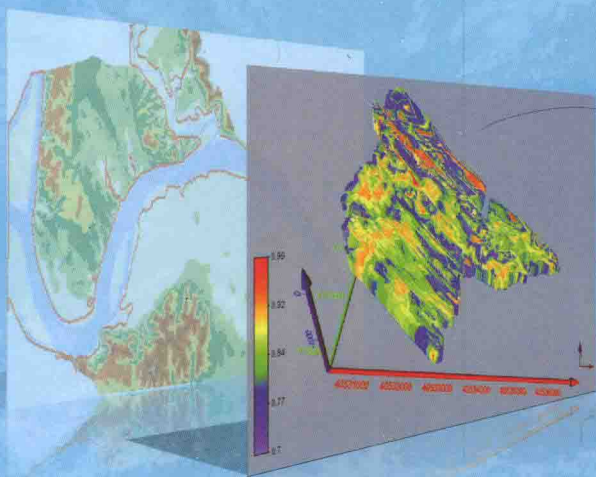


空间分析建模与应用

毛先成 黄继先 等 编著



科学出版社

空间分析建模与应用

毛先成 黄继先 等 编著

中南大学精品教材立项资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

空间分析是地理信息系统(GIS)区别于其他信息系统的核心指标。空间分析的强大功能主要体现在解决专业领域的实际问题,空间分析技术与专业应用模型的紧密结合,为GIS在专业领域的深入应用开辟了一条新的思路。

本书从空间分析的原理、方法、专业应用建模三个方面进行阐述,共9章,内容主要包括空间分析概述、空间量算、空间变换、基本空间分析方法、空间网络分析、三维地形分析、空间统计分析、智能化空间分析、空间分析建模及应用案例。

本书可作为高等院校地理信息系统及相关专业研究生和本科生的教材,也可供地理、测绘、土地、城建、规划等领域从事地理信息处理与分析人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间分析建模与应用/毛先成等编著. —北京:科学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-03-044627-4

I. 空… II. ①毛… III. ①地理信息系统—系统建模 IV. ①P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第124827号

责任编辑:杨红 / 责任校对:蒋萍

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:迷底书装

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>

北京厚诚则铭印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年6月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:388 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书编写人员名单

毛先成 黄继先 邓吉秋 邹艳红

刘兴权 张宝一 邓浩

前 言

空间分析是对综合分析空间数据有关技术的统称,一直以来,空间分析的研究落后于空间数据结构、空间数据库以及地图数字化和自动绘图技术。随着地理信息系统(geographic information system, GIS)的迅猛发展和逐步完善,空间分析研究的不足尤其是空间分析模型研究的不足,极大地限制了 GIS 的深入发展和广泛应用。

本书的编写和出版是在中南大学优势特色学科系列精品教材项目的资助下完成的。中南大学地理信息系统学科教育的特色是理论与实践并重,注重学生兴趣的引导和动手能力的培养。目前,国内外也有一些有关空间分析的著作,但适合地理信息系统专业本科生与研究生的教材并不是很多。本书作者结合多年来对空间分析及 GIS 相关学科的教学和研究体会,在注重与 GIS 其他课程衔接的基础上,以增强教材的实用性和激发学生的学习兴趣为主旨,遵循从数学基础、空间分析原理与方法、专业建模到实际应用案例的主线,紧密结合学科发展的前沿理论和新技术、新方法与新成果,完成了本书的编写,旨在为 GIS 及相关专业的学生或技术人员提供参考。

