

互逆主义粗糙模糊区间逻辑

周训伟

(北京联合大学 信息技术研究所, 北京 100101)

[摘要] 互逆主义粗糙模糊区间逻辑是将互逆主义逻辑与区间算术、模糊逻辑、粗糙集相结合,用于进行粒计算.互逆主义粗糙模糊区间逻辑可以在区间的划分块这一粗粒度上挖掘模糊关联规则.

[关键词] 互逆主义粗糙模糊区间逻辑,互逆主义模糊区间逻辑,互逆主义粗糙模糊逻辑,粒计算,模糊关联规则挖掘

[中图分类号] TP18 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2012) 01-0043-04

Mutually-Inversistic Rough Fuzzy Interval Logic

Zhou Xunwei

(Institute of Information Technology, Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract: Mutually-inversistic rough fuzzy interval logic is the integration of mutually-inversistic logic constructed by the author and interval arithmetic, fuzzy logic, and rough set, which is used in granular computing. Mutually-inversistic rough fuzzy interval logic can be used to mine fuzzy association rules on the granule of partition of intervals.

Key words: mutually-inversistic rough fuzzy interval logic, mutually-inversistic fuzzy interval logic, mutually-inversistic rough fuzzy logic, granular computing, fuzzy association rule mining

一个蕴涵命题有一对互逆的过程:建立蕴涵命题的过程和建立之后用它来做假言推理的过程.经典逻辑^[1]没有反映这对互逆的过程,于是作者提出互逆主义逻辑^[2].模糊逻辑^[3]也没有反映这对互逆的过程,于是作者提出互逆主义模糊逻辑^[4],也称不确定性互逆主义逻辑.为了在区间这一粒度进行粒计算,作者将互逆主义模糊逻辑与区间算术^[5]相结合,提出互逆主义模糊区间逻辑^[6].为了在划分块这一粒度上进行粒计算,作者将互逆主义模糊逻辑与粗糙模糊集^[7]相结合,提出互逆主义粗糙模糊逻辑^[8].为了在区间的划分块这一粒度上进行粒计算,本文将互逆主义模糊区间逻辑与互逆主义粗糙模糊逻辑相结合,提出互逆主义粗糙模糊区间逻辑.

互逆主义模糊逻辑可以在对象这一最细的粒度上挖掘模糊关联规则,互逆主义模糊区间逻辑可以在区间这一较粗的粒度上挖掘模糊关联规则,互逆主义粗糙模糊区间逻辑可以在区间的划分块这一更粗的粒度上挖掘模糊关联规则.

1 互逆主义模糊区间逻辑简介

模糊区间记做 $\tilde{X}^+ = \sum_{i=1}^n \frac{[\mu x_i^-, \mu x_i^+]}{[x_i^-, x_i^+]}$,其中, \tilde{X}^+ 是模糊区间的记号, $[x_i^-, x_i^+]$ 是其中任一个对象,

$[\mu x_i^-, \mu x_i^+]$ 是对象 $[x_i^-, x_i^+]$ 对于模糊区间的隶属度区间,有 $\mu \tilde{X}^+[x_i^-, x_i^+] = [\mu x_i^-, \mu x_i^+]$.互逆主义模糊区间逻辑算符的全功能集由3个算符组成: \neg_i (区间否定), \wedge_i (区间合取), \leq_i^{-1} (区间互逆蕴涵). $\neg_i[\mu x_i^-, \mu x_i^+]$ 定义为 $[1 - \mu x_i^+, 1 - \mu x_i^-]$. $[\mu x_1^-, \mu x_1^+] \wedge_i [\mu x_2^-, \mu x_2^+]$ 定义为 $[(\mu x_1^- + \mu x_2^-)/2, (\mu x_1^+ + \mu x_2^+)/2]$.

对模糊区间互逆蕴涵命题 $\tilde{A}^+ \leq_i^{-1} \tilde{C}^+$ 而言,有确定它的隶属度区间(支持强度区间)的过程,即模糊

收稿日期: 2011-10-08.

基金项目:北京市属高等学校人才强教计划资助项目(PHR200907120).

