

文章编号: 1007-4619(2006)06-0821-08

矢量 GIS 空间方向关系的演算模型

邓 敏^{1,2}, 刘文宝³, 李俊杰⁴, 孙 电¹

(1. 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093; 2. 中南大学测绘与国土信息工程系, 湖南 长沙 410083;

3. 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 山东 泰安 271019; 4. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘 要: 空间方向关系是描述空间目标间位置分布的一类基本空间约束, 在 GIS 中是由形式化模型描述的。但现有模型由于简化假设过多, 其描述分辨率较低。以点-点空间方向关系的计算量为基础, 在综合考虑空间目标的几何构成和分布关系后, 提出了定量化演算空间方向关系的一种新模型。利用该模型的结果, 根据定量表达与定性描述之间的转换函数, 可以得到相应的定性描述结果。理论分析和算例表明, 新模型对目标间距离和目标本身的形状等影响方向关系的参数更为敏感, 因而比现有模型有更高的描述分辨率。

关键词: 方向关系; 定量表达; 定性描述; 演算模型

中图分类号: P208 **文献标识码:** A

Computational Model of Spatial Direction Relations in Vector GIS

DENG Min^{1,2}, LIU Wen-bao³, LI Jun-jie⁴, SUN Dian¹

(1. Department of Urban & Resources Sciences Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Department of Survey and Geo-informatics Hunan Changsha 410083, China;

3. College of Geo-Information and Science Shandong University of Science and Technology, Tai'an Shandong 271019, China;

4. Nanjing Institute of Geography and Limnology of CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: As one of the basic constraints in geographical space, spatial direction relation represents geometric distribution relations of spatial objects and is described and operated by formal models in GIS. However, the existing models are incapable of distinguishing variations between two direction relations of complex objects. This paper aims to develop a computational model with high resolution in identifying the effect of parameters such as distance and shape of spatial objects on their direction relations. First, a generic quantitative approach on direction relations was proposed on the basis of the classical computation of point/point relations, in which both geometric structures and relative distribution relations of spatial objects were utilized. To obtain a reasonable qualitative description, the conversion function was further developed to link the quantitative computation with qualitative description of spatial direction relations. Numerical examples were also provided to demonstrate how to apply the proposed model into practice. Both theoretical comparison and numerical analysis indicated that the model presented in this paper is more sensitive to the parameters such as shape, size and location of spatial objects, and thus is more accurate in distinguishing different direction relations. In particular, the resulting direction relations obtained from the model satisfy three basic cognitive characteristics including continuity, reflectivity, and asymmetry.

Key words: spatial direction relation; quantitative representation; qualitative description; computational model

收稿日期: 2004-08-11; 修订日期: 2004-11-24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 40501053, 40471109)、基础地理信息与数字化技术山东省重点实验室开放研究基金项目 (编号: SD040201)、教育部高校博士点基金项目 (编号: 20010284011) 和测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金项目 (编号: WKL040304) 联合资助。

作者简介: 邓 敏 (1974—), 男, 江西临川人。1997、2000 年在山东科技大学分别获学士、硕士学位, 2003 年在武汉大学获工学博士学位, 现为中南大学教授。主要研究领域为遥感与 GIS 空间数据质量、地理空间信息的不确定性分析与建模, 以及空间关系理论与应用, 已在国内外期刊发表学术论文 40 余篇。

1 引 言

空间方向关系是地理信息科学、计算机制图学、行为科学、人工智能、机器人等学科中共同关注的课题^[1]。以地理信息科学为例,空间方向关系描述了两个目标间位置分布的基本空间约束,常用于空间影像数据库相似性评估和相似性检索的标准^[2,3]。在应用空间方向关系时,一个最基本的问题是如何有效地建立描述空间方向关系的形式化模型。虽然已经出现了一些较为成熟的模型,但它们多是一种近似模型,描述的并不是两个原始目标本身之间的空间方向关系,而是对原空间目标进行形状简化后所得的替代空间目标间方向关系的描述。这种近似简化处理导致了根据模型所判断的结果与实际情形不完全一致。例如,锥形模型(Cone Model)是以参考目标的质心代替参考目标,利用指向分别为东、南、西和北的四条相互垂直的射线划分平面^[4,5]。最小约束矩形模型(Minimum Bounding Rectangle[MBR] Model)描述的是两个空间目标在 X、Y 轴上的 MBR 之间的空间方向关系^[6]。最小外接矩形模型(Minimum Enclosing Rectangle Model)描述的是两个原空间目标的最小外接矩形之间的方向关系^[7]。方向关系矩阵模型(Direction Relation Matrix Model)描述的是参考目标的 MBR 与源目标的空间方向关系^[8]。方向 Voronoi 模型则首先对两个原目标进行图形综合,然后确定所得新图形之间的可视区域,生成 Delaunay TIN 信息,并得到相应的可视区域的 Voronoi 图,最后结合目标和 Voronoi 边的侧位关系,计算 Voronoi 边的方位角,将它们并集作为原目标间的方向关系^[9]。由于计算机无法自动地模拟人脑的思维过程,无法直接从两目标的图形信息中提取定性的空间方向关系信息,故空间方向关系的形式化描述必须遵从“先定量计算,后定性描述”的次序^[10]。提高定性描述模型精度的关键在于减少对原始空间目标进行过多的简化假设,并发展精确的定量计算模型。本文以点-点空间方向关系的计算量为基础,综合考虑空间目标的几何构成和分布关系,发展一种能直接对原始空间目标间的几何数据进行演算的精确化定量模型,并探讨能获得定性描述结果的转换函数方法。

