

基于分区的多配送中心多车型车辆调度问题与遗传算法设计

马宇红^{1,2}, 姚婷婷², 张浩庆²

1. 西北师范大学学报编辑部, 兰州 730070
2. 西北师范大学数学与统计学院, 兰州 730070

摘要 研究大规模的多配送中心多车型车辆调度问题, 首先基于配送中心几何重心分区方法将多配送中心多车型车辆调度问题转化为单配送中心多车型车辆调度问题, 该分区方法简单、直观, 大大降低了运算量。建立了一种基于完整配送费用的多配送中心多车型车辆调度问题的数学模型, 配送费用在考虑基本运输费的基础上又引入了司机的工资支出, 包括基本工资和加班费。在多配送中心多车型车辆调度模型中, 一个配送中心的一辆车可以为多个客户服务, 但一个客户只能由某个配送中心的一辆车提供服务。根据模型的这些特点, 提出了一种新的多片段染色体混合编码方案, 并采用分段交叉、分段变异方法有效继承了父代染色体的部分基因, 显著提高了算法的收敛性能。数值仿真结果验证了算法的可行性和有效性。

关键词 车辆调度问题; 重心分区; 遗传算法; 交叉算子; 配送费用

中图分类号 F253

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.02.008

Multi-delivery Centre Multi-type Vehicle Scheduling Problem Based on the Partition and the Design of Genetic Algorithm

MA Yuhong^{1,2}, YAO Tingting², ZHANG Haoqing²

1. Editorial Department of the University Journal, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China
2. College of Mathematics and Statistics, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract A large scale multi-delivery centre multi-type vehicle scheduling problem is considered. Firstly, based on the method of gravity center partition, the multi-delivery centre multi-type vehicle scheduling problem is transformed into the single-delivery centre multi-type vehicle scheduling problem, the partition method is simple, and reduces the amount of computations. Then based on the minimum delivery cost, a mathematical model of multi-delivery centre multi-type vehicle scheduling problem is established; the model considers not only the basic transportation cost, but also the driver's salary expenses, including the basic wage and overtime pay. In the model of multi-delivery centre multi-type vehicle scheduling, one car is able to provide service for more customers, however a customer must be served only by one car. According these characteristics, a new chromosomal hybrid encoding scheme is put forward, and the techniques of segmented crossover and mutation is used, the method effectively retains the father's generation superiority of chromosome fragments, therefore remarkably improves the convergence speed of the genetic algorithm. The results of numerical simulation verify the feasibility and effectiveness of the algorithm.

Keywords vehicle scheduling problem; gravity centre partition; genetic algorithm; crossover operator; distribution cost

0 引言

随着市场经济的发展和物流专业化水平的提高, 物流配

送业务得到了迅速发展。在物流配送业务中, 车辆调度问题涉及面广, 对企业服务水平的影响也最大。在现实生活中, 邮

收稿日期: 2012-10-18; 修回日期: 2012-12-08

作者简介: 马宇红, 博士, 研究方向为供应链网络设计与优化, 电子信箱: mayh@nwnu.edu.cn

政投递、公交调度、电力调度、管道铺设、计算机网络设计等问题都可以抽象为车辆调度问题。因此,研究车辆调度问题具有重要的理论和现实意义。

物流配送是物流管理中的一个重要环节,它是指按用户的订货需求,在配送中心进行分货、配货,并将配好的货及时送交收货人。车辆调度问题是一个 NP 难问题,启发式算法因其广泛的适用性而在求解该问题中倍受青睐。国外对车辆调度和路径优化问题的研究最早可以追溯到 1959 年,Dantzig 和 Ramer^[1]首次提出车辆调度优化问题。1993 年,Wilson 和 Paw^[2]在 TSP 问题中引入了遗传算法。遗传算法的出现为求解物流配送车辆调度问题提供了新的思路。1999 年,Salhi 和 Nagy^[3]给出了基于配送距离最短的遗传算法。同年,姜大立等^[4]也将遗传算法应用于车辆路径问题中。由于在车辆路径问题中遗传算法的收敛速度较慢,2002 年,郎茂祥等^[5]将爬山算法与遗传算法相结合提出了混合遗传算法。随后,陈火根等^[6]将遗传算法与启发式算法相结合,但该方法只适用于单车场单车型车辆调度问题。2011 年,程志强^[7]给出了基于配送距离最短的多车场单车型车辆调度模型和相应的启发式遗传算法。然而,现有方法在求解大规模车辆调度问题时仍然不是很有效。2009 年,施朝春等^[8]提出了分区配送的思想,采用扫描法对客户进行分区处理,将多配送中心车辆调度问题化解为多个单配送中心车辆调度问题处理。但扫描法的计算量很大,尤其在大规模车辆调度问题中计算量成倍增加,因而应用受到很大限制。

