

文章编号:1005-2542(2009)03-0338-06

一体化集货和配送车辆路径问题的 混合遗传启发式算法

王志坚^{1,2}, 王晓博³, 李一军¹

(1. 哈尔滨工业大学 管理学院, 哈尔滨 150001; 2. 二炮司令部, 北京 100085;
3. 黑龙江大学 信息管理学院, 哈尔滨 150080)

【摘要】为满足电子商务客户多样化和个性化的需求,建立多约束条件的一体化集货和配送车辆调度模型。针对模型特点,采用混合遗传启发式算法求解。首先,采用自然数编码,可以使问题变得更简洁;用最佳保留选择法,以保证群体的多样性;用改进的顺序交叉算子避免优良基因片断在顺序交叉时被破坏,保证算法能够收敛到全局最优;其次,对混合遗传算法求得的精英种群进行禁忌搜索求解。通过实例计算表明,该算法好于单独使用遗传算法或是禁忌搜索算法。

关键词:集货与配送的车辆路径问题;混合遗传算法;禁忌搜索算法;混合遗传启发式算法
中图分类号:TP 29 **文献标识码:**A

Study on Hybrid Genetic Heuristic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Backhauls

WANG Zhi-jian^{1,2}, WANG Xiao-bo³, LI Yi-jun¹

(1. School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;
2. Second Artillery Command, Beijing 100085, China;
3. School of Information Management, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

【Abstract】In order to satisfy with the individual and various demand of customer under e-commerce, we establish vehicle scheduling with picking-delivery model. According to the characteristics of model, hybrid genetic heuristic algorithm is used to get the optimization solution. First of all, we use natural number coding so as to simplify the problem. We retain the best selection so as to guard the diversity of group. Improved ordinal crossover operators can avoid destroying good gene parts during the course of ordinal crossover so that the algorithm can be convergent to the optimization as whole. Secondly, stock elite adopting genetic algorithm takes the hybrid genetic algorithm with taboo searching algorithm. The emulation and calculation prove that it is better than only using genetic algorithm and taboo searching algorithm.

Key words: vehicle routing problem with backhauls; hybrid genetic algorithm; taboo searching algorithm; hybrid genetic heuristic algorithm

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(Vehi-

cle Routing Problem with Backhauls, VRPB)引起广泛重视。VRPB问题可分为2种类型:①取消对

收稿日期:2008-04-07

基金项目:西部交通科技资助项目(200439800063);黑龙江省科技攻关项目(GB05D202-3)

作者简介:王志坚(1972-),男,博士生。研究方向为系统仿真与优化。E-mail:wangzhijian626@163.com

先配送后集货的限制,但在每个客户点,只进行单纯的集货或单纯的配送作业,本文将上述配送策略称为单向配送/集货策略;②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,本文将上述策略称为一体化集货与配送策略。

当某个客户点同时有配送、集货需求时,若采用第1种策略,将会造成对同一客户点需要访问2次的现象,造成车辆资源浪费;另外,限制集货作业只能在配送作业完成之后才能开始,会导致车辆的路线规划缺乏弹性,可能因为要满足这一约束,会增加运输的距离和成本。因此,在实际运作过程中,多采用一体化集货与配送策略。

国内外对第1类问题研究较多,对第2类问题因其问题的复杂性,对其研究还处于初步阶段,这方面的文献资料相当少。VRPB问题的研究方法主要有精确算法^[1]、启发式算法和智能优化算法。启发式方法较精确优化方法更为实用,缺点是难以知道何时好的启发式解已经被求得。例如:Deif^[2]通过修改节约值的衡量指标,引入惩罚值求解第1类问题,取得较好结果;Casco^[3]提出基于载重量的插入方法,插入收集顾客的成本考虑增加的路径成本和还未配送的载重量,求解第2类问题,也取得较好结果;Goetschalckx^[4]提出了1个两阶段启发式方法,首先基于空间曲线和贪心法对节点进行分组;最后,通过复杂路径改善法求出整体最优解。

在求解大规模、多约束条件的问题时,智能算法应用更广泛。Duhamel^[5]用禁忌搜索法解决带有时间窗的VRPB问题。卜雷^[6]通过构造合理的邻域结构,引入适合的罚函数评价解的质量,随机选取禁忌长度的禁忌搜索算法求解第2类问题。Hasama^[7]同时考虑VRPB的2种情况,采用模拟退火启发式算法求解,并比较2种情况得到的解。Potvin^[8]采用混合遗传算法求解VRPB问题,也取得较好效果。孙小年^[9]用4位数的遗传编码,降低对交叉算子和变异算子的要求,有效提高解的质量。Russell Bent^[10]用两阶段混合算法求解有时间窗的装卸混合问题,第1阶段用模拟退火算法减少路线的数量,而第2阶段使用大邻居搜索算法(LNS)减少总旅行费用。Anne^[11]首先用蚂蚁算法求解,然后通过路径改善的方法对所得到的路径进行调整。