通讯联系人:周训伟,教授,研究方向:非经典逻辑,离散数学. E-mail: zhouxunwei@263.net

区间关联规则挖掘过程 和确定它的隶属度区间之后将其当做大前提来做假言推理的过程. 在此只考虑模糊区间关联规则挖掘过程. 设论域为 $\{[e_1^-, e_1^+], \dots, [e_n^-, e_n^+]\}$. $[e_i^-, e_i^+]$ 对 \tilde{A}^+ 的隶属度区间为 $[a_i^-, a_i^+]$, 对 \tilde{C}^+ 的隶属度区间为 $[c_i^-, c_i^+]$. 用 $[\text{int}_i^-, \text{int}_i^+] = [c_i^-, c_i^+] - [a_i^-, a_i^+]$ 来求出 $[e_i^-, e_i^+]$ 的截距区间 $[\text{int}_i^-, \text{int}_i^+]$. 再求出 $[e_i^-, e_i^+]$ 的支持强度区间 $[ss_i^-, ss_i^+]$. 具体算法如算法 1 所示.

算法 1

- | | | |
|--|------|------------------------------------|
| (1) $\text{int}^- = c^- - a^+$ | (13) | else if($\text{int}^+ \geq 0.5$) |
| (2) $\text{int}^+ = c^+ - a^-$ | (14) | then{ $ss^- = 0.5$; |
| (3) if($\text{int}^- \leq 0 \leq \text{int}^+$) | (15) | $ss^+ = 1 - \text{int}^-$; |
| (4) then{ $ss^+ = 1$; | (16) | } |
| (5) if($\text{int}^+ \geq 0.5$) then $\text{temp}_1 = 0.5$; | (17) | else{ $ss^+ = 1 - \text{int}^-$; |
| (6) else $\text{temp}_1 = 1 - \text{int}^+$; | (18) | $ss^- = 1 - \text{int}^+$; |
| (7) $\text{temp}_2 = 1 + \text{int}^-$; | (19) | } |
| (8) if($\text{temp}_2 \leq \text{temp}_1$) then $ss^- = \text{temp}_2$; | (20) | } |
| (9) else $ss^- = \text{temp}_1$; | (21) | else if($\text{int}^+ < 0$) |
| (10) } | (22) | then { $ss^+ = 1 + \text{int}^-$; |
| (11) else if($\text{int}^- > 0$) | (23) | $ss^- = 1 + \text{int}^-$; |
| (12) then{ if($\text{int}^- \geq 0.5$) then $ss^- = ss^+ = 0.5$; | (24) | } |

在 $[e_1^-, e_1^+], \dots, [e_n^-, e_n^+]$ 的支持强度区间 $[ss_1^-, ss_1^+], \dots, [ss_n^-, ss_n^+]$ 都求出来之后, 用 $[ss_i^-, ss_i^+] = ([ss_1^-, ss_1^+] + \dots + [ss_n^-, ss_n^+]) / n$ 即可求得 $\tilde{A}^+ \leq_i^{-1} \tilde{C}^+$ 的总支持强度区间(即隶属度区间) $[ss_i^-, ss_i^+]$.

2 粗糙模糊区间

粗糙模糊集在模糊集的定义中引入等价关系, 将隶属度定义在等价类上, 同一等价类中的对象具有相同的隶属度. 定义如下:

定义 1 设 U 是给定的论域, A 是模糊集合, R 是 U 上的等价关系, R 对应的划分为 $U/R = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$, 则在等价关系 R 下模糊集 A 的下、上近似分别为

$$\begin{aligned}\mu_{\tilde{R}} A(U_i) &= \inf\{\mu A(u) : u \in U_i\}, \\ \mu_{\tilde{R}} \bar{A}(U_i) &= \sup\{\mu A(u) : u \in U_i\}.\end{aligned}$$

将粗糙模糊集的定义推广到粗糙模糊区间, 得到:

设 U 是给定的区间论域, U^- 是 U 的下限的集合, U^+ 是 U 的上限的集合, \tilde{A}^+ 是模糊区间, R 是 U 上的等价关系, R 对应的划分为 $U/R = \{U_1, \dots, U_i, \dots, U_n\}$, 其中 U_i^- 是 U_i 的下限组成的划分块, U_i^+ 是 U_i 的上限组成的划分块, 则在等价关系 R 下模糊区间 \tilde{A}^+ 的下、上近似分别为:

$$\begin{aligned}\mu_{\tilde{R}} \tilde{A}^+(U_i^-) &= \inf\{\mu^- \tilde{A}^+(u^-) : u^- \in U_i^-\}, \\ \mu_{\tilde{R}} \tilde{A}^+(U_i^+) &= \inf\{\mu^- \tilde{A}^+(u^+) : u^+ \in U_i^+\}, \\ \mu_{\tilde{R}} \bar{\tilde{A}^+}(U_i^-) &= \sup\{\mu^- \tilde{A}^+(u^-) : u^- \in U_i^-\}, \\ \mu_{\tilde{R}} \bar{\tilde{A}^+}(U_i^+) &= \sup\{\mu^- \tilde{A}^+(u^+) : u^+ \in U_i^+\}, \\ \mu_{\tilde{R}} \tilde{A}^+(U_i) &= [\mu_{\tilde{R}} \tilde{A}^+(U_i^-), \mu_{\tilde{R}} \tilde{A}^+(U_i^+)], \\ \mu_{\tilde{R}} \bar{\tilde{A}^+}(U_i) &= [\mu_{\tilde{R}} \bar{\tilde{A}^+}(U_i^-), \mu_{\tilde{R}} \bar{\tilde{A}^+}(U_i^+)].\end{aligned}$$

3 互逆主义粗糙模糊区间逻辑

设模糊区间互逆蕴涵命题为 $\tilde{A}^+ \leq_i^{-1} \tilde{C}^+$, 论域 U 上的等价关系为 R , $U/R = \{U_1, \dots, U_i, \dots, U_n\}$. 只考虑区间对划分块的模糊区间关联规则的下、上近似的挖掘:

$$\mu_{\tilde{R}} \tilde{A}^+(U_i) \leq_i^{-1} \mu_{\tilde{R}} \tilde{C}^+(U_i),$$

$$\bar{R}^{-} A^{+}(U_i) \leq_i^{-1} \bar{R}^{-} C^{+}(U_i).$$

设有大气质量区间值关系数据库如表 1 所示. 以 TD 做为等价关系, 以 $TD^{-} + TD^{+} \leq 30$ 为一个划分块, 即以 $[x_1^{-} x_1^{+}]$ 和 $[x_2^{-} x_2^{+}]$ 为一个划分块, 记为 TD_1 . 以 $TD^{-} + TD^{+} > 30$ 为另一个划分块, 即以 $[x_3^{-} x_3^{+}]$ 和 $[x_4^{-} x_4^{+}]$ 为另一个划分块, 记做 TD_2 . 设定挖掘模糊区间关联规则“如果煤耗(CC) 越高(High) 那么 SO_2 浓度(SO_2) 就越浓(Dense)”在这两个划分块中的下、上近似. High, Dense 是模糊概念, 它们的隶属函数如图 1 和图 2 所示.

将表 1 中属性 CC 的每一个区间用图 1 折合成隶属度区间之后就得到模糊区间 \bar{CC}^{+} .

$$\begin{aligned} \bar{CC}^{+} = & \frac{[0.232 \ 0.248]}{[x_1^{-} x_1^{+}]} + \frac{[0.8 \ 1]}{[x_2^{-} x_2^{+}]} + \\ & \frac{[0.08 \ 0.12]}{[x_3^{-} x_3^{+}]} + \frac{[0.54 \ 0.58]}{[x_4^{-} x_4^{+}]} . \end{aligned} \quad (1)$$

同理可得

$$\bar{SO}_2^{+} = \frac{[0.1 \ 0.167]}{[x_1^{-} x_1^{+}]} + \frac{[0.566 \ 0.633]}{[x_2^{-} x_2^{+}]} + \frac{[0.073 \ 0.1]}{[x_3^{-} x_3^{+}]} + \frac{[0.533 \ 0.633]}{[x_4^{-} x_4^{+}]} . \quad (2)$$

在等价关系 TD 下, \bar{CC}^{+} 的下近似为:

$$TD^{-} \bar{CC}^{+} = \frac{[0.232 \ 0.248]}{[x_1^{-} x_1^{+}]} + \frac{[0.232 \ 0.248]}{[x_2^{-} x_2^{+}]} + \frac{[0.08 \ 0.12]}{[x_3^{-} x_3^{+}]} + \frac{[0.08 \ 0.12]}{[x_4^{-} x_4^{+}]} ,$$

