

线面目标自然语言空间关系集成表达 与描述方法研究

黄雪萍¹ 邓 敏¹ 吴 静¹ 马杭英¹

(1 中南大学测绘与国土信息工程系,长沙市麓山南路 932 号,410083)

摘 要:提出了一种基于自然语言的线/面目标空间关系集成表达方法。首先,将线目标进行细化分解得到 n 个特征点和 $n-1$ 条特征线,根据自然语言的描述习惯分别针对每个特征点和特征线建立线与面目标之间的空间关系,然后按照自然语言以线目标的走向为顺序对线面间空间关系进行描述的规则,对拓扑、方向、度量关系进行集成描述。实验验证了本文方法的可行性。

关键词:自然语言空间关系;图形空间关系;拓扑关系;方向关系;度量关系

中图法分类号:P208

空间关系是描述空间目标间相对位置的空间信息。在空间关系的研究中,建立了许多模型,但这些描述模型难以从自然语言描述的角度对空间关系进行有效区分。例如,若采用 4 交模型来描述空间实体 R 和 L 之间的拓扑关系,则图 1(a)和图 1(b)具有相同的拓扑关系,但是从自然语言的角度出发,则可将两者的拓扑关系分别描述为“ L 进入 R ”和“ L 与 R 内相接”。关于这个问题,目前已有一些解决方法^[1-14]。因此,本文基于分解-组合^[7-14]的思想,提出了一种基于自然语言的线/面目标空间关系集成表达与描述方法。

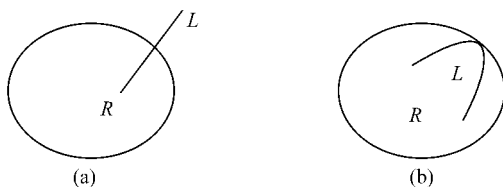


图 1 4 交模型难以区分的两种空间关系

Fig. 1 Two Spatial Relations Not Being Differentiated by 4-intersection Model

1 线与面目标间空间关系细分方法

理论上,一条线目标和一个面目标之间的拓扑关系可以有无穷多种。由文献^[4,15]可知,复

合关系可以视为由多个基本关系组成;另外,基于本体的语义特征,线与面目标空间关系本身隐含着主动者/从动者的关系,一般认为线是主动者。因此,本文以面目标为参照,基于分解-组合的思想将线目标分解为 n 个特征点和 $n-1$ 条特征线,其中 n 个特征点和 $n-1$ 条线组成的集合分别记为 $PS(p_0, p_1, \dots, p_{n-1})$ 和 $LS(l_0, l_1, \dots, l_{n-2})$ 。

特征点集 PS 和特征线集 LS 的建立步骤为:① 将线目标的一个端点记为 p_0 并加入到点集 PS 中;② 以 p_0 为起点沿线目标行进方向进行跟踪,将线与面边界的交点分别记为 p_1, p_2, \dots, p_m , 并依次加入到点集 PS 中;③ p_i 和 p_{i+1} 之间的特征线记为 l_i , 如果 $l_{i-1} \subset \partial R \wedge l_i \subset \partial R$, 则从 PS 中去掉 p_i 并将 p_{i+1}, \dots, p_m 的下标分别减 1。依次对特征点 p_1 到 p_m 进行判断;④ 记 $n = m + 2$, 将线目标的另一个端点记为 p_{n-1} 并加入到点集 PS 中;⑤ 依次将 l_0, l_1, \dots, l_{n-2} 加入到 LS 中。

从特征点集与特征线集的建立步骤可知,线目标经过分解后由 n 个特征点和 $n-1$ 条特征线组成,其中特征线不包含两个端点,是开集。图 2 为一个复杂线面目标之间空间关系中线目标的分解示例。

建立特征点集 PS 时,特征点 p_0 的选取应视实际情况而定。若线目标表示河流,则将河流的

收稿日期:2012-11-30。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(40871180);数字制图与国土信息应用工程国家测绘地理信息局重点实验室开放研究基金资助项目(GCWD200904)。

