

文章编号 1004-6410 (2001) 04-0006-04

# 基于MATLAB 遗传算法工具箱的控制系统设计仿真

姜 阳<sup>1</sup>, 孔 峰<sup>2</sup>

(1. 广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 广西工学院电子信息与控制工程系, 广西 柳州 545006)

**摘 要:** 本文介绍了基于MATLAB 的遗传算法工具箱 (GAOT), 阐述了如何利用遗传算法工具箱结合SIMULINK 平台来实现控制系统的设计和仿真, 并给出利用遗传算法工具箱对PD 控制器进行参数整定的仿真实例。

**关 键 词:** MATLAB; 遗传算法 (GA); 控制系统仿真

**中图分类号:** TP273. 5

**文献标识码:** A

## 0 引言

遗传算法 (GA) 是一种成熟的具有极高鲁棒性和广泛适用性的全局优化方法。由于遗传算法不受问题性质 (如连续性、可微性) 限制, 能够处理传统优化算法难以解决的复杂问题, 因此它在控制系统优化方面具有巨大潜力。近年来, 遗传算法在控制领域的PD 控制、线性和非线性控制、最优控制、鲁棒性、自适应控制、滑模、模糊逻辑、神经网络、参数估计和系统辨识、模型线性化和控制器降阶、机器人手臂控制和轨迹规划等方面均得到了广泛的应用<sup>[1~2]</sup>。

MathWorks 公司推出的MATLAB 软件包集强大的数值计算、便捷的图形图像处理、友好的界面于一身, 现在已经开始成为控制领域不可缺少的工具。与此同时, 控制领域许多学者将自己擅长的控制手段用MATLAB 加以实现, 出现了诸多的MATLAB 工具箱, 如: 非线性控制工具箱、神经网络工具箱、模糊控制工具箱等等。本文将讨论利用MATLAB 遗传算法工具箱GAOT 实现控制系统设计和仿真的新方法。

## 1 遗传算法工具箱结构与功能

遗传算法工具箱GAOT 包括了许多实用的函数, 这些函数按照功能可以分为以下几类:

### 1.1 主界面函数

主程序ga.m 提供了遗传算法工具箱与外部的接口。在MATLAB 环境下, 执行ga 并设定相应的参数, 就可以完成优化。它的格式如下:

```
function [x, endPop, bPop, traceInfo] = ga (bounds, evalFN, evalOps, startPop, opts, ... temFN, temOps, selectFN, selectOps, xOverFNs, xOverOps, mutFNs, mutOps)
```

由于MATLAB 是以矩阵为基本运算单元, 因此它的每一个出口参数和入口参数均为矩阵。主程序ga.m 的出、入口参数组成是:

出口参数:

x: 找到的最优解, 包括染色体和适配度; endPop: 最终种群; bPop: 种群变化的记录; traceInfo: 记录每一代的最好适应度和平均适应度。

收稿日期: 2001-07-06

基金项目: 广西教育厅科研基金资助项目, 桂教科 (98) 1-61 号

作者简介: 姜阳 (1976-), 男, 陕西铜川人, 广西大学电气工程学院硕士研究生。

### 入口参数:

bounds: 变量上下界矩阵, 矩阵的行数确定变量个数; evalFN: 适应度函数; evalOps: 适应度函数参数; startPop: 初始种群; opts: 选项; temFN: 终止函数; temOps: 终止函数参数; selectFN: 选择函数; selectOps: 选择函数参数; xOverFN: 交叉函数; xOverOps: 交叉函数参数; mutFN: 变异函数; mutOps: 变异函数参数。

当输入参数有缺省时, 工具箱为 startPop 以后的参数设定了默认值。输出参数有缺省时, MATLAB 将先忽略后面的参数, 没有指定输出参数时, 将最优解赋给变量“ans”。

这类函数还包括两个初始化函数 initializega.m 和 initializeoga.m, 前者是二进制格式和浮点数格式的初始化函数, 后者是“有序数据”表示的初始化函数。