2 点参考目标模型

2.1 点/点情况

在 GIS 中,两个点的空间方向关系通常用方位

角,即 $[0^\circ, 360^\circ)$ 中的一个数值表达。例如,对图 1 所示的参考目标 $A(x_A, y_A)$ 和源目标 $B(x_B, y_B)$,则其方向关系为:

$$\alpha(A, B) = \begin{cases} \arctan \frac{\Delta x_{AB}}{\Delta y_{AB}}; \Delta x_{AB} \geq 0, \Delta y_{AB} > 0 \\ 90^\circ; \Delta x_{AB} > 0, \Delta y_{AB} = 0 \\ 180^\circ + \arctan \frac{\Delta x_{AB}}{\Delta y_{AB}}; \Delta y_{AB} < 0 \\ 270^\circ; \Delta x_{AB} < 0, \Delta y_{AB} = 0 \\ 360^\circ + \arctan \frac{\Delta x_{AB}}{\Delta y_{AB}}; \Delta x_{AB} < 0, \Delta y_{AB} > 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\Delta x_{AB} = x_B - x_A$, $\Delta y_{AB} = y_B - y_A$ 。当然,利用方位角又可以派生出其他方向指标,如象限角等。

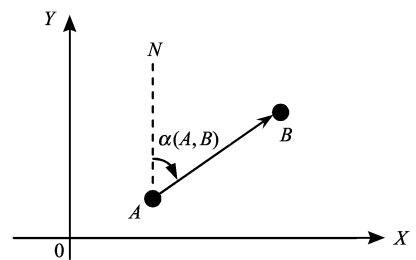


图 1 两点间的空间方向关系

Fig 1 Spatial direction relations between points

2.2 点/线情况

2.2.1 点/线段

如图 2,对参考目标点 A 和源目标 B_1B_2 线段,利用式(1)可以得到 AB_1 、 AB_2 的方向 α_{AB_1} 、 α_{AB_2} 。根据空间方向关系的定义和空间位置变化的连续特性,则有:

公理:对于线段 B_1B_2 上的任一内插点 B_i , A 与 B_i 的方向 α_{AB_i} 介于 α_{AB_1} 与 α_{AB_2} 之间。当 B_i 从 B_1 移动到 B_2 时, α_{AB_i} 单调地从 α_{AB_1} 变化到 α_{AB_2} 。当且仅当 $\alpha_{AB_1} = \alpha_{AB_2}$ 时, B_1B_2 上的所有点与 A 的方向关系一致 (α_{AB_i} 不变)。

于是,点 A 与线段 B_1B_2 的空间方向关系可以表示为:

$$\text{Dir}(A, B_1B_2) = [\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_2}] \quad (2)$$

由于不在线段上的点总是位于线段的一侧,则 $\text{Dir}(A, B_1B_2)$ 的区间宽度绝对值满足 $0^\circ \leq |\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_2}| \leq 180^\circ$ 。当 $\alpha_{AB_1} = \alpha_{AB_2}$ 时,即 B_1 与 B_2 相对于参考点 A 为相同方向时,式(2)简化为一个具体数值。此时, B_1 、 B_2 为同向点,而 B_1B_2 为同向线段,它相对于参考点 A 只有一个点是可视的。例

如, 在图 2(b) 中线段上只有 B_1 点是可视的, 而其他的同向点不可视。故点 A 与线段 B_1B_2 的方向关系

可简化为 A 与可视点 B_1 的方向关系 α_{AB_1} 。

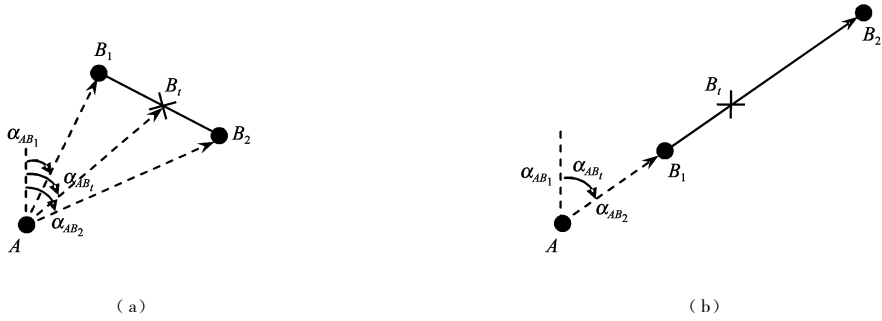


图 2 点与线段的空间方向关系

(a) A, B_1, B_2 不共线; (b) A, B_1, B_2 共线

Fig 2 Spatial direction relations between point and line segment

(a) A, B_1 and B_2 are a non-linear relation; (b) A, B_1 and B_2 are a linear relation

