

一种基于 MBR 的不确定区域间方向关系建模方法

董轶群^{1,2}, 刘大有^{1,2}, 王 芳^{1,2}, 王生生^{1,2}, 吕 帅¹

(1. 吉林大学计算机科学与技术学院, 吉林长春 130012; 2. 吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室, 吉林长春 130012)

摘 要: 现实世界中的区域多具有不确定边界, 现有基于确定区域的建模方法无法直接处理此类不确定区域间的方向关系. 用宽边界表示区域的不确定边界, 以区域的最小边界矩形(minimum bounding rectangle, 简称 MBR)为模型, 提出一种基于 MBR 的不确定区域间方向关系建模方法. 利用基于 MBR 的主方向关系和矩形代数表示不确定区域间方向关系; 定义不确定区域间方向关系的相容性复合; 并给出一种相容性复合计算方法.

关键词: 不确定区域; 宽边界; 方向关系; 最小边界矩形; 矩形代数; 相容性复合

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 02-0329-07

A MBR-Based Approach for Modeling Direction Relations between Uncertain Regions

DONG Yi-qun^{1,2}, LIU Da-you^{1,2}, WANG Fang^{1,2}, WANG Sheng-sheng^{1,2}, LÜ Shuai¹

(1. College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China;

2. Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract: Most regions in real world have uncertain boundaries. The present models based on crisp regions can not deal with the Direction Relations between the Regions with Uncertain Boundaries(DRRUB). Using broad boundary to represent the uncertain boundary, a novel approach based on the model of MBR(minimum bounding rectangle) is proposed for modeling DRRUB. In this paper, DRRUB are described by MBR-based cardinal direction relations and rectangle algebra, then we study the consistency-based composition of DRRUB, and a method is put forward for calculating this consistency-based composition.

Key words: uncertain regions; board boundary; direction relations; minimum bounding rectangle(MBR); rectangle algebra; consistency-based composition

1 引言

不确定性是客观世界的一种重要特性. 在地理分析和图像理解等领域的许多实际应用中都存在着具有不确定边界的空间对象. 由于基于确定区域的空间关系模型不能直接应用于具有不确定边界的区域对象, 所以此类不确定区域间空间关系建模已引起广泛关注^[1]. 目前相关研究主要集中于二维空间拓扑关系, 而不确定区域间方向关系建模的研究尚不多见.

在能够处理确定区域间方向关系的模型中, Skiadopoulos 等^[2]提出的主方向关系模型 SK 最具代表性, 目前空间方向关系建模的研究工作大多是围绕着该模型展开的^[3~9]. 在不确定区域间方向关系建模方面, 现有模型多是运用粗集、模糊集理论表示方向信息, 或是对已有精确模型简单扩展, 且多集中于空间关系的表示

方面, 推理方面研究较少, 其中基于相容性复合的推理研究更是少之又少.

Allen 等^[10]以一维区间之间的关系为研究对象, 提出区间代数理论. Balbiani 等^[11,12]提出矩形代数理论, 为二维空间关系建模奠定了基础. 最小边界矩形(MBR)是平面区域对象的一种近似表示方法, 是最常用的空间关系模型^[9]; 通过矩形代数与 MBR 模型便于对空间关系进行形式化表示和推理, 因此二者是研究空间关系建模的重要工具, 然而目前多用于基于确定区域的空间关系模型中. 本文采用宽边界统一表示区域的不确定边界, 将矩形代数的良好计算性质应用于不确定区域间方向关系的表示与推理中, 定义 MBR 宽边界方向关系及其上的相容性复合; 并给出复合运算方法, 从而实现对不确定区域间方向关系的定性表示与推理.

2 基于 MBR 的主方向关系与矩形代数

2.1 基于 MBR 的主方向关系

在平面空间中,与封闭单位圆同胚的区域(确定区域)的集合用 REG 表示; REG 中有限个元素的并构成集合用 REG^* 表示[2].对于任意两个区域 $a, b \in REG$,在描述 a 相对于 b 的方向关系时,称 a 为主区域, b 为参照区域.通过 b 的最小边界矩形 $mbb(b)$ (图 1(a)),将平面空间划分成 9 个方向片,进而构成参照系统.如图 1(b)所示, a 相对于 b 的方向关系为 $NE:E$,记为 $a NE:E b$.

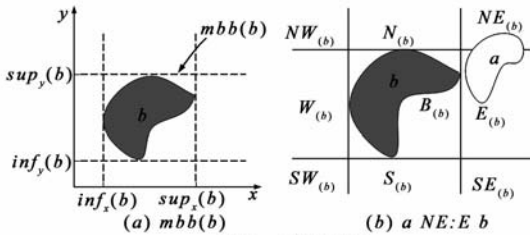


图1 模型SK

定义 1 表达式 $R_1: \dots: R_k$ 称为一个基本主方向关系,其中:(i) $1 \leq k \leq 9$, (ii) $R_1, \dots, R_k \in \{B, S, SW, W, NW, N, NE, E, SE\}$; (iii) 对于每个 i 和 j ,若 $1 \leq i, j \leq k, i \neq j$,则 $R_i \neq R_j$; (iv) 对于任意一个参照区域 $b \in REG$,存在区域 $a_1, \dots, a_k \in REG^*$,使得 $a_1 \in R_{1(b)}, \dots, a_k \in R_{k(b)}$ 并且 $a_1 \cup \dots \cup a_k \in REG^{[2]}$.

定义 2 一个基本主方向关系 R 为基于 MBR 的主方向关系,当且仅当存在两个矩形区域 $a, b \in REG$,使得 $a R b^{[2,9]}$.

由定义 1 可得到 218 个基本主方向关系,记为 D_{basic} ;由定义 2, D_{basic} 中共含有 36 个基于 MBR 的主方向关系,记为 D_{rec} .

表 1 基于 MBR 的主方向关系与矩形代数关系间的转换表

$x \backslash y$	$Part_1: \{p, m\}$	$Part_2: \{o, fi\}$	$Part_3: \{di\}$	$Part_4: \{eq, s, d, f\}$	$Part_5: \{si, oi\}$	$Part_6: \{pi, mi\}$
$Part_1: \{p, m\}$	SW	SW: S	SW: S; SE	S	S; SE	SE
$Part_2: \{o, fi\}$	W: SW	W: B; SW: S	W: B; E; SW: S; SE	B: S	B: E; S; SE	E: SE
$Part_3: \{di\}$	NW: W; SW	NW: N; W; B; SW: S	D_{rec}	N: B; W	N: NE; B; E; S; SE	NE: E; SE
$Part_4: \{eq, s, d, f\}$	W	W: B	W: B; E	B	B: E	E
$Part_5: \{si, oi\}$	NW: W	NE: N; W; B	NW: N; NE: W; B; E	N: B	N: NE; B; E	NE: E
$Part_6: \{pi, mi\}$	NW	NW: N	NW: N; NE	N	N: NE	NE

定义 3 若 $V, U \in 2^{A_{int}}$,则 $T_{R-D}(V \times U)$ 表示矩形代数关系 $V \times U$ 对应的所有基于 MBR 的主方向关系.

