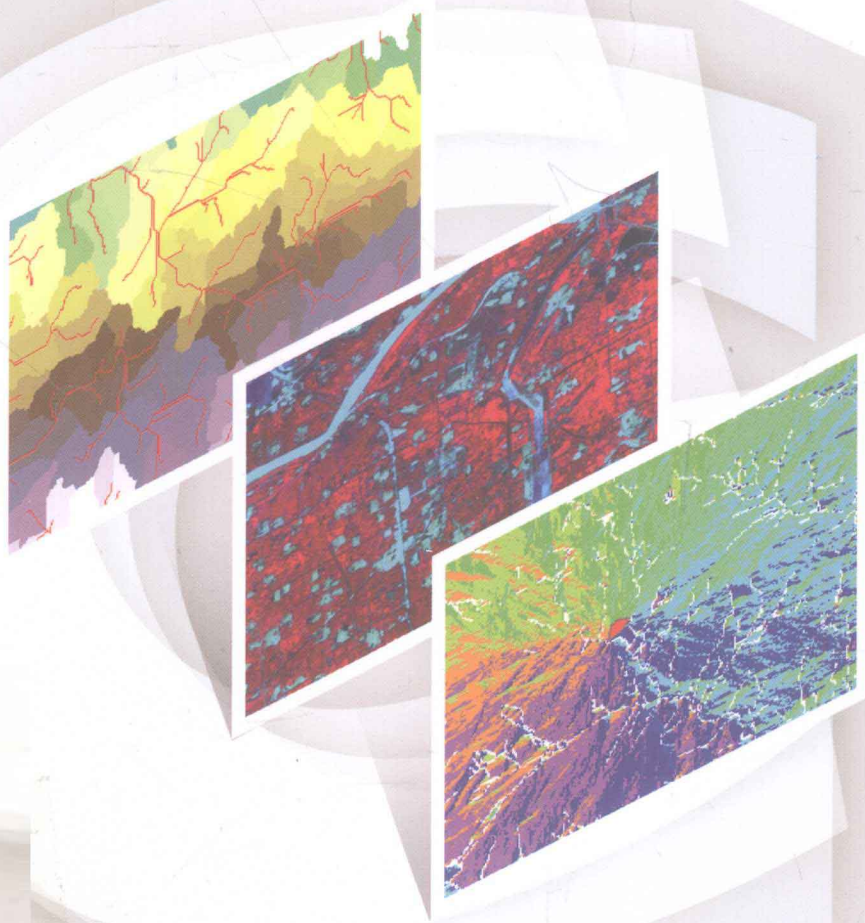




地理信息系统理论与应用丛书

地理信息系统空间分析原理

● 周成虎 裴韬 等 编著



科学出版社

地理信息系统理论与应用丛书

地理信息系统空间分析原理

周成虎 裴 韬 等 编著

中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-QN303)
中国科学院地理科学与资源研究所自主部署创新项目(200905004) 资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书着重阐述目前地理信息系统中空间分析方法的原理, 主要内容包括: 空间分析的思路、矢量数据和栅格数据的分析方法、数字高程模型分析方法、地理网络的表达与分析方法、空间插值模型、空间数据不确定性分析原理、空间数据挖掘理论及元胞自动机模型等。在介绍原理和方法的同时, 通过研究实例展示如何利用这些方法实施空间分析。

本书可作为地理信息系统高年级本科生和研究生教材, 也可供地理学、资源调查、地质找矿、环境保护、土壤学和生态学等领域科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统空间分析原理/周成虎, 裴韬等编著. —北京: 科学出版社, 2011

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 978-7-03-031621-9

I. ①地… II. ①周… III. ①地理信息系统-研究 IV. ①P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第115042号

责任编辑: 韩 鹏 赵 冰 贺密青 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏 杰 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年6月第一版 开本: 787×1092 1/16

2011年6月第一次印刷 印张: 15 1/4 插页: 4

印数: 1—4 000 字数: 347 000

定价: 49.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

自从地理信息系统 (geographical information system, GIS) 问世以来, 人们对空间数据实施空间分析的能力得到了革命性的提升。GIS 对地理学的作用可与显微镜对于生物学的作用相媲美。随着近 40 年 GIS 的不断成熟和发展, 其空间分析功能越来越强大。目前的 GIS 系统不仅可以处理数据量更大的空间数据集, 而且还可以包容更多的空间数据类型, 如要素数据、栅格数据、网络数据、空间场数据及面向对象的数据等。更为重要的是, GIS 提供的功能模块也与日俱增, 除常规的地图投影转换、拓扑分析、栅格分析、空间叠加分析等外, 还包括地统计、三维分析、网络分析及各种专业模型等。打开 GIS 系统, 数十个模块和各种工具箱, 还有每项功能中多个参数设置和选项往往令人眼花缭乱, 甚至不知所措。

