

面向异构数据分析的形式概念分析扩展模型

智慧来

(河南理工大学计算机科学与技术学院,河南焦作 454000)

摘 要: 异构数据在各种实际应用中大量存在,异构数据的建模与关联分析占有重要地位,传统的概念格模型以及现有的各种扩展模型已经不适应这种需求.本文对 Ganter 和 Wille 定义的 Galois 连接函数 $f(A)$ 和 $g(B)$ 进行修正,讨论了异构数据集上的偏序形成,提出了面向异构数据分析的广义概念格模型.文中事件分析的例子表明:采用广义概念格模型可以对异构数据建模型,进行关联分析挖掘隐含知识.

关键词: 形式概念分析;概念格;异构数据;事件建模

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013) 12-2451-05

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.12.020

Extended Model of Formal Concept Analysis Oriented for Heterogeneous Data Analysis

ZHI Hui-lai

(School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: Heterogeneous data permeate in nearly every application and research field. Modeling and correlation analysis about heterogeneous data is the bottleneck of the conventional concept lattice as well as its various type of extended model. This paper presents a generalized concept lattice model by altering the definition of Galois connection function $f(A)$ and $g(B)$ given by Ganter and Wille, and discusses the ordering on heterogeneous attributes. After a survey of event-oriented knowledge representation, an event model formalized by generalized concept lattice is presented as an application, which is capable of dealing with different types of attributes and mining useful knowledge. This example gives a clue of generalized concept lattice model application in other fields.

Key words: formal concept analysis; concept lattice; heterogeneous data; event modeling

1 引言

随着时代的不断发展,人类对各个领域的研究也在不断地深入,新的数据库不断建立,存储的数据呈指数级增长,研究人员需要的数据也开始不只限于某个单一数据库,而是分散在多个相关数据源中,例如著名的大型工程 Sky-Query Project^[1]、Human Brain Project^[2].在这些庞大工程的海量数据中,往往存在着语法、语义、模式等方面的异构,对这些高度复杂的海量数据进行存储、共享与整合始终是科学研究中最重要的问题之一.

异构数据在各个应用领域广泛存在,引起异构最根本的原因是研究客体的复杂性.例如煤矿生产中的复杂多源数据具有冗余性、互补性和关联性特征,除此之外,矿山开采环境的复杂性、传感器或者观测者本身的局限性、信息获取技术的不完善等又引起了数据的诸多不确定性,使得异构数据无所不在^[3].又比如,在网络智

能信息处理领域中,需要通过文本分析人物、时间、动作、环境等要素之间的关联关系,人物、时间、动作、环境等要素使用不同类型的数据表达,必然在这些要素之间产生语法、语义、模式等方面的异构^[4].

异构数据的建模是异构数据关联分析的基础,是获取多源复杂数据隐含知识的前提.形式概念分析是研究知识表示的领域,它的核心数据结构概念格是对概念以及概念之间关系的描述,在一定程度上是对客观世界的一种高度简化的描述形式,由于它便于概念结构的开发和讨论,在某种意义上,概念格已经变成了一种外部认知的手段^[5],并在人工智能领域有广泛而成熟的应用.然而,现有概念格模型并不适合异构数据建模,本文首先分析现有概念格模型在异构数据分析中的缺陷,然后面向异构数据提出了一种广义概念格模型,并举例说明广义概念格模型在事件分析中的应用,最后指出需要进一步研究的问题.

2 现有概念格模型在异构数据分析中的缺陷

形式概念与形式背景是形式概念分析的两个支柱. 这里的“形式”是为了强调所讨论的“背景”与“概念”是数学中的“背景”与“概念”.

下面将逐一给出形式概念分析的基本概念, 这些内容均出自于 Ganter R 的著作“Formal Concept Analysis”^[6], 但表述形式有所不同.

定义 1 一个形式背景是一个三元组 $K = (G, M, I)$, G 和 M 是两个集合, $I \subseteq G \times M$ 是一个二元关系, 我们称 G 的元素称为对象, M 的元素称为属性, I 表示对象和属性之间的关系, glm 或 $(g, m) \in I$ 表示对象 g 具有属性 m .

定义 2 在形式背景 $K = (G, M, I)$ 中, $A \subseteq G$, 定义 $f(A) = \{m \in M \mid glm, \forall g \in A\}$ (A 中对象共同属性的集合); 相应地, $B \subseteq M$, 定义 $g(B) = \{g \in G \mid glm, \forall m \in B\}$ (具有 B 中所有属性的对象的集合).

