

一种新的不完备食品信息系统评价属性相对约简算法

鄂 旭^{1,2} 周 津³ 侯 建² 张龙昌² 毕嘉娜²

¹ (北京交通大学中国产业安全研究中心 北京 100084)

² (渤海大学信息科学与技术学院 锦州 121001)

³ (吉林大学计算机科学与技术学院 长春 130012)

摘 要 本文针对不完备食品信息系统提出了一种基于粗糙集理论的评价属性相对约简方法。本文利用粗糙集等价关系的扩展,即容差关系为基础提出容差关系相似矩阵的概念。然后通过引入广义决策函数的限制来解决不完备信息系统约简的不一致性问题,通过容差关系相似矩阵求不完备信息系统的核属性,再利用属性在容差关系相似矩阵中出现的频率给出了属性重要度的计算公式,利用属性重要度为约简的启发式规则,并运用折半启发式算法减少扩展次数,提高约简速度。实验表明该方法是简单有效的。

关键词 粗糙集;不完备食品安全信息系统;容差关系相似矩阵;广义决策函数;折半启发式算法

A New Direct Method of Attribute Relative Reduction in A Incomplete Information Table

E Xu^{1,2} Zhou Jin³ Hou Jian² Zhang Long-chang² Bi Jia-na²

¹(China Center for Industrial Security Research, Beijing 100084, China)

²(Bohai University, School of Information Science & Technology, Jinzhou 121001, China)

³(Jilin University, School of Computer Science and Technology, Changchun 130012, China)

Abstract For incomplete food safety information system, this paper proposes a direct method of attribute relative reduction based on rough set theory. This reduction method gives the concept of tolerance relationship similar matrix via using an extension of equivalence relationship of rough set theory, which is called tolerance relationship. It solves the problem of inconsistency in the incomplete information system through the introduction of restrictions of the generalized decision function. It calculates the core attributes of incomplete information systems via the tolerance relationship similar matrix. It applies attribute significance, which this paper puts forward based on attribute frequency in the tolerance relationship similar matrix, as the heuristic knowledge. It makes use of binsearch heuristic algorithm to calculate the candidate attribute expansion so that it can reduce the expansion times to speed up reduction. Experiment results show that this method is simple and effective.

Keywords rough set; incomplete food safety information system; tolerance relationship similar matrix; generalized decision function; binsearch heuristic algorithm

1 引 言

粗糙集理论^[1]是由波兰数学家 Pawlak 教授于 20 世纪八十年代提出的,它是一种处理不确定性和模糊

性数据的工具,能有效地分析不精确、不一致、不完整等各种不完备信息,其主要思想是基于知识的分类观点,在近似空间(知识库)中研究如何在保持分类能力不变的前提下,通过知识约简,从中发现隐含的知识,揭示潜在的规律,并且不需要先验规则,避开了

基金项目:辽宁省百千万人才基金择优资助项目(2012921058);中国博士后基金项目(2012M520158);辽宁省教育厅项目(L2012397, L2012396, L2012400)。

作者简介:鄂旭,研究方向为数据挖掘与食品安全物联网, E-mail: exu21@163.com;周津,博士研究生,研究方向为物联网、智能计算;侯建,博士,副教授,研究方向为食品安全信息化;张龙昌,博士,讲师,研究方向为食品安全信息化;毕嘉娜,博士,讲师,研究方向为食品安全信息化。

个人偏好带来的影响。粗糙集理论虽然起步较晚但是发展迅速,目前已经被广泛应用^[1]。

属性约简是粗糙集理论研究的核心内容之一。近年来,基于不完备信息系统的属性约简方法引起了人们的广泛关注。粗糙集对不完备信息系统处理的方法主要有两种^[2]:一是间接处理法,即通过一定的方法将不完备的信息系统完备化,即数据填补;二是直接处理法,即对粗糙集理论进行适当扩展以处理不完备信息系统。在海量数据集的信息系统中,由于属性和实例数量巨大,因此属性约简算法的效率就显得尤为重要。粗糙集理论的约简算法迄今为止尚没有一个公认高效的算法。实际应用中,往往只要求出某个相对属性约简就可以了。

