



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
www.sciencep.com

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>

双青印刷厂印刷

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(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

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、软件和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

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:计算机硬件系统、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、SuperMap 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

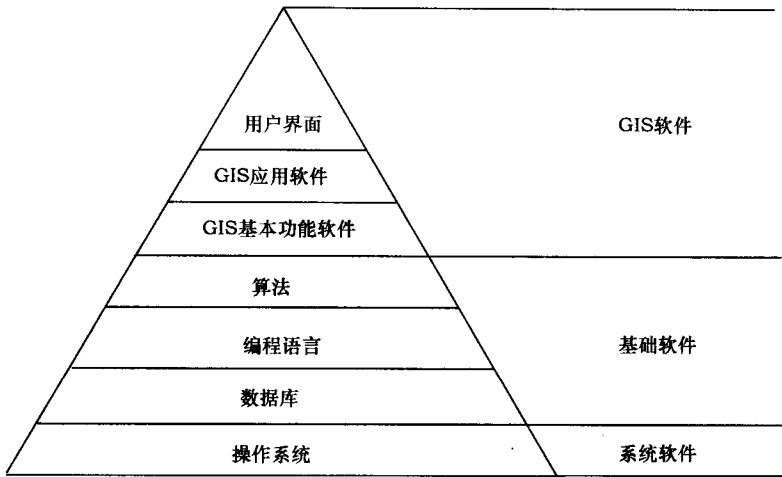


图 1.2.1 计算机软件系统层次结构图

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,地理事物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。