

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

GIS 与空间分析——原理与方法

黎 夏 刘 凯 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要阐述了地理信息系统(GIS)空间分析的基本原理、方法和有关模型,并对GIS空间分析的前沿性方向进行了介绍,包括空间推理和决策、空间优化、空间知识挖掘、元胞自动机和地理过程分析等。此外,本书还提供了常用GIS软件的空间分析工具使用说明和相关练习,以加深读者对空间分析的理解并加强解决问题的能力。

本书可用作GIS专业本科生、研究生和地理科学专业研究生教材,也可作为GIS专业研究生入学考试的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

GIS与空间分析——原理与方法/黎夏,刘凯 编著.—北京:科学出版社,2006

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-017270-1

I. G… II. ①黎…②刘… III. 地理信息系统-高等学校-教材
IV. P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第051237号

责任编辑:郭 森 杨 红 李久进 / 责任校对:李奕莹
责任印制:张克忠 / 封面设计:黄华斌

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年8月第一次印刷 印张:22

印数:1—3 500

字数:417 000

定价:34.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前 言

自从地理信息系统(GIS)于20世纪60年代在加拿大诞生以来,GIS技术经历了近50年的快速发展。GIS从原来局限于地理研究和土地测绘等政府部门的小范围应用,到现在被各学科、各行业部门和企业的广泛使用,其发展趋势也经历了从强调“系统”本身的功能,到强调推动技术发展的“科学”,再到现在侧重于为大众普及“服务”的转移。这些变化一方面归结于计算机硬件性能的改善(例如CPU速度和存储容量呈指数形式的加速和增大)和计算机软件技术的快速发展(包括数据库技术、Windows操作系统、基于对象的编程语言、遥感图像处理、人工智能等的出现和发展);另一方面归结于日益拓宽的应用领域及日常处理信息量的爆炸式增长。另外,近年来Internet技术的发展也使得GIS可以为公众提供一种快捷和方便的服务。

但无论GIS如何变化,对空间信息进行处理和分析一直是GIS的核心和重要功能之一。GIS具有的强大空间分析功能,是其区别于计算机制图系统和数据库管理系统的显著特征之一。GIS的应用不能停留在空间数据的录入、修改、查询和显示等初始阶段,人们希望从海量的数据中提取有价值的知识和信息,即找出数据之间的关系,并分析其中的原因,还要根据现有的数据,预测未来的发展趋势。因此,英国的Openshaw曾提出了地学计算(GeoComputation,GC)的概念,认为它将是GIS在21世纪的前沿性研究领域,是21世纪“后GIS”(post-GIS)发展的产物。GIS存储了大量的空间数据,隐藏了许多有用的信息。GIS空间分析正是从GIS数据库挖掘出知识的最重要的工具之一。

GIS空间分析最主要的功能和作用有:发现空间数据中内在隐含的空间关系、空间模式和空间规律;为已有的问题寻找答案和结果;检验和证实已有的论点和假设;从空间数据中找到满足某些应用的新理论、新观点和普适性的方法。GIS空间分析的目的就是完成对空间数据的分析操作,得到分析结果,应用到实际问题中。空间分析所涉及的应用主要有查询操作、推理操作、量算、描述、总结操作和优化模拟操作。这是GIS空间分析所特有的操作,即针对空间数据,根据一定的模型来验证假设和获取知识。

本书对GIS空间分析的基本方法进行了系统的介绍,包括基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术;对地理现象的位置、形态和空间布局的分析,例如,寻找适宜位置、计算成本距离等;还包括对空间关系和空间过程的研究,例如,识别空间关系,获得它们的内在规律,特别是隐含的空间信息。本书还进一步

介绍了 GIS 空间分析的前沿性研究,包括探索性空间分析、空间知识挖掘、空间优化决策和地理元胞自动机等。这些空间分析方法,可以帮助读者认识地理现象的格局和分布规律,也促进了其对复杂过程的理解,尽管完全掌握与过程有关的规律是十分困难的。

本书是在吸取国内外相关教材的精华、参考相关领域的最新研究成果的基础上,结合作者的一些科研成果体会完成的。本书可以作为 GIS 专业本科生、研究生和地理科学专业研究生教材,也可作为 GIS 专业研究生入学考试的参考用书。

本书以常用的 GIS 软件为例,介绍了 GIS 空间分析的实现方法。全书共分 9 章。第 1 章对 GIS 的基本概念、发展历史、发展趋势等进行了介绍。第 2 章介绍了 GIS 空间分析的概念、常用方法、在 GIS 中的地位。第 3 章介绍了 GIS 基础,包括 GIS 数据、元数据、数据结构、空间数据库、空间分析的一般模型等。第 4 章介绍 GIS 空间分析的一般方法,包括叠置分析、缓冲区分析、数字高程模型分析、探索性空间数据分析等。第 5 章讨论了 GIS 统计分析方法,包括空间形态的度量、地统计分析、属性数据的一般统计分析、回归分析、GIS 数据的内插方法、景观格局分析等。第 6 章对 GIS 与空间推理、选址和优化等进行了介绍,包括案例推理、区位-配置模型、空间多准则决策分析、启发式空间搜索、空间相互作用等模型方法。第 7 章介绍了空间数据知识挖掘的基本概念及主要技术。第 8 章介绍了基于元胞自动机的地学模拟的原理和方法。第 9 章是空间分析常用工具与练习,结合 ArcGIS 9.0 软件,对常用的 GIS 空间分析方法给出了实验例子。

本书得到了教育部“985 工程”“GIS 与遥感的地学应用科技创新平台”项目的资助。多位研究生在本书的写作过程中帮忙收集、整理资料,其中王海仙、伍少坤、王佳球为第 9 章的写作提供了极大的帮助,他们负责翻译和准备了练习的数据和操作的步骤。卓莉、王海仙和张晓浩参与了本书的部分校对工作。

由于时间仓促、作者水平有限,书中难免会有一些错误和疏漏之处,希望广大同行、读者提出宝贵的意见和建议。

作 者

2006 年 3 月于广州

目 录

前 言

第 1 章 GIS 简介	1
1.1 GIS 的概念	1
1.2 GIS 的组成、基本功能和应用	4
1.2.1 GIS 的组成	4
1.2.2 GIS 的基本功能	6
1.2.3 GIS 的应用	8
1.3 GIS 的发展方向	10
参考文献	13
第 2 章 GIS 空间分析的意义和内容	15
2.1 空间分析及其在 GIS 中的地位	15
2.1.1 空间分析的定义	15
2.1.2 空间分析在 GIS 中的地位	16
2.2 GIS 空间分析的主要方法和步骤	17
2.2.1 GIS 空间分析的方法	17
2.2.2 GIS 空间分析的步骤	19
参考文献	21
第 3 章 GIS 基础	22
3.1 GIS 数据及元数据	22
3.1.1 空间数据和属性数据的概念	22
3.1.2 元数据	23
3.1.3 GIS 数据的获取和采集	24
3.2 基于矢量数据结构的 GIS	27
3.2.1 矢量数据的获取方式	28
3.2.2 点、线、面要素的矢量表达方法	28
3.2.3 矢量数据模型及拓扑关系	29
3.2.4 矢量数据结构的主要编码形式	31
3.3 基于栅格数据结构的 GIS	34
3.3.1 栅格数据的图形表示	34
3.3.2 栅格数据的获取方式	35

3.3.3	栅格数据结构的组织及编码方法	36
3.3.4	矢量数据结构和栅格数据结构的比较	41
3.4	GIS 空间数据库	43
3.4.1	数据库的概念	43
3.4.2	数据库系统的数据模型	45
3.5	空间分析的一般模型	49
3.5.1	空间分布分析模型	50
3.5.2	空间关系模型	50
3.5.3	空间相关分析模型	52
3.5.4	预测、评价与决策模型	52
	参考文献	53
第 4 章	GIS 空间分析的一般方法	56
4.1	叠置分析	56
4.1.1	基于矢量数据的叠置分析	56
4.1.2	基于栅格数据的叠置分析	59
4.2	缓冲区分析	61
4.2.1	矢量数据的缓冲区分析	62
4.2.2	栅格数据的缓冲区分析	64
4.3	网络分析	65
4.3.1	网络模型的相关概念	65
4.3.2	常见的网络分析方法	66
4.4	数字高程模型分析	68
4.4.1	数字高程模型简介	68
4.4.2	DEM 数据的采集和表示方法	69
4.4.3	常用的 DEM 模型	70
4.4.4	DEM 在地图制图与地学分析中的应用	75
4.5	探索性空间数据分析	76
4.5.1	EDA 与 ESDA 简介	76
4.5.2	ESDA 的图形方法	77
4.5.3	ESDA 的数学方法	80
	参考文献	81
第 5 章	空间形态的度量及空间统计分析	84
5.1	空间形态的度量	84
5.1.1	几何量算	84
5.1.2	质心量算	86

