



高等教育“十三五”规划教材
江苏高校品牌专业建设工程资助项目

地理信息系统原理

主 编 张海荣
副主编 王行风 闫志刚

Principles of Geographical Information System

Principles of Geographical Information System



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

非外借

高等教育“十三五”规划教材
江苏高校品牌专业建设工程资助项目

地理信息系统原理

主 编 张海荣
副主编 王行风 闫志刚



中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书既介绍了传统的 GIS 基础知识,又综合了近几年 GIS 的研究成果。主要包括:地理信息系统的基本概念;地球空间与空间数据基础;空间数据模型与数据结构;地理信息系统数据采集与处理;空间分析与建模;空间信息的可视化与自动制图;GIS 工程与应用;GIS 发展前沿与展望。

本书可作为地质、测量、土地管理、资源环境与城乡规划、采矿、环境、建筑等相关专业或方向的本科生或研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理 / 张海荣主编. — 徐州:中国
矿业大学出版社, 2017.11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3697 - 5

I. ①地… II. ①张… III. ①地理信息系统—高等学
校—教材 IV. ①P208.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 215544 号

书 名 地理信息系统原理
主 编 张海荣
责任编辑 潘俊成
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 436 千字
版次印次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷
定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

自 20 世纪 60 年代 Roger F. Tomlinson 提出地理信息系统的概念以来,地理信息系统作为一门技术在全球得到了快速发展,各国政府、企业、学术界和社会对地理信息系统的认可度不断增强,地理信息系统的应用领域日趋广泛。1992 年,Michael F. Goodchild 提出了地理信息科学的概念,将地理信息系统从技术与应用研究提升到科学的范畴。《Nature》杂志 2004 年 1 月《Mapping Opportunities》一文将以遥感与地理信息系统为基础的 Geo-technology 和纳米技术、生物技术作为最新出现的、最具发展前景的三大技术之一,高度评价了地理信息系统的发展前景。

近年来,GIS 的基础性理论问题受到高度重视并逐步得到解决,GIS 应用技术与方法也不断进步,应用领域持续拓展,应用水平不断深化。GIS 的应用正在从早期的资源、环境、土地、城市等领域,逐步扩展到交通、电力、基础设施、旅游、防灾减灾等方面,近年来在商业、金融、考古、社会、公共卫生、电子政务、公共安全、应急管理、个人移动服务等领域的应用发展迅速,应用水平不断提升,成为决策、分析的有力支持工具,与现代信息技术密切结合的软件产品如 WebGIS、组件 GIS、移动 GIS 等不断走向市场。地理信息技术正逐步成为 IT 技术的重要组成部分,地理信息产业也逐渐融入 IT 产业的主流。

地理信息系统是一门快速发展的学科,新问题、新方法不断出现。近几年,国内外众多学者在地理空间认知模型、空间数据模型、三维建模、时态 GIS、空间尺度、空间数据质量、空间数据共享、空间智能、空间数据挖掘与知识发现、云计算与时空大数据分析等方面发表了许多新的成果。

本书是笔者在高等学校“十一五”规划教材《地理信息系统原理与应用》(中国矿业大学出版社,2008)的基础上,通过近几年的教学和科研实践,并广泛参阅了国内外有关论著之后编写而成。本书在章节编排上作了部分修改,对原教材相关章节的内容作了部分调整和充实。

全书共分八章,由张海荣任主编,王行风、闫志刚任副主编。张海荣编写第一章、第五章、第七章、第八章;王行风编写第二章和第三章;闫志刚编写第四章和第六章。在本书编写过程中,得到了邓喀中教授、张书毕教授的关心与支持,研究生秦坤、秦坤、杨智昊、边璟洋、牛润、谭学玲做了大量资料整理工作,在此向他们表示诚挚的谢意。本书的完成得到许多学者、同仁们的帮助,谨向他们表示衷心的感谢。

限于作者的水平,书中缺点、错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2017 年 7 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地理信息系统的基本概念	1
第二节 地理信息系统的构成和功能	7
第三节 地理信息系统的研究内容	11
第四节 地理信息系统的相关学科和技术	13
第五节 地理信息系统的发展概况	18
第六节 地理信息系统的应用领域	21
第二章 地球空间与空间数据基础	25
第一节 地球空间、地理空间与地理空间描述	25
第二节 地理空间坐标系与地图投影	32
第三节 空间数据特征和类型	35
第三章 空间数据模型与数据结构	41
第一节 数据模型与空间数据模型	41
第二节 空间数据结构与数据编码	49
第三节 地理空间数据库与数据库管理系统	75
第四章 地理信息系统数据采集与处理	82
第一节 空间数据的采集	82
第二节 空间数据的处理	88
第三节 空间索引	97
第四节 空间数据质量分析与控制	102
第五节 空间数据的元数据	109
第五章 空间分析与建模	118
第一节 概述	118
第二节 空间统计分析	121
第三节 空间查询分析	125
第四节 缓冲区分析	132
第五节 空间叠加分析	136
第六节 网络分析	142
第七节 数字地面模型分析	148

