

基于遗传算法的预测自整定 PD 控制器*

杨 智 高 靖

(甘肃工业大学电气与信息工程系 兰州 730050)

摘 要 提出一种基于遗传算法的预测自整定 PD 控制算法。利用预测技术克服时滞,利用遗传算法优化 PD 控制器参数。对工业过程中典型的大时滞被控过程的仿真表明,这种控制算法鲁棒性强,响应速度快,抗干扰能力强,可构成较实用的工程控制器。

关键词 遗传算法,最优预测,PD 控制,时滞系统,时变系统

分类号 TP 214

Optimal Predicting PD Controller Based on Genetic Algorithm

Yang Zhi, Gao Jing

(Gansu University of Technology)

Abstract An optimal predicting PD controller based on genetic algorithm is presented. The controller is suitable for the process with unknown time-varying delay, disturbance and time-varying parameters. The simulation results show that the controller has enhanced response speed and robustness. It is an effective control algorithm combined genetic algorithm with predictive control.

Key words genetic algorithm, predictive control, PD control, delay system, time-varying system

1 引 言

目前,随着智能控制理论的发展,许多学者将智能控制技术引入 PD 控制系统,如专家 PD 控制,自学习 PD 控制,神经网络 PD 控制和模糊 PD 控制等。这些智能 PD 控制策略或是要求对被控过程和控制律有全面的先验知识,或是建立在优化问题具有连续导数的光滑搜索空间的基础上。若搜索空间不可微或参数间为非线性的,则得不到全局最优。

遗传算法将目标函数转化为基因组群,以适应度函数为优化目标,通过基因操作得到下一代优化基因组合,如此反复迭代,直到满足最优收敛目标为止。遗传算法能得以广泛应用的原因之一是它对所优化目标的先验知识要求甚少,一般只需知道其数值关系即可。另一个重要原因是它的全局收敛性,由于遗传算法群体的多样性,使其尽可能在全方向上搜索,这比以往的梯度法只在单方向上搜索有很大

改进,而且遗传算法在优化问题上无需有连续性和可微性的限制^[1]。

将遗传算法和神经网络结合起来的 PD 控制器对倒立摆产生了很好的控制效果^[2],然而在工业实际中,尤其在化工、炼油及冶金等工业过程中,PD 控制器需要考虑时滞对系统的影响。由于时滞变化可能使系统不稳定^[3],因此文献[2]的算法不适用于时滞系统。本文把预测控制和遗传算法相结合,用预测控制克服时变时滞,使其融入遗传算法的参数寻优,得出一种基于遗传算法的预测自整定 PD 控制算法。

2 基于遗传算法的预测自整定 PD 控制原理

基于遗传算法的预测自整定 PD 控制系统结构如图 1 所示。在这种控制方法中,遗传算法首先进行离线学习,然后再接入到控制系统中。

2.1 时滞的辨识及最优预测的设计^[4,5]

假设被控过程的动态特性可用下列差分方程表

* 甘肃省自然科学基金项目(ZR—96—029)

1998-06-16 收稿,1998-09-14 修回

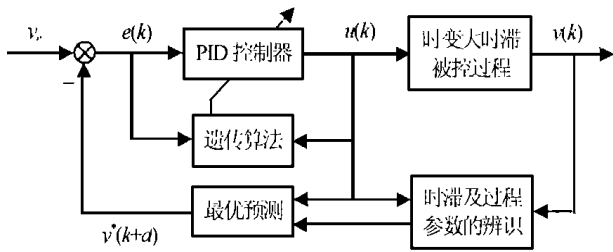


图1 基于遗传算法的预测自整定PD控制系统结构示意图

$$A(z^{-1})y(k) = B(z^{-1})u(k-d-1) + C(z^{-1})e(k) \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1z^{-1} + \dots + a_nz^{-n} \\ B(z^{-1}) &= b_1 + b_2z^{-1} + \dots + b_nz^{-n+1}, \quad b_1 = 0 \\ C(z^{-1}) &= 1 + c_1z^{-1} + \dots + c_nz^{-n} \end{aligned}$$

