

基于混合算法的带时间窗的车辆路径问题求解

张瑞锋^{1,2}

(1. 天津大学管理学院, 天津 300072; 2. 河北经贸大学财税学院, 石家庄 050061)

摘要:建立了有时间窗车辆路径问题的数学模型, 针对遗传算法在局部搜索能力方面的不足, 提出将模拟退火算法与遗传算法相结合, 从而构造了有时间窗车辆路径问题的混合遗传算法, 并进行了实验计算。结果表明, 用混合遗传算法求解该优化问题, 可以在一定程度上克服遗传算法在局部搜索能力方面的不足和模拟退火算法在全局搜索能力方面的不足, 从而得到了质量较高的解。

关键词: 车辆路径问题; 时间窗; 遗传算法; 模拟退火算法

Solution to Vehicle Routing Problem with Time Window Based on Hybrid Genetic Algorithm

ZHANG Ruifeng^{1,2}

(1. School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072;

2. School of Finance and Taxation, Hebei University of Economics & Business, Shijiazhuang 050061)

【Abstract】 A universal mathematical model of vehicle routing problem with time windows is stated. On the basis of analyzing the weakness of genetic algorithm in local search, a new stochastic approach called the genetic simulated annealing algorithm is proposed to vehicle routing problem with time windows, and makes some experimental computations. The computational results demonstrate that the genetic simulated annealing algorithm can overcome the weakness of genetic algorithm and local search algorithm, so the high quality solutions to the vehicle routing problem with time windows is obtained.

【Key words】 vehicle routing problem; time window; genetic algorithm; simulated annealing algorithm

1 概述

车辆路径问题(vehicle routing problem, VRP)由Dantzig和Ramser在1959年提出^[1], 这一问题主要研究车辆从配送中心出发, 如何安排车辆的行走路线, 使车辆能够完成对每一配送点的配送任务, 并使车辆的运输成本最小。有时间窗的车辆路径问题(vehicle routing problem with time windows, VRPTW)是在VRP的基础上加上客户要求访问的时间窗口, 在物流配送路线优化中有着广泛的应用前景, 是运筹学和管理学科的前沿研究热点问题之一。VRP是一个NP-难问题, Saveslbergh于1985年证明了当车辆数固定时, 一个VRPTW问题的可行解都是一个NP-难问题。因此, 研究人员都把精力集中在开发高效的启发式算法上。求解VRP的启发式算法可以分为传统启发式和现代启发式。传统启发式算法主要有节约算法、圈算法、两阶段法以及它们之间的结合形成的混合算法等; 现代启发式算法主要有神经网络算法、禁忌算法、遗传算法、模拟退火算法、蚂蚁算法以及混合算法等。其中, 遗传算法(genetic algorithm, GA)是目前用得较多的算法之一。Thangiah^[2]曾应用遗传算法求解VRPTW问题, Kenny等^[3]和邹彤等^[4]采用改进的遗传算法来解决该问题。但是, 这些遗传算法在求解问题时都存在“早熟收敛”、搜索效率低和求解速度慢的问题。针对遗传算法的不足, 本文通过将模拟退火的思想引入遗传算法, 并对交叉和变异后的个体实施接收策略, 不但有效地缓解了遗传算法的选择压力, 而且增强了遗传算法的全局收敛性, 克服了其局限于局部最优的缺陷。实验结果表明, 该算法具有较强的寻优性能和较快的收敛速度, 得到的优化结果也更接近最优解。

