

普通高等院校地理信息科学系列教材

地理信息系统应用概论

崔铁军 等 编著



科学出版社

普通高

教材

地理信息系统应用概论

崔铁军 等 编著

天津市品牌专业经费资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

应用信息技术解决人们认识和改造世界中的实际问题是地理信息系统发展的驱动力,由此成为地理信息科学最活跃的研究领域之一。本书首先介绍了地理信息系统应用理论与方法、应用分类、过程和特点、研究内容、发展趋势及与其他学科关系,研讨了地理信息系统应用模型、构建过程及地理信息系统与应用业务模型集成方法;然后分章详细论述了地理信息系统在城市规划、土地管理、环境、交通、水利、地质、林业、农业、地下管线、公共安全(警用)、数字城市和智慧城市中的应用系统概念、应用概况、系统架构及功能。

本书条理清晰、叙述严谨、实例丰富,既适合作为地理信息科学专业或相关专业本科生、研究生教材,也可供信息化建设、信息系统开发等有关科研、企事业单位的科技工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统应用概论 / 崔铁军等编著. —北京: 科学出版社, 2017.8
普通高等院校地理信息科学系列教材

ISBN 978-7-03-054069-0

I. ①地… II. ①崔… III. ①地理信息系统-高等学校-教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 185151 号

责任编辑: 杨 红 程雷星/责任校对: 王 瑞

责任印制: 吴兆东/封面设计: 陈 敬

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>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 8 月第一次印刷 印张: 24 1/4

字数: 606 000

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

需求是科学与技术发展的动力。地理信息系统 (geographic information system, GIS) 是以应用为目的, 以技术为引导, 为社会各行各业服务中逐步从地理学、测绘学和信息学中自然形成的一门边缘学科, 广泛应用于资源调查、环境评估、灾害预测、国土管理、城市规划、邮电通信、交通运输、军事公安、水利电力、公共设施管理、农林牧业、统计、商业金融等领域。早期 GIS 应用主要以数据的采集、存储、管理、查询检索及简单的空间分析功能为主, 可称为管理型 GIS。随着应用领域的拓展, 领域问题复杂性的逐渐提高, GIS 空间分析功能已经不能满足解决复杂领域问题的需求, GIS 向空间信息的知识表现和推理、自动学习的智能化决策工具发展。为解决复杂的空间决策问题, 在 GIS 基础上开发了空间决策支持系统, 充分发挥其模拟、评估、科学预测和目标决策的功能, 使之成为提高现代化城市管理、规划和决策水平的有效手段。为了解决一类或多类实际应用的问题, 依据应用部门的业务需求和应用目的, 空间分析功能与部门专业应用模型完全集成成为构建 GIS 应用的主要模式, 实现了部门专业应用系统分析、模拟和推理等方面的功能。GIS 应用模型具有综合性、复杂性和多层次性特点, 其自身往往是一种逻辑框架、一种集成模式, 或者是一种解决方案。部门专业应用系统的空间性和动态性决定了空间分析为复杂的 GIS 空间模型建立提供基本的分析工具。GIS 在专业领域应用的深度, 取决于对 GIS 应用模型研究的深度。GIS 应用模型研究成为提高 GIS 辅助决策水平和拓展 GIS 应用领域的关键。

根据地理信息系统应用需求, 应研究专业领域业务模型和空间分析模型的有效集成, 构建各种专业应用系统, 以解决地理空间实体空间分布规律、分布特征及其相互依赖关系和发展过程的科学问题。这些应用系统除了具备 GIS 技术的强大空间分析功能外, 还具有应用模型数值求解、预测预报和过程模拟等功能。这些应用系统构建方法成为地理信息系统应用的重要内容。

