

有时间窗配送车辆调度问题的禁忌搜索算法

张 炯,郎茂祥

(北京交通大学 交通运输学院 北京 100044)

摘 要 在对有时间窗配送车辆调度问题进行描述的基础上,建立了该问题的基于直观描述的数学模型.通过设计一种新的解的表示方法构造了求解该问题的禁忌搜索算法,并以21个节点的运输网络为例进行了实验计算.计算结果表明,用作者设计的禁忌搜索算法求解有时间窗配送车辆调度问题,不仅可以取得很好的计算结果,而且算法的计算效率较高,收敛速度较快,计算结果也较稳定.

关键词 物流配送;车辆调度问题;禁忌搜索算法;时间窗

中图分类号 :O211.1 **文献标识码** :A

The Tabu Search Algorithm for Distribution Vehicle Scheduling Problem with Time Windows

ZHANG Jiong, LANG Mao-xiang

(School of Traffic and Transport, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract On the basis of describing the distribution vehicle scheduling problem with time windows, this paper sets up the model of the problem based on natural description. Then this paper sets up a tabu search algorithm for the problem by presenting a new solution indicating method and makes some experimental computations to a transportation net with 21 nodes. The computational results demonstrates that the high quality solutions to the distribution vehicle scheduling problem with time windows can be obtained by using the new tabu search algorithm, and the new algorithm is also efficient and robust.

Key words :physical distribution; vehicle scheduling problem; tabu search algorithm; time window

物流配送是现代化物流系统的一个重要环节,它是指按用户的订货要求,在配送中心进行分货、配货,并将配好的货物及时送交收货人.在物流配送业务中,存在许多优化决策问题,其中配送车辆调度问题对配送企业加快配送速度、提高服务质量、降低配送成本及增加经济效益影响较大.

按客户对送货时间的要求,配送车辆调度问题可分为无时限问题(客户对货物的送到时间无具体要求)和有时限问题(客户要求将需求的货物在规定的时间内送到,也称为有时间窗问题).所谓有时间窗配送车辆调度问题,是指在制定配送路线时,不

仅考虑客户的货物需求数量约束和配送车辆一次配送的最大行驶距离约束,而且要考虑客户对货物送到时间的要求.随着企业JIT战略的实施,零库存成为许多企业追求的目标,于是客户对货物的送到时间提出了更高的要求.可见研究有时限配送车辆调度问题具有十分重要的现实意义.

现有研究成果建立的有时间窗配送车辆调度问题的数学模型一般为基于网络图的模型,本文作者在对有时间窗配送车辆调度问题进行描述的基础上,建立了该问题的直观描述的数学模型.

禁忌搜索算法为求解配送车辆调度问题提供了

新的工具. Gendreau, Jiefeng, Barbarosoglu, I-Ming, Chao, 蔡延光、郎茂祥等^[1-6]都曾利用禁忌搜索算法求解配送车辆调度问题,并取得了很多研究成果.但上述研究一般仅限于对无时限配送车辆调度问题的求解,有关用禁忌搜索算法求解有时间窗配送车辆调度问题的研究不多,因此亟待进一步深入研究.作者通过设计一种新的解的表示方法构造了求解有时间窗配送车辆调度问题的禁忌搜索算法,并进行了实验计算.计算结果表明,用本文作者设计的禁忌搜索算法求解有时间窗配送车辆调度问题,不仅可以取得很好的计算结果,而且算法的计算效率较高,收敛速度较快,计算结果也较稳定.

1 数学模型

有时间窗配送车辆调度问题可以描述为:从某物流中心用多台配送车辆向多个客户送货,每个客户的位置和需求量一定,要求将货物送到的时间窗一定,每台配送车辆的载重量一定,其一次配送的最大行驶距离一定,要求合理安排车辆配送路线和行车时间,使目标函数得到优化,并满足以下约束条件:①每条配送路径上各客户的货物需求量之和不超过配送车辆的载重量;②每条配送路径的长度不超过配送车辆一次配送的最大行驶距离;③每个客户的货物需求必须满足,且只能由一台配送车辆送货;④货物必须在客户指定的时间窗内送到.

