

基于扩展模糊描述逻辑的软件数值模型

李 莉

(武汉数字工程研究所 武汉 430074)

摘 要 表示复杂的数值关系是软件建模的难点;直接表示复杂的数值关系会导致极高的软件模型推理复杂性。提出采用模糊函数近似表示复杂数值关系,然后将扩展模糊描述逻辑作为软件模型形式化基础的软件模型建模框架,该框架包含 3 个核心问题:软件数值域模糊化、软件数值知识库构造和软件数值模型推理。在软件数值域模糊化方面提出模糊化方法和保证充分性的近似原则;在软件数值知识库构造方面讨论在模糊概念的基础上生成截集概念、构造声明和术语公理的步骤和过程;在软件数值模型推理方面研究算法设计优化和分割等算法实现机制。

关键词 软件,模型,语义,描述逻辑

中图法分类号 TP31 **文献标识码** A

Numerical Modeling for Software Based on Extended Fuzzy Description Logic

LI Li

(Wuhan Digital Engineering Insititute, Wuhan 430074, China)

Abstract How to present complex numerical relations is difficult in software modeling, since accurate complex numerical relations representation always leads to high complexity in software model reasoning. This paper pointed out an extended fuzzy description logic based framework to approximately represent numerical relations by comparisons over fuzzy functions, which contains three core modules: fuzzification from software numerical domain to fuzzy domain, construction of software numerical knowledge bases (SNKBs) and reasoning with SNKBs. This paper gave some common fuzzification functions and two fuzzification principles to guarantee sufficiency, talked about construction steps and procedures of cut concepts, assertions and inclusions in SNKBs, and discussed some implementation mechanisms in design, optimization and segmentation of reasoning algorithms.

Keywords Software, Model, Semantics, Description logic

1 引言

随着 Web 信息的不断增长, Web 规模不断扩大, 传统 Web 信息难以自动处理, 缺乏有效利用以及 Web 服务的异构等一些问题日益凸显。近年提出的语义 Web^[1] 分离文档含义与文档结构通过标注赋予文档以机器可理解的语义, 进而支持机器对于 Web 数据的智能处理。语义 Web 的核心目标是准确表示 Web 数据的语义知识。本体^[2] 正是描述语义 Web 中语义知识的建模手段, 它形式化定义了领域内共同认可的知识, 被视为语义 Web 体系的核心。本体的构建、共享以及修改过程中都迫切需要一种基于形式化语义的通用本体语言, Baader 等明确指出描述逻辑可以作为语义 Web 的本体语言, 为语义 Web 提供必要的逻辑基础^[3]。当前的本体语言普遍将描述逻辑作为语言的逻辑基础; 当前的本体语言 OWL 2 等价于描述逻辑 SROIQ^[4]。

随着本体和描述逻辑研究的兴起, 研究者在相关的知识表示建模领域内进行了一系列基于本体和描述逻辑的研究。董明楷等在动态描述逻辑的基础上, 提出了一种智能主体的心智状态模型^[5], 该模型利用动态描述逻辑作为描述动态和

静态信息的统一形式化框架。蒋运承等通过分析描述逻辑 ALNUI 与 ER 模型的关系, 提出将 ER 模型转化为 ALNUI 知识库的转化方法, 从而利用 ALNUI 的推理算法证明 ER 模型进行自动推理的有效性; 他们进一步针对模糊 ER 模型的特点和需求, 对描述逻辑 ALNUI 进行了模糊化扩展, 提出了一种新的描述逻辑: 模糊描述逻辑 FALNUI^[6]。何坚等应用本体论对电子商务知识建模, 提出电子商务知识描述的分层框架, 结合描述逻辑、框架系统设计了基于 XML 和本体论技术的电子商务知识描述语言(KDL)^[7]。梁晟等分析了描述逻辑表示能力的不足(描述逻辑主要表示对象和类的层次结构, 但规则的表达能力弱), 设计了一种新的语义 Web 规则标记语言 OWLRule+^[8]; 其语法扩展了 OWL, 语义基于 CARIN (结合描述逻辑和 Horn 规则的表示语言), 并设计实现了基于 Jess 的规则推理机。左志宏等提出一种基于描述逻辑 SHIQ 的网络资源自动分类方法: 在构建网络资源知识库的基础上, 利用描述逻辑完备和正确的推理算法对网络资源进行分类^[9]。常亮等从描述逻辑 ALCQIO 出发构建新的时序动态描述逻辑 TDALCQIO, 给出了 TDALCQIO 的 Tableau 判定算法, 并证明了算法的可终止性和正确性^[10]。该时序动

