

基于 SRC-Ontology 的空间拓扑关系 拓展表示方法及实现

汪西莉¹ 覃婧婵¹ 曹 菡¹ 师 军¹

(1 陕西师范大学计算机科学学院,西安市长安南路 199 号,710062)

摘 要:建立了空间关系的本体结构,在 SRC-Ontology 基于点集集合的 8 种拓扑关系表示的基础上,引入数学形态学算子,用基本的空间拓扑关系进行组合推理拓展,得到了点、直线、面三种空间目标间的 6 大类共 43 种拓扑关系表示,并程序实现了所提出的拓扑关系的判定。该表示方法比 SRC-Ontology 8 种拓扑关系表示更适合点、直线、面三类空间目标表示的需要,为空间拓扑关系建立本体模型提供了更加清晰明确的形式化表示基础,同时使得实际应用成为可能。

关键词:空间拓扑关系;SRC-Ontology;本体;推理

中图法分类号:P208

空间关系是 GIS 的重要理论问题之一^[1]。拓扑关系作为空间关系的一类,是指在延展、移动、旋转等变换下保持不变的一种定性关系^[2],它在空间数据的组织、分析、查询等方面具有十分重要的作用^[3]。近十年来,国际学术界对空间关系的理论模型进行了大量的研究,在空间关系描述及表达方面取得了可喜的成果^[4]。然而,目前的空间关系表示形式大多只适用于一种或两种空间关系的表示与研究^[5],缺乏综合拓扑、方向与度量关系的统一的空间关系表示形式,给空间数据建模、查询语言构建等带来极大的不便或困难。本体作为共享概念的详细化说明^[6],通过研究领域的概念和实体,以及这些概念、实体之间的关系来统一领域内的术语和概念^[7]。通过建立基于本体的空间关系表示,把各种空间关系融合在一起,将为综合多种空间关系的空间推理的实现奠定基础。

Coenen 和 Visser 提出了一个支持 N 维空间推理的通用核心本体^[8];曹菡在该核心本体的基础上构造了一个支持一般空间关系推理应用的通用空间关系表示核心本体 SRC-Ontology^[9],使用 SRC-Ontology 来统一表示拓扑关系、方向关系和距离关系,并引入腐蚀和膨胀两个数学形态学算

子用于辅助表示基于 SRC-Ontology 的 8 种拓扑关系,但该表示方法仅适合面目标的拓扑关系表示,对于点目标、线目标以及二者和面目标之间的拓扑关系表示则不能完全适用。本文针对 SRC-Ontology 8 种拓扑关系表示方法的不足,提出了基本空间拓扑关系表示,基于基本的空间拓扑关系进行组合推理拓展,得到了点、线、面三种空间目标之间的 6 大类共 43 种拓扑关系表示。

1 基于 SRC-Ontology 的拓扑关系表示

1.1 SRC-Ontology 的基本结构

SRC-Ontology 定义为一个 3-元组,其中每个元素又分别是一个集合,SRC-Ontology 按照“单元”集合定义为^[8]:

$$\text{SRC-Ontology} = \{ \langle \text{Space, Objects, Relations} \rangle \}$$

其中,集合 Space 描述了所研究的空间领域的性质;集合 Objects 定义了空间实体的集合,这些空间实体可以描述点、区间、事件、面积、体积等,并且定义了与这些实体相联系的属性;集合 Relations 定义了空间实体偶对之间存在的关系。

1.2 基于 SRC-Ontology 的基本空间拓扑关系表示

SRC-Ontology 中,所有的位置和位置空间表示为集合,因此,描述空间目标间关系的最自然方式是按照标准集合,目标间的关系表示为布尔代数^[5]: $R_{\text{Equals}}(A,B) \Rightarrow \text{true if } A=B$; $R_{\text{Intersects}}(A,B) \Rightarrow \text{true if } A \cap B$; $R_{\text{Subset}}(A,B) \Rightarrow \text{true if } A \subset B$; $R_{\text{SubsetOrEquals}}(A,B) \Rightarrow \text{true if } A \subseteq B$; $R_{\text{Superset}}(A,B) \Rightarrow \text{true if } A \supset B$; $R_{\text{SupersetOrEquals}}(A,B) \Rightarrow \text{true if } A \supseteq B$; $\text{Relations}=\{=, \cap, \subset, \subseteq, \supset, \supseteq\}$ 。其中, A 和 B 是单元地址集合,加上这些谓词的逆关系,可以得到 12 种可能的关系表示。

