

一种基于 GA 的模糊控制器直接设计方法

汪秉文 范 真 梁尧成

(华中理工大学自动控制工程系)

摘 要 提出了一种利用计算机设计模糊控制器的直接方法,该方法运用 GA (遗传算法) 进行控制器参数寻优,具有设计速度快、人工干预少的特点。仿真说明采用该方法结果优于 PID 控制。

关键词 模糊控制;遗传算法;纯滞后系统

分类号 TM 921.541

1 基于遗传算法的模糊控制器的设计

传统的模糊控制器设计主要包括三部分内容: **a.** 语言控制规则; **b.** 隶属函数; **c.** 控制器输入输出规范化的比例因子。在上述三个部分中均包含着需要人为确定的待寻优参数,也就都有可能嵌入遗传算法进行寻优,文献 [1] 对此做了深入的探讨。还有一种更加直截了当的方法,即直接对模糊控制表的参数进行处理^[2]。本研究采用的就是后一种方法。

模糊控制器有两种类型^[3]。 **a.** 位置型。 R 如果 e 为 A 和 de 为 B , 则 u 为 C 。 **b.** 速度型。 R 如果 e 为 A 和 de 为 B , 则 du 为 C 。相对于速度型,位置型的模糊控制器的直接设计效果好一些,因而本课题采用位置型。

模糊控制设计的最终结果是一张模糊控制表。表的大小不是确定的,与设计者的选取有关。为使问题不至于变得过于复杂,选用一张大小为 4×4 的模糊控制表 (表 1)。

表 1 模糊控制表示例

de	e			
	NB	NS	PS	PB
NB	p_1	p_2	p_3	p_4
NS	p_5	p_6	p_7	p_8
PS	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}
PB	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}

显而易见,模糊控制表的输出 U 构成一维数为 4×4 的矩阵,该矩阵的 16 个参数 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{16}\} \in \mathbf{R}^{16}$ 即遗传算法所要寻优的参数。遗传算法对这些参数寻优的过程就是用遗传算法直接

设计模糊控制器的过程。为简化问题,还可以对参数进行预处理,其理由如下: 根据 e 和 de 的不同情况把模糊控制的输入条件分为八类,它们又可分为四组,每组的输出相同。例如,当偏差 e 为负小,偏差的导数 de 为负大和 e 为负大, de 为负小时,输出值 p_2 和 p_3 均应为负大 (输出并不一定为负,仅表示其相对值很小),为简化问题,不妨假设 $p_2 = p_3$, 同理有 $p_4 = p_7, p_{12} = p_{15}, p_{10} = p_{13}$ 。这样做缩小了问题的搜索空间,但遗传算法寻优的结果表明: 在这个缩小了的问题空间中也能找到一组非常令人满意的解。为使系统输出稳定,提高系统的稳态精度,设定 $p_3 = p_6 = p_{11} = p_{14}$, 仿真实践的经验证实了这种操作的有效性。另外,当 e 为正大, de 也为正大时,输出应取最大值,对应于编码值的 1; 当 e 为负大, de 也为负大时,输出应取最小值,对应于编码值的 0, 亦即 $p_1 = 0, p_{16} = 1$ 。经过这样的预处理,需要寻优的参数减少到 7 个,遗传算法对这 7 个参数的寻优过程就是模糊控制器的直接设计过程。下面对这一过程进行具体的说明。

首先要将参数转化为染色体表示,即进行编码。编码主要有两种方式: 十进制编码和二进制编码。本文采用十进制编码,即,将所有参数均表示成 0~1 之间的 15 位小数。通过映射

$$R: [0, 1] \xrightarrow{f} [a, b], \quad f: y = (b - a)x + a,$$
可以将染色体表示的值映射到任何要求的参数区间。在实际问题中,参数区间一般就取成控制器输出的最大范围。然后,需要建立一定的性能指标来衡量模糊控制器的性能,构成择优目标。这个任务通过选择恰当的适值函数 (fitness function) 来

收稿日期: 1997-06-20.

