

doi : 10.3969/j.issn.1005-3026.2016.09.010

一种模糊时空描述逻辑 F-ALCT(D_{fst})

程海涛¹, 马宗民¹, 严 丽², 张 富¹

(1. 东北大学 计算机科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819 ; 2. 东北大学 软件学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要 : 为了实现语义 Web 中模糊时空知识的表示与推理 , 提出了一种支持模糊时空具体域的模糊描述逻辑 F-ALCT(D_{fst})。首先 , 构建了包含模糊时空区域及其时空拓扑谓词的模糊时空具体域 D_{fst} , 给出了两个模糊时空区域之间的拓扑关系模糊度的计算方法。然后 , 将 D_{fst} 和时态操作符引入到模糊描述逻辑 Fuzzy-ALC 中 , 构建出一种新的模糊描述逻辑 F-ALCT(D_{fst}) , 并定义了其语法、语义和知识库。最后 , 给出了一个 F-ALCT(D_{fst}) 的知识库实例。F-ALCT(D_{fst}) 有效地实现了语义 Web 中模糊时空知识的表示。

关 键 词 : 语义 Web ; 模糊描述逻辑 ; 模糊时空区域 ; 拓扑谓词 ; 具体域 ; 模糊时空描述逻辑

中图分类号 : TP 301 **文献标志码 :** A **文章编号 :** 1005-3026(2016)09-1259-05

A Fuzzy Spatio-Temporal Description Logic F-ALCT(D_{fst})

CHENG Hai-*tao*¹ , MA Zong-min¹ , YAN Li² , ZHANG Fu¹

(1. School of Computer Science & Engineering , Northeastern University , Shenyang 110819 , China ; 2. School of Software , Northeastern University , Shenyang 110819 , China. Corresponding author : CHENG Hai-*tao* , E-mail : haitaoneu@126.com)

Abstract : In order to achieve representation and reasoning of fuzzy spatio-temporal knowledge in semantic Web , a fuzzy description logic F-ALCT(D_{fst}) supporting fuzzy spatio-temporal concrete domain was proposed. Firstly , a fuzzy spatio-temporal concrete domain D_{fst} containing fuzzy spatio-temporal regions and their topological predicates was constructed. And the quantitative computation method of fuzzy topological relationships between fuzzy spatio-temporal regions was presented. Then , the concrete domain D_{fst} and temporal operators were introduced to fuzzy description logic Fuzzy-ALC , and a new fuzzy spatio-temporal description logic , called F-ALCT(D_{fst}) , was proposed. Furthermore , a formal definition of syntax , semantics and knowledge base of the F-ALCT(D_{fst}) was presented. Finally , an example of F-ALCT(D_{fst}) knowledge base was given. The F-ALCT(D_{fst}) effectively realizes the representation of fuzzy spatio-temporal knowledge in semantic Web.

Key words : semantic Web ; fuzzy description logic ; fuzzy spatio-temporal regions ; topological predicates ; concrete domain ; fuzzy spatio-temporal description logic

当前 , 很多应用领域都涉及到时空信息^[1] , 例如 , 地理信息系统、时空数据库、动态社交网络以及环境气象监测系统。随着时空应用需求的不断扩大 , 对时空知识的管理便成为一个很重要的研究方向。由此产生了与时空知识管理技术相关的研究问题 , 包括时空知识的表示、推理和检索等^[2]。

然而 , 在实际应用中存在着大量的不精确和不确定时空知识 , 一些时态信息、空间对象的位置信息以及空间拓扑关系等都存在模糊性^[3]。随着模糊时空知识的出现 , 模糊时空知识的表示已经成为当前机器人视觉、环境监测和地理信息系统等领域的研究热点问题之一^[4]。

近年来 , 随着语义 Web 的发展 , 大量模糊时空知识及其相关的应用被纳入到语义 Web 中。而描述逻辑(DL)作为语义 Web 对知识表示和推理的逻辑基础 , 在人工智能等领域中已经得到了广

收稿日期 : 2015-07-20
基金项目 : 国家自然科学基金资助项目(61370075) ; 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-05-0288)。
作者简介 : 程海涛(1986-) , 男 , 河南光山人 , 东北大学博士研究生 ; 马宗民(1965-) , 男 , 山东金乡人 , 东北大学教授 , 博士生导师。

泛应用^[5]. 如何扩展描述逻辑以实现模糊时空知识的表示与推理是当前亟需解决的问题.

