doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0008.009

多顺序时段批量批次车辆调度方法研究*

吴传良, 何叶荣, 王建华

(淮南师范学院 经济与管理学院,安徽 淮南 232038)

摘　要:多顺序时段批量批次的车辆调度问题就是通过对车辆进行有计划、科学、准确的调度以达到降低物流成本的目的;首先,针对多顺序时段内变化的速度,采用线性最小二乘拟合方法将变化的速度量化;其次,在加入时间窗约束、容量约束的基础之上构建了多顺序时段批量批次货物运输的车辆调度的数学模型;最后,针对基本蚁群算法进行相关改进,并进行了案例仿真分析。

关键词:关键词:多顺序时段;车辆调度;蚁群算法

中图分类号: C931　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1672-058X(2015)08-0038-06

运输是物流中一个直接与消费者相连的环节,也是物流公司成本的重要组成部分,据中国物流与采购联合会2011年相关统计数据显示:运输费用占物流费用的53%左右。而对于车辆调度方法的研究可以均衡物流企业与消费者之间的利益,从而实现物流科学化。车辆调度问题(Vehicle Scheduling Problem,VSP)是在1959年由Dantzig和Ramser提出的[1],对车辆调度问题的理论与方法进行系统研究是物流集约化发展、构建综合物流系统、建立现代调度指挥系统、发展智能交通运输系统和开展电子商务的基础。车辆运输调度问题应用前景广阔,已经广泛用于生产、生活的各个方面,如报纸或货物投递、垃圾车路线优化和包裹快递等。

对于这种NP难题,多顺序时段货物运输的车辆调度比一般的车辆调度问题更加复杂。目前,在国内外有很多学者在不同的的车辆调度问题上取得了一定的成果。Laporte和Nobert[2]等人探讨了带距离和容量限制的车辆优化调度问题;Taillard等人[3]利用禁忌搜索和模拟退火算法,实现了求解车辆调度问题的并行化。在国内,郎茂祥[4]对于车辆调度问题的研究可谓颇深,在其出版的《配送车辆优化调度模型与算法》一书中,详细阐述了当配送车辆优化调度的约束条件(如容量、时间窗、车型、多车场、发车时间等)不同时,其对应的数学模型及其优化算法。

1　多顺序时段批量批次货物车辆调度问题的描述及构建数学模型

1.1　问题的描述

研究的多顺序时段批量批次货物运输的车辆调度问题所涉及的约束条件主要有:交通流量(即变化的车速)、车辆容量、货物需求量、货物需求时间窗以及服务时间等。它可以描述为:货物运输是由1个配送点,n个需求点组成,在货物运输过程中,其路径上交通流量是不断变化的,每个需求点的需求量为g_i,每辆

收稿日期:2014-10-26;**修回日期**:2014-12-10.

* **基金项目**:国家自然科学基金资助(51374114).

作者简介:吴传良(1989-),男,安徽六安人,硕士,从事物流与供应链管理研究.

车限定容量为 q,每个需求点有时间窗要求并且服务时间已经确定。

1.2 多顺序时段批量批次货物运输的车辆调度的数学模型

主要通过对车辆调度约束条件的描述构建课题的数学模型。

1.2.1 多顺序时段内车辆速度的量化处理

传统的车辆调度问题是基于理想状态下进行优化的,在建模时忽略了每个顺序时段内的不稳定因素,以至于现有多数优化方法以及模型的建立的前提是车辆速度恒定。而每个顺序时段情况不同都会对车辆速度产生影响,如早上班、晚下班高峰期车辆的速度较慢,据有关统计在北京奥运会期间实行单双号限行后,车流量降低 27%左右,而车速也提高了相应的比例,也就是说在货物运输中配送车辆速度在一天不同时段处于动态变化并与车流量成反比。

由于动态变化的速度会增加车辆调度问题的复杂程度,拟采用将变化的速度量化并结合现有车辆调度算法进行课题的研究。将变化的速度量化的步骤为:首先对配送区域内配送需求点之间的路径上的车流量进行统计; 然后将数据转换为车速数据,利用曲线拟合思想并通过 Matlab 实现车辆速度与时间函数的建立;最后将变化的速度量化,主要思想是通过对局部点进行逐步曲线拟合,用定积分的思想进行求解在多顺序时段内的总路程,再除以总时间即是多顺序时段内的平均速度。公式如下:

$$\overline{V} = \left[\int_{i=1}^{m} f_1(x)\,\mathrm{d}x + \int_{i=m}^{2m} f_2(x)\,\mathrm{d}x \cdots \int_{i=n-m}^{n} f_t(x)\,\mathrm{d}x \right] / n \tag{1}$$

