

文章编号: 1001-0920(2009)12-1769-06

多车场多车型装卸混合车辆路径问题研究

王晓博¹, 李一军²

(1. 黑龙江大学 信息管理学院, 哈尔滨 150080; 2. 哈尔滨工业大学 管理学院, 哈尔滨 150001)

摘 要: 为满足电子商务客户多样化和个性化的需求, 建立了多车场、多车型的装卸混合车辆调度模型, 并使用混合遗传启发式算法求解. 首先采用混合编码, 使问题变得更简洁; 利用个体数量控制选择策略, 以保证群体的多样性; 引入 2-交换变异策略, 并结合爬山算法, 加强染色体的局部搜索能力. 然后, 对混合遗传算法求得的精英种群进行禁忌搜索, 提高了搜索效率. 最后, 通过实例计算表明了上述模型和算法的有效性.

关键词: 装卸混合的车辆路径问题; 多车场; 多车型; 混合遗传启发式算法

中图分类号: TP29

文献标识码: A

Study on multi-depot and multi-type vehicles vehicle routing problem with backhauls

WANG Xiao-bo¹, LI Yi-jun²

(1. School of Information Management, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 2. School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China. Correspondent: WANG Xiao-bo, E-mail: wangxb2010@163.com)

Abstract: In order to satisfy with the individual and various demand of customer under e-commerce, the vehicle scheduling model of picking-delivery for multi-depot and multi-type vehicles is established. Hybrid genetic heuristic algorithm is used to get the optimization solution. Firstly, hybrid coding is used to simplify the problem. The individual amount control choice strategy is applied to guard the diversity of group. By introducing 2-exchange mutation operator and combining with hill-climbing algorithm, the partial searching ability of chromosome is increased. Then stock elite derived from the hybrid genetic algorithm is searched with taboo, which improves the searching efficiency of algorithm. Finally, an example shows the effectiveness of the models and methods.

Key words: Vehicle routing problem with backhauls; Multi-depot; Multi-type vehicles; Hybrid genetic heuristic algorithm

1 引 言

随着电子商务的迅速发展, 为满足客户个性化的需求, 一体化集货与配送的车辆路径问题 (VRPB) 引起了人们的广泛重视. VRPB 问题可分为两种类型: 第 1 类是取消对先配送后集货的限制, 但在每一个客户点, 只进行单纯的集货或单纯的配送作业, 本文将这种配送策略称为单向配送/集货策略; 第 2 类是不仅取消对先配送后集货的限制, 而且允许同一客户点同时有集货和配送的需求, 本文将这种策略称为一体化集货与配送策略.

目前国内外对第 1 类问题研究较多, 而对于第 2 类问题则因其复杂性, 对其研究还处于初步阶段,

这方面的文献相当少. VRPB 问题的研究方法主要有精确算法^[1]、启发式算法^[2-4]和智能优化算法^[5-7]. 在求解大规模、多约束条件问题时, 智能算法应用更广泛一些.

对于多车场、多车型的 VRPB 问题, 这方面的文献资料更少. Salhi^[8] 针对单一车场和多个车场的 VRPB 问题, 提出一种新的插入法. 先考虑将两个以上的相邻节点组成小群组, 然后将整群组插入路径中, 并通过实验证明, 群组插入法比个别节点插入法的效果更好^[8]. Gabor^[9] 采用临界客户的思想, 将多车场的 VRPB 问题转换成多个单一站点的 VRPB 问题再分别求解. 胡大伟^[10] 先用空间填充曲线法

收稿日期: 2009-01-07; 修回日期: 2009-04-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (70801022); 黑龙江省科技攻关项目 (GB05D202-3).

作者简介: 王晓博 (1973—), 男, 哈尔滨人, 副教授, 博士, 从事物流系统仿真的研究; 李一军 (1957—), 男, 哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 从事商务智能等研究.

(SFC方法)进行客户分组,再运用2-swap和插入算法构造初始解的两阶段算法,求解多车场的VRPB问题.

由于多车场、多车型的VRPB问题的特殊性,传统的将多个车场转换为单一车场的分解算法易导致配送和集货这两个因素权衡分析不充分,造成车辆资源的浪费,增加运输的距离和成本,易陷入局部最优解,而不是全局最优.对此,本文从整体上设计了求解多车场、多车型的VRPB问题的混合遗传启发式算法,以克服上述不足.

