

# 带参数区间值直觉模糊集及其在模式识别中的应用

张振华<sup>1,2</sup> 杨静宇<sup>1</sup> 叶有培<sup>1</sup> 张倩生<sup>2</sup>

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)<sup>1</sup> (广东外语外贸大学思科信息学院 广州 510006)<sup>2</sup>

**摘要** 首次提出了带参数区间值直觉模糊集的概念,并构造了一系列带参数的区间值直觉模糊集。接着,从已知隶属度和非隶属度出发,重点分析了单参数区间值直觉模糊集的构造。最后,构造了模式分界点的参数方程,并从理论上证明了临界值对模式识别结果有影响。模式识别实验结果表明,带参数区间值直觉模糊集方法比传统的直觉模糊集方法更具灵活性。

**关键词** 直觉模糊集,区间值直觉模糊集,带参数区间值直觉模糊集,模式识别

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Interval Valued Intuitionistic Fuzzy Sets with Parameters and its Application in Pattern Recognition

ZHANG Zhen-hua<sup>1,2</sup> YANG Jing-yu<sup>1</sup> YE You-pei<sup>1</sup> ZHANG Qian-sheng<sup>2</sup>

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)<sup>1</sup>

(Cisco School of Informatics, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510006, China)<sup>2</sup>

**Abstract** The concept of interval-valued intuitionistic fuzzy sets with parameters (IVIFSP) was first introduced, and a series of IVIFSP were presented. Based on the degree of membership and the degree of non-membership, this paper focused on the construction of interval-valued intuitionistic fuzzy sets with single-parameter. Finally, parameter equation with critical point between any two patterns was constructed, and the critical point was proved to be theoretically effective in analyzing the result of pattern recognition. The results of pattern recognition simulation show that the method of IVIFSP is more flexible than that of the traditional intuitionistic fuzzy sets.

**Keywords** Intuitionistic fuzzy sets, Interval-valued intuitionistic fuzzy sets, Interval-valued intuitionistic fuzzy sets with parameters, Pattern recognition

## 1 引言

1986年 Atanassov 引进隶属度、非隶属度和犹豫度,提出直觉模糊集(Intuitionistic Fuzzy Sets, IFS)<sup>[1]</sup>, 1989年 Atanassov 在对比分析区间值模糊集和直觉模糊集的基础上,提出了区间值直觉模糊集(Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Sets, IVIFS)<sup>[2,3]</sup>。此后,众多学者参与研究,在决策分析与模式识别领域,直觉模糊集与区间值直觉模糊集得到广泛运用<sup>[4-23]</sup>。在区间值直觉模糊集研究领域, Yager、袁学海、李洪兴等人研究了区间值直觉模糊集的截集性质<sup>[8-10]</sup>;文献<sup>[16, 18]</sup>在 E. Szmidt 和 J. Kacprzyk 等人研究基础上进一步研究了区间值直觉模糊集贴近度,并运用于模式识别与医疗诊断<sup>[4,7,16-19]</sup>;李登峰和徐泽水等将区间值直觉模糊集运用于决策分析<sup>[11-14]</sup>,雷英杰、张倩生等研究了区间值直觉模糊推理及其应用<sup>[20-23]</sup>。然而,目前尚未有文献涉及从模糊集或直觉模糊集出发,构造区间值直觉模糊集。从一般的模糊集出发构造区间值模糊集的研究,目前尚处于探索阶段,只有少数

学者研究了从 Vague 集向模糊集转化<sup>[24-26]</sup>;王鸿绪研究了从模糊集向 Vague 集转化<sup>[27,28]</sup>。基于此,本文重点探讨区间值直觉模糊集模型的构造。

首先,本文提出一系列带参数区间值直觉模糊集的构造方法,并重点分析了从直觉模糊集出发,构造固定单参数的区间值直觉模糊集模型。接着,利用传统的距离公式,将所构造的区间值直觉模糊集用于模式识别。仿真实验结果表明,本文方法比传统的直觉模糊集方法更灵活。最后,本文针对不同的贴近度公式,分析了建立分界点方程的方法,从理论上论证了参数不同取值对模式识别效果的影响。因此,本文方法可以为当前区间值直觉模糊集的实际应用研究领域,特别是需要构建隶属度的应用领域提供有价值的结论,对于将直觉模糊推理推广到区间值直觉模糊推理也有一定的理论意义<sup>[20]</sup>。