第八节 空间分析建模.....	166
第六章 空间信息的可视化与自动制图.....	170
第一节 空间信息可视化.....	170
第二节 空间实体的符号化.....	174
第三节 专题地图制图.....	182
第四节 空间数据的多尺度特征与自动综合.....	188
第五节 电子地图.....	197
第七章 GIS 工程与应用	200
第一节 GIS 工程建设概述.....	200
第二节 GIS 软件开发.....	205
第三节 GIS 标准化.....	216
第四节 GIS 应用实例	223
第八章 GIS 发展前沿与展望	241
第一节 基于非关系数据库的地理数据分布式管理.....	241
第二节 云计算与大数据.....	242
第三节 实时 GIS 时空数据模型	244
第四节 志愿者地理信息系统.....	248
参考文献.....	251

第一章 绪 论

第一节 地理信息系统的基本概念

一、地理数据与地理信息

(一) 数据

数据(Data)是一种未经加工的原始资料,是对客观对象的性质、状态以及相互关系等进行记载的物理符号或这些物理符号的组合,如数字、文字、符号、声音、图形、图像等。可见,数据有多种多样的来源、表现形式与记录方式。

在计算机科学中,数据是指所有能输入到计算机并被计算机处理的符号介质的总称,是具有一定意义的数字、字母、符号和模拟量等的通称。现在计算机存储和处理的对象十分广泛,表示这些对象的数据也随之变得越来越复杂。

数据已成为数字经济的新石油。

(二) 信息

数据本身没有意义,例如 60 是一个数据,可以是一个同学某门课程的成绩,也可以是一个班级的人数。数据的表现形式还不能完全表达其内容,需要经过解释。数据和关于数据的解释是不可分的。数据的解释是指对数据含义的说明,数据的含义称为数据的语义。具有语义的数据就成为信息。

信息(Information)是用文字、数字、符号、语言、图像等介质来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征,从而向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实和知识,作为生产、建设、经营管理、分析和决策的依据。信息具有客观性、适用性、可传输性和共享性等特征,信息来源于数据。

信息是一个含义很宽泛的概念,可以从多个角度和多个方面理解,没有统一的定义。在信息学界,把信息定义为“熵的减少”,即“能够用来消除不确定性的东西”。在经济学界,认为信息是经组织化而加以传递的数据。

在信息管理领域,信息是指任何传播内容或知识的表示,如以任何媒体或形式存在的事实、数据或见解,包括文本型、数字型、图片式、动画式、记叙性的、音视频形式等。

信息与数据既有联系,又有区别。数据是信息的表现形式和载体,而信息是数据的内涵。信息加载于数据之上,对数据作具有含义的解释。数据和信息是不可分离的,信息依赖数据来表达,数据则生动具体地表达出信息。数据是符号,是物理性的;信息是对数据进行加工处理之后所得到的并对决策产生影响的数据,是逻辑性和观念性的。信息是数据的内涵,是形与质的关系。

(三) 信息流

信息流是指在空间和时间上向同一方向运动过程中的一组信息,它也是物质流、能量

流、价值流的外化形式。人类调控生产、经营活动是通过掌握物质流、能量流、价值流发出的信息流来实现的。信息流的特点之一是以物质流和能量流为载体,进行双向传递,既有输入到输出的信息传递,也有从输出向输入的信息反馈。人们可以按照这些反馈信息来改变输入的内容或数量,以便对控制对象产生新的影响。信息流的畅通是保证各种生产、经营和社会活动正常运行的必要条件。

(四) 信息资源

信息资源是指在经济、政治、科技、教育、国防、社会生活等各个领域、各个层次产生和使用的信息内容。对信息资源有两种理解:一种是狭义的理解,即指信息内容本身;另一种是广义的理解,指的是除信息内容本身之外,还包括与其紧密相连的信息设备、信息人员、信息系统、信息网络等。实际上,狭义的信息资源还包括信息载体,因为信息内容不能脱离信息载体而独立存在。

信息资源可按运营机制和政策机制、信息增值状态和信息资源的所有权等来划分。

按运营机制和政策机制不同,信息资源可以划分为:① 政府信息资源,在政府业务流程中产生的记录、数据和文件内容;② 为政府收集和生产的的信息资源,即为政府业务流程的需要从外部采集的信息内容;③ 商业、企业信息资源,包括商业、企业业务循环过程中产生或需要的信息资源;④ 地理信息资源,包括基础地理信息资源和行业应用地理信息资源;⑤ 社会信息资源,包括人口、社区、治安等社会信息资源;⑥ 公益性信息资源,包括教育、科研、文化、娱乐和生活等领域的信息资源。

按信息增值状态不同,信息资源可以划分为:① 基础性信息资源,指机构业务流程中产生的未经加工或加工程度较低,保证各行业和机构正常运作必不可少的信息资源;② 增值性信息资源,指加工程度较高或经专业分析、处理后的信息资源。

