

文章编号: 1002-0411(2005)03-0350-06

# 基于整车配送的多仓库开路 VRPTW 问题的研究与实现

魏百鑫<sup>1,2</sup>, 史海波<sup>1</sup>

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**以整车销售物流为背景,探讨多仓库带时窗约束的车辆路线安排问题的解决方法.提出了更为复杂的基于现实的细节性要求的多配送中心开路 VRPTW 问题模型,并将遗传算法产生部分解和评估完整解的优化解决方法和涌现交叉算子 MXI 引入到带时窗的多仓库 VRP 问题优化中,实现了快速全局优化.提出的开路混合配送方法有利于提高车辆满载率,降低回程空载率.同时实现了运输资源的优化配置,提高车辆利用率.计算机仿真实验证明了算法的可行性.

**关键词:**多仓库带时窗约束的开路车辆路线问题;整车配送;预处理;返程空载率;遗传算法

中图分类号: TP13

文献标识码: B

## Research on Multiple Depots Open-path VRPTW Based on the Whole Vehicle Delivery and Its Implementation

WEI Baixin<sup>1,2</sup>, SHI Haibo<sup>1</sup>

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** A more complicated mathematical model based on practical details for open-path multiple depot capacitated vehicle routing problem with time window (MDCVRPTW) is presented against whole vehicle sale logistics. To achieve the rapid global optimization, an improved genetic algorithm (IGA) which generates partial solutions and evaluates the fully expanded solutions and merge crossover operator MXI are first introduced into the solution of MDCVRPTW. Besides, a mixed open-path delivery method is proposed to improve full load ratio and reduce empty return load ratio. Computer simulation shows the feasibility of the proposed algorithm.

**Keywords:** multiple depot capacitated vehicle routing problem with time window; whole vehicle delivery; pre-processing; empty return load ratio; genetic algorithm

### 1 引言 (Introduction)

多仓库带时窗约束的车辆路线安排问题 (Multiple Depot Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Window, MDCVRPTW) 是 VRP (车辆路线安排) 问题的延伸, 是组合优化中的一类 NP 难题, 具有多约束性和复杂性的特点.

目前有大量文献致力于研究单仓库 VRP (带回路 VRP), 只有极少部分解决多仓库 VRP. 多仓库 VRP 包括固定终点和非固定终点两种模式. 少数学者专家针对非固定终点模式设计了合适的解决问题方法<sup>[1-4]</sup>. 它们的共同特点在于直接或间接地把多仓库问题转化为多个类似单仓库 VRP 问题依次求解; 共同缺点在于子区域内寻优过程彼此独立, 相对

独立子集的独立寻优很少获得高质量的局部最优, 不能很好解决全局最优问题. Skok M 和 Skrllec D 提出的解决方法<sup>[4]</sup>是预处理后, 采用遗传算法实现全局并行优化, 即同时规划所有车辆路径, 但未考虑带时窗约束的问题.

供需方网络拓扑结构为多对多的开路式带时窗约束的车辆路径问题 (MDCVRPTW) 现已成为 VRP 研究的热点问题. MDCVRPTW 问题的深入研究将对整车配送的路径优化起到一定的现实的指导作用.

传统的整车配送 VRP, 即单车场闭路 VRP 必然导致满载率低, 返程空载率极高, 必将产生大量的运输费用. 随着汽车物流服务中心的建立, 即由数量少的配送中心代替多个仓库, 整合不同品牌轿车生产企业仓储、运输, 实行联合配送. 这使得多对多的配

送更为普遍.本文基于整车销售物流,研究多约束、多目标、多起点、带时窗的开路运输车路线安排问题.依据整车销售物流的独特特点,提出开路混合配送方法以提高车辆满载率,降低回程空载率.同时提出更贴近现实的商品车和运输车的自然状况和天气路况等因素的开路 MDCVRPTW 问题模型,采用遗传算法产生部分解和评估完整解的优化解决方法,实现快速全局优化.计算机仿真实验证明了算法的可行性.

