

非线性规划的混沌粒子群优化算法

杨玲玲, 马良

(上海理工大学管理学院, 上海 200093)

摘要:粒子群优化算法是一类基于群智能的优化搜索算法。该算法初期收敛较快,但后期易陷入局部最优点。为了提高粒子群算法的性能,将粒子群算法全局搜索的快速性和混沌算法的一定范围内的遍历性二者结合,利用罚函数的思想把有约束的非线性规划问题转化为无约束最优化问题,并利用了混沌运动遍历性、随机性等特点,对传统粒子群算法进行改进,摆脱了粒子群算法后期易陷入局部极值点的缺点,然后与罚函数方法结合,构造出一个基于罚函数的混沌粒子群优化算法。数值结果表明文中所提出的算法是有效的。

关键词:罚函数;混沌粒子群;算法

中图分类号:022

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)10-00015-03

A Chaos Particle Swarm Optimization Algorithm for Nonlinear Programming Problem

YANG Ling-ling, MA Liang

(College of Management, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Particle Swarm Optimization (PSO) is a kind of optimization search algorithm based on swarm intelligence. The algorithm weakens quickly initially, but falls into local extreme value easily. In order to improve the performance of PSO, combined its rapid global searching ability and chaos ergodicity in certain range, employing penalty function transforms nonlinear programming problems into unconstrained optimization problems. Also, considering the ergodicity and randomness of chaotic motion, the traditional PSO is improved, which avoids falling into local extreme point, with penalty function produces a CPSO based on penalty function. Numerical results show that the proposed algorithm is effective.

Key words: penalty function; chaos particle swarm; optimization; algorithm

0 引言

1995年, Eberhart和Kennedy提出粒子群优化算法(PSO)^[1], 模拟的是自然界鸟群捕食时的行为; 该算法是一种群聚智能优化算法, 也是基于迭代的全局优化的一种重要工具。但该算法存在一些缺陷^[2], 比如容易陷入局部最优点、后期收敛速度较慢等等, 这些缺陷当面临较为复杂问题的求解时, 可能导致每次求解结果不同, 亦或者无法找到全局最优解。由此, 研究者们提出了许多改进方法。例如: Clerc^[3]为有效地控制粒子速度, 使算法达到全局和局部的有效平衡, 引入了收缩因子; 另外还有改进权重的线性递减权重法、自适应权重法、随机权重法等。

利用混沌运动的遍历性^[4]特点, 文中提出了一种

改进的混沌粒子群算法, 通过混沌迭代生成初始种群, 而后选择其中较好的粒子作为初始群体; 其基本思想: 为将混沌引入其中, 首先产生一组与优化变量数量相同的混沌变量, 为使其呈现出混沌状态, 仿效载波的方法, 将混沌^[5]引入其中, 将遍历范围扩大到优化变量的取值范围, 之后再利用混沌变量进行搜索。数值结果表明该算法是有效的。

1 非线性规划问题

非线性规划一般的数学模型可写成如下形式:

$$\begin{aligned} \min & f(x) \\ \text{s. t.} & \begin{cases} h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, p \\ g_j(x) \geq 0, j = 1, 2, \dots, q \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in E^n$ 。

通过引入罚函数

$$F(X) = f(X) + Mp(X) \quad (2)$$

其中, $p(X) = \sum_{i=1}^p h_i^2(X) + M \sum_{j=1}^q [\min(0, g_j(X))]^2$

收稿日期: 2012-02-26; 修回日期: 2012-05-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70871081); 上海市重点学科建设资助项目(S30504)

作者简介: 杨玲玲(1987-), 女, 硕士研究生, 研究方向为智能优化; 马良, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为智能优化、系统工程。

