

# 基于改进遗传算法的PID参数整定策略

宋洪法<sup>1</sup> 靳其兵<sup>1</sup> 赵梅<sup>2</sup>

(1. 北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029; 2. 苏州科技学院电子系, 江苏 苏州 215011)

**摘要:** 针对简单遗传算法(SGA)收敛速度慢、易于早熟等缺点, 在前人研究成果的基础上, 提出动态调整搜索空间策略, 对遗传算法进行多步渐进搜索。并采用改进的自适应交叉算子和自适应变异算子, 结合兼顾性能指标和响应过程平衡的适配函数, 以多种改进方式相结合的遗传算法对PID参数进行迭代寻优整定。仿真结果表明: 当被控对象存在较大纯滞后、时间常数特性时, 采用本方法优化PID控制器参数可获得比较满意的调节效果。

**关键词:** 遗传算法; 自适应交叉; 早熟; PID参数整定

**中图分类号:** TP273

目前PID参数整定方法主要有两种, 一种是经验整定法, 另一种是智能整定方法<sup>[1]</sup>。前者算法简单, 容易实现, 但缺乏灵活性; 后者具有很强的自适应能力, 但算法比较复杂, 无法满足现场的快速响应要求。因此, 既要有自适应能力又要求算法相对简单的PID自整定技术成为控制界学者研究的努力方向。

简单遗传算法(SGA)已被证明不能收敛到全局最优解<sup>[2]</sup>。文献[3-6]对自适应交叉和变异概率作了一定分析; 文献[7]给出了遗传算法适配函数的一般构造原则以及遗传算法的自适应机制。

本文在综合考虑上述研究成果的同时, 分析发现: 遗传算法的初值给定范围与其搜索效率有很大的关系, 即搜索初值越接近最优值, 搜索范围越小, 遗传算法的搜索效率就越高。在此思想的指引下, 本文提出动态调整搜索空间策略, 即缩短遗传算法一次搜索的时间, 并在前次搜索结果的基础上多次重复搜索, 使搜索渐进靠近最优解。此外, 本文采用改进的自适应交叉概率和自适应变异概率以加快遗传算法的搜索效率。

## 1 遗传算法的改进

本文对文献[6]的自适应交叉算子 $P_c$ 进行了

改进, 表述如下

$$P_c = \begin{cases} \frac{|F(i) - F(j)|}{10} - 0.1, & |F(i) - F(j)| < 2 \\ 0.1, & |F(i) - F(j)| \geq 2 \end{cases} \quad (1)$$

$$P_c = \begin{cases} \frac{P_{c,max}}{1 + \frac{t}{T_{max}}} + P_c, & \text{如果 } P_c > P_{c,min} \\ P_{c,min}, & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $F(i)$ 和 $F(j)$ 分别代表待交叉的第 $i$ 和第 $j$ 染色体的适配值,  $P_{c,max}$ 是最大交叉概率,  $P_{c,min}$ 是最小交叉概率,  $t$ 代表当前进化代数,  $T_{max}$ 是最大进化代数。经过多次试验得出,  $P_c$ 设计修正值变化在 $[-0.1, 0.1]$ 之间, 不宜过大, 以免破坏当前最优解。

变异概率 $P_m$ 采用类似文献[5]的自适应变异算子, 见(3)式。

$$P_m = \begin{cases} \frac{P_{m,max}}{1 + \frac{t}{T_{max}}} \left[ \mu \exp \left( \left| \frac{F_{max} - F(i)}{F_{max}} \right| \right) \right], & \text{如果 } P_m > P_{m,min} \\ P_{m,min}, & \text{否则} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $P_{m,max}$ 是最大变异概率,  $P_{m,min}$ 是最小变异概率,  $F_{max}$ 是种群中最大适配值,  $\mu$ 是指数函数的权因数, 可用来调节 $t$ 与 $F(i)$ 之间的比重。

## 2 PID参数自整定算法

将控制器参数作为染色体基因, 用性能指标构成适配值函数, 就可以利用遗传算法的全局寻优策略, 找到合适的PID参数。遗传算法PID参数整定的流程图如图1所示。

### 2.1 适配函数的确定

适配函数跟系统的性能指标密切相关。本文采

收稿日期: 2004-05-06

基金项目: 中国石化总公司资助项目(X503014); 中国石油天然气集团公司资助项目(03E7042)

