

基于混合遗传算法的物流车辆调度优化*

陈磊^{1,2}, 霍永亮³, 霍波陶⁴

(1. 重庆师范大学 数学学院, 重庆 401331; 2. 重庆文理学院 群与图的理论及其应用市级重点实验室;
3. 重庆文理学院 数学与财经学院, 重庆 永川 402160; 4. 西安石油大学 电子工程学院, 西安 710065)

摘要:针对遗传算法在求解车辆调度问题时容易出现早熟现象,导致求解精度不高的问题,本文用混合算法构建了物流配送总成本最小的目标函数。首先,定义了车辆调度问题的数学模型,在此基础上提出了一种遗传算法中对交叉和变异概率的自适应调整的方法。其次,通过局部搜索算法求得初始解,采用遗传算法初始解优化,并且在配送时刻改变以后,利用TS算法搜索最优解迅速的特点改进配送方案,最终求得配送时刻不断变化下的车辆调度方案。最后通过算例分析,得到本文提出的算法与单一局部搜索算法和单一TS算法相比,在求解精度、求解时间方面都具有更大的优越性。

关键词:车辆调度问题;遗传算法;TS算法;物流;优化

中图分类号:O224

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2015)02-0007-06

随着计算机技术的快速发展,电子商业已经成为一种发展迅速的商业模式,具有省时、省力、便捷等特点,但也面临着怎样将运送的货物快速、准时的送到客户的难题。车辆调度问题(VSP)最早由Dantzig于1959年提出,作为物流配送的重要组成部分,目的是寻求一条从配送中心到各客户的最优化路线。但是随着客户点的增加,配送路线数将呈指数型增长。目前各领域学者研究都侧重于VSP问题的计算方法,并且国内外很多专家根据不同情形的VSP问题提出了相应的求解思想方法。2011年,Erdogan S.等人^[1]提出了绿色车辆调度问题的概念;Ma H.等人^[2]研究了带时间窗约束和路段容量限制的车辆调度问题;Ribeiro G. M.等人^[3]提出以配送时间为目标函数的车辆调度问题;张景玲、赵燕伟等人^[4]在客户需求的不断变化情况下研究了多车型的动态VSP问题。

国内对VSP算法的研究不多,主要研究对象是TSP(Traveling salesman problem),CPP(Chinese postman problem),DCPP(Directed Chinese postman problem)等。李大卫、王莉等人^[5]以TSP的最近距离思想为基础,通过建立评价函数来处理时间窗约束,并求解了较简单的VSP问题;郎茂祥、胡思继^[6]利用TS算法对车辆调度优化问题进行了详尽研究;雷秀娟、史忠科等人^[7]利用改进的粒子群算法研究VSP问题;郎茂祥等人^[8]根据爬山算法和遗传算法设计了求解VSP问题的混合算法。李军等人^[9]是国内较少的系统阐述VSP的专家之一,他对采用启发式算法求解满载、非满载以及单车场和多车场问题有深刻认识。由于VSP是NP-难问题,它的精确算法的多项式时间是不存在的。但为了简化VSP的求解,通常用一些方法将VSP问题分解或转化为一个或多个已研究过的相似问题,再用相应地较成熟的算法,获得VSP问题的次最优解或满意解。

遗传算法(Genetic algorithm,GA)由Holland J.于1975年提出,算法借鉴了达尔文进化论中“适者生存”的自然规律和孟德尔基因遗传学的特征,随机生成可行解,并通过一定的条件进行选择、交叉和变异算子,求得次最优解或最优解的随机优化算法。标准遗传算法^[10](Static genetic algorithm,SGA)是采用以固定的交叉和变异概率进行交叉、变异操作的,算法存在早熟或收敛速率缓慢,使其实际运用性不强。为了更好地实现VSP的求解,在对VSP进行深入分析的基础上,本文提出了VSP的数学模型,通过局部搜索算法求得初始解,再由自适应遗传算法优化初始解,并在送货客户点不断变化的情况下,利用禁忌搜索法求解速度快的特征改进车辆调度方案,最终实现对车辆调度路径的优化。

* 收稿日期:2013-11-26 修回日期:2014-12-23 网络出版时间:2015-01-22 11:30

资助项目:重庆高校创新团队建设计划项目(No. KJTD201321);重庆市群与图的理论及其应用重点实验室开放课题项目(No. KFJJ1402)

作者简介:陈磊,男,研究方向最优化算法,E-mail:cl971655775@163.com;通讯作者:霍永亮,教授,E-mail:yongliang-huo@126.com.