2.2.2 点/折线

由于顶点为 B_1, B_2, \dots, B_n 的折线源目标上的任一点必然落在其中的某线段上, 参考点 A 与 $B_1B_2 \dots B_n$ 的空间方向关系可通过对式 (2) 进行扩展得到:

$$Dir(A, B_1B_2 \dots B_n) = [\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_2}] \cup (\alpha_{AB_2}, \alpha_{AB_3}) \cup \dots \cup (\alpha_{AB_{n-1}}, \alpha_{AB_n}) \quad (3)$$

在实际计算中, (3) 式各方向子区间之间可能存在交叠, 其几何表现则为部分折线相对于参考点不可视。若将位于折线上不可视部分的点 B_i 与 A 相连, 则连线必然与折线相交, 且所有交点与 B_i 皆为同向点。由于在相交的同向点集中仅有一个可视点, 这种存在不可视部分的情形称为部分可视, 而方向子区间之间不存在交叠的情形称为全部可视。顾及目标的空间分布和空间方向变化的连续特性, 可将式 (3) 简化为:

$$Dir(A, B_1B_2 \dots B_n) = [\alpha, \beta] \quad (4)$$

对于全部可视情形, $\alpha = \alpha_{AB_1}$ 或 α_{AB_n} ; $\beta = \alpha_{AB_n}$ 或 α_{AB_1} 。例如, 图 3(a) 为全部可视, 则 $Dir(A, B_1B_2B_3) = [\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_3}]$, 其中 $\alpha = \alpha_{AB_1}$, $\beta = \alpha_{AB_3}$; 图 3(b) 中, $[\alpha_{AB_2}, \alpha_{AB_3}]$ 完全落入 $[\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_2}]$, 线段 B_2B_3 相对于参考点 A 不可视, 故折线 $B_1B_2B_3$ 为部分可视, 有 $Dir(A, B_1B_2B_3) = [\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_2}]$, 其中 $\alpha = \alpha_{AB_1}$, $\beta = \alpha_{AB_2}$ 。

2.3 点/面情况

当参考目标为点, 源目标为面时, 则面目标只能为部分可视, 并且可视部分为面目标的部分边界折线段。例如, 图 4 中的面目标 B 相对于参考点 A 的

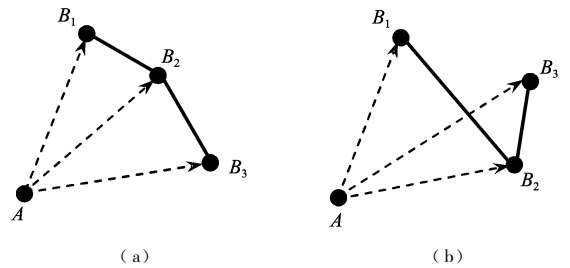


图 3 点与折线的空间方向关系
(a) 全部可视情形; (b) 部分可视情形

Fig 3 Spatial direction relations between point and polyline

(a) All vertices of B are visible to A;

(b) A part of vertices of B are visible to A

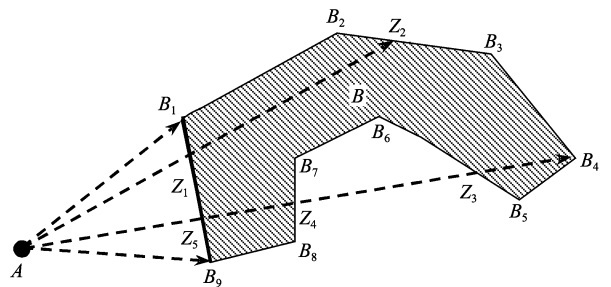


图 4 点与面之间的空间方向关系

Fig 4 Spatial direction relations between point and region

可视部分为线段 B_1B_9 , 其余部分则不可视。若将不可视区域中的任意点 Z_2 与 A 相连, 则连线必然与可视线段存在一个交点 Z_1 。再如, Z_5 是不可视点 B_4, Z_3, Z_4 与 A 的连线和可视线段 B_1B_9 的公共交点。因此, 面目标中不可视点集与可视点集是一种多对一的同向映射关系。于是, 点与面的空间方向关系

和点与折线的情况类似,可表示为:

$$\text{Dir}(A, B_1 B_2 \cdots B_n B_1) = (\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_2}) \cup (\alpha_{AB_2}, \alpha_{AB_3}) \cup \cdots \cup (\alpha_{AB_{n-1}}, \alpha_{AB_n}) \cup (\alpha_{AB_n}, \alpha_{AB_1}) = [\alpha, \beta] \quad (5)$$

