

改进的粗糙描述逻辑框架

闫之焕 雷银彬

(电子科技大学数学科学学院 成都 611731)

摘要 已有的粗糙描述逻辑(RDLs)都是基于经典的粗糙集理论,也就是在讨论可以处理不确定信息的粗糙描述逻辑前首先要定义出论域中元素间的某种等价关系。事实上,人们经常会遇到用形式概念表示的对象域,这种情况下一个自然的问题就是:如何处理可能出现的不确定性概念?把形式概念分析与粗糙集理论联系起来作为基础,建立了两种新的粗糙描述逻辑。把文献[14]中 Y. Y. Yao 等提出的方法应用于新的 RDLs,其中的上(下)近似算子分别用格论算子和集合论算子来定义。这里的近似的定义虽然不同于传统的粗糙近似算子形式,但是有很好的实用性。基于这个新颖的上(下)近似的定义,把这两组近似算子引入到描述逻辑的结构中形成两种粗糙描述逻辑 FL_{ALC} 和 FS_{ALC} 。给出了相应的语法和语义,最后还给出了扩展的 Tableaux 算法,其可以用来解决相应的推理问题。

关键词 形式概念,上近似,下近似,粗糙集,描述逻辑

中图法分类号 TP181 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.5.039

Extended Rough Description Logic

YAN Zhi-huan LEI Yin-bin

(School of Mathematical Sciences, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract The existing rough description logic(RDL) are all based on the classical rough set theory, i. e., when dealing with uncertainty knowledge, one must have an equivalence relation on the considered domain of objects in advance. In fact, people often encounter a case that there is a formal concept structure on the domain of objects. A natural question is how to deal with the possibly occurring uncertain concepts. We combined formal concept analysis and rough set theory to establish two new RDLs. The approach proposed by Y. Y. Yao in literature [14] is applied in the frameworks of the new RDLs, where the upper and lower approximations of a non-definable concept are defined by lattice-theoretical operators and set-theoretical operators respectively, and particularly, a new form of lower approximation which is different from the previous form is defined. The notions are very different from the classical form, but it is pretty practical. Based on the novel notions of the upper and lower approximations, we added the approximation operators to the structure of description logic. Then two new RDLs FL_{ALC} and FS_{ALC} were established. The corresponding semantic and syntax were given. At last, we also gave an extended Tableaux algorithm. It can be used to solve some related reasoning problems.

Keywords Formal concept, Upper approximation, Lower approximations, Rough set, Description logic

1 引言

描述逻辑是基于对象的知识表示的形式化,是一阶谓词逻辑的一个可判定子集,是语义 Web 的逻辑基础^[1]。它的重要特征是其有很强的表达能力和可判定性,能保证推理算法总是停止。最基本的描述逻辑是 ALC,更具表达能力的描述逻辑都是通过 ALC 中增加构造子得到^[2,3]的。但另一方面,经典的描述逻辑却不能处理不确定性概念,所以对经典的描述逻辑进行推广是实际需要的,同时也具有极高的理论价值。对此,很多学者作出了重要贡献,提出了模糊描述逻辑(Fuzzy DLs)^[4]、概率描述逻辑(probabilistic DLs)^[5]、粗糙描述逻辑(rough DLs)^[6]和模糊粗糙描述逻辑(rough fuzzy DLs)^[7]。文献[8]还实现了描述逻辑在不精确时态知识的表

示和推理;文献[9]研究了面向矛盾问题的描述逻辑。在粗糙描述逻辑方面,S Schlobach 基于粗糙集理论提出了粗糙描述逻辑 RDL,指出粗糙逻辑并不局限于某种特定的描述逻辑,它可以定义任意描述逻辑语言的扩展。王岁花^[10]等人主要研究了经典描述逻辑 ALC 的粗糙扩展 RALC,给出了 RALC 的语法、语义,并具体给出了 RALC 的推理算法。但在实际应用中,有时需要增强角色的表达能力,文献[11,12]对包含复杂角色的粗糙描述逻辑进行了研究。

已有的粗糙描述逻辑都是建立在传统粗糙集^[13]的基础上,通过概念的上下近似去逼近一个不可定义的概念。上下近似的定义都是基于一个不可分辨关系 R ,它把整个研究领域 U 中的个体划分为若干不可分辨的类,即要把一个类作为研究的整体, (U, R) 叫作一个近似空间。任意给定一个集合

到稿日期:2015-04-11 返修日期:2015-08-10 本文受国家自然科学基金项目(11201053,11026081)资助。

闫之焕(1990—),女,硕士生,CCF 会员,主要研究方向为描述逻辑的粗糙扩展,E-mail: yanzhihuan0457@163.com;雷银彬(1978—),男,博士,副教授,主要研究方向为知识表示与推理、Domain 理论的应用与语义网。