## 2 问题模型的建立 (Modeling of the problem)

### 2.1 优化问题描述

整车配送按配送层次划分为:1)中心仓库到配送中心的配送;2)配送中心之间车辆的转储;3)配送中心到经销商的配送;4)由经销商到用户的配送.其中前两者多为满载运输,后两者多为非满载运输.

为提高车辆满载率及彻底消除空载运行时间,本文关注以3)配送中心到经销商配送安排为主,以1)中心仓库到配送中心补充库存和2)配送中心之间车辆的转储为辅的多功能混合配送,即把配送中心看作虚拟经销商.

MDCVRPTW 问题描述:

- 1) 商品车流向为双向,即涉及的配送中心(或仓库)既有输出又有输入.
- 2) 需求特征满足确定性特点,即每一经销商  $l$  的需求量  $N_l(t)$  已知.
- 3) 配送中心为  $m$  个,可由多个配送中心提供

$$X = \begin{pmatrix} x_{00} & x_{01} & x_{02} & \cdots & \cdots & x_{0(n+m-1)} \\ x_{10} & x_{11} & \cdots & \cdots & \cdots & x_{1(n+m-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m0} & x_{m1} & \cdots & x_{ik} & \cdots & x_{i(n+m-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{(n+m-1)0} & x_{(n+m-1)1} & \cdots & \cdots & \cdots & x_{(n+m-1)(n+m-1)} \end{pmatrix}_{(n+m) \times (n+m)}$$

此为 0,1 矩阵,表示各条配送路径,其中:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{由节点 } j \text{ 到节点 } i \text{ 有配送} \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

$$\sum_{j=0}^{m+n-1} x_{ij} \leq 1 \quad i = m, \dots, m+n-1$$

$$\sum_{i=m}^{m+n-1} x_{ij} \leq 1 \quad j = m, \dots, m+n-1$$

以上两个不等式表示每一经销商只由一个配送中心的一辆运输车配送;

配送服务.

4) 各个配送中心  $a_j$  有  $NV_j(t)$  辆运输车,每一经销商  $l$  只由一辆运输车配送,并满足单车容量  $q$  约束,车辆在完成全部运输任务后,回到最近的配送中心.

5) 目标为多目标,总费用(运费和车辆固定费用)最小且运输准时,拖期罚款.

配送中心到经销商配送的独特之处在于需求量少、地域分散,由此决定其为非满载的车辆调度问题.为此采用动态配送,即由各个经销商具体需求情况及其相对距离  $d_{ik}$  和各配送中心  $a_j$  的运输车情况及商品车数量  $Q_j(t)$  动态决定配送起点,更适合全局优化,也就是动态配送包含固定配送.图 1 为本文提出的供需点网络图(多配送中心对应多经销商,即完全图).其中图表示经销商网络,表示配送中心.

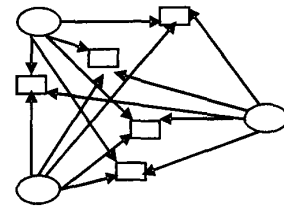


Fig. 1 Network between providers and demanders

### 2.2 MDCVRPTW 数学模型的建立

此模型考虑更贴近现实的商品车和运输车的数量等自然状况、天气、路况等因素,摒弃以往模型资源足够多、天气路况等因素过于理想化的不现实假设.