根据 SRC-Ontology 中目标间可能的 12 种关系表示,针对基本的空间目标点、线、面分别建立它们之间的基本空间目标关系,为每一种基本的空间拓扑关系都取一个单独的名称。该名称的表示中,开始的两个大写字母是空间目标类型的缩写, P 表示点(Point), L 表示直线(Line), A 表示面(Area, 或者称区域),并且两个字母有先后顺序之分,第一个字母代表 A 目标的类型,第二个字母代表 B 目标的类型;后面的单词组合表示具体的拓扑关系类型,如 $PPEquals$ 表示 A 点与 B 点重叠(相等)。

基本空间目标拓扑关系表示为:①点与点, $PPEquals(A,B)$ (A 、 B 点重叠(相等))、 $PPNotEquals(A,B)$ (A 点 B 点相离);②点与线, $PLSubset(A,B)$ (A 点在 B 线上)、 $PLNotSubset(A,B)$ (A 点不在 B 线上);线与点, $LPSuperset(A,B)$ (B 点在线 A 上)、 $LPNotSuperset(A,B)$ (B 点不在 A 线上);③点与面, $PASubset(A,B)$ (A 点在 B 面内)、 $PANotSubset(A,B)$ (A 点不在 B 面内);面与点, $APSuperSet(A,B)$ (B 点在 A 面内)、 $APNotSuperSet(A,B)$ (B 点不在 A 面内);④线与线, $LLEquals(A,B)$ (A 、 B 线相等)、 $LLNotEquals(A,B)$ (A 、 B 线不相等)、 $LLIntersect(A,B)$ (A 、 B 线相交)、 $LLNotIntersect(A,B)$ (A 、 B 线不相交)、 $LLSubset(A,B)$ (A 线是 B 线的真子集)、 $LLNotSubset(A,B)$ (A 线不是 B 线的真子集)、 $LLSubsetOrEqual(A,B)$ (A 线是 B 线的子集)、 $LLNotSubsetOrEqual(A,B)$ (A 线不是 B 线的子集)、 $LLSuperset(A,B)$ (B 线是 A 线的真子集)、 $LLNotSuperset(A,B)$ (B 线不是 A 线的真子集)、 $LLSupersetOrEqual(A,B)$ (B 线是 A 线的子集)、 $LLNotSupersetOrEqual(A,B)$ (B 线不是 A 线的子集);⑤线与面, $LAIIntersect(A,B)$ (A 线 B 面相交)、 $LAINotIntersect(A,B)$ (A

线 B 面不相交)、 $LASubset(A,B)$ (A 线是 B 面的真子集)、 $LAINotSubset(A,B)$ (A 线不是 B 面的真子集);面与线, $ALIntersect(A,B)$ (A 面 B 线相交)、 $ALNotIntersect(A,B)$ (A 面 B 线不相交)、 $ALSuperset(A,B)$ (B 线是 A 面的真子集)、 $ALNotSuperset(A,B)$ (B 线不是 A 面的真子集);⑥面与面, $AAEquals(A,B)$ (A 面 B 面相等)、 $AANotEquals(A,B)$ (A 面 B 面不相等)、 $AAIntersect(A,B)$ (A 面 B 面相交)、 $AANotIntersect(A,B)$ (A 面 B 面不相交)、 $AASubset(A,B)$ (A 面是 B 面的真子集)、 $AANotSubset(A,B)$ (A 面不是 B 面的真子集)、 $AASubsetOrEqual(A,B)$ (A 面是 B 面的子集)、 $AANotSubsetOrEqual(A,B)$ (A 面不是 B 面的子集)、 $AASuperset(A,B)$ (B 面是 A 面的真子集)、 $AANotSuperset(A,B)$ (B 面不是 A 面的真子集)、 $AASupersetOrEqual(A,B)$ (B 面是 A 面的子集)、 $AANotSupersetOrEqual(A,B)$ (B 面不是 A 面的子集)。这里将 SRC-Ontology 12 种可能的关系表示细化为以上 6 类基本空间目标拓扑关系的表示,把点、线和面目标的各种基本拓扑关系表示区分开来,而不是粗略地局限于面目标之间的拓扑关系表示,为空间拓扑关系的拓展表示奠定了基础。

