

空间关系推理的研究方法

李 松¹ 郝忠孝^{1,2}

LI Song¹ HAO Zhong-xiao^{1,2}

1.哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院 哈尔滨 150080

2.哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001

1.Department of Computer Science and Technology ,Harbin University of Science and Technology ,Harbin 150080 ,China

2.Department of Computer Science and Technology ,Harbin Institute of Technology ,Harbin 150001 ,China

E-mail :lisongbeifen@163.com

LI Song HAO Zhong-xiao.Research methods about spatial relation reasoning.Computer Engineering and Applications , 2009 45(19) 17-21.

Abstract : The spatial relation reasoning has wide applications in the geographic information systems ,spatial data mining ,pattern recognition ,robotics ,expert system ,graphics and image processing and natural language understanding.In the recent years ,research about the spatial relation reasoning have obtained some research achievements at home and abroad ,this paper introduces in detail the research achievements and has the analysis and comparison about the work.Furthermore ,this paper discusses the research emphasis and difficulty in the future.

Key words : spatial relation reasoning ,topological relation ,direction relation ,combination relation ,combinative table

摘 要 : 空间关系推理在地理信息系统、空间数据挖掘、模式识别、机器人学、专家系统、图形与图像处理和自然语言理解等方面具有广泛的应用。近年来 ,国内外专家对空间关系推理进行了大量的研究 ,取得了一系列的研究成果。介绍了国内外在空间关系推理方面的研究方法和研究成果 ,并且进行了比较和分析 ,概括了已有方法的特点和不足 ,讨论了该领域未来的研究重点和难点。

关键词 : 空间关系推理 ,拓扑关系 ,方向关系 ,组合关系 ,组合表

DOI :10.3778/j.issn.1002-8331.2009.19.005 **文章编号 :**1002-8331(2009)19-0017-05 **文献标识码 :**A **中图分类号 :**TP311

1 引言

空间推理是指利用空间理论和人工智能技术对空间对象进行建模、描述和表示 ,并据此对空间对象间的空间关系进行定性或定量分析和处理的过程^[1]。空间推理在地理信息系统、空间数据挖掘、模式识别、机器人学、专家系统、图形与图像处理和自然语言理解等方面具有广泛地应用。当前国内外关于空间推理研究的内容主要包括 :空间对象的建模、空间知识表示和分析、空间对象间空间关系的表示和推理、空间推理的可视化、空间和时态推理的结合以及空间推理的应用等问题。根据应用领域的特点 ,人们一般采用符号逻辑、语义网络、框架、复合表等知识表示方法来描述空间对象及其空间关系 ,已提出的空间推理方法主要包括定量、定性、混合、层次以及基于不确定空间对象的推理等方法^[2]。

国际上许多科研机构 and 单位都在从事有关空间推理的研究 ,并成立了许多相关的空间推理研究中心和工作组。其中 ,欧洲空间推理研究中心(SPACENET)是一个由多所大学联合的空间推理研究中心 ,其学术代表人物有英国 Leeds 大学的

Cohn A、Bennett B 和 Stell J G 等 ,他们主要研究空间关系(拓扑关系、方向关系和度量关系等)的形式化表示和自动推理以及形式化空间建模等问题。他们基于著名的区域联接演算(RCC)理论对定性空间关系推理进行了一系列研究 ,近年来 ,他们在时空推理和不确定推理等方面都取得了许多重要的学术成果 ,SPACENET 中较有影响的还有奥地利维也纳技术大学的 Frank A U 和 Bittner T 等 ,他们在组合关系推理、模糊对象关系表示和推理及地理信息系统数据分析等多种领域都做出了重要贡献。美国国家地理信息与分析中心(NGCIA)主要对地理信息科学和相关技术进行基础性和深层次的研究。NGCIA 包括缅因大学、加利福尼亚大学和布法罗大学三个协会。以 Egenhofer 教授为代表的缅因大学空间数据研究小组主要对空间数据分析、自动推理、空间关系表示模型和定性空间/时空推理等方面进行了研究。他们基于交集模型对空间关系和空间推理进行了大量的工作。近年来他们在复杂空间对象(如含洞对象等)的空间关系推理方面取得了一些重要研究成果。布法罗大学的 Mark D M 等对空间推理问题也进行了大量的工作。近

基金项目 : 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60673136) ;黑龙江省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Heilongjiang Province of China under Grant No.F200702)。

