

空间群组 目标方向关系及 计算模型研究

KONGJIAN QUNZU
MUBIAO FANGXIANG GUANXI
JI JISUAN MOXING YANJIU

王中辉 / 著

中国环境出版社

项目资助:

国家自然科学基金 (41561090)

甘肃省财政厅基本科研业务费 (214146)

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 (2013001)

空间群组目标方向关系及计算模型研究

王中辉 著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

空间群组目标方向关系及计算模型研究/王中辉著. —北京: 中国环境出版社, 2017.3

ISBN 978-7-5111-3057-0

I. ①空… II. ①王… III. ①测绘—地理信息系统—计算模型—研究 IV. ①P208.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 010971 号

出版人 王新程
策划编辑 王素娟
责任编辑 赵 艳
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67162011 (生态分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2017 年 3 月第 1 版
印 次 2017 年 3 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 7.5
字 数 150 千字
定 价 36.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

空间关系是空间目标之间由空间目标的几何特性所决定的关系,主要包括距离关系、拓扑关系和方向关系等。与空间拓扑、距离关系相比,空间方向关系无疑是用途更广泛、更贴近人们生活的一种空间关系,其重要性已经在地理数据库、空间语义学、空间分析、空间查询、空间推理、地图自动综合以及地理空间认知等研究领域得到印证。

空间方向关系计算模型是计算和描述两个目标之间空间方向关系的重要理论工具,一直以来都是空间方向关系理论研究的重点和难点。目前,学者们对单个目标空间方向关系计算模型的研究已经十分成熟;但对于群组目标空间方向关系计算模型而言,却鲜有研究和论著。

在地理空间中,研究群组目标之间的空间方向关系,明确群组目标空间方向关系的影响因素,正确建立群组目标空间方向关系计算模型,对准确判断群组目标之间的空间方向关系和促进空间关系理论的发展等有着重要的科学意义和实践价值。为此,本书在对国内外空间方向关系研究做了较为全面的综述的基础上,以 Gestalt 心理学和 Delaunay 三角网作为主要理论依据和技术手段,系统研究了群组目标空间方向关系的特点、主要影响因素等基础性问题;并在其基础上,建立了群组目标空间方向关系计算模型,详细地阐述了模型的设计原则、设计依据、基本原理和实现算法,并通过开发实验软件系统,对模型的正确性与可行性进行了验证。

本书的出版得到了国家自然科学基金(41561090)、甘肃省财政厅基本科研业务费(214146)、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(2013001)等的支持。兰州交通大学闫浩文教授在成书过程中给予了悉心指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

谢。张志华、刘涛、崔洁等对该书出版给予了热心支持，徐智邦、李维宇、禄小敏、孙立等研究生对本书初稿进行了认真阅读并提出了宝贵的修改意见，在此一并表示衷心的感谢。

空间方向关系是空间信息科学中理论性很强的课题。囿于作者的学识与经验，本书撰写虽然尽心尽力，但不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

王中辉

2016年10月于兰州

目 录

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 研究群组目标空间方向关系计算模型的意义	5
1.3 空间方向关系计算模型的国内外研究现状	8
1.4 研究内容和研究目标	17
1.5 技术路线和研究方法	18
1.6 本书的组织结构和研究范围	19
1.7 本章小结	20
2 Gestalt 心理学和 Delaunay 三角网	22
2.1 Gestalt 心理学的基本原理	22
2.2 Delaunay 三角网及其构建算法	26
2.3 本章小结	40
3 群组目标空间方向关系基础性问题研究	41
3.1 群组目标	41
3.2 空间方向关系	43
3.3 群组目标之间空间方向关系的特点	49
3.4 影响群组目标之间空间方向关系的主要因素	61
3.5 本章小结	71