定义 3 在形式背景 $K = (G, M, I)$ 中, $A \subseteq G, B \subseteq M$, 如果有 $f(A) = B, g(B) = A$, 则称二元组 $C = (A, B)$ 是一个概念, A 是概念 C 的外延, B 是概念 C 的内涵, 并记 K 的全体概念为 $B(K)$.

定义 4 在形式背景 $K = (G, M, I)$ 中, 概念 $C_1 = (A_1, B_1), C_2 = (A_2, B_2) \in B(K)$, 定义 $C_1 \leq C_2 \Leftrightarrow A_1 \subseteq A_2 \Leftrightarrow B_1 \supseteq B_2$, 并称 C_2 是 C_1 的父概念, C_1 是 C_2 的子概念, \leq 称为是概念的“层次序”, $B(K)$ 中的所有概念用这种序组成的集合称为概念格, 记做 $L(G, M, I)$.

定义 5 对于给定的概念 $C = (A, B)$, 如果属性集合 R 满足 $g(R) = g(B) = A$, 且对于任意的 $R_1 \subseteq R$ 有 $g(R_1) \Leftrightarrow g(R)$, 则称 R 是 C 的一个内涵缩减.

利用内涵缩减, 可以得到关联规则. 如果概念 $C = (A, B)$ 的内涵缩减 R , 如果满足 $R \subset B$, 那么每个概念 C 都对应一个蕴含集 $rules(C) = \{R \rightarrow Intent(C) - R\}$. 其物理意义是, 如果 R 能表示概念 C , 那么就能由 R 得到概念 C 的其他属性.

给定形式背景如表 1, 得到的概念格如图 1.

表 1 形式背景 K_1

	a	b	c	d	e	f	g
1	×		×				×
2	×	×	×		×		×
3	×	×	×		×		×
4		×			×		
5	×	×	×		×		×
6		×	×	×	×	×	
7			×				×

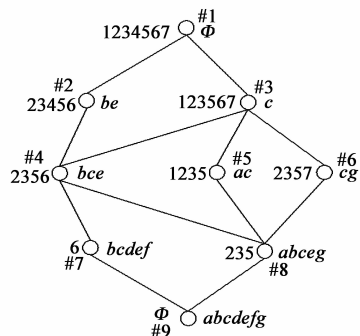


图 1 形式背景 K_1 的概念格

利用概念格计算概念的内涵缩减, 可以得到关联规则. 例如:

概念 #4 的内涵为 $\{b, c, e\}$, 它具有 2 个内涵缩减 $\{b, c\}$ 和 $\{c, e\}$, 因此 $rules(\#4) = \{bc \rightarrow e, ce \rightarrow b\}$;

概念 #5 的内涵缩减为 $\{a\}$, 因此 $rules(\#5) = \{a \rightarrow c\}$.

从上面的例子看到, 在形式背景 K_1 中, 属性的名称虽然不同, 代表的具体意义不同, 但本质上是同构, 体现在: 属性的值域相同, 即 $\{真, 假\}$, 表示一个对象具有或者不具有一个属性.

对于提取到的关联规则, 表达的实质上也是同构数据之间的蕴涵关系, 例如 $rules(\#5) = \{a \rightarrow c\}$ 表达了同构数据 a 和 c 之间的关联关系, 含义是如果对象具有属性 a 那么这个对象一定具有属性 c , 本质上也就是 $g(a) \subset g(c)$.

除了上述定义中 Ganter R 的经典概念格模型外, 还有模糊概念格、实区概念格等有实际应用价值的概念格扩展模型. Wolff 提出了一种表示模糊信息的方法, 将传统的形式背景中的属性用模糊语言变量值表示, 并依据标度对形式背景中的对象进行分类, 构造基于标度的格^[7]. Burusco 和 Fuentes 讨论了 L-模糊概念集合的格结构, 并给出了一个构造这种格的方法^[8]. 针对 Burusco 和 Fuentes 不能处理连续隶属度值、复杂性高、应用困难的情况, 强宇、刘宗田提出了一种能处理连续隶属度值的模糊概念格模型, 并讨论了基于这种模型的模糊规则提取与模糊概念聚类^[9,10]. Jaoua 等将形式背景扩展到实数区间上, 得到了实区间形式背景, 建立了实区间概念格, 并构造了其上的分类器进行数据的分类^[11].