本文在已有研究基础上,研究多配送中心多车型的大规模车辆调度问题。首先,给出基于各配送中心几何重心的分区方法,该方法预先知道有几个分区,而且每个分区仅有唯一一个配送中心,每个配送中心的客户是完全确定的。其次,建立了基于最小配送费用的多配送中心多车型车辆调度问题的数学模型,模型的物流配送费用包括基本运输费和司机的工资支出,使配送成本更完善,更能反映实际情况。第三,提出了一种新的染色体编码方法,通过分段交叉、分段变异的方法巧妙地继承了父代的部分基因片段,提高了算法的收敛性。最后,通过具体算例检验算法的可行性和有效性,结果表明,本文基于重心分区的遗传算法能够快速有效地求解大规模多配送中心多车型车辆调度问题。

1 数学模型建立

1.1 问题和假设

车辆调度问题可以描述如下:某个调度中心需要为服务区内众多的客户服务,每个客户对某种货物的实际需求为已知。该调度中心在服务区内有多个配送中心,每个配送中心有多种车型的车辆,每辆车可以为多个客户服务,但每个客户只能由一辆车提供服务。车辆从配送中心出发为客户服务,完成配送任务之后又返回原配送中心。通过合理地调度车辆和选择配送路径,确定从各配送中心到客户的一种货物配送

方案,使总的配送费用最小。该配送方案不但要确定如何调度车辆,而且需要明确每辆车从哪个配送中心出发依次为哪些客户服务。

问题的基本假设如下:

- (1) 有多个配送中心,每个配送中心有多种车型。
- (2) 每个配送中心的车辆足够调度,无须从其他配送中心协调调度车辆。
- (3) 每辆车仅调度一次,从配送中心出发最后又回到原配送中心。
- (4) 配送中心车型不同,载重量不同。
- (5) 任何一个客户的实际需求不超过每种车型的最大载货量,也就是说,每辆车至少可以服务一个客户,每次调度都是有效的。
- (6) 同一配送中心同一时间只允许一辆车装货,前一辆车开走后才允许下一辆车装货。
- (7) 司机的工资仅仅与其工作时间有关,而与车辆载货量无关。

1.2 配送费用

对于每辆车而言,配送费用包括两部分,即基本运输费和司机的工资。司机的工资分为两部分:基本工资和超过正常工作时间的加班费,因此司机的工资支出可以表示为关于工作时间 t 的分段函数 w ,即

$$w(t) = \begin{cases} k_1 t & t \leq t_0 \\ k_1 t_0 + k_2 (t - t_0) & t > t_0 \end{cases}$$

其中, k_1 为正常工作时间内单位时间的基本工资, k_2 为超过正常工作时间单位时间的加班费; t_0 为正常工作时间, t 为司机的实际工作时间,包括等待装货时间、装货时间、运输时间、卸载时间和空车返回时间;运输时间等于运输距离除以车辆的行驶速度。

基本运输费等于车辆行驶的距离乘以首次装载量再乘以单位物资单位距离的运输费。

1.3 模型及其意义

车辆调度问题的数学模型如下:

$$\min F = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} d_{ij} q_j f + \sum_{k \in K} w_k \quad (1)$$

$$\text{st } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} q_j \leq Q_k^l \quad \forall k \in K, l \in L \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \quad (5)$$

$$q_j \leq Q^l \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (6)$$

其中, I 为配送中心集合, i 为配送中心, J 为客户集合, j 为客户, K 为所有车辆的集合, k 为车辆, L 为车型集合, l 为车型;

Q_k^l 为 l 型车辆 k 的最大载货量, Q_i^l 为第 i 个配送中心 l 型车辆的最大载货量, q_j 为客户 j 的需求量; d_{ij} 为结点 (配送中心和客户) i 到结点 j 的距离, w_k 为第 k 辆车司机的工资; $X_{ijk}=1$ 为车辆 k 从结点 i 到结点 j , 否则 $X_{ijk}=0$; f 为单位物资单位距离的运输费用。

