





第19卷第6期（总第218期）

2014年6月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

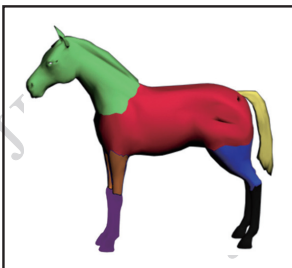
国内定价 50.00元



帧内复制粘贴视频伪造的盲检测(第825页)



基于流形学习的人体动作识别(第914页)



层次结构导向下的动画角色模型分割与标记(第955页)

综述

虹膜图像质量评价综述

李星光, 孙哲南, 谭铁牛

0813

图像处理和编码

帧内复制粘贴视频伪造的盲检测

杜振龙, 焦丽鑫, 李晓丽, 郭延文, 杨小健

0825

破损区域分块划分的图像修复

翟东海, 鱼江, 段维夏, 肖杰

0835

分布式视频编码中相关噪声分布的非参数估计

胡晓飞, 朱秀昌

0843

分数阶原始对偶去噪模型及其数值算法

田丹, 薛定宇, 杨雅婕

0852

结合感知特征和自然场景统计的无参考图像质量评价

贾惠珍, 孙权森, 王同罕

0859

图像置乱度评估的层次分析法

曹光辉, 胡凯, 张兴

0868

图像分析和识别

结合目标预测位置的压缩跟踪

罗会兰, 钟宝康, 孔繁胜

0875

标牌粘连字符自适应定位分割重建识别

洪涛, 梁伟建, 卢玉凤

0886

结合色度和纹理不变性的运动阴影检测

殷保才, 刘羽, 汪增福

0896

仿射不变的自适应局部线性嵌入

顾播宇, 孙俊喜, 李洪祚, 刘广文, 曹永刚

0906

基于流形学习的人体动作识别

王鑫, 沃波海, 管秋, 陈胜勇

0914

图像理解和计算机视觉

基于压缩感知理论的3维人脸快速重建

周大可, 吴子扬, 杨欣

0924

压缩感知跟踪中的特征选择与目标模型更新

石武祯, 宁纪锋, 颜永丰

0932

高动态场景的图像融合优化和实时应用

范逵, 周晓波

0940

计算机图形学

真实图像转换的水墨图像绘制模拟

陈添丁, 金炜炜, 陈英旦, 吴涤

0946

层次结构导向下的动画角色模型分割与标记

李琳, 陶涛, 刘晓平

0955

遥感图像处理

静止卫星图像热带气旋云系自动识别

耿晓庆, 李紫薇, 杨晓峰

0964

非下采样Contourlet域融合和参数化内核图割的SAR图像无监督水灾变化检测

李青松, 覃锡忠, 贾振红, 杨杰, 胡英杰

0971

地理信息技术

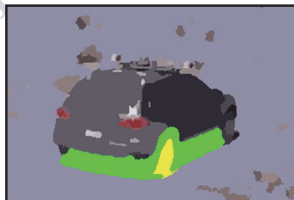
描述定性方向关系的复合表达模型

王中辉, 杨艳春

0979

CONTENTS

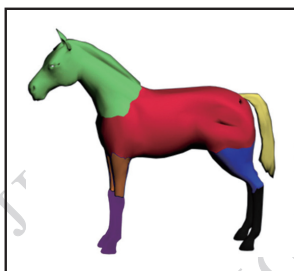
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Intraframe copy-paste forgery video blind detection based on dense SIFT flow(P825)



Human action recognition based on manifold learning(P914)



Animation character model segmentation and labeling approach under the guidance of hierarchical structures(P955)

Review

Overview of iris image quality-assessment

Li Xingguang, Sun Zhenan, Tan Tieniu 0813

Image Processing and Coding

Intraframe copy-paste forgery video blind detection based on dense SIFT flow

Du Zhenlong, Jiao Lixin, Li Xiaoli, Guo Yanwen, Yang Xiaojian 0825

Image inpainting algorithm based on partition block of damaged region

Zhai Donghai, Yu Jiang, Duan Weixia, Xiao Jie 0835

Non-parametric estimation for correlation noise distribution in distributed video coding

