

带时间窗车辆路径问题的混沌粒子群优化算法

杨 庆,陈 强,李珍珍
(上海工程技术大学,上海 201620)

摘 要:车辆路径问题属于完全 NP 问题,也是运筹学中的热点问题。虽然目前有很多人进行研究,但搜索效率和达优率较低,而且计算所得平均费用偏高。鉴于此,基于基本 PSO 算法容易陷入局部最优,而混沌具有随机性、遍历性及规律性等特点,文中很好地地将混沌优化算法与粒子优化算法相结合,提出了一种混沌粒子群优化算法,应用于带时间窗的车辆路径问题(VRPTW)。通过仿真实验,将混沌粒子群算法与粒子群算法、遗传算法等多种算法进行比较。结果显示,混沌粒子群算法运算速度快、鲁棒性好且能获得高质量的解,是求解带时间窗的车辆路径问题的一种简单有效的算法。

关键词:混沌;粒子群;车辆问题;混沌粒子群优化算法

中图分类号:TP202.7

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)08-0119-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.08.025

A Chaos Particle Swarm Optimization Algorithm of Vehicle Routing Problem with Time Windows

YANG Qing, CHEN Qiang, LI Zhen-zhen
(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: The vehicle routing problem is a NP complete problem and is also a hot topic in the operational research field. Many people do research on it, but searching efficiency and the rate of success are low and the cost is high. In view of this, based on basic PSO algorithm is easy to fall into local optimum, and chaos has many characteristics such as randomness, ergodicity and regularity, combined the particle optimization algorithm with chaos optimization algorithm in this paper, a chaos particle swarm optimization algorithm is proposed, and applied to the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW). Through simulation experiments, the chaotic Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm and PSO algorithm, genetic algorithm and other algorithms are compared. The experimental results show that the chaotic particle swarm optimization arithmetic with fast speed and good robustness, can obtain high quality of the solution, which is a simple and effective algorithm to solve the vehicle routing problem with time windows.

Key words: chaos; particle swarm; vehicle problems; chaos particle swarm optimization algorithm

0 引 言

1959年, Ramser和Dantzig^[1]提出了车辆路径问题(Vehicle Routing Problem, VRP)。VRP是在满足一定约束条件的情况下,对任务点的车辆进行调度,规划行车路径,让车辆有序地访问,努力达成目标:过程费用最小、耗费时间最少、路程最短^[2]。在数学中属于NP完全问题,在众多学科中都有着广泛的应用,譬如:应用数学、物流学、计算机应用、管理学、运筹学等等。

带时间窗的车辆路径问题(VRPTW),在真实的生活中,也有很多,如火车的调度、物流的配送、旅行商问题以及机器人路劲规划问题等,怎样处理这些问题

也是企业比较关心的内容,因此人们对它的研究越来越重视。目前求解VRPTW的方法大致可以归纳为三类^[3]:启发式、智能型和精确型。而智能型算法有很多种,如遗传算法、蚁群算法和粒子群算法等等。

粒子群优化算法(PSO)是一种进化计算技术(evolutionary computation),由Eberhart博士和Kennedy博士发明的一种新的全局优化进化算法,源于对鸟群捕食的行为研究。与遗传算法类似,也是一种叠代的优化方法。系统一开始会任意选一组随机解,经过叠代搜寻到最优值。该方法已广泛应用,如模糊系统控制、神经网络训练、函数优化以及其他遗传算法等等。文

收稿日期:2014-06-27

修回日期:2014-09-29

网络出版时间:2015-07-21

基金项目:上海市教育创新项目理科重点项目(12ZZ182)

作者简介:杨 庆(1988-),男,硕士,研究方向为智能算法;陈 强,博士后,教授,硕士生导师,研究方向为模式识别、智能计算,集成3S(GIS/RS/GPS)技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150721.1433.004.html>

献[4]中分别用二阶振荡 PSO、带自变异算子 PSO、随机惯性权重 PSO、模拟退火 PSO 求解带时间窗车辆路径问题。文献[5]中使用粒子群算法可以快速、有效求得带时间窗车辆路径问题的优化解。文献[6]中将粒子群优化算法与模拟退火算法相结合,提出了一种求解车辆路径问题的混合粒子群算法。