上近似为:

$$TD^{+} \bar{CC}^{+} = \frac{[0.8 \ 1]}{[x_1^{-} x_1^{+}]} + \frac{[0.8 \ 1]}{[x_2^{-} x_2^{+}]} + \frac{[0.54 \ 0.58]}{[x_3^{-} x_3^{+}]} + \frac{[0.54 \ 0.58]}{[x_4^{-} x_4^{+}]} .$$

同理, \bar{SO}_2^{+} 的下近似为:

$$TD^{-} \bar{SO}_2^{+} = \frac{[0.1 \ 0.167]}{[x_1^{-} x_1^{+}]} + \frac{[0.1 \ 0.167]}{[x_2^{-} x_2^{+}]} + \frac{[0.073 \ 0.1]}{[x_3^{-} x_3^{+}]} + \frac{[0.073 \ 0.1]}{[x_4^{-} x_4^{+}]} ,$$

\bar{SO}_2^{+} 的上近似为:

$$TD^{+} \bar{SO}_2^{+} = \frac{[0.566 \ 0.633]}{[x_1^{-} x_1^{+}]} + \frac{[0.566 \ 0.633]}{[x_2^{-} x_2^{+}]} + \frac{[0.533 \ 0.633]}{[x_3^{-} x_3^{+}]} + \frac{[0.533 \ 0.633]}{[x_4^{-} x_4^{+}]} .$$

则:

$$\begin{aligned} [\underline{\text{int}}_{TD_1}^{-}, \underline{\text{int}}_{TD_1}^{+}] &= [0.1 \ 0.167] - [0.232 \ 0.248] = [(0.1 - 0.248) \ (0.167 - 0.232)] = \\ &= [-0.148, -0.065] \end{aligned}$$

$$SS_{TD_1}^{+} = 1 + \underline{\text{int}}_{TD_1}^{+} = 1 + (-0.065) = 0.935 ,$$

$$SS_{TD_1}^{-} = 1 + \underline{\text{int}}_{TD_1}^{-} = 1 + (-0.148) = 0.852 .$$

得 $TD^{-} \bar{CC}^{+}(TD_1) \leq_i^{-1} TD^{-} \bar{SO}_2^{+}(TD_1)$ 的支持强度区间为 $[SS_{TD_1}^{-}, SS_{TD_1}^{+}] = [0.852 \ 0.935]$.

$$[\underline{\text{int}}_{TD_1}^{-}, \underline{\text{int}}_{TD_1}^{+}] = [0.566 \ 0.633] - [0.8 \ 1] = [(0.566 - 1) \ (0.633 - 0.8)] = [-0.434, -0.167] .$$

$$SS_{TD_1}^{+} = 1 + \underline{\text{int}}_{TD_1}^{+} = 1 + (-0.167) = 0.833 ,$$

$$SS_{TD_1}^{-} = 1 + \underline{\text{int}}_{TD_1}^{-} = 1 + (-0.434) = 0.566 .$$

得 $TD^{-} \bar{CC}^{+}(TD_1) \leq_i^{-1} TD^{-} \bar{SO}_2^{+}(TD_1)$ 的支持强度区间为 $[SS_{TD_1}^{-}, SS_{TD_1}^{+}] = [0.566 \ 0.833]$.

$$[\underline{\text{int}}_{TD_2}^{-}, \underline{\text{int}}_{TD_2}^{+}] = [0.073 \ 0.1] - [0.08 \ 0.12] = [(0.073 - 0.12) \ (0.1 - 0.08)] = [-0.047 \ 0.02] ,$$

表 1 大气质量区间值关系数据库

Table 1 Air quality interval-valued database

论域	煤耗(CC)	交通密度(TD)	SO_2 浓度(SO_2)
$[x_1^{-} x_1^{+}]$	$[0.58 \ 0.62]$	$[2.5 \ 3.5]$	$[0.015 \ 0.025]$
$[x_2^{-} x_2^{+}]$	$[2 \ 2.5]$	$[8.5 \ 9.5]$	$[0.085 \ 0.095]$
$[x_3^{-} x_3^{+}]$	$[0.2 \ 0.3]$	$[18 \ 20]$	$[0.011 \ 0.015]$
$[x_4^{-} x_4^{+}]$	$[1.35 \ 1.45]$	$[47.5 \ 48]$	$[0.08 \ 0.095]$