$A \subseteq U$, 若它是一些类的并或者空集, 则 A 是可定义的。所有可定义的集合的并($\cup$)、交($\cap$)、补($\neg$)也都是可定义的, 用 $\sigma(U/R)$ 表示所有可定义的集合的集合。给定一个集合 $A \subseteq U$, 若它不在 $\sigma(U/R)$ 中, 它就是不可定义的, 也就是粗糙的, 此时就要用 A 的上近似 $\bar{A}$ 或下近似 $\underline{A}$ 去近似 A , 其中:

$$\bar{A} = \bigcup \{X \mid X \in \sigma(U/E), A \subseteq X\}$$

$$\underline{A} = \bigcup \{X \mid X \in \sigma(U/E), X \subseteq A\}$$

这里的 R 有很多种定义方式, 但不管用哪种定义方式, 都要在建立粗糙描述逻辑之前先定义出对象之间的不可分辨关系, 而 Y. Y. Yao^[14] 提出的用形式概念去定义的上下近似只需知道论域中的对象和对象的性质即可, 不必提前定义这个等价关系。针对对这一点, 本文考虑把基于形式概念的上下近似的概念与描述逻辑结合, 提出新的粗糙描述逻辑。

形式概念分析建立在一个形式背景之上。形式背景是一个对象集合与一个性质集合之间的二元关系, 一个形式概念的对象部分称为这个概念的外延, 性质部分称为其内涵。任意给定一个对象集合, 若它是某个形式概念的外延, 它就是可定义的; 若它不是任何一个形式概念的外延, 则它是不可定义的(近似的定义虽然不同于传统的粗糙近似算子形式, 但是有很好的实用性), 此时就要用两个形式概念的外延去近似它, 也就是用新定义的上下近似去近似它。

本文把基于形式概念的上下近似来近似不可定义的概念的方法引入到描述逻辑中, 提出一种基于形式概念分析的粗糙描述逻辑框架, 给出相应的语法结构、语义解释, 并用它来解决相关推理问题。

2 形式概念分析

概念是哲学中最基本的认知单位, 如何在现实世界的不同方面得到有效的概念是概念表示和知识处理中主要关心的问题。为了满足在知识处理中数据分析的要求, 学者们提出了多种表示不同含义的概念。形式概念分析就是其中之一^[15]。

形式概念分析^[16,17] 的基本思想是根据对象与属性之间的关系来建立一种概念层次结构: 概念格。概念格是知识的一种表现形式, 依据知识体在内涵和外延上的依赖或因果关系建立概念层次结构^[18], 其中每个概念都是对象与属性的统一体。另外, 概念格通过 Hasse 图生动简洁地体现了这些概念之间的关系^[19]。设 U 与 V 是两个有限的非空集合, U 是对象集合, V 是性质的集合, 对象与性质之间的关系用 R 表示, R 是 $U \times V$ 的子集, $\forall (x, y) \in U \times V, (x, y) \in R$ 代表 x 具有性质 y , (U, V, R) 称为一个形式背景。通过 R 建立起 x 与它具有所有性质之间的联系, x 具有的所有的性质集合 xR 为:

$$xR = \{y \in V \mid xRy\} \subseteq V$$

同理, $\forall y \in Y$, 具有性质 y 的所有的对象集合为:

$$Ry = \{x \in U \mid xRy\} \subseteq U$$

定义 1^[14] 设 (U, V, R) 是一个形式背景, 对于一个对象集合 X , 它对应的性质集合为:

$$\begin{aligned} X^* &= \{y \in V \mid \forall x \in X, (x, y) \in R\} \\ &= \{y \in V \mid X \subseteq Ry\} = \bigcap_{x \in X} xR \end{aligned}$$

对于一个性质集合 Y , 它对应的对象集合为:

$$\begin{aligned} Y^* &= \{x \in U \mid \forall y \in Y, (x, y) \in R\} \\ &= \{x \in U \mid xR \subseteq Y\} = \bigcap_{y \in Y} Ry \end{aligned}$$

即 X^* 是 X 中元素所共同具有的最大性质集合, Y^* 是具有 Y

中所有性质的最大的对象的集合。

* 算子具有以下性质^[16]:

$$(1) X_1 \subseteq X_2 \Rightarrow X_1^* \supseteq X_2^*$$

$$Y_1 \subseteq Y_2 \Rightarrow Y_1^* \supseteq Y_2^*$$

$$(2) X \subseteq X^{**}, Y \subseteq Y^{**}$$

$$(3) X^{***} = X^*, Y^{***} = Y^*$$

$$(4) (X_1 \cup X_2)^* = X_1^* \cap X_2^*$$

$$(Y_1 \cup Y_2)^* = Y_1^* \cap Y_2^*$$

$$(5) (X_1 \cap X_2)^* \supseteq X_1^* \cap X_2^*$$

$$(Y_1 \cap Y_2)^* \supseteq Y_1^* \cap Y_2^*$$

定义 2^[14] 令 $L = (U, V, R)$ 是一个形式背景, 对于 $X \subseteq U, Y \subseteq V$, 若 $X^* = Y$ 且 $Y^* = X$, 则 (X, Y) 叫做 L 的一个形式概念, $X = ex(X, Y)$ 叫做外延, $Y = in(X, Y)$ 叫做内涵。

