

改进混沌优化算法在水电站水库优化调度中的应用

梁 伟¹,何春元²,陈守伦¹,张建勇²,芮 钧¹

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098 ; 2.河海大学常州校区数理部,江苏 常州 213022)

摘要 :为提高多维目标函数全局最优解的计算精度 ,提出了一种改进的混沌优化算法(MCOA).利用混沌运动的随机性、遍历性和规律性进行全局寻优 ,通过引入解向量的优选 ,将解向量定位到最优解的附近 ,从而找出全局最优解 .最后将该算法应用于水电站水库优化调度问题 ,并进行仿真计算 ,计算结果验证了算法的有效性 .MCOA 原理简单 ,易于编程实现 ,具有较大的实用价值 ,为求解水电站水库优化调度问题提供了一种有效方法 .

关键词 :水电站 ;优化调度 ;混沌 ;混沌优化算法 ;解向量优选

中图分类号 :TV697.1 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2008)02-0195-03

混沌是一种普遍的非线性现象 ,其行为复杂且类似随机 ,但存在一定的内在规律性 .混沌具有其独特的性质^[1] :初值敏感性、遍历性和规律性 .针对混沌遍历性这一特点 ,可将其作为搜索过程中避免陷入局部极小的一种优化机制 .如果利用混沌变量进行优化搜索 ,无疑会比随机搜索更具优越性 ,因此 ,混沌优化方法已成为一种新颖的优化技术 .混沌优化方法分 2 个阶段进行^[2] :首先 ,在整个空间内按混沌变量的变化规律依次考察经过的各点 ,接受较好点作为当前最优点 ;其次 ,一定步数后认为当前最优点已在实际最优点附近 ,然后以当前最优点为中心附加一混沌小扰动 ,进行细搜索寻找最优点 .文献 [3]利用载波的方法将 Logistic 映射 $x_{k+1} = \lambda x_k(1 - x_k)$ ($x_k \in [0, 1]$)产生的混沌变量引入到优化变量中 ,然后利用混沌变量进行搜索 .所采用的二次载波用 $X^* + \alpha u$ 来改善当前的最优解 X^* ,其中 αu 为一个很小的混沌变量 , α 为调节常数 .这种改善对多变量的目标函数效果不明显 ,其原因是 (a)一开始用多维混沌搜索后 ,解未必能到达最优解的附近 (b)由于 α 为常数 ,这种改善只能在次优解的单侧邻域内进行 ,同时在细搜索过程中无法改变扰动幅度 ,使得找到最优解的精度并不高 .文献 [4]对文献 [3]的单向不足作了改进 ,用 $X^* + z_i(u - 0.5)$ 来改善当前的最优解 X^* ,其中 u 为混沌变量 , z_i 随着搜索的进行不断地变小 , $z_i(u - 0.5)$ 可正可负 .但是 z_i 的初值取为 $z_0 = (f - f_{\max})/\ln P$ 意义不大 ,因为 z_0 与 P 的选取有关 ,因此选 P 与直接选一个 z_0 是一样的 ,与 $f - f_{\max}$ 无关 .

通过对一些目标函数的测试发现 :当目标函数的极值点只有一个 ,或自变量的维数不大时 (一般不超过二维) ,文献 [4]提出的改进方法非常有效 ,但当自变量较多且目标函数的极值点较多时 ,该改进方法效果较差 .

水电站水库优化调度是一个具有复杂约束条件的大型、多目标、动态非线性优化问题 ,处理起来十分复杂 .国内外学者曾采用动态规划^[5-6]、混沌优化算法 (chaos optimization algorithm ,COA)^[7]等对该问题进行研究 ,取得了较好的效果 .但 COA 存在一个缺陷 ,即局部搜索效果较差 ,计算精度不高 .针对这个缺点以及文献 [3-4]算法中存在的不足 ,本文提出了一种改进的混沌优化算法(modified chaos optimization algorithm ,MCOA) ,通过引入解向量的优选 ,将解向量定位到最优解的附近 ,再用文献 [4]提出的改进方法进行搜索 ,从而找出全局最优解 .将 MCOA 应用于水电站水库优化调度问题的求解^[8-9] ,结合具体问题 ,利用 MATLAB 语言实现算法 .计算结果表明 ,MCOA 为求解水电站水库优化调度问题提供了一种有效方法 .

1 改进混沌优化算法(MCOA)

通过对一些测试函数的计算发现 ,如果自变量的个数 n ($n \leq 2$)较小时 ,文献 [3]中提及的方法效果很好 ,

收稿日期 2007-05-10

基金项目 河海大学常州校区创新基金(CC2007-004)

作者简介 梁伟(1964—)男 ,湖南涟源人 ,副教授 ,博士研究生 ,主要从事应用数学和水利水电规划及动能经济研究 .