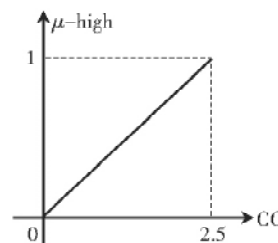


图 1 High 的隶属函数
Fig.1 Membership function for high

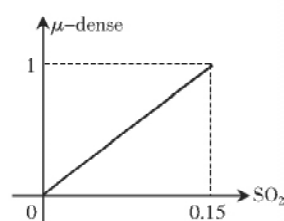


图 2 Dense 的隶属函数
Fig.2 Membership function for dense

$$\begin{aligned} \overline{ss_{TD_2}^+} &= 1 - \overline{temp_1} = 1 - \overline{int_{TD_2}^+} = 1 - 0.02 = 0.98, \\ \overline{temp_2} &= 1 + \overline{int_{TD_2}^-} = 1 + (-0.047) = 0.953, \overline{ss_{TD_2}^-} = 0.953, \\ \text{得 } \overline{TD^- CC^+ (TD_2)} &\leq_i^{-1} \overline{TD^- SO_2^+ (TD_2)} \text{ 的支持强度为 } [\overline{ss_{TD_2}^-}, \overline{ss_{TD_2}^+}] = [0.953, 1], \\ [\overline{int_{TD_2}^-}, \overline{int_{TD_2}^+}] &= [0.533, 0.633] - [0.54, 0.58] = [(0.533 - 0.58), (0.633 - 0.54)] = \\ &= [-0.047, 0.093]. \\ \overline{ss_{TD_2}^+} &= 1 - \overline{temp_1} = 1 - \overline{int_{TD_2}^+} = 1 - 0.093 = 0.907, \overline{temp_2} = 1 + \overline{int_{TD_2}^-} = 1 + (-0.047) = 0.953, \\ \overline{ss_{TD_2}^-} &= 0.907. \\ \text{得 } \overline{TD^- CC^+ (TD_2)} &\leq_i^{-1} \overline{TD^- SO_2^+ (TD_2)} \text{ 的支持强度为 } [\overline{ss_{TD_2}^-}, \overline{ss_{TD_2}^+}] = [0.907, 1]. \end{aligned}$$

4 与模糊区间关联规则挖掘的比较

为了与上节区间划分块的模糊区间关联规则的下、上近似挖掘相比较,本节挖掘模糊区间关联规则.数据库如表1所示,本节欲挖掘“如果煤耗(CC)越高(high),那么SO₂浓度(SO₂)就越浓(dense)”,记作 $\overline{CC^+} \leq_i^{-1} \overline{SO_2^+}$. $\overline{CC^+}$ 与 $\overline{SO_2^+}$ 已在(1)和(2)中求得,现在对其进行挖掘:

$$\begin{aligned} [x_1^-, x_1^+]: [\overline{int_1^-}, \overline{int_1^+}] &= [0.1, 0.167] - [0.232, 0.248] = [-0.148, -0.065], \\ [\overline{ss_1^-}, \overline{ss_1^+}] &= [0.852, 0.935], \\ [x_2^-, x_2^+]: [\overline{int_2^-}, \overline{int_2^+}] &= [0.566, 0.633] - [0.8, 1] = [-0.434, -0.167], \\ [\overline{ss_2^-}, \overline{ss_2^+}] &= [0.566, 0.833], \\ [x_3^-, x_3^+]: [\overline{int_3^-}, \overline{int_3^+}] &= [0.073, 0.1] - [0.08, 0.12] = [-0.047, 0.02], \\ [\overline{ss_3^-}, \overline{ss_3^+}] &= [0.953, 1], \\ [x_4^-, x_4^+]: [\overline{int_4^-}, \overline{int_4^+}] &= [0.533, 0.633] - [0.54, 0.58] = [-0.047, 0.093], \\ [\overline{ss_4^-}, \overline{ss_4^+}] &= [0.907, 1], \\ [\overline{ss_i^-}, \overline{ss_i^+}] &= ([\overline{ss_1^-}, \overline{ss_1^+}] + [\overline{ss_2^-}, \overline{ss_2^+}] + [\overline{ss_3^-}, \overline{ss_3^+}] + [\overline{ss_4^-}, \overline{ss_4^+}]) / 4 = \\ &= ([0.852, 0.935] + [0.566, 0.833] + [0.953, 1] + [0.907, 1]) / 4 = \\ &= [(0.852 + 0.566 + 0.953 + 0.907) / 4, (0.935 + 0.833 + 1 + 1) / 4] = [0.82, 0.942], \\ \text{得 } \overline{CC^+} &\leq_i^{-1} \overline{SO_2^+} \text{ 的总支持强度区间为 } [0.82, 0.942]. \end{aligned}$$

