第 23 卷 第 8 期 控 制 与 决 策 2008 年 8 月
Vol. 23 No. 8 Control and Decision Aug. 2008

文章编号: 1001-0920(2008)08-0900-05

基于直觉模糊三角模的直觉模糊粗糙集

徐小来[1], 雷英杰[1], 谭巧英[2]
(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 陕西摩托车质量监督检验中心, 西安 710032)

摘 要: 提出一种基于直觉模糊三角模的直觉模糊粗糙集. 首先, 定义了直觉模糊集上的 T 模及其剩余蕴涵, 研究了直觉模糊 T 模的剩余蕴涵的性质, 并推导了通用计算表达式; 然后, 将模糊 T 粗糙集扩展成直觉模糊粗糙集, 证明了模糊 T 粗糙集、粗糙模糊集和 Pawlak 粗糙集都是直觉模糊粗糙集的特殊情形; 最后, 证明了直觉模糊粗糙集的一些性质.

关键词: 直觉模糊三角模; 粗糙集; 剩余蕴涵
中图分类号: TP182 **文献标识码**: A

Intuitionistic fuzzy rough sets based on intuitionistic fuzzy triangle norm

XU Xiao-lai[1], *LEI Ying-jie*[1], *TAN Qiao-ying*[2]
(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China; 2. Shanxi Motorcycle Supervisal and Verification Center, Xi'an 710032, China. Correspondent: XU Xiao-lai, E-mail: xxl1024@163.com)

Abstract: A kind of intuitionistic fuzzy rough sets based on intuitionistic triangle norm is presented. Firstly, intuitionistic fuzzy T-norm and its residual implication are defined, properties of residual implication operator of intuitionistic fuzzy T-norm are researched, and its general expression is deduced. Then, the intuitionistic fuzzy rough sets modal which extends from fuzzy T rough sets is deduced, and the proposition that fuzzy T rough sets, rough fuzzy sets and Pawlak rough sets are special cases of intuitionistic fuzzy rough sets is proved. Finally, some properties of intuitionistic fuzzy rough sets are proved.

Key words: Intuitionistic fuzzy triangle norm; Rough sets; Residual implication

1 引 言

粗糙集理论是一种处理不精确、不确定与不完全数据的新的数学理论. 由于它在人工智能、知识发现、数据挖掘、决策支持与分析等方面的广泛应用, 近年来得到各国学者的广泛研究. Pawlak 粗糙集模型是由经典集合基于论域 U 上的等价关系而得出的近似[1], 对论域 U 进行硬划分, 可把每个概念严格地划分到某类知识中, 具有"非此即彼"的"分明概念", 因此这种划分的类别界限是分明的. Dubois 模糊粗糙集模型由模糊集合基于论域 U 上的模糊 T 相似关系而得出的近似[2,3], 对论域 U 进行模糊划分, 得到了概念属于各类知识的不确定性程度, 表达了概念类属的"亦此亦彼"的"模糊概念", 即建立起了概念对于各类知识的不确定性的描述, 能更客观地反映现实世界, 从而成为粗糙集理论研究的热点.

Atanassov 直觉模糊集合[4,5] (IFS) 是对 Zadeh 模糊集理论最有影响的一种扩充和发展. IFS 增加了一个新的属性参数 ——非隶属函数, 进而还可以描述"非此非彼"的"模糊概念", 更加细腻地刻画了客观世界的模糊性本质[6]. 文献[7]在直觉模糊等价关系的基础上, 将模糊粗糙集模型进一步扩展为直觉模糊粗糙集模型, 具有重要的理论研究和应用价值, 但是没有研究直觉模糊集上 T 模的剩余蕴算子, 不便于进行直觉模糊粗糙理论研究.

