

# 遗传算法在模糊控制规则优化中的实现

周小英\* 王 华 姚伯威

(电子科技大学电子机械系 成都 610054)

**【摘要】** 介绍了遗传算法的基本原理及实现步骤,结合气调温度模糊控制器的实例,讨论了其在模糊控制规则优化中的实现,即遗传编码、交叉运算和变异运算。该优化算法为模糊控制器的设计提供了一个正规的可遵循的方法。

**关键词** 遗传算法; 模糊控制; 遗传编码; 交叉; 变异

**中图分类号** TP5

随着模糊控制在工业中的广泛应用,模糊控制规则的自调整及优化也越来越引起人们的注意。在设计模糊控制器时,需要根据有经验的操作者或专家的经验制定出相应的控制规则和隶属函数。然而,对于控制规则和隶属函数的获取,专家的经验只能起到一个指导的作用,很难准确地定出各项参数,只能采用试探的方法不断调整,这实际上是一个寻优的过程。

遗传算法(GA)是以达尔文的生物进化论为启发而创建的,基于进化中优胜劣汰、自然选择、适者生存和物种遗传思想的搜索算法。由于其具有对问题依赖性小,能求得全局最优解等特点,可应用于模糊控制规则的寻优过程,并能有效地确定出较优的控制规则和隶属函数,为模糊控制系统的建立提供了极为有利的条件。

## 1 遗传算法的实现

用遗传算法来优化一个具体问题,一般分为以下三个步骤<sup>[1]</sup>:

- 1) 将问题的可能解编码成有限位的字符串。根据编码方法定义一个适应度函数,用以测量和评价各解的性能。确定遗传算法所使用的各参数的取值,如群体规模  $n$ ,交叉概率  $P_c$ ,变异概率  $P_m$ 。
- 2) 由遗传算法按复制、交叉、变异三种操作寻找最佳串  $S_m$ ;
- 3) 根据最佳串  $S_m$  给出实际问题的最优解。

## 2 用遗传算法优化模糊控制规则

设气调温度模糊控制系统有两个输入变量  $E$  和  $EC$ , 有一个输出变量  $U$ , 控制规则可表示为<sup>[2]</sup>

$$\text{IF } E=A_i \text{ and } EC=B_j \text{ then } U=C_j \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m)$$

设输入变量  $E$  有  $\varepsilon_1$  档语言变量,  $EC$  有  $\varepsilon_2$  档语言变量, 则可列举的规则组合数为  $\varepsilon_1 \times \varepsilon_2$ 。例如  $E$  和  $EC$  各有五档( $NB, NS, ZO, PS, PB$ ), 即  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 5$ , 则最大可列举的规则集合元素有  $\varepsilon = \varepsilon_1 \times \varepsilon_2 = 25$  个。

当建立一个  $n$ -规则模糊控制系统时, GA 的任务在于由最大可列举规则集合中搜索最优的  $n$  规则。当输入变量多、每一变量的模糊语言档次多时, 这一搜索空间是很大的, 用完全列举的方法就不现实, GA 不失为一种很有实用价值的算法。

### 2.1 模糊系统的遗传编码

应用 GA 的关键之一是遗传编码问题, 即染色体的结构, 而遗传编码又与遗传算子的算法有关。下面以气调温度模糊控制器的控制规则表 1 为例, 给出编码方法。

表 1 温度模糊控制规则表

$ec$	$u$	$e$				
		$NB$	$NS$	$ZO$	$PS$	$PB$
$NB$	$u$			$PM$		
$NS$	$u$		$ZO$	$PS$	$PM$	$PB$
$ZO$	$u$	$NM$	$NS$	$ZO$	$PS$	$PM$
$PS$	$u$	$NB$	$NM$	$NS$	$ZO$	
$PB$	$u$			$NM$		