第一作者: 男, 1981年生, 硕士生

E-mail: songhongfa@163.com

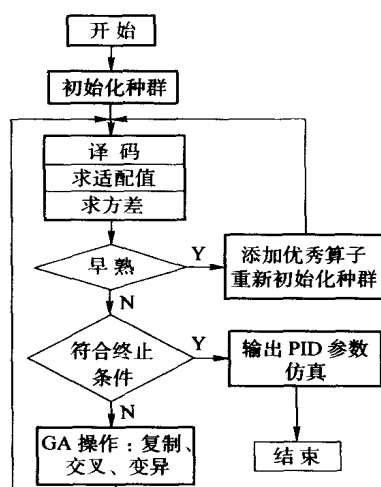


图 1 遗传算法 PID 参数整定流程图

Fig. 1 GA-based PID parameter tuning flow chart

用(4)式作为搜索最大值的适配值函数。

$$F(i) = \exp \left[ \frac{1}{J} + \exp(-|i - i_0|) \right] \quad (4)$$

其中,  $J$  代表系统性能指标, 表示时间  $t$  与  $t$  时刻误差  $e(t)$  绝对值乘积的积分, 其表达式为

$$J = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (5)$$

和  $i_0$  是权值,  $i$  表示进化到第  $i$  代时参数对应的阶跃响应衰减率,  $i_0$  是期望的衰减率。公式(4)的前一项直接与性能指标相关。简单遗传算法搜索过程中常常会得到这样的结果: 其性能指标最小但衰减率很低, 阶跃响应出现很大的波动。因此, 加上后一项可以避免出现这种结果, 保证在性能指标差不多的情况下, 选择波动较小、响应过程较平滑的一组参数作为最佳参数。公式(4)的后一项采用指数形式是为了扩大其差值以平衡前一项指标, 保证两项不要差别太大(这还可以通过再次调节权值  $i_0$  来实现)。整个函数采用指数形式, 也是为了加大不同函数值之间的差距, 方便程序操作与判断。

## 2.2 早熟判断

早熟判断条件是: 适配值不变 (适配值均方差小于给定阈值  $S_0$  认为适配值不变), 且进化代数没有达到最大值, 此为搜索陷入早熟。

本文采用的策略是: 在保留种群中最优个体的情况下, 重新生成初始化种群, 并添加部分优秀个体优化种群, 在新的空间中重新搜索。其中优秀个体来自于前次搜索中随机抽取的个体, 以扩大优秀个体比率, 提高搜索效率。

## 3 仿真研究

针对上述算法操作, 作者编写了程序进行仿真。

### 3.1 一阶对象仿真

假设一阶纯滞后被控对象传递函数为

$$y(s) = \frac{1}{1+2s} e^{-4s} \quad (6)$$

$s$  表示传递函数因子。采用 PID 控制, PID 算法采用下式

$$U(k) = \frac{100}{P} e(k) + \frac{e(k)}{I} + D(e(k) - e(k-1)) \quad (7)$$

遗传算法参数:  $P$  代表比例度,  $I$ ,  $D$  分别代表积分和微分变量, 均采用 10 位二进制编码。十进制码初始范围分别为:  $P$   $(0, 1000]$ ,  $I$   $(0, 100]$ ,  $D$   $[0, 10]$ ; 初始种群规模  $L = 20$ ; 最大循环次数  $T_{\max} = 20$ ; 交叉概率  $P_{c,\max} = 0.95$ ,  $P_{c,\min} = 0.5$ ; 变异概率  $P_{m,\max} = 0.08$ ,  $P_{m,\min} = 0.01$ ,  $\mu = 0.8$ ; 早熟判断阈值  $S_0 = 0.1$ ; 适配值参数  $i_0 = 20$ ,  $i_0 = 1$ ,  $i_0 = 0.75$ ,  $e(k)$  表示  $k$  时刻系统的误差。

