

模糊推理中相异因子的研究^{*}

付利华 何华灿

(西北工业大学计算机科学与工程系 西安710072)

摘要 本文首次提出“相异因子 r ”的概念,并在“使解 B^* 的相异程度最小”的思想指导下,改进了三I算法单纯地求满足条件的最小模糊集的方法,并分别讨论了在Lukasiewicz蕴涵算子和Zadeh蕴涵算子之下的FMP规则以及相应的算法表达式。

关键词 模糊推理,CRI方法,三I算法,相异因子,模糊蕴涵算子

Research on the Incompatible Factor of Fuzzy Reasoning

FU Li-Hua HE Hua-Can

(Department of Computer Science & Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an710072)

Abstract The “incompatible factor” concept is introduced for the first time, and the Triple I method is improved with the thinking. The reason of why the new method should be more reasonable than the Triple I method is analyzed, then the new method is generalized by considering two different types of implication operations.

Keywords Fuzzy reasoning, CRI method, Triple I method, Incompatible factor, Fuzzy implication operation

1 引言

自Zadeh^[1]于1965年建立模糊集理论以来,作为其应用之一的模糊控制在许多工业生产领域,特别是在系列家电产品开发上都取得了巨大的成功^[2,3]。模糊推理作为模糊控制的理论基础,在近三十多年来一直受到模糊系统理论界的广泛关注。Zadeh^[4]于1973年首先提出模糊分离规则(Fuzzy Modus Ponens,即FMP),后经Mamdani等人所发展^[5],形成了著名的CRI(Compositional Rule of Inference)算法^[6]。CRI算法作为模糊推理的基本方法,获得了普遍接受,并有许多学者对该方法进行了多种形式的推广^[7~9]。

王国俊教授^[10]在对CRI算法进行详细研究后,指出CRI算法具有若干缺陷,并首先提出了模糊推理的全蕴涵三I算法。该算法的每一步推理都使用了蕴涵运算,并充分地考虑了前提和结论间的最大可能的蕴涵关系,在理论上比CRI算法有了很大的进步,然而,通过我们的分析发现,三I算法也存在不足,它对所求的解没有给出一种合理的解释,且在某些情况下,所求的解不是正确的解。在本文中作者将首次提出“相异因子 r ”的概念,并将使用这一概念,对模糊推理的解进行重新定义。

2 基本概念

2.1 模糊推理的基本形式

在模糊推理的理论研究中,最基本的模糊推理形式为^[7]:

设 X 与 Y 是非空集, A, A^* 是论域 X 上的模糊集,而 B, B^* 则是论域 Y 上的模糊集,

已知: $A \rightarrow B$

且给定: A^*

(1)

求 B^*

2.2 CRI算法和三I算法

在模糊推理中,求解式(1)的解 B^* 有多种不同的形式,但Zadeh提出的CRI算法是最具有代表性的一种,其基本思想是^[11]:

1)利用蕴涵算子 R_z 把已知条件 $A \rightarrow B$ 转化为一个 $X \times Y$ 上的模糊关系 $R(x, y)$,即转化成映射 $R: X \times Y \rightarrow [0, 1]$:

$$R(x, y) = R_z(A(x), B(y)) \quad (2)$$

2)把给定的 A^* 与第一步中的模糊关系 R 作合成即得输出 B^* :

$$B^*(y) = A^*(x) \circ R_z(A(x), B(y)) \quad (3)$$

$$= \sup_{x \in X} [A^*(x) \wedge R_z(A(x), B(y))] \quad (4)$$

式(3)给出了CRI算法的基本模式,在复合式我们还可采用更为一般的三角模方法,同时蕴涵算子也不限于使用 R_z ,还可以使用多种其他类型的算子。

传统的CRI算法在逻辑语义蕴涵意义下存在着不足^[10]:

1)在模糊推理过程中,只使用了一次与推理有关的蕴涵算法,而用复合算法代替了其它推理过程。

2)传统的CRI算法不是还原算法,不是文[12]中所说的关系再现算法。

王国俊教授在弥补传统CRI算法不足的基础上提出了模糊推理的全蕴涵三I算法,其基本思想是:

式(1)中的解 B^* 是使得 $A \rightarrow B$ 最大程度地支持 $A^* \rightarrow B^*$,即

$$(A(x) \rightarrow B(y)) \rightarrow (A^*(x) \rightarrow B^*(y)) \quad (5)$$

对一切 $x \in X$ 与 $y \in Y$ 取得最大的可能值的 $\mathcal{S}(Y)$ 中的最小模糊集。

2.3 常见蕴涵算子满足的性质

据统计,至今已见于文献的蕴涵算子已近100个(蕴涵算

^{*}国家自然科学基金资助项目(批准号:60273087)。付利华 博士研究生,主要研究方向为模糊逻辑、模糊控制、人工智能原理及应用,何华灿教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能原理及应用、泛逻辑学。

子族不计在内),而目前在模糊控制中使用的蕴涵算子却只有为数不多的几个^[13]。对于常用的一些蕴涵算子均满足:

性质1 若 $b \leq c$, 则 $R(a, b) \leq R(a, c)$ 。

如 $R_0, R_{L_0}, R_{GR}, R_G, R_{G_0}, R_Z, R_M$ 等, 这表示推理方法关于后件的单调性^[13], 因此以下的讨论均是以此性质作为前提。

另外, 常用的蕴涵算子中, 有的蕴涵算子满足:

性质2 $R(a, b) = 1$ 当且仅当 $a \leq b$ 。

如 $R_0, R_{L_0}, R_{GR}, R_G, R_{G_0}$ 等; 也有的蕴涵算子不满足性质2, 如 Zadeh 算子 R_Z , Mamdani 算子 R_M 等。

为了讨论的方便, 我们有以下的定义:

定义1 设 R 为满足性质1的一蕴涵算子, 如果 R 满足性质2, 则称 R 为 R_{L_0} 型蕴涵算子; 反之, 称 R 为 R_Z 型蕴涵算子。

3 相异因子 r

全蕴涵三 I 算法的各层推理均由蕴涵算子体现, 并且充分地考虑了“ $A^*(x) \rightarrow B^*(y)$ ”与“ $A(x) \rightarrow B(y)$ ”之间应满足最大可能的蕴涵关系, 这种推理思想显然比使用合成法则的 CRI 算法在理论上有了很大的进步。

然而, 三 I 算法在最后确定式(1)的解 B^* 是满足条件的 $\mathcal{F}(Y)$ 中的最小模糊集时, 却显得有些牵强, 并且最小模糊集是否是 FMP 的解, 这还需要进一步的论证。使得式(5)取得最大可能值的 B^* 也许有很多, 比如, 只要蕴涵运算 \rightarrow 满足性质2时, 则 $\mathcal{F}(Y)$ 中恒取值1的最大 Fuzzy 集, 便可以使得式(5)对一切 $x \in X$ 与 $y \in Y$ 取得最大值1, 显然, 这样的 B^* 是不合用的, 没有提供有用的信息^[11]。这样, 三 I 算法便认为式(1)的解 B^* 是 $\mathcal{F}(Y)$ 中使式(5)取得最大可能值的最小 Fuzzy 集^[11], 而对为什么应取这一最小 Fuzzy 集, 并不是其它满足条件的 Fuzzy 集, 没有给出合理的解释。

如果求得 $B^* \in \mathcal{F}(Y)$ 满足“ $A \rightarrow B$ 最大程度地支持 $A^* \rightarrow B^*$ ”, 但同时 B^* 还使得:

$$R(A^*(x), B^*(y)) > R(A(x), B(y)),$$

即 $(A^*(x) \rightarrow B^*(y)) > (A(x) \rightarrow B(y))$ 成立, 可以看出, 这些 B^* 使得“ A^* 支持 B^* 的程度”大于“ A 支持 B 的程度”, 可以说是一种冒险的推理。反之, 如果求得 $B^* \in \mathcal{F}(Y)$ 使得:

$$R(A^*(x), B^*(y)) < R(A(x), B(y)),$$

即 $(A^*(x) \rightarrow B^*(y)) < (A(x) \rightarrow B(y))$ 成立, 可以看出, 这些 B^* 使得“ A^* 支持 B^* 的程度”小于“ A 支持 B 的程度”, 可以说是一种保守的推理。

通过以上分析可以看出, FMP 的解 B^* 不仅应满足“ $A \rightarrow B$ 最大程度地支持 $A^* \rightarrow B^*$ ”, 而且在此前提下求出的解 B^* 还应使得“ A^* 支持 B^* 的程度应最大可能地接近 A 支持 B 的程度”。为此我们提出了“相异因子 r ”的概念。