表 2 染色体表

$ec$	$e$				
	$NB$	$NS$	$ZO$	$PS$	$PB$
$NB$	0	0	6	0	0
$NS$	0	4	5	6	7
$ZO$	2	3	4	5	6
$PS$	1	2	3	4	0
$PB$	0	0	2	0	0

### 2.1.1 原始染色体

在表 1 中共有 15 个控制规则, 即  $n=15$ 。温度控制量  $U$  的模糊语言变量分为 7 档:  $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ , 用标号 1~7 分别表示  $NB=1, NM=2, NS=3, ZO=4, PS=5, PM=6, PB=7$ 。在构造染色体时, 规则表的每一结论部表示染色体的一个基因。染色体的字符顺序由规则表的第一行开始从左到右排列, 规则表的空白用 0 表示, 整个规则表表示的染色体如表 2 所示。这样, 由规则表结论部的标号组成的原始染色体  $S_1$  可表示为一个 25 位的字符串

$$S_1=00600\ 04567\ 23456\ 12340\ 00200$$

### 2.1.2 变换后的染色体

为了在遗传算法中进行交叉时满足 15-规则这一要求, 需要将  $S_1$  形式的染色体变换为如下编码: 将规则表中的规则由左到右、由上到下依次编号为 0, 1, 2, ..., 24, 将规则表的一个元素用一个字符对表示。例如编号为 2 的规则, 其结论部为  $PM=6$ , 故编码为(2, 6), 表 1 所示的规则表变换后的染色体  $S_2$  由 15 个字符对构成如下:

$$S_2=(2, 6)(6, 4)(7, 5)(8, 6)(9, 7)(10, 2)(11, 3)(12, 4) \\ (13, 5)(14, 6)(15, 1)(16, 2)(17, 3)(18, 4)(22, 2)$$

## 2.2 遗传算法

在气调系统的温度模糊控制中, 初始种群选为一定数目的候选 15-规则的规则表, 算法中各有关参数确定如下: 种群数目  $n=50$ ; 迭代代数  $N=30$ ; 交叉概率  $P_c=0.85$ ; 变异概率  $P_m=0.02$ 。

### 2.2.1 交叉运算<sup>[3]</sup>

为保证交叉后生成的新一代染色体中的规则总数不变, 我们采用一种对位交叉(PAX)的算法。例如, 设有随机选择的两个父代染色体  $S_1(1)$  和  $S_1(2)$ :

$$\text{父代 1: } S_1(1)=(00600\ 04567\ 23456\ 12340\ 00200)$$

$$\text{父代 2: } S_1(2)=(00607\ 23456\ 33450\ 02330\ 00100)$$

这代表由最大可列举规则数  $\varepsilon=25$  中选择 15 个规则的两个候选规则表, 如图 1 的(a)部分所示。在进行交叉运算时按以下步骤:

- 1) 将  $S_1(1)$  和  $S_1(2)$  变换为变换后染色体  $S_2(1)$  和  $S_2(2)$ , 如图 1 的(b)部分所示。
- 2) 任意选择一个[如  $S_2(1)$ ]为基准串。
- 3) 对齐  $S_2(1)$  和  $S_2(2)$ 。即将  $S_2(1)$  和  $S_2(2)$  中有相同规则编号的基因放在同一位置, 如图 1 的(c)部分所示, 规则编号为 2, 6, 7, 8, 9, ..., 18 的放在前面位置。
- 4) 随机选择交叉点进行两点交叉。例如在图 1 的(c)部分中选择的交叉位置为 2 和 6, 则交叉后得到新的变换后染色体  $S'_2(1)$  和  $S'_2(2)$  如图 1 的(d)部分所示。确认新染色体不破坏  $n=15$  规则这一条件。
- 5) 将  $S'_2(1)$  和  $S'_2(2)$  变换为新一代的原始染色体  $S'_1(1)$  和  $S'_1(2)$ , 如图 1 的(e)部分所示。