汪秉文,男,1946年生,副教授;武汉,华中理工大学自动控制工程系 (430074)。

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

完成,在控制问题中经常采用的适值函数是误差平方根的倒数,即

$$f(P_i) = T[n \sum_{k=1}^n e^2(k)]^{1/2} = T[n^{1/2} \|e(k)\|_{L_2}],$$

式中, n 代表系统输出采样点的总个数; $e(k)$ 表示第 k 个采样时刻系统的输出误差; T 为自定义的参数.为了提高控制系统的稳态精度,本文采用带时间权值的二次范数,具体形式为

$$f(P_i) = T[n \sum_{k=1}^n k^m e^2(k)]^{1/2}, \tag{1}$$

它实质上采用了 ITAE准则.这样,根据前面提到的遗传算法,就可以对参数空间进行搜索和寻优,使得式 (1) 所规定的性能指标达到或者接近最优.为提高模糊控制器的性能,使输出能跟踪变化的给定输入,输入函数取为一向下阶梯状函数,在一定的時候产生一下降的阶跃.因为如果输入函数简单地取为一不变的给定值,则遗传算法对偏差 e 为负时控制参数表中对应的参数寻优不够充分.由此导致的一个缺点是:当给定输入下降时,控制器的性能 (特别是过渡性能) 下降.因此,在仿真过程中让标准输入函数有一定变化是必要的.

交叉 (变异) 算子采用的是多点交叉 (变异) 算子.

2 仿真研究

以控制对象为三阶纯滞后环节为例,对象的传递函数取为 $G(s) = 14e^{-s} / [(s+1)(0.5s+1)(0.7s+1)]$.

控制参数的选取:交叉率 $P_c = 0.6$;变异率 $P_m = 0.1$;种群大小 $M = 100$;最大遗传代数定为 30.

经过 30代遗传之后,获得了令人满意的结果.图 1 (a) 给出了根据遗传算法第 30代寻优所获得的参数构成的模糊控制器作用于控制系统后控制系统的响应曲线,其中 Y 代表系统输出.可以看出,这样获得的模糊控制器控制精度很高,这是按一般方法设计的模糊控制器所难以达到的.图 1 (b) 给出了模糊控制和 PID控制结果的比较曲线,其中实线表示 PID控制的结果,虚线表示模糊控制的结果.在第 20s时,对象传递函数变为 $G(s) = 1.4e^{-s} / [(s+1)(0.4s+1)(0.7s+1)]$,

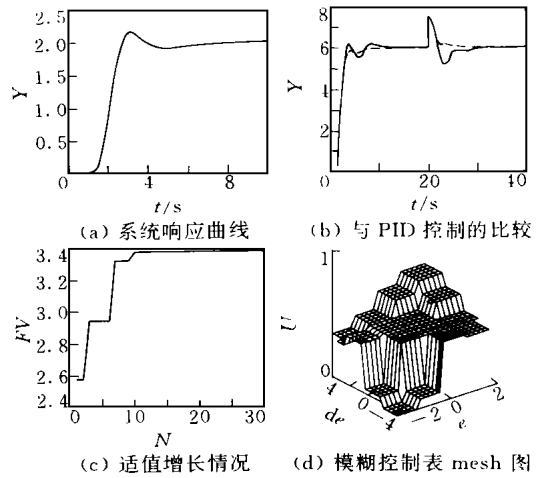


图 1 控制系统的结果分析

以检验控制系统对参数变化的适应能力.不难看出,用遗传算法直接设计的模糊控制器的控制效果优于 PID控制.图 1 (c) 给出了适值增长的情况.其中 N 表示遗传代数, FV 表示适值.可以看出,遗传至第 10代时,种群就开始收敛,适值几乎不再增加.图 1 (d) 为获得的模糊控制表参数的三维 mesh图.

综上所述可见,用遗传算法直接设计模糊控制器的方法,思路清晰,切实可行.但是,对将遗传算法用于控制系统的参数整定,本研究仅仅进行了最初步的探讨,仍然有许多问题有待进一步研究.文献 [4] 提出了将遗传算法用于 MIMO模糊控制器的设计,其方法值得借鉴.又如,如果能够把遗传算法用于控制系统参数的在线自整定,则必将使遗传算法在控制系统中的应用跃上一个新台阶.