当前,为了表示和推理语义 Web 中的空间知识和模糊空间知识,已经有大量的工作致力于经典(模糊)空间描述逻辑的研究. 针对语义 Web 中空间知识的处理,许多研究人员对 ALC 进行扩展,提出了一系列空间描述逻辑,例如,ALCRP(D)^[5],ALCRP³(D)^[6]和 ALC(D_{rcc})^[7]等. 针对语义 Web 中模糊空间知识表示,Straccia 等提出了支持空间具体域的模糊空间描述逻辑 Fuzzy-ALC(D)^[8]. 然而,上述的研究只能处理空间和模糊空间知识,不能表示和推理实际应用中的模糊时空知识.

为此,本文提出了一种支持模糊时空知识表示和推理的描述逻辑 F-ALCT(D_{fst}). 具体的思路是:首先,定义了由模糊时空区域及其拓扑谓词组成的模糊时空具体域 D_{fst}. 然后,将模糊时空具体域 D_{fst}和时态算子◇^{*}(sometime in the future)与□^{*}(always in the future)引入到模糊描述逻辑 Fuzzy-ALC^[9]中,构建出一种新的模糊描述逻辑 F-ALCT(D_{fst}),并给出其语法、语义以及知识库表示的形式化定义. 最后,通过一个知识库实例来展示 F-ALCT(D_{fst})对模糊时空知识的表示能力以及在语义图像检索方面的应用.

1 模糊时空具体域 D_{fst}

为了构建模糊时空描述逻辑 F-ALCT(D_{fst}),需要定义模糊时空具体域 D_{fst}. 基于文献[9]对模糊具体域的描述,本文给出了 D_{fst}的形式化定义.

定义 1 模糊时空具体域 D_{fst}是一个二元组 D_{fst}=(Δ_D, φ_D),其中:

- 1) Δ_D 是模糊时空区域的集合;
- 2) φ_D 是模糊时空区域之间的二元模糊时空谓词的集合.

下面将对 D_{fst}中所包含的模糊时空区域和二元模糊时空谓词进行详细阐述.

1.1 模糊时空区域

根据文献[1]可知,α-截(α-cut level)区域可以用来近似地估计区域的不确定边界. 由于本文需要得到模糊区域间的定量拓扑关系,所以选择 α-截区域去估计模糊区域. A_{α_i}是以隶属度等于 α_i的所有点边界组成的二维区域,即 A_{α_i}={{(x,y)∈IR²|μ_A(x,y)≥α_i}}. 其中,IR²表示平面的二维空间,x和y分别表示模糊区域 A 的 x 轴

和 y 轴坐标点的集合. μ_A(x,y)表示模糊区域 A 的隶属函数. 假设存在隶属度的关系是:1=α₁>α₂>...>α_n>α_{n+1}=0,那么它们所对应的 α-截区域的关系是:A_{α₁}⊆A_{α₂}⊆...⊆A_{α_n}⊆A_{α_{n+1}}. 图 1 给出了模糊区域的图形化表示.

在上述模糊区域概念的基础上,本文进一步给出了模糊时空区域的形式化定义.

定义 2 假设 T 是在时间流上的离散时间点或时间区间的集合, A 是模糊区域的集合,那么模糊时空区域 O 可以定义为:O=<t_i, μ_i>,其中,t_i∈T, μ_i∈A, i=1,2,...,n.

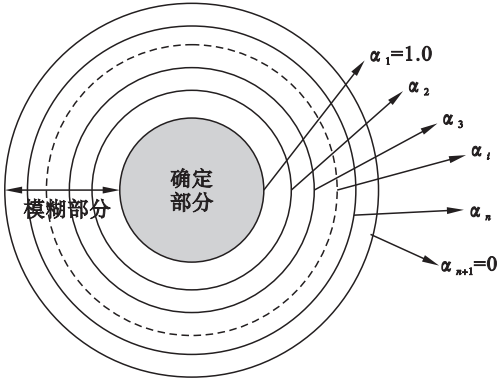


图 1 模糊区域的图形化表示
Fig. 1 Graphical representation of fuzzy region

1.2 模糊时空谓词

1) 模糊空间拓扑谓词. 模糊区域的边界存在着不确定性和模糊性,从而导致 2 个模糊区域之间的拓扑关系也存在着模糊性. 下面将描述如何定量地计算拓扑关系模糊度.