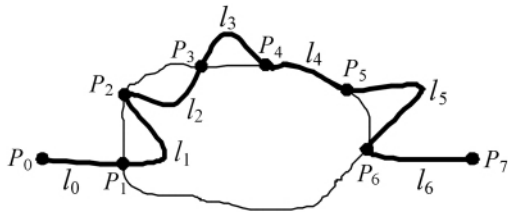


图 2 线面复合关系中线目标分解

Fig. 2 Decomposition of a Linear Object in Line-region Complex Relations

源头记为 p_0 ;若线目标表示单行道,则单行道终止的地方记为 p_{n-1} ,另一端记为 p_0 。

2 基于自然语言的线面目标空间关系表达方法

2.1 拓扑关系的表达

设线目标分解后共有 n 个特征点,则线目标被划分为 $n-1$ 条特征线。特征点中 p_0 和 p_{n-1} 与面目标之间可能存在三种拓扑关系,分别为“相离”、“边界上”和“包含”,其他的特征点均在面目标边界上。在自然语言空间关系中,特征点对线面目标拓扑关系的描述起着关键作用,如“道路从公园北边进入公园,前行 100 m 后终止于公园边”中拓扑谓词“进入”和“终止于”分别发生在道路与公园边界的交点和道路的一个端点处。因此,描述线面目标间的空间关系时,对特征点处拓扑谓词的判断也是必要的。设面目标 R 的外部、内部、边界分别用符号 R^- 、 R^o 、 ∂R 表示,根据特征点的类型可以得到如下两种描述规则:

1) 线目标两个端点(即起点和终点)的描述规则:

规则 1 $p_0 \in R^- \Rightarrow L$ 起始于 R 外 $\wedge p_0 \in R^o \Rightarrow L$ 起始于 R 内部 $\wedge p_0 \in \partial R \Rightarrow L$ 起始于 R 边界

规则 2 $p_{n-1} \in R^- \Rightarrow L$ 终止于 R 外 $\wedge p_{n-1} \in R^o \Rightarrow L$ 终止于 R 内部 $\wedge p_{n-1} \in \partial R \Rightarrow L$ 终止于 R 边界

2) 线与面边界交点的描述规则:

规则 3 $l_i \subset R^- \wedge l_{i+1} \subset R^o$ 或 $l_i \subset \partial R \wedge l_{i+1} \subset R^o \Rightarrow L$ 在 p_{i+1} 点进入 R

规则 4 $l_i \subset R^o \wedge l_{i+1} \subset R^-$ 或 $l_i \subset \partial R \wedge l_{i+1} \subset R^- \Rightarrow L$ 在 p_{i+1} 点从 R 出去

规则 5 $l_i \subset R^o \wedge l_{i+1} \subset R^o \Rightarrow L$ 在 p_{i+1} 点处与 R 内相接

规则 6 $l_i \subset R^- \wedge l_{i+1} \subset R^- \Rightarrow L$ 在 p_{i+1} 点处与 R 外相接

规则 7 $l_{i+1} \subset \partial R \Rightarrow L$ 在 p_{i+1} 点开始沿着 R 行进

建立规则后,对线与面边界交点的描述规则进行完备性分析。容易发现,线目标与面目标在特征点 p_{i+1} 处的拓扑关系如何描述取决于特征线 l_i 和 l_{i+1} 与面目标之间的位置关系。两条特征线与面目标之间的位置关系共有 6 种,如图 3 所示。而两条特征线被记为 l_i 和 l_{i+1} 后,它们的位置对 p_{i+1} 处的拓扑关系描述是有影响的。因此,需要考虑 l_i 和 l_{i+1} 的排序问题, l_i 和 l_{i+1} 与面目标间的位置关系共有 $6 \times 2 = 12$ 种。显然, l_i 和 l_{i+1} 与面目标之间的位置关系均为“边界上”的情况不存在,即图 3(d)所示的情况不存在;另外,若它们与面目标的位置关系均为“包含”或“相离”,则描述规则与 l_i 和 l_{i+1} 排序无关,故 l_i 和 l_{i+1} 与面目标间的有效位置关系共有 $12 - 2 - 1 - 1 = 8$ 种。规则 3~7 共描述了 8 种线与面边界交点的情况。由此可见,线与面边界交点的描述规则是完备的。