模型的输入输出矩阵如下:

$$\sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=0}^{m+n-1} x_{ij} = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=m}^{m+n-1} x_{ij} \text{ 保证运输车回到某一配送中心;}$$

$$\sum_{j=0}^{m+n-1} x_{ij} \leq NV_i(t) \quad (i=0, 1, \dots, m-1) \text{ 保证各配送中心的派发运输车数量约束;}$$

$$Q_j(t) \geq \sum_{l=0, l \neq j}^{m-1} NV_l \cdot q \quad (j=0, 1, \dots, m-1) \text{ 保证各配送中心的可配送商品车数量约束;}$$

1) 模型中部分参数、变量定义:

$n$ —经销商数目;

$N^+(t)$ —需求量不小于运输车容量一半的经销商集合;

$N^-(t)$ —需求量小于运输车容量一半的经销商集合;

$N(t)$ —经销商所需商品车数量集合,  $N(t) = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$ ;

$NV(t)$ — $m \times m$ 矩阵,表示各个配送中心间的派遣运输车数量;

$NV_k(t)$ — $NV(t)$ 的元素,表示在  $t$ 时刻由配送中心  $a_j$ 发往配送中心  $a_k$ 的运输车数量;

$D$ —表示任两节点(配送中心或经销商)间距离的矩阵,其元素为  $d_{ik}$ ;

$C$ —表示任两节点(配送中心或经销商)间的单位运输费用矩阵;

$T(t)$ —对角线上为零的  $(m+n) \times (m+n)$ 阶对称阵,表示任两节点(配送中心或经销商)间运输所需时间;

$f$ —配送中心  $a_j$ 派出一辆运输车的固定费用( $f$ 远高于车辆行驶费用);

$L(t)$ —在  $t$ 时刻有需求的经销商数目;

$D_z^k$ —从  $a_i$ 配送中心发往配送中心  $a_k$ 的第  $z$ 辆运输车的装载量;

$T(t)$ —在时刻  $t$ 各经销商要求的配送时间集合,当  $l$ 无需求时,则元素  $T_{id} = 0$ ;

$T_i$ —经销商  $l$ 得到配送服务的实际时间;

$E_i$ —未按要求拖期到达的平均单位时间惩罚成本,禁止拖期时,要求  $E_i$ 取足够大,即调整惩罚系数来调整配送的优先级;

$Y(t)$ —各个经销商在  $t$ 时刻的需求状况集合,

$Y(t) = \{y_m, \dots, y_i, \dots, y_{n+m-1}\}$ ,为  $0,1$ 集合.

$$y_i(t) = \begin{cases} 1, & l \text{ 经销商在 } t \text{ 时刻有配送需求,即} \\ & N_i(t) \geq 1 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

2) 模型中的决策变量

$$\text{sign}(i) = \begin{cases} 1, & a_i \text{ 配送拖期} \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

3) 模型的建立

目标函数

$$f(x) = \min f \cdot \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=m}^{m+n-1} x_j + \sum_{j=0}^{m+n-1} \sum_{i=0, i \neq j}^{m+n-1} x_j \cdot d_j \cdot c_j + \sum_{i=m}^{n+m-1} E_i \cdot (T_i - T_{id}) \cdot \text{sign}(i) \quad (1)$$

满足约束条件:

$$\sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=m}^{m+n-1} x_j = L(t) \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^{m+n-1} x_j \leq 1 \quad i = m, \dots, m+n-1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=m}^{m+n-1} x_j \leq 1 \quad j = m, \dots, m+n-1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=m}^{m+n-1} x_j \leq NV_i(t) \quad i = 0, 1, \dots, m-1 \quad (5)$$

$$Q_j(t) \geq \sum_{i=0, i \neq j}^{m-1} NV_i \cdot q \quad j = 0, 1, \dots, m-1 \quad (6)$$

$$x_j \cdot N_i(t) + x_{ik} \cdot N_k(t) + x_{kl} \cdot N_l(t) + \dots + x_{yb} \cdot 1 \leq q + 1 \quad (7)$$

$$j, b = 0, 1, \dots, m-1$$

$$i, k, l, y = m, \dots, m+n-1$$

$$\sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=0}^{m+n-1} x_j = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=m}^{m+n-1} x_j \quad (8)$$