设物流中心有 K 台配送车辆,车辆 k 的载重量为 Q_k ($k=1, 2, \dots, K$), 其一次配送的最大行驶距离为 D_k , 需要向 L 个客户送货, 客户 i 的需求量为 q_i , 且要求货物在时间范围 $[a_i, b_i]$ 内运到, 客户 i 到 j 的运距为 d_{ij} , 物流中心到各客户的距离为 d_{0j} , 设 s_i 表示车辆到达客户 i 的时刻, t_i 表示车辆在客户 i 的等待时间, t_{ij} 表示配送车辆由客户 i 行驶到客户 j 的旅行时间; t_a 表示卸每吨货所需的时间; 再设 n_k 为第 k 辆车配送的客户数 ($n_k=0$ 表示未使用第 k 台车辆), 用集合 R_k 表示第 k 条路径, 其中的元素 r_{ki} 表示客户 r_{ki} 在路径 k 中的顺序为 i (不包括物流中心), 令 $r_{k0}=0$ 表示物流中心, $s_0=0$ 表示配送车辆从物流中心出发的时刻为 0. 取目标函数为配送总里程最短, 则可建立如下有时间窗配送车辆调度问题的基于直观描述的数学模型

$$\min Z = \sum_{k=1}^K \left[\sum_{i=1}^{n_k} d_{r_{k(i-1)} r_{ki}} + d_{r_{kn_k} r_{k0}} \cdot \text{sign}(n_k) \right] \quad (1)$$

式(1)为目标函数,即要求配送总里程(即各条配送路径的长度之和)最短.

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^{n_k} q_{r_{ki}} \leq Q_k \quad (2)$$

式(2)保证每条路径上各客户的货物需求量之和不超过配送车辆的载重量.

$$\sum_{i=1}^{n_k} d_{r_{k(i-1)} r_{ki}} + d_{r_{kn_k} r_{k0}} \cdot \text{sign}(n_k) \leq D_k \quad (3)$$

式(3)保证每条配送路径的长度不超过配送车辆一次配送的最大行驶距离.

$$0 \leq n_k \leq L \quad (4)$$

式(4)表明每条路径上的客户数不超过总客户数.

$$\sum_{k=1}^K n_k = L \quad (5)$$

式(5)表明每个客户都得到配送服务.

$$R_k = \{r_{ki} \mid r_{ki} \in \{1, 2, \dots, L\}, i = 1, 2, \dots, n_k\} \quad (6)$$

式(6)表示每条路径的客户的组成.

$$R_{k_1} \cap R_{k_2} = \emptyset \quad \forall k_1 \neq k_2 \quad (7)$$

式(7)限制每个客户仅能由一台配送车辆送货.

$$\text{sign}(n_k) = \begin{cases} 1 & n_k \geq 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (8)$$

式(8)表示当第 k 辆车服务的客户数 ≥ 1 时,说明该台车参加了配送,则取 $\text{sign}(n_k)=1$, 当第 k 辆车服务的客户数 < 1 时,表示未使用该台车辆,因此取 $\text{sign}(n_k)=0$.

$$s_{r_{k(i-1)}} + t_{r_{k(i-1)}} + t_a \cdot q_{r_{k(i-1)}} + t_{r_{k(i-1)} r_{ki}} = s_{r_{ki}} \quad i = 1, 2, \dots, n_k \quad (9)$$

式(9)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.

$$t_i = \max\{a_i - s_i, 0\} \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (10)$$

式(10)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.

$$s_i \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (11)$$

式(11)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(10、11)共同保证满足客户的时间窗约束.

上述有时间窗配送车辆调度问题的直观描述的数学模型与相关文献中基于网络图的模型相比,具

有以下特点:①考虑的目标函数和约束条件较为全面和接近实际;②决策变量、目标函数和约束条件的表示较为自然、直观和易于理解;③便于设计求解算法和用计算机编程求解;④具有较好的可扩充性。

2 算法

利用禁忌搜索算法求解组合优化问题时,首先按照随机方法产生一个初始解作为当前解,然后在当前解的邻域中搜索若干个解,取其中的最好解作为新的当前解。为了避免对已搜索过的局部最优解的重复,禁忌搜索算法使用禁忌表记录已搜索的局部最优解的历史信息,这使得算法可在一定程度上避开局部最优点,从而开辟新的搜索区域。

