

文章编号:1671-6833(2005)02-0102-04

基于GAOT 的PID 控制器参数整定研究

王永林¹, 王 杰²

(1. 中原工学院电子信息学院, 河南 郑州 450007; 2. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 遗传算法是一种具有极高鲁棒性和广泛适用性的全局优化方法, 遗传算法优化工具箱(GAOT)为遗传算法的推广和应用提供了良好的工具, 它采用模块化设计, 包含了常用的遗传算子. 针对传统PID 参数整定的一些局限性, 利用遗传算法优化工具箱对PID 控制器参数进行整定. 分析了遗传算法的应用步骤, GAOT 的基本用法和 GAOT 与控制器参数整定的接口方法, 利用仿真试验将该方法与 Ziegler - Nichols 法和工程品质最佳法进行比较. 仿真结果表明: 该方法几乎无超调, 且过渡时间最短, 可明显提高系统性能.

关键词: 遗传算法优化工具箱; 遗传算法; PID; 参数整定

中图分类号: TP 273.2; TP 181

文献标识码: A

0 引言

PID 参数的整定与优化一直是自动控制领域的重要问题. 但在实际生产现场中, 常规PID 控制器参数往往整定不良, 性能欠佳. 长期以来, 人们一直在寻求PID 控制器参数的整定技术, 已出现的有 Ziegler - Nichols (Z - N) 法、继电器法、ISTE 最优设定方法^[1]、梯度法、单纯形法等. 但上述方法在是否寻到满意参数值和对系统或工作人员的要求上都不同程度地存在局限性. 随着智能算法的发展, 人们又研究了一些智能整定方法, 如模糊逻辑^[2]、神经网络、遗传算法等. 其中遗传算法是一种值得深入研究和推广的算法, 它无须初始信息, 可寻得全局最优解或满意解, 对控制对象本身没有特殊要求, 非常适合处理复杂问题或非线性问题.

国内已有学者对遗传算法整定PID 参数进行了研究^[3], 但实现的方法和算法平台不尽相同, 并且多数不公开源代码或仅提供部分代码, 采用的也只是些遗传算子特定组合下的算法形式, 在研究、修改或使用方面有一定的局限性. 本文作者将介绍一种采用遗传算法优化工具箱(GAOT) 整定PID 参数的方法. GAOT 是一种免费的工具箱, 可从网上下载, 采用 MATLAB 语言编写, 代码公开, 其中提供了多种遗传算子, 可直接选择使用,

进行算子组合及改进, 能大大减小研究者或使用者的工作量.

1 遗传算法的基本步骤

基本遗传算法的应用步骤如下^[4]:

(1) 确定决策变量及各种约束条件.

(2) 建立优化模型, 确定适应度函数. 适应度函数一般由目标函数值转换生成, 适应度函数决定着个体的生存能力, 也是遗传算法与实际问题结合的桥梁.

(3) 确定表示可行解的染色体编码和解码方法, 编码主要分二进制编码和十进制编码两大类, 对应有相应的解码方法.

(4) 设计遗传算子, 即确定出选择、交叉、变异等遗传算子的具体操作方法.

选择是从群体中选出优胜个体, 淘汰劣质个体的一种操作方式, 有轮盘赌法、最佳保留法、排序法、竞赛选择法等. 交叉运算是将染色体相互配对组合来产生新个体的方法, 有单点交叉、多点交叉、均匀交叉、算术交叉等方法. 变异是模拟生物基因突变来产生新个体方法, 有位点变异、反转变异、边界变异、均匀变异等.

(5) 确定遗传算法的有关运行参数. 如群体规模、交叉概率、变异概率、仿真代数、编码长度

收稿日期: 2005-01-28; **修订日期:** 2005-03-20

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(0411010300); 河南省教育厅自然科学基金资助项目(2004510005)

作者简介: 王永林(1977-), 男, 河南省封丘县人, 中原工学院助教, 硕士, 主要从事计算智能、控制理论、网络技术方

- 等.
- (6) 初始化群体.
 - (7) 计算群体中个体解码后的适应度值.
 - (8) 根据适应度函数,按照遗传策略,运用所选定的选择、交叉和变异算子作用于群体,生成下一代群体.
 - (9) 判断群体性能是否满足终止条件,不满足则返回(7).

