

文章编号: 1009-6744 (2006) 05-0065-05

# 多配送中心车辆调度问题的模型与算法研究

郎茂祥

(北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044)

**摘要:** 在对多配送中心车辆调度问题进行直观描述的基础上,建立了该问题的数学模型。提出了采用距离最近分配法将多配送中心车辆调度问题分解为多个单配送中心车辆调度问题进行求解的策略。基于求解单配送中心车辆调度问题的禁忌搜索算法,设计了求解多配送中心车辆调度问题的算法,并进行了实验计算。计算结果表明,用本文设计的算法求解多配送中心车辆调度问题,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:** 多配送中心车辆调度问题;模型;算法

**中图分类号:** U491

## Study on the Model and Algorithm for Multi-Depot Vehicle Scheduling Problem

LANG Mao-xiang

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

**Abstract:** On the basis of intuitionistic description of the multi-depot vehicle scheduling problem, many mathematical models of the problem is built in this paper. The solving tactics of dividing a multi-depot vehicle scheduling problem into several single-depot vehicle scheduling problems by using the minimum distance distribution method is presented. The algorithm for the multi-depot vehicle scheduling problem is designed based on the taboo search algorithm for single-depot vehicle scheduling problem. The computational results demonstrates that the high quality solutions to the multi-depot vehicle scheduling problem can be obtained by using the new algorithm and the algorithm is also efficient and robust.

**Key words:** multi-depot vehicle scheduling problem; model; algorithm

**CLC number:** U491

### 0 引言

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、降低配送成本的影响较大。根据配送中心数目的多少,配送

车辆调度问题有单配送中心车辆调度问题和多配送中心车辆调度问题之分。在城市物流体系中,往往存在多个配送中心。因此,对多配送中心车辆调度问题的研究具有重要的现实意义。

现有对配送车辆调度问题的研究主要集中在单配送中心问题上,对多配送中心车辆调度问题的研究很少,国内对该问题的研究基本上是空白。国

收稿日期:2006-03-09

郎茂祥(1969-),男,山东高唐人,北京交通大学交通运输学院教授,博士,主要研究方向为交通运输规划与管理。

Email: langmaoxiang@jtys.bjtu.edu.cn

外的 Renaud、Desaulniers、Wu、Kazaz、Sumichrast、Irnich 等专家对多配送中心车辆调度问题进行了研究<sup>[1-6]</sup>,并取得了一些有价值的研究成果. 本文在现有研究成果的基础上,建立了多配送中心车辆调度问题的基于直观描述的数学模型,提出了采用距离最近分配法将多配送中心车辆调度问题分解为多个单配送中心车辆调度问题进行求解的策略,利用求解单配送中心车辆调度问题的禁忌搜索算法,设计了求解多配送中心车辆调度问题的算法,最后通过实验计算验证了该算法的良好性能.

## 1 多配送中心车辆调度问题的数学模型

多配送中心车辆调度问题可以描述为:从多个配送中心用多台车辆向多个客户送货,每个配送中心的位置一定,每个客户的位置和需求一定,每台车辆的载重量一定,其一次配送的最大行驶距离一定,配送中心供应的货物,能够满足所有客户的需求,要求合理安排车辆配送路线,使目标函数得到优化,并满足以下条件:

每条配送路径上各客户的需求量之和不超过车辆的载重量;

每条配送路径的长度不超过车辆一次配送的最大行驶距离;

每个客户的需求必须满足,且只能由一台车辆送货.

设某城市中有  $H$  个配送中心,要给  $M$  个客户送货,每个配送中心服务的客户构成一个配送分区. 设第  $h$  个配送中心要向  $L_h$  ( $h = 1, 2, \dots, H$ ) 个客户送货,第  $h$  个配送中心有  $K_h$  台配送车辆,每台车辆的载重量为  $Q_{hk}$  ( $k = 1, 2, \dots, K_h$ ),其一次配送的最大行驶距离为  $D_{hk}$ . 第  $h$  个配送中心服务的第  $i$  个客户的货物需求量为  $q_{hi}$  ( $i = 1, 2, \dots, L_h$ ),客户  $i$  到  $j$  的运距为  $d_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, L_h$ ),该配送中心到第  $j$  个客户的距离为  $d_{hj}$  ( $h = 1, 2, \dots, H; j = 1, 2, \dots, L_h$ ),再设  $n_{hk}$  为第  $h$  个配送中心中第  $k$  台车辆配送的客户数 ( $n_{hk} = 0$  表示未使用第  $k$  台车辆),用集合  $R_{hk}$  表示第  $h$  个区域中的第  $k$  条路径,其中的第  $i$  个元素  $r_{hki}$  表示客户  $r_{hki}$  在第  $h$  个区域中的路径  $k$  中的顺序为  $i$  (不包括配送

