

# 基于遗传算法的鲁棒 PID 控制器设计

孙 键, 曾建平

(厦门大学自动化系, 福建 厦门 361005)

摘要: 将基于遗传算法的 PID 控制器设计方法应用于分布参数系统, 在这个过程中, 将系统的鲁棒性能指标作为目标函数选择的重要依据, 使用遗传算法对 PID 参数进行寻优. 仿真结果表明, 由于加入鲁棒性信息, 改进方法完全满足了控制系统的快速性、稳定性和准确性要求, 控制系统表现出很好的动态鲁棒性及性能鲁棒性.

关键词: 遗传算法; PID 控制; 鲁棒控制; 目标函数

中图分类号: TP313.13

文献标识码: A

The design of robust PID controller based on genetic algorithms

SUN Jian ZENG Jian-ping

(Department of Automation, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: In this paper, the design method of PID controller based on the genetic algorithm is applied to these parameter objects and in this process, genetic algorithm is used for PID parameters optimization while the system robust performance is considered as an important basis for the selection of the objective function. The simulation results show that due to adding the information of robustness, the rapidity, stability and accuracy requirements are fully met by the system, and the control system shows a very good dynamic and robust performance of robustness.

Keywords: genetic algorithms; PID control; robust control; objective function

在多数工业控制过程当中, 控制对象普遍存在着纯时间滞后现象, 比如化工、热工过程等. 这种滞后时间的存在使得系统产生明显的超调量和较长的调节时间, 滞后严重时甚至会破坏系统的稳定性. 长期以来, 纯滞后系统一直是工业工程中的难控制对象. 遗传算法<sup>[1]</sup>为 PID 参数的优化整定提供了一种新的途径. 它抽象于生物体进化过程, 通过仿真模拟自然选择, 只依赖于适应度函数, 不需知道对象的全部信息和遗传机制, 形成一种具有“生成+检验”特征的搜索算法, 即使在对象模型不确定的情况下, 仍可根据对象的输出以编码空间代替问题的参数空间, 对 PID 控制器参数进行优化, 而且遗传算法的群体优化机制使得它可能找到全局最优解<sup>[2]</sup>.

这种参数函数模型的传递函数具有超越函数的形式, 难以在系统仿真和控制设计中直接应用, 一般采取的方法是将对象的分布参数模型简化为集中参数模型并且降阶, 但是在简化和降阶的过程中必然会引入模型误差, 有必要进一步分析 PID 控制的参数整定方法<sup>[3]</sup>并且加以改进, 对分布系统加入鲁棒性信息, 并反馈到优化模型中, 综合考虑动态性能与性能鲁棒性.

## 1 基于遗传算法的鲁棒 PID 控制器设计方法与原理

### 1.1 控制模型

考虑如下反馈控制系统, 如图 1 所示:

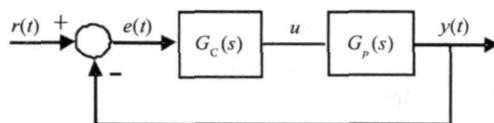


图 1 控制系统结构图

Fig. 1 Structure of the control system

收稿日期: 2008-06-13

作者简介: 孙 键 (1982-) 男, 硕士研究生.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (A051002)

其中:  $u(t)$  为输入值,  $y(t)$  为输出值,  $e(t)$  为系统误差, 控制器:

$$G_c(s) = K_p + K_i/s + K_d s \quad (1)$$

为要整定的 PD 控制模型.

### 1.2 基于遗传算法鲁棒 PD 控制器设计的思想

遗传算法是一类可用于复杂系统优化计算的鲁棒搜索算法, 与其他一些优化算法相比, 它主要特点是: ①决策变量的编码为运算对象; ②直接以目标函数的值作为搜索信息; ③使用多个搜索点的搜索信息; ④使用概率搜索技术. 遗传算法提供了一种求解复杂系统优化问题的通用框架, 它不依赖于问题的具体领域, 对问题的种类有很强的鲁棒性, 所以广泛应用于很多学科<sup>[4]</sup>.

按照遗传算法运算过程, 方案设计如下:

①按照经验选取参数, 在参数周围利用遗传算法设计以避免范围过大造成结果不准确, 减少寻优的盲目性, 再进行优化;

②设置编码方式, 初始群体数目、交叉和变异概率、终止条件;

③用遗传算法优化, 不断修改权值, 找到合理数值;

④仿真结果若符合要求, 设计结束; 否则, 从②开始重新设置和更改权值, 直到结果满意为止<sup>[5]</sup>.

