

文章编号: 1001-0920(2010)11-1742-05

基于粗糙集理论的ERP系统实施风险控制指标属性约简

邓建高, 卞艺杰, 徐绪堪

(河海大学 信息管理系, 江苏 常州 213022)

摘要: 现有企业资源计划(ERP)系统实施风险评价指标体系的主观性较强, 存在冗余现象, 缺乏合理的建立依据. 对此, 通过引入粗糙集理论中的属性约简法, 结合15家已实施ERP系统的企业实例, 对ERP系统实施风险控制指标进行属性约简. 结果表明, 粗糙集属性约简理论在ERP系统实施风险控制指标体系约简中的应用是有效的, 并得出了包含人力资源管理、企业建模、项目管理等7项重要风险因素.

关键词: 企业资源计划; 风险; 粗糙集; 属性约简

中图分类号: F224.1

文献标识码: A

Attribute reduction of risk indices in ERP system implementation based on rough set theory

DENG Jian-gao, BIAN Yi-jie, XU Xu-kan

(Information Management Department, Hehai University, Changzhou 213022, China. Correspondent: DENG Jian-gao, E-mail: djgwmdkx@163.com)

Abstract: Strong subjectivity, redundancy, without valid instauration grounds are the main characters of present risk indices of enterprise resource planning(ERP) system implementation. Based on attribute reduction method in rough set theory and an investigation of fifteen enterprises who has completed ERP system implementation, risk controlling attributes of the implementation process are reduced. The results show that the usage of attribute reduction theory in such area is effective, and seven important risk indices are obtained, including human resource management, enterprise modeling, project management, and so on.

Key words: Enterprise resource planning; Risk; Rough set; Attribute reduction

1 引言

目前, 我国信息化建设已发展到信息化与工业化全面融合的阶段, 企业资源计划(ERP)系统实施已成为我国企业管理信息化建设的必然选择. ERP系统实施投资大, 不仅涉及管理思想变革、业务流程重组、数据集成、资金预算、员工绩效、计算机硬件、软件等众多企业内部资源, 而且还涉及到ERP软件供应商、咨询公司、监理公司等外部资源, 属于典型的复杂系统工程. 已有文献显示, ERP系统实施的成功率非常低^[1]. 因此, 从风险管理角度研究ERP系统实施, 对促进企业成功实施ERP具有重要意义.

我国现有的ERP系统实施风险管理体系很不完善, ERP系统实施风险管理实践仅仅处于起步和摸索阶段^[2]. ERP系统实施风险管理与控制主要包括风险

识别、风险评价与风险控制3个环节. 笔者在前期风险识别研究过程中, 采用复杂系统理论中的层次全息建模思想, 从实施流程、系统资源、功能模块、人力资源及项目管理5个子域分析了ERP系统实施, 并采用多级鱼刺图法层层剖析了不同子域的风险因素, 构建了多层次的ERP系统实施风险因素图. 研究发现风险因素数量多, 且不同子域风险因素存在重复和冗余现象, 风险因素之间还存在隐性关系, 显然不适合直接作为后期风险评价与控制的指标体系.

基于上述情况, 本文采用粗糙集理论中的属性约简法, 针对企业ERP系统实施风险管理与控制的风险指标进行约简, 得出关键风险控制指标. 通过已实施ERP系统的企业为实例, 表明了在保证知识分类质量不变的前提下, 粗糙集属性约简理论在企业ERP系

收稿日期: 2009-09-27; 修回日期: 2009-12-22.

基金项目: 江苏省教育厅基金项目(09SJD870001); 河海大学博士科技基金项目(09B005-08).

作者简介: 邓建高(1974-), 男, 江西余江人, 讲师, 博士生, 从事企业信息化、数据挖掘的研究; 卞艺杰(1964-), 男, 江苏海门人, 教授, 博士生导师, 从事管理科学与工程等研究.

