

一种基于遗传算法的新的模糊控制器优化方法^{*}

肖磊, 张阿卜

(厦门大学 自动化系, 福建 厦门 361005)

摘要:通过分析对模糊控制器优化的原理,提出一种新的优化设计方法,通过引入等比因子,实现用三个参数调整输入、输出语言变量的隶属函数,再通过遗传算法寻优包括量化和比例因子在内的这些参数,使得性能指标最大,从而使设计出的模糊控制器性能更优。仿真结果表明,本文方法简单,有效。

关键词:模糊控制器; 模糊控制; 遗传算法; 等比因子

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7241(2005)10-0001-03

A New GA - Based Optimization Method for Fuzzy Controller Design

XIAO Lei, ZHANG A - bu

(Department of Automation Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A new optimization method for fuzzy controller design is proposed. The membership functions of input and output variables are defined by three parameters, called geometric proportional factors, adding with the scaling factors, which are adjusted to maximize the performance index by using the Genetic Algorithm. Therefore the fuzzy controller is designed to be more capability. The simulation result shows that this optimization method is simple and effective.

Key words: Fuzzy logic controller; Fuzzy logic; Genetic algorithm; Geometric proportional factors

1 引言

模糊控制器设计的关键是模糊控制规则和输入输出隶属函数,它们一般是由熟练操作人员或专家的经验总结设计而来的。然而,不同专家的经验不完全一致,设计出的模糊控制规则也不能保证与专家经验完全符合,对隶属函数的设计则完全依赖于设计者的经验,因此,这样设计出的模糊控制器不能保证在实际应用中达到满意的控制效果,有必要对其进行优化。目前已有多种对模糊控制器的优化方法,主要有两种:一是对模糊控制规则进行优化^[1];二是对输入输出量化比例因子作优化^[2]。因为模糊控制器的效能同时与控制规则、输入输出的隶属函数等因素有关,单独对某个因素优化而不考虑其他因素的作用,显然不能得到最优的结果,但是全部优化涉及的参数非常多,优化难度很大,目前还没有非常理想的优化方法。本文在对优化原

理分析的基础上,提出一种有效的应用遗传算法的优化方法。

2 优化原理分析

为了说明问题方便,现以一个单输入、单输出的模糊控制器为例,来分析其优化原理。假设输入为偏差,输出为控制量,都分为5个量化等级,记为:负大,负小,零,正小,正大。隶属函数形状取作三角形,如图1所示,这里隶属函数的取法没有按一般的先将精确值乘以量化比例因子,而是直接给出其隶属函数,控制规则如表1。反模糊化采用重心法。这样构成一个模糊控制器,其输入与输出的关系曲线如图2中折线ABCD。曲线上A, B, C, D四点的位置由输入、输出隶属函数的量化值 a, b, c, d 以及模糊控制规则决定, A, B, C, D之间曲线的形状是由隶属函数形状决定的。此例中隶属函数的形状为三角形,所以输入与输出的关系为分段直线,如果采用其它的隶属函数的形状如高斯形、钟形等,则A, B, C, D之间为某种形状的曲线。从这里可以看出隶属函数的形状对控制效果影响不大,输入与输出

^{*}基金项目:福建省自然科学基金计划资助项目(A0410005)

收稿日期:2005-05-30

的量化值即 a, b, c, d , 与模糊控制规则是决定模糊控制器性能的主要因素。

表 1 模糊控制规则

输入	负大	负小	零	正小	正大
输出	正大	正小	零	负小	负大

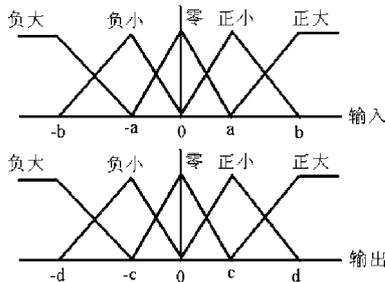


图 1 输入、输出隶属函数

假设输入与输出的最优关系为图 2 中的曲线 S , 则优化的目的就是要输入与输出曲线尽量接近 S 。如果 A, B, C, D 等点越接近 S , 则曲线整体越接近 S 。对于 B 点来说, 有两种方式接近曲线 S , 一种是沿 BB_1 , 另一种沿 BB_2 。保持输入、输出的隶属函数不变, 优化模糊控制规则就是使 B 接近 B_1 。这种优化方法首先要求对隶属函数的量化要合理, 尤其是输入的取值要适当, 如 b 值过小, 当偏差较大时控制器达不到最优输出; 其次, 对模糊控制规则的优化比较困难, 基本的两输入、单输出模糊控制器一般有几十条控制规则, 目前常用[3]中提出的方法, 通过一个或几个参数调整模糊规则。这种方法只能实现一定程度的优化, 并且模糊控制规则是专家经验的体现, 而隶属函数由设计者给出, 相比之下隶属函数更可能存在缺陷, 通过调整控制规则来弥补隶属函数的不足, 使得优化的结果可能已违背了专家的本意, 这是这种方法的不足之处。