4 群组目标空间方向关系计算模型研究73

4.1 模型的设计原则73

4.2 模型的设计依据74

4.3 模型的基本原理74

4.4 模型的实现算法79

4.5 本章小结87

5 实验研究.....89

5.1 实验设计89

5.2 实验分析101

5.3 本章小结102

6 总结和展望104

参考文献107

1 绪论

1.1 引言

环境保护是当今人类社会共同关注的重大问题。随着全球环境的日益恶化,人们已经逐渐意识到环境保护的重要性;同时,也充分认识到信息技术对环境保护所起的关键作用^[1]。环境保护离不开环境信息的采集、处理和应用。而环境信息则是借助一定的技术和方法获取的能够反映环境质量状况、污染物排放、自然生态等的各种数据资料的集合^[2-5]。据统计,85%以上的环境信息都与地理空间位置有关,具有明显的空间分布特征^[1]。在环境问题日益凸显的今天,如何全面、及时、准确地掌握和处理各种环境信息,为环境保护提供科学快捷的支持,已成为当前环境科学研究领域的一项重要任务^[6-8]。

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是近20年来迅速发展的重要技术的重要组成部分,其应用已经从解决基础设施的规划管理拓展到与地理空间相关联的更广泛的领域。由于环境科学所固有的地理空间特点,使得它与GIS的结合成为可能,并孕育着巨大的发展潜力^[8-16]。目前,环境科学涉及的多种信息处理技术(如环境监测技术、环境管理技术等)正在通过与GIS技术的相互集成,逐渐形成功能强大并具有明显环境特征的信息系统,即环境地理信息系统(Geographic Information System for Environment, EGIS),它是采集、存储、管理、分析和处理环境空间信息的计算机系统,是GIS技术在环境领域的延伸^[17-23]。作为传统学科(如地理学、环境学、测绘学)和高新技术(如遥感技术、全球定位系统、计算机技术)相结合的产物,EGIS近年来已发展成为辅助人们进行环境保护的综合性技术平台,在环境规划、环境管理、环境监测、生态保护、环境影响评价、环境污染事故应急处理等领域具有广阔的应用前景^[24-30]。

EGIS与其他信息系统相比,最大的优势在于它的空间分析能力,它是EGIS辅助人们

解决各种复杂环境问题和正确认知地理空间的重要工具^[17, 18, 22]。空间分析与其他数据分析方法相比,其特殊之处就在于它是用来探索和证明空间要素之间的关系,从而揭示空间特征和过程的内在规律和机理,实现对空间信息的认知、解释、预测和调控^[31-34]。通过空间分析,EGIS 可以产生常规手段难以获得的重要信息,实现在计算机系统支持下环境要素的动态模拟和辅助决策^[22]。

在地理空间中,环境要素之间既有非空间特性的联系,又有空间特性的联系(即空间关系)。从某种角度讲,空间分析就是借助一定的模型和算法,计算和分析地理空间中实体之间的空间关系,并在其基础上获取派生信息和新知识的分析技术^[35]。作为 EGIS 的核心和灵魂,空间分析技术的提高和进步有赖于成熟的空间关系理论的指导^[36]。

空间关系是空间目标之间由空间目标的几何特性(位置、形状)所决定的关系,主要包括距离关系、拓扑关系和方向关系等,它既是两个空间目标之间的关系,也可以是由多个空间目标所构成的集合所表现出来的相互关系^[37, 38]。空间关系的研究是一个涉及了地理信息系统、计算机、认知科学、人工智能等诸多学科的前沿问题,在空间信息科学(GIScience)研究领域占有重要的地位^[39]。

综观目前的研究成果,相对而言,学者们对空间距离关系、拓扑关系的研究和认识较之于空间方向关系要深入得多^[40-47]。然而,在地理空间中,与空间拓扑、距离关系相比,空间方向关系无疑是用途更广泛、更贴近人们生活的一种空间关系。例如空间方向在军事、测绘、城市规划等领域的应用,以及人们在日常生活中的方向关系判断,无一不是空间方向应用的范例。此外,在对空间目标进行空间分析时,往往需要加入方向关系的描述,才能得到更好的处理效果。例如,在分析危险品仓库爆炸所涉及的范围以及需要疏散的人口时,就需要进行方向关系和距离关系、拓扑关系的协同计算;在为工业区选址时,只有全面分析工业区与附近的居民地、河流、湖泊等之间的方向关系、拓扑关系和距离关系,才能够最大限度地避免工业区对周边生态环境的破坏;图 1.1 是雅安地震抢险交通图的一部分,在确定“交通中断点”与“芦山县”的位置关系时,除了计算它们之间的拓扑、距离关系外,还需要进行方向关系的判断,才能够让人们明白无误地理解两者之间的位置关系,从而为救援工作提供及时准确的决策支持。



