第 50 卷 第 5 期 2011 年 9 月
中山大学学报（自然科学版）ACTA SCIENTIARUM NATURALIUM UNIVERSITATIS SUNYATSENI
Vol. 50 No. 5 Sep. 2011

基于 D-S 证据理论直接求代数约简和代数核*

曾凡智[1]，卢炎生[2]，黄国顺[3]，文 翰[3]
（1. 佛山科学技术学院 计算机系，广东 佛山 528000；
2. 华中科技大学 计算机学院，湖北 武汉 430074；
3. 佛山科学技术学院 理学院，广东 佛山 528000）

摘 要：针对不一致决策表，现有基于 D-S 证据理论的处理方法是将它先转化为一致决策表，再对所得的一致决策表计算其广义决策约简. 具体算例研究表明，广义决策约简与代数约简有时并不一致. 理论证明了广义决策约简仅与分配约简等价，针对不一致决策表，通过修改判断指标，提出一种基于 D-S 证据理论直接计算其代数约简和代数核的新方法，其正确性得到理论证明和数值算例的验证.

关键词：D-S 证据理论；不一致决策表；广义决策约简；分配约简；代数约简
中图分类号：TP18 **文献标志码**：A **文章编号**：0529 - 6579（2011）05 - 0054 - 06

A Direct Approach for Algebraic Reduction and Core Attributes based on D-S Evidence Theory

ZENG Fanzhi[1], *LU Yansheng*[2], *HUANG Guoshung*[3], *WEN Han*[3]
（1. Department of Computer Sciences, Foshan University, Foshan 528000, China;
2. School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan City, 430074, China;
3. Science School, Foshan University, Foshan 528000, China）

Abstract: For inconsistent decision table, the existing approaches based on D-S evidence theory have to transfer it into consistent one firstly and get a generalized decision reduction. However, the generalized decision reduction is different from algebraic one sometimes. It is proved that generalized decision reduction is just equivalent to assignment reduction whether the table consistent or inconsistent. Under D-S evidence theory, a new approach, which can directly get the algebraic reduction and core attributes for inconsistent decision table, is proposed and its correctness is illustrated with numerical example.

Key words: D-S evidence theory; inconsistent decision table; generalized decision reduction; assignment reduction; algebraic reduction

粗糙集（Rough Set）理论是由波兰数学家 Pawlak[1] 于 20 世纪 80 年代初提出的用于数据分析的理论，作为处理不确定信息的有效工具，粗糙集理论已被成功地应用于数据挖掘、机器学习与知识发现、模式识别等领域，成为当前研究热点之一。

属性约简是 Rough 集理论的核心问题之一，也是知识获取的关键步骤之一，因此属性约简研究深受各研究者的关注。目前已有多种属性约简方法被提出，归纳起来主要有 Pawlak 原始定义的属性约简，称之为代数约简；基于条件信息熵的属性约简（称之为信息熵约简）[2-3]；基于包含度理论的分布约简、最大分布约简、分配约简及近似约简等[4]；基于 D-S 证据理论的属性约简方法等[5-7]。其中信息熵约简与分布约简是完全等价的[8]，分

* 收稿日期：2011 - 03 - 08
基金项目：广东省自然科学基金资助项目（10452800001004185）
作者简介：曾凡智（1964 年生），男，博士，副教授；E-mail：fszfz@126.com

配约简与近似约简也完全等价。对于一致决策表，上述各约简方法所得约简结果是一致的，但在不一致决策表下，它们所得的各约简结果及核属性都不尽相同[9-12]。针对不一致决策表，目前通常的处理过程是将不一致决策表转化为一致决策表，再对所得到的一致决策表计算其代数约简[6-9]，其中文献［6］的方法先将不一致决策表转化为一致决策表，然后基于 D-S 证据理论求出其广义决策约简，然而具体的算例表明广义决策约简与原始决策表的代数约简并不相同。本文的研究结果表明广义决策约简仅与分配约简等价。与广义决策约简为了维持某种“不变”的判定指标而人为去将不一致决策表转化成一致决策表不同，本文修改了求属性约简的判定指标，从而避免将不一致决策表转化为一致决策表这一过程，提出一种不需转换过程，直接针对不一致决策求出其代数约简和代数核的新方法。

