



空间群组目标相似关系 及计算模型研究

Similarity Relation and Access Model of Spatial Group Objects

● 刘 涛 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

空间群组目标相似关系 及计算模型研究

Similarity Relation and Access Model of Spatial Group Objects

刘 涛 著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书针对空间相似关系的研究目前还处于初始阶段的现状,对空间相似关系进行了介绍和研究。本书以空间群组目标为研究对象,将地理空间群组目标分为点群、线群、面群和空间场景四大类,分别进行了相似关系的研究和相似度计算模型的建立。

本书可作为高校地图学与地理信息系统专业研究生、本科生的教学用书和相关专业选修课的教材,也可作为测绘与地理信息及相关领域广大科研人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

空间群组目标相似关系及计算模型研究/刘涛著. — 北京:电子工业出版社,2013.10

ISBN 978-7-121-21535-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 224629 号

策划编辑:余 义

责任编辑:余 义

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:6.5 字数:130 千字

印 次:2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价:35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

随着遥感技术、全球定位系统、互联网和地理信息系统等现代技术之间的相互渗透，逐渐形成了以地理信息系统为核心的集成化技术系统。这就从更高层次上提出了对支撑和指导这一集成化技术系统的技术及其应用方法的地理空间信息理论的研究。

空间关系是空间物体之间由空间物体的几何特性（位置、形状）所决定的关系，包括距离关系、拓扑关系、方向关系和相似关系，是空间信息科学的基础理论之一，一直是空间信息科学理论研究的“重中之重”。

作为空间关系的一种，空间相似关系的研究相对较少，还处于研究的初始阶段。对空间相似关系进行研究，可以从理论的高度，对空间关系理论体系进行完善，更能指导人们从空间关系全局的高度和更符合人们认知习惯的方向，来促进更为完善的空间模型的建立和应用。该研究可以“透过现象揭示本质”，揭示地理空间表面之下、更深层次上的信息，帮助更好地认知现实地理空间，提升空间认知水平；该研究还可以使得空间信息查询和检索的效率更高，更符合人们空间定性思考的习惯，许多复杂的空间现象也因为有空间相似关系的支持而得到更好、更全面的描述，亦从更高层次上提升空间分析理论和应用水平。同时，该研究可以为地图制图自动综合提供支持，等等。

本书以空间群组目标为研究对象，将地理空间群组目标分为点群、线群、面群和空间场景四大类，从空间关系理论的高度对空间相似关系进行研究；按照从“一般”到“具体”的推进步骤，逐步建立影响空间群组目标相似关系的特征因子的“一般集合”，以及针对特定细分情况下的空间群组目标的特征因子的“具体集合”；注重对空间群组目标整体考虑，综合考虑空间群组目标的多种属性来建立其相似度计算模型。

本书的出版得到了国家自然科学基金（41201476）、兰州交通大学青年基金（2012001）、数字制图与国土应用工程国家测绘地理信息局重点实验室开放研究基金（GCWD201108）的联合资助。感谢兰州交通大学闫浩文教授的指导，感谢包振虎等研究生认真阅读本书初稿并提出宝贵修改意见。

空间相似关系的研究还是一个很不成熟的领域，也是地理信息科学领域中理论性和实践性都很强的课题，需要地理学、数学、认知科学等多学科联合攻关。本书撰写虽然尽心尽力，但囿于作者学识所限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2013 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 空间分析和空间关系	1
1.2 空间相似关系研究的意义	4
1.3 国内外研究进展	8
1.4 本文的研究内容及体系结构	10
1.5 本章小结	14
第 2 章 空间相似关系基本理论	15
2.1 空间认知理论	15
2.2 视觉认知的格式塔规则	16
2.3 空间相似关系的定义	18
2.4 空间相似关系的分类	21
2.5 空间相似关系的性质	23
2.6 本章小结	25
第 3 章 空间点群目标相似关系研究	26
3.1 空间点群目标空间关系相似关系	27
3.1.1 空间点群目标拓扑关系及相似度计算	28
3.1.2 空间点群目标方向关系及相似度计算	29
3.1.3 空间点群目标距离关系及相似度计算	31
3.1.4 空间点群目标空间关系相似度计算	31
3.2 空间点群目标几何特征相似关系	32
3.2.1 空间点群目标分布范围及相似度计算	32
3.2.2 空间点群目标分布密度及相似度计算	35
3.2.3 空间点群目标几何特征相似度计算	38
3.2.4 空间点群目标总体相似度计算	38
3.3 多尺度空间下的点群目标相似关系实验	38
3.4 本章小结	43
第 4 章 空间线群目标相似关系研究	44
4.1 空间线群目标空间关系相似关系	46