5.1.3	形状量算	87
5.2	地统计分析的概念	89
5.3	GIS 属性数据的一般统计分析	90
5.3.1	属性数据的集中特征数	90
5.3.2	属性数据的离散特征数	92
5.3.3	统计数据分类分级	93
5.3.4	属性数据的图表分析	94
5.3.5	属性数据的综合评价	95
5.4	回归分析	98
5.4.1	一元线性回归分析	99
5.4.2	多元线性回归分析	101
5.4.3	非线性回归分析	102
5.4.4	趋势面分析	103
5.4.5	空间回归分析	105
5.5	GIS 数据的内插方法	106
5.5.1	最近距离法	107
5.5.2	反距离加权法	107
5.5.3	多项式拟合曲面法	109
5.5.4	克里金插值法	109
5.5.5	三角网线性插值法	111
5.6	景观格局分析	111
5.6.1	景观格局的相关概念	111
5.6.2	空间自相关分析	112
5.6.3	常用的景观格局指数	113
5.6.4	应用实例——珠江口湿地景观分析	118
	参考文献	119
第 6 章	GIS 与空间推理、选址及优化	123
6.1	基于案例推理的分析方法	123
6.1.1	基于案例推理方法的基本概念及原理	124
6.1.2	案例表示与案例库	125
6.1.3	案例推理与 GIS 结合	128
6.1.4	基于案例的推理方法与相关技术	130
6.1.5	基于案例的推理方法存在的问题	132
6.2	区位-配置模型	133
6.2.1	区位-配置模型的基本概念及原理	134

6.2.2	区位-配置模型和算法	135
6.3	空间多准则决策分析	141
6.3.1	空间多准则决策分析与 GIS	143
6.3.2	评估准则	145
6.3.3	决策方案与约束	149
6.3.4	标准权重的确定	151
6.3.5	决策规则	156
6.3.6	敏感性分析	160
6.4	GIS 与启发式空间搜索	162
6.4.1	盲目搜索算法	163
6.4.2	启发式搜索的原理和策略	165
6.4.3	常用的启发式搜索算法	166
6.5	空间相互作用模型	170
	参考文献	173
第 7 章	空间数据的知识挖掘	177
7.1	数据挖掘的发展历史	177
7.1.1	数据挖掘产生的背景	177
7.1.2	数据挖掘的基本概念	178
7.1.3	数据挖掘的研究现状与历史	180
7.2	数据挖掘的主要技术	181
7.2.1	数据挖掘发现的知识类型	181
7.2.2	数据挖掘常用的技术(算法)	183
7.3	利用数据挖掘技术发现地学知识	193
7.3.1	空间数据挖掘的概念	193
7.3.2	空间数据挖掘的研究进展	194
7.3.3	空间数据挖掘的任务	194
7.3.4	空间数据挖掘发现的知识类型	195
7.3.5	空间数据挖掘的方法	196
7.3.6	空间数据挖掘的步骤	198
	参考文献	199
第 8 章	元胞自动机——地理过程模拟和分析的工具	201
8.1	元胞自动机的发展历史	201
8.1.1	元胞自动机与计算科学的发展	201
8.1.2	元胞自动机与复杂系统的模拟	202
8.2	元胞自动机进行地理模拟的原理及方法	205

8.2.1	基于生命游戏规则的 CA 模型	205
8.2.2	地理元胞自动机与地理过程模拟——以城市模拟为例	207
8.2.3	地理元胞自动机与转换规则	212
8.3	元胞自动机在地理过程模拟中的应用	215
8.3.1	基于多准则判断的 CA 模型	215
8.3.2	基于 Logistic 回归的 CA 模型	216
8.3.3	基于 5 个因子的 SLEUTH 模型	221
8.3.4	基于神经网络的元胞自动机及土地利用演变模拟	225
8.4	常用的 CA 模拟软件	230
	参考文献	231
第 9 章	空间分析常用工具与练习	234
9.1	ArcGIS 中 ArcToolBox 的常用空间分析功能	234
9.1.1	ArcGIS 空间分析工具	234
9.1.2	空间统计工具	266
9.1.3	3D 分析工具	279
9.2	空间分析练习	286
9.2.1	缓冲区分析	286
9.2.2	叠置分析	291
9.2.3	基础设施选址分析	296
9.2.4	应用 Model Builder 分析空间问题	305
9.2.5	DEM 的建立与应用	315
9.2.6	区位-配置模型	321
9.2.7	景观指数计算分析	326
9.2.8	探索性空间数据分析	331
	参考文献	340

第 1 章 GIS 简介

1.1 GIS 的概念

GIS(geographic information system)直译为地理信息系统,是一种处理地理空间数据的信息系统。不同的学科专业、不同的应用领域,对其概念的理解也不尽相同,众多研究机构从不同角度给出了不同的定义。例如,美国环境系统研究所(ERSI)给 GIS 的定义为“GIS 是基于计算机的、用于对地球上发生的事件或存在的现象进行分析和制图的工具”。美国国家航空航天局(NASA)也给出了类似的定义,即“GIS 是计算机硬件、软件和操作人员集成的系统,用来处理具有空间特征的地质地形、人口分布统计、图形图像等数据资源”。

另外,联邦机构数字地图协调委员会(FICCDC)对 GIS 的定义是“GIS 是由计算机硬件、软件 and 不同方法组成的系统,该系统设计用来支持空间数据采集、管理、处理、分析、建模和显示,以便解决复杂的规划和管理问题”(胡鹏等,2002)。美国国家地理信息与分析中心(NCGIA)则认为,GIS 是为了获取、存储、检索、分析和显示空间定位数据而建立的计算机化的数据库管理系统。

同时,许多学者根据他们的专业背景,也对 GIS 给出了各自的定义。例如,Goodchild 将 GIS 理解为“一个能够采集、存储、管理、分析和显示与地理现象有关的信息的综合系统”。Dueker 将 GIS 定义为“一个由硬件、软件、操作人员、数据、规则等组成的,用于采集、管理、存储、分析和输出地球某区域的数据信息的应用系统”。

我国的 GIS 学者也给出了类似的定义。陈述彭等(1999)认为,GIS 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。邬伦等(2001)将 GIS 定义为“描述、存储、分析和输出空间信息的理论和方法的一门新兴的交叉学科,同时 GIS 是一个技术系统,是以地理空间数据库为基础,采用地理模型分析方法,适时提供多种空间的和动态的地理信息,为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统”。汤国安等(2000)则认为“GIS 是一种特定而又十分重要的空间信息系统,它是在计算机硬件和软件系统支持下,对整个或部分地球表面(包括大气层在内)与空间和地理分布有关的数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统”。

上述机构和学者在 GIS 组成、功能、应用等方面给出了多方面的定义,但随着计算机软件和硬件的快速发展,GIS 基本原理的不断完善、理论方法的不断创新,

想要完整、全面、唯一地对 GIS 给出一个适当的定义是不容易的。同时, GIS 的发展日新月异, 应用领域也与日俱增, 对不同的 GIS 使用者来说, GIS 的定义也是各不相同的, 本书通过以下 6 个方面来探讨 GIS 包含的基本内容和所涉及的基本概念, 并从空间分析的角度, 对 GIS 给出一个定义。

1. G

G(Geographic 或 Geo)表示地理或地理空间, GIS 所研究的对象是数据, 是与地球或地理有关的数据, 是具有空间特征的数据。数据是某一现象、目标、过程、结果的定性或定量的描述资料, 可以是图形、图像、表格、声音、文字、符号、数字等形式。数据的特征包括空间位置特征和时间属性特征两种, 空间位置特征描述了数据所在的地理位置, 这种位置可以是绝对的(用大地坐标系统、经纬度来表示), 也可以是相对的(假设的坐标系统或参照系统, 表示数据间的相对位置); 时间属性数据是指 GIS 研究的地理对象、事件和现象发生的时刻, 或指数据获取的时间。地理环境中的研究对象并不是稳定不变的, 它随着时间的变化而发生变化, 同一对象对应不同的时间可以获取一组不同的数据, 时间特征是地理数据的一个基本特征, 也是空间分析中所用数据必备的特征之一。