以上算法在搜索过程中存在一个缺陷,易陷入局部最优。针对这个问题,文中提出一种新的算法,利用混沌运动的随机性、遍历性和规律性等特点,提出一种求解带时间窗车辆路径问题的混沌粒子群算法(CPSO)。该算法的最大优势在于采用混沌初始化来改善个体质量,同时利用混沌扰动避免了在搜索过程中陷入局部极值。

1 带时间窗车辆路径问题的数学模型

带时间窗车辆路径问题^[7]指:在一个仓库里,有 K 辆车,容量为 $q_k(k=1,2,\dots,K)$;现在有 L 个任务需要完成,以 $1,2,\dots,L$ 表示;第 i 个任务点的任务量为 $g_i(i=1,2,\dots,L)(\max g_i \leq \max q_i)$,一辆车配送一个任务点的任务量; T_i 表示完成任务点 i 的时间,而任务 i 必须在时间窗口 $[ET_i, LT_i]$ 内完成,任务 i 的允许最早和最迟开始时间分别为 ET_i 和 LT_i 。如果车辆在 ET_i 之前到达,需要等待;否则,将被推迟。

带时间窗车辆路径问题是指在满足时间和货运要求的条件下,能够使车辆行驶路线的花费、运费最少^[8]。分为两类:硬时间窗和软时间窗的车辆路径问题。前者指的是在规定的时间内每项任务必须完成,而后者指的是在规定的时间内某项任务未能完成,将接受一定的惩罚:

(1) 如果在 ET_i 之前车辆已到达任务点 i ,则车辆需要等待,时间成本增加了;

(2) 如果在 LT_i 之后,则服务将被延迟,必须赔偿一定的成本。

文献[2]提出了一个数学模型:任务点编号为 $1,2,\dots,L$,仓库编号为 0 ,任务点及仓库均以点 $i(i=1,2,\dots,L)$ 来表示。定义变量如下:

$$y_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{任务 } i \text{ 由车 } k \text{ 完成} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{车 } k \text{ 从点 } i \text{ 行驶到点 } j \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中, s_i 表示时间, c_{ij} 表示运输成本, p_E 表示等待的单位时间成本, p_L 表示单位时间的罚金成本。如果在 ET_i 之前,车辆到达任务点 i ,会增加等待成本 $p_E \times (s_i - ET_i)$;如果在 LT_i 之后,车辆到达任务点 i ,会增加罚金成本 $p_L \times (LT_i - s_i)$ 。根据分析,VRPTW 数学模型如下所示:

$$\min z = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} x_{ijk} + p_E \sum_{i=1}^L \max(ET_i - s_i, 0) + p_L \sum_{i=1}^L \max(s_i - LT_i, 0) \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_i g_i y_{ki} \leq q_k; \forall k$$

$$\sum_k y_{ki} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, L$$

$$\sum_i x_{ijk} = y_{kj} \quad j = 0, 1, \dots, L$$

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ki} \quad i = 0, 1, \dots, L; \forall k$$

$$X = (x_{ijk}) \in S$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1 \quad i, j = 0, 1, \dots, L; \forall E$$

$$y_{ki} = 0 \text{ 或 } 1 \quad i = 0, 1, \dots, L; \forall E$$

2 粒子群优化算法及其改进

2.1 PSO 原理

在 1995 年, Kennedy 和 Eberhart 提出了粒子群算法^[9]。PSO 算法开始任意初始化一群粒子,在解空间中搜索当前的最优粒子,经过多次迭代找到最优解。若在 d 维搜索空间中,第 i 个粒子的位置和速度分别为 $x_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,d})$ 和 $v_i = (v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,d})$,通过迭代,粒子群可以跟踪两个最优解来更新。第一个是粒子找到的最优解,即个体极值 $p_i = (p_{i,1}, p_{i,2}, \dots, p_{i,d})$;另一个是整个种群找到的最优解,即全局最优解 $p_g = (p_{g,1}, p_{g,2}, \dots, p_{g,d})$ 。在寻找的过程中,粒子根据公式(2)、(3)来更新速度和位置。

$$v_{i,j}(t+1) = wv_{i,j}(t) + c_1 r_1 [p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2 r_2 [p_{i,j} - x_{i,j}(t)] \quad (2)$$