按信息资源的所有权不同,信息资源可以划分为:① 公共信息资源,美国 1990 年的《公共信息准则》把联邦政府生产、编辑和维护的信息称为公共信息,认为公共信息属于公众的信息,为公众所依赖的、政府所拥有并在法律允许的范围内为公众所享用,显然,公共信息不等于公开信息;② 私有信息资源,属于某一个组织机构所专有,并且自己单独使用的信息;③ 受控信息资源,介于公共信息和私有信息之间还有一个灰色区域,即既不是完全公有,也不是完全私有,它属于受控使用的信息,只限于合法使用的用户,比如会员。

信息资源还可以按照记录介质、记录方式、记录状态、信息的产生和利用领域,以及信息的编码抽象程度等进行划分。

(五) 地理数据

地理数据是指以空间位置为参照,描述自然、社会和人文经济景观的数据,这些数据可以是图形、图像、文字、表格和数字等,包括空间位置数据、属性(特征)数据和时态特征数据三大部分,见表 1-1。空间位置数据既可以根据大地参照系定义,如大地经纬度坐标、直角坐标,也可以根据地物间的相对关系定义,如空间上的相邻、包含等。属性数据是对一定的地物描述其特征的定性或定量指标。时态特征数据是指地理特征采集或地理现象发生时的时刻或时段。空间位置数据、属性数据及时态(间)数据是地理实体和现象的三大基本要素。从地理实体到地理数据,再到地理信息的发展,反映了人类认识的一个巨大飞跃。

表 1-1

地理数据

	空间数据	属性数据	时域数据
属性	φ, λ, Z 点、线、面、表面 体积、像素 体素(三维像素)……	颜色、大小、形状、pH 值……	日期、持续时间、周期……
关系	拓扑、 方向、 距离……	拓扑、 是一个…(is_a)、 是一种…(kind_of)、 是…部分(part_of)	拓扑、 过去是…(was_a)、 现在是…(is_a)、 将来是…(will_be)

地理数据作为数据的一类,具有数据的一般特性,然而由于地理数据在获取方式、表示和管理方面的显著技术特色,使其具有一些独特的特点。空间位置数据可按其形态或获取与存储方式的差异,分为矢量图形数据、格网和 TIN(不规则三角网)数据以及栅格数据;属性数据的分类比较复杂,笼统地可分为一般属性数据和专题属性数据,基本的细分类别为:几何类型信息、分类分级信息、数量特征信息、质量特征信息和名称信息等。

(1) 位置数据

即几何坐标,表示地理实体在某个已知坐标系(如大地坐标系、直角坐标系、极坐标、自定义坐标系)中的空间位置,可以是经纬度、平面直角坐标、极坐标,也可以是矩阵的行、列数等。

(2) 实体间的空间关系

即拓扑关系,表示点、线、面实体之间的空间联系,如网络节点与网络线之间的枢纽关系,边界线与面实体之间的构成关系,面实体与岛或内部点的包含关系等。空间拓扑关系对于地理数据的编码、录入、格式转换、存储管理、查询检索和模型分析都有重要的意义,是地理信息系统的特色之一。其他的空间关系还有度量关系和方位关系。

(3) 与空间位置相关的属性数据

即与地理实体相联系的地理变量或地理意义。属性分为定性和定量两种,前者包括名称、类型、特性等,后者包括数量和等级。定性描述的属性,如岩石类型、土壤种类、土地利用类型、行政区划等,定量的属性,如面积、长度、土地等级、人口数量、降雨量、河流长度、水土流失量等。非几何属性一般是经过抽象的概念,通过分类、命名、量算、统计得到。任何地理实体至少有一个属性,而地理信息系统的分析、检索和表示主要通过属性的操作运算实现,因此,属性的分类系统、量算指标对系统的功能有较大的影响。

尺度是地理数据的重要特性之一。在地图学中,地图以某种比例尺来绘制。理论上,尺度是最含糊和最具多义性的术语。实际中,根据测量的标准,尺度可以被分为四类:名义尺度(Nominal Scale)、顺序尺度(Ordinal Scale)、间隔尺度(Interval or Granularity Scale)和比率尺度(Ratio Scale)。目前,地理信息系统空间数据库建库基本上都是对应某一比例尺的空间数据集。

(六) 地理信息

地理信息是有关地理实体空间分布、性质、特征和运动状态的信息,它是对表达地理特

征和地理现象之间关系的地理及环境数据的解释,是用文字、数字、符号、语言、图像等介质来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征,从而向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实和知识,作为生产、建设、经营管理、分析和决策的依据。地理信息是地理数据内涵的意义,是数据的内容和解释。例如,从实地或社会调查数据中可获取到各种专门信息;从测量数据中可以抽取出地面目标或物体的形状、大小和位置等信息;从遥感图像数据中可以提取出各种地物的图形大小和专题信息。

地理信息除了具有一般信息的特性之外,还具有以下特性:

① 空间分布性。地理信息具有空间定位的特点,一般总是先对其定位再定性,并且在区域上表现出分布式特点,具有多层次的属性。

② 数据量大(海量数据)。如上所述,地理信息一般都包括空间、属性和时间及其变化的数据,且往往以图形、图像形式表示,因此其数据量很大。尤其是随着全球空间对地观测计划和技术不断发展,我们每天都能获得上万亿兆关于地球资源、环境特征的数据,从而给数据处理与分析带来很大压力。

