序信息系统的贴近度及属性约简算法

孟慧丽 赵晓焱 徐久成
(河南师范大学计算机与信息工程学院 新乡 453007)
(河南省高校计算智能与数据挖掘工程技术研究中心 新乡 453007)

摘 要 在基于优势关系的序信息系统中,定义了对象在不同属性集下优势类的贴近度,并基于对象优势类的贴近度提出了属性集之间的贴近度。针对基于优势关系的序信息系统提出了基于贴近度的属性约简启发式算法,通过实例对该算法的有效性进行了检验。结果显示,该算法能有效得到优势关系下信息系统的属性约简,为基于优势关系的序信息系统的知识发现提供了理论基础。

关键词 序信息系统,贴近度,属性约简
中图法分类号 TP18 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.12.041

Close-degree of Ordered Information Systems and Attribute Reduction Algorithm

MENG Hui-li ZHAO Xiao-yan XU Jiu-cheng
(College of Computer & Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)
(Engineering Technology Research Center for Computing Intelligence & Data Mining of Henan Province, Xinxiang 453007, China)

Abstract In ordered information systems based on dominance relations, the close-degree of dominance classes under different attribute sets was defined, and then the close-degree of different attribute sets was also defined. The heuristic attribute reduction algorithm based on the close-degree of attribute sets was designed. The validity of the algorithm was tested by an example, and results show that the algorithm is efficient for attribute reduction of ordered information systems, and provides a theoretical basis for knowledge discovery in ordered information systems.

Keywords Ordered information system, Close-degree, Attribute reduction

1 引言

粗糙集理论[1]是波兰数学家 Pawlak 于 1982 年提出的一种能有效处理信息系统中不精确、不完备等信息的数据分析方法。属性约简是粗糙集理论研究的重要内容之一,是在保持信息系统分类能力不变的前提下,删除其中的不必要属性,以便从信息系统中获取更加简洁的规则,进而得到对实际的生产生活具有指导意义的知识。

国内外大量学者对基于等价关系的经典完备信息系统的属性约简进行了深入研究,提出了多种不同的属性约简算法[2-6]。然而在实际的生产生活中所产生的信息系统并不都是基于等价关系的,Greco、Matarazzo 和 Slowinski 等在文献[8]中提出了基于优势关系的序信息系统,以优势关系替代经典完备粗糙集中的等价关系,对论域中的对象根据属性取值的偏好进行了分类。近年来,基于优势关系的序信息系统逐渐引起人们的关注[8-15]。文献[3]基于区分矩阵给出了序信息系统的属性约简方法。文献[9-12]分别从信息量、信息粒度、粗糙熵和相对优势类差量的角度对基于优势关系的序信息系统中的不确定度量理论进行了研究,并设计了启发式属性约简算法。文献[6]针对完备信息系统提出了划分贴近度,研究了信息系统和决策系统中的贴近度理论。文献[7]针对不完备信息系统和决策系统提出了贴近度,并研究了不完备系统中的贴近度理论。文献[6,7]中的贴近度理论主要从不同的属性集就论域产生的划分的贴近程度对属性集的分类能力进行研究,丰富了完备信息系统和不完备信息系统中的不确定度量理论。但文献[6]中的贴近度主要适用于完备信息系统和决策系统,文献[7]中的贴近度主要适用于不完备信息系统和决策系统,它们都不能直接用于度量基于优势关系的序信息系统中的属性集的贴近程度。

本文在文献[6,7]的基础上,提出了基于优势关系的序信息系统中属性集的贴近度,并对基于优势关系的序信息系统的贴近度理论进行了研究,设计了基于贴近度的属性约简启发式算法,从而进一步丰富了基于优势关系的序信息系统中不确定信息度量的理论,为基于优势关系的序信息系统的知识发现提供了理论基础。