4.1.1	空间线群目标拓扑关系及相似度计算	47
4.1.2	空间线群目标方向关系及相似度计算	49
4.1.3	空间线群目标距离关系及相似度计算	51
4.1.4	空间线群目标空间关系相似度计算	52
4.2	空间线群目标几何特征相似关系	52
4.3	空间线群目标总体相似度计算	53
4.4	基于空间邻近度的线群目标相似关系实验	54
4.5	空间线群目标方向相似度计算模型	57
4.5.1	方向关系定量计算相关理论	57
4.5.2	线群目标方向定量统计原理和方法	60
4.5.3	应用实例	64
4.6	本章小结	66
第 5 章	空间面群目标相似关系研究	67
5.1	空间面群目标空间关系相似关系	68
5.1.1	空间面群目标拓扑关系及相似度计算	69
5.1.2	空间面群目标降维处理	71
5.1.3	空间面群目标方向关系、距离关系及其相似度计算	76
5.1.4	空间面群目标空间关系相似度计算	76
5.2	空间面群目标几何特征相似关系	76
5.3	空间面群目标总体相似度计算	79
5.4	基于时间邻近度的面群目标相似关系实验	79
5.5	本章小结	82
第 6 章	空间场景相似关系研究	84
6.1	空间场景的拓扑关系及相似度计算	84
6.2	空间场景的方向关系及相似度计算	86
6.3	空间场景的距离关系及相似度计算	87
6.4	空间场景之间的相似关系及相似度计算	89
6.5	本章小结	89
第 7 章	总结和展望	90
7.1	本书总结	90
7.2	不足和展望	91
	参考文献	93

第1章 绪 论

自从 20 世纪 60 年代初, 罗杰·汤姆林森博士开发出世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统 (CGIS) 以来, 地理信息系统取得了长足的进步和发展, 并在社会经济各方面如资源管理、国土监测、环境监测、交通运输、城市规划、经济建设、军事应用、辅助决策等, 都得到了广泛应用。

作为传统学科 (如地理学、地图学、测绘学) 和现代科学技术 (如遥感技术、计算机科学等) 相结合的产物, 地理信息系统 (Geographical Information System, GIS) 正在逐步发展成为一门处理空间数据的现代化综合性学科。随着遥感技术、全球定位系统、互联网和地理信息系统等现代技术之间的相互渗透, 逐渐形成了以地理信息系统为核心的集成化的技术系统。这就从更高层次上提出了对支撑和指导这一集成化技术系统的技术及其应用方法的地理空间信息理论的研究 (陈述彭等, 2003)。

1.1 空间分析和空间关系

地理信息系统是一种采集、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的计算机系统, 是分析和处理海量地理数据的通用技术 (陈述彭等, 2003), 是有关空间数据管理和空间信息分析的计算机系统。与其他管理信息系统相比, 地理信息系统强调空间分析, 通过利用空间解析式模型来分析空间数据, 地理信息系统的成功应用依赖于空间分析模型的研究和设计; 通过地理空间分析可以产生常规手段难以获得的重要信息, 实现在系统支持下的地理过程动态模拟和决策支持 (胡鹏等, 2004)。这是地理信息系统的研究核心和其重要贡献所在, 不仅是地理信息系统区别于其他系统的重要特征之一, 而且为用户提供了灵活解决各类专门问题的有效工具。Haining (2004) 认为“地理空间信息科学 = GIS 系统软件+空间分析”, 可见, 空间分析在地理空间信息科学中的重要地位。实际上, GIS 本身就是空间数据分析技术的重要组成部分和有效依赖平台。

地理空间数据分析是地理学和地理信息科学领域的重要研究内容, 它通过研究地理空间数据及其相应分析理论、方法和技术, 探索、证明地理要素之间的关系, 揭示地理特征和过程的内在规律和机理, 实现对地理空间信息的认知、解释、预测和调控 (刘湘南等, 2008)。

空间分析与各种其他数据分析方法相比较而言,具有独特性。王劲峰等(2006)认为其独特性主要体现在以下八个方面:其一,空间数据中普遍存在的空间相关性使其与经典统计学经常要求的样本独立性前提相悖,直接造成使用经典统计学分析空间数据得到的结论是有偏的和非最优的;其二,空间数据一般具有不可重复性,观察到的数据只是空间过程中的一次实现;其三,考虑数据的空间维使其信息量更加丰富和细致,空间分析擅长于描述和揭示这些数据中所蕴含的独特的空间信息、关系、格局和过程;其四,空间分析技术是完成某些任务的唯一手段,如地形分析、基于位置的服务(LBS)等;其五,一些表面现象的背后以空间格局为其发生机理;其六,空间是事物存在和人文与自然交互的界面,因此空间成为多源信息的索引项和人地关系界面;其七,空间维增加了运筹和干预的搜索空间,有更多选择,使系统更加优化;其八,空间维与其他维的相互作用与转化,当前的空间格局是其随后演化的边界条件,过程演化进程的空间不平衡可以被用来以空间反演时间演化,以时间演化树推断空间状态。

