

基于粒子碰撞的粒子群算法 求解带时间窗车辆调度问题*

秦家娇¹, 张 勇², 毛剑琳¹, 付丽霞¹

(1. 昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 昆明 650500; 2. 昆明理工大学津桥学院, 昆明 650106)

摘 要: 带时间窗车辆调度问题属于离散 NP-hard 组合优化问题, 传统的粒子群算法在离散域上表现了一定的劣性, 对此提出了一种基于粒子碰撞的离散 PSO 算法来求解该问题。受物体相互碰撞之后物体的速度和位置会发生改变的现象启发, 使当前粒子与个体最优和全局最优粒子发生碰撞来更新粒子的位置, 以避免传统更新操作中的取整, 保证种群的进化能力。采用 Solomon's VRP 标准问题集的实例来对算法进行测试, 实验结果数据表明了该算法的有效性。

关键词: 带时间窗车辆调度问题; 粒子碰撞; 离散粒子群算法

中图分类号: TP301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1253-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.014

Based on particles collision PSO for vehicle routing problem with time windows

QIN Jia-jiao¹, ZHANG Yong², MAO Jian-lin¹, FU Li-xia¹

(1. School of Information Engineering & Automation, Kunming University of Science & Technology, Kunming 650500, China; 2. School of Jinqiao, Kunming University of Science & Technology, Kunming 650106, China)

Abstract: The vehicle routing problem with time windows (VRPTW) is the NP-hard combinatorial optimization discrete problem. There was certain inferiority performance on solving it with traditional PSO, so this paper proposed a particles collision discrete PSO to solve it. Inspired by the physical phenomena of the velocity and position changed after objects collision, it made the current particle collided with the personal best particle and global best particle to avoid the tradition rounding operating in updating, and kept particles swarm evolutionary capability. It used the Solomon's VRP instance to test. The results of experiments show that the algorithm has good performance.

Key words: vehicle routing problem with time windows (VRPTW); particles collision; discrete PSO

0 引言

当前, 物流的现代化水平不仅成为反映一个国家现代化程度和综合国力的重要标志, 也成为城市经济发展水平的体现。车辆配送是物流的重要组成部分, 国外将该问题归结为 VRP (vehicle routing problem), 于 1959 年由 Dantig 和 Ramser 提出。该问题是物流系统优化的关键。

带时间窗车辆调度问题 (vehicle routing problem with time windows, VRPTW) 是由 VRP 衍生出来的一种问题类型, 它是在基本 VRP 的约束条件的基础上增加了每个客户要求被服务的时间范围限制, 提前或者是拖后服务则客户将拒绝接受服务, 这样更贴近现实的应用。粒子群算法是对鸟群觅食过程中的迁徙聚集的模拟, 其概念简单易懂, 易于计算机编程实现而广泛应用于组合优化问题。目前在用 PSO 求解 VRPTW 的文献中, 有两种方法对粒子的速度和位置进行更新: a) 进行取整操作; b) 基于交换原理更新粒子。文献[1]采用双层的二维粒子编码, 一层从 1 到车辆数的可重复自然数表示任务对应的车辆

编号, 二层从 1 到客户数的可重复自然数表示任务在对应的车辆路径中的执行次序, 每次通过速度和位置更新公式得到新的粒子的位置和速度都需要进行取整和按边界取值操作, 以符合编码原理。文献[2]的编码方式与文献[1]不同, 但是原理一致, 对更新得到的新粒子也是进行取整和按边界取值操作, 这样的操作使得粒子的部分速度因取整规则而被忽略掉, 使得粒子速度难以控制从而导致算法出现陷入局部解^[3]。对此, 文献[3]根据文献[4]提出的交换粒子群算法来代替取整计算, 其更新方式不需要进行取整处理, 能有效避免取整产生的问题。黄岚等人^[5]通过引入交换子和交换序的概念, 构造离散粒子群算法, 有效地求解了旅行商问题。肖健梅等人^[6]引用了文献[5]中的交换序的概念, 把粒子群算法应用到求解车辆调度问题上, 取得了很好的效果。但是应用于带时间窗的车辆调度问题还是很少。

