

# 非线性系统的广义 T-S 模糊模型的研究

胡莲君, 宋弘

(四川理工学院 机电工程系, 四川 自贡 643000)

**摘要:** 在获得广义 T-S 模型结构之后, 往往通过参数辨识, 确定模型参数, 这样得到的模型不是最优或次最优的, 鉴于这个问题, 提出了基于遗传算法搜索广义 T-S 模型系统最优结构参数的方法, 采用二进制编码与实数编码并存的矩阵方式, 获得最优或次最优模型. 仿真结果表明了该方法的有效性, 并且模糊规则少, 精度高.

**关键词:** 非线性系统; 遗传算法; 模糊控制

**中图分类号:** TP11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)03-0038-03

## Study on Generalized T-S Fuzzy Model in Nonlinear System

HU Lianjun, SONG Hong

(Electromechanical Engineering Department, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong, Sichuan 643000, China)

**Abstract** After the structure of generalized T-S model is obtained, parameters of the model are gotten through parameters identifying. The model is not the optimum. The method of optimum structure parameters used to search generalized T-S model is put forward based on the genetic algorithm. The matrix with binary system and real number coding is adopted, and the better or best model is obtained. Finally, simulation shows that the method is effective and has few fuzzy rules and high precision.

**Key words** nonlinear system; genetic algorithm; fuzzy control

## 0 引言

自从 ZADEH [1] 发表第一篇关于模糊集理论的论文以来, 人们一直对模糊理论应用于非线性系统有着浓厚的兴趣. 在很多复杂非线性系统中, 模糊控制不失为一种另辟蹊径的好方法, 由于它具有很强的处理不确定性、非线性和抗干扰的能力, 在冶金、机械、电子、化工、电力和军事领域有广泛的应用前景. 在 1985 年 TAKAGI 和 SUGENO 提出 T-S 模糊模型之后, 基于 T-S 模糊模型的系统分析和设计问题受到很多学者的重视. 但在获得广义 T-S 模型结构之后, 往往通过参数辨识, 确定模型参数, 这样得到的模型不是最优或次最优的, 研究针对以上问题, 提出了基于遗传算法 GA 搜索广义 T-S 模型系统最优结构参数的方法和步骤. 这样设计的模型不但模糊规则数少, 而且精度高.

## 1 遗传算法搜索广义 T-S 模型系统最优结构参数的方法和步骤

### 1.1 编码

在遗传算法的参数寻优中, 常采用二进制编码方式, 若广义 T-S 模型的模糊规则数为  $m$ , 输入变量数  $n$ , 则 T-S 模型中共有  $(4n+1)m$  个独立变量需要确定, 特别是在  $n$  和  $m$  比较大时, 独立变量的个数将变得非常大, 若采用常规的二进制编码方式, 则一个完整的染色体的编码会很长, 其后果是在遗传算法搜索过程中搜索时间很长, 针对广义 T-S 模型中参数辨识的特殊性, 采用二进制编码与实数编码并存的编码

收稿日期: 2005-05-10

第一作者简介: 胡莲君 (1971.9~), 女, 硕士, 讲师. 主要研究方向: 现代控制理论. E-mail: hlij28288@sina.com, sh8887878@sina.com

方式. 广义 T- S 模型个体矩阵如式 (1) 所示.

$$\begin{bmatrix} B_1 & a_1 & b_1 & c_1 & , & a_n & b_n & c_n & q_1 & q_2 & , & q_n \\ B_2 & a_1^2 & b_1^2 & c_1^2 & , & a_n^2 & b_n^2 & c_n^2 & q_1^2 & q_2^2 & , & q_n^2 \\ , & , & , & , & w & , & , & , & , & , & w & , \\ B_m & a_1^m & b_1^m & c_1^m & , & a_n^m & b_n^m & c_n^m & q_1^m & q_2^m & , & q_n^m \end{bmatrix} \quad (1)$$

上式的矩阵形式的编码串中, 第一行为第一条模糊规则的编码, 第二行为第二条模糊规则的编码, , , 第 m 行为第 m 条模糊规则的编码; 开关参数  $B_i (i = 1, 2, \dots, m)$  为一位二进制编码, 当  $B_i = 0$  时表示规则 i 不存在, 否则表示规则 i 存在, 除  $B_i (i = 1, 2, \dots, m)$  外, 其余各参数均采用实数编码.