其中 n 表示时间段总间隔时间,例如:8∶00-17∶00 则时间间隔为 11 h; $t = [n/m] + 1$;m 为设定的小段时间间隔;$f(x)$为小段时间间隔内利用线性最小二乘法拟合出的速度关于时间的函数。

1.2.2 多顺序时段批量批次货物运输车辆调度数学模型的建立

在建立多顺序时段批量批次货物运输车辆调度的数学模型之前,需要做假设:配送中心和配送点的位置坐标已知;配送车辆车型为同种车型,并且最大载重量已知;配送点需求量已知;配送点要求的时间窗已知;每个客户必须只能访问一次且必须满足每个客户的配送需求; 配送主要路段车流量已知。

数学模型的决策变量和参数定义:配送中心编号为 0,客户点为 1,2,…,n,车辆数为 m; D_{ij}表示各配送中心之间的距离; $\overline{V}$表示已通过上文提出的方法将变化的速度量化后的速度(常数); w_1 表示单位距离车辆所耗费的成本; $x_{ijk}=0$ 或 1,当其为 1 时表示车辆 k 由客户点 i(或配送中心)开往客户点 j(或配送中心); $y_{ki}=0$ 或 1,当其为 1 时表示客户点 i 的任务由车辆 k 完成;s_i 为车辆在客户点 i 的服务时间;g_i 为客户点 i 的需求量; 时间窗为$[a_j, b_j]$,车辆到达客户 j 时间为 T_j,e 和 f 时间窗惩罚系数。

建立数学模型为[5,6]

$$\mathrm{Min}Z = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=1}^{m} D_{ij} * x_{ijk} * w_1 + e\sum_{j=1}^{n}\max(a_j - T_j, 0) + f\sum_{j=1}^{n}\max(0, T_j - b_j) \tag{2}$$

$$\mathrm{s.t.} \sum_{i=1}^{n} g_i y_{ki} \leqslant q, k = 1,2,\cdots,m \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^{m} y_{ki} = 1, i = 1,2,\cdots,n \tag{4}$$

$$\sum_{i=0}^{n} x_{ijk} = y_{ki}, j = 0,\cdots,n; k = 1,\cdots,m \tag{5}$$

$$\sum_{j=0}^{n} x_{ijk} = y_{ki}, i = 0,\cdots,n; k = 1,\cdots,m \tag{6}$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1 \tag{7}$$

$$y_{ki} = 0 \text{ 或 } 1 \tag{8}$$

$$ET_0 = 0, a_j \leqslant ET_j \leqslant b_j \tag{9}$$

$$ET_j = ET_i + s_i + D_{ij}/\bar{V} \tag{10}$$

式(3)表示车辆 k 所承担的客户总需求不大于车装载最大容量;式(4)表示任务 i 只能由一辆车完成;式(5)-(8)表示到达和离开某一客户点的车辆只有一辆;式(9)和(10)表示时间窗约束;车辆数 m 可以根据式 $m = \left[\sum_{i=1}^{n} g_i/\mu q\right] + 1$ 进行估计,其中[ ]表示取整,μ 为参数且在[0,1]之间表示装卸车复杂程度以及约束多少的估计,一般 μ 取值为 0.85。

2 多顺序时段批量批次货物车辆调度算法的设计

2.1 改进的蚁群算法[7,8]

(1) 局部最优搜索策略。蚁群算法容易出现早熟停滞等现象,即搜索过程达到一定迭代次数后,对解的空间不再进行进一步搜索,这样不利于发现最优解。针对这种情况,采用 2-opt 策略,其原理就是对每次迭代产生的最优解进行相邻边的交换,这样以来更加容易寻找到最优解。2-opt 必须满足的一个条件就是相邻边交换后路径总长度减小,即:

$$d_{ij} + d_{i+1,j+1} < d_{i,i+1} + d_{j,j+1} \tag{11}$$

(2) 参数 α 的改进。在基本蚁群算法中,蚁群在搜索的过程中很容易出现过早收敛和停滞现象,认为在搜索过程中,由于信息素不断累积,加强了局部路径的重要性,使得蚁群过早收敛陷入局部最优解,不再探索新的路径。但是若使信息素启发因子 α 在一定的迭代次数范围内是一个增函数,也就是说在迭代的过程中适当信息素积累量是一个逐步慢慢累加的过程而不是迅速积累的过程,这样更有利于寻找到更好的路径。