鉴于一体化集货与配送的车辆路径问题的特殊性,应采用混合策略。正是基于这点,本文提出用混合遗传启发式算法求解,即综合遗传算法和禁忌搜索2种启发式算法的互补性,设计了对混合遗传算

法求得的精英种群进行禁忌搜索来求解该类问题的混合算法。

1 数学模型

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$U_{ik} - U_{jk} + N x_{ijk} \leq N - 1 \quad (10)$$

$$i, j \in H, k \in V$$

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

$$X_{ijk} = 0, 1 \quad i, j \in S, k \in V \quad (12)$$

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

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

式中: $G\{g_r | r=1, 2, \dots, R\}$,为一系列可行 R 处的配送中心集合(本文只有1个); $H\{h_i | i=R+1, \dots, R+N\}$,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; $V\{v_k | k=1, 2, \dots, K\}$,为运输车辆 K 的集合; C_{ijk} 为车辆 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 ($i \in H$)供应量; A_{ijk} 从节点 i 到节点 j 的运输车辆 k 上的配送量; B_{ijk} 从节点 i 到节点 j 的运输车辆 k 上的集货量; w_k 为车辆载重量; d_{ij} 为客户 i 到客户 j 的直线距离; T_r 配送中心 r ($r \in G$)的容量; D_k 为车辆 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台运输车辆提供服务;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)确保某一辆车最多只能从某收货点发出一次;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) 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。

2 混合遗传算法中各算子确定

2.1 遗传编码

采用自然数编码, 用一个结构体表示各受供点的信息。用客户号自然数进行编码时, 始终以“0”表示配送中心, 染色体就是指一条路径, 染色体长度是指连同起点、终点在内的所有节点个数。当染色体长度为 L_n 时, 则以 $n-1$ 表示终点。

2.2 初始解的形成

设 h_k 为车辆 k 所运送的客户点总数; 集合 $R_k = \{y_k | 0 \leq i \leq h_k\}$ 对应第 k 辆车运送的客户点; Y_k 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。步骤如下:

(1) 令车辆的初始剩余装载量 $W_k^1 = w_k, k=0, h_k=0, R_k = \emptyset$;

(2) 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 $k=1$;

(3) 如果 $q_i \leq w_k$, 则令 $W_k^1 = \min\{(w_k - q_i + p_i), w_k\}$, 否则转入(6);

(4) 如果 $w_k^1 - q_i + p_i \leq w_k$, 且 $D_{i-1} + D_i \leq D_k$, 则 $R_k = R_k \cup \{i\}, h_k = h_k + 1$, 否则转入(6);

(5) 如果 $k > K$, 则 $k=K$, 否则, $k=k$;

(6) $k=k+1$, 转入(3);

(7) $i=i+1$, 转入(2);

(8) 重复(2)~(7), K 记录所用车辆总数, R_k 记录一组可行路径。

2.3 适应度函数

采用最佳保留选择法, 要求适应度函数值非负, 通过下面变化将目标函数转化为适应度函数

$$f_m = nz^1/z_m \quad (15)$$

式中: f_m 为第 m 个染色体的适应度; n 为常数; z^1 为初始种群中最好染色体所对应的配送费用; z_m 为目前染色体所对应的配送费用。

2.4 选择算子

为了能够保持全局搜索能力, 扩大种群的多样性, 本文提出了一种将最佳个体保留与轮盘赌选择相结合的最佳保留选择法。具体步骤如下:

(1) 计算种群中每个个体的适应值 f_i ;

(2) 计算种群总的适应值 $\sum f_i$;

(3) 计算种群中每个个体在该种群中的相对适

$$p_i = f_i / \sum f_i;$$

(4) 随机生成一个 $[0, 1]$ 之间的数 s , 如果 $p_1 + \dots + p_{i-1} < s < p_1 + \dots + p_{i-1} + p_i$, 选择个体 i 进入到下一代种群中, 重复选择 n 次, 生成下一代种群的 n 个个体;

(5) 找出当前群体中适应值最高的个体 $f_{\text{now}1}$ 和适应值最低的个体 $f_{\text{now}2}$;

