

随时间演化的不确定区域间拓扑关系判定

包磊 秦小麟

(南京航空航天大学信息科学与技术学院, 南京 210016)

摘要 不确定性处理是时空数据库技术研究的新领域, 现有研究成果集中在时空不确定性的表示模型方面, 缺乏不确定性对象间时空关系特别是拓扑关系的分析。提出了利用 3 维拓扑分析模型来分析 2 维运动对象的时空关系, 针对随时间演化的 2 维不确定性区域, 将 Egg/Yolk 模型中的 RCC (region connection calculus) 区域扩充至 3 维, 得到 46 种联合完备且互不相交的基本拓扑关系, 根据各基本拓扑关系的时空特性, 将 46 种基本关系归类为 21 类不确定性时空关系。

关键词 时空数据库 拓扑关系 不确定性

中图法分类号: TP311.131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)06-0883-07

The Topological Relations Analysis for Indeterminate Regions Evolving with Time

BAO Lei, QIN Xiao-lin

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract The topic of uncertainty management is a new issue in spatiotemporal database research. Some efforts have already been made on the indeterminacy representation models, while the area of topological relations models for indeterminate spatiotemporal objects remain untouched. The goals of these models are to provide a set of Joint Exclusive and Pair wise Disjoint topological relations for uncertain spatiotemporal objects. This paper presents a topological relations model for indeterminate evolving 2D regions. It checks the correspondence between 3d topological relations and spatiotemporal relations, provides restrictions to make the 3d relation model fitful for spatiotemporal objects. Then it extends Egg/Yolk model to the third dimension that can describe the approximate topological relations for indeterminate evolving regions. The result is a collection of relations clusters which have different spatiotemporal nature.

Keywords spatiotemporal database, topological relation, uncertainty

1 引言

当前有关时空数据库的研究成果主要针对确定性时空对象, 即要求时空对象具有精确的空间位置、边界以及确定的时空关系。建立在此前提下, 已有研究成果包括各类时空对象的表示模型^[1]和对象间的时空关系分析模型^[2]。然而, 对于现实世界中大量随时间演化的运动对象来说, 无法获得其精确的时间和空间信息, 如高速运动的敌方目标、湖泊

的水位线以及动物的繁衍区域等等。20 世纪 90 年代末, 一些学者提出了不确定性处理在时空数据库领域的重要性^[3], 指出必须对时空对象的位置不确定性、几何属性不确定性以及运动关系的不确定性的表示和处理作深入研究。

目前时空数据库领域内不确定性处理的研究主要集中在表示模型研究上。Tossebro 扩充了模糊空间数据类型, 给出模糊时空数据类型, 包括模糊时空点和模糊时空区域的抽象数据类型和其离散实现模型^[4]。Wolfson 等人以 3 维柱状结构近似表示位置

基金项目: 国家自然科学基金项目 (69973032); 江苏省自然科学基金项目 (BK2001045)

收稿日期: 2005-03-14; **改回日期:** 2005-08-25

第一作者简介: 包磊 (1977 ~), 男, 副教授。现在海军工程大学指挥自动化教研室工作, 为南京航空航天大学博士研究生。研究方向为时空数据库、作战仿真系统。E-mail: blnj2000@nuaa.edu.cn

不确定的运动车辆的运动轨迹^[5],在可扩充数据库管理系统 Informix IDS 2000 基础上实现了 DOMINO 原型系统。基于灰集的时空数据抽象模型和离散实现模型^[6,7],侧重于时空运动趋势的预测分析。

在不确定性时空关系分析模型方面,由于不确定性同时存在于时间维和空间维上,加之时空不确定性互相依赖、互为存在条件以及时空的连续性、无限性等特点,到目前为止,可查的资料中还没有出现完整的同时考虑到时空特性和不确定性的关系分析模型。可供借鉴的相关研究领域有,不确定性空间对象间拓扑分析模型研究和确定性时空关系分析模型研究。有关不确定性空间对象间拓扑分析方法的研究有:引入模糊逻辑或者概率函数来表示不确定的空间拓扑关系^[8,9];将对象空间不确定性定义为其宽边界,在此基础上扩充 Egenhofer 的 9-intersection模型来分析宽边界不确定区域间拓扑关系,获得了 44 种联合完备且互不相交(J. E. P. D.)的基本拓扑关系^[10];Egg/Yolk 模型^[11]将不确定性空间区域表示为一对确定性区域,获得了 46 种基本拓扑关系,同样也是 J. E. P. D. 的。