本文研究了直觉模糊 T 模的剩余蕴涵的性质, 并推导了通用计算表达式. 在此基础上, 推导了直觉模糊粗糙集模型, 证明了模糊 T 粗糙集、粗糙模糊集和 Pawlak 粗糙集都是直觉模糊粗糙集的特殊情

收稿日期: 2007-06-06; **修回日期**: 2007-07-30.
基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2006F18).
作者简介: 徐小来(1980 —), 男, 湖南宁乡人, 博士生, 从事智能信息处理与信息融合的研究; 雷英杰(1956 —), 男, 陕西渭南人, 教授, 博士生导师, 从事智能信息处理与智能决策等研究.

形,并证明了直觉模糊粗糙集的性质.

2　直觉模糊集

定义 1[4]　设 X 是一个给定论域,则 X 上的一个直觉模糊集为

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), \upsilon_A(x)\rangle \mid x \in X\},\qquad(1)$$

其中 $\mu_A(x): X \to [0,1]$ 和 $\upsilon_A(x): X \to [0,1]$ 分别代表 A 的隶属函数和非隶属函数,且对于 A 上的所有 $x \in X$, $0 \le \mu_A(x) + \upsilon_A(x) \le 1$ 成立. 直觉模糊集 A 可简记为 $A = \langle x, \mu_A(x), \upsilon_A(x)\rangle$. 显然,每一个一般模糊子集对应于下列直觉模糊集 $A = \{\langle x, \mu_A(x), 1 - \mu_A(x)\rangle \mid x \in X\}$.

对于 X 中的每一个直觉模糊子集,称 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \upsilon_A(x)$ 为 A 中 x 的直觉指数,它是 x 对 A 的犹豫程度的一种测度.

定义 2[5]　设 A 和 B 是给定论域 X 上的直觉模糊子集,则有:

1) $A \cap B = \{\langle x, \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), \upsilon_A(x) \vee \upsilon_B(x)\rangle \mid \forall x \in X\}$;

2) $A \cup B = \{\langle x, \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \upsilon_A(x) \wedge \upsilon_B(x)\rangle \mid \forall x \in X\}$;

3) $\overline{A} = A^c = \{\langle x, \upsilon_A(x), \mu_A(x)\rangle \mid x \in X\}$;

4) $A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x \in X, [\mu_A(x) \le \mu_B(x) \wedge \upsilon_A(x) \ge \upsilon_B(x)]$.

定义 3[9]　令

$L^* = \{(x_1, x_2) \mid x_1 + x_2 \le 1, (x_1, x_2) \in [0,1]^2\}$, 且有 $(x_1, x_2) \le_{L^*} (y_1, y_2) \Leftrightarrow x_1 \le y_1 \wedge x_2 \ge y_2$, $\forall (x_1, x_2), (y_1, y_2) \in L^*$, 则称 $(L^*, \le_{L^*})$ 为完备格.

显然,对于论域 U 上的直觉模糊集合 A 可等价为 $A: U \to L^*: x \mapsto (\mu_A(x), \upsilon_A(x))$, $\forall x \in U$. 为简便起见,本文用 $X(x) = (x_1, x_2)$ 来表示直觉模糊集 $A = \langle x, \mu_A(x), \upsilon_A(x)\rangle$, 显然, $X(x) \in L^*$. L^* 上的 $0_{L^*} = (0,1)$, $1_{L^*} = (1,0)$.

3　直觉模糊三角模

定义 4　记 $I = [0,1]$, 映射 $T: I \times I \to I$ 称为三角模,若 T 满足下列条件:

1) 两极律

$$T(0,0) = 0,\ T(1,1) = 1;$$

2) 交换律

$$T(a,b) = T(b,a),\ a,b \in I;$$

3) 结合律

$$T(T(a,b),c) = T(a, T(b,c)),\ a,b,c \in I;$$

4) 单调律

$$a \le c,\ b \le d \Rightarrow T(a,b) \le T(c,d),\ a,b,c,d \in I.$$

此外,若三角模 T 满足 $T(a,1) = a$ 时,称为 T 模;若三角模 T 满足 $T(a,0) = a$ 时,称为 S 模. 并且 T 模与 S 模统称为三角模.