表 2 是一个模糊形式背景, 其中各个属性的值域是 $[0, 1]$. 表 3 是实区间形式背景, 其中各个属性的值域是实数区间集合.

此外, 在概念格上做某种限制, 也可以得到面向特定应用的概念格模型. 王德兴、胡学钢等在概念格的内涵中引入等价关系并将其外延量化, 提出了量化概念

格模型以支持频繁项集的提取,挖掘包括关联规则在内的多种规则^[12].张继福等为了降低概念格构造的时空复杂性,增强实用性和针对性,先采用谓词逻辑描述用户感兴趣的背景知识,并将背景知识引入到概念格结构中,提出了约束概念格^[13].

表 2 模糊形式背景

	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
1	0.9	0	0.5	0.1	0.9	0.1	0.1
2	0.7	0.1	0.5	0.1	0.9	0	0
3	0.4	0.1	0	0.9	0.6	0.3	0.2
4	0	0.7	0.5	0.1	0.1	0.7	0.6
5	1.0	0.6	0.5	0.1	0.1	0.5	0.5

表 3 实区间形式背景

	p_1	p_2	p_3	p_4
o_1	{[5,7],[8,9]}	{[10,11]}	{[7,9],[11,4]}	{[5,8]}
o_2	{[6,8]}	{[7,9],[11,12]}	{[9,12],[14,17]}	{[4,4],[7,8]}
o_3	{[10,11]}	{[8,10]}	{[10,12]}	{[1,5]}
o_4	{[10,11]}	{[9,10]}	{[9,10]}	{[1,5]}

从上述分析可知,传统的概念格模型以及现有的各种扩展模型只能处理单一类型的数据,不具备处理异构数据的能力,例如模糊概念格处理连续隶属度值,实区间概念格处理连续实数区间,没有哪一种模型能够处理一种以上类型的数据,例如表 4 中的形式背景 K_e .

表 4 形式背景 K_e

	A	O	T	V
g_1	e_1, e_2	a, b	$[t_1, t_2]$	$[62, 73]$
g_2	e_1, e_3	d, e	t_1	$[30, 73]$
g_3	e_2	a, c	t_2	$[20, 35]$
g_4	e_2, e_4	a	$[t_1, t_2]$	$[40, 50]$

综上所述,现有的这些概念格模型不能处理异构数据,需要对现有的概念格模型进行改进,提出一种新的概念格扩展模型.

3 面向异构数据的概念格模型

定义 6 在形式背景 $K = (G, M, I)$ 中,对于任意一个对象 $g \in G$,定义 $\zeta(g) = \{m \in M \mid gIm\}$ (对象 g 具有的属性集合);定义 $\eta(m) = \{g \in G \mid gIm\}$ (具有属性 m 的对象集合).

定义 7 在形式背景 $K = (G, M, I)$ 中,对任意的对象集 $A_1, A_2 \subseteq G$,若 $A_1 \cap A_2 = A_1 \Leftrightarrow A_1 \leq A_2$,对象集 G 上的偏序 \leq 由集合包含关系形成;

对任意的属性集 $C, D \subseteq M, C \cap D = (c_1 \cap_{op1} d_1, \dots, c_k \cap_{opk} d_k)$,且 $C \cap D = C \Leftrightarrow C \leq D \Leftrightarrow (c_1 \leq_{op1} d_1, \dots, c_k \leq_{opk} d_k)$.

由于属性集 M 中的属性是异构的,不同属性上形成的偏序 \leq_{opj} 不同,因而运算 $\cap_{opj} (j = 1, \dots, k)$ 也是不

同的.

定义 8 对任意的对象集 $A \subseteq G$,定义 $f(A) = \bigcap_{g \in A} \zeta(g)$;对任意的属性集 $B \subseteq M$,定义 $g(B) = \bigcap_{m \in B} \eta(m)$.

采用定义 8 中 $f(A)$ 和 $g(B)$ 的定义,根据定义 3 和定义 4 我们得到一种扩展的概念格模型,称为广义概念格 (generalized concept lattice).

基于传统形式背景的概念格构造算法主要分为两类:批处理算法和渐进式构造算法.大量实验证明了,相对于批处理算法,渐进式算法具有更多的优越性^[14].在渐进式概念格生成算法中,最重要的技术就是概念的更新、概念的生成,以及生成概念的父、子概念的确定.当在现有概念格中加入一个新的对象时,就需要遍历整个概念格.为了叙述方便,假定当前遍历的概念为 $S = (A, B)$,待插入对象为 g ,且具有属性 $f(g)$.