作者简介 : 李松(1977-) ,男 ,博士研究生 ,主要研究方向 :空间数据库空间分析和空间查询 ;郝忠孝(1940-) ,男 ,教授 ,博导 ,主要研究方向 :数据库理论与应用。

收稿日期 : 2009-03-12 **修回日期 :** 2009-04-17

年来,空间推理的研究受到人工智能、地理信息系统、空间数据挖掘及相关领域的高度重视,国际上一些影响力较大的学术会议经常将空间推理作为一个主要讨论议题,空间关系推理即是空间推理议题的一个重要关注的内容。如著名的人工智能国际联合会议(IJCAI)、空间数据处理国际研讨会(SDH)、知识表示和推理国际会议(KR)、美国国家人工智能会议(AAAI)、地理信息科学国际会议(GIScience)、空间信息理论国际会议(COSIT)、地理信息系统国际学术讨论会(IWGIS)等等。其中,KR是知识表示和推理方面较有影响的会议之一。到2008年已经成功开了11届,空间和时空推理是其重要的议题。在国内,1981年成立的中国人工智能学会(CAAI)所主办的学术会议多次将空间智能推理作为重要议题进行讨论,2005年由ISPRS WGII/1、2、7、WG VII/7和中国测绘科学研究院、武汉大学、北京大学、香港理工大学联合主办的时空建模、空间推理、空间分析与数据挖掘国际大会对空间推理做了专项讨论;近年来,国内许多科研单位对空间推理的研究相当活跃,如中科院地理所、中科院遥感所、北京大学、清华大学、浙江大学、武汉大学、吉林大学、重庆大学、燕山大学和哈尔滨理工大学等单位的研究人员对空间关系和空间推理等方面进行了大量的研究工作。

空间对象的空间推理包含多个研究领域,定性的空间关系推理是空间推理研究和空间关系分析中的一个重要范畴。空间关系推理是指包含空间关系知识的空间推理,包括拓扑关系、方向关系和距离关系等空间关系的推理,拓扑、方向和距离等空间关系的组合推理及空间关系与环境信息等空间信息结合起来共同构成的空间推理系统^[3]。根据参加推理分析的空间关系的类别和数量,空间关系推理分为单种空间关系推理和组合关系推理两种。单种空间关系推理指推理过程中仅使用某一种空间关系进行推理,如从拓扑关系推理拓扑关系、从方向关系推理方向关系等,组合关系推理使用两种以上的空间关系进行推理,如拓扑关系和方向关系的组合推理、方向关系和距离关系的组合推理等。本文着重对空间拓扑关系的推理、空间方向

关系的推理和空间组合关系推理的研究成果与研究方法进行介绍与分析。概括了已有方法的特点和不足,讨论了该领域未来的研究重点和难点。

2 空间拓扑关系的推理

在空间关系中,空间拓扑关系是最为重要和最为常见的一类空间关系,由此,空间拓扑关系的推理在空间关系推理中也相应的具有相当重要的地位。所谓空间拓扑关系的推理就是由空间对象已知的空间拓扑关系信息,推测和确定未知的其可能成立的空间拓扑关系。例如,若已知空间对象A和B的拓扑关系为 $R_1(A, B)$,B和C的拓扑关系为 $R_2(B, C)$,通过已有的空间知识进行空间分析,从而可推导出A和C之间可能存在的空间拓扑关系 $R_3(A, C)$ 。具体而言,空间拓扑关系的推理主要分为两类^[4]:一种是在对动态空间目标建模时,空间目标之间的拓扑关系随着时间的变化而变化,在已知空间拓扑关系初始状态和空间目标的运动轨迹或其他相关度量指标时确定下一时刻未知的两空间目标之间的可能拓扑关系;另一种情形就是要求两空间目标之间的空间拓扑关系,但直接获取它们之间相关空间关系信息困难,而仅能获得它们与其他另一空间目标之间的关系,基于获得的空间拓扑信息,用空间推理的方法推出两空间对象间的空间拓扑关系。第一种情形,可通过构建拓扑概念邻域图的方法进行定性推理,第二种情形则可利用空间拓扑关系的组合运算的方法进行分析。

