

## 基于本体的融合知识测度分析

徐赐军<sup>1</sup>, 李爱平<sup>2</sup>

(1. 湖北理工学院 机电工程学院, 湖北 黄石 435003; 2. 同济大学 现代制造技术研究所, 上海 201804)

**摘要:** 针对知识融合产生的新知识规模庞大的问题, 提出一个基于本体的融合知识测度指标. 利用默认关系强度分析知识单元之间融合的紧密程度, 根据词汇链的构建规则定义语义相关度, 由概念本体树的语义距离计算概念之间的语义相关度, 并运用最大熵模型分析融合知识的语义熵. 分析知识元素属性值对融合知识的影响, 确定其相应效用权重系数; 综合上述指标构建对融合算法具有特定趋势指导作用的融合知识测度, 并分析该测度指标对称性、确定性、非负性和扩展性等性质. 应用实例表明了所提出指标的有效性, 并进一步说明了融合知识测度在知识评价体系中的重要作用.

**关键词:** 本体; 融合知识测度; 关系强度; 效用权重; 语义熵

**中图分类号:** TP182

**文献标志码:** A

### Analysis of fusion-knowledge metric based on ontology

XU Ci-jun<sup>1</sup>, LI Ai-ping<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Hubei Polytechnic University, Huangshi 435003, China; 2. Institute of Advanced Manufacturing Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China. Correspondent: XU Ci-jun, E-mail: xucijun818@163.com)

**Abstract:** Fusion-knowledge metric based on ontology is presented to control the scale of new knowledge causing by knowledge fusion. The compact degree between knowledge units is analyzed by using tacit relationship strength. Semantic relevancy is formulated based on the construction rule of lexical chains, and calculated with the semantic distance between ontology concepts. The semantic entropy is analyzed by using the maximum entropy model. The utility weight is studied by analyzing the effect of attribute value on fusion-knowledge. On the basis of the above analysis, the fusion-knowledge metric is formulated to guide the design of the knowledge fusion algorithm, and some properties of the fusion-knowledge metric, such as symmetry, determinacy, non-negativity and expansibility, are studied. Finally, the effectiveness of fusion-knowledge metric is demonstrated by an illustrative example, and the important effect of the fusion-knowledge metric on the knowledge evaluation mechanism is discussed.

**Key words:** ontology; fusion-knowledge metric; relationship strength; utility weight; semantic entropy

## 0 引言

知识融合是知识工程和知识管理的重要组成部分, 主要研究分布式知识库系统中知识的转换、集成和融合, 并产生新的知识<sup>[1]</sup>. 它是以知识科学和信息融合为基础的交叉学科, 主要以知识为研究对象. 目前, 知识融合领域的研究主要集中在体系结构和知识融合算法. Martens等<sup>[2]</sup>运用 AntMiner+ 算法实现知识分类, 主要采用了知识融合过程中软、硬约束的启发式值和决策表的方法, 但多源异构知识单元之间潜在的关系很难在融合之前确定其约束. Laskey等<sup>[3]</sup>提出

了一个 PR-OWL 概率本体的输入、存储和推理系统, 但没有研究知识共享过程、知识的准确性等评估指标, 因此, 基于概率本体的知识融合过程的不确定性还需要深入研究. 缙锦等<sup>[4]</sup>以语义相似度为融合准则提出了基于本体的遗传知识融合算法, 但该研究以知识的约简和重用为主要目标, 无法实现分布式异构知识库的知识融合. 韩立岩等<sup>[5]</sup>借鉴信息熵的概念, 提出了知识融合结果不确定性的预估方法, 并利用 D-S 证据理论进行知识融合, 但该预估方法中的基础概率分配仅考虑企业失败与否. 鲁惠民等<sup>[6]</sup>提出了语法相

收稿日期: 2013-06-16; 修回日期: 2013-09-06.

基金项目: 国家 863 计划项目(2008AA04Z113).

作者简介: 徐赐军(1979—), 男, 讲师, 从事数字化设计、知识工程的研究; 李爱平(1951—), 女, 教授, 博士生导师, 从事网络化制造、知识工程等研究.