2 数学模型

$$\min \sum_{i \in s} \sum_{j \in s} \sum_{l, k \in V} C_{ijk}^l X_{ijk}^l d_{ij}. \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{l, k \in V} \sum_{i \in s} X_{ijk}^l = 1, j \in H; \quad (2)$$

$$\sum_{i \in H} \sum_{j \in s} (q_i + p_i) X_{ijk}^l \leq w_k^l, l, k \in V; \quad (3)$$

$$\sum_{j \in H} (A_{ijk}^l + B_{ijk}^l) - \sum_{j \in H} (A_{jik}^l + B_{jik}^l) = (p_i - q_i) Y_{ik}^l; \quad (4)$$

$$\sum_{i \in H} q_i Z_{ij} - \sum_{r \in G} T_r \leq 0; \quad (5)$$

$$\sum_{i \in H} p_i Z_{ij} - \sum_{r \in G} T_r \leq 0; \quad (6)$$

$$\sum_{i \in s} X_{ijk}^l = Y_{ik}^l, j \in s, l, k \in V; \quad (7)$$

$$\sum_{j \in s} X_{ijk}^l = Y_{ik}^l, i \in s, l, k \in V; \quad (8)$$

$$\sum_{r \in G} \sum_{i \in H} X_{rik}^l \leq 1, l, k \in V; \quad (9)$$

$$U_{ik} - U_{jk} + N x_{ijk}^l \leq N - 1, \\ i, j \in H, l, k \in V; \quad (10)$$

$$\sum_{l, k \in V} \sum_{i \in s} X_{ijk}^l d_{ij} \leq D_k^l, j \in H; \quad (11)$$

$$X_{ijk}^l = 0, 1, i, j \in s, l, k \in V; \quad (12)$$

$$Y_{ik}^l = 0, 1, i \in H, l, k \in V; \quad (13)$$

$$Z_{ij} = 0, 1, i \in H, j \in G. \quad (14)$$

式中: $G\{g_r \mid r=1, \dots, R\}$ 为一系列可行 R 处的中心集合; $H\{h_i \mid i=R+1, \dots, R+N\}$ 为一系列可行 N 处的客户集合; $S\{G\} \cup \{H\}$ 为所有配送中心和客户总和; $V\{v_{lk} \mid l=1, \dots, L, k=1, \dots, K\}$ 为 l 类型的运输车辆 k 的集合; C_{ijk}^l 为 l 类型的车辆 k 从客户 i 到客户 j 的平均单位距离运输成本; q_i 为客户 i ($i \in H$) 需求量; p_i 为客户 i ($i \in H$) 集货量; A_{ijk}^l 为从节点 i 到节点 j 时 l 类型的运输车辆 k 上的配送量; B_{ijk}^l 为从节点 i 到节点 j 时 l 类型的运输车辆 k 上的集货量; W_k^l 为车辆类型 l ($l=1, \dots, L$) 的载重量; d_{ij} 为客户 i 到客户 j 的直线距离; T_r 为配送中心 r ($r \in G$) 的容量; D_k^l 为 l 类型的车辆 k 的最大行驶里程; U_{ik}

为客户 i 在路线 k 上被访问的次序($i \in H, k \in V$).

式(1)中,目标函数为求配送中心到客户的运输成本的极小值;约束条件(2)确保每个客户仅由一个类型的一个运输车辆提供服务;约束条件(3)为运输工具容量的约束条件,满足在每条线路上行驶的车辆都不超过其载重量;约束条件(4)为流守恒公式;约束条件(5)和(6)确保配送中心容量约束;约束条件(7)确保车辆最多只能到达某个客户点一次;约束条件(8)确保某一车辆最多只能从某收货点发出一次;约束条件(9)确保每台车辆只为一个配送中心服务;约束条件(10)确保消去不完整线路的解,保证任何路线中只包含一个配送中心;约束条件(11)为运输工具行驶里程的约束条件,满足在每条线路上行驶的里程都不超过其最大行驶里程.