2. I

I(Information)表示信息。在 GIS 中, 信息是相对于数据而言的: 信息源于数据, 但比数据更加高级。信息是从数据中得到的, 是人们更好地认识和理解现实世界的知识和规则, 是管理、分析、决策、生产、建设、改造现实世界的依据。信息具有客观性、实用性、可传输性和共享性等特征。数据是未经加工过的原始资料, 是客观对象的表示, 是信息获取的基础; 而信息是数据内涵的意义, 是数据的内容和解释。例如, 从统计数据中可以获取数据的变化和规律信息, 从数字高程数据中可以得到地物的高程变化信息, 从专题地图数据中可以得到各类感兴趣的多专题信息等。

3. S

S(System, Science, Serve 等)表示系统, 这是 GIS 最早的概念中所包含的意思。GIS 作为系统, 说明了其性质、特征、功能和应用等。系统是具有某些特定功能、为某些特定目标服务、包含某些特定要素和相互之间密切联系的一个有机整体。

随着 GIS 理论的完善和技术的发展, S 有了更多层面的含义。将 GIS 作为一个系统, 只表明了 GIS 是关于地理空间数据的一个计算机应用, 或是作为一个处理空间问题的技术, 或是采集、存储、显示、分析、管理空间数据的一种数据库, 所有

的这些都是 GIS 应用的初级阶段, GIS 更加成熟后, 必然会作为一个完善的学科来面向地学研究者和 GIS 的用户。20 世纪 90 年代, 美国的著名 GIS 专家 Michael F. Goodchild 率先提出了 GISci, 即地理信息科学, 将 GIS 从一种技术、方法、应用的角度上升到一门科学的层面上, 将 GIS 作为一门科学来看待。

近些年计算机硬件的快速发展, 也为 GIS 软件的普及应用提供了坚实的基础, 使得 GIS 的应用领域和应用学科更加广泛, GIS 逐渐成为人们日常生活中不可缺少的一部分。在将 GIS 当作一门科学的基础上, 更有人提出了 GIServe(地理信息服务)和 GISudies(地理信息研究)的概念, 这些都代表了 GIS 不同的应用层面及不同用户所使用的不同功能。

4. GI

GI 表示地理信息或地学信息, 是关于现实世界地理空间实体对象的性质、特征、功能、状态的描述数据和信息, 是对表达地理现象与地理特征之间关系的地理空间数据的解释。地学信息比地理信息的范畴更广, 不仅包括地球表面地理空间的信息, 还包括地球岩石圈、水圈、大气圈等信息, 地学信息也逐渐取代了地理信息, 成为 GIS 的主要研究对象。

地理信息和地学信息除了具备信息的一般特征外, 还具备空间特征、海量特征等。空间特征是指地理信息和地学信息都具备空间定位的特点, 地理信息和地学信息不是孤立存在的, 信息间具有一定的空间距离、空间关系等属性特征。海量特征是指地理信息和地学信息的数据量都很大, 描述的信息包含了空间特性和时间特性, 当前的信息都以数字的形式存储在计算机中, 存储空间呈几十倍、上百倍的增长, 这些都需要计算机硬件的支持。

5. IS

IS 表示信息系统、信息科学、信息服务等。信息系统是具有采集、存储、管理、分析和表达数据能力的系统, 它可以为不同的用户提供问题解答, 为决策过程提供辅助信息。一个基于计算机的信息系统包含了硬件、软件、数据和用户 4 个主要组成部分(邬伦等, 2001)。信息科学是研究信息的产生、获取、存储、传输、处理和使用的一门科学, 它将信息作为主要研究对象, 以信息运动过程的规律作为主要研究内容, 以信息科学方法论作为主要研究方法, 以扩展信息的功能、信息的应用范围作为主要的研究目标。信息服务是有效地运用信息加工设备(算法), 对信息资源进行科学的加工, 并将结果提供给维护信息加工设备、提供信息处理方法的使用者。

6. GIS

根据以上相关概念, 本书认为 GIS 包含如下特征: 以计算机软件、硬件为基

基础,具有对空间信息的采集、管理、存储、分析、显示、输出等功能;具有丰富的空间分析及模型能力,能基于地理空间数据库,对复杂的现实地理世界进行描述、抽象、分析、模拟、预测和优化,不仅认识许多地学现象的格局,还深刻探究其过程;能深入不同领域、机构和行业,为各种用户提供空间信息的服务。

1.2 GIS 的组成、基本功能和应用

1.2.1 GIS 的组成

一个典型的、完整的 GIS,其基本组成一般包括以下 5 个主要部分:计算机系统、计算机软件系统、地理空间数据(数据库)、GIS 应用模型、GIS 用户。

1. 计算机硬件系统

硬件系统是 GIS 功能实现的物质基础,包括各种硬件设备,根据 GIS 使用对象的范围的不同分为通用设备、单机设备、局域网设备和广域网设备。

通用设备是指数字化仪、扫描仪、绘图仪、测绘仪、遥感设备、多媒体设备等可以通用、共享的硬件;单机设备指网络中每个终端的计算机所包含的硬件设备,有硬盘(磁带机)、显示器、显卡、鼠标、键盘等;多组单机设备通过局域网的网络设备(网卡、网线、交换机等)连接在一起,组成局域网设备;多组局域网设备通过服务器联入 Internet,组成广域网设备。

2. 计算机软件系统

软件系统包括使用 GIS 所必需的各种软件 and 应用程序,一般分为 3 个部分:系统软件、基础软件和 GIS 软件。计算机软件系统金字塔形的层次结构如图 1.2.1 所示。

系统软件是指操作系统,是其他软件运行的基础;基础软件包括数据库软件、编程语言软件、算法库软件等。数据库软件是计算机软件系统的重要组成部分,用来存储和管理空间数据与属性数据等;GIS 软件是计算机软件系统的核心,用于执行和支持 GIS 各项功能的操作和实现,包括数据输入、编辑、存储、分析、数据库管理、空间分析操作和图形图像显示以及结果输出等。GIS 软件一般指具有丰富 GIS 功能的专业型软件,它可以处理和实现各种 GIS 高级功能,并可以在此基础上进行某些应用的二次开发,国内外最著名的 GIS 专业软件有 ArcGIS、MapInfo、MapGIS、GeoStar、Super Map 等。

3. 地理空间数据

空间数据(空间数据库)是地理信息的载体,是 GIS 的操作对象,是现实地理

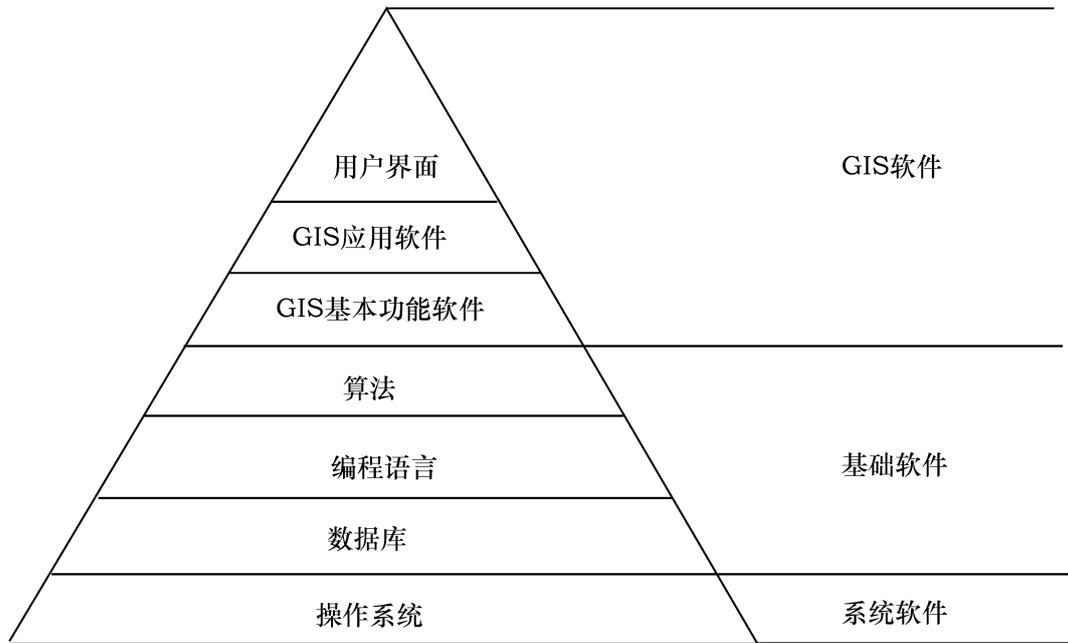


图 1.2.1 计算机软件系统层次结构图

世界在计算机中的抽象和模拟,由 GIS 使用者在 GIS 软件的支持下,利用数据获取硬件设备输入计算机中。GIS 空间数据有矢量和栅格两种主要的数据结构,在矢量数据结构中,空间对象通过点、线、面等实体来表示;在栅格数据结构中,空间对象用栅格单元来表示。