(6) 如果 $f_{\text{now}1} > f_{\text{best}}$, 则 $f_{\text{best}} = f_{\text{now}1}$; 否则, 用最好个体 $f_{\text{now}1}$ 替换当前群体中的最差个体 $f_{\text{now}2}$ 。

2.5 交叉算子

顺序交叉能保留并融合不同排列的有序结构单元。但是, 当染色体交叉点不全为 0 时, 优良基因片断在顺序交叉时被破坏, 不能保证算法能够收敛到全局最优。为保留双亲的优良基因组片断, 限制不可行解的出现, 这里对交叉操作进行了改进, 其操作过程如下:

(1) 在 2 个父代的染色体上随机各选取一段作为交叉段;

(2) 如果染色体交叉点处的 2 个基因全都为 0, 则直接进行顺序交叉操作;

(3) 如果染色体交叉点处的基因不全都为 0, 则将交叉点左移(右移), 直到左右 2 个交叉点处的基因都为 0, 再进行顺序交叉操作。

改进后的交叉算子更加能够使子代染色体继承父代的较多基因信息, 避免优良基因片断在顺序交叉时被破坏, 保证算法能够收敛到全局最优。

2.6 变异算子

本文的变异策略采取 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 2 个基因位, 把这 2 个位置上的基因互换, 形成新的基因串。若基因串中连续出现 0 代码情况, 则将其中 1 个 0 代码与任意 1 个位置上的非零代码互换, 多次执行该步骤, 直到新基因串成为合法的子代个体。

2.7 精英种群

由于精英种群的初始个体都是以往种群进化得到的最优个体, 在优良个体之间进行优良基因片的组合、交叉, 可以产生更为优良的染色体。

(1) 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 ;

(2) 保存最优解 x_i 到精英种群 P_{best} 中;

(3) 当进行 n 代遗传进化后, 得到精英种群 P_{best} ;

3 禁忌搜索算法参数设计

在本文中,禁忌搜索算法的使用主要对经过遗传算法的选择,交叉、变异后的精英种群再进行局部搜索。下面重点讨论禁忌搜索算法中候选集合的产生方法、禁忌对象和禁忌长度的确定、藐视规则以及终止准则。

3.1 候选集合的确定

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

3.2 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采取在5~10之间随机选取。

3.3 藐视准则

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。

3.4 终止准则

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该数。事先限定算法的迭代次数能有效控制算法的运行时间和算法的求解精度。

3.5 算法步骤

(1) 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 $iter = 0$,现行最优解 R^{best} ,目前最优函数值 $f^* = f(R^{best})$;

(2) 如果 $max_iter = iter$,停止计算,转入(7),否则,继续;

(3) 在初始可行解 R^{now} 的邻域,在此邻域中选一个未被禁忌或被特赦,并且解的评价值最佳的解 R^{next} ,令 $R^{now} = R^{next}$,并更新禁忌表 T ;

(4) 重复(3),直到 R^{now} 邻域中所有的变换都被禁忌且无一被赦免;

(5) 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 $f(R^{now})$ 优于 $f(R^{best})$,则令 $R^{best} = R^{now}$,转入(6);

(6) 更新禁忌表 T , $iter = iter + 1$,转入(2);

(7) 输出最优解 f^* 。

4 实验计算与结果分析

实例 本文数据取自文献[6],某铁路行包分公司有5台配送车辆,车辆的最大载重5 t,车辆的最大行驶距离为60 km,需要为21个配送点服务,行包基地的坐标为(0,0),采用随机产生21个配送点的配送量和集货量(见表1),各配送点之间的距离为欧氏距离。要求合理安排配送车辆,使总的配送距离最短。

表1 实例已知条件

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
横坐标	15	5	12	14	7	13	16	8	3	3	2
纵坐标	10	2	3	5	5	7	9	8	8	12	15
配送量	2.0	0.2	1.0	0.8	1.0	0.3	0.7	0.8	0	0	1.8
集货量	1.0	0.3	0.7	2.4	0.8	1.4	0.9	1.0	2	0.5	0
编号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
横坐标	7	12	18	15	13	10	7	10	20	0	
纵坐标	12	13	12	15	18	16	8	10	2	10	
配送量	0.5	1.3	0.7	0.2	1.0	0.5	1.0	1.9	0.5	1.6	
集货量	1.0	0.5	0.6	0.3	0.8	0.5	1.0	1.5	0	1.4	

