

动态描述逻辑的可拓集合扩展

王 静 张健沛 杨 静 程丽丽

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘 要 通过对可拓集合与经典集合、模糊集合的分析比较,说明可拓集合的特点和优点,用可拓集合代替经典集合或模糊集合作为动态描述逻辑 DDL 的集合论基础,对 DDL 进行扩展,生成了一种新的描述逻辑 DDL_{ES},并给出了 DDL_{ES} 中概念、关系和实例的描述形式以及它们的语义解释,最后对传统描述逻辑 ALC、模糊 DDL 和 DDL_{ES} 中的 Abox 形式进行了比较。

关键词 可拓集合,动态描述逻辑,经典集合,模糊集合

中图法分类号 TP18 **文献标识码** A

Extension of Dynamic Description Logic Based on Extension Set

WANG Jing ZHANG Jian-pei YANG Jing CHENG Li-li

(School of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract The advantages and characteristics of extension set were presented by comparing extension set with classical set and fuzzy set, and the extension set was introduced as the set theory foundation of dynamic description logic DDL replacing classical set and fuzzy set to extend DDL, and a new kind of description logic DDL_{ES} was proposed, the description form and the semantic explanation of concept, role, instance were given. At last the comparison between the form of Abox in ALC, Fuzzy DDL and DDL_{ES} was discussed.

Keywords Extension set, Dynamic description logic, Classical set, Fuzzy set

1 引言

可拓集合论^[1]是可拓学的理论支柱之一,是传统集合论的一种开拓和突破,它的概念是在经典集合和模糊集合的基础上提出的。由于经典集合和模糊集合都不研究带有矛盾前提的逻辑,因此,很多矛盾问题无法用数学方法描述,也就导致无法用数学方法去解决,所以必须发展经典集合和模糊集合,研究新的集合理论。

文献[2]中用一元组建立了可拓集合的初步定义;文献[3]引进了可拓变换,用二元组来规定可拓集合,并定义了可拓集合的正域、负域、零界、可拓域、稳定域等;用两个定义一起来描述元素的可变性及量变和质变的过程,难以从可拓集合直接反映出“是”与“非”相互转化的形式化描述,而且文献[3]中定义的变换只是对元素的变换,所以文献[4,5]中又将变换扩展为对关联函数或对论域的变换。

本文根据可拓集合的定义将可拓集合与经典集合和模糊集合进行了比较,并用它代替经典集合和模糊集合作为描述逻辑(description logic, DL)的集合论基础,对描述逻辑中的概念、关系和实例进行语义解释,最后分别对经典集合、模糊集合、可拓集合解释下的传统描述逻辑^[6]、模糊动态描述逻辑^[7]以及可拓描述逻辑的 Abox 形式进行了分析对比。

2 可拓集合

可拓集合是为了描述事物的动态分类而提出的,它可以定量地描述事物“是”与“非”的相互转化及量变和质变的过程。可拓集合的可拓域和关联函数使可拓集合具有层次性与可变性,从而为研究矛盾问题奠定了基础。

2.1 可拓集合的定义

定义 1 设 U 为论域, k 是 U 到实域 $(-\infty, +\infty)$ 的一个映射, $T = (T_U, T_k, T_u)$ 为给定的变换,称

$$\tilde{E}(T) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U$$

$y = k(u) \in (-\infty, +\infty), y' = T_k k(T_u u) \in (-\infty, +\infty)\}$ 为论域 U 上的一个可拓集合, $y = k(u)$ 为 $\tilde{E}(T)$ 的关联函数, $y' = T_k k(T_u u)$ 为 $\tilde{E}(T)$ 的可拓函数。其中 T_U 表示对论域 U 的变换, T_k 为对关联函数 k 的变换, T_u 为对元素 u 的变换。这里规定:当 $u \in T_U U - U$ 时, $y = k(u) < 0$ 。