2 GAOT 简介

遗传算法工具箱(GAOT)是由C.R.Huck 等在1995 年用MATLAB 语言编成的一系列程序^[4],后来进行了少量修正,主要用于函数优化问题.GAOT 采用模块化设计,使用者可以不去考虑遗传算法的内部结构,只需根据设计的要求,编出适应度函数即可.GAOT 把原本复杂的遗传算法设计过程简单化,给广大的设计者带来了极大的方便,有很强的可扩展性.主程序ga.m 提供了遗传算法与外部的接口,它通过调用适应度函数文件与实际问题建立关联.

利用GAOT 的一般步骤是先初始化参数;然后确定或编制适应度函数文件,再设置主文件ga.m 的若干参数运行即可.

ga.m 的基本调用方法为

```
[x,endPop,bPop,traceInfo]=ga(bounds,evalFN,evalOps,startPop,options,termFN,termOps,selectFN,selectOps,xOverFNs,xOverOps,mutFNs,mutOps)
```

输出参数中x 是运行中最好的个体,1×(n+1) 维,最后一列为对应适应度值;endPop 为最终解;bPop 为最好染色体的轨迹;traceInfo 为每一代的最好个体和平均结果矩阵.

输入参数中bounds 为变量取值范围矩阵,evalFN 为个体适应度函数,通常以文件形式表示;evalops 是传给适应度函数的参数,默认值为空;StartPop 是初始种群,可自己设定或用初始化函数生成,默认值为空;opts 为1×3 维的向量,第一个数表示所求解的精度,第二个决定编码方式,1 表示浮点格式编码,0 表示二进制格式编码,最后一个数为显示控制参数,1 表示每代显示最好结果,0 则不显示,默认为[1e-6 1 0];termFN 是终止函数,一般由GenTerm 或optGenTerm 两个函数来判断是否满足终止条件;termOps 通常是最大的进化代数,默认为100;SelectFN 是选择函数,如roulette (轮盘赌法函数),normGeomSelect (基于归一法的

优先进化函数),tounselect (竞争选择法函数);selectOps 是选择函数的输入参数,默认为[0.08];xOverFNs 是交叉函数,如二进制格式与浮点格式的交叉函数simpleXover、算术交叉函数arithXover 等;xOverOps 是交叉函数参数,通常为交叉率;mutFNs 是变异函数,如BinaryMutation (二进制位点变异),boundaryMutation (边界变异)等;mutOps 是变异函数参数.

除ga.m 及上述相关算子函数外,工具箱中还有二进制格式与浮点格式的初始化函数initializega.m,“有序数据”类初始化函数initializeoga.m,精度计算函数calcbits.m,浮点数与二进制转换函数f2b.m 与b2f.m 及几个函数优化例子.

3 基于GAOT 的PID 参数整定

3.1 基本原理

基于GAOT 的PID 参数整定框图如图1 所示.

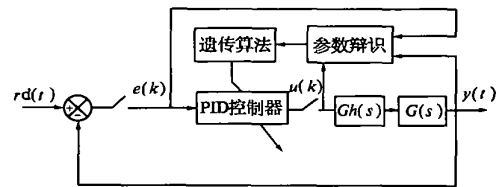


图1 GAOT 整定PID 参数框图

Fig.1 Block of PID tuning via GAOT

由误差 $e(k)$,控制量 $u(k)$ 和输出量等与控制指标相关的参数建立起系统的目标函数,然后将目标函数转化为适应度函数,根据适应度函数值的大小,对编码后的初始参数进行选择、交叉、变异等进化操作进行评价与优化,达到终止条件,则所得参数即为符合控制目标的一组优化参数.可见适应度函数是遗传算法与控制系统结合的纽带,指导着算法按控制目标要求不断进化,所以适应度函数的形式和编写非常重要.