1　相关基本概念

定义 1　决策表 $S=<U,V,f,C\cup D>$ 是一类特殊的信息系统，其中 U 称为论域，C 为有限的条件属性集，D 为有限的决策属性集，$C\cap D=\varnothing$，$V=\cup_{a\in C}V_a$，V_a 为属性 a 的值域，$f:U\times(C\cup D)\to V$ 是信息函数。对 U 上的任意属性集 $B\subseteq C\cup D$，定义不可分辨关系 $ind(B)=\{(x,y)\in U^2\mid\forall a\in B,f(x,a)=f(y,a)\}$，关系 $ind(B)$ 构成 U 的一个划分，简记为 U/B。U/B 中的任何元素 $[x]_B=\{y\mid\forall a\in B,f(x,a)=f(y,a)\}$ 称为等价类，如果对于任意的 $B_i\in U/B$，存在 $D_j\in U/D$，使得 $B_i\subseteq D_j$，称 B 是比 D 更细的划分，记作 $R_B<R_D$。$\underline{B}X=\{x\in U\mid[x]_B\subseteq X\}$ 为 X 关于 B 的下近似集。$POS_B(D)=\cup_{X\in U/D}\underline{B}X$ 为 B 关于 D 的正区域。

若 $POS_C(D)=U$ 称其为一致决策表，如果 $POS_C(D)=\varnothing$ 称其为完全不一致决策表，其余情形称为部分不一致决策表。若 $POS_B(D)=POS_C(D)$，则称 B 为 C 的代数协调集，若 B 是 C 的代数协调集且 B 的任何真子集都不是其代数协调集，则称 B 为 C 相对于 D 的代数约简。

由于判断两集合是否相等比较费时，文献［13］提出一种简化的判断方法，即 $POS_C(D)=POS_B(D)$ 的充分必要条件是 $|POS_C(D)|=|POS_B(D)|$，它将判断一个属性集 B 是否为条件属性集 C 的代数协调集简化为只需判断两集合的基数是否相等，从而大大简化了计算过程，提高了计算效率。

定义 2　给定决策表 $S=<U,V,f,C\cup D>$，设 $U/D=\{D_1,D_2,\cdots,D_r\}$，记 $\delta_B(x)=\{D_j\mid[x]_B\cap D_j\neq\varnothing\}$，若对 $\forall x\in U$，$B\subseteq C$，有 $\delta_B(x)=\delta_C(x)$，则称 B 是分配协调集，若 B 是分配协调集且 B 的任何真子集都不是分配协调集，则称 B 为 C 的分配约简。

文献［10］指出，当时 $B\subseteq C$，对任意的 $x\in U$，$\delta_B(x)=\delta_C(x)$ 当且仅当 $\forall y\in[x]_B$，$\delta_B(y)=\delta_C(x)$。这为分布约简的判断提供了途径。

若在论域 U 上有正规概率分布 P，在 U 上定义均匀分布产生的 mass 函数 m，即 $m([x]_B)=|[x]_B|/|U|$，记 $Bel_B(X)=\sum_{Y\in U/B\wedge Y\subseteq X}m(Y)$，$Pl_B(X)=\sum_{Y\in U/B\wedge Y\cap X\neq\varnothing}m(Y)$，$(X\subseteq U)$，则称 Bel_B 与 Pl_B 分别是由属性集 B 确定的信任测度和似然测度。

定理 1[6]　若 $S=<U,V,f,C\cup D>$ 是一致决策表，设 $U/D=\{D_1,D_2,\cdots,D_r\}$，$B\subseteq C$，则以下 3 个条件等价：