关于空间分析,不同的学者从不同角度出发进行了相关描述和定义。Goodchild(1987)认为空间分析是对数据的空间信息、属性信息或二者共同信息的统计描述或说明。M. F. Goodchild 曾指出:“地理信息系统真正的功能在于它利用空间分析技术对空间数据的分析”。空间分析使 GIS 超越一般空间数据库、信息系统和地图制图系统,成为不仅能进行海量空间数据管理、信息查询检索与量测,而且能通过图形操作与数学模拟运算分析出地理空间数据中隐藏的模式、关系和趋势,挖掘出对科学决策具有指导意义的信息,从而解决复杂的地学应用问题,进行地学综合研究的技术系统(刘湘南等,2008)。Openshaw(1997)等认为空间分析是对于地理空间现象的定量研究,其常规能力是操纵空间数据成为不同的形式,并且提取其潜在信息(Openshaw, 1997; Bailly et al., 1995)。Haining(2003)认为空间分析是基于地理对象空间布局的地理数据分析技术。李德仁(1993)认为空间查询和空间分析是从 GIS 目标之间的空间关系中获取派生的信息和新的知识。Landis(1995)认为空间分析是指为制定规划和决策,应用逻辑或数学模型分析空间数据或空间观测值。DeMers(1997)认为 GIS 空间分析是从一个或多个空间数据图层获取信息的过程。郭仁忠(2001)则认为空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术,其目的在于获取和传输空间信息。刘湘南等(2008)认为空间分析是集空间数据分析和空间模拟于一体的技术方法,通过地理计算和空间表达挖掘潜在空间信息,以解决实际问题。刘湘南等还提出空间分析的本质特征包括以下几个方面:探测空间数据中的模式;研究空间数据间的关系,并建立相应的空间数据模型;提高适合于所有观察模式处理过程的理解;改进发生地理空间事件的预测能力和控制能力。

现代“空间分析”概念的提出源于 20 世纪 60 年代地理与区域科学的计量革命。在

开始阶段,大部分是应用定量(主要是统计)分析手段来分析点、线、面的空间分布模式。后来更多的是强调地理空间本身的特征、空间决策过程和复杂空间系统的时空演化过程。实际上,自有地图以来,人们就始终在自觉或不自觉地进行着各种类型的空间分析。如在地图上量测地理要素之间的距离、方位、面积,乃至利用地图进行战术研究和战略决策等,都是人们利用地图进行空间分析的实例,而后者实质上已属于较高层次上的空间分析(邬伦、刘瑜,2005)。地理信息系统集成了多学科的最新技术,如关系数据库管理、高效图形算法、插值、区划和网络分析,为空间分析提供了强大的工具,使得过去复杂困难的高级空间分析任务变得简单易行。目前,绝大多数地理信息系统软件都有空间分析功能。空间分析早已成为地理系统的核心功能之一,它特有的对地理信息(特别是隐含信息)的提取、表现和传输功能,是地理信息系统区别于一般信息系统的主要功能特征。

新一代空间分析的主要目的是从现有数据的空间关系中挖掘新的信息(刘湘南等,2008)。作为地理系统的核心和灵魂,空间分析理论与模型的进步和完善有赖于空间关系理论的进步与完善。从广义上讲,空间关系是人们认知空间形态的图形,反映人们怎样对空间形态进行推理,以及怎样用不同的语言来描述空间形态。空间关系是空间物体之间由空间物体的几何特性(位置、形状)所决定的关系,包括距离关系、拓扑关系、方向关系和相似关系(郭仁忠,2001)。作为空间信息科学(GeoSciences)的基础理论之一(Engenhofer et al., 1995; 李德仁, 1997; Goodchild, 2006),空间关系理论一直是空间信息科学理论研究的“重中之重”。