统实施风险管理与控制风险指标选择中的有效性。

2 ERP 系统实施风险指标体系分析

现有文献对 ERP 评价研究主要集中在实施效果、供应商选择、实施目标和实施风险等方面。评价指标的确定通常只分析其建立原则, 缺乏创建过程和设立根据, 存在主观性强、指标冗余等缺点。结合笔者前期采用层次全息模型和多级鱼刺图对 ERP 系统实施的分析结果, 根据能力成熟度模型集成中的里程

表 1 ERP 系统实施风险指标体系

一级风险指标	二级风险指标
社会环境风险(r_1)	政策环境 供应链上下游企业协作环境 经济环境 法律环境
软件供应商风险(r_2)	系统功能满足程度 软件技术水平 系统性能 价格 实施能力
咨询公司风险(r_3)	咨询价格 咨询能力 咨询公司声誉
监理公司风险(r_4)	监理价格 监理能力 监理公司声誉
规划与决策风险(r_5)	需求动机 战略制定 ERP 实施目标制定 实施计划制定 项目领导小组组建
厂商选择风险(r_6)	软件供应商选择 咨询公司选择 监理公司选择 硬件厂商选择
企业建模风险(r_7)	需求分析 业务蓝图设计
管理变革风险(r_8)	ERP 观念建立 业务流程优化 制度建设 绩效考核 管理持续改进
二次开发风险(r_9)	二次开发
系统切换风险(r_{10})	系统切换
运行、维护及改进风险(r_{11})	系统使用 系统维护 升级与改进
项目管理风险(r_{12})	进度管理 沟通管理 质量管理 成本管理 基础数据管理 培训管理
人力资源管理风险(r_{13})	高层领导执行力 项目领导小组执行力 项目实施团队能力 业务人员支持度

碑思想, ERP 系统实施风险体系可分为外部风险和内部风险两大类: 外部风险包括社会环境、ERP 软件供应商、咨询公司及监理公司 4 类风险; 企业内部风险主要包括规划与决策、厂商选择、企业建模、管理变革、二次开发、系统切换、运行维护及改进、项目管理和人力资源管理 9 类风险。详见表 1。

ERP 系统实施一级风险指标类别共分为 13 类, 二级基本风险指标 46 个, 三级风险指标达 100 余项。这些风险指标体系庞大, 指标之间存在潜在的交叉关系。因此, 下文引入不确定性理论中的粗糙集理论和属性约简方法, 采用知识分类的观点分析潜在风险因素, 在保证知识分类质量不变的前提下, 对指标属性进行约简, 丰富了 ERP 实施风险评价指标建立的理论基础。

3 粗糙集属性约简理论

粗糙集理论是一种处理模糊和不确定性问题的新型数学工具, 从知识分类的角度出发, 利用数据本身所提供的信息, 在没有任何附加信息和先验知识的条件下, 进行数据推理^[3-6]。粗糙集理论还包含了求取大量数据中最小不变集合与求解最小规则集的理论, 这一特性使得决策者能在领域信息不完整、不确定、不精确的前提下, 通过对数据进行近似分类, 推理数据间的关系, 从中发现隐含的知识, 揭示潜在的规律, 以完成对事物的判断、预测和决策。因此, 相对于许多其他处理不确定知识的方法, 粗糙集理论更具有客观性, 是一种能有效地分析和处理不确定性知识的数学工具^[7,8]。粗糙集主要用于知识约简、规则挖掘、属性权重分析等方面。在基于粗糙集的知识表达系统中, 不同属性在分类时所起的作用是不同的, 有的属性不可缺少, 有的属性是冗余的; 有的属性起主要作用, 有的属性起次要作用。属性约简就是在保持知识分类质量不变的前提下, 删除冗余属性和次要因素, 找出属性核值, 从而提高决策效率的过程^[9,10]。

粗糙集用知识表达系统来定义研究对象, 用 $S = (U, A, V, F)$ 表示。其中: $U = X_1, X_2, \dots, X_n$, 是对象的有限集, 称为论域; $A = C \cup D$, 子集 C 和 D 分别表示条件属性集和决策属性集, 且 $C \cap D = \emptyset$; $V = (U_{a \in A}, V_r)$ 是属性取值的集合, V_a 是属性 a 的取值范围; $F: U \times A \rightarrow V$ 是一个信息函数, 用于确定每个属性的信息值, 即 $\forall a \in A, x \in U$, 有 $F(x, a) \in V_a$ 。

对于任何子集 $X \in U$, 可称之为 U 中的一个概念或范畴, U 中的每个概念称为关于 U 的抽象知识, 简称知识。设有集合 $R = X_1, X_2, \dots, X_n$ 。其中: $X_i \in U, X_i \neq \emptyset, X_i \cap X_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n$, 且 $\bigcup_{i=1}^n X_i = U, X_i$ 称为分类 R 的等价类, 等价类是对知

识进行分类的依据.

