

# FCA 与本体结合研究的综述<sup>\*</sup>

周文 刘宗田 陈慧琼

(上海大学计算机工程与科学学院 上海 200072)

**摘要** 本文对近年内形式概念分析(Formal Concept Analysis, FCA)与本体(Ontology)的结合研究进行综述,基于具体的应用来描述它们结合的方式。FCA 和本体是两种形式化方法, FCA 和本体的目标都是构建概念的模型,它们各有特点,本文从应用的角度讨论两种工具如何相互补充,描述了 FCA 怎样支持本体工程和本体如何改善 FCA 的应用。

**关键词** FCA, 本体, 概念格, 本体生成, 本体合并, 本体导航

## A Survey of the Research about Both FCA and Ontology

ZHOU Wen LIU Zong-Tian CHEN Hui-Qiong

(School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200072)

**Abstract** A survey of the literature about the research in recently on the interplay of Formal Concept Analysis (FCA) and Ontologies is carried out from an application point of view. Among many other knowledge representations formalisms, Ontologies and Formal Concept Analysis (FCA) aim at modeling 'concepts'. How these two formalisms may complement each another is discussed in this paper. In particular, how FCA can be used to support Ontology Engineering, and how ontologies improve an FCA application.

**Keywords** FCA, Ontology creating, Ontology merging, Ontology navigating

### 1 FCA 和本体中的概念

#### 1.1 形式概念分析

形式概念分析(Formal Concept Analysis, FCA)由 Wille 于 1982 年首先提出<sup>[1]</sup>,用于概念的发现、排序和显示,所有的概念连同它们之间的泛化/例化关系构成一个概念格。

**定义 1** 形式背景  $K;=(G, M, I)$  由集合  $G, M$  以及它们之间的关系  $I$  组成,  $G$  的元素称为对象(objects),  $M$  的元素称为属性(attributes)。为了表示一个对象  $g$  和一个属性  $m$  在关系  $I$  中,可以写成  $gIm$  或  $(g, m) \in I$ 。

**定义 2** 给定对象集合  $G$ , 对于对象子集  $A \subseteq G$ , 定义  $A' := \{m \in M \mid \forall g \in A \cdot gIm\}$  表示“ $A$  中全体对象所共有的属性集”。相应地,对于属性子集  $B \subseteq M$ , 定义  $B' := \{g \in G \mid \forall m \in B \cdot gIm\}$  表示“同时具有  $B$  中所有属性的对象的集合”。

**定义 3** 形式背景  $(G, M, I)$  中的一个形式概念是一个对  $(A, B)$ , 其中  $A \subseteq G, B \subseteq M$ , 满足:  $A' = B$  且  $B' = A$ 。  $A, B$  分别称为形式概念  $(A, B)$  的外延(extent)和内涵(intent)。  $\mathcal{B}(G, M, I)$  表示形式背景  $(G, M, I)$  所有形式概念的集合。

**定义 4** 如果  $(A_1, B_1)$  和  $(A_2, B_2)$  是一个形式背景的两个形式概念, 如果  $A_1 \subseteq A_2$  (等同于  $B_2 \subseteq B_1$ ), 那么  $(A_1, B_1)$  被称为  $(A_2, B_2)$  的子概念,  $(A_2, B_2)$  被称为  $(A_1, B_1)$  的超概念, 并且我们记为  $(A_1, B_1) \leq (A_2, B_2)$ 。关系  $\leq$  为形概念之间的序。按此方式有序的  $(G, M, I)$  所有形式概念的集合被表示为  $\mathcal{B}(G, M, I)$ , 并且被称为形式背景  $(G, M, I)$  的概念格。例如: 给定的形式背景为表 1 所示, 生成的概念格如图 1 中所示。

表 1 形式背景举例

Object/Attribute	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
O <sub>1</sub>	X		X		
O <sub>2</sub>		X	X		
O <sub>3</sub>				X	X
O <sub>4</sub>	X		X		