1）$R_B<R_D$；

2）$\sum_{j=1}^{r}Pl_B(D_j)=1$；

3）$\sum_{j=1}^{r}Bel_B(D_j)=1$。

对于不一致决策表，现有基于 D-S 证据理论的属性约简方法是先将不一致决策表转化成一致决策表，再对所得的一致决策表进行约简。设 $S=<U,V,f,C\cup D>$ 是不一致决策表，$B\subseteq C$，记 $\partial_B(x)=\{g_d(y):y\in[x]_B\}$，称 $\partial_B(x)$ 为 x 关于 B 的广义决策值。对于 $B\subseteq C$，定义 U 上的二元关系 R_d^B，即 $R_d^B=\{(x,y)\in U\times U,\partial_B(x)=\partial_B(y)\}$，则 R_d^B 是 U 上等价关系，且 $<U,V,f,C\cup\partial_C>$ 是一致决策表。

对于不一致决策表 $S=<U,V,f,C\cup D>$，$B\subseteq C$，如果 $R_B<R_d^C$，则称 B 是 C 的广义决策协调集。如果 B 是广义决策协调集，且 B 的任意子集都不是广义协调集，则称 B 是 C 的广义决策约简。

定理 2[6]　设 $S=<U,V,f,C\cup D>$ 是不一致决策表，则以下 3 个条件等价：

1）$B\subseteq C$ 是 C 的广义决策约简；

2）$\sum_{X\in U/R_d^C}Pl_B(X)=1$ 且对任意 $B'\subseteq B$ 有 $\sum_{X\in U/R_d^C}Pl_{B'}(X)>1$；

3）$\sum_{X\in U/R_d^C}Bel_B(X)=1$ 且对任意 $B'\subseteq B$ 有 $\sum_{X\in U/R_d^C}Pl_{B'}(X)<1$。

2 广义决策约简等价于分配约简

本节将首先通过具体的算例说明，在不一致决策表下，广义决策约简与代数约简并不完全一致，然后从理论上证明广义决策约简实质上只与分配约简等价。

先考察文献［14］的算例。

例1 在表1的决策表 S_1 中，$U = \{x_1, x_2, \cdots, x_6\}$，$C = \{a, b, c\}$，$D = \{d\}$。

表1 决策表 S_1

Table 1 Decision table S_1

U	a	b	c	d
x_1	1	0	1	1
x_2	1	0	1	0
x_3	1	0	1	2
x_4	0	0	1	1
x_5	0	0	1	0
x_6	1	1	1	1

易得 $POS_C(D) = \{x_6\}$，其代数约简为 $\{b\}$。如果按照求广义决策约简的计算方法，其广义决策值 $\partial_C(x)$ 如表2所示。

表2 决策表 S_1 的 $\partial_C(x)$

Table 2 The $\partial_C(x)$ of decision table S_1

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
$\partial_C(x)$	$\{0,1,2\}$	$\{0,1,2\}$	$\{0,1,2\}$	$\{0,1\}$	$\{0,1\}$	$\{1\}$

易得 $U/R_d^C = \{\{x_1, x_2, x_3\}, \{x_4, x_5\}, \{x_6\}\}$，$U/\{b\} = \{\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}, \{x_6\}\}$，从而 $R_{\{b\}} \prec R_d^C$ 不成立。因此 $\{b\}$ 不是广义决策协调集，更不可能是广义决策约简。事实上，决策表 S_1 的广义决策约简为 $\{a, b\}$。

虽然广义决策约简与代数约简在不一致决策表上所得的结果并不完全相同，下面结论指出广义决策约简和分配约简是等价的。

定理3 给定决策表 $S = < U, V, f, C \cup D >$ 和 $B \subseteq C$，则 $\delta_B(x) = \delta_C(x)$ 的充要条件是 $R_B \prec R_d^C$。

