方向关系矩阵的复合

欧阳继红,孙　伟,刘大有,霍琳琳

(1. 吉林大学 计算机科学与技术学院, 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, 长春 130012)

摘　要:采用方向关系矩阵模型表示空间区域最小边界矩形(MBR)间的关系,形式化描述了Skiadopoulos等提出的方向关系复合思想,并对其进行细化,提出方向关系矩阵复合方法,使方向关系复合易于实现;简化了Most运算,使复合过程更加简洁;通过定义取极小和取极大算子,实现了Most算法,为复合算法的提出奠定了基础;定义求幂运算符,实现了复合算法Compose并证明了算法的正确性,Compose算法的实现使方向关系复合从理论向应用更进一步。

关键词:人工智能;方向关系矩阵;方向关系复合;Compose算法

中图分类号:TP18　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1671-5497(2010)04-1048-06

Composition of direction relation matrix

OUYANG Ji-hong, SUN Wei, LIU Da-you, HUO Lin-lin

(1. *College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun* 130012, *China*; 2. *Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun* 130012, *China*)

Abstract: In this work, the direction relation matrix is used to describe the relations between the Minimum Bounding Rectangles (MBR) of spatial regions. The composition of direction relations proposed by Skiadopoulos is formally described and refined. Then a composition method of direction relation matrix is proposed, which is easier to be realized. The proposed method simplifies the operation 'Most', making the process of composition more concise. By defining the minimum and maximal operators, the algorithm 'Most' is realized, which provides the basis of the algorithm of composition. By defining the operator of power, the algorithm 'Compose' is realized and verified. The realization of the algorithm 'Compose' makes the composition easier for application.

Key words: artificial intelligence; direction relation matrix; composition of direction relations; algorithm of Compose

---

收稿日期:2009-01-14.

基金项目:国家自然科学基金项目(60603030, 60773099, 60873149, 60973088);"863"国家高技术研究发展计划项目(2006AA10Z245, 2006AA10A309);欧盟项目(Bridging the Gap, 155776-EM-1-2009-1-IT-ERAMUNDUS-ECW-L12).

作者简介:欧阳继红(1964-),女,教授,博士生导师.研究方向:时空推理,知识工程. E-mail:ouyangjihong@yahoo.com.cn

通信作者:刘大有(1942-),男,教授,博士生导师.研究方向:知识工程与专家系统空间推理. E-mail:dyliu@jlu.edu.cn

空间推理在地理信息系统、数据库查询等领域中越来越引人关注[1]。方向关系是空间数据库研究的一个重要课题，也是近年来空间关系的研究热点[2]。目前，方向关系的研究主要集中在模型的表达能力、方向关系复合和相容性判定等方面[3]。方向关系复合的研究始于 1998 年，Ligozat[4]应用区间代数理论说明了求点物体的复合方法，但用点对物体近似表达的方法忽略了物体的形状因素，不够精确。2000 年，Goyal 等[5]基于方向关系矩阵模型，研究了空间区域的方向关系复合方法，并给出复合表。2004 年，Skiadopoulos 等[6]证明了 Goyal 理论是不完备的，并提出了更有效的 Skiadopoulos 复合方法。但该方法仅用自然语言描述其复合思想，没有给出具体算法，无法实现。

为解决 Skiadopoulos 方法存在的问题，作者开展了如下工作：采用方向关系矩阵描述区域最小边界矩形（Minimum bounding rectangles，MBR）间的关系，形式化描述了 Skiadopoulos 方向关系复合思想，并对其进行了细化，提出方向关系矩阵复合方法；简化 Most 运算，实现了 Most 算法；实现复合算法 Compose 并证明了算法的正确性。

1　背景知识

1.1　方向关系矩阵

1994 年，Papadias[7]提出了 MBR 方向关系表示方法。该方法按参考区域的 MBR 将空间划分为 9 部分。

1997 年，Goyal 等[8]在最小边界矩形方向关系表示方法的基础上提出方向关系矩阵模型，该模型称用参考区域 MBR 将空间分成的 9 部分为方向片，用符号集 {N, S, E, W, NE, SE, SW, NW, B} 表示这 9 个方向片在地理空间中的方向，B 表示与参考区域 MBR 相同的方向片。用 3×3 矩阵表示目标区域相对于参考区域的方向关系，矩阵中的每个元素表示目标区域与相应方向片取交集的结果，如图 1 所示。