1.3 基于 SRC-Ontology 的拓展空间拓扑关系表示

由于 SRC-Ontology 中的布尔代数运算不能直接表示某些关系,为了在基本空间目标拓扑关系的基础上拓展实际空间目标的拓扑关系,文献[5]中引入了腐蚀(\ominus)和膨胀(\oplus)^[9]两个数学形态学算子来辅助表示。

但是在具体的空间拓扑关系表示中,腐蚀和膨胀算子对于特定类型的目标所产生的作用是不一样的。点目标没有大小,因此, $\langle a \ominus 1 \rangle$ 和 $\langle a \oplus 1 \rangle$ 对点目标没有意义,只有线目标和面目标存在腐蚀和膨胀运算。线腐蚀: $L \langle x \ominus 1 \rangle$, 线 A 的地址集合向线的长度方向腐蚀一个单元;线膨胀: $L \langle x \oplus 1 \rangle$, 线 A 的地址集合向线的长度方向膨胀一个单元;面腐蚀: $A \langle x \ominus 1 \rangle$, 面 A 的地址集合向所有方向腐蚀一个单元;面膨胀: $A \langle x \oplus 1 \rangle$, 面 A 的地址集合向所有方向膨胀一个单元。

按照上述 SRC-Ontology 空间关系表示框架,就可以在基本空间目标拓扑关系的基础上,通过组合推理表示得到相应的点、直线、面三类空间目标之间的 6 大类(点与点、点与线、点与面、线与

线、线与面、面与面)共 43 种空间拓扑关系拓展表示。

1) 点与点之间的拓扑关系表示只有 2 种,可以直接从基本空间拓扑关系中得到:① $PPEqual\{PPEquals(A,B)\}$ (A 点 B 点重叠(相等));② $PPDisjoint\{PPNotEquals(A,B)\}$ (A 点 B 点相离)。

2) 点与线之间的拓扑关系表示。按照判断目标的先后顺序区分,点与线、线与点的空间拓扑关系表示均有 4 种。其中,点与线为:① $PLDisjoint\{L<b\oplus 1>\cap PLNotSubset(A,B)\}$ (A 点 B 线相离);② $PLMeet\{PLNotSubset(A,B)\cap (L<b\oplus 1>\cap PLSubset(A,B))\}$ (A 点 B 线相接);③ $PLCoverdBy\{PLSubset(A,B)\cap (L<b\oplus 1>\cap PLNotSubset(A,B))\}$ (A 点在 B 线端点上);④ $PLInside\{L<b\oplus 1>\cap PLSubset(A,B)\}$ (A 点在 B 线中(不在端点上));线与点为:① $LPDisjoint\{L<a\oplus 1>\cap LPNotSuperset(A,B)\}$ (A 线 B 点相离);② $LPMeet\{LPNotSuperset(A,B)\cap (L<a\oplus 1>\cap LPSuperset(A,B))\}$ (A 线 B 点相接);③ $LPCover\{LPSuperset(A,B)\cap (L<a\oplus 1>\cap LPNotSuperset(A,B))\}$ (B 点在 A 线端点上);④ $LPContain\{(L<a\oplus 1>\cap LPSuperset(A,B))\}$ (B 点在 A 线中(不在端点上))。

3) 点与面之间的拓扑关系表示。按照判断目标的先后顺序区分,点与面、面与点的空间拓扑关系表示均有 4 种。其中,点与面为:① $PADisjoint\{A<b\oplus 1>\cap PANotSubset(A,B)\}$ (A 点 B 面相离);② $PAMeet\{PANotSubset(A,B)\cap (A<b\oplus 1>\cap PASubset(A,B))\}$ (A 点 B 面相接);③ $PACoverdBy\{PASubset(A,B)\cap (A<b\oplus 1>\cap PANotSubset(A,B))\}$ (A 点在 B 面边界上);④ $PAInside\{(A<b\oplus 1>\cap PASubset(A,B))\}$ (A 点在 B 面中(不在边界上));面与点为:① $APDisjoint\{A<a\oplus 1>\cap APNotSuperset(A,B)\}$ (A 面 B 点相离);② $APMeet\{APNotSuperset(A,B)\cap (A<a\oplus 1>\cap APSuperset(A,B))\}$ (A 面 B 点相接);③ $APCover\{APSuperset(A,B)\cap (A<a\oplus 1>\cap APNotSuperset(A,B))\}$ (B 点在 A 面边界上);④ $APContain\{A<a\oplus 1>\cap APSuperset(A,B)\}$ (B 点在 A 面中(不在边界上))。