GIS 结构与功能的复杂性为应用 GIS 进行空间分析带来了前所未有的挑战。正如 C++ 语言为程序的开发带来无限潜力的同时也使得 C++ 语言的学习和掌握成为一项艰巨的任务一样, GIS 在给地理学乃至其他学科带来希望和动力的同时, 其庞大的“身躯”和复杂的结构常常使人望而却步。在实际应用中, 不少初学者甚至对 GIS 的结构和功能还不完全了解, 或者对某项功能中参数的含义还不十分清楚, 就开始空间分析的操作, 这无疑会增加产生错误的可能性, 甚至给 GIS 的使用带来灾难。

目前, 在 GIS 领域内已有很多非常好的 GIS 教程或参考书, 这些书对 GIS 的结构和基本功能进行了系统的介绍, 对 GIS 的初学者起到了非常好的入门作用。然而, 面对复杂的应用问题, 仅了解 GIS 的结构及基本功能是远远不够的, 还必须掌握当前 GIS 中最新的空间分析方法及每个功能背后的基本原理, 只有这样才能真正地掌握 GIS 的本质, 从而对不同的功能进行“组装”, 形成完整的空间分析思路, 并在实际中“用活”GIS 的空间分析功能。

本书就是针对上述目的组织和安排其中的内容。本书避开对 GIS 结构的详细描述, 着重阐述目前 GIS 系统中空间分析的方法、功能及其原理, 并通过实例展示如何利用这些方法进行空间分析。全书共分 9 章: 第 1 章介绍空间对象的表达、GIS 的数据模型、GIS 的主要功能及空间分析的思路; 第 2 章介绍空间拓扑的概念、矢量数据的类型及其拓扑表达、矢量数据的叠和和缓冲区分析原理; 第 3 章介绍栅格数据的有关概念、地图代数的原理及基于栅格数据的综合模型; 第 4 章介绍数字高程模型的概念、DEM 的产生方法、基于 DEM 的地形分析; 第 5 章介绍图论的有关概念、地理网络表达、最优路径分析算法及网络分析模型; 第 6 章介绍空间随机场的相关概念、协方差函数与变差函数、结构分析理论与应用、估计方差、克立格方法的原理和应用; 第 7 章空间数据不确定性分析, 介绍空间数据不确定性的概念、与空间数据不确定性研究相关的理论、空间数据不确定性模型、空间数据不确定性的传递; 第 8 章介绍空间数据挖掘的基本概念、空间聚类方法、空间关联规则挖掘及空间决策树方法; 第 9 章介绍元胞自动

机的产生与发展现状、元胞自动机的概念及元胞自动机模型在地理学中的应用。

本书是在中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-QN303)和中国科学院地理科学与资源研究所自主部署创新项目(200905004)的支持下完成的。全书的内容主要来自作者在各自专业领域的研究成果以及对相关领域研究的文献综述与整理,因此书中不仅对GIS空间分析的基本原理进行详细的讨论,同时还对当今GIS空间分析方法的最新进展进行介绍。此外,在成书过程中作者结合在中国科学院研究生院的教学经验,在写作手法上力求简明扼要、通俗易懂,而且在每章最后都附有思考题供读者检查学习效果。全书写作的具体分工如下:前言和第1章,周成虎、裴韬;第2章,杜云艳、裴韬;第3章,苏奋振;第4章,姚永慧、裴韬;第5章,陆锋;第6章,裴韬;第7章,葛咏、裴韬;第8章,裴韬;第9章,马廷;全书由裴韬、周成虎统稿。此外,参与本书工作的还有秦承志、龚玺、孙嘉、罗明、万幼、刘汉丽、宋辞、孔祥兵等,在此一并致谢。