定义 9 当前遍历的概念为 $S = (A, B)$,待插入对象为 g ,如果满足 $B \cap f(g) = B$,则 S 被称为是待更新概念,且 S 更新为 $(A \cup g, B)$.

定义 10 当前遍历的概念为 $S = (A, B)$,待插入对象为 g ,如果满足 $B \cap f(g) \neq B$,则 S 被称为是一个产生子概念.若不存在 (A, B) 的某个父概念 (A_F, B_F) 使得 $B_F \supseteq B \cap f(g)$,则生成概念 $(A \cup g, B \cap f(g))$.

容易证明 $(A \cup g, B \cap f(g))$ 是一个概念.因为 A 具有属性 B 且 g 具有属性 $f(g)$,那么 A 与 g 的共有属性为 $B \cap f(g)$,即有 $f(A \cup g) = B \cap f(g), g(B \cap f(g)) = A \cup g$ 成立,从而 $(A \cup g, B \cap f(g))$ 是一个概念.

在下文中,将定义 9 中更新得到的概念和定义 10 中的生成概念统称为新生概念.

定义 11 当前遍历的概念为 $S = (A, B)$,若存在新生概念 C 使得 $C > S$ 成立,且不存在新生概念 D 使得 $C > D > S$ 成立,那么 C 被称为是 S 的最亲近父概念,记做 F^* .

值得注意的是, $>$ 是一个偏序,在概念格中最亲近父概念 F^* 可以是一个概念,也可以是若干个概念.

定理 1 当前遍历的概念为 $S = (A, B)$,待插入对象为 g ,若不存在最亲近父概念 $F^* (A_{F^*}, B_{F^*})$ 使得 $B_{F^*} \supseteq B \cap f(g)$,则生成概念 $(A \cup g, B \cap f(g))$.

定理 2 当前遍历的概念为 $S = (A, B)$,待插入对象为 g ,若 $S = (A, B)$ 为产生子概念,且 $N = (A \cup g, B \cap f(g))$ 为对应生成概念,如果 (A, B) 有最亲近父概念 F^* ,则 F^* 为 N 的父概念.

定理 3 如果 S 是产生子概念, g 为当前处理对象,生成概念为 $N(A \cup g, B \cap f(g))$,那么 N 的有唯一的子概念 S .

限于篇幅,以上三个定理证明从略.上述三个定理

指出了概念生成和插入时的搜索范围,生成概念的父概念是最亲近父概念,子概念是产生子.利用这些发现,可以对 Godin R 的算法进行改进,得到一个广义概念格渐进式生成算法,复杂度为 $O(\|G\|2^k)$,限于篇幅本文不再赘述算法细节.

4 扩展概念格在事件分析中的应用

认知科学认为人们通过事件来认识世界,有关事件的研究越来越受到相关研究人员的重视.在 HowNet、WordNet、话题识别与跟踪评测会议、自动内容抽取评测会议都对事件进行了定义.在国内,刘宗田等^[15]提出了事件本体的概念,并定义了事件六元组.尽管事件的定义有所不同,但一定的是一个事件由若干相关联的概念构成,是比概念具有更大粒度的知识单元.

下文的事件定义与文献^[15]相比,略去了与事件关联分析无关的“断言”和“语言表现”等二元,使用事件四元组.

定义 12 事件指在某个特定的时间和环境下发生的,由若干角色参与,表现出若干动作特征的一件事情.

形式上,事件可表示为 e , 定义为一个四元组: $e = (A, O, T, V)$.

其中,事件四元组中的元素称为事件要素,分别表示动作、对象、时间、环境.

一个事件: Around 5 o'clock, when there were 50 meters left to the end, Justin began to accelerate to his full speeds, and overhauled who was the champion in the last match, and won the championship.

对于上面的事件,可以形式化地表示为: $\langle \text{Action}(\text{accelerate, surpass, win}), \text{Object}(\text{Justin, Walunding}), \text{Time}(5 \text{ o'clock}), \text{Environment}(50 \text{ meters left to the end}) \rangle$.

在一个事件中,动作 A 、对象 O 、时间 T 、环境 V 这四个属性在结构上是不同,需要用不同类型的数据进行表示.下面讨论事件表示中最常见的一种数据类型: 区间数.