M 为罚因子, $p(X)$ 为罚项
可以转化为无约束极值问题。

2 混沌粒子群优化算法

2.1 粒子群优化算法

粒子群算法^[6] 简言之即在解空间中, 粒子跟着当前最优粒子进行搜索; 首先初始一系列随机粒子后, 运用迭代的方式找到最优解; 在一个 d 维搜索空间中, 设第 i 个粒子的速度为 $V^i = (v_i, v_{i,2}, \cdots, v_{i,d})$, 位置 $X^i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \cdots, x_{i,d})$; 在每次迭代过程中, 找两个粒子, 第一个粒子是其本身找到的最优解, 即个体极值 $pbest$, $P^i = (p_{i,1}, p_{i,2}, \cdots, p_{i,d})$; 另一个粒子为当前该种群找到的最优解, 即全局最优解 $gbest, P_g$, 粒子凭借追踪这两个最优解来更新自己的情况。找到这两个最优值时, 粒子根据 $v_{i,j}(t+1) = wv_{i,j}(t) + c_1r_1[p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2r_2[p_{g,j} - x_{i,j}(t)]$ 和 $x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1), j = 1, 2, \cdots, d$ 来更新自己的速度和位置。

其中, 用来调节算法的全局和局部寻优能力的 w 为惯性权因子; (1) 当 w 较大时, 算法的全局搜索能力较强; (2) 当 w 较小时, 算法的局部搜索能力较强。文中采用线性递减权值^[7], 一般从 0.9 到 0.4 线性下降, c_1 和 c_2 为正的学习因子, 通常取 $c_1 = c_2 = 2, r_1$ 和 r_2 为 0 到 1 之间均匀分布的随机数; 算法的终止条件有两种, 一是到达一定的迭代次数, 或者是适应值满足预定要求。

2.2 混沌

一般在确定性方程得到的具有随机性的运动状态称为混沌^[8]。Logistic 方程^[9] 就是一个典型的混沌系统。

Logistic 映射形式如下:

$$Z_{n+1} = uZ_n(1 - Z_n) \tag{3}$$

其中, $u \in [0, 4]$ 为控制参数, $Z_n \in [0, 1], n = 0, 1, 2, \cdots$

当 $Z_n \in [0, 1]$ 时, 取 $u = 4^{[10]}$, 系统完全处于混沌状态, 利用混沌的初值敏感性, 赋给上式 i 个微小差异的初值即可得到 i 个混沌变量。

利用混沌运动的特征——遍历性、随机性等可进行优化搜索, 混沌粒子群算法主要是将混沌初始化加入了基础的粒子群优化算法。

2.3 改进算法

Step1: 初始化算法——设置: (1) 初始粒子个数, (2) 学习因子, (3) 惯性权重的变化范围, (4) 最大迭代次数等;

Step 2: 混沌的初始化——随机产生一 n 维向量 $Z_1 = (Z_{11}, Z_{12}, \cdots, Z_{1n})$, 它的每个分量数值在 0 ~ 1 之间的向量, 通过 Logistic 映射 $Z_{(i+1)j} = uZ_{ij}(1 - Z_{ij}) (j = 1,$

$2, \cdots, N - 1)$ 得到 Z_1, Z_2, \cdots, Z_n , 将 Z_i 的各个分量载波到优化度量的取值范围 $X_{ij} = a_j + (b_j - a_j)Z_{ij} (j = 1, 2, \cdots, n; i = 1, 2, \cdots, N)$, 然后计算目标函数的值, 并选择较好的 m 个粒子作为初始群体;

Step3: 初始速度——随机初始 m 个粒子的速度;

Step4: 评价每个微粒的适应度^[11], 然后将当前存储在各微粒的个体极值 $pbest$ 中, 将所有个体极值 $pbest$ 中适应值最优个体的位置 $X^i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \cdots, x_{i,d})$ 以及适应值存储于 $gbest$ 中去;