本书从构思到定稿,前后花费近5年,虽然在内容上力求涵盖GIS空间分析中常用方法的基本原理并包容最新的研究成果,写作上力求完美,但由于作者能力和水平的局限,无论在内容的组织还是写作方面,都难免出现疏漏和不妥之处,在此恳请读者不吝赐教。

周成虎 裴韬

2011年5月

于中国科学院地理科学与资源研究所

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 空间对象的属性、表达及空间关系	1
1.1.1 空间对象及其属性	1
1.1.2 空间对象的表达	2
1.1.3 空间对象间的关系	2
1.2 GIS 的数据模型	3
1.2.1 GIS 的概念数据模型	4
1.2.2 GIS 的物理存储模型	7
1.3 GIS 的组成及其功能	10
1.4 GIS 空间分析的思路和框架	11
1.4.1 GIS 空间分析的总体思路	11
1.4.2 空间分析的框架	11
1.4.3 空间分析的意义	12
1.5 教程安排	13
思考题	14
参考文献	14
第 2 章 矢量数据分析	15
2.1 拓扑的概念及矢量数据的拓扑关系	15
2.1.1 拓扑的概念	15
2.1.2 拓扑关系及其表达	16
2.2 矢量数据的类型及其拓扑表达	20
2.2.1 简单矢量数据结构	20
2.2.2 含拓扑关系的矢量数据结构	21
2.2.3 拓扑关系的判断	25
2.3 空间叠加分析原理及其应用	26
2.3.1 空间叠加分析的概念	26
2.3.2 基于矢量数据的叠加分析	27
2.3.3 地图的叠加方法	29
2.3.4 其他地图操作	31
2.3.5 空间叠加分析的应用	33
2.4 缓冲区分析原理	33
2.4.1 缓冲区的概念	33

2.4.2	缓冲区分析算法	35
2.4.3	缓冲区分析的应用	37
	思考题	38
	参考文献	38
第3章	栅格数据分析	39
3.1	栅格的基本概念	39
3.1.1	栅格数据	39
3.1.2	栅格数据的空间坐标	40
3.1.3	离散数据与连续数据	41
3.1.4	栅格精度	42
3.2	地图代数	43
3.2.1	基本概念	43
3.2.2	局部运算	46
3.2.3	邻域运算	48
3.2.4	区域运算	49
3.2.5	全局运算	51
3.3	综合模型	52
3.3.1	距离模型	52
3.3.2	密度模型	55
3.3.3	水系模型	57
3.3.4	空间评价模型	61
3.3.5	扩散模型	62
	思考题	62
	参考文献	62
第4章	数字高程模型分析	64
4.1	数字高程模型的概念及表示方法	64
4.1.1	数字地面模型和数字高程模型的概念	64
4.1.2	DEM的主要表示模型	64
4.2	DEM的产生方法	67
4.2.1	DEM的数据采集	67
4.2.2	数字摄影测量获取DEM	67
4.3	DEM的建立	69
4.3.1	等高线的建立	69
4.3.2	格网DEM的建立	70
4.3.3	TIN的建立	72
4.4	基于DEM的地形分析	77
4.4.1	坡度分析	77
4.4.2	坡向分析	79

4.4.3	表面积与土方计算	80
4.4.4	剖面分析	81
4.4.5	地形特征点的提取	84
4.4.6	可视性分析	85
	思考题	87
	参考文献	87
第5章	地理网络表达与分析	89
5.1	图论概述	89
5.1.1	图的基本概念	89
5.1.2	欧拉图与哈密尔顿图	90
5.1.3	图的存储结构	91
5.2	地理网络表达	93
5.2.1	地理网络要素	93
5.2.2	线性参考系统	94
5.2.3	动态分段与路径系统	95
5.3	最优路径分析算法	97
5.3.1	最短路径算法概述	98
5.3.2	Dijkstra 算法	101
5.3.3	旅行商问题	103
5.3.4	中国邮路问题	105
5.4	网络分析模型与方法	106
5.4.1	资源配置问题	106
5.4.2	选址问题	108
5.4.3	可达性评价	115
	思考题	120
	参考文献	120
第6章	地统计	122
6.1	空间随机场	122
6.1.1	随机变量	122
6.1.2	随机函数	122
6.1.3	随机过程、随机场与区域化变量	123
6.2	协方差函数与变差函数	124
6.2.1	基本概念	124
6.2.2	协方差函数	125
6.2.3	变差函数的定义	126
6.2.4	平稳假设与二阶平稳假设	128
6.2.5	协方差函数与变差函数之间的关系	129
6.2.6	实验变差函数的计算	130