$$\sum_{j=0}^{n+m-1} x_j = Y_i(t) \quad i = m, \dots, m+n-1 \quad (9)$$

在以上函数中,目标函数(1)使得总成本(包括派遣运输车所需成本、运输成本、拖期配送的惩罚成本)最小;(2)表示每一有需求的经销商都得到配送;(3)、(4)保证在每一计划周期内每一有需求的经销商仅由一辆运输车配送;(5)表示各个配送中心的可派发运输车数量约束;(6)表示各个配送中心的可配送商品车数量约束;(7)表示各个运输车的容量约束;(8)保证每一运输车回到配送中心;(9)表示变量间的逻辑约束.

### 3 模型求解 (Model solving)

#### 3.1 MDCVRPTW 问题的遗传算法

针对 MDCVRPTW 问题的遗传算法能否取得可行解,其表述和交叉因子的选择起着至关重要的作用.许多遗传算法专家采用简单表述及特定交叉因子来解决多约束复杂优化问题.

本文采用经销商个体编码序列表述法,此法能同时规划所有车辆路径.使用一种新的预处理方法确定各个运输车的首末配送点,染色体因子则为余下的客户,即遗传算法产生部分解.采用更接近全局优先的涌现交叉因子,实现快速全局优化.具体如下:

(1) 预处理及初始种群的产生.所需的大致运输车数目可由有经验的调度员主观决定.  $NV_k(t)$  的初始值由用户依据供需情况决定,  $NV_k(t)$  值的可行性由以下公式测试:

$$\sum_{l=0}^{m-1} \sum_{k=0, k \neq l}^{m-1} NV_{lk} \geq \max \left\{ \text{int} \left\{ \sum_{i=m}^{m+n-1} y_i \right\} / \alpha q \right\},$$

$$\text{int} \left\{ \sum_{i=m}^{m+n-1} N_i(t) \right\} / \alpha q \}$$

$$+ konst \tag{10}$$

$$NV_j \geq \sum_{l=0, l \neq j}^{m-1} NV_{jl} \quad j = 0, 1, \dots, m-1 \tag{11}$$

$$Q_j(t) \geq \sum_{l=0, l \neq j}^{m-1} NV_{jl} \cdot q \quad j = 0, 1, \dots, m-1 \tag{12}$$

当经销商数目大于 100 时, *konst* 取值为 2, 否则为 1. 不等式 (10) 确保指派的运输车数目满足经销商需求, 时窗约束导致单位车辆实际容纳的任务量减小, 因此根据容量计算的车辆数只是一个估计数, 未必能完成任务. 为使分派车辆后的路径安排具有一定弹性, 引入系数  $\alpha, 0 < \alpha < 1$ , 修正车辆数. 约束越多,  $\alpha$  越小. 实际操作中通过人机对话来调整  $\alpha$  值以达到调整解的目的. 不等式 (11) 确保各个配送中心指派的运输车数量不超过此配送中心的现有可用运输车数量; 同样, 式 (12) 确保各个配送中心的轿车现有量能满足所指派运输车的满载需求量.

整车配送只有时窗下限控制, 其时窗系数  $tw = \left( \sum_{i=m}^{m+n-1} w_i / L(t) \right) / \left( \sum_{j=m}^{m+n-1} \sum_{i=m, i \neq j}^{m+n-1} t_j \right) / L(t)^2$  通常大于 2, 即时窗约束松弛<sup>[5]</sup>, 问题的空间性质处于支配地位, 一般来说, 根据位置情况安排线路即可.

因此, 在各个配送中心派遣和接收运输车的初始值给定后, 就可以决定各个配送中心的所有路径的起或未配送点集合. 具体如下: 首先因时窗约束, 将只能由唯一配送中心配送的经销商取出定为此配送中心的一条路径上的首配送点. 对于其他可由多个配送中心的配送的经销商, 则在保证时窗约束下, 按距离各个配送中心最近原则进行各个集合元素填充. 最后得出参加配送的配送中心的数个各包含  $\left| \sum_{k=0, k \neq j}^{m-1} NV_k + NV_j \right|$  个经销商的集合, 此集合元素即为各条路径的首或未配送点.