证明 记 $U/R_d^C = \{D_1^C, D_2^C, \cdots, D_r^C\}$。若 $\delta_B(x) = \delta_C(x)$，这意味着 $[x]_B$ 与 $[x]_C$ 有相同的广义决策值，即 $\partial_B(x) = \partial_C(x)$，从而存在一个 D_{j0}^C，使得 $[x]_B \subseteq D_{j0}^C$，由 $[x]_B$ 的任意性知，$R_B \prec R_d^C$。

反之，若 $R_B \prec R_d^C$，则对 $\forall x \in U$，有某个 D_{j0}^C 存在，使得 $[x]_B \subseteq D_{j0}^C$，又因决策表 $< U, V, f, C \cup \partial_C >$ 是一致的，D_{j0}^C 具有唯一的广义决策值，即有 $\partial_B(x) = \partial_C(x)$，从而 $[x]_B$ 与 D_{j0}^C 有相同的分配函数，即对 $\forall y \in [x]_B$ 有 $\delta_B(y) = \delta_C(x)$，根据文献［10］的结果，有 $\delta_B(x) = \delta_C(x)$，即 B 是 C 的分配协调集。

定理4 设决策表 $S = < U, V, f, C \cup D >$，$B \subseteq C$，记 $U/R_d^C = \{D_1^C, D_2^C, \cdots, D_t^C\}$，则以下3个条件等价：

1) $R_B \prec R_d^C$；

2) $\sum_{j=1}^{t} Pl_B(D_j^C) = 1$；

3) $\sum_{j=1}^{t} Bel_B(D_j^C) = 1$。

证明 由于 R_d^C 是 U 上的等价关系且 $< U, V, f, C \cup \partial_C >$ 是一致决策表，根据定理1有结论成立。

根据定理3和4知，$B \subseteq C$ 是 C 的广义决策协调集当且仅当它是 C 的分配协调集，从而知道广义决策约简与分配约简是等价的。根据文献［12］知，广义协调集必为代数协调集，从而知，若存在一个代数约简，则一定存在一个相应的广义决策约简，使得该代数约简是相应广义决策约简的子集，但两者并不完全一致，如例1中的决策表 S_1，其代数约简为 $\{b\}$，广义决策约简为 $\{a,b\}$，$\{b\} \subseteq \{a,b\}$。

3 基于D-S证据理论直接求代数约简和代数核的方法

定理2的结论表明利用D-S证据理论判断 $B \subseteq C$ 是 C 的广义决策约简的关键指标在于是否有 $\sum_{X \in U/R_d^C} Bel_B(X) = 1$ 或 $\sum_{X \in U/R_d^C} Pl_B(X) = 1$ 成立。这样做的想法是自然的，因为对于一致决策表上述两指标显然成立。例1与定理3的结论表明在不一致决策表下，如果利用定理2的方法得到的广义决策约简本质上仅是分配约简而不是代数约简。进一步分析得知，定理2的本质就是为了维持某种“不变”的判定指标而强制性的将不一致决策表转化成一致决策表。这种方法至少有两方面的缺陷：①求得的属性约简结果并不是原决策表的代数约简；②转化过程增加了复杂度，影响计算效率。

基于以上事实，下面提出一种求属性约简新的判定指标，从而跳过将不一致决策表转化为一致决策表这一过程，提高了计算效率。理论上证明了其计算过程一定能得到代数协调集和代数核。

属性约简新的判定指标由下面的定理给出。

定理5 给定决策表 $S = < U, V, f, C \cup D >$，

设 $U/D = \{D_1, D_2, \cdots, D_r\}$，$B \subseteq C$ 是 C 的一个代数协调集的充分必要条件为：$\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) = |POS_C(D)|/|U|$。