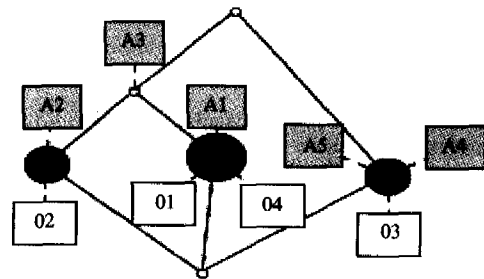


图 1 相应的概念格

从形式背景中生成概念格的过程实质上是一种概念聚类过程。概念格可用于许多机器学习的任务<sup>[2]</sup>。目前,概念格在信息检索、数字图书馆、软件工程和知识发现等方面得到应用<sup>[3]</sup>。

#### 1.2 本体

本体(Ontology)的概念最初起源于哲学领域,在十年前被引入计算机科学中用以形式化表达知识,本体的定义由 Gruber<sup>[4]</sup>在 1993 年提出:“本体是概念模型的明确的规范说明”,随着人们对本体理解的完善, W. N. Borst<sup>[5]</sup> 1997 年在

<sup>\*</sup> 本文受国家自然科学基金(60275022)和上海市高等学校青年发展基金(03AQ99)资助。周文 博士生,研究方向为人工智能;刘宗田 教授,博导,从事人工智能、软件工程等方面的研究。

此基础上给了另外一个定义“本体是共享概念模型的形式化规范说明”, Studer<sup>[6]</sup> 1998 年对上述两个定义进行了深入的研究, 认为“本体是共享概念模型的明确的形式化规范说明”。

**定义 5(本体结构)** 本体的逻辑结构可以看成是一个五元组,  $O := \{C, R, H, rel, A\}$ <sup>[7]</sup>。其结构为:

(1) 两个交集为空的集合  $C$  和  $R$ 。它们的元素分别被称为概念标识符和关系标识符。

(2) 概念层次  $H$ , 它是一个有向的传递关系,  $H$  是  $C \times C$  的一个子集。  $H(C_1, C_2)$  表示  $C_1$  是  $C_2$  的子概念。

(3) 函数  $rel$ :  $rel$  函数的定义域是  $R$ , 值域是  $C \times C$  的一个子集。即:  $rel(R) = (C_1, C_2)$ 。

(4) 公理集  $A$ : 包含了本体所需的公理。它用逻辑语言表示, 例如一阶逻辑。

**定义 6(本体词典)** 本体词典是一个四元组  $L := (L^C, L^R, F, G)$ , 它包括:

(1) 两个集  $L^C, L^R$ , 其元素分别被称作概念和关系的词汇项。

(2) 两个关系分别被称作概念和关系的引用:  $F$  是  $L^C \times C$  和  $L^R \times R$ 。

例如, 本体结构:  $C = \{c_1, c_2, c_3\}, R = \{r_1\}, H(c_2, c_1), r_1(c_2, c_3)$ ; 词典:  $L^C = \{\text{人, 雇员, 机构}\}, L^R = \{\text{工作于}\}, F(\text{人}) = c_1, F(\text{雇员}) = c_2, F(\text{机构}) = c_3, G(\text{工作于}) = r_1$  见图 2。

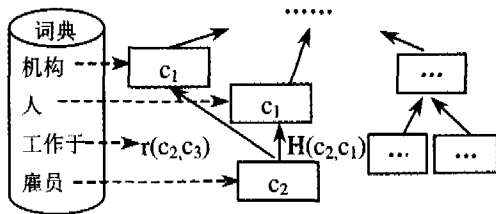


图 2 本体结构与词典

作为本体的核心结构, 这个结构被普遍接受并且易于用现有的本体语言来进行描述。在具体的应用中, 五元组的组织如下:  $C$  是本体中的概念, 常表现为领域中的事物。  $R$  是本体中的关系, 例如“文档”与“章节”这两个概念间的包含关系。  $Rel$  是定义在关系集  $R$  上的映射, 对任何一个关系  $r$ , 都可以找到这个关系的定义域和值域, 它在解析本体时十分有用。为了以图的形式把本体的结构展现给用户, 需要使用包装在这之上的本体推理机得到一个关系的定义域和值域, 当得到所有的关系的定义域和值域时, 本体的图结构就展现出来了。