对各个集合中的经销商按配送的提前时间  $T_{id} - t_j (j=0, \dots, m-1)$  从小到大进行排序, 则排在前面的为首配送点, 反之则为未配送点. 这样则形成  $2 \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0, k \neq j}^{m-1} NV_k$  条只有首或未配送点的半链车辆路径.

预处理后未被指定路径的经销商个体则成为染色体成员. 每一染色体包含  $\left| \sum_{i=m}^{m+n-1} y_i - 2 \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0, k \neq j}^{m-1} NV_k \right|$  个

经销商. 本文采用节点序号直接编码原则, 初始种群随机产生, 对于 MDCVRP 问题, 当选用 CX 交叉和 FRX 交叉时, 种群规模在 [300, 500] 间最优. 本文使用染色体的相对排列来决定下一步操作的经销商, 编码简单, 包含两步:

第 1 步: 从染色体的第一个经销商开始在满足时间约束下, 依次将他们连接到最近的车辆路径上, 首先要满足同属于  $N^+(t)$  集合的经销商不能处于同一条路径上. 此步结束时, 有需求经销商都已安排到  $2 \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0, k \neq j}^{m-1} NV_k$  条半链路径中.

第 2 步: 依预处理中用户指定的车辆流向, 在满足同包含  $N^+(t)$  集合的经销商元素的半链路径不能连接的前提下, 随机将各个半链路径的终点按邻近连接原则形成完整路径. 此步结束时, 已形成  $\sum_{j=0}^{m-1} \sum_{k=0, k \neq j}^{m-1} NV_k$  条完整路径.

(2) 适应度评估方法的确定. 本文的编码方法、初始种群、交叉和变异程序在此方法中可产生有效的车辆路径, 但就所有约束而言, 还有不合理的存在于种群中. 本文使用 Powell 和 Skolnick<sup>[6]</sup> 提出的惩罚函数来有效抑制产生不可行解的倾向. 大部分 MDCVRP 例子的解表明: 在遗传算法产生部分解、评估完整解的情况下, 遗传操作可获得平衡优化. 评估函数如下:

$$Q(x) = f(x) + r \sum_{i=1}^2 \Delta_i(x) + \lambda(p, x) \tag{13}$$

$$\Delta_1(x) = \sum_{l=0}^{m-1} \sum_{k=0, k \neq l}^{m-1} \left| \sum_{j=1}^{NV_k} D_j^k - QG_l \right| / QG_l \tag{14}$$

$$\Delta_2(x) = \sum_{l=0}^{m-1} \sum_{k=0, k \neq l}^{m-1} \sum_{j=1}^{NV_k} (D_j^k - QG_l) / QG_l \tag{15}$$

$$\lambda(p, x) = \begin{cases} 0, & \text{如果 } x \in F(p) \\ \max\{0, \max_{x \in F(p)} \{f(x)\} - \min_{x \in F(p)} \{f(x)\} + r \sum_{i=1}^2 \Delta_i(x)\}, & \text{如果 } x \notin F(p) \end{cases} \tag{16}$$

*p*—当前种群;

$F(p)$ —群的可行部分

$\Delta_1(x)$ —配送中心现有商品车数量约束;

$\Delta_2(x)$ —运输车的容量约束;

*r*—初始种群中最坏个体的目标函数值;

