

文章编号: 1007-649X(2001)04-0056-03

# 烧碱浓度 Fuzzy 检测中隶属函数的确定

翟光群, 张玉凤

(郑州大学工程力学系, 河南 郑州 450002)

摘要: 在研制烧碱蒸发微机控制系统时, 对烧碱浓度模糊检测中的隶属函数进行了研讨, 并对生产现场采集的数据进行分析和验证. 模糊检测控制器所涉及的偏差、偏差变化率、输出控制量的模糊集均符合正态分布. 实际应用证明, 隶属函数设计的模糊检测控制器, 对烧碱浓度的测量具有较高的精度, 隶属函数的确定对微机模糊控制的发展提供了有价值的参考.

关键词: 烧碱蒸发; 浓度; Fuzzy 检测; 隶属函数

中图分类号: TP 273 文献标识码: A

近年来, 模糊(Fuzzy)控制技术已逐渐为广大技术人员所接受. 模糊控制与微机应用的结合, 使模糊控制技术更加实用化. 微机模糊控制实质上是把人的操作经验归纳成一系列的推理规则, 利用模糊数学及模糊集的理论将它定量化, 存放在计算机中, 使其控制模仿人的操作策略, 实现对那些无法获得数学模型或模型粗糙复杂的、非线性的、时变的或是耦合十分严重的系统进行有效的控制. 微机模糊控制时, 先测量外界输入, 再转换成模糊子集的隶属函数值, 然后按模糊控制规则进行推理, 得到输出的各模糊子集的隶属度, 最后把这些模糊量转变为实际的输出值. 人们将这一过程分为模糊化、模糊规则推理(模糊算法)、逆模糊化(模糊判决)三大部分. 本文主要讨论对输入输出量进行模糊化的问题, 即隶属函数的确定.

经典数学中的集合, 完全是通过其特征函数来进行运算, 每一个集合  $A$  都有一个特征函数  $C_A(x)$ . 其定义是: 当  $x \in A$  时,  $C_A(x) = 1$ ; 当  $x \notin A$  时,  $C_A(x) = 0$ . 由此可知, 特征函数只是取两个值 0 或 1 的集合, 记为  $\{0, 1\}$ . 如果从映射的观点看, 特征函数  $C_A(x)$  建立了集合  $A$  和  $\{0, 1\}$  之间的对应关系. 1965 年美国自动控制专家查得(L. A. Zadeh)将上述集合的特征函数只能取  $\{0, 1\}$  的两个数推广为  $[0, 1]$  闭区间的所有数, 这样的“特征函数”被更名为“隶属函数”. 因为隶属函数建立了集合  $A$  和  $[0, 1]$  区间的对应关系, 通常用  $\mu_A(x)$

表示,  $0 \leq \mu_A(x) \leq 1; x \in U$ . 并给出如下定义: 设在论域  $U$  上给定了映射  $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$ , 则称  $\mu_A$  确定了  $U$  上的一个模糊子集, 记为  $A$ .  $\mu_A$  称为  $A$  的隶属函数, 亦写作  $\mu_A(x)$ . 对于  $u \in A$ ,  $\mu_A(u)$  表示  $u$  关于  $A$  的隶属度. 它表示  $u$  属于  $A$  的程度. 模糊子集简称为模糊集.

当  $\mu_A(u) = 1$  时, 则  $u$  完全属于  $A$ ; 当  $\mu_A(u) = 0$  时, 则  $u$  完全不属于  $A$ ;  $\mu_A(u)$  愈接近 1,  $u$  属于  $A$  的程度就愈大. 显然, 隶属函数是特征函数的一般化, 模糊集是普通集的一般化. 研究确定隶属函数的方法, 是有关各界普遍关注的问题, 目前大致有三角形法、梯形法、正态分布法、统计法、例证法、相对选择法、子集比较法等等. 作为一个微机模糊控制系统的设计者, 在设计烧碱浓度模糊检测控制器时, 关心的是确定所涉及的偏差  $E$ 、偏差变化率  $C$ 、输出控制量  $U$  的隶属函数, 只有当隶属函数确定后, 隶属度才能确定, 模糊控制器的设计才可能继续进行.

## 1 输入输出量的 Fuzzy 化过程

实现烧碱蒸发的自动控制, 其中关键问题是实现烧碱浓度的在线测量, 因为烧碱蒸发过程中常常伴有大量的盐和强腐蚀性液体, 加上烧碱浓度与被控对象具有非线性、时变参数、滞后性等特点, 很难用精确的数学模型来检测控制, 为此采用

收稿日期: 2001-06-20; 修订日期: 2001-10-16

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(904060100)

作者简介: 翟光群(1952-), 男, 河南省伊川县人, 郑州大学副教授, 硕士, 主要从事计算机应用技术、智能控制与测量方面的研究.

