

模糊遗传算法及其应用研究

王兴成 郑紫微 贾欣乐

(大连海事大学轮机工程研究所, 辽宁大连 116026)

摘 要: 针对多目标遗传算法化的特点, 基于模糊集理论, 提出模糊遗传算法的概念及其算法结构。将系统设计的要求转化为模糊遗传算法的约束条件, 利用模糊遗传算法对其进行优化设计。具体的设计示例说明了该算法的有效性。

关键词: 遗传算法; 模糊优化; 模糊遗传算法

中图分类号: TP13 **文献标识码:** A

1 引 言

在工程科学中, 存在着很多困难的组合优化问题和复杂的函数优化问题。这些问题大多是非线性的、有些甚至是不连续的。对这些问题, 常规的数学优化技术仅能对问题作简化的近似处理, 而无法有效地求解。由于遗传算法只要求所要解决的问题是可计算的, 而无可微性及其它要求, 所以, 它的适用范围很广。大量的应用结果已经证明了遗传算法极强的计算能力。经过多年的发展, 遗传算法已经成为一种实际可行、鲁棒性强的优化技术和搜索方法, 并且遗传算法在诸多领域中都得到了广泛的应用^[1]。在遗传算法的应用过程中, 通常需要解决如下三个方面的问题: 参数控制(*Parameter Control*); 过早收敛(*Permature Convergence*); 误导性问题(*Deceptive Problem*)^{[2][3]}。对于上面三个方面的问题, 至今仍未得到较好的解决。模糊性是人类思维和客观事物普遍具有的属性之一, 模糊优化设计思想自从其被提出以来, 已经得到了较快的发展和实际应用。针对遗传算法和模糊优化各自的特点, 本文提出了一种融合模糊优化设计思想的模糊遗传算法(*Fuzzy Genetic Algorithm*, 简称 *Fuzzy GA*)。文中定义了模糊遗传算法的概念, 给出了模糊遗传算法的算法结构, 并用实际系统的示例说明了该方法有的效性。

2 模糊遗传算法

2.1 多目标遗传算法优化

利用遗传算法进行多个目标同时优化的系统设计往往会加大其优化的难度。针对多目标优化, 采取适当的选择方法和设计性能优良的遗传算子也就格外重要, 因为它直接影响到遗传算法优化的效果。在进行多目标遗传算法优化设计时, 往往都是将系统的设计要求转化为遗传算法优化的约束条件及优化的目标函数, 以使得容易进行编程设计。由格式定理和遗传算法的

收稿日期: 2000—02—03

基金项目: 国家教委博士点专项科研基金资助项目(98015101); 国家自然科学基金国际合作资助项目(6981010032)

作者简介: 王兴成, (1956—), 男, 教授, 研究方向: 分布参数 H 控制; 郑紫微, (1975—), 男, 研究生, 研究方向: 混合智能控制, H 控制; 贾欣乐, (1932—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 船舶运动控制。

计算过程^[1]可知,通过选择和交叉,使得一些性能良好的格式在后续的解群的数字串中大量繁殖,并在某些数字串中使高质量的格式得以组合,从而使之能够得到高质量的数字串。交叉可以使好的格式得以组合,从而得到好的解,这也是遗传算法区别于其它一些模拟进化优化方法的一个主要标志。变异可以使在运算过程中丢弃的某位重要数字予以恢复。所以,交叉率、变异率及遗传算法种群的大小等参数都会影响遗传算法优化的效果。

在遗传(特别是有约束条件的遗传算法)应用中,往往要事先根据情况给定所要求的约束条件,而这些条件如果一开始就规定得特别准确,例如,给定定值,将不利于遗传算法的子代繁殖。一方面,有些具有某种特征子代可能由于一开始就由于没有满足设计者的约束条件而被开除出局;这样一来,将不能保证所繁殖的子代就是较好的子代。另一方面,在进行各种工程实际设计时,人们往往并不能很贴切的就事先知道其准确的约束条件,而仅能知道大概的约束条件,也即仅能知道一些模糊的概念。这就启发了我们在应用遗传算法进行优化设计时,引入模糊概念及其设计思想,以期能够得到好的设计效果。

2.2 模糊遗传算法的定义

模糊遗传算法,即融合模糊优化设计思想的遗传算法。它把模糊优化和遗传算法优化结合起来,构成一种混合优化的设计方法,其目的是利用模糊优化设计的优点,克服一般遗传算法优化设计存在的不足,从而使得系统的优化设计更灵活、方便。取得好的设计效果。