对于任意 $X, Y \in U, \forall P, P \subseteq A$, 若存在 $\text{Ind}(P)$, 使 $\text{Ind}(P) = (X, Y) \in U \times U \mid \forall a \in P, F_a(X) = F_a(Y)$, 则称 X, Y 为 P 上的不可分辨关系, 记为 $\text{Ind}(P)$, 也称为 U 上的等价关系.

假定 X 是论域 U 上的任意子集, R 为属性集的任意子集, 是一个等价关系, 则关系 R 上 X 的下近似定义为根据分类规则判断肯定属于 X 的对象的最大集合, 记为 $R_*(X)$ (也记为 $\text{Pos}_R(X)$), $R_*(X) = \bigcup\{Y \in U/R : Y \subseteq X\}$. 关系 R 上 X 的上近似定义为根据分类规则判断可能属于 X 的对象的最小集合, 记为 $R^*(X)$, $R^*(X) = \bigcup\{Y \in U/R : Y \cap X \neq \emptyset\}$.

假定 X 是论域 U 上的知识, R 是属性 A 的任意子集, 定义 X 的 R 确切分类精度为

$$\alpha_R(X) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{card}(R_*(X_i))}{\sum_{i=1}^n \text{card}(R^*(X_i))}.$$

确切分类精度是一个介于 $[0, 1]$ 之间的实数, 表示集合 X 的可定义程度, 即集合 X 的确定度. 定义 X 的 R 确切分类质量为

$$\gamma_R(X) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{card}(R_*(X_i))}{\text{card}(U)},$$

用于描述属性子集的 R 的近似分类能力. 其中 $\text{card}()$ 表示集合基数.

对于知识表达系统 $S = (U, C \cup D, V, F)$, $c \in C$, 若 $\gamma_C(D) = \gamma_{C-c}(D)$, 则 c 是 C 中关于 D 可约简的; 否则, 是 C 中关于 D 不可约简的. $B \subseteq C$, 如果 $\gamma_C(D) = \gamma_B(D)$, 则可以认为 B 是 D 独立的, 即 B 是 C 约简后的一个结果. 要使 $\gamma_C(D) = \gamma_{C-c}(D)$, 只需 $\text{Pos}_{C-c}(D) = \text{Pos}_C(D)$, 表明 c 是可以约简的. 若从 C 中去掉属性 c , 则知识分类将发生变化. 定义 $\text{Sig}_{C-c}(D)$ 为属性 c 的重要程度, 即

$$\text{Sig}_{C-c}(D) = (\gamma_C(D) - \gamma_{C-c}(D)) / \gamma_C(D) = 1 - \text{card}(\text{Pos}_{C-c}(D)) / \text{card}(\text{Pos}_C(D)).$$

如果特例 $\text{Sig}_{C-c}(D) = 0$, 即属性重要程度为 0, 则此属性便成为可约简属性. 将每个属性 c_i 的重要程度进行归一化处理, 便可得到属性的权重为

$$W_{a_i} = \text{Sig}_{C-a_i}(D) / \sum_{j=1}^n \text{Sig}_{C-a_j}(D).$$

U 是一个论域, R 为定义在 U 上的一个等价关系, R 中所有必要关系组成的集合称为 R 的核, 即在保证知识分类质量不减时的最小属性集合, 记为 $\text{Core}(P)$, $\text{Core}(R) = \bigcap \text{Red}(R)$, $\text{Red}(R)$ 表示等价关系 R 的所有约简.

4 属性约简算法

属性约简过程即为决策规则挖掘的过程, 主要

分 4 步: 风险因素数据初始化, 单个属性约简规则挖掘分析, 组合属性约简规则挖掘分析以及属性约简结果确定. 算法的基本思路是: 从空集开始, 先计算单个属性权重, 然后逐步加入其他属性, 当属性权重相等时, 计算组合权重, 直到所有的对象能够被正确分类. 具体算法如下:

输入一个知识表达系统 $S = (U, C \cup D, V, F)$.

输出知识表达系统的属性约简 R .

Step 1: 初始化相关集合.

Step 2: 单个属性约简规则挖掘分析.