2 基于优势关系的序信息系统

定义 1[3] 称一个四元组 $S=(U,A,V,f)$ 为一个信息系

到稿日期:2014-01-09 返修日期:2014-04-18 本文受国家自然科学基金项目(60873104,61370169),河南省科技攻关重点项目(112102210194),河南省教育厅自然科学研究项目(2011A520054)资助。

孟慧丽(1978—),女,硕士,讲师,主要研究方向为粗糙集理论、数据挖掘,E-mail:menghuili93@163.com;**赵晓焱**(1981—),女,硕士,讲师,主要研究方向为多媒体网络通信;**徐久成**(1963—),男,博士,教授,主要研究方向为粒计算、数据挖掘、生物信息处理等。

统，其中 U 是非空有限对象集，A 是有限属性集，$A=C\cup D$，C 表示条件属性，D 表示决策属性，且 $C\cap D=\emptyset$；$V=\bigcup_{a\in A}V_a$，V_a 表示属性 a 的值域；f 表示 $U\times A\to V$ 的一个信息函数，它为每个对象在每个属性上赋予一个信息值。若 $D=\emptyset$，则称 $S=(U,A,V,f)$ 为信息系统；若 $D\neq\emptyset$，则称 $S=(U,A,V,f)$ 为决策信息系统。

定义 2[3] 设 $S=(U,A,V,f)$ 为一信息系统，对于 $B\subseteq A$，令 $R_B=\{(x,y)\in U\times U: f_a(x)\leqslant f_a(y),\forall a\in B\}$，则 R_B 称为信息系统 $S=(U,A,V,f)$ 的优势关系，此时该信息系统称为基于优势关系的序信息系统。记：

$$[x_i]_B^{\leqslant}=\{x_j\in U\mid (x_i,x_j)\in R_B\}=\{x_j\in U\mid f_a(x_i)\leqslant f_a(x_j),\forall a\in B\},U/R_B=\{[x_i]_B^{\leqslant}\mid x_i\in U\}$$

则称$[x_i]_B^{\leqslant}$为对象 x_i 在属性集 B 下的优势类，表示对于所有属性集 B 中的属性，其属性值都优于或等于 x_i 的对象集，U/R_B 为该序信息系统对象集关于属性集 B 的一个优势分类。

性质 1[3] (1)R_B 是自反的和传递的，但未必是对称的，因而一般不再是等价关系；

(2) 当 $B\subseteq A$ 时，有$[x_i]_A^{\leqslant}\subseteq[x_i]_B^{\leqslant}$。

定义 3[3] 设 $S=(U,A,V,f)$是序信息系统，属性集 $a\in A$，如果 $U/R_{A-\{a\}}=U/R_A$，则称 a 为 A 中不必要的，否则称 a 为 A 中必要的。A 中所有必要属性组成的集合称为属性集 A 的核，记为 $Core(A)$。

定义 4[3] 设 $S=(U,A,V,f)$是序信息系统，属性集 $B\subseteq A$，若满足：

(1)$U/R_B=U/R_A$，

(2) $\forall a\in B,U/R_{B-\{a\}}\neq U/R_A$，

则称属性集 B 是序信息系统的一个约简。

3 序信息系统中的贴近度及属性重要性

定义 5 序信息系统 $S=(U,A,V,f)$，$U=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$，属性集 $P、Q\subseteq A$，且 $P、Q$ 在 U 上基于优势关系导出的优势分类分别为 $U/R_P=\{[x_1]_P^{\leqslant},[x_2]_P^{\leqslant},\cdots,[x_n]_P^{\leqslant}\}$，$U/R_Q=\{[x_1]_Q^{\leqslant},[x_2]_Q^{\leqslant},\cdots,[x_n]_Q^{\leqslant}\}$，则对 $\forall x_i\in U$，定义：

$$t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})=\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}\cap[x_i]_Q^{\leqslant}|}{|[x_i]_P^{\leqslant}\cup[x_i]_Q^{\leqslant}|}$$

称 $t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})$为 x_i 在属性集 $P、Q$ 下优势类的贴近度。这里$|\cdot|$表示集合的基数。