首先,在 *Fuzzy_GA* 中引入“领域”(Domain)的概念。在这里,“领域”即指用隶属函数来表示遗传算法的优化过程中所采用的约束条件的区间范围。用隶属函数来表示遗传算法的约束条件,以使约束条件能够得到更容易地表达,又能够保证遗传子代的选择中能够拥有更广泛的群体组成。另外,在 *Fuzzy_GA* 中,采用权变理论(*Contingency Theory*, 亦称灵活理论)中以变应变的思想。具体包括采取以下措施:

(1) 模糊选取种群规模

对于不同的对象,我们通常事先无法知道多大的种群规模才是合适的,因而,往往需要进行大量的试验。这不仅需要试验者拥有相当丰富的经验,而且也很消耗时间,从而,也就不利于工程师们的实际应用。为了便于应用,在 *Fuzzy_GA* 中,采用模糊的概念来选取种群的大小,以求能够借助计算机的力量来选取种群规模,达到合理选取种群的目的。

(2) 模糊动态调节交叉率和变异率

由积木假设可知,通过不断抽取、搭配拟合度高而长度较短的模式(基因片断)可得到高拟合度的个体。遗传算法的收敛速度与交叉率 P_c 和变异率 P_m 有关。如果选择得不合适,就会使得算法无法找到全局最优解。而传统的 *GA* 一般选择固定的 P_c 和 P_m , 此种选择方法已被证明在很多情况下是不理想的^[4]。所以,在 *Fuzzy_GA* 中,我们根据模糊选取的种群规模大小来动态改变遗传算法的交叉率和变异率,具体为:当种群规模较大时,采用较小的变异率 P_m , 而却采用较大的交叉率 P_c ; 当种群规模较小时,采用较大的变异率 P_m , 而采用较小的交叉率 P_c , 从而实现对遗传算法参数的动态控制。

(3) 引入成员资格函数的模糊概念

在有约束条件遗传算法的各种应用中,人们往往都是将各种约束条件分别用精确的数学表达式表示出来;然后,将它们编程来实现其优化。实际上,人们很难使对象的各种理想条件都达到满足,往往需要对各种条件进行折衷。在 *Fuzzy_GA* 中,引入成员资格函数的模糊概念。

所谓成员资格函数就是定义输入空间的每个点如何被用来对应描述每一个成员资格的值。把成员资格函数在模糊域中表示出来, 从而能够利用概念的各种方法, 包括模糊化、解模糊等, 来描述遗传算法的约束条件及适应值函数; 从而, 可以借助已经被广泛使用的各种多目标化的模糊优化方法^[5]来实现对遗传算法的优化。至于采用何种模糊优化方法可根据具体问题而定。在 *Fuzzy_GA* 中, 根据模糊化的成员资格函数所表示的约束条件及适应值为选取遗传算法的子代。

2.3 模糊遗传算法的算法结构

Fuzzy_GA 的算法结构可表示如下:

```

Fuzzy_GA()
{
    year = 0
    模糊选取种群规模;
    模糊化种群中各个体的目标函数和约束条件
    评价种群中各个体;
    解模糊;
    while 未满足终止条件 do
    {
        year++;
        模糊化;
        根据模糊化的各个体的目标函数和约束条件
        所产生的适应函数值借助多目标模糊优化技术
        评价选取子代放入交配池并各自做好标记;
        根据种群规模模糊调节交叉率和变异率;
        产生新子代;
        评价后代各个体;
        解模糊;
        根据评价结果及年代模糊改变种群规模;
    }
}

```

3 模糊遗传算法的设计示例

在上文中我们提供并分析了 *Fuzzy_GA* 的概念及其算法结构。下面, 我们将把它应用于一个典型的 *MIMO* 的鲁棒控制系统的设计中, 从而, 来说明上文所述的 *Fuzzy_GA* 的具体用法及其有效性。

3.1 设计对象的数学模型

我们采用文^[6]所述的典型 *MIMO* 的工业对象——高纯度精馏塔控制系统作为设计对象。采用 $K_1 = K_2 = 1$ 且 $\tau_1 = \tau_2 = 0.5$ 时如下式(1)所表示的精馏塔模型作为设计用的标称模型:

$$G_n = \frac{e^{-0.5s}}{75s+1} \begin{bmatrix} 0.878 & -0.864 \\ 1.082 & -1.096 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其控制系统如图 1. 所示。

3.2 具体设计方法及仿真结果

对于式 (1) 所示的被控对象。根据其时滞及难控的特点, 我们用本文所提出的 $Fuzzy_GA$ 代替了笔者在文^[7]中所提出 GA 和 H 混合优化设计方法中的 GA 部分。至于详细的 GA 和 H 混合优化设计方法及分层的染色体结构, 可参阅文^[7], 此处不再赘述。

