

GIS 中自然语言空间关系定义

杜世宏¹ 王 桥² 李治江³

(1 中国科学院遥感应用研究所, 北京市朝阳区大屯路 9718 信箱, 100101)

(2 南京师范大学地理科学学院, 南京市宁海路 122 号, 210097)

(3 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 针对现有空间关系描述方法的缺点, 基于一种新的方向关系——细节方向关系, 并结合外部方向关系、拓扑关系, 研究了自然语言空间关系的定义和描述方法及其在空间数据库中的查询实现。

关键词: 拓扑关系; 方向关系; 细节方向关系; 自然语言空间关系

中图法分类号: P208

在许多领域(如 GIS)需要空间数据库系统来管理空间数据。空间数据主要包括点、线、面等空间对象及这些空间对象之间的关系。空间关系(拓扑关系、方向关系和距离关系等)不仅有利于数据的组织和管理, 而且在空间数据库查询语言^[1]、基于内容的图像检索^[2]、基于特征的影像理解和空间数据集的匹配中有着重要作用, 是图像理解、定性空间推理和 GIS 研究的主要理论问题之一。人们经常使用自然语言来进行交流, 其中一些用于描述空间关系, 称为自然语言空间关系。自然语言空间关系是空间关系在更高层次上的概念化, 它比空间关系更接近于人们的使用习惯。这些自然语言空间关系在数据检索与匹配、友好的人机交互接口设计等方面更加直观。Egenhofer^[3]和 Mark^[4]等人只是研究了拓扑关系的定性表达及其与空间认知的关系, 没有对自然语言空间关系进行研究。Frank 提出了基于投影的方向关系描述方法^[5], 用东、西等 8 个方向, 再加上一个“同一”方向来描述空间对象间的方向关系。

但是该方法无法描述一个面对象的“东部”这样的概念。Mark 和 Egenhofer 只是研究了拓扑关系与自然语言之间的关系, 而没有考虑其方向关系^[6]。事实上, 很多自然语言是多种类型空间关系的组合, 如“黄河从甘肃的东部穿过”, 这个语句中就用到了方向关系的“东部”和拓扑关系的“穿过”这两个术语, 仅仅使用拓扑关系或方向关系是无法描述这种自然语言空间关系的。可见, 现有的空间关系描述方法在自然语言空间关系表达上或多或少地存在一些缺陷。

1 基于细节方向关系的自然语言空间关系定义

1.1 细节方向关系

投影方向关系描述方法估计了参照对象的大小, 但它不能描述与参照对象外接矩形内部和边界有关的方向, 如“东部边界”、“中东部”等经常使用的概念, 只是简单地用“同一”方向来描述。

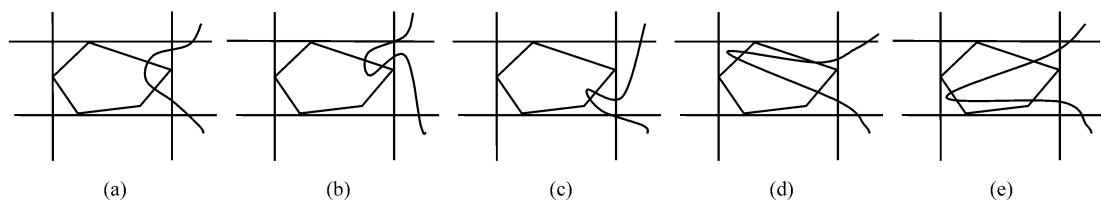


图 1 “同一”区域导致不可分辨的方向关系

Fig. 1 Indiscernible Direction Relations

“同一”方向区域容易导致方向关系的不可分辨。仅从定性关系的角度来看,图1中的6对组合空间关系都是相同的,即用投影方向关系和拓扑关系无法区别。但这与认知习惯并不一致,如图1(a)中的关系属于“东部”的程度要大于其他的

关系,图1(d)、1(e)在某种意义上甚至已不属于“东部”这个概念。这种差异给基于自然语言或基于空间关系的SQL扩展查询语言对空间数据库的查询带来困难,查询结果并不是用户所预期的。因此,必须考虑和处理“同一”方向所带来的问题。