GIS 特殊的空间数据结构和数据编码方法,决定了 GIS 空间数据是以结构化的形式存储在计算机中,存储空间数据的数据库称为地理空间数据库(GeoDataBase),空间数据库可以存储海量空间数据,并支持对空间数据的查询、检索、增删、修改和维护的作用。GIS 中除了使用空间数据外,还需要利用一定的属性数据,空间数据库还必须解决空间数据与属性数据建立关联的问题。

4. GIS 应用模型

模型是为了解决某一问题而将其抽象化表示的数学公式,GIS 应用模型是为了解决地理空间的各种实际问题而建立起来的模型,是 GIS 产生社会效益的关键,同时,GIS 应用模型的建立也是评价 GIS 应用成功与否的重要因素。针对各种实际问题,目前众多研究中提出了很多 GIS 技术应用模型,成为解决实际应用问题的切实有效的基本工具。常见的模型包括:水土流失模型、最优化模型、选址模型、土地利用适宜性模型、人口增长模型和森林监测模型等。这些模型将现实世界中的问题抽象为数学公式,并进一步表示在计算机中,利用 GIS 技术得到模型的解,用于解决实际问题,并能带来经济效益。GIS 应用模型是连接 GIS 与相关应用领域的纽带,二者的有机联系并不能仅仅依靠数学或技术知识,必须具备广泛的专业知识和应用领域内的专家知识,才能对实际问题的产生机理和变化过程进行

深入透彻的研究;并找出各种内在的因果关系和规律,利用定性描述和定量分析的方法,才能更好地建立一个 GIS 应用模型。

5. GIS 用户

GIS 用户可分为系统开发、管理、维护人员和 GIS 应用用户两大类。用户是 GIS 的重要组成部分, GIS 就是为用户的问题和疑惑进行解答和解释,对用户的某些想法进行实现的一门科学和技术。不同知识水平和专业背景的用户,使用 GIS 得到的结论和应用结果也不相同。为了更好地利用 GIS,需要最专业化的人才来进行系统开发、管理和维护,为了面向更多的大众用户, GIS 系统开发时应注重易操作性。在开发过程中,开发者必须根据实际问题的要求和具体的情况来解决系统开发的策略、软硬件的选择和空间数据库的构建类型等问题,而且要使得开发的系统具有管理简单、维护方便、可移植性好等优点。GIS 应用用户是 GIS 存在的基础,没有这些应用用户不断地提出需求和问题,就不会有 GIS 的存在和发展。

1.2.2 GIS 的基本功能

GIS 的基本功能包含在 GIS 应用的各个方面,主要解决以下 5 类主要问题(邬伦等, 2001):①位置,即空间特征, GIS 可以给出特定的地理空间实体、现象或事件的准确空间位置。②条件,即约束特征,任何实体对象的存在都不是孤立的,是在满足一定的约束条件的前提下与其他实体共同存在于地理空间中。GIS 可以在多个约束条件的限制下给研究问题一个准确的、合理的和满意的答案。③趋势,即发展、变化的方向,地理空间是随时间连续变化的,地理事件和对象的发展也随着时间的变化而发生变化, GIS 可以结合时间特征和空间特征来准确地确定实体对象的变化趋势,并能预测事件的发展方向。④模式,即规律特征,事件的发生总是具有一定的规律性,在地理空间中总会找到相同或相似的案例。GIS 可以从已发生的案例事件中找出事件发展的模式(一般规律),提供给未发生的事件,来指导和约束其变化。⑤模型,即概括特征,是根据实际发生的事件或具体的对象,用数学公式来抽象表示。GIS 可以根据模型来模拟现实世界的地理空间,解决各种实际问题,这是 GIS 的重要功能之一。

此外, GIS 作为一个采集和管理空间数据、并针对一些空间问题可以给出合理解的信息系统(科学),还具备以下 4 种功能:

1. 数据的采集

GIS 分析和操作的对象是空间数据,所以空间数据的采集是 GIS 基本功能之一。GIS 领域内一个公认的原则是一个 GIS 应用系统的建立,总投资的 70%都用于数据的采集和数据库的建立上。数据的采集渠道很多,可以通过现有地图数字

化获取,可以采用数码仪器获取数字信息,可以通过野外实测、GPS 和遥感等方法获取空间数据。收集的空间数据需要录入到地理空间数据库中,这也是一项费时、费力的重要工作。随着 GIS 应用领域不断拓宽,空间数据的采集量也不断飞速增加,如何能有效地共享和整合不同研究领域的空间数据、加快数据采集的速度和效率,已成为制约 GIS 发展的一个重要的问题。

2. 数据管理

录入到地理空间数据库中的数据并不是通用的, GIS 包括矢量数据结构和栅格数据结构,要根据实际的研究问题来对数据进行格式转换和统一。某个 GIS 软件(系统)存储的空间数据,应用在其他 GIS 软件时,也需要转换到不同的文件类型。随着应用系统的不断使用,数据需要更新,新添加的数据与原数据需在格式、类型、比例尺等方面保持一致;且长时间使用空间数据库后,容易产生错误数据和冗余数据,要定期对数据库进行维护,以减少数据间的错误和冗余,提高系统的运行效率和运行速度。空间数据库具有层次模型、网络模型、关系模型和面向对象模型 4 种数据组织模型。在空间数据库的管理中,如何将属性数据与空间数据有机地结合起来是一个重要的问题,众多的空间数据库都是将两类数据分别存储,然后通过一个关联项(标识码)使它们连接在一起。

3. 空间分析

空间分析是 GIS 的基本功能,空间分析包括空间查询、空间统计、一般的空间分析和空间模型分析等几类方法。空间查询包括数据的空间特征查询、属性特征查询、空间关系查询、时间特征查询及拓扑特征查询等;空间统计分析是指将传统的统计分析方法引入到地理空间数据中,通过计算空间数据的统计指标来实现各项空间统计分析功能,空间统计分析包括空间自相关分析、回归分析、趋势面分析等。一般的空间分析包括叠置分析、缓冲区分析、网络分析等,这些是 GIS 中最常用的空间分析方法。空间模型分析是利用对地理空间的事件或问题所建立的模型,分析与其类似的空间问题,吸取其他学科领域的知识和方法构建能解决地理问题的分析模型,常用的模型包括最优化模型、选址模型、网络模型、决策模型和案例推理模型等。

4. 显示

GIS 求解的中间过程和最终的结论,都是通过图形、图像、文字、数字、表格、多媒体等方式,以人机交互的方式显示在用户界面上的,这是 GIS 分析结果的主要表达形式,其输出效果的好坏是评价 GIS 系统的重要指标。

1.2.3 GIS 的应用

随着 GIS 理论的完善和技术的发展, GIS 的应用领域也越来越广, 从最早的只作为数据采集和制图的工具, 发展到现在使用地学信息分析方法来研究地理空间发生的事件和现象, 并做出合理解释的一个学科。GIS 的主要应用领域有以下几个方面:

1. 地图制图

GIS 技术最早源于计算机辅助制图, 也就是作为一种地图制图技术来面向众多应用者。地图制图是测绘领域内的一项基本研究工作, GIS、GPS 和 RS 被认为是测绘界的“3S”, 被广泛应用于测图制图中, GPS 技术用于空间定位, 获取地理对象的空间信息; RS 技术用来获取多尺度、多时相、多平台的数字图像, 为区域多比例尺快速成图奠定基础; GIS 技术可以收集、存储、管理空间数据, 并通过用户界面或输出设备将地图以电子格式或纸质地图形式提交给用户。“3S”技术为测绘领域和地图制图学带来了一种革命性的变化, 使得地图数据的获取与成图的技术发生了根本性的变化, 主要表现为地图产品格式的升级、地图成图精度大幅提高、成图周期明显缩短、制图成本逐渐下降、自动化程度越来越高。

