

# 一种改进遗传算法的 PID 参数整定研究

徐传敬, 赵敏, 李天明

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:** PID 控制是迄今为止最通用的控制方法, 具有结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便等优点, 广泛应用于工业控制领域。在 PID 控制中, PID 参数的选择决定了控制系统的稳定性和快速性。在传统的 PID 参数整定中多采用试验凑试法, 该方法费时费力, 而且难以满足要求。为了解决此问题, 提出一种改进遗传算法的 PID 参数整定方法。对基本遗传算法的选择算子、交叉算子和变异算子进行改进, 弥补了基本遗传算法易陷于局部最优的缺点, 加快了算法收敛速度。仿真结果表明, 该方法具有一定的可行性。

**关键词:** 遗传算法; PID 控制; 选择算子; 交叉算子; 变异算子

**中图分类号:** TP301.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2016)09-0012-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.09.003

## Research on PID Parameter Tuning Based on an Improved Genetic Algorithm

XU Chuan-jing, ZHAO Min, LI Tian-ming

(College of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,  
Nanjing 210016, China)

**Abstract:** PID control is the most common control method so far. It has the advantages of simple structure, good stability, reliable operation, easy adjustment and so on, which is widely used in the field of industrial control. In PID control, the stability and speed of the control system is determined by the choice of PID parameters. In the traditional PID parameter tuning, the trial and error method is used widely. However, this method is time-consuming, and it is difficult to meet the requirements. In order to solve this problem, a PID parameter tuning method is proposed based on improved genetic algorithm. The selection operator, crossover operator and mutation operator are improved. The method makes up for shortcomings which the basic genetic algorithm is easy to fall into local optimum. It speeds up the convergence rate of genetic algorithm. Simulation show that it is feasible.

**Key words:** genetic algorithm; PID control; selection operator; crossover operator; mutation operator

## 0 引言

PID 控制问世至今已有近 70 年历史, 它以结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一<sup>[1-2]</sup>。当被控对象的结构和参数不能完全掌握, 或得不到精确的数学模型时, 或控制理论的其他技术难以采用时, 系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定, 这时应用 PID 控制技术最为方便<sup>[3]</sup>。然而在实际的工业应用中, 系统具有非线性、时变性, 不便于建立精确的数学模型, 常规 PID 控制器不能达到理想的控制效果<sup>[4-5]</sup>。遗传算法主要借鉴了达尔文生物进化的基本原理, 是模拟生物的自然选择和遗传机制而形成的一种自适应全局优化概率搜

索算法<sup>[6-7]</sup>。作为一种仿生自寻优随机算法, 遗传算法具有并行计算、全局收敛、编码操作等特点。且由于其算法结构的开放性, 易于与问题结合, 便于运算, 因此将其运用于 PID 参数的优化是可行的<sup>[8]</sup>。

文中基于基本遗传算法, 对遗传算法的选择算子、交叉算子、变异算子进行优化, 提高了算法的收敛速度和全局收敛性。将其应用于 PID 参数整定, 取得了较好的效果。

## 1 PID 控制原理

PID 控制即比例、积分、微分控制, 常规 PID 控制系统的原理见图 1<sup>[9-10]</sup>。

收稿日期: 2015-12-14

修回日期: 2016-04-07

网络出版时间: 2016-08-23

基金项目: 中国航空科学基金(20152952038)

作者简介: 徐传敬(1990-), 男, 硕士, 研究方向为测试计量技术及仪器; 赵敏, 教授, 研究方向为仪器与测试技术、图像处理与识别等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160823.1359.060.html>

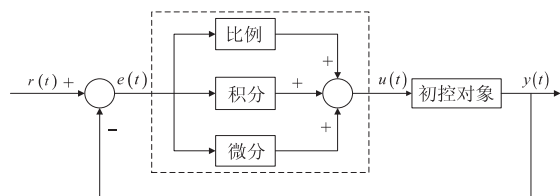


图1 PID控制原理框图

图中虚线框即PID控制器。 $r(t)$ 为设定输入; $e(t)$ 为设定输入与实际输出的差值; $u(t)$ 为PID控制器输出; $y(t)$ 为系统输出。

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

其中, $K_p$ 为比例系数; $T_i$ 为积分时间常数; $T_d$ 为微分时间常数。

PID控制具有原理简单、鲁棒性强、对模型依赖性少等优点,在实际工业控制中应用广泛。比例调节简单,控制及时,参数整定方便,控制结果有余差。积分调节可以消除稳态误差,但会使控制速度变慢。微分调节有超前调节的作用,对滞后严重的对象有很好的效果。因此,比例、积分、微分调节结合使用,可以达到很好的调节效果。文中以遗传算法为基础,对PID控制中的 $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$ 参数进行整定。

