问题。

## 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 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.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 Cheng R, Gen M. Vehicle routing problem with fuzzy due-time using genetic algorithms. Japanese Journal of Fuzzy Theory and Systems, 1995, 7(5): 1050-1061.
- 9 张建勇,李军,郭耀煌.具有模糊预约时间的 VRP 混合遗传算法.管理科学学报,2005,8(3):64-71.
- 10 王旭坪,张凯,胡祥培.基于模糊时间窗的车辆调度问题研究.管理工程学报,2011,25(3):148-153.
- 11 崔雪丽,朱道立,马良.模糊约定时间车辆路径问题及其蚂蚁算法求解.系统工程学报,2009,24(4):489-493.
- 12 Tang JF, Pan ZD, Fung RY K, et al. Vehicle routing problem with fuzzy time windows. Fuzzy Sets and Systems, 2009, 160(5): 683-695.
- 13 王君,李波.带模糊预约时间的车辆路径问题的多目标禁忌搜索算法.计算机集成制造系统,2011,17(4):859-8.

(上接第126页)

- 2 付赢正,赵兰萍,娄锦培,刘志金,赵菊芳.水果呼吸作用引起气调贮藏环境变化的模型分析.科技通报,2008,24(2):188-191,197.
- 3 刘战利,王相友,朱继英,王娟.高氧气调对果蔬采后生理和品质影响研究进展.农业机械学报,2009,40(7):112-118.
- 4 栾明川,王世清,孙振华.气调库内氮、氧气体含量的预测.农业机械学报,2001,32(5):123-124.
- 5 Zhang KS, Zeng Y. Multi-parameter intelligent monitoring system for cold store. Computer Science and Information Technology, 2010 3rd IEEE International Conference on. 2010, 6: 516-519.
- 6 刘斌,王艳红,申江,余辉,邹同华.低温物流过程中果蔬贮藏期预测模型与预测器.农业机械学报,2009,40(12):156-159.
- 7 刘思峰.灰色系统理论的产生与发展.南京航空航天大学学报,2004,36(2):267-272.
- 8 刘思峰,党耀国,方志耕,谢乃明等.灰色系统理论及其应.北京:科学出版社,2010.
- 9 Li XM, Dang YG, Zhao JJ. An optimization method of estimating parameters in GM (1,1) model. IEEE International Conference on Grey System and Intelligent Services. 2009. 448-451.
- 10 Kayacan E, Ulutas B, Kaynak O. Grey system theory-based models in time series prediction. Expert Systems with Applications, 2010, 37: 1784-1789.
- 11 鲍一丹,吴燕萍,何勇.基于 GM(1,1)模型和线性回归的组合预测新方法.系统工程理论与实践,2004,(3):95-98.
- 12 Zhang HY. Amelioration of grey GM (1, 1) forecasting model. IEEE International Conference on Integration Technology. 2007. 93-95.
- 13 Qian WY, Dang YG, Mu S, Li XM. The intelligent optimization of GM (1, 1) power model and its application in the forecast of traffic accident. IEEE International Conference on Grey System and Intelligent Services. 2011. 385-389.
- 14 谷川,张岳.GM(1,1)灰色模型改进及其应用.海洋测绘,2008,28(3):35-37.