3.2 离散化处理

位置式PID 控制器的传递函数为

$$C(s)=K_p+K_{ds}+\frac{K_i}{s} \tag{1}$$

将 $s=\frac{z-1}{Tz}$ 代入将其离散化, T 为采样周期,

$$C(z)=K_p+K_d\frac{z-1}{Tz}+K_i\frac{T}{z-1}=\frac{(K_pT+K_d+K_iT^2)z^2+(K_pT+2K_d)z+K_d}{T^2-T} \tag{2}$$

本文作者以下面的二阶模型为控制对象来进行研究:

$$G(s)=\frac{10}{s(s+2)}\tag{3}$$

用控制工具箱中的`c2dm` 命令将 $G(s)$ 离散化,用`series` 命令将其与 $C(z)$ 串联,用`doop` 命令形成负反馈系统.

3.3 适应度函数编制

为了获得满意的过渡过程,并尽量抑制超调,采用下面的适应度函数形式:

$$J=\begin{cases}\int_0^i(w_1\cdot t\cdot|e(t)|+w_2|e(t)|)dt+w_3\cdot t_s, & e(t)<0 \\ \int_0^i(w_1\cdot t\cdot|e(t)|)dt+w_3\cdot t_s & \text{其它,}\end{cases}\tag{4}$$
$$F=\frac{1}{J+10^{-10}},$$

即当有超调时,马上加入一个较大的惩罚项 $w_2|e(t)|\cdot 10^{-10}$ 是为防止分母为0. t_s 为过渡时间($\pm 2\%$), $e(t)$ 为误差, J 为控制指标, F 为适应度函数; w_1,w_2,w_3 为加权系数.由于权系数影响目标函数,而参数整定是按目标函数最优来进行的,所以权系数的改变影响整定结果.取采样周期 $T=0.05s$,仿真代数 $N=100,w_1=1.0,w_2=30,w_3=2.0$,则适应度函数文件`gaEval.m` 编写如下,其中`sol(1)` `sol(2)` `sol(3)` 分别对应 K_p,K_d,K_i `val` 对应适应度函数值:

```
function [sol, val] = gaEval(sol, options)
T=0.05;N=100;rd=1;tmp=0;ts=1;
ns=1;ds=1;[ 1 2 0];
[ns,ds]=c2dm(ns,ds,1,T);
nc=[sol(1)*T+sol(2)+sol(3)*T*T-(sol(1)
*T+2*sol(2)+sol(2)];
dc=[T-T];
[num1,den1]=series(nc,dc,ns,ds);
[num,den]=doop(num1,den1,-1);
tt=0;T:T*N;
[y,x]=dstep(num,den,tt);
for i=1:1:N
if y(i)>1.02*y(N)
ts=i*T;
elseif y(i)<0.98*y(N)
ts=i*T;
end
e(i)=rd-y(i);
tmp=tmp+1.0*i*T*abs(e(i));
if e(i)<0
tmp=tmp+30*abs(e(i));
```

```
end
end
J=tmp+2.0*ts;
val=1./(J+1e-10);
```

3.4 仿真分析

采用文献[5] 中的Z-N 算法,整定的结果为 $K_p=4.8813,K_d=0.4322,K_i=13.7842$.参照该结果取 K_p,K_d,K_i 的范围分别为 $[0,5],[0,2],[0,15]$.参数范围设定后,即可调用主函数`ga` 进行仿真,实现如下:

```
bounds=[0.5;0.2;0.15];
[x,endPop,bestSols,trace]=ga(bounds,'gaEval');
```