到稿日期: 2012-02-20 返修日期: 2012-07-20 本文受某国防预研基金资助。

李 莉(1971—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为舰船电子工程, E-mail: 13807117260@139.com。

态描述逻辑 TDALCQIO 将描述逻辑、动作理论以及动态逻辑和分支时序逻辑等有机地结合起来,可以对整个动态领域的动态特征和时序特征进行刻画和推理,并且在推理时保持了可判定性特征,提供了一种对语义 Web 服务进行建模和推理的途径。

由于描述逻辑具有通用表示形式、形式化语义以及成熟的推理算法和系统等优点,研究者也将其引入软件领域进行软件语义的建模。贾育等采用描述逻辑表达基于构件的软件开发范型中的语义内容,从而解决构件模型语义表示方法的难点^[11]。文献[11]中提出构件语义体概念和特征空间的形式化方法,为构件复用的自动化和工程化提供了一种有效的解决途径。张大鹏等提出一种基于主体(Agent)的网构软件设计方法 ABDPI,该方法通过动态描述逻辑 DDL 描述网络软件的运行状态,在网构软件运行时能够通过系统观测和 DDL 推理机动态地诊断出故障^[12]。刘磊等提出输出分解匹配度和服务关联图等概念,进而研究一种基于描述逻辑的 Web 服务动态组合算法,该算法可以自动地根据用户的服务请求实现服务的动态组合^[13]。牟向伟等使用模糊描述逻辑对个性化推荐系统中的模糊语义信息建模,进而建立模糊语义推荐系统模型,并采用模糊具体域来实现概念层次关系在兴趣程度和关联程度上的传递^[14]。

在当前基于描述逻辑的语义建模领域中,研究者关心的核心问题是基于描述逻辑的语义模型的表示能力和推理复杂度。由于软件系统的复杂性,研究者倾向于采用一些复杂的描述逻辑来表示软件系统,但复杂描述逻辑带来的模型推理的代价也不断提高,从而制约复杂描述逻辑在软件建模中的应用。处理数值计算是软件系统中的一个主要功能,但对于数值计算的表示和推理在描述逻辑上是一个难点:支持数值运算“加法”和“乘法”的 Product 描述逻辑扩展已被证明是不可判定的^[15];支持“加法”的 Lukasiewicz 描述逻辑扩展也被证明在某些特定域上是不可判定的^[16]。因此基于描述逻辑的软件模型中对于数值约束的表示和推理研究的较少。本文提出一种基于支持模糊隶属度比较的扩展模糊描述逻辑^[17]的表示数值约束的软件模型,并提出相应的建模框架,该方法的主要思想是利用模糊隶属度比较来描述软件运行中数值间的大小比较关系,规避采用直接运算(如加法乘法等)描述所产生的高推理复杂度,通过描述逻辑支持的推理机制来检查当前的软件运行时数值状态是否满足数值间的大小约束,进而验证软件运行的正确性。

2 基于描述逻辑的软件数值模型

本文约简扩展模糊描述逻辑 FCALCN^[17],形成它的子语言 FCALC 作为软件数值模型的逻辑基础。FCALC 与 FCALCN 相比,主要在以下两方面做了约简:

1. 由于软件建模中较少应用到数量约束关系,因此去除 FCALCN 中的数量约束关系算子(N);

2. 去除 FCALCN 中具有全局约束性质的变量(在截集中用? 指代)比较形式,该性质导致推理算法在复杂的知识库上实现比较困难(由于支持变量形式,文献[17]的算法只能应用在有限制的知识库上)。

2.1 FCALC 的语法与表示能力

令 N_C 、 N_R 和 N_I 为 3 个互不相交可数集,分别表示概念

名集、关系名集和个体名集, n 是区间 $[0,1]$ 上的模糊隶属度($n \in [0,1]$),操作符 $\triangleright \triangleleft \in \{\geq, \leq, >, <\}$ 。FCALC 通过模糊隶属度和实数间的比较、不同模糊概念间的模糊隶属度比较以及不同个体间的模糊隶属度比较来生成相应的截集。