2 不完备信息系统中的基本概念

2.1 不完备信息系统

设信息系统 $S=(U, A, f, V)$, 其中 U 为论域; A 是有限属性集, 分为条件属性集 C 和决策属性集 D , 即 $A=C \cup D, C \cap D = \emptyset$; V 是属性集 A 的值域; 而 $f: A \rightarrow V$ 是从属性到值域的映射。

如果对于至少存在一个属性 $a \in C, V_a$ 包含空值, 即 $f(x, a) = *$, 则称此信息系统是不完备的, 否则成为完备信息系统。具有遗漏属性值的属性子集 $B \in A$, 记遗漏值为“*”。

2.2 容差关系^[3,4]

在不完备信息系统 $S=(U, A, f, V)$ 中二元容差关系 T 定义为:

$$\forall_{x,y \in U} (T_B(x,y) \Leftrightarrow \forall_{c_j \in B} (c_j(x) = c_j(y) \vee c_j(x) = * \vee c_j(y) = *))$$

T 是自反的和对称的, 但不一定是传递的。由此定义容差类为: $T_B(x) = \{y | y \in U \wedge T_B(x,y)\}$, 基于容差关系的上下近似可定义为:

$$D_B^T = \{x | x \in U \wedge T_B(x) \cap D \neq \emptyset\}$$

$$D_B^B = \{x | x \in U \wedge T_B(x) \subseteq D\}$$

2.3 一致性决策表

不完备信息系统 $S=(U, C \cup D, V, f)$, 设 $U/ind(D) = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_r\}$ 表示决策属性集 D 对 U 的划分, $U/ind(B) = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ 表示条件属性集 $B (B \subseteq A)$ 对 U 的覆盖, 称 $Pos_B(D) = \bigcup_{Q \in U/D} D_Q^B$

为 B 关于 D 的正区域。在容差关系下, 当且仅当 $POS_B(D) = U$, 则不完备决策表在容差关系下为一致决策表。若不完备决策表是不一致的, 则 $POS_B(D) \subset U$ 。

2.4 广义决策函数^[6]

设 $S=(U, C \cup D)$ 为不完备决策表, 具有遗漏属性值的属性子集 $B \in C, d(d \notin C, * \notin d), \partial_B(x) = \{i | i = d(y), y \in T_B(x)\}$, 称 ∂_B 为 S 中的广义决策函数。如果对于任意的 $x \in U$, 有 $|\partial_B(x)| = 1$, 则 S 是协调的(一致的); 否则它是不协调的(不一致的)。

2.5 近似分类质量^[6]

设 $U/ind(D) = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_k\}, B \subseteq C, B$ 相对决策属性 D 的分类质量定义为: $\gamma_B = card(Pos_B(D)) / card(U)$, $card()$ 表示集合的基数。

2.6 约简与核^[6]

设不完备决策表 $S=(U, C \cup D, V, f), R \subseteq C$, 设 $R \subseteq C$, 若 $\gamma_R = \gamma_C$, 且不存在 $R' \subseteq R$, 使得 $\gamma_{R'} = \gamma_R$, 则称 R 为 C 的相对于 D 的一个属性约简。所有 C 相对决策属性 D 的属性约简的交称为 C 相对决策属性 D 的核, 记为 $Core_D(C)$ 。

3 基于不完备信息系统容差关系相似矩阵折半启发式约简算法

3.1 基于不完备信息系统的容差关系相似矩阵及属性重要度

容差关系相似矩阵基本思想: 首先以容差关系为基础对不完备信息系统数据进行处理。可辨识矩阵主要是从对象与对象之间属性的差别来研究属性约简的。实际上, 信息系统可以同样从另一面——对象之间的相似上来研究属性约简。在不完备信息系统中往往容易出现不一致现象, 如 $(1, *, *, 2, *, d=1)$ 和 $(*, 1, *, *, 2, d=2)$ 。在容差关系下满足容差关系, 但是发生了决策冲突, 从实际考虑, 这两个对象不同的可能性极大, 缺失部分若有取值时就不太可能存在冲突了, 引入广义决策函数来解决系统的不一致问题。