用禁忌搜索算法求解有时间窗配送车辆调度问题时,确定解的表示方法是一项非常关键的工作,它直接决定算法实现的难易程度和算法性能的优劣。现有研究文献在用禁忌搜索算法求解有时间窗配送车辆调度问题时多采用有向边排列的解的表示方法,这种解的表示方法所构造的禁忌搜索算法,具有解的表示不太直观、算法策略不易理解、占用的计算机存储量较大、搜索效率较低、收敛速度较慢的缺点。为了克服以上缺点,作者根据有时间窗配送车辆调度问题的特点,提出了一种新的解的表示方法,即客户直接排列的解的表示方法。对于一个有 L 个客户的有时间窗配送车辆调度问题,这种解的表示方法是直接产生 L 个 $1\sim L$ 间的互不重复的自然数的排列,表示客户顺序,然后按照有时间窗配送车辆调度问题的约束条件(包括车辆的最大载重量约束和车辆一次配送的最大行驶距离约束,以及客户要求将货物按时送到的时间窗约束),依次将解的元素(客户)划入各条配送路径中。采用这种表示方法时,若某个解对应的配送路径数大于配送车辆总台数,则说明该解为一个不可行解。

基于上述客户直接排列的解的表示方法,结合有时间窗配送车辆调度问题的特点,本文作者构造了求解该问题的一种新的算法,其算法策略如下。

(1)解的评价方法。用禁忌搜索算法求解组合优化问题时,需要对解进行评价,使算法在迭代过程中,不断搜索到质量更优的解。根据对有时间窗配送车辆调度问题的描述,对于某个解要判定其优劣,首先要得到该解所对应的配送路径方案,然后再判断该配送路径方案是否满足问题的约束条件,同时计算该配送路径方案的目标函数值,在满足问题的约束条件的前提下,其目标函数值越优,则解的质量越高。采用客户直接排列的表示方法产生的解所确定

的配送路径方案,隐含能够满足每个客户都得到配送服务及每个客户仅由一台车辆服务的约束,也能满足车辆的载重量约束及车辆一次配送的最大行驶距离约束,但不能保证配送路径条数小于配送车辆总台数。对于某个解,设其对应的配送路径方案的配送路径条数与配送车辆总台数之差为 M (若配送路径条数小于等于配送车辆总台数,则取 $M=0$,表示该解为可行解;若配送路径条数大于车辆总台数,则 $M>0$,表示该解为一个不可行解),其目标函数值为 Z ,可将 M 看成该解对应的配送路径方案的不可行路径条数,设对每条不可行路径的惩罚权重为 P_w (该权重可根据目标函数的取值范围取一个相对较大的正数),则该解的评价值为

$$E = Z + M \times P_w \quad (12)$$

(2)邻域操作方法。禁忌搜索算法是一种基于邻域搜索技术的算法,确定邻域操作方法是构造该算法的一个重要步骤。本文作者采用两交换法实施邻域操作。该方法是指随机选择解中的两个元素,并交换其值的邻域操作方法。

(3)禁忌对象的确定。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。

(4)禁忌长度的确定。禁忌长度是指被禁对象不允许被选取的迭代步数。本文取禁忌长度为一个常数,其值应根据问题的规模确定。

(5)候选集合的确定。本文将从当前解的邻域中随机选择若干个邻居作为候选集合。

(6)终止准则的确定。本文采用迭代指定步数的终止准则。

本文作者设计的上述基于客户直接排列的解的表示方法的禁忌搜索算法具有以下优点:①解的表示十分直观,且算法策略较为简单和易于理解;②解中的元素少,占用的计算机存储量小,且计算效率较高;③由于这种解的表示方法充分利用了问题的知识,使得算法在迭代过程中产生的解大多为可行解,因而算法的收敛速度较快。

3 实验计算和结果分析

作者对一个由计算机随机产生的有时间窗配送车辆调度问题实例(见例1)进行了实验计算。

例1 设物流中心和20个客户分布在一个边长为20 km的正方形地域内,每个客户的货物需求和供应量均在2 t及其以下,物流中心有10台配送车辆,车辆最大载重量均为8 t,车辆一次配送的最大行驶距离均为50 km。作者利用计算机随机产