Cui和Cohn等人^[5]给出了一套空间逻辑用来推理空间数据库中的空间对象间的拓扑关系。Abdelmoty等^[6]基于广义的交模型定义了线/面和面/面多种空间对象类型拓扑关系推理组合表。Renz J等^[7]研究了基于区域连接演算(RCC)进行空间拓扑关系推理的理论和方法。表1给出了基于RCC-8的空间区域关系的推理组合表,其中,“*”表示全部关系。但Renz J的工作没有涉及点、线等空间对象的空间关系的推理,对空间区域的形状等具有很强的限制,不利于扩展。Li S J等^[8]研究了基于一

表1 基于RCC-8的空间区域关系的推理组合表

o	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TPP ⁻¹	NTPP ⁻¹	EQ
DC	*	DC,EC, PO,TPP, NTPP	DC,EC, PO,TPP, NTPP	DC,EC, PO,TPP, NTPP	DC,EC, PO,TPP, NTPP	DC	DC	DC
EC	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	DC,EC, PO,TPP, TPP ⁻¹ ,EQ	DC,EC, PO,TPP, NTPP	EC, PO,TPP, NTPP	PO,TPP, NTPP	DC,EC	DC	EC
PO	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	*	PO,TPP, NTPP	PO,TPP, NTPP	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	PO
TPP	DC	DC,EC	DC,EC, PO,TPP, NTPP	TPP, NTPP	NTPP	DC,EC, PO,TPP, TPP ⁻¹ ,EQ	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	TPP
NTPP	DC	DC	DC,EC, PO,TPP, NTPP	NTPP	NTPP	DC,EC, PO,TPP, NTPP	*	NTPP
TPP ⁻¹	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	NTPP ⁻¹	PO,TPP, NTPP	TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	NTPP ⁻¹	TPP ⁻¹
NTPP ⁻¹	DC,EC, PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	PO,TPP ⁻¹ , NTPP ⁻¹	PO,TPP ⁻¹ , TPP,NTPP, NTPP ⁻¹ ,EQ	NTPP ⁻¹	NTPP ⁻¹	NTPP ⁻¹
EQ	DC	EC	PO	TPP	NTPP	TPP ⁻¹	NTPP ⁻¹	EQ

致性组合表(RCC8-CT)对 RCC 模型进行了扩展分析,给出了 RCC8 组合表的扩展形式。

为了定性描述和推理形状、大小和位置等随时间发生变化的空间对象间的空间拓扑关系,Egenhofer 等^[9]基于九交模型给出了拓扑距离的定义,给出了相关的概念邻域图(如图 1 所示),基于概念邻域图进一步分析了不同动态变化情形下的空间拓扑关系转变路径。

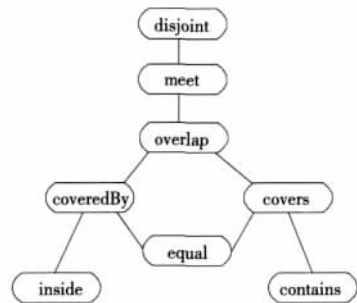


图 1 空间拓扑关系的概念邻域图示例

Egenhofer 的研究成果主要针对空间面对象的空间关系推理,对点和线对象的空间关系推理无效。郭庆胜等^[10]在线和面空间拓扑关系组合描述的基础上,对线与面的组合推理方法进行了研究,给出了线与面的拓扑关系组合推理表。为了处理包含点和线的多维空间对象的空间关系表示和推理问题,王生和和刘大有教授^[11]将点和线对象视为特殊的区域,提出了能直接使用 RCC 理论描述空间多维对象拓扑关系的 MRCC 理论,推导出 36 种基本 MRCC 关系,讨论了基于概念邻域图和复合表的 MRCC 推理。MRCC 理论是同 RCC 理论相容的多维拓扑理论,可以直接继承 RCC 的研究成果,而不必构建新的理论体系。