定义2(相异因子 r) 设 X 与 Y 是非空集, $A, A^* \in \mathcal{F}(X), B, B^* \in \mathcal{F}(Y)$, 那么式(1)中的解 B^* 具有的相异程度为 $|r|$:

$$\text{相异因子 } r = R(A^*(x), B^*(y)) - R(A(x), B(y))$$

说明: 相异因子 r 大于零, 表示求解的 B^* 是一种冒险的推理, 反之, 若相异因子 r 小于零, 表示求解的 B^* 是一种保守的推理, 相应的相异程度 $|r|$ 刻画了其冒险(保守)的程度。显然, 我们求解的 B^* 应尽量使得 $|r|$ 趋近于零。

定义3(FMP) 设 X 与 Y 是非空集, $A, A^* \in \mathcal{F}(X), B, B^* \in \mathcal{F}(Y)$, 则式(1)中的解 B^* 是使式(5)取得最大可能值, 且其相异程度 $|r|$ 最小的 $\mathcal{F}(Y)$ 中的 Fuzzy 集。

下面我们将对 R_{L_0} 型蕴涵算子和 R_Z 型蕴涵算子两种情

况分别进行讨论。

4 实例分析

4.1 R_{L_0} 型蕴涵算子

为寻求最优的 $B^* \in \mathcal{F}(Y)$, 使得 $A \rightarrow B$ 最大程度地支持 $A^* \rightarrow B^*$, 即使式(5)对一切 $x \in X$ 与 $y \in Y$ 取得最大的可能值, 根据 R_{L_0} 型蕴涵算子满足性质2, 则所求的 B^* 是 $\mathcal{F}(Y)$ 中使(5)式的值恒等于1的最优 Fuzzy 集, 并且, 此时显然有:

$$R(A^*(x), B^*(y)) \geq R(A(x), B(y))$$

在 $\mathcal{F}(Y)$ 中这样的 B^* 有很多, 如恒取值1的最大 Fuzzy 集等, 关于最优的 B^* 的确定, 可以根据 $(A(x) \rightarrow B(y))$ 与 $(A^*(x) \rightarrow B^*(y))$ 之间的关系即 B^* 的相异程度 $|r|$ 来确定。由蕴涵算子满足的性质1知:

如果 B^* 越大, $R(A^*(x), B^*(y))$ 就越大, 当某些满足条件的 B^* 使得

$$R(A^*(x), B^*(y)) > R(A(x), B(y))$$

即 $(A^*(x) \rightarrow B^*(y)) > (A(x) \rightarrow B(y))$ 时, 我们可以看出, 这些 B^* 使得“ A^* 支持 B^* 的程度”大于“ A 支持 B 的程度”, 是一种冒险的推理, 为了控制这种冒险的倾向, 我们应逐渐地减小 B^* 的取值, 直到 $(A^*(x) \rightarrow B^*(y))$ 趋近于 $(A(x) \rightarrow B(y))$, 此时 B^* 的取值使得“ A^* 支持 B^* 的程度”趋近于“ A 支持 B 的程度”, 可以说是一种合理的取值, 而此时求得的 B^* 其相异程度 $|r|$ 也趋近于0。

从上面的分析可以看出, 当推理采用 R_{L_0} 型蕴涵算子时, 求得的解 B^* 即是满足条件的最小 Fuzzy 集, 这与三 I 算法的结果是相符合的^[10], 但却给解赋予了更为合理的解释。

例1 对于 Lukasiewicz 定义的蕴涵算子 R_{L_0} :

$$R_{L_0}(a, b) = (a' + b) \wedge 1 \quad (6)$$

对 Y 中任一固定的 y , 令

$$E_y = \{x \in X \mid (A^*(x))' < R_{L_0}(A(x), B(y))\}$$

(i) 如果 $x \in E_y$, 即 $(A^*(x))' \geq R_{L_0}(A(x), B(y))$, 由 $R_{L_0}(A^*(x), B^*(y)) = (A^*(x)' + B^*(y)) \wedge 1$, 知 $R_{L_0}(A^*(x), B^*(y)) \geq R_{L_0}(A(x), B(y))$, 则式(5)取得最大值1, 同时有