Hu Xiaofei, Zhu Xiuchang 0843

Fractional-order primal-dual model and numerical algorithm for denoising

Tian Dan, Xue Dingyu, Yang Yajie 0852

Blind image quality assessment based on perceptual features and natural scene statistics

Jia Huizhen, Sun Quansen, Wang Tonghan 0859

Image scrambling degree evaluation based on analytic hierarchy process

Cao Guanghui, Hu Kai, Zhang Xing 0868

Image Analysis and Recognition

Object tracking algorithm by combining the predicted target position with compressive tracking

Luo Huilan, Zhong Baokang, Kong Fansheng 0875

Merged characters segmentation reconstruction and recognition of labels based on adaptive location

Hong Tao, Liang Weijian, Lu Yufeng 0886

Moving shadow detection by combining chromaticity and texture invariance

Yin Baocai, Liu Yu, Wang Zengfu 0896

Affine invariant adaptive locally linear embedding

Gu Boyu, Sun Junxi, Li Hongzuo, Liu Guangwen, Cao Yonggang 0906

Human action recognition based on manifold learning

Wang Xin, Wo Bohai, Guan Qiu, Chen Shengyong 0914

Image Understanding and Computer Vision

Fast 3D face reconstruction based on compressed sensing

Zhou Dake, Wu Ziyang, Yang Xin 0924

Feature selection and target model updating in compressive tracking

Shi Wuzhen, Ning Jifeng, Yan Yongfeng 0932

The optimization of image fusion and real-time application for HDR scenarios

Fan Kui, Zhou Xiaobo 0940

Computer Graphics

Rendering simulation of real-image converting into chinese ink painting

Chen Tianding, Jin Weiwei, Chen Yingdan, Wu Di 0946

Animation character model segmentation and labeling approach under the guidance of hierarchical structures

Li Lin, Tao Tao, Liu Xiaoping 0955

Remote Sensing Image Processing

Tropical cyclone auto-recognition from stationary satellite imagery

Geng Xiaoqing, Li Ziwei, Yang Xiaofeng 0964

Unsupervised detection of flood changes with SAR images combining nonsubsampling Contourlet domain fusion and parametric kernel graph cuts

Li Qingsong, Qin Xizhong, Jia Zhenghong, Yang Jie, Hu Raphael 0971

Geoinformatics

Compound model for describing direction relations qualitatively

Wang Zhonghui, Yang Yanchun 0979

中图法分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)06-0979-06

论文引用格式: Wang Z H, Yang Y C. Compound model for describing qualitative direction relations [J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(6): 979-984. [王中辉, 杨艳春. 描述定性方向关系的复合表达模型[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(6): 979-984.] [DOI: 10. 11834/jig. 20140620]

描述定性方向关系的复合表达模型

王中辉¹, 杨艳春²

1. 兰州交通大学测绘与地理信息学院, 兰州 730070;

2. 兰州交通大学电子与信息工程学院, 兰州 730070

摘要: **目的** 由于锥形模型和方向关系矩阵模型没有很好地顾及目标的形状、大小和距离等对方向关系的影响, 导致方向关系判断在许多情况下出现错误。鉴于此, 通过锥形模型与方向关系矩阵模型的相互结合, 提出一种复合表达模型, 以克服二者的不足, 从而更好地描述两目标之间的定性方向关系。**方法** 首先, 利用锥形模型的锥形方向区域和方向关系矩阵模型中对应的矩形方向区域之间的几何运算, 对各方向区域重新进行划分, 构造出复合表达模型; 然后, 通过计算源目标与复合表达模型各方向区域之间的交, 得到源目标相对于参考目标的定性方向关系, 并将结果以矩阵的形式进行保存。**结果** 实验结果表明, 复合表达模型有效地避免了锥形模型与方向关系矩阵模型存在的缺陷。**结论** 该模型能够对两目标之间的定性方向关系进行准确地描述, 可以为空间推理与空间查询提供较好的支持。