证明　充分性。由于 $\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) = \sum_{j=1}^{r} |\overline{B}(D_j)|/|U|$，又因 $POS_B(D) = \bigcup_{j=1}^{r} \overline{B}(D_j)$ 且当 $i \neq j$ 时有 $\overline{B}(D_i) \cap \overline{B}(D_j) = \phi$，从而 $\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) = \sum_{j=1}^{r} |\overline{B}(D_j)|/|U| = |POS_C(D)|/|U|$。如果 $\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) = |POS_C(D)|/|U|$，则有 $|POS_B(D)| = |POS_C(D)|$。根据文献 [13] 的定理结论，有 $POS_B(D) = POS_C(D)$，从而知 B 是 C 的一个代数协调集。

上述证明过程是可逆的，从而有结论成立。

推论 1　给定决策表 $S = < U, V, f, C \cup D >$，设 $U/D = \{D_1, D_2, \cdots, D_r\}$，$B \subseteq C$ 是 C 的一个代数约简的充分必要条件为 (1) $\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) = |POS_C(D)|/|U|$ (2) 对任意 $B' \subset B$ 有 $\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) < |POS_C(D)|/|U|$。

证明　根据代数协调集与代数约简的定义及定理 5 知结论成立。

特别地，若 S 是一致的，因 $POS_C(D) = U$，从而 $\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) = 1$，这即是定理 1 结论的情形。

若决策表 S 的相对核为 $CORE(C,D)$，由此给出基于 D-S 证据理论的代数核属性判断准则推论 2。

推论 2　给定决策表 $S = < U, V, f, C \cup D >$，记其相对核为 $CORE(C,D)$，那么对 $\forall a \in C$，$a \in CORE(C,D)$ 的充分必要条件是 $\sum_{j=1}^{r} Bel_{C-\{a\}}(D_j) \neq |POS_C(D)|/|U|$。

证明　根据定理 5 和相对核 $CORE(C,D)$ 的定义即知结论成立。

定理 5 及推论 1、推论 2 的结论表明，计算不一致决策表的代数约简，不需要转换过程，直接采用新的属性约简的指标函数即 $\sum_{j=1}^{r} Bel_B(D_j) = |POS_C(D)|/|U|$，就能直接求得代数约简与代数核。

4　计算实例

通过两个算例说明采用新的属性约简的指标函数，直接求代数约简与代数核新方法的有效性。

例 2　继续考察例 1 决策表 S_1。

假设 $U/C = \{C_1, C_2, C_3\}$，其中 $C_1 = \{x_1, x_2, x_3\}$，$C_2 = \{x_4, x_5\}$，$C_3 = \{x_6\}$；$U/d = \{D_1, D_2, D_3\}$，其中 $D_1 = \{x_1, x_4, x_6\}$，$D_2 = \{x_2, x_5\}$，$D_3 = \{x_3\}$，容易得 $POS_C(D) = \{x_6\}$，$\frac{|POS_C(D)|}{|U|} = \frac{1}{6}$。由于 $U/\{b\} = \{B_1, B_2\}$，$B_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$，$B_2 = \{x_6\}$，易得 $\sum_{j=1}^{3} Bel_{\{b\}}(D_j) = \frac{1}{6} = \frac{|POS_C(D)|}{|U|}$，根据推论 1 知道 $\{b\}$ 是 S_1 的代数约简，又因是单列属性，所以 $\{b\}$ 又是 S_1 的代数核属性。

为进一步说明广义决策约简、分配约简与代数约简之间的异同以及本文求代数约简和代数核的新方法，引用文献 [10] 的算例进一步验证如下。

例 3　给定决策表 $S_2 = < U, V, f, C \cup D >$ 如表 3 所示，其中 $U = \{x_1, x_2, \cdots, x_{18}\}$，$C = \{a, b, c, e, f, g\}$，$D = \{d\}$。