Step5: 更新粒子的速度和位移, 运用公式(4):

$$\begin{aligned} v_{i,j}(t+1) &= wv_{i,j}(t) + c_1r_1[p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + \\ &\quad c_2r_2[p_{g,j} - x_{i,j}(t)] \\ x_{i,j}(t+1) &= x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1), j = 1, 2, \cdots, d \end{aligned} \tag{4}$$

Step 6: 将每个微粒的适应值与其经历过的最好位置相互作用比较, 比较之后得到的较好的, 作为当前的最好位置;

Step 7: 比较当前得到的所有 $pbest$ 和 $gbest$ 的值, 更新 $gbest$;

Step 8: 如果算法已达到最大迭代次数, 则算法的搜索停止, 并将所得的寻优结果输出; 否则, 返回 Step 5, 继续进行搜索, 直到当算法达到一定迭代次数或适应值满足预定要求, 算法终止。

3 仿真实验

为验证算法有效性, 采用 Matlab 语言实现了整个算法, 并在 PC 系列机的 WIN 系统下运行通过。参数设置为: 初始种群数 $N = 500$, 计算目标函数值, 从中选择 10% 作为优秀群体, 即优秀群体数 $m = 50$, 最大权重取 0.9, 最小权重取 0.4, 迭代步数取 10000, 罚因子 M 取 10^4 。

例 1^[12]:

$$\begin{aligned} \min f(x) &= x_2^2 - x_1x_2 + x_1 - x_2 + 1 \\ \text{s. t. } \begin{cases} 2x_2 + 3x_1 - 9 = 0 \\ x_1^2 + x_2^2 - 6 \geq 0 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

表 1 给出了例 1 的数值计算的结果, 与文献[1] 比较, 说明基于罚函数的混沌粒子群优化算法可以求得该问题的最优解。

表 1 例 1 计算结果

算法	f(x)	x ₁	x ₂
混沌 PSO 优化算法	0.7333	2.0667	1.4000
文献[1]	0.7333	2.0667	1.4000

图 1 给出了该算法的一次寻优曲线, 在迭代次数达到 200 之后, 均可得该最优解。

一次寻优曲线图

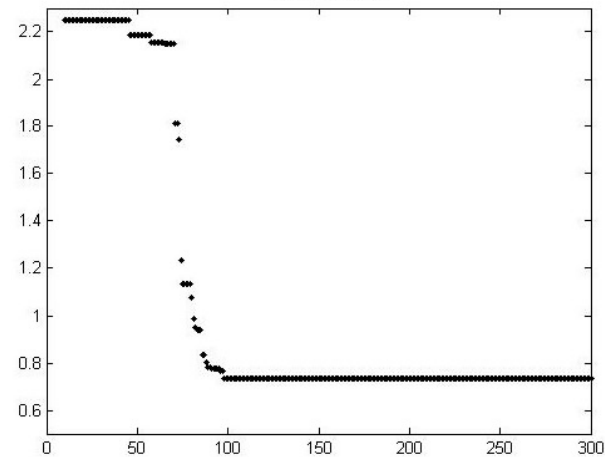


图 1 例 1 寻优曲线图

例 2^[12]:

$$f(x) = [0.01 + \sum_{i=1}^5 \frac{1}{i + (x_i - 1)^2}]^{-1}$$
$$-10 \leq x_i \leq 10, i = 1, 2, \dots, 5$$

表 2 例 2 计算结果

算法	混沌 PSO 优化算法	粒子群优化算法	混合粒子群算法
f(x)	0.43604651162791	0.436792847767522	0.43604651162791
x ₁	0.99999998719371	0.988790922048952	1.000000002887965
x ₂	1.00000003878078	0.890368445131631	1.000000015415516
x ₃	1.00000002340422	0.954752881247076	0.999999989618383
x ₄	1.00000001701736	1.084790216940677	0.999999971202114
x ₅	1.00000001594159	0.942916523157546	0.999999991328659