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20150122.1130.001.html

1 车辆调度模型

1.1 定义参数

N 为一个配送中心和所有客户点编号的集合; M 为所有车辆编号的集合; Q 为车辆的最大载重量; s 为配送的车辆总数; w_{ij} 为从客户点 i 到客户点 j 的运输成本; a_i 为第 i 个客户点所需货物总量。

1.2 建立模型

车辆调度模型可描述为:有一个配送中心和 n 个需要被派送的客户点,将配送中心的货物派送到各个客户点,目标是合理安排配送路线,使在满足每个客户点的需求的条件下的最低成本的最优配送路线。目标函数为

$$\min Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in M} w_{ij} x_{ijk}, x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 由客户点 } i \text{ 到客户点 } j, \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i \in N} a_i y_{ik} \leq Q, k \in M, y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{由车辆 } k \text{ 配送客户点 } i \text{ 的货物,} \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (2)$$

对任意 $m \in M$ 有

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = \begin{cases} 1, & i = 1, 2, \dots, n, \\ m, & i = 0. \end{cases} \quad (3)$$

对任意 $i, j \in N, k \in M$, 有 $x_{ijk} \in \{0, 1\}, y_{ij} \in \{0, 1\}$ 及

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} = y_{jk}, j \in N, k \in M, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} = y_{ik}, i \in N, k \in M. \quad (5)$$

其中(1)式表示配送路径的总代价,(2)式表示每辆车配送的货物载重不能超过其最大载重量,(3)式表示任意客户点只能有一辆车来配送,且所有车辆均从配送中心出发,(4)式表示到达某一个客户点的车辆有且仅有一辆,(5)式表示每辆车从某一个客户点出发有且仅选择配送一个客户点。

2 自适应遗传算法

2.1 个体编码^[11]

采用客户点的编码实现对种群个体的编码,通过分析 VSP 问题的特点设计采用自然数编码的个体结构,其表示为 $(0, i_1, i_2, \dots, i_e, 0, i_f, \dots, i_k, 0, \dots, 0, i_p, \dots, i_n, 0)$ 。其中,其结构的长度为 $n+s+1$, i_j 是某条路径上第 j 个需求客户,0 是配送中心, i_1, i_2, \dots, i_e 表示为其中一条子路径。假定已编码后的个体 $(0\ 2\ 3\ 0\ 5\ 1\ 0\ 6\ 8\ 9\ 7\ 4\ 0)$, 可得到 3 条子路径分别为 $0 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 0; 0 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 0; 0 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 4 \rightarrow 0$ 。

2.2 适应度和选择算子

采用如下公式运算种群个体的适应度 P ^[12]

$$P = \frac{1}{(Z + Tq)}, \quad (6)$$

(6)式中 T 为各解所确定的配送车辆数, Z 为目标函数值, q 为惩罚权重。

选择算子是采用最优保留和赌轮盘相结合的策略,此策略能使优秀个体得到相对较多的机会进入下一代。

2.3 交叉和变异算子

采用顺序交叉方式对染色体进行交叉产生新个体,依据如下步骤进行交叉和变异操作。

步骤 1,对个体进行顺序交叉产生新个体,以概率 p_c ($0.5 < p_c < 1.0$) 采用双点交叉方式,在个体编码串中任意选择两点,再选取两点之间的位置进行交换,并以未出现过的个体编码来代替重复的数值。

