多种空间关系和时间结合的定性时空推理

李 波[1] 梁晶晶[1] 周正康[2] 谢玉枚[1]
(西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)[1] (西安通信学院 西安 710106)[2]

摘 要 空间实体之间存在多种时空关系,主要包含拓扑、方向、距离、尺寸和时间等。以往的研究工作主要集中于 3 种以下时空关系结合的表示和推理,而 3 种以上结合的研究很少。但多种时空关系之间是相互统一和相互约束的,所以,将它们全部综合起来研究是时空推理研究发展的必然趋势,也是实际应用的迫切需要。提出了采用矩形关系统一表示多种空间关系,以矩形关系变化次数表示时间的时空统一表示模型,并在此基础上,利用概念邻域图推导空间关系变化和时间变化。据此,结合矩形关系网络和路径一致性算法,提出了检验上述统一模型网络一致性的算法,并分析了算法复杂度。该研究成果提高了空间关系分析方法的准确性,减小了时间信息的冗余,对地理信息系统中空间实体间的空间关系以及时间变化的分析和查询等有一定的理论意义与应用价值。

关键词 时空关系,矩形关系,概念邻域图,一致性
中图法分类号 TP182 **文献标识码** A

Qualitative Spatio-temporal Reasoning Combining Multiple Spatial Relations and Time

LI Bo[1] LIANG Jing-jing[1] ZHOU Zheng-kang[2] XIE Yu-mei[1]
(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)[1]
(Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106, China)[2]

Abstract There are a variety of spatial and temporal relations between spatial entities, such as topology, direction, distance, size, time and so on. Previous research work is mainly focused on the representation and reasoning of combination of less than three aspects of spatio-temporal relations, and the integration of more than three kinds of aspects is few. However, multiple spatio-temporal relations are unified and mutually constrained, and the integration of more and more aspects is not only the inevitable trend of spatio-temporal representation and reasoning research, but also the urgent need for practical applications. An unified spatio-temporal representation model was proposed, which represents spatial relations using rectangle relations, and represents time using change times of rectangle relations. Spatial relation and time changes were deduced by using conceptual neighborhood graph. Based on the model, combined with a rectangular relationship and path consistency algorithm, an algorithm was proposed to verify the consistency of the unified model network, and analysis of algorithm complexity. This research improves the accuracy of the spatial relationship analysis, reduces the time information redundancy, which is of certain theoretical significance and application value for the analysis and inquiry of spatial relations and time change of spatial entities in geographic information system.

Keywords Spatio-temporal relation, Rectangle relation, Concept neighborhood Graph, Consistency

定性时空推理主要是将空间对象的时空信息进行定性化表示,在此基础上对定性的时空关系进行推理。这种方法可以使原始的定量信息便于理解和想象,接近人们实际生活中处理时空信息的方法,同时也方便了一些模糊和不确定信息的表示和推理,降低了时空开销。近年来,定性时空推理在地理信息系统、机器人智能、计算机视觉等方面取得了很大的进展。

时空推理中主要的时空关系包括拓扑、方向、距离、尺寸、形状和时间关系[1]。已有的研究成果主要集中在 3 种以下的结合,如 2000 年,Wolter 等人[2]将时空解释成时间和空间结构的笛卡尔积,并基于 BRCC-8 进行了时空表示,构造了 ST_0 等时空逻辑;2003 年,王生生等人[3]结合拓扑、尺寸和时间的定性时空表示和推理;2010 年,陈娟等人[4]对基于 MBR 的拓扑、方位、尺寸结合的定性时空推理进行了研究。

由此可见,超过 3 种时空信息结合的研究几乎没有。但是多种时空关系之间是相互统一和相互约束的,它们共同描述了空间实体之间的时空关系,所包含的关系种类越多,描述的就越全面和精确,已有的研究工作发展的趋势以及实际应用的需要都是更多方面信息的结合表示和推理。空间实体的形状描述极为复杂,若考虑形状对空间关系的影响,则不仅使

到稿日期:2011-10-10 返修日期:2012-03-05 本文受时空推理中的空间变化演算研究及应用(2010JM8036),江河流域水污染预警预报软件系统研发(CXY1010(1))资助。