关键词: 锥形模型; 方向关系矩阵模型; 方向关系; 复合表达模型

Compound model for describing qualitative direction relations

Wang Zhonghui¹, Yang Yanchun²

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

2. School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

Abstract: **Objective** In many cases, the cone-based model and the direction-relation matrix model may make mistakes in determining the direction relations between two objects, owing to not properly taking into account the impacts of factors on the direction relations between two objects, such as the shape and size of the objects, as well as the distance between them. For this reason, a compound model is proposed by combining the cone-based model and the direction-relation matrix model to overcome the deficiencies of both to describe well the qualitative direction relations between two objects. **Method** The basic idea is: first, redividing all direction regions by means of the geometric operations between the cone-shaped direction regions of the cone-based model and the corresponding rectangular direction regions of the direction-relation matrix model to construct the compound model; then, getting the qualitative direction relations from the reference object to the target object by computing the intersection of the target object and each direction region of the compound model and using the matrix to store the results. **Result** The experiments show that the compound model avoids effectively the defects existing in the cone-based model and the direction-relation matrix model. **Conclusion** Additionally, the compound model can accurately de-

收稿日期: 2013-10-30; 修回日期: 2013-12-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (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); 地理空间信息工程国家测绘地理信息局重点实验室经费资助项目 (201313); 兰州交通大学青年科学基金项目 (2013001)

第一作者简介: 王中辉 (1978—), 男, 讲师, 兰州交通大学环境工程专业博士研究生, 主要研究方向为空间关系理论。E-mail: 1978wzh@126.com

scribe the qualitative direction relations between two objects and provide supports for spatial reasoning and spatial queries the defects existing in the cone-based model and the direction-relation matrix model.

Key words: cone-based model; direction-relation matrix model; direction relations; compound model

0 引言

空间方向关系是人们日常表达、描述客观世界不可或缺的基本工具;相应地,空间方向关系的基础理论是地理信息科学(GIScience)研究的重要内容。其中,方向关系模型是空间方向关系理论研究的重点和难点^[1]。

目前提出的方向关系模型主要分为定量模型和定性模型2类。定量模型主要通过象限角、方位角等量化数据给出目标之间精确的方向关系,其典型代表有方向 Voronoi 图模型^[2]和方向关系统计模型^[3];定性模型则主要借助东、南、西、北等定性术语对目标之间的方向关系进行描述,由于此类模型计算简单、实现容易,因此被广泛地应用于空间查询和空间推理,其典型代表有矩形模型^[4]、2D-String 模型^[5]、锥形模型^[6-8]和方向关系矩阵模型^[9]。其中,矩形模型和 2D-String 模型由于对方向关系的描述过于近似,目前已很少使用;相比而言,锥形模型和方向关系矩阵模型的应用则更为普遍^[10-12],但它们仍存有许多不足之处。为此,本文拟通过锥形模型与方向关系矩阵模型的相互结合,提出用于描述两目标之间定性方向关系的复合表达模型,以有效克服二者存在的缺陷。

1 锥形模型和方向关系矩阵模型的缺陷

锥形模型以参考目标的几何中心为起点,将空间划分为8个锥形方向区域,并规定其自身所在的方向为“Same”^[6](图1)。该模型在参考目标为点目标时,对方向关系的判断比较理想;但由于它没有充分顾及参考目标的形状和大小对方向关系的影响,在参考目标为面(线)目标时,容易造成错误的方向判断。如图1,按照锥形模型,源目标B相对于参考目标A的方向关系是 $D_{A,B} = \{NE\}$;显然,正确的方向关系描述应该是 $D_{A,B} = \{E\}$ 。