通过上述分析提出了信息素启发因子 α 与迭代次数之间的一个增函数:

$$\alpha(N_c) = a^{N_c - n} \tag{12}$$

其中 $a>1$,N_c 为迭代次数,n 为常数。信息素启发因子 α 与迭代次数函数图形形状(图 1):$\alpha(N_c)$是一个指数函数,初始时,信息素启发因子 α 较小,蚁群在逐步搜索更广阔的区域,但随着迭代次数的增加,信息量达到一定程度后,几乎无法在进行最优解的探索,此时 $N_c=n$,当 $N_c>n$ 时,蚁群快速收敛。

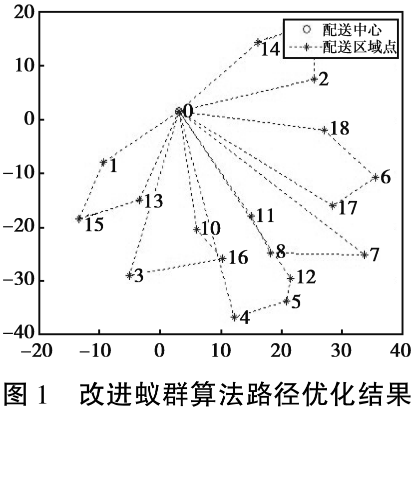

图 1 改进蚁群算法路径优化结果

2.2 算法步骤

Step1:初始化参数,读取配送中心和客户点坐标以及其他数据,另外设置全局参数;

Step2:构造时间窗惩罚函数;

Step3:将 m 只蚂蚁均匀的放在配送中心节点上,初始时间$t=0$和迭代次数 $N_c=0$,建立禁忌表;

Step4:对于每一只蚂蚁,从客户点列表中寻找没有走到的点,并按照改进后的状态转移概率公式选择下

一个客户节点 j;

Step5:累加路径(i,j)的货运量得到 q,若 q 大于车辆最大载重 Q,那么就跳转到下一步;若 q 小于车辆最大载重 Q,则将其加入可行点集;

Step6:生成最优路径并应用 2-opt 方法对最优解进行更新;

Step7:对每只蚂蚁所走过的路径的局部信息素和信息素增量进行更新;

Step8:如果迭代次数达到最大或者找到全局最优路径,程序结束,否则,清空禁忌表,返回步骤 4 ,并且重复上述步骤。

3　仿真分析

以上通过详细分析,构建了多顺序时段批量批次货物运输的数学模型,并设计出一种新的蚁群算法。现将运用以上介绍的知识进行案例仿真。仿真数据由 Matlab 7.0 软件随机生成。

3.1　量化变化的速度

物流配送时间段一般在早 7:00-18:00,在进行车流量统计之前,需要制定相关表格,并且确定车流量统计时间间隔,借助 Matlab 随机生成以下数据,时间间隔确定为 30 min,具体数据见表 1。

首先将上述 22 个时间段分成 7 个时间段,对这六类时间段逐一进行线性最小二乘拟合。

通过直观判断可以假设每一类的函数都满足于 $g(x)=a+bx^2$,下面就以第一类数据为例,通过 Matlab 7.0 编程得到第一类顺序时段速度与时间的函数为

$$g_1(x) = 35.158\,7 + 2.330\,6x^2$$

将程序中数据改变得到其他几类函数分别为

$$g_3(x) = 50.268\,6 - 0.432\,6\mathrm{x}^2;\quad g_4(x) = 40.932\,9 + 0.017\,7x^2;$$

$$g_5(x) = 35.822\,4 + 0.143\,4x^2;\quad g_6(x) = 50.869\,2 + 0.143\,4x^2;$$

$$g_7(x) = 42.272\,5 - 0.041\,1x^2。$$

$$\overline{V} = \left(\int_{i=0}^{1.5} g_1(x)\,\mathrm{d}x + \int_{i=1.5}^{3} g_2(x)\,\mathrm{d}x \cdots \int_{i=9}^{11.5} g_7(x)\,\mathrm{d}x\right)/12 \tag{14}$$