参 考 文 献

- 1 张晓绩,戴冠中,徐乃平.一种新的优化搜索算法——遗传算法.控制理论与应用,1995,12 (3): 265~ 271
- 2 Li Yun, Haubler A. Artificial Evolution of Neural Networks and Its Application to Feedback Control. Artificial Intelligence in Engineering, 1996, 10: 143 ~ 152
- 3 Linkens D A, Nyongesa H O. Genetic Algorithms for Fuzzy Control. IEE Proc-Control Theory Applications, 1995, 142 (3): 161~ 175
- 4 张毅,李人厚.基于基因算法的多变量模糊控制器的设计.控制理论与应用,1996,13(4): 409~ 415

(下转第 90页)

针测试的结果可知,经该能量的离子束刻蚀后所得到的图形的底面积较 800 eV 能量时的情况有所增大,由于工艺条件控制得较好,硅微台(微环尖)的高度与 800 eV 能量时的情况基本相同,约为 3.0 μm.图 5 所示为经 600 eV 能量的离子束刻蚀制成的硅微台(微环尖)图形的表面探针测试曲线.

根据以上分析,可得出如下主要结论.

a. 刻蚀用氩离子束的能量对最终所制成的硅图形的表面形貌有显著影响,根据具体的要求选择合理的束能可以明显增大硅微尖的顶角锐度及四棱的清晰程度.硅微台(微环尖)的高度及上下底面的面积除了根据具体的使用要求选择刻蚀速度以外还必须掌握好结束刻蚀操作的时间.

b. 所采用的工艺为制作更大面阵硅微尖阵列.硅微台(微环尖)阵列及硅微棱镜阵列提供了一条可行的技术途径.在具体的制作过程中,应

根据衬底材料的类型合理选择刻蚀用离子的种类和刻蚀能量,合理把握工艺条件.

参 考 文 献

1 赵建平,王 曦,陈智颖等. FAD非晶金刚石薄膜场电子发射特性研究. 中国科学 (E 辑), 1997, 27 (3): 218~ 223
2 Tcherepanov A Y, Chakhovskoi A G, Sharov V B. Flat Panel Display Prototype Using Low-Voltagecarbon Field Emitters. J Vac. Sci. Technol. B, 1995, 13 (2): 482~ 486
3 元 光,金亿鑫,金长春等. 在硅微尖上生长金刚石薄膜的研究. 半导体学报, 1997, 18 (1): 1~ 3
4 元 光,金亿鑫,金长春等. 用化学方法制备硅场发射阵列. 发光学报, 1996, 17 (4): 341~ 345
5 赵宏卫,汪 琛,黄仲平等. 环形火山口式硅边缘阴极发射体特性研究. 半导体学报, 1997, 18 (11): 861~ 866

Ar Ion Beam Etching for Silicon Field Emission Arrays

Zhang Xinyu Zhao Xingrong Yi Xinjian Zhang Zhi

Abstract The Si field emission arrays of 128× 128 were fabricated by photolithography and Ar ion beam etching. The morphology of the samples prepared was analyzed by SEM and surface stylus method, and the technological properties of fabricating Si microtips were discussed. From the experimental results, it can be drawn that the technology used can be applied to fabricate microtips arrays and microplatform arrays of larger area.

Keywords field emission; Si microtip arrays; Si microplatform arrays

Zhang Xinyu Doctoral Candidate; Dept. of Optoelectronic Eng., HUST, Wuhan 430074, China.

(上接第 82 页)

A Direct Design Method of Fuzzy Controller Based on Genetic Algorithm

Wang Bingwen Fan Zhun Liang Yaocheng

Abstract To design the fuzzy controller directly with the aid of computer, genetic algorithm is utilized to optimize the controller parameters, and thus a new designing method is proposed. The new method is characterized by fast design and less human interference. Simulation shows that resulting performance is superior to PID control.

Keywords fuzzy control; genetic algorithm; delayed system

Wang Bingwen Assoc. Prof.; Dept. of Auto. Contr. Eng., HUST, Wuhan 430074, China.