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1) \quad j = 1, 2, \dots, d \quad (3)$$

PSO 算法的流程如图 1 所示。

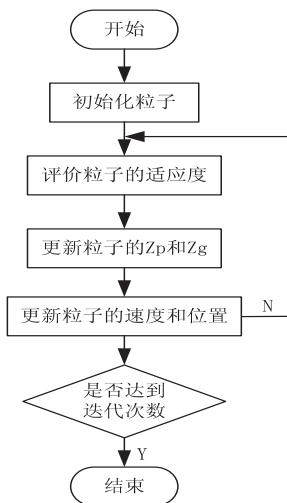


图 1 PSO 算法流程

2.2 混沌 PSO 算法

在非线性系统中,混沌优化算法^[10]是指随机产生

一组变量和优化变量数目相同的混沌变量,要求混沌运动的遍历范围和优化变量的取值范围同步,再利用混沌变量的遍历性和随机性进行搜索。混沌是一种较为普遍的现象,行为随机且复杂^[11]。混沌的搜索技术优越于其他搜索技术主要体现在:搜索速度快、对初始条件的敏感和易跳出局部极小。

为克服 PSO 的缺陷,文中在 PSO 中混入混沌思想,可以在一定程度上避免粒子位置相同,并且在每次迭代过程中不断更新粒子自己的位置,还可以使粒子在全局最优下加强对局部的搜索^[12]。

Logistic 映射如下所示:

$$Z_{n+1} = 4Z_n(1 - Z_n) \quad 0 \leq Z_0 \leq 1 \tag{4}$$

式中,混沌变量表示为 $Z_n, n = 0, 1, \dots$; 混沌变量的初始值表示为 Z_0 。

混沌必须循规蹈矩地、不重复地遍历搜索空间所有的状态。因为在相当长的时间内,其微小差别也能导致很大的差别。

根据混沌的思想,可按式(5)加入混沌扰动。

$$Z'_k = (1 - \alpha)Z^* + \alpha Z_k \tag{5}$$

式中,混沌向量迭代 k 次表示为 Z_k ; 扰动后的混沌向量表示为 Z'_k ; 最优解映射到区间 $[0, 1]$ 内形成的混沌向量表示为 Z^* 。

为了增加扰动强度,在区间 $\alpha \in [0, 1]$ 内,一般按式(6)来确定^[13]。

$$\alpha(k) = 1 - \left(\frac{k-1}{k}\right)^n \tag{6}$$

式中, n 为整数。

文献[9]证明了收敛条件:一个是粒子以前的速度和惯性因子不为零;另一个是粒子的当前位置和最优值与粒子群的当前最优值保持一致。

3 VRP 的混沌 PSO 算法

3.1 构造粒子表达方式

实现算法的关键问题之一:怎样找到一个合适的表达方法,使得粒子与解对应。文献[14]中提出了一个很好的解题方法:一个 L 个任务点 VRP 问题对应一个 $2L$ 维的空间,一个任务点对应一个两维空间。 K 表示完成任务的车辆, r 表示次序。由粒子两个 L 维向量构成了一个 $2L$ 维向量 X , 分别是 X_v (车辆编号)和 X_r (执行次序)。

假设在 VRP 问题中,车辆为 3,任务点为 7,粒子的位置向量 X 为:

任务点:1 2 3 4 5 6 7

X_v :1 2 2 2 2 3 3

X_r :1 4 3 1 2 2 1

则该粒子对应解路径为;

车辆 1:0→4→5→3→2→0

车辆 2:0→1→0

车辆 3:0→6→7→0

该方法的最大优点:发货点与车辆的配送服务是一一对应的关系,这样在求解可行化过程中计算量大大减少。在文献[10]中有验证,维数的增加并未增加计算的复杂性,所以即便该方法的维数较高,在多维寻优问题中,PSO 算法依旧非常好地保持这一特性。