例 1 $T_{R-D}(p \times pi) = \{NW\}$;

$T_{R-D}(\{p, o\} \times \{pi, si\}) = T_{R-D}((p \times pi), (p \times si), (o \times pi), (o \times si)) = T_{R-D}(p \times pi) \cup (T_{R-D}(p \times si) \cup (T_{R-D}(o \times pi) \cup (T_{R-D}(o \times si) = \{NW, NW: W, NW: N, NE: N; W: B\}$.

3 宽边界区域间方向关系表示模型

3.1 MBR 宽边界方向关系

定义 4 一个宽边界区域 a 由两个区域 a_1 和 a_2 组

2.2 矩形代数

在区间代数理论中,两个有限区间之间共存在 13 种基本区间关系,记为 A_{int} ,则 $A_{int} = \{p, m, o, s, d, f, pi, mi, oi, si, di, fi, eq\}$.基本区间关系间的复合运算表详见文献[10].

矩形代数是区间代数在二维空间的扩展,因此共有 $13 \times 13 = 169$ 种基本关系,记为 A_{rec} .若 $I_x \in 2^{A_{int}}, I_y \in 2^{A_{int}}$ 分别表示矩形代数关系在 x 轴、 y 轴的分解关系,则矩形代数关系可以表示为 $I_x \times I_y$.

定理 1 设 $L, Z, V, U \in 2^{A_{int}}$,复合运算用 (\circ) 来表示,则由 L, Z 及 V, U 组成的矩形代数关系满足 $(L \times Z) \circ (V \times U) = (L \circ V) \times (Z \circ U)^{[9]}$.

2.3 基于 MBR 的主方向关系与矩形代数间的转换

对于任意两个区域,若将其向 x 轴和 y 轴进行投影,则同一坐标轴上投影之间共存在 13 种可能的区间关系,进而 36 个基于 MBR 的主方向关系共可转换为 $13 \times 13 = 169$ 种基本关系,这与矩形代数关系一致,因此可利用矩形代数对基于 MBR 的主方向关系进行表示与推理.

设 a 为主区域, b 为参照区域,若 $a B b$,则对应的矩形代数关系为 $\{eq, s, d, f\} \times \{eq, s, d, f\}$;类似地可得到其他关系所对应的矩形代数关系.最终可将 13 种基本区间关系分为 6 组 $Part_1: \{p, m\}, Part_2: \{o, fi\}, Part_3: \{di\}, Part_4: \{eq, s, d, f\}, Part_5: \{si, oi\}, Part_6: \{pi, mi\}^{[9]}$.

定理 2 从表 1 中任取两组区间关系,令它们的幂集(在这里将空集除去)做笛卡尔积操作 (\times) ,所得的结果集都对应于唯一的一个主方向关系^[9].

成,其中 $a_1, a_2 \in REG, a_1 \subseteq a_2$.

为方便说明,将 a_1 与 a_2 分别称为 a 的内区域和外区域,二者的边界分别记为 ∂a_1 和 ∂a_2 .

定义 5 若 a 是一个宽边界区域,则 a 的宽边界记为 $\Delta a, \Delta a = \partial a_1 \cup \partial a_2 \cup (a_2 - a_1)$.

由定义 4 和定义 5,一个具有不确定边界的区域可用内、外两个确定区域进行表示,其中外区域表示不确定区域的最大空间范围;内区域表示不确定区域的确定空间范围;外、内两个确定区域的差集以及二者的边界表示不确定边界.基于点集拓扑的宽边界区域定义

详见文[13].

例 2 图 2(a), (b) 分别表示两个确定区域 a_1 和 a_2 , 图 2(c) 表示分别以 a_1, a_2 为内、外区域构成的宽边界区域, 图 2(c) 中的两条边界以及其间的深色部分表示区域的宽边界.

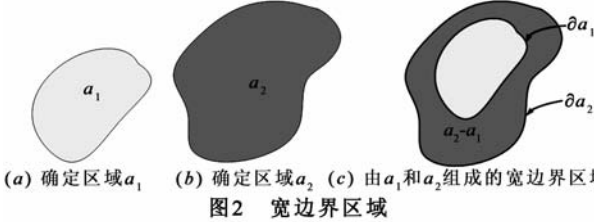


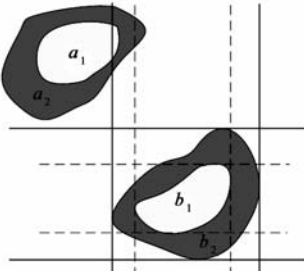
图 2 宽边界区域

由于宽边界区域的内、外区域均为 REG 中区域, 因此可以利用基于确定区域的空间关系模型作为研究宽边界区域间方向关系的基础. 本文以基于 MBR 的主方向关系作为内、外区域间的基本关系, 通过组合描述方法表示宽边界区域间方向关系.

定义 6 $D_{MBR} = \langle D_1, D_2, D_3, D_4 \rangle$ 称为一个 MBR 宽边界方向关系, 当且仅当存在两个宽边界区域 a 和 b , 其中 a_1, b_1 分别为 a, b 的内区域; a_2, b_2 分别为 a, b 的外区域, 使得 $mbb(a_1) D_1 mbb(b_1), mbb(a_1) D_2 mbb(b_2), mbb(a_2) D_3 mbb(b_1), mbb(a_2) D_4 mbb(b_2)$, 其中 $D_i \in D_{rec}, 1 \leq i \leq 4$.

例 3 如图 3 所示, 宽边界区域 a 相对于 b 的方向关系为 $\langle NW, NW: N, NW: N, NW: N \rangle$.

其中 a_1, a_2 分别为 a 的内、外区域; b_1, b_2 分别为 b 的内、外区域.



3.2 基于矩形代数表示 MBR 宽边界方向关系

对于任意一个 MBR 宽边界方向关系 D_{MBR} , 设 $D_{MBR} = \langle D_1, D_2, D_3, D_4 \rangle$, 根据表 1 和定义 3 易知:

$$D_1 = T_{R-D}(Q_{1x} \times Q_{1y}), \quad D_2 = T_{R-D}(Q_{2x} \times Q_{2y}),$$

$$D_3 = T_{R-D}(Q_{3x} \times Q_{3y}), \quad D_4 = T_{R-D}(Q_{4x} \times Q_{4y}),$$

其中 $Q_{1x}, \dots, Q_{4x}, Q_{1y}, \dots, Q_{4y} \in \{Part_1, Part_2, Part_3, Part_4, Part_5, Part_6\}$, 因此可利用矩形代数表示 D_{MBR} .