6.2.7	实验变差函数的拟合及套合	133
6.3	结构分析的理论与应用	137
6.3.1	空间结构分析的思路	137
6.3.2	研究实例	137
6.4	估计方差	142
6.4.1	估计方差的定义	142
6.4.2	估计方差的应用	143
6.5	克里格方法原理	144
6.5.1	简单克里格原理	145
6.5.2	普通克里格原理	146
6.6	克里格方法应用实例	148
6.7	克里格插值方法的发展	149
	思考题	150
	参考文献	151
第7章	空间数据不确定性分析	152
7.1	空间数据不确定性研究的内容	152
7.1.1	空间数据不确定性的含义	152
7.1.2	空间数据不确定性的来源	153
7.1.3	空间数据不确定性的研究意义	155
7.2	与空间数据不确定性研究相关的理论和方法	155
7.2.1	概率论	156
7.2.2	空间统计理论	156
7.2.3	证据数学理论	156
7.2.4	模糊数学	156
7.2.5	粗糙集理论	157
7.2.6	现代控制论	157
7.3	空间数据不确定性模型	158
7.3.1	空间位置的不确定性模型	158
7.3.2	属性数据的不确定性模型	161
7.3.3	空间位置和属性不确定性的耦合	166
7.4	空间数据不确定性的传递	167
7.4.1	线性函数的误差传递	167
7.4.2	GIS数据不确定性的传递	168
7.4.3	遥感数据不确定性的传递	172
	思考题	176
	参考文献	176
第8章	空间数据挖掘	178
8.1	数据挖掘概述	178

8.1.1	数据挖掘和知识发现的概念	178
8.1.2	数据挖掘的主要任务	179
8.1.3	数据挖掘的主要方法	179
8.2	空间数据挖掘的研究内容和框架	181
8.2.1	空间数据挖掘的特殊性	181
8.2.2	空间数据挖掘的任务和方法	182
8.3	空间聚类方法	183
8.3.1	谱系聚类	183
8.3.2	分割聚类	190
8.4	空间关联规则的挖掘	198
8.4.1	与关联规则相关的几个概念	198
8.4.2	Apriori 算法介绍	200
8.4.3	空间关联规则	202
8.4.4	空间关联规则研究实例	203
8.5	空间决策树	205
8.5.1	决策树的概念	205
8.5.2	CLS 决策树算法	205
8.5.3	ID3 算法	207
8.5.4	决策树方法在地学研究中应用	212
8.6	空间数据挖掘研究中存在的问题和发展方向	214
	思考题	215
	参考文献	215
第 9 章	元胞自动机及其地理应用	217
9.1	元胞自动机的产生与发展	217
9.1.1	元胞自动机的起源	217
9.1.2	生命游戏模型	217
9.1.3	初等元胞自动机	219
9.2	元胞自动机的有关概念	220
9.2.1	元胞自动机的定义	220
9.2.2	复杂系统的几个概念	222
9.2.3	元胞自动机的特点	223
9.2.4	改进的元胞自动机模型	223
9.3	元胞自动机模型在地理学中的应用	224
9.3.1	元胞自动机在地理学研究中的应用概况	225
9.3.2	元胞自动机的地理建模实例	226
	思考题	232
	参考文献	232

第1章 绪 论

空间分析是 GIS 的核心功能。在本书中，空间分析的目的是在 GIS 的支持下，根据空间对象在时间和空间中的分布，从中提取空间对象（同类或不同类）之间的空间关系及其特征，获得其发生的规律和原因，并预测其发展趋势。然而，在进行系统的空间分析之前，一方面必须对所研究的空间对象进行定义，并弄清同类或不同类空间对象之间存在何种空间关系；另一方面，还要对用以进行空间分析的工具——GIS（包括数据模型、整体结构、分析功能等）进行全面了解。只有在掌握上述两方面内容之后，我们才能认清空间分析的本质，并最终利用好 GIS 这一强大的空间分析工具。本章作为全书的开场白，从介绍空间对象及空间关系等有关概念出发，简要回顾 GIS 的数据模型和基本结构，并在此基础上引出空间分析的思路和框架。

