

文章编号: 1005-0523(2009)01-0058-04

基于遗传算法的 PD 智能控制器设计

占自才

(华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:根据实际应用的需要, 设计出一种基于遗传算法的 PD 控制器. 该控制器首先采用遗传算法优化 PD 控制器的参数, 得到一组参数的最优值, 在实际控制过程中利用遗传算法不断优化 PD 参数, 从而提高 PD 控制器的控制性能和自适应能力, 以确保系统的动态和稳态性能最优. 根据设计结果采用 Matlab 对此进行仿真, 仿真结果表明: 与常规的 PD 控制器相比, 这种基于遗传算法优化的 PD 控制器用于实际控制系统可达到良好的动、静态性能和自适应能力.

关键词:遗传算法; 智能控制; 自适应控制; 动态性能

中图分类号: TP181

文献标识码: A

一些先进的 PID 控制技术如模糊 PID 控制已经得到了广泛研究^[1,2]. 三相电极位置的模糊 PID 控制也有一些研究文献. 有些只是对电石炉系统设计了一种神经模糊控制器, 但研究的是单输入单输出的模型. 也有些只研究了电弧炉的模糊控制, 未考虑电弧炉三相电流之间的耦合作用. 而从控制角度而言, 电石炉系统属于一种多输入多输出 (MMO)、非线性、三相电流强耦合的系统.

针对一种三相耦合的三相电极位置控制模型, 采用遗传算法对 PID 控制器参数、比例系数 k_p 、积分系数 k_i 、微分系数 k_d 进行优化, 并以优化后的参数为基准值, 应用遗传算法交叉变异功能, 对 PID 控制器参数进行实时整定, 设计出一种应用于三相电极控制系统的智能 PID 控制器, 使其能达到良好的动静态性能和自适应能力.

1 基于遗传算法优化 PD 参数

1.1 控制器参数的确定

离散的 PID 控制器表达式为

$$u(k) = k_p e(k) + k_i \sum_{i=1}^k e(i) + k_d [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

对于三相电极调节系统, 要求每一相分别施加 1 个 PID 控制器. 3 个 PID 控制器参数 (k_{p1} , k_{i1} , k_{d1} , $i=1, 2, 3$) 的初始值可以取相同的值. 在这里, 3 个 PID 控制器参数均取 k_p , k_i , k_d 为待优化变量. 先用试凑法确定系统临界稳定的参数范围, 然后对变量进行编码. 由于 Hamming 悬崖的存在, 二进制编码对于函数优化问题存在严重缺陷^[3]. 因此本文采用实数编码的遗传算法. 初始种群大小选为 28.

1.2 适应度函数的选取

以系统动态性能指标超调量 σ 、上升时间 t_r 及调节时间为性能指标, 选用下面的目标函数

$$J = w_1 \left(\frac{\sigma_m - \sigma}{\sigma_m} \right)^2 + w_2 \left(1 - \frac{t_m - t_r}{t_m} \right)^2 + w_3 \left(1 - \frac{t_m - t_r}{t_r} \right)^2 \quad (2)$$

收稿日期: 2008-11-16

作者简介: 占自才 (1969-) 男, 江西乐平人, 副教授, 研究方向为自动化控制及其装置. <http://www.cnki.net>

式中: σ_m , t_m , t_n 分别为超调量、上升时间和调节时间给定的最大值; w_1 , w_2 , w_3 分别为其权系数, 要求 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 这里取 $w_1 = 0.7$, $w_2 = 0.2$, $w_3 = 0.1$ 则自适应度函数取为

$$\text{Fit} = J_m - J \quad (3)$$

J_m 为每一代遗传中的最大目标函数值.

1.3 遗传算法的变异

在遗传操作中, 将新复制产生的个体以交叉概率选取进入匹配池, 在匹配池中随机两两匹配, 匹配的个体随机选取交叉位, 采用两点交叉, 从而产生新的个体. P_c 太大会使适应值高的个体很快被破坏掉, P_c 太小, 搜索会停滞不前. 这里采用带有自适应性的交叉概率

$$P_c = 0.8 - 0.2t/G \quad (4)$$

其中: t 是当前遗传代数; G 是最大遗传代数. 变异算子按一定概率 P_c 将新个体进行变异, 这里取 $P_c = 0.2$.