定义 7 对于任意一个 MBR 宽边界方向关系 D_{MBR} , 若 $D_{MBR} = \langle D_1, D_2, D_3, D_4 \rangle$, 则将基于矩形代数表示的 D_{MBR} 记为:

$$\langle Q_{1x} \times Q_{1y}, Q_{2x} \times Q_{2y}, Q_{3x} \times Q_{3y}, Q_{4x} \times Q_{4y} \rangle,$$

其中 $D_j = T_{R-D}(Q_{jx} \times Q_{jy}), Q_{jx}, Q_{jy} \in \{Part_1, Part_2, Part_3, Part_4, Part_5, Part_6\}, 1 \leq j \leq 4$.

根据定理 2 和表 1 可知, 对于任意一个 MBR 宽边界方向关系 D_{MBR} , 若 $D_{MBR} = \langle D_1, D_2, D_3, D_4 \rangle$, 则其所

对应的 $\langle Q_{1x} \times Q_{1y}, Q_{2x} \times Q_{2y}, Q_{3x} \times Q_{3y}, Q_{4x} \times Q_{4y} \rangle$ 是唯一确定的. 为方便说明, 将 D_{MBR} 记为如下形式: $D_{MBR} = \langle D_1, D_2, D_3, D_4 \rangle = \langle Q_{1x} \times Q_{1y}, Q_{2x} \times Q_{2y}, Q_{3x} \times Q_{3y}, Q_{4x} \times Q_{4y} \rangle$.

例 4 若 $D_{MBR} = \langle NW, NW, NW, N: NW \rangle$, 则根据定义 7 和表 1 可知:

$$D_{MBR} = \langle NW, NW, NW, N: NW \rangle = \langle Part_1 \times Part_6, Part_1 \times Part_6, Part_1 \times Part_6, Part_2 \times Part_6 \rangle.$$

4 MBR 宽边界方向关系间的相容性复合

定义 8 R_1, R_2 为基本主方向关系, R_1 与 R_2 间相容性复合表示为 $R_1 \circ R_2$, 它是一个基本主方向关系 R 的集合, 使得存在 $a, b, c \in REG, a R_1 b, b R_2 c, a R c$, 即:

$$R_1 \circ R_2 = \{R \in D_{basic} : (\exists a, b, c)(a R_1 b \wedge b R_2 c \wedge a R c)\}^{[2]}.$$

基于基本主方向关系的相容性复合, 我们给出 MBR 宽边界方向关系间相容性复合的定义.

定义 9 $D_{MBR}^1 = \langle D_1^1, D_2^1, D_3^1, D_4^1 \rangle$ 和 $D_{MBR}^2 = \langle D_1^2, D_2^2, D_3^2, D_4^2 \rangle$ 为 MBR 宽边界方向关系, D_{MBR}^1 与 D_{MBR}^2 间相容性复合表示为 $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$, 它是 MBR 宽边界方向关系 D_{MBR}^i 的集合.

$$D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2 = \{D_{MBR}^i \mid (\exists a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2 \in REG)(a_1 \subseteq a_2 \wedge b_1 \subseteq b_2 \wedge c_1 \subseteq c_2 \wedge mbb(a_1) D_1^1 mbb(b_1) \wedge mbb(a_1) D_2^1 mbb(b_2) \wedge mbb(a_2) D_3^1 mbb(b_1) \wedge mbb(a_2) D_4^1 mbb(b_2) \wedge mbb(b_1) D_1^2 mbb(c_1) \wedge mbb(b_1) D_2^2 mbb(c_2) \wedge mbb(b_2) D_3^2 mbb(c_1) \wedge mbb(b_2) D_4^2 mbb(c_2) \wedge mbb(a_1) D_1^i mbb(c_1) \wedge mbb(a_1) D_2^i mbb(c_2) \wedge mbb(a_2) D_3^i mbb(c_1) \wedge mbb(a_2) D_4^i mbb(c_2) \wedge D_{MBR}^i = \langle D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i \rangle)\}.$$

定理 3 若 R_1, R_2 为基本主方向关系, 且 $R_1 = R_{11} : \dots : R_{1k}$, 则 $R_1 \circ R_2 = \{R \in D_{basic} : (\exists s_1, \dots, s_k)(R = \text{tileunion}(s_1, \dots, s_k) \wedge s_1 \in R_{11} \cdot R_2 \wedge \dots \wedge s_k \in R_{1k} \cdot R_2)\}^{[2]}$.

基于定理 3, 我们给出定理 4——一种 MBR 宽边界方向关系间相容性复合的计算方法.

定理 4 若 D_{MBR}^1 和 D_{MBR}^2 为 MBR 宽边界方向关系, 其中:

$$D_{MBR}^1 = \langle Q_{1x}^1 \times Q_{1y}^1, Q_{2x}^1 \times Q_{2y}^1, Q_{3x}^1 \times Q_{3y}^1, Q_{4x}^1 \times Q_{4y}^1 \rangle,$$

$$D_{MBR}^2 = \langle Q_{1x}^2 \times Q_{1y}^2, Q_{2x}^2 \times Q_{2y}^2, Q_{3x}^2 \times Q_{3y}^2, Q_{4x}^2 \times Q_{4y}^2 \rangle,$$

$$Q_{jx}^i, Q_{jy}^i, Q_{jx}^2, Q_{jy}^2 \in \{Part_1, Part_2, Part_3, Part_4, Part_5, Part_6\}, 1 \leq j \leq 4.$$

令

$$I_{1x} = Q_{1x}^1 \circ Q_{1x}^2 \cap Q_{2x}^1 \circ Q_{2x}^2,$$

$$I_{2x} = Q_{1x}^1 \circ Q_{2x}^2 \cap Q_{2x}^1 \circ Q_{4x}^2,$$

$$\begin{aligned}
 I_{3x} &= Q_{3x}^1 \circ Q_{1x}^2 \cap Q_{4x}^1 \circ Q_{3x}^2, \\
 I_{4x} &= Q_{3x}^1 \circ Q_{2x}^2 \cap Q_{4x}^1 \circ Q_{4x}^2, \\
 I_{1y} &= Q_{1y}^1 \circ Q_{1y}^2 \cap Q_{2y}^1 \circ Q_{3y}^2, \\
 I_{2y} &= Q_{1y}^1 \circ Q_{2y}^2 \cap Q_{2y}^1 \circ Q_{4y}^2, \\
 I_{3y} &= Q_{3y}^1 \circ Q_{1y}^2 \cap Q_{4y}^1 \circ Q_{3y}^2, \\
 I_{4y} &= Q_{3y}^1 \circ Q_{2y}^2 \cap Q_{4y}^1 \circ Q_{4y}^2,
 \end{aligned}$$

则有: $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2 = \{ D_{MBR}^i \mid D_{MBR}^i = \langle D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i \rangle, D_1^i \in T_{R-D}(I_{1x} \times I_{1y}), D_2^i \in T_{R-D}(I_{2x} \times I_{2y}), D_3^i \in T_{R-D}(I_{3x} \times I_{3y}), D_4^i \in T_{R-D}(I_{4x} \times I_{4y}) \}$.