1. 数值比较截集 $[A \triangleright \triangleleft n]$:描述模糊概念 $A(A \in N_C)$ 隶属度和实数 n 间的比较,该截集实际上指代对应模糊概念 A 的 $\triangleright \triangleleft n$ 截集 $\{x | A(x) \triangleright \triangleleft n\}$ 。如截集 $[Young \geq 0.6]$ 描述了属于模糊概念 Young 的隶属度大于 0.6 的人的集合,表示比较年轻的人群。

2. 概念比较截集 $[A \triangleright \triangleleft B]$:描述两模糊概念 A 和 B ($A, B \in N_C$) 的模糊隶属度的大小比较关系,该截集指代属于模糊概念 A 和 B 的隶属度间存在 $\triangleright \triangleleft$ 约束的个体集合 $\{x | A(x) \triangleright \triangleleft B(x)\}$ 。如描述爱猫胜过爱狗的人可用截集 $[Love-cat > Love-dog]$ 表示,其中 Love-cat 和 Love-dog 是描述爱猫和爱狗程度的模糊集。

3. 个体比较截集 $[A \triangleright \triangleleft a]$ 描述其他个体与特定个体 $a(a \in N_I)$ 在模糊集 A 上的模糊隶属度比较,该截集指代 $\{x | A(x) \triangleright \triangleleft a\}$ 。如描述比 Tom 更爱猫的人可用截集 $[Love-cat > Tom]$ 表示。

以上的 3 种截集构成 FCALC 逻辑体系的基本原子概念,扩展模糊描述逻辑 FCALC 通过支持的逻辑构造子递归构造新的概念:

$$C := [A \triangleright \triangleleft n] | [A \triangleright \triangleleft B] | [A \triangleright \triangleleft a] | \\ \rightarrow C | C \sqcup D | C \sqcap D | \forall R. C | \exists R. C$$

式中, R 是关系截集: $R = [P \triangleright \triangleleft n]$, $P \in N_R$, $\triangleright \triangleleft \in \{>, \geq\}$ 。

2.2 FCALC 知识库表示的软件数值模型

FCALC 的知识库由术语公理集 TBox $\mathcal{T}$ 和声明公理集 ABox $\mathcal{A}$ 组成: $\mathcal{K} = \langle \mathcal{T}, \mathcal{A} \rangle$ 。

表 1 FCALC 的知识库的组成

TBox $\mathcal{T}$	概念术语公理 $C \sqsubseteq D$
ABox $\mathcal{A}$	模糊概念声明 $a : C$
	模糊关系声明 $\langle a, b \rangle : R$

表 1 中给出知识库 $\mathcal{K}$ 中公理和声明的语法语义形式:表中 C 和 D 是概念, R 是关系, a 和 b 是个体。

在基于 FCALC 的软件数值模型中,利用 TBox 中的概念术语公理来描述软件模型中概念间的蕴含关系。概念实际上是截集,截集下标中包含相应的隶属度信息,概念术语公理实际上表示了数值间的比较关系。如处理人群年龄的软件需判断个人属于年龄大(Old)和年龄很大(Very-Old)的隶属度,当 TBox 中存在概念术语公理

$$[Very-Old \geq 0.7] \sqsubseteq [Old \geq 0.9]$$

时,该术语公理也描述两模糊概念 Very-Old 的 0.7 和 Old 的 0.9 隶属度上的约束。

利用 ABox 中的声明来描述具体软件执行片段中的具体软件数值上的属于关系。如描述个体 a 的年龄很大,可以用以下的声明表示:

$$a : [Old \geq 0.9]$$

建立的软件数值模型的正确性可用相对应的 FCALC 知识库的语义可满足性来验证。语义可满足性由知识库是否存在满足语义约束的解释来定义:解释满足公理(声明),当且仅当解释满足公理(声明)对应的语义约束。解释满足一个 TBox 或(ABox),当且仅当满足其中所有公理(声明)。解释

满足知识库当且仅当解释满足知识库的 TBox 和 ABox。从软件的角度看, TBox 中的概念术语公理实际描述了较高层次的程序执行中的数值约束, 它对应软件运行中可能出现的所有数值状态集合, 而 ABox 中的声明实际描述了当前的数值状态。判断知识库是否可满足实际上是判断当前的数值状态是否在 TBox 描述的可能数值状态空间中, 如是, 则返回知识库可满足; 否则, 返回不可满足。

