

序信息系统的启发式属性约简算法

王 锋 钱宇华 梁吉业

(计算智能与中文信息处理教育部重点实验室 太原 030006)

(山西大学计算机与信息技术学院 太原 030006)

摘 要 属性约简是粗糙集理论的核心问题之一,序信息系统中的属性约简也逐渐受到关注。基于优势类的概念,引入了序信息系统的一种信息粒度,用于度量属性集在序意义下的不确定性,进而给出了序信息系统中属性重要度的定义。在此基础上,设计了一种序信息系统的启发式属性约简算法,并通过实例分析进行了有效性检验。

关键词 序信息系统,优势类,启发式约简算法

中图分类号 TP18 **文献标识码** A

Heuristic Attribute Reduction Algorithm to Ordered Information Systems

WANG Feng QIAN Yu-hua LIANG Ji-ye

(Key Laboratory of Ministry of Education for Computation Intelligence and Chinese Information Processing, Taiyuan 030006, China)

(School of Computer & Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract Attribute reduction is one of important problems in rough set theory, and attribute reductions in ordered information systems are also concerned in recent years. We first proposed a new information granulation based on dominance classes, which can be used to measure uncertainty of an attribute set in the context of ordered information systems. Using this information granulation, a definition of attribute significance was then given in ordered information systems. At last, a heuristic reduction algorithm was put forward to ordered information systems, and the validity of this algorithm was exemplified by an illustrative example.

Keywords Ordered information systems, Dominance classes, Heuristic reduction algorithm

1 引言

粗糙集(Rough Set)理论是由波兰学者 Pawlak 于 1982 年提出的,它作为一种刻画具有不完整性和不确定性的信息的数学工具^[1,2],以对观察和测量数据进行分类为基础,通过对数据进行分析,近似分类,推理数据间的关系,从而挖掘出潜在的必然规律。目前,粗糙集理论已经在模式识别、机器学习、决策支持、过程控制、预测建模等许多科学与工程领域得到成功的应用^[3,4]。

经典粗糙集是以完备信息系统为研究对象,以等价关系为基础,而且经典粗糙集中的属性通常不考虑属性取值的偏好信息。然而,在实际问题中标准属性是具有偏好信息的。尤其在企业管理中,具有偏好信息的属性最为常见,如投资报酬率、市场占有率、债务比率等。此外,还有评价学生德育成绩、智育成绩等属性也都具有偏好信息。所以,如何基于属性的偏好信息来获取信息系统中的有用知识就显得更为重要,而经典粗糙集理论的等价关系也已不再适合。为此, Greco, Matarazzo 和 Slowinski 于 1998 年提出了基于优势关系的粗糙集研究方法(DRSA)^[5-7],其主要是利用优势关系代替经典

粗糙集中的等价关系,通过建立序信息系统来考虑现实中存在的标准属性的偏好信息的问题,而且,近年来这一研究也取得了一定进展^[8-12]。

属性约简是粗糙集理论的核心问题之一^[13,14]。针对序信息系统中的属性约简,部分学者也做了相应的探索,文献[15]中通过定义序信息系统的区分矩阵,讨论了序信息系统中的属性约简算法;文献[16]中同样基于优势关系下的区分矩阵分析了非完备序信息系统中的属性约简;文献[17]介绍了优势关系下的不协调目标信息系统的知识约简;文献[18]介绍了优势关系下的相容约简和下近似约简。综上,在已有的序信息系统的属性约简中,用得最多的方法是利用优势关系下的区分矩阵来求解序信息系统的属性约简,但是这种属性约简方法的计算耗时很大,同经典粗糙集类似,获得所有约简是一个 NP-hard 问题,解决此类问题的方法通常是采用启发式搜索来获得一个约简。然而,序信息系统下的启发式属性约简的研究还比较少,文献[19]中提出了一种基于区分矩阵的启发式属性约简算法,但它只是对矩阵元素中属性的出现频率的简单相加。为此,如何定义序信息系统中的属性重要度,进而设计序信息系统下的启发式属性约简算法有着重

到稿日期:2009-05-03 返修日期:2009-06-21 本文受国家 863 计划项目(No. 2007AA01Z165),国家自然科学基金(No. 60773133),山西省自然科学基金(No. 2008011038)资助。