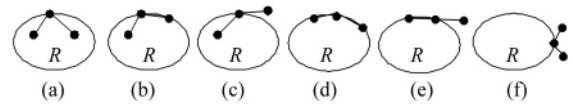


图 3 线与面目标间的位置关系

Fig. 3 Position Relationships Between Linear and Areal Objects

显然,特征线 l_i 与面目标边界没有交点,故局部拓扑关系中只有“包含”、“相离”、“边界上”三种拓扑关系。其判断规则如下:

规则 8 $l_i \cap R^o = l_i$ 即 $l_i \subset R^o \Rightarrow$ 包含(内)

规则 9 $l_i \cap R^- = l_i$ 即 $l_i \subset R^- \Rightarrow$ 相离(外)

规则 10 $l_i \cap \partial R = l_i$ 即 $l_i \subset \partial R \Rightarrow$ 边界上

记特征点 p_i 与 R 的拓扑关系为 $\text{top}(p_i)$,特征线 l_i 与 R 的拓扑关系为 $\text{top}(R, l_i)$,则线目标 L 和面目标 R 之间的拓扑关系可以表达为一个长度为 $2n-1$ 的一维向量,即

$$\text{Top}(R, L) = (\text{top}(p_0), \text{top}(R, l_0), \text{top}(p_1), \text{top}(R, l_1), \dots, \text{top}(R, l_{n-2}), \text{top}(p_{n-1})) \quad (1)$$

2.2 方向关系的表达

线面目标之间的方向关系只与特征点相对于面目标的方向有关,因此,在线面方向关系的描述中主要是考虑特征点 p_0, p_1, \dots, p_{n-1} 与 R 的方向关系。记特征点 p_i 与 R 的方向关系为 $\text{dir}(R, p_i)$,则线目标 L 和面目标 R 之间的方向关系可以表达为

$$\text{Dir}(R, L) = (\text{dir}(R, p_0), \text{dir}(R, p_1), \dots, \text{dir}(R, p_{n-1})) \quad (2)$$

其中,特征点 p_i 相对于面目标 R 的方向关系可以根据杜世宏等提出的细节方向关系进行判断^[16]。

2.3 度量关系的表达

在自然语言空间关系中,线面目标自然语言的度量关系通常是对目标部分或整体的大小进行度量。因此,若要计算“线位于面内的长度”等问题,则考虑特征线 l_0, l_1, \dots, l_{n-2} 的长度,记 l_i 的长度为 $\text{len}(l_i)$ 。若要计算面目标被划分为多少块以及每块的面积,首先考虑面目标被划分的块数。记总块数为 m ,计算步骤为:① 设 m 的初始值为 1,依次对特征线 l_1, l_2, \dots, l_{n-3} 进行判断,若 $l_i \subset R^\circ$,则将 m 值加 1,并将 l_i 与位于 p_i 和 p_{i+1} 之间的面目标边界(p_i 和 p_{i+1} 可以将面目标边界划分为两个部分,这里指不含其他特征点的那部分)组成的区域记为 IA_i ;② 若 $p_0 \in \partial R$ 且 $l_0 \subset R^\circ$,则将 m 值加 1,并将 l_0 与位于 p_0 和 p_1 之间的面目标边界组成的区域记为 IA_0 ;③ 若 $l_{n-2} \subset R^\circ$ 且 $p_{n-1} \in \partial R$,则将 m 的值加 1,并将 l_{n-2} 与位于 p_{n-2} 和 p_{n-1} 之间的面目标边界组成区域记为 IA_{n-2} ;④ 将面目标被划分的所有区域中未被标志的一