$u(k), y(k)$ 分别是过程的控制和输出序列; $e(k)$ 是环境干扰, 为随机变量; d 是输出对输入响应的时滞时间; n 是过程的阶次。

作者曾用模型加权函数的误差函数确定时滞^[4]。当误差函数最小时, 对应的 d 就是时滞时间。

由Diophantine方程

$$C(z^{-1}) = A(z^{-1})F(z^{-1}) + z^{-d-1}G(z^{-1}) \quad (2)$$

其中

$$\begin{cases} F(z^{-1}) = 1 + f_1z^{-1} + \dots + f_dz^{-d} \\ G(z^{-1}) = g_0 + g_1z^{-1} + \dots + g_{n-1}z^{-n+1} \end{cases} \quad (3)$$

由式(1), (2)得

$$y(k+d) = \frac{G(z^{-1})}{C(z^{-1})}y(k-1) + \frac{B(z^{-1})F(z^{-1})}{C(z^{-1})} \times u(k-1) + F(z^{-1})e(k+d) \quad (4)$$

以 $\hat{y}^*(k+d|k-1)$ 表示根据 $k-1$ 时刻输入输出值对 $k+d$ 时刻输出量 $y(k+d)$ 的最优预测值, 使得预测方差最小, 可得

$$\begin{aligned} \hat{y}^*(k+d|k-1) &= \frac{G(z^{-1})}{C(z^{-1})}y(k-1) + \frac{B(z^{-1})F(z^{-1})}{C(z^{-1})}u(k-1) \end{aligned} \quad (5)$$

控制器按PD控制器设计, 则有

$$\{y_r - \hat{y}^*(k+d|k-1)\}P(z^{-1}) = R(z^{-1})u(k) \quad (6)$$

其中

$$\begin{aligned} P(z^{-1}) &= p_0 + p_1z^{-1} + p_2z^{-2} \\ R(z^{-1}) &= 1 - z^{-1} \end{aligned}$$

由式(1), (5)和(6), 推导出最优预测PD控制系统

的输出为

$$y(k) = \frac{z^{-d-1}B(z^{-1})P(z^{-1})}{R(z^{-1})A(z^{-1}) + z^{-1}B(z^{-1})P(z^{-1})}y_r + \frac{z^{-1}P(z^{-1})F(z^{-1})B(z^{-1}) + R(z^{-1})C(z^{-1})}{R(z^{-1})A(z^{-1}) + z^{-1}B(z^{-1})P(z^{-1})}e(k) \quad (7)$$