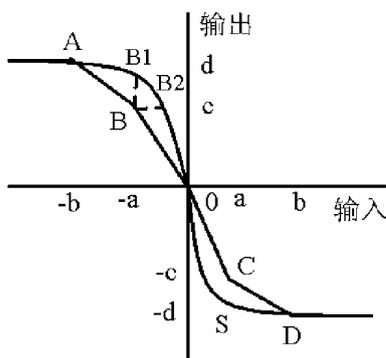


图 2 输入输出关系曲线

另一类优化方法是保持模糊控制规则不变, 优化输入、输出的隶属函数。优化输入的量化值就是使 B 沿 BB_2 接近 S , 优化输出的量化值就是使 B 沿 BB_1 接近 S , 文献[2]的方法是通过调整量化比例因子实现优化的, 这实际也就是优化输入、输出隶属函数。如减小输入量化因子, 在图 2 中相当于增大 a, b 值, 使得 A, B 点左移, C, D 右移, 结果使得输入输出曲线整体斜率增大; 反之, 如增大输入量化因子, 将使得输入输出曲线斜率减小。

对于输出也是同样的道理。这种优化的缺点是对 a, b 或 c, d 的量化值只能同时增大或者减小, 如图 2 中 B 点离 S 较远, 若增大输入的量化因子使 B 向右移动, 则 A 也同时向右移动, 且移动的幅度大于 B 。

3 一种新的优化方法

本文采用的方法仍然是在专家规则的基础上对量化比例因子和隶属函数进行优化, 不过, 它是一种不同于一般的调整量化值的方法。

假定某语言变量的语言值有 11 档, 这里用数字表示:

(-5, 4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5)。

图 3 给出了三种不同的隶属函数形式, 它们的论域相同, 而疏密程度不同。如果把论域 E_{max} 内量化值用 a, b, c, d, e 表示, 如图 3(a), 并认为序列 a, b, c, d, e 成等比关系, 比值为 r , 并将 r 称为等比因子, 由 r 来调整隶属函数的量化值。 $r=1$ 对应图 3(a) 均匀分布的隶属函数形式; $r>1$ 时隶属函数在中心较密集, 两侧较稀疏, 如图 3(b), $r=1.3$; $r<1$ 时则相反, 如图 3(c), $r=0.8$; 这样, 只通过调整一个等比因子 r , 就可以得到不同形式的隶属函数。那么, 用等比因子改变隶属函数的量化值对改善输入输出关系有没有效果呢? 在图 2 中, 假设输出的量化值 c, d 按此方法由 r 调整, r 增大时 c 减小, 使 B 点向下移动, 如 r 减小, 则 c 增大, 使得 B 点向上移动, 在此过程中 d 点保持不变, 所以 A 点的位置也不会变。可见, 这种关系同样可以调整输入输出曲线的形状, 使其更接近最优曲线 S 。

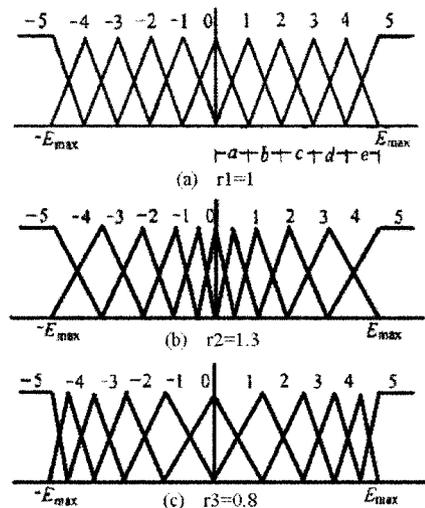


图 3 三种不同的隶属函数形式

现在以两输入 - 单输出的典型模糊控制器为例来说明本文优化方法。

假定输入的偏差和偏差变化率和输出的控制量, 他们的论域分别为: $(-E, E), (-Ec, Ec), (-U, U)$ 。分别用量化和比例因子 ke, kd, ku 来调整他们的隶属函数论域; 对偏差、偏差变化率和输出控制量采用等比因子 k_1, k_2, k_3 调整其隶属函数。这样既优化了重要的量化比例因子, 又优化了输入输出隶属函

数。通过优化这6个参数来达到优化模糊控制器的目的。本文采用遗传算法来优化这6个参数。

4 遗传算法的优化方法

遗传算法是一种高效的全局搜索算法。它首先对问题的可行解进行编码,组成染色体,然后通过模拟自然界的进化过程,对初始种群中的染色体进行选择、交叉和变异,通过一代代进化来找出最优适应值的染色体来解决问题。遗传算法具有很强的全局搜索能力和较强的自适应性,适合解决连续变量函数优化问题和离散变量的优化组合问题。

正因为遗传算法的全局寻优特点,遗传算法早已被用来优化模糊控制器,并且取得了一定的效果。不过,模糊控制器的参数很多,如果对所有参数都用遗传算法寻优,那么解空间将相当大,很容易陷入局部最优,这样优化的模糊控制器并不理想。所以一般应用遗传算法的研究者为了保证遗传算法的效果,通常只选取少数参数来寻优,要么只优化量化比例因子;要么只优化隶属函数参数。这样的优化效果仍旧改善不多。本文采用遗传算法优化上一节所述的5个参数,使模糊控制器的优化更加合理。