性质 2 序信息系统 $S=(U,A,V,f)$，属性集 $P、Q\subseteq A$，则对 $\forall x_i\in U$，$1/|U|\leqslant t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})\leqslant 1$。

证明：对 $\forall x_i\in U$，根据对象优势类的定义可知，$x_i\in[x_i]_P^{\leqslant}\subseteq U$ 且 $x_i\in[x_i]_Q^{\leqslant}\subseteq U$，则$\{x_i\}\subseteq[x_i]_P^{\leqslant}\cap[x_i]_Q^{\leqslant}\subseteq U$，即有 $1\leqslant|[x_i]_P^{\leqslant}\cap[x_i]_Q^{\leqslant}|\leqslant|U|$，因为$[x_i]_P^{\leqslant}\cup[x_i]_Q^{\leqslant}\subseteq U$，所以有$|[x_i]_P^{\leqslant}\cup[x_i]_Q^{\leqslant}|\leqslant|U|$，从而 $1/|U|\leqslant t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})\leqslant 1$。

对象 x_i 在属性集 $P、Q$ 下优势类的贴近度 $t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})$表示集合$[x_i]_P^{\leqslant}$ 与$[x_i]_Q^{\leqslant}$ 的贴近程度，$t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})$越大，$[x_i]_P^{\leqslant}$ 与$[x_i]_Q^{\leqslant}$ 越贴近。

定义 6 设序信息系统 $S=(U,A,V,f)$，$U=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$，属性集 $P、Q\subseteq A$，且 $P、Q$ 在 U 上基于优势关系导出的分类分别为 $U/R_P=\{[x_1]_P^{\leqslant},[x_2]_P^{\leqslant},\cdots,[x_n]_P^{\leqslant}\}$，$U/R_Q=\{[x_1]_Q^{\leqslant},[x_2]_Q^{\leqslant},\cdots,[x_n]_Q^{\leqslant}\}$，则属性集 $P、Q$ 的贴近度定义为：

$$T(P,Q)=\frac{1}{|U|}\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})$$

称 $T(P,Q)$为属性集 $P、Q$ 基于优势关系的贴近度。

性质 3 设序信息系统 $S=(U,A,V,f)$，属性集 $P、Q\subseteq A$，则 $1/|U|\leqslant T(P,Q)\leqslant 1$。

证明：因为 $T(P,Q)=\frac{1}{|U|}\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})$，由性质 2 可知 $\forall x_i\in U$，$1/|U|\leqslant t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})\leqslant 1$，所以 $1\leqslant\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})\leqslant|U|$，则有 $1/|U|\leqslant\frac{1}{|U|}\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})\leqslant 1$，即 $1/|U|\leqslant T(P,Q)\leqslant 1$。

属性集 $P、Q$ 基于优势关系的贴近度 $T(P,Q)$表示属性集 $P、Q$ 在对象集 U 上导出的优势分类 $U/R_P、U/R_Q$ 的贴近程度，$T(P,Q)$越大，$U/R_P、U/R_Q$ 越贴近。

定理 1 设序信息系统 $S=(U,A,V,f)$，属性集 $P、Q\subseteq A$，当 $T(P,Q)=1$ 时，有 $U/R_P=U/R_Q$。

证明：设 $P、Q$ 在 U 上导出的优势分类分别为 $U/R_P=\{[x_1]_P^{\leqslant},[x_2]_P^{\leqslant},\cdots,[x_n]_P^{\leqslant}\}$，$U/R_Q=\{[x_1]_Q^{\leqslant},[x_2]_Q^{\leqslant},\cdots,[x_n]_Q^{\leqslant}\}$，$T(P,Q)=\frac{1}{|U|}\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})=1$ 时，有 $\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})=|U|$，又因为 $\forall x_i\in U$，$1/|U|\leqslant t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})\leqslant 1$，所以可知 $\forall x_i\in U$，$t([x_i]_P^{\leqslant},[x_i]_Q^{\leqslant})=1$，即 $\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}\cap[x_i]_Q^{\leqslant}|}{|[x_i]_P^{\leqslant}\cup[x_i]_Q^{\leqslant}|}=1$，所以有$[x_i]_P^{\leqslant}=[x_i]_Q^{\leqslant}$，即 $U/R_P=U/R_Q$。