3 基于描述逻辑的软件模型建模框架

基于描述逻辑的软件模型建模框架力图将软件所关注的数值域映射到模糊隶属度区间 $[0, 1]$, 采用模糊隶属度比较生成的截集来描述对应的数值间比较关系, 建立 FCALC 知识库表示的软件数值模型, 并通过软件数值模型推理来检验当前的软件状态是否正确。整个框架可以大致分成以下 3 个部分: (1) 软件数值域模糊化模块, 该模块将软件数值域模糊到 $[0, 1]$; (2) 软件数值模糊知识库构造模块, 该模块从当前的模糊域中构造新的比较截集并发现新的截集上术语公理和声明; (3) 软件数值模型推理模块, 该模块处理知识库上推理的算法实现、优化和局部推理等。

3.1 软件数值域模糊化

由于软件关注的数值域与软件的应用领域相关, 而框架采用的扩展模糊描述逻辑是基于区间 $[0, 1]$ 的, 因此在扩展模糊描述逻辑上表示软件数值域上数值间的约束, 需要定义软件数值域 D 到 $[0, 1]$ 的映射 $F_1: D \rightarrow [0, 1]$ 。

常用的模糊化函数包括图 1 中表示的左半梯形、右半梯形和梯形 3 种函数, 绝大多数的模糊化函数都是以上 3 种函数的特例或线性叠加, 如三角隶属度函数和凸型隶属度函数是梯形隶属度函数的特例, 折叠函数等复杂函数可由以上 3 种隶属度函数叠加而成。

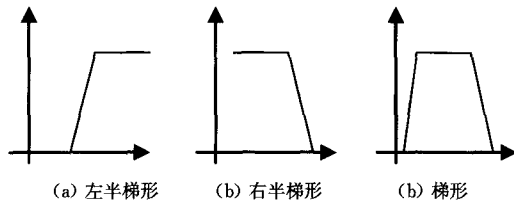


图 1 常用的模糊化函数

例如在年龄域 $[20, 80]$ 上, 可由以下半梯形函数构成模糊概念年轻(Young):

$$Young(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 25 \\ (45-x)/20, & 25 < x < 45 \\ 0, & x \geq 45 \end{cases}$$

一些原软件数值域上的数值函数, 在新的论域上需要近似地保留, 但为保证推理的可行性, 需要对其中较复杂的数值函数用以上 3 种隶属度函数近似表示。该近似的逻辑支持是在 FCALC 体系中仅能表示隶属度函数间的大小比较关系, 因此其他较为复杂的数值关系无法表示, 或者即使表示也无法增加推理的精确性。这里提出两条保证充分性的近似原则:

1. 原函数和近似函数间保持数值间大小关系不变: 如设原函数为 f , 近似函数为 f^* , 若原论域 D 上点 $x, y, f(x) > f(y)$, 则近似函数 f^* 仍满足二者间的大小关系;
2. 原函数和近似函数的顶点位置不变;

如较复杂的 Sin 或 Cos 函数可用形状类似的三角隶属度函数 Triple 来代替, 只要能满足以上的映射约束就可视为原函数和近似函数间映射是充分的。

3.2 软件数值知识库构造

软件数值知识库构造包括生成截集概念、构造声明和术语公理等 3 方面。

1. 生成新的截集概念: 根据已生成的模糊函数, 可以进一步构造新的截集概念。如根据已生成的模糊函数年轻(Young), 可以构造很年轻(VeryYoung):

$$VeryYoung \equiv [Young \geq 0.9]$$

即 VeryYoung 是 Young 的 0.9 截集。再如, 存在两个隶属度函数年轻(Young)和年老(Old), 可构造中青年(MiddleYoung):

$$MiddleYoung \equiv [Young > Old]$$

即一个人属于年轻的隶属度大于他属于年老的隶属度, 就定义该人属于中青年。在较复杂的数学计算中, 也可通过这种方式定义新的概念, 如已定义 C 表示角度区间 $[0, 90]$, 那么可用以下方式定义 C 的子区间 $[45, 90]$ (用 D 表示):

$$D \equiv C \cap (\sin^* \geq \cos^*)$$

式中, $\sin^*$ 和 $\cos^*$ 是近似后的隶属度函数。注意, 由于近似的两条充分性原则, 显然原来的 $\sin$ 和 $\cos$ 的大小比较关系在 $\sin^*$ 和 $\cos^*$ 上仍然存在, 所以在区间 $[0, 90]$ 上且满足 $\sin$ 值大于 $\cos$ 值的角度区间就是 $[45, 90]$ 。