定义 13 一个区间数 $n = [a, b]$ 是一个实数集合 $\{x; a \leq x \leq b\}$, 如果 $a = b$, 那么称 n 是一个退化的区间数^[16].

定义 14 $[a_1, b_1]$ 和 $[a_2, b_2]$ 是两个区间数, 其上的凸化操作 \cap_{con} 定义为 $[a_1, b_1] \cap_{\text{con}} [a_2, b_2] = [\min(a_1, a_2), \max(b_1, b_2)]$.

并定义 $[a_1, b_1] \leq_{\text{con}} [a_2, b_2] \Leftrightarrow [a_1, b_1] \cap_{\text{con}} [a_2, b_2] = [a_1, b_1] \Leftrightarrow [a_1, b_1] \supseteq [a_2, b_2]$, 也就是 $a_1 < a_2 < b_2 < b_1$.

定义 15 $[a_1, b_1]$ 和 $[a_2, b_2]$ 是两个区间数, 其上的

交运算 \cap_{ins} 返回两个区间重叠的部分.

并定义 $[a_1, b_1] \leq_{\text{ins}} [a_2, b_2] \Leftrightarrow [a_1, b_1] \cap_{\text{ins}} [a_2, b_2] = [a_1, b_1] \Leftrightarrow [a_1, b_1] \subseteq [a_2, b_2]$.

例 1 有四个事件 g_1, g_2, g_3, g_4 分别用四元组 $\langle A, O, T, V \rangle$ 表示(见表 4), 并形成了一个形式背景 K_e .

形式背景 K_e 中包含了两个区间数, T 表示时间, 其上的偏序关系 \leq_{ins} 由交运算 \cap_{ins} 定义; V 表示环境, 其上的偏序关系 \leq_{con} 由凸化操作 \cap_{con} 定义. 另外, 形式背景 K_e 中还包括了两个多值变量 A, O , 两者上的偏序关系由集合包含关系形成. 采用本文的算法构造概念格 $L(K_e)$, 在空格中依次加入对象 g_1, g_2, g_3, g_4 , 结果见图 2.

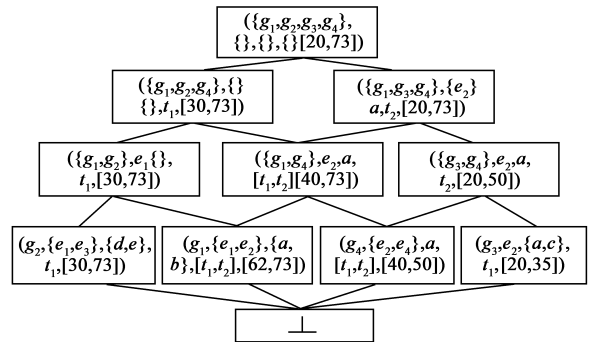


图2 $L(K_e)$

在概念格 $L(K_e)$ 中, $f(\{g_2, g_4\}) = \{\{\}, \{\}, t_1, [30, 73]\}$, $g(f(\{g_2, g_4\})) = \{g_1, g_2, g_4\}$, 因此 $(\{g_1, g_2, g_4\}, \{\}, \{\}, t_1, [30, 73])$ 是一个概念. 类似地, 可以验证其他概念.

通过概念格 $L(K_e)$, 可以得到两类知识. 第一类知识表达的是事件和事件要素之间的关联关系. 例如询问 a 参与了哪些活动, 通过访问概念格 $L(K_e)$ 中的概念 $(\{g_1, g_3, g_4\}, \{e_2\}, \{a\}, t_1, [20, 73])$ 可以知道, a 参与了活动 g_1, g_3, g_4 .

第二类知识表达的是事件要素之间的关联关系. 例如从概念 $(\{g_3, g_4\}, \{e_2\}, \{a\}, t_2, [20, 50])$ 可以得出, 只要动作 e_2 发生, 那么一定有 a 参与, 反之也成立, 即只要有 a 参与进来, 动作 e_2 一定发生, 可以表示为 $e_2 \leftrightarrow a$.

上面的例子表明, 利用广义概念格模型可以对异构数据建模, 并可以对异构数据进行关联分析挖掘隐性知识, 具有其它概念格模型所不具备的异构数据分析能力.