### 1.2 选择函数

遗传算法工具箱提供了三个选择函数 roulette.m, no mGeomSelect.m 和 tournSelect.m。roulette.m 是常用的轮盘赌法, no mGeomSelect.m 是基于归一化的优先选择法, tournSelect.m 则是竞争选择法。

### 1.3 演化函数

遗传算法的演化过程包括交叉和变异两部分, 因此演化函数也可以分为交叉和变异两类。依照数据类型又可以把演化函数分为二进制格式、浮点数格式和“有序数据”三类。例如: simpleXover.m 为二进制格式或浮点数格式的交叉函数; cyclicXover.m, linerXover.m, linerorderXover.m 等为“有序数据”的交叉函数; boundaryMutation.m, nonUniformMutation.m 等为浮点数格式的变异函数。

在优化过程中, 如果单一的演化函数不能满足需要, 那么可以将演化函数组合来使用。

### 1.4 其它

其它的一些函数包括终止函数、二进制表示函数、演示程序等等。

终止函数: maxGenTem.m 和 op tM axGenTem.m, 主程序 ga.m 用这两个终止函数来判断是否满足终止条件。

二进制表示函数: calcbits.m 用来计算遗传算法满足精度要求时, 染色体所需要的二进制位数。f2b.m 和 b2f.m 用来完成二进制数和浮点数之间的相互转换。

遗传算法工具箱还提供了演示程序。用户可以通过演示程序学习一维、多维空间上的寻优, 基于二进制数表示或基于浮点数表示的寻优, 以及利用遗传算法求解著名的旅行商问题。

## 2 设计与仿真

PD 控制是连续系统控制理论中十分成熟的一种控制方式, 它被广泛地应用在实际生产中。PD 控制经过近 80 年的发展, 已经有了众多的参数整定方法; 基于遗传算法的 PD 参数整定是对 PD 参数整定方法的一种重要补充和发展。这里针对文献<sup>[3]</sup>中的一个 PD 参数整定示例, 使用遗传算法工具箱结合 SMULNK 平台对系统的 PD 控制器进行设计与仿真, 以此来说明遗传算法工具箱在控制系统设计与仿真中的应用。

### 2.1 系统结构

SMULNK 是 MATLAB 软件包中一个非常成功的系统仿真工具, 它允许设计人员使用近似于画框图的方法定义系统。在本设计中, 首先利用 SMULNK 平台对控制系统的结构进行设计。基于遗传算法的 PD 控制系统在结构上类似于传统的 PD 控制系统, PD 控制系统在 SMULNK 平台上表示如图 1。控制对象的传

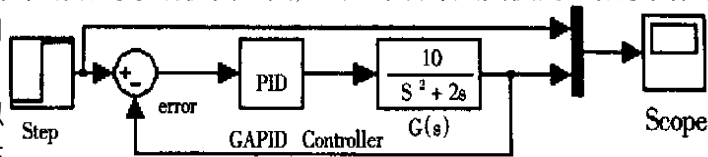


图1 控制系统结构图

递函数为  $G(s) = \frac{10}{s(s+2)}$

PID 算法采用 MATLAB 中给出的表达式  $G_C(s) = K_P + K_I \frac{1}{s} + K_D s$

其中  $K_P$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  分别为比例、积分和微分系数。

为了测试系统的性能, 在系统的输入端加入一个阶跃函数产生器, 输出端加入一个显示模块 Scope。闭

环系统的阶跃响应和阶跃输入被同时送到显示模块 Scope, 并以图形的方式加以显示。

## 2.2 遗传算法整定 PD 参数

应用遗传算法工具箱优化系统的主要步骤为以下几点:

### A) 制定优化指标

一个控制系统的优劣需要规定的优化指标来衡量。优化指标(即系统的目标函数)的选择可以是多种的, 例如:  $f = \int_0^+ |e(t)| dt$ ;  $f = \int_0^+ e^2(t) dt$ ;  $f = \int_0^+ te^2(t) dt$ ; 等等。式中  $e(t)$  是误差信号, 为方便起见, 可设为阶跃函数输入信号和系统输出信号的差。不同的优化指标表示对系统的要求不同, 选择的优化指标不一样, 最终得到的结果也不一样。就优化指标  $f = \int_0^+ e^2(t) dt$ ;  $f = \int_0^+ te^2(t) dt$  相比较而言, 相同误差量越向时间轴正方向推移, 对指标  $f = \int_0^+ te^2(t) dt$  带来的影响就越大。因此, 如果要求系统快速收敛, 采用指标  $f = \int_0^+ te^2(t) dt$  要好于指标  $f = \int_0^+ e^2(t) dt$ 。在控制系统设计中, 因为控制性能指标通常不是求目标函数的最大值, 所以还需要对目标函数作适当的变换。变换的方法很多, 如: 取倒数、仿模拟退火过程等。

### B) 染色体编码

遗传算法工具箱中的染色体编码可以选择二进制编码或浮点数编码。同样的问题常常可以使用不同的编码, 但是不同的编码对编程的方便性和程序运行效率的影响是不同的。在这个设计中, 考虑到后面适应度函数编程的方便性, 对  $K_P, K_I, K_D$  选择浮点数编码。程序中具体实现时, 只需要将 ga.m 的参数 opts 的第二个矩阵元素设为 1 即可。

### C) 适应度函数的编程实现。

遗传算法在搜索进化过程中一般不需要其他外部信息, 仅用适应度来评价个体的优劣, 并以此作为遗传操作的依据。在利用遗传算法工具箱进行控制系统设计时, 适应度函数用来定义要解决的优化问题, 因所以说适应度函数的实现是整个优化过程最重要的一步。对适应度函数的编程使用 MATLAB 语言, 并以 M 文件的形式保存, 文件名将作为 ga.m 的 evalFN 参数的实参。

下面以 PD 控制系统为例说明适应度函数的实现方法:

```
function [arg, value] = PDSysEval ( arg )
% 适应度函数名为 PDSysEval
% 函数有一个入口参数 arg, 即染色体个体; 两个出口参数, 染色体和对应的适应度。
sys = PDSys ( arg (1), arg (2), arg (3) );           % 计算系统的闭环传递函数
% 其中 arg (1), arg (2), arg (3) 分别是染色体中分离出的  $K_P, K_I, K_D$ 
[y, t, x] = step (sys);                               % 计算阶跃响应
delta = (y-1) .* (y-1) .* t;                          % 计算  $te^2(t)$ 
value = - trapz ( t, delta );                          % 对  $te^2(t)$  求数值积分
```

### D) 选取演化函数

依据优化问题的性质选取演化函数。以交叉函数为例: simpleXover 函数是简单的单点交叉, 适用于一些普通问题; arithXover 函数是基于数学的交叉方法, 对一些浮点数运算非常有效。如果单一的演化函数不能满足需要, 遗传算法工具箱还允许将几个演化函数组合起来使用。

### E) 初始化种群

由于遗传算法的群体型操作需要, 所以必须为遗传操作准备一个由若干初始解组成的初始群体。初始化可以使用工具箱提供的初始化函数 initializega.m 或 initializeoga.m, 也可以通过编程来实现较特殊的方法。初始化过程除了需要明确群体的大小, 产生初始数据串之外, 还要求出每一个个体的适应度。主程序 ga 以初始群体作为初始点开始迭代。

### F) 调用 ga 函数完成优化

调用 ga 函数之前, 还要依照 ga 函数入口参数的格式和实际问题的需要进行设置一些参数, 如: evalOps (适应度函数参数)、演化函数参数 (变异率等) 以及在 opts 中定义运算精度等等。