为了克服锥形模型存在的缺陷,一些学者对其进行了改进。改进的锥形模型用参考目标的 MBR

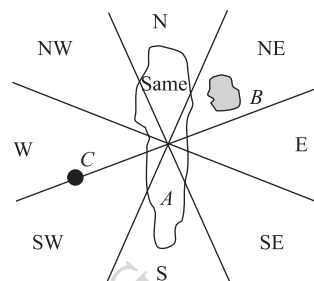


图1 锥形模型的缺陷

Fig. 1 Defects of the cone-based model

(minimum bounding rectangle)代替参考目标的几何中心,将空间划分为5个方向区域^[7-8](图2)。与锥形模型相比,该模型有效地提高了方向计算的准确性,如图2,按照改进的锥形模型,源目标B相对于参考目标A的方向关系是 $D_{A,B} = \{E\}$,与实际情况相符;但是该模型在某些情况下仍然会出现错误的方向关系判断,例如图2中源目标C相对于参考目标A的方向关系被判断为 $D_{A,C} = \{E\}$,而正确的方向关系应该是 $D_{A,C} = \{NE\}$ 。

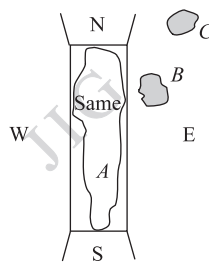


图2 改进的锥形模型

Fig. 2 Improved cone-based model

方向关系矩阵模型以参考目标的 MBR 为中心,将空间划分为9个矩形方向区域,并规定 MBR 所在的方向为“Same”^[9](图3)。该模型较好地顾及了参考目标的形状和大小对方向关系的影响,在一定程度上克服了锥形模型存在的缺陷;但是该模型的方向区域与人们空间方向认知思维上的锥形区域不符,忽略了目标之间的距离对方向关系的影响,导致判断结果在一些情况下出现偏差。如图3,按照方向关系矩阵模型,源目标B、C相对于参考目标A属于同一方向关系,即 $D_{A,B} = \{NE\}$, $D_{A,C} = \{NE\}$;显然,在此情况下用锥形模型判断的结果更准确,即

$$D_{A,B} = \{NE\}, D_{A,C} = \{E\}.$$

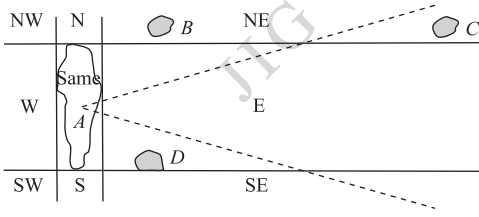


图3 方向关系矩阵模型的缺陷

Fig. 3 Defects of the direction-relation matrix model

此外,锥形模型与方向关系矩阵模型在源目标位于参考目标的两个相邻方向区域的公共边界上时,容易对方向关系作出模棱两可的判断。如图1中源目标C相对于参考目标A的方向关系是 $D_{A,C} = \{SW\}$ 和 $D_{A,C} = \{W\}$,图3中源目标D相对于参考目标A的方向关系是 $D_{A,D} = \{SE\}$ 和 $D_{A,D} = \{E\}$ 。

综上所述,由于锥形模型和方向关系矩阵模型没有很好地顾及目标的形状、大小和距离等对方向关系的影响,造成了模型在方向区域划分上的不合理,从而导致方向关系描述在许多情况下出现错误。针对这一缺陷,本文拟利用锥形模型和方向关系矩阵模型中对应的方向区域之间的几何运算对各方向区域重新进行划分,构造出能够结合二者优点的复合表达模型。

2 复合表达模型

2.1 模型的基本原理

根据视觉心理学的基本原理,人们在确定两目标之间的方向关系时,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^[2]。据此理论,如图4所示,首先将锥形模型的锥形方向区域顶点由参考目标的几何中心平移至其MBR边界的中点,然后再计算该锥形方向区域与方向关系矩阵模型中对应的矩形方向区域之间的并