空间关系是空间信息的一个重要特征, GIS 区别于其他计算机图形处理系统的一个重要特点就是 GIS 不仅要考虑空间目标的位置信息,同时也要考虑空间目标之间的空间关系的表达和处理。这也是 GIS 空间数据组织和处理的复杂性和难点所在(陈军、赵仁亮,1999)。空间关系是指基本空间单元之间的具有空间特性的关系,它反映了所有空间基本单元在空间上所存在的关系,这种关系可以是两个简单的基本空间单元之间的关系,也可以是基本空间单元集合所呈现出来的空间模式或排列规律。地理学第一定律的描述:事物之间都是相互联系的,距离越近的事物联系越紧密(Everything is related to everything else, but near things are more related to each other)。可见,空间关系在空间地理信息研究中的重要作用。从广义上讲,空间关系是人们认识空间形态的途径,反映人们怎样对空间形态进行推理,以及怎样用不同的语言来描述空间形态(王家耀,2001)。可见空间关系在人们认知地理空间世界中的作用。空间关系也是指地理实体之间存在的一些具有空间特性的关系,是空间数据组织、查询、分析、推理的基础(陈军、赵仁亮,1999),由此可见空间关系在空间数据处理过程中的重要作用。

空间关系的研究是一个涉及地理信息系统、计算机、人工智能、认知科学等多学科

领域的前沿和研究热点,有众多学者进行了卓有成效的工作。相对于距离关系、拓扑关系和方向关系的研究,相似关系则显得研究不足,成果甚少。因此,对空间相似关系的研究具有重要意义。

空间相似关系研究的对象,应该是空间群组目标。因为如果只针对单个空间目标,则研究就等同于纯粹的计算机图形学或模式识别领域的课题,在计算机图形学和模式识别领域,类似研究的文献和成果都很丰富(Ramer, 1972; Imai and Irim, 1988; Arkin, 1991等)。地理信息科学领域的专家应该专注于空间群组目标之间的相似关系。同时,根据格式塔心理学,人们认知事物总是先整体(群组目标)后局部(单个目标),且整体认知大于局部之和。这也是本书研究空间群组目标之间的相似关系的一个重要理论依据。

1.2 空间相似关系研究的意义

对空间相似关系的研究,具有重要理论意义和实际应用价值,具体概括如下:

1. 完善空间关系理论的需要

GIS 中的空间关系主要描述空间对象之间的各种几何关系,为 GIS 空间分析提供基本的理论和方法支持(秦昆, 2010)。在地理空间信息研究领域,一个核心的任务便是地理空间实体及其相互关系的描述、表达、判断和推理。空间关系是空间数据组织、查询、分析和推理的基础(丁虹, 2004)。如前所述,空间相似关系属于空间关系范畴,空间相似关系理论是空间关系理论不可或缺的重要组成部分。对地理空间目标及其之间关系的完整和透彻的描述,需要拓扑、距离、方向、相似等关系的共同作用,缺一不可。缺少对空间相似关系理论的透彻研究,就不能很好地对地理空间对象进行描述。空间相似关系的研究成果是空间关系理论的一部分。空间相似关系不仅仅是简单地作为地理空间分析的一个参数来丰富其方法、模型库,它的合理定义、描述、计算能够使地理信息系统从空间关系全局的高度把握空间模型的建立和应用。

但在对空间关系的研究中,相对于空间拓扑关系、空间距离关系、空间方向关系的研究,空间相似关系的研究一直以来被人们研究得较少。一方面由于空间相似关系的可计算性差,且研究相似关系的目的是揭示较深层次上的信息,需要复杂分析(郭仁忠, 2001);另一方面,由于地理空间的复杂性,导致空间相似关系的计算要考虑的因素很多,如空间关系、空间分布、几何特征、语义特征等(Li et al., 2006)。

2. 促进地理空间认知

认知是认知心理学的一个重要概念。相似在心理学和认知科学中研究得较多,它在

人们的认知过程中起着关键性的作用，是进行分类、归纳和类比推理的基础（Li et al, 2006）。认知科学应用到地理信息科学就形成了“地理空间认知”（Geo-Spatial Cognition）。地理空间认知是地理空间目标的大小、形状、方位及空间关系等在人脑中的反映（郭庆胜，2007）。空间认知是对现实世界的空间属性的认识，包括位置、大小、距离、方向、形状、模式、运动和物体内部关系等，是通过获取、处理、存储、传递和解译空间信息来获取新的空间知识的过程。作为认知科学、心理学、地图学、地理学、计算机科学和人工智能等学科都在研究的一个重要问题，空间认知研究人们如何理解和表示空间的方式，以及空间信息的处理过程和人们怎样认识自己赖以生存的环境。与相似关系在人们的认知过程中所起的作用一样，空间相似关系在人们的地理空间认知中也起着同样的作用，为人们认知现实地理空间提供认知指导。相似关系在空间认知中一个比较杰出的例子就是大陆漂移学说的建立。德国地球物理学家魏格纳根据大西洋两岸大陆轮廓线的吻合特征，经过分析后提出轰动一时并成为板块学说理论基础之一的大陆漂移学说（郭仁忠，2001）。