本书共 9 章:第 1 章介绍空间数据与空间分析的相关概念以及空间分析的发展历史、研究内容及其与其他学科的关系;第 2 章介绍空间分析中各种量测与计算的方法,包括基本几何参数量算、空间形态量算、空间分布计算、空间拓扑关系量算、空间距离量算与空间方位量算;第 3 章是空间变换,包括空间数据格式转换、地图投影与空间坐标变换,以及空间数据的多尺度表达与尺度变换方法;第 4 章介绍基于矢量与栅格模型的基本空间分析方法,包括缓冲区分析、叠置分析、栅格数据的聚类、聚合分析、栅格数据的追踪分析、栅格数据的窗口分析以及方向分析;第 5 章是基于网络数据模型的空间网络分析方法,包括图的相关概念、网络数据模型、最短路径分析、最佳路径分析、连通性分析、资源定位与分配、流分析、线性参考系统与动态分段技术以及地址匹配;第 6 章介绍基于数字地面模型的各种三维地形分析方法,包括数字地面模型(DTM)的表示及模型构建,各种地形因子的计算,基于不同网络模型的剖面分析、通视分析与淹没分析;第 7 章是空间统计分析方法的介绍,主要包括空间自相关分析、确定性空间数据插值、地质统计学分析及地理加权回归等分析方法;第 8 章主要介绍基于智能计算的空间分析,包括智能计算技术的介绍与地理空间数据的不确定性,模糊地理空间数据分析,基于人工神经网络、遗传算法、分形理论及小波分析等智能计算方法的地理空间问题分析,以及空间决策支持系统;第 9 章主要介绍空间分析模型的构建方法及空间分析应用案例,案例主要包括土壤重金属污染现状评价、建筑群空间分布模式提取、建筑朝向分析、地形山体分割、证据权法与资源三维预测建模、非水平河道洪水淹没模拟。

本书由毛先成、黄继先确定整体结构,主要编写人员有毛先成、黄继先、邓吉秋、邹艳红、刘兴权、张宝一、邓浩等。各章主笔分工为:第 1 章毛先成;第 2、4、5、6 章黄继先和刘兴权;第 3 章邹艳红;第 7 章张宝一;第 8 章邓吉秋;第 9 章毛先成、邓吉秋和邓浩。研究生张维、潘诗辰、杨莉、李小丽参与了资料收集、插图绘制等工作。最终本书由毛先成、黄继先统稿,毛先成定稿。

本书在编写过程中参考了许多作者的研究成果,在此表示感谢;同时也参考和引用了国

内外很多书籍和网站的相关内容，部分图片的素材和个别实例的初始原型也来源于网络，由于涉及的网站和网页太多，没有一一标明出处，敬请谅解。

本书的立项与编写得到了中南大学本科生院、中南大学地球科学与信息物理学院及中南大学地理信息系的大力支持，且本书中的许多应用案例源自中南大学地理信息系的科研成果，在此一并表示感谢！

由于时间仓促、学识有限，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请广大读者将意见和建议发送至 dx@mail.sciencep.com，以便在后续版本中不断改进和完善。

作 者

2015 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 空间数据	1
1.2.1 空间数据的类型	2
1.2.2 空间数据的基本特性	2
1.2.3 空间数据的表达方法	3
1.3 空间分析的定义与研究进展	4
1.3.1 空间分析的定义	4
1.3.2 空间分析的研究进展	5
1.4 空间分析的研究内容	6
1.5 空间分析与地理信息系统	7
1.6 空间分析与应用模型	8
1.7 空间模型与数学基础	8
1.7.1 空间模型	8
1.7.2 数学基础	9
第 2 章 空间量算	10
2.1 基本几何参数量算	10
2.1.1 位置量算	10
2.1.2 长度量算	10
2.1.3 面积量算	12
2.1.4 中心与重心	12
2.1.5 表面积	13
2.1.6 体积	15
2.2 空间形态量算	15
2.2.1 曲率和弯曲度	15
2.2.2 形状系数	17
2.2.3 长轴、短轴与大地长度	17
2.2.4 简单图形概括	20
2.2.5 空间抽样	22
2.2.6 曲线插值与光滑	25
2.2.7 曲面拟合	26
2.2.8 地形特征点计算	29
2.2.9 曲面结构线计算	30

2.3 空间分布计算	33
2.3.1 空间分布的类型	33
2.3.2 描述空间分布的参数	33
2.3.3 空间聚类	36
2.3.4 梯森多边形	39
2.4 空间拓扑关系	42
2.5 空间距离	44
2.5.1 距离的表示	44
2.5.2 空间距离的定义与计算	44
2.5.3 欧氏距离变换	45
2.5.4 曲面距离的计算	47
2.6 空间方位	48
第3章 空间变换	50
3.1 空间数据格式转换	50
3.1.1 空间数据格式类型	50
3.1.2 空间数据格式转换	52
3.2 地图投影与空间坐标变换	54
3.2.1 地图投影和投影变形	54
3.2.2 中国基本比例尺地形图投影	57
3.2.3 地图投影变换	60
3.2.4 地图平面坐标计算及其变换	62
3.3 空间尺度变换	64
3.3.1 空间数据的多尺度表达	64
3.3.2 空间尺度变换方法	65
第4章 基本空间分析方法	67
4.1 缓冲区分析	67
4.1.1 缓冲区生成算法	67
4.1.2 动态缓冲区	69
4.1.3 三维缓冲区	71
4.2 叠置分析	72
4.2.1 点与点的叠置	72
4.2.2 点与线的叠置	73
4.2.3 点与多边形的叠置	74
4.2.4 线与线的叠置	74
4.2.5 线与多边形的叠置	76
4.2.6 多边形与多边形的叠置	77
4.2.7 栅格叠置运算	80
4.3 栅格数据的聚类、聚合分析	82
4.4 栅格数据的追踪分析	83