2. 生成新的声明: 关注关键的数值点, 讨论关键数值点和生成的截集概念间是否存在属于关系, 如在 $\sin^*$ 和 $\cos^*$ 上, 区间 $[0, 90]$ 上的关键有 45 度角, 显然在 45 度角上满足隶属度 $\sin^*(a_{45}) = \cos^*(a_{45})$, 设 a_{45} 是指代 45 度的个体。因此需要加入声明:

$$a_{45} \in (\sin^* \leq \cos^*) \cap (\sin^* \geq \cos^*)$$

3. 生成新的术语公理: 术语公理的生成比声明复杂得多, 主要原因在于声明仅需在声明中的个体上成立即可, 而术语公理需在整个论域中都成立。生成术语公理需从领域知识出发, 结合模糊逻辑的表示特征, 具体包括发现和验证两个步骤。仍考察 $C = [0, 90]$ 和其上的函数 $\sin^*$ 、 $\cos^*$ 、 $\tan^*$ 和 $C\tan^*$, 由截集

$$C \cap (\sin^* \geq \cos^*)$$

表示区间 $[45, 90]$, 且在区间上 $\tan^* \geq C\tan^*$, 则

$$C \cap (\sin^* \geq \cos^*) \equiv C \cap (\tan^* \geq C\tan^*)$$

容易验证该术语公理在论域中都成立。

3.3 软件数值模型推理

软件数值模型推理主要处理推理算法设计、推理算法优化和推理分割机制。

1. 推理算法设计: 模糊推理主要转化为描述逻辑 FCALC 的 Tableau 推理算法实现, 算法从根节点出发, 应用扩展规则增加节点 x 的标记集 $L(x)$ 和生成新的节点, 直到没有扩展规则可以应用时终止, 算法检查此时是否存在无错的 Tableau 分支, 如存在, 则返回知识库可满足。由于文献[17]中的算法只能处理不含 TBox 的知识库, 因此这里算法增加处理 TBox 的功能。由于在 TBox 出现的截集实际就是经典集合, 因此引入经典描述逻辑处理 TBox 的方法^[18], 增加处理 TBox 的知识库规则如下。

(下转第 157 页)

- [8] 金华,刘善成,鞠时光. 面向多敏感属性医疗数据发布的隐私保护技术[J]. 计算机科学,2011,38(12):171-177
- [9] Barak B, Chaudhuri K, Dwork C, et al. Privacy, accuracy, and consistency too: a holistic solution to contingency table release [C]//PODS'07. Beijing, China: Association for Computing Machinery, Inc, 2007:273-282
- [10] Dwork C. Differential privacy: A survey of Results [C]//TAMC'08. Xi'an, China: Pringer-Verlag, 2008:1-19
- [11] Dwork C, McSherry F, Nissim K, et al. Calibrating noise to sensitivity in private data analysis[C]//TCC'06. New York, NY, USA: Springer, 2006:265-284
- [12] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on

Large Clusters[J]. Communications of the ACM, 2008, 1(51): 107-113

- [13] 刘欣阳, 王国仁, 乔百友, 等. 决策树的并行训练策略[J]. 计算机科学, 2004, 31:129-130, 135
- [14] Satuluri V. A survey of parallel algorithm for classification[J]. the International Parallel Processing Symposium, 2007, 2(21): 1233-1245
- [15] McSherry F. Privacy integrated queries [J]. Communications of the ACM, 2010, 9(53):89-97
- [16] McSherry F, Talwar K. Mechanism design via differential privacy[C]//FOCS'07. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007:94-103

(上接第 120 页)

知识库规则:

条件:在 TBox 中存在 $C \sqsubseteq D$ 操作:

操作: $L(x) = L(x) \setminus \{ \neg C \sqsubseteq D \}$

2. 推理算法优化:由于算法采用深度优先的策略进行生成,算法执行时的最大深度为知识库规模的指数,因此推理算法的执行耗费很大,需要进行一系列的优化。主要的优化包括:a)设计存储比较结果的数据结构,因为在算法中不需要关心具体的数值,仅需要关心数值间的大小比较,所以在算法初始化阶段就将所有出现的数值比较一次,在后续的计算过程中不再重复比较;b)算法中已经遍历过的标记集 $L(x)$ 可能在后续被再次检查,因此在算法中保留全局的标记集寄存集合,若该标记集 $L(x)$ 被检查过就将该集合放入标记集寄存集合。