在模型(1)~(6)中,式(1)为目标函数,表示车辆完成配送任务时的总配送费用最小,包括基本运输费和司机工资两部分;式(2)为车辆的载重能力约束,表示某型车装载的货物总量不能超过该型车本身的最大载货量;式(3)表示一个客户有且只由一辆车提供服务;式(4)表示一辆车最多只从一个配送中心出发且只出发一次;式(5)表示每个配送中心车辆出入平衡,即从一个配送中心出发的车辆最后又回到该配送中心;式(6)表示每个客户的需求量小于任一车型车辆的载货量。

2 重心分区算法

由于城市规模较大,又受到交通拥堵的影响,配送车辆从配送中心出发在短时间内难以到达距离较远的客户,这样就很难保证配送的及时性,导致服务水平降低,成本提高。受报刊分发行业“分区划片、就近服务、互不交叉”服务思想的启发,本文提出了基于各配送中心几何重心的分区思想,从而将多配送中心的大规模车辆调度问题转化为相互独立的单配送中心车辆调度问题,大大减少了计算量。

重心分区法是指,以连接所有配送中心的几何重心和相邻两个配送中心的中点的射线将服务区分成不同的区域。每个区域仅有唯一一个配送中心,且各配送中心的业务是互不交叉的。

重心分区的具体步骤如下:

(1) 确定所有配送中心的重心位置。设有 n 个配送中心 $(x_i, y_i) (1 \leq i < n)$, 则其重心位置为 $O \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right)$ 。

(2) 取相邻两个配送中心连线的中点 $A_i ((x_i+x_{i+1})/2, (y_i+y_{i+1})/2) (1 \leq i \leq n)$, 规定 $x_{n+1}=x_1, y_{n+1}=y_1$ 。

(3) 过重心 O 和各中点 A_i 做射线, 确定射线方程 $l_i (1 \leq i \leq n)$ 。

(4) 相邻两条射线围成的扇形区域为一个分区, 分布在射线上的客户归于射线左侧分区。

(5) 将每个客户的坐标分别代入射线方程 $l_i (1 \leq i \leq n)$, 由线性规划方法确定其所在分区。

重心分区法预先就能明确知道有几个分区, 且每个分区有唯一的配送中心, 每个配送中心有完全确定的客户, 并且业务相互独立、互不交叉, 所以计算量大为减少, 尤其在大规模车辆调度问题中优势明显。

设有 3 个配送中心 30 个客户的服务区, 位置坐标如表 1 所示, 重心分区结果如图 1 所示。

表 1 客户信息

Table 1 Customers Information

客户编号	需求量/t	卸货时间/min	横坐标/km	纵坐标/km
1	1.8	8	14.80	66.80
2	0.4	4	99.05	71.90
3	2.0	7	32.60	94.10
4	0.5	5	36.35	26.30
5	0.2	6	74.50	82.25
6	0.8	8	35.20	71.25
7	1.5	4	30.70	25.15
8	1.9	7	3.10	74.25
9	1.0	7	72.25	60.40
10	1.7	4	6.45	7.10
11	0.8	9	19.50	45.45
12	1.3	10	75.50	89.50
13	0.9	8	1.65	57.35
14	1.9	8	61.40	1.70
15	1.9	5	11.65	79.25
16	0.7	10	59.60	65.50
17	1.8	7	52.40	53.88
18	2.0	12	50.00	96.35
19	0.6	8	68.00	39.90
20	0.2	4	95.70	42.65
21	1.8	9	58.70	42.15
22	1.0	7	57.95	13.35
23	1.1	6	90.10	52.80
24	1.6	5	96.05	62.15
25	1.6	8	58.50	84.50
26	1.0	4	59.25	99.50
27	0.2	14	64.00	60.90
28	0.4	4	2.55	55.50
29	1.3	8	17.75	41.35
30	0.6	7	88.05	5.05