定理 2 设序信息系统 $S=(U,A,V,f)$，属性集 $B1\subseteq B2\subseteq P\subseteq A$，则 $T(B1,P)\leqslant T(B2,P)$。

证明：由性质 1(2)可知对 $\forall x_i\in U$，当 $B1\subseteq B2\subseteq P$ 时，有 $[x_i]_P^{\leqslant}\subseteq[x_i]_{B2}^{\leqslant}\subseteq[x_i]_{B1}^{\leqslant}$，则 $\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}\cap[x_i]_{B1}^{\leqslant}|}{|[x_i]_P^{\leqslant}\cup[x_i]_{B1}^{\leqslant}|}=\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}|}{|[x_i]_{B1}^{\leqslant}|}$，$\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}\cap[x_i]_{B2}^{\leqslant}|}{|[x_i]_P^{\leqslant}\cup[x_i]_{B2}^{\leqslant}|}=\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}|}{|[x_i]_{B2}^{\leqslant}|}$，所以有 $\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}|}{|[x_i]_{B1}^{\leqslant}|}\leqslant\frac{|[x_i]_P^{\leqslant}|}{|[x_i]_{B2}^{\leqslant}|}$，即 $T(B1,P)\leqslant T(B2,P)$。

定理 2 说明，在基于优势关系的序信息系统中，当 $B\subseteq P$ 时，随着属性集 B 中属性的增加，属性集 B 越贴近于属性集 P，B 对对象集 U 的优势分类越贴近于 P 对 U 的优势分类。

定义 7 设序信息系统 $S=(U,A,V,f)$，对任意属性 $a\in A$，属性 a 在 A 中的重要性定义为：

$$SGF(a,A)=1-T(A-\{a\},A)$$

性质 4 $0\leqslant SGF(a,A)\leqslant 1-1/|U|$。

性质 5 属性 a 是 A 中必要的，当且仅当 $SGF(a,A)>0$。

证明：设 a 是 A 中必要的，则由定义 3 可知 $U/R_{A-\{a\}}\neq U/R_A$，必存在 $x_i\in U$，使得$[x_i]_A^{\leqslant}\neq[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}$，而由性质 1(2)可知 $\forall x_i\in U$，$[x_i]_A^{\leqslant}\subseteq[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}$，所以有$[x_i]_A^{\leqslant}\subset[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}$，则 $t([x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant},[x_i]_A^{\leqslant})=\frac{|[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}\cap[x_i]_A^{\leqslant}|}{|[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}\cup[x_i]_A^{\leqslant}|}=\frac{|[x_i]_A^{\leqslant}|}{|[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}|}<1$，从而 $SGF(a,A)=1-T(A-\{a\},A)=1-\frac{1}{|U|}\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant},[x_i]_A^{\leqslant})>0$。反之，设 $SGF(a,A)>0$，即有 $1-\frac{1}{|U|}\sum_{i=1}^{|U|}t([x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant},[x_i]_A^{\leqslant})>0$，可知必存在一个 $x_i\in U$，使得 $t([x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant},[x_i]_A^{\leqslant})=\frac{|[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}\cap[x_i]_A^{\leqslant}|}{|[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}\cup[x_i]_A^{\leqslant}|}<1$，从而$[x_i]_A^{\leqslant}\neq[x_i]_{A-\{a\}}^{\leqslant}$，$U/R_{A-\{a\}}\neq U/R_A$，所以 a 是 A 中必要的。