表 3　决策表 S_2

Table 3　Decision table S_2

U	a	b	c	e	f	g	d
x_1	0	0	0	0	0	0	0
x_2	1	0	0	0	0	0	0
x_3	1	0	0	0	0	0	1
x_4	0	1	1	1	1	1	1
x_5	0	1	1	1	1	1	2
x_6	0	1	1	1	1	1	1
x_7	0	0	0	1	0	0	2
x_8	0	0	0	1	0	0	2
x_9	0	0	0	1	0	0	1
x_{10}	0	1	1	1	0	1	1
x_{11}	0	1	1	1	0	1	2
x_{12}	0	0	1	1	0	0	0
x_{13}	0	0	1	1	0	0	2
x_{14}	1	0	0	0	0	0	1
x_{15}	1	0	0	0	0	0	2
x_{16}	0	0	1	1	0	0	1
x_{17}	0	1	1	1	0	1	1
x_{18}	0	1	1	1	0	1	1

因此有 $U/C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6\}$，其中 $C_1 = \{x_1\}$，$C_2 = \{x_2, x_3, x_{14}, x_{15}\}$，$C_3 = \{x_4, x_5, x_6\}$，$C_4 = \{x_7, x_8, x_9\}$，$C_5 = \{x_{10}, x_{11}, x_{17}, x_{18}\}$，$C_6 = \{x_{12},$

$x_{13},x_{16}\}$；$U/D=\{D_1,D_2,D_3\}$，其中 $D_1=\{x_1,x_2,x_{12}\}$，$D_2=\{x_3,x_4,x_6,x_9,x_{10},x_{14},x_{16},x_{17},x_{18}\}$，$D_3=\{x_5,x_7,x_8,x_{11},x_{13},x_{15}\}$，易得 $POS_C(D)=\{x_1\}$。$\frac{|POS_C(D)|}{|U|}=\frac{1}{18}$。$U/C$ 中等价类的分配函数值与广义决策值具体如表4所示。

表4 U/C 等价类的分配函数值与广义决策值

Table 4 The assignment and generalized decision values for classes in U/C

	$\delta_C(x)$	$\partial_C(x)$
C_1	$\{D_1\}$	$\{0\}$
C_2	$\{D_1,D_2,D_3\}$	$\{0,1,2\}$
C_3	$\{D_2,D_3\}$	$\{1,2\}$
C_4	$\{D_2,D_3\}$	$\{1,2\}$
C_5	$\{D_2,D_3\}$	$\{1,2\}$
C_6	$\{D_1,D_2,D_3\}$	$\{0,1,2\}$

显然，$U/R_d^C=\{C_1,C_2\cup C_6,C_3\cup C_4\cup C_5\}$. 若令 $B=\{a,b,c,e\}$，则 $U/B=\{B_1,B_2,B_3,B_4,B_5\}$，其中 $B_1=\{x_1\}$，$B_2=\{x_2,x_3,x_{14},x_{15}\}$，$B_3=\{x_4,x_5,x_6,x_{10},x_{11},x_{17},x_{18}\}$，$B_4=\{x_7,x_8,x_9\}$，$B_5=\{x_{12},x_{13},x_{16}\}$，$\sum_{X\in U/R_d^C}Pl_B(X)=1/18+7/18+10/18=1$，因此 $B=\{a,b,c,e\}$ 是广义决策协调集，其分配函数值与广义决策值具体如表5所示。

显然 $\delta_B(x)=\delta_C(x)$，$\partial_B(x)=\partial_C(x)$，同理，若令 $B=\{a,c,e,g\}$，知其也是广义决策协调集. 并且可验证它们都是 C 的分配约简和广义决策约简。

表5 U/B 等价类的分配函数值与广义决策值

Table 5 The assignment and generalized decision values for classes in U/B

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
$\delta_B(x)$	$\{D_1\}$	$\{D_1,D_2,D_3\}$	$\{D_2,D_3\}$	$\{D_2,D_3\}$	$\{D_1,D_2,D_3\}$
$\partial_B(x)$	$\{0\}$	$\{0,1,2\}$	$\{1,2\}$	$\{1,2\}$	$\{0,1,2\}$