步骤 2,采用基本位变异,以概率 p_m 对某两位基因进行互换从而实现变异操作。

例 1 以个体 1 $(0\ 2\ 3\ 0\ 5\ 1\ 0\ 6\ 8\ 9\ 7\ 4\ 0)$, 个体 2 $(0\ 4\ 6\ 0\ 7\ 8\ 0\ 1\ 5\ 3\ 9\ 2\ 0)$ 为例。

根据步骤 1,个体 1 和个体 2 进行交叉操作可以得到下一代为:子个体 1 $(0\ 2\ 3\ 0\ 7\ 8\ 0\ 6\ 8\ 9\ 7\ 4\ 0)$, 子个体 2 $(0\ 4\ 6\ 0\ 5\ 1\ 0\ 1\ 5\ 3\ 9\ 2\ 0)$ 。对其中重复的个体编码使用未出现过的个体编码替代,得到子个体 1 $(0\ 2\ 3\ 0\ 7\ 8\ 0\ 6\ 5\ 9\ 1\ 4\ 0)$, 子个体 2 $(0\ 4\ 6\ 0\ 5\ 1\ 0\ 7\ 8\ 3\ 9\ 2\ 0)$ 。

根据步骤 2,假定对个体 1 进行变异操作。如对个体中的 5 和 6 进行基因互换,得到新个体:个体 1' (0 2 3 0 6 1 0 5 8 9 7 4 0)。

2.4 交叉和变异概率的自适应调整

交叉操作和变异操作作为产生新个体的方式,可以保持种群多样性,并增强算法的全局收敛率,避免出现早熟现象,但是若交叉和变异概率太大,使种群中适应度较高的个体产生交叉和变异,破坏种群多样性,不利于全局最优解的搜索。假设 \bar{f} 表示种群的平均适应度; f_{\max} 表示种群的最优适应度; f_c 表示种群中交叉个体的适应度; f_m 表示种群中变异个体的适应度,则交叉概率和变异概率的自适应生成为

$$p_c = \begin{cases} \frac{k_1(f_{\max} - f_c)}{\bar{f} + f_{\max} + 1}, & f_c \geq \bar{f}, \\ k_3, & f_c < \bar{f}, \end{cases} \quad p_m = \begin{cases} \frac{k_2(f_{\max} - f_m)}{\bar{f} + f_{\max} + 1}, & f_m \geq \bar{f}, \\ k_4, & f_m < \bar{f}. \end{cases}$$

其中 k_1, k_2, k_3, k_4 为 $[0, 1]$ 内的常数,在此取 $k_1 = k_3 = 1, k_2 = k_4 = 0.5$ 。

3 模型求解的混合遗传算法

3.1 求解思路

本文研究的问题包含两方面的思路:一是按照题意建立初始路径;二是根据配送时刻不断变化,进行路径改进,逐渐地将新增客户点纳入演算中,以获得时间不断变化下的最佳车辆调度方案。

3.2 求解算法

1) 确定初始配送路径。根据所确定的问题,在约束条件下,且不考虑未来是否产生新的客户需求,建立一个能够服务所有客户的路径集合,并指派车辆配送相应路径上的所有客户。其求解方法可采用局部搜索算法,采用此方法可有效减少寻优时间。另外,在考虑客户点不断变化的情况下,采用 TS 算法求解客户点变化下的最优路径。在采用 TS 算法时,开始时需要一个起始解,由于客户点的增加,原来配送路径起始解已不能作为此时的起始解。许多文献采用随机法求得禁忌算法的起始解,方法简单易操作,但易影响后续 TS 算法的最后求解结果并使其求解时间缓慢。基于本文是在一种货物即时配送调度问题,需要在路径变化时做出及时反应,时间过长将使货物不能按时送到客户。此外,根据文献[13],采用最邻近法,选取与起点站之间最近距离的节点,并将此节点纳入行程,再以所选的节点为起点,在满足约束条件下,寻求下一最近的节点将其纳入行程,最邻近法明显优于节约法、扫描法等。