本文对定理 4 进行了证明, 详见附录 I.

5 复合算法与实例分析

基于定理 4, 下面给出计算 MBR 宽边界方向关系间相容性复合的算法 COD_{MBR} .

算法 COD_{MBR} 是正确的. 定理 1 证明了矩形代数关系间的复合可利用区间代数关系间的复合进行计算; 定理 2 证明了基于 MBR 的 36 种主方向关系都对应于一组矩形代数关系, 通过表 1 可将主方向关系转换为矩形代数表示; 对于任意两个 MBR 宽边界方向关系 D_{MBR}^1 和 D_{MBR}^2 , 算法

COD_{MBR} 中的(2)基于矩形代数关系将二者表示为四元组的形式; 根据定理 4 和区间代数间的复合运算, COD_{MBR} 中的(3)能够确定 I_{jx} 与 I_{jy} , 根据矩形代数与基于 MBR 主方向关系间的转换关系, 通过矩形代数关系 $I_{jx} \times I_{jy}$ 能够确定所有可能的 D_j^i , 并放入集合 P_j 中; COD_{MBR} 通过(4)中的循环语句, 以集合 P_j 中的基于 MBR 主方向关系作为 $D_j^i, i \geq 1, 1 \leq j \leq 4$, 构造所有可能的 D_{MBR}^i , 进而确定集合 $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$.

在机器人导航、地理分析和图像处理等许多实际应用领域中都存在着具有不确定边界的空间对象, 诸如: 可耕地、气候类型区域、某种类型的土壤范围、某种动物的栖息地等. 下面通过一个具体的应用实例说明本文提出的推理方法.

例 5 在基于农业的 GIS 中, 需要对不同类型的土壤进行分析定位. 根据土壤中各粒级含量的相对比重, 一片土地可划分出若干区域, 使得每一个区域代表一种土壤的质地类型. 由于土壤中粒级的不均匀分布, 因此每类土壤的范围通常是不确定的. 用确定区域 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ 分别表示六个土壤区域, 如图 5 所示,

算法 $COD_{MBR}(D_{MBR}^1, D_{MBR}^2)$

/* 计算 MBR 宽边界方向关系间相容性复合的算法 */

输入: MBR 宽边界方向关系 $D_{MBR}^1 = \langle D_1^1, D_2^1, D_3^1, D_4^1 \rangle, D_{MBR}^2 = \langle D_1^2, D_2^2, D_3^2, D_4^2 \rangle$.

输出: MBR 宽边界方向关系集合 $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$.

(1) /* 初始化 */

FOR j = 1 TO 4 DO

$(P_j \leftarrow \emptyset, I_{jx} \leftarrow \emptyset, I_{jy} \leftarrow \emptyset)$.

$D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2 \leftarrow \emptyset$.

(2) /* 基于矩形代数, 将 D_{MBR}^1 与 D_{MBR}^2 转换为相应的序对形式 */

$D_{MBR}^1 \leftarrow \langle Q_{1x}^1 \times Q_{1y}^1, Q_{2x}^1 \times Q_{2y}^1, Q_{3x}^1 \times Q_{3y}^1, Q_{4x}^1 \times Q_{4y}^1 \rangle$.

$D_{MBR}^2 \leftarrow \langle Q_{1x}^2 \times Q_{1y}^2, Q_{2x}^2 \times Q_{2y}^2, Q_{3x}^2 \times Q_{3y}^2, Q_{4x}^2 \times Q_{4y}^2 \rangle$.

(3) /* 确定 I_{jx}, I_{jy} , 通过矩形代数关系 $I_{jx} \times I_{jy}$ 构造 D_j^i 的集合 $P_j, 1 \leq j \leq 4$ */

$I_{1x} \leftarrow Q_{1x}^1 \circ Q_{1x}^2 \cap Q_{2x}^1 \circ Q_{3x}^2, I_{2x} \leftarrow Q_{1x}^1 \circ Q_{2x}^2 \cap Q_{2x}^1 \circ Q_{4x}^2$.

$I_{3x} \leftarrow Q_{3x}^1 \circ Q_{1x}^2 \cap Q_{4x}^1 \circ Q_{3x}^2, I_{4x} \leftarrow Q_{3x}^1 \circ Q_{2x}^2 \cap Q_{4x}^1 \circ Q_{4x}^2$.

$I_{1y} \leftarrow Q_{1y}^1 \circ Q_{1y}^2 \cap Q_{2y}^1 \circ Q_{3y}^2, I_{2y} \leftarrow Q_{1y}^1 \circ Q_{2y}^2 \cap Q_{2y}^1 \circ Q_{4y}^2$.

$I_{3y} \leftarrow Q_{3y}^1 \circ Q_{1y}^2 \cap Q_{4y}^1 \circ Q_{3y}^2, I_{4y} \leftarrow Q_{3y}^1 \circ Q_{2y}^2 \cap Q_{4y}^1 \circ Q_{4y}^2$.

$P_1 \leftarrow P_1 \cup T_{R-D}(I_{1x} \times I_{1y}), P_2 \leftarrow P_2 \cup T_{R-D}(I_{2x} \times I_{2y})$.

$P_3 \leftarrow P_3 \cup T_{R-D}(I_{3x} \times I_{3y}), P_4 \leftarrow P_4 \cup T_{R-D}(I_{4x} \times I_{4y})$.

(4) /* 确定集合 $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$ */

For all D_1^i in P_1 Do

For all D_2^i in P_2 Do

For all D_3^i in P_3 Do

For all D_4^i in P_4 Do

$D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2 \leftarrow D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2 \cup \{ \langle D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i \rangle \}$

图 4 算法 COD_{MBR}

其中粘粒 ($< 0.002\text{mm}$) 所占比重依次为 0 ~ 15%, 15% ~ 25% 和 25% ~ 45%, 0 ~ 17%, 13% ~ 27%, 23% ~ 47%. 依照国际制土壤质地分类方法, 结合宽边界表示模型, 则 a_1, a_2 对应的宽边界区域 a 为沙土类土壤. 类似地 b_1, b_2 对应的宽边界区域 b 为壤土类土壤; c_1, c_2 对应的宽边界区域 c 为黏壤土类土壤. 若已知 aD_{MBR}^1b, bD_{MBR}^2c , 其中

$D_{MBR}^1 = \langle D_1^1, D_2^1, D_3^1, D_4^1 \rangle = \langle N, N, N: NE, N \rangle, D_{MBR}^2 = \langle D_1^2, D_2^2, D_3^2, D_4^2 \rangle = \langle NW, NW, NW, N: NW \rangle$, 下面基于本文提出的推理方法确定 a, c 间的方向关系, 即通过算法 COD_{MBR} 确定 $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$.