定义 5[8]　设 T 是 $I = [0,1]$ 上的下半连续 T 模,定义 I 上的二元算子 $\theta_T: I \times I \to I$ 如下:

$$\theta_T(a,b) = \sup\{c \in I \mid T(a,c) \le b\},\ a,b \in I,\qquad(2)$$

称 θ^T 为 T 的剩余蕴涵. 下文将下标省去.

$I = [0,1]$ 上的对偶 T 模和 S 模具有如下的性质:

$$S(a,b) = 1 - T(1-a, 1-b),\ a,b \in I.\qquad(3)$$

定义 6　T 和 S 是 $I = [0,1]$ 上的对偶 T 模和 S 模,定义 L^* 上的二元算子 Φ 和 $\Psi(L^* \times L^* \to L^*)$ 为

$$\Phi(x,y) = (T(x_1,y_1), S(x_2,y_2)),\qquad(4)$$

$$\Psi(x,y) = (S(x_1,y_1), T(x_2,y_2)),\qquad(5)$$

其中 $x, y \in U$. 利用对偶性质可得

$$\Phi(x,y) = (T(x_1,y_1), 1 - T(1-x_2, 1-y_2)),\qquad(6)$$

$$\Psi(x,y) = (1 - T(1-x_1, 1-y_1), T(x_2,y_2)).\qquad(7)$$

容易验证, $T(x_1,y_1) + 1 - T(1-x_2, 1-y_2) \le 1$, Φ 和 Ψ 都满足两极律、交换律、结合律和单调律,并且有 $\Phi(1_{L^*}, y) = y$, $\Psi(0_{L^*}, y) = y$. 因此 Φ 和 Ψ 分别称为 L^*(直觉模糊集合)上的 T 模和 S 模,统称为 L^* 上的三角模.

定义 7　设 Φ 是 L^* 上的下半连续 T 模,有限论域 U 上的二元直觉模糊关系 R 称为直觉模糊 Φ 相似关系,若 R 是自反对称和 Φ 传递(即 $\Phi(R(x,z), R(x,y)) \le_{L^*} R(z,y)$)的.

定义 8　设 Φ 是 L^* 上的下半连续 T 模,定义二元算子 $(\Theta_\Phi: L^* \times L^* \to L^*)$

$$\Theta_\Phi(x,y) = \sup\{z \in L^* \mid \Phi(x,z) \le_{L^*} y, x, y \in L^*\},\qquad(8)$$

则称 Θ_Φ 为 Φ 的剩余蕴涵. 为简便起见,下标省去.

定理 1　设 Φ 是 L^* 上的 T 模, θ 为 T 模的剩余蕴涵,则 Φ 的剩余蕴涵为

$$\Theta(x,y) = (\theta(x_1,y_1) \wedge \theta(1-x_2, 1-y_2),\ 1 - \theta(1-x_2, 1-y_2)),\ x, y \in L^*.\qquad(9)$$

证明

$$\begin{aligned}\Theta &= \sup\{z \in L^* \mid \Phi(x,z) \le_{L^*} y\} = \\ &\sup\{z \in L^* \mid (T(x_1,z_1),\ 1 - T(1-x_2, 1-z_2)) \le_{L^*} (y_1,y_2)\} = \\ &\sup\{z \in L^* \mid (T(x_1,z_1) \le y_1,\ T(1-x_2, 1-z_2) \le 1-y_2)\}.\end{aligned}$$

从上式可以看出,在保证 $z_1 + z_2 \leqslant 1$ 的前提下,对 z 求上界,等效于对 z_1 求上界和对 z_2 求下界. 为保证 $z_1 + z_2 \leqslant 1$,在 z_1 增加一项加以约束,即

$$\Theta = (\sup\{z_1 \in I \mid ((T(x_1, z_1) \leqslant y_1) \wedge (T(1 - x_2, z_1) \leqslant 1 - y_2))\}, \inf\{z_2 \in I \mid T(1 - x_2, 1 - z_2) \leqslant 1 - y_2\}) = (\theta(x_1, y_1) \wedge \theta(1 - x_2, 1 - y_2), 1 - \theta(1 - x_2, 1 - y_2)).$$

因此定理成立. □

定理 1 将直觉模糊 T 模的剩余蕴涵与 T 模的剩余蕴涵联系起来,这对直觉模糊粗糙集的应用研究十分重要.