定理 1^[14] 形式概念的并与交定义为:

$$\bigwedge_{i \in T} (X_i, Y_i) = (\bigcap_{i \in T} X_i, (\bigcup_{i \in T} Y_i)^{**})$$

$$\bigvee_{i \in T} (X_i, Y_i) = ((\bigcup_{i \in T} X_i)^{**}, \bigcap_{i \in T} Y_i)$$

其中, T 是一个指标集, 任意一个 (X_i, Y_i) 是一个形式概念。

注: 有限个外延(内涵)的交还是一个外延(内涵), 但是外延(内涵)的并可能不是任何一个形式概念的外延(内涵)。

L 中的所有形式概念形成一个概念格, 形式概念分析的基本思想可以用以下的例子说明。

例 1^[14] 一个动物与自身习性之间的关系的形式背景如表 1 所列, 图 1 是它对应的概念格。

表 1 动物习性形式背景

种类	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1. leech	×	×					×		
2. bream	×	×					×	×	
3. frog	×	×	×				×	×	
4. dog	×		×				×	×	×
5. spike-weed	×	×		×		×			
6. reed	×	×	×	×		×			
7. beam	×		×	×	×				
8. maize	×		×	×		×			

注: a; needs water to live; b; lives in water; c; lives on land; d; needs chlorophyll to produce food; e; two seed leaves; f; one seed leaf; g; can move around; h; has limbs; i; suckles its offspring.

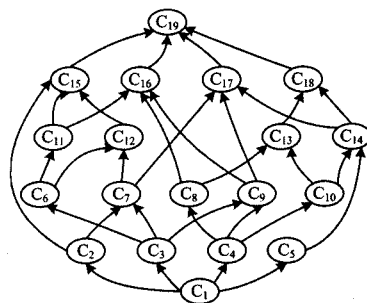


图 1 表 1 的概念格

其中 $C_1 = (\emptyset; a, b, c, d, e, f, g, h, i)$, $C_2 = (4; a, b, g, h, i)$, $C_3 = (3; a, b, c, g, h)$, $C_4 = (6; a, b, c, d, f)$, $C_5 = (7; a, c, d, e)$, $C_6 = (2, 3; a, b, g, h)$, $C_7 = (3, 4; a, c, g, h)$, $C_8 = (5, 6; a, b, d, f)$, $C_9 = (3, 6; a, b, c)$, $C_{10} = (6, 8; a, c, d, f)$, $C_{11} = (1, 2, 3; a, b, g)$, $C_{12} = (2, 3, 4; a, g, h)$, $C_{13} = (5, 6, 8; a, d, f)$, $C_{14} = (6, 7, 8; a, c, d)$, $C_{15} = (1, 2, 3, 4; a, g)$, $C_{16} = (1, 2, 3, 5, 6; a, b)$, $C_{17} = (3, 4, 6, 7, 8; a, c)$, $C_{18} = (5, 6, 7; a, d)$, $C_{19} = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; a)$ 。

形式概念分析是概念性的数据分析和知识处理的基础,粗糙集理论是知识处理的另一种重要的方法,形式概念分析与粗糙集的结合为数据分析提供相关和互补的方法^[20]。

定义 3^[14] 给定 $A \subseteq U$, 若 A 是某个形式概念的外延, 就说它是可定义的, 否则它是不可定义的。

要研究一个不可定义的 A , 就要用外延对其近似。

定义 4^[14] 对于 $A \subseteq U$, 它的上近似 $\overline{lapr}(A)$ 与下近似 $\underline{lapr}(A)$ 定义为:

$$\overline{lapr}(A) = ex(\wedge (X, Y) \in L | A \subseteq X)$$

$$\underline{lapr}(A) = ex(\vee (X, Y) \in L | X \subseteq A)$$

由于以上定义的上下近似不是直接定义出来的, 为了方便表达, 给出以下近似的形式。

定理 2 一个粗糙概念 A 的上下近似有如下形式:

$$(1) \overline{lapr}(A) = \bigcap_{A \subseteq X, (X, Y) \in L} X$$

$$(2) \underline{lapr}(A) = \{x \in U | \{x\}^* \supseteq \bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y\}$$

证明: (1) 由 $\overline{lapr}(A) = ex(\wedge (X, Y) \in L | A \subseteq X)$ 和 $\bigwedge_{i \in T} (X_i, Y_i) = (\bigcap_{i \in T} X_i, (\bigcup_{i \in T} Y_i)^*)$ 直接得 $\overline{lapr}(A) = \bigcap_{A \subseteq X, (X, Y) \in L} X$ 。

