

## ◎ 工程与应用 ◎

## 利用改进遗传算法优化 PID 参数

肖理庆<sup>1</sup>, 邵晓根<sup>1</sup>, 张亮<sup>2</sup>, 石天明<sup>2</sup>XIAO Li-qing<sup>1</sup>, SHAO Xiao-gen<sup>1</sup>, ZHANG Liang<sup>2</sup>, SHI Tian-ming<sup>2</sup>

1. 徐州工程学院 信电学院, 江苏 徐州 221008

2. 中国石油大学, 山东 东营 257061

1. Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China

2. China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China

E-mail: doudou527@163.com

XIAO Li-qing, SHAO Xiao-gen, ZHANG Liang, et al. PID parameter optimization using improved genetic algorithm. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(1): 200-202.

**Abstract:** In order to improve the problem of premature and performance of optimization, a hybrid algorithm of particle swarm optimization and genetic algorithm is proposed for parameters optimization of PID controller by applying particle swarm optimization to the mutation operation of genetic algorithm. The simulation and experimental results show that the novel algorithm is superior to simple genetic algorithm, can overcome premature phenomena, reduce the influence of random initial population, and improve the convergence precision, which demonstrates the proposed method has better performance of convergence and fine ability of global optimization.

**Key words:** genetic algorithm; particle swarm optimization; PID controller; simulation

**摘要:** 为了改善单纯遗传算法早熟收敛与寻优能力不足的问题, 将粒子群算法引入遗传算法变异操作中, 提出了一种基于遗传算法与粒子群算法的组合算法。将改进的遗传算法应用于 PID 控制器参数优化中, 通过仿真实验表明, 新算法效果明显优于单纯遗传算法, 能有效克服早熟收敛现象, 降低随机性初始种群的影响, 提高算法收敛精度, 具有良好的收敛性和寻优能力。

**关键词:** 遗传算法; 粒子群算法; PID 控制器; 仿真

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.01.059 **文章编号:** 1002-8331(2010)01-0200-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP273.2

## 1 引言

PID 控制器是最早出现、迄今为止最常用的控制器类型, 由于具有算法简单、鲁棒性好和可靠性高的特点, 被广泛应用于过程控制和运动控制中, 尤其适用于可建立精确数学模型的确定性控制系统。然而实际工业生产过程往往具有非线性、时变不确定性, 难以建立准确的数学模型, 应用常规 PID 控制器不能达到理想的控制效果。近几年来, 遗传算法(Genetic Algorithm, GA)<sup>[1]</sup>作为一种全局优化算法, 由于采用了群体搜索策略和简单的遗传算子, 使得算法得以突破邻域搜索的限制, 实现整个解空间上的分布式信息采集和探索, 得到了越来越广泛的应用。但是由于单纯遗传算法存在早熟收敛以及寻优能力不足的问题, 实际应用中需对其进行改进<sup>[2-6]</sup>。

将基于群智能的随机优化算法粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)<sup>[7]</sup>引入遗传算法变异操作中并应用于

PID 控制器, 有效克服了遗传算法早熟收敛现象, 降低了随机性初始种群的影响, 提高了算法收敛精度, 具有良好的收敛性与寻优能力。

## 2 改进遗传算法

遗传算法是一种群体型操作, 该操作以群体中的所有个体为对象, 对算子进行编码, 使用基本的遗传算子: 选择算子、交叉算子和变异算子。基本遗传算法可以表示为:

$$SGA = (C, E, P_0, M, \phi, F, \varphi, T) \quad (1)$$

式中:  $C$  为个体编码方法、 $E$  表示个体适应度评价函数、 $P_0$  为初始化种群、 $M$  表示种群大小、 $\phi$  为选择算子、 $F$  为交叉算子、 $\varphi$  为变异算子、 $T$  为算法终止条件。

粒子群优化算法最早是由 Kennedy 和 Eberhart 教授受鸟群觅食行为的启发而提出的进化算法, 具有算法简单、寻优能

**基金项目:** 江苏省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Jiangsu Province of China under Grant No.06KJD460174); 江苏省高校自然科学基金研究计划项目(the Natural Science Research Project of Higher Education of Jiangsu Province, China under Grant No.09KJD120005); 徐州工程学院校科研基金(the Foundation of Xuzhou Institute of Technology No.XKY2007233)。

**作者简介:** 肖理庆(1981-), 男, 讲师, 主要研究领域为智能控制, 无损检测; 邵晓根(1963-), 男, 副教授, 主要研究领域为智能控制; 张亮(1981-), 男, 硕士, 主要研究领域为无损检测; 石天明(1962-), 男, 博士, 教授, 主要研究领域为无损检测。

