

一种改进的锥形方向关系模型

王中辉¹ 闫浩文¹

¹ 兰州交通大学测绘与地理信息学院,甘肃 兰州,730070

摘要:根据 Gestalt 心理学的空间认知原理,提出了一种改进的锥形方向关系模型,其基本思想是:首先以参考目标的 MBR (minimum bounding rectangle) 的四条边界的中点作为起点,分别构建 N、S、W、E 等 4 个锥形方向区域;然后,利用锥形方向区域的边界、MBR 的边界及其延长线,对空间方向重新进行划分,从而得到改进的锥形模型。实验表明该模型能够有效地克服现有锥形模型中存在的缺陷。

关键词:目标;方向关系;锥形模型;MBR

中图法分类号:P208

文献标志码:A

空间方向关系模型是计算和描述两目标之间方向关系的重要工具,一直以来都是空间方向关系理论研究的重点和难点^[1]。目前提出的具有代表性的空间方向关系模型主要有矩形模型^[2]、2D-String 模型^[3]、锥形模型^[4-6]、方向关系矩阵模型^[7]、方向 Voronoi 图模型^[8-9]和方向关系统计模型^[10-11]。

矩形模型和 2D-String 模型由于对方向关系的描述太过近似,目前已很少使用;方向 Voronoi 图模型和方向关系统计模型对方向关系的描述虽然精确但计算复杂;方向关系矩阵模型以矩阵的形式保存和表达目标间的方向关系,能够为空间推理提供较好的支持^[12-13];锥形模型计算简单、实现容易,在空间查询中得到了广泛的应用^[14],但由于该模型自身存在的缺陷,导致方向判断在许多情况下出现偏差。因此,本文拟根据 Gestalt 心理学的空间认知原理,对锥形模型进行改进,以有效克服现有锥形模型中存在的缺陷。

为便于论述,本文规定用 $Dir(A, B)$ 表示源目标 B 相对于参考目标 A 的方向关系。

1 现有锥形模型的分析

锥形模型最早由 Haar 提出,如图 1(a),其基本思想是:以参考目标的质心为起点,将空间划分

为 4 个锥形方向区域(N, S, W, E),并规定参考目标自身所代表的方向关系为"Same"^[4]。该模型通过源目标与各方向区域的"交"来判断空间方向关系,在两目标之间的距离相对于自身大小较远时,一般能够得出正确的结论。但由于该模型将参考目标抽象为一个点,忽略了参考目标的形状和大小对方向关系的影响。因此,当两目标之间的距离相对于自身大小很近(图 1(b)),或者两目标出现交叠(图 1(c))、包罗(图 1(d))和缠绕(图 1(e))时,结论常常是错误的。

文献[5]对上述锥形模型进行了改进,改进的锥形模型考虑了参考目标的形状、大小和 MBR 等参数,并用到了"朝向面"(face side)的概念。锥形区域的顶点改用过"朝向面"一侧 MBR 相邻顶点直线的交点,即锥形可以前后移动,以适应 MBR 的相邻顶点^[5]。如图 2 所示,较之于原始锥形模型,改进的锥形模型得到的结果更符合实际情况。但是该模型的计算过于繁琐,且对空间方向的划分存在一定的重叠,从而容易造成描述结果的不唯一^[15]。

郭庆胜提出了一种融入方向关系矩阵模型思想的改进锥形模型。该模型能够对两目标之间的方向关系进行比较全面地描述^[6],但该模型只能计算目标间的定性方向关系,而无法表达它们之间的定量方向关系。

收稿日期:2013-05-28

项目来源:国家科技支撑计划资助项目(2013BAB05B01);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(GCWD201210);兰州交通大学青年科学基金资助项目(2013001);地理空间信息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(201313)。