$$r = R_{L_0}(A^*(x), B^*(y)) - R_{L_0}(A(x), B(y)) \geq 0,$$

为使 r 最小, 则有 $B^*(y) = 0$ 。

(ii) 如果 $x \in E_y$, 即 $(A^*(x))' < R_{L_0}(A(x), B(y))$, 由 $R_{L_0}(A^*(x), B^*(y)) = (A^*(x)' + B^*(y)) \wedge 1$, 为使得式(5)取得最大值1, 有

$$\begin{aligned} R_{L_0}(A^*(x), B^*(y)) &= (A^*(x)' + B^*(y)) \wedge 1 \\ &\geq R_{L_0}(A(x), B(y)), \end{aligned}$$

同时, 为使得 r 最小, 则有

$$B^*(y) = \sup_{x \in E_y} \{R_{L_0}(A(x), B(y)) - (A^*(x))'\},$$

综(i)、(ii)可得:

$$B^*(y) = \sup_{x \in E_y} \{R_{L_0}(A(x), B(y)) - (A^*(x))'\}$$

显然, 求得的解 B^* 与采用三 I 算法求得的解^[7]是一致的, 但却给解 B^* 赋予了更为合理的解释。

4.2 R_Z 型蕴涵算子

对于 R_Z 型蕴涵算子, 仍可使用定义3, 只是寻求的最优 $B^* \in \mathcal{F}(Y)$ 使得式(5)取得的最大可能值一般不是1。而且, 由于 R_Z 型蕴涵算子不再满足性质2, 因此, 当求得的 $B^* \in \mathcal{F}(Y)$ 使得式(5)取得最大可能值时, $R(A^*(x), B^*(y)) \geq R(A(x), B(y))$ 不一定成立。因此当推理采用 R_Z 型蕴涵算子时, 三 I 算法还是定义式(1)中的解 B^* 为使得式(5)取得最大可

能值的 $\mathcal{F}(Y)$ 中的最小 Fuzzy 集,这显然是不太准确的。

为了更清楚地说明问题,我们先分情况讨论 $R_z(a, b)$ 在什么情况下取得最大值:

1) $a' < a$, 即 $a > 0.5$

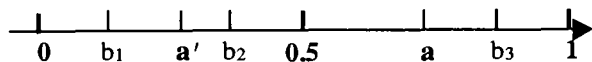


图1 $a' < a$

① $b < a$

i) $b \leq a'$, 即图1中的 b_1

$$\text{则有 } R_z(a, b) = a' \vee (a \wedge b) = a' \vee b = a'$$

ii) $b > a'$, 即图1中的 b_2

$$\text{则有 } R_z(a, b) = a' \vee (a \wedge b) = a' \vee b = b$$

② $b \geq a$, 即图1中的 b_3

$$\text{则有 } R_z(a, b) = a' \vee (a \wedge b) = a' \vee a = a$$

2) $a' \geq a$, 即 $a \leq 0.5$

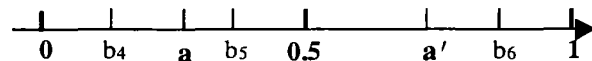


图2 $a' \geq a$

① $b < a$, 即图2中的 b_4

$$\text{则有 } R_z(a, b) = a' \vee (a \wedge b) = a' \vee b = a'$$

② $b \geq a$, 即图1中的 b_5 或 b_6

$$\text{则有 } R_z(a, b) = a' \vee (a \wedge b) = a' \vee a = a'$$

综上所述,当 $a \leq b$ 时,不管 a 的取值是什么, $R_z(a, b)$ 都可以取得最大值;当 $a > b$ 时,在 $a \leq 0.5$ 时, $R_z(a, b)$ 也可以取得最大值。