参与本书编写的有天津师范大学地理信息科学专业的崔铁军、宋宜全、张虎、郭鹏、李静和王倩等, 其中, 宋宜全负责第 2 章 GIS 应用模型、第 3 章城市规划管理信息系统和第 12 章警用地理信息系统; 张虎负责第 7 章水利信息系统; 李静负责第 9 章林业资源管理信息系统; 王倩负责第 8 章地质信息系统; 郭鹏负责第 11 章地下管线管理信息系统; 其他章节由崔铁军负责。宋宜全对全书进行了修改和校对, 最终由崔铁军定稿。本书撰写过程中, 在读研究生协助完成了插图绘图和初稿校对等工作。在此向他们表示衷心的感谢! 还需要说明的是, 本书在编著过程中吸收了国内外大量有关论著的理论和技术成果, 书中仅列出了部分参考文献, 未公开出版的文献没有列在书后参考文献中, 部分资料可能来自于某些网站, 但未能注明其出处, 在此向被引用资料的原作者表示感谢。

值此成书之际, 感谢天津师范大学城市与环境科学学院领导和老师的支持; 感谢历届博士生、硕士生在地信息科学研究方面所作出的不懈努力。

GIS 应用研究还处于初级阶段, 编著本书就是为了抛砖引玉, 旨在引起国内学者对地理

信息系统应用方法的探讨和思考,关注地理信息系统应用研究,推动地理信息科学的发展。由于本人水平有限,加上地理信息系统应用还处在不断发展和完善的阶段,书中不足之处在所难免,希望相关专家学者及读者给予批评指正。

作 者

2017年4月21日于天津

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 研究内容	13
1.3 发展趋势	19
1.4 与其他学科关系	20
1.5 本书阅读指南	22
第 2 章 GIS 应用模型	23
2.1 概述	23
2.2 GIS 应用模型构建与集成	29
2.3 常用数学方法	34
2.4 常用 GIS 应用模型	46
第 3 章 城市规划管理信息系统	53
3.1 概述	53
3.2 规划编制管理系统	67
3.3 城市规划审批系统	71
3.4 城市规划动态监测系统	80
第 4 章 土地管理信息系统	84
4.1 概述	84
4.2 土地利用调查信息系统	90
4.3 地籍管理信息系统	98
4.4 土地定级估价信息系统	107
4.5 土地利用规划信息系统	111
第 5 章 环境地理信息系统	116
5.1 概述	116
5.2 环境污染扩散模拟与预测	123
5.3 水环境管理信息系统	135
第 6 章 交通地理信息系统	141
6.1 概述	141
6.2 交通规划信息系统	156
6.3 高速公路管理信息系统	163
第 7 章 水利信息系统	170
7.1 概述	170

7.2	防汛抗旱管理信息系统	173
7.3	水文水资源管理信息系统	177
7.4	水土保持管理信息系统	186
第 8 章	地质信息系统	195
8.1	概述	195
8.2	区域地质调查	208
8.3	地质灾害评价信息系统	211
8.4	矿产资源评价信息系统	216
第 9 章	林业资源管理信息系统	225
9.1	概述	225
9.2	森林资源信息管理系统	233
9.3	森林防火管理系统	240
第 10 章	农业地理信息系统	251
10.1	概述	251
10.2	农业资源调查与管理	259
10.3	农用地适宜性评价	264
10.4	农作物监测与估产	267
10.5	精细农业	271
第 11 章	地下管线管理信息系统	276
11.1	概述	276
11.2	管线管理业务分析	288
11.3	三维地下管线管理信息系统	298
第 12 章	警用地理信息系统	308
12.1	概述	308
12.2	地名地址信息系统	322
12.3	人口信息系统	336
12.4	应急指挥系统	343
第 13 章	数字城市和智慧城市	350
13.1	城市与城市信息化	350
13.2	数字城市	354
13.3	智慧城市	364
主要参考文献		379

第1章 绪 论

地理信息系统应用是其发展的动力。人口、资源、环境和灾害是当今人类社会可持续发展所面临的四大问题。GIS 为人类社会的持续发展提供了信息技术手段,被广泛应用于国民经济的众多领域,如城市规划、资源环境管理、生态环境监测与保护、灾害监测防治等,成为信息产业的重要支柱,越来越受到人们的重视。