有关确定性时空关系的研究有:Muller 在文献[12]中给出的定性分析模型,定义了 leave, reach, collide, inner, outer, intersect 共 6 种基本时空关系;Erwig 引入时空谓词作为时空关系的形式化表示,这些谓词实际上是定义在时空抽象数据类型基础上的函数;GTDM 模型^[13]将时态关系扩展到高维用以描述对象间的拓扑和方向关系,是一种离散化的定量模型。Andrea 提出的基于对象移动时段和空间关系时段的模型,分析量化的方向和距离关系^[14]。

本文对不确定性时空对象间时空拓扑关系的分析判定模型进行了研究,提出了一种随时间不断演化的不确定性区域间时空关系的形式化分析模型。其思路是将 2 维 Egg/Yolk 模型扩充至 3 维,用不确定性 3 维拓扑关系来分析不确定性时空关系。

2 随时间演化不确定区域的表示模型

不确定性时空对象的形式化定义是其抽象数据类型。时空类型是空间基本类型的时态提升。设 A 是空间类型, $Evolving(A)$ 是其对应时空类型,定义为一个从时间到 A 的函数:

$$Evolving(A) : time \rightarrow A \quad (1)$$

对于随时间演化的 2 维不确定区域类型

$Evolving(Region)$,可表示为一组近似表示对象时空关系的函数,如图 1 所示。

$$Evolving(Region) : time \xrightarrow{\text{indeterminate}} Region \quad (2)$$

$$\forall t \in T, Evolving(Region)(t) \in URegion$$

其中, T 是区域的定义时间周期, $URegion$ 是 2 维不确定性区域类型,其含义为随时间演化的 2 维不确定区域在任意一个时刻表现为一个 2 维不确定区域。

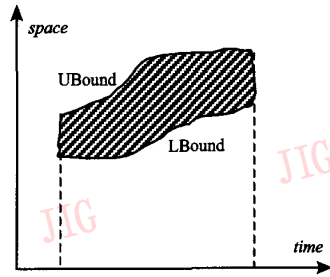


图 1 时空类型的抽象表示

Fig. 1 Abstraction of indeterminate spatiotemporal types

$Evolving(Region)$ 的离散实现一般通过对时间段进行切片分段来实现。如图 2 所示,随时间演化的不确定性 2 维区域按时间分割为多个单元 unit,以 A. V. L. 树组织^[4]。在每个单元内部,区域的演化近似表示为一对上下界函数,其形式为线性插值函数、固定值或者灰差分方程^[7]。当时态不确定性与空间不确定性相互影响时,演化函数的计算还需要经过一系列合并算法和几何变形算法^[4]得到。

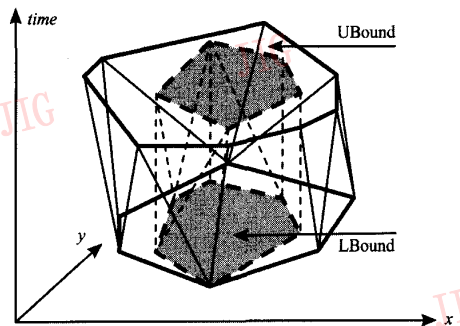


图 2 时间演化不确定性区域的离散表示

Fig. 2 Discrete model of evolving indeterminate region

3 2 维 Egg/Yolk 模型及其 3 维扩展

Cohn 等人基于区域对模型给出了一种不确定简单区域的拓扑关系模型,称为 Egg/Yolk 模型^[11]。

Yolk 对应下分明, Egg 对应上分明, 分别相当于区域的确定部分和整体。该模型中的区域满足 RCC (region connection calculus) 公理, 该模型排除了分明区域, 并要求 Yolk 是 Egg 的一个真部分。Egg/Yolk 模型利用两个区域的 Egg 和 Yolk 之间的 RCC-5 关系, 对不确定性区域间的关系进行分类, 建立了相应的 J. E. P. D. 关系集合, 这些关系根据一个 4 元素矩阵来确定, 如图 3 所示。