4) 线与线之间的拓扑关系表示。按照判断目标的先后顺序区分,一共有 8 种:① $LLDisjoint\{L<a\oplus 1>\cap LLNotIntersect(A,B)\}$ (A 线 B 线相离);② $LLMeet\{LLNotIntersect(A,B)\cap$

$(L<a\oplus 1>\cap LLIntersect(A,B))\}$ (A 线 B 线相接);③ $LLOverlap\{LLIntersect(A,B)\cap LLNotSubsetOrEqual(A,B)\cap LLNotSupersetOrEqual(A,B)\}$ (A 线 B 线相交);④ $LLCoveredBy\{LLSubset(A,B)\cap (L<b\oplus 1>\cap LLNotSubset(A,B))\}$ (A 线被 B 线覆盖 (B 线长));⑤ $LLCover\{LLSuperset(A,B)\cap (L<a\oplus 1>\cap LLNotSuperset(A,B))\}$ (A 线覆盖 B 线 (A 线长));⑥ $LLInside\{L<b\oplus 1>\cap LLSubset(A,B)\}$ 、(A 线包含于 B 线 (A 线在 B 线中),且端点不重合);⑦ $LLContain\{L<a\oplus 1>\cap LLSuperset(A,B)\}$ (A 线包含 B 线 (B 线在 A 线中),且端点不重合);⑧ $LLEqual\{LLEquals(A,B)\}$ (A 线 B 线重叠(相等))。

5) 线与面之间的拓扑关系表示。按照判断目标的先后顺序区分,线与面的空间拓扑关系表示有 5 种,面与线的空间拓扑关系表示有 4 种。其中,线与面为:① $LADisjoint\{A<b\oplus 1>\cap LANotIntersect(A,B)\}$ (A 线 B 面相离);② $LAMeet\{LANotIntersect(A,B)\cap (A<b\oplus 1>\cap LAIntersect(A,B))\}$ (A 线 B 面相接);③ $LAOverlap\{LAIntersect(A,B)\cap LANotSubset(A,B)\}$ (A 线 B 面相交);④ $LACoveredBy\{LASubset(A,B)\cap (A<b\oplus 1>\cap LANotSubset(A,B))\}$ (A 线在 B 面中,且至少有一端点在面边界上)。面与线为:① $LAInside\{A<b\oplus 1>\cap LASubset(A,B)\}$ (A 线在 B 面中,且与面边界不相交);② $ALDisjoint\{A<a\oplus 1>\cap ALNotIntersect(A,B)\}$ (A 面 B 线相离);③ $ALMeet\{ALNotIntersect(A,B)\cap (A<a\oplus 1>\cap ALIntersect(A,B))\}$ (A 面 B 线相接);④ $ALCover\{ALSuperset(A,B)\cap (A<a\oplus 1>\cap ALNotSuperset(A,B))\}$ (A 面覆盖 B 线,且至少边界与线一端点重合);⑤ $ALContain\{A<a\oplus 1>\cap ALSuperset(A,B)\}$ (A 面包含 B 线,且边界不相交)。

6) 面与面之间的拓扑关系表示。按照判断目标的先后顺序区分,一共有 8 种(对应 SRC-Ontology 中的 8 种拓扑关系表示):① $AADisjoint\{A<a\oplus 1>\cap AANotIntersect(A,B)\}$ (A 面 B 面相离);② $AAMeet\{AANotIntersect(A,B)\cap (A<a\oplus 1>\cap AAIntersect(A,B))\}$ (A 面 B 面相接);③ $AAOverlap\{AAIntersect(A,B)\cap AANotSubsetOrEqual(A,B)\cap AANotSupersetOrEqual(A,B)\}$ (A 面 B 面相交);④ $AACoveredBy\{AASubset(A,B)\cap (A<b\oplus 1>\cap AANotSubset(A,B))\}$ (A 面覆盖于 B 面中,且边

界有交点);⑤ AACover $\{AASuperset(A,B) \cap (A < a \oplus 1 > \cap AANotSuperset(A,B))\}$ (A 面覆盖 B 面,且边界有交点);⑥ AAInside $\{A < b \oplus 1 > \cap AASubset(A,B)\}$ (A 面在 B 面中,且边界无交点);⑦ AAContain $\{A < a \oplus 1 > \cap AASuperset(A,B)\}$ (A 面包含 B 面,且边界无交点);⑧ AAEqual $\{AAEquals(A,B)\}$ (A 面 B 面相等)。