2. 城市与区域规划

GIS 在城市与区域规划中的应用多为空间信息管理、显示, 以及分析与模型等功能。城市与区域规划中涉及资源、环境、交通、经济、人口、金融、教育和管理等多方面的地理对象或地理空间数据, 并且城市与区域规划中不同性质和不同特点的问题将使用不同类型的空间数据和属性数据。GIS 在城市与区域规划中最基本的应用就是收集和管理这些数据, 将数据归并到一个统一的空间数据库中, 为进行城市与区域的开发和规划服务。

城市与区域规划中最主要的研究问题有城市与区域整体规划、道路交通规划、土地适宜性评价、公共资源的分配与公共设施的配置、城市土地、环境资源的动态监测等, 这些问题的解决需要 GIS 技术和方法的支持。城市与区域规划领域的 GIS 用户根据研究的实际问题建立了一些空间模型和算法, 来解决规划领域的复杂问题。常见的模型和算法有最优化模型、区位-配置模型、选址模型、投入产出模型、0-1 规划模型、多准则决策模型、空间相互作用模型、优化搜索算法、案例推理方法等。GIS 软件可以帮助规划部门解决城市与区域规划中遇到的问题, 是实现科学化规划的重要保证。

3. 国土监测与灾害监测

多时相遥感数据可以获得一个区域多个时间的遥感数字图像,通过数字图像分析处理技术可以得到该区域的土地利用图、资源分布图等专题图。GIS 技术与多时相遥感图像相结合,可以进行土地利用动态变化分析、资源现状调查与动态监测、森林灾害的预警预报、洪水灾害的预测和淹没损失估算。

GIS 技术可以为土地和资源监测提供技术支持,同时 GIS 的一些模型与算法应用在灾害监测中,可以帮助制订救援决策、提供救援方法和路线等,以保证应用最快的反应速度来应付各种突发的自然灾害和人为灾害。在国内外有众多关于 GIS 在国土监测与灾害监测中应用的成功案例,GIS 已经成为这两个领域内重要的辅助技术。

4. 资源调查与管理

中国地大物博、资源丰富,要想快速、准确地了解和掌握各种资源的总量及变化情况,对决策部门制订准确的规划与开发计划有着很重要的作用。各类资源分布情况不同,调查方式不同,调查尺度各异,甚至有些资源分布于人类无法直接到达的区域,这就为资源的详查带来的一定的难度。GIS 技术结合遥感技术,可以调查和分析各类自然资源的分布和变化状况。将各种资源的调查数据和信息有机地汇集在一起,基于 GIS 软件能在一个连续无缝的方式下管理大型的地理数据库和自然资源管理信息系统,用户通过 GIS 的客户端软件可以直接对数据库进行查询、显示、统计、制图,以及提供区域多种组合条件的资源分析,为资源的合理开发利用、规划决策和科学有效地管理各种自然资源提供决策依据。

将 GIS 模型应用于资源调查与管理中,可以得到更加喜人的成果,例如森林蓄积量模型可以在不砍伐树木的情况下调查一定区域范围内的森林蓄积量的有效利用和保护;农作物估产模型可以提前估计农作物的收成;土壤侵蚀模型可以探讨土壤污染的机理,并提出合理的改良方案等。资源的调查、管理是 GIS 应用最为广泛的领域之一,也是趋于成熟完善的领域之一,目前研究的重点应放在模型预测的精度评定上,如何有效地提供模型预测的精度,是 GIS 在资源调查和管理领域应用的重要约束条件。

5. 环境管理与保护

环境问题已经成为当前的首要问题之一,也是制约经济快速发展的一个主要因素。环境问题是关系人类生存和发展的重要影响因素,利用 GIS 技术建立环境监测、分析和预报系统,为实现环境快速监测和科学化、自动化管理提供了基本条件。通过对环境的快速监测,可以及时发现环境污染区域,结合 GIS 的分析决策

模型,可以快速做出应对方案和处理办法,将环境污染程度降到最低。

6. 军事国防

很多科学技术最早都是为了解决军事问题才被发现或提出的,例如全球定位系统(GPS)。但 GIS 最早并不是应用于军事上,而是随着军事国防中科技含量的逐渐增加,再加上 GIS 与 GPS、RS 的有机结合,使得 GIS 在军事上也得到了广泛的应用,并产生了很多成功应用的案例。例如,军事战争中的精确打击,需要空间位置、地形等数据,并结合全球定位系统才能实现。由此,“3S”技术已被广泛应用到战略构思和战术安排等关键环节,“3S”技术应用的好坏直接影响到战争的成败。各个国家都在军事国防上大范围使用了 GIS 技术,使 GIS 成为高科技战争的一个有力的技术工具。

7. 辅助决策

GIS 利用其拥有的空间数据库,结合一系列优化决策模型,为决策部门制订宏观决策提供技术支持。同时,GIS 与网络技术相结合,使得远程决策制订变为现实,为政府机构、跨国或跨地区的大公司、远程客户与市场等提供了一种交互式的问题解答与决策交流的平台,所以说 GIS 技术是一种高效的辅助决策工具。

1.3 GIS 的发展方向

GIS 从 20 世纪 60 年代在加拿大和美国产生,到现在近 50 年的时间内得到了飞速的发展,一方面是由于 GIS 所依靠的计算机硬件设备性能的不断增强,图形显示能力不断完善、存储空间成倍增长,满足了 GIS 发展的硬件条件;另一方面计算机原理和技术的完善,尤其是数据库技术、编程语言、图像处理和人工智能技术的发展,弥补和改善了 GIS 基本理论的不足,为 GIS 发展提供了软件条件。此外,促进 GIS 技术飞速发展的另一重要原因就是日益拓宽的应用领域对其不断地提出要求和建议。这三个方面综合作用,得到了今天的 GIS 技术,但 GIS 技术并不会停步于此,它将随着新技术、新方法的产生,新原理的发现及多学科、多技术的交叉合作,不断地发展下去。当前的 GIS 有以下 7 个方面的发展方向和趋势:

1. 网络化

随着网络的普及,GIS 也从单机化发展到网络化,基于 Internet 的 GIS 在全球范围内得到了极其快速的生长。Internet 是全世界最大的公众网,它面向多种对象,根据对象提出的需求进行服务,GIS 的易操作、易应用、价格低,且支持多媒体形式的结果输出的这些特点,使其刚与 Internet 结合,就显示出独特的优越性来,

网络终端的各个用户,可以通过 Internet 提出要求,浏览异地空间数据、制作专题图等基本操作,高级用户还可以远程使用 GIS 的高级空间分析等功能。

全球网络化是一个必然的发展趋势,且在 GIS 技术发展过程中,网络技术已经成为对 GIS 技术影响最大的一门创新技术,结合 GIS 自身的发展,使得 Web GIS 有了更加广阔的前景。GIS 网络化主要有以下几个方面的应用:①数据共享,远程用户可以相互之间共享异地空间数据。②GIS 服务,不同终端的用户可以根据自己遇到的实际问题,实时地向远程其他终端或 GIS 服务器提出问题,可以快速得到回复。随着 GIS 网络软件的开发和研制,网络 GIS 服务将成为 GIS 应用服务的主要方向。③网络版 GIS 专题应用程序的发布,当前许多基于 GIS 应用进行的二次开发,也随着网络的发展和应用领域的拓宽而发展到网络化,例如城市交通管理信息系统、区域资源管理信息系统、人口管理信息系统等。

Web GIS 已成为 GIS 的主流研究方向之一,一个 Web GIS 系统需要由 Web 浏览器、服务器、编辑器组成。浏览器提供空间数据显示和结果输出的媒介;服务器用来存储空间数据,接受浏览器提出的要求;编辑器提供 GIS 软件的分析 and 操作功能,并将结果传输到浏览器。

网络技术发展和更新的速度很快,网络化 GIS 的应用潜力还很大,如何将 GIS 与网络技术高效、充分、恰当地结合起来,这将是今后一个主要的研究方向,需要完善 GIS 的基本原理,发展 GIS 的应用模型和基本算法。

2. 组件化

组件式技术是当今软件技术发展的主要方向之一,它一改传统软件开发模式的封闭、复杂、维护困难等特点,组件化 GIS 将组件技术与面向对象编程技术有机结合起来,应用于 GIS 软件设计和二次开发中。组件化 GIS 将 GIS 的各种功能模块集成为控件,在 GIS 系统开发时利用面向对象的编程语言根据应用的需要,将控件集成起来,组成 GIS 系统基础平台和应用平台。