(16) 式表明此方法是具有显著期望的典型方法, 对不可行个体提高惩罚 (例如最好的不可行解也比最坏的可行解差), 对于第 *k* 个个体 *x*, 适应度

按下式计算：

$$f_k = 1/Q(x) \tag{17}$$

(3) 交叉算子和变异算子.对于 MDCVRP问题,以往研究多使用传统的 CX等交叉算子.本文采用涌现交叉 (MX1)<sup>[7]</sup>,它更适用于随机客户定位的 VRPTW问题中,同时具有更接近全局优先的优点.其原因在于涌现交叉具有以下特点:1)在染色体的等位基因间进行基于全局优先的交叉;2)交叉因子依赖于某一全局优先染色体和被卷入的染色体.作者以当前最优染色体和基于时窗的自然优先关系的染色体交替作为全局优先向量,这样可避免陷入局部最优,同时提高种群的多样性.变异采用 OBM变异算子<sup>[8]</sup>.

(4) 选择操作.选择函数 (18)由 Whitley提出：

$$index = pop. size - (bias - \sqrt{bias^2 - 4(bias - 1) mnd()}) / 2(bias - 1) \tag{18}$$

pop. size—种群规模；

mnd()—返回 (0,1)间的随机数；

index—染色体在种群中的编号；

bias—斜率值.

如果后代个体好于当前代中的最差个体,则取代之并依适应度函数重新排序.此过程将继续,直到收敛或指定进化代数已到达.排序与进化的接连进行可给出更好的搜索焦点,一旦发现好的基因型就保留到种群中,直到有更好的个体代替它.从而保证交叉、变异后,个体的多样性,有效防止局部最优的发生.

### 3.2 算法操作的实现

算法的实现可描述如下：

- 1) 按式 (10) ~ (12)进行遗传算法前的预处理,确定染色体成员；
- 2) 随机产生初始种群,按 3.1 节 (1)中的第 1、2步,确定各条路径；
- 3) 对每条路径 K,用式 (17)计算适应度,并进行排序；
- 4) 按式 (18)对个体进行选择操作；
- 5) 对个体进行交叉和变异操作,按第 1、2步,确定各条路径；
- 6) 对每条路径 K,用式 (17)计算适应度,新后代与当前种群的最坏个体进行比较代换,并对其结果进行排序；
- 7) 判断个体是否达到进化代数 G,若达到则终

止运算,否则转步骤 4)。

## 4 仿真实例及分析 (Simulation example and analysis)

对于 MDCVRPTW 问题,目前还没有标准的测试数据,因此本文以辽宁国际物流有限公司的实际业务为实验数据.此公司作为第三方物流公司现为华晨金杯汽车股份有限公司下线的宝马车、中华车、雪弗莱等进行仓储、配送服务,其分销网络遍布全国各个城市.具体数据如下:  $n=370$  个,  $m=3$  个,  $q=8$  辆,  $c=160$  元/公里,  $f=10000$  元,运输车的平均速度为 136km/h,在某时  $L(t)=65$  个,  $|N(t)|=154$  台,  $NV_j(t)=40$  辆,  $j=0,1,2$ ,  $Q_j(t)=800$  辆,  $j=0,1,2$ .其余数据略.车辆初始指派情况如下:总运输车

数 22 辆,  $NV(t) = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 4 \\ 4 & 0 & 4 \\ 0 & 5 & 0 \end{pmatrix}$ .作者用 C 语言编制

程序,在主频 133MHz,内存 64MB 的计算机上运行.实验参数及结果如下表 1 所示.

表 1 MDCVRPTW 实例参数及结果  
Tab.1 Parameters and results of examined MDCVRPTW instance

种群规模	斜率	变异率	交叉率	进化代数	目标函数
100	1.1	0.1	0.9	35000	120%
200	1.05	0.2	0.9	40000	100%
300	2	MDCVRPTW 实例的最好配送路线图 6%			