似性、语义相似性和语用相似性知识元素概念间融合的指标,但该指标无法实现异构知识库新知识的获取.徐晓等<sup>[7]</sup>提出了基于“不可分辨-函数关系”的扩展粗糙集模型,实现了知识和数据挖掘相融合的建模方法,但该模型无法实现知识融合.郭强等<sup>[8]</sup>从知识融合应用领域、融合算法、融合等级、融合过程模型等方面进行了国内外研究的综述,揭示了融合知识有效性评价指标的研究还有待进一步深入.在知识融合的过程中,系统的知识向什么方向演变是无法预知的,因此,知识元素在融合过程中必须有一定的约束规则.文献<sup>[9]</sup>提出了基于本体的知识融合框架,并定义了融合知识测度指标,即度量各知识单元经过融合后所产生的新知识有效性的指标.

本文针对基于本体的知识表示方法,深入分析知识元素间的默认关系强度、语义熵和知识元素对权重等融合知识测度指标.最后,通过仿真实例表明了所提出指标的有效性,并进一步说明了融合知识测度在知识评价体系中的重要作用.

## 1 融合知识测度指标

### 1.1 关系强度

融合知识的关系强度是度量两个知识单元之间相互关联紧密程度的指标,不同知识单元之间的默认关系强度包含隐性关系强度和显性关系强度,且取值区间为 $[0, 1]$ .若两个知识元素之间的关系为隐性关系,则知识元素间的关系强度 $R_s$ 为1;若为显性关系,则其关系强度由知识元素间同义概念的属性值决定.当属性值是符号型时,若它们的属性值同义则定义关系强度 $R_s$ 为1,否则 $R_s$ 为0;当属性值是数值型时,关系强度 $R_s$ 由属性值的重叠度决定.例如,两个知识元素的属性值区间分别为 $[a, b]$ 和 $[c, d]$ ,且 $a < c < b < d$ ,则其关系强度 $R_s = (b - c)/(d - a)$ .根据关系强度的作用,融合知识应该满足:若在融合知识的所有默认关系集中存在关系强度 $R_{s_i} = 0$ 的默认关系,则包含此关系且由该关系知识单元中知识元素融合的知识无效.因此,当知识融合过程中存在多个默认关系时,融合知识的关系强度取默认关系集中最小的关系强度.

### 1.2 语义熵

词语间的相似性和相关性是度量词语关系的重要指标,它们存在密切的关系,但又是两个不同的概念.词语相似性反映的是词语之间的聚合特点,词语相关性反映的是词语之间的组合特点.因此,在知识融合过程中,词语相似性用于知识的分类、转换等操作;词语相关性用于知识元素的融合等操作,从而产生新知识.本文重点分析后者对知识融合的影响.

语义相关性在一定程度上取决于个体认知水平,具有很强的主观性,而领域本体主要由领域专家对概念及其关系等特性进行权威描述.因此,基于领域本体的语义相关度可以量化分析词语间客观存在的关系.

在词汇链构建的过程中,两个概念之间的路径方向最多只能改变一次,且在向上连接之前不能有其他形式的连接(水平连接和向下连接)<sup>[10]</sup>.在领域本体中,若两个概念之间确实无联系,则相关度为0;若两个概念之间存在直接声明的关系,则相关度为1;若两个概念通过本体关系属性发生某种联系,则相关度为 $(0, 1)$ .因此,将概念 $v_1, v_2$ 之间的相关度 $\text{Rel}(v_1, v_2)$ 定义为

$$\text{Rel}(v_1, v_2) = \frac{3}{(\alpha + 3)(n - \alpha + 1)}. \quad (1)$$

其中: $n$ 为本体中从 $v_1$ 到 $v_2$ 的语义距离长度; $\alpha$ 为两个概念之间路径方向改变的次数,一般取0或1,具体确定方法见文献<sup>[10]</sup>.将本文的相关度与文献<sup>[11]</sup>进行比较,结果如表1所示.