1.1 概 述

1.1.1 地理信息基本概念

1. 地理信息

1) 信息概念

世界是由物质组成的,物质是运动变化的。信息是指运动变化的客观事物所蕴含的内容;是事物运动的状态与方式,是物质的一种属性。信息以物质介质为载体(文字、图形、图像、声音、影视和动画等不是信息,而文字、图形、图像、声音、影视和动画等承载的内容才是信息),传递和反映世界各种事物存在的方式和运动状态的表征。

信息具有主观和客观两重性。信息的客观性表现为信息是客观事物发出的信息,信息以客观为依据;信息的主观性反映在信息是人对客观的感受,是人们感觉器官的反应和在大脑思维中的重组。人的五官生来就是为了感受信息的,它们是信息的接收器,时刻在感受来自外界的信息。人们能感受到各种信息,然而,还有大量信息是人们五官不能直接感受的,人类正通过各种手段,发明各种仪器来感知它们,发现它们。人们需要对获得的信息进行加工处理,并加以利用。人们通过获得、识别自然界和社会的不同信息来区别不同事物,得以认识和改造世界。

2) 地理信息概念

位置与时间是人类活动中信息的基本属性。地理是研究地球表面的地理环境中各种自然现象和人文现象,以及它们之间相互关系及其发展规律的学科。地理信息是指与地球表层各种自然和人文现象的空间分布、相互联系和发展变化有关的信息,是表示地表物体和环境固有的数量、质量、分布特征,相互联系和发展规律的文字、图形、语音、图像和数字等的总称。

2. 地理信息表达

对复杂对象的认识是一个从感性认识到理性认识的抽象过程。对于同一客观世界,不同社会部门或学科领域的人群,往往在所关心的问题、研究的对象等方面存在着差异,这就会产生不同的环境映象。人类对地理环境的认知主要通过两种途径:一种是实地考察,通过直接认知获得地理知识,但世界之大,人生有限,一个人在有限的生命里不可能阅历地球的方

方面面；另一种是通过阅读文字资料，获得地理知识。

1) 地理语言

人们在认识自然和改造自然活动中，长期以来用语言、文字、地图等手段表示自然现象和人文社会文化的发生和演变的空间位置、形状、大小范围及其分布特征等方面的地理信息（图 1.1）。

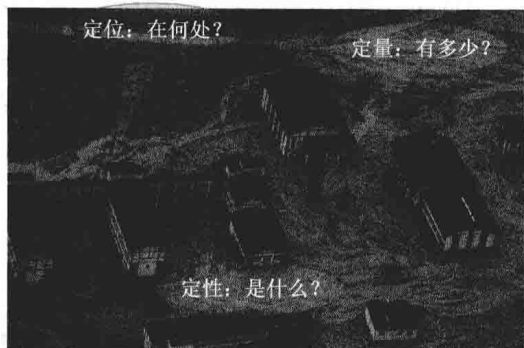


图 1.1 地理实体的描述

地理信息传递需要载体（地理语言）。文字表达，语言交流或者地图，都是地理语言的一部分，通过真实的地理环境与人们所描述的地理环境结合，人类相互传递着所要表达的信息，从而更好地理解人类所生存的环境。

2) 地理世界的地图表达

地图就是人类表达地理知识的图形语言，是客观存在的地理环境的概念模型。它具有严格的数学基础、符号系统、文字注记，并能用地图概括原则，按照比例建立空间模型，运用

符号系统和最佳感受效果表达人类对地理环境的科学认识，是“空间信息的载体”和“空间信息的传递通道”。地图在抽象概括表达过程中应用两种观点描述现实世界。

（1）场的观点。地理现象在空间上是连续的充满地球表层空间的。地球表面的任何一点都处于三维空间，如果包含时间，就是四维空间离散世界，如大气污染、大气降水、地表温度、土壤湿度及空气与水的流动速度和方向等。场的思想是把地理空间的事物和现象作为连续的变量来看待，借助物理学中场的概念表示一类具有共同属性值的地理实体或者地理目标的集合，根据应用的不同，场可以表现为二维或三维。一个二维场就是在二维空间中任何已知的点上，都有一个表现这一现象的值；而一个三维场就是在三维空间中对于任何位置来说都有一个值。一些现象，如空气污染在空间中本质上是三维的。基于场模型在地理空间上任意给定的空间位置都对应一个唯一的属性值。