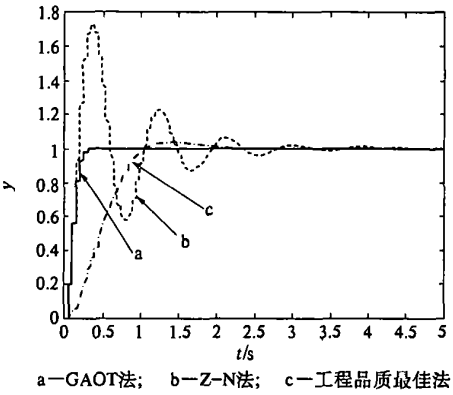


图2 不同控制参数下阶跃响应对比图
Fig.2 Comparison of step response for different parameters

表1 3种方法的控制指标对比表

Tab.1 Dynamic performance comparison for the three methods

整定方法	t_s/s	t_r/s	$\sigma/\%$
GA	0.250 0	0.150 0	4.296 6
Z-N 法	3.050 0	0.100 0	72.898 2
工程品质最佳法	1.900 0	0.650 0	4.320 9

其中 x 即为优化后的返回值,`gaEval` 为适应度函数文件名.这里采用的是默认参数,实际中可根据需要进行相应设置.运行结果为 $K_p=1.5666,K_d=0.7622,K_i=0$.图2 为本文方法,Z-N 法和工程品质最佳法($\zeta=0.707,\omega_n$ 不变)所设计出的控制器对应的系统阶跃响应曲线,其中a 为GAOT 整定法响应曲线,b 为Z-N 法响应曲线,c 为工程品质最佳法响应曲线.三种方法的动态指标如表1 所示, t_s 为过渡时间, t_r 为上升时间, σ 为超调量.可见,本文方法几乎无超调,过渡时间最短,上升时间仅比Z-N 法慢一拍;Z-N 法超调最大,过渡时间最长;工程品质最佳法过渡时间与超调量介于二者之间,快速性相对差一些.

直接在主函数`ga` 中设置,即可调换遗传算

子. 如果有些算子工具箱中没有提供, 可参考相应格式自行编写, 灵活方便, 很容易改进或扩充.

4 结束语

本文作者研究了GAOT 与控制器参数整定的接口方法, 并用其对PID 控制器参数进行了整定优化. 仿真表明, 采用GAOT 整定PID 参数, 实现方便, 结论合理, 可以大大节省工作量. 仿照本文实现方法, 可方便地将GAOT 推广应用于其他类型的控制器参数整定.

参考文献:

[1] 陶永华. 新型PID 控制及其应用[M]. 第二版. 北

京: 机械工业出版社, 2003. 233~255, 300~315.

[2] 师黎, 丁海. PID 控制的参数模糊自整定方法[J]. 郑州工业大学学报, 2001, 22(3): 25~27.

[3] 王永林. 基于遗传算法的智能控制策略研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2003. 9~11.

[4] HOUCK C R, JONES J A, KAY M G. A Genetic Algorithm for Function Optimization: A MATLAB Implementation [DB/OL]. <http://www.ie.ncsu.edu/mirage/GAToolBox/gaot>, 1998-06-12.

[5] 魏克新, 王云亮, 陈志敏, 等. MATLAB 语言与自动控制系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004. 270~280.

[6] 赖寿宏. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 107~108.

Parameter Tuning of PID Controller Based on GAOT

WANG Yong-lin¹, WANG Jie²

(¹School of Electronic Information, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China ;²School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract : Genetic algorithm is a global optimal algorithm with robustness and applicability . Genetic algorithm optimization toolbox (GAOT) provides a good tool for the popularization and application of genetic algorithm, which adopts modular designing mode and contains some common genetic operators . In view of the limitation of conventional methods , a method for PID tuning using GAOT is researched in this paper . The application steps of genetic algorithm and the principal usages of GAOT are introduced at first . Then the joint between GAOT and controller design is discussed . A simulation is carried out and the performance comparison with conventional methods such as Ziegler-Nichols method and engineering optimizing design method is made at last . Simulation results and implementation process verified its value on system implementation and system performance .

Key words : GAOT ; genetic algorithm ; PID ; parameter tuning