王 锋(1984—),女,硕士生,主要研究方向为粗糙集、数据挖掘,E-mail: sxuwangfeng@126.com;钱宇华(1976—),男,博士生,讲师,主要研究方向为数据挖掘、粒度计算;梁吉业(1962—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为粗糙集理论、数据挖掘与知识发现。

要的研究意义。

本文基于序信息系统中的优势关系和优势类的概念,引入了序信息系统的一种信息粒度,用于度量属性集在序意义下的不确定性,进而给出了序信息系统中的属性重要度的度量,并讨论了其相关性质。在此基础上,设计了序信息系统中的启发式属性约简算法,分析了算法的时间复杂度,并做了具体的实例分析。

2 基本概念

设 $S=(U, A)$ 为一个信息系统,其中 U 表示对象的非空有限集合,称为论域; A 表示属性的非空有限集合;对任意 $a \in A$ 有 $a:U \rightarrow V_a$,其中 V_a 称为属性 a 的值域;对任意 $a \in A, x \in U$ 有 $f(x, a) \in V_a$,其中 $f(x, a)$ 是一个信息函数,它对论域中对象的每一个属性赋予一个信息值。

定义 1^[8] 在一个信息系统中,如果在某个属性值域上建立了偏序关系,则称这个属性为一个准则。当所有的属性都为准则时,该信息系统称为序信息系统。

设在信息系统 $S=(U, A)$ 中属性 $a \in A$ 是一个准则,并且在 a 的值域上建立偏序关系“ \geq_a ”,则对于对象 x 和 $y, x \geq_a y$ 表示 x 至少和 y 关于准则 a 是一样好的,或者是 x 优于 y 。

$x \geq_a y$ 定义为: $x \geq_a y \Leftrightarrow f(x, a) \geq_a f(y, a)$,对属性集 $B \subseteq A, x \geq_B y$ 是指 x 关于 B 中的所有准则都优于 y 。

对于给定的序信息系统,对属性集 $B \subseteq A$,令 $R_B = \{(x, y) \in U \times U | f(x, a) \geq_a f(y, a), \forall a \in B\}$,称 R_B 为序信息系统的优势关系。显然,如果 $(x, y) \in R_B$,则有 x 关于 B 优于 y 。

记 $[x]_B = \{y \in U | f(y, a) \geq_a f(x, a), \forall a \in B\}, U/R_B = \{[x]_B | x \in U\}$,则称 $[x]_B$ 为对象 x 的优势类, U/R_B 为序信息系统的论域中的所有对象关于属性集 B 的一个分类。显然, U/R_B 构成了论域 U 上的一个覆盖。

与经典粗糙集类似,序信息系统的上下近似算子可定义如下。

对于任意 $X \subseteq U, X$ 关于优势关系 R_B 的下近似和上近似的定义分别为:

$$\begin{aligned} R_B(X) &= \{x \in U | [x]_B \subseteq X\}, \\ \overline{R_B}(X) &= \{x \in U | [x]_B \cap X \neq \emptyset\}. \end{aligned}$$

给定一个序信息系统 $S=(U, A), B, B' \subseteq A$,可定义以下偏序关系:

$$B \leq B' \Leftrightarrow \text{对任意 } x \in U, \text{有 } [x]_B \subseteq [x]_{B'}.$$

如果 $B \leq B'$,称 B' 比 B 粗糙(或者 B 比 B' 精细);如果 $B \leq B'$ 且 $B \neq B'$,则称 B' 比 B 严格粗糙(或者 B 比 B' 严格精细),记为 $B < B'$ 。事实上, $B < B' \Leftrightarrow$ 对任意 $x \in U, \text{有 } [x]_B \subseteq [x]_{B'}$,并且存在 $y \in U, \text{使得 } [y]_B \subset [y]_{B'}$ 。

定义 2^[8] 令 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统,若 $B \subseteq A$,且满足:

- (1) $R_B = R_A$;
- (2) $\forall a \in B \text{ 有 } R_{B-\{a\}} \neq R_A$,

则称 B 是序信息系统 S 的约简。

属性 $a \in A$,如果 $R_{A-\{a\}} = R_A$,则称属性 a 是不必要的,否则称为必要的。属性集 A 中所有的必要属性的集合称为相对于优势关系 R_A 的核,记为 $core(A)$ 。由于核属性一定是约简中的属性,所以有 $core(A) = \bigcap red(A), red(A)$ 表示序信