编码方式的不同影响到算法的复杂程度, 文献[1, 2]的编码方式表示了所有的车辆都需要参加配送, 但是对于一个小规模的配送网络来说这个是没有必要的, 就是用其中的几辆车就能在所有限制条件下达到较好的派送效果, 避免造成不必要的

收稿日期: 2011-08-10; **修回日期:** 2011-09-20 **基金项目:** 云南省应用基础研究基金资助项目(2009ZC050M); 云南省教育厅科学研究基金资助项目(08Y0093)

作者简介: 秦家娇(1986-), 女, 云南临沧人, 硕士研究生, 主要研究方向为车辆调度问题(qjjiaojiao@sina.com); 张勇(1964-), 男, 贵州都匀人, 副教授, 博士, 主要研究方向为智能控制; 毛剑琳(1976-), 女, 广西桂林人, 副教授, 博士, 主要研究方向为无线传感器网络、网络控制系统; 付丽霞(1971-), 女, 云南会泽人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为计算机控制与接口。

浪费。对此,为了表示出不是所有车辆都要参加配送,本文采用了客户与虚拟中心共同排列的编码方式^[7]来表示粒子的位置,同时也引入交换序的概念,加入粒子的碰撞来更新迭代粒子的速度和位置,以求解带时间窗的车辆调度问题。

1 VRPTW 及数学模型

带时间窗的车辆调度问题(VRPTW)可描述为:某配送中心(用0表示)拥有K辆车,每辆车的编号为k(k=1,2,...,K),每辆车的最大载重为Q;这些车辆为L个客户服务,每个客户的货物需求量为 q_i ($i=1,2,\dots,L$)且 $q_i < Q$,客户i允许服务的时间窗为(ET_i, LT_i),若车辆在 ET_i 之前到达,则必须在客户i等待,等到 ET_i 开始为i服务;从客户i到j的行驶距离为 d_{ij} ,行驶时间为 t_{ij} , T_i 为在客户i服务的时间; $x_{ijk} = 1$ 为车辆k服务客户i后直接行驶到客户j为其服务, $x_{ijk} = 0$ 为其他,求满足限制条件下的运行距离最短。数学模型建立如下:

$$\min z = \sum_k \sum_i \sum_j d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq j}^L x_{ijk} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_i q_i \sum_{j=0}^L x_{ijk} \leq Q \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^L x_{0jk} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ihk} - \sum_j x_{jhk} = 0 \quad k \in K, h \in L \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^L x_{0ik} = 1 \quad (6)$$

$$t_{ik} + T_i + t_{ij} + \max[(ET_i - t_{ik}), 0] \leq t_{jk} \quad (7)$$

$$ET_j \leq t_{jk} \leq LT_j \quad (8)$$

目标函数式(1)表示车辆运行的总路径最少;式(2)表示每个客户只能由一辆车服务一次;式(3)表示每辆车所运输的货物重量不超过最大载重;式(4)~(6)表示每辆车由中心仓库出发经过一系列不重复的客户后回到仓库;式(7)表示第k辆车到达客户i的时间加上在客户i的服务时间,再加上客户i到j的运行时间,加上在客户i的等待时间,要小于或等于车辆到达客户j的时间;式(8)表示到达客户j的时间要符合客户j要求的时间窗。

2 粒子碰撞的 PSO 算法

在物理学中,当两个不同速度的运动物体相互碰撞,则碰撞之后两个物体的速度和运动方向都会发生改变,如图1所示。如果这个系统不受外力或所受外力的矢量和为零,那么这个系统的总动量保持不变,这个结论叫做动量守恒定律。动量守恒定律是自然界中最重要最普遍的守恒定律之一,它既适用于宏观物体,也适用于微观粒子;既适用于低速运动物体,也适用于高速运动物体。对于粒子群算法中的所有粒子,设所有粒子都不受外力,且粒子的质量可忽略不记,则碰撞的粒子符合动量守恒定律。

