

文章编号: 1006-2475(2011)06-0073-03

# 基于 TS的动态车辆调度问题的混合算法研究

袁建清

(黑龙江东方学院计算机科学与电气工程学部, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:** 对带时间窗的动态车辆调度问题进行分析, 采用实时再优化方法进行研究, 引入时间轴概念, 建立动态车辆调度模型, 并给出求解的混合禁忌搜索算法。该算法先用 C-K 节约算法求得初始解, 然后用禁忌搜索进行优化, 得到全局最优解。禁忌搜索算法中采用动态邻域移动方法构造候选解和动态禁忌长度选取策略设置紧急长度, 提高算法的收敛速度。最后用实例证明该混合算法的可行性和有效性。

**关键词:** 动态车辆调度; 混合禁忌搜索算法; 禁忌搜索算法; C-K 节约法; 动态信息

**中图分类号:** TP301.6 **文献标识码:** A **doi** 10.3969/j.issn.1006-2475.2011.06.021

## Mixed Tabu Search Algorithm for Dynamic Vehicle Scheduling Problem

YUAN Jian-qing

(Institute of Computer Science and Electric Engineering, Heilongjiang East Academy, Harbin 150086, China)

**Abstract** On the basis of studying dynamic vehicle scheduling problem with time windows, a dynamic vehicle scheduling mathematical model is established through introducing time axis concept and adopting real time optimizing research methods. Then a mixture algorithm based on a C-K economical method and Tabu Search algorithm is designed to solve dynamic vehicle scheduling problem. This algorithm improves convergence speed by using dynamic candidate solutions construct method and dynamic length selection strategy. Finally computational results are provided to show that the mixed Tabu Search algorithm is feasible and efficient.

**Key words** dynamic vehicle scheduling; mixed Tabu Search algorithm; Tabu Search algorithm; C-K economical method; dynamic information

## 0 引 言

静态车辆路径优化问题 (VRP) 已经得到充分的研究<sup>[1]</sup>。静态车辆调度<sup>[2]</sup>是指在调度之前, 所有的信息 (如客户信息、车辆信息等) 都是确定的。而在实际的车辆调度计划和执行过程中, 往往会有新客户需求或客户信息发生变化等情况的出现, 这时要求系统能够快速地进行响应, 并及时更新车辆调度计划, 这类问题称为动态车辆调度问题<sup>[3]</sup>。本文研究的是带时间窗的动态车辆调度问题 (DVSPITW, Dynamic Vehicle Scheduling Problem with Time Windows), 即还考虑了客户对时间的要求。

目前国内学者对动态车辆调度问题的研究主要形成了两种优化方法<sup>[4]</sup>: 一是基于 A-priori 优化的方法; 二是实时再优化方法。实时再优化方法是根据动态信息实时地对行驶车辆线路进行动态的调整。实现算法有: 动态插入算法<sup>[5]</sup>、并行禁忌搜索法<sup>[6-7]</sup>、遗

传算法<sup>[8]</sup>等。本文采用实时再优化方法对带时间窗的动态车辆调度问题进行研究, 建立数学模型, 并设计一种基于 C-K 节约法和禁忌搜索的混合禁忌搜索算法对问题进行有效求解。

## 1 模型建立

### 1.1 问题描述

带时窗动态车辆调度问题是在初始调度计划执行过程中, 由于新需求的不断到来, 调度系统需要改变原来线路或重新开辟线路以对动态任务点做出处理<sup>[9]</sup>。根据 DVSPITW 的动态特性, 本文引入时间轴的概念, 即将一个调度周期建立为一个时间轴, 比如可以是一个工作日, 并把时间轴划分成一定时间间隔的时间片。在某个时间片内, 动态信息点的信息也是已知的, 从而将动态车辆调度问题转化为一个个静态子问题处理<sup>[10]</sup>。

收稿日期: 2011-03-18

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (11544037)

作者简介: 袁建清 (1979-), 女, 黑龙江穆棱人, 黑龙江东方学院计算机科学与电气工程学部讲师, 硕士, 研究方向: 信息管理。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