4.5 栅格数据的窗口分析	83
4.6 方向分析	85
4.6.1 线数据集的方向分析	85
4.6.2 点数据集的方向分析	86
4.6.3 表面方向分析	87
第5章 空间网络分析	88
5.1 图的相关概念	88
5.2 网络数据模型	89
5.3 最短路径分析	91
5.3.1 Dijkstra 算法	91
5.3.2 Floyd 算法	93
5.3.3 A^* 算法	94
5.4 最佳路径分析	95
5.4.1 最可靠路径	95
5.4.2 最大容量路径	96
5.5 连通性分析	96
5.6 资源定位与分配	97
5.6.1 资源分配模型	97
5.6.2 P -中心定位与分配问题	98
5.7 流分析	99
5.7.1 问题	99
5.7.2 基本概念	100
5.7.3 求解最大流——标号法	102
5.7.4 最小费用最大流问题	103
5.8 线性参考系统与动态分段技术	105
5.8.1 线性参考系统	105
5.8.2 动态分段技术	106
5.9 地址匹配	106
第6章 三维地形分析	107
6.1 DTM 及其表示方法	107
6.2 不规则三角网的构建	108
6.2.1 角度判别法建立 TIN	109
6.2.2 Delaunay 三角网构建 TIN	109
6.3 地形因子计算	111
6.3.1 曲面曲元曲率	111
6.3.2 坡度和坡向	112
6.3.3 地表粗糙度	114
6.3.4 格网面元凹凸系数	115
6.3.5 高程变异系数	115

6.4 剖面分析·····	116
6.4.1 基于正方形格网的剖面线·····	116
6.4.2 基于 TIN 的剖面线·····	118
6.5 通视分析·····	118
6.5.1 点对点通视·····	119
6.5.2 点对线通视·····	119
6.5.3 点对区域通视·····	120
6.5.4 地物可视化模型·····	120
6.6 淹没分析·····	120
6.6.1 给定洪水水位的淹没分析·····	121
6.6.2 给定洪水量的淹没分析·····	123
第 7 章 空间统计分析 ·····	124
7.1 空间自相关分析·····	124
7.2 确定性空间数据插值·····	125
7.2.1 反距离加权插值·····	126
7.2.2 趋势面插值·····	128
7.2.3 局部多项式插值·····	130
7.2.4 径向基函数插值·····	131
7.3 地质统计学分析·····	132
7.3.1 变差函数·····	133
7.3.2 变差函数的理论拟合·····	135
7.3.3 克里格估值·····	137
7.4 地理加权回归·····	140
7.4.1 普通线性回归模型·····	140
7.4.2 地理加权回归模型·····	140
第 8 章 智能化空间分析 ·····	143
8.1 智能计算技术·····	143
8.1.1 人工智能技术的产生与发展·····	143
8.1.2 智能计算技术的概念·····	145
8.1.3 智能计算技术的特点及组成·····	146
8.2 地理空间数据的不确定性·····	147
8.2.1 空间数据不确定性的概念及类型·····	147
8.2.2 空间数据不确定性的来源·····	149
8.2.3 空间数据不确定性研究的内容与理论方法·····	150
8.2.4 智能化空间分析技术·····	150
8.3 模糊地理空间数据分析·····	151
8.3.1 模糊集合与模糊逻辑·····	152
8.3.2 模糊空间信息的表达与度量·····	153
8.3.3 模糊拓扑关系模型·····	156