Fuzzy 控制理论,并设计出了烧碱浓度 Fuzzy 检测控制器.将某一时刻三效体内碱液温度  $T_1$  与此时所对应的真空气相温度  $T_2$  之差称为温差  $S$ ,再将  $S$  值与给定的  $R$  值相比较,得出输入量的偏差  $E(e)$ ,据此求得偏差变化率  $C(e)$ (即现时偏差与上次偏差除以采样间隔).将三效出料阀门开启的时间长短作为  $U(u)$ ,为实现 Fuzzy 控制,就必须把  $E(e)$  和  $C(e)$  变化的精确量转化为 Fuzzy 集,然后输入给 Fuzzy 算法器进行处理,Fuzzy 算法器输出的控制量又是一个 Fuzzy 集合,再经过 Fuzzy 判决,给出控制量的确切值,去控制被控对象,这样就确定了烧碱浓度 Fuzzy 检测控制器为双输入单输出结构.如图 1 所示.

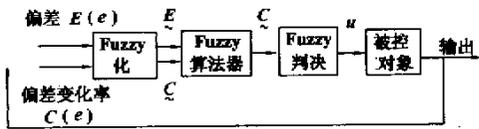


图 1 Fuzzy 检测控制器示意图

Fig.1 Diagram of the control of Fuzzy measurement

其中前者为 Fuzzy 化,后者为 Fuzzy 判决,Fuzzy 化和 Fuzzy 判决都涉及到精确量与 Fuzzy 量相互转换问题,也涉及到 Fuzzy 集中隶属函数的求取问题,在实际应用中,具体作法是:

(1) 将精确量离散化,即把精确量的变化范围划分成为若干档,每一档对应一个 Fuzzy 集.本例中,按其变化的范围划分成“正大(PL);正中(PM);正小(PS);正零(PO);负零(NO);负小(NS);负中(NM);负大(NL)”档.

(2) 确定精确量的论域(精确量的变化范围).由烧碱蒸发生产现场测定偏差  $E(e)$  的论域

为  $[-7, +7]$ ,  $C(e)$  的论域为  $[-4, +4]$ ,  $U$  的论域为  $[0, 60]$ , 将(1)中的每一档 Fuzzy 集所对应的论域进行离散化,取  $\{-n, -n+1, \dots, n-1, n\}$ , 一般将论域离散为  $[-6, +6]$  之间,共 13 级,如果精确量  $x$  的变化范围不是在  $[-6, +6]$  之间,而是在  $a, b$  则用公式(1),将其转化为  $[-6, +6]$  之间的变量  $y$ , 同时也就确定了量化因子  $k$ .

$$y = 12(b - a) [x - (a + b)/2], \quad (1)$$
 如偏差  $E(e)$  变化范围为  $[-7, +7]$ , 则代入式(1):

$$y = \frac{6}{7}x. \quad (2)$$

所以,  $E(e)$  的量化因子  $k = 6/7$ , 通过量化因子  $k$  即可将变量  $x$  转化为  $[-6, +6]$  之间的变量.

(3) 确定各档 Fuzzy 集的隶属度.通过总结操作者经验和生产现场实验数据,确定了每个 Fuzzy 集的隶属度的实验值.  $E(e)$  的隶属度实验值见表 1. 据此数据描绘出大致曲线,将它与已知的几种 Fuzzy 分布比较,选择比较接近的一种,通过对  $E, C$  和  $U$  的分析讨论均接近正态分布,即可看成正态形的 Fuzzy 变量.用一个正态函数式(3)来加以拟合,其中  $a$  代表数学期望;  $b > 0$  代表方差.

$$F(x) = \exp[-((x - a)/b)^2]. \quad (3)$$

在烧碱浓度 Fuzzy 检测控制器设计中,以式(3)作为隶属函数求取  $E, C, U$  论域中各档的 Fuzzy 集合的隶属度,然后结合生产实际和操作经验加以修正.输入参数的模糊化策略对于控制效果有重要影响,特别是采用查表法实现模糊控制时必须反复实验才能最后确定.

