

文章编号: 1002-0411(2003)06-0561-03

基于递阶遗传算法的模糊控制系统的模糊集优化研究

郭西进, 周 勇, 巩敦卫

(中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 由于模糊系统的输入、输出变量模糊集中模糊集的多少直接影响到模糊规则集的完备程度, 并决定着控制系统的性能, 所以本文提出了一种基于递阶遗传算法的模糊控制系统的模糊集优化方法, 同时对模糊集的个数和形状进行优化, 使其能尽量完美地反映系统输入、输出变量, 减少了规则的冗余。对二阶动态系统的仿真研究证明了该方法的有效性。*

关键词: 递阶遗传算法; 模糊控制; 隶属度函数; 模糊集

中图分类号: TP13

文献标识码: B

STUDY ON OPTIMIZATION OF FUZZY SETS OF FUZZY CONTROL SYSTEM BASED ON HIERARCHICAL GENETIC ALGORITHMS

GUO Xi-jin, ZHOU Yong, GONG Dun-wei

(College of Information & Electrical Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Because the number of the fuzzy sets in input and output variable fields directly affects the completeness of fuzzy rules and decides the performance of control system, an approach for optimizing fuzzy sets based on hierarchical genetic algorithms is proposed in this paper, which optimizes the number and shape of fuzzy sets in fields simultaneously, makes fuzzy sets distribution orderly and reduces rules redundancy. The simulation results of second ordered system show that the approach presented is effective.

Keywords: hierarchical genetic algorithm; fuzzy control; membership function; fuzzy sets

1 引言 (Introduction)

模糊控制是一种基于规则的控制^[1], 它直接采用语言型控制规则, 其依据是现场操作人员的控制经验或相关专家知识, 在设计中不需要建立被控对象的精确数学模型, 因而使得控制机理和策略容易接受和理解, 具有设计简单、便于应用的优点。但是模糊控制器的性能在很大程度上取决于模糊控制规则的选取及其可调整性。能否引入一种可调参数对控制规则进行调整, 以便于不同的被控对象都能获得满意的控制效果, 这就提出了一类控制规则可调整的模糊控制器的设计问题。

许多学者采用不同的方法对控制规则进行调整, 提出了自组织模糊控制^[2]、参数自整定模糊控制^[3]、模型参考自适应模糊控制^[4]等方法。文献[5]以 RBF 神经网络对模糊控制规则进行学习和优化, 且神经网络的权值参数分别表示隶属度函数的位置和形状, 并给出了 RBF 神经网络与 T-S 模糊推理规

则存在函数等效性的条件, 要求 T-S 模型的每条 IF-THEN 规则的输出为常数, 即把 T-S 模型的后件条件简化为常数, 失去了 T-S 模型本身的特点。所以, 该方法虽然实现了模糊控制规则的可学习性和可训练性, 但是由于其函数等效性的条件十分严格, 使该方法失去了一般性的意义。70 年代以来, 随着遗传算法理论的进一步发展, 学者们把遗传算法的思想引入到模糊控制器的优化之中, 并实现了模糊规则的优化。把模糊集的隶属度函数的位置和形状作为优化的目标, 通过遗传操作, 取得了适合于模糊变量的隶属度函数。但是, 该方法仅能优化隶属度的位置和形状, 无法选择模糊集的数量。而输入、输出变量模糊集的多少直接影响到模糊规则集的完备程度。模糊集个数较多时能够确保其较好地覆盖论域范围, 避免失控现象。但是, 随着输入、输出变量模糊集的增多, 则会出现模糊规则的爆炸式增长, 控制器的计算量激增, 使控制系统的快速性降低, 甚至瘫痪。这

就要求模糊控制系统的模糊集的个数恰好能表征输入、输出的语义变量,且能覆盖整个论域范围。

对于以上的问题,本文提出了一种基于递阶遗传算法的模糊控制系统的模糊集优化方法,避免了文献[1]中对系统的严格要求,并具有一般性;同时对模糊集的个数进行优化,使其能尽量完美地反映系统输入、输出变量,减少规则的冗余。

2 基于递阶遗传算法的模糊控制系统的模糊集优化 (Optimization of fuzzy sets of fuzzy control system based on hierarchical genetic algorithms)