但对较大的 $n(n > 3)$ 精度较差. 对于上述问题的改进方法是 (a) 对该混沌搜索再重复 m 次(一般可取 $m = 10$) 利用混沌变量对初始值的敏感性, 每次搜索取不同的初始值, 可以得出 m 组解向量. 尽管每一组解不尽相同, 但解中的一些分量会接近最优解. 为了找出这些解向量中那些接近最优解的分量, 将这些解向量构造成一个 $m \times n$ 的矩阵 A , 其目的是对矩阵 A 中的每一列选择一个分量构成一个新的向量, 代入目标函数中进行计算, 使得目标函数值更优. 这种新向量的选择, 仍然可以采用混沌变量来实现. 如: 对 $n = 7$, 初始值取一随机数 ($u = 0.18790114853057$) 取小数点后 7 位数字再加 1 (以保证这些数字是矩阵 A 的行数) 对应的选择为 2 9 8 10 1 2 2, 即依次取矩阵 A 中每一列的第 2 行, 第 9 行, ... 构成一个新向量为 $X = (a_{21}, a_{92}, a_{83}, a_{104}, a_{15}, a_{26}, a_{27})$, 记此选择为

$$X = \text{selec}(u) \tag{1}$$

下一个新向量的选取采用 Logistic 映射更新:

$$u = 4u(1 - u) = 0.61037722764586$$

对应的选择为 7 2 1 4 8 8 3. 由于混沌迭代具有遍历性的特点, 这样经过反复多次选择, 可获得的解在最优解的附近, 称此过程为解向量的优选. (b) 进一步改进二次混沌搜索, 对当前解 X_m 的每一个分量 x_k , 用 $x_k^* + z(t_k - 0.5)$ 进行调整, 这里 x_k^* 为当前最优解 X^* 的第 k 个分量, t_k 为混沌变量 t 的第 k 个分量, z 的初值取为

$$z = \min(x_k^* - a_k, b_k - x_k^*)\alpha \quad \alpha \in (0, 0.5) \tag{2}$$

同时在迭代过程中将 z 的值进行更新: $z = \lambda z, \lambda \in [0.9, 0.999]$.

2 改进混沌优化算法的步骤

a. 初始化: 置计数器 $\gamma = 0$, 随机选取一个 n 维向量 $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ 作为混沌变量的初值, 其分量在区间 $[0, 1]$ 内, 初始目标函数值为 $Y^* = f(X^*)$ 其中 X^* 为 n 维向量.

b. 矩阵 A 的构造: (a) 更新计数器 $r = r + 1$. 如果 $r > 10$, 完成矩阵 A 的构造, 转到 (c) 进行向量优选, 否则作如下混沌搜索: 设置迭代次数 N , 置搜索次数 $j = 1$. (b) 用 Logistic 映射产生新的混沌变量:

$$t_k = 4t_k(1 - t_k) \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

向量 X 根据 $x'_{t,k} = a_k + x_{t,k}(b_k - a_k)$ 式求得, 计算目标函数值 $Y = f(X)$. (c) 如果 $Y < Y^*$, 则更新最优值: $X^* = X, Y^* = Y$. (d) 置 $j = j + 1$. 如果 $j > N$, 则矩阵 A 的第 r 行取为当前搜索的最优解 X^* , 转到 (a), 否则转到 (b) 继续搜索.

c. 解向量的优选: (a) 对矩阵 A , 设置优选次数 G , 随机取一个 $[0, 1]$ 内的混沌初始值数 u , 置计数器 $r = 1$. (b) 根据 u 按 (1) 得到对应的选择 X , 计算目标函数值 $Y = f(X)$. (c) 如果 $Y < Y^*$, 则更新最优值: $X^* = X, Y^* = Y$. (d) 用 Logistic 映射产生混沌变量: $u = 4u(1 - u)$, 更新计数器 $r = r + 1$. 如果 $r > G$, 获得当前的最优解 X^* , 转到 (d), 否则转到 (a).

d. 二次载波: (a) 按式 (2) 给定一个初始值 z , 混沌变量初值 $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ 和小的正数 ϵ 和 λ . (b) $x_k = x_k^* + z(t_k - 0.5)$, x_k^* 为 X^* 的第 k 个分量, t_k 为混沌变量. (c) 计算目标函数值: $Y = f(X)$. 如果 $Y < Y^*$, 则更新最优值 $X^* = X, Y^* = Y$, 同时更新 z 值 $z = \lambda z$, 当 $z < \epsilon$ 时输出结果, 计算结束, 否则转到 (a) 重新搜索.