软件开发技术的发展,为 GIS 系统研制和开发提供了一种新的方法,将 GIS 的数据结构、各种空间分析功能、各种专业模型等 GIS 系统的基本组成结构做成基本控件,为再次开发提供了方便。组件式 GIS 推动了 GIS 软件的系统高度集成化和应用普及化,当前许多 GIS 专业软件都是以组件式开发的,已经成为 GIS 软件开发的主要潮流。

3. 标准化

GIS 技术产生 50 年来,在多个研究领域得到了广泛的应用,从最早的应用于一个实验室、一个城市、一个国家发展到现在全球范围内的多国家、多领域、多学科、多方向的应用范围,广泛地使用 GIS 技术,必定会带来使用标准的差异。不同

系统的兼容性、通用性不高,会给 GIS 研制与开发带来一定的障碍,导致自然资源 and 人力资源的大量浪费。今后 GIS 的发展应首先统一标准,即制订严格统一的数据格式、开发标准、硬件需求、数据库类型及通用模型等,使得 GIS 有一个统一的组成部分、数据类型、操作过程和软硬件基础,使 GIS 在统一的基础上不断发展和完善。

4. 多维化

人们最早研究地理空间是从 2 维平面开始的,随着人们对客观世界认识的不断加深,就更加注重了空间的特性,从 2 维发展到 3 维甚至多维。GIS 最早也是从研究 2 维平面开始的,虽然 GIS 的研究对象具有空间特性(空间坐标),也仅仅是指其大地坐标(经纬度坐标),后来,将数字高程模型(DEM)引入 GIS 中来处理空间对象的高程信息,形成 3 维 GIS。3 维 GIS 可以模拟地质、地理、气象、水文等研究领域的 3 维操作,结合虚拟现实技术来研究 3 维 GIS 可视化。随着人们更加关注地理对象的时间特性,在 3 维 GIS 的基础上添加了空间对象的时间特征,构成 4 维 GIS。3 维 GIS 假设地理对象或事件是一个稳定状态,而 4 维 GIS 则是随着时间而发生动态的变化,4 维 GIS 也叫空间-时间模型,对研究长周期的复杂地理事件尤其重要。4 维 GIS 面临着比 3 维 GIS 更多的问题,数据量的增长是其中最主要的一个问题,但随着数据采集技术和计算机技术的发展,这个问题也将会得到解决。多维 GIS 已经成为当前的一个研究热点,增加 1 维并不只是数据量的增长,而是可以提供相对于原来的几倍或者几十倍的信息和知识,使人们能够更加了解和掌握不断变化的地理空间。

5. 商业化

GIS 的商业化包含数据商业化、软件商业化和服务商业化。随着人们对地理空间认识的加深,获取的空间数据量也不停地成倍增长,当前仅仅依靠一个机构、组织或国家来获取所有需要的空间数据,这是不可能完成的任务,同时空间数据的采集部分占 GIS 应用系统建立和开发所需成本的绝大部分,所以数据交流和共享是降低 GIS 开发成本的重要途径,数据商业化是数据交流和共享的最佳方法。软件是 GIS 应用的基础,GIS 应用软件都是基于 GIS 基础软件进行二次开发的,软件商业化可以提高 GIS 应用软件开发的效果、降低开发成本。服务商业化是指根据 GIS 提供的某些服务而收取一定的服务费用。GIS 商业化可以收回 GIS 系统开发的成本和数据收集的成本,有利于促进 GIS 不断的发展。

6. 大众化与信息服务

今天的 GIS 已经不像其刚刚面世的时候那么神秘了,随着 GIS 应用领域的不

断拓宽,它越来越多地出现在人们的日常生活中,正因为 GIS 与大众的关联较深,所以它才会得到人们广泛的关注,才会飞速进步。GIS 技术已经在默默地影响着普通人的日常生活,成为人们不可缺少的帮手之一,包括提供各种与空间信息有关的服务。

7. 全球化

网络技术带来了全球化,人们之间的地域距离已经随着网络的发展而在形式上逐渐地减小了。全球化是当今世界发展的一个必然趋势,GIS 的发展当然也不例外。

上述众多 GIS 的未来发展趋势之间是相互影响、相互帮助、协调发展、共同进步的,GIS 的发展涉及多学科的相互支撑和渗透,它促进了空间信息产业的发展 and 壮大,能为全人类的进步提供有力的支持和坚实的保障。

参 考 文 献

- 陈述彭,鲁学军,周成虎. 2000. 地理信息系统导论. 北京: 科学出版社
- 程文. 2005. 地理信息系统在资源环境评价与管理中的应用. 地理空间信息, 3(1): 40~42, 46
- 傅肃性. 2001. 地理信息系统的理论与应用发展. 地理科学进展, 20(2): 192~199
- 龚健雅. 1999. 当代 GIS 的若干理论与技术. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社
- 龚健雅. 2001. 地理信息系统基础. 北京: 科学出版社
- 龚健雅. 2004. 当代地理信息系统进展综述. 测绘与空间地理信息, 27(1): 5~11
- 郭达志, 杜培军, 盛业华. 2000. 数字地球与 3 维地理信息系统研究. 测绘学报, 29(3): 250~256
- 胡鹏, 黄杏元, 华一新. 2002. 地理信息系统教程. 武汉: 武汉大学出版社
- 黄杏元, 马劲松, 汤勤. 2001. 地理信息系统概论. 北京: 高等教育出版社
- 景贵飞. 2004. 我国地理信息系统技术发展和产业化分析. 地理信息世界, 2(4): 13~17
- 蓝荣钦, 李淑霞, 刘阳. 2004. 地理信息系统的发展现状和趋势. 地理空间信息, 2(1): 8~11
- 李德仁等. 1993. 地理信息系统导论. 北京: 测绘出版社
- 刘震, 李树楷. 1997. 遥感、地理信息系统与全球定位系统集成研究. 遥感学报, 1(2): 157~160
- 闵连权. 2002. 地理信息系统的发展动态. 地理学与国土研究, 18(4): 19~24
- 钮心毅. 2000. 地理信息系统在城市设计中的应用, (4): 41~45, 79
- 汤国安, 赵牡丹. 2000. 地理信息系统. 北京: 科学出版社
- 王璐, 翟义欣, 王菲. 2005. 地理信息系统(GIS)的发展及在农业领域的应用现状与展望. 农业环境科学学报, 24(增刊): 362~366
- 王学军. 1997. 空间分析技术与地理信息系统的结合. 地理研究, 16(3): 70~74
- 邬伦, 刘瑜, 张晶等. 2001. 地理信息系统——原理、方法和应用. 北京: 科学出版社
- 修文群等. 2001. 地理信息系统 GIS 数字化城市建设指南. 北京: 北京希望电子出版社
- 张超, 陈丙咸, 邬伦. 1995. 地理信息系统. 北京: 高等教育出版社
- 张健挺, 刘卫国. 1998. 网络地理信息系统研究. 地理研究, 17(2): 185~192
- 张犁, 林晖, 李斌. 1998. 互联网时代的地理信息系统. 测绘学报, 27(1): 9~15
- 张新长等. 2001. 城市地理信息系统. 北京: 科学出版社

- 朱国宾, 边馥苓, 刘玉贤. 1997. 基于 Intranet 机制的城市地理信息系统设计研究. 武汉测绘科技大学学报, 22(4): 333~337
- 朱庆. 2004. 3 维地理信息系统技术综述. 地理信息世界, 2(3): 8~12
- Kelsey H, Porter D E, Scott G. 2004. Using geographic information systems and regression analysis to evaluate relationships between land use and fecal coliform bacterial pollution. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 298: 197~209
- Manoj K, Paul S. 2004. A highway alignment optimization model using geographic information systems. *Transportation Research Part A*. 38: 455~481
- Micheael N D. 2001. 地理信息系统基本原理(第二版). 武法东, 付宗堂, 王小牛等译. 北京: 电子工业出版社
- Paul A L, Goodchild M F, et al. 2004. *Geographical information systems, volume 1, principal and technical issues, second edition*. 唐中实, 黄俊峰等译. 地理信息系统原理与技术(上卷). 北京: 电子工业出版社
- Robert Haining. 2003. *Spatial data analysis: theory and practice*. Cambridge: Cambridge University Press
- Li Xia. 2005. *Advanced GIS modelling techniques and applications*. Hong Kong: China Education & Culture Publishing Company