## 1.2 调度模型

为建立模型,定义变量和参数如下:设新需求产生时刻为  $\tau$ ,  $N_{u0}(\tau)$  为  $\tau$  时刻已完成任务集合;  $N_{v1}(\tau)$  为  $\tau$  时刻未完成任务集合;  $N_u(\tau)$  为  $\tau$  时刻未完成任务点和任务点集合;  $N_{u0}(\tau)$  为  $\tau$  时刻所有未完成任务、任务点和调度中心的集合。设完成任务需要车辆数  $m$ , 车辆固定成本  $P$ , 每辆车载重量为  $Q$ ,  $\tau$  时刻车辆  $k$  的已累积载重量  $Q_{ik}(\tau)$ ; 客户点  $i$  的需求量  $q_i$ ; 客户点  $i$  到客户点  $j$  的运输成本  $c_{ij}$ ; 客户点  $i$  到客户点  $j$  所需的运输时间  $t_{ij}$ ; 运输车辆到达客户点  $i$  的时间  $T_i$ ; 时间窗为  $[E_i, L_i]$ 。

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } k \text{ 由点 } i \text{ 驶向点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{点 } i \text{ 的运输任务由车辆 } k \text{ 完成} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

以车辆固定成本和行使里程成本统一作为优化目标,目标函数如式(1):

$$\min Z = Pm + \sum_{k \in N_{u0}(\tau)} \sum_{i \in N_{u0}(\tau)} \sum_{j \in N_{u0}(\tau)} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_{i \in N_{u0}(\tau)} q_i y_{ik} \leq Q - Q_{ik}(\tau), \quad i \in N_{u0}(\tau), k = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N_{u0}(\tau)} x_{0ik} = \sum_{j \in N_{u0}(\tau)} x_{ijk} = 1, k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1, i \in N_u(\tau) \quad (4)$$

$$E_i \leq T_i \leq L_i, i \in N_{u0}(\tau) \quad (5)$$

式(2)表示车辆不能超载;式(3)表示车辆必须从配送中心出发,最后回到配送中心;式(4)表示每个任务点只能由一辆运输车辆完成;式(5)是时间窗约束。

## 2 混合禁忌搜索算法

### 2.1 C-K 节约算法和禁忌搜索算法

C-K 节约算法是由 Clarke 和 Wright 最早提出的<sup>[11]</sup>,算法的基本思想是:(1)把配送中心与每个任务点单独相连。(2)搜索满足条件的任务点将其进行连接,计算各条线路的费用节约值,连接节约值最大的两任务点。(3)反复重复步骤(2),最后可完成运输线路的规划<sup>[12]</sup>。

禁忌搜索算法<sup>[13]</sup>(TS)采用禁忌策略来限制搜索过程陷入局部最优来避免迂回搜索,同时引入特赦(藐视)准则来释放一些被禁忌的优良状态,以保证搜索过程的有效性和多样性。它是局部邻域搜索的一种拓展避免,可以克服搜索过程易于早熟收敛的缺陷,是一种全局逐步寻优算法。TS 算法的全局寻优能力对初始解是有很强的依赖性的<sup>[14]</sup>,因此一个好的初始解是 TS 算法求得最优解的一个重要条件。

### 2.2 混合禁忌搜索算法设计

本文提出用一种混合禁忌搜索算法求解动态车

辆调度问题。即,先用 C-K 节约算法构造一个好的初始可行解,然后再用禁忌搜索算法进行优化,从而得到全局较优解。

#### (1)构造初始解。

先用 C-K 节约算法构造静态初始解,并将时间轴中某个时间段的所有新需求的动态信息进行插入,系统检查运输车辆及其路线,依次判断新的任务点是否满足插入条件,计算所有满足插入条件的可行线路的插入成本,取成本最小者将新任务插入,就得到了动态初始解。