TS 算法的主要流程有求起始解、定义邻域、建立禁忌名单和评估最优解。首先以一个起始解作为探索的起点,接着进行探索的步骤,为避免产生死循环,在探索的过程中,建立禁忌名单来记录探索的过程。为了防止求解过程中,陷入某局部最优的现象,禁忌名单的结构特征及长度选取是非常重要的。而禁忌名单反过来可能会制约求解的快慢,因此,避免此现象的发生本文采用一种免禁忌原则来修复。其操作过程如下。

步骤 1, 设禁忌表 $H = \emptyset$, 选取起始解 x_a 。

步骤 2, 如果终止条件满足,则停止计算;否则在 x_a 的邻域 $\epsilon(H, x_a)$ 里,选出满足禁忌要求的候选解集 $C_\epsilon(H, x_a)$,并在其中选一评价最满意的解 $x_b, x_a = x_b$ 。更改历史记录,继续步骤 2。

在配送路径变化时,采用 TS 算法操作流程如下。

步骤 1, 选定起始解 x_0 为当前解 x^* ,再设此解 x_0 为当前的最满意解,即 $x^* = x_0$ 。

步骤 2, 假定禁忌名单为空,在当前解 x^* 的邻域中,挑选最满意的邻域解 x' 。

步骤 3, 检验此变换 $x^* \rightarrow x'$ 是不是在禁忌名单中,若是,转步骤 5, 否则重复步骤 4。

步骤 4, 把此变换记录至禁忌名单里,并判断 x^* 是不是劣于 x' ,若是,则以 x' 代替 x^* ,转步骤 2。

步骤 5, 检验此变换是不是满足免禁原则,若是,则解雇此禁忌名单并改变变换,再转步骤 2, 否则转步骤 6。

步骤 6, 检验是否满足终止条件(用指定的最大迭代次数作为终止条件),若是,则停止计算,否则令此最满意解为当前解,记录至禁忌名单,并转步骤 2。

2) 基于混合 GA 算法优化起始解。混合 GA 算法通过遗传算子获得每一代种群中的最优个体实施多次局部搜索操作,然后通过局部搜索操作得到的个体代替原个体。该算法在自适应遗传算法的基础上结合局部搜索

算法,其步骤如下:

步骤 1,用节点法进行编码。如一个配送中心向 4 个客户(编号为 1,2,3,4)配送,采用节点法编码为 1342,代表依次对 4 个客户点配送,即 1→3→4→2。

步骤 2,确定初始种群。随机产生 n 个客户点,即可得到 n 个染色体。

步骤 3,评估个体的适应度(采用公式(6))。

步骤 4,选择操作。采用自适应遗传算法中的选择算子,进行选择操作。

步骤 5,交叉操作。采用自适应遗传算法中的交叉算子,进行交叉操作。

步骤 6,变异操作。采用自适应遗传算法中的变异算子,进行变异操作。

步骤 7,局部搜索操作。先对通过遗传操作后产生的每代种群的最优个体采用基因换位算子,再实施局部搜索操作。

3) 客户点与配送量的更新。其主要含两方面:一方面是初始路径中还未到的点可能在车辆出发途中或后增加(或减少)配送量;另一方面是可能出现新的客户点和配送量。

4) 路径变化。先利用混合 GA 算法求得起始配送路径,再随着时间的不断变化,客户点和配送量不断增加(或减少),相应地采用混合 GA 算法得到的配送路径也要发生变化,即路径变化。

4 算例分析

以随机生成 30 个客户的配送模型为例,并验证混合算法的优劣。车辆允许的最大载重量 15 t,车辆数 $s=15$,客户点 i 到客户点 j 的运输成本 $w_{ij}=50$ 元/km,车辆行驶采用固定速度 40 km/h,配送中心坐标 $O(50$ km, 50 km),各客户点坐标见表 1。