方向关系矩阵模型为

$$\mathrm{dir}(a,b)=\begin{pmatrix} \mathrm{NW}_a\cap b & \mathrm{N}_a\cap b & \mathrm{NE}_a\cap b \\ \mathrm{W}_a\cap b & B_a\cap b & \mathrm{E}_a\cap b \\ \mathrm{SW}_a\cap b & \mathrm{S}_a\cap b & \mathrm{SE}_a\cap b \end{pmatrix}$$

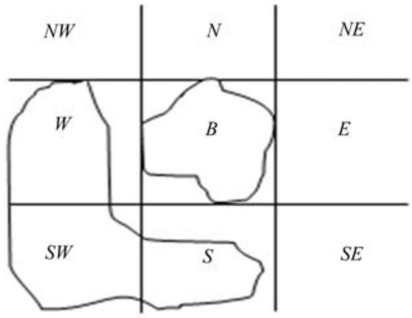

图 1　参考区域对空间的划分

Fig. 1　Space divided by reference region

图 1 对应的方向关系矩阵为

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

1.2　Skiadopoulos 方向关系复合方法

关于复合的定义有多种，其中最著名的是一致性复合和存在性复合。由于表达模型的限制，存在性复合仍是一个开问题[6]，现有关于方向关系复合的研究都是基于一致性的复合。

Skiadopoulos[6]关于复合的定义如下：

定义 1　若存在区域 a、b、c 使得 $aR_1b\wedge bR_2c\rightarrow aQc$ 成立，则称 Q 是 R_1 和 R_2 的复合结果，记作 $Q=R_1\circ R_2$。其中“∘”是复合运算符。

Skiadopoulos 的复合思想由两部分组成：

(1) Most 运算：①Most 预处理过程 Br。Br 是一元运算符，Br(R)表示求方向关系 R 的最小矩形关系。例如，关系 B∶S∶SW 的最小矩形关系是 B∶S∶SW∶W；②对预处理结果进行 Most 运算。

(2) 复合运算：利用复合表对 Most 运算结果进行复合运算。使用 Skiadopoulos 方法可以有效地求出正确的复合结果。但因仅给出复合思想，缺少形式化过程，使该方法无法实现。

2　相关定义及定理

为用方向关系矩阵形式化描述 Skiadopoulos 复合思想，本文细化 Goyal 方向关系矩阵定义如下。

2.1　方向关系矩阵细化定义

定义 2　若方向关系矩阵 **M** 中仅有一个非零元素，则称 **M** 为原子方向关系矩阵。

定义 3　若方向关系矩阵 **M** 中非零元素的个数为 i，$2\leqslant i\leqslant 9$，则称 **M** 为基本方向关系矩阵。

定义 4 若方向关系矩阵 $\mathbf{M}$ 中所有非零元素在同一行,则称 $\mathbf{M}$ 为横向关系矩阵。

定义 5 若方向关系矩阵 $\mathbf{M}$ 中所有非零元素在同一列,则称 $\mathbf{M}$ 为纵向关系矩阵。

定义 6 若矩阵中非零元素排列成矩形,则称该矩阵为矩形矩阵。

图 2 所示为矩形矩阵和非矩形矩阵。原子方向关系矩阵是矩形矩阵。

$$\begin{pmatrix}0&0&0\\1&1&0\\1&1&0\end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix}0&0&0\\1&0&0\\1&1&0\end{pmatrix}$$

(a) 矩形矩阵 (b) 非矩形矩阵

图 2 矩形矩阵和非矩形矩阵

Fig. 2 Rectangle matrix and non-rectangle matrix

2.2 复合定理及相关运算符定义

先给出复合所需运算符定义及定理。

定义 7 给定方向关系矩阵 $\mathbf{M}$,保留 $\mathbf{M}$ 最左侧非零元素得到一个纵向关系矩阵,称作对 $\mathbf{M}$ 进行 Most$\boldsymbol{W}$ 运算,记为 Most($\mathbf{M}_\mathrm{W}$,$\mathbf{M}$) 。其中 $\mathbf{M}_\mathrm{W}$ 是 W 方向 $\mathbf{M}$ 对应的原子方向关系矩阵,称作 Most 算子矩阵,$\mathbf{M}$ 称作被运算矩阵。