李 波(1968—),男,博士生,副教授,主要研究方向为分布式计算及软件工程、模型数值模拟及可视化、地理信息系统、决策支持系统,E-mail:fjxj3805@sina.com;**梁晶晶**(1986—),女,硕士生,主要研究方向为定性时空推理;**周正康**(1980—),男,硕士生,讲师,主要研究方向为定性时空推理、计算机仿真;**谢玉枚**(1986—),女,硕士生,主要研究方向为定性时空推理。

得空间实体模型表示和推理过程变得极为复杂，而且增加了时空开销，降低了推理效率。所以，在对空间实体进行时空关系的推理时通常对实体进行近似表示，如最小边界矩形 MBR (Minimum Bounding Rectangle)、凸壳等。因此，本文旨在研究结合拓扑、方向、距离、尺寸和时间 5 种时空关系的表示和推理方法。

MBR 是目前通用的区域近似表示方法之一，其由于表示简单、便于推理，因此广泛应用于定性时空推理中。本文采用 MBR 近似表示空间区域，利用矩形关系统一表示空间实体间的拓扑、方向、距离以及尺寸关系的模型，讨论空间实体在基于空间关系变化的定性时间下的推理问题。

MBR 是指以多边形顶点中的最大和最小坐标为顶点围成的矩形，其边和坐标轴平行。采用 MBR 近似表示空间区域后，区域间的拓扑、方向和距离都可以统一通过其 MBR 在坐标轴上的投影间的区间关系对(矩形关系)来描述，尺寸关系也可以限制其在坐标轴上投影的矩形关系，即可以统一采用矩形关系来进行表示和推理。

1 时空信息的表示

1.1 区间代数

Allen 提出了同一坐标轴上两个区间段之间的 13 种基本关系[5](见表 1)，并且给出了其复合表。在二维空间中，可以采用各个轴上的区间代数关系，也就是矩形关系($R1$,$R2$)来描述目标对象 A 和参考对象 B 之间的空间关系。

表 1 区间 13 种可能的关系

区间关系	符号	反关系	图示
X before Y	<	>	XXX YYY
X equal Y	=	=	XXX YYY
X meets Y	m	mi	XXXYYY
X overlaps Y	o	oi	XXX YYY
X during Y	d	di	XXX YYYYYY
X starts Y	s	si	XXX YYYYY
X finishes Y	f	fi	XXX YYYYY

概念邻域图 CNG(Conceptual Neighborhood Graph)在时空推理中表示关系连续变化的图示[3]。它由节点和边组成，节点表示空间关系，节点之间有边相连表示对象间的空间关系可以通过一次变化达到而不需要经过其他的空间关系，而如果节点间要经过多条边才能够到达，则表示对象间的空间关系需要经过多次的变化才可以达到。图 1 所示为区间关系的 CNG。在求解某一种关系的邻域关系时，只需要在 CNG 中找到与该关系所对应的节点有一条边直接相连的节点即可。

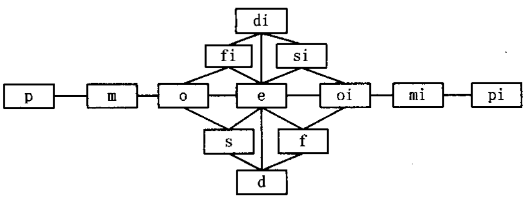

图 1 区间关系 CNG

定义 1 求邻域关系函数

nbr(R)＝{在概念邻域图上和 r 条边直接相连的所有基本关系|基本关系 $r\in R$}

如 nbr(di)＝{fi,si,e}。

1.2 拓扑关系

目前在时空推理中，最常用的描述拓扑关系的模型是区域连接演算 RCC8(Region Connection Calculus)理论[6]，它由 8 种互不相交且联合完备的拓扑关系组成，分别为相离(DC)、相邻(EC)、交叠(PO)、相等(EQ)、内切(TPP)、被包含(NTPP)、被内切(TPPi)、包含(NTPPi)(见图 2)。当采用 MBR 近似表示空间区域时，可以通过 MBR 在 X 和 Y 轴上投影间的区间关系对来表示相应的拓扑关系，即采用矩形关系表示。具体的表示如表 2 所列[7]，其中“×”表示集合的笛卡尔乘积，“∪”表示集合的并集。

