文章编号: 1000－646X (2004) 03－0038－03

混沌优化算法在泵站经济运行中的应用*

鄢碧鹏[1,2]，刘 超[2]

(1. 河海大学，江苏 南京 210098; 2. 扬州大学，江苏 扬州 225009)

摘　要: 将混沌优化算法应用在调速泵站经济运行中, 获得了与动态规划法相同的结果, 提高了运行速度。该方法简单易行, 求解精度和可靠性较高, 是解决泵站优化运行问题的有效方法。

关　键　词: 混沌; 优化技术; 泵站

中图分类号: TV 675　　**文献标识码**: A

大型泵站的经济运行主要包括机组间负荷的优化分配、最优日运行和梯级泵站的优化调度等问题。调速机组负荷优化分配一般采用实时调度形式, 当泵站净扬程发生变化时, 可以通过确定合理的开机台数和调节机组转速, 优化机组间的负荷分配, 使泵站的能耗最少。目前常用的优化计算方法是微增率法和动态规划法, 微增率法只能在每台机组开机情况确定的情况下应用, 动态规划法的计算点是离散的而非连续的, 当泵站机组台数较多, 性能曲线复杂时, 对于精度要求高的优化, 计算工作量非常大, 耗时较多。无论什么优化方法, 其原理都是让变量遍历可行域, 而混沌动力系统具有无穷大周期、系统一旦经过某一点以后就永远不会回到此状态、但吸引子又是一个紧致集的特点, 所以其系统轨迹局限于一个有限集, 又永不重复。用混沌变量进行优化搜索, 无疑会比随机搜索更具优越性。

1　混沌优化方法

混沌的叠代不重复性和遍历性确定其快速寻优可能性。Logistic 模型是混沌研究中的最典型模型之一, 其方程为:

$$x_{k+1} = \lambda x_k (1 - x_k) \qquad x_k \in [0, 1] \tag{1}$$

当 λ 取 4 时, 系统处于混沌状态, 即在[0, 1]之间任取初始值叠代, x_k 可在[0, 1]之间遍历。对于 n 维向量, 只要给予初值不同, 根据混沌系统对初值的敏感性, 其叠代结果 x_k^n 也在[0, 1]空间遍历。利用 Logistic 方程构造混沌序列, 经过尺度变换和平移, 可将 n 维向量在[0, 1]空间的遍历转化成在优化问题解空间作混沌遍历, 经过搜索, 寻找问题的最优解。其一般步骤为:

1) 在 0.51～0.99(或 0.01～0.49) 中取 n 个随机数作为变量初值, 根据(1) 式叠代得到 n 个混沌变量。因为(1) 式关于初值 0.5 对称, 为避免特殊情况下得到完全相同的混沌变量, 故只取 0.5 一侧的值为初始值。

2) 将混沌变量变换到优化问题的解空间, 这时需要对变量取值范围有一个合理的估计。对于具体问题, 根据约束条件, 变量的取值范围是可以确定的。正确确定解空间对提高计算效率非常重要。利用下式进行变换:

$$x'_{jk} = O_j + s_j x_{jk} \qquad (j = 1, 2, \cdots n) \tag{2}$$

式中: O_j 表示第 j 个变量的取值端点相对原点的偏移量, s_j 表示第 j 个变量的取值范围值。

3) 混沌变量 x'_{jk} 进行第 1 次载波。每次叠代后计算函数 $F(x'_{jk})$ 的值, 如果当前函数点函数值小于已有的最优函数值, 则保留当前点和其函数值, $f^*(x'_{jk})$, 否则 $k = k + 1$ 继续叠代, 如果 $f^*(x'_{jk})$ 经过 m 步搜索后保持不变, 则终止搜索。如果不行, 则回到步骤 2) 重新取一组初值叠代。