定理 2　设 Φ 是 L^* 上的下半连续 T 模,则 Φ 的剩余蕴涵 Θ 满足下列性质:设 $x, y, z \in L^*$,则:

1) $\Theta(1_{L^*}, x) = x,\ \Theta(x, 1_{L^*}) = 1_{L^*}$;　(10)

2) $x \leqslant_{L^*} y \Rightarrow \Theta(z, x) \leqslant_{L^*} \Theta(z, y)$;　(11)

3) $x \leqslant_{L^*} y \Rightarrow \Theta(y, z) \leqslant_{L^*} \Theta(x, z)$;　(12)

4) $\Theta(x, y \wedge z) = \Theta(x, y) \wedge \Theta(x, z)$;　(13)

5) $\Theta(\Phi(x, y), z) = \Theta(x, \Theta(y, z))$.　(14)

证明　1) 由定义 8 可得

$$\Theta(1_{L^*}, x) = \sup\{z \in L^* \mid \Phi(1_{L^*}, z) \leqslant_{L^*} x\} = \sup\{z \in L^* \mid z \leqslant_{L^*} x\} = x.$$

后半部分可用相似的方法证明. 所以式(10) 成立.

2) 令 $u = \Theta(z, x)$,则有

$$\Phi(z, u) \leqslant_{L^*} x \leqslant_{L^*} y.$$

由定义可得 $u \leqslant_{L^*} \Theta(z, y)$,所以式(11) 成立.

3) 令 $u = \Theta(y, z)$,则有

$$\Phi(y, u) \leqslant z;$$

由单调律得

$$\Phi(x, u) \leqslant \Phi(y, u) \leqslant z;$$

则有

$$u \leqslant_{L^*} \Theta(x, z),$$

所以式(12) 式成立.

4) 当 $y \wedge z = y$ 时,即 $y \leqslant_{L^*} z$,由 2) 可得 $\Theta(x, y) \leqslant_{L^*} \Theta(x, z)$,式(13) 成立. 同理可证 $y \wedge z = z$ 时,式(13) 成立.

当 $y \wedge z = (y_1, z_2), y_1 \leqslant z_1, y_2 \leqslant z_2$ 时,由定理 1 得

$$\Theta(x, y \wedge z) = (\theta(x_1, y_1) \wedge \theta(1 - x_2, 1 - z_2), 1 - \theta(1 - x_2, 1 - z_2)).$$

由 θ 的性质可得[8]

$$\Theta(x_1, y_1) \leqslant \theta(x_1, z_1),$$
$$\theta(1 - x_2, 1 - y_2) \geqslant \theta(1 - x_2, 1 - z_2),$$

所以

$$\Theta(x, y) \wedge \Theta(x, z) = (\theta(x_1, y_1) \wedge \theta(1 - x_2, 1 - z_2), 1 - \theta(1 - x_2, 1 - z_2)),$$
$$\Theta(x, y) \wedge \Theta(x, z) = \Theta(x, y \wedge z),$$

式(13) 成立. 同理可证 $y \wedge z = (z_1, y_2)$ 时,式(13) 成立.

5) 由 Φ 满足结合律可得

$$\Theta(\Phi(x, y), z) = \sup\{u \in L^* \mid \Phi(\Phi(x, y), u) \leqslant_{L^*} z\} = \cdots = \sup\{u \in L^* \mid \Phi(y, u) \leqslant_{L^*} \Theta(x, z)\} = \Theta(y, \Theta(x, z)),$$

所以式(14) 成立. □

4　直觉模糊粗糙集模型及性质

定义 9　设 R 为论域 U 上的一直觉模糊 Φ 相似关系,称 (U, R) 是直觉模糊粗糙近似空间. 对于任意的 $X \in U$, X 关于近似空间 (U, R) 的下近似 $\underline{A_R}(X)$ 和上近似 $\overline{A_R}(X)$,是定义在 U 上的一对直觉模糊集,其隶属和非隶属函数定义为

$$\underline{A_R}(X)(x) = \inf_{y \in U} \Theta(R(y, x), X(y)),\ x \in U, \tag{15}$$

$$\overline{A_R}(X)(x) = \sup_{y \in U} \Phi(R(y, x), X(y)),\ x \in U, \tag{16}$$

称 $(\underline{A_R}(X), \overline{A_R}(X))$ 为直觉模糊粗糙集.