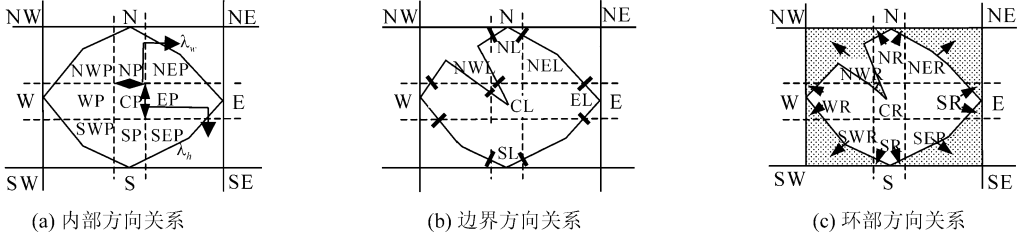


图2 细节方向关系表达模型

Fig. 2 Detailed Direction Relations Models

如图2所示,以参照对象外接矩形的中心点为中心, λ_w 和 λ_h 为宽和高的矩形的延长线以及参照对象的外接矩形,将外部方向关系的“同一”区域再次划分为9个子矩形,从而将参照对象的边界、内部和环部(参照对象外接矩形和参照对象的差区域)分割为9个部分,这种划分称为内部划分。

定义1 内部方向关系把参照对象的内部区域划分为9个区域,依次称为东部(EP)、西部(WP)、南部(SP)、北部(NP)、东北部(NEP)、西北部(NWP)、东南部(SEP)、西南部(SWP)和中部(CP)(图2(a))。

定义2 边界方向关系把参照对象边界线划分为9条线段,分别称为东部边界(EL)、西部边界(WL)、南部边界(SL)、北部边界(NL)、东北边界(NEL)、西北边界(NWL)、东南边界(SEL)、西南边界(SWL)和中部边界(CL)(图2(b))。

定义3 参照对象外接矩形和参照对象的差区域称为环部区域。环部方向关系把环部区域划分为9个区域,分别用ER、WR、SR、NR、NER、NWR、SER、SWR和CR表示(图2(c))。

定义4 为便于区别和描述,将投影方向关系称为外部方向关系,而内部、边界和环部方向关系系统称为细节方向关系。

细节方向关系不仅补充了外部方向关系不能描述的概念,而且和外部方向关系一起对空间进行了完整的划分。用 $MBR(A)$ 表示参照对象A的外接矩形,用 $Inside(A)$ 表示点p在参照对象A的内部, $Onside(A, p)$ 表示点p在多边形边界上; $X(p)$ 和 $Y(p)$ 表示取点p的X和Y坐标;点C(x,y)为对象的中心,则内部划分的“中部”的上、下、左、右边界坐标分别为 $Y_t = y + \lambda_h/2$, $Y_b = y -$

$\lambda_h/2$, $X_l = x - \lambda_w/2$ 和 $X_r = x + \lambda_w/2$ 。

内部方向定义为:

$$EP(A, p) \equiv X(p) \geq X_r \wedge Y(p) > Y_b \wedge Y(p) < Y_t \wedge inside(A, p)$$

$$WP(A, p) \equiv X(p) \leq X_l \wedge Y(p) > Y_b \wedge Y(p) < Y_t \wedge inside(A, p)$$

$$SP(A, p) \equiv X(p) > X_l \wedge X(p) < X_r \wedge Y(p) \leq Y_b \wedge inside(A, p)$$

$$NP(A, p) \equiv X(p) > X_l \wedge X(p) < X_r \wedge Y(p) \geq Y_t \wedge inside(A, p)$$

$$SEP(A, p) \equiv X(p) \geq X_r \wedge Y(p) \leq Y_b \wedge inside(A, p)$$

$$NEP(A, p) \equiv X(p) \geq X_r \wedge Y(p) \geq Y_t \wedge inside(A, p)$$

$$SWP(A, p) \equiv X(p) \leq X_l \wedge Y(p) \leq Y_b \wedge inside(A, p)$$

$$NWP(A, p) \equiv X(p) \leq X_l \wedge Y(p) \geq Y_t \wedge inside(A, p)$$

$$CP(A, p) \equiv X(p) > X_l \wedge X(p) < X_r \wedge Y(p) < Y_t \wedge Y(p) > Y_b \wedge inside(A, p)$$