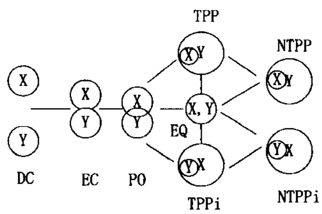

图 2 RCC-8 关系及概念邻域图

表 2 采用区间代数表示 MBR 间拓扑关系

拓扑关系	区间关系
DC	{<,>}×{<,>,m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,=}∪{<,>,m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,=}×{<,>}
EC	{m,mi}×{m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,=}∪{m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,=}×{m,mi}
PO	{o,oi}×{o,oi,s,si,f,fi,d,di,=}∪{o,oi,s,si,f,fi,d,di,=}×{o,oi}∪{d}×{di}∪{di}×{d}
TPP	{s,f}×{s,f,d,=}∪{s,f,d,=}×{s,f}
TPPi	{si,fi}×{si,fi,di,=}∪{si,fi,di,=}×{si,fi}
NTPP	{d}×{d}
NTPPi	{di}×{di}
EQ	{=}×{=}

1.3 方向关系

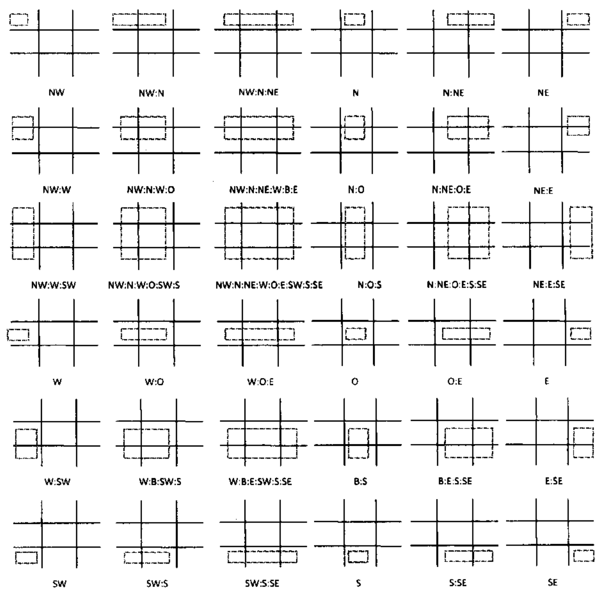

图 3 MBR 间的 36 个主方向关系

空间区域间的方向关系的描述包括目标对象和参考对象

以及参考模型。现在主要的方向关系参考模型有锥形模型、双十字模型和主方向关系模型等，而其中使用较多且较为准确的是主方向关系模型。它以空间区域 MBR 各条边的延长线将其所在的二维平面分为 9 个部分，每个部分对应一种原子方向关系，分别为东(E)、东南(SE)、南(S)、西南(SE)、西(W)、西北(NW)、北(N)、东北(NE)和本身 MBR 的范围(O)，两个空间区域之间的方向关系既可以是原子方向关系，也可以是原子关系的可能组合。二维空间区域的 MBR 间存在的主方向关系有 36 个，如图 3 所示，其中同时成立的方向关系之间用“:”连接。这 36 个关系可以通过矩形关系表示，如表 3 所列。

表 3　36 个主方向关系的矩形关系表示

X \ Y	{p,m}	{o,fi}	{e,d,s,f}	{si,oi}	{pi,mi}	{di}
{p,m}	SW	SW:W	W	NW:W	NW	SW:W:NW
{o,fi}	SW:S	SW:S:W:O	W:O	NW:N:W:O	NW:N	NW:N:W:O:SW:S
{e,d,s,f}	S	S:O	O	N:O	N	N:O:S
{si,oi}	S:SE	S:SE:O:E	O:E	N:NE:O:E	N:NE	N:NE:O:E:S:SE
{pi,mi}	SE	E:SE	E	NE:E	NE	NE:E:SE
{di}	SW:S:SE	W:O:E:SW:S:SE	W:O:E	NW:N:NE:W:O:E	NW:N:NE	NW:N:NE:W:O:E:SW:S:SE

1.4　距离关系

在定性空间推理中的距离关系不是要研究具体的距离值，而是要研究这些距离值包含在哪个范围内，如远、近等。定性距离[8]将空间对象的周围划分为若干个同心圆，每个同心圆是一个级别，相邻两个同心圆之间的距离值算作外层同心圆的级别[9]。为了便于与 MBR 结合并进行推理，这里采用两级划分，即目标对象 MBR 与参考对象 MBR 内部之间存在交点则算为第一级别 Close，若无交点(对应拓扑关系中的 DC 和 EC)则算为第二级别 Far。距离关系可以通过矩形关系表示，如表 4 所列。