采用实数编码方式, 对于复制的过程, 由于传统的轮盘赌方法的误差较大, 故本文采用最佳保留选择的方法, 以保证遗传算法终止时能得到历代出现过的最高适应度的个体, 误差不至于过大.

### 1.3 PD 控制器设计目标及性能指标的选择

PD 控制器设计即是对给定的被控制对象运用一种优化算法设计相应的 PD 控制器参数. 针对给定的输入, 被控对象和 PID 控制器组成的系统中一个或者几个性能指标达到最优<sup>[6]</sup>. 其中比较常见的是 IIAE 性能指标, 即:

$$J = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (2)$$

改进后的目标函数形式<sup>[5]</sup>:

$$J = \int_0^{\infty} [ |e(t)| + w_1 \dot{u}(t) + w_2 |e(t)| ] dt + w_3 t + w_4 \alpha(\sigma) \quad (3)$$

式中:  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 、 $w_4$  为权值,  $\alpha(\sigma)$  为系统输出的超调量函数且  $w_4 \gg w_1$ .

另外一种对时间加权的优化指标为 ISTE 指标, 即:

$$J = \int_0^{\infty} t |e(t)|^2 dt + w_4 u(t)^2 \quad (4)$$

衡量一个控制系统的指标有三方面, 即稳定性、准确性和快速性<sup>[7]</sup>. 上升时间反映了系统的快速性; 为获取满意的过渡过程动态特性, 采用误差平方指标作为参数选择的最小目标函数; 但一味追求系统的动态特性, 得到的参数很可能使控制信号过大, 会因系统固有的饱和特性导致系统不稳定, 为防止控制能量过大, 在目标函数中应加入控制量的平方项; 为了控制输出量增量, 增加差分环节使之具有惩罚功能; 将目标函数取为:

$$J = \int_0^{\infty} \left\{ w_1 [ w_2 e(t)^2 + w_3 u(t)^2 ] + w_4 |y(k) - y(k-1)| \right\} dt + w_3 t \quad (5)$$

其中  $t$  为上升时间.

确定了目标函数, 就确定了遗传算法的适应度函数, 遗传算法以适应度大作为遗传操作的基础, 而控制性能指标以最小为最优, 对群体进行评价. 体现为

$$F = 1/J \quad (6)$$

这样, 就可以按照本文 1.2 中的设计方案利用 MATLAB 编写 .m 文件, 快速搜索到优化的参数值.

## 2 遗传算法仿真

按照遗传算法运算过程, 方案设计如下:

取二阶纯滞后控制系统  $G(s) = \frac{400}{s^2 + 50s} e^{-0.5s}$ , 控制采样时间为 1 ms, 输入一阶跃信号.

取种初始群体 30 终止代数 12, 采用不同的控制指标对该系统进行动态仿真, 对各种目标函数的参数设置为:

ITAE指标:

$$w_1 = 0.01, w_2 = 0.1, w_3 = 10, w_4 = 100$$

ISIF:

$$w_1 = 0.001$$

本文方法:

$$w_1 = 0.5, w_2 = 0.999, w_3 = 0.001, w_4 = 100, w_5 = 2$$

得到的代价函数值及系统阶跃响应仿真图见图 2 图 3 图 4

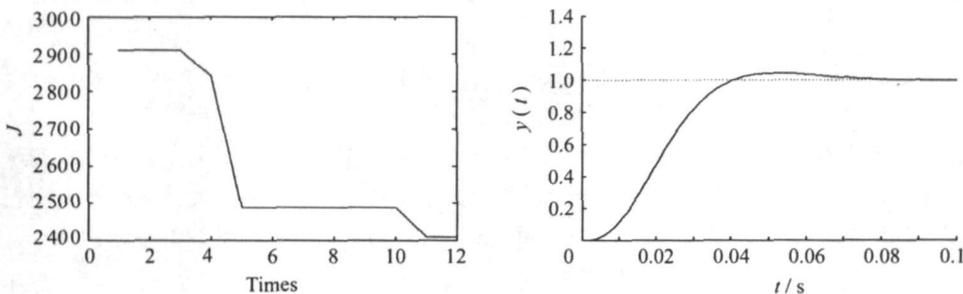


图 2 ISTE 方法的代价函数值 J 及系统阶跃响应仿真图  
Fig. 2 Cost function J and step response of system based on ISTE