③ 信息载体的多样性。地理信息的第一载体是地理实体的物质和能量本身。此外,还有描述实体的文字、数字、地图和影像等符号信息载体,以及纸质、磁带、光盘等物理介质载体。各种图形图像和地图,不仅是信息的载体,也是信息的传播媒介。

二、信息系统与地理信息系统

(一) 信息系统

为了有效地对信息流进行控制、组织管理,实现双向传递,需要某种信息系统,它能对数据和信息进行采集、存储、加工和再现,并能回答用户的一系列问题。以提供信息服务为主要目的的数据密集型、人机交互的计算机应用系统称为信息系统。信息系统有四大基本功能:数据采集、管理、分析和表达。在技术上有以下四个特点:

① 涉及的数据量大。数据一般需存放在辅助存储器中,内存中只暂存当前要处理的一小部分数据。

② 绝大部分数据是持久的,即不随程序运行的结束而消失,而需长期保留在计算机系统中。

③ 这些持久数据为多个应用程序所共享,甚至在一个单位或更大范围内共享。

④ 除具有数据采集、传输、存储和管理等基本功能外,还可向用户提供信息检索、统计报表、事务处理、规划、设计、指挥、控制、决策、报警、提示、咨询等信息服务。

信息系统是为产生决策信息而按照一定要求设计的一套有组织的应用程序系统,管理信息系统、地理信息系统、指挥信息系统、决策支持系统、办公信息系统等都属于这个范畴。

(二) 地理信息系统

美国学者 Parker 认为“GIS 是一种存储、分析和显示空间与非空间数据的信息技术”。Goodchild 把 GIS 定义为“采集、存储、管理、分析和显示有关地理现象信息的综合系统”。加拿大的 Roger Tomlinson 认为“GIS 是全方位分析和操作地理数据的数字系统”。Burrough 认为“GIS 是属于从现实世界中采集、存储、提取、转换和显示空间数据的一组有力的工具”。美国联邦数字地图协调委员会(FICDC)的定义为“GIS 是由计算机硬件、软件和不同的方法组成的系统,该系统用来支持空间数据的采集、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”。国内学者陈述彭给出的定义是“GIS 由计算机系统、

地理数据和用户组成,通过对地理数据的集成、存储、检索、操作和分析,生成并输出各种地理信息,从而为土地利用、资源评价与管理、环境监测、交通运输、经济建设、城市规划以及政府部门行政管理提供新的知识,为工程设计和规划、管理决策服务”。纵观这些定义,有的侧重于 GIS 的技术内涵,有的则是强调 GIS 的分析与应用功能。

这里推荐李德仁的定义:“地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是一种特定而又十分重要的空间信息系统(Spatial Information System),它是采集、存储、管理、分析和描述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空间信息系统”。这里地理信息系统中的“地理”二字广义地指地理坐标参照系统,也即按地理坐标来组织空间数据。地理信息系统处理、管理的对象是多种地理间实体数据及其关系,包括空间定位数据、图形数据、遥感图像数据、属性数据等,用于分析和处理在一定地理区域内分布的各种空间现象、环境特征和过程,解决复杂的规划、决策和管理问题。

综合上面关于信息系统和地理信息系统的论述,可将它们之间的关系用图 1-1 表示。依据地理信息系统应用领域的不同,可分为土地信息系统(LIS)、资源管理信息系统(Natural Resources Information System)、地学信息系统(Geo-science or Geological Information System)等;依据其服务对象的不同,可分为区域信息系统和专题信息系统,如农林信息系统、矿山信息系统、地籍管理信息系统等。

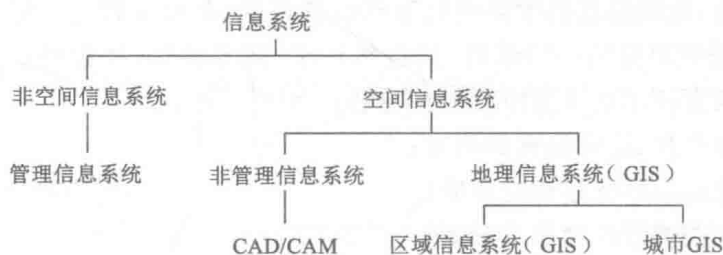


图 1-1 信息系统的分类

GIS 特殊的空间数据模型决定了 GIS 特殊的空间数据结构和特殊的数据编码,也决定了 GIS 具有特色的空间数据管理方法和系统空间数据分析功能,成为地学研究和资源管理的重要工具。与一般的管理信息系统相比, GIS 具有以下特征:

① GIS 在分析处理问题中使用了空间位置数据与属性数据,并通过数据管理系统将两者联系在一起共同管理、分析和应用,从而提供了认识地理现象的一种新的思维方法;而管理信息系统则只有属性数据库的管理,即使存储了图形,也往往以文件等机械形式存储,不能进行有关空间数据的操作,如空间查询、检索、相邻分析等,更无法进行复杂的空间分析。