2 问题的描述及数学模型

一个中心D, 拥有最大负荷为q的K辆汽车, 负责对N个客户进行产品配送服务, 客户的需求量为 $d_i(i=1, 2, \dots, N)$, 且 $d_i < q$, 车辆必须在一定的时间范围 $[a_i, \beta_i]$ 内到达, 即车辆到达客户i的时间不能早于 a_i , 也不能迟于 β_i , 求满足车辆容量和时间窗口的两个约束条件下的最短车辆行驶路程, 并使用尽可能少的车辆。定义变量及数学模型如下:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 0 & \text{如果车辆} k \text{没有从节点} i \text{到达节点} j \\ 1 & \text{如果车辆} k \text{从节点} i \text{到达节点} j \end{cases}$$

$$y_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{顾客} i \text{的任务由车辆} k \text{完成} \\ 0 & \text{顾客} i \text{的任务不由车辆} k \text{完成} \end{cases}$$

$$\min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \tag{1}$$

$$\min \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} \tag{2}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^N d_i \sum_{j=0}^K x_{ijk} \leq q \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ki} = 1 \tag{4}$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ijk} = y_{ki} \tag{5}$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = 1 \tag{6}$$

基金项目: 河北省社科规划项目

作者简介: 张瑞锋(1972-), 男, 讲师、博士研究生, 主研方向: 系统工程

收稿日期: 2006-07-20 **E-mail:** zhrufeng@163.com

$$\sum_{i=1}^N x_{ihk} - \sum_{j=1}^N x_{jhk} = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0k} = 1 \quad (8)$$

$$\alpha_i \leq t_{ij} \leq \beta_i \quad (9)$$

式中, t_{ij} 表示从客户*i*到客户*j*的访问时间, $i, j \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$; c_{ij} 表示客户*i*到客户*j*的距离。式(1)和式(2)是目标函数, 分别表示车辆访问的最短路程和最少车辆数; 式(3)表示车辆的容量约束, 式(4)和式(5)表示两个变量之间的约束关系^[5]; 式(6)~式(8)保证每辆车始于出发点, 访问客户后, 最后又回到出发点^[6]; 式(9)表示车辆的时间窗约束。这个模型的通用性很强, 经过参数的不同设定, 可以将其转化为普通的VRP问题、TSP问题、装箱问题、M-TSP问题以及TSPTW问题等。

3 求解问题的遗传模拟退火算法

遗传模拟退火算法(genetic simulated annealing algorithm, GSAG)是遗传算法和模拟退火算法相结合的一种优化方法。它既具有遗传算法的全局性和并行性, 又具有模拟退火算法的局部搜索能力和退火特征, 将这两种算法结合起来所构成的遗传模拟退火算法使得遗传算法的搜索性能得到极大改进。具体步骤如下:

步骤 1 给定种群规模 pop_size , $k = 0$; 初始温度 $t_k = t_0$, 为了算法的效率 $t_0 = (\text{最大成本} - \text{最小成本}) / (pop_size / 2)$, 产生初始种群 $pop(k)$; 对初始种群计算目标值, 找出函数值最小的染色体*i*和这个函数值 f , 记 $mint = i$, $s^* = f$ 。

步骤 2 若满足结束条件则停止计算, 输出最优染色体 min 和最优解 s^* ; 否则, 在染色体*i*的邻域 $N(i)$ 中随机选取一个状态, 按模拟退火中的接受概率接受或拒绝 j , 共迭代 pop_size 次选出新种群 $pop1$ 。

步骤 3 在 $pop1(k+1)$ 中计算适应度函数 $fitness(t_k) = 1/f_i(t_k)$, 然后采用改进的比例选择策略进行染色体的选择。将在 $pop1(k+1)$ 中的染色体按 $fitness(t_k)$ 值排序, 将值最大的染色体复制一个直接进入下一代, 下一代种群中剩下的 $pop-1$ 个染色体用轮盘选择法产生。这样首先可以保证最优个体能生存到下一代, 既给了适应度较大的个体以较大的机会进入下一代, 又避免了个体间因适应值不同而被选入下一代的机会悬殊。最后形成种群 $pop2$ 。