4.1 混合遗传启发式算法求解

用C语言编制VRPB问题混合遗传启发式算法程序,在CPU 1.8 GB,内存512 MB的计算机上进行实验计算。

遗传算法部分采用以下参数:设群体规模 $N = 60$,最大迭代次数 $max_g_m = 300$,交叉算子 $p_c = 0.90$,变异算子 $p_m = 0.01$,禁忌搜索算法部分采用以下参数:最大迭代数为 $max_iter = 500$,禁忌长度 $L = 5 \sim 10$,候选解的数量 = 50。随机求解10次,计算结果见表2。

从表2可以看出,用本文设计的混合遗传启发式算法对实例的10次求解中,都得到了质量较高的解,总里程的均值175.62 km,平均使用车辆4辆。算法的计算结果相当稳定,最差解的总里程仅比最好的解多21%。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,最好解的总里程173.84 km,具体行车路线见表3和图1。

4.2 3种算法求解分析

参考文献[6],分别用遗传算法、禁忌搜索算法随机求解10次,计算结果见表4。其中,禁忌搜索算法求得的最优解的总里程175.45 km,遗传算法求得的最优解的总里程176.19 km。

表2 混合遗传启发式算法求解VRPB问题计算结果

计算次序	混合遗传启发式算法	
	总里程/km	车辆数
1	175.45	4
2	173.84	4
3	176.19	4
4	176.38	4
5	173.84	4
6	175.45	4
7	177.49	4
8	173.84	4
9	176.19	4
10	177.49	4
平均值	175.62	4
解的标准差	1.334	0

表3 混合遗传启发式算法求解VRPB问题最优结果

行车线路	一体化配送和集货的车辆装载量	里程/km
0-2-5-8-	4.6-4.4(4.7)-3.7(4.5)-	30.46
18-21-0	3.7(4.7)-3.7(4.7)-3.1(4.5)	
0-13-17-16-	4.7-3.4(3.9)-3.4(3.9)-	54.73
15-14-7-6-0	2.9(3.7)-3.5(3.8)-3.1(3.7)- 3.0(3.9)-3.6(5.0)	
0-1-20-	4.3-2.3(3.3)-2.8(2.8)-	49.37
4-3-0	2.0(4.4)-3.4(4.1)	
0-19-12-11-	4.2-2.3(3.8)-3.3(4.3)-	39.28
10-9-0	2.5(2.5)-2.5(3.0)-3.0(5.0)	
总车辆数	4	
总里程/km	173.84	

注:()内为该客户点集货后的装载量

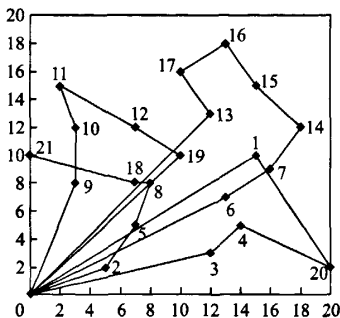


图1 混合遗传启发式算法求解VRPB问题最优路线

从表5可以看出,本文设计的混合遗传启发式算法,无论在寻优结果,计算效率上,以及算法的稳定性上均好于单独使用遗传算法或是禁忌搜索算法。

表4 遗传算法和禁忌搜索算法求解VRPB问题计算结果

次序	禁忌搜索算法		遗传算法	
	总里程/km	车辆数	总里程/km	车辆数
1	176.38	4	190.01	4
2	175.45	4	181.99	4
3	176.19	4	186.01	4
4	180.21	4	186.49	4
5	181.19	4	178.13	4
6	175.45	4	189.53	4
7	178.13	4	180.05	4
8	175.45	4	184.34	4
9	176.19	4	176.19	4
10	177.49	4	183.88	4
平均值	177.21	4	183.66	4
解的标准差	1.945	0	4.371	0

表5 遗传算法、禁忌搜索算法和本算法比较

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	183.66	4.371	4	176.19	1
SA	177.21	1.945	4	175.45	3
本算法	175.62	1.334	4	173.84	3

4.3 一体化配送和集货与单向配送和集货对比

如果不是从总体的角度综合考虑配送和集货,而是分别进行配送和集货路线优化,用本文的混合遗传启发式算法对实例中相同测试数据进行计算,采用同样参数,随机求解10次。得到配送和集货各自线路。10次求解中,最优的配送总里程为167.11 km,具体行车路线见表6和图2。10次求解中,最优的集货总里程为166.64 km,具体行车路线见表7和图3。