第一作者:王中辉,讲师,博士生,研究方向为空间关系。E-mail:1978wzh@126.com

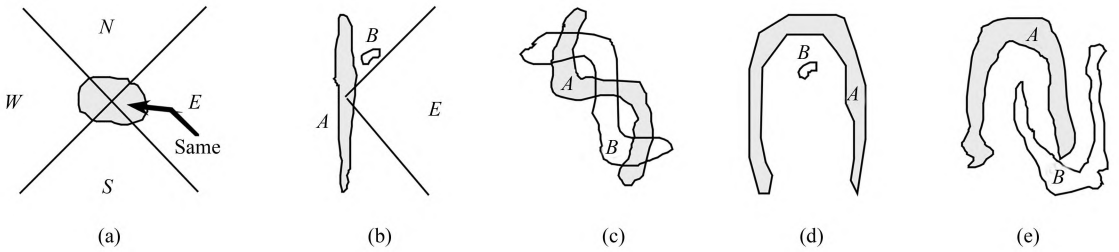


图1 锥形模型

Fig.1 Cone-based Model

综上所述,现有的锥形模型中尚存在许多不足,为了合理地描述目标间的方向关系,有必要对它们进行改进和完善。

2 改进的锥形模型

2.1 模型的基本原理

Gestalt 心理学的空间认知原理表明,知觉具有选择性和邻近组织的特点,两目标邻近的部分容易引起知觉的注意。在确定两目标之间的方向关系时,人们倾向于把参考目标与源目标相邻近的一侧联系、组织在一起作为方向判断的重要依据^[16]。据此理论,本文首先计算参考目标的 MBR;然后将 MBR 邻近源目标一侧的边界的中点作为起点,构建锥形方向区域;最后再通过锥形方向区域的边界、MBR 的边界及其延长线,对空

间方向重新进行划分,从而得到改进的锥形模型。具体过程如下:

1) 如图3 (a),计算参考目标的 MBR,并以 MBR 四条边界的中点作为起点,构建 N、S、W、E 4 个锥形方向区域;

2) 如图3 (b),计算 MBR 边界的延长线与锥形区域边界的交点 $A_1、A_2、B_1、B_2、C_1、C_2、D_1、D_2$,图中 MBR 的4 个顶点分别用 A、B、C、D 表示;

3) 用开区域 A_2ABB_2 表示 N 方向,开区域 B_2BB_1 表示 NE 方向,开区域 B_1BCC_1 表示 E 方向,开区域 C_1CC_2 表示 SE 方向,开区域 C_2CDD_2 表示 S 方向,开区域 D_2DD_1 表示 SW 方向,开区域 D_1DAA_1 表示 W 方向,开区域 A_1AA_2 表示 NW 方向,闭区域 ABCD 表示 Same 方向,得到改进的锥形模型,如图3 (c)。

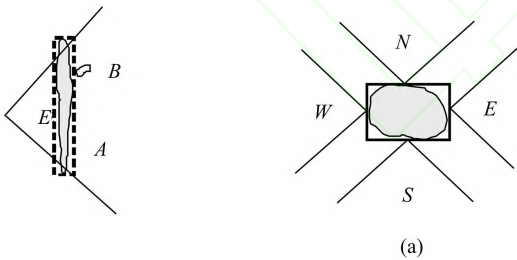


图2 文献[5]的改进锥形模型

Fig.2 Improved Cone-based Model in Literature^[5]

特殊情况下,当参考目标为点、水平线段和铅垂线段时,仍然可以按上述方法为它们建立改进的锥形模型(图4),此时,参考目标的 MBR 就是目标自身。可以看出,当参考目标为点目标时,改进的锥形模型与原始锥形模型一致。

2.2 方向关系的定性描述与定量表达

在改进的锥形模型中,源目标 B 总会落在参考目标 A 的一个或多个方向区域中,分别求源目

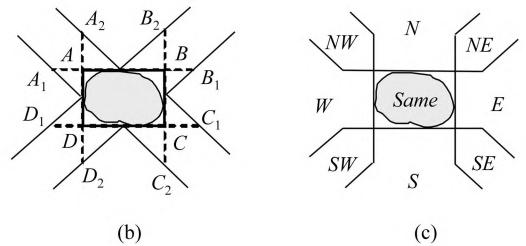


图3 改进的锥形模型

Fig.3 Improved Cone-based Model

标 B 和各方向区域的交,可得到如下的方向关系矩阵:

$$Dir(A, B) = \begin{vmatrix} NW_A \cap B & N_A \cap B & NE_A \cap B \\ W_A \cap B & Same_A \cap B & E_A \cap B \\ SW_A \cap B & S_A \cap B & SE_A \cap B \end{vmatrix} \quad (1)$$