空间对象的模糊性使得模糊空间对象的拓扑关系更加多样,从而,其拓扑关系的推理变得相当复杂。Schockaert S^[12-13]和 Li Y M^[14]等利用模糊集对模糊区域的拓扑关系推理进行了系统的分析。基于 RCC 理论定义了模糊区域间的空间关系,基于所定义的模糊空间关系进行了空间推理,讨论了相关的重要性质和推理组合表。目前,对于空间关系的推理研究中,时空结合推理是空间知识表示系统中的一个新的重要的领域。时空语义的表达和推理具有重要的研究意义,它有助于在真实世界和信息系统之间架起桥梁。有关时空统一表示和推理的形式化方法较少,大部分工作都是试图结合时间和空间各自的理论进行时空分析^[15]。Wolter 等^[16]基于 RCC-8 讨论了时空表示和推理问题。它们给出了分析针对空间区域的定性时空表示和推理的一组逻辑表达式,证明了基于这些逻辑表达式进行推理的正确性和可行性。由于目前针对空间推理的组合表的生成往往需要根据具体的空间关系模型进行手工推导,很少有适合多种时空关系模型的能自动生成组合表的通用算法,为此,王生等^[17]提出了一种能自动生成复合表的通用算法,但王生生的方法在处理时间和空间关系相结合的定性推理方面还有很大的不足。基于模糊对象的空间关系的时空推理具有比相关精确对象的时空推理具有更多的复杂性,如何处理和分析不确定的拓扑关系的时空推理问题是时空推理领域的一个新的研究热点和难点。Ibrahim Z M 等^[18]对模糊的“蛋-黄”区域进行了扩展研究,提出了一套时空推理方法,给出了具有时态信息、空间关系信息和对象运动信息的时空关系组合表。Ibrahim Z M 的工作综合考

虑了组合表和公式化的通用规则,能筛选一些无用的结果,从而减小了计算量。有关不确定时空对象空间关系的推理问题的研究刚处于起步阶段,尚留有很多空白,针对空间模糊对象,如何将时间关系信息和不确定的空间关系信息有机结合,如何进行兼顾时间和空间两个特性进行有效的空间推理,如何减小不确定时空推理方法的复杂性是未来研究的重点。

3 空间方向关系的推理

空间方向关系推理是定性空间关系推理的重要组成部分,在空间目标智能查询、模式识别、地理信息可视化等领域有着广泛地应用^[19]。空间方向关系的推理按参照系可分为基于 2 个参照系和基于 1 个参照系的推理。若已知空间对象 A 和 B 间的方向关系为 R_1 (参照对象为 A) B 和 C 间的方向关系为 R_2 (参考对象为 B),则根据方向关系 R_1 和 R_2 推理 A 和 C 间的方向关系的方法称为基于 2 个参照系的推理(参照对象分别为 A 和 B);若已知参照对象 A 与 B 及 A 与 C 间的方向关系 R_1 和 R_2 ,推理 B 和 C 间的方向关系,这种方法称为基于 1 个参照系的推理(参照对象均为 A)^[20]。

Frank 较早的对主方向关系定性推理系统进行了研究^[21-22],给出了主方向关系系统的一组基本性质,利用组合表的方法对基于锥形模型和投影模型的方向关系进行了推理。但 Frank 的方法主要是针对空间点对象或近似点对象进行研究,没有对复杂的线与面对象及模糊对象间的空间关系进行推理分析。Papadias 等^[23]研究了在一个点和面对象按层次组织的空间数据库中进行层次方向关系推理的 3 个算法。Papadias 的方法将点对象和面对象的方向关系推理纳入统一的空间分析模式,较为符合人类对空间对象层次性的认知习惯。为了更细致的推理方向关系,杜世宏在其博士学位论文^[24]中基于所建立的细节方向关系模型详细分析了多种组合情况下的方向关系推理问题;吴静等^[20]基于 1 个参照系,提出了 4 种不同情况(单项与单项方向关系,单项与多项,多项与单项和多项与多项)下的定性方向关系推理方法,但其推理精度有待进一步提高。表 2 给出了单项与单项方向关系推理组合表^[20]。

表 2 单项与单项方向关系推理组合表^[20]

o	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E
SE	D(C)	D(W)	D(W)	NW	NW	NW	D(N)	D(N)
S	D(E)	D(C)	D(W)	NW	NW	D(N)	NE	NE
SW	D(E)	D(E)	D(C)	D(N)	D(N)	NE	NE	NE
W	SE	SE	D(S)	D(C)	D(N)	NE	NE	D(E)
NW	SE	SE	D(S)	D(S)	D(C)	D(E)	D(E)	SE
N	SE	D(S)	SW	SW	D(W)	D(C)	D(E)	SE
NE	D(S)	SW	SW	SW	D(W)	D(W)	D(C)	D(S)
E	D(S)	SW	SW	D(W)	NW	NW	D(N)	D(C)

为了提高空间方向关系表示的精度,减小方向关系推理的计算复杂度,郭平等^[25-26]对基于井字模型的空间方向关系推理进行了细致的分析。给出了井字模型的格阵列表示模型,基于格阵列讨论了方向关系的定性推理方法。Papadias, 吴静和郭平等人的方法较为适合分析精确对象的定性空间关系推理,但不适合处理不确定方向关系的定性推理问题。