#### (2)邻域搜索。

采用 2-opt 交换算子进行邻域搜索,并根据连续未找到更好解的迭代步数动态调整候选解的个数。

#### (3)禁忌表和动态禁忌长度的选取。

本文采用  $(n+1) \times (n+1)$  阶矩阵来表示禁忌表。为了提高算法的收敛速度(在不影响搜索全局性的前提下),对于禁忌长度的设置不是将其设为一个固定值,而是采用动态选取策略,即在开始迭代  $R_0$  步后,每搜索  $R$  步就设置一个检测点,判断当前目标值相对于  $R$  步前的目标值的下降程度,来动态地调整紧急长度。

#### (4)解结构和时间窗。

用二维数组  $Route[n+1][n+1]$  来存储解结构,用结构体数组  $TW[n+1]$  来存储客户时间窗。

#### (5)算法终止。

设定 3 个算法终止条件:①总迭代次数达到指定次数;②连续未寻得更优解次数达到指定次数;③达到时间片的长度  $L$ 。当满足上述 3 个条件之一时算法终止。

#### (6)算法步骤。

步骤 1 用 C-K 节约算法构造动态初始可行解,并将该解设为当前最优解,初始化禁忌表和相关变量,转步骤 2。

步骤 2 判断算法终止条件:迭代次数达到指定次数;或连续未寻得更优解次数达到指定次数。若满足其中之一,转步骤 7;否则重复执行步骤 3~6。

步骤 3 采用 2-opt 交换算子,根据当前连续未寻得更优解最大次数动态地调整构造候选解的个数,将产生结果可加入邻域作为候选解,重复执行,直到当前候选解数量达到最大候选解数量,转步骤 4。

步骤 4 搜索非禁忌最佳候选解或优于当前最优解的禁忌解来代替当前解,转步骤 5。

步骤 5 若得到的当前解不优于当前最优解,将当前连续未寻得更优解次数变量加 1;否则将其置 0,并将当前最优解替换为当前解,转步骤 6。

步骤 6 更新禁忌表  $T$ ,迭代步数加 1,转步骤 2。

步骤 7 输出当前最优解。

3 实例验证

本文用一个测试实例来验证算法的可行性和有效性。设某时间段有 7 个预先任务点和 2 个动态任务点, 新需求产生时刻  $\tau$  各任务点的需求量  $q_i$ , 时间窗  $[E_i, L_i]$  各任务点间的距离如表 1 所示。设任务点间距离  $C_{ij}$  与行使时间成正比  $t_{ij}$ , 这里令  $C_{ij} = t_{ij}$ ; 设有一个调度中心  $Q$ , 车辆负载能力为  $Q = 1Q$  车辆固定成本  $P = 50Q$  行驶成本为  $10Q$

表 1 时间窗、需求量及距离关系表

距离	0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	D1	D2
0	0	0.8	1.3	1.5	3.5	2.0	2.2	4.0	0.7	2.2
P1	0.8	0	1.6	1.0	2.4	2.2	1.8	1.2	1.2	2.2
P2	1.3	1.6	0	1.8	1.6	1.8	1.8	2.4	1.2	1.3
P3	1.5	1.0	1.8	0	2.2	3.5	2.2	1.2	1.8	1.6
P4	3.5	2.4	1.6	2.2	0	2.0	1.8	2.4	1.0	2.0
P5	2.0	2.2	1.8	3.5	2.0	0	2.2	1.6	1.5	2.4
P6	2.2	1.8	1.8	2.2	1.8	2.2	0	2.4	1.6	1.0
P7	4.0	1.2	2.4	1.2	2.4	1.6	2.4	0	2.8	2.2
D1	0.7	1.2	1.2	1.8	1.0	1.5	1.6	2.8	0	3.5
D2	2.2	2.2	1.3	1.6	2.0	2.4	1.0	2.2	3.5	0
需求量	2.8	2.5	4.2	3.6	3.5	5	5.2	3	2.0	
时间窗	[1.4 5]	[4.6 5]	[1.5 4]	[3.5 7]	[2.5]	[2.5 5]	[3.5 8]	[4.5 7]	[6 8]	
$\tau$	0	0	0	0	0	0	0	2.5	4	

新需求产生前的 7 个预先任务已由 4 辆车承担, 4 辆车的任务分配为  $0 \rightarrow P1 \rightarrow Q \rightarrow P6 \rightarrow P2 \rightarrow Q \rightarrow P3 \rightarrow P7 \rightarrow Q \rightarrow P5 \rightarrow P4 \rightarrow 0$  四条线路。