可以看出,上节所挖掘的各个区间划分块的模糊区间关联规则的下、上近似是对本节所挖掘的模糊区间关联规则的近似.

5 结语

互逆主义粗糙模糊区间逻辑是互逆主义模糊区间逻辑与互逆主义粗糙模糊逻辑的结合,可用于挖掘区间划分块的模糊区间关联规则的下、上近似.可以用互逆主义模糊逻辑在对象这一最细的粒度上挖掘模糊关联规划,可以用互逆主义模糊区间逻辑在区间这一较粗的粒度上挖掘模糊关联规则,可以用互逆主义粗糙模糊逻辑在划分块这一较粗的粒度上挖掘模糊关联规则,可以用互逆主义粗糙模糊区间逻辑在区间的划分块这一更粗的粒度上挖掘模糊关联规则.

[参考文献](References)

- [1] Hamilton A G. Logic for Mathematicians (Revised Edition) [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [2] Zhou Xunwei. Mutually Inverse Discrete Mathematics and Its Applications [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [3] Lofti A Zadeh. Fuzzy sets [J]. Information and Control, 1965(8): 338-353.
- [4] Zhou Xunwei. Mutually-inversistic logic with uncertainty [C]// Proceedings of the Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Jinan, 2008: 346-352.

(下转第56页)

[参考文献](References)

- [1] Chai Song, Wu Chang, Li Yubai, et al. A NoC simulation and verification platform based on systemC[C]//2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering. Wuhan, 2008: 423-426.
- [2] Patooghy A, Miremadi S G. XYX: a power and performance efficient fault-tolerant routing algorithm for network on chip[C]//Proceedings of the 2009 17th International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing. Germany: Weinmar, 2009: 245-251.
- [3] Robert Mullins, Andrew West, Simon Moore. The design and implementation of a low-latency on-chip network[C]//Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC). UK: Cambridge University, 2006.
- [4] 万玉鹏, 吴宁. NoC路由单元的系统级设计[J]. 苏州科技学院学报: 工程技术版, 2009, 22(2): 61-64.
Wan Yupeng, Wu Ning. A design of NoC router based on system level[J]. Journal of University of Science and Technology of Suzhou: Engineering and Technology Edition, 2009, 22(2): 61-64. (in Chinese)
- [5] 岳培培, 陈杰, 刘建, 等. 应用于片上网络的双通道路由器[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(2): 309-312.
Yue Peipei, Chen Jie, Liu Jian, et al. Two-channel router for networks-on-chip[J]. Journal of UEST of China, 2009, 38(2): 309-312. (in Chinese)
- [6] 吴飞. 片上网络适配单元的设计与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学: 信息科学与技术学院, 2007.
Wu Fei. Design and implementation of adapter for network on chip[D]. Nanjing: College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007. (in Chinese)
- [7] Srinivasan Murali, Luca Benini. Analysis of error recovery schemes for networks on chips[J]. Design and Test of Computers, 2005, 22(5): 434-442.

[责任编辑: 严海琳]

(上接第46页)

- [5] Witold Pedrycz, Andrzej Skowron, Vladik Kreinovich. Handbook of Granular Computing[M]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [6] Zhou Xunwei. Mutually-inversistic fuzzy interval logic[C]//Proceedings of Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Yantai, 2010: 242-244.
- [7] Miao Duoqian, Li Daoguo. Rough Sets, Theory, Algorithms, and Applications[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [8] Zhou Xunwei. Mutually-inversistic rough fuzzy logic[C]//2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Shanghai, 2011: 386-389.

[责任编辑: 严海琳]