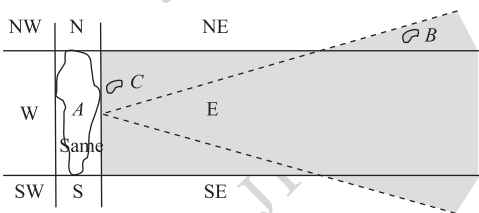


图4 复合表达模型的基本原理

Fig. 4 Basic principles of the compound model

集,得到新的方向区域(图4中的阴影区域)。按照该方向区域判断,图4中源目标B、C相对于参考目标A的方向关系分别是 $D_{A,B} = \{E\}$ 和 $D_{A,C} = \{E\}$,与方向关系矩阵模型判断的 $D_{A,B} = \{NE\}$ 和锥形模型判断的 $D_{A,C} = \{NE\}$ 相比,显然该结果更符合人们的空间方向认知习惯。

以图5为例(参考目标为面目标),对复合表达模型的方向区域计算过程进行详细地描述:

1)首先,建立参考目标的方向关系矩阵模型,其对应的方向区域分别是: $M_N, M_{NE}, M_E, M_{SE}, M_S, M_{SW}, M_W, M_{NW}, M_{Same}$;然后,将锥形模型的4个锥形方向区域 C_N, C_S, C_W, C_E 的顶点由参考目标的几何中心分别平移至其MBR 4条边界的中点(图5(a));

2)计算新的方向区域(图5(b)),即

$$A_N = M_N \cup C_N \quad (1)$$

$$A_E = M_E \cup C_E \quad (2)$$

$$A_S = M_S \cup C_S \quad (3)$$

$$A_W = M_W \cup C_W \quad (4)$$

$$A_{Same} = M_{Same} \quad (5)$$

设集合 $(A_N \cup A_E \cup A_S \cup A_W \cup A_{Same})$ 的补集为 A_C ,则有

$$A_{NE} = M_{NE} \cap A_C \quad (6)$$

$$A_{SE} = M_{SE} \cap A_C \quad (7)$$

$$A_{SW} = M_{SW} \cap A_C \quad (8)$$

$$A_{NW} = M_{NW} \cap A_C \quad (9)$$

3)用 A_T, A_B, A_L, A_R 分别表示 A_{Same} 所在矩形的4条边界,用 $A_{TL}, A_{TR}, A_{BL}, A_{BR}$ 分别表示该矩形的4个顶点;用 $A_{NNW}, A_{NNE}, A_{ENE}, A_{ESE}, A_{SSE}, A_{SSW}, A_{WSW}, A_{WNW}$ 分别表示除 A_{Same} 以外的其他各方向区域之间的公共边界(图5(b))。

图6所示为按照上述方法得到的参考目标为点目标和线目标时的复合表达模型。需要说明的是,图6(a)中的 A_{Same} 代表点目标自身。

复合表达模型通过锥形模型的锥形方向区域和方向关系矩阵模型中对应的矩形方向区域之间的几何运算,对各方向区域重新进行了划分。可以看出,该划分方式较好地顾及了目标的形状、大小和距离等对方向关系的影响。