② GIS 强调空间分析,通过空间解析式模型来分析空间数据, GIS 的成功应用依赖于空间分析模型的研究与设计。

三、地理信息科学

地理信息科学(Geographical Information Science)作为一门新兴学科的正式术语最早由 Goodchild 于 1992 年提出。地理信息科学(GIScience)是寻求在地理信息系统的背景下重新定义地理概念及其应用的基础研究领域。GIScience 还研究 GIS 对个人和社会的影响,以及社会对 GIS 的影响。GIScience 重新审视了传统空间领域的一些最根本问题,如地

理学、地图学和大地测量学,同时结合了认知和信息科学的最新研究成果。它也与计算机科学、统计学、数学和心理学等更为专业化的研究领域相互重叠或采用这些领域的研究成果,并反过来为这些领域的研究做出贡献。它支持政治学和人类学研究,并在地理信息与社会研究中借鉴这些领域的成果。

GIScience 与同类学科之间的界限尚有争议,不同的团体可能不同意 GIScience 的定义和研究内容。Goodchild 表示:“信息科学是根据信息的性质和属性的科学原理进行的系统性研究,就地理信息而言,地理信息科学是信息科学的一个子集。”

1999 年,美国国家科学基金委员会举行的研究会上,对地理信息科学给出了以下定义:地理信息科学是试图重新定义地理概念及其在 GIS 框架下应用的基础研究领域,地理信息科学也研究 GIS 对个人与社会的影响,以及社会对 GIS 的影响;地理信息科学将重新认识一些传统的面向空间的学科领域如地理学、地图学和大地测量学中最基本的论题,同时考虑结合认知科学与信息科学的最新发展;地理信息科学与心理学密切相关,同时将促进这些领域的发展;GIS 支持政治学和人类学研究,同时促进这些领域对地理信息与社会的研究。

地理信息科学是研究地理信息的获取、表达、处理和分析的科学学科。它可以与地理信息系统进行对比,强调地理信息系统是软件工具,而地理信息科学的重点在于基础理论的研究。

闫国年等认为,地理信息科学是研究地理信息产生、运动和转化规律的一门交叉学科,是以广义 GIS 为研究对象的一门学科,是自然科学、技术科学、社会科学、思维科学之间的交叉学科。地理信息科学的主要研究内容包括:

- 对地理信息产生、运动过程的研究;
- 对地理信息运动转化过程的研究;
- 对地理信息获取与处理技术的研究;
- 对地理信息技术集成理论与方法的研究;
- 对地理信息科学的应用研究。

基此,闫国年等提出了如图 1-2 所示的地理信息科学的框架结构。



图 1-2 地理信息科学的框架结构

李德仁提出了地球空间信息学的七大理论问题:

- ① 地球空间信息的基准:包括几何基准、物理基准和时间基准。
- ② 地球空间信息标准:包括空间数据采集、存储与交换标准,空间数据精度与质量标准,空间信息的分类与代码标准,空间信息的安全、保密及技术服务标准以及元数据标准等。

③ 地球空间信息的时空变化理论:包括时空变化发现的方法和对时空变化特征和规律的研究。

④ 地球空间信息的认知:主要通过目标和要素的位置、结构形态、相互关联等从静态上的形态分析、发生上的成因分析、动态上的过程分析、演化上的力学分析以及时态上的演化分析达到对地球空间的客观认知。

⑤ 地球空间信息的不确定性:包括类型的不确定性、空间位置的不确定性、空间关系的不确定性、逻辑的不一致性和信息的不完备性。

⑥ 地球空间信息的解译与反演:包括贯穿在信息获取、信息处理和认知过程中的定性解译和定量反演。

⑦ 地球空间信息的表达与可视化:涉及空间数据多尺度表示、数字地图自动综合、图形可视化、动态仿真和虚拟现实等。

可以看出,这些方面正是地理信息科学发展中需要重点开展的研究。

此外,李德仁(2003)指出,21 世纪 GIS 发展的一个重要特点就是地理信息科学有望在本世纪形成较完整的理论框架体系。

地理信息科学的提出是地理信息系统技术及应用发展到相当水平后的必然要求,它在注重地理信息技术发展的同时,还关注与地理数据、地理信息有关的理论问题,如地理信息的认知、地理数据的不确定性、地理信息机理等。

第二节 地理信息系统的构成和功能

一、地理信息系统的构成

完整的 GIS 主要有由四个部分构成,即硬件系统、软件系统、地理数据和系统管理操作人员。空间数据库反映了 GIS 的地理内容,而管理人员和用户则决定系统的工作方式和信息表达方式。下面对前面两个部分的内容进行分析描述。

(一) 硬件系统

计算机硬件是计算机系统中实际物理装置的总称,是 GIS 的物理外壳,可以是电子的、电的、磁的、机械的、光的元件或装置。系统的规模、精度、速度、功能、形式、使用方法甚至软件都与硬件有极大的关系,并受硬件指标的支持或制约。GIS 由于其任务的复杂性和特殊性,必须由计算机设备支持。GIS 硬件配置一般包括四部分(图 1-3):