表 4　定性距离关系的矩形关系表示

距离关系	矩形关系表示
Close	{o,oi,s,si,f,fi,d,di,e} × {o,oi,s,si,f,fi,d,di,e}
Far	{>,<} × {>,<,m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,e} ∪ {>,<,m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,e} × {>,<} ∪ {m,mi} × {m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,e} ∪ {m,mi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,e} × {m,mi}

1.5　尺寸关系

空间区域的尺寸是其重要空间特征之一，尺寸关系的大小也对拓扑、方向等关系有一定的约束作用。本文采用的是二维空间中的 MBR 近似表示空间区域，其尺寸就规定为 MBR 在各个坐标轴上投影区间段的长度大小。为方便表示和推理，规定研究对象两个轴向上的大小关系是同一的，即若尺寸关系是大于的话，则每个轴上的投影都是大于的关系。在定性时空推理中，人们关心的是尺寸大小的定性比较关系，而不是具体的尺寸值。

定义 2　定性时空推理中尺寸关系的符号表达为 $Size(A,B)st$，$Size(A,B)st \subseteq \{>,=,<\}$，表示二维空间上的对象 A 和 B 的 MBR 在时刻为 t 以及空间拓扑、方向和距离为 s 时在各个坐标轴上的投影间的尺寸关系。表 5 为尺寸关系的复合表。尺寸关系中只有 3 种，所以概念邻域图比较简单，= 和 >、< 都相连，而 <、> 都分别和 = 相连，而它们互不相连。

表 5　尺寸关系复合表

Size(A,B)st \ Size(B,C)st	>	=	<
>	>	>	>,=,<
=	>	=	<
<	>,=,<	<	<

1.6　时间关系

时间的表示方法可以分为线性时间、分支时间、环时间等，这些表示方法在时间的表示方面十分强大，但是在推理方面却太过复杂且不便于理解，同时在对时空数据进行处理时，对于空间关系不发生变化时，时间的表示造成了不必要的时间、空间消耗。这里采用王生生等人[3]提出的基于空间关系变化次数的时间表示方法，它不仅表达简单，而且便于推理。

定义 3　时间关系的表达形式是(t_1,c,t_2)TDD|$Size(A,B)$，$t_1<t_2$，表示空间对象 A 和 B 在时间区间$[t_1,t_2]$内，拓扑、方向、距离(此处为矩形关系表示后的结果，记为 TDD)或尺寸(记为 Size)变化的次数为 c。c 为 0，表示 A 和 B 在时间区间$[t_1,t_2]$内拓扑、方向、距离或尺寸关系没发生变化；c 为 1 时，则可能变化到 CNG 上任何直接相邻的状态；$c>1$ 时，则可能是经过多条边可以到达或者是回到了本身的状态。

时间关系的复合运算规则如下：

$$(t_1,c_1,t_2)_{\mathrm{TDD}|Size(A,B)}\ o(t_2,c_2,t_3)_{\mathrm{TDD}|Size(A,B)} = (t_1,c_1+c_2,t_3)_{\mathrm{TDD}|Size(A,B)} \tag{1}$$

2　时空信息间的相互约束

2.1　矩形关系和尺寸关系的相互约束

如上所述，MBR 间的空间基本关系都可以用矩形关系来表示，而尺寸关系和矩形关系之间也存在着一定的约束，其相互的约束如表 6 和表 7 所列。

表 6　矩形关系对尺寸关系的约束

区间代数	{p,pi,m,mi,o,oi}	{di,fi,si}	{e}	{d,f,s}
尺寸关系	>,=,<	>	=	<

表 7　尺寸关系对矩形关系的约束

尺寸关系	>	=	<
区间代数	{p,pi,m,mi,o,oi,di,fi,si}	{p,pi,m,mi,o,oi,e}	{p,pi,m,mi,o,oi,d,f,s}

2.2　时间和空间的相互约束

这里主要分为两种约束，即空间基本关系的矩形关系表示与时间的相互约束和尺寸关系和时间的相互约束。

矩形关系发生一次变化是指空间基本关系的矩形关系表示在某一个坐标轴上的矩形关系发生了变化，并且仅仅变为区间代数的概念邻域图中的相邻关系。矩形关系对时间的约束是指矩形关系从 TDD1 到 TDD2 所发生的变化的次数，而时间对矩形关系的约束是指从 t_1 时刻到 t_2 时刻，矩形关系发生了 n 次变化而使其能够达到的范围。