第 2 章 GIS 空间分析的意义和内容

2.1 空间分析及其在 GIS 中的地位

2.1.1 空间分析的定义

GIS 可以支持一系列与地理信息分析有关的任务。它可以从地理学角度来探索(explora)数据,包括采用简单的数据查询和条件分析等功能,以达到获取地理知识的目的;还可以利用 GIS 来建立模型和检验模型,获取特定或更专业的知识,这些分析往往需要较高级的 GIS 分析功能;利用数据的显示或制图功能也能帮助人们理解和掌握地理现象,因为这些简单的功能可以达到直观快速分析空间数据的目的。上述分析功能都属于 GIS 空间分析的范畴。

例如, GIS 空间分析往往涉及对基于同一地理坐标系统的空间信息进行查询和分析的工作,以回答一系列复杂的与空间有关的问题。这些问题包括“有多少居民可能被某工厂污染所影响?”、“建立某个医院的最佳地址在哪里?”、“某个地区的土地利用变化与水土流失是否相关?”等。

关于空间分析,国内外不同的研究学者给出了不同的定义。国内郭仁忠(2001)将空间分析定义为基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术,其目的是提取和传输空间信息。张成才(2004)认为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。Haining(1994)认为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。Landis(1995)则认为空间分析是指为了制订规划和决策,应用逻辑模型或数学模型来分析空间数据的技术。美国地理信息与分析国家中心(NCGIA)的 M.F. Goodchild 教授曾给空间分析给出较系统的定义:①空间分析是一系列分析空间数据的技术;②空间分析的目的在于检验模型和获取知识;③空间分析既可以采用推理方法,也可以采用归纳方法;④空间分析可以采用简单的或直觉的方法。

Goodchild 将 GIS 空间分析分为两大功能:查询式(query mode)和生成式(product mode)。前者旨在回答用户下列问题:

- 是什么?
- 在哪里?
- 有多少?
- 怎么样?
- 为什么?

后者通过分析能获得新的信息或知识,特别是隐含的空间信息,通常这些信息和知识并不是直接获取的。

因此,GIS 空间分析是对空间数据进行分析的技术,包括:对地理现象的位置、形态、空间布局进行分析,例如寻找适宜位置、计算成本距离等;还包括对空间关系和空间过程进行研究,例如识别空间关系;获得它们的内在规律,特别是隐含的空间信息;在验证现有理论的同时,也尝试找到新的理论。

综合不同学者对空间分析的看法,本书将空间分析定义为:以地理空间数据库为基础,运用逻辑运算、一般统计和地统计、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 and 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。

空间分析与传统的统计分析有着很大的区别。一般的统计方法所获得的分析结果往往无法反映地理现象与空间的关系,其分析的结果是与空间无关的。尽管 GIS 空间分析有时需要采用常规的统计分析方法,但也不能将空间分析与统计分析等同起来。GIS 空间分析不仅要分析实体的属性数据,更要分析它们的空间位置、分布特点和空间关系等与地理空间有关的信息,即空间分析的结果依赖于地理事件的空间分布特征,而且通过空间分析可以发现隐藏在空间数据之后的重要信息和一般规律,这是一般的统计方法所不能胜任的。例如,人口流动问题,即一定区域内的人口大量涌入集中的城市地区,会造成该区域内的人口分布中心位置的移动;但总的人口数目、男女比例等统计数据是不会发生变化的。前者需要利用空间分析工具来分析人口分布的空间特征变化;而后者则只需要利用一般的统计分析方法就可以了。

2.1.2 空间分析在 GIS 中的地位

空间分析是 GIS 的核心和重要功能之一,地理信息系统具有的强大空间分析功能,是区别计算机制图系统(具有图形输入、编辑、输出等功能)和数据库管理系统(具有查询、检索、存储管理数据等功能)的显著特征之一。空间分析使 GIS 不仅体现在地图制图功能上,用户还可以通过与系统交互而将地理数据经过分析转换为对自己有用的信息。同时,利用空间分析技术,通过对原始数据模型的观察和实验,用户可以获得新的经验和知识,并以此作为空间行为的决策依据。空间分析对空间信息的提取和传输,已使 GIS 成为区别于一般信息系统的主要功能特征,也是评价 GIS 功能强弱的重要指标之一。可为用户提供灵活解决各类专门问题的有效工具。随着空间分析技术的不断发展,GIS 也将从一般的空间事物处理向分析型空间决策支持方向迈进。

GIS 空间分析最主要的功能和作用有以下 4 个方面:①发现空间数据中内在的、隐含的空间关系,空间模式和空间规律;②为已有的问题寻找解决方法 and 答案;

③检验和证实已有的论点和假设;④从空间数据中找到满足某些应用的新理论、新观点和普遍性的方法。

GIS 空间分析是对空间数据进行的分析操作,这些空间数据除了包含与地理现象的位置、形态、空间布局有关的数据外,还包括数据间的空间关系、空间过程和空间规律。GIS 空间分析的目的就是完成对空间数据的分析操作,得到分析结果,应用到实际问题中,空间分析所涉及的应用主要有以下 6 个方面:①查询操作,即使用一定的查询语言,为某些已知问题查找相应结果;②量算操作,即得到空间几何对象的长度、面积、高程等常用数据的操作;③描述和总结操作,即对已有的一些规则、假设、结论等,使用 GIS 能识别的语言来解释和归纳;④推理操作,即根据某些假设,为这些假设寻找结论的一系列操作过程;⑤优化模拟操作,这是 GIS 空间分析的一个特有的操作,应用大量空间数据,根据一定的模型,对复杂的地理现象进行模拟,或对已有模型,优化其模型参数,使该模型能够提高模拟地理现象的精度;⑥假设和验证,人类知识发展的过程就是不断验证已有的假设,并提出新假设的过程,GIS 空间分析也可以针对空间数据提供假设和验证操作。

2.2 GIS 空间分析的主要方法和步骤

2.2.1 GIS 空间分析的方法

GIS 空间分析没有固定的步骤,有多种可能的分析方案,在实际应用中,需要根据研究问题的具体要求和实际情况选用不同的分析方法,以有效地获取解决问题的答案,满足用户的各种具体要求,并提供直观的输出结果。GIS 空间分析方法可以分为两大类,即 GIS 空间分析的一般方法和空间统计分析方法,每大类下面又有众多具体的空间分析方法。

GIS 空间分析的一般方法包括:

1) 空间查询和检索

用来查询、检索和定位空间对象,包括图形数据的查询和属性数据的查询及空间关系的查询几种方式,空间查询和检索是 GIS 的基本功能之一,也是进行其他空间分析的基础操作。

2) 空间量算

空间量算主要是用一些简单的量测值来初步描述复杂的地理实体和地理现象,这些量测值包括点、线、面等空间实体对象的重心、长度、面积、体积、距离和形状等指标。

3) 空间插值

空间插值用于将离散的测量数据值,按照某种数学关系转换为连续变化的数学曲面,以便与空间实体的实际分布模式进行拟合和比较,并可以推求出未知点和

未知区域的数据值。

4) 叠置分析

叠置分析是 GIS 空间分析中重要的分析方法之一。GIS 中使用分层方式来管理数据文件,叠置分析是将同一研究区的多个数据层集合为一个整体,对多个数据图层进行交、并、差等逻辑运算,得到不同层空间数据的空间关系。叠置分析又包括矢量数据的叠置分析和栅格数据的叠置分析两种。

5) 缓冲区分析

缓冲区分析是 GIS 空间分析中使用较多的分析方法之一。缓冲区分析就是对一个、一组或一类空间对象按照某个缓冲距离建立其缓冲区多边形的过程,然后将原始图层与缓冲区图层相叠加,进而分析两个图层上空间对象的关系。从数学的角度来说,缓冲区就是空间对象的邻域,邻域的大小由邻域半径(即缓冲距离)来确定。缓冲区分析与叠置分析不同,前者包括了缓冲区图层的建立和叠加分析,而后者只是对现有的多个数据层进行叠加分析,并不自己生成新的图层参与分析。

6) 网络分析

网络模型是 GIS 的一个重要数据模型,交通线路、城市电网、排水网、煤气网等都属于这种数据模型。网络分析是研究和规划一个网络的建立、运行、资源分配、最优路径选择等操作的分析过程,其基本思想就是优化概念,即按照某种操作和相应的限制条件,得到满足当前条件的最佳结果。

7) 数字高程分析

现实的地理世界是一个三维空间(不包括时间维),地理实体除了平面坐标外,还包括空间坐标(即高程值)。数字高程模型主要用于描述地面起伏状况,包含了各种地形信息。数字高程分析包括数字高程模型的表示、插值、制图,以及在地学分析中的应用等。