性质 6 $Core(A)=\{a\in A\mid SGF(a,A)>0\}$。

定理 3 设 $S=(U,A,V,f)$是序信息系统，属性集 $B\subseteq$

A,如果 B 中每个属性都是必要的且 $T(B,A)=1$,则 B 为 A 的一个约简。

证明:由定理 1 可知,当 $T(B,A)=1$ 时,$U/R_B=U/R_A$,又因为 $B\subseteq A$ 且 B 中每个属性都是必要的,即 $\forall a\in B$,$U/R_{B-\{a\}}\neq U/R_A$,所以 B 为 A 的一个约简。

4 基于贴近度的序信息系统属性约简算法

由于核是所有约简的子集且是唯一的,因此首先计算出属性集 A 的核 $Core(A)$,在核的基础上,依次将使贴近度增加最大的属性增加到属性集 B 中,直到属性集 B 相对 A 的贴近度为 1,就得到了属性集 A 的一个约简。

算法 1 基于贴近度的序信息系统属性约简算法

输入:序信息系统 $S=(U,A,V,f)$,其中 U 为非空有限对象集,$A=\{a_1,a_2,\cdots,a_m\}$ 为有限属性集。

输出:属性集 A 的一个约简 C。

Step 1 计算属性集 A 的核,令 $Core(A)=\emptyset$,对 $\forall a_i\in A$,如果 $SGF(a_i,A)>0$,则 $Core(A)=Core(A)\cup\{a_i\}$。

Step 2 令 $B=Core(A)$,$B1=A-Core(A)$。

Step 3 如果 $T(B,A)=1$,则 $C=B$,转 Step 4。否则对 $\forall a_i\in B1$,考察 $T(B\cup\{a_i\},A)-T(B,A)$,将使 $T(B\cup\{a_i\},A)-T(B,A)$ 值最大的 a_i 并入 B,$B1=B1-\{a_i\}$,转 Step 3。

Step 4 算法终止,输出属性集约简 C。

算法时间复杂度分析:由于计算一个属性 a 的优势分类 U/R_a 的时间复杂度为 $O(|U|^2)$,因此计算 U/R_A 的时间复杂度为 $O(|A||U|^2)$,则 Step 1 中计算 $Core(A)$ 的时间复杂度为 $O(|A|^2|U|^2)$。同理计算 $T(B\cup\{a_i\},A)-T(B,A)$ 时,需要计算 U/R_A、U/R_B、$U/R_{B\cup\{a\}}$,时间复杂度都为 $O(|A||U|^2)$,对 $B1$ 中所有属性计算一遍 $T(B\cup\{a_i\},A)-T(B,A)$ 的时间复杂度为 $O(|A|^2|U|^2)$,则 Step 3 的时间复杂度为 $O(|A|^3|U|^2)$,所以算法总的时间复杂度为 $O(|A|^3|U|^2)$,与文献[12]中算法时间复杂度相同。