空间基本关系的矩形关系表示在发生一次变化时可能是

X轴方向上发生了变化，也可能是Y轴方向上发生了变化，所以将矩形关系进一步分为X轴上的关系 $TDDx$ 和Y轴上的 $TDDy$。

函数 $TDDC(TDD\ t_1, c)$ 表示 t_1 时刻的矩形关系TDD经过 c 次变化后可能达到的基本关系集合：

$$TDDC(TDD\ t_1,c)=\begin{cases} TDD\ t_1, & \text{if } c=0 \\ (nbr(TDDx)\times TDDy)\cup (TDDx\times nbr(TDDy)), & \text{if } c=1 \\ TDDC((nbr(TDDx)\times TDDy)\cup(TDDx\times nbr(TDDy)),c-1), & \text{if } c>1 \end{cases} \quad (2)$$

函数 $TDDT(TDD\ t_1, TDD\ t_2)$ 表示矩形关系 $TDD\ t_1$ 变化到 $TDD\ t_2$ 可能经过的变化次数的最小值：

$$TDDT(TDD\ t_1,TDD\ t_2)=\{c\mid c\in N\wedge TDD\ t_2\in TDDC(TDD\ t_1,c)\wedge \forall c_1\in N\wedge TDD\ t_2\in(TDD\ t_1,c_1)\wedge c\leqslant c_1\} \quad (3)$$

矩形关系和时间之间的复合可以分为3种：矩形关系复合矩形关系得到经过的时间，矩形关系复合时间得到变化后的矩形关系，时间复合时间得到总的时间。其中最后一种情况在前面介绍时间时已经定义，这里只需要进行前两种情况的定义。

定义4 矩形关系复合矩形关系得到经过时间的定义为：

$$TDD(A,B)t_1\ o(t_1,c,t_2)TDD(A,B)=(TDDC(TDD(A,B)t_1,c))t_2 \quad (4)$$

定义5 矩形关系复合时间得到变化后的矩形关系的定义为：

$$TDD(A,B)t_1\ o\ TDD(A,B)t_2=(t_1,TDDT(TDD(A,B)t_1,TDD(A,B)t_2),t_2)TDD(A,B) \quad (5)$$

尺寸关系和时间之间的约束和复合的情况与矩形关系和时间的约束及复合相似，可得到以下 $SC(Size\ t_1,c)$，$SS(Size\ t_1,Size\ t_2)$ 及复合运算的定义：

$$SC(Size\ t_1,c)=\begin{cases} Size\ t_1, & \text{if } c=0 \\ nbr(Size\ t_1), & \text{if } c=1 \\ SC(nbr(Size\ t_1),c-1), & \text{if } c>1 \end{cases} \quad (6)$$

$$SS(Size\ t_1,Size\ t_2)=\{c\mid c\in N\wedge Size\ t_2\in SC(Size\ t_1,c)\wedge\forall c_1\in N\wedge Size\ t_2\in(Size\ t_1,c_1)\wedge c\leqslant c_1\} \quad (7)$$

$$Size(A,B)t_1\ o(t_1,c,t_2)Size(A,B)=(SC(Size(A,B)t_1,c))t_2 \quad (8)$$

$$Size(A,B)t_1\ o\ Size(A,B)t_2=(t_1,SS(TDD(A,B)t_1,Size(A,B)t_2),t_2)TDD(A,B) \quad (9)$$

3 矩形关系约束网络一致性判定

矩形关系约束网络是一种形如 (n,R) 的网络结构，其中 n 代表网络中有 n 个实体，R 是矩形关系中基本关系的一种。路径一致算法因其中的点、路径的概念与时空约束网络中的实体、关系的概念能够紧密相关而成为时空推理中约束满足问题求解的重要算法。文献[10]证明了若 (n,R) 中的关系都为凸关系，并且是路径一致的，则该网络是一致的。所以，首先要判定每条边上的矩形关系是否为凸关系，如果不是，则无法采用路径一致性算法来判定。在所有关系都为凸关系的前提下，在经典的路径一致性算法的基础上对其中的REVISE函数进行改进，即可实现多种关系结合后的矩形关系网络的一致性判定。