式中,若源目标 B 与参考目标 A 的某一方向区域的交集非空,则矩阵中相应的元素为1;否则为0。

显然,该矩阵给出了B 相对于A 的方向关系的一个定性描述。

当源目标B 为线目标或面目标时,为了进一步得到B 相对于A 的方向关系的定量表达,可根据源目标B 的类型,将式(1)变换为式(2)或

$$Dr(A, B) = \begin{pmatrix} \frac{Area(NW_A \cap B)}{Area(B)} & \frac{Area(N_A \cap B)}{Area(B)} & \frac{Area(NE_A \cap B)}{Area(B)} \\ \frac{Area(W_A \cap B)}{Area(B)} & \frac{Area(Same_A \cap B)}{Area(B)} & \frac{Area(E_A \cap B)}{Area(B)} \\ \frac{Area(SW_A \cap B)}{Area(B)} & \frac{Area(S_A \cap B)}{Area(B)} & \frac{Area(SE_A \cap B)}{Area(B)} \end{pmatrix} \quad (2)$$

2) B 为线目标:矩阵的元素用B 和A 的某一方向区域之间交的长度与B 自身长度的比值

$$Dr(A, B) = \begin{pmatrix} \frac{Lengt h(NW_A \cap B)}{Lengt h(B)} & \frac{Lengt h(N_A \cap B)}{Lengt h(B)} & \frac{Lengt h(NE_A \cap B)}{Lengt h(B)} \\ \frac{Lengt h(W_A \cap B)}{Lengt h(B)} & \frac{Lengt h(Same_A \cap B)}{Lengt h(B)} & \frac{Lengt h(E_A \cap B)}{Lengt h(B)} \\ \frac{Lengt h(SW_A \cap B)}{Lengt h(B)} & \frac{Lengt h(S_A \cap B)}{Lengt h(B)} & \frac{Lengt h(SE_A \cap B)}{Lengt h(B)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

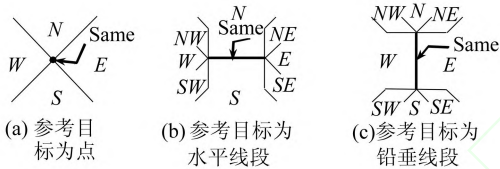


图4 特殊情形下的改进的锥形模型

Fig.4 Improved Cone-based Model in Special Conditions

根据式(1),图5 中源目标B 相对于参考目标A 的定性方向关系可描述为:Dr(A, B) = {E, SE, S}。对应的矩阵表达式如下:

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

根据式(2),其定量方向关系可表达为:Dr(A, B) = {<E, 25%>, <SE, 60%>, <S, 15%>}, 即B 的25% 位于A 的东面,60% 位于A 的东南

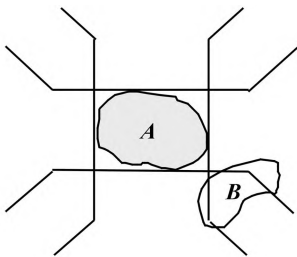


图5 改进的锥形模型的方向关系计算示例

Fig.5 Example of Computing Direction Relations by Improved Cone-based Model

式(3),具体为:

1) B 为面目标:矩阵的元素用B 和A 的某一方向区域之间交的面积与B 自身面积的比值来表示(式(2)):

来表示(式(3)):

面,15% 位于A 的南面。对应的矩阵表达式如下:

$$\begin{pmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.25 \\ 0.00 & 0.15 & 0.60 \end{pmatrix}$$

3 实验与讨论

本文通过模拟改进的锥形模型和原始锥形模型的计算过程,以面目标为例,对两者进行了比较。图6 是其中具有代表性的实验,经分析可得如下结论:

1) 改进的锥形模型用参考目标的 MBR 代替目标自身来判断方向关系,因此,较好地顾及了参考目标的形状和大小对方向关系的影响。在两目标之间的距离相对于自身大小很近(图6(a)),或者两目标出现交叠(图6(b))、包罗(图6(c))和缠绕(图6(d))时,较之于原始锥形模型,改进的锥形模型对方向关系的描述更符合人们的空间认知习惯。