定理 3　R 为论域 U 上的一模糊 T 相似关系,将模糊集合 R 和 U 都转化为相应的直觉模糊集合 R' 和 U',即

$$R'(x', y') = (R(x, y), 1 - R(x, y)),$$
$$X'(x') = (X(x), 1 - X(x)),$$

下近似 $\underline{A_R}(X')$ 和上近似 $\overline{A_R}(X')$ 的隶属和非隶属函数为

$$\underline{A_{R'}}(X')(x') = \Big(\inf_{y \in U} \theta_T(R(y, x), X(y)), 1 - \inf_{y \in U} \theta(R(y, x), X(y))\Big),\ x \in U, x' \in U', \tag{17}$$

$$\overline{A_R}(X')(x') = \Big(\sup_{y \in U} T(R(y, x), X(y)), 1 - \sup_{y \in U} T(R(y, x), X(y))\Big),\ x \in U, x' \in U'. \tag{18}$$

证明

$$\Phi(R'(y', x'), X'(y')) = (T(R(y, x), X(y)), 1 - T(R(y, x), X(y))),$$

$$\overline{A_R}(X)(x') = \sup_{y' \in U'} \Phi(R'(x', y'), X'(y')) = \Big(\sup_{y \in U} T(R(y, x), X(y)), 1 - \sup_{y \in U} T(R(y, x), X(y))\Big),$$

$$\underline{A_R}(X')(x') =$$

$$\inf_{y'\in U'}\Theta(R'(y',x'),X'(y'))=$$
$$\inf_{y\in U}(\theta(R(y,x),X(y)),$$
$$1-\theta(R(y,x),X(y))),$$
$$\underline{A}_R(X)(x')=(\inf_{y\in U}\theta(R(y,x),X(y)),$$
$$1-\inf_{y\in U}\theta(R(y,x),X(y))).$$

因此定理成立. □

由定理 3 可以看出,当直觉模糊 Φ 相似关系退化为模糊 T 相似关系时,直觉模糊粗糙集的上、下近似就是将模糊 T 粗糙集的上、下近似的普通模糊集转化为直觉模糊集合,因此模糊 T 粗糙集只是直觉模糊粗糙集的特殊情形;另一方面,文献[8]已证明了 Pawlak 粗糙和粗糙模糊集都是模糊 T 粗糙集的特殊情形. 因此,Pawlak 粗糙、粗糙模糊集和模糊 T 粗糙集都是直觉模糊粗糙集的特殊情形.

由定义 9 给出的下近似 $\underline{A}_R(X)$ 和上近似 $\overline{A}_R(X)$ 满足下列性质:

1) $\underline{A}_R(X)\subseteq X\subseteq\overline{A}_R(X)$; (19)

2) 若 $R_1\subseteq R_2$,则

$$\underline{A}_{R_1}\supseteq\underline{A}_{R_2}(X),\ \overline{A}_{R_1}(X)\subseteq\overline{A}_{R_2}(X);\quad(20)$$

3) $\underline{A}_R(X\cap Y)=\underline{A}_R(X)\cap\underline{A}_R(Y)$,

$$\overline{A}_R(X\cup Y)=\overline{A}_R(X)\cup\overline{A}_R(Y);\quad(21)$$

4) $\underline{A}_R(\underline{A}_R(X))=\underline{A}_R(X)$,

$$\overline{A}_R(\overline{A}_R(X))=\overline{A}_R(X);\quad(22)$$

5) 若 $X\subseteq Y$,则

$$\underline{A}_R(X)\subseteq\underline{A}_R(Y),\ \overline{A}_R(X)\subseteq\overline{A}_R(Y);\quad(23)$$