生了物流中心和20个客户的位置坐标、各客户的货物需求量以及各客户要求将货送到的时间窗。物流中心的坐标为(3.2 km, 14.1 km), 20个客户的坐标、货物需求量及要求将货送到的时间窗见表1。时间窗是指相对车辆开行时刻而确定的货物允许送到时间范围。根据上述条件, 合理安排车辆的配送路线, 使配送总里程最短。为简便起见, 设各客户相互之间及物流中心与客户之间的距离采用直线距离, 该距离可以根据客户和物流中心的坐标计算得到。设配送车辆在配送过程中的平均行驶速度为20 km/h, 配送车辆在客户处的卸货时间按每吨货0.5 h计算。

表1 实例的已知条件表

Tab.1 Given conditions of example

客户编号	横坐标 x/km	纵坐标 y/km	货物需求量 q/t	时间窗开始 时段/h	时间窗结束 时段/h
1	3.8	5.5	0.8	4.7	10.5
2	15.2	10.9	0.6	1.5	6.0
3	18.6	12.9	0.4	4.7	10.2
4	11.9	8.2	1.6	5.1	9.5
5	10.2	9.5	0.8	3.7	8.9
6	5.3	9.6	0.6	6.7	12.3
7	0.6	9.9	1.9	7.9	12.9
8	6.1	15.0	1.3	0.6	5.7
9	7.6	19.2	1.8	2.6	6.8
10	16.0	15.7	1.8	2.5	8.1
11	15.3	15.2	0.4	4.1	10.1
12	1.6	14.7	1.6	3.4	8.1
13	9.0	9.2	1.1	0.0	6.0
14	5.4	13.3	1.6	5.3	10.3
15	7.8	10.0	1.0	2.1	6.3
16	18.6	7.8	0.8	6.8	12.0
17	14.5	5.3	1.4	7.7	13.4
18	15.0	18.7	1.2	6.0	10.4
19	9.8	5.0	0.4	5.4	9.6
20	1.4	6.9	1.4	5.8	11.7

根据例1的特点, 作者在用禁忌搜索算法对其求解时采用了以下运行参数: 对不可行路径的惩罚权重取300 km, 迭代步数取400, 每次迭代共搜索当前解的40个邻居, 禁忌长度取5。对例1随机求解10次, 得到的计算结果见表2。

从表2可以看出: 用禁忌搜索算法对实例1的10次求解中, 都得到了质量很高的解, 其配送总里程的平均值为117.09 km, 平均使用的车辆数为3.6辆。其中第2次求解得到的解的质量最高, 其配送总里程为112.9 km, 该最好解对应的3条配送路径分别为路径1: 2-9-15-16-19-7; 路径2: 18-17-3-4-14; 路径3: 5-12-1-8-13-6-11-20; 路径4: 10。根据该配送路径方案和时间

窗约束条件, 可以进一步得到各台配送车辆的行车时间安排, 下面仅以路径1说明之, 在该条配送路径上, 配送车辆时刻0从物流中心出发, 时刻0.518到达客户2, 时刻1.54卸货后出发, 时刻1.84到达客户9, 时刻2.72卸货后并出发, 时刻2.98到达客户15, 立即卸货后出发, 时刻3.35到达客户16, 时刻6.91卸货出发, 时刻7.25到达客户19, 时刻7.25卸货出发, 时刻7.48到达客户7, 时刻8.07卸货出发将回到储运中心。禁忌搜索算法的计算结果也较稳定, 10次求解中, 最差的解的配送总里程仅比最好的解高5.9%。从计算效率看, 10次求解的平均计算时间仅为0.38 s, 计算效率也较高。

表2 实例的禁忌搜索算法计算结果表

Tab.2 Solution of example

计算次序	配送总距离/km	使用车辆数/台	迭代步数	计算时间/s
1	119.6	4	484	0.38
2	112.9	4	342	0.38
3	116.2	4	397	0.38
4	118.2	3	393	0.38
5	114.6	4	412	0.38
6	118.4	4	448	0.38
7	119.2	4	419	0.38
8	120.7	4	465	0.38
9	116.8	3	394	0.38
10	114.3	3	414	0.38
平均	117.09	3.7	423.1	0.36

4 结论

(1) 论文建立了有时间窗配送车辆调度问题的基于直观描述的数学模型。该模型考虑了较为接近实际的约束条件和目标函数, 并具有简单、直观、易于理解、易于设计算法求解及可扩充性强等特点。