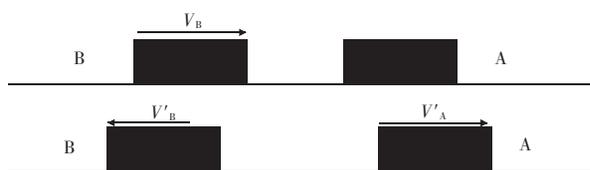


图1 物体碰撞

本文就是根据粒子相互碰撞之后速度发生改变,以此方法来迭代更新粒子群算法中粒子的速度和位置,从而提出了粒子

碰撞的离散粒子群算法。在粒子群算法中,每个粒子都是待优化问题的一个潜在解,所有粒子通过追随个体最优粒子和全局最优粒子在解空间中进行搜索。本文所提出的粒子碰撞粒子群算法,就是每个粒子与当前的个体最优粒子和全局最优粒子发生碰撞,根据动量守恒定理得

$$m_1 v_1 + m_p v_p = m_1 v'_1 + m_p v_3 \quad (9)$$

$$m_2 v_2 + m_g v_g = m_2 v'_2 + m_g v_4 \quad (10)$$

略去粒子质量得

$$v_1 + v_p = v'_1 + v_3 \quad (11)$$

$$v_2 + v_g = v'_2 + v_4 \quad (12)$$

其中: v_p 为该微粒历代经历过的最优速度, v_g 为全局微粒经历过的最优速度,发生碰撞之后两个粒子的速度都发生了改变。由式(11)(12)可以看出,采用碰撞后较好的速度来更新粒子的速度可使粒子的速度往好的方向发展。粒子的运动方程为

$$v_{i+1} = w \otimes v \oplus c_1 (pbest \otimes x) \oplus c_2 (gbest \otimes x) \quad (13)$$

$$x_{i+1} = x + v_{i+1} \quad (14)$$

式(13)的第一项表示粒子的自身速度,第二项表示认知部分,第三项表示社会部分。这里的自身速度采用文献[5]中的交换序的概念,交换序由交换子组成, w 为0~1之间的随机数, $w \otimes v$ 表示交换序 v 中的交换子以 w 概率存在;第二项表示了当前微粒以概率 c_1 参照 $pbest$ 发生碰撞操作;第三项表示了当前微粒以概率 c_2 参照全局最优解 $gbest$ 发生碰撞操作。由于离散PSO的特殊性,采用分段式计算方式会比式(13)(14)形式的效果要好,因为速度对位置上的各维数据的作用会相互影响^[8],所以转换为以下分段式计算:

$$x'_i = x_i \oplus (w \otimes v_i) \quad (15)$$

$$x''_i = x'_i \oplus c_1 (pbest \otimes x'_i) \quad (16)$$

$$x_{i+1} = x''_i \oplus c_2 (gbest \otimes x''_i) \quad (17)$$

3 碰撞 PSO 算法求解 VRPTW

3.1 粒子的编码方式

本文采用客户与虚拟配送中心共同排列的方法来表示粒子。对于k辆车,l个客户的VRP问题,产生1~(k+l-1)自然数全排列,大于客户数的自然数表示配送中心,配送中心相连表示该辆车不参加配送。例如,3辆车(车辆编号为1、2、3)、10个客户的问题,设一随机排列为8 9 10 11 5 1 6 12 3 4 7 2,该编码方法默认排列首尾各有一个0,即(0)8 9 10 11 5 1 6 12 3 4 7 2 (0),表示三辆车都参加了配送,车1:0-8-9-10-11(0),车2:11(0)-5-1-6-12(0),车3:12(0)-3-4-7-2-0;若排列为8 9 10 11 12 5 1 6 3 4 7 2,其中虚拟配送中心11与12相连,则表示第二辆车不参与配送,车1:0-8-9-10-11(0),车3:12(0)-5-1-6-3-4-7-2-0。

3.2 碰撞操作

这里的碰撞操作即当前粒子与其个体最优粒子和全局最优粒子做类OX交叉操作^[7]。这个操作的优点在于即使是两个相同的个体经过碰撞之后也能得到不同的新的位置。碰撞之后得到两个新的粒子位置,从中去掉较差的,选取好的粒子来更新粒子的位置。这个过程中 $pbest$ 和 $gbest$ 不作变化,只是当前粒子以 $pbest$ 和 $gbest$ 作为参照进行交叉操作来更新自己。