类似地可给出 MostS,…,MostSE 定义。特别地,Most($\mathbf{M}_\mathrm{B}$,$\mathbf{M}$) = $\mathbf{M}$。下面给出一个 Most 运算实例。

例 1 设 $\mathbf{M}=\begin{pmatrix}1&1&0\\1&1&0\\1&1&0\end{pmatrix}$,由定义 7 可得出如下结果:

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{W},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}1&0&0\\1&0&0\\1&0&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{E},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}0&1&0\\0&1&0\\0&1&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{N},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}1&1&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{S},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\1&1&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{SW},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\1&0&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{NW},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}1&0&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{NE},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}0&1&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{SE},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\0&1&0\end{pmatrix}$$

$$\mathrm{Most}(\mathbf{M}_\mathrm{B},\mathbf{M})=\begin{pmatrix}1&1&0\\1&1&0\\1&1&0\end{pmatrix}$$

定义 8 给定原子方向关系矩阵集合 $\mathbf{M}$,令 i 为 $\mathbf{M}$ 中非零元素的个数,δ 为求幂运算符,则 $\delta(\mathbf{M})=\bigcup\{\sum_{k=1}^{i}\mathbf{M}_k\}$。$\delta(\mathbf{M})$ 表示对集合 $\mathbf{M}$ 进行求幂运算。

下面给出一个求幂运算实例。

例 2

$$\mathbf{M}=\left\{\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\1&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&0\\1&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1&0&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}\right\}$$

$$\delta(\mathbf{M})=\left\{\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\1&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&0\\1&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1&0&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},\right.$$
$$\left.\begin{pmatrix}0&0&0\\1&0&0\\1&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1&0&0\\1&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1&0&0\\1&0&0\\1&0&0\end{pmatrix}\right\}$$

根据以上定义,证明了如下定理:

定理 1 $\mathbf{M}_1$ 是原子方向关系矩阵,$\mathbf{M}_2$ 是基本方向关系矩阵,则:$\mathbf{M}_1\circ\mathbf{M}_2=\mathbf{M}_1\circ\mathrm{Most}(\mathbf{M}_1,\mathbf{M}_2)$。

定理 2 $\mathbf{M}_1$ 是原子方向关系矩阵,$\mathbf{M}_2$ 是基本方向关系矩阵,$P_1\cdots,P_i$ 是 Most($\mathbf{M}_1$,$\mathbf{M}_2$) 中每个非 0 元素对应的原子方向关系矩阵,则:$\mathbf{M}_1\circ\mathrm{Most}(\mathbf{M}_1,\mathbf{M}_2)=\delta(M_1\circ P_1,\cdots,M_1\circ P_i)$。

由定理 1 可知,Most 运算是实现方向关系矩阵复合的基础。使用定理 2 可求解出复合结果。根据定理 1 和定理 2 将给出方向关系矩阵复合所需算法——Most 算法和 Compose 算法。

3 Most 算法及其实现

3.1 Most 运算的简化

Skiadopoulos 复合方法中,Most 运算包括两

部分:预处理过程 Br 和 Most 运算。本文采用方向关系矩阵描述区域最小边界矩形(MBR)之间的关系,如图 3 所示。

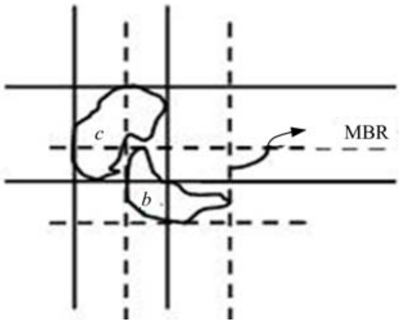

图 3　区域 MBR 之间的关系

Fig. 3　Relations of MBRS

从图 3 可知,MBR(b)相对于 MBR(c)的方向关系矩阵为 $\mathbf{M}_{bc}=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&1&1\\0&1&1\end{pmatrix}$。由 MBR 是区域的最小边界矩形及方向关系矩阵定义,证明了如下结论:

定理 3　区域 MBR 间的方向关系矩阵是最小矩形矩阵。

由此可知本文采用的表达方法,使被运算矩阵本身就是最小矩形矩阵,无需对其进行 Br 运算,从而省略了 Most 运算的预处理过程,简化了 Most 运算并能保证运算的正确性。使复合过程更加简单。

3.2　Most 算法的实现

首先给出实现 Most 算法所需算子的定义:

定义 9　求解矩阵 $\mathbf{M}$ 中非 0 元素行下标最小值的算子,称为行取极小算子,记作 $R_{\min}$。

定义 10　求解矩阵 $\mathbf{M}$ 中非 0 元素行下标最大值的算子,称为行取极大算子,记作 $R_{\max}$。

定义 11　求解矩阵 $\mathbf{M}$ 中非 0 元素列下标最小值的算子,称为列取极小算子,记作 $C_{\min}$。

定义 12　求解矩阵 $\mathbf{M}$ 中非 0 元素列下标最大值的算子,称为列取极大算子,记作 $C_{\max}$。

由 Most 运算定义可知:进行 Most 运算时,根据算子矩阵中非零元素的位置对被运算矩阵进行计算。例如:算子矩阵为 $\mathbf{M}=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix}$,首先确定 $\mathbf{M}$ 中非零元素下标为[1,2],根据下标值及 Most 运算定义可知需对被运算矩阵进行列取极大($C_{\max}$)运算,其他情况同理。

Most 算法的基本思想为:

(1)扫描 Most 算子矩阵,确定该矩阵中非零元素的行下标及列下标。

(2)根据 Most 运算定义,利用取极小和取极大算子按如下规则对被运算矩阵进行计算:①当 $R=0/2$ 时,对被运算矩阵进行 $R_{\min}/R_{\max}$ 运算;②当 $C=0/2$ 时,对被运算矩阵进行 $C_{\min}/C_{\max}$ 运算;③当 $R=C=1$ 时,对被运算矩阵不做运算直接返回。

Most 算法的 ADL 语言描述:

```
算法 Most(M1,M2,M)
//(M1 是原子方向关系矩阵,M2 是基本方向关系矩阵,M 是用于返回的结果矩阵)
M1[确定原子方向关系矩阵非零元素的行、列下标]
For  i=0 to 2 do
For  j=0 to 2 do
If  M1[i,j]=1
    Then R=i,C=j.
M2[对 M2 做取极大或取极小运算,求结果矩阵 M]
//M1=M_NW时情况,M1=M_SE时对 M2 做相反运算
If  R=0  and  C=0
Then  M[R_min,C_min]=1
//M1=M_N 的情况,M1=M_S 时对 C 做相反运算
If  R=0  and  C=1
Then  For  n=C_min  to  C_max
          do  M[R_min,n]=1
//M1=M_NE的情况,M1=M_SW时对 M2 做相反运算
If  R=0  and  C=2
Then  M[R_min,C_max]=1
//M1=M_W 的情况,M1=M_E 时对 M2 做相反运算
If  R=1  and  C=0
Then  For  m=R_min  to  R_max
          do  M[m, C_min]=1
//M1=M_B 的情况
If  R=1  and  C=1
Then  For  m=R_min  to  R_max
          do  For  n=C_min  to  C_max
                do M[m,n]=1
```

4　复合算法 Compose

作者在上述工作的基础上提出了复合算法 Compose。从定理 1 及定理 2 中可看出,在求得 Most 结果矩阵后,首先要将该结果矩阵分解为 n 个原子方向关系矩阵(其中 n 是 Most 结果矩阵中非零元素的个数),再在该结果上利用求幂运算

符进行复合结果的求解。下面介绍 Compose 算法的基本思想。

（1）对 $\boldsymbol{M}_1$ 和 $\boldsymbol{M}_2$ 进行 Most 运算，得出运算结果矩阵 $\boldsymbol{M}$。