当 $T_U = e, T_k = e, T_u = e$ 时,记 $\tilde{E}(e) = \tilde{E} = \{(u, y) \mid u \in U, y = k(u) \in (-\infty, +\infty)\}$,称为静态可拓集合,它把可拓集合划分为 3 部分:

$$E = \{(u, y) \mid u \in U, y = k(u) \geq 0\}$$

称为 \tilde{E} 的正域;

$$\bar{E} = \{(u, y) \mid u \in U, y = k(u) \leq 0\}$$

到稿日期:2008-04-28 本文受国家自然科学基金项目(60673131),黑龙江省自然科学基金项目(F2005-02),“东西分析”学术创新奖学金资助。

王 静 博士研究生,研究领域为可拓学、描述逻辑;张健沛 教授,博士生导师,研究领域为数据库理论与应用、数据挖掘技术;杨 静 教授,博士生导师,研究领域为数据库理论与应用、数据挖掘技术。

称为 \tilde{E} 的负域;

$$J_0 = \{(u, y) | u \in U, y = k(u) = 0\}$$

称为 \tilde{E} 的零界。

当 U, k, u 发生变化时, 关联函数 y' 的值就会发生变化。假设 $T_U = e, T_k = e, T_u \neq e$ 时, $T_U U = U, T_k k = k$, 这时把

$$\tilde{E}_+(T) = \{(u, y, y') | u \in U, y = k(u) \leq 0, y' = k(T_u) \geq 0\}$$

称为 $\tilde{E}(T)$ 的正可拓域;

$$\tilde{E}_-(T) = \{(u, y, y') | u \in U, y = k(u) \geq 0, y' = k(T_u) \leq 0\}$$

称为 $\tilde{E}(T)$ 的负可拓域;

$$\tilde{E}_+(T) = \{(u, y, y') | u \in U, y = k(u) \geq 0, y' = k(T_u) \geq 0\}$$

称为 $\tilde{E}(T)$ 的正稳定域;

$$\tilde{E}_-(T) = \{(u, y, y') | u \in U, y = k(u) \leq 0, y' = k(T_u) \leq 0\}$$

称为 $\tilde{E}(T)$ 的负稳定域;

$$J_0(T) = \{(u, y, y') | u \in U, y' = k(T_u) = 0\}$$

称为 $\tilde{E}(T)$ 的拓界。

同理, $T_U \neq e, T_k \neq e$ 时, 同样有可拓域、稳定域和拓界。

可拓域是可拓集合的核心, 一些不具有某个性质的元素, 由于可拓变换(包括元素本身的变换、关联函数的变换和论域的变换)变为具有该性质, 显然, 不同的变换具有不同的可拓域。可拓域是可拓集合区别于经典集合和模糊集合的重要特点。

2.2 可拓集合与经典集合、模糊集合比较

文献[8]中提出统一集的概念, 它可以将经典集合、模糊集合、可拓集合等新兴理论统一起来, 通过它可以清楚地看出各集合理论的异同点及它们之间的联系。下面给出统一集的定义, 并分别给出经典集合、模糊集合以及可拓集合的统一集模型。

定义 2(统一集)

$$S = (A, B, F, J) \quad (1)$$

其中, S 是一个统一集; A 是一个非空的经典集合, 它定义了所要讨论的事物范围; B 是一个非空的经典集合, 对 A 中所有元描述构成一个集合; F 是一个 A 到 B 的映射, 它给 A 中所有的元素都定义了描述; J 是一个对 F 构成的界壳, 它可以是一个集合、一个不等式、一个等式或者若干谓词的组合。

在统一集中, 一个元素是和它的描述是分不开的, 因此 A 中的任意一个元素 a 都可以表示成下面的二元组的形式:

$$(a, F(a)) \text{ 其中, } a \in A, F(a) \in B \quad (2)$$

这里, $F(a)$ 可以被认为是一种广义的隶属度; F 可以被看成一种广义的隶属函数。 A 中的所有元素都可以用上面的二元组表示, 因此, 统一集 S 还可以表示成下面的形式:

$$S = \{(a, F(a)) | a \in A, F(a) \in B, F(a) \text{ 满足约束 } J\} \quad (3)$$

下面给出各种集合的统一集模型:

1) 经典集合

$$S_{\text{classical}} = (U, \{0, 1\}, C(x), \Phi) \quad (4)$$

其中 $A=U$ 为经典集合的论域, $C(x)$ 为特征函数, B 是 $\{0, 1\}$, 约束为空集 Φ 。

2) 模糊集合

$$S_{\text{fuzzy}} = (U, [0, 1], \mu(x), \Phi) \quad (5)$$

其中 $A=U$ 是模糊集合的论域, $\mu(x)$ 是隶属函数, 它描述了 U 中任意一个元素隶属于一个模糊概念的程度, B 为 $[0, 1]$ 区间, 约束为空。