## 2 带参数区间值直觉模糊集的构造

**定义 1** 设  $U$  是论域,  $x \in U$ ,  $U$  上的直觉模糊集  $A$  是指

到稿日期:2011-05-03 返修日期:2011-07-22 本文受国家自然科学基金(61070061, 70801020),广东外语外贸大学校级项目(GW20052013),广东省自然科学基金(9151026005000002),广东省高等院校学科建设专项(396-GK100018)资助。

张振华(1972-),男,博士生,讲师,CCF 会员,主要研究方向为模糊信息处理与模式识别, E-mail: zhangzhenhua@mail.gdufs.edu.cn; 杨静宇(1941-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为模式识别、计算机视觉与图像处理、智能系统与智能机器人、数据融合; 叶有培(1944-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为模糊信息处理与机器智能、密码学与加密算法; 张倩生(1975-),男,博士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为模糊推理与决策。

一对隶属度函数  $t_A(x), f_A(x)$  满足:

$$t_A(x): U \rightarrow [0, 1], x \rightarrow t_A(x),$$

$$f_A(x): U \rightarrow [0, 1], x \rightarrow f_A(x) \text{ 且 } t_A(x) + f_A(x) \in [0, 1]$$

式中,  $t_A(x)$  称为  $A$  的真隶属函数, 表示支持  $x \in A$  的隶属度下界;  $f_A(x)$  称为  $A$  的假隶属函数, 表示反对  $x \in A$  的隶属度下界, 相应地,  $\pi_A(x) = 1 - t_A(x) - f_A(x)$  表示  $x \in A$  的犹豫度, 也称为不确定程度。

**定义 2** 对于论域  $U$ , 称满足下述条件的集合  $A = \{ \langle x, M_A(x), N_A(x) \mid x \in U \rangle \}$  为区间值直觉模糊集:

(1)  $M_A(x) = [t_A^-(x), t_A^+(x)]$ ,  $N_A(x) = [f_A^-(x), f_A^+(x)]$ ,  $P_A(x) = [\pi_A^-(x), \pi_A^+(x)]$ , 其中  $M_A(x)$ 、 $N_A(x)$ 、 $P_A(x)$  分别表示真隶属度、假隶属度、不确定度范围;

(2)  $M_A(x) \subseteq [0, 1]$ ,  $N_A(x) \subseteq [0, 1]$ ,  $P_A(x) \subseteq [0, 1]$ ;

(3)  $\pi_A^-(x) = 1 - t_A^+(x) - f_A^+(x)$ ,  $\pi_A^+(x) = 1 - t_A^-(x) - f_A^-(x)$ ;

(4)  $\text{Sup } M_A(x) + \text{Sup } N_A(x) = t_A^+(x) + f_A^+(x) \leq 1$ 。

**定理 1** (必要条件) 区间值直觉模糊集满足:

$$t_A^+(x) - t_A^-(x) + f_A^+(x) - f_A^-(x) = \pi_A^+(x) - \pi_A^-(x)$$

证明: 根据定义 2(3), 两式相减, 显然可证。

**定义 3** 对于论域  $U$ , 称满足下述条件的集合  $A = \{ \langle x, M_A(x), N_A(x) \mid x \in U \rangle \}$  为双参数区间值直觉模糊集:

(1)  $M_A(x) = [t_A^-(x), t_A^+(x)]$ ,  $N_A(x) = [f_A^-(x), f_A^+(x)]$ ,  $P_A(x) = [\pi_A^-(x), \pi_A^+(x)]$ ;  $M_A(x) \subseteq [0, 1]$ ,  $N_A(x) \subseteq [0, 1]$ ,  $P_A(x) \subseteq [0, 1]$ ;

(2)  $t_A^+(x) = t_A^-(x) + \alpha_A(x)$ ,  $f_A^+(x) = f_A^-(x) + \beta_A(x)$ ,  $\pi_A^+(x) = 1 - t_A^-(x) - f_A^-(x)$ ,  $\pi_A^-(x) = 1 - t_A^+(x) - f_A^+(x)$ 。