8.3.4 模糊查询	158
8.3.5 模糊叠加	160
8.4 基于人工神经网络的地理空间问题模拟	161
8.4.1 复杂地理问题的研究方法	161
8.4.2 人工神经网络模型	161
8.4.3 基于人工神经网络的地理空间模型	163
8.5 基于遗传算法的地理空间问题分析	166
8.5.1 遗传算法	166
8.5.2 基于遗传算法的地理空间问题模拟与求解	167
8.6 基于分形理论的地理空间问题分析	169
8.6.1 分形理论	169
8.6.2 基于分形理论的地理空间问题模拟与求解	176
8.7 基于小波分析的地理空间问题分析	177
8.7.1 小波分析理论	177
8.7.2 基于小波分析的地理空间问题模拟与求解	181
8.8 空间决策支持系统	182
8.8.1 空间决策支持系统概念	183
8.8.2 空间决策分析	183
8.8.3 GIS 与专业模型集成分析	185
第 9 章 空间分析建模及应用案例	188
9.1 空间分析建模概述	188
9.1.1 地图模型的概念	188
9.1.2 地图模型实例	189
9.1.3 地图模型实现	190
9.2 土壤重金属污染现状评价	191
9.2.1 评价方法	191
9.2.2 土壤重金属污染评价分级	192
9.2.3 基于 GIS 的土壤重金属污染分析	193
9.3 建筑群空间分布模式提取	199
9.3.1 建筑群空间分布模式	199
9.3.2 建筑格式塔群	201
9.3.3 潜在格式塔群的选取	202
9.3.4 格式塔特征的提取	204
9.4 建筑朝向分析	206
9.5 地形山体分割	208
9.5.1 Morse 理论	208
9.5.2 分割计算的实现	209
9.6 证据权法及资源三维预测建模	210
9.6.1 证据权法的基本原理	210

9.6.2 三维空间下的证据权建模方法	211
9.6.3 三维空间下的证据权法成矿预测应用研究	214
9.7 非水平河道洪水淹没模拟	215
9.7.1 基本思路	216
9.7.2 原理与方法	216
9.7.3 实例计算与结果分析	219
主要参考文献	221

第1章 绪 论

1.1 引 言

地球上 80% 的信息都是与空间相关的,空间信息在人们生活、国家建设、社会发展等方面都发挥着重要作用。伴随着空间数据获取手段的不断发展,各种空间数据的获取已经非常便捷高效。然而,由于缺乏有效的空间分析与数据挖掘方法,出现了“数据丰富而知识贫乏”的局面。从海量的空间信息中分析挖掘出有用的信息来认识和把握地球和社会的空间运动规律,为规划、预警预报和调控提供决策支持,亟须建立起一套完整的理论和方法体系来进行空间信息分析。

空间分析方法用于地理现象研究已有很长的历史。自从地图出现,人们就开始在地图上测量地理要素之间的距离、面积,利用地图进行战术研究和战略决策,这是一种最原始的空间信息分析行为。1854 年,英国医生琼·斯诺利用地图分析方法发现了伦敦霍乱流行的原因,揭示了霍乱病发病的根源,可以认为是空间分析技术不自觉运用的代表。现代空间分析概念的提出起源于 20 世纪 60 年代地理和区域科学的计量革命,部分模型开始初步考虑了空间信息的关联性问题。从 70 年代开始,空间统计学迅速发展,相关理论与方法逐渐完善。到 90 年代后,随着地理信息系统(geographic information system, GIS)的广泛应用,地理学、生态学、经济学、流行病学、环境科学等学科建立起专门的空间分析模型,促进了空间分析的繁荣发展。信息处理能力的逐渐提高和空间分析模型的日益成熟,推动空间分析功能向强调地理空间自身的特征、面向空间决策支持、虚拟时空演化过程及提供智能服务等方向发展(汤国安和杨昕, 2012)。

利用空间分析方法不但可以查询空间信息,还可以通过空间关系揭示事物间更深刻的内在规律和基本特征。随着空间分析方法的发展和应用领域的拓宽,人们对空间分析的要求逐渐由位置定位和路线规划等基本的问题分析,转向对所处位置与周围环境的关系的探究。目前,空间分析已经广泛应用于地理学、生态学、经济学、地质学、流行病学、犯罪、交通、考古等社会生活的各个方面。

进入 21 世纪以来,空间技术及其理论都有了突破。高分辨率遥感影像、Lidar 数据、InSAR 技术和三维地理信息系统等理论技术的发展,给传统的空间分析方法带来了重大的挑战。许多学者对空间分析进行了更为深入的研究,涌现出大量的新理论和新方法,系统地总结分析这些最新的成果,对于深化 GIS 空间分析研究、提高 GIS 空间分析功能,从而扩大 GIS 的研究和应用水平,具有切实的意义。