本体主要有三种不同的作用: 1) 领域内部不同主体间进行交流的一种语义基础; 2) 用于自动推理<sup>[8]</sup>; 3) 对知识的表示和重用。

### 1.3 FCA 和本体的一些区别

在实际应用中, FCA 和本体作为两种形式化方法差异不大, 它们都强调概念的主体间一致性的重要性, 都强调模型形式化说明的必要。不同在于, 本体的目标是提供一种共识以支持知识密集型应用, 而 FCA 并不是对现实的建模, 概念格是在给定数据的基础上, 对领域知识进行分析和结构化, 是人造产物, FCA 总是依赖于给定的对象集, 而本体在没有给定数据的情况下也可以建立, 因此, 在 FCA 中概念的外延和内涵是同样重要的两方面, 而本体则强调概念的内涵部分。

### 1.4 FCA 与本体的结合

由于 FCA 与本体各有特点, 它们可以从以下两个方向上

互为补充、相互结合。

一方面, FCA 作为一种技术用于本体工程。 FCA 以概念格结构化给定数据用于提取概念层次, 来作为本体应用的基础, 用于手工或者半自动生成本体(见第 2 节)、对已有本体的合并(见第 3 节); 以及本体的可视化、本体的导航(navigation)和分析任务(见第 4 节)。从理论上讲, 这一结合方式源于本体表示的形式化方法(包括描述逻辑、概念图等)都可以用 FCA 来辅助完成。因为根据 ISO704 的定义, 本体的形式化表示方法主要集中在表示层, 而 FCA 则集中在概念层, 所以 FCA 可以为本体的形式化表示方法提供必要的补充。已有的本体与 FCA 结合的应用包括: 将 FCA 和描述逻辑进行结合(Baader, 1995<sup>[9]</sup>; Stumme, 1996b<sup>[10]</sup>; Prediger, 1997<sup>[11]</sup>; Prediger 和 Stumme, 1999<sup>[12]</sup>等)和 FCA 与概念图相结合(Wille, 1997<sup>[13]</sup>, Prediger, 1999<sup>[14]</sup>; Mineau et al, 1999<sup>[15]</sup>等)。

另一方面, 本体能够改善 FCA 的应用。 FCA 中的属性不含任何结构, 若将 FCA 的属性看作是本体中的概念, 可以在属性间构建关系和相互依赖性, 以提高 FCA 应用的质量。比如用本体来帮助 FCA 处理大数据库的问题等(见第 5 节)。

## 2 FCA 用于本体的生成

本体是明确的形式化说明, 实际中, 大多数形式化并不是明确的, 而是相当含糊地存在于文档、人的大脑或者大脑的活动中。所以, 对本体生成来说, 难点在于如何将隐含存在的知识具体化并在本体中明确起来, 即如何找出所有可能的抽象概念, 和如何找出概念之间的分类关系。

### 2.1 Obitko 的方法

Obitko 等 2004 年提出了一种采用 FCA 支持本体半自动生成的方法<sup>[16]</sup>, 他指出: 概念由属性描述; 属性决定概念的层次结构; 当两个概念的属性相同时, 这两个概念也相同; 本体的生成基于概念格对概念及属性的可视化, 本体可由直接修改概念格得到。该方法, 主要是根据对象(类)和它们的属性来生成最初的本体, 以概念格将本体可视化, 以发现潜在的对象和属性, 并加入概念格中, 直到本体完善, 其具体步骤见图 3。

- 1) 从空的概念和属性集开始;
- 2) 根据需要来增加概念和属性到概念表中;
- 3) 将概念表当作形式背景, 生成概念格, 以对其可视化;
- 4) 在可视化基础上, 按设计者需要做如下操作:
  - a. 直接编辑
    - I、增加或者删除概念;
    - II、增加或者删除属性;
    - III、给概念添加属性或从概念中删除属性。
  - b. 根据本体设计程序的提示编辑本体
    - I、若两个概念落在一个位置上, 要么被合并, 要么被加上一些差别。
    - II、FCA 可以产生新概念, 它们不在概念表中, 可以增加这些概念。
- 5) 重复这一过程直至本体的设计者满意为止。

图 3 使用 FCA 半自动生成本体的算法框架

Obitko 等以水域的本体生成为例, 从初始概念格开始, 在使用本体过程中发现需要加入的新对象, 如“池塘”。加入后为了与已有对象(如“湖泊”)区别起见, 加入新属性(如“自然的”等)。在新生成的概念格启发下, 循环这一完善过程直至满意为止。最后生成的概念格按具体的应用本体模型转换成本体<sup>[17]</sup>。