块记为 IA ,如图 4 所示。进而考虑每块的面积,区域 IA_i 的面积记为 $\text{area}(IA_i)$ 。

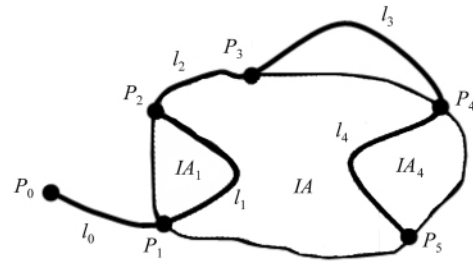


图 4 面目标内部被线目标划分

Fig. 4 Region's Interior Split by a Line

若需要进一步精确线面之间的关系,可以增加计算组成区域 IA_i 的特征线 l_i 与面边界的最大距离、 p_i 和 p_{i+1} 之间的面目标边界的长度、面目标边界被划分多少部分以及每部分的长度等要素,也可以计算特征线 l_i 与面边界组成的区域中有多少块位于面目标外部(计算步骤与上述类似,这里不再赘述)以及每块的面积等。因此,线目标 L 和面目标 R 之间的度量关系可以表达为:

$$Met(R, L) = \begin{bmatrix} \text{len}(l_0) & \text{len}(l_1) & \dots & \text{len}(l_{n-2}) & 0 \\ \text{area}(IA_0) & \text{area}(IA_1) & \dots & \text{area}(IA_{n-2}) & \text{area}(IA) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (3)$$

若 IA_j 未被标记,则式(3)中 $\text{area}(IA_j) = 0$ 。在实际应用中应根据具体情况选择需要计算的变量,若仅考虑特征线 l_0, l_1, \dots, l_{n-2} 的长度,则式(3)可以简化为一个一维向量:

$$Met(R, L) = (\text{len}(l_0), \text{len}(l_1), \dots, \text{len}(l_{n-2})) \quad (4)$$

$$SR(R, L) = \begin{bmatrix} \text{top}(p_0) & \text{top}(R, l_0) & \text{top}(p_1) & \text{top}(R, l_1) & \dots & \text{top}(R, l_{n-2}) & \text{top}(p_{n-1}) \\ \text{dir}(R, p_0) & 0 & \text{dir}(R, p_1) & 0 & \dots & 0 & \text{dir}(R, p_{n-1}) \\ 0 & \text{len}(l_0) & 0 & \text{len}(l_1) & \dots & \text{len}(l_{n-2}) & 0 \\ 0 & \text{area}(IA_0) & 0 & \text{area}(IA_1) & \dots & \text{area}(IA_{n-2}) & \text{area}(IA) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, m 视实际情况而定,若度量关系中需要度量的信息仅为特征线 l_i 的长度,则 $m=3$;若度量关系中需要考虑特征线 l_i 的长度以及面目标被划

2.4 拓扑、方向和度量关系的集成表达

设线目标 L 和面目标 R 之间的空间关系为 $SR(R, L)$,通过对拓扑关系及方向关系、度量关系表达方法的探讨,线面目标之间的拓扑关系、方向关系、度量关系可以用一个 $m \times (2n-1)$ 的矩阵进行集成表达:

分的块数和每块面积,则 $m=4$;依次类推。另外,线面目标间的空间关系也可以集成表达为一个表格形式,如表 1 所示。

表 1 线面目标空间关系集成表达

Tab. 1 Integrated Representation of Line-region Spatial Relations

特征点/线段	p_0	l_0	p_1	l_1	.....	l_{n-2}	p_{n-1}
拓扑关系	$\text{top}(p_0)$	$\text{top}(R, l_0)$	$\text{top}(p_1)$	$\text{top}(R, l_1)$	.....	$\text{top}(R, l_{n-2})$	$\text{top}(p_{n-1})$
方向关系	$\text{dir}(R, p_0)$		$\text{dir}(R, p_1)$		.....		$\text{dir}(R, p_{n-1})$
度量关系		$\text{len}(l_0)$		$\text{len}(l_1)$	.....	$\text{len}(l_{n-2})$	
		$\text{area}(IA_0)$		$\text{area}(IA_1)$	.....	$\text{area}(IA_{n-2})$	$\text{area}(IA)$
		