**收稿日期:** 2009-03-11 **修回日期:** 2009-04-27

力强等特点。粒子群优化算法是一类随机全局优化算法, 通过粒子间的相互作用发现复杂搜索空间中的最优区域, 目前已被广泛应用于函数优化、模糊系统控制等应用领域<sup>[8-9]</sup>。

在粒子群算法中, 设粒子的种群规模为  $N$ , 粒子维数为  $m$ 。当粒子群算法进行到第  $g$  次迭代时, 第  $i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) 个粒子位置为  $X_i=[x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m]$ , 其速度矢量为  $V_i=[v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^m]$ , 它迄今搜索到的个体最优值为  $pbest_i=[pbest_i^1, pbest_i^2, \dots, pbest_i^m]$ , 而  $gbest_g=[gbest_g^1, gbest_g^2, \dots, gbest_g^m]$  为种群迄今搜索到的全局最优值。粒子将按式(2)改变自己的速度和位置:

$$\begin{cases} V_i = \omega \times V_i + c_1 \times rand_1 \times (pbest_i - X_i) + c_2 \times rand_2 \times (gbest_g - X_i) \\ X_i = X_i + V_i \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $\omega$  称为惯性权重,  $c_1$  与  $c_2$  为学习因子, 一般取  $c_1=c_2=2$ ,  $rand_1$  与  $rand_2$  是一个在  $(0, 1)$  范围里均匀分布的随机数。

基于粒子群优化算法在解空间搜索时, 有时会出现粒子在全局最优解附近“振荡”的现象, 而且当  $\omega$  较大时, 粒子有较强的全局搜索能力,  $\omega$  较小时, 粒子有较好的局部搜索能力, 因此在粒子搜索过程中对惯性权重  $\omega$  做如下改进: 在算法初期选择较大的  $\omega$ , 后期选择较小的  $\omega$ , 随着迭代的进行, 惯性权重  $\omega$  由最大权重因子  $\omega_{\max}$  线性减小到最小权重因子  $\omega_{\min}$ , 即惯性权重  $\omega$  按公式(3)动态改变:

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{iteration}{\max\_iteration} (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \quad (3)$$

式中:  $iteration$  是当前迭代数, 最大迭代数是  $\max\_iteration$ <sup>[10-12]</sup>。

所谓改进遗传算法是将基本粒子群算法引入遗传算法的变异操作中, 并应用于 PID 控制器参数优化。组合优化算法具体流程如下:

**步骤 1 初始化。**将所求问题的解进行十进制编码, 每个解对应于遗传算法中的一个染色体, 解中的每个变量对应于染色体中的一个基因, 所生成的初始种群里包含若干染色体, 作为求解问题的初始解的集合;

**步骤 2 个体评价。**将种群中每个染色体代入所求解的最优化问题中, 计算每个染色体的适应值并作为评价每个染色体优劣程度的标准, 判断是否满足算法停止条件并保存当前种群;

**步骤 3 选择运算。**以每个个体的适应度值作为标准, 对种群中的每个个体进行选择, 适应值越大, 被选中进入下一步运算的可能性就越大, 反之可能性越小。选择适应值最大的个体直接进入下一代;

**步骤 4 交叉运算。**遗传算法的收敛性主要取决于作为其核心操作的交叉算子, 交叉算子保证了遗传算法的全局搜索能力, 选择进行十进制交叉;

**步骤 5 变异运算。**将基本粒子群算法引入遗传算法变异操作, 具体按公式(2)、(3)更新  $V_i$  与  $X_i$ 。变异算子一方面能使组合算法具有局部的随机搜索能力, 另一方面可以维持种群的多样性, 防止出现未成熟收敛现象;

**步骤 6 判断运算结束**后种群每个个体是否在允许范围内, 若超出允许范围, 则恢复为算法运算前的个体;

**步骤 7 判断**是否满足算法收敛条件。若满足, 算法结束并返回结果, 否则跳转到步骤 2, 对种群的每个个体进行重新评价并循环计算。

### 3 仿真实验结果

在 MATLAB7.0 环境下, 取被控对象数学模型为二阶传递函数  $G(s) = \frac{400}{s^2 + 50s}$ , 仿真时间为 0.1 s, 输入信号为单位阶跃信号。为了获取满意的过渡过程动态特性, 采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数选择的最小目标函数。另外, 为了防止控制能量过大, 在目标函数中加入控制输入的平方项, 即采用式(4)作为参数选取的最优指标:

$$J = \int_0^{\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t)) dt + w_3 \times t_r \quad (4)$$

式中:  $e(t)$  为系统误差,  $u(t)$  为控制器输出,  $t_r$  为上升时间,  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$  为权值。