依据文献[1]中提到的基本概率赋值函数 m(A_{α_i}),将其引入到模糊区域 A 的每一个 α-截区域 A_{α_i}中,并给出了 m(A_{α_i})=α_i-α_{i+1}的定义(1≤i≤n). 2 个模糊区域间的拓扑关系模糊度计算公式表示如下:

$$\delta_f(A,B)=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^m(\alpha_i-\alpha_{i+1})(\alpha_j-\alpha_{j+1})\delta_c(A_{\alpha_i},B_{\alpha_j}). \quad (1)$$

其中 δ_f(A,B)表示模糊区域 A 和 B 之间的 8 种拓扑谓词 f 的模糊度,其值介于 0 到 1 之间;δ_c(A_{α_i},B_{α_j})表示 A 和 B 的两个 α-截集 A_{α_i}和 B_{α_j}间的基本拓扑谓词 c 的值,其值只能取 0 或者 1;m 和 n 分别表示 A 和 B 所取的 α-截区域个数.

2) 模糊时空拓扑谓词. 模糊时空谓词是模糊时空区域的一个重要属性. 在定义 2 的基础上,进一步给出了 D_{fst}中模糊时空谓词的定義.

定义 3 假设 T 是拓扑关系的有效时间集合,O_A和 O_B是 T 时间上的 2 个模糊区域. 模糊时空谓词是形如 p(O_A,O_B,t)的三元组,其中 t∈

$T, p \in \{\text{disjoint, meet, contains, inside, equal, overlap, covers, coveredby}\}$. 对于每个时间点 t , 则有模糊时空谓词 p 的模糊度 $\delta_p(O_A, O_B, t) = \delta_p(A, B)$ 其中 $\delta_p(A, B) \in [0, 1]$ 可由公式 (1) 计算出.

下面通过 1 个实例来说明 2 个模糊时空区域间拓扑关系模糊度的计算. 假设 2015 年 6 月 1 日 2 个云团 A 和 B 是模糊时空区域, 如图 2 所示. 假设 2 个区域取了 5 个相同的 α -截集区域, 其边界隶属度分别为 $\alpha_1 = 1.0$ $\alpha_2 = 0.8$ $\alpha_3 = 0.5$ $\alpha_4 = 0.2$ $\alpha_5 = 0$.

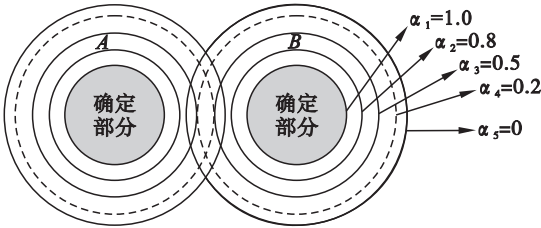


图 2 模糊时空区域 A 和 B 的拓扑关系图
Fig. 2 Topological relationship between fuzzy spatio-temporal regions A and B

本文用矩阵的形式表示 α -截集 A_{α_i} 和 B_{α_j} 间拓扑关系值, 如下所示(矩阵中的元素只能取 0 或 1):

$$\delta_{\text{disjoint}}(A_{\alpha_i}, B_{\alpha_j}) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

利用公式 (1) 和上述的矩阵数值, A 和 B 之间的拓扑关系 Disjoint 模糊度的计算结果为

$$\delta_{\text{Disjoint}}(A, B) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 (\alpha_i - \alpha_{i+1})(\alpha_j - \alpha_{j+1}) \delta_{\text{disjoint}}(A_{\alpha_i}, B_{\alpha_j}) = 0.84.$$

因此 2015 年 6 月 1 日, 大气层中的云团 A 与 B 处于相离(Disjoint)关系的程度为 0.84.

2 F-ALCT(D_{fst})的语法、语义以及知识库表示

本节将从语法、语义和知识库三个方面来描述模糊时空描述逻辑 F-ALCT(D_{fst}).

2.1 F-ALCT(D_{fst})语法

定义 4 给出了 F-ALCT(D_{fst})的语法.