(1)

根据式(1),只要把条件中的 $inside(A, p)$ 分别用 $onside(A, p)$ 和 $inside(MBR(A) - A, p)$ 代替,就可以给出参照对象的边界和环部方向的定义。

1.2 空间方向自然语言定义

拓扑关系、方向关系(包括细节方向关系)给自然语言空间关系提供了最基本的空间关系术语(或词语),用于构建更高级、更复杂的空间关系语言。经常使用的比较复杂的空间关系术语可以由单种空间关系组成,如“穿过”、“中东部”、“中西部”和“中东部边界”等;或多种空间关系组成,如“从东部穿过”、“从中部竖直穿过”、“从中部水平

穿过”、“从中部斜穿”等。

把基本细节方向关系作为原子方向,可以进一步定义复合方向(如 4 方向内部方向关系)。复合方向在方向范围上包含了若干个原子方向的全部或部分。其具体定义如下:

$$\begin{aligned}
 NP_4(A, B) &\equiv NWP(A, B) \vee NP(A, B) \vee NEP(A, B) \\
 SP_4(A, B) &\equiv SWP(A, B) \vee SP(A, B) \vee SEP(A, B) \\
 EP_4(A, B) &\equiv NEP(A, B) \vee EP(A, B) \vee SEP(A, B)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 WP_4(A, B) &\equiv NWP(A, B) \vee WP(A, B) \vee SWP(A, B) \\
 CP_{NS}(A, B) &\equiv NP(A, B) \vee CP(A, B) \vee SP(A, B) \\
 CP_{EW}(A, B) &\equiv EP(A, B) \vee CP(A, B) \vee WP(A, B) \\
 CP_{SW-NE}(A, B) &\equiv \exists p \in B, \text{inside}(A_{SW-NE}, p) \\
 CP_{NW-SE}(A, B) &\equiv \exists p \in B, \text{inside}(A_{NW-SE}, p) \\
 CP_4(A, B) &\equiv CP(A, B) \vee CP_{NS}(A, B) \vee CP_{EW}(A, B) \vee CP_{SW-NE}(A, B) \vee CP_{NW-SE}(A, B)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