3 混合遗传算法中各算子确定

3.1 混合编码

为了便于遗传算法(GA)与禁忌搜索算法(TS)的结合使用,本文采用符号和自然数混合的编码形式.编码为 $K+N$.其中: $N\{N_1, N_2, \dots, N_n\}$ 为符号编码,代表配送中心; K 为自然数编码,代表客户的数量.具体编码过程如下:

Step1: 将客户1纳入与其最近的配送中心 N_1 ,形成第1条配送路径,判断是否满足问题的约束条件,如果满足,则构成配送路径 N_1-1-N_1 .

Step2: 将客户2纳入这条配送路径中,再计算是否满足问题的配送中心容量和车辆约束条件,若仍能满足,则构成配送路径 $N_1-1-2-N_1$.

Step3: 将客户3纳入这条配送路径中,再计算是否满足约束条件,若能满足配送中心约束条件,但不满足车辆约束条件,说明客户3不能由第1条配送路径配送,则重新开启一条新路径 $N_1-1-2-N_1-3-N_1$.

Step4: 将客户4纳入这条配送路径中,计算是否满足约束条件,若不能满足配送中心约束条件,则结束配送中心 N_1 ,开启配送中心 N_2 , $N_1-1-2-N_1-3-N_1-N_2-4-N_2$.

Step5: 一直重复这个过程,直到将每个客户都纳入配送路径中.

3.2 初始解的形成

设 d_{ij} 表示第 i ($i=1, 2, \dots, m$) 配送中心与第 j ($1 \leq j \leq n$) 客户的距离,记集合 $D_{ij} = \{d_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}$.记集合中距离最小值为 $\min D_{ij}$,次最小值为 $\text{sub min } D_{ij}$, h_k 为车辆 k 所运送的客户点总数,集合 $R_k = \{y_{ik} \mid 0 \leq i \leq h_k\}$ 对应于第 k 辆车运送的客户点, Y_{ik} 表示车辆 k 为节点 i 的运输工具, Y_{0k} 表示

第 k 辆车的起始点为配送中心,具体步骤如下:

Step1: 计算 $r_j = \min D_{ij} / \text{sub min } D_{ij}, 1 \leq i \leq m$, 选取适当的 $\delta (0 < \delta < 1)$.

Step2: 如果 $r_j < \delta$, 则将客户 j 分配给 $\min D_{ij}$ 对应的配送中心.

Step3: 重复 Step1 和 Step2, 遍历所有客户点, 形成 m 个客户分组.

Step4: 任取一个客户分组, 令车辆的初始剩余装载量 $W_k^1 = w_k', k = 0, h_k = 0, R_k = \Phi$.

Step5: 一条染色体上第 i 基因所对应的需求量为 q_i , 供应量为 p_i , 令 $k = 1$.

Step6: 如果 $q_i \leq w_k^1$, 则令 $W_k^1 = \min\{(w_k^1 - q_i + p_i), w_k'\}$; 否则, 转 Step9.

Step7: 如果 $w_k^1 - q_i + p_i \leq w_k'$, 且 $D_{i-1} + D_i \leq D_k$, 则 $R_k = R_k \cup \{i\}, h_k = h_k + 1$; 否则, 转 Step9.

Step8: 如果 $k > K$, 则 $k = K$; 否则, $k = k$.

Step9: $k = k + 1$, 转 Step6.

Step10: $i = i + 1$, 转 Step5.

Step11: 重复 Step5 ~ Step10, K 记录所用车辆总数, R_k 记录一组可行路径.

3.3 选择算子

本文采取按比例适应度分配. 适应度越大的个体, 被选中的概率越大. 每次随机挑选两个父体, 进行下一步操作. 选择概率为

$$P_i = f_i / \sum_{i=1}^n f_i. \quad (15)$$

引入个体数量控制选择策略: 当某种个体的数量超过给定的临界值 ϵ 时, 减少该种个体的数量, 使之控制在给定的临界值 ϵ 之内, 并随机产生新的个体, 以补足种群的规模^[11]. 具体描述如下:

Step1: 对经过 $t-1$ 代遗传操作后形成第 $t-1$ 代群体 $p(t-1)$, 按比例适应度分配, 执行常规选择操作, 生成群体 $p(t)$.

Step2: 计算群体 $p(t)$ 中各种个体的数量.