3.3 算法步骤

a) 随机产生初始种群,设定参数 w, c_1 和 c_2 ,随机给每个粒

子一个初始速度,即一个交换序;

b) 利用式(1)来评价粒子,对不符合约束条件的粒子采取惩罚操作,求出初始的 $pbest$ 和 $gbest$;

c) 对每个微粒做初始速度操作,即经过交换序之后得到新的微粒;

d) 对新的微粒和个体最优解 $pbest$ 按概率 c_1 做类 OX 交叉操作,对不做交叉操作的微粒进行变异,得到新的微粒再参照全局最优解 $gbest$ 按概率 c_2 进行类 OX 交叉,同样对不做这个操作的微粒进行变异;

e) 按式(1)评价每个粒子的适应值,对不符合约束条件的粒子的适应值加惩罚值,并与 $pbest$ 和 $gbest$ 进行比较,如果较好,则更新 $pbest$ 和 $gbest$;

f) 若满足停止条件,搜索停止输出结果,否则返回 c) 继续搜索。

4 仿真实例

用 MATLAB 7.0 编程,在 CPU 为 E5800 3.20 GHz,内存为 2.96 GB,操作系统为 Windows XP 的微机验证了算法的性能,求解实例采用了 Solomon 提供的 25 个客户点规模的标准测试问题,具体客户与车场坐标、客户需求、时间窗等相关数据可以参看文献[9]所给出的网站。算法参数设置如下:粒子数目取 40,迭代次数取 400, w 取值 0.75, c_1 和 c_2 均取 0.8。对测试实例 C101(25 客户)进行 20 次运算,其中有 13 次达到了本算法的最优解:使用 3 辆车,总行 197.4,对应的车辆路线图如图 2 所示。

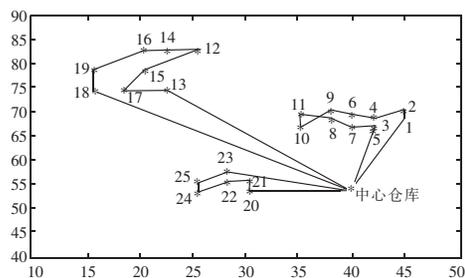


图2 测试实例 C101(25)车辆路径

同时采用了遗传算法和粒子群算法对 25 个客户点随机几个算例进行了计算,设定两种算法的迭代次数均为 400 代。遗传算法的种群规模为 40,交叉概率为 0.78,变异概率为 0.2,采

用轮盘赌为选择策略;粒子群算法对更新得到的粒子速度和位置进行取整和按边界取值操作,粒子数目为 40,惯性权重取 0.75,学习因子 $c_1 = c_2 = 2$,分别进行 20 次运算,结果如表 1 所示。

表1 各算法最优结果比较

实例名称	已知最优解	遗传算法	粒子群算法	本文算法
C101	191.3/3	210.7/3	248.0/3	197.4/3
C201	214.7/2	242.4/2	257.2/2	216.4/1
C104	186.9/3	202.6/3	228.5/3	188.2/3
R104	416.9/4	428.6/4	446.0/4	415.8/4
R208	328.2/1	335.4/1	344.6/1	330.2/1
R201	463.3/4	470.4/4	482.7/4	469.3/4
RC107	298.3/3	320.7/3	337.1/3	302.8/3
RC204	299.7/3	318.6/3	323.5/3	305.2/3

从表 1 情况来看,本文算法得到的解的质量要高于其他算法,并且很接近已知最优解。

5 结束语

本文提出了基于粒子碰撞的离散粒子群算法,对不做碰撞的粒子进行变异操作,避免陷入局部解,并成功地求解了 Solomon's VRPTW 问题集中的 25 客户规模的问题,结果证明了该算法应用于带时间窗车辆调度问题的有效性。

参考文献:

- [1] 李宁,邹彤,孙德宝.带时间窗车辆路径问题的粒子群算法[J].系统工程理论与实践,2004,24(4):130-135.
- [2] 刘志雄.基于粒子群算法的物流配送车辆优化调度研究[J].武汉科技大学学报,2009,32(6):615-618.
- [3] 马炫,彭芄,刘庆.求解带时间窗车辆路径问题的改进粒子群算法[J].计算机工程与应用,2009,45(27):200-202.
- [4] CHERC M. Discrete particle swarm optimization illustrated by traveling salesman problem[M]. Berlin: Springer-Verlag,2004.
- [5] 黄岚,王康平,周春光,等.粒子群优化算法求解旅行商问题[J].吉林大学学报:理学版,2003,41(4):477-480.
- [6] 肖健梅,黄有方,李军军,等.基于离散微粒群优化的物流配送车辆路径问题[J].系统工程,2005,23(4):97-100.
- [7] 郎茂祥.配送车辆优化调度模型与算法[M].北京:电子工业出版社,2009.
- [8] 余伶俐,蔡自兴,高平安,等.当代学习自适应混合离散粒子群算法研究[J].小型微型计算机系统,2009,30(9):1800-1804.
- [9] 张有华,张翠军,崔忠强.有时间窗车辆路径问题的混合智能算法[J].计算机工程与应用,2010,26(4):221-223.
- [10] 张有华,张翠军,崔忠强.带时间窗车辆路径问题的混合智能算法[J].计算机工程与应用,2010,26(4):221-223.
- [11] 张有华,张翠军,崔忠强.带时间窗车辆路径问题的混合智能算法[J].计算机工程与应用,2010,26(4):221-223.
- [12] 张有华,张翠军,崔忠强.带时间窗车辆路径问题的混合智能算法[J].计算机工程与应用,2010,26(4):221-223.
- [13] 张有华,张翠军,崔忠强.带时间窗车辆路径问题的混合智能算法[J].计算机工程与应用,2010,26(4):221-223.
- [14] 张有华,张翠军,崔忠强.带时间窗车辆路径问题的混合智能算法[J].计算机工程与应用,2010,26(4):221-223.

(上接第 1219 页)

- [3] FAURE G, BORNOT A, De BREVERN A G. Protein contacts, inter-residue interactions and side-chain modeling[J]. Biochimie,2008,90(8):626-639.
- [4] 刘桂霞,于哲舟,周春光.基于带偏差递归神经网络蛋白质关联图的预测[J].吉林大学学报:理学版,2008,46(2):265-271.
- [5] BALDI P, POLLASTRI G, ANDERSEN C A, et al. Matching protein betasheet partners by feedforward and recurrent neural networks[C]//Proc of the 8th International Conference on Intelligent for Molecular Biology. 2000:25-36.
- [6] CHENG Jian-lin, BALDI P. Three-stage prediction of protein beta-sheets by neural networks, alignments and graph algorithms[J]. Bioinformatics,2005,21(1):75-84.
- [7] RICHARDSON M, DOMINGOS P. Markov logic networks[D]. Washington DC: University of Washington,2004.
- [8] ANDRIEU C, De FREITAS N, DOUCET A, et al. An introduction to MCMC for machine learning[J]. Machine Learning,2003,50(1):

- 5-43.
- [9] 张玉芳,黄涛,艾东梅,等. Markov 逻辑网及其在文本分类中的应用[J].计算机应用,2009,29(10):2729-2736.
- [10] DOMINGOS P, KOK S, LOWD D, et al. Markov logic[M]//Probabilistic Inductive Logic Programming. Berlin: Springer,2008:92-117.
- [11] KOK S, SUMNER M, RICHARDSON M, et al. The Alchemy system for statistical relational AI[R]. Washington DC: University of Washington,2007.
- [12] KABSCH W, SANDER C. Dictionary of protein secondary structure: pattern recognition of hydrogen-bonded and geometrical features[J]. Biopolymers,1983,22(12):2577-2637.
- [13] CHENG Jian-lin, BALDI P. Improved residue contact prediction using support vector machines and a large feature set[J]. BMC Bioinformatics,2007,8(1):113-122.
- [14] FARISELLI P, OLMEA O, VALENCIA A, et al. Prediction of contact maps with neural networks and correlated mutations[J]. Protein Engineering,2001,14(11):835-843.