第 2 章 模糊控制

2.1 模糊控制

自从 1965 年美国加利福尼亚大学控制论专家 L .A .zadeh 教授提出模糊数学以来”，吸引了众多的学者对其进行研究，使其理论与方法日臻完善，并且广泛地应用于自然科学和社会科学的各个领域，尤其是在第 5 代计算机研制和知识工程开发等领域占有特殊重要的地位。把模糊逻辑应用于控制领域则始于 1973 年”。1974 年英国的 E. H. Mamdani 成功地将模糊控制应用于锅炉和蒸汽机控制。此后 20 多年来，模糊控制不断发展并在许多领域中得到成功应用。由于模糊逻辑本身提供了由专家构造语言信息并将其转化为控制策略的一种系统的推理方法，因而能够解决许多复杂而无法建立精确数学模型系统的控制问题，所以它是处理推理系统和控制系统中不精确和不确定性的一种有效方法。从广义上讲，模糊控制是适于模糊推理，模仿人的思维方式，对难以建立精确数学模型的对象实施的一种控制策略。它是模糊数学同控制理论相结合的产物，同时也是智能控制的重要组成部分。模糊控制的突出特点在于：

①控制系统的设计不要求知道被控对象的精确数学模型，只需要提供现场操作人员的经

验知识及操作数据。

⑦控制系统的鲁棒性强，适应于解决常规控制难以解决的非线性、时变及大纯滞后等问题。

③以语言变量代替常规的数学变量，易于形成专家的“知识”。

④控制推理采用“不精确推理”(Approximatc Reasoning)。推理过程模仿人的思维过程。由于介入了人类的经验．因而能够处理复杂甚至“病态”系统。

2.1.1 模糊数学

模糊数学是基于模糊集理论。模糊集的概念与古典集非此即彼的概念相对应，描述没有明确、清楚地定义界限的集合。

模糊集的理论叙述为：模糊集 A 是定义在一个输入ξ之上并由其隶属函数

$\mu A(\cdot):\xi \to [0,1]$表征的集合。假设$\xi$是一个普通集合，称为论域。从$\xi$到区间[0,1]的映射 A 称为$\xi$上的一个模糊集合。$\mu A(\cdot)$表示$\xi$隶属于模糊集合 A 的程度，称为隶属度。$\mu A(\cdot)$称为隶属函数。若$\mu A(\xi)$接近于 1，表示$\xi$属于 A 的程度高， $\mu A(\xi)$接近 0，表示ξ属于 A 的程度低。

若 ξ为离散集合，则可以表示为：

$$\mu A=\sum (\mu A(\cdot)/\xi) \tag{2-1}$$

若ξ不为离散集合，则可以表示为：

$$\mu A=\int (\mu A(\cdot)/\xi) \tag{2-2}$$

从两种数学关系式中可以看出来，离散集合于非离散集合所表示的隶属关系是不同的。

2.1.2 隶属函数

隶属函数是一条曲线，定义了怎样将输入空间（论域）上的每一点映射到一个从 0 到 1 之间的隶属度。

如何获得模糊规则及隶属函数，这在目前完全凭经验来进行，以及如何保证模糊系统的稳定性就成为关注的焦点。本设计采用的是增量隶属函数法。

建立的数学模型是：任意给ξ一个增量$\triangle\xi$，作为μ有一个增量$\triangle\mu$。作为简化条件，可以认为$\triangle\mu$与$\triangle\xi$成正比关系；另一方面，对于同样大的$\triangle\mu$与$\triangle\xi$，ξ越大则$\triangle\mu$也越大，但是μ的数值不能超过 1，当μ越接近 1，$\delta\mu$越小，有：

$$\triangle\mu=k\cdot\triangle\mu\cdot\xi(1-\mu) \tag{2-3}$$

用数学方法解方程有：

$$\frac{d\mu}{d\zeta}=k\cdot\xi\ (1-\mu) \tag{2-4}$$

解微分方程有：$\mu(\xi)=1-Ce^{\frac{k\zeta^2}{2}}$，确定了$\mu(\xi)$也就确定了$\mu A(\xi)$

常用的隶属函数有 B 样条隶属函数和高斯隶属函数。B 样条基函数形式为：

$$\phi_{i,j,k}(\zeta_i)=\left(\frac{\zeta_i-\lambda_{i,j-k}}{\lambda_{i,j-1}-\lambda_{i,j-ki}}\right)\phi i,k_i-1,j-1(\zeta_i)+\left(\frac{\lambda_{i,j}-\zeta_i}{\lambda_{i,j}-\lambda_{i,j-ki}+1}\right)\phi i,ki-1,j(\zeta_i)$$