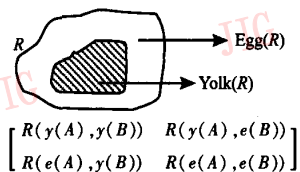


图 3 Egg/Yolk 模型和其关系判定矩阵

Fig. 3 Egg/Yolk model and its relationship matrix

矩阵中每个元素是一个 RCC-5 关系, 包括 DR(分离), PO(相交), PP(真部分), EQ(相等)和 PPI(反真部分)。如图 4 所示。

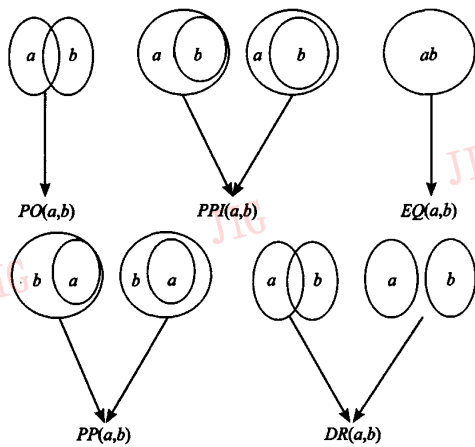


图 4 简单区域对象间的 RCC-5 关系

Fig. 4 RCC-5 relations between simple regions

个关系中仅有 46 种可能发生的空间关系, 构成一个 J. E. P. D. 的关系集合, 用于描述 2 维不确定性区域间的拓扑关系。如图 5 所示。

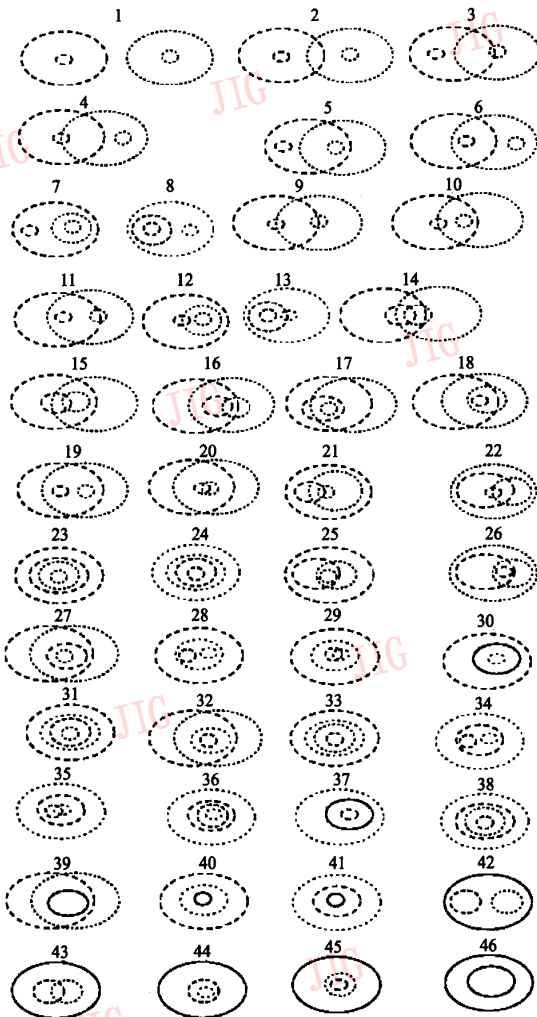


图 5 2 维简单不确定性区域对象间的关系简图

Fig. 5 46 relations between 2D indeterminate regions

RCC-5 关系已经被证明是 J. E. P. D. 的。因此根据图 3 中关系矩阵, 不确定性区域间的拓扑关系有 5^4 种, 构成一个 J. E. P. D. 的关系集合。由于 Egg 和 Yolk 之间存在固有约束关系, 比如 Yolk 是 Egg 的真部分、Yolk 不能为空等等, 在 625 种基本关系中有大量不可能出现的情况, 例如 $DR(Egg(a), Egg(b)) \rightarrow DR(Yolk(a), Yolk(b))$, 所以 $\begin{pmatrix} \neg DR & * \\ * & DR \end{pmatrix}$ 就是不可能出现的关系矩阵。考虑到各类约束, 最终在 625