由式(7)可以看出, 最优预测PD控制系统的闭环特征方程中已经没有了时滞项, 即整个控制系统已消除了时滞对系统品质的影响。

2.2 基于遗传算法的参数寻优

用遗传算法离线学习PD控制器参数的流程如图2所示。

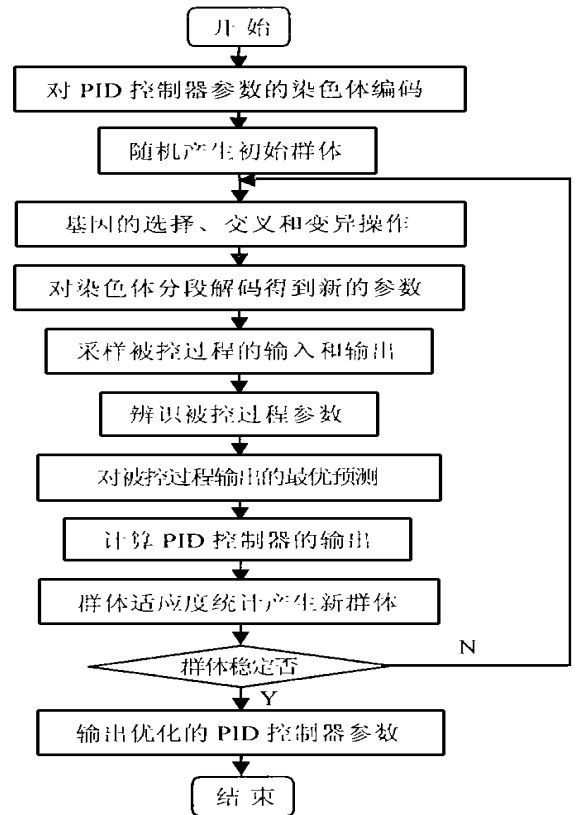


图2 基于遗传算法的PD控制器参数寻优流程

2.2.1 PD控制器的寻优参数

按PD控制的增量式算式, 令

$$P_0 = K_P, P_1 = K_P T_s / T_I, P_2 = K_P T_D / T_s$$

其中, K_P, T_I, T_D 分别为PD控制器的比例系数, 积分和微分时间常数; T_s 为采样周期。则 P_0, P_1, P_2 便是控制器要寻优的参数, 在遗传算法中其初始值随机产生。PD控制器的输入是最优预测形成的反馈偏差, 在控制过程中, 用被控过程未来的最优状态来控制其当前行为, 提高控制决策的智能性及控制系统的动态品质, 减小时滞对系统稳定性的影响, 此时

的偏差取为

$$e(k) = y_r - y^*(k + d)$$

2.2.2 染色体的编码方法

由于是多参数优化问题且问题解为实数值, 故采用多参数映射二值编码, 即在一条染色体上分别用三个子串表示三个参数

$$010001011 \mid 11001000 \mid 1011000110$$

根据不同的参数范围, 每个子串可有不同长度, 所以要对染色体分三段解码。

2.2.3 适应度函数的设计

适应度函数的设计, 应避免在进化的开始由于少数性能较优的个体适应度过大而淹没其他个体, 使寻优过程缓慢或出现未成熟收敛。由于控制决策旨在使控制偏差趋于零, 有较快的响应速度和较小的超调量, 因此适应度函数设计应把最优预测形成的反馈偏差 $e(t)$, 偏差的变化率 $\dot{e}(t)$ 和控制量 $u(t)$ 三者很好地进行折衷。本算法采用如下适应度函数

$$F = c/J \tag{8}$$

其中, $c = 10^n$, n 为整数, 当个体的适应度相差较大时, $n = 0$, 相差较小时, $n = 1$ 。二次型性能指标

$$J = \int_0^t (w_1 e^2(t) + w_2 u^2(t) + w_3 \dot{e}^2(t)) dt \tag{9}$$

其中, w_1, w_2 和 w_3 是权值, 一般取 $w_1 = 100, w_2 = 10, w_3 = 1$ 。

2.2.4 算法的终止条件

严格说, 目前遗传算法的迭代停止条件尚无定论, 但 Eiben 的结论却显示了遗传算法良好的应用前景^[6]。当适应度函数的最大值可确定时, 一般以满足这个最大值为算法停止条件。但在本问题中, 适应度最大值不能确定, 其本身就是搜索对象, 因此以发现群体中个体进化已趋于稳定状态, 即发现占群体一定比例的个体已为同一个体时, 则迭代终止。

3 仿真实验

某冶金工业生产过程焙烧炉的数学模型为^[7]

$$G(s) = \frac{148e^{-20s}}{1 + 286s}$$

炉口温度变化的时滞时间 $\tau = 10s \sim 20s$, 炉口温度要求尽可能稳定在 $855^\circ C$ 。数字仿真时加入方差为 5 的白噪声扰动信号, 采样周期 $T_s = 10s$ 。遗传算法的参数寻优过程中, 取交叉概率为 0.7, 变异概率为 0.001, 群体规模为 16, 算法的执行代数 300。当过