息系统的约简。核可能是空集。

基于篇幅,本文只分析了序信息系统中的优势关系,对劣势关系可作类似分析。

3 序信息系统中的信息粒度

为描述方便,作以下标记。对给定序信息系统 $S=(U, A), B \subseteq A$,且 $x, y \in U$,如果 $y \in [x]_B$ 且 $y \neq x$,则称对象 y 为论域 U 中关于 x 的“优对象”。为讨论序信息系统的启发式约简算法,本节引入了序信息系统的一种信息粒度,用于度量属性集在序意义下的不确定性。

定义 3 令 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统,且 $B \subseteq A$,定义 B 的信息粒度为

$$OC(B) = |U|^{-1} \sum_{x \in U} |[x]_B - \{x\}| + \frac{1}{|U|} \sum_{i=1}^{|U|} \frac{|[x_i]_B|}{|U|}$$

其中, $x_i \in U, |U|^{-1} \sum_{x \in U} |[x]_B - \{x\}|$ 表示论域 U 中所有的“优对象”的个数, $\frac{|[x_i]_B|}{|U|}$ 表示优势类 $[x_i]_B$ 在论域 U 中的比率。

性质 1(极大值) 令 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统,且 $B \subseteq A$,当 $U/R_B = \{[x_i]_B = U | x_i \in U\}$ 时 OC 达到最大值 $OC(B) = |U| + 1$ 。

性质 2(极小值) 令 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统,且 $B \subseteq A$,当 $U/R_B = \{[x_i]_B = \{x_i\} | x_i \in U\}$ 时 OC 达到最小值 $OC(B) = \frac{1}{|U|}$ 。

性质 3 令 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统, $B, B' \subseteq A$ 。如果 $B = B'$,则有 $OC(B) = OC(B')$ 。

证明:因为 $B = B'$,所以有 $[x_i]_B = [x_i]_{B'} (i=1, 2, \dots, |U|)$,根据定义 3, $OC(B) = OC(B')$ 显然成立。

性质 4 令 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统,且 $B, B' \subseteq A$,如果 $B \leq B'$,则有 $OC(B) \leq OC(B')$ 。

证明:因为 $B \leq B'$,所以有 $[x_i]_B \subseteq [x_i]_{B'} (i=1, 2, \dots, |U|)$,所以有 $\bigcup_{i=1}^{|U|} ([x_i]_B - \{x_i\}) \subseteq \bigcup_{i=1}^{|U|} ([x_i]_{B'} - \{x_i\})$,即 $| \bigcup_{i=1}^{|U|} ([x_i]_B - \{x_i\}) | \leq | \bigcup_{i=1}^{|U|} ([x_i]_{B'} - \{x_i\}) |$;同理由于对任意 $x_i \in U$ 有 $[x_i]_B \subseteq [x_i]_{B'}$,即 $|[x_i]_B| \leq |[x_i]_{B'}|$,所以有 $\sum_{i=1}^{|U|} \frac{|[x_i]_B|}{|U|^2} \leq \sum_{i=1}^{|U|} \frac{|[x_i]_{B'}|}{|U|^2}$ 。综上有 $OC(B) \leq OC(B')$ 。

性质 4 表明 OC 随着信息粒度的变大(更粗的分类)而单调增加。

4 属性重要度

基于序信息系统中信息粒度的概念,定义属性重要度如下。

定义 4 设 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统, $B \subseteq A$,任意属性 $a \in B$ 的属性重要度定义为 $sig_m(a, B) = OC(B - \{a\}) - OC(B)$ 。

性质 5 属性重要度 $sig_m(a, B)$ 有如下的性质:

$$(1) 0 \leq sig_m(a, B) \leq \frac{|U|^2 + |U| - 1}{|U|};$$

$$(2) a \in A \text{ 是必要的当且仅当 } sig_m(a, A) > 0;$$

$$(3) core(A) = \{a | sig_m(a, A) > 0\}.$$

证明:(1) 因为分类 $U/R_{B-\{a\}}$ 粗于 U/R_B ,所以有 $U/R_B \subseteq U/R_{B-\{a\}}$,因此根据性质 4 有 $OC(B) \leq OC(B - \{a\})$,即

$OC(B-\{a\})-OC(B)\geq 0$, 所以有 $sig_m(a, B)\geq 0$; 又因为由性质 1 和性质 2 可得 $\frac{1}{|U|}\leq OC(B)\leq |U|+1$, 所以有 $sig_m(a, B)\leq |U|+1-\frac{1}{|U|}=\frac{|U|^2+|U|-1}{|U|}$, 综上有 $0\leq sig_m(a, B)\leq \frac{|U|^2+|U|-1}{|U|}$.