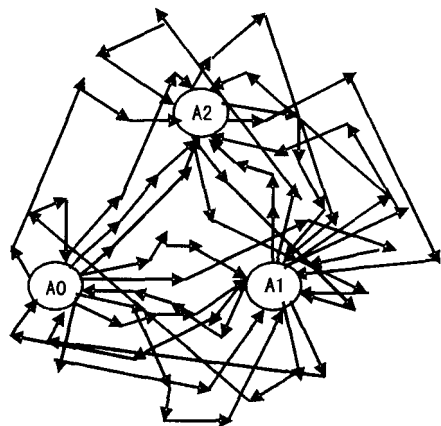


Fig.2 The best delivery paths for the examined MDCVRPTW instance

实验结果表明,由于首床配送点的人为指定,以及涌现交叉以当前最优染色体和基于时窗的自然

优先关系的染色体交替作为全局优先向量,这样不仅可提高种群的多样性,而且可快速得到全局优化结果,同时客户数越多优化结果越好.种群规模很小时,斜率越大,变异率越低,越能快速产生全局优解.大种群的彻底搜索易得到最优解,但种群规模很大时,斜率越小,变异率越高,则收敛越慢.因此,在其它参数确定后,种群规模的大小取决于问题本身的特征.

## 5 结语 (Conclusion)

本文提出了更为复杂的基于现实的细节性要求的多配送中心开路 VRPTW 问题模型,并将遗传算法产生部分解和评估完整解的优化解决方法和涌现交叉方法引入到带时窗的多起点 VRP 问题优化中.实现了多仓库、多约束 VRP 问题的快速全局优化.同时提出的开路混合配送方法有利于提高车辆满载率,降低空车运行时间,同时有利于运输资源的优化配置和提高车辆利用率.计算机仿真实验证明了算法的可行性.本文所提出的优化算法及管理方法适用于类似的整车物流配送优化调度问题,同时可为解决物流系统优化中的运输车辆路线安排问题提供新的途径.

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Krajcar S. Algorithms for Interactive Optimal Planning of Distribution Networks [D]. Ann Arbor: University of Aage Press, 1988.
- [2] Filipec M, Skrllec D, Krajcar S. Darwin meets computers: new approach to multiple depot capacitated vehicle routing problem [A]. Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics [C]. Orlando, USA: Pergamon Press, 1997. 421 ~ 426.
- [3] Filipec M, Skrllec D, Krajcar S. Genetic algorithm approach for multiple depot capacitated vehicle routing problem solving with heuristic improvements built-in [J]. International Journal of Modeling and Simulation, 2000, 20(4): 320 ~ 328.
- [4] Skok M, Skrllec D, Krajcar S. The genetic algorithm method for multiple depot capacitated vehicle routing problem solving [A]. The Fourth International Conference on Knowledge-based Intelligent Engineering Systems & Allied Technologies [C]. Brighton, UK: UK Press, 2000. 520 ~ 526.
- [5] 李 军, 郭耀煌. 物流配送车辆优化调度理论与方法 [M]. 北京: 中国物资出版社, 2001.
- [6] Powell M J D. Variable metric methods for constrained optimization [J]. Mathematical Programming: the State of the Art, 1983, 29(29): 288 ~ 311.
- [7] Sulhil J L, Xiang Y Y, Yuan Z Y. Multiple vehicle routing with time windows using genetic algorithms [A]. IEEE Congress on Evolutionary Computation [C]. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1999. 1804 ~ 1808.
- [8] Syswerda G. Schedule Optimization Using Genetic Algorithms [Z]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 332 ~ 349.
- [9] Whitley D. The genitor algorithm AND selection pressure: why rank-based allocation of reproductive trials is best [A]. Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms and Their Application [C]. Morgan, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1989. 116 ~ 121.
- [10] Haghauai A L, Jung S A. Dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times [J]. Computers & Operations Research, 2004, 31(4): 653 ~ 681.

## 作者简介

魏百鑫 (1977 - ), 女, 硕士研究生. 研究领域为第三方物流优化.

史海波 (1966 - ), 男, 研究员, 博士生导师. 研究领域为现代集成制造系统相关理论和方法, MRP-II/ERP 研究及 FMS 和车间级调度方法.