1.1 空间对象的属性、表达及空间关系

1.1.1 空间对象及其属性

1. 空间对象的定义

空间对象是指 GIS 空间分析的客体。它们是现实世界中客观存在的、带有空间信息的实体或现象。空间信息是指与空间位置、发生时间等有关的信息。人们能感知空间对象的存在是因为其具有多重属性，如空间位置、发生时间、大小、颜色、质地等。空间对象的表达可通过对其属性进行定性或定量的描述得以实现。

2. 空间对象的属性

空间对象的属性类型众多，但大致可分为两类：其一是空间要素属性，也称为空间属性；其二是非空间要素属性，也称为描述属性。

空间要素属性是指与空间（时间）位置相关的属性，主要包括空间对象的位置、大小、形状、速度、事件发生的时间等。

描述属性则是指与空间位置无关或无直接关系的属性，如颜色、质地、密度、硬度等。

GIS 空间分析的目的就是根据空间对象的属性进行分析，探求空间对象的时空分布规律、发生原因及发展规律。

3. 空间对象的类型

空间对象有多种分类方法，目前多采用以下两种分类方式：一种是按空间对象所具

有的空间维数进行分类；另一种是根据空间对象的连续性进行分类。

如按空间维数进行分类，则空间对象大致可分为 4 类。

(1) 零维空间对象：有位置无长度的空间对象，如居民点、小比例尺地图中的城市、地震的震中位置。

(2) 一维空间对象：有长度无面积的空间对象，如道路、河流、地下管道。

(3) 二维空间对象：有面积的空间对象，如不同的土地利用类型、行政区、等值线围成的区域。

(4) 三维空间对象：具有体积的空间对象，如地下的矿体、大坝、隧道。

如根据连续性进行分类，则空间对象可分为两类。

(1) 连续型的空间对象：在空间中连续分布的对象，如降水的分布、大气污染物浓度分布、海水的盐度分布。

(2) 离散型的空间对象：在空间中不连续分布的对象，如城市中的商业网点、建筑物、道路。

1.1.2 空间对象的表达

空间对象的表达是通过对其属性进行刻画而实现的。在 GIS 中，空间对象的表达通常需要考虑以下几个因素。

位置：用坐标值的形式（或其他方式）给出空间对象的位置。

编码：通常包括分类码和识别码两类。分类码标识对象所属的类别，识别码对每个对象进行唯一性标识。同一对象在不同的时间可能具有不同的编码，如上行和下行的火车。

类型：指明该对象属于哪一种类型或由哪些类型的对象组成。

行为：指明该空间对象可以具有哪些行为和功能。

描述属性：是指该空间对象所对应的非空间信息。对道路而言，道路的宽度、路面质量、车流量、交通规则等都属于描述属性。

说明：用于描述数据的来源、质量、精度等与空间对象相关的信息。

关系：指明与其他对象之间的关系。在关系中，空间分析重点关注的是空间关系。

在对空间对象进行表达（记录）时，上述这些因素并不都是必需的，其中，位置、编码、描述属性是描述空间对象时必不可少的，其他要素则可以根据对空间对象表达的具体需要进行取舍（张超等，1995）。

1.1.3 空间对象间的关系

由于空间对象具有多种属性，因此不同空间对象的属性之间就有可能构成复杂的关系。在这些关系当中，凡涉及空间属性的关系称为空间关系。空间关系的内容主要包括距离关系、方位关系、拓扑关系、空间相关、空间关联、空间配置关系、空间过程关系、空间尺度关系等。下面对这些空间关系进行简要阐述。

距离关系 指空间对象之间以空间距离衡量的远近关系。在 GIS 中，常用的距离包括欧氏距离、曼哈顿距离、明氏距离、旅行时间距离等。对于两个点空间对象，它们

之间的距离很好定义,而点对象与线(面)对象、线(面)对象与线(面)对象之间的距离有多种定义方法。例如,可以将两个对象中最近两点之间的距离作为两对象之间的距离。

方位关系 方位关系的定义和度量均建立在距离关系的基础之上,具体是指以两对象为端点所构成矢量的方位角的大小。

拓扑关系 拓扑性质是指图形(由空间对象抽象而成)在连续变形的条件下,保持不变的整体性质。拓扑关系则是指空间对象之间所保持的拓扑性质,具体的拓扑关系可包括相邻、相交、包含等(参见2.1节)。