(2) 充分性显然成立。由 $sig_m(a, A)>0$ 可得 $OC(B-\{a\})>OC(B)$, 所以有 $U/R_B^a\neq U/R_{B-\{a\}}$, 由定义 2 可得属性 $a\in A$ 是必要的。

(3) 根据上述(2), $core(A)=\{a|sig_m(a, A)>0\}$ 显然成立。

定义 5 设 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统, $B\subseteq A$, 任意属性 $a\in A-B$ 的属性重要度定义为 $sig_{out}(a, B)=OC(B)-OC(BU\{a\})$ 。

定理 1 令 $S=(U, A)$ 是一个序信息系统, 属性集 $B\subseteq A$ 是 S 的一个约简需满足以下条件:

- (1) $OC(B)=OC(A)$;
- (2) $\forall a\in B$ 有 $sig_m(a, B)>0$ 。

证明: 根据性质 3 和性质 5 可得定理 1 显然成立。

5 属性约简算法

基于属性重要度的定义, 本节设计了一种序信息系统中的启发式属性约简算法, 其主要思想是给定序信息系统 $S=(U, A)$, 首先根据定义 4 计算序信息系统的核属性集, 如果核属性集已经是序信息系统的属性约简结果, 则属性约简结果 $red(A)$ 就是核属性集; 否则以核属性集为起点, 根据定义 5 依次选取属性重要度最大的属性 $a_0(a_0\in A-red(A))$ 添加到约简结果 $red(A)$ 中, 当 $OC(red(A))=OC(A)$ 时算法结束。

算法步骤描述如下。

算法 1 序信息系统中的启发式属性约简算法

输入: 序信息系统 $S=(U, A)$;

输出: 属性约简结果 $red(A)$ 。

算法步骤如下:

1) 令 $red(A)=\emptyset$;

2) for($j=1; j\leq|A|; j++$)

{ 计算 $sig_m(a_j, A)$;

 如果 $sig_m(a_j, A)>0$, 则 $red(A)=red(A)\cup\{a_j\}$;

}

3) while($OC(red(A))\neq OC(A)$) do

{ 依次计算并选取 $sig_{out}(a_0, red(A))=\max\{sig_{out}(a_j, red(A)), a_j\in A-red(A)\}$;

$red(A)=red(A)\cup\{a_0\}$;

}

4) 输出序信息系统 S 的约简结果 $red(A)$ 。

算法 1 的时间复杂度分析: 步骤 2 中计算 $sig_m(a_j, A)$ 的时间复杂度是 $O(|U|^2)$, 所以步骤 2 总的复杂度是 $O(|U|^2|A|)$; 步骤 3 往核属性中添加属性并求得约简结果的时间复杂度是 $O(|U|^2|A|^2)$; 由于算法中其余步骤的时间复杂度都为常数, 所以算法总的复杂度是 $O(|U|^2|A|^2)$ (算法的时间复杂度包含了计算序信息系统中计算优势类的时间复杂度)。

例 1 表 1 是某种打印机供应商的序信息表, 其中 $U=$

$\{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$ 且 $A=\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$, a_1 为价格, a_2 为送货速度, a_3 为诚信度, a_4 为售后, a_5 为产品质量。

表 1 某打印机供应商序信息表

供应商	价格	送货速度	诚信度	售后	产品质量
x_1	很高	很慢	中	差	中
x_2	低	快	好	好	中
x_3	很高	慢	差	差	低
x_4	中	慢	中	差	中
x_5	高	慢	好	中	高
x_6	低	一般	中	中	中
x_7	中	很慢	差	差	低
x_8	中	快	中	中	高
x_9	高	快	低	好	低
x_{10}	很高	慢	中	好	中

根据算法 1 计算表 1 的属性约简结果的步骤如下。

(1) 根据定义 3 计算得到表 1 的优势类:

$[x_1]_{\bar{A}}=\{x_1, x_{10}\}$, $[x_2]_{\bar{A}}=\{x_2\}$, $[x_3]_{\bar{A}}=\{x_3, x_{10}\}$, $[x_4]_{\bar{A}}=\{x_4, x_5, x_8, x_{10}\}$, $[x_5]_{\bar{A}}=\{x_5\}$, $[x_6]_{\bar{A}}=\{x_2, x_6, x_8\}$, $[x_7]_{\bar{A}}=\{x_1, x_3, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$, $[x_8]_{\bar{A}}=\{x_8\}$, $[x_9]_{\bar{A}}=\{x_9\}$, $[x_{10}]_{\bar{A}}=\{x_{10}\}$ 。