中心),令  $r_{hk0} = 0$  表示配送中心,若以配送总里程最短为目标函数,则可建立如下多配送中心车辆调度问题的数学模型:

$$\min Z = \sum_{h=1}^H \left\{ \sum_{k=1}^{K_h} \sum_{i=1}^{n_{hk}} d_{r_{hk}(i-1) r_{hki}} + d_{r_{hkn_{hk}} r_{hk0}} \cdot \text{sign}(n_{hk}) \right\} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^{n_{hi}} q_{hr_{hki}} \leq Q_{hk} \quad (2)$$

$$d_{r_{hk}(i-1) r_{hki}} + d_{r_{hkn_{hk}} r_{hk0}} \cdot \text{sign}(n_{hk}) \leq D_{hk} \quad (3)$$

$$0 \leq n_{hk} \leq L_h \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{K_h} n_{hk} = L_h \quad (5)$$

$$\sum_{h=1}^H L_h = M \quad (6)$$

$$R_{nk} = \{ r_{nki} \mid r_{nki} \in \{1, 2, \dots, L_h\}, i = 1, 2, \dots, n_{hk} \} \quad (7)$$

$$R_{hk_1} \cap R_{hk_2} = \emptyset \quad \forall h, k_1 \neq k_2 \quad (8)$$

$$\text{sign}(n_{hk}) = \begin{cases} 1 & n_{hk} = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

上述模型中,(1)式为目标函数,即要求配送总里程(即各条配送路径的长度之和)最短;(2)式保证每条路径上各客户的货物需求量之和不超过车辆的载重量;(3)式保证每条配送路径的长度不超过车辆一次配送的最大行驶距离;(4)式表明某配送分区每条路径上的客户数不超过该分区的总客户数;(5)式表明某配送分区各条配送路径上的客户数之和等于该分区的总客户数;(6)式表明每个客户都得到配送服务;(7)式表示每条路径的客户的组成;(8)式限制每个客户仅能由一台车辆送货;(9)式表示当区域  $h$  中第  $k$  辆车服务的客户数为 1 时,说明该台车参加了配送,则取  $\text{sign}(n_{hk}) = 1$ ,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  $\text{sign}(n_{hk}) = 0$ .

上述多配送中心车辆调度问题的基于直观描述的数学模型与相关研究文献中基于网络图的模型相比,具有以下特点:

考虑的目标函数和约束条件较为全面和接近实际;

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;

便于设计求解算法和用计算机编程求解.

## 2 多配送中心车辆调度问题的求解策略和算法

由于多配送中心车辆调度问题涉及面广、影响因素众多,为了求解方便,需要将问题做适当简化.为此,本文提出将一个多配送中心车辆调度问题转化成多个单配送中心车辆调度问题进行求解的策略.在将多配送中心车辆调度问题转化成多个单配送中心车辆调度问题时,决定每个配送中心服务的具体客户是问题的关键.本文根据以下距离最近分配方法确定为某客户提供服务的配送中心:计算某客户与各配送中心的距离,该客户离哪个配送中心最近,就将其分配给哪个配送中心.设  $d_{ih}$  表示第  $i$  个客户到第  $h$  个配送中心的距离,选择  $d_{im} = \min\{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iH}\}$ ,并将该客户分配给配送中心  $m$ .得到为每个客户服务的配送中心后,也就得到了每个配送中心服务的具体客户.

作者曾在文献[7]中对单配送中心车辆调度问题的求解算法进行了研究,结论是禁忌搜索算法的效果较优.因此,本文在对由多配送中心车辆调度问题转化成的单配送中心车辆调度问题进行求解时也采用禁忌搜索算法.