在第 2 节介绍的表示模型中, 2 维不确定性随时间演化区域表示为一对确定性演化区域, 可以进一步看成是以时间轴作第 3 个空间维所构成 3 维空间中的纯几何对象, 也就是一对确定的 3 维空间体对象。Egg/Yolk 模型规定所有区域满足 RCC 公理, 该公理被证明可适用于任意维空间内的同维区域间的关系描述, 所以当扩充到 3 维空间后, Egg/Yolk 模型可以获得相同的 46 个 J. E. P. D. 基本关系。利用这 46 个基本关系可以描述随时间演化不确定区域间的拓扑关系。

如图 6 所示,图示的 3 维体对象 A, B 间的拓扑关系 $overlap(A, B)$ 蕴含不确定演化区域 A, B 有时候可能相交的信息。

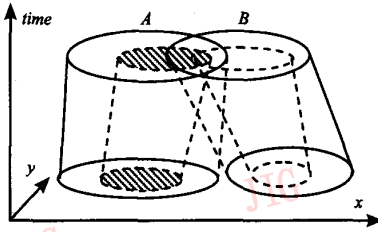


图 6 $overlap \leftrightarrow$ 有时可能相交
Fig. 6 $overlap \leftrightarrow$ sometimes possibly overlap

从直观上得出结论:某些 3 维几何体间的拓扑关系与 2 维随时间演化区域间的时空关系是相同的。引用有关拓扑空间和拓扑同构的定义,这种关系的形式化的简要定义和证明如下:

定义 1 设集合 $X, P(X)$ 是 X 的幂集,设有 $\Gamma \subseteq P(X)$, 则 (X, Γ) 为一个拓扑空间, 当且仅当:

- (1) $X \in \Gamma, \emptyset \in \Gamma$
- (2) $U, V \in \Gamma \Rightarrow U \cap V \in \Gamma$

(3) $S \in \Gamma \Rightarrow \bigcup_{A \in S} A \in \Gamma$ 。 Γ 中的元素称为开集, 其在 X 中的对应元称为闭集, 简要起见, 将 Γ 省略, 以 X 表示一个拓扑空间。

定义 2 设 X, Y 是拓扑空间, 称函数 $f: X \rightarrow Y$ 连续, 当且仅当对于 Y 的每个开子集 $U, f^{-1}(U) = \{x \in X | f(x) \in U\}$ 是 X 中的闭集。称 X, Y 拓扑同构, 当且仅当存在函数 $f: X \rightarrow Y$ 是连续的且有 $f^{-1}: Y \rightarrow X$ 也是连续的。

设有 3 维欧氏空间 \mathbb{R}^3 内的几何体集合:

$volumes = \{V \subseteq \mathbb{R}^3 | V \text{ 与 } \mathbb{R}^3 \text{ 内的闭球拓扑同构},$

$$\forall (\min(z | (x, y, z) \in V) \leq z \leq (\max(z | (x, y, z) \in V))) \\ : \{(x, y) | (x, y, z) \in V\} \in region\}$$

则 $volumes$ 与随时间演化的区域是拓扑同构的, 因为存在连续且逆函数也连续的函数:

$$\alpha(V) = \{(z, r) | z \in time, (\min(z | (x, y, z) \in V) \leq z \leq (\max(z | (x, y, z) \in V))), r = \{(x, y) | (x, y, z) \in V\}\}$$

从几何特性上说, $volumes$ 包含了欧氏空间上那些封闭的、连通的、无孔的 3 维体, 且其在任何一个 z 坐标上与 xy 平面平行的平面相交都是一个 2 维 RCC 区域。它通过一个时间映射函数: $\alpha: volume \rightarrow$

$Evolving(region)$ 与随时间演化区域拓扑同构。

4 随时间演化不确定区域间时空关系

尽管随时间演化的不确定 2 维区域可表示为一对确定性演化区域, 而确定性 2 维演化区域又拓扑同构于 3 维欧氏空间中的一些封闭连通几何体, 3 维不确定性空间拓扑关系分析结果还是不能直接用于不确定性时空关系的分析。