(2) 由 $\underline{lapr}(A) = ex(\vee (X, Y) \in L | X \subseteq A)$ 和 $\bigvee_{i \in T} (X_i, Y_i) = ((\bigcup_{i \in T} X_i)^*, \bigcap_{i \in T} Y_i)$ 得 $\underline{lapr}(A) = (\bigcup_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} X)^*$, 又由 $(X_1 \cup X_2)^* = X_1^* \cap X_2^*$ 和 $X^* = Y$ 得 $\underline{lapr}(A) = (\bigcup_{X \subseteq A, X \in EX} X)^* = ((\bigcup_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} X)^*)^* = (\bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} X^*)^* = (\bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y)^*$ 。
($\Rightarrow$) $\forall x \in \underline{lapr}(A)$, 即 $\forall x \in (\bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y)^*$, 由 $*$ 算子的定义有 $\{x\}^* \supseteq \bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y$, 即 $x \in$ 右边。

($\Leftarrow$) $\forall x \in$ 右边, 有 $\{x\}^* \supseteq \bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y$, 由 $*$ 算子的性质 (1) 得 $\{x\}^{**} \subseteq (\bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y)^*$ 。

又由 $*$ 算子的性质 (2) 得 $\{x\} \subseteq \{x\}^{**} \subseteq \bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y$, 从而 $x \in \{x\} \subseteq \{x\}^{**} \subseteq \bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y$, 即 $x \in (\bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y)^* = \underline{lapr}(A)$ 。

综上得 $\underline{lapr}(A) = \{x \in U | \{x\}^* \supseteq \bigcap_{X \subseteq A, (X, Y) \in L} Y\}$ 。

例 2^[14] 在例 1 的概念格中, 对象的集合 $A = \{2, 3, 4\}$ 是可定义的, 因为它是形式概念 $(2, 3, 4; a, g, h)$ 的外延。而对象集合 $B = \{3, 5, 6\}$ 不是任何形式概念的外延, 因此是不可定义的, 它的上(下)近似为:

$$\overline{lapr}(B) = \{1, 2, 3, 5, 6\}, \underline{lapr}(B) = \{1, 2, 3, 5, 6\}$$

这里定义的上(下)近似有如下性质^[14]:

$$(1) A \subseteq A' \Rightarrow \overline{lapr}(A) \subseteq \overline{lapr}(A')$$

$$A \subseteq A' \Rightarrow \underline{lapr}(A) \subseteq \underline{lapr}(A')$$

$$(2) \overline{lapr}(A) \subseteq \overline{lapr}(A), A \subseteq \overline{lapr}(A)$$

$$(3) \overline{lapr}(\overline{lapr}(A)) = \overline{lapr}(A)$$

$$\overline{lapr}(\underline{lapr}(A)) = \underline{lapr}(A)$$

$$\underline{lapr}(\overline{lapr}(A)) = \underline{lapr}(A)$$

$$\underline{lapr}(\underline{lapr}(A)) = \underline{lapr}(A)$$

定理 3^[14] 在形式背景 $L(U, V, R)$ 中, 如果 A 是一个外延, 即 (A, A^*) 是一个形式概念, 则 $\overline{lapr}(A) = \underline{lapr}(A)$, 但反之不成立。

与传统的粗糙集相比, 上述基于格理论近似算子的定义存在两个问题: (1) 尽管一个集合不是外延, 但它的上下近似可能相同; (2) 一个概念 C 与它的上(下)近似不满足关系: $\underline{lapr}(C) \subseteq C \subseteq \overline{lapr}(C)$ 。针对这些问题, Y. Y. Yao 又提出基于集合论的近似算子。

定义 5^[14] 给定一个对象集合 $A \subseteq U$, 它的上近似 $\overline{sapr}(A)$ 与下近似 $\underline{sapr}(A)$ 定义为:

$$\overline{sapr}(A) = \bigcap \{X | X \in EX(L), A \subseteq X\}$$

$$\underline{sapr}(A) = \{X | X \in EX(L), X \subseteq A, \forall X' \in EX(L) (X \subseteq X' \Rightarrow X \subsetneq A)\}$$

其中, $EX(L) = \{ex(X, Y) | (X, Y) \in L\}$ 。

这里定义的上近似 $\overline{sapr}(A)$ 其实等价于 $\overline{lapr}(A)$ 。下近似是由一系列的集合组成的集合簇, 对于 $\forall A' \in \underline{sapr}(A)$, 可以保证 $A' \subseteq A \subseteq \overline{sapr}(A)$ 。另外, 这样定义的粗糙算子还可以满足: $\overline{sapr}(A) = A$ 和 $\underline{sapr}(A) = \{A\}$ 当且仅当 A 是外延。但是这里的下近似是由一系列集合组成, 与传统的粗糙集中上(下)近似都是由一个集合表示仍有区别, 在实际利用时还是存在一定的弊端。

3 两种新的粗糙描述逻辑

粗糙描述逻辑用概念的近似去处理不确定的信息。把以上介绍的基于形式概念的上(下)近似分别与描述逻辑 ALC 结合, 形成两种新的粗糙描述逻辑 FL_{ALC} 和 FS_{ALC} 。下面给出相应的语法、语义和相关推理问题。