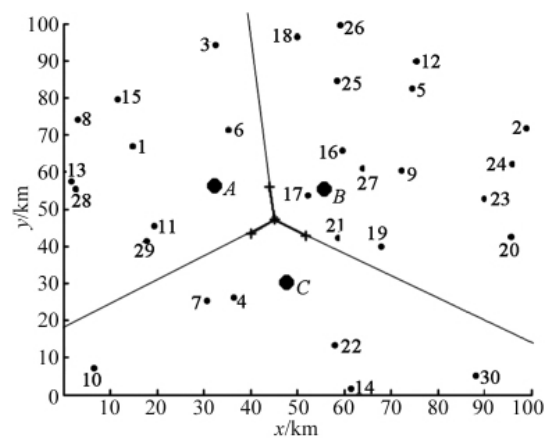


图 1 重心分区结果

Fig. 1 Partition result based on gravity centre

3 染色体的编码与解码

用遗传算法求解车辆调度问题时,确定染色体的编码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性能的优劣。关于车辆调度问题,以往基于优先权的染色体编码方案存在两个缺陷:一是染色体本质上是所有客户的一个随机排列,如有5个客户,图1染色体可能就是:3 1 2 5 4,从染色体仅能知道客户的优先服务信息,完全不能体现车辆调度信息;二是交叉和变异操作对父代染色体信息的继承不够,即使两个完全相同的染色体,其解码结果也可能完全不一样^[7]。本文给出了一种完全不同于以往方法的染色体编码方案。假设某调度中心共有 n 个配送中心 $I_i(1 \leq i \leq n)$, m 个客户,则染色体的编码技巧和步骤如下:

(1) 对服务区所有客户随机排序,即对每个客户赋以唯一的序列号,表示其接受服务的次序。

(2) 基于重心分区法将服务区分为 n 个分区 $I_i(1 \leq i \leq n)$,确定每个分区的客户。设配送中心 I_i 的客户数为 $L_i(1 \leq$

$i \leq n)$,则 $\sum_{i=1}^n L_i = m$ 。

(3) 每个分区构成染色体的一个片段。设配送中心 I_i 有 J_i 种车型, I_{ij} 表示配送中心 I_i 的第 j 车型, $1 \leq j \leq J_i$ 。首先对配送中心 I_i 的客户按其序列号从小到大的次序进行排列,其长度为 L_i ;其次,随机产生一个1到 J_i 的随机整数,表示调用哪种车型;最后按照调用车型的容量约束,依据客户的序列号依次将其划入各条配送路径中,路径的起点和终点均是 I_{ij} ,表示配送中心 I_i 派遣 j 型车为客户服务后又回到配送中心。配送中心 I_i 的所有客户配送完成则得到染色体的第 i 个片段。

(4) 将所有片段顺次连接就构成了一个完整的染色体。

例如,有3个配送中心21个客户的配送网络,配送中心1有9个客户:3,4,6,7,8,9,13,16,20,配送中心2有7个客户:1,5,10,12,15,18,19,配送中心3有5个客户:2,11,14,17,21;每个配送中心各有3种车型。设配送中心1的客户按其序列号由小到大的排列次序为:4-13-16-7-20-9-3-8-6,通过如下编码得到染色体的第1个片段(即配送路径):首先产生1~3的一个随机整数,表示派遣哪种车型。如产生的随机数为3,则表示调派第3种车型,首先将客户4加入配送路径,然后判断客户4的需求量是否超过车辆的载重量。如果不超过,再将客户13加入到配送路径,再次判断载重量是否超过车辆的载重量。若仍不超过,再将客户16加入,然后再次判断。若仍不超过,继续将客户7加入,再次判断。设此时超过,说明客户7不能加入配送路径,于是得到第一条配送路径为 I_{13} -4-13-16- I_{13} ,表示配送中心 I_1 调度其第3种车型为客户4,13,16提供服务。重复以上步骤直到安排完所有客户,得到染色体的第1个片段 A_1 ,如:

$$I_{13}-4-13-16-I_{13}I_{12}-7-20-I_{12}I_{13}-9-I_{13}I_{11}-3-8-I_{11}I_{12}-6-I_{12}$$

重复以上操作可得到染色体的第2片段 A_2 、第3片段 A_3 ,3个片段顺次连接即可得到一个完整的染色体 $A=A_1-A_2-$

A_3 ,如:

$$I_{13}-4-13-16-I_{13}I_{12}-7-20-I_{12}I_{13}-9-I_{13}I_{11}-3-8-I_{11}I_{12}-6-I_{12} \parallel$$

$$I_{22}-10-5-1-I_{22}I_{23}-15-18-19-I_{23}I_{22}-12-I_{22} \parallel$$

$$I_{31}-17-14-I_{31}I_{31}-2-21-I_{31}I_{32}-11-I_{32}$$

染色体 A 表示配送中心1派出5辆车,第1辆第3种型号的车为客户4,13,16服务,第2辆第2种型号的车为客户7,20服务,第3辆第3种型号的车为客户9服务,第4辆车第1种型号的车为客户3,8服务,第5辆第2种型号的车为客户6服务;配送中心2派出第1辆第2种型号的车为客户10,5,1服务,第2辆第3种型号的车为客户15,18,19服务,第3辆第2种型号的车为客户12服务;配送中心3派出第1辆第1种型号的车为客户17,14服务,第2辆第1种型号的车为客户2,21服务,第3辆第2种型号的车为客户11服务。车辆的载货量即为其所服务客户的需求之和。容易看出这种编码方式满足所有的约束条件,所以这种染色体编码方法是可行的,得到的相应解也是可行的。