Step3: 对群体 $p(t)$ 中各个体依次执行如下操作, 以生成群体 $p^1(t)$: 若某种个体数量超过第 t 代个体数量的临界值 ϵ , 则删除部分该种个体, 使该种个体数量控制在临界值 ϵ 之内; 否则, 复制该种个体全部.

Step4: 若群体 $p^1(t)$ 的数量小于种群规模 N , 则随机产生 $N - p^1(t)$ 个新个体. 得到新的群体即为参加后续交叉和变异操作的群体.

3.4 交叉算子

由于多配送中心的 VRPB 问题采用的是符号和自然数混合的编码, 极易产生不可行解. 为限制不可行解的出现, 这里对部分匹配操作进行了改进. 其

操作过程如下:

Step1: 在两个父代的染色体上随机各选取一段作为交叉段;

Step2: 如果染色体交叉点内的基因都存在相同个数符号编码或都不存在符号编码, 则允许进行部分匹配操作;

Step3: 如果染色体交叉点内的基因存在符号编码个数不同, 则将交叉点左移(右移), 直到两个交叉点内的符号编码个数相同或者为零, 才可以进行部分匹配交叉操作;

Step4: 交叉区域内的位置映射关系是: 符号编码映射符号编码, 自然数编码映射自然编码.

3.5 变异算子

变异策略采取改进的 2- 交换变异策略, 即以一定的变异概率随机选取发生变异的个体染色体, 然后在该染色体上随机选取两个基因位, 将这两个位置上的基因互换, 形成新的基因串.

互换的原则是: 符号编码互换符号编码, 自然数编码互换自然数编码.

3.6 爬山操作

设交换前路线为 $s = \{\dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_j, x_{j+1}, \dots\}$, 将 x_i, x_j 两点的位置交换后, 得到路线 $s' = \{\dots, x_j, x_{i+1}, \dots, x_i, x_{j+1}, \dots\}$. 如果距离 $\{d(x_{i+1}, x_j) + d(x_i, x_{j+1})\} < \{d(x_{i+1}, x_i) + d(x_j, x_{j+1})\}$, 则交换成功, 保留交换结果; 否则, 取消交换, 恢复交换前的路线. 具体步骤如下:

Step1: 初始循环次数变量 $t = 1$, 当前最优解 $s^* = s$, 其长度为 $l(s^*)$.

Step2: 在最优线路中随机选择 2 个顶点 x_i, x_j , 且 $i < j, x_i, x_j$ 不相邻.

Step3: 计算节约的距离 $\Delta c = \{d(x_{i+1}, x_j) + d(x_i, x_{j+1})\} < \{d(x_{i+1}, x_i) + d(x_j, x_{j+1})\}$. 如果 $\Delta c > 0$, 则不进行交换, $t = t + 1$, 转 Step4; 否则, 实施交换, 相应解为 s' , 最优解为 $s^* = s', t = 1$, 转 Step2.

Step4: 若 $l(s^*)$ 在最后 x 个循环中没有减少, 则本算法结束; 否则, 转 Step2.

Step5: 重复 Step1 ~ Step4, 直到达到一定的交换次数为止.

3.7 精英种群

Step1: 对每代的种群 P_i 进行 N 次选择、交叉和变异等遗传操作, 得到最优解 x_i ;

Step2: 保存最优解 x_i 到精英种群 P_{best} 中;

Step3: 进行 n 代遗传进化后, 得到精英种群 P_{best} .

4 禁忌搜索算法参数设计

在本文中,禁忌搜索算法的解的编码方式以及评价函数与遗传算法中相同.

4.1 候选集合的确定

确定候选集就是要找到解的邻域,在当前解的邻域中,随机选择若干个邻居作为候选集合.

4.2 禁忌对象及禁忌长度

禁忌对象是指禁忌表中被禁的那些局部最优解.本文将每次迭代得到的最好解,作为禁忌对象放入禁忌表中.

禁忌长度是算法中的关键参数,其任期的长短决定解的选取.任期越短,获得优良解的可能性相应增大,但同时增加了迂回搜索,难以探索其他有效的搜索途径.本文对禁忌长度的设置在 5~10 之间随机选取.