完成了以上的步骤之后, 调用 `ga` 函数完成优化过程。

### G) 控制系统仿真

将通过优化得到的参数代入 `PD` 控制器中, 使用 `SMULNK` 进行系统仿真, 检测结果。

## 2.3 仿真结果

作为比较, 首先对文献<sup>[3]</sup>中使用 Ziegler- Nichols 法得到的一组参数 ( $K_P = 1.0468, K_I = 1.2836, K_D = 0.2134$ ) 在 `SMULNK` 平台上进行仿真, 系统的阶跃响应如图 2 所示。接着利用遗传算法工具箱计算 `PD` 参数。计算中选取的种群大小为 20。浮点数计算精度为  $10^{-6}$ 。演化函数均取组合型函数, 具体如下: 交叉函数为 `arithXover`, `heuristicXover`, `simpleXover`; 变异函数为 `boundaryMutation`, `multiNonUniformMutation`, `nonUniformMutation`, `uniMutation`。适应度函数为  $f = \int_0^+ e^2(t) dt$ 。在繁殖 50 代之后, 求得 `PD` 参数为  $K_P = 1.78, K_I = 0.128, K_D = 1.0$ , 系统的阶跃响应如图 3 所示。

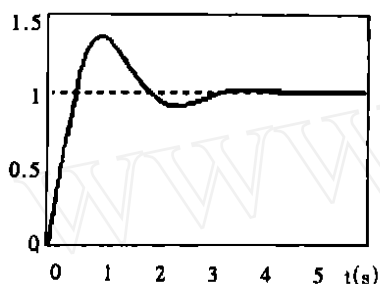


图 2 Ziegler-Nichols 法得到的阶跃响应

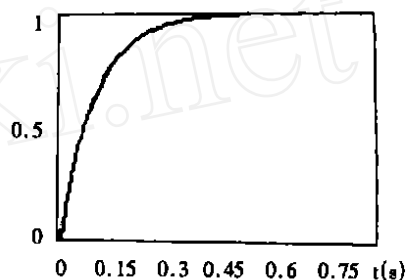


图 3 GA 得到的阶跃响应

以上仿真结果表明: `PD` 控制器使用遗传算法工具箱计算得到的参数后, 系统特性对于优化指标  $f = \int_0^+ e^2(t) dt$  有较大改善, 系统没有产生超调, 大大减少了调节时间。而且由于引入了遗传算法, 参数调试的方便性比传统方法有较大提高。

## 3 结束语

利用 `MATLAB` 的遗传算法工具箱 `GAOT` 对控制系统进行设计和仿真, 可以方便灵活地选择编码方式、计算精度和种群大小, 适应度函数的编程也十分简单。在遗传进化中, 有多种策略可供选择、组合, 可便捷地制定新策略。在 `SMULNK` 平台上, 遗传算法工具箱还可以与其它先进控制方法如模糊控制、人工神经网络等结合, 以实现更复杂和更有效的控制手段。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] C.R.Houck, J.Joines and M.Kay. A genetic algorithm for function optimization: A Matlab implementation. ACM Transactions on Mathematical Software, 1996.
- [2] 杨智民, 王 旭, 庄显义. 遗传算法在自动控制领域的应用综述 [J]. 信息与控制, 2000, 8 (4): 329-339.
- [3] 魏克新, 王云亮, 陈志敏. MATLAB 语言与自动控制系统设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 8.

## The design and simulation of the control system based on the MATLAB genetic algorithm toolbox

JIANG Yang<sup>1</sup>; KONG Feng<sup>2</sup>

(1. Electric Engineering College, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Dept. of Electronic Information and Control Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)

**Abstract:** In this paper we introduced a MATLAB-based genetic algorithm toolbox, and discussed the realization of the design and simulation of the control system by using the genetic algorithm (GA) toolbox combining with `SMULNK`, and offered a simulation example of applying the GA toolbox to the determining of the parameter of `PD` controller.

**Key words:** MATLAB; genetic algorithm (GA); control system simulation