While $i < n$ do

Ind(x_i), $U/\text{Ind}(x_i)$ 求解;

计算 $R^*(X_i)$, $R_*(X_i)$, $\alpha_R(X_i)$, $\gamma_R(X_i)$;

计算 W_{a_i} , $\text{Sig}_{C-c}(D)$;

比较重要程度, 确定 $\text{Core}(R)$, 得到单个属性初步约简结果.

end

Step 3: 组合属性约简规则挖掘分析.

For $i = 1$ to $n/2$

从单属性约简规则挖掘分析结果中寻找权重最小(次小)的属性, 将其与其他属性中的一个或多个构成组合属性, 用 Y_i 表示, 对 $\text{Ind}(Y_i)$, $U/\text{Ind}(Y_i)$ 求解;

计算 $R^*(Y_i)$, $R_*(Y_i)$, $\alpha_R(Y_i)$, $\gamma_R(Y_i)$;

计算 W_{Y_i} , $\text{Sig}_{C-Y_i}(D)$;

确定等级, 确定 $\text{Core}(R)$;

分析属性之间的依赖关系.

end

Step 4: 属性约简结果确定. 如果单个属性权重等于 0 或很小, 且与其他属性的依赖程度较小, 重要程度也小, 则可直接进行属性约简; 但如果与其他属性依赖程度较大, 则可进行属性合并, 最终输出约简后的 R .

5 实例分析

风险规则挖掘的目的是根据 ERP 系统实施过程风险因素的表现情况, 确定风险重要程度, 同时为避免风险因素过于离散化, 应掌控重点风险因素. 因此, 采用粗糙集法对冗余风险因素和次要风险因素进行约简十分必要.

选取表 1 中一级风险指标的厂商选择、企业建模、二次开发、项目管理及人力资源管理 5 项风险作为条件属性, 用 a, b, \dots, e 表示; D 为决策属性, 通过风险等级 D 来表示, 代码为 1, 2, 3, 分别表示风险大、中等、小; 条件属性值为 1, 2, 3, 分别表示较一般、重要、非常重要. 通过对 15 家已实施 ERP 系统的企业进行调查, 得到如表 2 所示的风险决策表.

表 2 ERP 系统实施风险决策表

U	条件属性					决策属性
	a	b	c	d	e	D
X ₁	2	1	3	1	2	2
X ₂	2	2	1	2	1	2
X ₃	1	3	2	2	2	1
X ₄	2	2	2	1	1	1
X ₅	1	3	1	2	2	2
X ₆	1	2	2	3	1	1
X ₇	2	1	2	2	1	2
X ₈	2	2	1	2	3	1
X ₉	2	1	1	2	3	2
X ₁₀	3	3	3	1	1	3
X ₁₁	3	3	2	2	2	3
X ₁₂	2	2	1	3	3	3
X ₁₃	3	3	2	3	2	3
X ₁₄	3	1	2	3	2	3
X ₁₅	3	2	1	3	2	3

考察表 2, 根据分类规则, 有

$$U/D = \{(x_3, x_4, x_6, x_8), (x_1, x_2, x_5, x_7, x_9), (x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15})\},$$

$$U/\text{Ind}(a) = \{(x_3, x_5, x_6), (x_1, x_2, x_4, x_7, x_8, x_9, x_{12}), (x_{10}, x_{11}, x_{13}, x_{14}, x_{15})\}.$$

同理可求得 $U/\text{Ind}(b)$, $U/\text{Ind}(c)$, $U/\text{Ind}(d)$, $U/\text{Ind}(e)$.

另外, 有

$$X_1 = (x_3, x_4, x_6, x_8),$$

$$X_2 = (x_1, x_2, x_5, x_7, x_9),$$

$$X_3 = (x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}),$$

$$R_{a^*}(X_1) = R_{b^*}(X_1) = R_{c^*}(X_1) =$$

$$R_{d^*}(X_1) = R_{e^*}(X_1) = \emptyset,$$

$$R_{a^*}(X_2) = R_{b^*}(X_2) = R_{c^*}(X_2) =$$

$$R_{d^*}(X_2) = R_{e^*}(X_2) = \emptyset,$$

$$R_{a^*}(X_3) = \{x_{10}, x_{11}, x_{13}, x_{14}, x_{15}\},$$

$$R_{b^*}(X_3) = R_{c^*}(X_3) = R_{d^*}(X_3) = R_{e^*}(X_3) = \emptyset,$$

$$R_a^*(X_1) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{12}\},$$

$$R_b^*(X_1) = \{x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}\},$$

$$R_c^*(X_1) = \{x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}\},$$

$$R_d^*(X_1) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}\},$$

$$R_e^*(X_1) = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}\}.$$

同理可得 $R_a^*(X_2)$, $R_b^*(X_2)$, $R_c^*(X_2)$, $R_d^*(X_2)$, $R_e^*(X_2)$, $R_a^*(X_3)$, $R_b^*(X_3)$, $R_c^*(X_3)$, $R_d^*(X_3)$, $R_e^*(X_3)$.