2.2 方向关系的定性描述

在复合表达模型中,分别计算源目标B和参考目标A的各方向区域之间的交,可得到定性方向关系矩阵。

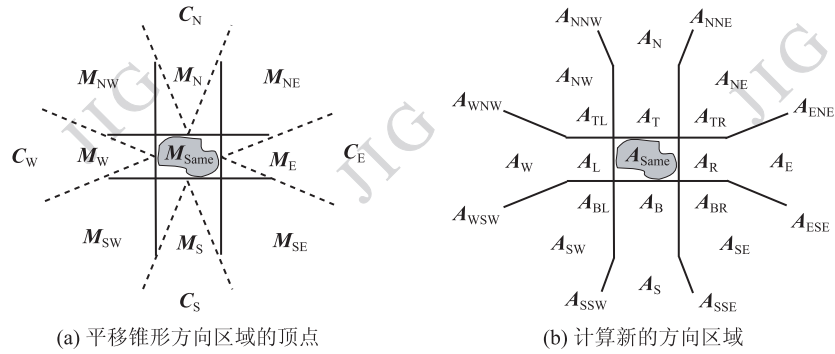


图5 复合表达模型的方向区域计算过程

Fig. 5 Calculation of the direction regions in the compound model

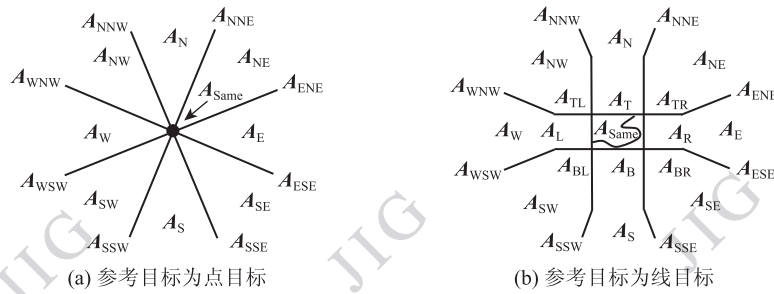


图6 点目标和线目标的复合表达模型

Fig. 6 Compound models of the point object and polyline object

$$DIR_{A,B} = \begin{bmatrix} A_{NW} \cap B & A_{NNW} \cap B & A_N \cap B & A_{NNE} \cap B & A_{NE} \cap B \\ A_{WNW} \cap B & A_{TL} \cap B & A_T \cap B & A_{TR} \cap B & A_{ENE} \cap B \\ A_W \cap B & A_L \cap B & A_{Same} \cap B & A_R \cap B & A_E \cap B \\ A_{WSW} \cap B & A_{BL} \cap B & A_B \cap B & A_{BR} \cap B & A_{ESE} \cap B \\ A_{SW} \cap B & A_{SSW} \cap B & A_S \cap B & A_{SSE} \cap B & A_{SE} \cap B \end{bmatrix} \quad (10)$$

在式(10)中,矩阵各元素的取值规定为:若源目标 B 与参考目标 A 的某一方向区域的交集非空,则相应的元素取值为1;否则,取值为0。

例如,用复合表达模型计算图7中源目标 B 相对于参考目标 A 的方向关系,可得到定性方向关系矩阵

$$DIR_{A,B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

它所描述的定性方向关系为 $D_{A,B} = \{E, ESE, SE, SSE, S, B\}$ 。

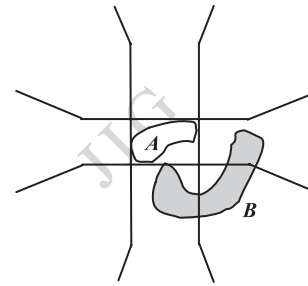


图7 复合表达模型的方向关系计算示例

Fig. 7 Example of computing direction relations by the compound model

3 实验

以面目标为参考目标,对复合表达模型进行了实验。图8—图11是具有代表性的实验结果,经分析可得,该模型具有以下几个特点:

1) 复合表达模型结合了锥形模型与方向关系矩阵模型的优点,能够对方向区域作出合理的划分,较好地顾及了目标的形状、大小和距离等对方向关系的影响。如图8所示,在两目标相邻近时,与锥形

模型相比,该模型能够对方向关系作出更加准确的判断;如图 9 所示,在两目标相距较远时,与方向关系矩阵模型相比,该模型对方向关系的描述要更符合人们的空间方向认知习惯。

2) 如图 10 所示,在源目标(或其部分)位于参考目标的两个相邻方向区域的公共边界上时,复合表达模型能够对方向关系作出确定的判断。

3) 复合表达模型的通用性较好,如图 11 所示,在两目标出现缠绕、包含、交叠等复杂情况时,该模型依然能够对方向关系作出合理的描述。

4) 复合表达模型用矩阵保存两目标之间的定性方向关系,可以为空间定性推理提供较好的支持。

5) 复合表达模型通过计算源目标与各方向区域之间的交来确定方向关系,故它很容易和当前用于加速拓扑关系计算的空间索引相结合,实现高效、准确的基于方向关系的空间查询。