1.4 遗传算法的优化结果

根据前面论述的遗传算法, 编制相应的计算机程序就可以得到 PID 参数的优化结果. 这里采用基于最小二乘法得出的一个二阶三相电极的位置-电流模型. 具体形式为

$$\begin{aligned} I_l(k) = & 1.058I_l(k-1) - 0.137I_l(k-2) - 1.045h_l(k) + 1.391h_l(k-1) - 0.469h_l(k-2) + \\ & 0.223h_{l+1}(k) - 0.221h_{l+1}(k-1) - 0.838h_{l-1}(k) + 1.171h_{l-1}(k-1) - 0.351h_{l-1}(k-2) \end{aligned} \quad (5)$$

式中: k 为采样时间; $l=1, 2, 3$; $I_l(k)$ 表示第 l 相电极的电流; $h_l(k)$ 表示第 l 相电极的位置; $h_{l+1}(k)$ 和 $h_{l-1}(k)$ 分别代表按升序和降序排列的相邻电极的位置.

电极升降装置的离散传递函数为

$$G(z) = \frac{0.363}{z^2 - 1.67z + 0.67} \quad (6)$$

取最大遗传代数为 150 代, 对 3 个 PID 控制器的参数同时进行优化. 通过 Matlab 仿真计算得到 3 个 PID 控制器的最优参数值均为: $k_p^* = 0.40$, $k_i^* = 0.39$, $k_d^* = 0.02$, 目标函数 J 的优化过程如图 1 所示.

典型 PID 分析控制阶跃响应如图 2 所示. 通过图 2 可得出一种优化 PID 参数的步骤.

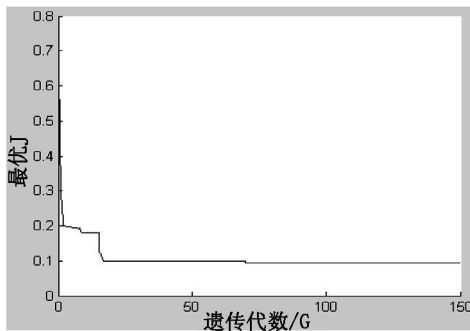


图 1 目标函数 J 的优化过程图

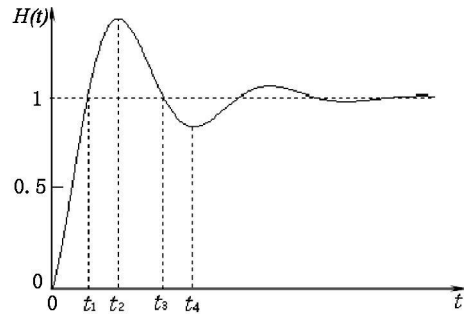


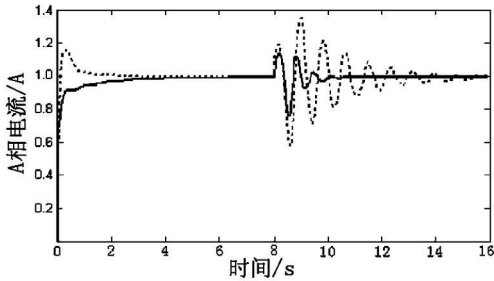
图 2 典型 PID 控制阶跃响应

3 遗传算法优化 PID 参数的步骤^[4]

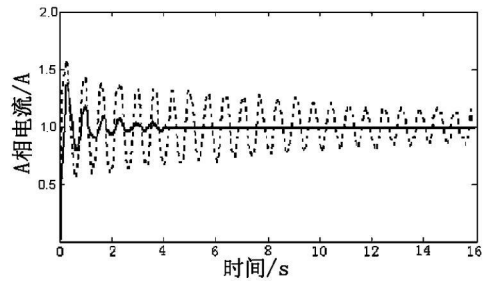
- (1) 确定 k_p , k_i , k_d 的变化范围;
- (2) 产生初始群体, 并根据适应度函数计算各个个体的适应度值;
- (3) 根据个体的适应度值, 运用一定的方法选择待交叉的个体;
- (4) 对选择的个体进行配对交叉;
- (5) 对交叉得到的新个体进行变异操作;
- (6) 收敛判别, 如果不满足收敛条件, 返回到第 (3)、(4) 步, 重新进行遗传操作;
- (7) 满足收敛条件后, 所得到的参数即是 k_p , k_i , k_d 的优化值.