4) 利用步骤 3) 的搜索结果进行第 2 次载波。由于经过步骤 3) 搜索, 向量点已接近最优点, 按下式变化后

* 收稿日期: 2004－04－27
作者简介: 鄢碧鹏(1964－), 男, 江苏扬州人, 副教授, 在职博士研究生, 主要研究方向为泵站工程

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

进一步搜索, 则很快可以接近最优点

$$X^{**} = X^{*} + \alpha X_J \tag{3}$$

其中 αX_J 为遍历区间很小的混沌向量, 如果 $f^{*}(x_{jk}')$ 经过 m 步搜索后保持不变, 则终止搜索。如果不行, 则回到步骤 2) 重新取一组初值叠代。

2 混沌优化中等式和不等式约束问题处理

非线性约束优化问题可描述为:

$$\min f(x) \tag{4}$$

s. t

$$g_i(x) = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, k) \tag{5}$$

$$h_i(x) \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, m) \tag{6}$$

如果不等式约束是变量自身的变化范围问题, 则在将混沌变量变换到优化问题的解空间过程中得到了解决, 否则利用罚函数来解决。一般用不可微精确罚函数, 其形式一为

$$c(x, s) = f(x) + s\left\{\sum |g_i(x)| + \sum (-\min(0, h_i(x)))\right\} \tag{7}$$

式中: $\sum |g_i(x)|$ 为等式约束的计算余量; $\sum (-\min(0, h_i(x)))$ 为不等式约束计算余量; s 为惩罚系数, 其大小要根据 $f(x)$ 的值的大小以及等式和不等式计算余量的值确定。

3 泵站优化运行的数学模型

已知某泵站有 m 台机组, 每台机组转速 n 可在一定范的围调节, 设泵站抽水总流量为 q, 扬程为 h, 通过优化确定每台机组的运行状态(包括开机、停机, 运行转速), 使泵站总功率最小。设在扬程一定的条件下, 各台机组消耗的功率是抽水流量的函数, 也就是转速的函数, 即

$$N_i = N_i(q) \quad (i = 0, 1, 2, \cdots m) \tag{8}$$

流量约束:

$$\sum q_i = q \quad (i = 0, 1, 2, \cdots m) \tag{9}$$

$$q_{\min} < q_i < q_{\max} \quad (i = 0, 1, 2, \cdots m) \tag{10}$$

目标函数:

$$\min F = \sum N_i \quad (i = 0, 1, 2, \cdots m) \tag{11}$$

罚函数:

$$F = \sum N_i + s\left|\left(\sum q_i - q\right)\right| \quad (i = 0, 1, 2, \cdots m) \tag{12}$$

由于流量不等式约束是变量自身的约束, 在进行混沌变量尺度变换时不等式约束问题已经体现, 故罚函数中只有等式约束。

4 调速泵站的混沌优化实例

某供水泵站安装了 3 台立式轴流泵机组, 二种型号, 由于进出水条件不同, 其装置性能都不完全相同, 3 台机组均采用无级调速装置, 通过试验测定了 3 台机组的基本性能, 既变速性能曲线, 根据变速性能曲线, 在扬程一定的情况下, 可确定各机组的功率流量特性, $N_i = N_i(q)$。

优化扬程在 4 m, 总流量在 530 L/s 的条件下各机组的流量分配, 使总功率最小。最后可在变速性能曲线上查到相应的转速, 确定机组运行方案。3 台机组在扬程等于 4 m 时功率(kW) - 流量(L/s)特性可表示:

$$N_1 = 8.316 - 3.088 \times 10^{-2} Q_1 + 2.346 \times 10^{-4} Q_1^2$$

$$N_2 = 7.459 - 2.95 \times 10^{-2} Q_2 + 2.348 \times 10^{-4} Q_2^2$$

$$N_3 = 8.324 - 2.5 \times 10^{-2} Q_3 + 1.879 \times 10^{-4} Q_3^2$$

根据调速范围, 各机组流量最大、最小值为:

$$100\ \text{L/s} < Q_1 < 230\ \text{L/s} \qquad 100\ \text{L/s} < Q_2 < 250\ \text{L/s} \qquad 100\ \text{L/s} < Q_3 < 280\ \text{L/s}$$