下面仅对本文所采用的 $Fuzzy_GA$ 方法作一说明, 并给出具体的仿真设计结果。

初始模糊参数控制由设计者输入模糊值为产生; 而后, 通过编程规定其模糊值的变化情况。具体规定为: 连续 25 代未得到最优解, 即自动修改模糊值; 相应地, 各参数也得到更改。其目的是通地动态变化参数, 以其避免误导性问题的出现。各参数值的对应关系如下表 1 所示。

表 1 各参数之间的相互关系

模糊值	大	中	小
种群大小($Ppsize$)	70 ~ 50	50 ~ 30	30 ~ 10
交叉率(Pc)	0.5 ~ 0.3	0.3 ~ 0.1	0.1 ~ 0.05
变异率(Pm)	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.04	0.04 ~ 0.08

表 2 遗传算法其他参数选择

基因串 1: 分辨率: 1 位范围: $B \quad [0, 1]$;
基因串 2: 分辨率: 10 位范围: $R1 \quad (0, 2)$, $R2 \quad (0, 200)$;

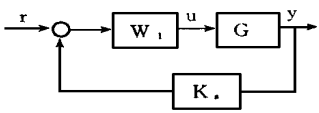


图 1 控制系统框图

用模糊概念的方法(模糊化、解模糊化)代替文^[7]中所采用的轮盘赌方法来选取子代。采用文^[7]所采用的染色结构, 以 W_1 作为遗传算法优化的对象, 借助计算机编程对 W_1 进行自动优化求解。在编程过程中, 所采用的染色体的其他参数如表 2 所示。借助计算机编程进行自动优化搜索, 在经过 700 代的遗传算法优化得到了成形权函数、控制器分别为:

(1) 成形权函数 $W_1 = \frac{150.5487S + 212.2887}{1.7865S^2 + 1.0272S + 0.0015}$;

(4) 控制器 $K(s) = \frac{\begin{bmatrix} nk11 & nk12 \\ nk21 & nk22 \end{bmatrix}}{dk}$; 其中:

$dk = 0.0002s^{10} + 0.0047s^9 + 0.0479s^8 + 0.2840s^7 + 0.9622s^6$
 $+ 1.6818s^5 + 1.5519s^4 + 0.8027s^3 + 0.2369s^2 + 0.0333s$;
 $nk11 = -0.0041s^8 - 0.0500s^7 - 0.2321s^6 - 0.5676s^5 - 0.9117s^4$
 $- 1.0221s^3 - 0.6886s^2 - 0.2086s - 0.0153$;
 $nk12 = -0.0051s^8 - 0.0591s^7 - 0.2548s^6 - 0.4974s^5 - 0.4109s^4$
 $- 0.0004s^3 + 0.1914s^2 + 0.0736s + 0.0006$;
 $nk21 = 0.0040s^9 + 0.0467s^8 + 0.1979s^7 + 0.3614s^6 + 0.2019s^5$
 $- 0.2226s^4 - 0.3370s^3 - 0.1173s^2 - 0.0039$;
 $nk22 = 0.0052s^8 + 0.0618s^7 + 0.2828s^6 + 0.6639s^5 + 0.9804s^4$
 $+ 0.9972s^3 + 0.6294s^2 + 0.1872s + 0.0148$

所设计的系统的频域特性曲线如图 2. (a) ~ (d) 所示, 所设计的控制系统阶跃响应曲线如图 3 (a)、(b) 所示。

3 结束语

本文针对遗传算法的特点, 基于模糊集理论, 提出了模糊遗传算法的概念及其算法结构, 并用具体的设计示例及其仿真设计结果说明了该方法的有效性。本文提出的多种方法混合优