3 实验分析

为了验证本文方法的可行性,利用 ArcEngine+C# 来实现线与面目标间空间关系的集成描述。实验运行界面如图 5(a)所示,包含“空间关系表达”和“空间关系描述”两个功能,点击“空间关系表达”按钮得到空间关系信息的计算结果,如图 5(b)所示。点击“空间关系描述”按钮可以得到图形空间关系的自然语言描述,如图 5(c)所示。

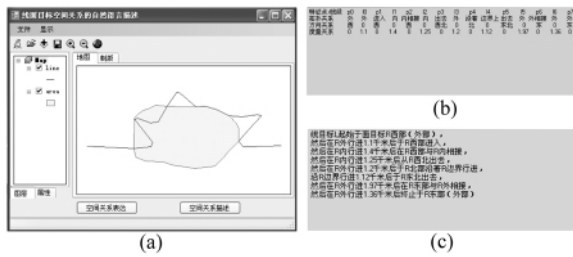


图 5 线面目标自然语言空间关系描述

Fig. 5 Description of Line-region Natural Language Spatial Relations

通过线面目标空间关系信息集成表达和自然语言描述语句的比较分析可以发现,线面目标自然语言空间关系的描述具有以下规则:① 特征点处方向谓词位于拓扑谓词之前;② 特征线 l_i 处拓扑谓词位于度量参数(长度、面积等信息)前面;③ 若沿 p_0 到 p_{n-1} 的方向进行描述,则直接按照图 5(b)所显示的信息依次提取进行描述即可;若沿 p_{n-1} 到 p_0 的方向进行描述,则需要对集成的信息进行处理后再进行信息提取。其中,规则①和②表示各种空间信息(谓词)的提取顺序,规则③表示自然语言描述方向的影响。

由于方向关系和度量关系不会随着自然语言描述方向的不同而变化,因此在信息处理中仅需对拓扑关系进行修改,规则③中信息处理方法为:① 依次遍历 $top(p_i)$,若 $top(p_i) \equiv$ 进入,则 $top(p_i) =$ 出去;若 $top(p_i) \equiv$ 出去,则 $top(p_i) =$ 进入;② 再次遍历 $top(p_i)$,若 $top(p_i) \equiv$ 沿着,且 $top(R, l_{i-1}) \equiv$ 外,则 $top(p_i) =$ 出去, $top(p_{i+1}) =$ 沿着;若 $top(p_i) \equiv$ 沿着,且 $top(R, l_{i-1}) \equiv$ 内,则 $top(p_i) =$ 进入, $top(p_{i+1}) =$ 沿着。其中,“ \equiv ”表示等值操作符,“ $=$ ”表示赋值操作符。

4 结语

本文基于分解-组合的思想,从自然语言空间

关系的角度对线与面目标间的空间信息进行了集成表达,并在此基础上探讨了如何对线与面目标间的空间关系进行自然语言描述。通过实例分析发现,应用本文方法对线与面目标空间关系进行集成表达后得到的信息可以方便地与自然语言进行转化,本文方法是自然语言空间关系与图形空间关系间一种行之有效的转换方法。需要指出的是,在自然语言描述规则中,本文仅探讨了各种空间谓词之间的描述顺序,而自然语言语句中必须包含一些介词和连词等才能连词成句。因此,还需要对自然语言描述语句中常用的介词、连词、介词短语等进行分类总结,探讨它们是如何与各种空间谓词进行连词成句的。另外,本文对线与面空间信息的集成表达也可以应用到空间查询、空间推理、路径导航等领域,只需根据不同应用所需的信息量探讨度量关系中需要纳入的一些相关信息。