程参数时滞时变, 即 $k = 150$ 拍时, d 由 2 变到 1, 到 $k = 300$ 拍时, d 又由 1 变到 2。

基于遗传算法的预测自整定 PD 控制下的被控过程输出如图 3 所示, 过渡过程曲线非常理想。遗传算法群体适应度的平均值如图 4 所示。

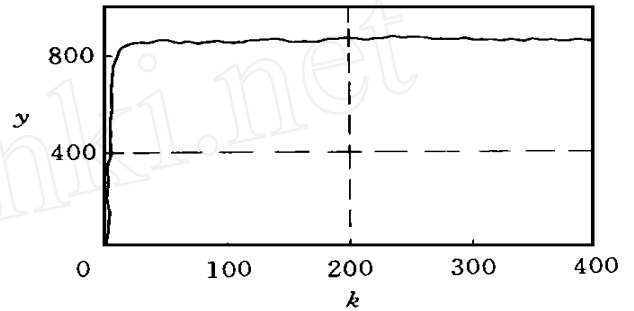


图 3 算法在过程参数时滞时变的控制效果

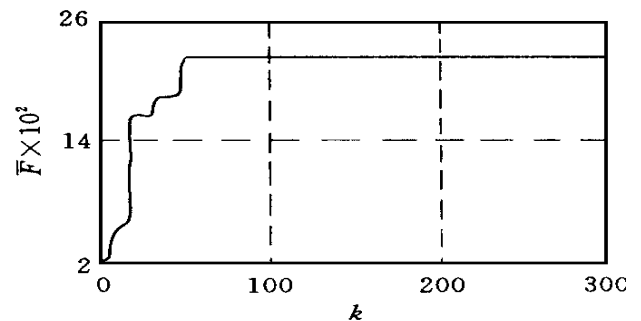


图 4 遗传算法群体适应度的平均值曲线

4 结 论

本文提出的基于遗传算法的预测自整定 PD 控制器, 实现了控制参数优化整定, 鲁棒性强, 微机实现容易。理论分析和大量仿真实验表明, 该算法能对时变大时滞系统进行有效的控制, 可在化工、炼油、冶金等工业过程中推广应用。

参 考 文 献

- 1 Luc B, Stefan S. Genetic algorithm s: Theory and application. Journal A, 1997, 38(2): 13_ 23
- 2 Sigeru O, Michifum I Y. Self- tuning neuron PD control applied to an inverted pendulum system. Journal A, 1996, 37(7): 17_ 21
- 3 Liu X Y, Mansur M. Stability analysis and stability condition in the delay intervals for second- order delay system. Int J Control, 1984, 40(2): 317_ 327
- 4 刘希远, 杨智, 陈铁军, 等. 时变大时滞极点配置最优预报自校正 PD 控制器. 控制与决策, 1990, 5(1): 19—23

(下转第 118 页)

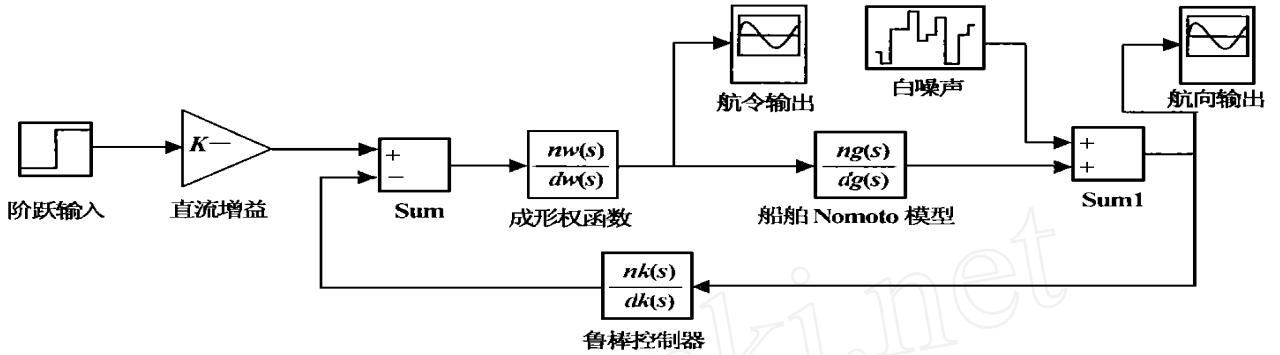


图4 回路成形鲁棒控制算法设计及变形的回路成形仿真窗口

论上分析了如果 $K_0 K^{-1}$ 具有低通和高阻特性, 那么常规的回路成形控制器变形后能够改善系统的动态性能. 将其应用于船舶自动舵的设计, 获得了满意的控制结果.