## 2 遗传算法理论基础

遗传算法最早由美国Michigan大学的John Holland教授提出<sup>[11]</sup>,是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。该算法包括选择、交叉、变异三个过程,通过不断的迭代,最终达到问题的最优解<sup>[12-13]</sup>。算法流程如下:

(1)随机产生初始种群,个体数目一定,每个个体表示染色体的基因编码;

(2)计算个体适应度,并判断是否符合优化准则,若符合,输出最佳个体及代表的最优解并结束计算,否则转向(3);

(3)依据适应度选择再生个体,适应度高的个体被选中的概率高,适应度低的个体可能被淘汰;

(4)按照一定的交叉概率和交叉方法,生成新的个体;

(5)按照一定的变异概率和变异方法,生成新的个体;

(6)如果由交叉和变异产生新的种群,则返回到步骤(2)。

基本遗传算法有4个运行参数需要提前设定:

$M$ :种群大小,一般取为20~100;

$T$ :遗传运算的终止进化代数,一般取为100~

500;

$P_c$ :交叉概率,一般取为0.4~0.99;

$P_m$ :变异概率,一般取为0.000 1~0.1。

遗传算法具有全局搜索能力、潜在的并行性、可扩展性等优点;但是算法的局部搜索能力较差,在进化后期搜索效率较低,且容易产生早熟收敛。文中对基本遗传算法的选择、交叉、变异算子进行改进,提高局部搜索能力、进化速度,有效避免早熟收敛现象。

## 3 改进遗传算法

### 3.1 选择算子

文中采用改进的锦标赛选择算子与保留最佳个体策略相结合的方法作为改进的选择算子。锦标赛选择<sup>[14]</sup>是一种基于个体适应度之间大小关系的选择方法。其基本思想是每次选取几个个体之中适应度最高的一个遗传到下一代群体中。在锦标赛选择操作中,只有个体适应度之间的大小比较运算,而无个体适应度之间的算术运算,所以它对个体适应度是取正值还是取负值无特别要求。锦标赛选择算子的具体操作过程如下:

(1)从种群中随机选取 $N$ 个个体进行适应度大小的比较,将其中适应度最高的个体遗传到下一代种群中。

(2)将上述过程重复 $M$ 次,就可以得到下一代群体中的 $M$ 个个体。

其中,对于 $N$ 如果选较大的值,锦标赛选择效果比较好,但是选择速度低;如果选择较小的值,选择速度快,但是锦标赛选择效果差。因此选择一个合适的 $N$ 对遗传算法的收敛速度和收敛精度有较大的意义。在常规的锦标赛选择算子中, $N$ 的值是固定的。但是,随着种群的进化,种群逐渐趋向于最优解,此时种群中各个个体的适应度比较接近,锦标赛选择算子如果还是按照开始设定的 $N$ 的大小来选择,此时并不会提高收敛精度,而且会降低收敛速度。

基于此,文中提出了动态改变 $N$ 的大小的改进锦标赛选择算子。 $N$ 的值由式(3)决定:

$$N = \left\lceil \frac{M}{2} \times \left( 1 - \frac{t}{T} \right) \right\rceil + 1 \quad (3)$$

其中, $M$ 表示种群中个体的个数; $t$ 表示当前进化代数; $T$ 表示终止进化代数; $\lceil \rceil$ 表示取整。

由式(3)可知, $N$ 的值随着进化代数的增大而减小,因此当种群逐渐趋向最优解时,锦标赛选择次数减小,有利于提高收敛速度。

在父代种群通过选择算子产生子代种群的过程中,为了使父代中优良的基因得以延续,因此采用保存最佳个体策略的方法。具体操作方法是:每次采用锦

标赛选择算子产生新的子代以后,将子代中适应度最差的个体用父代中适应度最好的个体替换,以加快进化速度。

### 3.2 交叉算子

在基本遗传算法中,采用固定的交叉概率对种群中的个体进行交叉操作。但这种固定交叉概率的方法存在一定的缺点。交叉概率越大,新个体产生的速度就越快。然而,交叉概率过大时遗传模式被破坏的可能性也越大,使得具有高适应度的个体结构很快就会被破坏;但如果交叉概率过小,会使搜索过程缓慢,以致停滞不前。而在进化过程中,种群是一直变化的,固定的交叉概率无法适应变化的种群。因此,文中提出了动态调整的交叉概率。交叉概率具体调整公式为:

$$P_c = P_{c1} - (P_{c1} - P_{c2}) \times \left(\frac{t}{T}\right)^2 \quad (4)$$

式中,  $P_c$  为实际交叉概率;  $P_{c1} = 0.9$ ,  $P_{c2} = 0.4$ ;  $t$  为当前进化代数;  $T$  为终止进化代数。