### 2.2 Haav 的方法

Haav(2004)的文章中给出了将 FCA 与基于规则的语言

结合,进行半自动的本体抽取和设计的方法<sup>[18]</sup>。其步骤为:1)用自然语言处理的方法从特定领域的文本或者数据中提取形式背景,其三元组中对象为具体的文本实体,属性为名词短语,二元关系是名词短语和文本实体间的二元对应关系;2)采用 FCA 和概念格约减的方法,由形式背景生成概念格作为初始本体;3)通过 FCA 与规则语言的映射关系,将该初始本体自动转换成 Horn 逻辑;4)通过增加的规则和事实来扩展初始本体。概念间的分类关系可以由概念格自动产生,而非分类关系则需要定义相应的断言和规则组,再增加到本体,完成本体的生成。

### 2.3 Cimiano 的方法

文本理解取决于作者和读者间拥有的共同的背景知识<sup>[19]</sup>,然而文本本身并没有提供这种共同的背景知识。由此,Cimiano 等(2004)<sup>[20]</sup>采用 FCA 因为它不需要查找词语的明确定义而是通过分析词语在文本中的使用方式,来获得相应的背景知识用于生成本体。他们选取旅游业作为分析的领域,具体方法如下:

1)首先,产生形式背景。分析领域文本,查找动词和它们的直接宾语得到领域内的概念,生成语法树,通过自然语言解析器生成文本中动词/宾语之间的依赖关系,假设解析出来的关系穷尽了文本中的关系(信息完整性假设)。

2)将抽取出来的动词和宾语进行规范化。通过词典将它们按异体形式归类,动词转换为其动词原型;复数形式转换成单数形式;并将动词加上后缀“-able”,使它们看起来更像是属性,以便自动产生的概念格和概念层次中的概念更易理解。

3)分析上下文,对宾语分组,利用 FCA 将其结构化为抽象的概念,由形式背景生成概念格。

4)通过直接删除概念格最底层元素,可以将其转换成偏序关系,将生成的形式概念作为本体的概念(以其内涵命名)<sup>[21]</sup>。

### 2.4 利用 FCA 的本体生成方法小结

FCA 引入本体生成过程中,可解决寻找概念之间的关系非常困难、手工将概念组织到本体中去较为费时费力和易受开发者的主观影响等问题。它以概念格来表示从给定的数据中得到的概念,帮助找到所有可能的抽象概念及概念间的分类关系。

FCA 应用于本体生成时如何将本体和形式背景对应起来是最关键的问题。对不同的应用,有两种不同的结合方式:1)将两者中的概念等同起来(Obitko 2004, Haav 2004);2)将本体中的概念和 FCA 中的属性进行匹配(Cimiano, 2004),通常采用这一种方法。以上介绍 FCA 的本体生成方法在应用中有如下区别(如表 2 所示)。

表 2 FCA 用于本体生成的方法比较

	Obitko	Haav	Cimiano
初始形式背景	人为构建	从领域文本中获得	从领域文本中获得
对应关系	两者中的概念等同	两者中的概念等同	本体的概念对应 FCA 属性
概念格到本体的转换	手工	半自动	手工
适用的本体大小	小型	大型	中小型

当然,FCA 用于本体的生成仍然有一些不足之处,比如,FCA 可以帮助获得一些隐含和对象的概念及概念间关系,但是初始的本体仍需借助于自然语言处理(NLP)来达到目的;

FCA 能帮助用格来表示概念,作为本体生成的指南,但其仍离不开领域专家的参与,最终生成的本体仍与应用领域有很大关系。概念格有完善的数学基础,但是当本体过大或者应用领域非常复杂时,相应的概念格将会非常复杂,有用的信息将淹没于复杂的格结构中。

## 3 FCA 用于本体合并

本体合并(Ontology merging)指将领域内已经存在的几个本体并在一起,消除重叠的和不协调的部分。本体合并是通过输入两个(或者多个)已经存在的源本体,返回一个基于给定源本体的结果本体的过程。这个结果本体可用于基于不同源本体的应用间的相互转化。高质量的合并过程需要人为的背景知识、社会习惯和目的的判断参与,合并的目标是支持知识工程而不是代替它。