空间相关 指在连续型的空间对象(如场对象模型,参见1.2节)中,空间两点属性值的差异与两点距离之间的关系服从地理学第一定律(相近者相似),即从统计学的角度上讲,空间两点之间的距离越近,其相似度就越高。

空间关联 与空间相关不同,空间关联是指在空间上不连续的两类或多类对象的属性之间存在着相互对应的关系。

空间配置关系 某种资源在不同对象或对象不同部分之间的分配关系。这种关系在资源(淡水资源、电力)合理分配和使用的工作中十分重要。

空间过程关系 空间过程是指空间对象在空间和时间中所留下的轨迹,这种轨迹是时空要素的耦合,而空间过程关系则反映了空间对象属性的时空耦合特征。

空间尺度关系 空间尺度是指观察者从高分辨率到低分辨率或从相反方向变化的角度观察空间对象时所呈现出的规律。空间对象在不同尺度之间的关系就可被认为是空间尺度关系。在很多时候,空间对象所代表的含义取决于观察的尺度。以人口普查为例,在县级的人口统计数据中,某个县就可视为独立的空间对象;而在省级的人口统计数据中,该县就不是独立的空间对象了,取而代之的是由多个县所构成的省。由于空间对象的内容会沿着尺度的变化而改变,因而空间尺度还被称为空间数据的“第四维”(邸凯昌等,1997)。

1.2 GIS 的数据模型

使用GIS对空间对象进行空间分析的首要任务就是将空间对象“放入”GIS系统中,这就牵涉如何表达和存储空间对象的问题。通过1.1节的介绍,我们了解到空间对象具有多种多样的属性,空间对象的表达就是通过对这些属性的描述实现的,而要合理、准确、高效地表达这些属性,就必须设计出相应的表达模型,通常也称为GIS的概念数据模型。在对空间对象进行表达之后的下一个任务就是将它们存储至GIS系统中,此时就需要设计GIS的物理存储模型。因此,GIS概念数据模型和物理存储模型的构建是进行空间分析的基础,同时它们也在很大程度上影响了GIS结构和功能的设计以及空间分析方法的构建和实施步骤。本节将主要对目前GIS系统中常用的几种概念数据模型和物理存储模型进行介绍。

1.2.1 GIS 的概念数据模型

1. 空间场模型

空间场用以描述空间上连续分布的对象，即连续型空间对象。空间上连续分布的含义并非要求空间对象本身一定连续，而是要求空间对象的支撑（定义域）是连续的区间。空间场模型可以用下面的公式表达：

$$f: x \rightarrow f(x)$$

式中： x 为空间位置； f 为可度量的映射。上式表示从空间域到值域的映射（张成才等，2004）。空间上连续分布的含义表示 x 的取值为连续的代数区间。例如，在一维空间中， f 的定义域为实数域中的闭区间或开区间；在二维空间中 f 的取值为封闭的区域，如此类推。

可以用空间场模型表达的空间对象较多，如空气中污染物的浓度、海水的温度、土壤的水分含量等。根据应用的不同，场模型通常表现为二维场或三维场。一个二维场就是在二维空间中任何已知的地点上，都有一个值与其对应；而一个三维场就是在三维空间中的任何位置都有一个值与之对应。一些现象（如元素在土壤中的分布）从本质上讲是三维的，但是在许多情况下可以由二维场近似表示。空间场模型具有如下的一些性质。

1) 空间结构性

在某连续空间场模型中，如果空间两点之间的距离较小，而它们的属性值的差异也较小，则认为该空间场具有结构性。此时，空间场模型中某点的属性值可通过邻近点的属性值进行推断。当空间两点间的距离趋于 0，而其属性值的差也趋于 0 时，则认为该空间场模型具有完全的结构性，如二次曲面所代表的空间场。在应用中，地势平缓地区用以表达地形的数字高程模型就可以近似地视为具有完全结构性的空间场模型。

2) 空间随机性

与空间结构性相反的是空间随机性。当空间上任意两点属性的相似性不与它们之间的距离存在关系时，则认为该空间场模型具有完全的随机性。例如，白噪声就是一种完全随机的模型。在实际的研究中，纯白噪声的例子并不多见，不过某些连续性不好的地球化学元素在空间上的分布可以近似地视为白噪声，如在地层中元素 Au 的分布。