### 1.2 变异

个体的变异由变异概率决定, 在遗传算法中, 采用恒定的变异概率能在一定程度上改进 GA 的性能, 但不能显著改善搜索速度和最后结果的精度. 研究发现: 变异概率的大小与广义 T- S 模型寻优的精度密切相关, 即在 GA 寻优的初期, 大的变异率有利于遗传过程的进化; 而在寻优的后期, 当样本的累计平方误差比较低时, 必须相应地降低变异率, 这样才更有利于刻画广义 T- S 模型的系统参数, 并使遗传寻优过程能在最少的迭代次数内收敛到指定的精度. 最终得到的合理的变异因子的范围为  $0.15 \sim 1.1Q$ . 其变异的模型为: <sup>1</sup> 对于二进制编码  $B_i (i = 1, 2, \dots, m)$ ; 在满足变异概率的前提下:  $1y \ 0$  或  $0y \ 1$ . <sup>o</sup> 对于实数编码, 在满足变异概率的前提下:

$$xc = x(q - 0.15)E(a_{max}^T) a_m \quad (2)$$

其中, x 是染色体中的实数编码, 即  $x \in \{q_j^i \mid B_i (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)\}$ ; xc 是 x 的变异; 随机数

$q \in [0, 1]$ ;  $E(a_{max}^T)$  为第 T 代群体中最大适应度的最佳个体所对应的累计平方误差;  $a_m \in [0, 1]$  为变异因子.

### 1.3 系统参数的确定

找出适应度最高的个体, 该个体中各位数值即对应于广义 T- S 模型的最优参数. 若  $B_i = 1 (i = 1, 2, \dots, m)$ , 表示广义 T- S 模型的第 i 条模糊规则存在; 若  $B_i = 0 (i = 1, 2, \dots, m)$ , 表示广义 T- S 模型的第 i 条模糊规则不存在.

### 1.4 结束条件

当迭代次数超过给定次数或最优个体的误差低于给定值时, 寻优过程结束.

### 1.5 模型评价

广义 T- S 模型的优劣可从精度和复杂度这两个方面来衡量, 模型的精度由各样本的平方误差 e 表示, 若 e 越小, 则精度越高; 广义 T- S 模型的复杂度由模型实际存在的模糊规则数目 M 来反映, M 越小, 则模型的复杂度就越低, 因此反映广义 T- S 模型的染色体个体适应度函数可定义为:

$$g(T) = X/e + X_c M \quad (3)$$

其中,  $g(T)$  表示广义 T- S 模型个体的适应度;  $X_c, X_e$  为给定的加权; 模糊规则数  $M = \sum_i B_i$ .

## 2 仿真研究

为了验证本文提出的广义 T- S 系统模糊模型建模及其模型参数辨识方法的有效性, 仿真采用一个标准命题<sup>[1]</sup> 进行, 即考虑双输入单输出的非线性系统:

$$y = x_1 e^{-(x_1^2 + x_2^2)} - 2 [x_1, x_2]^T \quad (4)$$

式中,  $x_1, x_2$  为输入变量; y 为输出变量.