Stumme 和 Maedche 2001 年提出了用 FCA 进行本体合并的方法 FCA-Merge<sup>[22]</sup>。该方法采用自底而上的方法给出了本体合并的全局过程描述。通过运用自然语言处理技术,抽取出具体领域文本文档中的实例,计算出它的形式背景,生成源本体。形式背景中的对象是文档,属性是本体概念。一个本体概念如果在文档中出现,则它们相关。通过并置(apposition)将形式背景连接起来,由 TITANIC 算法<sup>[23]</sup>计算出剪枝后的概念格。概念格事实上对源本体中的概念进行了聚类,形成了有层次的概念聚类,生成的概念格通过本体工程被转换成结果本体。此方法中,本体中的概念和 FCA 中概念不同而其属性一致。具体的合并过程如图 4 所示。

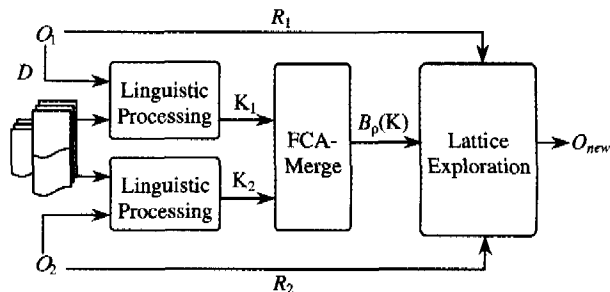


图 4 FCA-Merge 方法

另外一个基于 FCA 的本体合并的研究是 OntEx<sup>[24]</sup>。OntEx 基于 Ganter 的属性勘探,从源本体的概念和所有已知的层次关系开始。与 FCA-Merger 一样,OntEx 也给出保证所有可能合并都能被考虑到的措施。然而,在实际使用中,它需要和启发式方法相结合,并与知识工程师交互,当交互量很大时提供这些措施的代价也是巨大的。

采用传统编辑工具的手工本体合并过程是非常困难的、劳动密集型和带有人为倾向性的,因此,有学者提出了一些支持合并本体的系统和框架,它们多依赖于语法和语义相匹配的启发式方法。不同的是 FCA-Merge 可以从整体上对合并的全过程进行描述,而不是仅仅在局部地使用不同类型的逻辑。

## 4 FCA 用于本体导航

FCA 在基于本体的应用中可以用于导航,以解决具体应用中本体经常太大,无法在计算机的一屏上显示出来,不利于用户使用的问题。FCA 的优点在于善于表达多继承和多实例,它解决了传统的本体导航中存储路径与检索路径单一的问题。

一个很好的应用是概念 Email 管理器<sup>[25]</sup>,它由 Cole 和 Stumme 2000 年提出,是对标准 Email 管理系统的改进,它不再采用传统的树状结构和文件管理系统来管理信件,而是使用简单的本体存储信件,这个本体包含一个概念的分级结构及一个词典。这里本体的分级结构可以是一个偏序集,允许多继承和多个实例。结合 FCA 是为了利用它可以支持导航和勘探任务的长处,在有多继承和多实例时这一长处更能显示出来。

在形式背景中,Email 作为对象,属性是关键词。将 FCA 的属性和本体的概念对应起来,属性集上的继承(多继承)关系构成偏序,由形式背景的二元关系来体现继承。多继承和多实例的结构允许用户沿概念格的不同路径都可以检索到同一 Email。它不需要由用户来决定 Email 的存储路径,对于之后检索 Email 来说,可以用多个关键词的组合,这也为采用结构丰富的概念格作为检索提供了可能应用空间。

另一个具体的应用是课件监视器,它是构建在 Karlsruhe 本体和语义网框架 KAON 之上的<sup>[26]</sup>。它帮助用户对远程存储的学习资源进行控制、查找和组织。它由五大组件构成,在其中的可视和互动的浏览部件上,将 FCA 与本体结合起来,采用 FCA 进行本体和知识库的导航,增进用户和远程存储资源间的互动。

概念 Email 管理器和课件监视器中,本体的导航所用到的 FCA 技术基本相同,都是利用 FCA 来表达多继承和多实例,能够解决传统的本体导航中存储路径与检索路径单一的问题。