图 1.1 雅安地震抢险交通

资料来源: <http://www.zhidaobaidu.com/topic/yaan/#ya-map2>. 2013 年 4 月。

从理论研究的角度看,空间方向关系是空间关系整体理论的重要组成部分之一,缺少对空间方向关系的透彻研究,就不能或不能很好地对地理空间进行全面、准确的描述。空间方向关系的重要性已经在地理数据库、空间语义学、空间分析、空间查询、空间推理、地图自动综合以及地理空间认知等许多研究领域得到印证^[48-51]。

由此可见,在地理空间中研究空间方向关系问题,既可以满足实际应用的需要,又能够促进空间关系理论的发展,具有重要的现实意义与理论研究价值。

空间方向关系是指在一定的方向参考系统下从一个空间目标到另一个空间目标的指向,通常用角度(定量)或东、南、西、北(定性)等术语表示。在地理空间中,人们除了对单个目标之间的空间方向关系感兴趣之外,有时还会将形状相似、距离邻近、语义相同(或相近)的多个单目标从视觉上组织成一个整体(即群组),来进行空间方向关系的判断。相应地,在地理空间中存在着 2 类空间方向关系:

(1) 单个目标之间的空间方向关系, 如图 1.2 所示。

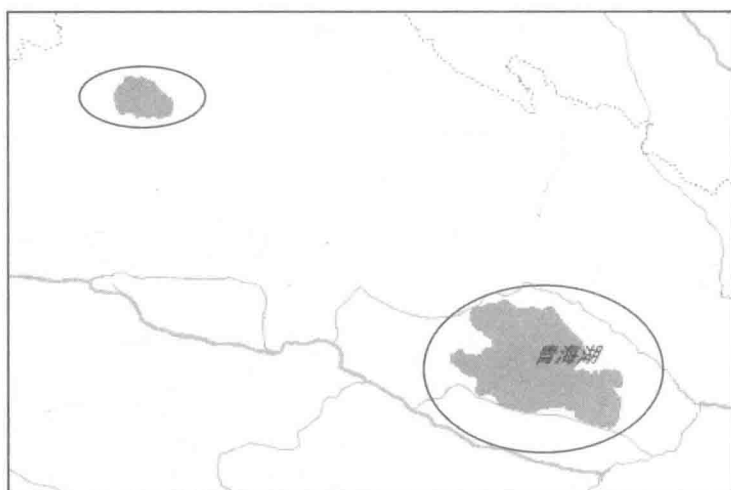


图 1.2 单个目标之间的空间方向关系

资料来源: <http://www.map.51yala.com>. 2013 年 4 月。

(2) 群组目标之间的空间方向关系, 具体包括:

- 1) 单个目标与群组目标之间的空间方向关系, 如图 1.3 所示。
- 2) 群组目标与群组目标之间的空间方向关系, 如图 1.4 所示。

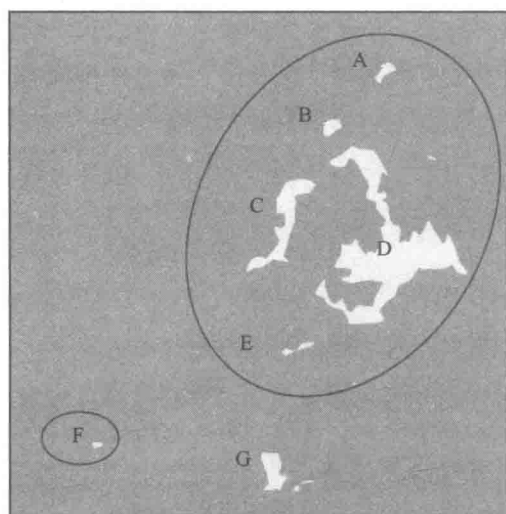


图 1.3 单个目标与群组目标之间的空间方向关系

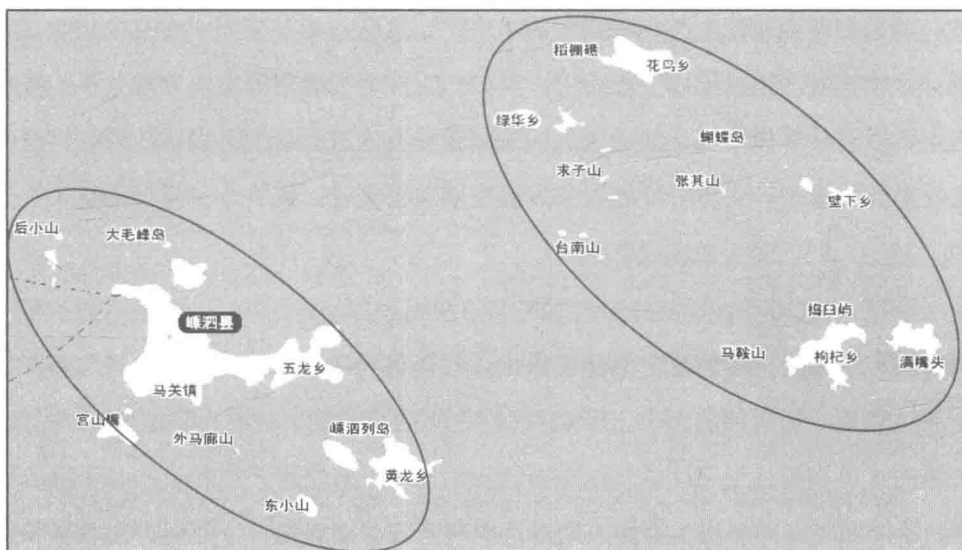


图 1.4 群组目标与群组目标之间的空间方向关系

空间方向关系计算模型是描述两个目标之间空间方向关系的重要理论工具，一直以来都是空间方向关系理论研究的重点和难点^[52-57]。目前，学者们对单个目标空间方向关系计算模型的研究已经比较成熟；但对于群组目标空间方向关系计算模型，却鲜有研究和论著。

鉴于此，本书拟从基本概念、基础理论和基本方法等方面，对群组目标之间的空间方向关系问题给予系统探索，并在其基础上提出能够正确描述地理空间中两个群组目标之间空间方向关系的计算模型。

1.2 研究群组目标空间方向关系计算模型的意义

在地理空间中，研究群组目标空间方向关系计算模型的意义，概括起来，至少包括以下 5 个方面：

(1) 完善空间关系理论

空间关系主要是用来描述地理空间中实体之间的各种几何关系，为 EGIS 的空间分析提供理论和技术方面的支持^[58]。

空间方向关系是空间关系理论不可或缺的重要组成部分，对空间关系完整和透彻的描述，需要空间拓扑关系、空间距离关系、空间方向关系等的共同作用，缺一不可。但由于

空间方向关系在理论研究上存在相当大的难度^[59],且其在地理空间中研究的历史尚短,总体来看,该领域的理论成果还很不完善。例如,对群组目标之间空间方向关系的特点、主要影响因素以及计算模型等还缺乏深入的研究或没有人进行研究。因此,研究群组目标空间方向关系计算模型,对进一步完善和发展空间关系理论,具有十分重要的意义。