5 实例分析

例 表 1 为文献[3]中的一个序信息系统,属性集 $A=\{a_1,a_2,a_3\}$,下面根据算法 1 来计算该序信息系统的属性约简。

表 1 序信息系统

U	a_1	a_2	a_3
x_1	1	2	1
x_2	3	2	2
x_3	1	1	2
x_4	2	1	3
x_5	3	3	2
x_6	3	2	3

Step 1 根据 $[x_1]_A^{\leqslant}=\{x_1,x_2,x_5,x_6\}$,$[x_2]_A^{\leqslant}=\{x_2,x_5,x_6\}$,$[x_3]_A^{\leqslant}=\{x_2,x_3,x_4,x_5,x_6\}$,$[x_4]_A^{\leqslant}=\{x_4,x_6\}$,$[x_5]_A^{\leqslant}=\{x_5\}$,$[x_6]_A^{\leqslant}=\{x_6\}$,分别计算 $\forall a_i\in A$,$SGF(a_i,A)$ 的值,以 a_2 为例,因为 $[x_1]_{a_1a_3}^{\leqslant}=\{x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6\}$,$[x_2]_{a_1a_3}^{\leqslant}=\{x_2,x_5,x_6\}$,$[x_3]_{a_1a_3}^{\leqslant}=\{x_2,x_3,x_4,x_5,x_6\}$,$[x_4]_{a_1a_3}^{\leqslant}=\{x_4,x_6\}$,$[x_5]_{a_1a_3}^{\leqslant}=\{x_2,x_5,x_6\}$,$[x_6]_{a_1a_3}^{\leqslant}=\{x_6\}$,$SGF(a_2,A)=1-T(A-\{a_2\},A)=1-T(\{a_1,a_3\},A)=1-\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}t([x_i]_{a_1a_3}^{\leqslant},[x_i]_A^{\leqslant})=1/6>0$,所以 a_2 是属性集 A 中必要的,应并入 $Core(A)$ 中,同理可计算其它属性是否是必要的,最后得到 $Core(A)=\{a_2,a_3\}$。

Step 2 $B=Core(A)=\{a_2,a_3\}$,$B1=\{a_1\}$。

Step 3 因为 $T(B,A)=1$,所以 $C=B=\{a_2,a_3\}$ 即为所求的约简集。

根据算法 1 得到的该序信息系统的属性约简为 $\{a_2,a_3\}$,与文献[3]和文献[12]中约简结果相同,验证了该约简算法的有效性。算法时间复杂度与文献[12]中算法时间复杂度相同,且算法在核的基础上每次选择重要度最大的属性,从而提高了算法求取约简的效率。

结束语 本文在基于优势关系的序信息系统中引入了贴近度的概念,研究了不同属性集基于优势关系的贴近度,并基于贴近度设计了序信息系统属性约简的启发式算法,这些结论为序信息系统的知识发现和知识获取提供了一定的理论基础。

参考文献

[1] Pawlak Z. Rough Set-Theoretical Aspect of Reasoning About Data[M]. Kluwer Academic pub,1991

[2] Lingras P J,Yao Y Y. Data mining using extensions of the rough set model [J]. Journal of the American Society for Information Science,1998,49(5):415-422

[3] 张文修,梁怡,吴伟志. 信息系统与知识发现[M]. 北京:科学出版社,2003

[4] 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

[5] 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

[6] 徐久成,孟慧丽,郭林鹏. 粗糙集的划分贴近度及基于划分贴近度的属性约简算法[J]. 计算机科学,2008,35(3):213-215

[7] 徐久成,孟慧丽,郭林鹏. 基于划分贴近度的不完备信息系统属性约简[J]. 计算机工程与应用,2008,44(30):163-166

[8] Greco S,Matarazzo B,Slowinski R. Rough approximation of a preference relation by dominance by relation[J]. European Journal of Operation Research,1999,117:63-83

[9] 马建敏,张文修,朱朝晖. 基于信息量的序信息系统的属性约简[J]. 系统工程理论与实践,2010,30(9):1679-1683

[10] 王锋,钱宇华,梁吉业. 序信息系统的启发式属性约简算法[J]. 计算机科学,2010,37(1):258-260

[11] 徐伟华,张晓燕,钟坚敏,等. 序信息系统中属性约简的启发式算法[J]. 计算机工程,2010,36(17):69-71

[12] 吕跃进,韦碧鹏,胡明明. 基于相对优势类差量的序信息系统属性约简算法[J]. 模糊系统与数学,2013,27(1):142-148

[13] 廖帆,滕书华,邵世雷. 基于优势关系的启发式属性约简算法[J]. 计算机工程,2011,37(24):52-54

[14] 鲍忠奎,杨善林. 基于新特征优势关系的知识约简模型[J]. 小型微型计算机系统,2013,34(8):1858-1861

[15] 韦碧鹏,吕跃进,李金海. 基于 α 优势关系粗糙集模型的属性约简[J]. 智能系统学报,2014,9(1):1-9