定义 4 假设 N_C, N_R, N_T, N_I, N_O 分别是 F-ALCT(D_{fst})中不相交概念名、抽象角色名、具体角色名、个体实例名和时空区域的集合; $R \in N_R$

叫做抽象角色, $T \in N_T$ 叫做具体角色, \diamond^* 表示未来的某个时间点(sometime in the future), \square^* 表示未来的所有的时间点(always in the future). 与 Fuzzy-ALC^[9]的语法相类似, F-ALCT(D_{fst})的概念是由以下语法定义:

$$C, D := \top \mid \perp \mid A \mid \neg C \mid \diamond^* C \mid \square^* C \mid C \cap D \mid C \cup D \mid \forall R. C \mid \exists R. C \mid \exists (T_1, T_2). D_{fst} \mid \forall (T_1, T_2). D_{fst};$$

$$D_{fst} := p \mid \neg p \mid p_1 \vee p_2 \mid p_1 \wedge p_2.$$

其中: \top 和 \perp 分别是顶概念和底概念; C 和 D 是两个任意概念; A 是 C 中的原子概念; D_{fst} 是模糊时空具体域; p, p_1 和 p_2 表示模糊时空谓词.

2.2 F-ALCT(D_{fst})语义

F-ALCT(D_{fst})语义包括两个部分, 一部分是对模糊时空具体域 D_{fst} 的语义解释, 另一部分是对定义 4 中语法的语义解释. 这两部分的解释都是建立在 Zadeh^[10]提出的模糊集的基础上的. 首先, 给出 F-ALCT(D_{fst})中 D_{fst} 的语义解释.

定义 5 假设 T 是有序的时间点集合. 模糊时空具体域 D_{fst} 的语义是由模糊解释 J 给出的. 对于任意的时间点 $t \in T$, J 将时空拓扑谓词 p 解释为 $p^J(A^J, B^J, t^J) \rightarrow [0, 1]$, $p \in \{\text{disjoint, contains, inside, equal, overlap, covers, meet, coveredby}\}$. 解释 J 还被扩展到其他的时空谓词表达式, 即

$$\begin{aligned} \neg p^J(A^J, B^J, t^J) &= 1 - p^J(A^J, B^J, t^J), \\ (p_1 \wedge p_2)^J(A^J, B^J, t^J) &= p_1^J(A^J, B^J, t^J) \wedge p_2^J(A^J, B^J, t^J), \\ (p_1 \vee p_2)^J(A^J, B^J, t^J) &= p_1^J(A^J, B^J, t^J) \vee p_2^J(A^J, B^J, t^J). \end{aligned}$$

然后, 将 D_{fst} 的解释引入到 Fuzzy-ALC 的语义解释中, 就得到了 F-ALCT(D_{fst})语义解释.

定义 6 F-ALCT(D_{fst})语义是由模糊解释 $I = (\Delta^I, \Delta_D, J, \cdot^{\langle t \rangle})$ 给出. 在时间点 t 的解释 $I(t) = (\Delta^I, \Delta_D, J, \cdot^{\langle t \rangle})$. 其中: Δ^I 是由模糊抽象域中个体实例组成的非空集合; Δ_D 是由模糊时空具体域中模糊时空区域组成的非空集合, 并且与 Δ^I 是互不相交的; J 是对 D_{fst} 中时空谓词的模糊解释; $\cdot^{\langle t \rangle}$ 是模糊解释函数. 对于任意的时间点 t , 模糊解释函数 $\cdot^{\langle t \rangle}$ 将:

- 1) 任意的抽象概念 $C \in N_C$ 映射为一个隶属函数 $C^{\langle t \rangle}: \Delta^I \rightarrow [0, 1]$;
- 2) 抽象实例 $a \in N_I$ 映射为 Δ^I 的一个元素 $a^{\langle t \rangle} \in \Delta^I$. 如果 $a \neq b$, 那么 $a^{\langle t \rangle} \neq b^{\langle t \rangle}$;
- 3) 模糊时空区域 $o \in N_O$ 映射为 Δ_D 的一个

元素 $o^{(t)} \in \Delta_D$ 满足 $o^{(t)} = o$;

4) 抽象角色 $R \in N_R$ 映射为一个隶属函数 $R^{(t)} : \Delta^I \times \Delta^I \rightarrow [0, 1]$;

5) 具体角色 $T \in N_T$ 映射为一个隶属函数 $T^{(t)} : \Delta^I \times \Delta_D \rightarrow [0, 1]$;

6) 具体特征 $f \in N_T$ 映射为一个隶属函数 $f^{(t)} : \Delta^I \times \Delta_D \rightarrow \{0, 1\}$,对于每个个体实例 $a \in N_I$ 都有唯一的模糊时空区域 $o \in N_O$,使得 $f^{(t)}(a, \rho)$ 被定义.