## 5 本体改善 FCA 处理大数据集的质量

通常情况下,当 FCA 用于处理大数据集时,为了减小生成的概念格的大小,以便于在计算机的一屏上显示,可以从导致概念格过大的两个原因上分别进行解决。

一个原因是属性过多,这一问题通常采用概念定标技术来解决;还可以采用将属性集投影到用户感兴趣的属性上的办法来解决,如冰山概念格。

另一个原因是对象间存在的差别过于微小。如果两个对象几乎但不完全一致,它们将产生不同的概念,无论它们的区别多小,这个影响会被沿着概念格一直传播下去。假如允许先判断合并几乎一致的对象这一办法,可以显著地减小概念格的大小,这在文本挖掘中非常有用。Hotho2004 年在他的文本挖掘应用中测试办法时结果并不理想<sup>[27]</sup>,因为给找出的名词确定适当的标尺非常困难,生成的格要么就是太具体,因过于复杂而不能帮助理解,要么就是层次太过于扁平。通过在使用 FCA 前,应用 BiSec-k-Means 算法的文本先进行聚类来解决这一问题,由预聚类得到的概念格比通过概念定标所获得的更小且更容易解释,然而还是存在分级结构非常扁平这一严重问题。Cimiano 等 2003 年提出了一种新的解决的办法,直交方法(orthogonal approach),它可以在不丢失太多信息的情况下,显著地减小概念格的大小。

**结论和今后的一些研究方向** 综上所述,在知识处理的过程中 FCA 和本体可以有效地相互补充。一方面,FCA 可以很好地辅助本体工程;另一方面,本体工程也改善了基于 FCA 的应用,帮助 FCA 处理大数据库的问题等等。但 FCA 和本体结合主要还停留在处理概念的分类关系上,非分类“关系”仅仅在课件监视器和逻辑定标的应用中被使用到。

在今后的 FCA 研究中,增进 FCA 在知识表达过程中的

表达能力是其中的一个。这需要将它的研究范围从高度结构化的数据扩展到半结构化甚至是无结构的数据上来,以便于处理更加复杂的任务,比如,应用于语义网络。转向分析无结构数据特别是文本数据时,主要的挑战是在实际应用 FCA 前如何处理数据,以降低数据的内在的复杂性(比如,通过聚类方法),通过这种方式,在处理无结构数据时,可以降低处理的时间,同时能够产生更加精确的、更适合阅读的概念格。总之,在理论和应用上建立和加强 FCA 和本体相结合的相关领域的研究是今后的研究方向。

## 参考文献

- 1 Wille R. Restructuring lattice theory: an approach based on hierarchies of concepts. In: I. Rival, eds. *Ordered Sets*, Reidel, Dordrecht, 1982, 445~470
- 2 Oosthuizen G D. *The Application of Concept Lattice to Machine Learning*; [Technical Report], University of Pretoria, South Africa, 1996
- 3 谢志鹏,刘宗田. 概念格与关联规则发现. *计算机研究与发展*. 2000,37(12):1416~1421
- 4 Gruber T R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 1993, 5(2):199~220
- 5 Borst W N. *Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse*; [PhD thesis]. University of Twente, Enschede, 1997
- 6 Studer R, Benjamins V R, Fensel D. Knowledge engineer, principles and methods. *Data and Knowledge Engineering*, 1998, 25(1-2):161~97
- 7 Maedche A. *Ontology Learning*. University of Karlsruhe, Germany; Kluser Academic Publishers, 2002
- 8 吴强,刘宗田,强宇. 基于本体的知识库推理研究. *计算机应用研究*, 2005, 22(1):50~52
- 9 Baader F. Computing a minimal representation of the subsumption lattice of all conjunctions of concept defined in a terminology. In: Ellis, G, Levinson R A, Fall, A, Dahl, V, eds. *Proceedings of International KRUSE Symposium, UCSC, Santa Cruz, Aug, 1995*. 168~178
- 10 Stumme G. The concept classification of a terminology extended by conjunction and disjunction. In: Foo, N, Goebel, R, eds. *PRICAI '96: Topics in Artificial Intelligence. Proc. of PRICAI '96*. LNAI, Vol. 1114. Springer, Heidelberg, 1996. 121~131
- 11 Prediger S. Logical scaling in formal concept analysis. In: Lukose, D, Delugach H, Keeler M, Searle L, Sowa J F, eds. *Conceptual Structures: Fulfilling Peirce's Dream*, LNAI, Vol. 1257. Springer, Heidelberg, 1997. 332~341
- 12 Prediger S, Stumme G. Theory-driven logical scaling. In: Franco, E, et al. eds. *Proceedings of the Sixth International Workshop Knowledge Representation Meets Databases. CEUR Workshop Proc. Vol. 21*, 1999
- 13 Wille R. Conceptual graphs and formal concept analysis. In: Lukose D, Delugach H, Keeler M, Searle L, Sowa J F, eds. *Conceptual Structures: Fulfilling Peirce's Dream. Proc. of ICCS '97*. LNAI, Vol. 1257. Springer, Heidelberg, 1997. 290~303
- 14 Prediger S, Wille R. The lattice of concept graphs of a relationally scaled context. In: Tepfenhart W, Cyre W, eds. *Conceptual Structures: Standards and Practices*, LNAI, Vol. 1640. Springer, Heidelberg, 1999. 401~414
- 15 Mineau G, Stumme G, Wille R. Conceptual structures represented

