

# 用自组织模糊逻辑控制器设计飞行器控制系统

赵红言, 张文

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**提出了模型参考自组织模糊逻辑控制器的设计方法,并建立其模糊逻辑控制规则。此法根据参考模型输出误差及微分来修正控制规则,从而使学习算法进行的更为合理。通过对某战斗机控制系统的仿真,证明其具有良好的精度和鲁棒性。

**关键词:**自组织模糊逻辑控制器;推理规则;学习算法

**中图分类号:**TP273 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)02-0023-03

模糊逻辑控制器已被证明为是用于多种控制问题的强大工具。一般来讲,模糊逻辑控制器需要预先建立模糊推理规则,当代表人类专家的经验及直觉的规则库无法获得时,就无法进行有效的控制。为解决此问题,便应运而生了自组织模糊逻辑控制器。这种控制器有一个学习算法,能根据对系统性能的推理产生和修正控制规则。控制规则的修正是依靠在现有性能基础上对控制作用分配一个置信度来实现的。

本文提出一种新的自组织模糊逻辑控制器的设计方法,这种模型参考自组织模糊逻辑控制器(MR-SOFC)有两组模糊逻辑:一组为控制,一组为学习。这个学习算法会根据参考模型输出误差及其微分来修正控制规则,从而使学习算法更为合理地进行,并使其收敛速度更快、精度更高。MR-SOFC甚至可以从一空的规则库开始,经几次学习运行后可以得到非常满意的控制性能。

## 1 模糊逻辑控制器

图1中,模糊控制器根据模糊控制规则以及系统输出误差及其微分( $e$ 和 $\dot{e}$ )产生一个输出作为被控制对象的控制输入,规则决定控制策略并对应于由模糊集来实现的语言描述,其模糊控制器的规则形式如下:

$$\begin{aligned} R_1: & \text{If } e \text{ is } A_1, \text{ and } \dot{e} \text{ is } B_1, \text{ then } u \text{ is } r(1) \\ R_2: & \text{If } e \text{ is } A_2, \text{ and } \dot{e} \text{ is } B_2, \text{ then } u \text{ is } r(2) \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ R_k: & \text{If } e \text{ is } A_k, \text{ and } \dot{e} \text{ is } B_k, \text{ then } u \text{ is } r(k) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $r(i)$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, k$ 为第 $i$ 条规则的控制力度,由模糊修正器学习而得, $k$ 是模糊规则的数量。

控制器反模糊化后的输出用重心法来实现:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^k w(i) \times r(i)}{\sum_{i=1}^k w(i)} \quad (2)$$

其中 $w(i)$ 为第 $i$ 条规则的权重,反模糊值 $u$ 代表所需的控制力度。

## 2 自组织学习算法

模糊修正器是学习过程的必须部件,如图1所示。MR-SOFC依靠参考模型输出误差 $e_m$ 及其导数 $\dot{e}_m$ 来

修正控制规则。规则修正器是一个模糊系统,其模糊修正规则如下:

- $R_m 1$ : If  $e_m$  is  $C_1$ , and  $\dot{e}_m$  is  $D_1$ , then  $\delta u$  is  $p(1)$
- $R_m 2$ : If  $e_m$  is  $C_2$ , and  $\dot{e}_m$  is  $D_2$ , then  $\delta u$  is  $p(2)$
- ...
- $R_m n$ : If  $e_m$  is  $C_n$ , and  $\dot{e}_m$  is  $D_n$ , then  $\delta u$  is  $p(n)$

其中  $p(j), j=1,2,3,\dots,n$  为推理结果输出,反模糊输出  $\delta u$  仍用重心法完成。

在对方程(1)的控制规则进行修正时,每个规则修正的置信度值  $\Delta r(i)$  必须适当。本文提出用模糊推理值的规则修正标准,即每个规则的修正置信度  $\Delta r(i)$  是以(2)式中其权重  $w(i)$  为根据的。这样以来,学习算法可进行的更合理,学习规则能更快、更准确地收敛。自组织修正算法可以如下形式表示

$$\Delta r(i) = \delta u \frac{w(i)}{\sum_{i=1}^k w(i)} \tag{4}$$

$$r(i) = r(i) + \Delta r(i) \tag{5}$$

方程(4)表示每个控制规则的置信度正比于其模糊推理的权重,(5)式中被修正的控制作用  $r(i)$  便被用作(1)式中下一步的模糊控制。

(1)式中模糊集  $A_i, B_i$  以 11 个三角形的隶属函数给出,(3)式中  $C_j, D_j$  则以 7 个三角形隶属函数给出。

### 3 飞行器控制系统设计示例

以某战斗机控制系统的短周期纵向模型为例,下面给出在四中典型飞行条件下其转换函数  $q(s)/\delta_e(s)$  (俯仰角速率/升降舵偏角)。

飞行条件 1:

$$P_1(s) = \frac{q(s)}{\delta_e(s)} \Big|_{FC1} = \frac{-13.239(s+0.88)}{(s+3.068)(s-1.228)}$$