4 在 Matlab环境下对设计进行系统仿真

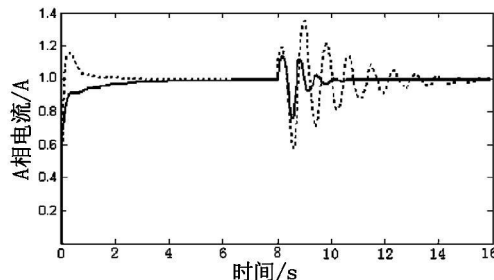
在 Matlab环境下,对设计出的智能 PID 电极调节器进行了仿真.仿真模型采用 2.4 节 (5), 量化系数 α 取 0.5.同时为了比较,还采用了一种较常规 PID 控制器进行仿真,其参数分别为: $k_p(1)=0.33$, $k_i(1)=0.38$, $k_d(1)=0.04$ ($i=1, 2, 3$).为了便于分析对比,仿真结果图中采用遗传算法优化 PID 参数的控制系统响应曲线用实线表示,采用常规 PID 控制系统响应曲线用点线表示.系统的初始单位阶跃响应以及系统进入稳态后加入一个幅值为 0.5 的脉冲扰动时的响应曲线如图 3 所示.实际生产中,各参数一般都存在某种不确定性.将模型 (5) 中的系数均增大 10%,则此时系统阶跃响应曲线如图 4 所示.



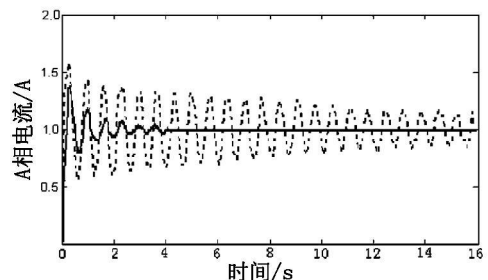
(a) A相电流响应曲线



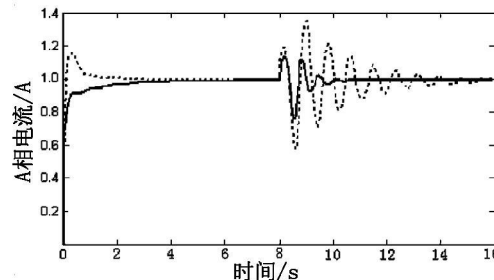
(a) A相电流响应曲线图



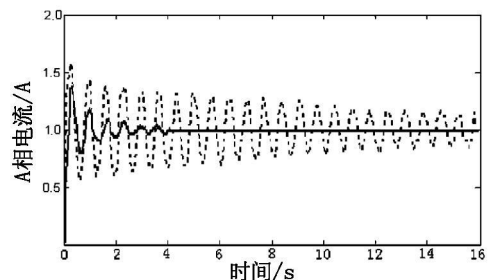
(b) A相电流响应曲线



(b) A相电流响应曲线图



(c) A相电流响应曲线



(c) A相电流响应曲线图

图 3 系统初始阶跃响应及加入脉冲扰动时的仿真输出

图 4 系统参数改变时的阶跃响应曲线

5 结论

从仿真结果可以看出,本文提出的以遗传优化算法对 PID 控制器初始参数寻优,基于遗传算法设计出的智能 PID 控制器,相对于常规的 PID 控制器而言,在静态和动态响应以及鲁棒性方面都具有优良的控制性能.进一步可将此智能 PID 控制器尝试应用于三相电极控制系统,以期达到优良的控制性能.通过仿真结果可以知道,在普通 PID 控制中,整定好一套参数后,不能随着对象参数的变化而不断整定出新的 PID 参数.而遗传算法自适应 PID 控制却能在对象参数的变化时,在模型辨识的基础上,通过对 P、I、D 参数的优化来实现自适应控制,达到系统的自适应控制能力.

参考文献:

- [1] Hu Baogang, Mann G K, I Gosine RG. New methods for analytical and optimal design of fuzzy PID controller[J]. IEEE Transaction on Fuzzy Systems 1999, 7(2): 521—539.
- [2] Vision A. Fuzzy logic based set-point weight tuning of PID controller[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics-Part A: Systems and Humans 1999, 29(6): 587—592.
- [3] 玄光男,程润伟.遗传算法与工程化[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [4] 杨建新,户秀琼,杜永贵.遗传算法在 PID 自适应控制中的应用[J].太原理工大学学报,2006,37(1):108—110.

Design of Intelligent PID Controller Based on Genetic Algorithm

ZHAN Zi-cai

(School of Electrical and Electronic Engineering East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper designs an intelligent PID controller based on genetic algorithm. Using genetic algorithm, a group of optimal parameters of this intelligent PID controller are obtained, which are used as genetic algorithm for the real-time tuning of PID parameters. The scheme of controlling structure is shown, genetic algorithm is used to optimize PID parameters, and the design ensures that the system response has optimal dynamic and steady-state performances. The results of computer simulation using Matlab show that the intelligent PID controller has the advantages of better dynamic static and robust performance over the conventional PID controllers in factual control system.

Key words: genetic algorithm; intelligent control; self-adaptive control; dynamic performance

(责任编辑:刘棉玲)