1.2 空间数据

空间分析的对象是空间数据(spatial data)。空间数据是指用来表示空间实体的位置、形状、大小、分布等信息的数据,代表了现实世界地理实体或现象在信息世界的映射,是地理空间抽象的数字描述和离散表达。空间分析方法受到空间数据表示形式的制约和影响,研究空间分析必须考虑空间数据的类型、特性和表达方法。

1.2.1 空间数据的类型

根据数据的内容,空间数据可以概括为以下3类(朱长青和史文中,2006)。

1) 属性数据

属性数据是用以描述空间事物或现象属性特征的数据,即用来说明空间实体“是什么”,也称作专题特征,如事物或现象的类别、等级、数量、名称等。

2) 几何数据

几何数据是用以描述空间事物或现象空间特征的数据,即用来说明空间实体“在哪儿”,也称作几何特征、定位特征,如事物或现象的位置、形状和大小等。

3) 关系数据

关系数据是用以描述空间事物或现象之间关系的数据,即用来说明空间实体“有什么关系”,包括拓扑空间关系、顺序空间关系、度量空间关系,如空间实体的邻接、关联、包含等。

1.2.2 空间数据的基本特性

作为数据的一种特殊形式,空间数据具有数据的一般特性,如客观存在性与抽象性、概括性与多态性、可存储性与传输性、可度量性与近似性、可转换性与可扩充性、商品性与共享性等,同时又具有自身特有的性质,空间数据的自身特性构成空间分析的条件和任务(刘湘南等,2008)。

1) 空间依赖性与异质性

地理学第一定律提出:地理事物或属性在空间分布上互为相关,距离越近相关性越大。这反映了空间数据的空间依赖性。空间依赖程度可通过空间自相关度量,空间自相关就是空间依赖性概念的数学表述,用于描述空间数据的聚集性及空间相互作用,是一个空间位置上的样本数据与其他位置上数据的依赖性的观测值。同时,空间数据又具有异质性,即描述空间数据在空间分布上的不均匀性及复杂程度。空间异质性源于各空间位置的独特性质,表明空间数据的变化缺乏平稳性,与行为关系在空间上的不稳定有关,也称为空间非平稳性。该特性的功能形式和参数随着研究区域的不同而不同,但是在局部的区域变化中有可能是一致的。

2) 尺度性

尺度性指数据表达的空间范围的相对大小和时间的相对长短,是空间数据的重要特征。地球空间可以划分为不同级别的子空间,各个级别的子空间对象在规模大小和时间长短方面存在很大差异,尺度性是用于描述各种尺度中空间数据的重要特征,包括空间尺度性和时间尺度性。空间尺度性是指空间数据所表达的空间规模的大小,可分为不同的层次;时间尺度性表示的是空间数据的时间周期的长短。多尺度的地理空间数据反映了地球空间现象及实体在不同时间和空间尺度下具有的不同形态、结构和细节层次,应用于宏观至微观各层次的空间建模和分析应用。

3) 不确定性

空间数据的不确定性是空间数据的“真实值”不能被肯定的程度,贯穿于空间数据的获取、存储、更新、传输、查询、分析等空间数据处理的全过程。由于客观世界的复杂性、人

类认知的局限性、数据获取方法与计算设备的水平和对数据质量的限制、空间分析处理方法与模型表达的多样性以及数据处理技术与方法的局限性等原因,造成了不确定性的普遍客观存在,所以必须在空间数据不确定性的基础上对空间数据进行更高层次的处理,进行空间数据不确定性研究,以消除数据之间的矛盾并评价空间数据的质量。

4) 海量与多维度

空间数据不仅能描述三维空间和时间,还可以表现空间目标的属性以及数据不同的测量方法、不同来源、不同载体等多维信息,实现多专题的信息记录。随着对地观测计划的不断发展,每天可以获得上万亿兆的关于地球资源、环境特征的数据,空间数据的属性增加极为迅速。例如,在遥感领域,由于传感器技术的飞速发展,波段的数目也由几个增加到几十甚至上百个。海量与多维度的空间数据处理和分析成为目前空间数据分析亟待解决的问题之一。

1.2.3 空间数据的表达方法

所有空间数据都可抽象表示为点、线、面3种基本的图形要素,可以用不同的数据模型来进行表达,主要的数据模型有栅格数据模型、矢量数据模型、矢栅一体化数据模型(汤国安等,2007)。