根据上述多配送中心车辆调度问题的求解策略,参考文献[7]、[8]中求解单配送中心车辆调度问题的禁忌搜索算法,作者设计了求解多配送中心车辆调度问题的算法(见算法1).

### 算法1 多配送中心车辆调度问题的求解算法.

{输入无时限多配送中心车辆调度问题的已知条件;

输入算法的运行参数,包括终止迭代步数  $T$ ,每次迭代搜索当前解的邻居的个数  $N$ ,禁忌长度  $l$ ,对不可行路径的惩罚权重  $Pw$  等;

for(  $i = 1; i \leq M; i++$ ) //  $i$  为客户编号

{  $D =$  很大的数;

num = 0;

for(  $h = 1; h \leq H; h++$ ) //  $h$  为配

送中心编号

{计算  $d_{ih}$ ; //  $d_{ih}$  为客户  $i$  到配送中心  $h$

的距离

if(  $d_{ih} < D$ )

{  $D = d_{ih}$ ;

num =  $h$ ;

}

}

将客户  $i$  划分给配送中心 num;

} //实现多配送中心问题向单配送中心问题的转化

的转化

for(  $h = 1; h \leq H; h++$ ) //求解单配送中心车辆调度问题

{导入配送中心  $h$  及其服务的客户的位置、需求量信息、车辆信息;

初始化禁忌表  $H$ ;

随机产生一个初始解  $S$  作为当前解,迭代步数  $t = 0$ ;

利用解的评价方法计算  $S$  的屏价值;

当前最好解  $S_{best} = S$ ;

当前最好解的评价值  $E_{best} = S$  的评价值;

while(  $t <$  终止迭代步数  $T$ ) do

{本次迭代已搜索邻居的个数  $n = 0$ ;

对本次迭代的最好解的评价值  $E_{localbest}$  赋一个很大的正数;

while(  $n < N$ ) do

{对  $S$  用两交换法实施邻域操作,得  $S$  的一个邻居  $S'$ ;

if(  $S'$  不是禁忌表  $H$  中的元素)

{利用解的评价方法计算解  $S'$  的评

价值;

if(  $S'$  的评价值  $< E_{localbest}$ )

{  $S_{localbest} = S'$ ;

$E_{localbest} = S'$  的评价值;

}

$n = n + 1$ ;

}

}

if(  $E_{localbest} < E_{best}$ )

{  $S_{best} = S_{localbest}$ ;

$E_{best} = E_{localbest}$ ;

}

```

    S = Slocalbest ;
    将禁忌表中的第一个元素解禁,将 Slocalbest
    放在禁忌表中,作为禁忌表中的最后一个元素;
    t = t + 1 ;
}
    导出 Sbest 对应的配送路径方案及其目标
    函数值;
}
    输出多配送中心车辆调度问题的计算结果;
}
```

3 实验计算和结果分析

作者利用算法 1,通过编制 C 语言程序对一个由计算机随机产生的多配送中心车辆调度问题(见例 1)进行了实验计算.

例 1:设 3 个配送中心和 30 个客户分布在一个边长为 20km 的正方形地域内,每个客户的货物需求量都在 2t 及其以下,每个配送中心有 4 台车辆,车辆的载重量均为 10t,车辆一次配送的最大行驶距离均为 50km. 作者利用计算机随机产生了配送中心和 30 个客户的位置坐标以及各客户的货物需求量,其中 3 个配送中心的坐标分别为:配送中心

(9.56km,6.03km)、配送中心 (6.44km,11.28km)、配送中心 (11.14km,11.10km),30 个客户的坐标及其货物需求量见表 1. 要求合理安排配送车辆的行车路线,使配送总里程最短. 为简便起见,本文设各客户相互之间及配送中心与客户之间的

距离均采用直线距离,该距离可根据客户和配送中心的坐标计算得到.

利用距离最近分配方法,通过程序计算得到如下的分区结果:

配送中心 为 6 个客户服务,客户编号分别为:3、5、11、18、25、26;

配送中心 为 10 个客户服务,客户编号分别为:1、4、6、7、9、10、12、15、28、29;

配送中心 为 14 个客户服务,客户编号分别为:2、8、13、14、16、17、19、20、21、22、23、24、27、30.