3.2 算法过程描述

混沌粒子群算法的实现步骤:

(1)算法初始化。参数设定:最大迭代次数 N_{\max} 、粒子群规模 n 、惯性权重因子 w 和加速因子 a 。

(2)粒子种群初始化。根据式(1)随机产生 D 个 n 维向量 $Z_j = (Z_{j1}, Z_{j2}, \dots, Z_{jn}) (j = 1, 2, \dots, n), 0 \leq Z_j \leq 1$, 充分利用混沌对初始值敏感的特性,微小差异的初始值 D 个可产生初始粒子的种群 n 个。

(3)在配送的取值区间 $[1, K]$ 内将混沌变量 Z_j 一一映射。

(4)评估适应度。根据公式(1)作为适应值函数来计算每个粒子的适应度函数值,同时检查是否满足约束条件。

(5)对于每个粒子,若粒子适应度优于全局极值 $p_{\text{best}}, g_{\text{best}}$ 设置为新位置;若粒子适应度优于个体极值 $p_{\text{best}}, g_{\text{best}}$ 设置为新位置。

(6)混沌优化全局最优极值 g_{best} 。在方程的定义域 $[0, 1]$ 内将全局最优极值 g_{best} 一一映射,按照公式(1)进行迭代,产生混沌变量 n 个,在取值区间 $[1, K]$ 内把产生的混沌变量再进行逆映射,计算出混沌粒子的适应度函数值,得到一个新的最优解 g'_{best} 来代替当前最优位置。

(7)判决粒子群是否早熟收敛。早熟收敛主要有两个方面:第一,在多次迭代后最优粒子变化很小或无变化;第二,粒子群严重聚集。若粒子群中出现早熟收敛情况,则对部分较优粒子进行混沌优化;反之,继续执行粒子群算法。

操作步骤如下:

①计算方差 δ^2 和最小方差 δ^2_{\min} 。

$$\delta^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i - f_{\text{avg}}}{f}\right)^2 \tag{7}$$

$$f = \max\{1, \max\{|f_i - f_{\text{avg}}|\}\} \tag{8}$$

其中, f_{avg} 为粒子群目前的平均适应度值; f_i 为第 i 个粒子的适应度函数值; n 为粒子群的总数。式(8)的目的是限制 δ^2 的大小,根据算法的变化它的取值也发生变化。当 $\delta^2 \leq \delta^2_{\min}$ 时,处于过早收敛状态,此时粒子群会出现严重聚集,执行步骤(8);否则转到步骤(9)。

②计算全局最优的迭代次数。若粒子达到阈值,达到最优,执行步骤(8);否则跳转到步骤(9)。

(8)混沌优化部分较优的粒子群。为了增加粒子群的多样性,搜索混沌优化一部分粒子,更新后,这群粒子在后面的优化过程中容易摆脱局部极值,达成混沌优化迭代,转到步骤(9)。

(9)输出最优解,结束运行。

4 实验结果与分析

为了验证该算法的优越性,使用了 Matlab7.0 软件对 VRPTW 问题进行仿真。通过编程比较了混沌粒子群算法、遗传算法和粒子群算法的结果。

根据文献[7]中 VRPTW 的例子,有 8 项货物运输任务 i ,各货运量为 g_i ,每项任务时间窗 $[ET_i,LT_i]$ 如表 1 所示。中心仓库与各任务点间及各任务点之间的距离如表 2 所示。3 辆车完成这些任务,单位运输成本为 1,车速 50,超出时间窗的单位惩罚为: $p_E=50, p_L=50$ 。

表 1 发货点坐标及货运量

任务序号	货运量(g_i)	T_i	$[ET_i,LT_i]$
1	2.5	2	[2,4]
2	2	1	[4,5]
3	3.5	1	[1,2]
4	4	2	[5,7]
5	1.5	2	[2,5.5]
6	4	3	[2,5]
7	3.5	3	[4,7]
8	3	1	[1,4]