进一步，$B=\{a,b,c,e\}$ 或 $\{a,c,e,g\}$ 还是代数协调集，但不是代数约简，因为它们还可以约去某些属性. 令 $R=\{a,e\}$，则 $U/R=\{R_1,R_2,R_3\}$，其中 $R_1=\{x_1\}$，$R_2=\{x_4,x_5,x_6,x_7,x_8,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{16},x_{17},x_{18}\}$，$R_3=\{x_2,x_3,x_{14},x_{15}\}$，由 $\sum_{X\in U/R_d^C}Pl_{\{a,e\}}(X)=1/18+17/18+13/18>1$ 知 R 不是 C 的广义决策协调集，更不可能是广义决策约简，但 $\sum_{j=1}^{3}Bel_R(D_j)=1/18=\frac{|POS_C(D)|}{|U|}$，$\sum_{j=1}^{3}Bel_{\{a\}}(D_j)=\sum_{j=1}^{3}Bel_{\{e\}}(D_j)=0$，从而知 R 是 C 的一个代数约简，与通过代数约简定义所得结果一致。

由于 $\sum_{j=1}^{3}Bel_{C-\{a\}}(D_j)=\sum_{j=1}^{3}Bel_{C-\{e\}}(D_j)=0\neq 1/18$，根据推论2知，属性 a 和 e 是其代数核属性。

5 结 语

基于D-S证据理论的属性约简方法在一致决策表上所的结果与代数约简的结果是一致的，对于不一致决策表，现有的方法是先将不一致决策表转化成一致决策表，然后求其广义决策表约简，但它与代数约简并不完全相一致. 本文讨论了这种不一致性问题，理论上证明了广义决策约简仅与分配约简等价，进一步地，提出了一种在D-S证据理论下采用新的属性约简指标直接求代数约简和代数核的新方法，从而避免了不一致决策表转化的问题，减少了转换的复杂度与提了算法效率，为在不一致决策表下直接计算代数约简的高效算法的探索打下了基础。

参考文献：

[1] PAWLAK Z. Rough sets [J]. International Journal of Information and Computer Science, 1982, 11(5):341-356.

[2] MIAO Duoqian, WANG Ju. An information representiion of the concept and operations in rough set theory [J]. Journal of Software, 1999,10(2):113-116.

[3] 王国胤，于 洪，杨大春. 基于条件信息熵的决策表约简[J]. 计算机学报，2002, 25(7):759-766.

[4] ZHANG Wenxiu, MI Jusheng, WU Weizhi. Approaches to knowledge reductions in inconsistent systems [J]. International Journal of Intelligent Systems, 2003, 18(4): 989-1000.

[5] ZHANG Mei, XU Lida, ZHANG Wenxiu, et al. A rough set approach to knowledge reduction based on inclusion degree and evidence reasoning theory [J]. Expert Systems, 2003, 20(5): 298-304.

[6] WU Weizhi, ZHANG Mei, LI Huaizu et al. Knowledge reduction in random information systems via Dempster-Shafer theory of evidence [J]. Information Sciences, 2005, 174: 143-164.

[7] 曾凡智，卢炎生. 不一致决策表下基于D-S证据理论的知识约简[J]. 小型微型计算机系统，2009, 30(2): 317-321.

[8] 袁修久，张文修. 决策表的分布约简和严凸函数下约简的等价性[J]. 系统工程，2003,21(5): 5-7.