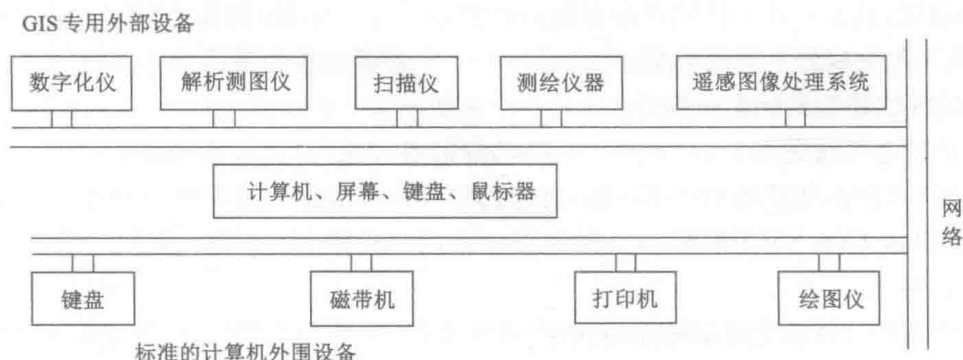


图 1-3 地理信息系统的硬件系统

- ① 计算机主机。
- ② 数据输入设备:数字化仪、图像扫描仪、手写笔、光笔、键盘、通讯端口等。
- ③ 数据存储设备:磁盘阵列、光盘刻录机、磁带机、光盘塔、活动硬盘、刻录阵列等。
- ④ 数据输出设备:笔式绘图仪、喷墨绘图仪(打印机)、激光打印机等。

(二) 软件系统

软件系统是指 GIS 运行所必需的各种程序,通常包括计算机系统软件、GIS 软件和其他支撑软件、应用分析程序等(图 1-4)。

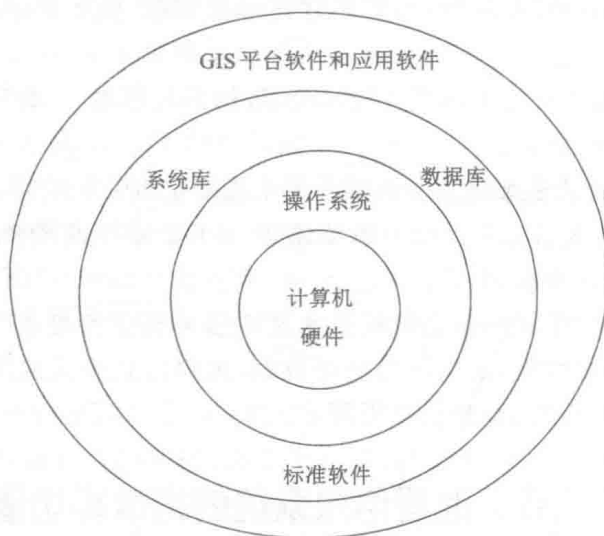


图 1-4 地理信息系统的软件系统

(1) 计算机系统软件

计算机系统软件主要指计算机操作系统,如 DOS、Unix/Linux、Windows 等。它们关系到 GIS 软件 and 开发语言使用的有效性,是 GIS 软硬件环境的重要组成部分。

(2) 数据库软件

数据库软件除了在 GIS 专业软件中用于支持复杂地理数据的管理以外,还包括服务于以非空间属性数据为主的数据库系统,这类软件有 ORACLE、SYBASE、INFORMIX、DB2、SQL Server 和 Ingress 等。由于这类数据库软件具有快速检索、满足多用户并发和数据安全保障等功能,且已能够在数据库中存储 GIS 的空间位置数据,例如 SDE(Spatial Database Engine)就是一种较好的解决方案,从而成为 GIS 软件的重要组成部分。

(3) GIS 软件和其他支撑软件

GIS 软件是系统的核心,用于执行 GIS 功能的各种操作,包括数据输入、处理、数据库管理、空间分析和图形用户界面(GUI)等,可作为构建地理信息应用系统的平台。其代表产品有 ArcGIS、MapGIS、SuperMap、GeoStar、GeoMedia 和 MapInfo 等。它们一般都包含以下主要核心模块:

① 数据输入:将系统外部的原始数据(多种来源、多种形式的信息)传输给系统内部,并将这些数据从外部格式转换为便于系统处理的内部格式的过程。如将各种已存在的地图、遥感图像数字化,或者通过通信或读磁盘、磁带的方式输入遥感数据和其他系统已存在的数

据,还包括以适当的方式输入各种统计数据、野外调查数据和仪器记录的数据。

② 数据存储与管理:数据存储和数据库管理涉及地理要素(表示地表物体的点、线、面)的位置、拓扑关系及属性数据如何构造和组织等。用于组织空间数据库的计算机系统称为空间数据库管理系统(SDBMS)。空间数据库的操作包括数据格式的选择和转换,数据的连接、查询、提取等。