表 2 任务点与中心仓库及各任务点间距离

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	35	55	80	95	200	120	140	90
1	35	0	60	45	100	65	75	110	95
2	55	60	0	75	100	100	75	80	75
3	80	45	75	0	100	45	85	90	140
4	95	100	100	100	0	100	80	75	100
5	200	65	100	5	100	0	80	90	80
6	120	75	75	85	80	80	0	85	100
7	140	110	80	90	75	85	70	0	95
8	90	59	75	140	100	80	100	95	0

采用标准粒子群算法、遗传算法和文中算法分别对该算例进行计算。为了验证算法的真实效果,文中将混沌粒子群算法的粒子种群数和最大迭代次数与文献[15-17]中设置相同,即粒子种群数为 50,最大迭代次数为 50,连续计算 30 次,计算结果如表 3 所示。

表 3 文中算法与其他算法连续运行 30 次的结果比较表

算法	最小值	最大值	30 次计算 平均值	找到最优 值的次数	平均行 驶成本	平均成 功搜索 时间/s	搜索成 功率/%
GA 算法	69	79.5	73.15	0	993.6	18.41	24
PSO 算法	67.5	75.5	70.05	3	940.5	8.53	46
文中算法	67.5	71.5	68.15	9	911.9	8.93	92

最少行驶成本路径为:
车 1:0→3→1→2→0
车 2:0→6→4→0
车 3:0→8→5→7→0
成本 $Z=920$,惩罚费用为 0。

5 结束语

基于基本 PSO 算法容易陷入局部最优,而混沌具有随机性、遍历性及规律性等特点,文中很好地将混沌优化算法与粒子优化算法相结合,提出了一种混沌粒子群优化算法。通过 VRP 实例验证,通过和基本 PSO 算法与遗传算法的比较中得出,提高了算法的性能和效率,运算速度快、鲁棒性好以及获得高质量的解,具有很大的实用价值。从目前的应用前景来看,这种模仿自然界中生物的新型算法无疑有着巨大的前景,还有更多更细致的工作需要进一步研究。

参考文献:

[1] Dantzig G,Ramser J. Thetruck dispatching problem[J]. Man-
agement Science,1959,6(1):80-91.
[2] 李 军,郭耀煌. 物流配送车辆优化调度理论与方法[M].
北京:中国物资出版社,2001.
[3] Lau H C,Sim M,Teo K M. Vehicle routing problem with time
windows and a limited number of vehicles[J]. European Jour-
nal of Operational Research,2003,148(3):559-569.
[4] 张 兰,雷秀娟. 几种改进 PSO 算法在带时间窗车辆路径
问题中的比较与分析[J]. 计算机工程与科学,2008,30
(12):55-59.
[5] 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.
[6] 张丽艳,庞小红,夏蔚军,等. 带时间窗车辆路径问题的混
合粒子群算法[J]. 上海交通大学学报,2006,40(11):1890
-1894.
[7] Kennedy J,Eberhart R C. Particle swarm optimization[C]//
Proc of IEEE international conference on neural networks. Pis-
cataway,NJ:IEEE,1995:1942-1948.
[8] 高 尚,杨静宇. 混沌粒子群优化算法研究[J]. 模式识别
与人工智能,2006,19(2):266-270.
[9] Salmen A,Ahmad I,Al-Madani S. Particle swarm optimization
(下转第 127 页)

档,两者执行速度相差不大。但是对 maxOccurs 大、嵌套层数多的情况,LIBXML2 执行很慢,当嵌套层数大于 2 时,会栈溢出导致算法无效。以上数据是在 XML 文档中元素个数确定时得到的,可以看出嵌套层数对 LIBXML2 的执行影响很大。文中算法受嵌套层数影响不大,而且支持的最多嵌套层数为 6,满足实际需求,目前已投入使用。

4 结束语

文中针对在用 XML Schema 校验来判断 XML 文档合法性的过程中,目前 LIBXML2 所采用的逐层遍历校验法对 3 层及以下嵌套效率低下,对多于 3 层嵌套的校验法失效的问题,提出一种新算法,可有效避免逐层遍历法验证的缺陷。实验结果表明,该算法稳定有效。

参考文献:

[1] 彭 涛,孙连英. XML 技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2012.

[2] 董亚娟,卓小贤,刘西洋,等. 一种 XML 文档模式有效性验证算法[J]. 计算机工程与应用,2005,41(16):86-89.