（2）将 Most 运算结果矩阵进行分解，得到原子方向关系矩阵集合 $\boldsymbol{P}$。

（3）根据复合表分别求出 $\boldsymbol{M}_1$ 与原子方向关系矩阵 $\boldsymbol{P}_1,\cdots,\boldsymbol{P}_n$ 的复合结果。

（4）对所得结果进行求幂运算 δ。

Compose 算法的 ADL 语言描述：

算法 Compose(M_1,M_2,S)//（M_1 是原子方向关系矩阵，M_2 是基本方向关系矩阵，S 是结果矩阵集合）

C1[进行 Most 运算]

调用 Most(M_1,M_2,M)//求出结果矩阵 M

C2[对结果矩阵进行分解运算 Decompose(M,P)]

//M 是 Most 运算结果，P 是分解结果集合

For　i=0 to 2　do

For　j=0 to 2　do

　If　M[i,j]=1

　　Then　P_n[i,j]=1

//将矩阵 M 分解成 n 个原子方向关系矩阵，n 是 M 中非零元素的个数

C3[求 M_1 与集合 P 中原子方向关系矩阵的复合]

根据复合表中复合规则求解 $M_1 \circ P_t$ 其中（t=1,…,n）

//所得结果保存在集合 Q 中，其中 Q={Q_1,Q_2,…,Q_n}

C4[对集合 Q 中的原子方向关系矩阵进行求幂运算]

S={φ}//初始化 S 为空矩阵集合

For　i=1 to n　do

S=S+{Q_i}//将 Q_i 添加到矩阵集合 S 中

For　n_1=1 to n−1 do

For　n_2=n_1+1 to n　do

$Q_{n_1n_2}=Q_{n_1}+Q_{n_2}$//可求出集合 Q 中所有 2 项原子矩阵之和

S=S+{$Q_{n_1n_2}$}//将 $Q_{n_1n_2}$ 添加到矩阵集合 S 中

For　n_3=n_2+1 to n　do

　$Q_{n_1n_2n_3}=Q_{n_1n_2}+Q_{n_3}$//可求出集合 Q 中所有 3 项原子矩阵之和

S=S+{$Q_{n_1n_2n_3}$}//将 $Q_{n_1n_2n_3}$ 添加到矩阵集合 S 中

递归调用：

For　$n_i=n_{i-1}+1$ to n do

　$Q_{n_1n_2\cdots n_i}=Q_{n_1n_2\cdots n_{i-1}}+Q_{n_i}$

S=S+{$Q_{n_1n_2\cdots n_i}$}

为更详细说明复合算法过程，本文使用该算法求解一个实例，见例 3。

例 3　$\boldsymbol{M}_1=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix}$，$\boldsymbol{M}_2=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&1&1\\0&1&1\end{pmatrix}$。求 $\boldsymbol{M}_1 \circ \boldsymbol{M}_2$。

$$\boldsymbol{M}'=\mathrm{Most}(\boldsymbol{M}_1,\boldsymbol{M}_2)=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&1\end{pmatrix}$$

$$\boldsymbol{M}_1 \circ \boldsymbol{M}_2=\boldsymbol{M}_1 \circ \boldsymbol{M}'=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix}\circ\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&1\end{pmatrix}=$$

$$\delta\left\{\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix}\circ\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix}\circ\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\0&0&1\end{pmatrix}\right\}=$$

$$\delta\left\{\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\0&0&1\end{pmatrix}\right\}=$$

$$\left\{\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\0&0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&1\end{pmatrix}\right\}$$

复合运算结果如图 4 所示。

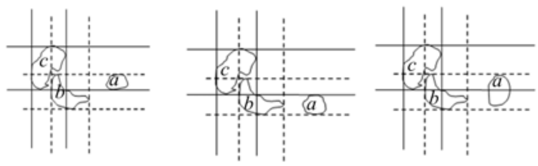

图 4　复合运算结果

Fig. 4　Result of composition

由定理 1 和定理 2 可以证明如下结论：

定理 4　Compose 算法能正确求解出方向关系矩阵的复合结果矩阵。

5　本文方法与 Skiadopoulos 方法比较

5.1　复合过程

（1）Skiadopoulos 采用自然语言描述方向关系矩阵模型，它需对 218 种[6]合理关系进行计算；本文只需对 36 种关系（见图 5）进行计算，且能够求出正确的复合结果。从表达方面降低了复合的复杂性。