(2) 论文为求解有时间窗配送车辆调度问题提出了一种新的解的表示方法, 即客户直接排列的解的表示方法, 进而基于这种解的表示方法构造了一种求解该问题的新的禁忌搜索算法。与现有文献中基于有向边排列的解的表示方法的禁忌搜索算法相比, 本文设计的算法具有解的表示自然直观, 算法策略易于理解, 计算效率较高, 收敛速度较快的优点。

(3) 论文利用本文设计的禁忌搜索算法对一个由计算机随机产生的有时间窗配送车辆调度问题实例进行了实验计算。计算结果表明, 用本文设计的禁忌搜索算法求解有时间窗配送车辆调度问题, 不仅可以取得很好的计算结果, 而且算法的计算效率较高, 收敛速度较快, 计算结果也较稳定。

(下转第110页)

- [2] 铁道科学研究院. 京沪高速铁路运营管理的深化研究 [R]. 北京 : 铁道科学研究院 , 2002. 67 - 77.
China Academy of Railway Sciences. Deepening Research on Operatif Management for Beijing-Shanghai Fligh-Speed Railway [R]. Beijing : China Academy of Railway Sciences , 2002. 67 - 77. (in Chinese)
- [3] 王进勇 , 闫海峰 , 许绍兴. V 形天窗对线路通过能力的影响 [J]. 西南交通大学学报 , 2003 , 38(2) : 196 - 200.
Wang Jin-yong , Yan Hai-feng , Xu Shao-xing. Influence of V Form Skylight on Carrying Capacity of Railways [J]. Journal of Southwest Jiaotong University , 2003 , 38(2) : 196 - 200. (in Chinese)
- [4] 陈应先. 高速铁路线路与车站设计 [M]. 北京 : 中国铁道出版社 , 2001. 19 - 23.
Chen Ying-xian. Railway High-Speed Lines and Station Design [M]. Beijing : China Railway Press , 2001. 19 - 23. (in Chinese)
- [5] 铁道第四勘察设计院. 京沪高速铁路设计暂行规定 [M]. 北京 : 中国铁道出版社 , 2003. 1 - 7 , 59 - 64.
Institute of Railway No. 4 Prospecting Design. A Provisional Regulations for Beijing-Shanghai High-Speed Railway Design [M]. Beijing : China Railway Press , 2003. 1 - 7 , 59 - 64. (in Chinese)

(上接第 102 页)

1999 年投资在 2000 年见到了成效. 然而 , 从企业信息化发展水平与企业经济相关度来看 , 却呈现出下降的趋势 ; 如企业信息化水平与销售收入的相关度 , 由 2000 年的 1.36 下降到 2001 年的 0.92 ; 与劳动生产率的相关度也由 2000 年的 0.38 下降到 2001 年的 0.28. 说明企业的信息化建设在企业的生产经营中的作用没有得到发挥 , 需要深入查找原因 , 使高新技术能切实起到应有的作用.

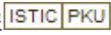
参考文献 :

- [1] 吴静宜. 关于企业信息化水平测度的探讨 [J]. 信息技术 , 2001 (6) : 1 - 4.
Wu Jin-yi. Research about the Calculating Informatization Leve [J]. Information & Technology , 2001 (6) : 1 - 4. (in Chinese)
- [2] 陈淮莉 , 马哲哲 , 范菲雅. 面向现代集成制造的企业信息化水平评价模型 [J]. 机械科学与技术 , 2003 , 22(1) : 132 - 133.
Chen Huai-li , Ma Deng-zhe , Fan Fei-ya , A Model for Evaluating the Application of Information Technology to Modern Manufacturing Enterprises [J]. Mechanical Science and Technology , 2003 , 22(1) : 132 - 133. (in Chinese)
- [3] 李晓东. 信息化发展理论与分析方法及我国信息化水平测算 [J]. 中国社会科学院研究生院学报 , 2001 (3) : 21 - 31.
Li Xiao-Dong. The Developing Theories and Analyzing Methods and Level Calculating for Information [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Social Science 2001 (3) 21 - 31. (in Chinese)
- [4] 宋玲. 信息化水平测度的理论与方法 [M]. 北京 : 经济科学出版社 , 2001.
Song Lin. The Theories and Analyzing Methods about the Calculating the Information Level [M]. Beijing : the Economy & Science Press 2001. (in Chinese)