例2 对于 Zadeh 定义的蕴涵算子 R_z :

$$R_z(a, b) = a' \vee (a \wedge b) \quad (7)$$

对 Y 中任一固定的 y , 令

$$E_y = \{x \in X | R_z(A(x), B(y)) \leq 0.5\}$$

$$F_y = \{x \in E_y | (A^*(x))' < R_z(A(x), B(y))\}$$

$$G_y = \{x \in E_y | (A^*(x))' \geq R_z(A(x), B(y))\}$$

$$H_y = \{x \in E_y | (A^*(x))' < R_z(A(x), B(y))\}$$

$$I_y = \{x \in H_y | A^*(x) \geq R_z(A(x), B(y))\}$$

$$K_y = \{x \in H_y | A^*(x) < R_z(A(x), B(y))\}$$

$$L_y = \{x \in K_y | A^*(x) \leq 0.5\}$$

$$M_y = \{x \in K_y | A^*(x) > 0.5\}$$

$$N_y = \{x \in E_y | (A^*(x))' \geq R_z(A(x), B(y))\}$$

按 Zadeh 的 R_z , 式(5)的值为

$$R_z(R_z(A(x), B(y)), R_z(A^*(x), B^*(y))) = R_z'(A(x), B(y)) \vee [R_z(A(x), B(y)) \wedge R_z(A^*(x), B^*(y))] \quad (8)$$

1) $x \in E_y$, 即 $R_z(A(x), B(y)) \leq 0.5$ 时, 此时式(8)可以在两种情况下达到最大值:

$$R_z(A^*(x), B^*(y)) \geq R_z(A(x), B(y))$$

或 $R_z(A^*(x), B^*(y)) < R_z(A(x), B(y))$

① 考虑 $R_z(A^*(x), B^*(y)) \geq R_z(A(x), B(y))$ 成立, 这时有

$$(A^*(x))' \vee (A^*(x) \wedge B^*(y)) \geq R_z(A(x), B(y)) \quad (9)$$

i) 对于 $x \in F_y$, 要使式(9)成立, 有

$$B^*(y) \geq R_z(A(x), B(y))$$

同时有, 相异因子 $r \geq 0$, 为使 r 最小, 则有

$$B^*(y) = \sup_{x \in F_y} \{R_z(A(x), B(y))\} \quad (10)$$

ii) 对于 $x \in G_y$, 即 $(A^*(x))' \geq R_z(A(x), B(y))$, 则式(9)当然成立, 同时有 $r \geq 0$, 为使 r 最小, 则有

$$B^*(y) = 0 \quad (11)$$

② 考虑 $R_z(A^*(x), B^*(y)) < R_z(A(x), B(y))$ 成立, 这时有

$$(A^*(x))' \vee (A^*(x) \wedge B^*(y)) < R_z(A(x), B(y)) \quad (12)$$

i) 对于 $x \in F_y$, 要使式(12)成立, 有

$$B^*(y) < R_z(A(x), B(y))$$

同时, 相异因子 $r < 0$, 为使 r 趋近于0, 则有

$$B^*(y) = \inf_{x \in F_y} \{R_z(A(x), B(y))\} \quad (13)$$

ii) 对于 $x \in G_y$, 即 $(A^*(x))' \geq R_z(A(x), B(y))$, 则式(12)不能成立。

2) $x \in E_y$, 即 $R_z(A(x), B(y)) > 0.5$ 时, 此时式(8)只能在以下情况才达到最大值:

$$R_z(A^*(x), B^*(y)) \geq R_z(A(x), B(y)), \text{ 即}$$

$$(A^*(x))' \vee (A^*(x) \wedge B^*(y)) \geq R_z(A(x), B(y)) \quad (14)$$

① 对于 $x \in I_y$, 即

$$(A^*(x))' < R_z(A(x), B(y))$$

且 $A^*(x) \geq R_z(A(x), B(y))$, 此时要使式(14)成立, 有

$$B^*(y) \geq R_z(A(x), B(y))$$

同时有, 相异因子 $r \geq 0$, 为使 r 最小, 则有

$$B^*(y) = \sup_{x \in I_y} \{R_z(A(x), B(y))\} \quad (15)$$

② 对于 $x \in K_y$, 即

$$(A^*(x))' < R_z(A(x), B(y))$$

且 $A^*(x) < R_z(A(x), B(y))$, 则式(14)不可能成立, 即必有 $R_z(A^*(x), B^*(y)) < R_z(A(x), B(y))$, 这时式(8)的值只有在 $R_z(A^*(x), B^*(y))$ 取得最大值时才能取得其最大值。同理有:

i) 当 $x \in L_y$, 即 $A^*(x) \leq 0.5$ 时, 有

$$A^*(x) \leq 0.5 < R_z(A(x), B(y))$$

且 $0.5 \leq (A^*(x))' < R_z(A(x), B(y))$

而此时有:

a) 当 $B^*(y) \geq A^*(x)$ 时, $R_z(A^*(x), B^*(y))$

可以取得最大值 $(A^*(x))'$, 而此时显然有:

$$B^*(y) = \sup_{x \in L_y} \{A^*(x)\} \quad (16)$$

b) 当 $B^*(y) < A^*(x)$ 时, $R_z(A^*(x), B^*(y))$

可以取得最大值 $(A^*(x))'$, 而此时显然有:

$$B^*(y) = \inf_{x \in L_y} \{A^*(x)\} \quad (17)$$

ii) 当 $x \in M_y$, 即 $A^*(x) > 0.5$ 时, 有

$$0.5 < A^*(x) < R_z(A(x), B(y))$$

且 $(A^*(x))' < 0.5 < R_z(A(x), B(y))$,

而此时当 $B^*(y) \geq A^*(x)$ 时, $R_z(A^*(x), B^*(y))$ 可以取得最大值 $A^*(x)$, 即有:

$$B^*(y) = \sup_{x \in M_y} \{A^*(x)\} \quad (18)$$

③ 对于 $x \in N_y$, 即

$$(A^*(x))' \geq R_z(A(x), B(y)),$$

此时式(14)显然成立, 同时有 $r \geq 0$, 为使 r 最小, 则有

$$B^*(y) = 0 \quad (19)$$

5 模糊拒取式 FMT

模糊拒取式 FMT (Fuzzy Modus Tollens) 是 FMP 问题 (下转第116页)

的柔性逻辑运算模型,可以根据广义相关系数h的不同,选择适合的算子进行计算,得到精确的结果。

下面举例说明三I方法和柔性逻辑运算方法的实际效果。

例题2 在“西红柿红了”和“西红柿熟了”的关系中,有一条规则:“如果西红柿红了,那么西红柿熟了”。现在的事实是某个西红柿有些红了,它熟的程度如何呢?

解:“西红柿红了”用A来表示,“西红柿熟了”用B来表示,“如果西红柿红了,那么西红柿熟了”用 $A \rightarrow B$ 来表示。“某个西红柿有些红了”用 A^* 来表示,这个西红柿熟的程度用 B^* 来表示。

L^* :用三I方法 $B^* = A^* \otimes (A \rightarrow B)$ 求解,其中 $a \otimes b = \rightarrow(a \rightarrow b)$,蕴涵“ \rightarrow ”为 R_0 蕴涵: $R(a, b) = \text{ite}\{\rightarrow a \vee b | a > b; 1\}$ 。

UL^* :用柔性逻辑运算模型 $B^* = A^* \wedge_h (A \rightarrow_h B)$ 求解,按常识我们知道“西红柿红了”和“西红柿熟了”是相互吸引而不是相互排斥的特征,所以 m 的取值为-1, $h=0.87$ 。

不同规则强度和事实强度下的计算结果如表1所示。

表1

A→B	A*	B*	
		L*	UL*
0.8	0.7	0.7000	0.5957
0.3	0.8	0.3000	0.27907
0.4	0.6	0.0000	0.3157
0.1	0.4	0.0000	0.0869
0.1	0.9	0.0000	0.0900

从表1中可以看出,在三I方法中 L^* 列后三项全为0,说明 $A \rightarrow B$ 和 A^* 后三组数字{0.4, 0.6}{0.1, 0.4}{0.1, 0.9}对结果(B^*)没有影响;而柔性逻辑运算模型方法中后三项不全为0,说明 $A \rightarrow B$ 和 A^* 后三组数字{0.4, 0.6}{0.1, 0.4}{0.1,

(上接第100页)

的反问题,其基本形式为:

已知 $A \rightarrow B$
且给定 B^*

求 A^* (20)

这里同样有 A, A^* 是X上的模糊集, B, B^* 是Y上的模糊集。

相异因子的概念同样可以运用于FMT问题的求解,我们有以下的定义:

定义4(FMT) 设X与Y是非空集, $A, A^* \in \mathcal{F}(X), B, B^* \in \mathcal{F}(Y)$,则式(20)中的解 A^* 是使式(5)取得最大可能值,且其相异程度 $|r|$ 最小的 $\mathcal{F}(X)$ 中的Fuzzy集。