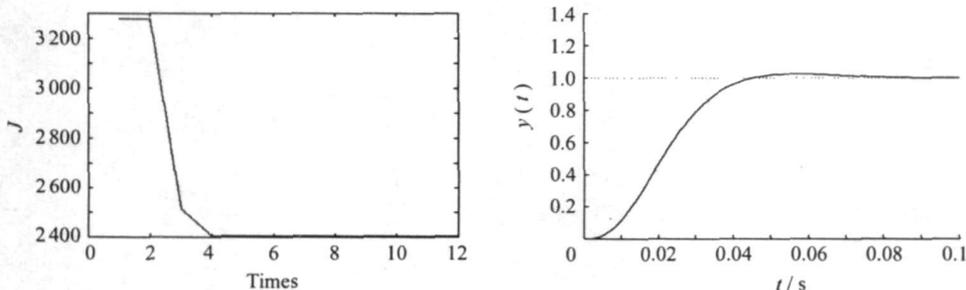


图 3 ITAE 方法的代价函数值 J 及系统阶跃响应仿真图  
Fig. 3 Cost function J and step response of system based on ITAE

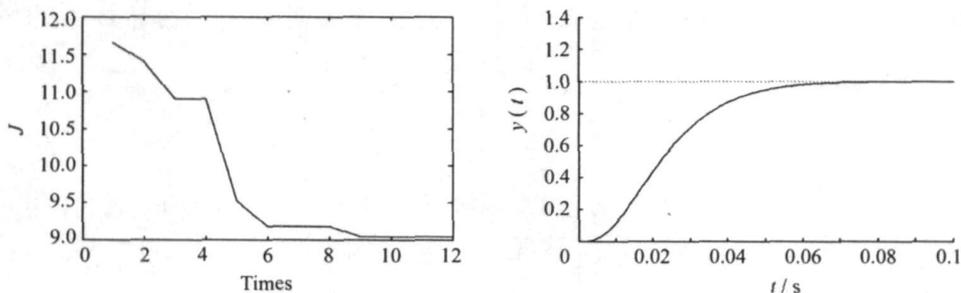


图 4 本文所用方法代价函数值 J 及系统阶跃响应仿真图  
Fig. 4 Cost function J and step response of system based on this paper

图 2、3、4 系统相对应的性能指标如表 1 所示.

表 1 系统性能指标  
Tab 1 System performance index

方法	$t_{\text{调节}} / \text{s}$	超调量 $100\sigma$	J	$K_p$	$K_i$	$K_d$	$t_{\text{仿真}} / \text{s}$
ISIE	0 089 5	12	2 910	17 314 4	0 159 7	0 143 4	33 469 0
IIEAE	0 088 5	4	3 285	19 034 8	0 225 8	0 621 3	34 203 0
本文方法	0 077 6	0	9 044 2	14 641 4	0 216 0	0 673 5	33 391 0

从表 1 中可以看出, 本文所采用方法相对 ISIE 法和 IIEAE 法有很大优势, 无论是调节时间、超调量、最终代价函数值还是仿真时间, 都能体现出很好的性能。

#### 4 结语

利用遗传算法, 设计出一类分布参数模型的 PD 控制器, 并与 ISIE、IIEAE 方法进行比较, 仿真结果表明, 这种方法获得了很好的控制效果, 由于加入鲁棒性信息, 对于二阶滞后控制系统表现出很好的动态鲁棒性及性能鲁棒性。

#### 参考文献:

- [1] 薛定宇. 反馈控制系统系统设计与分析——Matlab 语言应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006
- [2] 陶永华. 基于遗传算法的 PID 控制器优化设计 [J]. 光学与光电技术, 2003, 1(3): 37-40
- [3] 赵保才. 基于遗传算法的鲁棒 PID 设计 [D]. 天津: 天津大学, 2006
- [4] 翁思义. 自动控制系统计算机仿真与辅助设计 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1987.
- [5] 刘金琨. 新型 PID 控制及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [6] 胡艳艳. 基于引入学习过程的遗传算法的 PID 参数整定 [J]. 五邑大学学报, 2006, 20(3): 41-44
- [7] 陈星. 基于遗传算法的分布参数对象 PID 控制器设计 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(8): 1356-1360

(责任编辑: 杨青)