作为空间方向关系推理研究领域的重要分支,一致性检验问题是一个基础理论问题。刘永山等^[19, 27]基于 MBR 主方向关系网络的特点,提出了寻找基于 MBR 主方向关系中凸关系的方

法,结合矩形关系网络定理和路径一致性算法,提出了检验主方向关系网络一致性的算法。但刘永山的工作主要是针对二维空间中确定对象的 MBR 进行分析,没有对三维空间和模糊对象的方位关系进行分析,算法不适用于其他方位关系模型。由于不确定方向关系模型的复杂性和空间对象的含糊性及推理结果集的不确定性,针对模糊对象的不确定方向关系的空间推理和一致性检验问题是定性方向关系推理领域中的较难解决的问题,也是未来研究的一个重点。

4 空间组合关系的推理

空间拓扑关系、方向关系和距离关系是描述空间对象间空间关系的三个重要方面。空间对象之间既存在拓扑关系同时也存在方向关系和距离关系,这三种空间关系并不是完全独立的,而是互相关联、互相依赖和相互制约的。人们对空间对象间的空间关系的认知通常也需要同时兼顾这三种空间关系。实际应用中,通常能够获得的空间关系往往不是同一类型的,并且不是完备的,有时需要利用不同类型空间关系间的相互作用推导新的空间关系。有效的组合三种空间关系进行定性推理可以很大程度的帮助推断一些隐含的空间关系或排除一些不可能的空间关系。集成拓扑关系、方向关系和距离关系进行空间关系的组合推理能够获得更精确的空间目标之间的空间关系,获取更为丰富的空间信息。因而,组合关系的推理在定性空间推理中具有重要的地位,近年来成为空间关系研究的新的热点。

谢琦^[2]研究了 Allen 的区间代数与主方位关系模型之间的联系,用统一的方式表示拓扑和方位关系,分别讨论了拓扑与方位关系、方位与拓扑关系进行复合推理所得到的复合表。基于拓扑与方位间的相互依赖关系,给出了解决包含拓扑和方位关系的 CSP 问题的算法。针对主方位关系模型对于参考对象的“同一”区域的表达能力的限制,给出了一种对“同一”区域进行细化的方法,并提出了由内部主方位关系推导拓扑关系的一组规则。表 3 给出了文献[2]所得出的基本 RCC-8 关系和基本主方位关系的组合推理结果。其中,Dirset(T)是由拓扑关系 T 得出的最强的主方位关系,Topset(D)是由原子主方位关系 D 得出的最强的拓扑关系。

表 3 基本 RCC-8 关系和基本主方位关系的组合推理结果
(a)RCC-8 关系推出主方位关系

T	Dirset(T)	T	Dirset(T)
DC	S SW W NW N NE E SE CO	NTPP	CO
EC	S SW W NW N NE E SE CO	TPP ⁻¹	{(si fi) di} {(di si fi)}
PO	{(O C ₃) {(O di) {(oi C ₃) {(oi di) {(d di) , (C ₃ ρ) {(di ρ) {(C ₃ oi) {(di oi) {(di d)	NTPP ⁻¹	*{(si di)
TPP	CO	EQ	CO

(b)主方位关系推出 RCC-8 关系

D	Topset(D)	D	Topset(D)
S	DC EC	SE	DC EC
N	DC EC	W	DC EC
NW	DC EC	E	DC EC
SW	DC EC	CO	RU
NE	DC EC		

Sistla 和 Yu^[28]等定义了一个包含最基本拓扑和方位关系的混合模型 {left_of right_of behind In_front_of above below , inside outside overlaps} , 并给出了一族完备的推理规则。但