算法1 基于MBR的拓扑、方向、距离、尺寸和时间结合的约束网络的一致性判定算法。

输入：包含变量 $x_1,x_2,\cdots,x_n$ 上的一组矩形关系约束TDD(A,B)t、一组尺寸关系约束Size(A,B) t和一组时间关系 (t_1,c,t_2)TDD|Size(A,B)的约束集合。

输出：如果约束集合是不一致的，则输出false；否则，输出true。

```
Q←{(Rij)}; //i/j表示约束集合中包含的变量中的第i个/第j个变量。
判断矩形关系网络是否为凸关系网络;
if 为非凸关系网络 则算法终止;
else
while(Q! =φ)
{
从Q中取出一个关系对Rij,并在Q中删除该关系对;
for k≠i,k≠j(k∈{1,2,…,n}) do
{
if REVISE(i,k,j) then
  if Rij=φ then 返回 false;
    else 将Rij添加到Q中;
}
}
返回 true;
```

```
函数:REVISE(i,k,j)
输入:3个区域变量i,k,j。
输出:如果对Rij进行了修正,则返回true;否则,返回false。
oldTDD=TDD(i,j)t;
oldSize=Size(i,j)t;
oldTime=c; //(t1,c,t2)TDD|Size(A,B);
TDD(i,j)t=(TDD(i,j)t∩(TDDC(TDD(i,j)t',c))t∩Size(i,j)t 约束
        下矩形关系)∩((TDD(i,k)t∩(TDDC(TDD(i,k)t',c))
        t∩Size(i,k)t 约束下矩形关系)o
(TDD(k,j)t∩(TDDC(TDD(k,j) t',c))t∩Size(k,j)t 约束下矩形关系));
Size(i,j)t=(Size(i,j)t∩(SC(Size(i,j) t',c))t∩TDD(i,j)t 约束下尺寸关系)∩((Size(i,k)t∩(SC(Size(i,k)t',c))t∩TDD(i,k)t 约束下尺寸关系)o(Size(k,j)t∩(SC(Size(k,j) t',c))t∩TDD(k,j)t 约束下尺寸关系));
c=c∩TDDT(TDD(i,j)t',TDD(i,j)t)∩SS(Size(i,j)t',Size(i,j)t)∩(TDDT(TDD(i,k)t',TDD(i,k)t)+TDDT(TDD(k,j)t',TDD(k,j)t))∩(SS(Size(i,k)t',Size(i,k)t)+SS(Size(k,j)t',Size(k,j)t);
if((oldTDD==TDD(i,j)t)&&(oldSize==Size(i,j) t)&&(oldTime==c))
then 返回 false;
```

TDD(j,i)t=converse(TDD(i,j)t);

Size(j,i)t=converse(Size(i,j)t);

返回 true;

路径一致性算法就是对约束网络中的每个三角形进行一致性判定。而在一个有 n 个节点的网络中共有 $n(n-1)(n-2)/6$ 个三角形,所以对这些三角形进行路径一致性判定的复杂度为 $O(n^3)$,其前提条件是其中的矩形关系都为凸关系,否则矩形关系网络的一致性判定是 NP 完全的。

4 实例

在 t_1 时刻,C 和 D 的拓扑关系为 PO,方向关系为 N:NE:O:E,尺寸关系为 $C<D$,若方向关系变化为 O,则至少需要经过几次变化?

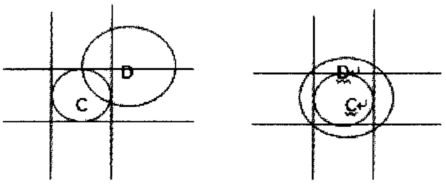

图 4 实例

分析:

在 t_1 时刻,可以得到其拓扑和方向关系的矩形关系,表示为:

$$PO=\{o,oi\}\times\{o,oi,s,si,f,fi,d,di,e\}\cup\{o,oi,s,si,f,fi,d,di,e\}\times\{o,oi\}\cup di\times d\cup d\times di$$

$$N:NE:O:E=\{si,oi\}\times\{si,oi\}$$

$$PO\wedge\{N:NE:O:E\}=si\times oi\cup oi\times si\cup oi\times oi$$

而尺寸关系对矩形关系的约束为:

$$<\rightarrow\{p,pi,m,mi,o,oi,d,f,s\}$$

所以在 t_1 时刻,C 和 D 之间的矩形关系为:$oi\times oi$

$$\begin{aligned}TDD\ t_2&=TDDC(TDD\ t_1,1)\\&=(nbr(TDDx)\times TDDy)\cup(TDDx\times nbr(TDDy))\\&=(nbr(\{oi\})\times\{oi\})\cup(\{oi\}\times nbr(\{oi\}))\\&=\{mi,si,f,e\}\times\{oi\}\cup\{oi\}\times\{mi,si,f,e\}\end{aligned}$$