与现有文献[4]、[5]、[7]相比,本文的染色体编码方案是全新的,它不仅有多片片段,而且每个片段意义明确;另外,虽然每个染色体长短不一,但均有相同的片段数目。

4 遗传操作

遗传算法是模拟生物在自然界中的遗传和进化过程而开发的一种全局优化自适应随机搜索算法。遗传算法由于全局搜索能力强、鲁棒性好,而且适应于并行处理,所以被广泛应用于求解选址分配问题^[9]、供应链网络问题、车辆调度问题^[10,11]及运输问题^[12]等。

4.1 适应度函数

本文选取目标函数作为适应度函数去评价车辆调度问题中可行解的优劣。

4.2 精英选择

以一定的比率从上一代种群中选择适应度最好的个体直接进入下一代并参与下一代种群适应度的比较及交叉和变异操作。精英选择不仅可以保证优秀个体不会在种群进化过程中丢失,加速算法收敛,而且可以保证下一代种群中的最优个体不会比上一代差,使进化曲线保持单调下降趋势。

4.3 交叉操作

设交叉概率为 P_c 。首先在上一代种群中随机选取两个个体作为父代,然后生成一个(0,1)之间的随机数 P ,如果 $P > P_c$,则2个父代不进行交叉,因而不产生新个体;如果 $P \leq P_c$,则染色体发生交叉。其次,随机确定一个交叉点 $e(1 \leq e \leq n-1)$,自片段 e 以后2个父代的染色体进行交叉,而前面 e 个片段保持不变。

如2个父代染色体:

$$A=A_1-A_2-\cdots-A_e-A_{e+1}-\cdots-A_n$$

$$B=B_1-B_2-\cdots-B_e-B_{e+1}-\cdots-B_n$$

自第 e 个片段进行交叉后得到2个子代:

$$A' = A_1 - A_2 - \dots - A_e - B_{e+1} - \dots - B_n$$

$$B' = B_1 - B_2 - \dots - B_e - A_{e+1} - \dots - A_n$$

传统的染色体交叉方法^[5,7]经过解码以后,子代可能与父代染色体完全不同,而本文的交叉操作只改变了染色体的 $n-e$ 个片段,而完整地保留了 e 个片段,从而继承了父代的部分基因特征,体现了种群逐步进化的思想。

4.4 变异操作

设种群的变异概率为 P_m 。首先生成一个 $(0, 1)$ 之间的随机数 P' , 如果 $P' > P_m$, 则染色体不发生变异, 因而不产生新个体; 如果 $P' \leq P_m$, 染色体发生变异。其次, 产生一个随机整数 f ($1 \leq f \leq n$), 表示染色体的第 f 个片段进行变异。此时对该染色体的第 f 个片段重新进行编码并替换原片段, 从而得到一个新的染色体。

如父代染色体:

$$A = A_1 - A_2 - \dots - A_f - A_{f+1} - \dots - A_n$$

的第 f 个片段 A_f 变异成 A'_f , 则其子代为

$$A = A_1 - A_2 - \dots - A'_f - A_{f+1} - \dots - A_n$$

4.5 生成新种群

固定每一代种群规模 N 保持不变。本文遗传算法中, 新种群个体的来源有多种途径: 一是通过交叉操作产生的, 二是通过变异操作产生的, 三是上一代种群中适应度最好的部分精英个体。假设通过上述途径得到的种群大小为 N' , 如果 $N' \geq N$, 则按照适应度由小到大的顺序选取前 N 个个体组成新种群; 如果 $N' < N$, 则再随机生成 $N - N'$ 个个体加入新种群。保持种群规模不变, 既可以避免因为种群越来越大而增加交叉和变异的规模, 也可以防止因为种群越来越小而削弱算法的收敛性^[9,12]。

5 实验分析

5.1 基本数据

设某区域有 3 个配送中心和 30 个客户分布在一个边长为 100km 的正方形地域内, 客户基本信息见表 1; 每个配送中心有 3 种车型 (为简单起见, 不妨假定每个配送中心 3 种车