4.3 藐视准则

本文采用基于适配值的准则.即若候选集中所有的解都为禁忌解,则解禁候选集中的最好解.

4.4 终止准则

本文采用事先限定算法的迭代次数为终止准则,该准则是指给定一个充分大的正数,使总的迭代次数不超过这个数.事先限定算法的迭代次数能有效控制算法的运行时间.

4.5 算法步骤

Step1: 给定算法参数,遗传算法的精英种群为初始解 R^{now} ,禁忌表为空 $T: T[i, j] = 0$,迭代次数 $\text{iter} = 0$,现行最优解 R^{best} ,目前最优函数值 $f^* = f(R^{\text{best}})$.

Step2: 如果 $\max_iter = \text{iter}$,则停止计算,转 Step7;否则,继续.

Step3: 在初始可行解 R^{now} 的邻域中选一个未被禁忌或被特赦且解的评价值最佳的解 R^{next} ,令 $R^{\text{now}} = R^{\text{next}}$,并更新禁忌表 T .

Step4: 重复 Step3,直到 R^{now} 邻域中所有的变换都被禁忌且无一被赦免.

Step5: 在 R^{now} 的邻域搜索非禁忌最佳候选解或优于当前最好解,如果目标函数 $f(R^{\text{now}})$ 优于 $f(R^{\text{best}})$,则令 $R^{\text{best}} = R^{\text{now}}$,转 Step6.

Step6: 更新禁忌表 T , $\text{iter} = \text{iter} + 1$,转 Step2.

Step7: 输出最优解 f^* .

5 实验计算与结果分析

5.1 多车场单一车型

实例 1 本文数据取自文献[10],有 2 个配送中心及 16 个客户点,2 个配送中心的坐标分别为 (38,15),(68,60),单位为 km,如图 1 所示.各客户点坐标及配送量和集货量如表 1 所示,车辆的容量

设为 70 t.要求合理安排配送车辆,使总配送距离最短.

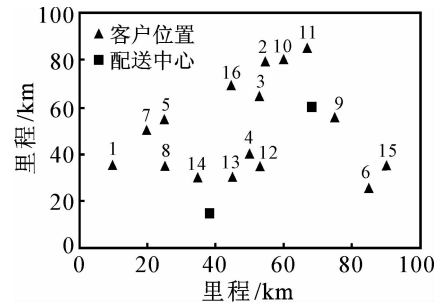


图 1 客户位置和配送中心

表 1 实例已知条件

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
横坐标 /km	10	55	53	50	25	85	20	25
纵坐标 /km	35	80	65	40	55	25	50	35
配送量 /t	20	10	10	50	30	10	10	10
集货量 /t	10	20	10	20	30	10	30	30
编号	9	10	11	12	13	14	15	16
横坐标 /km	75	60	67	53	45	35	90	45
纵坐标 /km	55	80	85	35	30	30	35	70
配送量 /t	20	10	20	50	10	10	10	30
集货量 /t	10	10	20	20	10	30	20	20

5.1.1 混合遗传启发式算法求解单一车型

在 CPU1.8 G,内存 512 M 的计算机上进行实验计算.遗传算法采用以下参数:设群体规模 $N = 60$,最大迭代次数 $\max gen = 300$,交叉算子 $p_c = 0.90$,

表 2 混合遗传启发算法求解多车场单一车型最优结果

配送中心	行车线路	装卸混合的车辆 装载量 /t	里程 /km
(68,60)	0-3-4-0	60-50(60)-10(30)	67.89
	0-9-15-6-0	40-20(30)-20(40)-30(30)	83.69
	0-16-2-10-11-0	70-40(60)-50(70)-60(70)-50(70)	77.84
	0-1-7-5-0	60-40(50)-40(70)-40(70)	101.57
(38,15)	0-13-12-0	60-50(60)-10(30)	50.98
	0-14-8-0	20-10(40)-30(60)	50.33
车辆数 / 辆	6		
总里程 /km	432.3		

注:() 内为该客户点集货后的装载量.