(2) 根据算法 1 的步骤 1)、2) 计算得 $sig_m(a_3, A)=sig_m(a_4, A)=sig_m(a_5, A)=0$, $sig_m(a_1, A)=1.17>0$, $sig_m(a_2, A)=0.06>0$, 则有 $red(A)=\{a_1, a_2\}$, 且由性质 5 可得表 1 的核属性就是 $\{a_1, a_2\}$;

(3) 因为此时有 $OC(red(A))\neq OC(A)$, 所以要做算法 1 中步骤 3) 的循环计算:

第一次循环的结果是 $sig_{out}(a_3, red(A))=0.11$, $sig_{out}(a_4, red(A))=0.03$, $sig_{out}(a_5, red(A))=1.10$, 所以有 $red=\{a_1, a_2\}\cup a_3=\{a_1, a_2, a_3\}$ 。

因为此时有 $OC(red)=OC(A)$, 所以循环终止, 输出表 1 的属性约简结果是 $\{a_1, a_2, a_3\}$ 。

结束语 通过在序信息系统中引入信息粒度, 获得了刻画序信息系统不确定性的一种新方法。基于这个信息粒度, 给出了序信息系统中属性的重要度定义, 它能够衡量某个属性或者属性集影响系统优势关系的程度。为了在保持系统优势关系不变的情况下获得序信息系统的简化表达, 基于属性重要度发展了一个启发式属性约简算法, 它能够获得序信息系统中的约简。特别地, 该算法可以克服基于区分矩阵的约简算法耗时过大的缺陷, 可以高效地获得序信息系统中的约简。本文所提出的研究思路可以推广到序决策信息系统的研究中, 为高效地进行规则获取提供了有效手段。

参考文献

- [1] Pawlak Z. Rough sets theoretical aspects of reasoning about data [M]. Kluwer Academic Publishers, 1991
- [2] Pawlak Z. Rough sets[J]. Communication of the ACM, 1995, 38(11): 89-95
- [3] 梁吉业, 李德玉. 信息系统中的不确定性与知识获取[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [4] 刘清. Rough 集及 Rough 推理[M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [5] Greco S, Matarazzo B, Slowinski R. Rough approximation of a preference relation by dominance relation[J]. European Journal of Operation Research, 1999(117): 63-83

(下转第 278 页)

表1 点二列相关系数计算和 T 分布检验方法

	R9	备注
p	30/41=0.731707	正常人比率
Xp	0.297555	正常人对称度平均值
Dp	0.170117	正常人对称度标准差
q	11/41=0.268293	病人比率
Xq	0.162891	病人对称度平均值
Dq	0.088563	病人对称度标准差
n	41	总人数
Xt	0.261425	所有人对称度平均值
Dt	0.163829	所有人对称度标准差
r	0.364197	式(4)计算的相关系数
t	2.442127	式(5)计算的 t 分布值

(3) 确定检验的形式: 进行双侧检验

因为自由度 $df = n - 2 = 39$, 查 t 值表寻找双侧临界值 $t_{(39)0.020} = 2.425841$, 由于 $t = [2.442127] > t_{(39)0.020} = 2.425841$, 因此在 0.020 显著性水平上拒绝 H_0 而接受 H_1 。其结论为: 病人和正常人两类平均数有极大的差异, 说明 R9 计算结果与病情是否正常总体上存在相关性。所以不对称度的数值计算在中耳胆脂瘤诊断应用中具有一定的医学意义。

结束语 本文给出了单个确定点的整个 ROI 区域不对称度计算算法, 但是其计算单个病例平均需要 7 个小时, 这在临床实际应用中有较大的困难, 所以利用伸缩变换对于不对称度的计算完全没有影响的特点, 使用金字塔启发式搜索计算方法来求解整体的最佳对称点和其不对称度, 结果大为改观, 单个病例的计算时间只平均需要 5 分钟, 金字塔算法显然是一种好办法, 不仅省略了遍历所有像素点, 而且对于同一类图像, 遍历路径可以互相参考。后续的工作中还需深入地研究如何利用对称面的特性和选定初始值让算法收敛速度更快一些; 同时还要考虑对最优遍历路径的确定使用智能算法来进一步优化。