### 2.2.2 变异运算<sup>[3]</sup>

变异时, 在染色体  $S_1$  的  $\varepsilon$  个基因中, 随机选择一个进行变异。如模糊规则结论部的语言变量分

为 7 档，则选作变异的基因用 0~7 之间的随机数代替。如果这一变异使规则数比  $n=15$  多一个，则随机地选择一个字符不为 0 的基因，使其字符为 0；同样，如果这一变异使规则数比  $n=15$  少一个，则随机地改变一个为 0 的基因，这样就保证了 15-规则这一条件。

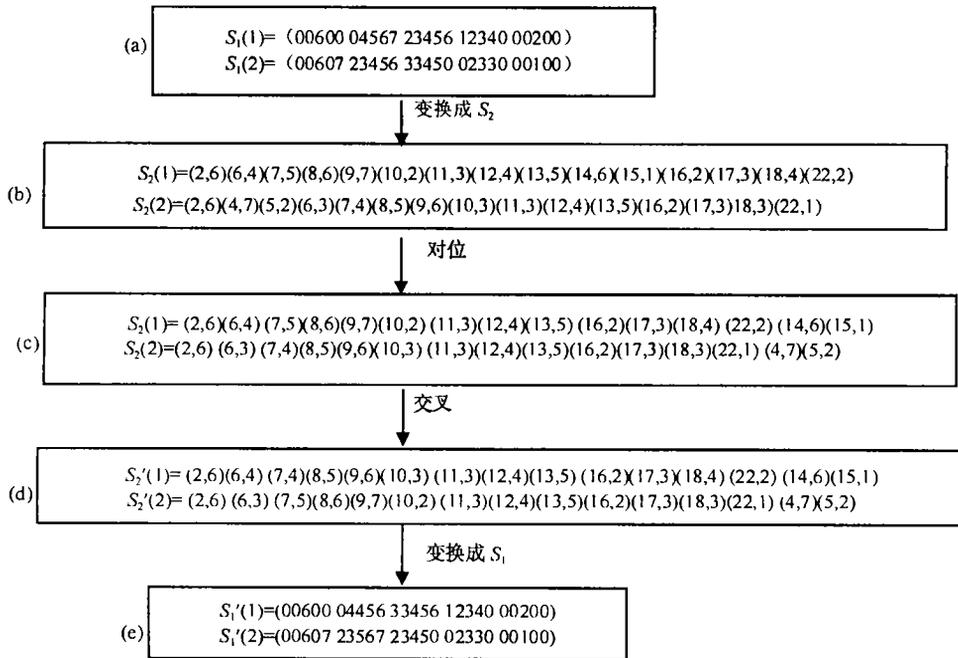


图 1 遗传算法流程图

### 3 结束语

在模糊控制规则优化中应用遗传算法是一种新的优化方法，具有以下优点：1) 由随机设定的一组规则表，经过自动更新(进化)就可以搜索到最优(或次优)的规则表；2) 可以根据设定的控制系统的目标函数来搜索最优的规则表，使建立的规则表更为科学，为设计模糊控制器提供了一个正规的可以遵循的方法。

#### 参 考 文 献

- 1 王耀南. 智能控制系统——模糊逻辑·专家系统·神经网络控制. 长沙: 湖南大学出版社, 1996
- 2 姚伯威. 水泥回转窑的一种 Fuzzy 控制实现. 电子科技大学学报, 1995, 24(6): 610~613
- 3 Lim M H, Rahardardja S, Gwee B H. A GA paradigm for learning fuzzy rules. Fuzzy Sets and System, 1996

## Realization of Genetic Algorithm in Optimization of Fuzzy-control Rules

Zhou Xiaoying Wang Hua Yao Bowei

(Dept. of Electromechanical, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** This paper introduces the basic theory and realization of genetic algorithm, and discussed their application in the optimization of the fuzzy-control rules. Air conditioning temperature fuzzy-controller is also introduced as an example. The genetic coding, crossover operation and mutation operation are studied in detail. This optimizing algorithm provides a regular method for the design of the fuzzy-controller.

**Key words** genetic algorithm; fuzzy control; genetic coding; crossover operation; mutation operation