型均一致), 不同车型车辆的载货量及装货时间如表 2 所示。3 个配送中心分别为 $A(9.56, 6.03)$, $B(6.44, 11.28)$, $C(11.14, 11.10)$, 30 个客户的位置坐标及对货物的需求量见表 2。假设配送路程均使用直线距离, 车速为 10km/h, 司机正常工作时间为 6h, 基本工资 60 元/h, 超过 6h 工资为 100 元/h, 单位运费 $f=0.80$ 元/(t·km)。

重心分区结果显示各个配送中心的客户分别为

$$A = \{6, 3, 15, 8, 28, 11, 29, 13, 1\}$$

$$B = \{16, 25, 12, 24, 2, 27, 9, 18, 26, 5, 19, 17, 23, 20, 21\}$$

$$C = \{22, 14, 30, 7, 10, 4\}$$

表 2 不同车型的载重量及装货时间

Table 2 Loading capacity and time for different type of vehicles

车型	I	II	III
装载量/t	4	6	8
装货时间/min	12	16	20

5.2 结果分析

本文设置的遗传算法参数如下: 种群规模 $N=80$, 交叉率 $P_c=0.6$, 变异率 $P_m=0.2$, 精英选择比率 $P_s=0.1$, 遗传代数为 200。通过 Matlab 7.6.0 编程计算得到一个近似最优调度方案如表 3 所示。由表 3 可知, 配送中心 A 共派出 3 辆车, 首先派出 II 型车依次为客户 15, 8, 13, 28 提供服务, 随后又派出 I 型车为客户 1, 3 服务, 再派出 III 型车为 6, 11, 29 服务; 配送中心 B 共派出 4 辆车, 首先派出 I 型车依次为客户 16, 25, 9, 2 提供服务, 随后派出 II 型车为客户 19, 20, 23, 24, 21 提供服务, 再派出 II 型车为客户 18, 26, 12, 5, 27 提供服务, 最后派出 III 型车为客户 6 提供服务; 配送中心 C 共派出 2 辆车, 首先派出 I 型车为客户 7, 10, 4 提供服务, 随后派出 III 型车为客户 22, 14, 30 提供服务。最优配送费用为 4769.96 元, 具体的配送路径如图 2(a) 所示, 其中细线表示 I 型车, 点线表示 II 型车, 粗线表示 III 型车。

表 3 分区算法的车辆调度方案

Table 3 Vehicle scheduling scheme based on partition method

配送中心	车辆路径	装载量/t	运输费/元	工作时间/h	工资/元	总费用/元
A	$I_{12}-15-8-13-28-I_{12}$	5.1	364.42	3.61	216.64	4769.96
	$I_{11}-1-3-I_{11}$	3.8	275.31	3.45	207.13	
	$I_{13}-6-11-29-I_{13}$	2.9	163.96	2.90	186.35	
B	$I_{21}-16-25-9-2-I_{21}$	3.7	393.75	5.10	306.05	
	$I_{22}-19-20-23-24-21-I_{22}$	5.3	536.05	5.01	300.86	
	$I_{22}-18-26-12-5-27-I_{22}$	4.7	417.78	4.99	299.22	
	$I_{23}-6-I_{23}$	1.8	10.96	0.70	41.85	
C	$I_{31}-7-10-4-I_{31}$	3.7	283.15	3.61	216.32	
	$I_{33}-22-14-30-I_{33}$	3.5	297.00	4.22	253.16	