- by conceptual graphs and formal concept analysis. In: Tepfenhart, W, Cyre W, eds. *Conceptual Structures: Standards and Practices*. Proc. of ICCS '99. LNAI, Springer, Heidelberg, Vol. 1640, 1999, 423~441
- 16 Obitko M, Snásel V, Smid J: *Ontology Design with Formal Concept Analysis*. Edited by Vaclav Snasel, Radim Belohlavek. In: Proc. of the CLA 2004 Intl. Workshop on Concept Lattices and their Applications Ostrava, Czech Republic, Sep. 2004. 111~119
- 17 Chaudhri A F V, Fikes R, Karp P, Rice J, OKBC: *A Programmatic Foundation for Knowledge Base Interoperability*. In: Proc. of AAAI-98. 1998
- 18 Haav H M. *A Semi-automatic Method to Ontology Design by Using FCA*. Edited by Vaclav Snasel, Radim Belohlavek. In: Proc. of the CLA 2004 Intl. Workshop on Concept Lattices and their Applications Ostrava, Czech Republic, Sep. 2004. 13~24
- 19 Clark H H. *Arenas of Language Use*, chapter *Common Ground and Language Use, Definite Reference and Mutual Knowledge*. CSLI, 1992
- 20 Cimiano P, Stumme G, Hotho A, Tane J. *Conceptual Knowledge Processing with Formal Concept Analysis and Ontologies*. In: Proc. of the The Second Intl. Conf. on Formal Concept Analysis (ICFCA 04), Springer, 2004. 189~207
- 21 Cimiano P, Staab S, Tane J. *Automatic acquisition of taxonomies from text: FCA meets NLP*. In: Proc. of the Intl. Workshop on Adaptive Text Extraction and Mining, 2003
- 22 Stumme G, M adche, A. *FCA-Merge: bottom-up merging of ontologies*. In: Proc. of the Seventeenth Intl. Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI '01), Seattle, WA, USA, 2001. 225~230
- 23 Stumme G, Taouil R, Bastide Y, et al. Lakhal: *Computing Iceberg Concept Lattices with Titanic*. J. on Knowledge and Data Engineering (KDE), 2002, 42(2): 189~222
- 24 Ganter B, Stumme G, *Creation and merging of ontology top-levels*. In: Proc. ECAI02. Submitted, 2002
- 25 Cole R , Stumme G, CEM: *A Conceptual Email Manager*. In: 7th Intl. Conf. on Conceptual Graphs, Springer Verlag, ICCS'2000, LNAI 1867, Aug. 2000. 438~453
- 26 Tane J, Schmitz C, Stumme G, Staab S, Studer R. *The Courseware Watchdog: an ontology-based tool for finding and organizing learning material*. In Fachtagung "Mobiles Lernen und Forschen". Kassel, Nov. 2003
- 27 Hotho. *Clustern mit Hintergrundwissen*; [PhD thesis]. Institute AIFB, University of Karlsruhe, 2004

(上接第7页)