3) 可拓集合

$$S_{\text{extension}} = \{(T_U)U, (-\infty, +\infty), T_k k[(T_x)x], \Phi\} \quad (6)$$

其中 $A=U$ 是可拓集合的论域, $k(x)$ 是关联函数, 它描述了 U 中的任意一个元素属于或不属于一个概念的程度, B 为实数域, $(-\infty, 0)$ 为不属于的程度, $(0, +\infty)$ 为属于的程度, 而 T_U, T_k, T_x 分别为对论域、关联规则和元素的变换, 它们可以为么变换, 也可以是其中一个、两个或全部变换, 通过关联值的变化体现元素与集合的关系变化。约束为空。

由以上可拓集合定义以及三种集合的形式可知, 经典集合只能描述确定的、静态的事物; 模糊集合不仅可以描述确定事物, 而且可以描述模糊、不确定的事物; 可拓集合则比模糊集合更完善, 它不仅描述静态模糊知识, 而且可以描述元素的可变性及量变和质变的过程。

使用可拓集合描述某个领域、某一特定状态的事物, 并且假设可拓集合中 $T_U = e, T_k = e, T_u = e$, 当被描述事物为确定的、静态的事物时, 可将可拓集合看作与经典集合等价, 而当被描述事物为模糊事物时, 可将可拓集合看作与模糊集合等价。

由此可知, 可拓集合是在经典集合和模糊集合的基础上做了改进, 所以有时可以或需要用可拓集合代替经典集合和模糊集合作为集合论基础。本文采用可拓集合代替经典集合或模糊集合作为动态描述逻辑^[9](dynamic description logic, DDL)的集合论基础, 对描述的概念、关系和实例进行语义解释, 这里将这种改进后的描述逻辑称为 DDL_{ES} (DDL with extension set)。

3 描述逻辑的可拓集合扩展

以往的描述逻辑语言对概念和关系的语义解释都是根据经典集合或模糊集合给出的, 由于经典集合和模糊集合对事物的分类都是静态的, 只能用来描述静态事物, 而较少考虑集合中事物本身及其性质的可变性, 因此无法描述在某些动作下事物的量变与质变, 所以引入可拓集合来扩展描述逻辑。下面首先给出 DDL_{ES} 系统中所描述对象的形式, 分别称为断言公式和一般公式。

定义 3 在 DDL_{ES} 中, 断言公式的定义如下:

形如 (u, y, y') 的表达式, 它们是不带变元的, 其中 $u = C(a)$ 或 $R(a, b)$, a 和 b 是个体常元, $y = k(u) \in [-1, 1]$ 。分别定义 C', R' 为构成 C, R 的基本概念或关系, 也就是 C 或 R 的关键属性, a 属于 C 的程度 y 与 a 关于 C', R' 的值密切相关。如果用 u' 来表示 $C'(a)$ 或 $R'(a, v)$ 的值, 则:

- 1) 当 $T_U = e$ 或 $u \in T_U U$ 时, $y' = T_k k(T_u u') \in [-1, 1]$;
- 2) 当 $u \in U - T_U U$ 时, 元素 u 变为论域之外, 不必再讨论;
- 3) 当 $T_k = e$ 且 $T_u = e$ 时, $y' = y$, 也可省略。

定义 4 在 DDL_{ES} 中, 一般公式的定义如下:

形如 (u, y, y') 的表达式, 其中 $u = C(x)$ 或 $R(x, y)$, x 和 y 是个体变元, $y = k(u)$ 可以根据具体情况定为 $[n, 1], (n, 1], [0, n], [0, n), [m, 0], (m, 0], [-1, m], [-1, m), n \in [0, 1], m \in [-1, 0]$, 这样可以根据关联度值定义一个界限, 对所有关联度满足要求的元素进行可拓变换, 变换之后的关联度值用 y' 表示, 称这些带变元的表达式为一般公式。