③ 数据分析与处理:指对地理数据进行分析运算和指标量测。空间数据分析与处理可以理解为函数转换,从一种空间数据集通过相应的空间转换函数转换为另一种空间数据集,转换后的空间数据集满足特定的数据分析与处理目的。空间函数转换可分为:基于点或像元的空间函数,如基于像元的算法运算、逻辑运算或聚类分析等;基于区域、图斑的空间函数,如叠加分析、区域形状量测等;基于邻域的空间函数,如像元连通性、扩散、最短路径搜索等。量测包括对面积、长度、体积、空间方位、空间变化等指标的计算。函数转换还包括错误改正、格式变换和预处理。

④ 数据输出与表示:输出与表示是将 GIS 内的原始数据或经过系统分析、转换、重新组织的数据以某种用户可以理解或所需的方式提交给用户,如以地图、表格、数字或曲线的形式表示于某种介质上,或采用显示器、胶片拷贝、打印机、绘图仪等输出,也可以将结果数据记录于磁存储介质设备或通过通信线路传输到用户的其他计算机系统中。

⑤ 用户接口:该部分软件用于接受用户指令、程序或数据,是用户和系统交互的工具,主要包括用户界面、程序接口与数据接口。系统通过菜单方式或解释命令方式接受用户的输入。由于 GIS 功能复杂,且用户又往往为非计算机专业人员,所以用户界面是 GIS 应用的重要组成部分,图形用户界面(GUI)是目前 GIS 主要的用户接口形式。

(4) 应用分析程序

是系统开发人员或用户根据地理专题或区域分析模型编写的用于某种特定应用任务的程序,是系统功能在具体应用中的扩充与延伸。在 GIS 开发资源和工具支持下,应用程序的开发应是透明的和动态的,与系统的物理存储结构无关。

二、地理信息系统的主要功能

GIS 的用途为什么如此广泛?因为它具有强大的功能。其功能包括数据采集、存储、处理、分析、模拟和决策的全部过程,能够回答和解决以下五个方面的问题:

① 位置(Location),某种现象发生在什么地方。位置可以用地理坐标、地名、邮政编码来表示。

② 条件(Condition),实现某种目标需要满足某些条件。例如修建一座大型高层建筑需要有足够的土地面积、适宜的工程地质等条件,种植棉花需要适宜的土壤条件等。

③ 趋势(Trends),即在某个地方发生的某个事件及其随时间的变化过程。例如某个地区的气候变化趋势,某个区域矿床储存及其产状的变化预测。

④ 模式(Pattern),即在某个地方存在的地理实体的分布模式问题。例如根据某个地区居民职业及购买力的结构模式,规划设计购物中心和娱乐场所的类型、规模;根据遥感图像分析城市空间扩展模式等。

⑤ 模型(Model)和模拟(Simulation),即对某个地方可能发生什么情况进行模拟,而在 GIS 中的模拟一般是通过某种模型的分析。例如,根据某种数理模型进行南水北调选线的分析模拟;根据某矿山的地质采矿条件参数,利用某一数学模型进行开采沉陷预测模拟等。

为了回答和解决以上五类问题,要求 GIS 必须具备从数据采集输入、存储管理、分析处理到表达输出的一系列功能。专业级的 GIS 软件包具有如下功能(图 1-5):