6) $\underline{A}_R(X\cup Y)\supseteq\underline{A}_R(X)\cup\underline{A}_R(Y)$,

$$\overline{A}_R(X\cap Y)\subseteq\overline{A}_R(X)\cap\overline{A}_R(Y).\quad(24)$$

证明

1) $$\underline{A}_R(X)(x)=\inf_{y\in U}\Theta(R(y,x),X(y))\le_{L^*}\Theta(R(x,x),X(x))=\Theta(1_{L^*},X(x))=X(x),$$

$$\overline{A}_R(X)(x)=\sup_{y\in U}\Phi(R(y,x),X(y))\ge\Theta(R(x,x),X(x))=\Theta(1_{L^*},X(x))=X(x)).$$

因此式(19)成立.

2) 令 $\underline{A}_{R_1}(X)(x)=w$,且对应的 y 为 u,因 $R_1\subseteq R_2$,所以

$$R_1(u,x)\le_{L^*}R_2(u,x).$$

由定理 2 的性质(3)可得

$$\Theta(R_2(u,x),X(u))\le_{L^*}\Theta(R_1(u,x),X(u)),$$

所以

$$\underline{A}_{R_2}(X)(x)\le_{L^*}\Theta(R_2(u,x),X(u))\le_{L^*}\underline{A}_{R_1}(X)(x).$$

令 $\overline{A}_{R_1}(X)(x)=w$,且对应的 y 为 u. 由 Φ 满足单调律得

$$\Phi(R_1(u,x),X(u))\le_{L^*}\Phi(R_2(u,x),X(u)),$$

所以

$$\overline{A}_{R_2}(X)(x)\ge\Phi(R_2(u,x),X(u))\ge\underline{A}_{R_1}(X)(x),$$

因此式(20)成立.

3) 由定理 2 的性质(4)可得

$$\underline{A}_R(X\cap Y)(x)=\inf_{u\in U}\Theta(R(u,x),X(u)\cap Y(u))=\inf_{u\in U}\Theta(R(u,x),X(u))\wedge\inf_{u\in U}\Theta(R(u,x),Y(u))=\underline{A}_R(X)(x)\cap\underline{A}_R(Y)(x),$$

$$\underline{A}_R(X\cup Y)(x)=\sup_{u\in U}\Phi(R(u,x),X(u)\cup Y(u))=\sup_{u\in U}\Phi(R(u,x),X(u))\cup\sup_{u\in U}\Phi(R(u,x),Y(u))=\overline{A}_R(X)\cup\overline{A}_R(Y),$$

因此式(21)成立.

4) 由定理 2 的性质(4),(5)和传递性可得

$$\underline{A}_R(\underline{A}_R(X))(x)=\bigwedge_{u\in U}\Theta(R(u,x),\bigwedge_{u\in U}\Theta(R(v,u),X(v)))=\bigwedge_{u,v\in U}\Theta(R(u,x),\Theta(R(v,u),X(v))=\bigwedge_{u,v\in U}\Theta(\Phi(R(u,x),R(u,v)),X(v))\ge\bigwedge_{v\in U}\Theta(R(u,v),X(v))=\underline{A}_R(X)(x),$$

因此 $\underline{A}_R(X)\subseteq\underline{A}_R(\underline{A}_R(X))$.

$$\overline{A}_R(\overline{A}_R(X))(x)=\sup_{u\in U}\Phi(R(u,x),\sup_{v\in U}\Phi(R(u,v),X(v)))=\sup_{u,v\in U}\Phi(R(u,x),\Phi(R(u,v),X(v)))\le\sup_{v\in U}\Phi(R(u,v),X(v))\subseteq\overline{A}_R(X)(x),$$

因此 $\overline{A}_R(\overline{A}_R(X))\subseteq\overline{A}_R(X)$.

再结合性质 1)可知命题成立.