DDL_{ES} 的语义是根据可拓集合的语义解释和描述逻辑的语义解释方法给出的。其中 DDL_{ES} 中的概念和关系被解释为

论域 Δ 的可拓子集和论域上的可拓二元关系。由此可知,在 DDL_{ES} 中,保留了对领域事物动态分类的能力,依然可以形式化描述事物的量变与质变。

定义 5 状态 u 下的一个可拓解释 $EI(u) = (\Delta, \cdot^{I(u)})$, 解释函数 $\cdot^{I(u)}$ 满足:

- 1) 对任意个体 a 和 b , 如果 $a \neq b$, 则 $a^{I(u)} \neq b^{I(u)}$;
- 2) 对任意概念 C , 解释函数 $\cdot^{I(u)}$ 将 C 映射为一个关联函数, 即 $C^{I(u)}: \Delta \rightarrow [0, 1] \cup [-1, n]$ 或 $[m, 0]$, 其中 $n, m \in [-1, 0]$;
- 3) 对任意关系 R , 解释函数 $\cdot^{I(u)}$ 将 R 映射为一个关联函数, 即 $R^{I(u)}: \Delta \times \Delta \rightarrow [0, 1] \cup [-1, n]$ 或 $[m, 0]$, 其中 $n, m \in [-1, 0]$ 。

其中, n, m 值的大小可根据专家经验或实际情况来决定。因为论域中的个体要么属于某概念对应的集合, 要么不属于, 即所有个体的关联度都满足 $[-1, 1]$, 所以定义每个概念的语义时应该根据实际情况或专家经验选择部分有可能经过变换变为 $[0, 1]$ 的元素。

上述定义也就是说状态 u 下的概念 C 的可拓解释 $C^{I(u)}$ 是相对于 $EI(u)$ 的可拓概念集 C 的关联函数, 即如果 $d \in \Delta$ 是论域 Δ 的一个个体, 则 $(C)^{I(u)}(d) \in [0, 1]$ 表示在可拓解释 $EI(u)$ 下个体 d 属于可拓概念 C 的程度, $(C)^{I(u)}(d) \in [-1, 0]$ 表示在可拓解释 $EI(u)$ 下个体 d 不属于可拓概念 C 的程度。对于关系 R , R 的可拓解释 $R^{I(u)}$ 是相对于 $EI(u)$ 的可拓关系集的关联函数, 即如果 $d_1, d_2 \in \Delta$ 是论域 Δ 的两个个体, 则 $R^{I(u)}(d_1, d_2) \in [0, 1]$ 表示在可拓解释 $EI(u)$ 下个体 d_1 和 d_2 满足可拓关系 R 的程度, $R^{I(u)}(d_1, d_2) \in [-1, 0]$ 表示在可拓解释 $EI(u)$ 下个体 d_1 和 d_2 不满足可拓关系 R 的程度。

DDL_{ES} 的其它相关定义参考文献[9]。

动态描述逻辑的推理算法能自动检测概念的可满足性和动作的可实现性, 但是在处理具体问题的过程中, 遇到概念或动作的操作条件不能满足时, 描述逻辑便无能为力了。实际上, 有些问题是可以通过一些简单变换就能实现的, 例如: 将高 3m、长 1m 的机器搬进门高 2m 的车间, 显然该动作是不可实现的, 但是如果将机器的属性长和属性高调换, 即将机器“放倒”, 这个动作就变得可以实现了。

DDL_{ES} 中有可拓集合作为解决矛盾问题的定量化工具, 可拓变换作为解决矛盾问题的具体方法, 其中可拓变换是通过动作来实现的, 所以可以用 DDL 中的动作描述形式描述可拓变换 T 。

DDL_{ES} 解决简单不相容问题的具体思路是: 针对领域中可能出现的不可满足的概念或不可实现的动作, 根据专家经验和具体情况给出相应的解决方法, 并以可拓变换的形式描述出来。当推理过程中出现概念不可满足或动作不可实现时, 就执行相应的可拓变换, 变换过程中个体的量变与质变通过可拓集合和关联函数来描述, 直到概念可满足或动作可实现, 或者变换用尽为止。

关于 DDL_{ES} 的具体推理问题如实例断言集的一致性检测、概念的可满足性等推理问题与 FDDL 有相似之处, 也有不同之处, 这点将在后面的文章中详细讨论。