定义3.1. 基于不完备信息系统的容差关系相似矩阵

设不完备信息系统 $S=(U, A, f, V), B \subseteq C$, 则 S 基于容差关系相似矩阵定义为: $M_B^T = \{m_B^T(i,j)\}_{m \times n}, 1 \leq i, j \leq n = |U|$, 其中:

$$m_B(i,j) = \begin{cases} \{b | (b \in B) \wedge ((b(x_i) = *) \vee (b(x_j) = *) \vee (b(x_i) = b(x_j)))\}, & d(x_i) \neq d(x_j) \\ \emptyset, & \text{否则} \end{cases}$$

$$m_B^T(i, j) = \begin{cases} m_B(i, j), \min\{|\partial_B(x_i)|, |\partial_B(x_j)|\} = 1 \\ \varphi, \text{否则} \end{cases}$$

$m_B^T(i, j)$ 代表两个对象之间的取值相似的属性, 也就是不能区分对象的属性集。根据容差关系相似矩阵的定义, 得到下面的结论:

性质 1: 在基于容差关系相似矩阵中, 当 $\text{card}(m_B^T(i, j)) = \text{card}(B) - 1$ 时, $B - m_B^T(i, j)$ 属于核属性, 其中 $\text{card}(m_B^T(i, j))$ 表示 $m_B^T(i, j)$ 包含属性的个数。

证明: 设 $B \subseteq C$, $SM(D) = \{m_{ij} \mid (m_{ij} = B - m_B^T(i, j)) \wedge m_{ij} \text{ 为单个属性}\}$, 则要证明 $SM(B) \subseteq \text{Core}_D(B)$ 。在 $SM(B)$ 中任意取得一个属性 $a \in SM(B)$, 由容差关系相似矩阵的定义可知, 在相似矩阵中至少存在一个元素 $m_B^T(i, j)$, 使得 $B - m_B^T(i, j)$ 为单个属性, 设 $a = B - m_B^T(i, j)$, 则表示 x_i 与 x_j 只在属性 a 上取值不相等, 于是根据容差关系定义知: $x_j \notin T_B(x_i)$, 但是 $x_j \in T_{B-a}(x_i)$, 又因为 $f_B(x_i, D) \neq f_B(x_j, D)$, 所以, 对于 $U/\text{ind}(D) = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_r\}$ 来说, x_i 和 x_j 不能同时属于其中的任何一个划分子集, 设 $x_i \in Q_s, x_j \in Q_t, 1 \leq s, t \leq r, s \neq t$ 。 $x_j \in T_{m_B^T(i, j)}(x_i)$, 但 $x_j \notin Q_s$, 由容差关系下近似的定义可知, $x_i \notin D_T^{m_B^T(i, j)} Q_s, x_j \notin D_T^{m_B^T(i, j)} Q_s$, 同理, $x_j \notin D_T^{m_B^T(i, j)} Q_t, x_i \notin D_T^{m_B^T(i, j)} Q_t$, 则根据正域的定义知, $x_i \notin \text{Pos}_{m_B^T(i, j)}(D)$ 且 $x_j \notin \text{Pos}_{m_B^T(i, j)}(D)$ 。由 $\min\{|\partial_B(x_i)|, |\partial_B(x_j)|\} = 1$, (1) 当 $|\partial_B(x_i)| = 1$ 时, 由广义决策函数的性质知, $T_B(x_i) \subseteq Q_s$, 所以 $x_i \in D_T^B Q_s \subseteq \text{Pos}_B(D)$, 由上面证得 $x_i \notin D_T^{m_B^T(i, j)} Q_s$, 所以 $\gamma_{m_B^T(i, j)} < \gamma_B$, 所以 $a \in \text{Core}_D(B)$, (只去除 a 属性保留其他所有属性, 使得 $\gamma_{B-a} < \gamma_B$, 则 a 一定是核属性); (2) 当 $|\partial_B(x_j)| = 1$ 时, 类似地, $T_B(x_j) \subseteq Q_t$, 所以 $x_j \in D_T^B Q_t \subseteq \text{Pos}_B(D)$, 由上面证得 $x_j \notin D_T^{m_B^T(i, j)} Q_t$, 所以 $\gamma_{m_B^T(i, j)} < \gamma_B$, 所以 $a \in \text{Core}_D(B)$ 。综上, $SM(B) \subseteq \text{Core}_D(B)$, 命题得证。