为了避免超调, 采用惩罚功能: 一旦产生超调, 将超调量作为最优指标的一项, 即最优指标为:

$$J = \int_0^{\infty} (w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t) + w_4 |e(t)|) dt + w_3 \times t_r \quad (5)$$

式中:  $w_4$  为权值, 且  $w_4 \gg w_1$ <sup>[13]</sup>。

改进遗传算法的 PID 参数优化算法中染色体数目取 20, 基因数目为 3 (对应 PID 控制器参数  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ), 最大迭代次数为 200, 最大权重因子  $\omega_{\max}=0.9$ , 最小权重因子  $\omega_{\min}=0.1$ , 参数  $k_p$  取值范围为  $[0.1, 20]$ ,  $k_i$ 、 $k_d$  取值范围为  $[0.1, 1]$ , 取  $w_1=1$ 、 $w_2=0.001$ 、 $w_3=2.0$ 、 $w_4=100$ , 采用实数编码方式, 交叉概率  $P_c=0.80$ , 变异概率  $P_m=0.005$ 。

为了便于比较算法性能, 两种算法选取相同的初始种群。另外由于初始种群随机性的存在, 为了得到一个具有统计意义的结果, 对上述参数设置的两种算法各运行 30 次, 对各个参数取平均值并记录最差情况, 结果如表 1 所示。

表 1 各个参数统计结果 ( $P_c=0.80$ 、 $P_m=0.005$ )

参数		基本遗传算法	改进遗传算法
$k_p$	平均值	18.552 1	20.000 0
	最差值	12.299 4	20.000 0
$k_i$	平均值	0.235 4	0.253 8
	最差值	0.162 1	0.253 8
$k_d$	平均值	0.358 6	0.100 0
	最差值	0.512 7	0.100 0
$J$	平均值	24.401 6	24.013 8
	最差值	26.505 5	24.013 8
$t_r$	平均值	0.050 4	0.050 0
	最差值	0.055 0	0.050 0
$\sigma\%$	平均值	0.005 4	0.003 2
	最差值	0.011 9	0.003 2
$s$	平均值	86.298 0	117.033 0
	最差值	196.000 0	170.000 0
$D(J)$		0.339 4	0

表中:  $t_r$ 、 $\sigma\%$ 、 $s$ 、 $D(J)$  分别为调节时间、超调量、收敛代数、 $J$  的方差。

统计过程中基本遗传算法和改进遗传算法的目标函数  $J$  优化过程及 PID 控制阶跃响应最不理想情况分别如图 1~4 所示。

由表 1、图 1~4 可知, 在相同初始种群、交叉概率和变异概率情况下, 改进遗传算法相比单纯遗传算法效果更佳, 能有效克服遗传算法早熟现象, 提高算法收敛精度, 降低随机性初始种群的影响, 提高系统 PID 控制阶跃响应动态性能指标调节时间和超调量。但由于早熟现象的存在, 单纯遗传算法收敛代数