表 1 Fuzzy 变量  $E$  的隶属度取值表

Table 1 Data of the Membership function of Fuzzy set  $E$

$E$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NL	1.0	0.8	0.7	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0.1	0.3	0.7	1.0	0.7	0.2	0.2	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0.1	0.6	1.0	0	0	0	0	0	0
PO	0	0	0	0	0	0	1.0	0.6	0.1	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.3	0.1	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.3
PL	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.7	0.8	1.0

## 2 隶属函数确定的讨论

微机模糊控制系统设计时,用什么方法确定隶属函数合适.一般情况下,推理规则条数少且精

度要求不高,宜采用三角形或梯形法确定,如家用电器的模糊控制.推理规则条数多,而要求精度高的,宜采用正态分布法确定,如生产过程的模糊控制等.例证法、统计法则可以作为梯形法、正态分

布法的补充,或作为定性分析的参考.目前实现模糊控制的方法有查表、硬件专用模糊控制和软件模糊推理等.就微机模糊控制来讲,查表法居多.当采用正态分布法确定隶属函数时,首先根据操作者总结出的经验和实际测试的偏差、偏差变化率及输出控制的变化范围,将其转变为 $[-6, +6]$ 之间,将每个变量都确定为若干个(一般为8个)模糊子集,每个模糊子集的隶属函数均服从正态型模糊分布.可以用更多的模糊集来描述每个变量,这样制定的规则就更为灵活、细致,但是,相应的控制规则也就变得复杂,使模糊化、合成算法以及模糊判决等步骤更为繁琐.所以在选择变量的模糊状态时,既要考虑使其灵活细致,又要考虑到简单易行.

在定义模糊集时,要分析其隶属函数曲线形状.实践证明:如果输入偏差属于高分辨率(既输入偏差变化迅速)模糊集的隶属函数,它引起的输出变化就强烈,即控制的灵敏度就高.反之,如果输入偏差属于低分辨率(即输入偏差变化缓慢)模糊集的隶属函数时,控制的灵敏度低,控制特性较平缓,系统较稳定.在实际工作中,当遇到偏差较大的情况时,采用低分辨率的模糊集;在偏差很小或接近零时,则采用高分辨率的模糊集.当定义某一变量的各模糊集时,要注意它们对论域的覆盖程度,应当使论域中的任何一点对这些模糊集的隶属度的最大值都不能太小,以防止在这样的点上出现失控.按上述的方法确定的隶属函数是否

符合控制系统的要求,还需要进行反复实验和修正,直至得到满意的结果.

### 3 结束语

本文的研究是结合年产一万吨的烧碱蒸发微机控制系统设计进行的.在研制时,首先采用常规的温差法进行浓度检测,产品浓度为30%时误差较大,为 $\pm 10\%$ ,产品有不合格情况发生.为此,采用Fuzzy控制理论解决了烧碱浓度检测问题.设计模糊检测控制器时,对偏差、偏差变化率、输出控制量模糊化,即隶属函数的确定进行了深入的研究.结果证明,烧碱浓度模糊检测控制器所涉及的模糊集均符合正态分布,以正态函数为隶属函数设计的模糊检测控制器,通过实际检验和反复修正,最终实现了烧碱浓度的模糊检测.郑州农药厂烧碱车间投入生产使用后,碱浓度的误差减小到 $\pm 2\%$ 左右,经济社会效益显著.

### 参考文献:

- [1] 王学惠,田成芳.微机模糊控制理论及应用[M].北京:电子出版社,1987.
- [2] 翟光群.烧碱蒸发微机控制系统的研制[D].西安:西安电子科技大学,1994.
- [3] 翟光群.Fuzzy控制在烧碱浓度检测中的应用[J].郑州工学院学报,1996,17(1):88-94.
- [4] 杨伦标,高英仪.模糊数学原理及应用[M].广州:华南理工大学出版社,1995.

## Determination of Membership Function for Fuzzy Measurement of Caustic Soda Concentration

ZHAI Guang-qun, ZHANG Yu-feng

(College of Engineering Mechanics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In the development of the microcomputer control system for caustic-soda evaporation, it makes the discussion for membership function of caustic-soda concentration fuzzy measurement. Through the analysis of the data which were collected in the production site and the experiments: the deviation the deviation change rate, the fuzzy set of output control amount concerning the fuzzy measurement controllers conform to the normal distribution. The application of the fuzzy measurement controller with the normal function as the membership function proves that the measurement process of the caustic-soda concentration has higher accuracy. The determination of membership function provide a valuable reference to the development of the microcomputer fuzzy control technology.

**Key words:** caustic-soda evaporation; concentration; membership function; fuzzy measurement