由公式分析可知,随着进化代数的增大,交叉概率逐渐减小。当进化代数较小时,种群的差异性比较大,此时交叉概率大,易于产生新的个体;当进化代数较大时,种群中的个体逐渐趋向于最优解,此时交叉概率较小,易于保存优良个体。而且随着种群进化代数的增加,交叉概率下降速度逐渐加快,更利于保存优秀基因,加快达到最优解。

### 3.3 变异算子

基本遗传算法中的变异算子易使种群陷入局部最优。因此,文中提出了一种改进的变异算子,具体方法为:对于种群中的每一个个体,选择一个合适的变异半径  $r$ ,在该变异半径内随机产生一个个体,如果新产生个体的适应度大于当前个体,则替换当前个体,否则继续使用当前个体。而变异半径  $r$  由式(5)确定:

$$r = r_1 + r_2 \times \frac{f_{\max} - f}{f_{\max} - f_{\min}} \quad (5)$$

其中,  $f_{\max}$  为种群最大适应度;  $f_{\min}$  为种群最小适应度;  $f$  为当前个体适应度。

由公式可知,个体适应度越大,变异半径越小,有利于保存优良个体;个体适应度越小,变异半径越大,有利于产生适应度高的个体以及跳出局部最优达到全局最优。

## 4 仿 真

选用被控对象的传递函数为:

$$G(s) = \frac{400}{s^2 + 50s} \quad (6)$$

采样时间为 1 ms,输入指令为阶跃信号。编码方式为二进制,编码长度为 10 位的二进制编码串分别

表示 PID 控制的三个参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 。代价函数  $J$  如式(7)所示:

$$J = \int_0^{\infty} (\omega_1 |e(t)| + \omega_2 u^2(t) + \omega_3 |e(t)|) dt + \omega_4 t_u \quad (7)$$

其中,  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 、 $\omega_4$  为权值;  $e(t)$  为系统误差;  $u(t)$  为控制器输出;  $t_u$  为上升时间。

适应度函数  $f = 100 - J$ 。

基本遗传算法仿真结果如图 2 和图 3 所示。其中,  $K_p = 17.296\ 3$ ,  $K_i = 8.534\ 7$ ,  $K_d = 0.277\ 5$ 。

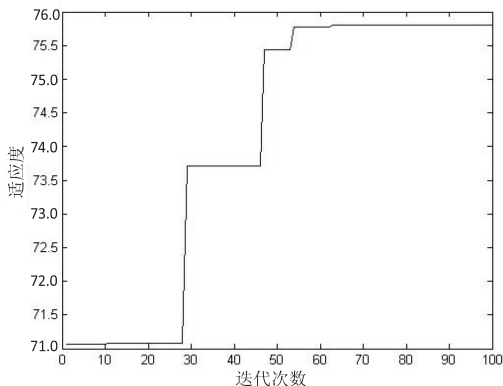


图 2 基本遗传算法适应度变化过程

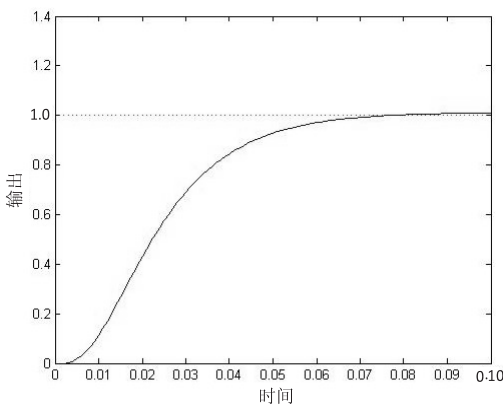


图 3 基本遗传算法整定的 PID 阶跃响应

改进遗传算法仿真结果如图 4 和图 5 所示。其中,  $K_p = 19.353\ 2$ ,  $K_i = 6.335\ 0$ ,  $K_d = 0.242\ 9$ 。

