

一种量化表达的空间关系模型

金 标¹ 胡文龙^{2,3}

(1 国家保密科技测评中心,北京市海淀区交大东路甲 56 号,100044)

(2 中国科学院电子学研究所,北京市北四环西路 19 号,100190)

(3 中国科学院空间信息处理与应用系统技术重点实验室,北京市海淀区中关村北一条 9 号,100190)

摘 要:目前已有的空间关系模型(拓扑关系、方向关系以及度量关系)基本上是相对独立的,同时这些模型(度量关系除外)主要是定性的形式化描述,其表达精度还有待提高,因此有必要研究量化的、组合表达的空间关系模型。提出了一种量化表达的空间关系直方图模型,它能同时表征两个面目标之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系,并可以量化地分类(概率表征)空间关系类型。实验结果验证了该模型的有效性。

关键词:空间关系直方图;拓扑关系;方向关系;度量关系

中图法分类号:P208

空间关系作为地理信息系统、空间推理、计算机视觉、图像理解等领域中重要的研究主题,越来越受到相关领域研究者的重视。空间关系建模的主要目的是建立空间对象与空间关系之间的映射,通过该映射,任意空间对象间的空间关系都可以用一个词语或句子来描述。空间关系的主要描述方法有点集拓扑法^[1]、区域连接理论^[2]、2D-String 串^[3]、Voronoi 图模型^[4-6]、最小外接矩形模型^[7]和广义交模型^[8]等。对空间关系的研究主要包括拓扑关系^[9-10]、方向关系^[11]和度量关系^[12-13],其中度量关系属于定量关系,拓扑关系与方向关系属于定性关系。然而,已有的空间关系建模方法大部分是相对独立的,同时这些模型(度量关系除外)主要是定性的形式化描述,单纯使用这些独立模型来表示空间对象的空间关系、开展空间分析查询等操作的精度还有待提高。因此,空间关系组合模型的研究也逐渐受到广大学者的关注^[13]。

如何建立量化的、组合表达的空间关系模型是本文研究的重点。本文提出了一种空间关系直方图模型,可同时表征两个面目标之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系,并可以量化地分类(概率表征)空间关系类型。

1 空间关系直方图表达模型

空间关系直方图模型是一种量化的表达模型,能同时表征目标对象与参考对象之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系。根据计算过程中所采用目标点的不同,本文提出两种计算方法。

1.1 基于目标边界点的计算模型

记参考对象为 R ,目标对象为 A ,分别采用两个对象的边界点建立空间关系模型。如图 1(a)所示,对于 R 的任意边界点 x 与 A 的任意边界点 y ,求取 \vec{xy} 与 x 轴的夹角 $\theta(x, y)$,其取值范围为 $[-\pi, \pi]$ 。针对点对 (x, y) 定义一种标识距离 $LD(x, y) = (d(x, y), l(x, y))$, $d(x, y)$ 为点对之间的欧氏距离, $l(x, y)$ 为相互关系标识,反映了两个对象与两个点之间的包含关系,其取值如表 1 所示。

表 1 $l(x, y)$ 的取值情况

Tab. 1 Labels in $l(x, y)$

x 是否在 A 内	y 是否在 R 内	$l(x, y)$
否	否	0
否	是	1
是	否	2
是	是	3

定义空间关系直方图 $H(i, j, k)$ 如下:

收稿日期:2013-04-19。

项目来源:国家 973 计划资助项目(2010CB327900);国家自然科学基金资助项目(61001176)。

$$H(i, j, k) = \begin{cases} H(i, j, k) + 1, \theta(x, y) \in A_i, \\ d(x, y) \in D_j \text{ and } l(x, y) = k \\ H(i, j, k), \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, A_i 为角度取值区间, bin 数为 n_A ; D_j 为欧氏距离取值区间, bin 数为 n_D ; $k \in \{0, 1, 2, 3\}$ 为相互关系标识。