6) 复合表达模型对方向区域的计算比锥形模型和方向关系矩阵模型复杂,因此其方向判断效率要低于二者。

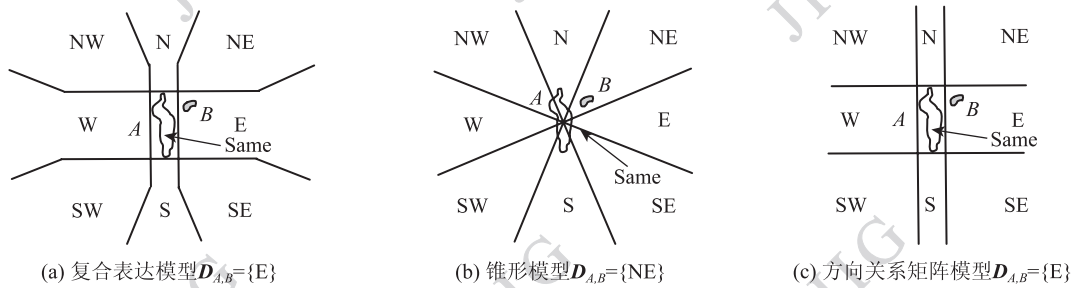


图 8 不同模型在两目标相邻时的方向关系计算结果对比

Fig. 8 Comparison of the direction relations computed by different models in two objects adjacent to each other

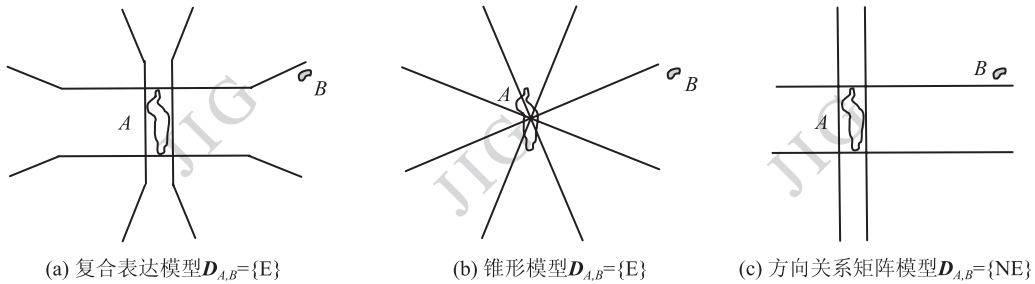


图 9 不同模型在两目标相距较远时的方向关系计算结果对比

Fig. 9 Comparison of the direction relations computed by different models in two objects far from each other

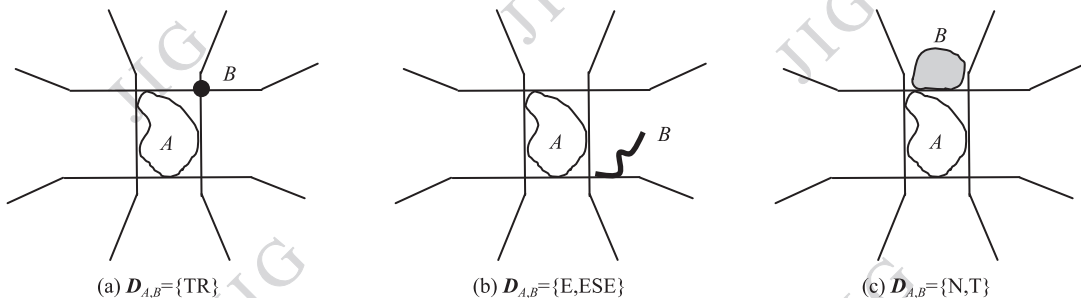


图 10 复合表达模型在目标位于两个相邻方向区域的公共边界上时的方向关系计算结果

Fig. 10 Direction relations computed by the compound model in one object on the common boundary of the two adjacent direction regions