完全的结构性模型和完全的随机性模型在现实中都是不存在的，空间场模型所描述的是一种介乎于这两种状态之间的空间随机场。在空间随机场中，结构性和随机性达到某种平衡，只不过有些时候结构性处于主导地位，而有些时候随机性占据上风。通常我们可以用另外一个术语——空间自相关来综合这两种性质。

3) 空间自相关

空间自相关是空间场模型中结构性和随机性的综合体现，其强弱反映了空间场中结

构性和随机性之间强弱程度的对比。实际上,空间两点的相关性与它们之间的距离存在一种函数关系,这种函数关系可以用变差函数或协方差函数模型进行描述(详细内容参见第6章)。根据变差函数或协方差函数模型中的参数,我们不仅可以分析空间随机场结构性的强弱,而且还可以分析其随机性的大小。

在一般情况下,空间场模型中两点间的相关性不仅与它们之间的距离有关,而且还与这两点所构成的矢量方向有关。如果空间随机场中的空间自相关性与方向有关,则称其为具有各向异性的空间自相关(简称为各向异性);否则,称其为各向同性的空间自相关(简称为各向同性)。各向同性在实际研究中是不多见的,大部分的空间场模型都表现为各向异性。例如,在有风的情况下,由某个烟囱中散发出的污染物的空间分布就是各向异性的。其中,在与风向一致的方向上,污染物的分布具有较强的空间自相关性;而与风向垂直的方向上,污染物的空间自相关性相对较弱。

上述这些性质是空间场模型研究的重点,同时也是一些空间预测方法(如克立格方法,其具体内容见第6章)的基础。

2. 空间要素模型

空间要素模型由点要素、线要素和面要素三部分组成。这三种要素是二维空间对象的组成基元,也就是说,任何二维空间对象都可以用空间要素模型和它们之间的组合进行表达。由于空间要素模型在空间对象与计算机处理之间架起了一座桥梁,故而它成为目前GIS系统中数据组织的基本方式。

1) 点要素

点要素用于表达可以抽象为点的空间对象,如地震的震中、城市的位置等。除此之外,点要素还可表达以下不同类型的点:注记点(用于定位注记)、内点(用于记录相应多边形的属性)、结点(表示线的终点和起点)。

2) 线要素

线要素可表达一维的空间对象,如道路、河流等。线状的空间对象具有以下空间性质:长度、弯曲度、方向性等。

3) 面要素

面要素也称为多边形要素,可表达面状的空间对象,如湖泊、岛屿、地块等。面状的空间对象具有如面积、周长、形状等性质。

空间要素模型的出现不仅建立起GIS空间数据库与空间对象之间的联系,同时也成为分析空间对象之间拓扑关系的基础。空间对象间的拓扑关系可以抽象为空间要素之间的拓扑关系,而空间要素之间的拓扑关系又可细分为以下要素之间的9种关系:点-点、点-线、点-面、线-点、线-线、线-面、面-点、面-线、面-面。空间要素拓扑分析的内涵和方法是GIS空间分析研究的重要内容之一。

3. 空间网络模型

空间网络是指不同的空间对象通过相互之间的连接,实现了诸如人口、资源、能量、信息之间的交流和分配。现实中的例子有城市交通网、河网、电网和城市的地下管线网等。空间网络模型表达了空间对象之间所形成的这种网络。网络模型包含5种要素,分别是网络边(link)、结点(node)、站点(station)、中心(center)和转向点(turn)。这些概念将在第5章中详细介绍。

由于空间网络模型对空间对象以及它们之间的连接方式和作用关系进行了抽象,因而十分适合表达空间对象之间的空间配置关系。GIS网络分析的研究包括以下一些问题:最优路径选择、资源分配、选址和分区分析、空间相互作用和引力模型等(具体的讨论参见第5章)。

4. 格网模型

格网模型是用一系列规则或不规则的小单元对空间对象进行表示的模型。格网模型可以表达连续型的空间对象,也可以表达离散型的空间对象。在利用格网模型进行分析时,我们假设格网中单个单元内的性质是均匀一致的。这样我们就可以将一个空间对象划分为一系列大小一致或大小不一的单元系统,从而实现化整为零的解决方案。在实际研究中,格网模型中的单元通常以规则的多边形为主,比较常用的有正三角形、正方形和正六边形,此类格网模型也被称为栅格模型。在某些情况下格网模型也可用不规则的多边形单元进行表达,如用以表达数字高程模型的不规则三角形网。