1) 栅格数据模型

栅格数据模型是以规则或者不规则的格网阵列表示空间对象的数据模型。空间位置由栅格阵列中的单元的行列号确定,空间对象的属性由栅格单元上的数值来表达,如地表高程、气象属性、水文特征、地表覆盖等,每个栅格单元有且仅有一个属性值。栅格单元的格网大小反映了数据的空间分辨率。在栅格数据结构中,点状地物用一个独立的栅格单元(像元)表示;线状地物则用沿线走向的一组相邻栅格单元表示,每个栅格单元最多只有两个相邻单元在同一条线上;面状地物用记录着区域属性的相邻栅格单元的集合表示,每个栅格单元可有多于两个的相邻单元属于同一个区域。

常用的栅格数据结构有游程长度编码结构、四叉树数据结构、二维行程编码结构等。

栅格数据类型具有“属性明显、位置隐含”特点。它的数据结构简单、易于实现、数学模拟方便、操作简单,有利于基于栅格的空间信息模型的分析,但表达精度不高,数据存储量大,工作效率较低。

2) 矢量数据模型

矢量数据模型采用坐标描述点、线、面实体对象。点实体使用一对空间坐标点对 (x, y) 表示;线实体使用一串坐标点对 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 表示;面实体采用首尾相连的坐标串 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n), (x_1, y_1)$ 表示。地理现象的观察尺度或概括程度影响着实体对象的使用种类。在小比例尺图中,城镇可采用点实体表示,道路和河流用线实体表示。而在较大比例尺图中,城镇、道路和河流需表示为一定形状的多边形对象。

矢量数据模型,可以明确地描述图形要素间的拓扑关系。在具有拓扑关系的矢量数据模型中,多边形边界被分割成一系列的弧段和节点。节点、弧段和多边形之间的拓扑关系存储在拓扑关系表中。矢量数据结构按其是否明确表示地理实体间的空间关系分为实体数据结构和拓扑数据结构两大类。

矢量数据结构类型具有“位置明显、属性隐含”特点。这种特点使其能够精确地表达点、

线、面,且数据存储量小,能高效地进行比例尺变换、投影变换以及图形输出。但它操作起来比较复杂,一些分析操作(如叠置分析等)用矢量数据结构难以实现。

3) 矢栅一体化数据模型

考虑到矢量数据模型和栅格数据模型在描述和表达空间实体时各有优缺点,综合矢量与栅格数据的特点,构造矢栅一体化数据模型,有利于地理空间现象的统一表达。在这种数据结构中,既具有矢量实体的概念,又具有栅格覆盖的思想。

在矢栅一体化数据模型中,对地理空间实体同时表达为矢量数据模型和栅格数据模型。点实体同步记录其空间坐标及栅格单元行列号;线实体多采用矢量数据模型表达,同时将线所经过的位置以栅格单元进行填充;面实体的边界采用矢量数据模型描述,而其内部采用栅格数据模型表达。这种数据模型融合了矢量数据“位置明显”(空间实体具有明确的位置信息,并能建立和描述拓扑关系)和栅格数据“属性明显”的优点(明确了栅格与实体的对应关系),弥补了矢量数据“属性隐含”和栅格数据“位置隐含”的缺点。

此外,还有镶嵌数据模型、面向对象数据模型等数据模型,它们都具有自身特征和适用范围。进行空间分析数据结构选择时,需要根据具体应用目的来确定空间数据模型。总的来说,没有最优的空间数据模型,只有最适合的空间数据模型。在表达连续现象时,一般采用栅格数据作为主要数据结构,如地表高程、地质体属性等的表达;而在表达离散对象时,通常采用矢量数据结构,如独立地物、道路网络等的表达。

1.3 空间分析的定义与研究进展

1.3.1 空间分析的定义

空间分析有着众多的相关称谓,如地理信息分析或地理空间分析、地理信息统计分析、地理分析、空间数据分析、空间统计学、空间统计与建模、地质统计学等,这些称谓从多个侧面反映了空间分析的丰富内涵和广泛应用。根据空间分析应用领域的不同,其各有侧重点。

(1) 地理学的空间分析以分析地理数据为主,也可称为地理分析,以遥感图、地图和经济、社会等数据为分析对象,以地理建模、计量地理、地质统计学等方法分析问题,代表作如《空间分析》(王劲峰等,2006)。