参 考 文 献

[1] Egenhofer M J, Franzosa R. On the Equivalence of Topological Relations[J]. International Journal of Geographic Information Systems, 1995, 9(2): 133-152

[2] Clementini E, Di F P. Topological Invariants for Lines[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1998, 10(1): 38-54

[3] 邓敏,李志林,李永礼. GIS 线目标间拓扑关系描述的层次方法[J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 311-317

[4] 邓敏,马杭英. 线与面目标间拓扑关系的层次表达方法[J]. 测绘学报, 2008, 37(4): 507-513

[5] 邓敏,冯学智,陈晓勇. 面目标间拓扑关系形式化描述的层次模型[J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 142-147

[6] Egenhofer M J. Query Processing in Spatial-Query-by-Sketch[J]. Journal of Visual Languages and Computing, 1997, 8(4): 403-424

[7] Egenhofer M J, Shariff R. Metric Details for Natural-Language Spatial Relations[J]. ACM Transactions on Information Systems, 1998, 6(4): 295-321

[8] Xu J. Formalizing Natural-Language Spatial Relations Between Linear Objects with Topological and Metric Properties[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2007, 21(4): 377-395

[9] 杜世宏,王桥,杨一鹏. 一种定性细节方向关系的表达模型[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(12): 1496-1503

[10] Du Shihong, Wang Qiao, Qin Qiming. Definitions

- of Natural-Language Spatial Relations: Combining Topology and Directions[J]. *Geo-Spatial Information Science*, 2006, 9(1): 58-67
- [11] Nedas K, Egenhofer M. Splitting Ratios: Metric Details of Topological Line-Line Relations[C]. *The 17th International FLAIRS Conference*, Miami Beach, FL, 2004
- [12] Liu Wanzeng, Chen Jun, Zhao Renliang, et al. A Refined Line-Line Spatial Relationship Model for Spatial Conflict Detection[J]. *Perspectives in Longitudinal Model*, 2005, 3: 770-239-248
- [13] 邓敏, 李志林, 祁华斌. GIS线目标间空间关系的集成表达方法[J]. *测绘学报*, 2007, 36(4): 421-427
- [14] 邓敏, 徐锐, 李光强, 等. GIS面目标空间关系集成表达方法研究[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(2): 39-43
- [15] 杜清运. 空间信息的语言学特征及其自动理解机制研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2001
- [16] 杜世宏, 王桥, 李治红. GIS中自然语言空间关系定义[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2005, 30(6): 533-538
-
- 第一作者简介: 黄雪萍, 硕士生, 研究方向为自然语言空间关系及空间智能查询。
E-mail: znhxp2009@126.com

Integrated Representation and Description of Natural-language Spatial Relations Between a Line and an Area

HUANG Xueping¹ DENG Min¹ WU Jing¹ MA Hangying¹

(1 Department of Surveying and Geo-informatics, Central South University, 932 South Lushan Road, Changsha 410083, China)

Abstract: It is difficult to express and distinguish complex location relationship information of two spatial objects through single topological relations, directional relations and distance relations. Using natural language as the description tool, the positional description of a line and an area is studied. We propose an integrated representation method of natural-language spatial relations between a line and an area according to the decomposition-combination measure. Firstly, n characteristic points and $n-1$ characteristic lines would be obtained from refining and decomposing the linear object, whose spatial relations with the areal objects could be built by contraposing each of the characteristic points and lines according to the descriptive habits of natural-language. Secondly, we integrate the description of the topological relations, directional relations and distance relations according to the rules of the describing of natural-language spatial relations between lines and regions in the sequence of the directions of the lineal object. Finally, comprehensive experiments are performed to demonstrate the feasibility and efficiency of the transformation between graphic spatial relations and natural-language spatial relations.

Key words: natural-language spatial relations; graphic spatial relations; topological relations; directional relations; metric relations

About the first author: HUANG Xueping, postgraduate, majors in natural language spatial relations and spatial intelligence query.

E-mail: znhxp2009@126.com