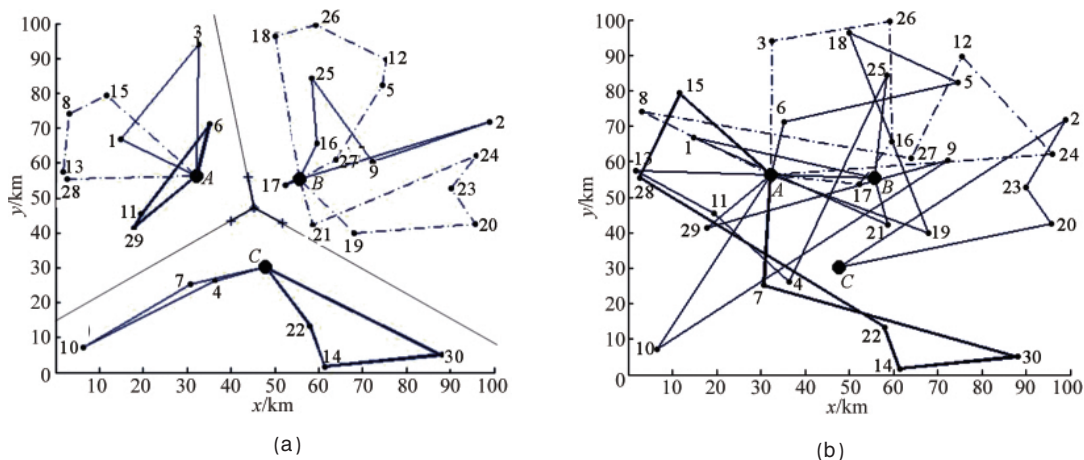


图 2 分区算法(a)和不分区算法(b)的调度路径
Fig. 2 Scheduling routes for partition method (a) and non-partition method (b)

5.3 算法有效性分析

为了检验基于重心分区的遗传算法的实际运行效果,本文以 3 个配送中心 30 个顾客为例,分别使用分区与不分区算法对该问题进行求解。

首先,设定遗传代数数为 200,计算得到的分区和不分区遗传算法的车辆调度方案见表 3、表 4。从中可以看出,无论是基本运输费还是司机工资,不分区算法都远高于对应的分区算法;不分区算法的总费用是 9542.8 元,而分区算法的总费用仅为 4769.96 元,明显好于不分区算法。图 2(a)、2(b)分别

是分区算法和不分区算法得到的车辆调度路线图,可以看出,分区算法给出的车辆调度路线路径清晰、规整,而不分区算法则显得凌乱、无序,所以分区算法明显优于不分区算法。

其次,本文设定遗传代数数为 50,100,150 和 200,然后对分区和不分区遗传算法分别运算 20 次,记录得到的最大最优值、最小最优值和 20 次平均值(表 5)。可以看出,在相同遗传代数下,分区算法得到的最优值明显优于不分区算法,平均运算时间也大幅减少,仅为不分区算法的 30%,因此在大规模车辆调度问题中优势明显。

表 4 不分区算法的近似最优调度方案

Table 4 Vehicle scheduling scheme based on non-partition method

配送中心	车辆路径	载重量/t	运输费/元	工作时间/h	工资/元	总费用/元
A	$I_{11}-10-9-29-I_{11}$	4.0	700.50	7.80	539.65	9542.80
	$I_{11}-19-18-5-6-I_{11}$	3.6	526.70	7.05	464.66	
	$I_{12}-24-12-27-8-I_{12}$	5.0	902.50	8.90	650.43	
	$I_{13}-15-28-22-14-30-7-I_{13}$	7.3	1500.00	10.46	806.14	
	$I_{12}-17-16-26-3-I_{12}$	5.5	585.20	6.22	381.67	
B	$I_{21}-21-1-I_{21}$	3.6	434.36	5.51	330.64	
	$I_{21}-25-4-11-13-I_{21}$	3.8	266.73	3.81	228.48	
C	$I_{31}-2-23-20-I_{31}$	1.7	412.00	10.53	813.13	

表 5 分区和不分区算法的有效性

Table 5 Effectiveness for both partition and non-partition methods

遗传代数	不分区算法				分区算法			
	最大值/元	最小值/元	平均值/元	平均运算时间/s	最大值/元	最小值/元	平均值/元	平均运算时间/s
50	13246	10525	12246	3.089	5341.7	5145.2	5139.5	1.108
100	13367	10450	11168	6.552	5242.2	5015.9	5108.6	2.262
150	12134	9437	10857	9.485	5341.7	5007.5	5065.3	3.386
200	10974	9543	10369	12.620	5276.4	4770.0	4972.5	4.414

最后,图3给出了分区和分区遗传算法最优个体的适应度随遗传代数的变化情况。可以看出,随着遗传代数的增加,最优个体适应度迅速下降并逐渐趋于稳定,算法具有较好的收敛性。另外,只要种群规模和遗传代数适当,运用本文遗传算法总能得到一个近似最优解,这说明本文遗传算法是有效的、可行的。