在图 4 中,有 $\text{Dir}(A, B_1 B_2 \cdots B_9) = [\alpha_{AB_1}, \alpha_{AB_9}]$ 。

3 线参考目标模型

3.1 线/点情况

如图 5,参考目标线段 $A_1 A_2$ 与源目标点 B 的空

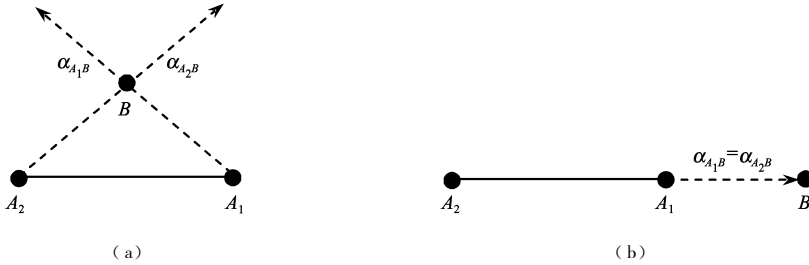


图 5 线与点的空间方向关系

(a) $A_1 A_2$ 与 B 不共线; (b) $A_1 A_2$ 与 B 共线

Fig 5 Spatial direction relations between line and point

(a) $A_1 A_2$ and B are a non-linear relation; (b) $A_1 A_2$ and B are a linear relation

分析参考点与源目标线段和参考线段与源目标点的空间方向关系计算方法可以发现,对于两个相同的点和线,点与线段的空间方向关系 $[\alpha_1, \beta_1]$ 和线段与点的空间方向关系 $[\alpha_2, \beta_2]$ 满足如下关系式:

$$\begin{cases} \alpha_2 = \alpha_1 \pm 180^\circ \\ \beta_2 = \beta_1 \pm 180^\circ \\ |\alpha_1, \beta_1| = |\alpha_2, \beta_2| \end{cases} \quad (7)$$

这说明,如果通过计算得知点与线段的空间方向关系,则可利用式(7)得出线段与点的空间方向关系。反之亦然。在图 5(a)中,若已知 $A_1 A_2$ 与 B 的空间方向关系为 $[315^\circ, 40^\circ]$,则利用式(7)可计算出 B 与 $A_1 A_2$ 的空间方向关系为 $[135^\circ, 220^\circ]$,并且它们的区间宽度皆为 85° 。本文称这种特性为空间方向计算的反射性,这与定性空间方向认知是完全一致的。例如,若目标 A 在目标 B 的东方向,则可推知目标 B 在 A 的西方向。这里,东方向与西方向是一对反射方向关系。

对于折线与点的情形,类似于式(3),可取折线上各线段与点的方向区间的并集,构成折线与点的空间方向关系。此外,也可利用式(4)和式(7)来推算它们的空间方向关系,因为对于相同的点和折线,在计算点与折线和折线与点的空间方向关系时,它们间相互可视的空间范围不变。例如,在图 3(b)

间方向关系 $A_1 B, A_2 B$ 的空间方向分别为 $\alpha_{A_1 B}, \alpha_{A_2 B}$ 。由 2.1 节可知,线段 $A_1 A_2$ 上任一点与 B 连线的空间方向位于 $\alpha_{A_1 B}$ 和 $\alpha_{A_2 B}$ 之间。于是,整个线段 $A_1 A_2$ 与 B 的空间方向关系可表示为:

$$\text{Dir}(A_1 A_2, B) = [\alpha_{A_1 B}, \alpha_{A_2 B}] \quad (6)$$

其中 $\text{Dir}(A_1 A_2, B)$ 满足 $0^\circ \leq |\alpha_{A_1 B}, \alpha_{A_2 B}| \leq 180^\circ$ 。只有当点 B 在参考目标 $A_1 A_2$ 的延长线上时,才有 $\alpha_{A_1 B} = \alpha_{A_2 B}$ 。此时, $A_1 A_2$ 与 B 的方向区间为一个具体数值 $\alpha_{A_1 B}$ 或 $\alpha_{A_2 B}$ 。

中,计算点 A 与折线 $B_1 B_2 B_3$ 的空间方向关系时,相互可视的部分为 $A, B_1 B_2$,而在计算折线 $B_1 B_2 B_3$ 与点 A 的空间方向关系时仍为 $A, B_1 B_2$ 。

3.2 线/线情况

类似地,线与线的空间方向关系可视为线与点空间方向关系的一种扩展。由 m 个顶点 A_1, A_2, \dots, A_m 构成的折线(参考目标)和由 n 个顶点 B_1, B_2, \dots, B_n 构成的折线(源目标)间的空间方向关系可以表示为:

$$\begin{aligned} \text{Dir}(A_1 A_2 \cdots A_m, B_1 B_2 \cdots B_n) &= \text{Dir}(A_1 A_2 \cdots A_m, B_1) \cup \\ &\text{Dir}(A_1 A_2 \cdots A_m, B_2) \cup \cdots \cup \text{Dir}(A_1 A_2 \cdots A_m, B_n) \\ &= \bigcup_{i=1}^n \text{Dir}(A_1 A_2 \cdots A_m, B_i) \end{aligned} \quad (8)$$