(2) 辅助人们正确认知地理空间

发展和建设 EGIS 的最终目的是帮助人们正确认知地理空间,以更好地揭示和挖掘地理空间表面下更深层次的信息,为环境保护部门提供科学、有效的辅助决策支持。

空间认知是空间目标的大小、形状和它们之间的空间关系等在人脑中的反映^[60]。其中,空间关系的计算和描述是空间认知的重要理论问题,只有空间关系理论的各个组成部分共同发展,才能在更高的层次上指导人们对地理空间的正确认知^[61]。空间方向关系和空间拓扑关系、空间距离关系在理论研究上具有很强的相互依赖性和互补性。对空间方向关系进行研究需要借助于空间拓扑关系和空间距离关系的研究成果,这是因为一方面空间方向关系概念体系的建立、形式化描述需要其他几类空间关系的支持;另一方面,空间方向关系的判断要涉及空间距离关系、空间拓扑关系的计算。因此,研究群组目标空间方向关系计算模型,必然会对群组目标之间其他几类空间关系的深入研究起到很好的借鉴和促进作用,从而使人们能够从空间关系的全局来提高对地理空间的整体认知水平。

(3) 提高地理空间群组目标的自动综合水平

地图自动综合是指在计算机环境下,根据地图的用途、比例尺和制图区域的特点,以概括、抽象的形式反映制图对象带有规律性的类型特征和典型特点,而将那些次要的、非本质的地图内容进行舍弃的过程^[60]。

地图自动综合是处理和分析多尺度地理空间中空间信息的重要手段,是空间信息科学领域公认的国际难题^[62-65]。就目前的研究成果而言,学者们对单根线目标、单个面目标的自动综合算法已经基本成熟,研究兴趣逐渐转移到考虑上下文的群组目标的自动综合^[66-69]。其中,群组目标描述参数的合理选择与正确计算是设计群组目标自动综合算法的基础,而空间方向关系则是其中需要重点考虑的参数之一^[70]。由此可见,研究群组目标空间方向关系计算模型,对提高地理空间群组目标的自动综合水平起着关键的作用。

(4) 提升环境地理信息系统的空间分析能力

在地理空间中,环境要素在许多情况下都是以群组的形式出现,例如,污染源、环境

监测点、湖泊、道路、河系、居民区等。对此类空间数据进行有效的空间分析是 EGIS 必须具备的基本功能。但是,目前的 EGIS 空间分析技术仍停留在环境专题数据的统计分析,环境空间要素的周长、面积和坡度的量算等较低层次的应用上^[21-25];而对诸如确定某居民区附近的污染源位置和分布状况、某河系指定方向和距离范围内环境监测点的数量等涉及群组目标之间空间关系的计算和分析问题,至今尚无有效的解决办法。为克服这一缺陷,就需要将群组目标之间的空间关系尤其是方向关系在认知的层次上进行合理的形式化描述,并将其融入具体的空间分析应用中。因此,研究群组目标空间方向关系计算模型,必然会大力提升 EGIS 的空间分析能力,从而更好地满足人们的实际应用需求。

(5) 提高环境地理信息系统的空间查询与推理功能

空间查询是指利用空间索引技术,从空间数据库中检索出满足给定空间条件的空间实体,是实现快速检索海量环境空间信息的重要途径和有效手段^[71-73]。然而,随着信息技术的不断发展,简单的图文互查、开窗查询等传统方式已无法满足 EGIS 用户的实际需求。用户往往希望 EGIS 能够提供更为复杂、高级的基于空间关系的信息查询功能^[74-76]。例如,查询图 1.5 中位于“青海湖”以东 60km 范围内的“海晏县”。该查询过程涉及了空间方向(青海湖的东面)、空间距离(不超过 60km)、空间拓扑(与青海湖相离)等多种空间关系。