3.1 粗糙描述逻辑 FL_{ALC}

3.1.1 语法和语义

定义 6(字母表) FL_{ALC} 的字母表由 $\neg, \cap, \cup, \exists, \forall, \perp, T, \overline{lapr}, \underline{lapr}$ 这些符号和 3 个互不相交的集合: 对象集合 N_I 、概念集合 N_C 、关系集合 N_R 组成。

定义 7(语法) FL_{ALC} 的语法由以下规则定义:

$$C, D \rightarrow A | T | \perp | \neg C | C \cup D | C \cap D | \forall R. C | \exists R. C | \overline{lapr}(C) | \underline{lapr}(C)$$

其中, C, D 是概念, A 是原子概念, R 是原子角色。

定义 8(语义) FL_{ALC} 的对象、原子概念、原子角色的语义由一个解释 $I = (U, \cdot^I)$ 给出, 其中论域 U 是形式背景 $L = (U, V, R)$ 中的对象集合, $\cdot^I$ 是一个映射, 定义如下: 每个对象 $a \in N_I$ 被映射为 $a^I \in U$, 每个原子概念 $A \in N_C$ 被映射为 $A^I \subseteq U$, 每个原子角色 R 被映射为 $R^I \subseteq U \times U$ 。复杂的概念的语义可以递归地得出:

$$A^I \subseteq U, R^I \subseteq U \times U, (\neg C)^I = \neg C^I$$

$$(C \cap D)^I = C^I \cap D^I, (C \cup D)^I = C^I \cup D^I$$

$$(\exists R. C)^I = \{x^I \in U | \exists y \in U, (x, y) \in R^I \wedge y \in C^I\}$$

$$(\forall R. C)^I = \{x^I \in U | \forall y \in U, (x, y) \in R^I \rightarrow y \in C^I\}$$

$$(\overline{lapr}(C))^I = \bigcap_{C \subseteq X, (X, Y) \in L} X^I$$

$$(\underline{lapr}(C))^I = \{x^I \in U | \{x\}^* \supseteq \bigcap_{X \subseteq C, (X, Y) \in L} Y\}$$

定义 9(知识库)^[21] 一个 TBox 是由有限的 $C \subseteq D$ 和 $C = D$ 形式构成的集合, 一个 ABox 由有限的 $C(a), R(a, b)$ 形式构成。一个知识库由一个 TBox 和一个 ABox 组成。

3.1.2 推理问题

ABox 中的推理问题与 TBox 中的包含性问题、不相交问题、相等关系都可以转化为概念的可满足性问题^[22], 所以考虑利用概念的可满足性问题的推理算法-Tableaux 算法。

由于与标准的描述逻辑相比, 粗糙描述逻辑只是增加了两个近似符号, 因此考虑通过略去上(下)近似, 把对粗糙描述逻辑的推理问题近似成对标准描述逻辑的推理问题, 故可以用类似标准描述逻辑的 Tableaux 算法^[23, 24]的算法。下面给出具体的改进的推理算法:

$\cap$ -规则 如果 1) $C_1 \cap C_2 \in L(x)$; 2) $\{C_1, C_2\} \notin L(x)$, 则 $L(x) \rightarrow L(x) \cup \{C_1, C_2\}$ 。

$\cup$ -规则 如果 1) $(C_1 \cup C_2) \in L(x)$; 2) $\{C_1, C_2\} \cap L(x) = \emptyset$, 则① $L(x) \rightarrow L(x) \cup \{C_1\}$, 如果有冲突, 则还原 $L(x)$, 并且②令 $L(x) \rightarrow L(x) \cup \{C_2\}$ 。

$\exists$ -规则 如果 1) $\exists R. C \in L(x)$; 2) 不存在 y 使得 $L(\langle x, y \rangle) = R$ 和 $C \in L(y)$, 则构造一个新的点 y 和一条边, 满足 $L(y) = \{C\}$ 和 $L(\langle x, y \rangle) = R$ 。

$\forall$ -规则 如果 1) $\forall R. C \in L(x)$; 2) 存在某个 y 使得 $L(\langle x, y \rangle) = R$, 且 $C \notin L(y)$, 则令 $L(y) \rightarrow L(y) \cup \{C\}$ 。

$\overline{lapr}$ -规则 如果 $\overline{lapr}(C) \in L(x)$, 则 $L(x) \rightarrow (L(x) - \overline{lapr}(C)) \cup (\bigcap_{\langle x, y \rangle \in L} X)$ 。

$\underline{lapr}$ -规则 如果 $\underline{lapr}(C) \in L(x)$, 则 $L(x) \rightarrow (L(x) - \underline{lapr}(C)) \cup (\{x \mid \{x\} \supseteq \bigcap_{\langle x, y \rangle \in L} Y\})$ 。