（下转第63页）

从图4 结果看。由于 Improved-AODV 采用中间节点的剩余能量水平对 RREQ 包进行了控制性转发，其端对端平均延时（图 4（a））、平均跳数（图4（b））相对传统 AODV 稍高，随着 CBR 发送频率的增大，从（图 4（c））看，其归一化路由开销减小，吞吐量有所提高。从图 5 看，仿真结束后，节点的剩余能量较传统的 AODV 协议大提升，延长了网络的生命周期，达到的节能的目的。

4 结　语

基于节能的无线传感器网络的研究是目前的一个热点，本文依据跨层设计思想提出的物理层功率自适应调节与网络层节能路由选择的协议算法，理论分析和仿真实验表明，在保证较低延时和较高吞吐率的同时，较大幅度的减少了节点的能量消耗水平，尤其在业务量较高的，负荷较大的情况下，效果更为显著。

参考文献：

[1] 赵海，程大伟，孙佩刚，等. 基于矩法估计量的无线传感器网络路由度量[J]. 东北大学学报：自然科学版，2008，29(3)：320－323.

[2] 黄景博. 移动 Ad Hoc 网络的节能路由技术研究[D]. 合肥：中国科技大学，2007.

[3] 王冬青，谭跃刚. AODV 协议在无线传感器网络中的应用[J]. 测试技术学报，2008，22(3)：274－277.

[4] PARK S，SIVAKUMAR R. Load-Sensitive transmission power control in wireless ad-hoc networks[C]//Park J，ed. Proc. of the GlobeCom 2002. Taipei：IEEE Press，2002：42－46.

[5] PARK S，SIVAKUMAR R. Quantitative analysis of transmission power control in wireless ad-hoc networks. [C]//Lilja D，ed. Proc. of the ICPP 2002. Vancouver：IEEE Computer Society，2002：56－63.

[6] NARAYANASWAMY S，KAWADIA V，SREENIVAS R S. Power control in ad-hoc networks：Theory，architecture，algorithm and implementation of the COMPOW protocol[C]//Lenzini L，ed. Proc. of the European Wireless Conf. 2002. Florence，2002：156－162.

[7] 李方敏，徐文君，刘新华. 无线传感器网络功率控制技术[J]. 软件学报，2008，19(3)：716－732.

[8] 邓罡，陈颖文，徐明，等. 无线传感器网络环境感知的节点定位方法[J]. 中山大学学报：自然科学版，2008，47(6)：114－119.

[9] 杨卫东，周杰英，张光昭. Ad Hoc 网络中一种基于权值的分簇算法[J]. 中山大学学报：自然科学版，2007，46(5)：5－9.

[10] 王忠恒，张曦煌. 移动 Ad Hoc 网络 AODV 路由协议的改进[J]. 计算机应用，2010，30(2)：333－336.

[11] 藩云霞，冀常精. AoDV 的能量策略研究[J]. 计算机工程，2010，36(22)：103－105.

[12] 刘雯雯，马锐，许海滨. 均衡无线传感器网络能耗的 AODV 改进方案[J]. 计算机工程，2008，34(22)：143－144，147.

[13] 袁培燕，高宏卿. 概率转发的移动自组织网络路由协议[J]. 计算机工程与应用，2010，46(24)：104－106.

（上接第 58 页）

[9] WANG Guoyin，ZHAO Jun，AN Jiujiang et. al.. A comparative study of algebra viewpoint and information viewpoint in attribute reduction [J]. Fundamenta Informaticae，2005，68（6）：289－301.

[10] 李凡，刘启和，叶茂，等. 不一致决策表的知识约简方法研究［J］. 控制与决策，2006，21（8）：857－862.

[11] 黄国顺，刘云生. 不一致决策表信息熵约简与代数约简的核计算与转化［J］. 小型微型计算机系统，2008，29（2）：308－312.

[12] 黄国顺，刘云生. 不一致决策表各种属性约简的不一致性分析与转化［J］. 小型微型计算机系统，2008，29（4）：703－708.

[13] 黄国顺. 基于数据库系统的决策表核和属性约简算法［J］. 计算机应用，2008，28（5）：1180－1182.

[14] 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.