式中,  $\alpha_A(x) \geq 0$ ,  $\beta_A(x) \geq 0$ ,  $\alpha_A(x) + \beta_A(x) = \pi_A^+(x) - \pi_A^-(x)$ 。

根据定义, 易证双参数区间值直觉模糊集是区间值直觉模糊集。若令  $\alpha_A(x) = \lambda_A(x)(\pi_A^+(x) - \pi_A^-(x))$ ,  $\beta_A(x) = (1 - \lambda_A(x))(\pi_A^+(x) - \pi_A^-(x))$ , 则有以下单参数模型。

**定义 4** 对于论域  $U$ , 称满足下述条件的集合  $A = \{ \langle x, M_A(x), N_A(x) \mid x \in U \rangle \}$  为单参数区间值直觉模糊集:

(1)  $M_A(x) = [t_A^-(x), t_A^+(x)]$ ,  $N_A(x) = [f_A^-(x), f_A^+(x)]$ ,  $P_A(x) = [\pi_A^-(x), \pi_A^+(x)]$ ;  $M_A(x) \subseteq [0, 1]$ ,  $N_A(x) \subseteq [0, 1]$ ,  $P_A(x) \subseteq [0, 1]$ ;

(2)  $\forall \lambda_A(x) \in [0, 1]$ ,  $\alpha_A(x) = \lambda_A(x)(\pi_A^+(x) - \pi_A^-(x))$ ,  $\beta_A(x) = (1 - \lambda_A(x))(\pi_A^+(x) - \pi_A^-(x))$ ,  $t_A^+(x) = t_A^-(x) + \alpha_A(x)$ ,  $f_A^+(x) = f_A^-(x) + \beta_A(x)$ ,  $\pi_A^+(x) = 1 - t_A^-(x) - f_A^-(x)$ ,  $\pi_A^-(x) = 1 - t_A^+(x) - f_A^+(x)$ 。

显然定义 4 也满足区间值直觉模糊集定义。

若  $t_A^-(x) = t_A(x)$ ,  $f_A^-(x) = f_A(x)$ ,  $\pi_A^-(x) = 0$ ,  $\pi_A^+(x) = \pi_A(x)$ , 则由定义 3 和定义 4 可得到基于直觉模糊集拓展的带参数区间值直觉模糊集模型如下。

**定义 5** 对于论域  $U$ , 称满足下述条件的集合  $A = \{ \langle x, M_A(x), N_A(x) \mid x \in U \rangle \}$  为基于直觉模糊集拓展的双参数区间值直觉模糊集:  $\alpha_A(x) + \beta_A(x) = \pi_A(x)$ ,  $P_A(x) = [0, \pi_A(x)]$ ,  $M_A(x) = [t_A(x), t_A(x) + \alpha_A(x)]$ ,  $N_A(x) = [f_A(x), f_A(x) + \beta_A(x)]$ , 且  $0 \leq \lambda \leq 1$ , 其中,  $M_A(x)$ 、 $N_A(x)$ 、 $P_A(x)$  分别表示真隶属度、假隶属度、不确定度范围。

**定义 6** 对于论域  $U$ , 称满足下述条件的集合  $A = \{ \langle x, M_A(x), N_A(x) \mid x \in U \rangle \}$  为基于直觉模糊集拓展的单参数区间值直觉模糊集:  $P_A(x) = [0, \pi_A(x)]$ ,  $M_A(x) = [t_A(x), t_A$

$(x) + \lambda_A(x)\pi_A(x)]$ ,  $N_A(x) = [f_A(x), f_A(x) + (1 - \lambda_A(x))\pi_A(x)]$ , 且  $0 \leq \lambda_A(x) \leq 1$ , 其中,  $M_A(x)$ 、 $N_A(x)$ 、 $P_A(x)$  分别表示真隶属度、假隶属度、不确定度范围。