（2）用 Skiadopoulos 方法进行 Most 运算前，需先进行预处理 Br 运算；本文无需进行该运算，简化了 Most 运算。

$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&1&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\0&1&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\1&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\1&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&0&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&1&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix}0&0&1\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\0&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\1&1&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\1&1&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&1&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix}0&1&1\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&1&1\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\0&1&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\1&0&0\\1&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&1&0\\0&1&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&0&1\end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix}1&0&0\\1&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&1&0\\0&1&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&1\\0&0&1\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&0\\1&1&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\1&1&1\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&1&1\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix}1&0&0\\1&0&0\\1&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&1&0\\0&1&0\\0&1&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&1\\0&0&1\\0&0&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\1&1&0\\1&1&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&1&0\\1&1&0\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\0&1&1\\0&1&1\end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix}0&1&1\\0&1&1\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&1&0\\1&1&0\\1&1&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&1&1\\0&1&1\\0&1&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0&0&0\\1&1&1\\1&1&1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&1&1\\1&1&1\\0&0&0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1&1&1\\1&1&1\\1&1&1\end{pmatrix}$

图 5　36 种合理方向关系矩阵

Fig. 5　36 reasonable direction relation matrix

5.2　可实现性

Skiadopoulos 仅对部分定义、定理进行形式化描述,多数采用自然语言进行描述,且仅给出了复合思想框架,使其无法进行实现;本文对复合所需定义、定理均进行形式化描述,且对复合思想进行细化,给出复合算法 Compose,使方向关系的复合得以实现。

6　结束语

为使方向关系复合从理论向实现更进一步,本文形式化描述 Skiadopoulos 复合思想并对其进行细化,提出方向关系矩阵复合方法;简化 Most 运算并实现 Most 算法;实现 Compose 算法并证明了算法的正确性;最后用 Compose 算法求解了一个实例。本文只研究原子方向关系矩阵与基本方向关系矩阵间的复合,以后将对基本方向关系矩阵间的复合方法进行研究,还将研究复杂区域间空间关系。

参考文献:

[1] 欧阳继红,欧阳丹彤,刘大有. 基于模糊集及 RCC 理论的区域移动模型[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(3):591-594.
Ouyang Ji-hong,Ouyang Dan-tong,Liu Da-you. Region movement model based on fuzzy sets and RCC theory[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition),2007,37(3):591-594.

[2] Skiadopoulos S,Koubarakis M. On the consistency of cardinal direction constraints[J]. Artificial Intelligence,2005,163(1):91-135.

[3] 欧阳继红,马宝超,刘大有,等.空间线面拓扑关系的推理[J].吉林大学学报:理学版,2007,45(4):567-571.
Ouyang Ji-hong, Ma Bao-chao, Liu Da-you, et al. Reasoning of topological relations between spatial line and region[J]. Journal of Jilin University(Science edition),2007,45(4):567-571.

[4] Ligozat G. Reasoning about cardinal directions[J]. Journal of Visual Language and Computing,1998,9(1):23-44.

[5] Goyal R,Egenhofer M J. Cardinal directions between extended spatial objects[DB/OL].[2008-05-16]. http://www.spatial.maine.edu/~max/directionMatrix.pdf.

[6] Skiadopoulos S,Koubarakis M. Composing cardinal direction relations[J]. Artificial Intelligence,2004,152(2):143-171.

[7] Papadias D,Sellis T. Qualitative representation of spatial knowledge in two dimensional space[J]. VIDB Journal,1994,3(4):479-516.

[8] Goyal R,Egenhofer M J. The direction-relation matrix:a representation for directions relations between extended spatial objects[C]//The Annual Assembly and the Summer Retreat of University Consortium for Geographic Information Systems Science,1997.