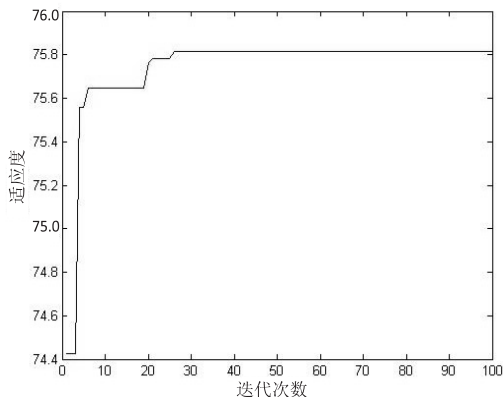


图 4 改进遗传算法适应度变化过程

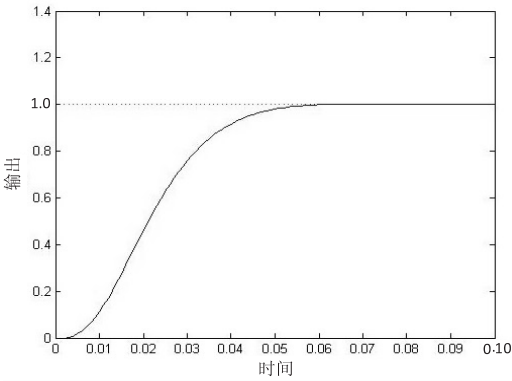


图5 改进遗传算法整定的PID阶跃响应

由仿真结果可知,改进遗传算法加快了种群的收敛速度,并保证种群的收敛精度,具有一定的可行性。

5 结束语

文中对基本遗传算法的选择算子、交叉算子、变异算子分别进行改进,弥补了基本遗传算法易陷入局部最优、收敛速度慢的缺点,并将改进的遗传算法用于PID参数的整定,加快了整定速度,提高了整定效果。

参考文献:

[1] 王蕾,宋文忠. PID控制[J]. 自动化仪表,2004,25(4):1-6.  
[2] Bennett S. The past of PID controllers[J]. Annual Reviews in Control,2001,25(1):43-53.

[3] 吴宏鑫,沈少萍. PID控制的应用与理论依据[J]. 控制工程,2003,10(1):37-42.  
[4] 肖理庆,邵晓根,张亮,等. 利用改进遗传算法优化PID参数[J]. 计算机工程与应用,2010,46(1):200-202.  
[5] 张志刚,杜永贵. 基于改进遗传算法的PID参数整定[J]. 太原理工大学学报,2005,36(4):416-418.  
[6] 崔珊珊. 遗传算法的一些改进及其应用[D]. 合肥:中国科学技术大学,2010.  
[7] Tang K S, Man K F, Kwong S, et al. Genetic algorithms and their applications [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1996,13(6):22-37.  
[8] 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.  
[9] 陈新宁,张丽梅,刘寅桐. PID的数字化算法在自动化测试系统中的应用[J]. 国外电子测量技术,2006,25(4):46-47.  
[10] Åström K J, Hägglund T. The future of PID control[J]. Control Engineering Practice,2001,9(11):1163-1175.  
[11] 周昕,凌兴宏. 遗传算法理论及技术研究综述[J]. 计算机与信息技术,2010(4):37-39.  
[12] 汪洋,陈亮,汤欢. 一种改进的变种群规模遗传算法[J]. 电子测量技术,2009,32(2):9-11.  
[13] 杨越,阮雅端,陈启美. 基于优化遗传算法的负载均衡策略研究[J]. 电子测量技术,2014,37(6):26-29.  
[14] Miller B L, Goldberg D E. Genetic algorithms, tournament selection, and the effects of noise[J]. Complex Systems,1995,9(3):193-212.

2016 全国第十四届嵌入式系统学术会议 (ESTC 2016)  
2016. 10. 29-30 上海

全国嵌入式系统学术会议(ESTC)是由中国计算机学会主办的嵌入式系统专委会年度学术会议,自2001年以来已经成功举办了十三届,已成为我国嵌入式系统及相关领域的专家、学者、工程师、业界人士以及研究生进行学术交流、技术研讨、产学研互动的重要学术会议。2016年全国嵌入式系统学术会议将于2016年10月29日~30日在上海举行。由中国计算机学会嵌入式系统专业委员会,教育部软硬件协同设计技术与应用工程研究中心和华东师范大学计算机科学与软件工程学院共同承办。

ESTC 2016以“安全可信嵌入式系统设计、验证与应用”为主题。会议旨在讨论嵌入式系统领域的最新研究成果和发展趋势,开展广泛的学术交流和研讨。ESTC2016将与International Symposium on Software and System Reliability (ISSSR) 2016 (<http://www.issr2016.ecnu.edu.cn>) 同期召开,共享会议特邀报告和论文出版。欢迎从事嵌入式系统及相关领域的专家、学者、工程师、业界人士、研究生踊跃投稿并参加会议。