对事物进行分类、排序是人们在认知事物时常用的手段。相似关系在学习、知识和思考过程中起着基础性的作用，各种事物之所以能成为对我们有用的信息源就是因为我们的相似关系感知对事物进行的分类……推理预测就基于“相似的原因能导致相似的结果”（Quine, 1969; A. HOLT, 1999），将目标进行分类是人们追求的根本目标。将相似的事物分为同一类既是人们的本能，也是各种学科中很普遍的方法，而相似关系正是“分类”的原则和基础。相似关系对人们认知现实世界中存在的目标、结构和行为起着非常重要的作用，人们囿于自己所处的地理空间，地理空间认知往往流于表面。对空间相似关系进行研究，可以揭示地理空间表面之下、更深层次上的信息，帮助更好地认知现实地理空间。认知现实地理空间，必然离不开空间相似理论的支持；对空间相似理论的研究，也会反作用于人们，提升地理空间认知的深度，如图 1.1 所示。

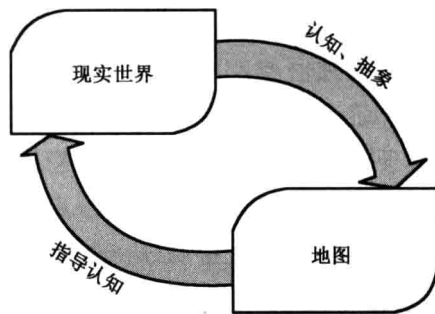


图 1.1 人们对现实世界的认知、抽象形成地图，地图在地理空间信息理论的支撑下反过来指导人们更好地认知现实世界

3. 促进空间信息应用

空间信息主要的应用方面包括空间信息的查询和检索、空间分析、空间推理、空间数据挖掘、空间信息融合等。

空间数据库的查询往往依赖于空间目标间的关系。传统的空间数据库查询功能多是基于空间距离关系、空间拓扑关系,很少涉及空间相似关系。引入空间相似关系,基于空间相似关系进行数据查询和检索,正和人们的空间定性思考习惯保持一致,引入空间相似关系的支持,可以解决信息查询中类似“像……一样的信息”的查询条件及查询结果按照“相似度”进行排序等。许多复杂的空间现象也因为有了空间相似关系的支持而可以得到更好和更全面的描述,提高检索效率,同时可以构造基于空间相似关系或者基于自然语言的空间关系查询,是用户从烦琐、枯燥的 SQL 语法中解脱出来(陈军、赵仁亮,1999)。在空间数据的检索方面,已经有学者进行了比较和研究。

数据库知识发现(Knowledge Discovery in Databases, KDD),也叫数据挖掘(Data Mining)。数据库知识发现或数据挖掘的定义为:从数据中提取隐含的、先前不知道的和潜在有用的知识的过程。数据挖掘技术集成了机器学习、数据库系统、数据可视化、统计和信息理论等多领域的最新技术,有着广泛的应用前景。空间数据库的知识发现或空间数据挖掘,可以定义为从空间数据库中提取隐含的知识和没有直接存储的空间关系、空间模式的过程。空间数据挖掘技术,特别是空间数据理解、空间和非空间数据关系发现、空间知识库构造、空间数据库的查询优化和数据组织,在 GIS、遥感、影像数据库、机器人运动等涉及空间数据的应用系统中很有前景。对空间相似关系进行研究,通过相似关系揭示深层次上的信息,是进行空间信息挖掘重要的技术手段之一。例如,通过对中国的北京故宫和越南的顺化故宫的相似关系,可以追溯探知两国之间的历史渊源。

空间推理是人类通过空间认知世界的一项基本活动,是指利用空间理论等技术对空间对象进行建模、描述和表示,并据此对空间对象间的空间关系进行定性或定量分析和处理的过程(刘亚彬、刘大有,2000),是从空间知识形式化建模和逻辑推断的角度认识空间。空间认知过程离不开空间推理,空间推理也不能缺少空间认知规律。空间推理不仅要处理空间实体的位置和形态,而且应对空间实体之间的空间关系进行处理。空间推理是从空间事实和空间关系推导空间知识的一个过程。空间相似关系具有自反性、传递性,其本身是人们运用最频繁的定性空间推理因子之一。对空间相似关系进行研究,可以在空间数据集成和互操作方面提供应用支持(Goodchild et al, 1998)。

4. 为地图制图自动综合提供支持

所谓制图综合,是指根据地图的用途、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的带有规律性的类型特征和典型特点,而将那些对于该图来说是次要