结束语 本文首次提出了“相异因子r”的概念,并在“使解 B^* 的相异程度最小”的思想指导下,改进了三I算法单纯地求满足条件的最小模糊集的方法,使得其在理论上更为合理。关于算法的还原性,以及在模糊推理的反向三I算法^[15]中,“相异因子r”的概念又将如何体现,我们将在另文中进行更深入的探讨。

参考文献

1 Zadeh L A. Fuzzy Sets. Inform Contr, 1965, 8: 338~353
2 陈永义. 模糊控制技术及应用实例[M]. 北京师范大学出版社,

0.9)对结果(B^*)仍然有影响,只不过影响小些,这说明柔性逻辑可以更精确地描述现实世界的逻辑规律和人的思维过程。

另外,在文[10]中以“倒立摆控制”为例,用神经元实现的弱T/S范数簇替换传统模糊控制中的Min和Max运算,采用49条控制规则,以重心法作为解模糊方法。通过试验可知:用柔性逻辑运算模型来控制时,摆杆偏角能较快地收敛,且控制过程比模糊方法柔和。

结论 本文首先用测度论的观点,证明命题连接词的运算模型是连续可变性的算子簇,它们受广义相关系数h的控制,并给出广义相关系数h的物理意义和具体计算公式,最后,用实例说明了柔性逻辑方法比CRI和三I方法更合理,能更精确地描述现实世界的逻辑规律和人的思维过程。总之,广义相关性的引入对建立柔性逻辑学起到了关键性的作用。

参考文献

1 王永庆. 人工智能原理与方法. 西安交通大学出版社, 1998
2 何华灿, 王华, 等. 泛逻辑学原理. 科学出版社, 2001
3 何华灿, 刘永怀, 何大庆. 经验性思维中的泛逻辑. 中国科学(E辑), 1996, 26(1): 72~78
4 He Hua-can, Liu Yong-huai, He Da-qing. Generalized Logic in Experience Thinking. Science in China (Series), 1996, 39(2): 225~234
5 严士健, 王隽骥, 刘秀芳. 概率论基础. 科学出版社, 1982
6 何华灿, 刘永怀, 等. 一级泛非运算研究. 计算机学报, 1998, 21增
7 Zadeh L A. Outline of a New Approach to the Analysis of Systems and Decision Processes. IEEE Trans Systems Man Cybernet, 1973, 3: 28~44
8 王国俊. 三I方法与区间值模糊推理. 中国科学(E辑), 2000, 30(4): 331~340
9 Wang G J. On the Logic Foundation of Fuzzy Reasoning. Information Sciences, 1999, 117: 47~88
10 陈丹, 何华灿, 王晖. 一种新的基于弱T范数簇的神经元模型. 计算机学报, 2001, 24(10): 1115~1120
11 王国俊. 中外模糊系统研究比较[J]. 国际学术动态, 1994(4): 48~49
12 Zadeh L A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans SMC, 1973, 1: 28~44
13 Mamdani E H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems. IEEE Trans. Comput, 1977(26): 1182~1191
14 Zadeh L A. The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning. part1-3[J]. Inform. Sci., 1975(8): 199~249, 301~357, 1975(9): 43~80
15 周保魁, 等. 不同蕴涵算子下的三I算法. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1998, 26(4): 1~5
16 Mizumoto M, Zimmermann H J. Comparison of fuzzy reasoning methods. Fuzzy Sets and Systems, 1982, 8: 253~283
17 Dubois D, Prade H. Fuzzy sets in approximate reasoning. Part 1: Inference with possibility distributions. Fuzzy Sets and Systems, 1991, 41(1): 153~203
18 王国俊. 模糊推理的全蕴含三I算法. 中国科学, E辑, 1999, 29(1): 43~53
19 王国俊. 非经典数理逻辑与近似推理. 北京: 科学出版社, 2000
20 张文修, 等. 不确定性推理原理. 西安: 西安交通大学出版社, 1996
21 裴道武. 模糊逻辑与模糊控制中的理想蕴涵. 西安石油学院学报(自然科学版), 2000, 15(6): 44~47
22 王国俊. 模糊推理与模糊逻辑. 系统工程学报, 1998, 13(2): 1~16
23 宋士吉, 等. 模糊推理的反向三I算法. 中国科学, E辑, 2002, 32(2): 230~246