[3] 李亚佳. 基于 Schema 验证的 XML 解析器中编辑子系统的设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2005.

[4] 王 仲,陈晓鸥. 基于 XML 的数据交换与存取技术研究[J]. 计算机工程与应用,2001,37(24):108-111.

[5] 冯 进,丁 博,史殿习,等. XML 解析技术研究[J]. 计算机工程与科学,2009,31(2):120-124.

(上接第 122 页)

for task assignment problem[J]. Microprocessors and Microsystems,2002,26(8):363-371.

[10] Shi Y, Eberhart R C. Empirical study of particle swarm optimization[C]//Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation. Piscataway, NJ: IEEE, 1999:1945-1950.

[11] 王铁君,邬月春. 基于混沌粒子群算法的物流配送路径优化[J]. 计算机工程与应用,2011,47(29):218-221.

[12] 高立群,任 苹,李 楠. 基于混沌粒子群算法的高速旅客列车优化调度[J]. 东北大学学报:自然科学版,2007,28(2):176-179.

[13] Bosco G L. PGAC: a parallel genetic algorithm for data clustering[C]//Proceedings of the seventh international workshop on computer architecture for machine perception. [s. l.]: [s.

[6] 俞 斌,熊齐邦. 基于 XML 的网络配置管理的研究与实现方案[J]. 计算机技术与发展,2007,17(2):168-171.

[7] 王 霜. 基于 Schema 文档的 XML 文档验证系统的设计[J]. 沈阳师范大学学报:自然科学版,2010,28(2):229-232.

[8] 李 浩,沈 琦. XML Schema 中的面向对象思想[J]. 计算机系统应用,2004,14(2):36-39.

[9] Elmasri R, Li Qing, Fu J, et al. Conceptual modeling for customized XML schemas[J]. Data & Knowledge Engineering, 2005,54:57-76.

[10] 王伟良,施 俊,曹渠江. 基于 XML Schema 抽象模型的 XML 模式验证方法[J]. 计算机应用与软件,2004,24(3):41-43.

[11] 李 华,刘修国. 对 XML 的模式 DTD 和 Schema 的探讨[J]. 计算机与现代化,2003(2):12-14.

[12] 张 伟,苑迎春,王克俭. DTD 与 Schema 简介[J]. 现代电子技术,2001(6):75-79.

[13] Walmsley P. XML 模式权威教程[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[14] 胡亚明. 基于 Schema 验证的 XML 解析器中验证子系统的设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2005.

[15] Ma Jianliang, Zhang Shaobin, Hu Tongsen. Parallel Speculative dom-based XML parser[C]//Proc of the 14th international conf on high performance computing and communications. Hangzhou: [s. n.], 2012:33-40.

[16] Lam T C, Ding J J, Liu J C. XML document parsing: operational and performance characteristics[J]. IEEE Computer, 2008, 41(9):30-37.

n.], 2005.

[14] 刘 莉,王长林. 城市轨道交通列车运行调整的粒子群算法研究[J]. 铁路计算机应用,2013,22(6):62-64.

[15] Tsai S J, Sun T Y, Liu C C, et al. An improved multi-objective particle swarm optimizer for multi-objective problems[J]. Expert Systems with Applications, 2010,37(8):5872-5886.

[16] Liu B, Wang L, Jin Y H. An effective PSO-based memetic algorithm for flow shop scheduling[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2007, 37(1):18-27.

[17] Parsopoulos K E, Vrahatis M N. On the computation of all global minimizers through particle swarm optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004, 8(3): 211-224.

带时间窗车辆路径问题的混沌粒子群优化算法

作者：[杨庆](#)，[陈强](#)，[李珍珍](#)，[YANG Qing](#)，[CHEN Qiang](#)，[LI Zhen-zhen](#)

作者单位：[上海工程技术大学, 上海, 201620](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(8)

引用本文格式：[杨庆](#).[陈强](#).[李珍珍](#).[YANG Qing](#).[CHEN Qiang](#).[LI Zhen-zhen](#) [带时间窗车辆路径问题的混沌粒子群优化算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(8)