4 三种 DL 系统的 Abox 形式比较

传统 DL 是以经典集合为数学基础的, 它只能描述确定

的、静态的知识; 模糊 DL 是以模糊集合为数学基础的, 它不仅描述确定知识, 而且可以描述模糊知识; DDL_{ES} 则以可拓集合为数学基础, 它不仅描述静态模糊知识, 而且可以描述元素的可变性及量变和质变的过程, 比模糊 DL 的表达能力更强。

DDL 将动作理论引入到传统 DL, 目的是用来描述语义 Web 中的动态服务, 而 DDL_{ES} 中引入可拓集合和可拓变换可以为解决目标与条件不相容的问题做一些准备工作。

下面对比传统 DL 系统、模糊 DDL 系统和 DDL_{ES} 系统中 Abox 的形式。

1) 传统 DL 中断言公式为形如 $\langle C(a) \rangle$ 或 $\langle \neg C(a) \rangle$, $\langle R(a, b) \rangle$ 或 $\langle \neg R(a, b) \rangle$ 的表达式;

2) 模糊 DDL 中断言公式为形如 $\langle \pi \geq n \rangle$, $\langle \pi > n \rangle$, $\langle \pi \leq m \rangle$ 或 $\langle \pi < m \rangle$ 的表达式, 其中 $\pi = C(a), R(a, b), [\alpha]C(a)$ 或 $[\alpha]R(a, b)$, α 是动作;

3) DDL_{ES} 中断言公式为形如 $\langle u, y, y' \rangle$ 的表达式, 其中 $u = C(a), R(a, b), [\alpha]C(a)$ 或 $[\alpha]R(a, b)$ 。以 $\langle C(a), y, y' \rangle$ 为例, 表示 a 属于或不属于概念 C 的程度是 $y, y' \in [-1, 0]$ 时, 表示 a 不属于概念 C 的程度, 当 $y \in [0, 1]$ 时, 表示 a 属于概念 C 的程度, 0 为零界点。因为事物性质是不断变化的, 所以定义 $y' = T_kk(T_u u')$, 当论域 U 、关联规则 K 或个体 a 的某个性质发生变换时, a 属于或不属于 C 的程度都会发生变化, 即关联度由 y 变为 y' 。当描述某一特定状态下的事物时, 即 $T=e$ 时, 可以将 y' 看作不存在。同理, 将 $C(a)$ 换作 $R(a, b)$, 表示个体 a, b 之间关系 R 的描述形式。

由此可见, DDL_{ES} 与传统 DL、模糊 DDL 不同, 它是从集合的角度使用关联函数和可拓变换来描述事物的变化的。

结束语 本文针对可拓集合与经典集合和模糊集合的不同, 对以往的描述逻辑进行了扩展, 生成了一种新的描述逻辑 DDL_{ES}, 并对该描述逻辑进行了语法、语义方面的研究, 通过与传统描述逻辑 ALC, FDDL 的对比, 体现了 DDL_{ES} 的描述事物的特点。

进一步的工作主要有: 研究 DDL_{ES} 的一致性推理算法, 举例分析 DDL_{ES} 解决矛盾问题的具体过程, 并研究它的复杂性。

参 考 文 献

- [1] 蔡文, 杨春燕, 何斌. 可拓逻辑初步[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 50-84
- [2] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1987: 51-52
- [3] 蔡文. 物元分析[M]. 广州: 广州高等教育出版社, 1994: 122-123
- [4] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 86-106
- [5] Cai Wen. Extension Theory and Its Application[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(17): 1538-1548
- [6] Baader F, Nutt W. Basic description logic [G]//Baader F, et al, eds. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications. Cambridge University Press, 2003: 47-100
- [7] 王驹, 蒋运承, 唐素勤. 一种模糊动态描述逻辑[J]. 计算机科学与探索, 2007, 1(2): 216-227
- [8] 张江, 林华, 贺仲雄. 统一集论与人工智能[J]. 中国工程科学, 2002, 4(3): 40-47
- [9] 史忠植, 董明楷, 蒋运承, 等. 语义 Web 的逻辑基础[J]. 中国科学, E 辑, 2004, 34(10): 1123-1138