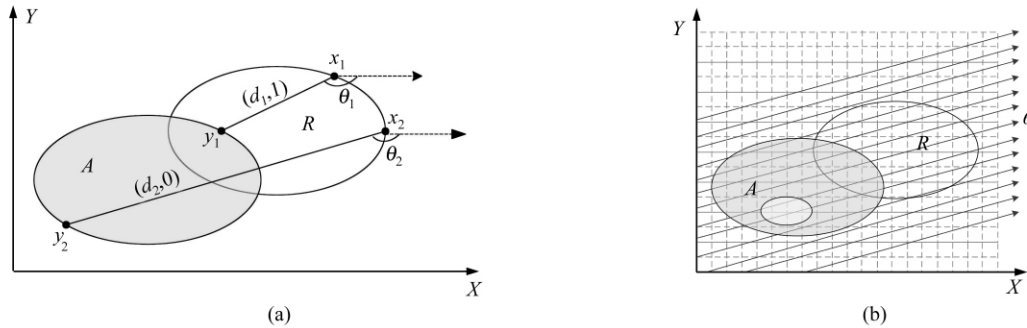


图1 目标对象 A 以及参考对象 R

Fig. 1 Interest Object A and Reference Object R

归一化空间关系直方图如下:

$$h(i, j, k) = \frac{H(i, j, k)}{\sum_{i'=1}^{n_A} \sum_{j'=1}^{n_D} \sum_{k'=0}^3 H(i', j', k')} \quad (2)$$

$$H_{l_\theta}(j, k) = \begin{cases} H_{l_\theta}(j, k) + 1, d(x, y) \in D_j \\ \text{and } l(x, y) = k \\ H_{l_\theta}(j, k), \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

采用以上方法计算图 1(a) 中 A 与 R 之间的空间关系直方图, 结果如图 2(a) 所示, 第一象限 (Label 0) 表征 A 在 R 外部的边界部分与 R 在 A 外部的边界部分的空间关系特性; 第二象限 (Label 1) 表征 A 在 R 内部的边界部分与 R 在 A 外部的边界部分的空间关系特性; 第三象限 (Label 2) 表征 A 在 R 外部的边界部分与 R 在 A 内部的边界部分的空间关系特性; 第四象限 (Label 3) 表征 A 在 R 内部的边界部分与 R 在 A 内部的边界部分的空间关系特性。以上 4 个象限反映了目标之间的拓扑关系 (包含与不包含); 角度坐标轴反映了目标之间的方向关系 (上、下、左、右); 距离坐标轴反映了目标之间的距离关系 (远、近)。

其中, $1 \leq j \leq n_D$; D_j 为第 j 个距离区间; $k \in \{0, 1, 2, 3\}$ 。则 R 和 A 之间的空间关系直方图如下:

$$H_\theta(j, k) = \sum_{l_\theta \in L_\theta} H_{l_\theta}(j, k) \quad (4)$$

其中, $\theta \in \Theta$, Θ 为 $[-\pi, \pi]$ 上均匀分布的角度区间集。记 $H(i, j, k) = H_\theta(j, k)$, 归一化空间关系直方图如下:

$$h(i, j, k) = \frac{H(i, j, k)}{\sum_{i'=1}^{n_\theta} \sum_{j'=1}^{n_D} \sum_{k'=0}^3 H(i', j', k')} \quad (5)$$

其中, n_θ 为 Θ 元素的个数。

通过分析图 2(a) 可知, 空间关系直方图组合表达了目标之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系。

图 2(b) 为采用以上方法计算得到的图 1(b) 中参考对象 R 与目标对象 A 之间的空间关系直方图。同样, 通过分析图 2(b) 可知, 空间关系直方图可以有效地表征目标之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系。

1.2 基于目标区域点的计算模型

针对目标区域有空洞的情况, 本文提出了一种基于目标区域点的计算方法。

如图 1(b) 所示, 参考对象为 R, 目标对象为 A, 倾角为 θ , $\theta \in [-\pi, \pi]$, 其平行线 l_θ 的所有线集合记为 L_θ , 则所有线集合就包含了对象的所有点。采用 Bresenham 算法计算 $P_{l_\theta}(R)$ 和 $P_{l_\theta}(A)$, 分别表示 R 和 A 在 l_θ 上的点集, 设点 $x \in P_{l_\theta}(R)$, 点 $y \in P_{l_\theta}(A)$ 。 l_θ 上的直方图分量如下:

1.3 空间关系的分类

基于空间关系直方图, 采用角度坐标轴上的区间段 $[0, \pi]$ 、 $[-\pi, 0]$ 、 $[-\pi, -\pi/2]$ 和 $(\pi/2, \pi]$ 以及 $(-\pi/2, \pi/2]$ 所对应的直方图概率值之和分别作为 p_\uparrow 、 p_\downarrow 、 p_\leftarrow 和 p_\rightarrow , 即

$$p_\uparrow = \sum_{\{i: \theta \in [0, \pi]\}} h(i, j, k) \quad (6)$$

$$p_\downarrow = \sum_{\{i: \theta \in [-\pi, 0]\}} h(i, j, k) \quad (7)$$

$$p_\leftarrow = \sum_{\{i: \theta \in [-\pi, -\pi/2] \cup (\pi/2, \pi]\}} h(i, j, k) \quad (8)$$

$$p_\rightarrow = \sum_{\{i: \theta \in (-\pi/2, \pi/2]\}} h(i, j, k) \quad (9)$$

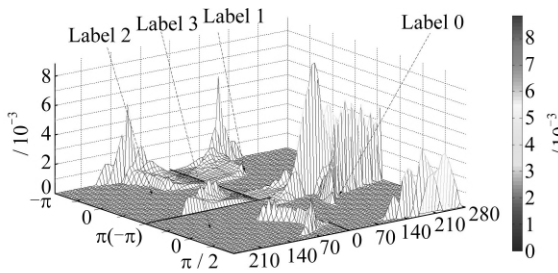
基于空间关系直方图,采用距离坐标轴上的区间段 $[\max(d)/2, \max(d)]$ 和 $[0, \max(d)/2]$ 对应的直方图概率值之和分别作为 $p_{远}$ 、 $p_{近}$,即

$$p_{远} = \sum_{\{j, d \in [\max(d)/2, \max(d)]\}} h(i, j, k) \quad (10)$$

$$p_{近} = \sum_{\{j, d \in [0, \max(d)/2]\}} h(i, j, k) \quad (11)$$

基于空间关系直方图,将第一象限(Label 0)和第四象限(Label 3)对应的直方图概率值归一化后分别作为 $p_{不包含}$ 与 $p_{包含}$,即

$$p_{不包含} = \frac{\sum_{k \in \{0\}} h(i, j, k)}{\sum_{k \in \{3\}} h(i, j, k) + \sum_{k \in \{0\}} h(i, j, k)} \quad (12)$$

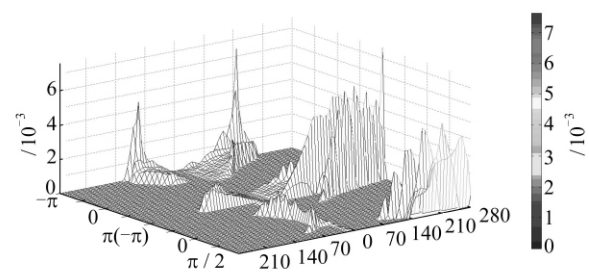


(a) 图 1(a)中两个目标之间的空间关系直方图

$$p_{包含} = \frac{\sum_{k \in \{3\}} h(i, j, k)}{\sum_{k \in \{3\}} h(i, j, k) + \sum_{k \in \{0\}} h(i, j, k)} \quad (13)$$

采用以上方法分析图 2,可得如下空间关系特征度量,即 $p_{上}=0.3, p_{下}=0.7, p_{左}=0.9, p_{右}=0.1, p_{包含}=0.2, p_{不包含}=0.8, p_{远}=0.1, p_{近}=0.9$,而且 $p_{上}+p_{下}=1, p_{左}+p_{右}=1, p_{包含}+p_{不包含}=1, p_{远}+p_{近}=1$ 。计算结果与实际观测结果是一致的。

通过分析空间关系直方图模型,并量化地分类(概率表征)空间关系类型:上、下、左、右、包含、不包含、远、近等,可见空间关系直方图可以量化地组合表征目标之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系。



(b) 图 1(b)中两个目标之间的空间关系直方图

图 2 图 1 中两个目标之间的空间关系直方图

Fig. 2 Histogram of the Spatial Relationship Between the Objects

2 实验结果与分析

为了进一步证实本文提出的空间关系直方图模型的有效性,采用基于目标边界点的方法计算插页 II 彩图 2 中 4 幅图中目标对象 A 与参考对象 R 之间的空间关系模型。通过分析计算 4 幅图中两个目标之间的直方图,可得如表 2 所示的空间关系特性。

综合以上分析结果和原图中目标之间的空间关系,可知空间关系直方图模型量化地组合表征了目标之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系。