根据方向关系的矩形关系表示可得,t_2 时刻 C 和 D 间的方向关系为:

{NE:E,N:NE:O:E,N:O,N:NE,O:E},此时不包含 O,所以进入下一时刻推导。

在 t_3 时刻:

$$\begin{aligned}TDD\ t_3&=TDDC(TDD\ t_2,1)\\&=(nbr(\{mi,si,f,e\})\times\{oi\})\cup(\{mi,si,f,e\}\times nbr(\{oi\}))(nbr(\{oi\})\times\{mi,si,f,e\})\cup(\{oi\}\times nbr(\{mi,si,f,e\}))\\&=\{pi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,e\}\times\{oi\}\cup\{oi\}\times\{pi,o,oi,s,si,f,fi,d,di,e\}\cup\{mi,si,f,e\}\times\{mi,si,f,e\}\end{aligned}$$

根据方向关系的矩形关系表示可得,t_3 时刻 C 和 D 间的方向关系为:

{NW:N:W:O,N:O,N:NE:O:E,NE:E,NW:N:NW:W:O:E,O:E,NE,E,N:NE,O,S:SE:O:E,N:NE:O:E:S:SE}

集合中包含 O,所以至少经过两次变化 C 和 D 之间的方向关系就可以变为 O。

结束语 空间对象之间的时空关系极其复杂,主要包含拓扑、方向、距离、尺寸、形状以及时间之间的关系。在实际应用中,空间对象的信息是全面和综合的,所以在对其进行处理和利用的过程中,也应综合地分析每一方面的信息及其之间的关系,这样分析的结果才具有更强的实际应用价值,而不是单纯停留在理论研究阶段。本文首先将空间对象之间的多种时间和空间关系采用矩形关系的形式统一表示,分析了采用矩形关系表示的时空信息之间的相互约束和依赖,形成了统一的表示和推理模型,避免了在推理过程中对时空关系之间约束的多次判断以及不同概念邻域图的综合分析。在此基础上,结合矩形关系网络和路径一致性算法,提出了检验上述统一模型网络的一致性算法,简化了时空关系网络一致性的判定过程,并分析了算法复杂度。

但是,空间对象的形状十分复杂,采用 MBR 对其进行近似必然会丢失很多细节,造成很大的误差,特别是在三维空间中这种误差更加明显。因此,研究如何对空间对象的形状进行较为准确的描述,同时又不会对表示和推理的效果造成太大的影响是接下来的工作重点。

参考文献

[1] Cohn A G,Hazarika S M. Qualitative spatial representation and reasoning:An overview[J]. Fundamential Informatics,2001,46(1/2):1-29

[2] Wolter F,Zakharyaschev M. Spatio-temporal representation and reasoning based on RCC-8[C]// KR2000:Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 2000:3-14

[3] 王生生,刘大有,谢琦,等. 集成多方面信息的定性空间推理及应用[J]. 软件学报,2003,14(11)

[4] 陈娟,刘大有,贾海洋,等. 基于 MBR 的拓扑、方位、尺寸结合的定性空间推理[J]. 计算机研究与发展,2010(3):426-433

[5] Allen J F. Maintaining knowledge about temporal intervals[J]. Communications of the ACM,1983,26(11):832-843

[6] Randell DA,Cui Z,Cohn AG. A spatial logic based on regions and connection[C]// Nebel B,Rich C,Swartout W R,eds. Proceedings-the third National Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Los Altos,Morgan Kaufman,1992:165-176

[7] Sharma J. Integrated spatial reasoning in geographic information systems:combining topology and direction[D]. Citeseer,1996

[8] Hernandez D,Clementini E,Di Felice P. Qualitative distances[J]. Spatial Information Theory A Theoretical Basis for GIS,1995,988:45-57

[9] 胡宝清. 模理论基础[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004

[10] Skiadopoulos S,Koubarakis M. Consistency checking for qualitative spatial reasoning with cardinal directions[C]// Principles and Practice of Constraint Programming-CP 2002:8th International Conference,CP 2002 Ithaca. NY,USA,2006,2470:351- 361