空间统计分析包括:

1) 属性数据的一般统计方法

属性数据与空间数据都是 GIS 的基本数据类型,所以 GIS 空间分析必须要有对属性数据的分析方法。属性数据的统计方法主要计算一些统计指标,如属性数据的集中特征数(频率、平均数、数学期望和中位数等);属性数据的离散特征数(极差、离差、方差和变差系数等)。还包括属性数据的图形表示分析、属性数据的综合评价分析及属性数据的分等定级分析。

2) 空间统计方法

空间统计分析是指对 GIS 空间数据库中的空间数据进行统计分析,包括对空间数据的分类、统计和综合评价等,因其与 GIS 的各种实际应用之间具有紧密联系,是 GIS 中一个重要的、快速的发展领域。空间统计分析是在复杂的现实地理世界中探索地理信息的最简单的方法之一,透过空间数据的位置信息来建立数据

间的统计关系。空间统计分析方法包括:空间自相关分析、回归分析(一元线性回归、多元线性回归、非线性回归、空间回归)和趋势面分析。

3) 景观格局分析

景观格局分析属于景观生态学范畴,近年来,许多学者应用景观格局分析的原理、方法和公式来解释和描述地理现象变化的原因和过程。同时,GIS强大的图形处理和分析功能,可以进行景观格局对生态过程的敏感性分析和模拟,研究不同景观格局对生态过程的影响。

2.2.2 GIS空间分析的步骤

不同的GIS软件在进行空间分析的具体方法上可能会有所差异,但其总体分析步骤基本相似,下面以小学选址为例,来探讨空间分析的主要步骤。

1. 明确分析目标和分析要求

首先要明确分析的目标,即通过空间分析所要解决的问题、所期望的输出结果。分析的要求具体规定了如何利用分析功能来解决问题,以及在满足什么条件的前提下解决问题。

以小学选址为例,分析的目标是为一所即将建立的小学选择合适的校址。分析的要求包括以下6个方面:①小学与城市主干道路的距离大于 a 公里,小于 b 公里;②需远离闹市区、大型工业设施和工厂;③小学的面积要有最小值 c 平方公里;④小学有操场,故需建立在平整的地区,即坡度小于 d 度;⑤小学附近 e 米范围内不能有网吧、游戏厅等娱乐场所;⑥交通要相对便利,需要位于居民小区附近。

明确以上的几条要求后,需考虑使用何种空间分析方法来解决众多要求。这个例子可以涉及缓冲区分析、空间量算、空间查询、叠置分析等一系列空间分析方法。

2. 准备空间分析的数据

数据准备对空间分析非常重要,好的数据可以缩小分析时间、减少分析误差、提高分析效率,并能得到好的分析结果。数据准备包括空间数据和属性数据两个部分。在进行分析操作前,对数据准备进行全面的考虑,有助于更高效地完成分析工作。通常,需要使用的数据已经存在于空间数据库中。在一些情况下,空间数据往往是现有的,属性数据需要在应用中添加。数据准备就是除了收集到空间数据外,还要将与研究问题相关的属性数据添加到数据库中,并进行一些适当的调整和修改,如数据的格式、单位等,删除与研究无关的某些数据项。本例中所涉及的数据包括该研究区域的道路图层、工业设施与工厂等图层、娱乐设施及居民区图层等。

3. 执行空间分析操作

根据对研究问题要求的分析,可明确要解决问题所需的空间分析方法,一般的问题都会使用到常用的空间分析方法,如缓冲区分析、叠置分析、空间特征提取、查询检索、空间量算等分析方法。本步骤根据步骤 1 的分析目的和要求,选择合适的分析方法。

在本例中,对准备的空间数据执行步骤 1 所确定的几种分析方法。

4. 准备表格分析数据

有些空间分析问题涉及大量的属性数据,而 GIS 的每个数据层又有属性表。某些问题需要对数据层的属性表进行修改和逻辑运算,以产生新的数据项或中间结果,来参与进一步的分析操作。所以针对不同的研究问题,在数据准备部分要做好表格分析数据的准备和收集。

5. 属性表分析

对准备好的表格分析数据进行逻辑表达式运算和算术表达式运算,根据步骤 1 中的分析要求来确定不同的表格分析运算方法。在 GIS 分析中,属性表分析的结果是对应于空间位置的。

6. 获得分析结果

执行了步骤 3 和步骤 5 的分析操作后,得到分析结果。这个结果通常是研究者可以识别和认知的模型或数据。

在本例中,所得的分析结果为在该研究区域内满足已有要求的一个面区域。

7. 评价和解释分析结果

对获取的分析结果,需要进行评价和解释,以确定其有效性和可理解性。通过这一步骤可以验证结果是否提供了可靠而又有实际应用意义的答案,并向用户解释结果产生的依据,以及过程和意义。

8. 修改分析过程

如果分析结果不能被接受,则需要对分析结果进行修改或添加某些条件和要求,使得结果可以被接受。如果分析存在某些局限性或缺点,则应返回前面步骤,补充适当的条件和要求后,重新得到分析结果。

本例中,如果所得到的小学校址与已有的小学相距过近,则需添加条件“与已知小学相距大于 f 公里”。

9. 输出专题图和报表

对于最后的输出结果,空间分析一般都会以专题图或报表的形式给出,两种形式对应着不同的分析问题。专题图形式对于表达空间关系非常有利,且直观易懂;报表形式则可以显示有关问题的表格数据和计算结果。

参 考 文 献

- 柏延臣,李新,冯学智.1999.空间数据分析与空间模型.地理研究,18(2):185~190
- 陈军,赵仁亮.1999.GIS空间关系的基本问题与研究进展.测绘学报,28(2):95~102
- 陈述彭,鲁学军,周成虎.2000.地理信息系统导论.北京:科学出版社
- 党安荣,贾海峰,易善桢等.2002.ArcGIS 8 Desktop地理信息系统应用指南.北京:清华大学出版社
- 傅伯杰,陈利顶,马克明等.2002.景观生态学原理及应用.北京:科学出版社
- 耿宜顺.2000.基于GIS的城市规划空间分析.规划师,(6):12~15
- 龚健雅.2001.地理信息系统基础.北京:科学出版社
- 郭仁忠.2001.空间分析.北京:高等教育出版社
- 胡鹏,杨传勇,胡海.2002.GIS的基本理论问题——地图代数的空间观.武汉大学学报·信息科学版,27(6):616~621
- 李德仁等.1993.地理信息系统导论.北京:测绘出版社
- 刘兴权,梁艳平.2001.浅析GIS中的空间分析与应用模型.四川测绘,24(4):150~155
- 马天智,张燕妮.2003.空间分析方法、应用模型与GIS的关系.湖南地质,22(1):70~72
- 邬伦,刘瑜,张晶等.2001.地理信息系统——原理、方法和应用.北京:科学出版社
- 吴立新,史文中.2003.地理信息系统原理与算法.北京:科学出版社
- 吴信才等.2002.地理信息系统原理与方法.北京:电子工业出版社
- 肖笃宁,李秀珍,高峻等.2003.景观生态学.北京:科学出版社
- 张成才,秦昆,卢艳等.2004.GIS空间分析理论与方法.武汉:武汉大学出版社
- 朱欣娟,石美红,薛惠锋等.2002.基于GIS的空间分析及其发展研究.计算机工程与应用,(18):62~64
- Chang Kang-tsung.2003.地理信息系统导论.陈健飞等译.北京:科学出版社
- Haining R.1994.Designing spatial data analysis modules for geographical information systems in spatial analysis and GIS.Fotheringham and Regerson(ed):Taylor & Francis Press
- Haining R.2003.Spatial data analysis theory and practice.Cambridge:Cambridge University Press
- Holland P, Reichart M.1999.The global spatial data infrastructure initiative and its relationship to the vision of a digital earth.In:towards digital earth——proceedings of the international symposium on digital earth.Beijing:Science Press
- Landis J.1995.GIS技术综述,咄咄逼人的地理信息系统世界.北京:测绘出版社
- Michael N. DeMers.2001.地理信息系统基本原理(第二版).武法东,付宗堂,王小牛等译.北京:电子工业出版社
- Paul A L, Goodchild M F, et al.2004.Geographical information systems, volume 1, principal and technical issues, second edition.唐中实,黄俊峰等译.地理信息系统原理与技术(上卷).北京:电子工业出版社