再以组合属性 (b, c) 为例

$$R_{(b,c)^*}(X_1) = \{x_4, x_6\},$$

$$R_{(b,c)^*}(X_2) = \{x_1, x_5, x_9\},$$

$$R_{(b,c)^*}(X_3) = \{x_{10}\},$$

$$R_{(b,c)}^*(X_1) = \{x_2, x_3, x_4, x_6, x_8, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}\},$$

$$R_{(b,c)}^*(X_2) = \{x_1, x_2, x_5, x_7, x_8, x_9, x_{12}, x_{14}, x_{15}\},$$

$$R_{(b,c)}^*(X_3) = \{x_2, x_3, x_6, x_7, x_8, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}\},$$

$$\alpha_R(X) = 0.178, \gamma_R(X) = 0.333.$$

以上表明, 根据 (b, c) 组合风险因素对知识进行决策分类时, 能确切划入决策结果中的对象占 33%, 但这些对象中, 正确的决策所占的比率仅为 17.8%; 同理可得其他二元、三元、四元组合风险因素的确切分类精度和近似分类能力.

在上述 5 个风险因素中, $\text{Sig}_{C-c}(D) = 0.0625$, 表明二次开发重要程度明显很弱; $\text{Sig}_{C-e}(D) = 0.375$, 表明人力资源重要程度最强; $\text{Sig}_{C-b}(D) = 0.25$, $\text{Sig}_{C-d}(D) = 0.1875$, 且 $W_{(b,d)} = 0.238$, 比另外 9 个 $(C_5^2 - 1)$ 二元组合风险因素权重明显偏大, 表明企业建模与项目管理重要程度次强, 且这两个风险因素具有较强的相关性, 即在进行企业建模过程中, 必须采用科学的项目管理方法加以实施; $\text{Sig}_{C-a}(D) = 0.125$, 表明厂商选择重要程度处于中等位置, 与现实中选用哪家 ERP 产品并不是最重要的完全吻合. 由此看见, ERP 系统实施过程应加强人力资源管理、企业建模、项目管理等风险因素的控制.

将所有风险因素调查数据进行聚类分析, 得到各风险属性重要程度 $(\text{Sig}_{C-r_i}(D), i = 1, 2, \dots, 13)$ 分别为 0.008, 0.023, 0.021, 0.01, 0.111, 0.103, 0.124, 0.118, 0.018, 0.022, 0.121, 0.12, 0.201. 可以看出, 外部 4 个风险因素从单个属性来看, 其重要程度都很低, 原则上都可以约简, 但三大公司与厂商选择内部风险构成组合属性时的 $\text{Sig}_{C-(r_2, r_3, r_4, r_6)}(D) = 0.178$, 较 $\text{Sig}_{(C-r_6)}(D)$ 明显偏大, 说明三大公司外部风险因素与厂商选择构成四元组合属性, 统一进行风险管理与控制, 更具有决策价值, 故只约简社会环境风险; 内部风险因素中的二次开发与系统切换风险权重也很小, 且与其他风险属性的相关性小, 说明也是次要属性, 可以约简; 而其他风险因素则是重点管理对象. 于是最终 ERP 系统实施风险因素约简结果是: 将社会环境风险、二次开发风险、系统切换风险进行约简, 将 ERP 软件厂商风险、咨询公司风险、监理公司风险与厂商选择风险进行归并, 统一构成内部风险因素, 即 $\text{Core}(R) = (\text{规划与决策风险、厂商选择风险、企业建模风险、管理变革风险、运行维护及改进风$

