

Type-2 模糊逻辑系统研究

皋 军

(盐城工学院 电信工程学院, 江苏 盐城 224003)

摘要:对 Type-2 模糊系统进行了研究,系统地分析了 Type-2 模糊系统的基本理论和基本框架,给出了该系统在具体处理实际问题时应采用的相应方法,阐述了 Type-2 模糊系统应用发展方向并提出今后需要解决的问题。

关键词:Type-2 模糊系统;最小 t -范;主隶属函数;次隶属度

中图分类号:TP11 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2007)03-0005-03

Type-2 逻辑系统(FLS)是在通常逻辑系统(又称 Type-1 FLS)的基础上扩展而成的,Type-2 FLS 使用了 Type-2 模糊集,Type-2 模糊集的概念首先由 Zadeh^[1]在 Type-1 模糊集的基础上提出的。Type-2 模糊系统方法是一种新的系统工具,它于 1998 年由南加州大学电子工程系的一个工作小组提出并成功应用于时变信道均化上,效果显著。他们初步提出完整的二型模糊系统方法。根据文献[2],Type-2 FLS 可以用于如下的研究和应用领域:①识别特征具有不稳定性 and 无法用数学语言描述的概率特性的模式识别领域;②样本具有高噪声特性,而这种不稳定性不能用数学语言描述的分类问题;③从包含不确定词汇的专家问卷中提取知识提取;④系统具有时变性,但这种时变性不能用数学语言描述数据生成问题。

因此 Type-2 FLS 在后来许多领域得到广泛的应用,比如:编码视频流分类、非线性时变通信共用信道干扰的消除、连接准许控制、移动机器人控制、决策、非线性衰减信道均化、问卷调查表的知识提取、时间序列预测、函数拟合、语言学习、X 光图像预处理、关系数据库、模糊方程求解、交通规划等。

1 Type-2 模糊集概念

定义 1^[3] $\bar{A}$ 表示论域上的一个 Type-2 模

糊集, $\mu_{\bar{A}}(x,u)$ 表示 $\forall x \in X$ 相对于模糊集 $\bar{A}$ 的隶属度,即: $\bar{A} = \{((x,u),\mu_{\bar{A}}(x,u)) | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1]\}$ 。其中: $\mu_{\bar{A}}(x,u) \in [0,1]$ 。也可以写成:

$$\bar{A} = \int_{x \in X} \mu_{\bar{A}}(x)/x = \int_{x \in X} \left[\int_{u \in J_x} f_x(u)/u \right] / x$$

我们把定义中的 $\bar{A}$ 称为 Type-2 模糊集 J_x 的主隶属函数(primary membership), $\mu_{\bar{A}}(x,u)$ 的主隶属度值的隶属度值称为次隶属度值(secondary membership)。

从定义中可以看出,在 Type-2 模糊集中 $\mu_{\bar{A}}(x,u)$ 表示一个 Type-1 模糊集,而在 Type-1 中隶属度应该是一个精确的数值。但同时也表现了两种逻辑系统的内在联系,即 Type-1 FLS 是 Type-2 FLS 的一种特殊情况,是一种 Type-2 单点模糊集;而 Type-2 模糊集可以看成是由若干个 Type-1 模糊集插值而成。下面给出 Type-2 模糊集的几个基本运算法则。

定义 2 设论域 X 上的两个 Type-2 模糊集 $\bar{A}, \bar{B}$, 其中

$$\bar{A} = \int_{x \in X} \mu_{\bar{A}}(x)/x = \int_{x \in X} \left[\int_{u \in J_x} f_x(u)/u \right] / x \quad (1)$$

$$\bar{B} = \int_{x \in X} \mu_{\bar{B}}(x)/x = \int_{x \in X} \left[\int_{w \in J_x} f_x(w)/w \right] / x \quad (2)$$