步骤 4 对 $pop2$ 进行交叉和变异操作。

步骤 5 计算种群 $pop2$ 中个体的目标函数值, 找出函数值最小的染色体*i*和这个函数值 f , 如果 $f < s^*$, 则令 $min = i$, $s^* = f$, $t_{k+1} = \alpha \times t_k$, α 为退火速率, $k = k+1$, 返回步骤 2。

3.1 染色体结构

出于表示简单和计算机处理方便的目的, 本文拟采用自然编码。问题的解向量可编成一条长度为 N 的染色体 (c_1, c_2, \dots, c_N) , 其中, 基因 c_i 为 $[1, N]$ 之间的一个互不重复的自然数。随机产生一组互不相同的 pop_size 个染色体作为第 1 代种群。

3.2 可行化过程

将染色体的编码向量映射为满足全部约束条件的可行解的过程, 称为可行化过程。具体过程如下:

(1) 优先关系指的是客户被服务的先后次序。它可以根据起点到各分店的距离确定, 也可以根据每个分店的时间窗来确定, 还可以通过加权因子由二者共同来确定。在满足车容量和时间窗的约束前提下, 应该访问与起点 0 距离成本较小的客户。为此, 构造下面的评价函数:

$$P(j) = \omega_1 \frac{|t_{0j} - a_j|}{|b_j - a_j|} + \omega_2 \frac{|t_{0j} - b_j|}{|b_j - a_j|} + \omega_3 \frac{c_{0j}}{\max_{1 \leq k \leq n} c_{0k}} \quad (10)$$

式中, ω_1 , ω_2 和 ω_3 为权重系数, 满足 $0 \leq \omega_1, \omega_2, \omega_3 \leq 1$, 且 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$; 式中前 2 项分别为: 从起点 0 访问客户*j*的时间窗口左右边界的绝对差与整个时间窗口宽度的比值, 第 3 项为距离因素, 把客户按照其评价值从小到大的顺序排列, 就得到一个各分店被服务的优先关系。

(2) 在一个染色体中, 按照从左到右的顺序, 满足优先关系的基因段确定一个车辆路径, 例如 8 个顾客的优先关系为 1 2 3 4 5 6 7 8, 则 $s: 3 1 4 7 2 8 5 6$ 这个染色体, 共有 4 个基因段满足优先关系, 它们分别是: (3), (1 4 7), (2 8)和(5 6)。因此*s*表示使用的车辆数为 4。文中 $\omega_1=0.4$, $\omega_2=0.4$, $\omega_3=0.2$, 优先关系为 3-8-1-7-5-4-6-2。

(3) 对照优先关系确定的各个基因段, 检查是否车辆容量约束和各个顾客的时间窗口约束, 若满足, 则该染色体对应问题的一个可行解, 否则, 该染色体对应不可行解。

3.3 个体的评价

对种群中每一个染色体 $G_h(h=1, 2, \dots, pop_size)$, 可行化后求得对应的可行解, 根据式(1)求得这一可行解对应的目标函数值 Z_h , 若染色体对应不可行解, 赋予 Z_h 一个很大的正整数 M_0 。令其适应度函数为 $f_h = 1/Z_h$, 则 f_h 越大, 表明 G_h 性能越好, 对应的解越接近最优解。

3.4 染色体的交叉

在每代种群中, 以一定的交叉概率对染色体进行交叉操作, 在此引入一种新颖的交叉算子, 这种交叉算子的最大特点是当两父代相同时, 仍能产生新的个体, 这就减弱了对种群多样性的要求, 能够有效地避免传统遗传算法“早熟收敛”的缺点, 这是以往交叉算子所不具备的。举例说明其操作: 随机在父代个体中选择一个交配区域, 如两父代个体及交配区域选定为: $A=51|2438|679$, $B=96|1243|578$; 将*B*的交配区域加到*A*的前面, *A*的交配区域加到*B*的前面, 得: $A'=1243|512438679$, $B'=2438|961243578$; 在 $A' \cdot B'$ 中自交配区域后依次删除与交配区相同的自然数, 得到最终的两个体为 124358679, 243896157。与其他交叉方法相比, 这种方法在两父代个体相同的情况下仍能产生一定的变异效果, 这对维持种群的多样性有一定的作用。