算法分析: 以往在处理粗糙描述逻辑的推理问题时是用一个转换函数 $(\cdot)'$ 把粗糙描述逻辑转换为标准的描述逻辑, 其中主要是对上(下)近似进行转换, 即 $(\underline{C})' = \forall R. C$, $(\overline{C})' = \exists R. C$ 。这个转换函数基于对象域上的一个等价关系, 因这个等价关系正是传统的粗糙集中分类的依据。在本文新定义的粗糙集中并不涉及等价关系, 因而就不能像以往那样通过一个转换函数把粗糙描述逻辑转换为标准的描述逻辑再进行推理。通过观察 $(\overline{C})' = \exists R. C$, $(\overline{C})^I = \{x \in U \mid \exists y \in U: (x, y) \in R \wedge y \in C^I\}$ 与 $(\exists R. C)^I = \{x \in U \mid \exists y \in U: (x, y) \in R \wedge y \in C^I\}$ 可得出转换函数 $(\cdot)'$ 的转换方法也只是把概念的上(下)近似用其语义来代替, 对于 $(\underline{C})' = \forall R. C$, 也是同样的处理方法, 这与本文的算法 $\overline{lapr}$ -规则和 $\underline{lapr}$ -规则是殊途同归的, 故本文的算法是有效的。

下面通过一个简单的实例说明上述算法的实用性。

例3 在上述概念格中, 验证 $\{2\} \subseteq \{2, 3, 4\}$ 。

$\{2\} \subseteq \{2, 3, 4\}$ 等价于 $\{2\} \cap \neg\{2, 3, 4\} = \emptyset$ 。下面用改进的 Tableau 算法来验证这个结论。

令 $L(x) = \{2\} \cap \neg\{2, 3, 4\}$, 对 $L(x)$ 应用 $\cap$ -规则, 得: $L(x) \rightarrow L(x) \cup \{\{2\}, \neg\{2, 3, 4\}\} = \{\{2\} \cap \neg\{2, 3, 4\}, \{2\}, \neg\{2, 3, 4\}\}$; 再对 $L(x)$ 应用 $\overline{lapr}$ -规则, 得: $L(x) \rightarrow (L(x) - \{\{2\}\}) \cup (\bigcap_{\{2\} \subseteq X, X \in EX} X) = \{\{2\} \cap \neg\{2, 3, 4\}, \{2, 3\}, \neg\{2, 3, 4\}\}$, 由于 $\{2, 3\}$ 与 $\neg\{2, 3, 4\}$ 同时出现, 就出现了矛盾, 即原概念 $\{2\} \cap \neg\{2, 3, 4\}$ 是不可满足的, 从而 $\{2\} \subseteq \{2, 3, 4\}$ 得以验证。

3.2 粗糙描述逻辑 $F_{S_{ALC}}$

Y. Y. Yao 的基于格理论的近似算子的缺陷导致 FL_{ALC} 在语义解释时可能不能准确表示一个粗糙概念的语义, 如把一个粗糙概念的下近似解释为比粗糙概念本身还大的集合, 则不利于对粗糙概念的表示。鉴于以上问题, 借助于 Y. Y. Yao 的基于集合论的近似算子, 又提出粗糙描述逻辑 $F_{S_{ALC}}$ 。

$F_{S_{ALC}}$ 的字母表和语法与 FL_{ALC} 的类似, 只是把 $\overline{lapr}$ 换成 $\overline{sapr}$, $\underline{lapr}$ 换成 $\underline{sapr}$ 。语义方面, 由于 $\overline{sapr}(A) = \overline{lapr}(A)$, 因此 $F_{S_{ALC}}$ 的语义只需做如下改变: 把 $(\overline{lapr}(C))^I = \{x^I \in \Delta^I \mid \{x\}^* \supseteq \bigcap_{\langle x, y \rangle \in L} Y\}$ 换成 $(\overline{sapr}(C))^I = \{X^I \mid X \in EX(L), X \subseteq A, \forall X' \in EX(L) (X \subseteq X' \Rightarrow X \not\subseteq A)\}$ 。

推理算法方面, 同样由于 $\overline{sapr}(A) = \overline{lapr}(A)$, 因此只需把 FL_{ALC} 中的 $\overline{lapr}$ -规则换成 $\overline{sapr}$ -规则:

如果 $\overline{sapr}(C) \in L(x)$, 则 $L(x) \rightarrow (L(x) - \overline{sapr}(C)) \cup$

$(\{X \mid X \in EX(L), X \subseteq A, \forall X' \in EX(L) (X \subseteq X' \Rightarrow X \not\subseteq A)\})$ 。