3. 推理分割机制:由于算法的复杂度较高,执行一次全局知识库的推理耗费很大,因此可以将全局的大知识库 $\mathcal{K} = \langle \mathcal{T}, \mathcal{A} \rangle$ 分成小的局部知识库:

$$\mathcal{K}_1 = \langle \mathcal{T}_1, \mathcal{A}_1 \rangle; \mathcal{K}_2 = \langle \mathcal{T}_2, \mathcal{A}_2 \rangle; \dots; \mathcal{K}_n = \langle \mathcal{T}_n, \mathcal{A}_n \rangle$$

式中, $\mathcal{T}_i \subseteq \mathcal{T}$, $\mathcal{A}_i \subseteq \mathcal{A}$, $1 \leq i \leq n$ 。通过对局部知识库的检查获得全局知识库的近似结果,如果局部知识库不可满足,全局知识库也不可满足;但反之不成立,因此该方法是查错的不保真的方法。但由于原算法的复杂很高,局部推理的代价将远远小于全局推理,因此该分割机制能极大地降低推理的耗费。

结束语 本文分析当前基于描述逻辑的软件建模中的现状和问题;对于复杂的数值间关系,描述逻辑直接表示会导致极高的推理复杂性甚至推理问题不可判定。为解决该问题,本文提出一种模糊近似化软件数值域,然后将扩展模糊描述逻辑作为软件模型的形式化基础的软件模型建模框架,讨论了框架的 3 个核心问题:软件数值域模糊化、软件数值知识库构造和软件数值模型推理;研究解决了 3 个核心问题的方法和步骤。未来工作包括对现有的描述逻辑体系增加支持动态特性的逻辑组件,构建更具表示能力和推理能力的软件模型。

参 考 文 献

- [1] Berners-Lee T, et al. The Semantic Web [J]. Scientific American, 2001, 284(5):34-43
- [2] Horrocks I, et al. Reducing OWL entailment to description logic satisfiability [J]. Journal of Web Semantics, 2004, 1(4):345-357
- [3] Baader F, et al. Description logics as ontology languages for the

semantic Web[J]. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2005, 2605:228-248

- [4] <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- [5] 董明楷,等. 基于动态描述逻辑的主体模型[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(5):780-786
- [6] 蒋运承,等. 基于描述逻辑的模糊 ER 模型[J]. 软件学报, 2006, 17(1):20-30
- [7] 何坚,等. 面向电子商务的知识描述语言[J]. 中文信息学报, 2004, 18(6):37-42
- [8] 梁晟,等. 语义 Web 规则标记语言 OWLRule+ 的设计与实现 [J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(7):1088-1096
- [9] 左志宏,等. 描述逻辑 SHIQ 与网络资源自动分类[J]. 通信学报, 2004, 25(7):200-206
- [10] 常亮,等. 可判定的时序动态描述逻辑[J]. 软件学报, 2011, 22(7):1524-1537
- [11] 贾育,等. 基于领域特征空间的构件语义表示方法[J]. 软件学报, 2002, 13(2):311-316
- [12] 张大鹏,等. 一种基于主体的可信网构软件设计方法[J]. 电子学报, 2010, 38(11):2523-2528
- [13] 刘磊,等. 一种基于描述逻辑的 Web 服务动态组合算法[J]. 吉林大学学报:理学版, 2008, 46(2):259-264
- [14] 牟向伟,等. 基于模糊描述逻辑的个性化推荐系统建模[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(4):1429-1433
- [15] Baader F, et al. GCI's Make Reasoning in Fuzzy DL with the Product T-norm Undecidable[C]//Rosati R, Rudolph S, Zakharyashev M, eds. Proceedings of the 24th International Workshop on Description Logics (DL 2011). volume 745 of CEUR-WS, Barcelona, Spain, 2011
- [16] Borgwardt S, et al. Fuzzy ontologies over lattices with t-norms [C]//Rosati R, Rudolph S, Zakharyashev M, eds. Proceedings of the 24th International Workshop on Description Logics (DL 2011). volume 745 of CEUR-WS, Barcelona, Spain, 2011
- [17] 康大周,等. 支持模糊隶属度比较的扩展模糊描述逻辑[J]. 软件学报, 2008, 19(10):2498-2507
- [18] Horrocks I, et al. A tableaux decision procedure for SHOIQ[C]//Proceedings of Nineteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Edinburgh, Scotland, UK, 2005