飞行条件 2:

$$P_2(s) = \frac{q(s)}{\delta_e(s)} \Big|_{FC2} = \frac{-36.269(s+1.544)}{(s+4.904)(s-1.784)}$$

飞行条件 3:

$$P_3(s) = \frac{q(s)}{\delta_e(s)} \Big|_{FC3} = \frac{-11.308(s+0.637)}{(s+1.878)(s-0.560)}$$

飞行条件 4:

$$P_4(s) = \frac{q(s)}{\delta_e(s)} \Big|_{FC4} = \frac{-12.320(s+0.821)}{(s+1.923)(s-0.640)}$$

这里,我们取这些飞行条件中的零、极点以及稳定状态增益的平均值作为标称对象:

$$P_0(s) = \frac{-19.576(s+0.974)}{(s+2.943)(s-1.053)}$$

对模型参考自组织模糊逻辑控制,我们需要为学习监督器建立一个适当的参考模型,采取如下形式:

$$T_m(s) = \frac{6.036(s+7)}{s^2 + 11.7s + 42.25}$$

其峰值时间为 0.69 s,最大超调量为 0.76%。这个参考模型的阶跃响应如图 2 所示,可以看出,曲线是令人满意的。

将上述的自组织模糊逻辑控制用于此标称对象,其训练过程的阶跃响应如图 3 所示。曲线表明,即使被控对象不稳定,训练过程仍可稳定系统并使系统性能收敛。把学习模糊控制规则用于某飞行系统控制,其控制性能如图 2 所示。从图可以看出,当飞行器系统遭受到因不同的飞行条件而变化的对象时,MR-SOFC 设计方法可以达到满意的性能和鲁棒性。

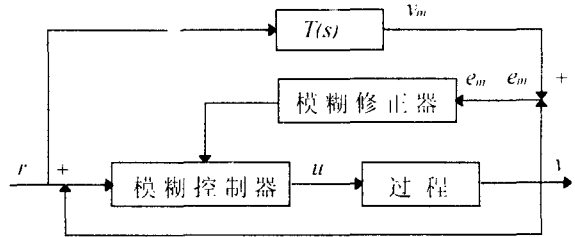


图1 MR-SOFC 框图

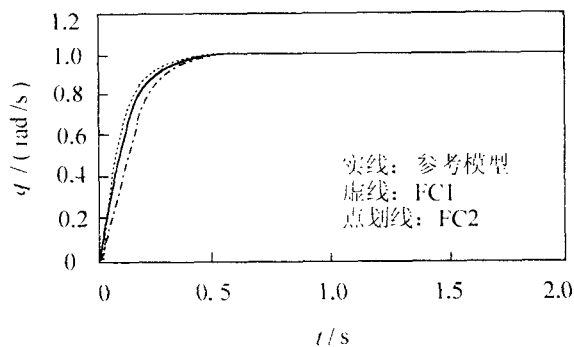


图2 不同飞行条件下战斗机系统阶跃响应

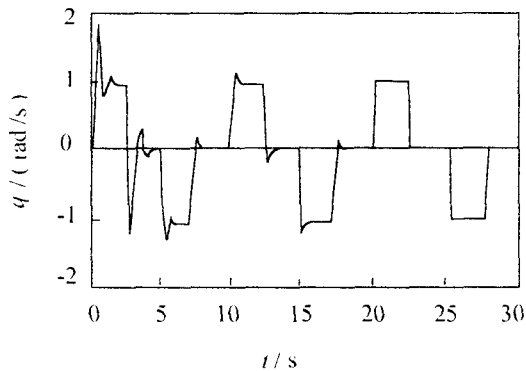


图3 训练过程的阶跃响应

## 参考文献:

- [1] Procyk T J, Mamdani E H. A Linguistic Self-Organizing Process Controller [J]. Automatica, 1979, 13(1): 15-50.
- [2] Zhang B S, Edmunds J M. Self-Organizing Fuzzy Logic Controller [J]. IEE Proceedings-D, 1992, 139(5): 460-464.
- [3] 汪培庄. 模糊集合论及其应用 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [4] 王学慧, 田成方. 微机模糊控制理论及其应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1987.
- [5] 戎月莉. 计算机模糊控制原理及其应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.

## Design Flight Control System by Self-organizing Fuzzy Logic Controller

ZHAO Hong-yan, ZHANG-wen

(The Missile Institute of the Air Force Engineering University (AFEU.), Sanyuan 713800, China)

**Abstract.** We propose the design method of model reference self-organizing fuzzy logic controller, and construct its fuzzy logical control rules in this paper. By using this design method to control a flight system, the simulation indicates that the proposed self-organizing fuzzy logic flight control can achieve satisfactory performance and robustness.

**Key words.** self-organizing fuzzy logic controller; inference rule; learning algorithms