鉴于 $F_{S_{ALC}}$ 与 FL_{ALC} 的推理形式的相似性, 这里不再针对 $F_{S_{ALC}}$ 的推理举例。

结束语 本文将形式概念分析和粗糙集理论的思想结合并应用于描述逻辑, 建立了两种新的粗糙描述逻辑的框架, 这为描述逻辑中的概念细化提供了一个新的工具。

参考文献

- [1] Baader F, Calvanese D, McGuinness D, et al. The Description Logic Handbook [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003
- [2] Peng Li, Yang Heng-fu. ABox consistency decision algorithm for description logic SHIF [J]. Application Research of Computers, 2013, 30(2): 423-428 (in Chinese)
- 彭立, 杨恒伏. 一种描述逻辑 SHIF 的 ABox 一致性判定算法 [J]. 计算机应用研究, 2013, 30(2): 423-428
- [3] Wang Xue-rui, Li Shuan-bao. RBox Reasoning in Description Logic ALC [J]. Natural Science Journal of Xiangtan University, 2014, 36(2): 104-108 (in Chinese)
- 王雪瑞, 李拴保. 描述逻辑 ALC 基于 RBox 的推理 [J]. 湘潭大学自然科学学报, 2014, 36(2): 104-108
- [4] Bobillo F, Srtaccia U. An expressive fuzzy description logic reasoner [C] // Proc of the 17th IEEE International Conf on Fuzzy Systems. Hong Kong, China, 2008: 923-930
- [5] Heinsohn J. Probabilistic Description Logics [C] // Proc of the 10th Conf on Uncertainty in Artificial Intelligence. 1994: 311-318
- [6] Schlobach S, Klein M, Peelen L. Description Logic with Approximate Definitions Precise Modeling of Vague Concept [C] // Proc of the 20th Internet Joint Conf on Artificial Intelligence. 2007: 557-562
- [7] Klinov P, Mazlack L J. Fuzzy rough approach to handling imprecision in semantic web ontologies [C] // NAFIPS Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society. Montreal, Que, Canada, 2006: 142-147
- [8] Zhang Xian-kun, Liu Dong, Li Le-ming. Study of imprecision temporal knowledge representation based on rough description logic [J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33(8): 3205-3209 (in Chinese)
- 张贤坤, 刘栋, 李乐明. 基于粗糙描述逻辑的不精确时态知识表示研究 [J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(8): 3205-3209
- [9] Wang Jing, Wang Hong, Li Jian, et al. Extension of contradiction problem-oriented description logic SHOQ [J]. Journal of Computer Application, 2014, 34(4): 1139-1143 (in Chinese)
- 王静, 王红, 李剪, 等. 面向矛盾问题的描述逻辑 SHOQ 扩展 [J]. 计算机应用, 2014, 34(4): 1139-1143
- [10] Wang Sui-hua, Zhao Ai-ling, Wei Tao. Reaserch of the Rough Extension of Description Logic [J]. Computer Engineering & Science, 2011, 33(2): 137-141 (in Chinese)
- 王岁花, 赵爱玲, 魏涛. 描述逻辑的粗糙扩展 [J]. 计算机工程与科学, 2011, 33(2): 137-141
- [11] Wang Yan-guang. Research on semantic web based on rough description logics [D]. Jilin: Jilin University, 2013 (in Chinese)
- 王艳光. 基于粗糙描述逻辑的语义网的研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2013
- [12] Yang Peng, Sun Bo. Improved framework of description logics Rough-SHOIN [J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(4): 23-26 (in Chinese)

杨鹏,孙波. 改进的描述逻辑框架 Rough-SHOIN[J]. 计算机工程与应用,2012,48(4):23-26

- [13] Pawlak Z. Rough sets [J]. International Journal of Computer and Information Sciences,1982,11(8):341-356
- [14] Yao Yi-yu,Chen Yao-hua. Rough set Approximations in formal concept analysis [C]// Proc of 2004 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society. 2004:73-78
- [15] Li Jin-hai, Mei Chang-lin, Xu Wei-hua, et al. Concept learning via granular computing: A cognitive viewpoint[J]. Information Sciences,2015,298:447-467
- [16] Ganter B, Wille R. Formal Concept Analysis [M]. New York: Mathematical Foundation, Springer-Verlag,1999
- [17] Wille R. Restructuring lattice theory: an approach based on hierarchies of concept [M]// Formal Concept Analysis: Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2009: 314-339
- [18] Li Jin-jin, Li Ke-dian, Wu Yan-hua. The approximation concept of concept lattices[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences),2013,49(2):244-249(in Chinese)
李进金,李克典,吴燕华. 概念格上的近似概念[J]. 南京大学学报,2013,49(2):244-249
- [19] Hu Ke-yun, Lu Yu-chang, Shi Chun-yi. Advanced in concept lattice and its application[J]. Journal of Tsinghua University (Sci-

ence and Technology),2000,40(9):77-81(in Chinese)