2.1 递阶遗传算法

递阶遗传算法是基于以下事实提出的^[6]:在生物学领域,染色体的结构是一系列基因按层次排列而成的,一些基因控制着另一些基因,有些基因可能处于激活状态,而另一些基因可能处于休眠状态。染色体可表示为包括控制基因和参数基因的递阶结构,参数基因处于最低级,控制基因处于上级,下级基因受上级基因的控制。在基因编码时,控制基因常采用二进制编码,“1”表示对应的基因处于激活状态,而与该基因联系的低级基因串则处于有效状态;“0”表示对应的基因处于休眠状态,与该基因联系的低级基因串则处于无效状态。

递阶遗传算法的效果和传统的遗传算法不同,经过遗传操作,不仅改变了控制基因的结构,而且与之相联系参数基因的结构也发生相应的改变。因此,把递阶遗传算法应用于模糊控制系统的模糊集的优化,不但优化了参数,而且可改变模糊集的数量,优化其拓扑结构。

2.2 染色体的基因结构

由于优化的目标是模糊控制系统的模糊集的个数,即隶属度函数在论域上的空间分布问题,所以我们首先确定隶属度函数的形状。为了能恰当表达论域空间分布,取隶属度函数为 Gauss 型函数,其相应参数为中心点和宽度。因此,每一个模糊集可由两个参数基因表示,即分别表示中心点和宽度值。本文的参数基因采用实数编码,具体结构如图 1 所示。

模糊集的个数由控制基因决定。控制基因为二进制编码,每一个二进制编码位对应一个参数基因,当二进制编码为“1”时,表示模糊控制系统取该基因的参数作为其中一个模糊集;当二进制编码为“0”时,表示模糊控制系统不取该基因的参数作为其中一个模糊集。

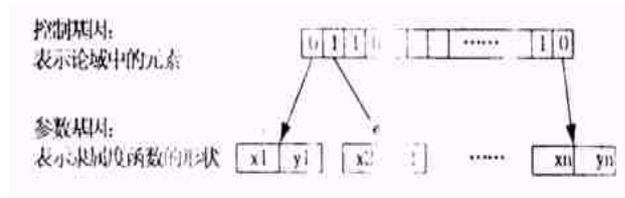


图 1 染色体编码结构

Fig.1 The coding structure of chromosome

其中 x_1, x_2, \dots, x_n 表示隶属度函数的中心点位置, y_1, y_2, \dots, y_n 表示隶属度函数的宽度。

2.3 适应度函数

为了评价模糊控制系统的动态和静态特性,如超调量、相应时间、调整时间和稳态误差等,在用递阶遗传算法对模糊控制系统的模糊集进行优化的过程中取如下的目标函数:

$$J = \sum_{k=0}^{K_d} k \Delta T | e(k \Delta T) | \Delta T \quad (1)$$

其中 ΔT 为采样时间, K_d 为一给定的常数。个体的适应度函数为:

$$f_j = \sum_{i=1}^N J_i / J_j \quad (2)$$

其中 J_i 为第 j 个个体的目标函数, N 为种群规模。

2.4 遗传操作算子

遗传操作的算子包括选择复制、交叉和变异,它们分别模仿了自然界生物繁衍、交配和基因突变。选择复制算子根据种群中染色体适应度值的不同来分配繁殖机会,适应度高的个体进入子代的机会就多,而适应度低的个体繁殖复制受到抑制,甚至被淘汰。本文采用轮赌法作为复制算子。

交叉和变异是遗传过程中基因淘汰适应度低的个体,产生新的子代的方法。交叉算子根据交叉率 P_c 将种群中的两个个体随机地变换某些基因,能够产生新的基因组合,作为下一代种群进行遗传操作。染色体为二进制编码时,采用单点交叉。染色体为实数编码时,采用算术交叉。假设参加交叉的两个基因分别为 x_i, x_j , 算术交叉后两个基因值分别为:

$$\begin{aligned} x_i' &= \alpha x_i + (1 - \alpha) x_j \\ x_j' &= \alpha x_j + (1 - \alpha) x_i \end{aligned}$$

变异算子根据一定的变异概论,在染色体上随机选择一位基因,然后改变该基因的特征。染色体编码为实数时,则采用高斯变异,即根据变异概率在基因上加上一个正态分布的随机数。

2.5 算法步骤

算法的实现步骤为:

(1) 确定种群规模 N , 系统的编码方案为: 控制基因和参数基因分别编为一个码串, 根据实际问题的需要, 界定两种基因及控制规则. 一般控制基因为二进制编码, 参数基因为实数编码. 解码方案为: 显性基因直接进行解码, 隐性基因解码后值为 0. 给定交叉概率. 算法终止条件是进化代数 t 等于进化终止代数 T .

(2) 取 $t = 0$, 随机产生初始种群 $X(0)$.