表 1 各客户点在坐标系的位置

Tab. 1 The position of each customer in the coordinate system

编号	x 坐标	y 坐标	编号	x 坐标	y 坐标	编号	x 坐标	y 坐标	编号	x 坐标	y 坐标
1	3	83	9	10	66	17	91	28	25	81	92
2	72	63	10	15	87	18	18	75	26	87	22
3	83	100	11	64	16	19	44	4	27	34	41
4	41	70	12	9	97	20	55	5	28	85	58
5	4	36	13	12	43	21	40	11	29	9	93
6	44	36	14	52	53	22	17	36	30	68	99
7	13	10	15	25	61	23	70	75			
8	19	40	16	72	46	24	52	4			

由所给定的混合遗传算法进行求解,获得计算结果见表 2。

据上述算法步骤,采用 Matlab 程序运算,得到路径变化后的配送方案,如表 3 和表 4 所示。3 种算法的演算结果见表 5。

表 2 混合遗传算法的演算结果

Tab. 2 The calculation results of hybrid genetic algorithm

车辆	配送路线	运输成本	行驶时间/s
1	0-8-5-7-0	450	5.5
2	0-21-11-0	100	2.5
3	0-6-9-4-0	150	2.9
4	0-10-1-0	150	3.0

表 3 时间变化后新增客户点及其配送量

Tab. 3 Customers and distribution volume of new customers after time the change

客户点	配送量/t	客户点	配送量/t	客户点	配送量/t
2	8	18	1	23	10
12	5	19	2	24	6
13	7	20	7	27	2
15	3	22	9	28	5

表 4 配送路线最终调度方案

Tab. 4 Final delivery route scheduling scheme

车辆	配送路线	运输成本	行驶时间/s
1	8-22-13-0	300	1.8
2	21-19-24-20-0	600	2.9
3	6-27-15-18-0	250	4.6
4	0-28-2-23-0	500	2.3
5	0-10-1-0	300	3.2

表 5 3 种算法的结果对比

Tab. 5 The results of the comparison of three algorithms

算法	运输总成本	总行驶时间	演算时间/s
单一局部搜索算法	1 380	14.52	4.12
单一禁忌搜索算法	1 260	14.38	3.82
混合遗传算法	880	13.92	3.34

算法的优劣将从两个方面进行比较分析,一是演算时间,二是演算结果。通过表 5 看出,混合遗传算法不仅在演算结果(如运输总成本、总行驶时间)上优于 TS 算法和局部搜索算法,而且在演算时间上也比 TS 算法更有优势。

5 结束语

本文考虑当今物流配送的不断变化和发展需求,提出了在客户点随时间不断变化下的商品配送的车辆调度优化数学模型及其求解思路。在建立数学模型时,考虑到客户点不断变化的特点来建立模型,而对模型算法考虑到问题的复杂程度,首先以局部搜索法求得初始解,从而缓解后续搜索和求解难度,再利用 GA 算法优化初始解,在时间变化后,利用 TS 算法求解迅速的特点,对车辆调度路径进行更改,得到更改后的调度方案。文章在算法及模型方面,因为车辆调度问题是一个经典的 NP-难问题,所以忽略了许多其他因素,比如多配送中心、某客户点优先配送等因素。这些问题在后续会进一步研究。

参考文献:

- [1] Erdo gan S, Miller-Hooks E. A green vehicle routing problem[J]. Transportation Research Part E: Logistics and transportation Review, 2011, 48(1): 100-114.
- [2] Ma H, Cheang B, Lim A, et al. An investigation into the vehicle routing problem with time windows and link capacity constraints[J]. Omega, 2011, 40(3): 336-347.
- [3] Ribeiro G M, Laporte G. An adaptive large neighborhood search heuristic for the cumulative capacitated vehicle routing problem[J]. Computers and Operations Research, 2011, 39(3): 728-735.
- [4] 张景玲, 赵燕伟, 王海燕, 等. 多车型动态需求车辆路径优化问题建模及优化[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(3): 543-550.
Zhang J L, Zhao Y W, Wang H Y, et al. Need more models dynamic vehicle routing optimization modeling and optimization[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010, 16(3): 543-550.
- [5] 李大卫, 王莉, 王梦光. 遗传算法在有时间窗车辆路径问题中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(8): 65-69.
Li D W, Wang L, Wang M G. The genetic algorithm in the application of the vehicle routing problem with time windows[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 1999, 19(8): 65-69.
- [6] 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, 46(13): 81-84.
- [7] Lang M X, Hu S J. Vehicle routing problem of tabu search algorithms[J]. Journal of Management Engineering, 2004, 46(13): 81-84.
- [8] 雷秀娟, 史忠科, 付阿利. 改进的粒子群优化算法求解车辆调度问题[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(9): 2674-2676.
Lei X J, Shi Z K, Fu E L. Improved particle swarm optimization algorithm for solving vehicle scheduling problem[J]. Computer Application and Research, 2008, 25(9): 2674-2676.
- [9] 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 M X, Hu S J. Using hybrid genetic algorithm to solve the research of logistics distribution route optimization problem[J]. Chinese Journal of Management Science, 2002, 10(5): 51-56.
- [10] 李军, 郭耀煌. 物流配送优化调度理论与方法[M]. 北京: 中国物资出版社, 2001.
Li J, Guo Y H. The logistics distribution optimization scheduling theories and methods[M]. Beijing: Supplies of China Publishing House, 2001.
- [11] 邢文训, 谢金星. 现代优化计算方法[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005.
Xing W X, Xie J X. Modern optimization methods[M]. 2nd edition. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.

- [11] 蹇洁,王旭,葛显龙.云自适应遗传算法有能力约束的车辆调度优化[J].重庆大学学报:自然科学版,2013,36(8):40-46.
Jian J, Wang X, Ge X L. Cloud adaptive genetic algorithm has the ability to optimization of vehicle scheduling problem[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science, 2013, 36(8): 40-46.
- [12] 柳伍生,谭倩.基于混合算法的实时订货信息下的车辆调度优化[J].应用数学与计算数学学报,2012,26(1):58-60.
Liu W S, Tan Q. Based on the hybrid algorithm of real-time information of vehicle scheduling optimization order [J]. Journal of Applied Mathematics and Computational Mathematics, 2012, 26(1): 58-60.
- [13] 黄天赦,叶春明.基于混合粒子群算法的车辆路径优化问题研究[J].物流科技,2008(9):26-29.
Huang T S, Ye C M. Vehicle routing optimization based on hybrid particle swarm optimization (ps) algorithm [J]. Logistics technology, 2008(9): 26-29.

Operations Research and Cybernetics

Vehicle Schedule Optimization of Logistics Based on Combinational Genetic Algorithm

CHEN Lei^{1,2}, HUO Yongliang³, HUO Botao⁴

(1. School of Mathematics Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Key Laboratory of Chongqing Groups and Graph Theory and It's Applications, Chongqing University of Arts and Sciences;

3. School of Mathematic and Finance, Chongqing University of Arts and Sciences, Yongchuan Chongqing 402160;

4. School of Electronic Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Aiming at genetic algorithm in vehicle scheduling problem, which is prone to premature phenomenon and lead to the problem is not high. With a combinational algorithm, we build the objective function is minimum under total cost of logistics distribution. First, the mathematical model of vehicle scheduling problem is defined, and based on this proposed a genetic algorithm for adjusting the adaptive crossover and mutation probability of method. Second, the initial solution are obtained by local search algorithm, and optimized by the genetic algorithm. The scheduling will be improved by the advantage of the characteristic of the Tabu search algorithm as soon as the delivery time is changed. And the moment distribution is obtained under the changing of vehicle scheduling scheme. Finally, an example is proposed to show that the single local search algorithm and the single Tabu search algorithm compared with this combinational algorithm in the aspects of precision and the time of solving, this method has more superiority.

Key words: vehicle schedule problem; genetic algorithm; tabu search algorithm; logistics; optimizing

(责任编辑 黄颖)