根据表 1 可知:

$\langle N, N, N: NE, N \rangle = \langle Part_4 \times Part_6, Part_4 \times Part_6, Part_5 \times Part_6, Part_4 \times Part_6 \rangle$,

$\langle NW, NW, NW, N: NW \rangle = \langle Part_1 \times Part_6, Part_1 \times Part_6, Part_1 \times Part_6, Part_2 \times Part_6 \rangle$.

根据定理 4 和区间关系复合表可知:

$I_{1x} = Part_4 \circ Part_1 \cap Part_4 \circ Part_1 = \{ p, m \}$,

$I_{2x} = Part_4 \circ Part_1 \cap Part_4 \circ Part_2 = \{ m \}$,

$$I_{3x} = Part_5 \circ Part_1 \cap Part_4 \circ Part_1 = \{m\},$$

$$I_{4x} = Part_5 \circ Part_1 \cap Part_4 \circ Part_2 = \{p, m, o, fi\},$$

$$I_{1y} = I_{2y} = I_{3y} = I_{4y} = Part_6 \circ Part_6 (Part_6 \circ Part_6 = \{pi\}).$$

根据表 1 和定义 3 可知:

$$T_{R-D}(I_{1x} \times I_{1y}) = (\{p, m\} \times \{pi\}) = \{NW\},$$

$$T_{R-D}(I_{2x} \times I_{2y}) = (\{m\} \times \{pi\}) = \{NW\},$$

$$T_{R-D}(I_{3x} \times I_{3y}) = (\{m\} \times \{pi\}) = \{NW\},$$

$$T_{R-D}(I_{4x} \times I_{4y}) = (\{p, m, o, fi\} \times \{pi\}) = \{NW, NW:N\}.$$

因此 $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2 = \{ \langle NW, NW, NW, NW \rangle, \langle NW, NW, NW, NW:N \rangle \}$.

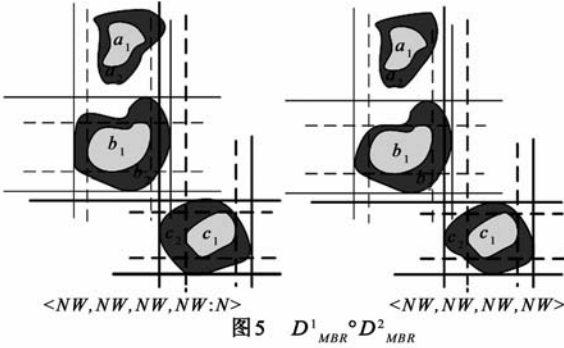


图 5 $D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$

由图 5 易验证,若 aD_{MBR}^1b, bD_{MBR}^2c ,则 a, c 间共有 2 种可能的 MBR 宽边界方向关系,即 $\langle NW, NW, NW, NW \rangle$ 与 $\langle NW, NW, NW, N: NW \rangle$.

6 结论

本文提出了一种基于 MBR 的不确定区域间方向关系建模方法.采用宽边界统一表示区域的不确定边界,将矩形代数的良好计算性质应用于不确定区域间 MBR 主方向关系的表示与推理中,定义了 MBR 宽边界方向关系,用以表示不确定区域间的方向关系;给出 MBR 宽边界方向关系间相容性复合的定义;基于矩形代数提出一种复合运算方法,并形式化证明其正确性.本文的研究工作能够对不确定区域间方向关系进行定性表示与推理,并为不确定区域间多种空间关系的结合表示与推理奠定了研究基础.

附录 I

证明:设 COM 为 MBR 宽边界方向关系集合.

$$COM = \{ D_{MBR}^i \mid D_{MBR}^i = \langle D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i \rangle, D_1^i \in T_{R-D}(I_{1x} \times I_{1y}), D_2^i \in T_{R-D}(I_{2x} \times I_{2y}), D_3^i \in T_{R-D}(I_{3x} \times I_{3y}), D_4^i \in T_{R-D}(I_{4x} \times I_{4y}) \}.$$

(1)对于任意 $D_{MBR}^i \in D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$ 往证:

$$D_{MBR}^i \in COM.$$

由定义 9,存在 $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2 \in REG$,且 $a_1 \subseteq a_2, b_1 \subseteq b_2, c_1 \subseteq c_2$,使得:

$$mbb(a_1) D_1^1 mbb(b_1), mbb(a_1) D_2^1 mbb(b_2),$$

$$mbb(a_2) D_3^1 mbb(b_1), mbb(a_2) D_4^1 mbb(b_2),$$

$$mbb(b_1) D_1^2 mbb(c_1), mbb(b_1) D_2^2 mbb(c_2),$$

$$mbb(b_2) D_3^2 mbb(c_1), mbb(b_2) D_4^2 mbb(c_2),$$

$$mbb(a_1) D_1^i mbb(c_1), mbb(a_1) D_2^i mbb(c_2),$$

$$mbb(a_2) D_3^i mbb(c_1), mbb(a_2) D_4^i mbb(c_2),$$

$$D_{MBR}^i = \langle D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i \rangle = \langle Q_{1x}^i \times Q_{1y}^i, Q_{2x}^i \times Q_{2y}^i, Q_{3x}^i \times Q_{3y}^i, Q_{4x}^i \times Q_{4y}^i \rangle.$$

将区域 $a_1, a_2,$

b_1, b_2, c_1, c_2 向 x 轴

和 y 轴进行投影,投影

记为 $Proj_x(a_1),$

$Proj_x(b_1), Proj_x(c_1),$

$Proj_x(a_2), Proj_x(b_2),$

$Proj_x(c_2); Proj_y(a_1),$

$Proj_y(b_1), Proj_y(c_1),$

$Proj_y(a_2), Proj_y(b_2),$

$Proj_y(c_2)$.由于 $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ 为确定区域,因此坐标轴上的投影之间满足区间代数中的 13 种基本关系,如图 6,进而有下面表达式成立:

如图 6,进而有下面表达式成立:

$$Proj_x(a_1) q_{1x}^1 Proj_x(b_1), Proj_x(a_1) q_{2x}^1 Proj_x(b_2),$$

$$Proj_x(a_2) q_{3x}^1 Proj_x(b_1), Proj_x(a_2) q_{4x}^1 Proj_x(b_2),$$

$$Proj_y(a_1) q_{1y}^1 Proj_y(b_1), Proj_y(a_1) q_{2y}^1 Proj_y(b_2),$$

$$Proj_y(a_2) q_{3y}^1 Proj_y(b_1), Proj_y(a_2) q_{4y}^1 Proj_y(b_2),$$

$$Proj_x(b_1) q_{1x}^2 Proj_x(c_1), Proj_x(b_1) q_{2x}^2 Proj_x(c_2),$$

$$Proj_x(b_2) q_{3x}^2 Proj_x(c_1), Proj_x(b_2) q_{4x}^2 Proj_x(c_2),$$

$$Proj_y(b_1) q_{1y}^2 Proj_y(c_1), Proj_y(b_1) q_{2y}^2 Proj_y(c_2),$$

$$Proj_y(b_2) q_{3y}^2 Proj_y(c_1), Proj_y(b_2) q_{4y}^2 Proj_y(c_2),$$

$$Proj_x(a_1) q_{1x}^i Proj_x(c_1), Proj_x(a_1) q_{2x}^i Proj_x(c_2),$$

$$Proj_x(a_2) q_{3x}^i Proj_x(c_1), Proj_x(a_2) q_{4x}^i Proj_x(c_2),$$

$$Proj_y(a_1) q_{1y}^i Proj_y(c_1), Proj_y(a_1) q_{2y}^i Proj_y(c_2),$$

$$Proj_y(a_2) q_{3y}^i Proj_y(c_1), Proj_y(a_2) q_{4y}^i Proj_y(c_2),$$

其中 $q_{jx}^i, q_{jy}^i, q_{jx}^j, q_{jy}^j, q_{jx}^k, q_{jy}^k \in A_{int}, 1 \leq j \leq 4$,因此可知:

$$T_{R-D}(q_{1x}^1 \times q_{1y}^1) = D_1^1, T_{R-D}(q_{2x}^1 \times q_{2y}^1) = D_2^1,$$

$$T_{R-D}(q_{3x}^1 \times q_{3y}^1) = D_3^1, T_{R-D}(q_{4x}^1 \times q_{4y}^1) = D_4^1,$$

$$T_{R-D}(q_{1x}^2 \times q_{1y}^2) = D_1^2, T_{R-D}(q_{2x}^2 \times q_{2y}^2) = D_2^2,$$

$$T_{R-D}(q_{3x}^2 \times q_{3y}^2) = D_3^2, T_{R-D}(q_{4x}^2 \times q_{4y}^2) = D_4^2,$$

$$T_{R-D}(q_{1x}^i \times q_{1y}^i) = D_1^i, T_{R-D}(q_{2x}^i \times q_{2y}^i) = D_2^i,$$

$$T_{R-D}(q_{3x}^i \times q_{3y}^i) = D_3^i, T_{R-D}(q_{4x}^i \times q_{4y}^i) = D_4^i,$$

$$Proj_x(a_1) q_{1x}^1 Proj_x(b_1) \wedge Proj_x(b_1) q_{1x}^2 Proj_x(c_1) \wedge Proj_x(a_1)$$

$$q_{2x}^1 Proj_x(b_2) \wedge Proj_x(b_2) q_{3x}^2 Proj_x(c_1),$$

$$Proj_x(a_1) q_{1x}^1 \circ q_{1x}^2 Proj_x(c_1) \wedge Proj_x(a_1) q_{2x}^1 \circ q_{3x}^2 Proj_x(c_1),$$

$$Proj_x(a_1) q_{1x}^1 \circ q_{1x}^2 \cap q_{2x}^1 \circ q_{3x}^2 Proj_x(c_1).$$

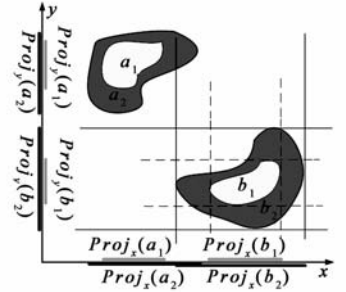


图 6 宽边界区域投影间的区间关系

由于 $Proj_x(a_1)q_{1x}^i Proj_x(c_1)$, 因此有 $q_{1x}^i \in q_{1x}^1 \circ q_{1x}^2 \cap q_{2x}^1 \circ q_{3x}^2$.

同理可证: $q_{1y}^i \in q_{1y}^1 \circ q_{1y}^2 \cap q_{2y}^1 \circ q_{3y}^2$.

已知 $a_1 D_1^1 b_1, T_{R-D}(q_{1x}^1 \times q_{1y}^1) = D_1^1$, 由于 $D_1^1 = Q_{1x}^1 \times Q_{1y}^1$, 因此 $q_{1x}^1 \times q_{1y}^1 \in Q_{1x}^1 \times Q_{1y}^1$, 即 $q_{1x}^1 \in Q_{1x}^1, q_{1y}^1 \in Q_{1y}^1$. 同理可证 $q_{jx}^i \in Q_{jx}^i, q_{jy}^i \in Q_{jy}^i, q_{1x}^i \in Q_{1x}^i, q_{1y}^i \in Q_{1y}^i, 1 \leq j \leq 4$. 因此:

$$q_{1x}^i \in Q_{1x}^1 \circ Q_{2x}^1 \cap Q_{2x}^2 \circ Q_{3x}^2, q_{1y}^i \in Q_{1y}^1 \circ Q_{2y}^1 \cap Q_{2y}^2 \circ Q_{3y}^2, q_{1x}^i \times q_{1y}^i \in (Q_{1x}^1 \circ Q_{2x}^1 \cap Q_{2x}^2 \circ Q_{3x}^2) \times (Q_{1y}^1 \circ Q_{2y}^1 \cap Q_{2y}^2 \circ Q_{3y}^2), q_{1x}^i \times q_{1y}^i \in I_{1x} \times I_{1y}.$$

类似地, 依次可证得 $q_{2x}^i \times q_{2y}^i \in I_{2x} \times I_{2y}, q_{3x}^i \times q_{3y}^i \in I_{3x} \times I_{3y}, q_{4x}^i \times q_{4y}^i \in I_{4x} \times I_{4y}$. 因此有:

$$D_1^i \in T_{R-D}(I_{1x} \times I_{1y}), D_2^i \in T_{R-D}(I_{2x} \times I_{2y}), D_3^i \in T_{R-D}(I_{3x} \times I_{3y}), D_4^i \in T_{R-D}(I_{4x} \times I_{4y}).$$

即 $D_{MBR}^i \in COM$.