以上得到的 6 大类共 43 种拓扑关系表示秉承了 SRC-Ontology 中的 8 种拓扑关系表示的思想,即基于基本的空间拓扑关系进行组合推理得到拓展的拓扑关系,但更加细化。该方法比 SRC-Ontology 8 种拓扑关系表示更适合点、直线、面三类空间目标表示的需要,同时也为空间拓扑关系建立本体模型提供了更加清晰明确的术语和关系;作为一种新的拓扑关系表示方法,对空间拓扑关系表示的理论研究也具有重要的意义。

2 基于 SRC-Ontology 空间拓扑关系的本体建模与实现

本文基于 OWL 语言构造空间拓扑关系本体,OWL 本体包含类、属性及其实例的描述。用 Protégé-OWL 编辑器编辑、转载、保存 OWL 本体、可视化类的属性及规则,用 OWL 形式定义逻辑类属性,用描述逻辑分类器来进行推理。

在 Protégé 中建立的本体,所有的类都是 Thing 的子类,本文建立的 SRC-Ontology 也是 Thing 的子类。根据 SRC-Ontology 的结构,定义了 3 个子类:Space、Objects 和 Relations。本文重点在描述、推理空间实体之间的拓扑关系,故主要定义了 Relations 子类。在 Relations 中定义了 3 种主要的空间关系:拓扑关系(TopRelations)、方向关系(DirectionRelations)、距离关系(DistanceRelations),本文研究和建立了拓扑关系的本体表示,而方向关系和距离关系仅定义了概念作为后续扩展的准备,以提供统一的空间关系表示和推理模型。

将 TopRelations 分别定义为 BasicSpaceRelations 和 BasicTopRelations,其中,BasicSpaceRelations 表示 § 2.2 节中基本的 6 类空间拓扑关系,包含了 6 个子类,分别是 PPBasicRelations、PLBasicRelations、PABasicRelations、LLBasicRelations、LABasicRelations 和 AABasicRelations;BasicTopRelations 表示 § 2.3 节中拓展得到的 6 类空间拓扑关系,也包含了 6 个子类,分别

是 PPRelations、PLRelations、PARelations、LLRelations、LARelations、AARelations。

另外,还定义了一个 AassistInformation 类,用来表示辅助信息。在 AassistInformation 类中,目前定义了一个子类 ArithmeticOperators 用来表示数学形态学算子,其下有 4 个子类,分别表示线腐蚀(LineErode)、线膨胀(LineDilate)、面腐蚀(AreaErode)、面膨胀(AreaDilate)。以后实现方向关系和距离关系的表示时,如果有辅助信息,都可以加入到 AassistInformation 类中。

综上所述,所设计的本体类结构如图 1 所示。

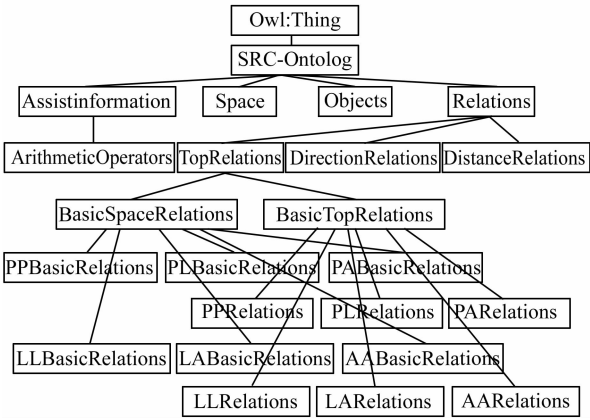


图 1 SRC-Ontology 空间拓扑关系本体结构
Fig. 1 Ontology Structure of SRC-Ontology Spatial Topological Relation

本文用 protégé 本体工具 (<http://protege.stanford.edu>)建立了上述空间拓扑关系本体模型,并通过 protégé 工具提供的 Java 接口实现了提出的 6 大类共 43 种空间拓扑关系的判定,程序的设计思想及实现流程完全遵从所提出的基于 SRC-Ontology 的拓展空间拓扑关系的组合推理表示方法,每一种拓扑关系都可以通过基本拓扑关系的组合推理得以判定,验证了该组合推理表示方法的可行性。图 2 为部分实验结果示例,图中灰色代表第一个空间目标,黑色代表第二个空间目标,白色代表两个目标重叠的部分。