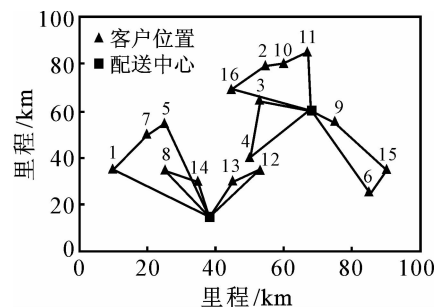


图 2 混合遗传启发式算法求解多车场单一车型最优路线

变异算子 $p_m=0.01$. 禁忌搜索算法采用以下参数：最大迭代次数 $\max_iter=500$, 禁忌长度 $L=5-10$, 候选解的数量为 50.

随机求解 10 次, 其中最好解的总里程为 432.3 km, 具体路线见表 2 和图 2.

5.1.2 两种算法求解分析

文献[10] 采用多阶段启发式算法求解, 即利用临界客户的思想将多站点转换为单一站点问题, 从而得到最终优化解.

本文算法求解的最好里程优于多阶段启发式算法所求得的最佳解.

两种算法的比较结果如表 3 所示.

表 3 多阶段启发式算法与混合遗传启发式算法比较

算 法	单向配送	单向集货	装卸混合
多阶段启发式算法	405.06	400.12	435.5
混合遗传启发式算法	398.98	400.12	432.3

可以看出, 本文提出的混合遗传启发式算法具有很强的寻优能力, 算法的求解质量高.

5.2 多车场多车型

实例 2 有 2 种不同载重量的车型, 分别为 A 和 B, 运输能力分别为 70 t 和 100 t, 其他数据同实例 1.

5.2.1 混合遗传启发式算法求解多个车型

采用本文混合遗传启发式算法求解, 用同样参数, 在同一台机器上随机求解 10 次, 结果见表 4.

表 4 混合遗传启发式算法求解多车场多车型结果

计算次序	总里程 /km	车辆类型	
		A	B
1	365.47	2	3
2	383.03	3	2
3	350.87	1	3
4	392.51	4	1
5	390.66	3	2
6	350.87	1	3
7	383.03	3	2
8	365.47	2	3
9	350.87	1	3
10	365.47	2	3
平均值	369.83	4.7	
解的标准差	15.60	0.46	

从表 4 可以看出, 10 次求解都得到了质量较高的解, 总里程的均值为 369.83 km, 平均使用车辆 4.7 辆. 算法的计算结果相当稳定, 最差解的总里程

仅比最好解的多 11.87%. 从计算效率上看, 10 次求解中有 3 次达到了最好解, 3 次达到了次最好解, 可见效率较高.

其中最优的总里程为 350.87 km, 见图 3. 表 5 是具体线路.

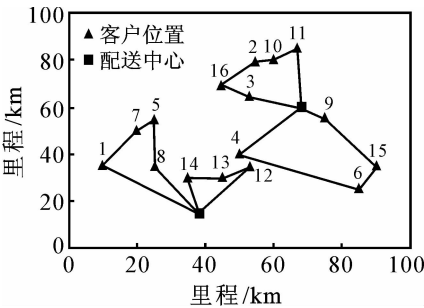


图 3 混合遗传启发式算法求解多车场多个车型最优路线

表 5 混合遗传启发式算法求解多车场多个车型最优结果

配送中心	行车线路	装卸混合的 装载量 /t	车型	里程 /km
(68,60)	0-11-10-2-16-3-0	80-60(80)-70(80)-70(90)-60(80)-70(80)	B	78.01
	0-4-6-15-9-0	90-40(60)-50(60)-50(70)-50(60)	B	109.77
(38,15)	0-1-7-5-8-0	70-50(60)-50(80)-50(80)-70(100)	B	103.36
	0-12-13-14-0	70-20(40)-30(40)-30(60)	A	59.73
车辆数 / 辆		4		
总里程 /km		350.87		

注: () 内为该客户点集货后的装载量.

5.2.2 3 种算法求解分析

为便于比较, 分别用遗传算法和禁忌搜索算法随机求解 10 次. 其中: 禁忌搜索算法求得的最优里程为 365.47 km, 遗传算法求得的最优里程为 383.03 km, 具体见表 6 (同时给出本文算法的求解结果).