图 7 给出了不确定性变化区域 A, B 的两种关系, 从拓扑关系上看, 他们具有相同的拓扑关系, 但是他们的时空关系明显不同。

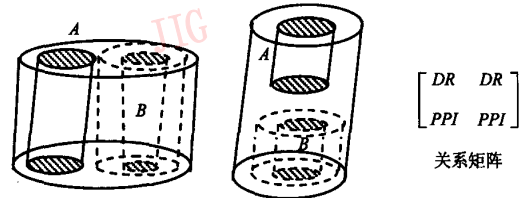


图 7 相同拓扑关系不同时空关系的情况
Fig. 7 Different spatiotemporal relation with the same topological relation

为了避免这种由于对象定义时间不同而造成的特殊情况, 做出以下假设:

假设 在讨论随时间演化的不确定性区域 A, B 的时空关系时, 认为 A, B 具有相同的定义时间, 且在其定义时间内任何一个时刻, A, B 的 Yolk 不为空, 即

$$t \in timespan(A) \cap timespan(B),$$

$$Yolk(at(A, t)) \neq \emptyset, Yolk(at(B, t)) \neq \emptyset$$

$timespan(A)$ 返回 A 的定义时间, $at(A, t)$ 返回 A 在 t 时刻的空间状态。

该假设是可满足的, 因为对不满足条件的对象 A, B , 可以采用时间分段的方法将其分割为满足条件的部分来讨论, 如图 8 所示。

图 8 中, 经过时间分段, t_1, t_2, t_3 之间的部分满足假设条件。通过考察各个分段间的关系, 可以获得对象的整体关系。

在使用 3 维不确定性空间拓扑关系分析结果分析不确定性时空关系时, 还有一个问题, 即时空关系不仅包含了空间拓扑关系, 还具有时态语义, 如图 9 所示。

图 9 中的 2 种情况具有不同的时空关系, 但是其空间拓扑关系是相同的。

为此, 引入关键字 *sometimes* 和 *always*, 用以区

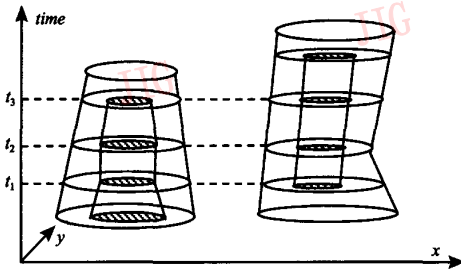
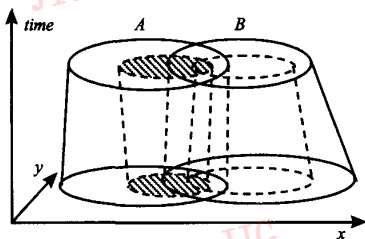
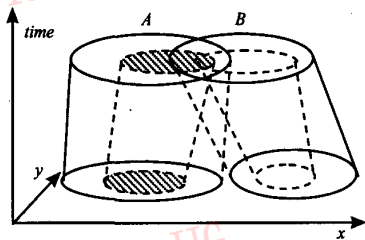


图8 通过时间分段来满足假设条件

Fig. 8 Time slicing



(a) 一直相交



(b) 有时相交

图9 不同的时态特性

Fig. 9 Different temporal relations

分这两种不同的时空关系。并建立了3维RCC-5关系和这2种时空关系的对应:

$$\text{Sometimes } R(A, B) \Leftrightarrow \exists t \in \text{timespan}(A) \cap \text{timespan}(B), \\ R(\text{at}(A, t), \text{at}(B, t))$$

$$\text{Always } R(A, B) \Leftrightarrow \forall t \in \text{timespan}(A) \cap \text{timespan}(B), \\ R(\text{at}(A, t), \text{at}(B, t))$$

规则1 $DR^{3d} \leftrightarrow \text{always disjoint}$

规则2 $PP^{3d} \leftrightarrow \text{always inside}$

规则3 $EQ^{3d} \leftrightarrow \text{always equal}$

规则4 $PPI^{3d} \leftrightarrow \text{always Contain}$

规则5 $PO^{3d} \leftrightarrow \text{sometimes overlap}$

选取规则1证明之:

规则1 若A, B满足RCC关系 DR^{3d} (分离), 则有时空关系 *always disjoint* (一直分离)

证明: “ \rightarrow ”,

$$\text{设 } Z = \{z \in \mathbb{R} \mid (\min(z \mid (x, y, z) \in A) \leq z \leq \\ (\max(z \mid (x, y, z) \in A))\},$$

$$DR^{3d}(A, B) \Rightarrow \forall z \in Z, \text{disjoint}(\text{Intersectat}(A, z), \\ \text{Intersectat}(B, z)),$$

Intersectat(A, z) 获得A在z位置与xy平面平行切面相交得到的区域对象。使用映射函数 $\alpha: \text{volume} \rightarrow \text{Evolving}(\text{region})$, 可将此关系映射到时空对象上, 有:

$$\forall t \in \text{timespan}(A), \text{disjoint}(\text{at}(A, t), \text{at}(B, t)),$$

得证。反之亦然, 容易证明“ \leftarrow ”的成立。

根据这些规则, 可以获得时变区域对之间的时空关系, 从而可对3维空间拓扑关系的46种基本关系进行分析和重新归类, 最终获得随时间演化区域对象的21种不确定性时空关系, 可描述2维不确定时变区域之间的所有可能时空拓扑关系, 其关系名和对应关系矩阵如表1所示。

在判定任意2个随时间演化的不确定2维区域A, B间的时空拓扑关系时, 只需要计算2对确定性3维空间体对象 *Egg*(A), *Egg*(B), *Yolk*(A), *Yolk*(B)间的Rcc-5关系, 生成相应关系矩阵, 然后根据关系矩阵查表即可获得其时空拓扑关系。简单算法如下:

algorithm Judge_Relation(a, b)

let $Rcc-5_b = \{DR, PO, PP, PPI, EQ\}$; //RCC-5关系枚举类型

let *Relationship_Clusterse* = {Always disjoint, Sometimes overlap, ..., Always equal}; //21个关系组

input:

a, b is the 2 indeterminate evolving regions need the relationship judgement.

output:

r: Relationship_Clusters.

method:

Relation_Matrix: 2 * 2 matrix of Rcc-5;

Relation_Matrix[1][1] = Calculate_RCC_5(*Yolk*(a), *Yolk*(b));

Relation_Matrix[1][2] = Calculate_RCC_5(*Yolk*(a), *Egg*(b));

Relation_Matrix[2][1] = Calculate_RCC_5(*Egg*(a), *Yolk*(b));

Relation_Matrix[2][2] = Calculate_RCC_5(*Egg*(a), *Egg*(b));

r = LookUp_FromTable(*Relation_matrix*);

return r;

end Judge_Relation

表 1 随时间演化不确定性区域间的 21 种不确定性时空关系
Tab.1 Clusters of topological relations between indeterminate evolving regions