表6 混合遗传启发式算法求解单向配送最优结果

行车线路	配送车辆装载量变化	里程/km
0-8-19-13-18-0	5.0-4.2-2.3-1.0-0	35.45
0-2-3-4-20-	4.5-4.3-3.3-2.5-	48.59
7-6-5-0	2.0-1.3-1.0-0	
0-1-14-15-	4.9-2.9-2.2-2.0-	51.98
16-17-12-0	1.0-0.5-0	
0-21-11-10-9-0	3.4-1.8-0-0-0	31.09
总车辆数	4	
总里程/km	167.11	

将表6的单向配送线路和表7的单向集货线路合并,可以得到采用单向策略的配送和集货的总里程,具体见表8。

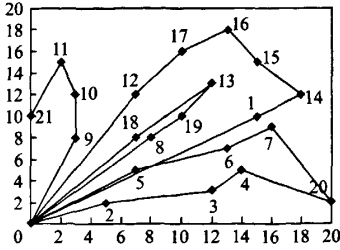


图2 单向配送VRP问题最优路线

表7 混合遗传启发式算法求解单向集货最优结果

行车线路	配送车辆装载量变化	里程/km
0-2-6-4-20-3-0	0-0.3-1.7-4.1-4.1-4.8	44.20
0-21-9-5-0	0-1.4-3.4-4.2	27.21
0-13-17-16-	0-0.5-1.0-1.8-	55.80
15-14-7-1-0	2.1-2.7-3.6-4.6	
0-18-8-19-	0-1.0-2.0-3.5-	39.43
12-11-10-0	4.5-4.5-5.0	
总车辆数	4	
总里程/km	166.64	

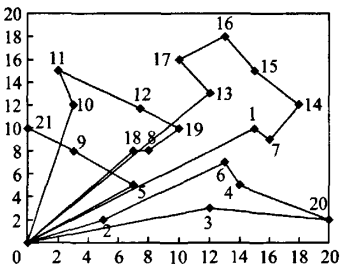


图3 单向集货VRP问题最优路线

表8 一体化配送/集货与单向配送/集货计算结果比较

运营策略	总里程/km	车辆数
单向配送	167.11	4
单向集货	166.64	4
单向配送和集货	333.75	8
一体化配送和集货	173.84	4
一体化配送和集货比单向策略的节省/%	47.9	50

由表8可知,单向配送的路线长度为167.11 km,单向集货的路线长度为166.64 km,两者合计为333.75 km。

对比分析可知,一体化配送和集货的行驶路线为173.84 km,比采用单向配送和集货的运营策略节约47.9%,节约了近一半的路程,节省配送车辆数50%。

5 结语

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;具有较强的克服陷入局部最优的能力,算法的求解质量高。同时,通过对一体化配送和集货的运营策略和采用单向配送和集货的运营策略对比可知,采用一体化配送和集货的运营策略可以大大节省配送车辆、缩短配送里程,从而降低企业运营成本、提高经济效益。

参考文献:

- [1] Hipolito, Hernandez Perez. A branch-and-cut algorithm for a traveling salesman problem with pickup and delivery [J]. Discrete Applied Mathematics, 2004, 145:126-139.
- [2] Deif L, Bodin L. Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling[C]// Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistics Management, 1984:75-96.
- [3] Casco Do, Golden B L, Wasil E A. Vehicle routing with backhauls: models algorithms and case studies [C]// Golden B L, Assad, eds. Vehicle Routing: Methods and Studies. Elsevier; Amsterdam, 1988: 127-147.
- [4] Goetschalckx M, Jacobs-Blecha C. The vehicle routing problem with backhauls [J]. European Journal of operational Research, 1989, 42:39-51.
- [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] 卜雷,尹传忠,赵宜. 铁路行包配送车辆路径问题模型及算法[J]. 同济大学学报(自然科学版),2007, 35(8):1069-1073.
- [7] 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. Korea: The Korea Highway Corporation, 1998: 25.
- [8] Potvin J Y, Duhamel C, Guerin F. A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling [J]. Applied Intelligence, 1996(6): 345-355.
- [9] 孙小年,陈幼,杨东援. 装卸一体化车辆路径问题的遗传算法研究[J]. 系统工程理论与实践,2007(2): 149-152.
- [10] Russell Bent, Pascal Van Hentenryck. A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows[J]. Computers & Operations Research, 2006, 33: 875-893.
- [11] Anne W, Said S. An ant system algorithm for the vehicle routing problem with backhauls[C]// 4th Metaheuristics International Conference, 2001:199-203.