3 结 语

用本体解决空间关系的表示和推理问题还是一个比较新的研究内容,本文为适应点、直线、面目标相互之间拓扑关系表示和空间拓扑关系本体建立的需要,拓展了 SRC-Ontology 的 8 种拓扑关系,得到了点、直线、面三种空间目标之间的 6 大类共 43 种拓扑关系表示。作为一种新的能应

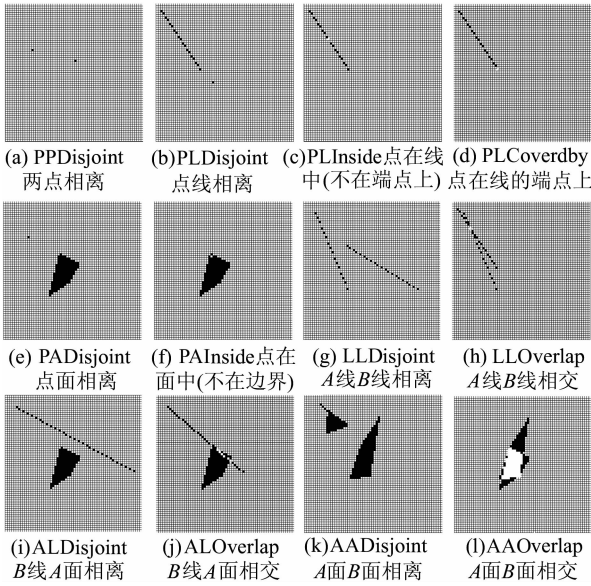


图 2 部分空间拓扑关系推理结果

Fig. 2 Some Results of Spatial Topological Relation Reasoning

用于实际的拓扑关系表示,该方法比 SRC-Ontology 8 种拓扑关系表示更适合点、直线、面三类空间目标表示的需要,为空间拓扑关系建立本体模型提供了更加清晰明确的术语和关系,同时对空间拓扑关系的表示方法也是一种新的拓展。另外,本文的工作是建立一个统一的空间关系表示和推理模型的一部分,后续工作还将对曲线目标的拓扑关系以及方向关系、距离关系

等的表示进行研究。

参 考 文 献

[1] 陈军,赵仁亮. GIS 空间关系的基本问题与研究进展[J]. 测绘学报,1999,28(2):95-102

[2] 曹茵. 拓扑关系渐变的定性推理[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),1999,27(3):28-32

[3] 郭庆胜,杜晓初,闫卫阳. 地理空间推理[M]. 北京:科学出版社,2006

[4] 陈军,刘万增,李志林,等. 线目标间拓扑关系的细化计算方法[J]. 测绘学报,2006,35(3):255-260

[5] 曹茵. 空间关系推理的知识表示与推理机制研究[D]. 武汉:武汉大学,2002

[6] Gruber T R. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing[J]. International Journal of Human and Computer Studies, 1995, 43(5): 907-928

[7] Agarwal P. Ontological Considerations in GIScience[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(5): 501-536

[8] Coenen F P, Visser P. A Core Ontology for Spatial Reasoning[R]. Department of Computer Science, The University of Liverpool, 1998

[9] 龚炜,石青云,程民德. 数字空间中的数学形态学理论及应用[M]. 北京:科学出版社,1997:1-11

第一作者简介:汪西莉,教授,博士。主要研究领域为人工智能、空间推理、模式识别。
E-mail:wangxili@snnu.edu.cn

Extensive Representation and Realization of Spatial Topological Relation Based on SRC-Ontology

WANG Xili¹ QIN Jingchan¹ CAO Han¹ SHI Jun¹

(1 College of Computer Science, Shaanxi Normal University, 199 South Chang'an Road, Xi'an 710062, China)

Abstract: An ontology knowledge representation model for spatial relation is established. Based on point set denotation of SRC-Ontology, arithmetic morphological operators is adopted, and a spatial topological relation widening representation method including 6 species, 43 types of three basic spatial entities, namely points, lines, and areas, is proposed. This representation method not only widens SRC-Ontology's 8 topological relation representation method, and provides more explicit formalization representation for spatial relation ontology modeling, but also make the practical application possible. The experimental result proves the feasibilities and validity of the proposed method.

Key words: spatial topological relation; SRC-Ontology; ontology; reasoning