当  $\alpha_A(x) = \alpha$ ,  $\beta_A(x) = \beta$ ,  $\lambda_A(x) = \lambda$  时, 上述模型为为固定参数区间值直觉模糊集; 当  $\alpha_A(x)$ ,  $\beta_A(x)$ ,  $\lambda_A(x)$  随着  $x$  变化而变化时, 模型为变参数区间值直觉模糊集。

### 3 带参数区间值直觉模糊集模型的统计解释

下面从其物理意义角度阐述带参数区间值直觉模糊集。

由定义 2, 设将所有样本数据分为 3 部分, 第 1 部分  $t_A^-(x)$  为对某事件  $A$  的坚定的支持派, 第 2 部分  $f_A^-(x)$  表示对事件  $A$  的坚定的反对派,  $\pi_A^+(x)$  表示全部弃权派,  $\pi_A^-(x)$  是其中坚决弃权的弃权派,  $\pi_A^+(x) - \pi_A^-(x)$  为其中可转化的弃权派, 只有这部分可能变成支持派或反对派之一。若最终有  $\alpha_A(x)$  的样本支持事件  $A$ ,  $\beta_A(x)$  的样本反对事件  $A$ , 则可以得到基于定义 3 的双参数区间值直觉模糊集, 即:

$$P_A(x) = [\pi_A^-(x), \pi_A^+(x)]$$

$$\alpha_A(x) + \beta_A(x) = \pi_A^+(x) - \pi_A^-(x)$$

$$M_A(x) = [t_A^-(x), t_A^+(x)] = [t_A^-(x), t_A^-(x) + \alpha_A(x)]$$

$$N_A(x) = [f_A^-(x), f_A^+(x)] = [f_A^-(x), f_A^-(x) + \beta_A(x)]$$

若其中转化为支持的比例为  $\lambda_A(x)$ , 反对的比例为  $1 - \lambda_A(x)$ , 则为单参数区间值模型。若其中坚定的弃权派  $\pi_A^-(x) = 0$ , 则表示弃权派中每个样本都有可能成为支持派或反对派之一, 此时得到基于直觉模糊集拓展的带参数区间值直觉模糊集。

### 4 在模式识别和医疗诊断中的应用

以下主要讨论满足  $\pi_A^-(x) = 0$  的数据, 建立其上基于直觉模糊集拓展的固定单参数区间值直觉模糊集模型, 并利用其上贴近度公式进行诊断。基于文献[5, 6]的医疗诊断案例, 表 1 是基于直觉模糊集的诊断结果症状描述, 表 2 是基于直觉模糊集的待诊病人症状描述。其中疾病诊断集(决策属性) {Viral fever, Malaria, Typhoid, Stomach problem, Chest problem}, 症状集(条件属性) {temperature, headache, stomach pain, cough, chest pain}, 上述为已有模式。待诊断病人集(待识别模式) {AI, Bob, Joe, Ted}, 与已有模式条件属性相同。表中每一格两个数据, 前者表示隶属度, 后者为非隶属度。例如对于 Viral fever 病症患者, 症状为 temperature, 隶属度  $t_A(x) = 0.4$ , 假隶属度  $f_A(x) = 0$ ,  $\pi_A(x) = 1 - t_A(x) - f_A(x) = 0.6$ ,  $\pi_A^-(x) = 0$ 。

表 1 诊断结果症状描述\_直觉模糊集

	temperature	headache	stomachpain	cough	chestpain
Viral fever	0.4, 0	0.3, 0.5	0.1, 0.7	0.4, 0.3	0.1, 0.7
Malaria	0.7, 0	0.2, 0.6	0, 0.9	0.7, 0	0.1, 0.8
Typhoid	0.3, 0.3	0.6, 0.1	0.2, 0.7	0.2, 0.6	0.1, 0.9
Stomachproblem	0.1, 0.7	0.2, 0.4	0.8, 0	0.2, 0.7	0.2, 0.7
Chestproblem	0.1, 0.8	0, 0.8	0.2, 0.8	0.2, 0.8	0.8, 0.1

表 2 待诊病人症状描述\_直觉模糊集

	temperature	headache	stomachpain	cough	chestpain
AI	0.8, 0.1	0.6, 0.1	0.2, 0.8	0.6, 0.1	0.1, 0.6
Bob	0, 0.8	0.4, 0.4	0.6, 0.1	0.1, 0.7	0.1, 0.8
Joe	0.8, 0.1	0.8, 0.1	0, 0.6	0.2, 0.7	0, 0.5
Ted	0.6, 0.1	0.5, 0.4	0.3, 0.4	0.7, 0.2	0.3, 0.4