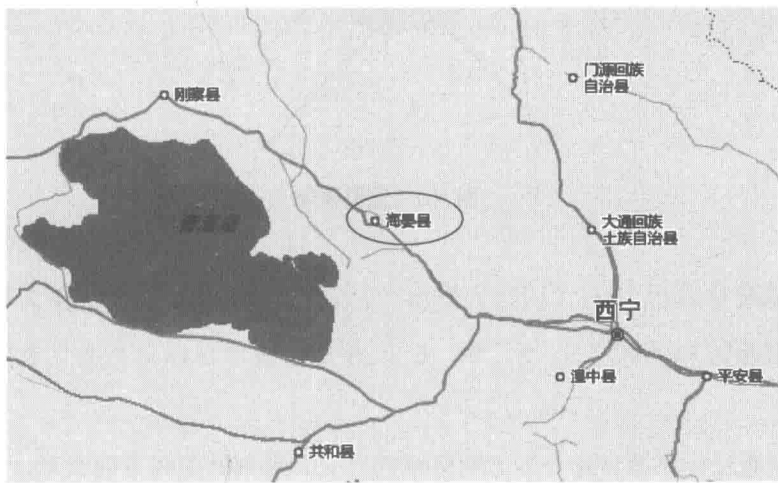


图 1.5 基于空间关系的信息查询

资料来源: <http://www.map.51yala.com>. 2013 年 4 月。

空间推理是空间思维的高级阶段,是根据给定的一组条件,从已知的目标或目标集合

出发,从空间数据库中推导出满足给定条件的新目标集合。空间推理是一个极其复杂的过程,需要运用多种空间关系作为推理条件^[77, 78]。

显然,建立群组目标空间方向关系计算模型,能够使基于方向关系的空间查询与推理的对象不再局限于空间单个目标,而是可以扩展至群组目标,有助于全面提高 EGIS 在环境领域的应用水平。

1.3 空间方向关系计算模型的国内外研究现状

目前,学者们对空间方向关系计算模型的研究仅限于单个目标。其中,具有代表性的模型主要有:锥形模型、四半区域模型、2D-String 模型、矩形模型、方向关系矩阵模型、细节方向关系模型、方向 Voronoi 图模型、方向关系统计模型和方向关系复合模型。

(1) 锥形模型

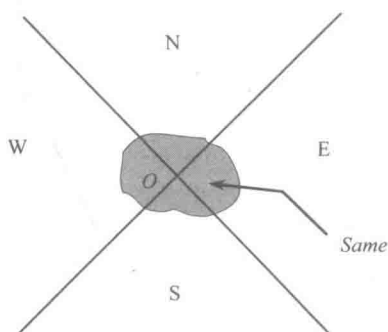


图 1.6 锥形模型

锥形模型最早是由 Haar (1976) 提出的,它以参考目标的质心 O 为起点,将空间划分为四个锥形方向区域 (N, S, W, E),并规定参考目标自身所代表的方向关系为 “Same”^[79]。

锥形模型通过计算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,通常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空间方向关系的影响,因此,当两目标之间的距离相对于自身大小很近 [图 1.7 (a)],或者两目标出现包罗 [图 1.7 (b)]、缠绕 [图 1.7 (c)] 时,结论常常是错误的。