若记 $\text{Dir}(A_1 A_2 \cdots A_m, B_i) = [\alpha_i, \beta_i]$,则可根据折线与点的空间方向关系模型计算得到。顾及空间方向变化的连续性,式(8)可具体地表达为:

$$\begin{aligned} \text{Dir}(A_1 A_2 \cdots A_m, B_1 B_2 \cdots B_n) &= [\alpha_1, \beta_1] \cup [\alpha_2, \beta_2] \\ &\cup \cdots \cup [\alpha_n, \beta_n] = \bigcup_{i=1}^n [\alpha_i, \beta_i] = [\alpha, \beta] \end{aligned} \quad (9)$$

3.3 线/面情况

线与面间的空间方向关系计算方法类似于线与

线的情形, 仍可用式 (8) 或 (9) 计算得出。

4 面参考目标模型

面与点的空间方向关系可以通过两种途径计算得出。一是利用类似于线与点的空间方向关系计算; 另一个是首先计算点与面的空间方向关系, 然后根据空间方向关系的反射性推算得到。故可以采用相同的演算方法讨论面与线、面与面的空间方向关系。实质上, 面与线、面与面之间的空间方向关系是它们间相互可视的边界线之间的空间方向关系。例如, 图 6 中参考目标 A 和源目标 B 的空间方向关系即为边界线 A_1A_2 与 $B_4B_5B_1$ 之间的空间方向关系。利用式 (9), A 与 B 的空间方向关系可表示为:

$$\begin{aligned} & \text{Dir}(A_1A_2 \cdots A_5, B_1B_2 \cdots B_5) \\ &= \text{Dir}(A_1A_2, B_1B_5B_1) \\ &= \text{Dir}(A_1A_2, B_4) \cup \text{Dir}(A_1A_2, B_5) \cup \text{Dir}(A_1A_2, B_1) \\ &= [\alpha_4, \beta_4] \cup [\alpha_5, \beta_5] \cup [\alpha_1, \beta_1] \\ &= [\alpha_1, \beta_4] \end{aligned}$$

这里, 参数 $\alpha = \alpha_1, \beta = \beta_4$ 。

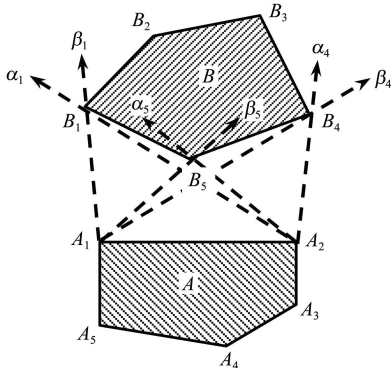


图 6 两个面的空间方向关系

Fig 6 Spatial direction relations between regions

5 定量与定性转换

为了使空间方向描述与空间认知和自然语言表达相适应, 需要建立一种定性描述与定量表达之间的映射关系。在锥形模型表达中, 定量表达与定性描述是一种区间对应关系, 并且划分区间的大小取决于方向关系描述的精确程度^[4,5]。例如, 在 4 主方向关系描述中, 各主方向关系对应的方向区间分别为: (i) $N \rightarrow [315^\circ, 360^\circ] \cup [0^\circ, 45^\circ]$; (ii) $E \rightarrow [45^\circ, 135^\circ]$; (iii) $S \rightarrow [135^\circ, 225^\circ]$; (iv) $W \rightarrow$

$[225^\circ, 315^\circ]$ 。依此类推, 可分别得到 8 主方向关系、16 主方向关系的方向区间划分。此外, Dutta (1989) 从自然语言表达固有的模糊性出发, 提出了一种基于模糊逻辑的半定性表示方法^[11]。类似地, Papadias (1999) 基于模糊集理论提出了一种空间方向关系的定性和定量相结合的表达方法^[12]。为简单记, 在不考虑由空间目标位置不确定性引起的空间方向计算的不确定性, 以及空间方向形式化描述模型的模糊性的情况下, 本文借鉴锥形模型中表达定性定量空间方向关系之间的区间转换方法, 提出在定性描述时采用较为详细的加权多主方向关系混合表示法。其中各主方向关系的权重定义为整个方向区间落入相应主方向区间范围内的区间宽度占整个方向区间宽度的比例, 即

$$q_o = \frac{|[\alpha, \beta] \cap [o_1, o_2]|}{|[\alpha, \beta]|} \quad (10)$$

式中: q_o 为主方向关系 O 的权重; $[o_1, o_2]$ 为在一个标准主方向关系分类体系中主方向关系 O 的定量表示区间; $|[\alpha, \beta]|$ 为计算得到的方向区间的宽度; $|[\alpha, \beta] \cap [o_1, o_2]|$ 为 $[\alpha, \beta]$ 与 $[o_1, o_2]$ 的交集区间的宽度。

6 模型分析与实现

6.1 模型比较

相关研究已表明^[5,9], 距离、目标形状和大小是影响空间方向关系的主要参数。下面从这些参数出发, 分析和比较本文提出的演算模型和一些有代表性的模型 (如锥形模型、最小约束矩形模型、最小外接矩形模型、方向关系矩阵模型和方向 Voronoi 模型) 间的异同。