(上接第 260 页)

- [6] Greco S, Matarazzo B, Slowinski R. A new rough set approach to multicriteria and multiattribute classification[C]//Polkowski L, Skowron A. Rough sets and current trends in computing (RSCTC'98), Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin: Springer-Verlag, 1998, 1424: 60-67
- [7] Greco S, Matarazzo B, Slowinski R. A new rough sets approach to evaluation of bankruptcy risk[M]//Zopounidis X. Operational Tools in the Management of Financial Risks. Dordrecht: Kluwer, 1999: 121-136
- [8] 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
- [9] Qian Y H, Liang J Y, Dang C Y. Interval ordered information systems[J]. Computers and Mathematics with Applications, 2008, 56: 1994-2009
- [10] Qian Y H, Liang J Y, Wei W, et al. Consistency and fuzziness in ordered decision tables[J]. RSKT (2008), Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2008, 5009: 63-71
- [11] Qian Y H, Liang J Y, Song P, et al. On dominance relations in disjunctive set-valued ordered information systems[J]. International Journal of Information Technology and Decision Making,

参考文献

- [1] Glerup N. Asymmetry Measure in Medical Image Analysis[D]. Copenhagen: IT University of Copenhagen, 2005
- [2] Shen L, Ford J, Makedon F, et al. Hippocampal Shape Analysis: Surface-based representation and Classification[C]//SPIE Medical Imaging- Image Processing, 2003
- [3] Gerig G, Muller K E, Kistner E D, et al. Age and Treatment Related Local Hippocampal Changes in Schizophrenia Explained by A Novel Shape Analysis Method[C]//MICCAI 2003. 2003: 653-660
- [4] O'Mara, Owens R. Measuring Bilateral Symmetry in Digital Images[C]//IEEE Tencon-Digital Signal Processing Applications, 1996: 151-156
- [5] 孔庆聪, 邓星河, 徐川, 等. 螺旋 CT 诊断胆脂瘤型中耳炎的价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2007, 15(2): 127-129
- [6] 谭旭民, 杨桦, 李红, 等. 胆脂瘤型中耳炎的 CT 表现特点[J]. 中华耳科学杂志, 2007, 5(2): 155-157
- [7] Tuzikov A, Colliot O, Bloch I. Brain Symmetry Plane Computation in MR Images using Inertia Axes and Optimization[C]//Proceedings of 16th ICPR International Conference on Pattern Recognition, Quebec, 2002, 1: 516-519
- [8] Goutsias J, Heijmans H J A M. Nonlinear Multiresolution Signal Decomposition Schemes—Part I: Morphological Pyramids[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2000, 9(11): 1862-1876
- [9] 任获荣. 形态金字塔图像分割算法[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2004, 31(2)
- [10] 俞能海. 基于块金字塔的快速块匹配算法[J]. 电路与系统学报, 2003, 8(2)
- [11] Song Anping, Ding Guangtai, Zhang Wu. Asymmetry Computing for Cholesteatoma Detection Base on 3-D CT Images[C]//Proceedings of the International Conference on Life System Modeling and Simulation. I.SMS 2007. Springer Verlag, 2007: 787-794
- 2009
- [12] Leung Y, Wu W Z, Zhang W X. Knowledge acquisition in incomplete information systems: a rough set approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 168(1): 164-180
- [13] 胡峰, 王国胤. 属性序下的快速约简算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(8): 1429-1435
- [14] 付昂, 王国胤, 胡军. 基于信息熵的不完备信息系统属性约简算法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2008, 20(5): 586-592
- [15] Shao M W, Zhang H Y. Dominance relation and rules in ordered information system[J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2005, 22(4): 697-702
- [16] Yang X B, Yang J Y, Wu C, et al. Dominance-based rough set approach and knowledge reduction in incomplete ordered information system[J]. Information Science, 2008, 178: 1219-1234
- [17] 徐伟华, 张文修. 基于优势关系下不协调目标信息系统的分布约简[J]. 模糊系统与数学, 2007, 21(4): 124-131
- [18] 袁修久, 何华灿. 优势关系下的相容关系约简和下近似约简[J]. 西北工业大学学报, 2006, 24(5): 604-608
- [19] 朱冰冰, 吴绍春, 王炜. 以优势关系为基础的粗糙集在地震数据挖掘中的应用[J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 3023-3026