表1 相关度分析

语义相关性	直接相关	间接相关	直接继承相关	间接继承相关
文献 <sup>[11]</sup> 相关度	1	$\frac{1}{n+1}$	0.75	$\frac{3}{4(n+1)}$
本文相关度参数	$n=0$ $\alpha=0$	$n>0$ $\alpha=0$	$n=1$ $\alpha=1$	$n>1$ $\alpha=1$
本文相关度	1	$\frac{1}{n+1}$	0.75	$\frac{3}{4n}$

由表1可见,本文相关度具有如下特性:

$$\lim_{n \rightarrow 1, \alpha=1} \frac{3}{(\alpha + 3)(n - \alpha + 1)} = 0.75, \quad (2)$$

即直接继承相关到间接继承相关具有平缓的过渡,符合语义变化的规律.因此,式(1)满足文献<sup>[11]</sup>相关性分析的规律,且包含了其相关度的定义,从而表明了式(1)的有效性和可靠性.

根据知识元素概念的语义相关度分析,将所有知识元素融合构成的语义量度定义为语义熵<sup>[9]</sup>,有

$$H(p) = - \sum_{x,y} p(x,y) \log p(x,y), \quad (3)$$

其中 $(x, y)$ 为知识元素对.

本文以语义熵作为衡量一致性的标准,在限制条件下根据最大熵方法得到优化的概率形式为

$$p^*(x, y) = \frac{1}{Z(x, y)} \exp \sum_i \lambda_i f_i(x, y). \quad (4)$$

最大熵模型的特征函数为

$$f_i(x, y) = \begin{cases} \text{Rel}(x, y), & (x, y) \text{ 满足某些既定条件;} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

式(4)中:  $Z(x, y) = \sum_{x, y} \exp \sum_i \lambda_i f_i(x, y)$ ,  $\lambda_i$  为特征  $f_i$  的权重. 将概念来源、默认关系、路径变换等定义为特征空间, 结合一定量的训练样本可通过通用迭代缩放算法求解  $\lambda_i$ . 将各知识元素融合的最可能概率分布  $p^*(x, y)$  代入式(3)即可得到融合知识的语义熵.

### 1.3 知识元素对的权重

在不同的融合知识中, 各知识单元即使存在同一概念, 其属性值也可能不相同, 甚至是矛盾的, 且不同的属性值传递的信息也不一样. 因此, 在不同的融合知识中, 同一个知识元素的权重可能并不相同, 对知识融合的结果有很大的影响. 虽然知识元素在融合知识中的权重主要由领域专家根据知识元素的属性值确定, 但由于主动型的知识融合很少有专家直接参与, 此时的知识元素权重由其属性值在样本空间中的发生概率决定.

知识元素对的权重主要描述具体的融合知识中, 某对知识元素融合的意义在解决实际问题中给知识带来不确定性的相对重要程度. 由于知识元素对的权重与每个知识元素的权重密切相关, 知识元素对的权重定义为

$$w_{x, y} = \frac{w_x + w_y}{2}, \quad (6)$$

其中  $w_x$ 、 $w_y$  分别为知识元素  $x$ 、 $y$  的属性值效用权重系数, 且  $w_x \geq 1$ ,  $w_y \geq 1$ . 当  $w_x = 1$  或  $w_y = 1$  时, 表明知识元素的属性值不会增加新知识的不确定性, 即只考虑知识元素之间的语义关系带来的不确定性; 当  $w_x > 1$  或  $w_y > 1$  时, 表明知识元素的属性值会增加新知识的不确定性.

### 1.4 融合知识测度

同一知识单元中的各知识元素进行融合一定是有效的, 所以, 为了提高知识融合效率, 在融合知识测度指标量化过程中, 仅选择不同知识单元的知识元素进行融合. 综合融合知识的语义熵、知识元素间的关系强度和知识元素对的效用权重, 将融合知识测度定义为

$$FM = \frac{-\sum_{x, y} w_{x, y} p(x, y) \log p(x, y)}{\min_{i \in R} Rs_i}, \quad (7)$$

其中  $R$  为融合知识存在的默认关系集.