以下分别取  $\lambda = 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 0.9, 1$  来



$$d_{A,B}(x_i) = |t_A(x_i) - t_B(x_i)| + |f_A(x_i) - f_B(x_i)| + 2|t_A(x_i) - t_B(x_i)| + 2\lambda|\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)| \quad (1)$$

(2)若 $(t_A(x_i) - t_B(x_i))(\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)) < 0$ ,且 $|t_A(x_i) - t_B(x_i)| > |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|$  (条件2)

$$d_{A,B}(x_i) = |t_A(x_i) - t_B(x_i)| + |f_A(x_i) - f_B(x_i)| + 2|t_A(x_i) - t_B(x_i)| - 2\lambda|\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)| \quad (2)$$

(3)否则,若 $|t_A(x_i) - t_B(x_i)| \leq |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|$ ,且 $\lambda > |t_A(x_i) - t_B(x_i)| / |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|$  (条件3)

$$d_{A,B}(x_i) = |t_A(x_i) - t_B(x_i)| + |f_A(x_i) - f_B(x_i)| - 2|t_A(x_i) - t_B(x_i)| + 2\lambda|\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)| \quad (3)$$

若 $\lambda \leq |t_A(x_i) - t_B(x_i)| / |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|$  (条件4)

$$d_{A,B}(x_i) = |t_A(x_i) - t_B(x_i)| + |f_A(x_i) - f_B(x_i)| + 2|t_A(x_i) - t_B(x_i)| - 2\lambda|\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)| \quad (4)$$

分界点方程系数运算执行流程描述:

初始化  $d_{IVIFS_0} = 0$ ; 第一步: for  $i=1$  to  $n$  (属性个数); 计算  $t_A(x_i) - t_B(x_i)$ ,  $f_A(x_i) - f_B(x_i)$ ,  $\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)$ , 满足条件1, 按式(1)计算,  $d_{IVIFS_{i+1}} = d_{IVIFS_i} + d_{A,B}(x_i)$ ; 满足条件2, 按式(2)计算,  $d_{IVIFS_{i+1}} = d_{IVIFS_i} + d_{A,B}(x_i)$ ; 满足条件3, 按式(3)计算,  $d_{IVIFS_{i+1}} = d_{IVIFS_i} + d_{A,B}(x_i)$ ; 满足条件4, 按式(4)计算,  $d_{IVIFS_{i+1}} = d_{IVIFS_i} + d_{A,B}(x_i)$ ;

第二步: 判断  $k < n$ , 转第一步, 否则  $S_{IVIFS} = 1 - d_{IVIFS}^{n+1}$ , 输出计算结果。以 AI 诊断为例, 上述执行流程可得表 5。表 5 中根据  $\lambda$  取不同数值可以得到表 4 内的全部数据。对比表 5 易得, 若  $\lambda < 0.5$ , AI 诊断为 Malaria,  $\lambda > 0.5$ , 诊断为 Viralfever, 与第 4 节的结论完全一致。其余病理诊断可类似计算, 此不赘述。

表 5 AI 的贴适度参数方程

S(AI, diagnoses)	$\lambda \leq 0.5$	$\lambda \leq 0.8$	$\lambda > 0.8$
Viralfever	$0.805 + 0.05\lambda$	$0.825 + 0.01\lambda$	$0.905 - 0.09\lambda$
Malaria	0.83	$0.85 - 0.04\lambda$	$0.85 - 0.04\lambda$
Typhoid	$0.81 - 0.02\lambda$	$0.81 - 0.02\lambda$	$0.81 - 0.02\lambda$
Stomachproblem	0.55	$0.57 - 0.04\lambda$	$0.57 - 0.04\lambda$
Chestproblem	$0.51 - 0.02\lambda$	$0.51 - 0.02\lambda$	$0.51 - 0.02\lambda$