(3) 计算种群 $X(t)$ 中个体 $X_i(t)$ 的适应度 $f(X_i(t))$, $i = 1, 2, \dots, N$, 根据个体的适应度按比例选择 N 个母体.

(4) 对选中的 N 个母体中的二进制编码部分采用单点交叉, 非均匀变异, 实数编码部分采用算术交叉和高斯变异.

(5) 若 $t = T$, 则进化终止, 输出优化结果, 否则, 令 $t = t + 1$, 转到步骤 (3).

3 仿真 (Simulation)

本文的系统仿真采用如图 2 所示的模糊控制系统, 模糊控制器的输入变量分别为误差 e 和误差的导数 \dot{e} , 输出变量为控制量 u , 被控对象为如下的二阶系统:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)} \quad (3)$$

通过本文提出的递阶遗传算法来优化 e , \dot{e} 和 u 的论域中模糊集的个数和隶属度函数的形状, 并比较优化前后系统的响应曲线.

在计算过程中, 种群规模取 $N = 40$, 控制基因取 21 位, 采用二进制编码, 其中 1 至 7 位的控制基因分别对应误差的论域中的 7 个模糊集, 8 至 14 位控制基因分别对应误差的导数 \dot{e} 的论域中的 7 个模糊集, 15 至 21 位的控制基因分别对应输出的论域中的 7 个模糊集. 如图 1 所示, 每一个控制基因对应两个参数基因 x_i, y_i , 分别表示模糊集的隶属度函数的位置 x_i 和宽度 y_i , 所以参数基因取 42 位, 采用实数编码. 当参数基因对应的控制基因位为“1”时, 则在解码时取该隶属度函数作为相应变量的一个模糊集, 带入系统, 用式 (2) 计算该个体的适应度函数. 进化终止代数 $T = 200$, 交叉概率 $P_c = 0.95$, 变异概率 $P_m = 0.01$.

优化后系统的输入、输出变量 e, \dot{e} 和 u 的模糊集的个数分别为 6, 4, 5. 系统优化前后的响应曲线

如图 3 所示. 由运行结果可知, 本文提出的算法同时对模糊控制系统的模糊集的个数和隶属度函数进行优化, 使其恰好地反映了系统的输入、输出变量在论域中的分布, 减少了规则的冗余, 因而本文提出的算法是较优的.

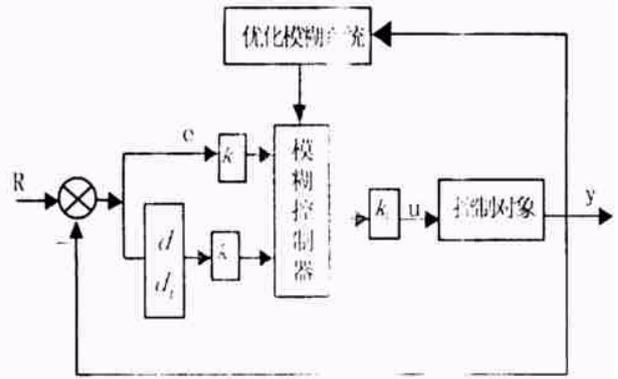


图 2 模糊控制系统模型

Fig. 2 The model of fuzzy control system

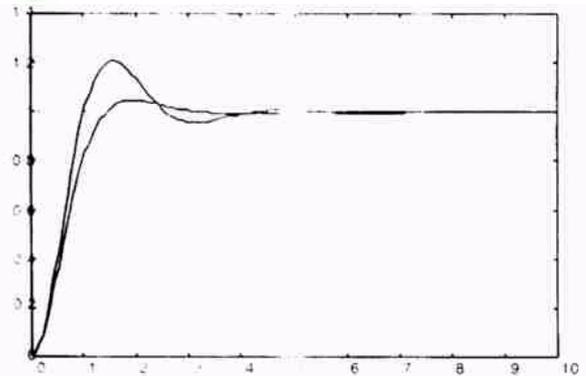


图 3 输出响应曲线

Fig. 3 The curve of output response

4 结束语 (Conclusion)

由于模糊系统的输入、输出变量模糊集中模糊集的多少直接影响到模糊规则集的完备程度, 并决定着控制系统的性能, 所以本文提出了一种基于递阶遗传算法的模糊控制系统的模糊集优化方法, 同时对模糊集的个数和形状进行优化, 使其能尽量完美地反映系统输入、输出变量, 减少了规则的冗余. 对二阶动态系统的仿真研究证明了该方法的有效性.

(下转第 573 页)