当  $FM = 0$  时, 表明融合知识除显性关系的知识元素外只包含一对知识元素, 且  $p(x_i, y_i) = 1$ , 即该融合知识是一定有效的; 当  $FM = \infty$  时, 表明融合知识的最小默认关系强度  $Rs = 0$ , 或某对知识元素的效用权重  $w_{x, y} = \infty$ . 若  $Rs = 0$ , 则表明知识元素的融合存在矛盾; 若  $w_{x, y} = \infty$ , 则表明融合知识中某对知识元素是完全无意义的. 所以, 当  $FM = \infty$  时, 融合的新知

识在现有条件下是错误的.

融合知识测度指标反映了新产生知识的混乱程度, 在知识融合过程中, 根据专家意见给定一个合适的阈值即可实现新产生知识规模的控制.

## 2 融合知识测度性质

知识融合在约束规则不强的条件下可能产生一个规模庞大的新知识集, 如何控制新知识规模是知识融合研究的一个重要内容. 基于本体的融合知识测度从融合知识的语义规范性、知识结构合理性和知识的有效性上提供了量化指标. 根据融合知识测度的指标分析可知, 语义熵以默认关系等为特征空间, 且知识元素对权重是在判断知识元素之间关系强度的基础上进一步判断其属性值在知识融合过程中的作用, 因此, 关系强度是知识融合的前提指标, 语义熵是知识融合的核心指标, 知识元素对权重是对知识融合过程的修正指标.

由于知识融合所获得的新知识未必包含所有的知识元素, 融合知识测度中  $\sum_{x, y} p(x, y) \leq 1$ , 与香农信息熵相比具有较好的一致性, 类似于信息熵, 同样具有以下性质:

#### 1) 对称性.

由加法交换律可知, 当融合知识中的两个知识元素的位置交换, 即式(7)  $-w_{x, y} p(x, y) \log p(x, y)$  项中的位置互换时, 其和值不变. 因为包含相同知识元素的关系强度不变, 所以融合知识测度也不变. 对称性表明融合知识测度与知识元素融合的顺序无关, 仅与融合知识包含的知识元素及其属性值相关, 其结构由知识融合规则决定.

#### 2) 确定性.

若融合知识中有一对知识元素必然出现, 即某对知识元素融合  $p(x_i, y_i) = 1$ , 则

$$-\sum_{x, y} w_{x, y} p(x, y) \log p(x, y) = 0.$$

当  $p(x_i, y_i) = 1$  时, 表明融合知识除显性关系的知识元素外只包含一对知识元素, 且各知识元素之间的关系为超强关系, 即关系强度为 1,  $FM = 0$ . 因为该对知识元素必然出现, 即无论属性值是什么, 该对知识元素都能与其他知识元素融合, 所以确定性表明包含必然出现的知识元素对的融合知识都是有效的.

#### 3) 非负性.

当式(7)中对数的底大于 1 时, 融合知识测度是非负的. 非负性表明融合知识不可能自己完善自己, 当融合知识测度很大时, 该新知识不确定性较大, 因此需要增强融合知识的默认关系或引入新的知识使其值降低, 从而增强知识的有效性.

4) 扩展性.

若在融合知识中添加关系强度不小于当前关系强度的显性关系元知识, 则新的知识测度值不变. 因为显性关系知识元素及其属性值与其他知识元素的融合都被视为有效, 即无需改变融合知识的语义熵, 而关系强度不小于当前关系强度, 所以根据式(7)可知融合知识测度值不变, 即该指标具有扩展性, 且新添加的知识元素对知识的有效性没有影响.

3 实例分析

产品开发过程新知识的产生往往可能隐藏着对过程改进的潜力, 但又会在开发过程中被忽略. 知识融合便是在知识层面上进行操作, 发现产品开发过程中新知识对原知识的影响, 产生潜在的、对原开发过程具有创新性改进的融合知识. 本文以如图 1 所示的本体结构挖泥船知识库和个人信息知识库为例, 阐明基于知识融合的开发过程改进.

目前, 挖泥船的强度分析主要采用有限元等分析手段, 但挖泥船在水上的工作环境非常恶劣, 难以获得挖泥船的仿真参数. 因此, 在挖泥船开发过程中, 希望采用虚拟样机技术对其进行动力学分析. 将用户的问题抽象成知识问题, 即为: (挖泥船, “抓斗式”), (分析内容, “动力学分析”). 但因为挖泥船虚拟样机的系泊系统和水作用的约束简化还未得到很好的解决, 所以基于虚拟样机技术的挖泥船动力学分析也无法顺

利进行. 该问题得以解决的突破点是人力资源对其约束简化模型的建立.