- 55 Naphade M R, et al. *A statistical modeling approach to content based video retrieval*. In: IEEE Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition, Quebec, Canada, 2002. 953~956
- 56 Petkovic M, Jonker W. *Content-based video retrieval by integrating spatio-temporal and stochastic recognition of events*. In: IEEE Proceedings of IEEE Workshop on Detection and Recognition of Events in Video, Vancouver, Canada, 2001. 75~82
- 57 Liu T, Kender J R. *Semantic mosaic for indexing and compressing instructional videos*. In: 2003 International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain, 2003. 921~924
- 58 Dorado A, Calic J, Izquierdo E. *A rule-based video annotation system*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(5): 622~633
- 59 Ho S -Y, et al. *Design of Accurate Classifiers With a Compact Fuzzy-Rule Base Using an Evolutionary Scatter Partition of Feature Space*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B, 2004, 34( 2): 1031~1043
- 60 Smeulders A, et al. *Content-based image retrieval at the end of the early years*. IEEE Trans. on pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(12): 1349~1380
- 61 M R, et al. *TREC 2002 Video Track experiments at MediaTeam Oulu and VTT*. In: Proceedings of Text Retrieval Conference TREC 2002 Video Track, Baltimore, MD, USA, 2002. 417~428
- 62 Luo H, et al. *Semantic principal video shot classification via mixture gaussian*. In: IEEE Proceedings of 2003 International Conference on Multimedia and Expo, Lausanne, Switzerland, 2003. 189~192
- 63 Fan J, et al. *ClassView: Hierarchical Video Shot Classification, Indexing, and Accessing*. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(1): 70~86
- 64 Rasheed Z, Sheikh Y, Shah M. *On the use of computable features for film classification*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(1): 52~64
- 65 Peyrard N, Bouthemy P. *Detection of meaningful events in videos based on a supervised classification approach*. In: 2003 International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain, 2003. 621~624
- 66 Asano F, Motomura Y, Nakamura S. *Fusion of audio and video information for detecting speech events*. In: Proceedings of the Sixth International Conference of Information Fusion, Cairns, Australia, 2003. 386~393
- 67 Miyauchi S, et al. *Collaborative multimedia analysis for detecting semantical events from broadcasted sports video*. In: 16th International Conference on Pattern Recognition, Quebec, Canada, 2002. 1009~1012
- 68 Gillespie W J, Nguyen D T. *Classification of video shots using activity power flow*. In: 2004 IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas, NV, USA, 2004. 336~340
- 69 Ekin A, Murat Tekalp A, Mehrotra R. *Integrated semantic-syntactic video event modeling for search and retrieval*. In: Proceedings, 2002 International Conference on Image Processing, Malaga, Spain, 2002. 1-141~1-144
- 70 Wang J R, et al. *Browsing video online using semantic information*. In: 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2002. 192~197
- 71 J T, T S, E V. *Automatic recognition of emotion in spoken Finnish: preliminary results and applications*. In: Proc. Prosodic Interfaces 2003, Nantes, France, 2003. 85~89
- 72 Hanjalic A, Xu L-Q. *Affective video content representation and modeling*. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, 7(1): 143~154
- 73 Osadchy M, Keren D. *A Rejection-Based Method for Event Detection in Video*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(4): 534~541
- 74 Ekin A, Tekalp A M, Mehrotra R. *Integrated semantic-syntactic video modeling for search and browsing*. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(6): 839~851
- 75 Wang F, et al. *A Generic Framework for Semantic Sports Video Analysis Using Dynamic Bayesian Networks*. In: Proceedings of the 11th International Multimedia Modelling Conference, 2004. MMM 2005, Melbourne, Australia, 2005. 115~122
- 76 Fan J, et al. *Semantic video classification and feature subset selection under context and concept uncertainty*. In: Proceedings of the 2004 Joint ACM/IEEE Conference on Digital Libraries, 2004, Tuscon, AZ, 2004. 192~201
- 77 C B, C M. <http://www-nlpir.nist.gov/projects/trecvid>. 2005
- 78 JTC1/SC29/WG11 I. I. MPEG-4 Overview, Int'l Organization for Standardiation. 2002
- 79 Duch W, Setiono R, Zurada J M. *Computational intelligence methods for rule-based data understanding*. In: Proceedings of the IEEE, 2004. 85~92
- 80 Roth B V. *Perception and Representation*, 2nd ed, Maidenhead; Open Univ, Press, 1995