表 2 空间关系特性分析

Tab. 2 Analysis of Spatial Relationships

	$p_{上}$	$p_{下}$	$p_{左}$	$p_{右}$	$p_{包含}$	$p_{不包含}$	$p_{远}$	$p_{近}$
插页 II 彩图 2(a)	0	1	1	0	0	1	0.85	0.15
插页 II 彩图 2(b)	0	1	0	1	0	1	0.85	0.15
插页 II 彩图 2(c)	1	0	0	1	0	1	0.85	0.15
插页 II 彩图 2(d)	1	0	1	0	0	1	0.85	0.15

3 结 语

针对空间关系模型相对独立以及定性描述可

能带来的表达精度低这一问题,本文提出了一种量化表达的空间关系模型——空间关系直方图模型,该模型可同时表征两个面目标之间的拓扑关系、方向关系以及度量关系。实验结果验证了该模型的有效性。但是,空间关系直方图的计算速度比较慢,在今后的工作中需要研究快速算法,并改进该模型,使其适用于任何两个目标之间的空间关系的计算。

参 考 文 献

[1] Egenhofer M J, Franzosa R D. Point-Set Topological Spatial Relations[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1991, 5(2): 161-174

[2] Cohn A G, Bennett B, Goodau J, et al. Qualitative Spatial Representation and Reasoning with the Region Connection Calculus [J]. GeoInformatica, 1997, 1(1): 1-44

[3] Chang S K, Jungert E, Li Y. Representation and Retrieval of Symbolic Pictures Using Generalized 2D Strings[R]. Technical Report, University of Pittsburgh, USA, 1989

[4] 陈军. Voronoi 动态空间数据模型[M]. 北京: 测绘出版社, 2002

- [5] 赵仁亮. 基于 Voronoi 图的 GIS 空间关系计算 [M]. 北京: 测绘出版社, 2006
- [6] Chen J, Li Chengming, Li Zhilin, et al. A Voronoi-based 9-Intersection Model for Spatial Relations[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2001, 15(3): 201-220
- [7] Papadias D, Egenhofer M J. Spatial Relation, Minimum Bounding Rectangles, and Spatial Data Structures[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1997, 11(2): 111-138
- [8] Abdelmoty A I, Ei-Geresy B A. A General Approach to the Representation of Spatial Relationships[R]. Technical Report, Department of Computer Studies, University of Glamorgan, 1995
- [9] 邓敏, 刘文宝, 冯学智. GIS 面目标间拓扑关系描述的形式化模型[J]. 测绘学报, 2005, 34(1): 85-90
- [10] 郭庆胜, 杜晓初, 刘浩. 空间拓扑关系定量描述与抽象方法研究[J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 123-128
- [11] 闫浩文, 郭仁忠. 用 Voronoi 图描述空间方向关系的理论依据[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(3): 306-310
- [12] Shariff A R B M, Egenhofer M J, Mark D M. Natural-language Spatial Relations Between Linear and Areal Objects: The Topology and Metric of English-language Terms[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(3): 215-246
- [13] Egenhofer M J, Shariff A R B M. Metric Details for Natural-language Spatial Relations [J]. ACM Transactions on Information Systems, 1998, 16(4): 295-321

第一作者简介: 金标, 博士, 主要研究方向为信息处理、信息安全等。

E-mail: loyierve@126.com

A Quantified Model for Spatial Relationships

JIN Biao¹ HU Wenlong^{2,3}

(1 National Secrecy Science and Technology Evaluation Center, A56 East Jiaoda Road, Haidian District, Beijing 100044, China)

(2 Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, 19 West Beisihuan Road, Beijing 100190, China)

(3 Key Laboratory of Technology in Geospatial Information Processing and Application System, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, 9 Beiyitiao Alley, Zhongguancun, Haidian District, Beijing 100190, China)

Abstract: Existing spatial relationship models (topological, directional and metric relations) are generally separated from each other. Furthermore, these models are qualitative descriptions, with low precision. Thus, it is necessary to develop quantified and integrated spatial relationship model. This paper proposes a histogram to represent spatial relationships, the topological, directional, and metric relations between objects, and can quantitatively classify these spatial relationships. Experimental results illustrate the validity of this model.

Key words: histogram of spatial relationships; topological relation; directional relation; metric relation

About the first author: JIN Biao, Ph. D. His major research interests include information processing, information security, etc.
E-mail: loyierve@126.com