（2-5）

其中：

$\phi_{i,j,k}(\zeta_i)=1$ if $\xi I \in I_{i,j-1}$

$\phi_{i,j,k}(\zeta_i)=0$ 其他

本设计采用 MATLAB/FUZZY 工具箱中的隶属函数为 B 样条隶属函数，采用二阶 B 样条基函数形成曲线拟合一个简单的分段多项式映射。

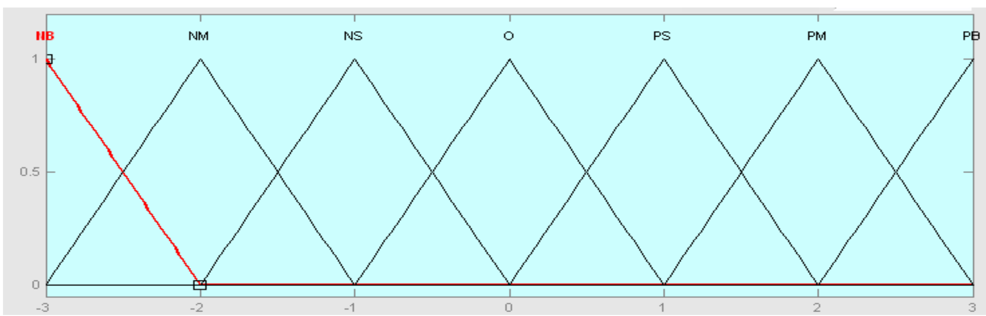


图 2-1 7 个三角隶属函数语言值的模糊集合

在对模糊系统进行模糊建模时，常使用 7 个三角隶属函数语言值的模糊集合，如图所 2-1 示。结合极点决定这些三角模糊集合的宽度与位置，为得到连续的集合，七个三角隶属函数通常是有集合交互的。在进行参数过渡的时候，就避免了模糊控制系统因为没有参数映射、没有对应的隶属函数而发生的建模失败。

如此可以得到，K 阶 B 样条基函数可以对一个明确的非模糊的的表达式进行建模，因为将 K 阶 B 样条基函数用三角隶属语言描述无数个三角隶属函数语言值的模糊集合就是一个 K=1 的建模。

B 样条基函数是非常灵活的，可以根据大量的模型仿真，找到系统在特定的区间需要进行模糊变量较小的过。，我们可以把七个三角隶属函数的几个三角隶属函数的面积缩小，总的函数区间不变，这样进行变化，可以将 K 阶 B 样条基函数降阶为二阶 B 样条基函数，使模型简化，降低计算机系统的运算能力；加快仿真速度与系统数据、图形显示速度。

2.1.3 精确输入的模糊化

通常控制总是用系统的实际输出值与设定的期望值相比较，得到一个偏差E,控制器根据这个偏差来决定如何对系统加以调整控制。很多情况下还需要根据该偏差的变化率EC 来进行综合判断。无论是偏差还是偏差变化率，他们都是精确的输入值。要采用模糊控制的技术，首先把它们转换成模糊集合的隶属函数。每一个输入值都可以对应一个模糊集合，某个范围的连续变化值就可以有无限多个模糊集合，这在工程实践上是无意义的。为了便于工程实现，统常把变量范围人为的定义为离散的若干级，所定义的级数多少取决于输入量的分辨率。现在使用最多的为三角隶属函数。

为了实现模糊控制器的标准化设计，目前在实际中常用的处理方法是玛达提出的方法，将偏差E和EC的变化范围设定为[-6，+6]区间连续变化量，使之离散化，构成含7个整数元素的离散集合：

{NB，NM，NS，ZO，PS，PM，PB}

即：

{负大，负中，负小，不变，正小，正中，正大}

并将误差E和误差的变化量EC量化为13个等级

{-6，-5，-4，-3，-2，-1,0,1,2,3，4，5，6}

在实际工作中，精确输入量的变化一般不会在[-6,6]之间，如果其范围是在[a,b]之间的话，可以通过变换

$$y=\frac{12}{b-a}\left[x-\frac{a+b}{2}\right] \qquad (2\text{-}6)$$

将在 [a,b]之间变换的变量x转换为[-6,6]之间变化的变量y.