性质 2: 本文提出的容差关系相似矩阵对广义决策函数进行了限定, 确保了此矩阵不但可以处理一致性决策表, 还可以处理不一致性决策表。

证明: 容差关系相似矩阵中的条件 $\min\{|\partial_B(x_i)|, |\partial_B(x_j)|\} = 1$ 的内在含义为: 在容差关系矩阵中, x_i 的容差类都是相容的, 即一致的, 才可以与其他对象比较属性值, 不一致的不能比较。根据相似矩阵定义知 $B \subseteq C, f_B(x_i, D) \neq f_B(x_j, D)$, 设 $x_i \in Q_s, x_j \in Q_t, 1 \leq s, t \leq r, s \neq t, U/\text{ind}(D) = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_r\}$, 当 $\min\{|\partial_B(x_i)|, |\partial_B(x_j)|\} > 1$ 时, 即 $|\partial_B(x_i)| > 1, |\partial_B(x_j)| > 1$, 则 $T_B(x_i) \not\subseteq Q_s, T_B(x_j) \not\subseteq Q_t$, 可推知 $x_i \notin$

$\text{Pos}_C D, x_j \notin \text{Pos}_C D$, 任意的一个约简 $R \subseteq B$, 都要保证 $T_R(x_i) \not\subseteq Q_s, T_R(x_j) \not\subseteq Q_t$, 则 $x_i \notin \text{Pos}_R D, x_j \notin \text{Pos}_R D$, 也就不能影响近似分类质量的变化, 则比较 x_i 和 x_j 的属性值即计算 $m_B(i, j)$ 对约简就没有意义了。若只计算 $m_B(i, j)$, R 可能使 $x_i \in \text{Pos}_R D, x_j \in \text{Pos}_R D$, 则引起约简错误, 所以有必要进行 $\min\{|\partial_B(x_i)|, |\partial_B(x_j)|\} = 1$ 条件的限定。

定义 3.2 基于不完备信息系统属性重要度:

由不完备信息系统容差关系相似矩阵的定义可知, 属性在相似矩阵中出现的次数越多, 在相似矩阵中的项长度越短, 则代表该属性在反映对象相似性上起得作用越大, 因此在区别对象时, 重要性就越小。基于容差关系相似矩阵的属性频率给出了属性重要度的计算公式:

$$F(m) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} / \text{card}(m_B(i, j))$$

其中, 当 $m \in m_B(i, j)$ 时, $\lambda_{ij} = 0$; 否则 $\lambda_{ij} = 1$, $\text{card}(m_B(i, j))$ 表示 $m_B(i, j)$ 包含属性的个数。

3.2 不完备信息系统折半启发式约简方法

为了降低时间复杂度和空间复杂度, 采用启发式算法从 $R = \text{Core}(C)$ 开始, 根据属性的重要性定义为启发知识, 以近似分类质量不变作为判断约简的标准, 按属性重要性从大到小逐个加入其中, 直至 R 成为约简为止。所以如果能减少扩展的次数, 则可以大大地缩短程序执行的时间。引入折半查找的思想作为启发规则, 先尝试将排序后的候选属性重要度大的一半加入到约简中, 如果小于 γ_C , 则表明终止位置一定在后一半中, 如果等于 γ_C , 则终止位置一定出现在前一半中, 如此反复可快速找到终止位置, 减少扩展的次数, 提高约简的效率。

在参考文献[7]中, 已举例证明在不完备信息系统中的应用限制容差关系的约简使用 P 正域不发生变化做为约简的定义是不合适的, 在不完备信息系统限制容差关系下, $B \subseteq A \subseteq C$, 但 $\text{Pos}_B \subseteq \text{Pos}_A$ 不一定成立。在容差关系下, 正域的变化仍然呈现单调性, 也就保证了可以引入折半启发式约简思想。

定理 3.1: 给定一个不完备信息系统 $S = (U, A, f, V)$, $A = C \cup D, C \cap D = \Phi$, 条件属性集 C 和决策属性集 D , 在容差关系下, 若 $B \subseteq A \subseteq C$, 则 $\text{Pos}_B \subseteq \text{Pos}_A$ 。