则: (1) $\mu_{\bar{A} \cup \bar{B}}(x) =$

$$\int_{u \in J_x^A} \int_{w \in J_x^B} (f_x(u) * g_x(w)) / (u \vee w) =$$

收稿日期:2007-04-11

作者简介:皋军(1971-),男,江苏盐城市人,讲师,江南大学博士研究生,主要研究方向为数据挖掘、模糊逻辑系统、模式识别、神经网络等。

$$\mu_A(x) \prod \mu_B(w) \quad (3)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \int_{u \in J_x^*} \int_{w \in J_x^*} (f_x(u) * g_x(w)) / (u \wedge w) = \mu_A(x) \prod \mu_B(w) \quad (4)$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = \int_{u \in J_x^*} f_x(u) / 1 - u \quad (5)$$

其中 * 算子可以转换成最小或乘法算子。

因为最小 t -范的交、并运算经常参与 Type-2 模糊关系的运算,那么下面再来讨论这些运算所对应的几个定理。

定理 1^[4] 假设 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 为 n 个凸的、正交的一型模糊集 $f_1, f_2, \dots, f_n$ 分别代表它们的隶属函数,设 $v_1, v_2, \dots, v_n$ 为实数,满足 $v_1 \leq v_2 \leq \dots \leq v_n$ 且 $f_1(v_1) = f_2(v_2) = \dots = f_n(v_n) = 1$ 。则用最大的 t -余范和最小的 t -范表示并和交如下:

$$\mu_{\bigcup_{i=1}^n F_i}(\theta) = \begin{cases} \bigwedge_{i=1}^n f_i(\theta) & \theta < v_1 \\ \bigwedge_{i=k+1}^n f_i(\theta) & v_k \leq \theta < v_{k+1}, \\ & 1 \leq k \leq n-1 \\ \bigvee_{i=1}^n f_i(\theta) & \theta \geq v_n \end{cases} \quad (6)$$

和

$$\mu_{\bigcap_{i=1}^n F_i}(\theta) = \begin{cases} \bigvee_{i=1}^n f_i(\theta) & \theta < v_1 \\ \bigwedge_{i=k+1}^n f_i(\theta) & v_k \leq \theta < v_{k+1}, \\ & 1 \leq k \leq n-1 \\ \bigwedge_{i=1}^n f_i(\theta) & \theta \geq v_n \end{cases} \quad (7)$$

2 Type-2 模糊逻辑系统组成

Type-2 模糊系统的组成与 Type-1 模糊系统很相似,根据图 1(a)可知 Type-2 模糊逻辑系统一样具有输入模糊化器(Fuzzifier)、规则库(Rule Base)、逻辑推理器(Inference engine)、输出处理。两种模糊逻辑系统差别的关键就是输出处理,在 Type-1 模糊系统中输出处理只包含一个部件即去模糊化器(Defuzzifier),而在 Type-2 模糊系统中由于使用了 Type-2 模糊集,因此必须对输出结果进行降维,然后才能去模糊化,因此在 Type-2 模糊系统中输出处理包含两个部件即类型简化部件(Type Reduce)和去模糊化部件(Defuzzifier),图 1(b)说明了这两个部件的模型。

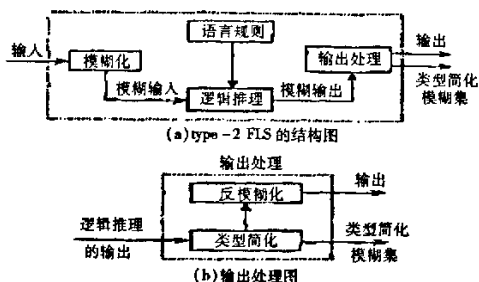


图 1 Type-2 FLS

Fig.1 Type-2 FLS

根据以上分析,本文主要来讨论类型简化部件以及几个在实际应用的类型简化方法。

2.1 类型简化部件(Type Reduce)的功能和方法

类型简化是 Type-2 模糊系统的关键和难点,在该逻辑系统中通过逻辑推理部件处理后所得的结果是一个 Type-2 模糊集,这是和 Type-1 模糊系统不一样的。因此系统如果要有精确的输出,那么在 Type-2 系统中就必须要对 Type-2 模糊集进行降维,将 Type-2 模糊集降维为 Type-1 模糊集。在 Type-1 模糊系统中 Type-1 模糊集经过去模糊化后得到的是一个精确的结果,其实这也是降维的过程,只是把一维的模糊集降维为 0 维的模糊集,即精确的数值。因此降维的过程的实质就是要将 n 维的模糊集降维为 $n-1$ 维的模糊集,但在降维过程中要保证 $n-1$ 维的模糊集要有有效的表示 n 维模糊集的特性,比如在一维模糊集降维为精确数值时就是通过用模糊集的质心表示该模糊集的特性来完成的。