利用混合禁忌搜索算法对上述动态车辆调度的测试实例进行求解。(1)运用 C-K 节约算法求得动态初始解, 共需 5 辆车, 各线路分别为  $0 \rightarrow P1 \rightarrow D1 \rightarrow Q \rightarrow P6 \rightarrow P2 \rightarrow Q \rightarrow P3 \rightarrow P7 \rightarrow Q \rightarrow P5 \rightarrow P4 \rightarrow Q \rightarrow D2 \rightarrow Q$  车辆固定成本 100Q 线路行驶成本 1486 总费用为 2485。(2)用禁忌搜索算法对初始解进行优化, 结果只需要原来的 4 辆车即可, 车辆固定成本 800Q 线路行驶成本 134Q 总费用为 214Q 4 辆车的任务分配为  $0 \rightarrow P1 \rightarrow P7 \rightarrow Q \rightarrow P3 \rightarrow P2 \rightarrow D1 \rightarrow Q \rightarrow P6 \rightarrow D2 \rightarrow Q \rightarrow P5 \rightarrow P4 \rightarrow Q$

测试案例运行 20 次, 运行时间均在 2 秒钟内完成, 均得到总费用最小值为 214Q。说明算法运行都能获得较优解, 并且算法收敛速度也很快。

4 结束语

本文引入时间轴概念, 将一个调度周期建立为一

个时间轴, 把时间轴划分成一定时间间隔的时间片, 将动态车辆调度问题转化为静态子问题处理, 来实现对新任务需求的实时动态调整, 并建立数学模型。本文提出了用基于 C-K 节约法和 TS 的混合禁忌搜索算法对问题进行求解, 给出了算法步骤。最后通过实例证明了混合禁忌搜索算法的有效性。

本文的研究是针对单时间窗的动态车辆调度问题, 进一步研究可以考虑多时间窗分布情况下的算法的性能和适应性。

参考文献:

[1] 肖增敏, 李军. 动态网络车辆路径问题: 研究现状及展望 [J]. 系统工程, 2004, 22(7): 68-71

[2] 葛显龙, 王旭, 代应. 基于改进遗传算法的有时间窗车辆调度问题研究 [J]. 计算机应用研究, 2011, 10(2): 87-90

[3] 刘霞, 齐欢. 基于禁忌搜索的动态车辆路径问题 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010, 34(2): 293-296

[4] Larsen A. The dynamic vehicle routing problem [D]. Lyngby Technical University of Denmark, 2001.

[5] Ghiani G, Guerriero F, Laporte G, et al Realtime vehicle routing Solution concepts algorithms and parallel computing strategies [J]. European Journal of Operational Research, 2003, 151(1): 1-11.

[6] Bianchi L. Notes on dynamic vehicle routing: the state of the art [R]. DSIA-05-01, 2000

[7] 葛金辉. 有时间窗的车辆路径问题及改进禁忌搜索算法 [J]. 吉林大学学报, 2010, 25(1): 126-130

[8] 张建强, 方卫国. 有时间窗约束车辆路径问题的改进遗传算法 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 64(32): 68-71.

[9] 王训斌, 陆慧娟, 等. 物流动态车辆调度问题的混合禁忌搜索算法 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(8): 228-231.

[10] 曹剑东, 郑四发, 李兵, 等. 动态车辆调度系统设计与开发 [J]. 计算机工程, 2008, 34(7): 180-182

[11] Clarke G, Wright J. Scheduling of vehicles from a central depot to number of delivery points [J]. Operations Research, 1964, 12(4): 12-18

[12] Barber Federico. Optimization model of transport currents [J]. Journal of Mathematical Sciences, 2006, 6(13): 99-101.

[13] Glover F, Kelly J, Laguna M. Genetic algorithms and Tabu Search Hybrids for optimizations [J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(1): 111-134

[14] Savelsbergh M. Local search for routing problem with time window [J]. Annals of Operations Research, 1985, 16(4): 285-305.