一次寻优曲线图

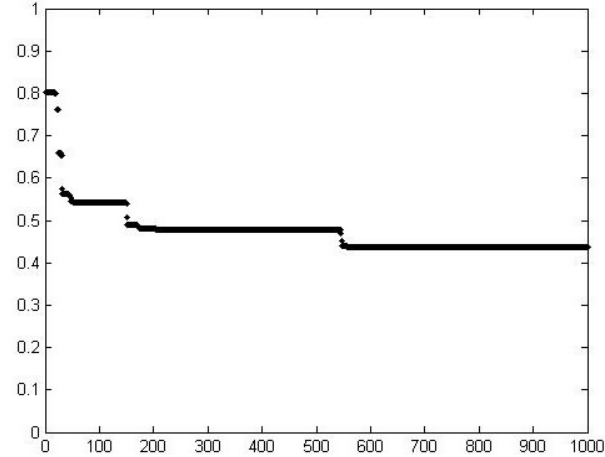


图 2 例 2 寻优曲线图

表 2 给出了例 2 的数值计算的结果,与文献[1]比较,说明基于罚函数的混沌粒子群优化算法比基本的粒子群优化算法更有优势。
图 2 为例 2 寻优曲线图。

4 结束语

文中提出了用于求解非线性规划问题的一种基于罚函数的混沌粒子群优化算法。运用罚函数的思想,将有约束问题转化为无约束优化问题,然后利用提出的方法对问题进行求解。数值计算结果表明该算法是有效的、可行的。

参考文献:

[1] 龚 纯,王正林.精通 MATLAB 最优化计算[M].北京:电子工业出版社,2010.
[2] 邹 毅,朱晓萍,王秀平.一种基于混沌的混合粒子群算法[J].计算机技术与发展,2009,19(11):18-22.
[3] 刘 玲,钟伟民,钱 锋.改进的混沌粒子群优化算法[J].华东理工大学学报(自然科学版),2010,36(2):267-272.
[4] 王 凌,郑大钟,李清生.混沌优化方法的研究进展[J].计算技术与自动化,2001,20(1):1-5.
[5] Zhou C, Hen T C. Chaotic Annealing for Optimization[J]. Physical Cybernetics,1997,55(3):2580-2587.
[6] 高岳林,雷翻翻,李会荣.一个解非线性 0-1 整数规划问题基于罚函数的混合粒子群优化算法[J].运筹学学报,2010,14(2):37-44.
[7] 马 良,宁爱兵.高级运筹学[M].北京:机械工业出版社,2008.
[8] 李 兵,蒋慰孙.混沌优化方法及其应用[J].控制理论与应用,1997,14(4):613-615.
[9] Choi C, Lee J. Chaotic Local Search Algorithm[J]. Artificial Life & Robotics,1998,2(1):41-47.
[10] 陈 双,郭建勤.混沌优化算法在组合优化问题中的应用[J].现代电子技术,2008(18):68-70.
[11] Li Hongqi, Li Li, Kim Tai-hoon, et al. An Improved PSO-based of Harmony Search for Complicated Optimization Problems[J]. International Journal of Hybrid Information Technology,2008,1(1):57-76.
[12] 叶春明,潘 登,潘逢山.基于混沌粒子群算法的关键链项目进度管理研究[J].计算机应用研究,2011,28(3):890-894.

(上接第 14 页)

[11] Gruber T. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing[J]. International Journal of Human Computer Studies,1995,43(516):908-928.
[12] 李 景,孟连生.构建知识本体方法体系的比较研究[J].现代图书情报技术,2004(7):17-22.
[13] 高琳琦,李龙洙.基于顾客行为的产品推荐方法[J].工程与应用,2005(3):188-190.
[14] 刘双印.电子商务智能推荐系统中基于领域本体的案例检索算法[J].计算机应用,2010,30(5):1304-1308.

非线性规划的混沌粒子群优化算法

作者: [杨玲玲, 马良](#)
作者单位: [上海理工大学 管理学院, 上海 200093](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201210006.aspx