的、非本质的舍掉,这个过程称为制图综合(郭庆胜等,2007)。制图综合一般是通过概括和取舍的方法来实现的。地图制图综合是建立国家基础矢量数据库(闫浩文、王家耀,2009)、建立数字地球(武芳等,2009)、揭示地理环境的本质、减轻空间信息的传输负荷(郭庆胜等,2007)等众多方面具有关键的作用。

地图自动综合是在新的技术条件下提出的,特别是随着测量的全数字化和地理信息的产业化,这种要求就更加迫切。然而,多年来地图制图的自动综合问题始终“悬而未决”,是一个既古老又年轻的课题。究其原因,很重要的一点就是对于制图综合的数据质量的评价,很大程度上还依赖于人工经验评判,无法统一度量。综合是一个认知过程,其目的在于为了适应显示空间、显示设备分辨率、感受层次和应用要求而使其可视性和清晰性提高。综合结果的评价应该是目的驱动的,同时质量保证的规则应当有不同的顺序。但是直到目前为止,计算机辅助地图综合的评价结果仍然是通过与手工综合的地图进行比较来获得的。

德国地图学家特普费尔于20世纪60年代初提出的开方根规律,是研究地图综合的一个模式系统。这个规律主要用于地物的数量选取。尽管这种模式是建立在经验规律基础之上的选取模式,且对一些复杂的地图的模拟还存在一些问题,但由于其简单易行和逼近现实地图,因此仍然在地图综合中得到广泛应用。其基本公式为

$$n_F = n_A \sqrt{\frac{M_A}{M_F}}$$

式中 n_F ——新编地物地物数;

n_A ——原始地物地物数;

M_F ——新编地图比例尺分母;

M_A ——原始地图比例尺分母。

其含义是:新编地图上应当选取的地物的数量可以由原始地图(通常称为资料地图)上的地物数量乘上一个地图比例尺分母之比的根式来求得。

上述的是基本的开方根规律,学者们针对具体的地图综合问题又对该规律进行了各种扩展,如增加符号尺度系数和物体重要性系数等,使其更能适应一般地图。开方根规律虽然很大程度上解决了地图综合中关于“量”的问题,但地图综合中关于“质”的问题,即自动综合的质量评价一直以来没有得到很好的解决。如果自动综合的质量评判问题未得到解决,则地图综合的自动化只能是一句空话。因为该问题涉及地图综合中两个关键性的问题:其一,地图自动综合的终止条件判断问题,即到底达到什么要求就可以判断自动综合可以终止;其二,自动综合的算法评价问题,自动综合的算法众多,如何实现评判的自动化是地图综合中一个亟待解决的问题。

数字环境下的计算机自动制图综合质量评价,其本质就是综合前后原图和综合结果图之间的相似度计算。地图综合的目的,就是要尽可能地保持原图和制图综合结果图之间的相似关系。对多尺度空间内的空间群组目标之间的相似关系进行研究,既可以为地图制图综合的质量评定提供支持,又可以对制图自动综合的终止条件进行判定。

关于对空间相似关系进行研究的意义,本文选取了以上四个方面进行说明,但对空间相似关系进行研究的意义包括但远不止以上四个方面。

1.3 国内外研究进展

如前所述,空间关系是空间物体之间由空间物体的几何特性(位置、形状)所决定的关系,概括起来包括拓扑关系、距离关系、方向关系和相似关系四大类。

1. 空间拓扑关系、距离关系和方向关系的研究进展

空间拓扑关系是指拓扑变换下的拓扑不变量,如空间目标的相邻和连通关系等。关于空间拓扑关系的研究,Allen(1983)的“时间段逻辑”描述模型形式化描述了一维空间目标之间的拓扑关系,在时空推理中有着广泛的应用^[21];目前在空间信息领域比较成熟的9交集模型是Egenhofer(1994)在4交集模型的基础上扩充而来的,能够系统地描述两个简单空间实体间的拓扑关系,是目前应用最广泛的一种模型,被许多商业化GIS软件所采用;针对9交集模型中“补”的概念存在的重叠太大、空间实体定义方面的不足以及不能描述空间邻近关系的缺陷,陈军等(1997)用Voronoi多边形取代9交集模型中的“补”来重新定义9元组模型,并将其定义为V9I模型(Chen and Li, 1997);Randell等提出一种运用区域连接演算(RCC)理论来表达空间区域的拓扑特征和拓扑关系的代数拓扑关系模型(Randell et al, 1992),该模型只能对空间面实体间的拓扑关系进行表达;舒红等(1997)研究了时空拓扑关系定义及时态拓扑关系描述;唐新明等(2003)研究了模糊区域拓扑关系描述模型;郭庆胜与杜晓初(2004)讨论了模糊面元素空间拓扑关系抽象化方法;杜晓初(2005)对多重表达中的空间拓扑关系的等价性问题进行了研究;杜世宏(2007)等基于关系矩阵对复合宽边界区域拓扑关系计算进行了研究。