当  $p=2$  时, 对于任意  $\lambda \in [0, 1]$ ,  $S_{IVIFS} = 1 - d_{IVIFS}$ ,

$$d_{IVIFS} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [3(t_A(x_i) - t_B(x_i))^2 + (f_A(x_i) - f_B(x_i))^2 + 2\lambda^2(\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))^2 + 4\lambda(t_A(x_i) - t_B(x_i))(\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))] / 4n}$$

只需要对比根号内的数据大小即可, 显然, 欧氏距离的分界点方程比海明距离更容易求解, 只需计算:

$$a = \sum_{i=1}^n 2(\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))^2$$

$$b = \sum_{i=1}^n 4(\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))(t_A(x_i) - t_B(x_i))$$

$$c = \sum_{i=1}^n [3(t_A(x_i) - t_B(x_i))^2 + (f_A(x_i) - f_B(x_i))^2]$$

$$S_{IVIFS} = 1 - \sqrt{(a\lambda^2 + b\lambda + c) / 4n}$$

经计算易得, 对于任意的  $\lambda \in [0, 1]$ , Bob 识别为 Stomachproblem, 而 Joe 识别为 Typhoid, 其结论与上文海明距离运算结果相同, Ted 都识别为 Viralfever, 与文献[5, 6]也完全相同。当  $\lambda < 0.2255$  时, AI 识别为 Malaria; 当  $\lambda > 0.2255$  时, AI 识别为 Viralfever。

文献[7]中, Hung 和 Yang 给出 15 个专家对某工程决策方案的直觉模糊集评价, Hung 和 Yang 使用 SCM 聚类算法

得到所有专家的 3 个模式, 中心分别为  $B_1, B_2, B_3$ 。

表 6 专家模式

mode	$t_{B_i}(x)$	$f_{B_i}(x)$	$\pi_{B_i}(x)$
$B_1$	0.875	0.119	0.006
$B_2$	0.089	0.813	0.098
$B_3$	0.444	0.499	0.057

设某专家 A 评分为  $t_A(x) = 0.6$ ,  $f_A(x) = 0.38$ , 根据下述海明距离计算可得贴适度  $S_{IVIFS_A}$ , 如表 7 所列。

$$S_{IVIFS_A} = 1 - (|t_A^-(x) - t_{B_1}^-(x)| + |f_A^-(x) - f_{B_1}^-(x)| + |t_A^+(x) - t_{B_1}^+(x)| + |f_A^+(x) - f_{B_1}^+(x)|) / 4$$

表 7 专家 A 的海明距离贴适度参数方程

$S_{A, B_i}$	$\lambda \in [0, 1]$	Lower	Upper
$S_{A, B_1}$	$0.7285 + 0.007\lambda$	0.7285	0.7355
$S_{A, B_2}$	$0.5085 + 0.039\lambda$	0.5085	0.5124
$S_{A, B_3}$	$0.853625 + 0.0185\lambda$	0.8536	0.8721

对比可得对于任意  $\lambda \in [0, 1]$ , 贴适度  $S_{A, B_3}$  落在 0.8536 与 0.8721 之间, 故识别为类 3, 与文献[7]完全一致。根据欧氏距离计算参数方程, 如表 8 所列。

表 8 专家 A 的欧氏距离参数方程

parameter equation	$a\lambda^2 + b\lambda + c$	$\lambda \in [0, 1]$
$PE_{A, B_1}$	$0.295 + 0.000392\lambda^2 + 0.00035574\lambda$	
$PE_{A, B_2}$	$0.971 + 0.012168\lambda^2 + 0.038127844\lambda$	
$PE_{A, B_3}$	$0.087 + 0.002738\lambda^2 + 0.000799584\lambda$	

根据  $S_{IVIFS_A} = 1 - \sqrt{(a\lambda^2 + b\lambda + c) / 4n}$ , 得到表 9。根据表 9 参数方程的边界值可知, 第 3 类贴适度最高, 结果同上。

表 9 专家 A 的贴适度区间

$S_{A, B_i}$	Lower	Upper
$S_{A, B_1}$	0.7281	0.7284
$S_{A, B_2}$	0.4947	0.5073
$S_{A, B_3}$	0.8494	0.8524