关系名	矩阵内容	关系名	矩阵内容
Always disjoint	$\begin{bmatrix} DR & DR \\ DR & DR \end{bmatrix}$	Sometimes overlap	$\begin{bmatrix} PO & PO \\ PO & PO \end{bmatrix}$
Always inside	$\begin{bmatrix} PP & PP \\ PP & PP \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PP & PP \\ EQ & PP \end{bmatrix}$	Always contain	$\begin{bmatrix} PPI & PPI \\ PPI & PPI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PPI & EQ \\ PPI & PPI \end{bmatrix}$
Sometimes possibly meet	$\begin{bmatrix} DR & DR \\ DR & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DR & DR \\ PO & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DR & PO \\ DR & PO \end{bmatrix}$	Sometimes possibly overlap	$\begin{bmatrix} DR & PO \\ PO & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DR & PP \\ DR & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DR & PP \\ PO & PO \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} DR & DR \\ PPI & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DR & PO \\ PPI & PO \end{bmatrix}$
Always Coveredbyboundary	$\begin{bmatrix} DR & PP \\ DR & PP \end{bmatrix}$	Always possibly coveredbyboundary	$\begin{bmatrix} DR & PP \\ PO & PP \end{bmatrix}$
Always coverswithboundary	$\begin{bmatrix} DR & DR \\ PPI & PPI \end{bmatrix}$	Always possibly coverswithboundary	$\begin{bmatrix} DR & PO \\ PPI & PPI \end{bmatrix}$
Sometimes boundaryoverlap	$\begin{bmatrix} DR & PP \\ PP & PO \end{bmatrix}$	Always boundaryoverlap	$\begin{bmatrix} DR & PP \\ PPI & PPI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DR & PPI \\ PP & PPI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DR & PP \\ PPI & EQ \end{bmatrix}$
Sometimes strongoverlap	$\begin{bmatrix} PO & PP \\ PPI & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PO & PP \\ PPI & PP \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PO & PP \\ PPI & PPI \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} PO & PP \\ PPI & EQ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PPI & PP \\ PPI & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PP & PP \\ PPI & PO \end{bmatrix}$	Always strongoverlap	$\begin{bmatrix} EQ & PP \\ PPI & PO \end{bmatrix}$
Sometimes nearlycoverdby	$\begin{bmatrix} PO & PP \\ PO & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PO & PP \\ PO & PP \end{bmatrix}$	Always nearlycoverdby	$\begin{bmatrix} PP & PP \\ PO & PP \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PP & PP \\ PO & PO \end{bmatrix}$
Sometimes nearlycovers	$\begin{bmatrix} PO & PO \\ PPI & PO \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PO & PO \\ PPI & PPI \end{bmatrix}$	Always nearlycovers	$\begin{bmatrix} PPI & PO \\ PPI & PPI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PPI & PO \\ PPI & PO \end{bmatrix}$
Always nearlyfill	$\begin{bmatrix} PP & PP \\ PPI & PP \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PP & PP \\ PPI & PPI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PP & PP \\ PPI & EQ \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} EQ & PP \\ PPI & PPI \end{bmatrix}$	Always nearlyfilledby	$\begin{bmatrix} EQ & PP \\ PPI & PP \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PPI & PP \\ PPI & PPI \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PPI & PP \\ PPI & PP \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} PPI & PP \\ PPI & EQ \end{bmatrix}$
Always equal	$\begin{bmatrix} EQ & PP \\ PPI & EQ \end{bmatrix}$		

算法 Judge_Relation 中, Calculate_RCC_5 函数计算 2 个 3 维 RCC 区域间的 RCC-5 关系, 这部分工作已经基于 Realms^[5] 进行了实现, 函数 LookUp_FromTable 根据输入的参数查表 1 获得对应的关系类型。

5 与相关工作的比较

直接相关的工作是不确定性空间区域的拓扑分析模型^[10,11]。我们的工作建立在文献[11]中提供的 2 维不确定性区域间拓扑分析模型——Egg/Yolk 模型基础上。将其扩充到 3 维空间, 并考虑了利用 3 维拓扑关系来表示时空关系的一些问题。着重分

析了时空关系的时态特性, 区分了 always 和 sometimes 的不同情况。如图 10 所示。

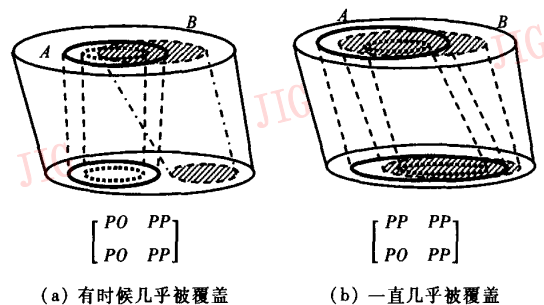


图 10 3 维 Egg/Yolk 不能区分的情况
Fig. 10 Relations can't be distinguished by 3D Egg/Yolk

在 Egg/Yolk 2 维模型中,图 10 中的两种关系同归于 *nearlycoveredby* 关系类,而在的分析结果中,它们分别归属于两个不同的关系类 *sometimes nearlycoveredby*, *always nearlycoveredby*。这样就区分了两种关系,在时态约束上的不同。注意到 Clementini 的宽边界 9 交模型^[10]同样也是可扩充至 3 维空间的,之所以选择 Egg/Yolk 模型作为研究基础是因为二者所得到的基本拓扑关系集合是相同的,且 RCC-5 关系更适合建立与 *sometimes* 和 *always* 关键字的对应。