参考文献

- 1 贾欣乐, 张显库. *H* 控制器应用于船舶自动舵. 控制与决策, 1995, 10(3): 250—254
- 2 Zhou K, J C Doyle, Keith Glover. Robust and optimal control. New Jersey: Prentice Hall, 1996
- 3 Richard Y Chiand, Michael G Safonov. Robust control toolbox. The Mathworks Inc 1997
- 4 S Hara, T Sugie. Independent parametrization of two-degrees-of-freedom compensators in general robust tracking systems. IEEE Trans on Autom Contr, 1988, 33: 59_ 67

作者简介

张显库 男, 1968 年生. 1998 年在大连海事大学获博士学位, 现为大连海事大学副教授. 研究方向为鲁棒控制, 计算机软件开发, 轮机工程.

贾欣乐 男, 1932 年生. 1959 年毕业于清华大学, 现为大连海事大学教授, 博士生导师. 研究方向为鲁棒控制, 轮机工程等.

王兴成 男, 1956 年生. 1991 年在东北大学获博士学位, 现为大连海事大学教授. 研究方向为鲁棒控制等.

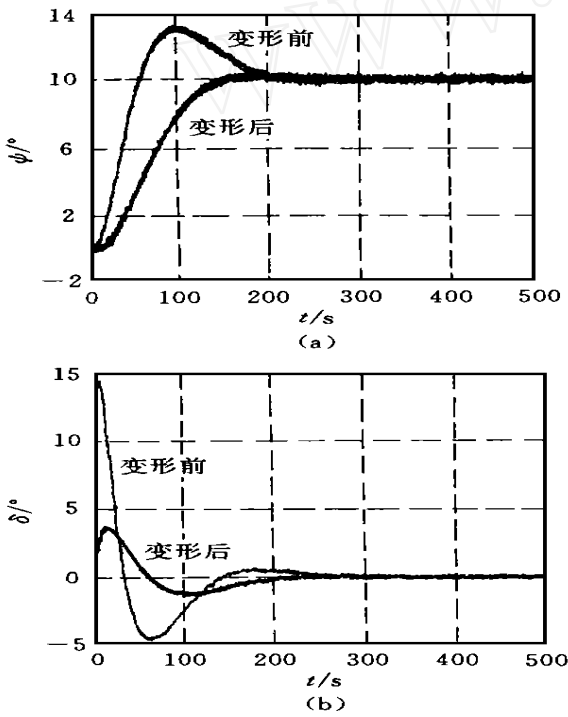


图5 回路成形控制器变形前后的对比
(a) ψ 仿真结果 (b) δ 仿真结果

4 结 论

本文给出一种变形的回路成形控制器, 并从理

(上接第 115 页)

- 5 杨智, 刘希远. 时变分数时滞系统最优预报自校正极点配置 PD 控制算法. 控制理论与应用, 1992, 9(3): 292—295
- 6 Eiben A E. Global convergence of genetic algorithm: An infinite Markov chain analysis. In: Paraller Problem Solving from Nature. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 4—12
- 7 邵裕森. 自动控制系统: 工业生产自动控制系统.

北京: 中央广播电视大学出版社, 1988. 19—21

作者简介

杨智 男, 1961 年生. 1988 年在甘肃工业大学获工学硕士学位, 现为该校电气与信息工程系副主任, 教授. 研究方向为过程控制, 智能控制, 大时滞系统的稳定性及控制等.

高靖 女, 1973 年生. 1996 年于吉林工业大学获学士学位, 1999 年于甘肃工业大学自控理论与应用专业获硕士学位. 研究方向为过程控制, 智能控制等.