通过求解得到 $\overline{V}=40.06$。将不探讨车辆在特殊顺序时段内的配送,故路径优化时速度取值为 $\overline{V}=40$。

3.2　配送路径生成

通过 Matlab 随机生成客户点坐标以及客户点服务时间及时间窗要求,假设车辆最大载重量为 4 t,详见表 2。利用 MATLAB 7.6.0 语言工具实现编程,各参数设置为:$\gamma=5$, $m=15$, $\rho=0.5$, $Q=100$, $NC=200$, $W=4\,000$。随机运行 10 次,运行结果见表 3:

表 1　多顺序时段车流量

时段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
车流量	116	118	108	100	97	90	80	84	90	96	98
时段	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
车流量	95	96	98	90	88	90	93	98	106	118	108

表 2 各配送区域点的坐标位置、货物的需求量及服务时间

客户编号	0	1	2	3	4	5	6
横坐标 x/km	3.1	−9.3	25.4	−5	12.3	20.8	35.5
纵坐标 y/km	1.5	−8	7.5	−29.1	−36.8	−33.7	−10.8
需求量/kg	1 020	1 280	1 300	1 250	1 080	1 400	1 520
服务时间/h	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	0.5
时间窗/h	[0 2]	[1 3]	[2 4]	[5 7]	[3 5.5]	[2 5]	[2 4]
客户编号	7	8	9	10	11	12	
横坐标 x/km	33.7	18.2	25.4	6	15.1	21.6	
纵坐标 y/km	−25.1	−24.8	18	−20.5	−18	−29.5	
需求量/吨	1 150	1 450	1 350	1 250	1 130	1 130	
服务时间/h	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	0.5	
时间窗/h	[1.5 4]	[5 7]	[2 3]	[3 5]	[3 5.5]	[1 3]	
客户编号	13	14	15	16	17	18	
横坐标 x/km	−3.4	16.2	−13.3	10.4	28.5	27.1	
纵坐标 y/km	−15	14.3	−18.5	−25.9	−16	−2.1	
需求量/t	1 130	1 500	1 240	1 350	1 230	1 320	
服务时间/h	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.3	
时间窗/h	[2 4]	[1.5 4]	[2 5.5]	[2 4]	[2.5 4]	[1.5 4]	

表 3 改进蚁群算法计算结果

计算次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
目标值	386.27	386.27	386.27	386.27	390.24	386.27	386.27	386.27	386.27	386.27	386.27
首次搜索到最终解的迭代次数	44	30	33	35	65	55	55	66	45	55	48
车辆使用数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
计算时间/s	26	25.64	25.7	25.55	26.08	26.19	27.76	27.08	25.19	26.66	26.15

表 3 中大多数目标函数值都是相同数值,则利用改进后蚁群算法求得的最优解为 386.27,路径如图 1 所示。

车辆 1−6 改进蚁群算法下的最优路径依次为:0-14-9-2;0-18-8-11-0;0-6-17-7-0;0-12-15-4;0-1-15-13;0-3-16-10。改进后的蚁群算法较平稳,不容易陷入局部最优解,且收敛速度相对于基本蚁群算法并没有放慢许多。

4 结 语

主要研究多顺序时段批量批次货物运输的车辆调度问题。首先,借助于线性最小二乘拟合思想以及相关数学知识并结合 matlab 编程对多顺序时段内变化的速度进行了量化。其次,通过建立时间窗惩罚函数将时间成本量化,在满足客户需求点的需求量大小及时间窗等约束条件的前提下,构建了多顺序时段批量批次货物运输的车辆调度的数学模型。最后,针对车辆调度实际问题进行了蚁群算法的改进,通过仿真分析,改进后的蚁群算法收敛速度平稳,且容易寻找到最优解。

目前,对于车辆问题的研究仍处于探索阶段,故研究工作尚存在不足,例如:车辆调度问题不仅仅是车辆路径的优化,其包括货物配装、人员安排等,现只研究了车辆路径的优化;同时,将多顺序时段内不断变化速度量化并不是最好的优化思想,而应建立一种随时间变化而变化的速度模型,这更有利于寻找到最优路径。

(下转第 60 页)