移动目标数据库 (Moving objects database) 领域内也有一些可借鉴成果。文献 [15] 中规定了一些表示时空不确定性的查询关键字并进行了讨论,但其专门针对位置不确定的移动点对象,无法给出分析操作的通用计算方法。

6 结 论

分析了使用不确定性 3 维拓扑关系来表示不确定性时空关系的一些问题,将 2 维 Egg/Yolk 模型扩充到 3 维空间,分析随时间演化的不确定性区域间的时空关系,结果为 21 种基本时空关系。

还需要进一步研究方面包括:

(1) 复杂不确定性时空对象间关系的分析方法,如随时间变化的不确定性复杂区域间关系,不确定性运动点和运动区域之间的关系;

(2) 关系矩阵各元素的快速计算算法。

参考文献 (References)

- Erwig M, Guting R H, Schneider M, et al. abstract and discrete modeling of spatio-temporal data types [J]. ACM-GIS 1998; 131 ~ 136.
- Erwig M, Schneider M. Spatio-temporal predicates [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2002, 14 (4): 881 ~ 901.
- Roddick J, Egenhofer M, Hoel E. Spatial, temporal, and spatio-temporal databases—hot issues and directions for Ph. D. research [J]. SIGMOD Record, 2004, 33(2): 126 ~ 131.
- Tossebro E, Nygard M. Uncertainty in spatiotemporal databases [A]. In: Proceedings of 2nd Biennial International Conference on Advances in Information Systems (ADVIS) [C], Trondheim, Norway, 2002: 43 ~ 53.
- Bao Lei, Qin Xiao-lin. The overview of grey spatiotemporal data types [A]. In: Proceedings of 2nd Asian Workshop on Foundations of Software (AWFS2003) [C], Nanjing, 2003: 53 ~ 57.
- Bao Lei, Qin Xiao-lin, Zhong Yong. A grey spatiotemporal model for the prediction of objects' near future evolution [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(2): 234 ~ 240. [包磊, 秦小麟, 钟勇. 一种用于运动趋势预测的灰色时空数据模型 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(2): 234 ~ 240.]
- Trajcevski G, Wolfson O, Chamberlain S. The geometry of uncertainty in moving objects databases [A]. In: Proceedings of the 8th Conference on Extending Database Technology (EDBT02) [C], Prague, Czech Republic, 2002: 204 ~ 218.
- Schneider M. Finite resolution crisp and fuzzy spatial objects [A]. In: Proceedings of the 9th International Symposium on Spatial Data Handling [C], Beijing, 2000: 3 ~ 17.
- Winter S. Uncertainty of topological relations in GIS [A]. In: Proceedings of ISPRS Commission III Symposium; Spatial Information from Digital Photogrammetry and Computer Vision [C], Bellingham: SPIE, 1994: 924 ~ 930.
- Clementini E, Felice Di. Approximate topological relations [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 1997, 16 (2): 173 ~ 204.
- Cohn A G, Gotts N M. The 'Egg-Yolk' representation of regions with indeterminate boundaries [A]. In: Proceedings of Geographic Objects with Indeterminate Boundaries [C], London: Taylor & Francis, 1996: 171 ~ 187.
- Muller. A qualitative theory of motion based on spatio-temporal primitives [A]. In: Proceedings of the 6th Int'l Conference on Knowledge Representation and Reasoning [C], Trento: Morgan Kaufmann, 1998: 131 ~ 143.
- Niki P, Ivan R, Kia M. Spatio-Temporal modeling in video and multimedia geographic information systems [J]. GeoInformatica, 2001, 5(4): 375 ~ 409.
- Miене A, Ubbo V. Interpretation of spatio-temporal relations in real-time and dynamic environments [A]. In: Proceedings of the Robot Soccer World Cup V [C], Seattle, Springer-Verlag, 2002: 441 ~ 446.
- Wolfson O. Querying the uncertain position of moving objects [A]. In: Temporal Databases: Research and Practice [M], Berlin: Springer Verlag, 1998.