证明: 设 $U/ind(D) = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_r\}$, $Q_j \in U/ind(D)$, 根据不完备信息系统容差关系知, $T_A(x_i) \subseteq T_B(x_i)$, $x_i \in U$, 根据容差关系下近似的定义, $D_{\top}^B Q_j = \{x_i | x_i \in U \wedge T_B(x_i) \subseteq Q_j\}$, $D_{\top}^A Q_j = \{x_i | x_i \in U \wedge T_A(x_i) \subseteq Q_j\}$, 则可推出 $D_{\top}^B Q_j \subseteq D_{\top}^A Q_j$, $\bigcup_{Q_j \in U/D} D_{\top}^B Q_j \subseteq \bigcup_{Q_j \in U/D} D_{\top}^A Q_j$, 根据正域定义知, $Pos_B \subseteq Pos_A$, 命题得证。

3.3 算法过程描述

输入: 不完备决策表 $S=(U, CUD, V, f)$, 其中 $U=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $C=\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$

输出: 不完备决策表的约简集合 R

Step 1: 决策表 S 转换为相应的不完备信息系统容差关系相似矩阵 M_C^T , 利用 M_C^T 求出核属性集 $Core_D(C)$, 并计算剩余属性的属性重要度, 然后将剩余属性根据属性重要度由大到小进行排序, 放进数组 Z ;

Step 2: 初始化 $R=Core_D(C)$, 如果 $\gamma_R=\gamma_c$, 则执行步骤 Step 4, 否则执行步骤 Step 3;

Step 3: 初始化 $min=1$; $max=card(C) - card(Core_D(C))$;

while(true){

 Tempt=R;

 Mid=(min+max)/2;

 将数组 z 中第 min 个到第 mid 个加入到

R 中, 计算 γ_R ;

 If($\gamma_R < \gamma_c$) {

 If(max-mid<=1){

```

    将数组 z 中第 max 个加入 R 中;
    退出循环;
}
else {min=mid+1;
}
}
Else if( $\gamma_R = \gamma_c$ ) {
    If(min=mid){
        退出循环;
    }
    Else {
        max=mid;
        R=temp;
    }
}
}

```

Step 4: 程序结束, R 就是要求的约简。

3.4 算法时间复杂度分析

该算法由于采用了折半查找的思想, 不需要遍历整个条件属性集, 只需遍历 $\log|C|$ 次, 折半启发式约简的时间复杂度为 $O(\log|C|*|U|^*|U|^*|U|)$, 而普通启发式算法的时间复杂度为 $O(|C|^*|U|^*|U|^*|U|)$ 。可以看出本算法在处理有较多属性的不完备信息系统时优势明显。

4 算法实例分析

如表 1 所示, 在给定的不完备信息决策表

表 1 不完备决策表

U	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
c_1	3	2	2	*	*	2	3	*	3	1	*	3
c_2	2	3	3	2	2	3	*	0	2	*	2	2
c_3	1	2	2	*	*	2	*	0	1	*	*	1
c_4	1	0	0	1	1	1	3	*	3	*	*	*
c_5	1	*	1	*	1	3	1	*	1	1	1	*
c_6	0	1	*	2	2	1	0	0	1	0	*	0
c_7	*	3	3	0	0	*	2	2	2	*	0	2
c_8	*	1	1	1	1	1	*	0	1	0	1	3
d	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0

$S=(U, A, V, F)$, 其中论域 $U=(a_1, a_2, \dots, a_{11}, a_{12})$, $A=(c_1, c_2, \dots, c_7, c_8, d)$, 决策属性 $D=\{d\}$ 。

首先执行 Step 1, 计算不完备容差关系相似

矩阵 M_C^T 中的 $m_c(i, j)$, $m_c^T(i, j)$, 建立容差关系相似矩阵, 根据容差关系相似矩阵中的元素 $m_c^T(4, 1) = m_c^T(5, 1) = c_1 c_2 c_3 c_4 c_5 c_7 c_8$, 则 c_6 为核属性,