此外 模糊函数 $\cdot^{(t)}$ 还可以扩展到任意的概念 其语义解释如下(假设 $u, v \in \Delta^I, r_1, r_2 \in \Delta_D$) :

$$\begin{aligned} \top^{(t)}(u) &= 1, \\ \perp^{(t)}(u) &= 0, \\ (A)^{(t)}(u) &= A^{(t)}(u), \\ (\neg C)^{(t)}(u) &= 1 - C^{(t)}(u), \\ (\diamond * C)^{(t)}(u) &= \sup_{t > a} C^{(a)}(u), \\ (\square * C)^{(t)}(u) &= \inf_{t < a} C^{(a)}(u), \\ (C \sqcap D)^{(t)}(u) &= \min\{C^{(t)}(u), D^{(t)}(u)\}, \\ (C \sqcup D)^{(t)}(u) &= \max\{C^{(t)}(u), D^{(t)}(u)\}, \\ (\forall R. C)^{(t)}(u) &= \inf_{v \in \Delta^I} \{\max\{1 - R^{(t)}(u, v), C^{(t)}(v)\}\}, \\ (\exists R. C)^{(t)}(u) &= \sup_{v \in \Delta^I} \{\min\{R^{(t)}(u, v), C^{(t)}(v)\}\}, \\ (\forall (T_1, T_2). D_{\text{fst}})^{(t)}(u) &= (T_1^{(t)}(u, r_1) \wedge T_2^{(t)}(u, r_2))(D_{\text{fst}}^{(t)}(r_1, r_2)), \\ (\exists (T_1, T_2). D_{\text{fst}})^{(t)}(u) &= \{T_1^{(t)}(u, r_1) \wedge T_2^{(t)}(u, r_2) \wedge D_{\text{fst}}^{(t)}(r_1, r_2)\}. \end{aligned}$$

2.3 F-ALCT(D_{fst})知识库

F-ALCT(D_{fst})知识库 Σ 是由模糊 TBox T 和模糊 ABox A 两个部分组成. 下面给出这两个部分的定义.

定义 7 模糊 TBox T :模糊 TBox T 是有限个模糊术语公理集,包含公理 $\langle C \subseteq D \rangle$ 和等价公理 $\langle C \equiv D \rangle$. 从语义的角度来解释,一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足公理 $C \subseteq D$ 成立,当且仅当对于任意的 $d \in \Delta^I$ 和任意的时间点 t ,有 $C^{(t)}(d) \leq D^{(t)}(d)$;一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足公理 $C \equiv D$ 成立,当且仅当对于任意的 $d \in \Delta^I$ 和任意的时间点 t ,有 $C^{(t)}(d) = D^{(t)}(d)$. 也就是说,一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足模糊 TBox T 成立,当且仅当 $\mathcal{I}(t)$ 满足所有的概念公理.

定义 8 模糊 ABox A :模糊 ABox A 是有限的模糊断言集合,以 $\langle \alpha \bowtie k, t \rangle$ 的形式表示. 其中 α 是形如 $\langle a : C \rangle, \langle (a, b) : R \rangle, \langle (a, \rho) : T$

$>$ 和 $\langle (o_1, \rho_2) : p \rangle$ 的模糊断言, $\bowtie \in \{\geq, >, \leq, <\}$, $k \in [0, 1]$, t 表示任意的时间点. 模糊 ABox A 包括以下 4 种模糊断言类型 :

1) 模糊概念断言 $\langle a : C \bowtie k, t \rangle$:该断言表示在任意的时间点 t ,抽象个体实例 a 是概念 C 的一个实例,并且具有隶属度为 k . 一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足该断言成立,当且仅当 $C^{(t)}(a) \bowtie k$.