(2) 对于任意一个 $D_{MBR}^i \in COM$, 往证:

$$D_{MBR}^i \in D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2.$$

首先设 $D_{MBR}^i = \langle D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i \rangle = \langle Q_{1x}^i \times Q_{1y}^i, Q_{2x}^i \times Q_{2y}^i, Q_{3x}^i \times Q_{3y}^i, Q_{4x}^i \times Q_{4y}^i \rangle$, 其中 $Q_{jx}^i, Q_{jy}^i \in \{Part_1, Part_2, Part_3, Part_4, Part_5, Part_6\}, 1 \leq j \leq 4$.

已知 $D_1^i \in T_{R-D}(I_{1x} \times I_{1y}), T_{R-D}(Q_{1x}^i \times Q_{1y}^i) = D_1^i$, 因此存在 $q_{1x}^i \in Q_{1x}^i, q_{1y}^i \in Q_{1y}^i$, 使得 $(q_{1x}^i \times q_{1y}^i \in I_{1x} \times I_{1y}) \wedge (T_{R-D}(q_{1x}^i \times q_{1y}^i) = D_1^i)$. 进而可知 $(q_{1x}^i \in I_{1x}) \wedge (q_{1y}^i \in I_{1y})$, 即有表达式 $(q_{1x}^i \in Q_{1x}^1 \circ Q_{2x}^1 \cap Q_{2x}^2 \circ Q_{3x}^2) \wedge (q_{1y}^i \in Q_{1y}^1 \circ Q_{2y}^1 \cap Q_{2y}^2 \circ Q_{3y}^2)$ 成立, 因此存在 x 轴上区间: $t_{1x}, t_{2x}, t_{3x}, m_{1x}, m_{2x}, m_{3x}$; y 轴上区间: $r_{1y}, r_{2y}, r_{3y}, n_{1y}, n_{2y}, n_{3y}$, 使得:

$$(t_{1x}Q_{1x}^1 t_{2x} \wedge t_{2x}Q_{2x}^1 t_{3x} \wedge t_{1x}q_{1x}^i t_{3x}) \wedge (r_{1y}Q_{1y}^1 r_{2y} \wedge r_{2y}Q_{2y}^1 r_{3y} \wedge r_{1y}q_{1y}^i r_{3y}) \wedge (m_{1x}Q_{2x}^1 m_{2x} \wedge m_{2x}Q_{3x}^2 m_{3x} \wedge m_{1x}q_{1x}^i m_{3x}) \wedge (n_{1y}Q_{2y}^1 n_{2y} \wedge n_{2y}Q_{3y}^2 n_{3y} \wedge n_{1y}q_{1y}^i n_{3y}).$$

构造矩形区域 $e_1, e_2 \in REG, Proj_x(e_1) = t_{1x}, Proj_y(e_1) = r_{1y}; Proj_x(e_2) = t_{2x}, Proj_y(e_2) = r_{2y}$, 故有 $Proj_x(e_1) Q_{1x}^1 Proj_x(e_2) \wedge Proj_y(e_1) Q_{1y}^1 Proj_y(e_2)$. 由于 $D_1^1 = T_{R-D}(Q_{1x}^1 \times Q_{1y}^1)$, 因此 $e_1 D_1^1 e_2$.

同理, 由 D_1^i 可继续构造矩形区域 $e_3, f_1, f_2, f_3 \in REG$, 使得:

$$(e_1 D_1^1 e_2 \wedge e_2 D_1^1 e_3 \wedge e_1 D_1^1 e_3) \wedge (f_1 D_2^1 f_2 \wedge f_2 D_3^1 f_3 \wedge f_1 D_1^1 f_3).$$

类似地, 可继续构造矩形区域 $g_1, g_2, g_3, h_1, h_2, h_3, k_1, k_2, k_3, l_1, l_2, l_3, u_1, u_2, u_3, v_1, v_2, v_3 \in REG$, 使得:

$$(g_1 D_1^1 g_2 \wedge g_2 D_2^1 g_3 \wedge g_1 D_2^1 g_3) \wedge (h_1 D_2^1 h_2 \wedge h_2 D_4^1 h_3 \wedge h_1 D_2^1 h_3) \wedge (k_1 D_3^1 k_2 \wedge k_2 D_1^1 k_3 \wedge k_1 D_3^1 k_3) \wedge (l_1 D_4^1 l_2 \wedge l_2 D_3^1 l_3 \wedge$$

$$l_1 D_3^1 l_3).$$

$$(u_1 D_1^1 u_2 \vee u_2 D_2^1 u_3 \wedge u_1 D_4^1 u_3) \wedge (v_1 D_4^1 v_2 \wedge v_2 D_4^1 v_3 \wedge v_1 D_4^1 v_3).$$

进而有下面表达式(1)成立:

$$(e_1 D_1^1 e_2 \wedge g_1 D_1^1 g_2) \wedge (f_1 D_2^1 f_2 \wedge h_1 D_2^1 h_2) \wedge (k_1 D_3^1 k_2 \wedge u_1 D_3^1 u_2) \wedge (l_1 D_4^1 l_2 \wedge v_1 D_4^1 v_2) \wedge (e_2 D_1^1 e_3 \wedge k_2 D_1^1 k_3) \wedge (g_2 D_2^1 g_3 \wedge u_2 D_2^1 u_3) \wedge (f_2 D_3^1 f_3 \wedge l_2 D_3^1 l_3) \wedge (h_2 D_4^1 h_3 \wedge v_2 D_4^1 v_3) \wedge (e_1 D_1^1 e_3 \wedge f_1 D_1^1 f_3) \wedge (g_1 D_2^1 g_3 \wedge h_1 D_2^1 h_3) \wedge (k_1 D_3^1 k_3 \wedge l_1 D_3^1 l_3) \wedge (u_1 D_4^1 u_3 \wedge v_1 D_4^1 v_3) \quad (1)$$

由表达式(1)可知, $Proj_x(e_1)$ 与 $Proj_x(g_1), Proj_y(e_1)$ 与 $Proj_y(g_1)$ 之间可能满足任意一种基本区间关系, 若令 $Proj_x(e_1) = Proj_x(g_1), Proj_y(e_1) = Proj_y(g_1)$, 则 $e_1 = g_1$.