3.5 染色体变异

物种变异的可能性较小, 所以在遗传算法中变异操作只起辅助作用, 对每代种群以一定概率变异。变异的策略是随机产生两变异点, 将变异段逆转得新个体。

3.6 邻域结构

每个染色体的邻域包括随机使用两点交换、2-op 交换和 3-opt 交换

4 算例比较

文中讨论的问题中有 8 个顾客和 1 个服务中心, 各顾客的需求量、服务时间、各顾客要求的服务时间范围由表 1 给出, 服务中心与各分店间的距离由表 2 给出。这些顾客由容量为 8t 的车辆完成服务, 要求合理安排车辆的行驶路线, 使总的运距最短。在计算过程中, 设置 GSAG 算法的进化代数为 300, 每组计算次数为 50, 并同文献[7]中的分派启发式算法的结果进行了比较。具体结果见表 3。

表 1 任务的特征及需求

分店	1	2	3	4	5	6	7	8
需求	2	1.5	4.5	3	1.5	4	2.5	3
时间 <i>T</i>	1	2	1	3	2	2.5	3	0.8
时间窗	[1,4]	[4,6]	[1,2]	[4,7]	[3,5]	[2,5]	[5,8]	[1.5,4]

表 2 分店及分店与配送中心的距离

距离	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	40	60	75	90	200	100	160	80
1	40	0	65	40	100	50	75	110	100
2	60	65	0	75	100	100	75	75	75
3	75	40	75	0	100	50	90	90	150
4	90	100	100	100	0	100	75	75	100
5	200	50	100	50	100	0	70	90	75
6	100	75	75	90	75	70	0	70	100
7	160	110	75	90	75	90	70	0	100
8	80	100	75	150	100	75	100	100	0

表 3 不同算法的优化结果比较

算法	优化解	车辆数	对应路径		
			1	2	3
分派算法	1020	3	0~3-1-5-0	0-6-4-0	0-8-2-7-0
本文算法	880	3	0-3-5-2-0	0-8-6-0	0-1-7-4-0

表 4 本文算法在群体规模为 80 的计算结果

变异概率	交叉概率			平均搜索时间/s
	0.6	0.7	0.8	
0.1	45/0	43/0	47/0	1.83
0.15	45/0	46/0	42/0	
0.2	39/0	46/0	46/0	

表 5 本文算法在群体规模为 120 的计算结果

变异概率	交叉概率			平均搜索时间/s
	0.6	0.7	0.8	
0.1	49/0	49/0	45/0	2.90
0.15	49/0	48/0	50/0	
0.2	48/0	47/0	50/0	

从表 3 看出,本文提出的遗传模拟退火算法在求解 VRPTW 问题时,求得的最优解行驶成本比文献[4]的分派式启发式算法少 13.7%,说明本文的算法求解质量较高;从表 4 可以看出,本文算法在群体规模为 80 时得到最优解的概率在 78% 以上,说明本文算法具有较强的克服陷入局部最优的能力。从表 5 可以看出,本文算法在群体规模为 120 时得到最优解的概率为 94% 以上,并且在交叉概率为 0.8,变异概率为 0.2 时,得到最优解的概率为 100%。从表 3 和表 4 的平均搜索时间还可以看出,本文算法的收敛速度较快。

(上接第 184 页)

(5)信息管理与协同。对各个作战单元的信息处理与协同,对作战命令等进行实时的记录,并提供历史查询、报表打印等功能。

(6)号码管理。对号码进行出入库、出库等操作,并对各个作战单元的号码进行总体上的协调和管理。

4.2 作战单元 Agent 设计

每个作战单元的 Agent 要有良好的自治功能,同时也要有很好的协作性,以共同构建一个良好的 MAS 系统,在拥有自己的数据库的同时,还应该与外部设备和分布式网络的接口,其结构设计如图 3 所示。