2) 模糊抽象角色断言 $\langle (a, b) : R \bowtie k, t \rangle$:该断言表示在时间点 t ,两个抽象个体实例 a 和 b 之间存在抽象角色关系 R ,且该关系具有隶属度为 k . 一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足该断言成立,当且仅当 $R^{(t)}(a, b) \bowtie k$.

3) 模糊具体角色断言 $\langle (a, \rho) : T \bowtie k, t \rangle$:该断言表示在时间点 t ,抽象个体实例 a 和具体域中模糊时空区域 ρ 之间存在具体角色关系 T ,且具有隶属度为 k . 一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足该断言成立,当且仅当 $T^{(t)}(a, \rho) \bowtie k$.

4) 模糊时空谓词断言 $\langle (o_1, \rho_2) : p \bowtie k, t \rangle$:该断言表示在时间点 t 2 个模糊时空区域 o_1 和 o_2 之间存在模糊时空谓词关系 p ,且具有隶属度为 k . 一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足该断言成立,当且仅当 $p^{(t)}(o_1, \rho_2) \bowtie k$.

如果一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足模糊 ABox A 成立,当且仅当 $\mathcal{I}(t)$ 满足 A 的所有模糊断言集合.

综上所述,一个模糊解释 $\mathcal{I}(t)$ 满足知识库 Σ 成立,当且仅当 $\mathcal{I}(t)$ 满足所有的模糊 ABox A 和模糊 TBox T .

一个 F-ALCT(D_{fst})知识库 Σ 蕴含模糊断言 α (记着 $|\Sigma| = \alpha$)当且仅当 Σ 的每一个模型也满足 α . 给定一个知识库 Σ 和模糊断言 α ,那么相对于 Σ ,一个断言 α 的最大下确界(记为 $\text{glb}(\Sigma, \alpha)$)表示为

$$\text{glb}(\Sigma, \alpha) = \sup\{k \mid \Sigma \models \langle \alpha \geq k \rangle\}. \quad (2)$$

相对于 Σ ,一个断言的最小上确界(记为 $\text{lub}(\Sigma, \alpha)$)表示为

$$\text{lub}(\Sigma, \alpha) = \inf\{k \mid \Sigma \models \langle \alpha \leq k \rangle\}. \quad (3)$$

3 知识库实例

本文以某个地区的天气变化为例来说明模糊时空描述逻辑的知识表示能力及其在实例检索方面的应用.

具体描述为:假设 2 张卫星云图 (SatelliteMap) i_1 和 i_2 ,分别是 5 月 1 日 8 00am(t_1)和 5 月 1 日 9 00am(t_2)的快照. 在 t_1 和 t_2 时刻,一个雾区(fog) r_1 和风区(wind) r_2 处

于模糊相离(Disjoint)的时空拓扑关系.随着时间的变化 2 个区域的 Disjoint 关系所具有的隶属度不同.模糊抽象域到模糊时空具体域的映射如图 3 所示.

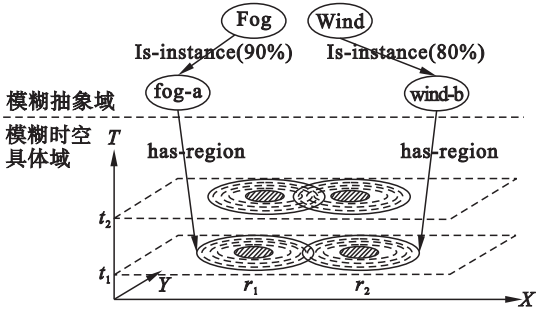


图3 从模糊抽象域到模糊时空具体域的映射实例图

Fig. 3 Mapping from fuzzy abstract domain to fuzzy spatio-temporal concrete domain

本实例假设 2 个模糊时空区域 r_1 和 r_2 被划分为 5 个相同的 α -截集区域,利用式(1),可以计算出在 t_1 时刻 2 个区域的 Disjoint 关系隶属度为 0.92,在 t_2 时刻,其隶属度为 0.84.下面给出模糊时空描述逻辑的知识表示以及语义检索应用.