从定义 1 可知任意一个 Type-2 模糊集可以看成若干个 Type-1 模糊集插值而成,因此这为对 Type-2 模糊集的降维提供了思路。Type-2 模糊集的降维可以说是对 Type-2 模糊集中的每一个内嵌 Type-1 模糊集求质心,而所得所有质心连同与之一同产生的隶属度值一起构成一个新的 Type-1 模糊集,这个一维模糊集就是降维的结果输出。因此可得如下公式:

$$C_{\bar{A}} = \int_{\theta_1 \in J_{x1}} \dots \int_{\theta_N \in J_{xN}} [f_{x1}(\theta_1) \dots f_{xN}(\theta_N)] / \frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \quad (8)$$

其中 $x_1, \dots, x_N$ 是模糊集 $\bar{A}$ 的域离散化得到 N 个点, $J_{x1}, \dots, J_{xN}$ 是对应的主隶属函数。

在公式(3.1)中,令 $x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i}$, 则公式转化

为:

$$C_A = \int_{\theta_1 \in J_{A1}} \cdots \int_{\theta_N \in J_{AN}} \sup[f_{x1}(\theta_1) \cdots f_{xN}(\theta_N)] / x \quad (9)$$

其中 sup 算子作用是在 x 相同的情况下去最大隶属度的值。

根据公式(8)、公式(9)就可以把 Type-2 模糊集 $\bar{A}$ 降维为 Type-1 模糊集 C^A 。

在具体的应用中,通常有如下几种降维方法。

2.2 常用的类型简化方法

(1) Centroid Type Reduction 方法

设 Type-2 模糊系统逻辑推理部件输出的 Type-2 模糊集为 $\bar{B} = \bigcup_{l=1}^M \bar{B}^l$ (其中对应第 l 规则的输出为 $\bar{B}^l$), 则 Centroid Type Reduction 方法可以表示为:

$$Y_c = \int_{\theta_1 \in J_{Y1}} \cdots \int_{\theta_N \in J_{YN}} \sup[f_{Y1}(\theta_1) \cdots f_{YN}(\theta_N)] / y \quad (10)$$

其中: $y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i}$, $y_1, \dots, y_N$ 是模糊集 $\bar{B}$ 的域

离散化得到 N 个点, $J_{Y1}, \dots, J_{YN}$ 是对应的主隶属函数。

(2) Height Type Reduction 方法

设 Type-2 模糊系统逻辑推理部件输出的 Type-2 模糊集为 $\bar{B} = \bigcup_{l=1}^M \bar{B}^l$ (其中对应第 l 规则的输出为 $\bar{B}^l$), 则 Height Type Reduction 方法可以表示为:

$$Y_h = \int_{\theta_1 \in J_{Y1}} \cdots \int_{\theta_M \in J_{YM}} \sup[f_{Y1}(\theta_1) \cdots f_{YM}(\theta_M)] / y \quad (11)$$

其中: $y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i}$, M 是规则库的规则数目, y^l

表示使第 l 规则达到最大隶属度值的点。

(3) Center-of-Sets Type Reduction (COS) 方法

在简化计算方面, COS 比前面介绍的 Cen-

troid 方法更具实践意义。它的思路和后者有些差别,它不需要从引擎中得到完整综合的结果后才进行降型计算,而是可以并行的一边计算从每条规则得出的结果,一边累计最后结果。

$$Y_{\cos}(x) = \int_{d_1} \cdots \int_{d_M} \int_{e_1} T_{l=1}^M \mu_{C_l}(d_l) T_{l=M}^M \mu_{E_l}(e_l) / \frac{\sum_{l=1}^M d_l e_l}{\sum_{l=1}^M e_l} \quad (12)$$