在产品开发过程中资源经常发生变化, 即导致资源信息的不断更新, 但复杂产品开发过程由多部门, 甚至异地资源组成的动态联盟来完成, 因此, 为了及时发现资源信息变化给开发过程带来的影响, 将“挖泥船”和“个人信息”构建成一对隐性关系, 如图 1 所示. 根据问题中的概念在知识库中搜索相关的知识, 通过知识融合方法得到新的知识. “挖泥船”与“个人信息”两个概念是问题给出的超强连接, 不属于概念路径方向的改变, 因此其语义相关度为 1.

为了表明知识融合促进产品开发过程改进的方法, 通过人机界面选取 3 个知识单元进行知识融合, 且采用文献[9]的元知识表示方法, 即(挖泥船, “抓斗式”), (定位系统, “绞车定位”), (分析对象, “船体”), (分析内容, “动力学分析”), (个人信息, “小蒋”), (分析对象, “船体”), (分析内容, “动力学分析”), (仿真软件, “ADAMS”), (个人信息, “小王”), (分析对象, “船体”), (分析内容, “有限元分析”), (仿真软件, “ANSYS”). 因此, 融合过程包括挖泥船、定位系统、分析对象、分析内容、个人信息和仿真软件 6 个知识元素. “小蒋”和“小王”分别为新引进的人才, 从知识库中抽取 1000 个相关知识作为训练样本, 令每个知识元素的权重为 1, 得到知识元素融合的参数如表 2 所示, 知识融合部分结果如表 3 所示.

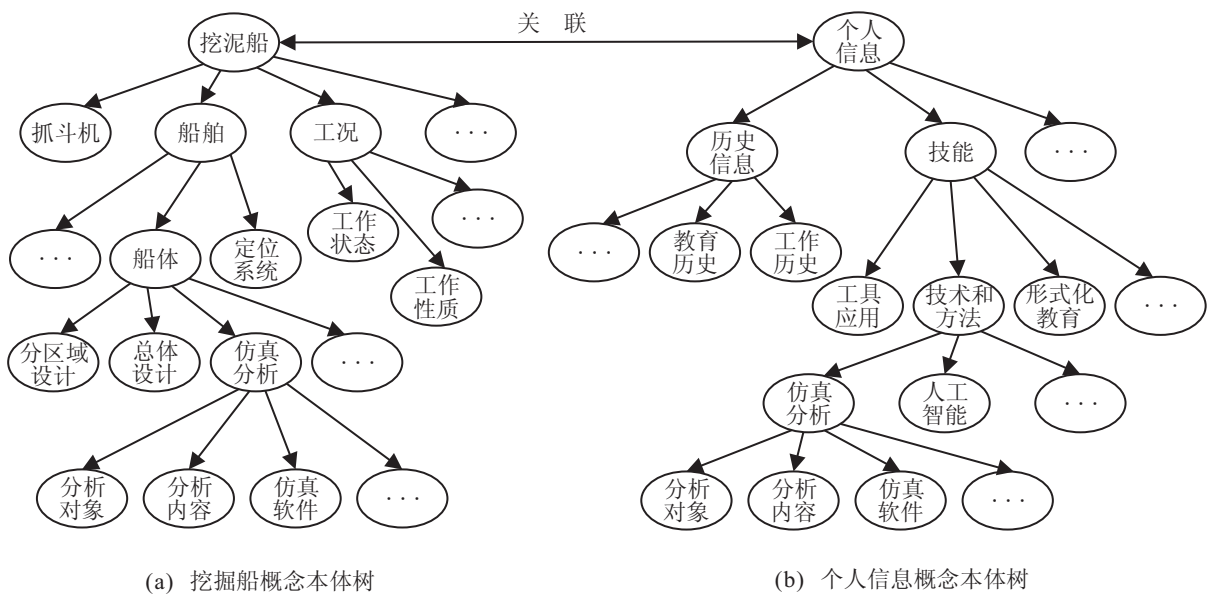


图 1 概念本体树

表 2 知识元素融合参数

知识元素	(挖泥船, 个人信息)	(挖泥船, 仿真软件)	(定位系统, 个人信息)	(定位系统, 仿真软件)
相关度	1	0.2	0.333	1
概率 $P(x, y)$	0.406	0.082	0.107	0.406