(2) 测绘学的空间分析以测绘数据、遥感数据、地图数据(二维、三维)为主,经济、社会等数据为分析对象的研究较少,主要使用计算几何、地图代数等方法来分析问题。代表作如《空间分析》(郭仁忠,2001)。

(3) 建筑学的空间分析以建筑空间、城市空间或环境空间为主,依托建筑学和城市规划理论,结合规划实际需求,从微观和中观的角度分析空间分布情况。代表作如《城市空间理论与空间分析》(黄亚平,2002)。

(4) 地质学的空间分析以地质统计学为主,依托地质学及其理论,从宏观角度研究地球演化、矿物分布及预测、地质灾害监测预报等,主要应用于工程地质、水文地质、地质灾害、成矿预测等方面。代表作有《实用地质统计学》(侯景儒,1998)。

实际上,空间分析既有基于GIS的图形分析,又有基于统计学的分析和建模;既有地理学的应用,又有流行病学、生态学、环境科学、建筑学等领域的应用。空间分析被明确提出

后，国内外众多学者从不同角度对其进行了定义(表 1-1)。

表 1-1 空间分析相关定义

作者	定义
Goodchild, 1987	空间分析是对数据的空间信息、属性信息或者二者共同信息的统计描述或说明
Haining, 1990	空间分析是基于地理对象的空间布局的地理数据分析技术
李德仁等, 1993	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
Baily, 1995; Openshaw, 1997	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使之成为不同的形式，并且提取其潜在的信息
郭仁忠, 1997	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，其在于提取和传输空间信息
张成才等, 2004	空间分析就是利用计算机对数字地图进行分析，从而获取和传输空间信息
de Smith, 2005	地理空间分析定义为二维地图操作和空间统计学
黎夏和刘凯, 2006	空间分析以地理空间数据库为基础，运用逻辑运算、一般统计和地质统计、图形与形态分析、数据挖掘等技术，提取隐含在空间数据内部的与空间信息有关的知识和规律，包括位置、形态、分布、格局以及过程等内容，以解决涉及地理空间的各种理论和实际问题
Longley, 2007	空间分析是结果随对象的位置变化而变化的一系列技术
刘湘南等, 2008	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，是集空间数据分析和空间模拟于一体的技术，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

从以上的多种空间分析的定义可以看出，它们的侧重点各不相同，或侧重于统计分析与建模(如 Goodchild, Haining, de Smith)，或侧重于空间信息的提取和空间信息的传输(如李德仁等, Baily, Openshaw)，或侧重于地理学(如黎夏和刘凯, 刘湘南等)，或侧重于地图学(如张成才等, de Smith)，但都从不同的方面对空间分析的内涵进行了阐释。

1.3.2 空间分析的研究进展

纵观空间分析研究的发展过程，可以将其分为 3 个发展阶段：20 世纪 60 年代的探索时期、20 世纪 70~80 年代的空间统计学时期和 20 世纪 90 年代至今的纵深快速发展期(赵永和王岩松, 2011)。

1) 20 世纪 60 年代的探索时期

该阶段的空间分析主要集中在空间数据的分析和空间自相关的测度上。空间自相关测度首次被用于研究二维或更高维空间随机现象(Moran, 1950)，但当时空间分析的理论体系尚未建立，缺乏相关论著，空间统计学也尚未起步，仅仅是常规统计手段在空间分析中的应用。到 20 世纪 60 年代晚期，随着对空间自相关的进一步认识，学者了解到运用常规统计手段进行地理分析的严重局限性，开始关注空间统计研究，先后提出了地理空间上的最优预测(Matheron, 1963)、平均拥挤度(Lloyd, 1967)、空间自相关等理论，为空间统计学的发展奠定了基础。

2) 20 世纪 70~80 年代的空间统计学时期

20 世纪 70~80 年代是空间统计学迅速发展的时期。空间点模式分析、地质统计分析都得到了迅速发展。在该阶段，关于空间统计学的教材和专著众多，内容涉及空间数据的统计分析、地图分析、空间自相关、空间依赖性和空间相互作用模型等，有著作如《空间统计学》、《空间点模式统计分析》、《随机几何及其应用》、《空间计量经济学》等。

除空间统计学外，其他方面的空间分析研究也取得了丰硕的成果，如地理学第一定律