1)知识表示.在 t_1 时刻,模糊时空纯断言知识库 $\Sigma_{t_1} = \{$

$\langle i_1 : \text{SatelliteMap}, 1 \rangle, \langle (i_1, \text{wind-b}) : \text{Depicts}, 0.8 \rangle,$
 $\langle (i_1, \text{fog-a}) : \text{Depicts}, 0.6 \rangle, \langle \text{wind-b} : \text{Wind}, 0.8 \rangle,$
 $\langle \text{fog-a} : \text{Fog}, 0.9 \rangle, \langle (\text{wind-b}, r_2) : \text{has-region}, 1 \rangle,$
 $\langle (\text{fog-a}, r_1) : \text{has-region}, 1 \rangle, \langle (r_1, r_2) : \text{Disjoint}, 0.92 \rangle \}.$

在 t_2 时刻,模糊时空纯断言知识 $\Sigma_{t_2} = \{$

$\langle i_2 : \text{SatelliteMap}, 1 \rangle, \langle (i_2, \text{wind-b}) : \text{Depicts}, 0.8 \rangle,$
 $\langle (i_2, \text{fog-a}) : \text{Depicts}, 0.7 \rangle, \langle \text{wind-b} : \text{Wind}, 0.8 \rangle,$
 $\langle \text{fog-a} : \text{Fog}, 0.9 \rangle, \langle (\text{wind-b}, r_2) : \text{has-region}, 1 \rangle,$
 $\langle (\text{fog-a}, r_1) : \text{has-region}, 1 \rangle, \langle (r_1, r_2) : \text{Disjoint}, 0.84 \rangle \}.$

2)图像检索.本文假设需要检索雾区和风区处于相离关系的图像.通过定义一个查询概念 C 对知识库 Σ_{t_1} 和 Σ_{t_2} 进行实例查询,其中概念 C 被定义如下:

$C = \Diamond^* \text{Satellite Map} \sqcap \exists(\text{Depicts. Wind} \sqcap$

$\exists(\text{Depicts. Fog} \sqcap \exists(\text{has-region}, \text{has-region}).$

Disjoint.

利用式(2),可以计算出

$\text{glb}(\Sigma_{t_1}, \langle i_1 : C \rangle) = 0.6, \text{glb}(\Sigma_{t_2}, \langle i_2 : C \rangle) = 0.7.$

因此,在对整个卫星云图图像检索之后,检索结果的排序是:图像 i_2 排在 i_1 的前面.

4 结 语

本文提出了一种模糊时空描述逻辑 F-ALCT(D_{fst}),并给出了 F-ALCT(D_{fst})的语法、语义和知识库表示的形式化定义.最后,通过具体的知识库实例展示了 F-ALCT(D_{fst})的知识表示能力以及在语义检索方面的应用.后续的研究工作是在 F-ALCT(D_{fst})的基础上,研究其推理机的实现.

参考文献:

- [1] Sözer A, Yazıcı A, Oğuztüzün H, et al. Modeling and querying fuzzy spatiotemporal databases [J]. *Information Sciences* 2008, 178(19): 3665-3682.
- [2] Pierkot C, Andrés S, Faure J F, et al. Formalizing spatiotemporal knowledge in remote sensing applications to improve image interpretation [J]. *Journal of Spatial Information Science* 2013, 77(1): 77-98.
- [3] Bai L, Yan L, Ma Z M. Modeling topological relations between fuzzy spatiotemporal regions over time [C]// *Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. Brisbane 2012: 1-8.
- [4] Ribaric S, Hrkac T. A model of fuzzy spatio-temporal knowledge representation and reasoning based on high-level Petri nets [J]. *Information Systems* 2012, 37(3): 238-256.
- [5] Haarslev V, Lutz C, Möller R. A description logic with concrete domains and a role-forming predicate operator [J]. *Journal of Logic and Computation* 1999, 9(3): 351-384.
- [6] Kaplunova A, Haarslev V, Möller R. Adding ternary complex roles to ALCRP(D) [C]// *Proceedings of the International Workshop on Description Logics*. Toulouse 2002: 45-52.
- [7] Weasel M. Some practical issues in building a hybrid deductive geographic information system with a DL-component [C]// *Proceedings of the 10th International Workshop on Knowledge Representation Meets Databases*. Hamburg 2003.
- [8] Straccia U. Towards spatial reasoning in fuzzy description logics [C]// *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. Jeju Island 2009: 512-517.
- [9] Straccia U. Description logics with fuzzy concrete domains [C]// *Proceedings of the 21st Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*. Edinburgh 2005: 559-567.
- [10] Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. *Information Control* 1965, 8(3): 338-353.