使用禁忌搜索算法分别对三个配送分区构成的单配送中心车辆调度问题随机求解 10 次,得到的最好解分别是:

第一分区:使用 1 台车辆,对应的配送路径为配送中心 - 11 - 3 - 18 - 26 - 5 - 25 - 配送中心,其配送路径长度为 40.08km.

第二分区:使用 2 台车辆,对应的两条配送路线分别为配送中心 - 9 - 12 - 6 - 15 - 4 - 28 - 配送中心和配送中心 - 29 - 10 - 4 - 1 - 配送中心,配送路径总长度为 64.22km.

第三分区:使用 2 台车辆,对应的两条配送路线分别是配送中心 - 19 - 14 - 22 - 21 - 8 - 16 - 17 - 25 - 20 - 配送中心和配送中心 - 24 - 27 - 2 - 13 - 23 - 配送中心;配送路径总长度为 73.20km.

表 1 例 1 的已知条件表

客户编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
横坐标 $x$ (km)	2.96	19.81	6.52	7.27	14.90	7.04	6.14	0.62	14.45	1.29
纵坐标 $y$ (km)	13.36	14.38	18.82	5.26	16.45	14.25	5.03	14.85	12.08	1.42
货物需求量 $q(t)$	1.8	0.4	2.0	0.5	0.2	0.8	1.5	1.9	1.0	1.7
客户编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
横坐标 $x$ (km)	3.90	15.10	0.33	12.28	2.33	11.92	10.48	10.00	13.60	19.14
纵坐标 $y$ (km)	9.09	17.90	11.47	0.34	15.85	13.10	10.76	19.27	7.98	8.53
货物需求量 $q(t)$	0.8	1.3	0.9	1.9	1.9	0.7	1.8	2.0	0.6	0.2
客户编号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
横坐标 $x$ (km)	11.74	11.59	18.02	19.21	11.70	11.85	12.80	0.51	3.55	17.61
纵坐标 $y$ (km)	8.43	2.67	10.56	12.43	16.90	19.90	12.18	11.10	8.27	1.01
货物需求量 $q(t)$	1.8	1.0	1.1	1.6	1.6	1.0	0.2	0.4	1.3	0.6

将上述三个配送分区的质量最高的解进行合并,即可得该多配送中心车辆调度问题的解,该解

对应的配送方案共使用了 5 辆车,5 条配送路线的路径总长度为 177.5km. 可见,利用本文设计的算

法求解多配送中心车辆调度问题,可以得到很好的计算结果.

## 4 结论

(1) 论文在对多配送中心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,该模型考虑了较为接近实际的约束条件,具有简单、直观、易于理解、易于设计算法求解等优点.

(2) 论文提出了多配送中心车辆调度问题的求解策略,即利用距离最近分配方法划定每个配送中心服务的客户,进而将一个多配送中心车辆调度问题转化成多个单配送中心车辆调度问题进行求解.

(3) 论文设计并实现了多配送中心车辆调度问题的求解算法,并通过实验计算证明了该算法的良好性能.

## 参考文献

- [1] Renaud J, Laporte G, Boctor F F. A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem[J]. Computers Ops Res, 1996, 23(3): 229 - 235.
- [2] Desaulniers G, Lavigne J, Soumis F. Multi-depot vehicle scheduling problems with time windows and waiting costs [J]. European Journal of Operational Research, 1998, (111): 479 - 494.
- [3] Wu T H, Low C, Bai J W. Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems [J]. Computers & operations research, 2002, (29): 1393 - 1415.
- [4] Kazaz B, Altinkemer K. Optimization of multi-feeder (depot) printed circuit board manufacturing with error guarantees [J]. European Journal of Operational Research, 2003, (150): 370 - 394.
- [5] Swinchrast R T, Markham I S. A heuristic and lower bound for a multi-depot routing problem [J]. Computers Ops Res, 1995, 22(10): 1047 - 1056.
- [6] Irnich S. A multi-depot pickup and delivery problem with a single hub and heterogeneous vehicles [J]. European Journal of Operational Research, 2000, (122): 310 - 328.
- [7] 郎茂祥. 物流配送车辆调度问题的模型算法研究 [D]. 北京: 北方交通大学, 2002.
- [8] 郎茂祥, 胡思继. 车辆路径问题的禁忌搜索算法研究 [J]. 管理工程学报, 2004, 18(1): 81 - 84.