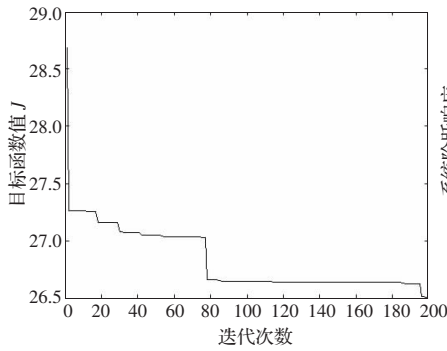


图1 基本遗传算法目标函数优化过程

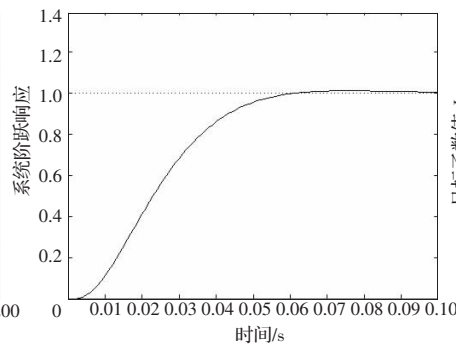


图2 基本遗传算法PID控制阶跃响应

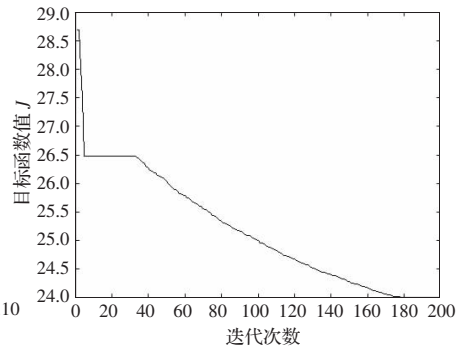


图3 改进遗传算法目标函数优化过程

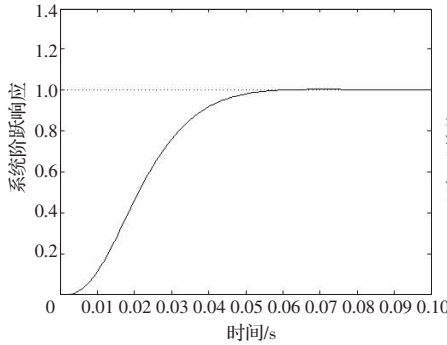


图4 改进遗传算法PID控制阶跃响应

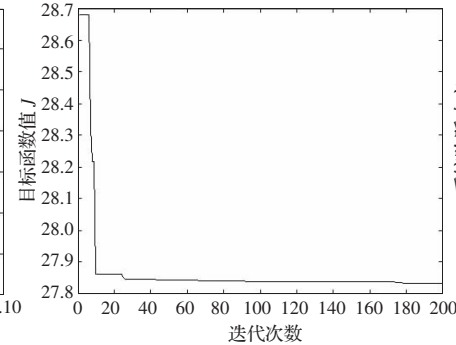


图5 基本遗传算法目标函数优化过程

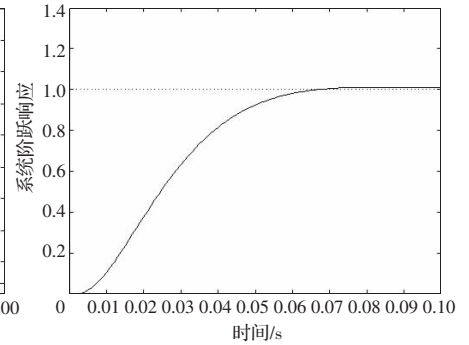


图6 基本遗传算法PID控制阶跃响应

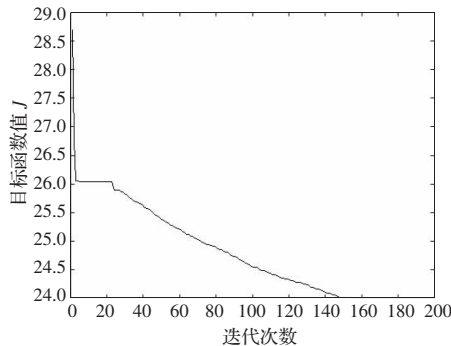


图7 改进遗传算法目标函数优化过程

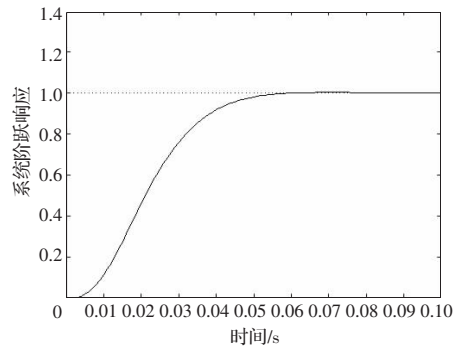


图8 改进遗传算法PID控制阶跃响应

相比改进遗传算法较小。

现改变两种算法参数中交叉概率  $P_c$  为0.60, 变异概率  $P_m$  为0.008, 其他参数设置不变, 仿真结果如表2、图5~8所示。

表2 各个参数统计结果( $P_c=0.60, P_m=0.008$ )

参数	基本遗传算法	改进遗传算法
$k_p$	平均值	17.976 1
	最差值	10.215 9
$k_i$	平均值	0.229 3
	最差值	0.138 5
$k_d$	平均值	0.313 0
	最差值	0.119 7
$J$	平均值	24.614 6
	最差值	27.832 9
$t_s$	平均值	0.051 1
	最差值	0.061 0
$\sigma\%$	平均值	0.005 7
	最差值	0.010 9
$s$	平均值	94.466 7
	最差值	27.000 0
$D(J)$	0.870 3	0

由表2、图5~8可知, 基于遗传算法与粒子群算法的PID参数优化算法受交叉概率和变异概率影响相比基本遗传算法较小, 且选择合适的交叉概率和变异概率能提高组合算法收敛速度, 效果更为理想。

### 4 结论

将粒子群算法引入遗传算法变异操作中并应用于PID控制器参数优化, 通过仿真实验表明, 组合优化算法能有效克服遗传算法早熟收敛现象、降低随机性初始种群的影响、提高算法收敛精度、提高系统PID控制阶跃响应动态性能指标调节时间和超调量, 且合理设置变异概率和交叉概率能提高算法收敛速度, 效果更理想。

### 参考文献:

[1] 李敏强, 寇纪淞, 林丹, 等. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 98-111, 133-147.  
 [2] 张兴华, 朱筱蓉, 林锦国. 基于量子遗传算法的PID控制器参数自整定[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(21): 218-220.