同理, 存在区域 $e_2, e_3, g_2, g_1, f_1, f_2, f_3, h_1, h_2, u_1, u_2, k_1, k_2, k_3, v_1, v_2, l_1, l_2, l_3$, 其中: $e_2 = g_2 = k_2 = u_2, f_1 = h_1, f_2 = h_2 = l_2 = v_2, k_1 = u_1, l_1 = v_1, e_3 = k_3, f_3 = l_3, g_3 = u_3, h_3 = v_3$, 使得:

$$(e_1 D_1^1 e_2 \wedge f_1 D_2^1 f_2 \wedge k_1 D_3^1 e_2 \wedge l_1 D_4^1 f_2) \wedge (e_2 D_1^1 e_3 \wedge e_2 D_2^1 g_3 \wedge f_2 D_3^1 f_3 \wedge f_2 D_4^1 h_3) \wedge (e_1 D_1^1 e_3 \wedge f_1 D_1^1 f_3 \wedge e_1 D_2^1 g_3 \wedge f_1 D_2^1 h_3) \wedge (k_1 D_3^1 e_3 \wedge l_1 D_3^1 f_3 \wedge k_1 D_4^1 g_3 \wedge l_1 D_4^1 h_3) \quad (2)$$

令 $Proj_x(e_1) = Proj_x(f_1), Proj_y(e_1) = Proj_y(f_1)$, 则 $e_1 = f_1$. 同理, 存在区域 $e_3, f_3, k_1, l_1, g_3, h_3$, 其中 $e_3 = f_3, k_1 = l_1, g_3 = h_3$, 使得:

$$(e_1 D_1^1 e_2 \wedge e_1 D_2^1 f_2 \wedge k_1 D_3^1 e_2 \wedge l_1 D_4^1 f_2) \wedge (e_2 D_1^1 e_3 \wedge e_2 D_2^1 g_3 \wedge f_2 D_3^1 e_3 \wedge f_2 D_4^1 g_3) \wedge (e_1 D_1^1 e_3 \wedge e_1 D_2^1 g_3 \wedge k_1 D_3^1 e_3 \wedge l_1 D_4^1 g_3) \quad (3)$$

令 $Proj_x(e_1) \{s, d, f, eq\} Proj_x(k_1), Proj_y(e_1) \{s, d, f, eq\} Proj_y(k_1)$, 则有 $e_1 \subseteq k_1$. 同理, 存在区域 e_2, f_2, e_3, g_3 , 其中 $e_2 \subseteq f_2, e_3 \subseteq g_3$, 并使得上面表达式(3)成立.

令 $a_1 = e_1, a_2 = k_1, b_1 = e_2, b_2 = f_2, c_1 = e_3, c_2 = g_1$, 则 $a_1 \subseteq a_2, b_1 \subseteq b_2, c_1 \subseteq c_2$.

由于 e_1 为矩形区域, 因此 $e_1 = mbb(e_1)$, 即 $a_1 = mbb(a_1)$, 同理 $a_2 = mbb(a_2), b_1 = mbb(b_1), b_2 = mbb(b_2), c_1 = mbb(c_1), c_2 = mbb(c_2)$, 使得:

$$(mbb(a_1) D_1^1 mbb(b_1) \wedge mbb(a_1) D_2^1 mbb(b_2) \wedge mbb(a_2) D_3^1 mbb(b_1) \wedge mbb(a_2) D_4^1 mbb(b_2)) \wedge (mbb(b_1) D_1^1 mbb(c_1) \wedge mbb(b_1) D_2^1 mbb(c_2) \wedge mbb(b_2) D_3^1 mbb(c_1) \wedge mbb(b_2) D_4^1 mbb(c_2)) \wedge (mbb(a_1) D_1^1 mbb(c_1) \wedge mbb(a_1) D_2^1 mbb(c_2) \wedge mbb(a_2) D_3^1 mbb(c_1) \wedge mbb(a_2) D_4^1 mbb(c_2)) \quad (4)$$

由定义 9 可知: $D_{MBR}^i \in D_{MBR}^1 \circ D_{MBR}^2$.

综上所述, 定理 4 得证.

参考文献:

- [1] 谢琦,刘大有,虞强源,陈娟.一种不确定区域间的方向关系模型[J].吉林大学学报(理学版),2006,44(5):748-753.
Xie Qi, Liu Dayou, Yu Qiangyuan, Chen Juan. Direction relations model between indeterminate regions[J]. Journal of Jilin university (Science Edition), 2006, 44(5): 748-753. (in Chinese)
- [2] Skiadopoulos S, Koubarakis M. Composing cardinal direction relations[J]. Artificial Intelligence, 2004, 152(2): 143-171.
- [3] Skiadopoulos S, Giannoukos C, Sarkas N, Vassiliadis P, Sellis T and Koubarakis M. Computing and managing cardinal direction relations[J]. IEEE transactions on knowledge and data engineering, 2005, 17(12): 1610-1623.
- [4] Shihong Du, Luo Guo, Qiao Wang. A model for describing and composing direction relations between overlapping and contained regions [J]. Information Sciences, 2008, 178: 2928-2949.
- [5] Navarrete I, Morales A, Sciavicco G. Consistency checking of basic cardinal constraints over connected regions [J]. IJCAI, 2007: 495-500.
- [6] Skiadopoulos S, Koubarakis M. On the consistency of cardinal direction constraints [J]. Artificial Intelligence, 2005, 163(1): 91-135.
- [7] 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.
Sun Haibin, Li Wenhui. Spatial reasoning combining topological and cardinal directional relation information [J]. Journal of computer research and development, 2006, 43(2): 253-259. (in Chinese)
- [8] 陈娟,刘大有,张长海,谢琦. 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(z1):279-285.
Chen Juan, Liu Dayou, Zhang Changhai, Xie Qi. Combing RCC5 with cardinal direction relation for qualitative spatial reasoning [J]. Journal of computer research and development, 2008, 45(z1): 279-285. (in Chinese)
- [9] 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):976-982.
Liu Yongshan, Hao Zhongxiao. Consistency checking for cardinal direction relations based on MBR [J]. Journal of Software, 2006, 17(5): 976-982. (in Chinese)
- [10] Allen J F. Maintaining Knowledge About temporal intervals [J]. Communications of the ACM, 1983, 26(11): 832-843.
- [11] Balbiani P, Condotta J F, Del Cerro L F. A new tractable subclass of the rectangle algebra [A]. In: Dean T, ed. Proc of the 16th Int'l Joint Conf on Artificial Intelligence [C]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1999. 442-447.
- [12] Balbiani P, Condotta J F, Del Cerro L F. A model for reasoning about bidimensional temporal relations [A]. Cohn AG, Schubert LK, Shapiro SC, eds. Proc. of Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR) [C]. Trento: Morgan Kaufmann Publishers, 1998. 124-130.
- [13] Cicerone S, Di Felice P. Cardinal Relations between Regions with a Broad Boundary [A]. 8th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems (GIS'00) [C]. New York: ACM Press, 2000. 15-20.

作者简介:



董轶群 男,1981 年生于吉林四平.现为吉林大学计算机科学与技术学院博士生.研究方向:空间推理、智能规划.
E-mail: hover3917@163.com



刘大有(通讯作者) 男,1942 年生于河北乐亭.现为吉林大学计算机科学与技术学院教授、博士生导师.主要研究方向:多 Agent 系统、数据挖掘、知识工程与专家系统、空间推理与 GIS 应用等.
E-mail: dyliu@jlu.edu.cn