在输入空间内产生 150 对独立均匀分布的随机数  $\{(x_1(n), x_2(n)), n = 1, 2, \dots, 150\}$ , 再加上它们的

函数值 y 构成训练样本集. 遗传算法各参数的选取: 群体规模  $N = 45$ , 适应度权值  $X_c = 3, X_e = 10$ , 变异概率  $q_m = 0.01$ , 变异因子  $a_m = 0.05$ . 遗传算法寻优过程共进行 300 代, 将每代的最佳个体记录下来, 每代

的最佳个体适应度随演化代数变化的曲线如图 1所示. 图中, 从整体变化趋势来看, 群体中最佳个体适应度随代数的增加而增加, 但并非每一代都增加. 在整个搜索过程中, 第 138代中的最佳个体作为广义 T- S模型, 对应的参数即为广义 T- S模型的最优辨识结果. 在所确定的最优广义 T- S模型中, 模糊规则数  $M = 4$ , 即采用了 4条模糊规则. 该模型中非线性函数的误差曲线如图 2所示, 最大误差为:

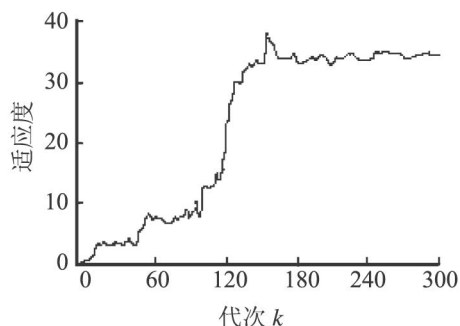


图1 个体适应度变化曲线

Fig.1 The movement curve of individual adaptability

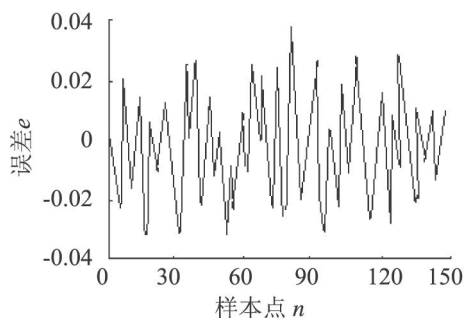


图2 建模误差曲线

Fig.2 The modeling curve of error

$$\max_{|n| \leq 150} \left\{ \left| yc(n) - y(n) \right| \right\} = 0.010398 \quad (5)$$

仿真结果表明, 以广义 T- S模型为个体, 采用二进制编码与实数编码并存的距阵方式, 遗传算法在一定的代数内搜索到广义 T- S模型的一个次最优结果, 即遗传算法能较好地对广义 T- S模型进行参数辨识. 对同样的方法进行比较, 结果如表 1所示. 从比较结果可以看出, 本文提出的模型不但模糊规则少, 而且精度高, 各方面指标均优于 Tanaka所提出的方法.

表 1 与参考文献 [2]中方法比较

Tab 1 The contrast results with reference literature [2]

方法	输入空间划分	规则数	GA编码方式	精度
参考文献 [2]中方法	按某个变量划分	22	LISP 语言中 S表达式	0.010903
本文提出的方法	按不同变量划分	4	二进制编码与实数编码并存的距阵方式	0.010398

### 3 结论

基于遗传算法搜索广义 T- S模型系统最优结构参数, 采用二进制编码与实数编码并存的距阵方式, 能获得最优或次最优模型, 并且模糊规则少, 精度高.

### 参考文献:

- [1] TANAKA M, JU Y, TETSUZO T. Fuzzy Modeling by Genetic Algorithm with Tree-structured Individuals [J]. International Journal of Systems Science, 1996, 27: 261- 268.
- [2] DALEY S, GILL K F. The Fuzzy Logic Control: An Alternative Design Scheme [J]. Computers in Industry, 1985, 6: 3- 14.
- [3] YAGER R R, FILEV D, SLEDE P. A Simple Adaptive Defuzzification Method [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1993, 1(1): 69- 78.
- [4] WU C W, CHUA L O. A Simple Way to Synchronize Chaotic Systems with Application to Secure Communication Systems [J]. Int J Bifurcation Chaos, 2003, 3(6): 1619- 1627.
- [5] PATRICK M. Graphics and GUIs with MATLAB- Third Edition [M]. USA: CRC Press, 2003.
- [6] 卢志刚, 吴士昌, 于灵慧, 等. 非线性自适应逆控制及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.