$m_C^T(2,6) = c_1c_2c_3c_5c_6c_7c_8$, 则 c_4 也为核属性, 令 $\text{Core}_D(C) = \{c_4, c_6\}$, 根据容差关系相似矩阵和属性重要度的定义计算除核属性以外属性的属性重要度, $F(c_1) = -2.65$, $F(c_2) = -3.32$, $F(c_3) = -2.29$, $F(c_5) = -1$, $F(c_7) = -3.01$, $F(c_8) = -2.92$, 将属性按属性重要度从大到小进行排序, 得 $Z = \{c_5, c_3, c_1, c_8, c_7, c_2\}$; 执行 Step 2, 令 $R = \text{Core}_D(C) = \{c_4, c_6\}$, 计算得 $\gamma_R < \gamma_c$, 则进入 Step 3, 执行 Step 3, 循环第一次: $\min = 1$, $\max = 6$, $\text{mid} = 3$, $\text{Temp} = \{c_4, c_6\}$, 将 Z 中 \min 到 mid 元素加入 R 中, 即将 c_5, c_3, c_1 加入 R 中, 则 $R = \{c_4, c_6, c_5, c_3, c_1\}$, 计算得 $\gamma_R < \gamma_c$, 因为 $\max - \text{mid} = 3 > 1$, 则 $\min = \text{mid} + 1 = 3 + 1 = 4$, 循环第二次: $\text{mid} = 5$, $\text{Temp} = \{c_4, c_6, c_5, c_3, c_1\}$, 将 Z 中 \min 到 mid 元素加入 R 中, 即 c_8, c_7 加入 R 中, 则 $R = \{c_4, c_6, c_5, c_3, c_1, c_8, c_7\}$, 计算得 $\gamma_R = \gamma_c$, 由于 $\min = 4$, $\text{mid} = 5$, $\min \neq \text{mid}$, 则 $\max = \text{mid} = 5$, $R = \text{Temp} = \{c_4, c_6, c_5, c_3, c_1\}$, 循环第三次: $\min = \text{mid} = 4$, $\text{Temp} = R = \{c_4, c_6, c_5, c_3, c_1\}$, 将 Z 中 \min 到 mid 元素加入 R 中, 即将 c_8 加入 R 中, 即 $R = \{c_4, c_6, c_5, c_3, c_1, c_8\}$, 计算得 $\gamma_R = \gamma_c$, 由于 $\min = \text{mid}$, 退出循环; 执行 Step 4, 输出 $R = \{c_1, c_3, c_4, c_5, c_6, c_8\}$ 即为所求的 C 的 D 相对约简。

5 总结

从本例可以看出, 应用折半启发式算法, 仅经过三次扩展计算, 就得到了最后的约简, 如果按传统的算法需扩展四次。可见, 折半启发式算法减少

了属性扩展的次数, 从而加快了约简的速度, 提高了约简的效率。当候选属性较多时, 本算法的优越性就越明显。

参考文献

- [1] Pawlak Z. Rough sets and intelligent data analysis [J]. Information Sciences, 2002, 147(124): 1212.
- [2] 黄兵. 不完备信息系统知识获取理论与方法 [D]. 南京: 南京理工大学, 2004.
- [3] 鄂旭, 高学东, 邵良杉, 等. 一种不完备信息表的预处理方法 [J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(9): 902-906.
- [4] Kryszkiewicz M. Properties of incomplete information systems in the framework of rough sets [C] // Rough Sets in Data Mining and Knowledge Discovery, Berlin, 1998: 422-450.
- [5] 王国胤. Rough集理论在不完备信息系统中的扩充 [J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(10): 1240-1243.
- [6] 鄂旭, 高学东, 喻斌. 基于扫描向量的属性约简方法 [J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(6): 604-608.
- [7] 黄海, 王国胤, 吴渝. 一种不完备信息系统的直接约简方法 [J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(10): 1761-1765.
- [8] 叶东毅, 陈昭炯. 一个新的差别矩阵及其求核方法 [J]. 电子学报, 2002, 30(7): 1086-1088.
- [9] 刘少辉. Rough集高效算法的研究 [J]. 计算机学报, 2003, 26(5): 524-529.
- [10] 王国胤. 决策表核属性的计算方法 [J]. 计算机学报, 2003, 26(5): 611-615.
- [11] 苗夺谦, 胡桂荣. 知识约简的一种启发式算法 [J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(6): 681-684.