(上接第 106 页)

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 : 1276 - 1290.
- [2] Xu J F , James P K. A Network Flow-Based Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem [J]. Transportation Science , 1996 , 30(4) : 379 - 393.
- [3] Gulay Barbarsoglu , Demet Ozgur. A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem [J]. Computers & Operations Research , 1999 , 26 : 225 - 270.
- [4] Chao I M. A Tabu Search Method for the Truck and Trailer Routing Problem [J]. Computers & Operations Research , 2002 , 29 : 33 - 51.
- [5] 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.
Cai Yan-guang , Qian Ji-xin , Sun You-xian. A Parallel Double-Tabu-Based Tabu Search for Multiple Demands Vehicle Routing Problems [J]. Journal of System Engineering. Theory & Practice , 1998 , 18(11) : 20 - 26. (in Chinese)
- [6] 郎茂祥. 物流配送车辆调度问题的模型和算法研究 [D]. 北京 : 北方交通大学 , 2002.
Lang mao-xiang. Study on the Models and Algorithms for Physical Distributoin Vehicle Scheduling Problems [D]. Beijing : Beijing Jiaotong University 2002. (in Chinese)

作者: 张炯, 郎茂祥
作者单位: 北京交通大学, 交通运输学院, 北京, 100044
刊名: 北方交通大学学报 
英文刊名: JOURNAL OF NORTHERN JIAOTONG UNIVERSITY
年, 卷(期): 2004, 28(2)
被引用次数: 16次

参考文献(6条)

1. GENDREAU M; Hertz A; Laporte G A Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem[外文期刊] 1994
2. 郎茂祥 物流配送车辆调度问题的模型和算法研究[学位论文] 2002
3. 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[期刊论文]-系统工程理论与实践 1998(11)
4. Chao I M A Tabu Search Method for the Truck and Trailer Routing Problem 2002
5. Gulay Barbarsoglu; Demet Ozgur A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem 1999
6. Xu J F; James P K A Network Flow-Based Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem 1996(04)

引证文献(17条)

1. 葛金辉 有时间窗的车辆路径问题及改进禁忌搜索算法[期刊论文]-吉林大学学报(理学版) 2011(1)
2. 王淑霞, 葛金辉, 熊颖 车辆路径问题的算法研究[期刊论文]-通化师范学院学报 2010(10)
3. 曹剑东, 郑四发, 廖雁南, 李兵, 连小珉 市内集送货问题的混合禁忌搜索算法[期刊论文]-武汉理工大学学报(交通科学与工程版) 2009(5)
4. 李建, 张永, 达庆利 第三方物流多车型硬时间窗路线问题研究[期刊论文]-系统工程学报 2008(1)
5. 杨鸣亮, 李蓓智, 周亚勤 蚁群算法和遗传算法融合及其在有时间窗的车辆路径问题中的应用[期刊论文]-工业控制计算机 2008(6)
6. 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[期刊论文]-中国管理科学 2007(6)
7. 邵贵平 分时段配送车辆调度问题的禁忌搜索算法[期刊论文]-商场现代化 2007(16)
8. 王征 供应链环境下的分销网络规划[学位论文] 硕士 2007
9. 刘志硕, 柴跃廷, 申金升 蚁群算法及其在有硬时间窗的车辆路径问题中的应用[期刊论文]-计算机集成制造系统 2006(4)
10. 赵辉 车辆优化调度问题的研究[学位论文] 博士 2006
11. 卢飞 物流车辆调度系统研究[学位论文] 硕士 2006
12. 董军 在电子商务环境下对物流配送中心改进的研究[学位论文] 硕士 2006
13. 葛拥军 食品物流车辆调度问题研究[学位论文] 硕士 2006
14. 方跃建 电子商务环境下的物流配送车辆调度方法研究[学位论文] 硕士 2006
15. 周柏松 随机行驶时间车辆调度问题研究[学位论文] 硕士 2005
16. 黄娟 港口物流中心配送方法研究[学位论文] 硕士 2005
17. 葛金辉 有时间窗的车辆路径问题及改进禁忌搜索算法[期刊论文]-吉林大学学报(理学版) 2011(1)