3 实例计算

为了验证本文提出的 MCOA 在水库优化调度中的可行性与有效性, 以某实际水库的优化调度问题为例, 并与运用 COA 得到的优化结果进行比较. 该水库为一综合利用水库, 以灌溉、供水为主, 兼顾防洪、发电. 已知水电站的水位-库容关系、下游水位-下泄流量关系、机组预想出力曲线, 以及逐月平均入库流量曲线. 水库正常蓄水位 1120 m, 死水位 1076 m, 正常蓄水库容 30.8 亿 m^3 , 死库容 11.37 亿 m^3 , 出力系数 8.5, 装机容量 3200 MW, 最小保证出力 850 MW, 机组最大过流量 $2480 \text{ m}^3/\text{s}$. 结合该水库的实际, 建立合理的模型^[10], 最终结果如表 1 所示.

本文采用 Matlab 进行计算, 取最大迭代次数为 500 次. 以尽量满足死库容、正常库容、最小出力、机组最大过流能力等条件的情况下最大发电量为目标, 进行优化调度. 运算得到的最大发电量为 49.895 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 较之由基本混沌算法得出的发电量 48.549 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 增加了 1.346 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$.

4 结 论

本文对基本的 COA 进行了改进 ,对于水电站水库优化调度这样非线性强约束组合优化问题 ,实例计算表明 ,提出的 MCOA 可以显著提高计算精度 ,具有较大的实用价值 ,原理简单 ,易于编程实现 ,为求解水电站水库优化调度问题提供了一种有效方法 .作为初步尝试 ,本文仅研究了单一水库水电站的优化调度问题 ,并且一定程度地简化了计算模型 .

参考文献 :

[1] 张化光 ,王智良 ,黄伟 .混沌系统的控制理论[M]. 沈阳 :东北大学出版社 ,2003.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 赵强 .改进的混沌优化方法及其应用[J]. 自动化与仪器仪表 ,2000(3) :90-92.

[5] LYRA C ,ROBERT L. A multi objective approach to the short-term scheduling of a hydroelectric power system[J]. IEEE Trans on PAS , 1995 ,10(4) :1750-1754.

[6] 霍小民 ,李悦 ,朱学民 .动态规划在水电厂经济运行中的应用[J]. 华北水利水电学院学报 ,2002 ,23(4) :14-18.

[7] 邱林 ,田景环 ,段春青 ,等 .混沌优化算法在水库优化调度中的应用[J]. 中国农村水利水电 ,2005(7) :17-20.

[8] 邹进 ,刘可真 .水资源系统运行与优化调度[M]. 北京 :冶金工业出版社 ,2006.

[9] 张勇传 .水电站经济运行原理[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,1998 :124-139.

[10] 徐刚 ,马光文 .蚁群算法在水库优化调度中的应用[J]. 水科学进展 ,2005 ,16(5) :397-400.

表 1 本文方法与基本算法计算结果比较

Table 1 Comparison of results of MCOA and of the basic method

月份	入库流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	发电流量/ (m ³ ·s ⁻¹)		弃水量/ (m ³ ·s ⁻¹)		发电量/ (亿 kW·h)	
		COA	MCOA	COA	MCOA	COA	MCOA
1 月	636.0	480.3	283.1	0	0	1.3343	0.7905
2 月	583.5	424.1	594.8	0	0	1.2581	1.8692
3 月	496.5	501.4	513.2	0	0	1.5672	1.6113
4 月	958.5	999.8	933.4	0	0	3.0531	2.8636
5 月	1650.0	2171.0	1688.2	0	0	6.2387	5.0661
6 月	3615.0	2480.0	2480.0	233.0	409.4	5.2113	6.8260
7 月	4875.0	2480.0	2480.0	874.6	914.1	6.4008	6.5983
8 月	3330.0	2480.0	2480.0	443.3	317.1	6.9442	7.0003
9 月	4095.0	2480.0	2480.0	494.0	614.0	6.0407	6.8193
10 月	1368.0	1458.8	1377.6	0	0	4.4353	4.2046
11 月	753.0	657.2	740.4	0	0	2.0022	2.3125
12 月	601.5	1327.0	1282.4	0	0	4.0626	3.9334

Application of modified chaos optimal algorithm in
optimal regulation of a hydropower station reservoir

LIANG Wei¹ , HE Chun-yuan² , CHEN Shou-lun¹ ,ZHANG Jian-yong² , RUI Jun¹

(1. College of Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. Department of Mathematics and Physics , Hohai University , Changzhou 213022 , China)

Abstract : In order to improve the precision of global optimal solution in the calculation of multi-dimensional objective function , a modified chaos optimal algorithm (MCOA) , using the randomness , ergodicity and regularity of chaos movement for global optimization , was established . By introducing solution vector optimization , this algorithm tries to locate the solution vector close to the optimal solution and find the global optimal solution . The application of MCOA in the optimal regulation and simulation hydropower station reservoir indicates that MCOA not only is an effective algorithm but also can enhance the precision of solutions . Its principle is simple and easy for programming implementation . The algorithm has high practical value and provides an efficient method for optimal regulation of hydropower station reservoirs .

Key words : hydropower station ; optimal regulation ; chaos optimization algorithm ; solution vector optimization