利用规则的格网模型进行模拟和计算的优势主要体现于以下两个方面。

(1) 格网的表达方式简单。例如,在正方形格网中,每个单元用一对行、列号就可以实现表达和访问。此外,正方形格网还与矩阵的表达方式一致,因而便于处理和计算。

(2) 便于对空间对象进行分割。由于规则的格网单元还具有可再分性。例如,正三角形、正方形和正六边形的格网单元都可以进一步再分为同类的格网单元。

虽然规则的格网模型具有上述优点,但并不适用于所有的情况。例如,对地形较为简单的区域采用规则格网表达则会产生大量的冗余数据,而在地形起伏非常剧烈的地区如果采用大小固定的单元则有可能无法体现地形更为细致的特征。另外,规则的栅格还不适于表达诸如山峰、坑洼、山脊、山谷等地形的关键特征,而在这种情况下,采用不规则的格网系统会更加有效。

5. 三维数据模型

三维数据模型可用于表达真实世界中的三维空间对象,如建筑物、地形地貌和水体中污染物的空间分布等,其表达方式较二维模型更复杂。不过与二维的数据模型类似,三维数据模型也有矢量和栅格之分。三维的栅格结构使用空间索引系统,它将空间对象分割为小单元(也可称为体元或体元素,如立方体)。三维的矢量结构可以用多种数据结构来实现,较常用的是具有拓扑关系的三维边界表示法和八叉树表示法(邬伦等,2001)。

三维数据模型是表达真实空间对象的基础，而针对三维数据模型的分析所需要解决的问题包括空间对象的三维可视化（包括可视性分析、剖面分析等）、土方计算、地形分析（剖面分析、坡向分析、坡度计算、曲率计算）、三维模拟（洪水模拟、矿山资源计算）等（具体内容参见第4章）。

6. 基于对象的数据模型

上述几种模型都基于图层的概念数据模型。这些模型在表达静态的空间对象时具有很强的操作性，但在面对复杂的空间对象时仍存在一些不足，主要表现为不利于表达空间对象在时空中的发展和变化，如对不同时段内形状和大小都发生变化的湖泊或冰川的表达。

针对基于图层的数据模型的弱点，一些学者根据面向对象的理论提出了基于对象的数据模型用以表达现实中的空间对象。这种模型以空间对象为单位，利用类似于面向对象程序设计中的类的概念来表达空间对象，这种数据模型比传统的基于图层的数据模型更灵活，且具有更多的内涵，因而可以更好地支持复杂的 GIS 应用（陆守一等，1998）。

1.2.2 GIS 的物理存储模型

1.2.1 中所论述的是用于表达空间对象的概念数据模型。概念数据模型是实施空间分析的基础，但如何将其存入计算机并进行操作，还需要通过 GIS 的物理存储模型来实现。

GIS 中数据的物理存储模型主要分为层次数据模型、网状数据模型和关系数据模型三类。它们分别实现了各种空间数据（概念模型）在数据库中的存储和管理，其中，关系数据模型的适用性最强，是目前 GIS 中最常用的存储模型（华一新等，2001；陆守一，2004）。下面对各种存储模型的含义及结构进行分析。

1. 层次数据模型

层次数据模型的特点是将数据按照层次关系进行组织，从而反映数据之间的隶属关系。层次数据模型通常采用的是有向有序的树形结构。结构中的结点代表数据记录，结点之间的连线描述位于不同结点数据间的从属关系。

在数据结构的学习中我们已知，一棵树有且仅有一个无双亲的结点，称为根结点；其余结点有且仅有一个双亲结点，它们可分为多个互不相交的有限集，其中每一个集合本身又是一棵树，可称为子树（严蔚敏和吴伟民，1991）。图 1.1 表示了空间对象 E 及其空间要素，其中，顶点构成有向边，有向边构成多边形，多边形构成空间对象。图 1.2 是图 1.1 所示空间关系的层次数据模型。这是一棵有向有序树，结点表示不同层次的要素，连线描述

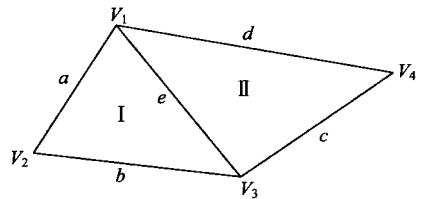


图 1.1 空间对象 E 及其空间要素（华一新等，2001）