以 Q_i 为变量进行优化, 目标函数为 $\min F(Q_i) = \sum N_i \quad (i = 1, 2, 3)$

其优化结果为: $Q_1 = 178$ L/s, $Q_2 = 164$ L/s, $Q_3 = 188$ L/s, 总功率为 29.45 kW; 动态规划法优化结果为: $Q_1 = 180$ L/s, $Q_2 = 160$ L/s, $Q_3 = 190$ L/s, 总功率为 29.46 kW; 微增率法优化结果为: $Q_1 = 185$ L/s, $Q_2 = 165$ L/s, $Q_3 = 180$ L/s, 总功率为 29.53 kW。3 种方法的计算结果基本吻合, 但混沌优化概念明确, 计算时间短。在处理多维问题的优化上优势更加明显。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参考文献:

[1] 曹磊. 混沌分型及其应用[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 1995.
[2] 权先璋, 等. 混沌优化在水电站经济负荷分配中的应用[J]. 武汉水利电力大学学报, 1999, (5).
[3] 骆晨钟, 等. 混沌搜索方法及其在化工过程优化中的应用[J]. 化工学报, 2000, (6).
[4] 刘超. 泵站经济运行[M]. 北京: 水利水电出版社, 1994.

Application of Chaos Optimization Technology in Pump Station

YAN Bi-peng, LIU Chao
(Water Conservancy College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In this paper, the chaos is used to solve the problem of optimization in pump station, the result is the same by the dynamic programming method. the new method is not only simple and easy to implement, but also has both high accuracy and reliability, it is an effective way for solving the problem of optimization in pump station.

Key words: chaos; optimization technology; pump station

(上接第 30 页)

参考文献:

[1] 赵聚宝, 李克煌. 干旱与农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 352-368.
[2] 张建华, 庞良玉, 高永才. 节水农业技术的现状[J]. 西南农业学报, 2001, (1): 11-15.
[3] 李军, 王龙昌, 孙小文, 王立祥. 宁南半干旱偏旱区旱作农田沟垄径流集水蓄墒效果与增产效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 16-20.
[4] 曹玉琴, 刘彦明, 王梅春, 刘杰英. 旱作农田沟垄覆盖集水栽培技术的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(1): 75-77.
[5] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 等. 半干旱地区地膜覆盖对作物产量和氮效率的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 205-209.
[6] 滕树川, 杨朝勇, 王正国, 田沁. 夏玉米秸秆覆盖栽培技术的探讨[J]. 玉米科学, 2002, (1): 13-18.
[7] 罗义银, 胡得平. 小麦秸秆覆盖对玉米产量及土壤理化性质的影响[J]. 耕作与栽培, 2000, (6): 26-30.

Research the Effect of Summer Maize Cultivation of Mulching and Rain Harvesting and Ecology Effect

WANG Cai-rong, TIAN Xiao-hong, LI Sheng-xiu
(College of Resources and Environmental Sciences, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: Field experiment of summer maize was conducted on the red oil soil in the middle part of Shanxi province, in which the cultivation technique of covering film on the soil ridge and sowing in soil furrow was used, The effects of this technique on yield and nutrient uptake and WUE under cultivation of mulching and rain harvesting were studied. The results showed that plastic mulching increased biological and economical yield of summer maize obviously, Plant absorbed nitrogen more easily under mulching, The treatments of plastic filming in ridge and straw mulching collected more water than plastic mulch. During filling stage, the average of water stored in 0～100 cm and 0～200 cm layer, plastic mulch retained 8.2 mm and 17.1 mm more water compared to without mulching, plastic filming in ridge and straw mulching in furrow retained 13.6 mm and 23.0 mm more water compared to without mulching. The treatments of plastic filming in ridge and straw mulching kept highly WUE.

Key words: Semi-humid prone to drought area; summer maize; plastic mulching on the ridge; rain harvesting; yield

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net