5 结束语

本文提出了一种广义概念格模型, 在另外的文章中, 我们还将介绍广义概念格的并行生成算法、基于广义概念格的关联规则提取算法和概念聚类算法. 今后

将研究大型广义概念格的分布式存储、广义概念格模型的扩展、以及基于广义概念格的分类技术和事件本体的生成方法等。

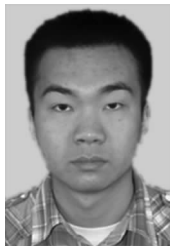
参考文献

- [1] Tanu Malik, Alex Szalay. Skyquery: A web service approach to federate databases[A]. First Biennial Conference on Innovative Data Systems Research[C]. Asilomar, CA, USA: CIDR, 2003. 17 - 25.
- [2] Michael F, Huerta, Stephen H, et al. The human brain project: an international resource[J]. Trends in Neurosciences, 1993, 16 (11): 436 - 438.
- [3] Raina A K, Ramulu M, Choudhury P B, et al. Application of digital image analysis technique for assessment of blast fragmentation and explosives energy utilization in a large opencast coal mine[J]. Journal of Mines, Metals and Fuels, 2008, 56(7 - 8): 140 - 147.
- [4] Liu Wei, Wenjie Xu, Jianfeng Fu, et al. An extended description logic for event ontology[A]. Advances in Grid and Pervasive Computing[C]. Hualien, Taiwan: Springer-Verlag, 2010. 471 - 481.
- [5] Michael Scaife, Yvonne Rogers. External cognition: how do graphical representations work[J]. International Journal of Human Computer Studies, 1996, 45: 185 - 213.
- [6] Ganter B, Wille R. Formal Concept Analysis: Mathematical Foundation[M]. New York: Springer-Verlag, 1999.
- [7] Wolff K E. Conceptual interpretation of fuzzy theory[A]. The 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (Vol. 1)[C]. Aachen, Germany: EUFIT, 1998, 555 - 562.
- [8] Burusco A, Fuentes R. The study of L-fuzzy concept lattices [J]. Mathware & Soft Computing, 1994, 3: 209 - 218.
- [9] 强宇, 刘宗田, 林炜, 等. 模糊概念格在知识发现的应用及一种构造算法[J]. 电子学报, 2005, 33(2): 350 - 353.
Qiang Yu, Liu Zong-tian, Lin Wei, et al. Research on fuzzy concept lattice in knowledge discovery and a construction algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(2): 350 - 353. (in Chinese)
- [10] 刘宗田, 强宇, 周文, 等. 一种模糊概念格模型及其渐进式构造算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(2): 187 - 188.

Liu Zong-tian, Qiang Yu, Zhou Wen, et al. A fuzzy concept lattice model and its incremental construction algorithm[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(2): 187 - 188. (in Chinese)

- [11] Ali Jaoua, Samir Elloumi. Galois connection, formal concepts and Galois lattice in real relation application in a real classifier [J]. Journal of Systems & Software, 2002, 60: 149 - 163.
- [12] 王德兴, 胡学钢, 王浩. 基于量化概念格的关联规则挖掘 [J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2002, 25(5): 678 - 682.
Wang De-xing, Hu Xue-gang, Wang Hao. Algorithm of mining association rules based on quantitative concept lattice[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science), 2002, 25(5): 678 - 682. (in Chinese)
- [13] 张继福, 张素兰, 胡立华. 约束概念格及其构造方法[J]. 智能系统学报, 2006, 1(2): 31 - 38.
Zhang Ji-fu, Zhang Su-lan, Hu Li-hua. Constrained concept lattice and its construction method[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2006, 1(2): 31 - 38. (in Chinese)
- [14] Godin R, Missaoui R, Alaoui H. Incremental concept formation algorithms based on Galois(concept) lattices[J]. Computational Intelligence, 1995, 11(2): 246 - 267.
- [15] 刘宗田, 黄美丽, 周文, 等. 面向事件的本体研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(11): 189 - 192.
Liu Zong-tian, Huang Mei-li, Zhou Wen, et al. Research on event-oriented ontology model[J]. Computer Science, 2009, 36(11): 189 - 192. (in Chinese)
- [16] R E Moore, F Bierbaum. Methods and Applications of Interval Analysis[M]. PA, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1979, 1.

作者简介



智慧来 男. 1981年3月出生, 河南偃师市人. 2010年在上海大学获得博士学位. 现为河南理工大学计算机科学与技术学院讲师. 研究方向为形式概念分析, 知识表示与推理.
E-mail: zhihuilai@126.com