遗传算法的关键是编码方式和适应值函数的选取,为了减小解空间的维数,本文采用实数编码。对于适应值函数的选取,

经过文献[3]研究发现,函数 $J(ITAE) = \int_0^T |e(t)| dt = \min$ 能够总体评价控制系统的动态和静态性能,如响应快,调节时间短,超调量和稳态误差小等。为了便于计算机实现,我们采用它的离散形式: $J(ITAE) = \sum_{k=1}^N |e(k)| T$, (其中 T 为采样时间, N 为采样点数)。遗传算法的优化方向是适应值增加的方向,所以我们取倒数,即用函数 $F = 1/J$ 作为适应值函数。

设定遗传算法的初始种群为80,复制概率为0.95,杂交概率为0.75,变异概率为0.2。下面通过两个实例说明新优化策略的有效性。

5 两个仿真实例

(1) 对象传递函数为

$$H(s) = \frac{2}{s^2 + 4s + 3}$$

的二阶线性过程。

取采样周期 $T=0.01$,模糊控制器输入为偏差 e 与偏差变化率 \dot{e} ,输出为控制量 u ,它们的论域都为 $[-6,6]$,输入输出语言变量都分为七档,隶属函数采用第三节所述的隶属函数,控制规则采用文献[4]的专家规则,用遗传算法对量化比例因子 ke , kd , ku 和等比因子 k_1, k_2, k_3 进行寻优,设定值为1.5,仿真实践为500个采样周期,遗传算法优化结果为 $ke = 59.079$, $kd = 1.076$, $ku = 43.466$, $k_1 = 1.0201$, $k_2 = 1.1127$, $k_3 = 1.1054$,最优目标函数值为 $F = 0.1301$ 。其输入输出曲线如图所示:

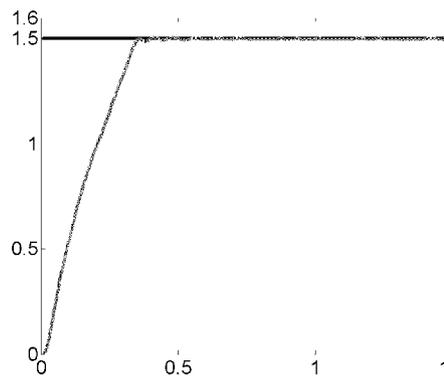


图4 二阶对象的输出曲线

(2) 非线性过程

$$\dot{y} = y(t) + \sqrt{y(t)} + u(t)$$

取采样周期 $T=0.01$,模糊控制器输入为偏差 e 与偏差变化率 \dot{e} ,输出为控制量 u ,它们的论域都为 $[-6,6]$,输入输出语言变量都分为七档,隶属函数采用第三节所述的隶属函数,控制规则采用文献[4]的专家规则,用遗传算法对量化比例因子 ke , kd , ku 和等比因子 k_1, k_2, k_3 进行寻优,设定值为1.5,仿真实践为1000个采样周期,遗传算法优化结果为 $ke = 1370.7$, $kd = 1.2$, $ku = 1$, $k_1 = 1.02$, $k_2 = 0.0244$, $k_3 = 0.3199$,最优目标函数值为 $F = 0.0541$ 。其输入输出曲线如图所示:

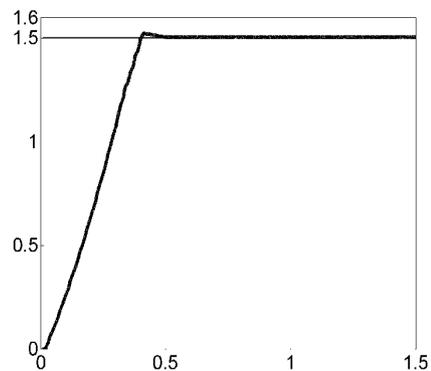


图5 非线性对象的输出曲线

6 结论

由以上两个模糊控制器优化实例的输入输出曲线可以看到,新的采用遗传算法的优化方法是有效的,不论是线性还是非线性过程,都达到了满意的控制效果。

7 参考文献:

- [1] 张晓绩,戴冠中,徐乃平. 遗传算法在抽取和过滤模糊控制规则中的应用研究[J]. 控制理论与应用, 1998, 3(15): 379 - 384
- [2] 马长华,朱伟新. 比例因子对模糊控制器动态性能的影响[J]. 江苏理工大学学报, 2000, 21(5): 87 - 90
- [3] 王日宏. 用GA寻优线性系统模糊控制器规则[J]. 计算机仿真, 2004, 6(21): 113 - 114
- [4] 李士勇. 模糊控制. 神经控制和智能控制理论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996

作者简介:肖磊(1979-),男,湖北十堰人,硕士研究生,主要从事模糊控制和智能控制方面的研究。