2.1.4 模糊规则与模糊推理

模糊规则一般采用最常用的模糊 if-then 规则。一个单独的模糊 if-then 规则形式如下：

If x is A then y is B

其中，A和B是有模糊集合分别定义在X、Y范围（论域）上的语言值。模

糊规则中的 if 部分“if x is A”被称为规则的前提或假设，同时 then 部分”y is B”被称为结果或结论。实质上，该表达式描述了变量 x 和 y 之间的关系。

模糊推理是建立在模糊规则之后的。它是对一个特定的表达式解释的过程。在建模时，只要将模糊输入集和模糊规则库定义为重叠的，模糊系统使用自己的归纳法则进行模糊判定，尤其是对相近的表述信息进行归纳、总结，使系统的判定变为连续的判定，从而达到连续的执行模糊法则的过程。

2.1.5 反模糊化

经过模糊推理得到的控制输出是一个模糊隶属或模糊子集，它反映了控制语言的模糊性。这是一种不同取值的组合。然而在实际运用中要控制一个物理对象，只能在某一时刻有一个确定的控制量，这就要从模糊输出隶属函数中找出一个最能代表这个模糊集合即模糊控制作用可能性分布的精确量，这就是反模糊化。

常用的反模糊法有：重心法（centroid）,二等分法（bisector）,中间最大值法（MOM）,

最大最大法（LOM）,最小最大法（SOM）。

二等分法（bisector）是常用的反模糊算法，其表达式为：

取 $y(\xi)$ 为 $$y(\xi)=[\inf A_0+\sup A_0]/2 \qquad (2\text{-}7)$$

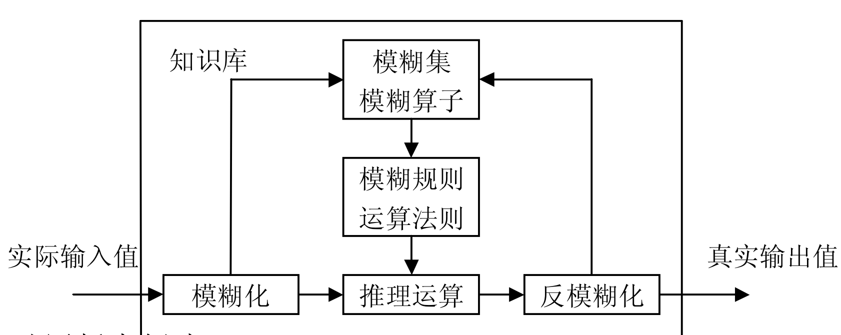
如前所述，建模时将输出的隶属函数为一个模糊集，在完成聚类过程之后对每个需要反模糊化的输出变量仍存在另外一个模糊集合，在系统仿真过程中我们发现：使用一个分布模糊单点，而不是分布模糊集作为输出隶属函数更为有效。

因为一个分布模糊单点的数学表示如下：

$$mA(x)=\begin{cases}1, x=x' \\ 0,\text{其他}\end{cases} \qquad (2\text{-}8)$$

2.2 模糊系统的组成

模糊系统的建立是基于知识库、推理机制、模糊化



和反模糊化。其系统结构如图 2-2 所示。

要实现语言控制的模糊控制器，首先要把实际输入值转化成模糊集合的隶属函数，这一步称为模糊化。然后根据有经验操作者或专家的经验制定出模糊控制规则，并进行模糊推理，以得到一个模糊输出集合即一个新的模糊隶属函数，这一步称为模糊控制规则形成和推理。最后根据模糊推理得到的输出模糊隶属函数，用不同的方法找到一个具有代表性的精确的真实输出值，这一步称为反模糊化。这三个步骤称为模糊推理过程。

2.3　本章小结

本章介绍了模糊控制系统的各部分的组成，简略介绍了本文相关的隶属函数的确定、模糊化的方法，模糊规则和反模糊化的方法。