2) 由于改进的锥形模型能够用源目标在某一方向区域的面积(或长度)比值来定量地表达目标间的方向关系,故相对于原始锥形模型,改进的锥形模型对方向关系的描述要更加精确;但该模型对位于参考目标 MBR 内部的源目标(或其部分)无法给出精确的方向关系描述,而只能用方向关系"Same"进行概略地表达。

3) 与原始锥形模型相比,改进的锥形模型借

助多个定量方向的组合来描述目标间的方向关系,并以矩阵的形式保存结果,故可以为空间推理提供较好的支持。

4) 改进的锥形模型对方向区域的划分要相对复杂一些,因此,该模型的方向计算效率要低于原始锥形模型。

此外,与文献[5]提出的改进锥形模型相比,

本文模型对空间方向的划分不存在重叠,故计算结果是唯一的。与文献[6]提出的改进锥形模型相比,本文模型不仅可以描述目标间的定性方向关系,而且还能够表达它们之间的定量方向关系。

本文模型的缺点是计算结果不能逆推,即由 $Dir(A, B)$ 不能推出 $Dir(B, A)$, $Dir(B, A)$ 需要重新设置参考框架进行计算。

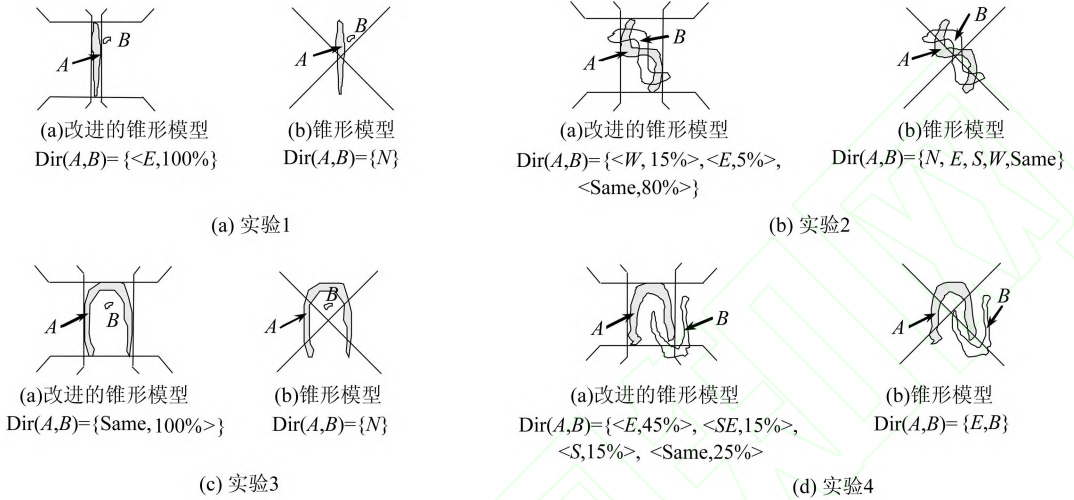


图6 实验结果

Fig. 6 Results of Experimental

4 结 语

本文根据 Gestalt 心理学的空间认知原理,通过对空间方向的新划分,提出了一种改进的锥形方向关系模型。实验表明,该模型能够合理地描述两目标之间的空间方向关系,有效地克服了现有锥形模型中存在的缺陷。

进一步的工作是如何精确地表达位于参考目标 MBR 内部的源目标(或其部分)的方向关系。

参 考 文 献

[1] Yan Haowen, Guo Renzhong. On Fundamental Problems of Directional Relationships [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002, 31 (4): 357-360 (闫浩文, 郭仁忠. 空间方向关系基础性问题研究[J]. 测绘学报, 2002, 31 (4): 357-360)

[2] Papadias D, Egenhofer M. Algorithms for Hierarchical Reasoning [J]. Geoinformatica, 1994, 1 (3): 251-273

[3] Chang S K, Shi Q S, Yan C W. Iconic Indexing by 2-D String [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9 (6): 413-428

[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] Peuquet D, Zhan C X. An Algorithm to Determine the Directional Relation Between Arbitrarily-shaped Polygons in the Plane [J]. Pattern Recognition, 1987, 20 (1): 65-74