结束语 综上所述, 本文提出了一系列带参数区间值直觉模糊集的构造方法, 重点分析了在已知直觉模糊集数据条件下, 构造单参数区间值直觉模糊集的方法。并利用传统的距离公式, 将所构造的区间值直觉模糊集用于模式识别, 实验结果和文献[5-7]基本一致, 而方法比文献[5-7]更灵活。最后, 本文针对不同贴适度公式, 提出了从理论角度寻找分界点方程的方法, 从而为理论上计算不同的参数取值对识别结果的影响提供了理论指导。

在本文基础上可进行一定的后续研究。本文重点阐述的区间值直觉模糊集模型是在已知直觉模糊集隶属度和非隶属度的基础上进行的, 事实上, 研究人员可以根据自己领域的相关知识, 采用适当的含变化参数的方式构建所需要的区间值直觉模糊集模型, 并通过参数变化观察贴适度的变化规律及其对模式识别结果的影响。

## 参考文献

- [1] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96
- [2] Atanassov K, Gargov G. Interval-valued intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 31: 343-349
- [3] Atanassov K. Intuitionistic Fuzzy Sets Theory and Applications [M]. Heidelberg, New York: Physica-verl, 1999
- [4] Szmjdt E, Kacprzyk J. Dilemmas with distances between intui-

- tionistic fuzzy sets; straightforward approaches may not work [J]. *Studies in Computational Intelligence*, 2008, 109: 415-430
- [5] Szmjdt E, Kacprzyk J. Distances between intuitionistic fuzzy sets and their applications in reasoning [J]. *Studies in Computational Intelligence*, 2005, 2: 101-116
- [6] Szmjdt E, Kacprzyk J. An intuitionistic fuzzy set based approach to intelligent data analysis; an application to medical diagnosis [C]// Abraham A, Jain L, Kacprzyk J, eds. *Recent advances in intelligent paradigms and applications*. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Germany; Physica-Verlag GmbH Heidelberg, 2003; 57-70
- [7] Hung W L, Yang M S. Similarity measure of intuitionistic fuzzy sets based on  $L_p$  metric [J]. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007, 46(1): 120-136
- [8] Yuan Xue-hai, Li Hong-xing. Cut sets on interval-valued intuitionistic fuzzy sets [C]// *IEEE Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSDK*. Tianjin, China, vol. 6, 2009: 167-171
- [9] Yuan Xue-hai, Li Hong-xing, Sun Kai-biao. Theory based on interval-valued level cut sets of Zadeh fuzzy sets [J]. *Fuzzy Info and Eng*, 2009, 2: 501-510
- [10] Yager R R. Some aspects of intuitionistic fuzzy sets [J]. *Fuzzy Optim Decis Making*, 2009, 8: 67-90
- [11] Xu Ze-shui. Some similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and their applications to multiple attribute decision making [J]. *Fuzzy Optim Decis Making*, 2007, 6: 109-121
- [12] Xu Ze-shui, Yager R R. Intuitionistic and interval-valued intuitionistic fuzzy preference relations and their measures of similarity for the evaluation of agreement within a group [J]. *Fuzzy Optim Decis Making*, 2009, 8: 123-139
- [13] Li Deng-feng. Topsis-based Nonlinear-programming methodology for multiattribute decision making with Interval-valued intuitionistic fuzzy sets [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2010, 18(2): 299-311
- [14] Li Deng-feng. Mathematical-Programming approach to matrix games with payoffs represented by Atanassov's Interval-valued intuitionistic fuzzy sets [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2010, 18(6): 1112-1128
- [15] Garcia J G, Rodabaugh S E. Order-theoretic, topological, categorical redundancies of interval-valued sets, grey sets, vague sets, interval-valued intuitionistic sets, intuitionistic fuzzy sets and topologies [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2005, 156: 445-484
- [16] 徐泽水. 区间直觉模糊集相似性测度及其在模式识别中的应用 [J]. *东南大学学报: 英文版*, 2007, 23(1): 139-143
- [17] Zhang Ying-jun, Ma Pei-jun, Su Xiao-hong. Pattern recognition using interval-valued intuitionistic fuzzy set and its similarity degree [C]// *IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, ICIS*. Shanghai, China, 2009: 361-365
- [18] Zhang Qian-sheng, Yao Hai-xiang, Zhang Zhen-hua. Some similarity measures of interval-valued intuitionistic fuzzy sets and application to pattern recognition [J]. *International Journal of Applied Mechanics and Materials*, 2011(44-47): 3888-3892
- [19] Zhang Qian-sheng, Jiang Sheng-yi, Jia Bao-guo, et al. Some information measures for interval-valued intuitionistic fuzzy sets [J]. *Information Sciences*, 2010, 180(12)
- [20] Zhang Qian-sheng, Yao Hai-xiang, Zhang Zhen-hua. An interval-valued fuzzy reasoning approach based on weighted similarity measure [J]. *Advanced Materials Research*, 2011 (143/144): 161-165
- [21] 雷阳, 雷英杰, 华继学, 等. 基于自适应直觉模糊推理的目标识别方法 [J]. *系统工程与电子技术*, 2010, 32(7): 1471-1475
- [22] 申晓勇, 雷英杰, 周创明, 等. 基于直觉模糊集的不确定时序逻辑模型 [J]. *计算机科学*, 2010, 37(5): 187-189
- [23] 申晓勇, 雷英杰, 华继学, 等. 基于 IFTPN 的不确定时间知识描述和推理方法 [J]. *控制与决策*, 2010, 10(25): 1457-1462
- [24] 张继国, 林文浩. Vague 集向 Fuzzy 集转化的新模型 [J]. *模糊系统与数学*, 2010, 24(4): 146-150
- [25] 徐凤生. Vague 集向 Fuzzy 集转化的两种新方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(21): 160-161
- [26] 范平, 戴文华, 桂学勤. Vague 集向 Fuzzy 集转化的方法分析 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(24): 48-50
- [27] 王鸿绪. 从 Fuzzy 值数据向 Vague 值数据的转化公式 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(25): 47-48
- [28] 王鸿绪. 单值数据转化为 Vague 值数据的定义和转化公式 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(24): 42-44