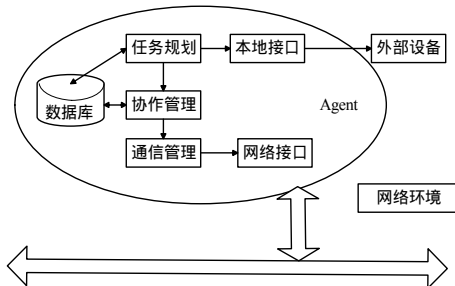


图 3 Agent 结构

5 结论

本文在建立带时间窗车辆路径问题的数学模型基础上,针对遗传算法因局部搜索能力不强造成寻优效果较差的缺陷,将局部搜索能力很强的模拟退火算法与之结合,从而构造了解带时间窗车辆路径问题的混合遗传算法。

实验计算结果表明,用混合算法求解带时间窗的车辆路径问题,可以在一定程度上克服遗传算法在局部搜索能力方面的不足和模拟退火算法在全局搜索能力方面的不足,从而得到较好的计算结果,同时混合遗传算法还具有计算效率高、计算结果较稳定和鲁棒性强的特点,充分显示了其良好的寻优性能。

参考文献

- 1 Dantzig G B, Ramser K B. The Truck Dispatch Problem[J]. Management Science, 1959, 12(1): 80-91.
- 2 Thangiah S, Nygard K, Juell P G. A Genetic Algorithm System for Vehicle Routing with Time Windows[C]//Proceedings of the 7th Conference on Artificial Intelligence Applications, Miami, Florida, 1991: 323-325.
- 3 Zhu K Q. A New Genetic Algorithm for VRPTW[C]//Proceedings of IC- A I'00. Las Vegas: CSREA Press, 2000: 1-10.
- 4 邹 彤, 李 宁, 孙德宝. 不确定车辆数的有时间窗车辆路径问题的遗传算法[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(6): 134-138.
- 5 肖 雁, 符 卓, 李育安. 带软时间窗的车辆路径问题及其应用前景探讨[C]//中国运筹学会第六届学术交流会议论文集. 长沙: Global-Link 出版社, 2000: 634-638.
- 6 张丽萍, 柴跃廷, 曹 瑞. 有时间窗车辆路径问题的改进遗传算法[J]. 计算机集成制造系统, 2002, 8(6): 452-454.
- 7 李 军. 车辆调度问题的分派式启发式算法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(1): 27-33.

5 结论

该基于 MAS 的军事指挥通信系统引入了 CDMA 定位和 CDMA 通信,为我军军事指挥通信系统的智能化、信息化发展提供了一个新的途径,为解决我军通信指挥中公网军用的安全问题提供了一种新的解决方案。CDMA 技术的进步、一卡多号的出现以及 MAS 技术的发展为该系统的实现奠定了技术基础。该系统安全性好、使用方便,并能较好地节约成本,亦可以此为蓝本用于别的部队或车辆等的管理,有良好的应用价值和发展前景。

参考文献

- 1 张维明, 姚 莉. 智能协作技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- 2 马亚平, 李 柯, 王振宇. 联合作战模拟系统体系结构设计[J]. 计算机仿真, 2004, 21(8): 34-36.
- 3 金 亮, 杨露菁, 罗 兵. 基于 HLA 海军岸基指挥自动化训练仿真系统设计总体方案与实现[J]. 微计算机信息, 2006, 22(1): 259.
- 4 段 锦, 叶 霖, 黄显澍. 基于 GSM 短消息的远程数据采集传输系统[J]. 长春理工大学学报, 2005, 28(4): 51-53.
- 5 熊 焰, 滕宗平, 郑华利. 基于移动 Agent 的分布式炮兵自动化指挥系统[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(1): 51-52.