5) 由性质 3)可得

$$\underline{A}_R(X\cap Y)=\underline{A}_R(X)\cap\underline{A}_R(Y)=\underline{A}_R(X),$$

所以 $\underline{A}_R(X)\subseteq\underline{A}_R(Y)$;

$$\overline{A}_R(X\cup Y)=\overline{A}_R(X)\cup\overline{A}_R(Y)=\overline{A}_R(Y),$$

所以 $\overline{A}_R(X)\subseteq\overline{A}_R(Y)$.

因此式(23)成立.

6) 可由性质 3)简单推得.

5　结　　论

本文系统地研究了直觉模糊 T 模的剩余蕴涵的性质,并推导了通用计算表达式,这对直觉模糊粗

糙集的理论研究具有重要意义. 在此基础上,推导了直觉模糊粗糙集模型,证明了模糊 T 粗糙集、粗糙模糊集和 Pawlak 粗糙集都是直觉模糊粗糙集的特殊情形,因此直觉模糊粗糙集能处理更加一般的数据,应用的范围更广,具有广阔的应用前景. 最后证明了直觉模糊粗糙集的性质.

参考文献(References)

[1] Pawlak Z. Rough sets [J]. Int J of Information Computer Science, 1982, 11(5): 341-356.

[2] Dubois D, Prade H. Rough sets and fuzzy rough sets [J]. Int J of General Systems, 1990, 17(2/3): 191-209.

[3] Nanda S, Majumdar S. Fuzzy rough sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 45(2): 157-160.

[4] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Setsand Systems, 1986, 20(1): 87-96.

[5] Atanassov K. More on intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 33(1): 37-44.

[6] 雷英杰, 王宝树. 直觉模糊关系及其合成运算[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(2): 113-118.
(Lei YJ, Wang B S. On the intuitionistic fuzzy relations with compositional operations[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2005, 25(2): 113-118.)

[7] Chris Cornelis, Martine De Cock, Etienne Eikerre. Intuitionistic fuzzy rough sets: At the crossroads of imperfect knowledge[J] Expert Systems, 2003, 20(5): 260-270.

[8] 张文修, 吴伟志, 梁吉业, 等. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
(Zhang W X, Wu W Z, Liang J Y. Rough sets theory and methods [M]. Beijing: Science Publishing Company, 2006.)

[9] Glad Deschrijver, Etienne E Kerre. Implicators based on binary aggregation operators in interval-valued fuzzy set theory[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2005, 49(9): 229-248.

[10] Salvatore Greco, Masahiro Inuiguchi, Roman Slowinski. Fuzzy rough sets and multiple-premise gradual decision rules [J]. Int J of Approximate Reasoning, 2006, 41(2): 179-211.

(上接第 899 页)

参考文献(References)

[1] Zhang P, Ding S X, Frank P M. Fault detection of networked control systems with missing measurements [C]. Proc of the 5th Asian Control Conf. New York: IEEE Press, 2004: 1258-1263.

[2] Zhong M, Han Q. Fault detection filter design for a class of networked control systems[C]. Proc of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. New York: IEEE Press, 2006: 215-219.

[3] Wang Z, Yang F, Ho D W C, et al. Robust filtering-horizon for stochastic systems with missing measurements[J]. IEEE Signal Process Lett, 2005, 12(6): 437-440.

[4] Wang W, Yang F. H_∞ filter design for discrete-time systems with missing measurements [J]. Acta Automatica Sinica, 2006, 32(1): 107-111.

[5] Yang F, Wang Z, Hung Y S, et al. H_∞ control for networked systems with random communication delays [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2006, 51(3): 511-518.

[6] 王武, 杨富文. 具有随机通讯时延的离散网络化系统的 H_∞ 滤波器设计[J]. 控制理论与应用, 2007, 24(1): 1-6.
(Wang W, Yang F W. H_∞ filter designing for discrete-time networked systems with random communication delays[J]. Control Theory and Applications, 2007, 24(1): 1-6.)

[7] Xie L. Output feedback H_∞ control of systems with parameter uncertainty[J]. Int J of Control, 1996, 63(4): 741-750.