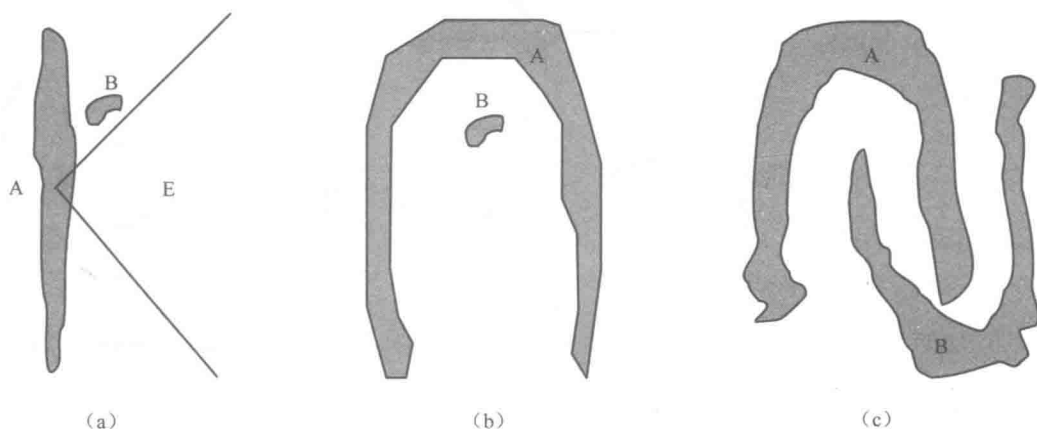


图 1.7 锥形模型存在的缺陷

Peuquet 和 Zhan (1987) 为克服上述锥形模型存在的缺陷, 对其进行了改进。改进的锥形模型考虑了参考目标的形状、大小和最小投影矩形 (Minimum Bounding Rectangle, 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“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^[80]。见图 1.8, 较之于传统锥形模型, 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, 容易造成描述结果不唯一。

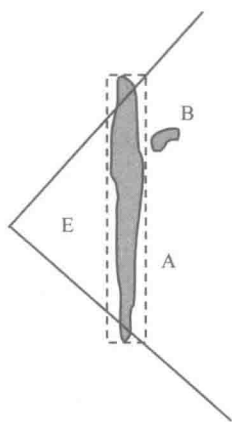


图 1.8 改进的锥形模型之一

郭庆胜 (2007) 提出了一种融入方向关系矩阵模型思想的改进锥形模型 (图 1.9)。该模型同时具备了传统锥形模型与方向关系矩阵模型的优点, 尤其对多尺度空间目标的方向

关系表达比较有效，并顾及了多尺度的包容性；但该模型只能描述两目标之间概略的定性空间方向关系^[81]。

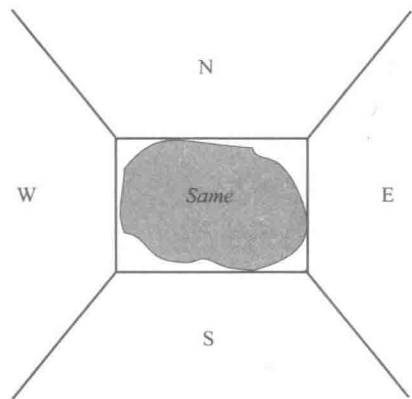


图 1.9 改进的锥形模型之二

(2) 四半区域模型

四半区域模型本质上和锥形模型是一致的，主要差别是对方向区域的划分上，见图 1.10，它以经过参考目标的 MBR 顶点的四条方向线（NE，NW，SE，SW）及其交点的连线 L 将平面区域划分为四个半无限区域 N，S，W，E。对于一个目标中的每一个半区域，该模型认为它由三个元素组成，即目标的内部、边界和外部，两个目标之间的空间方向关系通过它们所有半区域的三个元素来定义^[82]。

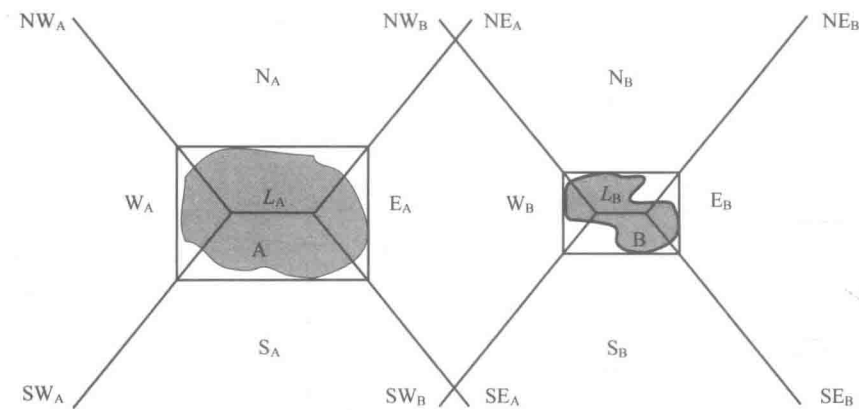


图 1.10 四半区域模型