胡可云,陆玉昌,石纯一. 概念格及其应用进展[J]. 清华大学学报(自然科学版),2000,40(9):77-81

- [20] Shao Ming-wen, Liu Min, Zhang Wen-xiu. Set approximations in fuzzy formal concept analysis[J]. Fuzzy Sets and Systems,2007 (158):2627-2640
- [21] Shi Lian, Sun Ji-gui. Description Logic Survey[J]. Computer Science,2006,33(1):194-197(in Chinese)
石莲,孙吉贵. 描述逻辑综述[J]. 计算机科学,2006,33(1):194-197
- [22] Yan Hong-can, Yan Hong-tu, Liu Bao-xiang. Research on application of Tableau Algorithm in rough-logical knowledge reasoning [J]. Journal of Guizhou Normal University (Natural Science),2013,31(1):40-43(in Chinese)
阎红灿,闫宏图,刘保相. Tableau 算法在粗逻辑知识推理中的应用[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2013,31(1):40-43
- [23] Mei Jing, Lin Zuo-quan. From ALC to SHOQ(D): A Survey of Tableau Algorithm for Description Logic[J]. Computer Science, 2005,32(3):1-11(in Chinese)
梅婧,林作铨. 从 ALC 到 SHOQ(D):描述逻辑及其 Tableau 算法[J]. 计算机科学,2005,32(3):1-11
- [24] Sattler U. A concept language extended with different kinds of transitive roles[C]//20th Deutsche Jahrestagung for Kunstliche Intelligenz Berlin. Springer-Verlag. 1996,1137:333-345

(上接第 213 页)

时间属性包括非常规突发事件的发生时间、结束时间以及重要时间点。空间属性包括非常规突发事件的发生位置、影响位置,位置信息可以是路名、建筑物名称,也可以具体到 GIS 信息。多媒体信息包括图像、视频、音频等。

参 考 文 献

- [1] 刘云浩. 群智感知计算[J]. 中国计算机学会通讯,2012,8(10): 38-42
- [2] Zheng Y. Tutorial on Location-Based Social Networks[C]//Proceedings of the 21st International World Wide Web Conference. 2012
- [3] Fan Wei-cheng. Advisement and Suggestion to Sciencetific Problems of Emergency for Public Incidents[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China,2007,21(2)(in Chinese)
范维澄. 国家突发公共事件应急管理科学问题的思考和建议 [J]. 中国科学基金,2007,21(2)
- [4] 范维澄. 我国应急平台建设现状分析[OL]. <http://news.tsinghua.edu.cn>
- [5] Biagioni J, Gerlich T, Merrifield T, et al. EasyTracker: automatic transit tracking, mapping, and arrival time prediction using smartphones[M]//SenSys'11. 2011
- [6] Yan Bo, Chen Guan-ling. AppJoy: personalized mobile application discovery[C]//Proc. ACM MOBISYS. 2011
- [7] Yang Zheng, Wu Chen-shu, Liu Yun-hao. Locating in Fingerprint Space; Wireless Indoor Localization with Little Human Intervention[C]// ACM MobiCom 2012. Istanbul, Turkey, 2012: 22-26
- [8] Zhou Peng-fei, Zheng Yuan-qing, Li Mo. How Long to Wait?: Predicting Bus Arrival Time with Mobile Phone based Participatory Sensing[C]//Proceedings of ACM MobiSys. 2012

- [9] Wu Chen-shu, Yang Zheng, Liu Yun-hao, et al. WILL: Wireless Indoor Localization without Site Survey[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS), 2013, 24(4): 839-848
- [10] Zhao Dong, Ma Hua-dong, et al. COUPON: A Cooperative Framework for Building Sensing Maps in Mobile Opportunistic Networks[J]. IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., 2015, 26(2): 392-402
- [11] Guo Zhen, Zhang Zhong-fei, Zhu Sheng-huo, et al. A Two-Level Topic Model Towards Knowledge Discovery from Citation Networks[J]. IEEE Trans. Knowl. Data Eng., 2014, 26(4): 780-794
- [12] Guo Bin, Yu Zhi-wen, Zhang Da-qing, et al. Toward a Group-Aware Smartphone Sensing System[J]. IEEE Pervasive Computing, 2014, 13(4): 80-88
- [13] Han Jia-wei, Pei Jian. Mining Frequent Patterns by Pattern-Growth: Methodology and Implications[J]. SIGKDD Explorations, 2000, 2(2): 14-20
- [14] Crooks A, Croitoru A, Stefanidis A, et al. Earthquake: Twitter as a Distributed Sensor System[J]. Transaction in GIS, 2013, 17(1): 124-147
- [15] Longueville B, Smith R, Luraschi G. OMG, from here I can see the flames, a use case of mining location based social networks to acquire spatio-temporal data on forest fires[C]//Proceedings of the International Workshop on Location-Based Social Networks, 2009: 73-80
- [16] Liu Y, Alexandrova T, Nakajima T. Using Stranger as Sensors: Temporal and Geo-sensitive Question Answering via Social Media[C]//Proceedings of the 22th International World Wide Web Conference. 2013: 803-813
- [17] Qu Y, Zhang J. Trade Area Analysis using User Generated Mobile Location Data[C]//Proceedings of the 22th International World Wide Web Conference. 2013: 1053-1063