方向关系又称为方位关系、延伸关系,是指源目标相对于参考目标的顺序关系(方位)。在空间方向关系的研究方面,Harr最早提出了锥形模型(Harr, 1976),Peuquet(1986)在此基础上利用改进的锥形模型对空间方向进行了描述;Papadias等(1994)提出了MBR模型对空间方向关系进行描述,利用空间对象的几何近似关系(MBR)取代实际空间对象的关系,其模型简单、直观,计算迅速,在描述精度较低时可以基本满足表达需要,因此在很多空间数据和索引技术中得到了应用;Chang等(1987)提出了一

种用于对符号化图像编码的二位字符串(2-D string)的表达方法,利用线分割空间目标,并将空间目标主方向上的图形特征记录下来,提高了方向关系的精度;Goyal(2000)利用空间方向关系矩阵建立了空间方向关系的描述模型,用关系矩阵的形式描述了两个空间目标间方向关系的细节;闫浩文等(2006)基于Voronoi图对空间方向关系建立了形式化的描述模型,通过建立与空间目标间指向线的法线比较近似的方向Voronoi图来描述空间目标间的方向关系,计算方向与Voronoi图每条边的方位,得到空间目标之间方向关系的精确描述。

空间距离是研究一切空间关系的基础,其他空间关系的研究都离不开空间距离。空间对象的基本距离关系包含点点、点线、点面、线线、线面、面面之间的距离。在基本空间目标距离关系的基础上,可构造出点群、线群、面群之间的复杂度量关系。空间距离关系是GIS和空间分析中最重要同时也是最经常研究的问题(郭仁忠,2001),相关的地理空间距离度量有很多,如欧几里得距离、曼哈顿距离、时间距离(陈述彭等,2003)等。在不同学科中对距离的理解及应用目的的不同,所用到的距离定义及描述方法也不同。如统计学中的斜交距离和马氏距离等,旅游业中的旅游时间距离等。关于空间距离的应用和研究也很多,如GIS中最常用到的最短路径分析和缓冲区分析等,就是典型的与距离相关的分析。关于空间距离关系方面的研究或相关的研究众多,在此不一一列举。

2. 空间相似关系的研究现状

关于空间相似关系的研究,近来逐渐得到重视,呈发展趋势。

国外的学者研究起步较早,但早期的研究要么局限于单独的几何目标相似的算法,不涉及任何空间关系;要么从特定的应用出发对空间相似关系进行了某方面的研究。例如,计算机图形学与计算机视觉、模式识别领域的专家们研究了线、面目标化简前后的相似关系表达(Ramer, 1972; Imai and Irin, 1988; Arkin, 1991),图像检索领域针对图像检索应用提出了各种度量图像相似关系的距离表达模型(Rubner et al., 2000; WANG et al., 2001)。在地理信息领域对相似关系的研究中,针对地理信息检索(Geographic Information Retrieval, GIR)中地理查询和地理目标之间的匹配方法,学者们进行了相关研究(P. Frontiera et al., 2008)。Alec Holt(1999)最早提出了空间相似关系的定义并对其理论及应用进行了研究。Egenhofer于1996年主持了一项关于“基于空间关系和特征的相似关系度量”的项目,提出了关于空间相似关系研究的一些原则。其中,其项目组成员Goyal(2000)在其博士论文中研究了空间方向关系相似关系描述和计算模型,Rodríguez(2000)在其博士论文中对空间目标之间的语义相似度进行了研究。Bruns和Engenhofer(1996)引入心理学中的变换模型(Transformation Model),基于空间拓扑关

系概念邻域图和空间方向关系概念邻域图,提出了一种空间场景相似度的计算方法。Li 和 Fonseca (2008)在此基础上进行了完善,考虑到空间拓扑关系、方向关系和距离关系的优先等级,提出了 TDD (Topology Direction Distance) 模型。Krzysztof 和 Janowicz 等 (2010, 2011) 则重点探讨空间相似性中语义相似性的研究。Zhao 等 (2011) 巧妙构思,研究利用 size 和 position 之间的转化来度量空间几何相似性。