表3 知识融合结果

知识ID	融合知识	默认关系(强度值)	关系强度	语义熵(2为底)	测度
1	{(挖泥船,“抓斗式”),(分析内容,“动力学分析”), (仿真软件,“ADAMS”)}	分析内容(1)	1	0.296	0.296
2	{(挖泥船,“抓斗式”),(分析对象,“船体”), (仿真软件,“ANSYS”)}	分析对象(1)	1	0.296	0.296
3	{(挖泥船,“抓斗式”),(分析对象,“y船体”), (个人信息,“小王”)}	分析对象(1)	1	0.528	0.528
4	{(挖泥船,“抓斗式”),(分析内容,“动力学分析”), (个人信息,“小王”)}	分析内容(0)	0	0.528	$\infty$
5	{(定位系统,“绞车定位”),(分析对象,“船体”), (个人信息,“小王”)}	分析对象(1)	1	0.345	0.345
6	{(挖泥船,“抓斗式”),(分析对象,“船体”), (分析内容,“动力学分析”),(个人信息,“小王”)}	分析对象(1) 分析内容(0)	0	0.528	$\infty$
7	{(挖泥船,“抓斗式”),(定位系统,“绞车定位”), (分析对象,“船体”),(个人信息,“小蒋”), (仿真软件,“ADAMS”)}	分析内容(1)	1	1.697	1.697
8	{(挖泥船,“抓斗式”),(定位系统,“绞车定位”), (分析对象,“船体”),(分析内容,“动力学分析”), (个人信息,“小蒋”),(仿真软件,“ADAMS”)}	分析对象(1) 分析内容(1)	1	1.697	1.697

由表3可见,知识4是无效的,因为该知识包含“分析内容”的知识元素,无论其属性值是“动力学分析”还是“有限元分析”,在其相应的知识单元之间都是矛盾的,所以“挖泥船”不能通过“分析内容”与“小王”构成新知识,但可以通过“分析对象”构成新的知识(如知识3),即“小王”不能对挖泥船进行动力学分析,但由原知识可知它可以对挖泥船进行有限元分析.知识3和知识4表明,在知识元素之间的融合过程中,可以通过不同的默认关系构成不同的新知识,验证了表面上毫无关系的知识元素若在特定条件下也可以融合成有效的新知识,这为产品开发过程的改进提供了更多创新性改进.

知识8与知识7相比,前者加入了元知识分析内容“动力学分析”.由于该元知识与知识7所有元知识都分别具有同一个原知识,所以显性关系知识元素“分析内容”及其属性值“动力学分析”与其他知识元素融合都被视为有效.而知识元素“分析内容”在知识8中的关系强度为1,因此,知识8与知识7融合知识测度相等,体现了融合知识测度的扩展性.若加入的元知识是分析内容“有限元分析”,则该元知识与知识7其他部分元知识不具有同一个原知识单元,且在知识8中的关系强度为0,因此,此时的新知识与知识7的知识测度不相等.

根据用户的问题,在实际应用中将知识8转换成描述性的知识为:定位系统为绞车定位的抓斗式挖

泥船船体动力学分析可由小蒋采用ADAMS软件实现,因此,通过新引进资源的信息与原有知识融合发现基于虚拟样机技术的船体动力学分析也可以实现,即该产品开发过程得到进一步改进.基于虚拟样机技术的船体动力学分析有利于船体总布置的调整,各结构的强度分析(尤其抓斗机基座在动载荷下的强度分析)提高了挖泥船的设计质量和效率,由于设计返工的减少缩短了该产品的开发周期,降低了开发成本.开发过程中的知识融合能为开发过程的改进提供智力支持,同时验证了本文知识融合测度的有效性.