[6] Guo Qingsheng, Zheng Chunyan. Improvement of Cone-Shaped Spatial Direction-Relation Model [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32 (1): 81-84 (郭庆胜, 郑春燕. 锥形空间方向关系模型的改进[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32 (1): 81-84)

[7] Goyal R K. Similarity Assessment for Cardinal Directions Between Extended Spatial Objects [D]. Maine: The University of Maine, 2000

[8] Yan Haowen, Guo Renzhong. A Formal Description Model of Directional Relationships Based on Voronoi Diagram [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28 (4): 468-471 (闫浩文, 郭仁忠. 基于 Voronoi 图的空间方向关系形式化描述模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28 (4): 468-471)

[9] Yan Haowen, Chu Yandong, Li Zhilin, et al. A Quantitative Description Model for Direction Rela-

- tions Based on Direction Groups[J]. *Geoinformatica*, 2006, (2):177-196
- [10] Deng Mn, Liu Wenbao, Li Junjie, et al. Computational Model of Spatial Direction Relations in Vector GIS[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(6): 821-828 (邓敏, 刘文宝, 李俊杰, 等. 矢量GIS空间方向关系的演算模型[J]. *遥感学报*, 2006, 10(6): 821-828)
- [11] Deng Mn, Li Zhilin. A Statistical Model for Directional Relations between Spatial Objects[J]. *Geoinformatica*, 2008, 12(2):193-217
- [12] Wu Jing, Cheng Penggen, Chen Fei, et al. Qualitative Reasoning for Direction Relation of Spatial Objects[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2006, 35(2): 160-165 (吴静, 程朋根, 陈斐, 毛建华. 空间目标的方向关系定性推理[J]. *测绘学报*, 2006, 35(2):160-165)
- [13] Zhang Zebao, Zhang Jianpei, Li Ruoyu. A Fine Directional Query Filtering Method with an Rtree[J]. *Journal of Harbin Engineering University*, 2010, 31(11):1 490-1 495 (张泽宝, 张健沛, 李若愚. R树的方向查询过滤方法[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2010, 31(11): 1 490-1 495)
- [14] Fu Yingchun, Yuan Xuxiao, Nie Qixiang. Extended Conic Direction Relations Query Processing Method [J]. *Computer Engineering*, 2008, 34(15): 36-38 (付迎春, 袁修孝, 聂启祥. 扩展的锥形方向关系查询处理方法[J]. *计算机工程*, 2008, 34(15): 36-38)
- [15] Deng Mn, Zhang Yan, Li Guangqiang. Modeling Directional Relations of Spatial Objects and Its Applications in GIS[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(7): 37-40 (邓敏, 张燕, 李光强. 空间方向关系描述模型及其GIS应用分析[J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(7): 37-40)
- [16] Yan Haowen, Guo Renzhong. Theorization of Directional Relationship Description Based on Voronoi Diagram[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2002, 27(3): 306-310 (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)

An Improved Cone-based Model for Describing Spatial Direction Relations

WANG Zhonghui¹ YAN Haowen¹

¹ Faculty of Geomatics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Using spatial cognitive principles drawn from the Gestalt psychology, an improved cone-based model is proposed for computing and describing spatial direction relations. The basic idea of the model is: first, calculate the MBR (minimum bounding rectangle) of the reference object; then, take the midpoints of the four edges of the MBR as the starting points to construct four cone direction regions (N, S, W, E); finally, use the edges of the four cone direction regions, the edges of the MBR and their extension lines to re-divide spatial directions. Experiments show that the improved cone-based model can effectively overcome the defects in the existing cone-based models.

Key words: objects; spatial direction relations; cone-based model; MBR

First author: WANG Zhonghui, lecturer, PhD candidate, specializes in spatial relations. E-mail: 1978wzh@126.com

Foundation support: The National Key Technology Research and Development Program, No. 2013BAB05B01; the Open Research Fund Program of Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application Engineering, State Bureau of Surveying and Mapping, No. GCWD201210; the Young Scholars Science Foundation of Lanzhou Jiaotong University No. 2013001; the Open Research Fund Program of Key Laboratory of Geoinformations of State Bureau of Surveying and Mapping, No.201313.