其中: $d_l \in C_l = C_{Cl}$ 是第 l 条规则后件的质心,

$e_l \in E_l = \bigcup_{i=1}^I \mu_{Y_l}(x_i)$ 。

该方法的具体运算过程如下:

(1) 离散 Y 域值, 根据公式(8)或(9)计算, 对于这个过程可以在没有得到任何输出结果之前做;

(2) 计算 $E_l = \bigcup_{i=1}^I \mu_{Y_l}(x_i)$;

(3) 对 C_l 进行离散产生适当的数目比如 M_l ($l=1, \dots, M$);

(4) 对 $E_l = \bigcup_{i=1}^I \mu_{Y_l}(x_i)$ 进行离散产生适当的数目比如 N_l ($l=1, \dots, M$);

(5) 列举所有可能的组合 $\{d_1, \dots, d_M, e_1, \dots, e_M\}$, 根据上面的分析这种组合可能达到 $\prod_{l=1}^M N_l M_l$ 个;

(6) 应用公式(11)计算 $Y_{\cos}(x)$ 。

3 总结

本文详细的介绍了 Type-2 模糊系统的原理及其相应的功能, 重点介绍了类型简化部件的作用, 从性能分析来看 Type-2 模糊系统远没有 Type-1 模糊系统那么清晰。如何建立一种系统化的方法将二型模糊系统应用于各个领域还处于研究空白, 主要有以下几个问题有待解决: 如何针对实际问题确定二型模糊系统确定良好的结构; 如何对实际问题的不确定性进行评估并用于二型系统的参数设计; 如何赋予二型模糊系统自适应的学习机制, 使其适应于应用。这些不足和问题将会随着二型系统方法的逐渐应用而被越来越多的人重视和解决^[5-6]。

(下转第19页)

Analysing Transmission Characteristic and Receiving Method of Very Low Frequency Remote Signal

WANG Wei¹, ZENG Feng²

(1. College of Information Engineering, Chengdu University of Technology, Sichuan Chengdu 610059, China;)
(2. College of Science, Zhejiang University of Technology, Zhejiang Hangzhou 310032, China)

Abstract: By analyzing transmission pathway and mode of VLF radio wave, calculation formula of field intensity is given. Basic radio wave equation underwater is deduced, underwater depth and phase change of radio wave are analyzed, especially, field intensity attenuation from up to underwater of electric field and magnetic field, estimation of the depth of VLF remote signal to enter water. Because of using orthogonal antennas, it receives signal which from all-round is strongest intensity.

Keywords: VLF radio wave; remote-control naval mine; depth-enter water; orthogonal antennas

(上接第7页)

参考文献:

- [1] Zadeh L A. The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning[J]. *inform sci.* 1975(8):199-249.
- [2] Nilesch N Karnik, Jerry M Mendel. Type-2 Fuzzy Logic Systems[J]. *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, 1999(6):643-658.
- [3] John R I, Innocent P R, Barnes M R. Type-2 Fuzzy Sets and Neuro-fuzzy Clustering of Radiography Tibia Image[J]. *IEEE Int Conf. Fuzzy Sets*, 1998(5):1373-1376.
- [4] Nilesch, Karnik N. Operation on Type-2 Fuzzy Sets[J]. *IEEE, Fuzzy Sets and System*, 2001(22):327-348.
- [5] Liang O, Mendel J M. Overcoming Time-Varying Co-channel Interference Using Type-2 Fuzzy Adaptive Filter[J]. *IEEE Trans. Circuits Syst*, 2000(47):1419-1428.
- [6] Melin P, Castillo O. A new approach for quality control of sound speakers combining type-2 fuzzy logic and fractal theory[J]. in *Proc. FUZZY-IEEE. Int. conf.*, 2002(23):825-830.

A Study on Type-2 Fuzzy Logical System

GAO Jun

(College of Electrical and Information Engineering, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

Abstract: On the basis of the systematical study on the Type-2 fuzzy logical system, the paper analyzes the basic theory and foundational structure of Type-2 fuzzy logical system, puts forward the corresponding ways to deal with practical problems by this system, directs the researchers to the future development and brings forward the problems that should be solved in the future.

Keywords: Type-2 fuzzy logical system; minimum t-form; primary membership; secondary membership