连续执行遗传算法程序, 得到阶跃响应曲线如图 2 所示。

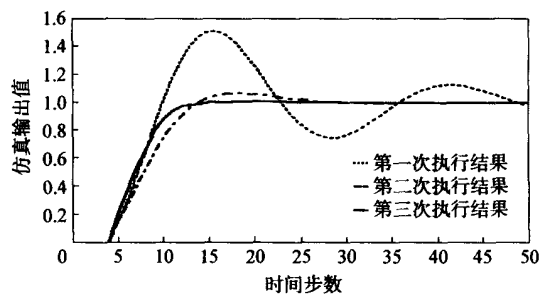


图 2 一阶对象单位阶跃响应

Fig. 2 Unit step respond for first class plant

### 3.2 二阶对象仿真

假定二阶纯滞后被控对象传递函数为

$$y(s) = \frac{1}{2s^2 + 3s + 1} e^{-2s} \quad (8)$$

PID 算法与遗传算法参数与一阶对象仿真一致。连续执行遗传算法程序, 得到阶跃响应曲线如图 3 所示。

从图 2 和图 3 可以看出, 每一次响应曲线的综合性能指标都在前一次的基础上有所改善, 这说明本算法确实有效。这种搜索方法可以根据用户要

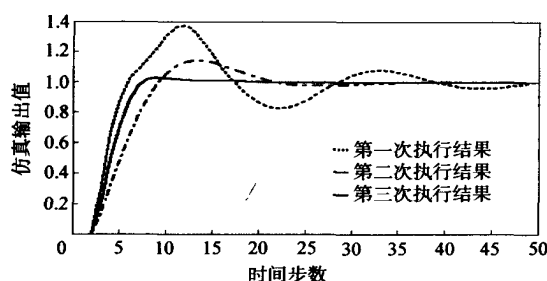


图 3 二阶对象单位阶跃响应

Fig. 3 Unit step respond for second class plant

求,通过在线修改  $K_p$  和  $K_i$  值来改变适配函数,以满足不同用户的要求。特别当被控对象参数发生很大变化时,修改  $K_p$  和  $K_i$  值可以很快找到最优解。

#### 4 结束语

本文初始种群规模只有 20 个,而且每次循环也只有 20 次,相比传统遗传算法种群规模 50 到 100,循环上千次而言,本方法的搜索效率有了很大的提高。当对象参数改变较大时,可以通过改变适配函数中的参数  $K_p$  和  $K_i$  值在线改变目标函数,从而加速

搜索。特别当被控对象存在较大纯滞后、时间常数特性时,优化得到的 PID 控制器参数能够获得比较满意的调节过程。

#### 参 考 文 献

- [1] 陶永华,尹怡欣,葛芦生. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1999
- [2] 陈国良,王煦法. 遗传算法及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2001
- [3] Tang K S, Man K F, Wong S K, *et al.* Genetic algorithms and their applications[J]. IEEE Signal Process, 1999,13(6):22 - 37
- [4] Wang Yong. Modified genetic algorithm approach to design an optimal PID controller for AC-DC transmission systems[J]. Electrical Power and Energy Systems, 2002,(24):59 - 69
- [5] 刘瑞国,邵 诚. 一种可自适应调节参数的改进遗传算法[J]. 信息与控制,2003,32(6):556 - 560
- [6] 欧阳森,王建华. 一种新的改进遗传算法[J]. 计算机工程与应用,2003(11):13 - 15
- [7] 李 萌,沈炯. 基于自适应遗传算法的过热汽温 PID 参数优化控制仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2002,22(8):145 - 149

## A strategy of improved GA-based PID parameter tuning

SONG Hong-fa<sup>1</sup> JIN Qi-bing<sup>1</sup> ZHAO Mei<sup>2</sup>

(1. College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;

2. Department of Electronic Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Jiangsu Suzhou 215011, China)

**Abstract:** A strategy of adjusting searching space dynamically for iterative optimized tuning of PID parameters was developed in this paper by use of improved genetic algorithms of multiple ways. This method can be used to overcome the shortcomings of slow-convergence and easy-premature of simple genetic algorithms (SGA). It makes use of the improved adaptive crossover operator and the adaptive mutation operator, and combines with a kind of fitness function that considers the balance of the performance target and the step-respond process. The simulated result shows that the step-respond of PID controller parameters tuned by this method is satisfied when the controlled object contains a bigger time delay and large time constant characteristics.

**Key words:** genetic algorithms; adaptive crossover; premature; PID parameter tuning

(责任编辑 刘同帅)