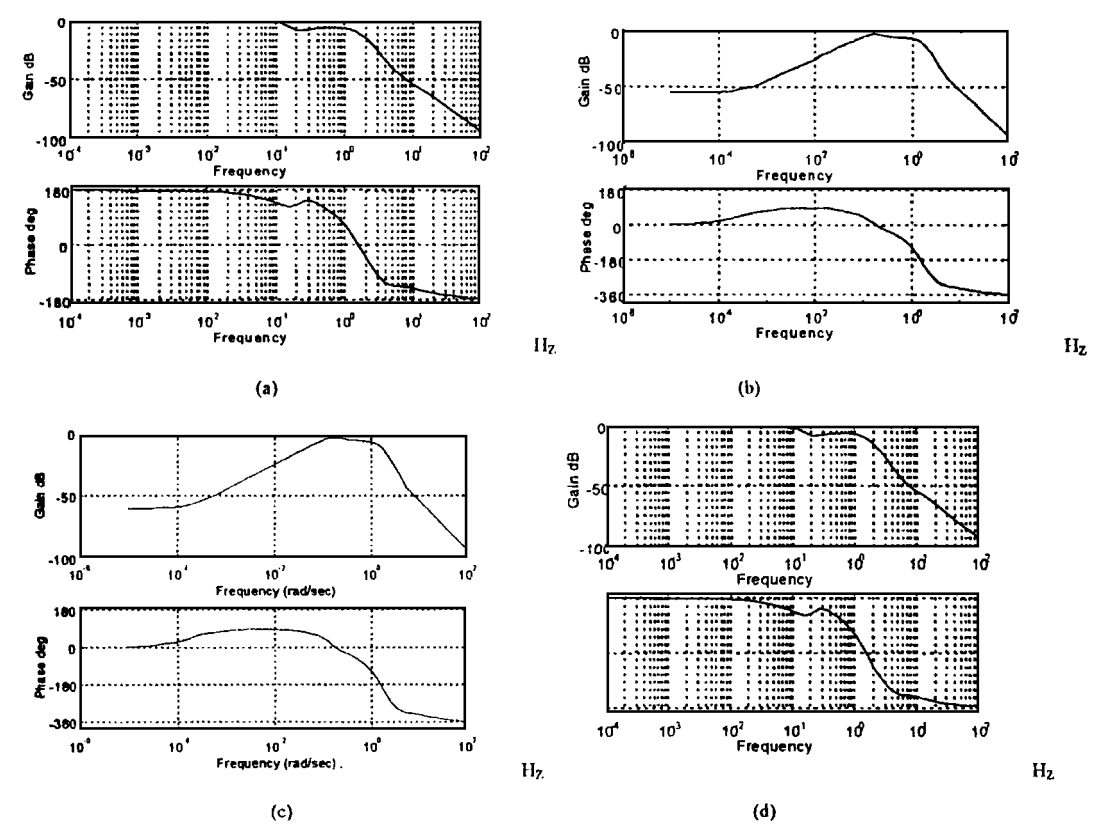


图 2 (a)~(d) 分别表示精馏塔控制系统的闭环系统传递函数的四块 G_{11} , G_{12} , G_{21} , G_{22} 所对应的频域特性曲线

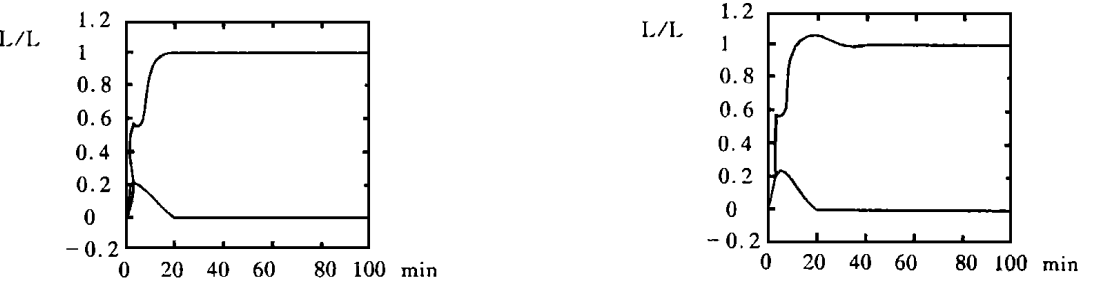


图 3 (a) 输入为 $[1 \ 0]^T$ 时的输出响应曲线 (b) 输入为 $[0 \ 1]^T$ 时的输出响应曲线

化设计的思想对于其他系统的设计亦具有借鉴参考价值。

参考文献:

[1] Michalewicz Z. Genetic Algorithms= Evolutionary Programs[C]. Berlin: Springer- Verlag, 1994.
[2] Grefenstette JJ. Optimization of control parameters for genetic algorithms[J]. IEEE Trans, Syst., Man, and Cybern., 1986, 16(1): 122~128.
[3] Goldberg D E. Messy genetic algorithms: motivation, analysis, and first results[J]. Complex Systems, 1989, 3: 493~530.
[4] Back T, Fogel D B, Michalewicz Z. Handbook of Evolutionary Computation[C]. University Oxford Press, New York: 1997.
[5] T. Takagi and M. Sugeno. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control[J]. IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., SMC- 15: 116- 132.
[6] S. Skogestad, M. Morari, and J. C. Doyle. Robust control of illconditioned plants: High - purity distillation[J]. IEEE Trans. Automat., 1988, 33: 1092- 1105.
[7] 郑紫微, 王兴成, 贾欣乐. 一种 GA 和 H 混合优化控制器的设计方法[J]. 大连海事大学学报, 1999, 24(2): 85~89.