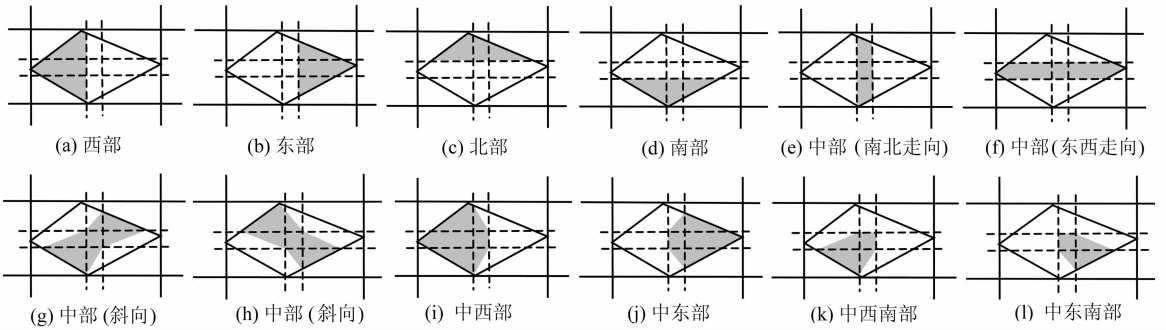


图 3 方向自然语言定义

Fig. 3 Definitions of Natural-Language of Directions

NP_4 、 SP_4 、 EP_4 、 WP_4 和 CP_4 分别表示“北部”、“南部”、“东部”、“西部”和“中部”。 CP_4 又可进一步分为 CP_{NS} (南北走向)、 CP_{EW} (东西走向)、 CP_{SW-NE} (左下右上走向)、 CP_{NW-SE} (左上右下走向)以及 CP (8 方向关系的中部)。其中有些复合方向可以通过对原子方向作和运算而成(图 3(a)~3(f)),而其他一些需要重新划分方向空间范围(图 3(g)~3(l))。复合边界和环部方向的定义与内部方向的定义有些不同,它不需要重新划分方向范围,只需要把相邻的原子方向组合就可以了(组合不相邻边界和环部方向没有意义)。因而边界 4 方向关系 NL_4 (北部边界)、 SL_4 (南部边界)、 EL_4 (东部边界)、 WL_4 (西部边界)以及环部 4 方向关系 NR_4 (北部环)、 SR_4 (南部环)、 ER_4 (东部环)、 WR_4 (西部环)的定义是相应的边界或环部原子方向的直接组合,其定义公式略去。

1.3 自然语言空间关系定义

定义 5 令 U_I 表示内部原子方向的全集 $\{EP, WP, NP, SP, NWP, NEP, SWP, SEP, CP\}$ 。 R_I 为一内部方向, R_I^c 是一方向集合,表示方向 R_I 在集合 U_I 上的补,由 U_I 中除 R_I 外的其他所有内部方向的集合,即 $R_I^c = U_I - R_I$ 。同理可定义外部、边界和环部方向 R 在其全集 U_D 、 U_B 和 U_R 上的补: $R_D^c = U_D - R_D$, $R_B^c = U_B - R_B$, $R_R^c = U_R - R_R$ 。

定义 6 R_I 是一复合内部方向。若 R_I 可由原子方向组成,则 R_I^c 是其中原子方向补的交集,即 $R_I^c = \bigcap_{S \in R_I} (S^c)$ 。若 R_I 不能由原子方向组成,则 R_I^c 也不能表示为原子方向的组合。令 O_k 表示 R_I 的空间范围, A 为参照对象,则 R_I^c 的空间范围为 $A - R_I^c$,即 $R_I^c = (A, p) = \text{inside}(A - O_{R_I}, p)$ 。

根据定义 5, $WP^c(A, B)$ 意味着 B 的部分点在 A 的东部的补方向上,由于 $WP^c = \{EP, NP, SP, NWP, NEP, SWP, SEP, CP\}$,所以 $WP^c(A, B) = EP(A, B) \vee NP(A, B) \vee SP(A, B) \vee NWP(A, B) \vee NEP(A, B) \vee SWP(A, B) \vee SEP(A, B) \vee CP(A, B)$ 。

根据已有的原子或复合方向关系及拓扑关系可以定义自然语言空间关系。 $\text{cross}(A, B)$ 、 $\text{enter}(A, B)$ 、 $\text{alongside}(A, B)$ 、 $\text{inside}(A, B)$ 分别表示拓扑关系中的“ B 穿过 A ”、“ B 进入 A ”、“ B 沿着 A 的边界”和“ B 在 A 的内部”等。运算符“ \circ ”表示拓扑和方向关系的组合运算,首先定义 4 个拓扑关系语言式(3),然后再定义自然语言空间关系式(4):

$$\begin{aligned}
 \text{cross}(A, B) &\equiv LR_1 & \text{inside}(A, B) &\equiv LR_2 \\
 \text{alongside}(A, B) &\equiv LR_3 & \text{enter}(A, B) &\equiv LR_4
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

其中, LR_1 、 LR_2 、 LR_3 、 LR_4 为线/面拓扑关系。自然语言空间关系定性形式化定义为:

$$\begin{aligned}
 WP_i \circ \text{Cross}(A, B) &\equiv [WP_i(A, B) \wedge \neg WP_i^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 EP_i \circ \text{Cross}(A, B) &\equiv [EP_i(A, B) \wedge \neg EP_i^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 NP_i \circ \text{Cross}(A, B) &\equiv [NP_i(A, B) \wedge \neg NP_i^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 SP_i \circ \text{Cross}(A, B) &\equiv [SP_i(A, B) \wedge \neg SP_i^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 CP_{NS} \circ \text{Cross}(A, B) &\equiv [CP_{NS}(A, B) \wedge \neg CP_{NS}^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 CP_{EW} \circ \text{Cross}(A, B) &\equiv [CP_{EW}(A, B) \wedge \neg CP_{EW}^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 CP_{SW-NE} \circ \text{cross}(A, B) &\equiv [CP_{SW-NE}(A, B) \wedge \neg CP_{SW-NE}^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 CP_{NW-SE} \circ \text{cross}(A, B) &\equiv [CP_{NW-SE}(A, B) \wedge \neg CP_{NW-SE}^c(A, B)] \wedge [\text{cross}(A, B)] \\
 CP \circ \text{cross}(A, B) &\equiv CP_{NS} \circ \text{cross}(A, B) \vee CP_{EW} \circ \text{cross}(A, B) \vee CP_{SW-NE} \circ \text{cross}(A, B) \vee \\
 &CP_{NW-SE} \circ \text{cross}(A, B)
 \end{aligned} \tag{4}$$

EP^ocross(A, B)、WP^ocross(A, B)、NP^ocross(A, B)、SP^ocross(A, B)、CP_{NS}^ocross(A, B)、CP_{EW}^ocross(A, B)、CP_{SW-NE}^ocross(A, B)和CP_{NW-SE}^ocross(A, B)分别表示“B从A的东部穿过”、“B从A的西部穿过”等含义。WP_i(A, B)中,若i=4,表示4方向关系内部方向;若i=8,表示8方向关系内部方向。前面曾经指出,这些与拓扑和方向组合有关的语句不仅与拓扑和方向关系有关,还和对象B在A内经过的路径有关,即与内部方向关系有关。这一点在上面的定义中得到了体现。同理可以给出其他自然语言空间关系的定义。

拓扑关系 alongside(A, B), inside(A, B)分别与边界和内部方向关系是等价的,因而它们分别与原子边界和内部的方向的组合就可定义。

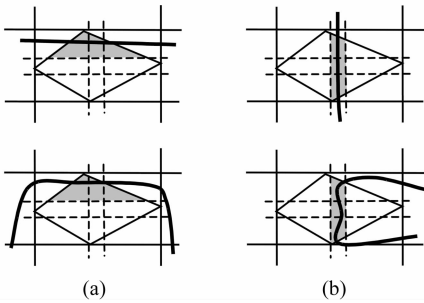


图4 自然语言空间关系的细化

Fig. 4 Refinement of Natural-Language Spatial Relations

2 自然语言空间关系定义的细化

式(3)~式(5)形式化定义了自然语言的空间关系。然而在许多情况下,需要进一步区分这些组合关系。如图4所示,在图4(a)中,根据内部方向,上下两个图形关系均满足“从北部穿过”的定义。但两者又有明显的不同,上图中线对象完全在“北部区域以北”,而下图中,线对象部分位于

“北部区域以南”,这说明自然语言空间关系不仅与线对象经过的内部方向有关,而且还与经过的外部方向有关,因而需要从外部方向上进一步细化组合关系。图4(b)存在同样的情况。

由于自然语言空间关系的定义与外部方向关系有关,而传统的外部方向关系不能有效地描述目标对象在外部方向关系上的路径,不利于自然语言空间关系的细化描述,需要进一步对现有的外部方向关系进行细化。如图5所示,细节方向关系的内部划分线和参照对象外接矩形的延长线进一步细化了外部方向关系。方向N被细化为LN、CN和RN;方向E被细化为TE、CE和BE。方向W和S同样被细化为3个方向。其中,符号LN(A, B)表示“B位于A的LN方”,其他符号CN(A, B)、RN(A, B)等有类似的含义。