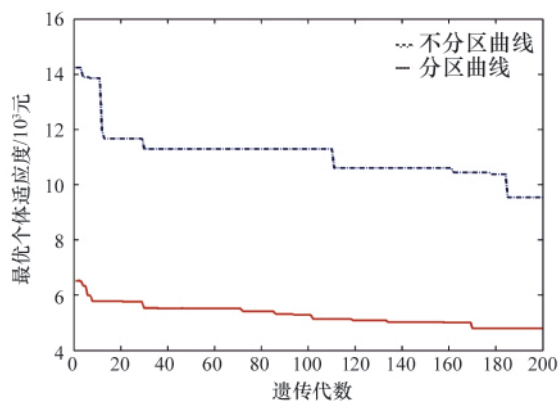


图3 遗传进化曲线

Fig. 3 Evolution curves of genetic algorithm

6 结论

本文利用遗传算法研究大规模的多配送中心多车型车辆调度问题。首先,提出了重心分区方法,巧妙地将多配送中心车辆调度问题转化为多个单配送中心车辆调度问题,使问题大为简化;其次,基于总配送费用最小原则,建立了一个多配送中心多车型车辆调度问题的数学模型,该模型完整反映的配送费用,更能体现企业的效益意图;最后,提出了一种全新的染色体编码方法,通过分段交叉、分段变异等遗传操作,成功地继承了父代染色体的部分基因,改善了算法的收敛性能;仿真计算实现了对3个配送中心30个客户的多车型车辆调度问题的求解。与不分区算法的运算性能比较结果表明,本文设计的分区算法及遗传操作策略对于多配送中心多车型车辆调度问题的求解具有良好的适应性,特别对于大规模车辆调度问题优势明显。

需要说明的是:(1)由于遗传算法本身是一种随机搜索方法,所以即使遗传代数和种群规模完全相同,两次运行得到的结果也未必相同;种群规模固定以后,一般来说,遗传代数越大,得到的方案也越优异,至于具体设定遗传代数多大为宜要视具体问题的规模及研究者的经验和期望而定。所以从直观上看,本文对算例设定种群规模为80、遗传代数为200得到的车辆调度方案未必是最优的;(2)本文的重心分区方法对配送中心呈伞状分布的配送网络性能较为优越,如果配送中心呈线状分布,则重心分区方法未必适用,可能中垂线分区方法效果会更好一些。

参考文献 (References)

[1] Dantzig G, Ramer J. The truck dispatching problem [J]. Management

Science, 1959, 10(6): 80-91.

[2] Wilson G V, Paw G S. On the stability of the TSP algorithm of hopfield and tank[J]. Biological Cybernetics, 1988(58): 63-70.

[3] Salhi S, Nagy G. A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling [J]. Journal of Operational Research Society, 1999, 50(10): 1034-1042.

[4] 姜大立, 杨西龙, 杜文, 等. 车辆路径问题的遗传算法研究[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(6): 40-45.

Jiang Dali, Yang Xilong, Du Wen, et al. Systems Engineering Theory & Practice, 1996, 19(6): 40-45.

[5] 郎茂祥, 胡思继. 用混合遗传算法求解物流配送路径优化问题的研究[J]. 中国管理科学, 2002, 10(5): 51-56.

Lang Maoxiang, Hu Siji. Chinese Journal of Management Science, 2002, 10(5): 51-56.

[6] 陈火根, 丁红纲, 程耀东. 物流配送中心车辆调度模型与遗传算法设计[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2003, 37(5): 513-516.

Chen Huogen, Ding Honggang, Cheng Yaodong. Journal of Zhejiang University: Engineering Science Edition, 2003, 37(5): 512-516.

[7] 程志强. 多配送中心车辆调度问题的模型及遗传算法研究[J]. 铁路采购与物流, 2011(5): 34-36.

Cheng Zhiqiang. Railway Purchasing and Logistics, 2011(5): 34-36.

[8] 施朝春, 王旭, 葛显龙. 带有时间窗的多配送中心车辆调度问题研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(34): 21-24.

Shi Chaochun, Wang Xu, Ge Xianlong. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(34): 21-24.

[9] 马宇红, 孙淑芬. 多产品三阶段供应链选址分配问题及其遗传算法[J]. 科技导报, 2012, 30(9): 62-68.

Ma Yuhong, Sun Shufen. Science and Technology Review, 2012, 30(9): 62-68.

[10] Laporte G. The vehicle routine problem: An overview of exact and approximate algorithm [J]. European Journal of Operational Research, 1992, 59(3): 345-358.

[11] Nagy G, Salhi S. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problem with pickups and deliveries[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 162(1): 126-141.

[12] 马宇红, 孙淑芬. 一个带中转和直销的多产品运输问题及其遗传算法[J]. 山东大学学报: 理学版, 2012, 47(7): 121-126.

Ma Yuhong, Sun Shufen. Journal of Shandong University: Natural Science Edition, 2012, 47(7): 121-126.

(责任编辑 朱宇)

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。