## 4 结 论

知识融合主要在知识层面上对分布式异构知识库进行知识发现和知识交互处理.为了解决知识融合的开放性、随机性给新知识带来规模庞大的问题,本文构建了基于默认关系强度、语义熵和知识元素对于权重的融合知识测度.根据专家的意见选取适当的融合知识测度阈值可以很好地控制新知识的规模,得到更加理想的知识.通过实例计算表明,该指标能表明知识元素之间的关系紧密程度,保证新知识的有效性.根据融合知识测度非负性分析可知,在后续的研究中,可以构建内知识熵和外知识熵流的平衡方程,利用知识的评价机制引入外知识熵流使融合知识测度减小,即融合知识得到进一步的完善.因此,融合知识测度不仅是融合算法的一个基础,而且是知识评价体系的一个重要组成部分.

## 参考文献(References)

- [1] Deng Y, Shi W K. Experts' knowledge fusion in model-based diagnosis based on Bayes networks[J]. *J of Systems Engineering and Electronics*, 2003, 14(2): 25-30.
- [2] Martens D, Backer M D, Haesen R, et al. Ant-based approach to the knowledge fusion[C]. LNCS 4150: Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence-5th Int Workshop. Berlin: Springer, 2006: 84-95.
- [3] Laskey K B, Costa P C G, Janssen T. Probabilistic ontologies for knowledge fusion[C]. *The 11th Int Conf on Information Fusion*. Piscataway: IEEE, 2008: 1-8.
- [4] 缙锦, 杨建刚, 蒋云良, 等. 基于元信息和本体论的知识融合算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2006, 18(6): 819-823.  
(Gou J, Yang J G, Jiang Y L, et al. Knowledge fusion system based on meta-information and ontology[J]. *J of Computer-aided Design and Computer Graphics*, 2006, 18(6): 819-823.)
- [5] 韩立岩, 周芳. 基于D-S证据理论的知识融合及其应用[J]. *北京航空航天大学学报*, 2006, 32(1): 65-68.  
(Han L Y, Zhou F. Knowledge fusion based on D-S evidence theory and its application[J]. *J of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2006, 32(1): 65-68.)
- [6] 鲁慧民, 冯博琴, 李旭. 面向多源知识融合的扩展主题图相似性算法[J]. *西安交通大学学报*, 2010, 44(2): 20-24.  
(Lu H M, Feng B Q, Li X. Novel similarity algorithm of extended topic maps for multi-resource knowledge fusion[J]. *J of Xi'an Jiaotong University*, 2010, 44(2): 20-24.)
- [7] 徐晓, 翟敬梅, 刘海涛, 等. 制造决策的知识融合粗糙集模型[J]. *华南理工大学学报: 自然科学版*, 2011, 39(8): 36-40.  
(Xu X, Zhai J M, Liu H T, et al. A knowledge-based rough set model for manufacturing decision[J]. *J of South China University of Technology: Natural Science Edition*, 2011, 39(8): 36-40.)
- [8] 郭强, 关欣, 曹昕莹, 等. 知识融合理论研究发展与展望[J]. *中国电子科学研究院学报*, 2012, 7(3): 252-257.  
(Guo Q, Guan X, Cao X Y, et al. The development and overview of knowledge fusion theory research[J]. *J of CAEIT*, 2012, 7(3): 252-257.)
- [9] 徐赐军, 李爱平, 刘雪梅. 基于本体的知识融合框架[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010, 22(7): 1230-1236.  
(Xu C J, Li A P, Liu X M. Ontology-based knowledge fusion framework[J]. *J of Computer-aided Design and Computer Graphics*, 2010, 22(7): 1230-1236.)
- [10] Hirst G, Stonge D. Lexical chains as representations of context for the detection and correction of malapropisms[R]. Cambridge: The MIT Press, 1995: 4-6.)
- [11] 生佳根, 刘思峰. 一种基于本体的关联规则挖掘方法[J]. *南京理工大学学报*, 2008, 32(4): 401-405.  
(Sheng J G, Liu S F. Ontology-based method for mining association rules[J]. *J of Nanjing University of Science and Technology*, 2008, 32(4): 401-405.)

(责任编辑: 郑晓蕾)