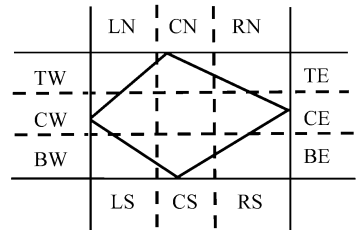


图5 外部方向关系的细化

Fig. 5 Refinement of Exterior Direction Relations

根据细分外部方向关系,每个内部方向对应着一个外部方向的扩展定义。扩展定义从外部方向上对自然语言空间关系作了进一步限制,使得它们有强弱之分。如复合内部方向“北部”NP₄对应的外部方向的扩展定义由N(A, B)、TW(A, B)、TE(A, B)、NW(A, B)、NE(A, B)、NWR(A, B)、NER(A, B)、NR(A, B)组成,这仍然是一个复合方向。有了扩展定义,图4(a)中上、下两个关系就可区分(上面的关系满足扩展定义,下面的不满足)。其他部分内部方向对应的外部方向扩展定义见式(5)。

$$\begin{aligned}
Ex - N(A, B) &\equiv N(A, B) \vee TW(A, B) \vee TE(A, B) \vee NW(A, B) \\
&\vee NE(A, B) \vee NWR(A, B) \vee NER(A, B) \vee NR(A, B) \\
Ex - S(A, B) &\equiv S(A, B) \vee BW(A, B) \vee BE(A, B) \vee SW(A, B) \\
&\vee SE(A, B) \vee SWR(A, B) \vee SER(A, B) \vee SR(A, B) \\
Ex - E(A, B) &\equiv E(A, B) \vee RN(A, B) \vee RS(A, B) \vee NE(A, B) \\
&\vee SE(A, B) \vee NER(A, B) \vee ER(A, B) \vee SER(A, B) \\
Ex - W(A, B) &\equiv W(A, B) \vee LN(A, B) \vee LS(A, B) \vee NW(A, B) \\
&\vee SW(A, B) \vee NWR(A, B) \vee WR(A, B) \vee SWR(A, B) \\
Ex - NE(A, B) &\equiv NE(A, B) \vee RN(A, B) \vee TE(A, B) \vee NER(A, B) \\
Ex - NW(A, B) &\equiv NW(A, B) \vee LN(A, B) \vee TW(A, B) \vee NWR(A, B)
\end{aligned} \tag{5}$$

自然语言空间关系定性+细化定义:

$$\begin{aligned}
WP \circ cross(A, B) &\equiv [WP_i(A, B) \wedge \neg WP_i^c(A, B)] \wedge [Ex - W(A, B)] \wedge [cross(A, B)] \\
EP \circ cross(A, B) &\equiv [EP_i(A, B) \wedge \neg EP_i^c(A, B)] \wedge [Ex - E(A, B)] \wedge [cross(A, B)] \\
NP \circ cross(A, B) &\equiv [NP_i(A, B) \wedge \neg NP_i^c(A, B)] \wedge [Ex - N(A, B)] \wedge [cross(A, B)] \\
SP \circ cross(A, B) &\equiv [SP_i(A, B) \wedge \neg SP_i^c(A, B)] \wedge [Ex - S(A, B)] \wedge [cross(A, B)]
\end{aligned} \tag{6}$$

式(6)仅列出了部分自然语言空间关系的定义,其他的类似。需要进一步补充说明的是,满足某一个自然语言空间关系的定性定义或定性+细化定义的所有空间关系从概念上都可以用该语言描述,只是满足定性+细化定义的空间关系属于该语言的程度强一些,不满足定性+细化定义而满足定性定义的空间关系属于该语言的程度弱一些而已。细化的目的只是对这种隶属的强弱作了进一步区分。在实际使用中,是否需要这种细化,取决于用户的具体要求和使用目的。

3 应用举例

自然语言空间关系的形式化定义的本质就是在人的自然语言及对应的几何关系之间建立了一种映射关系: $geometry \times geometry \rightarrow string$, 可以把不同的几何关系用不同的自然语言来描述。从而可以用以空间数据查询和基于关系的数据匹配。自然语言空间关系可以作为谓词出现在SQL语言的where子句中,从而实现空间数据的查询。这些谓词更加语言化,容易理解和使用。

假设有一个空间数据库 Spatial_DB, 其中有3张表 Park、Road、City 分别存储了公园、道路和城市的空间数据和属性数据。每张表中都有一个字段“geometry”保存空间对象的几何坐标,其他字段保存了空间对象的属性数据。在 Spatial_DB 上可以完成以下两个与空间有关的查询:

查找出所有从公园东部穿过的道路:

Select Road, geometry, Park, geometry

From River and Park

Where Road, geometry cross Park, geometry from

east part

查找出所有从城市中东部穿过的1级道路:

Select Road, geometry

From Road and City

Where Road, geometry cross City, geometry on mid-east part and Road, level = 1

自然语言空间关系还可以作为标准的图标和工具出在现可视化空间查询语言中,提高查询界面和手段的灵活性。最后它还可以用于基于内容的图象检索。因而本文的研究内容只是给其进一步应用奠定了基础,具体的应用还需要进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Egenhofer M J. Towards a Spatial Query Language; User Interface Considerations. The 14th International Conference on Very Large Databases, Los Angeles, 1988
- 2 章毓晋. 基于内容的视觉信息检索. 北京: 科学出版社, 2003
- 3 Egenhofer M J, Herring J. Categorizing Binary Topological Relations Between Regions, Lines and Points in Geographic Databases. Technical Report. Department of Surveying Engineering, University of Maine, Orono, ME, 1991
- 4 Mark D M, Egenhofer M J. Modeling Spatial Relations Between Lines and Regions; Combining Formal Mathematical Models and Human Subjects Testing. Cartography and Geographic Information Systems, 1994, 21(4): 195~212
- 5 Frank A U. Qualitative Spatial Reasoning About Distances and Directions in Geographic Space. Journal of Visual Languages and Computing, 1992, 3(4): 343~371
- 6 Mark D M, Egenhofer M J. Calibrating the Meanings of Spatial Predicates from Natural Language; Line-Re-

gion Relations. The 6th International Symposium on Spatial Data Handling, Edinburgh, Scotland, 1994

第一作者简介:杜世宏,博士生。主要从事 GIS 基础理论研究和相关应用开发。

E-mail: dshgis@hotmail.com

Definitions of Natural-Language Spatial Relations in GIS

DU Shihong¹ WANG Qiao² LI Zhijiang³

(1 Institute of Remote Sensing Applications, CAS, 9718 Box, Datun Road, Beijing 100101, China)

(2 Nanjing Normal University, 122 Ninghai Road, Nanjing 210097, China)

(3 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: The detailed direction relations are proposed to describe the directions related to the interior of spatial objects, such as “east part of a polygon”, “east boundary of a polygon”, etc. Then this paper, integrates the detailed directions with exterior direction relations and topological relations and defines several NLSRs. Finally, based on the NLSRs, a natural spatial query language (NSQL) is formed to retrieve spatial data from spatial databases.

Key words: topological relations; direction relations; detailed direction relations; natural-language spatial relations

About the first author: DU Shihong, Ph.D candidate, majors in GIS.

E-mail: dshgis@hotmail.com

(责任编辑: 光远)

(上接第 528 页)

Analysis of Five Forms of Urban Expansion Identification Model Based on SOFM Classification Results of Remote Sensing Data

DAI Qin¹ CHEN Xue^{1,2} MA Jianwen¹ FENG Chun³

(1 Institute of Remote Sensing Applications, CAS, 9718 Box, Datun Road, Beijing 100101, China)

(2 Department of Geography, Beijing Normal University, 19 Xijiekouwai Street, Beijing 100875, China)

(3 Institute of Land Resources and High Techniques, China University of Geosciences, 29 Xueyuan Road, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper applies the SOFM (self organized feature map of neural network) classification software, and choose the Landsat temporal TM images in Mays or Junes of 1988, 1994, 2001 and 2003 and applies the five forms of urban expansion identification model considering the ring roads. The results shows that infillment and expansion are the main forms in the three periods of urban growth process from 1988 to 2001, from 1994 to 2001 and from 2001 to 2003, while the linear branch and clustered branch are the main forms in the urban growth from 1994 to 2001 between the fifth and sixth ring roads.

Key words: neural network classification; five forms of urban expansion identification model; statistics of urban ring expansion area

About the first author: DAI Qin, Ph.D candidate, majors in remote sensing data model and method.

E-mail: ycdaiqin@163.com

(责任编辑: 晓晨)