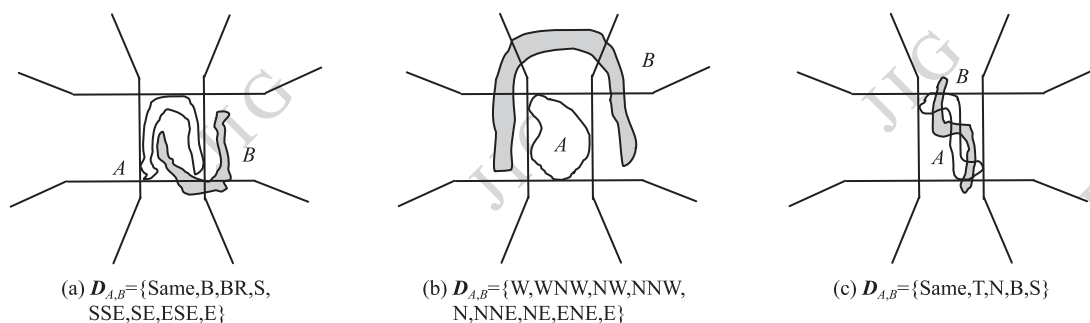


图 11 复合表达模型在两目标缠绕、包含、交叠时的方向关系计算结果

Fig. 11 Direction relations computed by the compound model in one object embraced by other or two objects winding and overlapping

4 结 论

本文通过锥形模型的锥形方向区域和方向关系矩阵模型中对应的矩形方向区域之间的几何运算,提出了一种用于描述两目标之间定性方向关系的复合表达模型。实验结果表明,该模型能够对方向区域作出合理的划分,较好地顾及了目标的形状、大小和距离等对方向关系的影响,有效地克服了锥形模型与方向关系矩阵模型中存在的缺陷。

复合表达模型的优势在于:1)能够准确地描述两目标之间的定性方向关系;2)能够对位于两个相邻方向区域公共边界上的源目标作出确定的方向关系判断;3)能够以矩阵的形式保存两目标之间的定性方向关系。该模型的局限性在于:已知 $D_{A,B}$, 不能推出 $D_{B,A}$, $D_{B,A}$ 需要重新建立模型进行计算。

进一步的研究工作是如何利用复合表达模型实现基于方向关系的空间查询与空间推理。

参考文献 (References)

- [1] Wang Z H, Yan H W. Computation of direction relations between object groups based on direction Voronoi diagram model [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(5): 584-588. [王中辉, 闫浩文. 基于方向 Voronoi 图模型的群组目标空间方向关系计算[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(5): 584-588.]
- [2] Yan H W, Chu Y D, Li Z L, et al. A quantitative description model for direction relations based on direction groups [J]. GeoInformatica, 2006, 10(2): 177-196.
- [3] Deng M, Li Z L. A statistical model for directional relations between spatial objects [J]. GeoInformatica, 2008, 12(2): 193-217.
- [4] Papadias D, Egenhofer M. Algorithms for hierarchical reasoning

- [J]. GeoInformatica, 1994, 1(3): 251-273.
- [5] 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.
- [6] Frank A. Qualitative spatial reasoning: cardinal directions as an example [J]. International Journal of Geographic Information Systems, 1996, 10(3): 269-290.
- [7] Guo Q S, Zheng C Y. 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.]
- [8] Li C K, Li Y, Wu B Y, et al. Improvement model and its application of taper direction relations model [DB/OL]. 2013-04-17 [2013-10-08]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20130417.1543.003.html>. [李朝奎, 李拥, 吴柏燕, 等. 锥形方向关系模型的改进方法[DB/OL]. 2013-04-17 [2013-10-08]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20130417.1543.003.html>.]
- [9] Goyal R K. Similarity assessment for cardinal directions between extended spatial objects [D]. Orono: The University of Maine, 2000.
- [10] Wu J, Cheng P G, Chen F, 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, 等. 空间目标的方向关系定性推理[J]. 测绘学报, 2006, 35(2): 160-165.]
- [11] Zhang Z B, Zhang J P, Li R Y. A fine directional query filtering method with an R-tree [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2010, 31(11): 1490-1495. [张泽宝, 张健沛, 李若愚. R树的方向查询精过滤方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2010, 31(11): 1490-1495.]
- [12] Fu Y C, Yuan X X, Nie Q X. 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.]