Sistla 的方法主要局限于采用外包矩形来近似描述空间对象的方位关系,且主要集中在单方位关系与拓扑关系的结合上,其方位描述较为粗糙,不利于精确推理。为此,陈娟等^[29-30]详细分析了拓扑与方位信息结合的定性推理问题,将 RCC5 与主方位关系结合,给出了两种演算基本关系间的交互表和异质复合表,指出判定拓扑与方位结合的约束满足是否路径相容不仅要考虑两类约束交互前和交互后的相容性,还要考虑异质复合时的相容问题。进而,讨论了基于 MBR 的拓扑、方位、尺寸结合推理问题,给出了三种关系结合表示推理模型-扩展矩形关系。但陈娟的方法只是将拓扑、尺寸和方位关系结合推理,没有将空间距离关系结合起来,因此,在描述空间场景时具有一定的局限性。已有的工作进行方向关系和拓扑关系组合推理时,一般是利用外部方向关系推理拓扑关系,其推理结果较为粗糙。为此,杜世宏^[24,31]基于细节方向关系详细分析了根据内部方向关系推理拓扑关系、根据边界方向关系推理拓扑关系、根据环部方向关系推理拓扑关系等内容。杜世宏的工作增强了由方向关系推理拓扑关系的能力,提高了推理精度,但其推理结果集有时过于复杂。

作为空间定性推理的一个重要内容,近年来组合关系推理的约束满足问题在研究中受到了更多的重视。Sun H B 等^[32-33]等结合了定性空间推理中著名的区域连接演算(RCC)和基于区域的方向关系演算(CDC),并且给出两个演算在两个方向上的交互表 RCC8-To-CDC 和 CDC-To-RCC8,进一步给出了结合 RCC8 和 CDE 知识的约束满足问题的一致性算法。侯睿^[34]将方向关系和拓扑关系的推理看作约束满足问题(CSP),给出了结合 RCC8 和主方向关系的约束满足问题推理算法。Li S J^[35]扩展了 RCC8 约束语言以综合处理拓扑与方向信息,讨论了两类信息的交互性,给出了拓扑约束网络和方向约束网络。目前,已有的研究成果在对复杂空间对象和模糊对象的拓扑、方向和距离的组合关系的有关定性推理的约束满足问题和一致性检验方面具有很大的不足。

5 存在的问题及未来的研究重点

空间关系推理是空间关系领域的一个重要内容。对于确定性的空间关系推理的研究成果已经很多,目前,有关不确定空间关系的推理还留有很多空白。由于各类不确定空间关系的种类往往复杂多样,因而常用的推理组合表是相当庞大的,推理结果很容易产生错误。针对复杂的不确定空间关系模型,如何设计可行的空间推理算法,如何增强空间推理的准确性是未来研究的一个重点。组合关系的推理日益受到大家的重视,已有的方法主要集中在确定空间关系的组合推理方面,缺乏对不确定空间拓扑关系、方向关系、距离关系和时间关系进行组合推理的研究成果。针对不确定的空间关系,如何将时间关系信息和不确定的空间关系信息有机结合,如何进行兼顾时间和空间两个特性进行有效的空间推理,如何减小不确定时空推理方法的复杂性也是未来研究的一个重点。此外,由于三维空间对象的空间关系的复杂性,使得三维空间关系的推理更为复杂,目前,国内外的研究成果在三维空间关系推理方面较少,随着三维 GIS、三维动画和机器人视觉等领域的快速发展和应用需求,有关三维空间对象空间关系推理是需要特别重视的。

一致性检验是空间推理的一个分支领域,是空间推理的重要组成部分,是从定性空间推理派生出来的空间规划理论,可

用于为一组几何对象寻找满足一组约束的分布设计。对于复杂的空间关系,一致性检验问题往往是相当复杂的,甚至是 NP 难问题。已有的方法处理不确定空间关系的一致性检验问题的能力是相当有限的,如何对复杂的空间关系进行一致性检验,设计高效的检验算法是空间关系推理的一个研究重点和难点。

参考文献:

- [1] 刘亚彬.空间推理与地理信息系统综述[J].软件学报, 2000, 11(12): 1598-1606.
- [2] 谢琦.空间方位关系模型与时空结合推理的研究[D].长春:吉林大学, 2006.
- [3] 曹菡.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.
- [4] 何建华, 刘耀林, 俞艳, 等.不确定拓扑关系模糊推理[J].测绘科学, 2008, 33(2): 107-109.
- [5] Cui Z, Cohn A G, Randell D A. Qualitative and topological relationships in spatial databases[C]//LNCS 692: Proceedings of the 3rd International Symposium on Advances in Spatial Databases, Singapore, 1993 296-315.
- [6] Abdelmoty A I, Elgeresy B A. A general approach to the representation of spatial relationships[R]. Wales: University of Glamorgan, 1995.
- [7] Renz J, Nebel B. Spatial reasoning with topological information[C]//LNCS 1404 Spatial Cognition: An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge. Berlin: Springer Verlag, 1998 351-372.
- [8] Li S J, Ying M S. Region connection calculus: its models and composition table[J]. Artificial Intelligence, 2003, 145(1): 121-146.
- [9] Egenhofer M J, Altaha K K. Reasoning about gradual changes of topological relationships[C]//LNCS 639: Theory and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space, Pisa, Italy, 1992: 196-219.
- [10] 郭庆胜, 陈宇箭, 刘浩. 线与面的空间拓扑关系组合推理[J]. 武汉大学学报: 自然科学版, 2005, 30(6): 529-532.
- [11] 王生生, 刘大有. 定性空间推理中区域连接演算的多维扩展[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(11): 1954-1958.
- [12] Schockaert S, Cornelis C, Cock M D et al. Fuzzy spatial relations between Vague regions[C]//3rd IEEE Conference on Intelligent Systems. Berlin: Springer Verlag, 2006 221-226.
- [13] Schockaert S, Cock M D, Kerre E E. Spatial reasoning in a fuzzy region connection calculus[J]. Artificial Intelligence, 2009, 173(2): 258-298.
- [14] Li Y M, Li S J. A fuzzy sets theoretic approach to approximate spatial reasoning[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2004, 12(6): 745-754.
- [15] 刘大有, 胡鹤, 王生生, 等. 时空推理研究进展[J]. 软件学报, 2004, 15(8): 1141-1149.
- [16] Wolter F, Zakharyashev M. Spatio-temporal representation and reasoning based on RCC-8[C]//Cohn A G, Giunchiglia F G, Selman B. Proc of the 7th Conf on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Breckenridge: Morgan Kaufmann, 2000: 3-14.
- [17] 王生生, 刘大有. 时空推理中自动生成复合表的通用算法[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(8): 1301-1308.
- [18] Ibrahim Z M, Tawfik A Y. Spatio-temporal reasoning for Vague regions[C]//17th Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, Canadian AI 2004, Ontario, Canada, 2004 308-321.
- [27] 刘永山, 郝忠孝. 基于 MBR 的主方向关系一致性检验[J]. 软件学报, 2006, 17(5): 977-982.
- [19] 刘永山. 基于 MBR 模型的主方向关系研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2007.
- [24] 杜世宏. 空间关系模糊描述及组合推理的理论和研究方法研究[D]. 北京: 中国科学院, 2004.
- [20] 吴静, 程朋根, 陈斐, 等. 空间目标的方向关系定性推理[J]. 测绘学报, 2006, 35(2): 160-165.
- [21] Frank A U. Qualitative spatial reasoning about cardinal directions[C]//Mark D, White D. Proceedings of Austrian Conference on Artificial Intelligence, 1991 157-167.
- [22] Frank A U. Qualitative spatial reasoning: Cardinal directions as an example[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1996, 10(3): 269-290.
- [23] Papadias, Egenhofer M J. Hierarchical spatial reasoning about direction relations[J]. Geo Informatica, 1997, 1(3): 251-273.
- [25] 郭平, 刘然, 林勇, 等. 基于方向关系组合运算表的定性推理[J]. 计算机科学, 2004, 31(6): 180-183.
- [26] Guo P, Jia S Y, Li D. The expression and reasoning of spatial direction relations based on lattice arrays[C]//2007 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE 2007), Chengdu, China, 2007.
- [28] Sistla A P, Yu C. Reasoning about qualitative spatial relationships[J]. Journal of Automated Reasoning, 2000, 25: 291-328.
- [29] 陈娟. 空间方位关系模型及多方面空间关系结合推理的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [30] 陈娟, 刘大有, 张长海, 等. RCC5 与主方位关系结合的定性空间推理[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(1): 279-285.
- [31] 杜世宏, 秦其明, 王桥. GIS 中由多种方向关系推理拓扑关系的方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(9): 1917-1927.
- [32] Sun H B, Li W H. Combining topological and cardinal directional relation information in qualitative spatial reasoning[C]//Adaptive and Natural Computing Algorithms: Proceedings of the International Conference in Coimbra, Portugal, 2005.
- [33] 孙海滨, 李文辉. 基于结合空间拓扑和方向关系信息的空间推理[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(2): 253-259.
- [34] 侯睿. 结合方向关系和拓扑关系的约束满足推理[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(16): 63-65.
- [35] Li S J. Combining topological and directional information for spatial reasoning[C]//Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2007, Hyderabad, India, 2007 435-440.