(上接第 214 页)

保证了运动控制系统的实时性, 满足了无人艇航速快、机动性强等特点。

在海洋环境下有风、浪、流的作用, 特别是针对水面无人艇这一特殊的对象, 这些影响更加突出。环境模型的建立仅仅基于电子海图, 没有考虑风、浪、流等水文气象因素对航线设计的影响, 这有待于进一步的研究和改进。

### 参 考 文 献

- [1] 徐玉如, 苏玉民, 庞永杰. 海洋空间智能无人运载器技术发展展望 [J]. *中国舰船研究*, 2006, 1(3): 2-4
- [2] Manely J E. Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development [C]// *Proc. Oceans 2008 MTS/IEEE Quebec Conference and Exhibition*. Quebec City; Ocean'08, 2008: 1-4
- [3] Veers J, Bertran V. Development of the USV Multi-mission Surface Vehicle III [C]// *5th Int. Conf. Computer and IT Application in the Maritime Industries, COMPIT*, 2006: 345-355
- [4] 廖煜雷, 庞永杰, 庄佳园. 无人水面艇嵌入式基础运动控制系统研究 [J]. *计算机科学*, 2010, 9(37): 214-217
- [5] Kim M-S, Moon S-R, Lee K-H. Motion Planning with Planar Geometric Models [C]// *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Sacramento, California, April 1991
- [6] Conn R A, Robot M K. Motion Planning on  $N$ -dimensional Star Worlds Among Moving Obstacles [J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1998, 14(2): 320-325
- [7] Bijlsma S J. On the applications of the principle of optimalevolution in ship routing [J]. *Journal of the Institute of Navigation*, 2004, 51(2): 93-100
- [8] 饶森. 水面无人艇的全局路径规划技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007
- [9] 韩鹏. 地理信息系统开发——MapObjects 方法 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004: 18-40
- [10] Dijkstra E. A note on two problems in connexion with graphs [M]. *Numerische Mathematik*, 1959: 269-271
- [11] 朱静. Dijkstra 算法在 GIS 中的优化实现 [J]. *计算机与现代化*, 2005, 9: 19-24