6.1.1 距离参数

Peuquet 指出, 空间目标间的距离将影响它们间的方向关系^[5]。例如, 图 7 中的源目标 B、C、D 具有相同的形状和大小。直观上, 由于它们与参考目标 A 的空间距离不同, 它们的空间方向关系也不应该完全相同。但由于空间方向关系描述模型的分辨率不同, 利用不同的模型进行判断, 会得出不同的结果。利用锥形模型可得, A 与 B 的方向关系和 A 与 C 的方向关系相同, 但和 A 与 D 的方向关系不同, 如图 7 (a)。利用方向关系矩阵模型可得, A 与 B、A 与 C、以及 A 与 D 的方向关系都是相同的, 如图 7 (b)。类似地, 分别利用最小约束矩形模型、最小外接矩形模型和方向 Voronoi 模型进行判定可得, A 与 B、A 与 C 以及 A 与 D 的方向关系仍是相同的。但

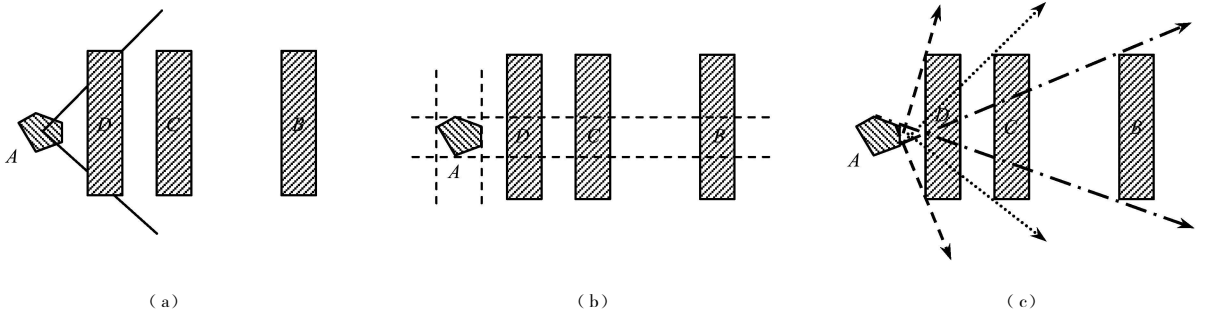


图 7 空间距离对方向关系描述的影响

(a) 锥形模型; (b) 方向关系矩阵模型; (c) 本文的演算模型

Fig 7 Effect of spatial distance on describing direction relations

(a) Cone-shaped model; (b) Direction-relation matrix model; (c) Our model in the paper

利用演算模型判断可得, A 与 B, A 与 C 以及 A 与 D 的方向关系各不相同, 如图 7(c)。

6.1.2 形状参数

许多研究表明^[5, 8, 13], 空间目标形状影响空间方向的判断。因此, 有效的空间方向关系模型应该对空间目标形状敏感。对相关模型进行分析发现, 锥形模型对目标形状的变化最不敏感; 最小约束矩形模型、最小外接矩形模型和方向关系矩阵模型次之; 而方向 Voronoi 模型和本文的演算模型对目标形状较为敏感。在空间方向判断中, 空间目标形状的各个部分所

起的敏感作用不同。比较而言, 两目标间不可视部分的形状对目标的方向关系判断所起的作用不大, 而可视部分形状的改变可能影响目标间方向关系的描述结果。例如, 图 8 中源目标 B 形状的改变可能导致方向关系的不同。与 (a) 相比, (b) 中源目标 B 形状虽然发生改变, 但并没有影响其方向关系的变化, 而 (c) 中源目标 B 的形状的改变却导致了方向关系发生变化。这主要是由于 (b) 中源目标 B 的形状改变并没有改变 A 与 B 间的可视范围, 而 (c) 中源目标 B 的形状的改变导致了 A 与 B 相互间可视范围的变化。

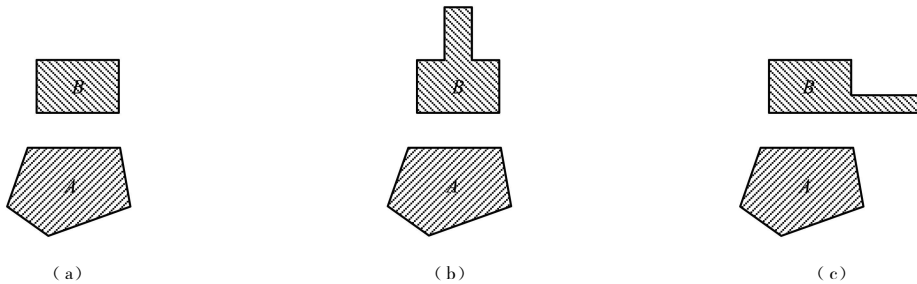


图 8 目标形状对方向关系判断的影响

(a) B 在 A 的北方向; (b) B 在 A 的北方向; (c) B 在 A 的北和东北方向

Fig 8 Effect of shape of spatial objects on describing direction relations

(a) B lies in the north of A; (b) B lies in the north of A; (c) B lies in the north and northeast of A