国内对空间相似关系的研究起步稍晚。郭仁忠在《空间分析》第二版中阐述了空间相似关系,并把空间相似关系作为空间关系的一种进行了定义和分析,指出空间相似关系研究的难点和研究成果较少的现状;吴立新、史文中 (2003) 也对空间相似关系进行了简单阐述;郭庆胜、丁虹 (2004) 基于栅格数据探讨了面状目标空间方向相似关系,同年丁虹在其博士论文中 (2004) 对空间相似关系的描述与计算方法进行了研究;吕秀琴、吴凡 (2006) 基于拓扑关系概念邻域图就多尺度空间对象拓扑相似关系的表达与计算问题进行了研究;郭黎等 (2008) 基于空间方向矩阵研究了基于空间方向相似关系的面状矢量目标的匹配算法;郝燕玲等 (2008) 研究了基于空间相似关系的面实体匹配算法。艾廷华等 (2009) 基于傅里叶变化提出了一种基于形状相似性识别的空间查询方法等。闫浩文等 (2009) 对多尺度地图空间下的相似关系的一些基本问题进行了阐述。刘涛等 (2011, 2012) 针对空间群组目标之间的相似度计算进行了研究。安晓亚等 (2012) 从数据匹配的角度对空间数据的几何相似性进行了研究。刘鹏程等 (2012) 提出一种线要素相似性计算方法并用于地图综合的质量判定。

总体说来,作为空间关系的一种,空间相似关系的研究还处于比较初始的阶段。鉴于此,本书展开对空间群组目标相似关系的研究,旨在为空间相似关系理论的研究添砖加瓦。

1.4 本文的研究内容及体系结构

1. 研究目标及研究内容

空间相似关系是空间关系的一种,而空间关系是空间物体之间由空间物体的几何特性(位置、形状)所决定的关系,研究空间关系必须对多个空间目标及空间群组目标进行研究。基于此,提出本书的研究目标和主要内容有以下几点:

其一,给出空间相似关系的严密数学定义,研究空间相似关系的特点和性质。

其二,研究空间点群目标相似关系的有关理论,并给出相似度计算模型。

其三,研究空间线群目标相似关系的有关理论,并给出相似度计算模型。

其四,研究空间面群目标相似关系的有关理论,并给出相似度计算模型。

其五, 空间相似关系属于认知科学的一种, 需要人们的直观认知来进行判断并给出评价结论。基于此, 设计相关实验验证本书提出的相似度计算模型的正确性。

2. 研究方法

1) 数理统计方法

统计学特别是数理统计学, 是应用数学的一个分支, 它主要以数据为研究对象, 通过利用概率论进行数学建模, 收集并整理所观察对象或系统的数据(包括收集数据的方法), 进行量化的分析、总结, 进而进行推断和预测, 为相关决策提供依据和参考。数理统计学广泛应用于各门学科中, 从理学到工程学, 从经济学到社会科学, 从心理学到人文科学, 甚至用于工、商、农、林和政府的决策报告上(Ronald E. Walpole et al., 2010)。

地理空间实体是用数据进行描述和表达的。空间目标数据可以看做一种特殊的数据。对数据特别是大量数据(群组目标)而言, 一个重要的分析方法和实际应用就是统计分析方法。统计分析非常适合于处理数值型数据。统计分析方法多年来积累了大量的算法, 可以用于对空间现象建模和分析。如果两组数据的统计分析结果比较一致, 则有理由相信这两组数据的相似程度较高, 从而这两组数据所表达的地理实体之间的相似度也较高。基于这个思路, 在研究中引入空间统计分析的有关概念, 对空间数据进行统计分析, 以期找出描述空间群组目标的数据之间的相似程度, 用以描述空间群组目标之间的相似程度。

2) 图像处理方法

图像处理方法又称为计算机图像处理, 是指将图像信号转换为数字信号并利用计算机进行处理。图像处理的主要内容之一——图像分割技术, 是指将图像中有意义的特征部分提取出来, 进而进行图像识别、分析和理解。在计算机视觉领域, 图像分割是指将数字图像细分为多个图像子区域的过程, 通常用于定位图像中的物体、边界等。图像处理特别是图像分割中有许多关于图像相似度的研究成果。

地理空间信息数据一般可分为矢量数据和栅格数据, 矢栅转换方法及矢栅一体化表达方法在地理空间信息领域研究得比较多。目前, 在针对栅格图像领域的图像相似度的理论和成果(如图像检索、模式识别等领域)相对较多, 本文针对矢量数据, 通过对栅格图像的相似关系进行研究, 既可以将这些处理方法经过适当的变换并移植到对矢量数据的相似关系表达和计算中, 又可以针对不同类型的矢量空间目标, 采用适当的处理方法, 将矢量数据或矢量数据的有关特征数据转换为图像数据, 并利用图像处理的相关方法计算其相似度。

3) 计算几何

作为一门研究几何模型和数据处理, 探讨几何形体的计算机表达的学科, 在计算几