表 6 遗传算法、禁忌搜索算法和本文算法比较

算法	平均总里程 /km	解的标准差	平均车数	最优里程 /km	最优解次数
GA	402.67	31.49	6.7	383.03	1
TS	389.51	20.36	5.1	365.47	2
本文算法	369.83	15.60	4.7	350.87	3

从表 6 可以看出, 本文设计的算法, 无论在寻优结果、计算效率以及算法的稳定性上, 均好于单独使用遗传算法或禁忌搜索算法.

5.3 多车型 / 单车型多车场问题的结果对比

表 7 给出了多个车型 / 单一车型多车场问题运营结果的比较. 可以看出, 从解的平均值看, 采用多

个车型运营策略比单一车型运营策略,可使运营里程减少 16.76%,车辆节省 22.95%;从最优解看,采用多个车型运营策略比单一车型运营策略,可使运营里程减少 18.84%,车辆节省 33.33%.

表7 多个车型/单一车型多车场问题运营结果比较

运营策略	总里程 平均值/km	平均 车辆数	最优 里程/km	最优 车辆数
单一车型	444.3	6.1	432.3	6
多个车型	369.83	4.7	350.87	4
多个车型比 单一车型节省/%	16.76	22.95	18.84	33.33

6 结 论

本文提出的混合遗传启发式算法具有很强的寻优能力,较快的收敛速度,同时具有较强的克服陷入局部最优的能力,算法的求解质量高.通过多个车型装卸混合的运营策略和单一车型的运营策略对比可知,采用多个车型运营策略可使企业缩短配送里程,节省配送车辆,从而降低配送成本,提高经济效益.

参考文献(References)

- [1] Hipolito, Hernandez Perez. A branch-and-cut algorithm for a traveling salesman problem with pickup and delivery[J]. Discrete Applied Mathematics, 2004, 145(1): 126-139.
- [2] Deif L, Bodin L. Extension of the clarke and wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling[C]. Proc of the Babson Conf on Software Uses in Transportation and Logistics Management. Babson Park, 1984: 75-96.
- [3] Casco Do, Golden B L, Wasil E A. Vehicle routing with backhauls; Models algorithms and case studies [M]. Amsterdam; Elsevier Science, 1988: 127-147.
- [4] Goetschalckx M, Jacobs-Blecha C. The vehicle routing problem with backhauls[J]. European J of Operational Research, 1989, 42(1): 39-51.
- [5] Duhamel C, Jean-Yves P, Jean-Marc R. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with backhauls and time windows[J]. Transportation Science, 1997, 31(1): 49-60.
- [6] Hasama T, Kokubugata H, Kawashima H. A heuristic approach based on the string model to solve vehicle routing problem with backhauls [C]. The 5th World Congress on Intelligent Transport Systems. Seoul; The Korea Highway Corporation, 1998: 25-32.
- [7] Potvin J Y, Duhamel C, Guerin F. A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling [J]. Applied Intelligence, 1996, 6(4): 345-355.
- [8] Salhi S, Nagy G. A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling[J]. J of the Operational Research Society, 1999, 50(10): 1034-1042.
- [9] Gabor Nagy, Said Salhi. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries[J]. European J of Operational Research, 2005, 162(1): 126-141.
- [10] 胡大伟, 陈诚, 郭晓汾. 带集货和配送的多站点 VRP 优化算法研究[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(2): 98-104.
(Hu D W, Chen C, Guo X F. Research on optimal algorithm for multi-depot vehicle routing problem with pickups and deliveries[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2007, 37(2): 98-104.)
- [11] 王晓博, 李一军. 电子商务下基于改进两阶段算法的有时间窗车辆调度优化[J]. 中国管理科学, 2007, 15(6): 52-59.
(Wang X B, Li Y J. Research on VRPTW of optimization based on improved two phase algorithm under electronic commerce [J]. Chinese J of Management Science, 2007, 15(6): 52-59.)

(上接第 1768 页)

- [56] 左幸, 马光文, 徐刚, 等. 人工免疫系统在梯级水库群短期优化调度中的应用[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 277-281.
(Zuo X, Ma G W, Xu G, et al. Artificial immune system and its application in short-term optimal scheduling of hydro-plants in cascade reservoirs [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 277-281.)
- [57] Rina A, Tiwari M K, Mukherjee S K. Artificial immune system based approach for solving resource constraint project scheduling problem[J]. The Int J of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 34(5): 584-593.