6.2 模型实现

表 1 列出了 8 种类型的两目标间的空间方向关系。下面选取两类有代表性的类型 (即点与线、线与线) 来说明实现本文提出演算模型的步骤。

6.2.1 点与线的空间方向关系计算

首先, 利用式 (1) 计算出点 A 与折线 B 上每个顶点 (如 B₁, B₂ 等) 的方位角。然后, 利用式 (2) 依次得出点与折线上所有线段的空间方向区间, 再根

据式 (3) 和 (4) 可得到点与折线的定量空间方向关系。最后, 利用空间方向的关系的定量-定性转换方法 (这里以八主方向关系为例) 和权重计算式 (10), 计算得出点与折线的定性空间方向关系。

6.2.2 线与线的空间方向关系计算

设 A 为参考目标, B 为源目标。首先计算线 A 与线 B 上每个顶点 (如 B₁, B₂ 等) 的空间方向, 分别为一方向区间。然后利用式 (8) 或 (9) 计算这些方向区间的并集 (A 与 B 的空间方向关系)。其中, 在

表 1 空间方向关系的定量计算和定性描述

Table 1 Quantitative and qualitative representation for spatial direction relations

类型	参考目标	源目标	示意图	定量计算和定性描述
点与线	A(1000 5, 200 7)	B ₁ (212 4, 803 4) B ₂ (890 5, 850 6) B ₃ (978 2, 800 9) B ₄ (930 1, 1000 5) B ₅ (1232 5, 1023 3) B ₆ (1543 6, 847 9)		1. 定量方向区间为: [307.4, 360.0) ∪ [0, 40.0] 2. 定性描述: 方向区间的 32.5% 为西北, 48.6% 为正北, 18.9% 为东北。
点与面	A(150 4, 200 7)	B ₁ (514 3, 197 6) B ₂ (764 2, 312 5) B ₃ (624 9, 417 6) B ₄ (803 5, 542 6) B ₅ (411 5, 532 7) B ₆ (410 7, 305 7)		1. 定量方向区间为: [38 2, 90 5] 2. 定性描述: 方向区间的 56.0% 为东北, 44.0% 为正东。
线与点	B ₁ (212 4, 803 4) B ₂ (890 5, 850 6) B ₃ (978 2, 800 9) B ₄ (930 1, 1000 5) B ₅ (1232 5, 1023 3) B ₆ (1543 6, 847 9)	A(1000 5, 200 7)		1. 定量方向区间为: [127. 4, 220 0] 2. 定性描述: 方向区间的 32.5% 为东南, 48.6% 为正南, 18.9% 为西南。
线与线	A ₁ (815 3, 325 6) A ₂ (1053 2, 340 7) A ₃ (1172 5, 405 7) A ₄ (1147 6, 215 7)	B ₁ (325 6, 512 9) B ₂ (612 4, 410 6) B ₃ (825 7, 451 4) B ₄ (415 6, 500 7) B ₅ (1037 8, 529 1)		1. 定量方向区间为: [270 5, 360 0) ∪ [0, 47 6] 2. 定性描述: 方向区间的 16.1% 为正西, 32.8% 为西北, 32.8% 为正北, 18.3% 为东北。
线与面	A ₁ (212 3, 1015 4) A ₂ (457 6, 654 9) A ₃ (167 3, 654 9) A ₄ (601 7, 372 1)	B ₁ (573 6, 1123 7) B ₂ (1053 7, 513 2) B ₃ (1231 9, 851 1) B ₄ (1017 2, 1123 7) B ₅ (917 3, 872 3)		1. 定量方向区间为: [357. 2, 360 0) ∪ [0, 120 8] 2. 定性描述: 方向区间的 20.5% 为正北, 36.4% 为东北, 36.4% 为正东, 6.7% 为东南。
面与点	B ₁ (514 3, 197 6) B ₂ (764 2, 312 5) B ₃ (624 9, 417 6) B ₄ (803 5, 542 6) B ₅ (411 5, 532 7) B ₆ (410 7, 305 7)	A(150 4, 200 7)		1. 定量方向区间为: [218 2, 270 5] 2. 定性描述: 方向区间的 56.0% 为西南, 44.0% 为正西。
面与线	B ₁ (573 6, 1123 7) B ₂ (1053 7, 513 2) B ₃ (1231 9, 851 1) B ₄ (1017 2, 1123 7) B ₅ (917 3, 872 3)	A ₁ (212 3, 1015 4) A ₂ (457 6, 654 9) A ₃ (167 3, 654 9) A ₄ (601 7, 372 1)		1. 定量方向区间为: [177. 2, 300 8] 2. 定性描述: 方向区间的 20.5% 为正南, 36.4% 为西南, 36.4% 为正西, 6.7% 为西北。
面与面	A ₁ (410 7, 359 6) A ₂ (857 6, 578 4) A ₃ (778 1, 892 5) A ₄ (659 4, 685 6) A ₅ (234 5, 684 7)	B ₁ (1578 4, 278 6) B ₂ (2154 6, 265 7) B ₃ (2657 3, 534 7) B ₄ (2154 6, 873 4)		1. 定量方向区间为: [73 6, 127 5] 2. 定性描述: 方向区间的 72.2% 为正东, 27.8% 为东南。