险、项目管理风险、人力资源管理风险)。

6 结 论

风险指标的选择是ERP系统实施风险评价与控制的关键。本文采用粗糙集理论中的知识属性约简法对ERP系统实施风险因素集进行了属性约简,在知识分类质量不受影响的前提下,约简了社会环境、二次开发、系统切换3个次要风险因素,并将ERP软件厂商、咨询公司、监理公司3个企业外部风险归并到厂商选择内部风险因素中,达到了约简冗余因素和次要因素的目的。另外,分析了风险属性之间的关联关系,丰富了建立ERP系统实施风险指标的理论基础。ERP系统实施重在后期应用,成功实施是这一目标的前提,实施过程评价指标的设立不仅是为了衡量成败与否,它还应具有“指挥棒”的功效。它不但作用于事后评估,还要能给即将或正在实施ERP的企业指明努力方向,发现薄弱环节,以减小风险损失。

关于如何将宏观风险指标转换为可操作性强的微观指标,选择科学的评价方法对当前企业ERP系统实施风险状态进行评价,并制定合理的管理与控制措施,为科学决策提供依据,将是课题组后期努力的方向。

参考文献(References)

- [1] 孙长东. ERP管理思想及其实施风险分析[J]. 管理世界, 2002, (8): 143-144.
(Sun C D. Analysis of ERP management thinking and implementation[J]. Management World, 2002, (8): 142-144.)
- [2] 张喆, 黄沛, 张良. 中国企业ERP实施关键成功因素分析: 多案例研究[J]. 管理世界, 2005, (12): 137-143.
(Zhang Z, Huang P, Zhang L. Analysis of key success factors of Chinese enterprise ERP implementation[J]. Management World, 2005, (12): 137-143.)

- [3] Pawlak Z. Rough sets[J]. Int J of Information and Computer Science, 1982, 11(5): 341-356.
- [4] Pawlak Z. Rough set theory and its application to data analysis[J]. Int J of Cybernetics and Systems, 1998, 29(7): 661-688.
- [5] Tanqavel K. Dimensionality reduction based on rough set theory: A review[J]. Applied Soft Computing J, 2009, 9(1): 1-12.
- [6] 王国胤. Rough集理论与知识获取[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
(Wang G Y. Rough set theory and knowledge acquisition[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001.)
- [7] 卢新元, 张金隆. 基于粗糙集和贝叶斯理论的IT项目风险规则挖掘[J]. 计算机工程与应用, 2006, 43(22): 12-15.
(Lu X Y, Zhang J L. A method of risk rule mining in IT project based on rough set and bayes theory[J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 43(22): 12-15.)
- [8] 关欣, 衣晓, 何友. 一种新的粗糙集属性约简方法及其应用[J]. 控制与决策, 2009, 24(3): 464-467.
(Guan X, Yi X, He Y. Knowledge reduction and its applications based on rough set[J]. Control and Decision, 2009, 24(3): 464-467.)
- [9] 陈洪涛, 周德群, 黄国良. 基于粗糙集理论的企业绩效评价指标属性约简[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(12): 109-111.
(Chen H T, Zhou D Q, Huang G L. Reduction of corporate performance assessment indexes based on rough sets theory[J]. Application Research of Computer, 2007, 24(12): 109-111.)
- [10] 楚扬杰, 王先甲, 方德斌, 等. 基于粗糙集相关矩阵的属性约简算法[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(2): 81-83.
(Chu Y J, Wang X J, Fang D B. An attribute reduction algorithm based on the relation matrix of rough set[J]. J of Wuhan University of Technology, 2006, 28(2): 81-83.)

(上接第1741页)

- [5] Peñaa J M, Björkegrenb J, Tegnér J. Learning dynamic Bayesian network models via cross-validation[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(14): 2295-2308.
- [6] Lähdesmäki H, Shmulevich I. Learning the structure of dynamic Bayesian networks from time series and steady state measurements[J]. Machine Learning, 2008, 71(2/3): 185-217.
- [7] Geman S, Geman D. Stochastic relaxation, Gibbs distributions and the Bayesian restoration of images[J].

- IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 721-742.
- [8] 王双成, 苑森淼. 具有丢失数据的贝叶斯网络结构学习研究[J]. 软件学报, 2004, 15(7): 1030-1041.
(Wang S C, Yuan S M. Research on learning Bayesian networks structure with missing data[J]. J of Software, 2004, 15(7): 1030-1041.)
- [9] Lam W, Bacchus F. Learning Bayesian belief networks: An approach based on the MDL principle[J]. Computational Intelligence, 1994, 10(4): 269-293.