作者: 王志坚, 王晓博, 李一军, WANG Zhi-jian, WANG Xiao-bo, LI Yi-jun
作者单位: 王志坚, WANG Zhi-jian(哈尔滨工业大学, 管理学院, 哈尔滨, 150001; 二炮司令部, 北京, 100085), 王晓博, WANG Xiao-bo(黑龙江大学, 信息管理学院, 哈尔滨, 150080), 李一军, LI Yi-jun(哈尔滨工业大学, 管理学院, 哈尔滨, 150001)
刊名: 系统管理学报 **ISTIC** **PKU**
英文刊名: JOURNAL OF SYSTEMS & MANAGEMENT
年, 卷(期): 2009, 18(3)
被引用次数: 1次

参考文献(11条)

1. Goetschalckx M; Jacobs-Blecha C [The vehicle routing problem with backhauls](#) 1989
2. Casco Do; Golden B L; Wasil E A [Vehicle routing with backhauls: models algorithms and case studies](#) 1988
3. Deif L; Bodin L [Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling](#) 1984
4. Russell Bent; Pascal Van Hentenryck [A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows](#)[外文期刊] 2006(4)
5. Anne W; Said S [An ant system algorithm for the vehicle routing problem with backhauls](#) 2001
6. 孙小年; 陈幼; 杨东援 [装卸一体化车辆路径问题的遗传算法研究](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2007(02)
7. Potvin J Y; Duhaumel C; Guerin F [A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling](#)[外文期刊] 1996(06)
8. Hasama T; Kokubugata H; Kawashima H [A heuristic approach based on the string model to solve vehicle routing problem with backhauls](#) 1998
9. 卜雷; 尹传忠; 赵宣 [铁路行包配送车辆路径问题模型及算法](#)[期刊论文]-[同济大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(08)
10. Duhamel C; Jean-Yves P; Jean-Marc R [A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with backhauls and time windows](#) 1997(01)
11. Hipolito Hernandez Perez [A branch-and-cut algorithm for a traveling salesman problem with pickup and delivery](#)[外文期刊] 2004(1)

本文读者也读过(10条)

1. 王晓博, 李一军, WANG Xiao-bo, LI Yi-jun [多车型单配送中心混合装卸车辆路径问题研究](#)[期刊论文]-[系统工程学报](#)2010, 25(5)
2. 李珍萍, 刘永胜, 王莲花, 章祥菽, LI Zhen-ping, LIU Yong-sheng, WANG Lian-hua, ZHANG Xiang-sun [双需求集货送货一体化车辆路径问题的数学模型及算法](#)[期刊论文]-[运筹与管理](#)2009, 18(6)
3. 马华伟, YANG Shan-lin, MA Hua-wei, YANG Shan-lin [可选时间窗车辆调度问题的改进禁忌搜索算法](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#)2008, 20(16)
4. 刘建柱 [物流配送中心选址的研究现状和发展趋势](#)[期刊论文]-[致富时代\(下半月\)](#) 2011(3)
5. 黄敏芳, 胡祥培, 王征, Amy Z. Zeng, HUANG Min-fang, HU Xiang-pei, WANG Zheng, Amy Z. Zeng [车辆路径问题的三阶段求解方法研究](#)[期刊论文]-[管理科学](#)2009, 22(3)
6. 刘霞, 齐欢, LIU Xia, QI Huan [最小-最大车辆路径问题的禁忌搜索算法](#)[期刊论文]-[系统工程](#)2007, 25(1)
7. 郎茂祥 [装卸混合车辆路径问题的模型及其禁忌搜索算法研究](#)[会议论文]-2004

8. [张启义, 陈亮, 杨昌明, ZHANG Qiyi, CHEN Liang, YANG Changming](#) [退火单亲遗传算法求解带软时间窗的车辆路径问题](#)[期刊论文]-[军事交通学院学报](#)2010, 12(2)
9. [朱才华, 何渝, ZHU Cai-hua, HE Yu](#) [带时间窗和货物权重的车辆路径问题的研究](#)[期刊论文]-[北京工商大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 27(4)
10. [张建勇, 李军, ZHANG Jian-yong, LI Jun](#) [模糊车辆路径问题的一种混合遗传算法](#)[期刊论文]-[管理工程学报](#) 2005, 19(2)

引证文献(1条)

1. [肖建辉](#) [车辆路径优化文献综述](#)[期刊论文]-[广东技术师范学院学报\(自然科学版\)](#) 2010(2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xtgcllffyy200903016.aspx