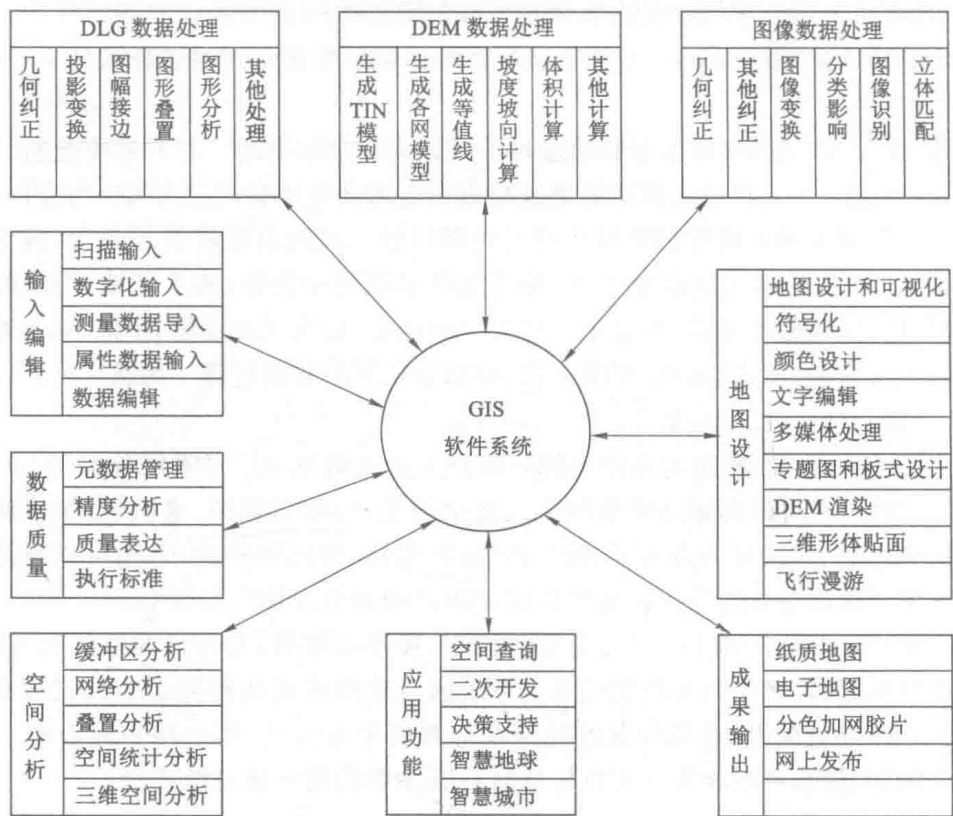


图 1-5 专业级 GIS 软件包功能图示

(一) 数据采集与输入

有多种多样的数据源可供 GIS 使用,例如野外测量数据,运用现代定位技术(全球定位系统 GPS、惯性测量系统 ISS 等)所获得的数据,摄影测量与遥感影像数据,现有的图像数据,现有的图形资料,物联网数据以及统计调查的文字、数字等。

不论地理数据、信息的形式如何多样化,它大体上可分为两类:一是基础地理数据,如地形、地物的位置,地面和井下测量点的位置,面积和体积数据等;二是专题属性数据或描述数据、表格数据,如对地形、地物、土地的分类,特征表述,生产统计数据,矿产资源状况数据,社会和生产环境数据等。GIS 的数据库不仅可以提供对各种空间数据和属性数据的编辑、处理、统计、分析和评价,还可以按一定的要求检索、建立报表、绘制图形。

(二) 空间数据的分析与处理

(1) 空间数据预处理

在同一地区不同单位、不同时间的数据源难免在地图的比例尺、坐标系、投影方式等存在差别,因此一般需要对一些原始数据作预处理,如几何校正、坐标系统转换等。

(2) 拓扑关系构建

空间概念能用几何关系和拓扑关系来度量。基本空间单元与其相关的特征是:点、线(长度、弯曲、方向)、面积(范围、周长、凹凸、重叠)和体积。地理实体可定义为多个空间单元

的组合,这种组合可以是相同类型实体的组合,也可以是不同类型实体的组合。

(3) 缓冲区分析和多边形叠置

缓冲区生成与分析是根据数据库中的点、线、面实体,自动建立其周围一定宽度范围的缓冲区多边形,是 GIS 的基本空间分析功能。例如,建立一个电视塔,其有效范围有多大;在铁路线下进行煤炭开采,需要留设多宽的煤柱才能保证运输安全;煤矿开采引起的地表下沉区域或积水面积等。

多边形叠置是将同一地区、同一比例尺的多边形要素数据文件进行叠置分析处理,从而产生许多新的多边形。例如,地质地形图就是同一地区、相同比例尺的地形地物数据与地质资料的数据叠加的结果。地学信息的叠置和分离是经常需要做的操作。

(4) 数字地形分析

等高(值)线法适合于表示不规则的连续变化的表面,但它却不适用于数字地形分析。数字地形模型(DTM)或数字高程模型(DEM)是以数字方式表示空间起伏变化的连续表面。许多 GIS 都提供了构建 DTM 的软件包来进行地形分析。数字地形分析的主要内容有等高线的生成与分析,地形要素的计算与分析,断面图分析,三维立体显示和计算等。

(三) 地图制图和数据输出

(1) 地图制图与制图综合

地图制图功能是 GIS 的重要功能之一,包括制作基本比例尺地图和专题地图。地图制图功能模块或软件包通过图形编辑,可根据用户的需要对数字地图进行整饰,按照给定的符号、注记和颜色进行图形显示或绘图输出。但由于地理数据的数据组织、存储和表示与地图会存在某些不一致,使得从 GIS 空间数据库中制作地图还需一些人机交互编辑工作。地图综合的内容很多,如曲线化简、多边形简化、聚合多边形、简化建筑物、生成中心线和注记自动配置等。具有空间目标综合功能的 GIS 可以最大限度地体现空间基础数据的价值,并满足多方面、多层次、多方位的 GIS 应用。地图制图与制图综合有密切关联,目前对于空间数据的自动综合在实用化方面还存在诸多问题,需进一步研究。

(2) 数据输出

经 GIS 软件数据处理的结果能够以多种形式表达,有的形式是用户可以阅读或理解的,有的则需要转换到计算机系统的其他设备中。前者如各种图素、相片;后者如 CCT 磁带、光盘等。

这里,有必要归纳出对 GIS 发展和认识存在的三个彼此不完全相同但又相互关联的观点:一是地图学观点,强调 GIS 是一种地图数据处理与显示系统;二是数据库观点,强调数据库系统在 GIS 中的重要地位;三是分析工具观点,强调 GIS 的空间分析与模拟分析功能,认为 GIS 是一门空间信息科学。现在,第三种观点已被 GIS 学界所普遍接受,并认为这是区分 GIS 与其他信息系统及地理数据自动处理的根本特征。当然,如前所述,这三个方面是相互渗透的。

第三节 地理信息系统的研究内容

GIS 是现代科学技术发展和社会需求的产物。人口、资源、环境、灾害是影响人类生存与发展的四大基本问题,为了解决这些问题,需要自然科学、工程技术、社会科学等多学科、