计算线 A 与 B 上某个顶点 B_i 的空间方向时, 需要利用式 (1) 和 (6) 计算出 A 上所有线段与 B_i 的空间方向, 并计算它们的并集 (线 A 与 B_i 的空间方向)。

在表 1 的计算中, 把对偶类型 (例如点与线的类型和线与点的类型) 中的坐标值设为完全一样, 主要是为了验证本文模型的结果所体现的空间方向的一种特性。例如, 点与面的空间方向关系定量区间为 $[38.2^\circ, 90.5^\circ]$, 进而定性描述为“方向区间的 56.0% 为东北, 44.0% 为正东”, 而它的对偶类型面与点的空间方向关系定量区间为 $[218.2^\circ, 270.5^\circ]$, 定性描述为“方向区间的 56.0% 为西南, 44.0% 为正西”。不难发现, 两类型目标的空间方向关系满足空间方向具有的反射性。

7 结 论

(1) 空间目标间的空间方向关系由参考目标和源目标的空间分布唯一确定。当空间目标连续分布时, 空间方向关系定量计算结果也必须是连续的, 其大小取决于两空间目标的相互可视范围。

(2) 演算模型对目标间的距离和目标本身的形状具有较强的敏感性, 它对空间方向关系的分辨率优于或与现存的其他模型相当。

(3) 空间方向关系具有反射性, 即根据目标 A 与 B 的空间方向关系 $Dir(A, B)$ 可推求目标 B 与 A 的空间方向关系 $Dir(B, A)$ 。这种特性为空间方向关系应用于 GIS 空间查询、分析和推理提供了便捷。

参 考 文 献 (References)

- [1] Frank A. Qualitative Spatial Reasoning: Cardinal Directions as an Example [J]. *International Journal of Geographic Information Systems* 1996, **10**(3): 269—290.
- [2] Bruns T, Egenhofer M. Similarity of Spatial Scenes [A]. Kraak M J and Molenaar M. *The 7th International Symposium on Spatial Data Handling* [C]. Delft: The Netherlands, 1996.
- [3] Chang S K, Jungert E. Symbolic Projection for Image Information

- Retrieval and Spatial Reasoning [M]. Academic Press: London, 1996.
- [4] Haar R. Computational Models of Spatial Relations [R]. Technical Report TR-478, MSC-72-03610, Computer Science University of Maryland, College Park, MD, 1976.
- [5] Pequet D, Zhan C X. An Algorithm to Determine the Directional Relationship between Arbitrary-Shape Polygons in the Plane [J]. *Pattern Recognition* 1987, **20**(1): 65—74.
- [6] Papadias D, Theodoridis Y, Sellis T. The Retrieval of Direction Relations using R-Trees [A]. Karagiannis D. *Database and Expert Systems Applications* [C]. *The 5th International Conference DEXA '94, Athens, Greece, Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag: New York, 1994, **856**: 173—182.
- [7] Mukerjee A, Joe G. A Qualitative Model for Space [A]. *Proceedings 8th National Conference on Artificial Intelligence* [C]. Boston, MA, 1990.
- [8] Goyal R K. Similarity Assessment for Cardinal Directions between Extended Spatial Objects [D]. Ph.D. Thesis, University of Maine, Orono, ME, 2000.
- [9] Yan H W. Research on Formal Description Model of Spatial Direction Relations [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica* 2003, **32**(1): 42—46 [闫浩文. 空间方向关系形式化描述模型研究 [J]. *测绘学报*, 2003, **32**(1): 42—46]
- [10] Yan H W. Concept Computation and Formal Description Model of Spatial Direction Relations [D]. Ph.D. Thesis, Wuhan: Wuhan University, 2002 [闫浩文. 空间方向关系的概念、计算和形式化描述模型研究 [D]. 博士学位论文, 武汉: 武汉大学, 2002]
- [11] Dutta S. Qualitative Spatial Reasoning: A Semi-qualitative Approach Using Fuzzy Logic [A]. In: *Proceedings of the 1st Symposium on the Design and Implementation of Large Databases (SSD)* [C]. *Lecture Notes in Computer Science* 409, Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- [12] Papadias D, Karacapilidis N, Arkoumanis D. Processing Fuzzy Spatial Queries: A Configuration Similarity Approach [J]. *International Journal of Geographic Information Sciences* 1999, **13**(2): 93—118.
- [13] AbdeInoty A, I Williams M H. Approaches to the Representation of Qualitative Spatial Relationship for Geographic Database [A]. *Proceedings of Advanced Geographic Data Modelling* [C]. Molenaar M, Hoop S de. *Netherlands Geodetic Commission* 1994, **40**: 204—216.