（2）对象观点。地理对象指自然界现象和社会经济事件中不能再被分割的单元，它是一个具有概括性、复杂性、相对意义的概念。对象之间具有明确的边界，每一个对象都有一系列的属性。对象的思想是采用面向实体的构模方法，将地球表面的现实世界抽象为点、线、面、体的基本单元，每个基本单元表示为一个实体对象。每个对象由唯一的几何位置形态来表示，并用属性表表示对象的质量和数量特征。几何位置形态用来描述实体的位置、形状、大小等信息，在地理空间中可以用经纬度、坐标表达。属性是描述空间对象的质量和数量特性，表明其“是什么”，是对地理要素的语义定义，它包括各个地理单元中社会、经济或其他专题数据，是对地理单元（实体）专题内容的广泛、深刻的描述，如对象的类别、等级、名称、数量等。

3) 地理世界数字化表达

计算机的引进标志着地图学进入了信息时代，为了使计算机能够识别、存储和处理地理现象，人们把地理实体数字化，表示成计算机能够接受的数字形式。地理世界数字化表达经历了计算机辅助制图和地理信息系统两种不同的发展思路：①基于图形可视化的地图数据。地图数据是一种通过图形和样式表示地理实体特征的数据类型，其中图形是指地理

实体的几何信息,样式与地图符号相关。②基于空间分析的地理数据。这种数据主要通过属性数据描述地理实体的定性特征、数量特征、质量特征、时间特征和地理实体的空间关系(拓扑关系)。

(1) 地图数据。早期的计算机制图(地图制图自动化)只是把计算机作为工具来完成地图制图的任务。计算机辅助制图的迅速发展,从试验阶段过渡到了应用阶段,它利用软件系统解决了地图投影变换、比例尺缩放和地图地理要素的选取与概括,实现了地图编辑的自动化。地图在抽象概括表达过程中应用场和对象两种观点描述现实世界。地图数据描述地图要素也有两种形式:①基于对象观点,表达地理离散现象的矢量数据;②基于场的观点,表达连续现象的栅格数据。

矢量数据就是在直角坐标系中,用 X 、 Y 坐标表示地图图形或地理实体的位置和形状的数据。通过记录实体坐标及其关系,尽可能精确地表现点、线、多边形等地理实体,其坐标空间设为连续,允许任意位置、长度和面积的精确定义。地理实体在矢量数据中是一种在现实世界中不能再划分为同类现象的现象。地理实体的表示方法随比例尺、目的等情况的变化而变化。地理实体通常抽象为点状实体、线状实体、面状实体和体状实体,复杂的地理实体由这些类型的实体构成。

栅格数据就是按栅格阵列单元的行和列排列的有不同“值”的数据集。它将地球表面划分为大小、均匀、紧密相邻的网格阵列。每个单元(像素)的位置由它的行列号定义,所表示的实体位置隐含在栅格行列位置中,数据组织中的每个数据表示地物或现象的非几何属性或指向其属性的指针。

(2) 地理数据。随着信息技术的发展和地图数据应用的深入,地图数据仅把各种空间实体简单地抽象成点、线和面,这远远不能满足实际需要,地图数据应用已不再局限于地图生产,而是广泛应用于环境监测、社会管理、公共服务、交通物流、资源考察和军事侦察等。地图数据与其他专题地理信息结合产生各种地理数据,包括资源、环境、经济和社会等领域的一切带有地理坐标的数据,用于研究解决各种地理问题,由此产生了反映自然和社会现象的分布、组合、联系及其时空发展和变化的地理数据。地理数据利用计算机地理数据科学、真实地描述、表达和模拟现实世界中地理实体或现象、相互关系及分布特征。空间关系是通过一定的数据结构来描述与表达具有一定位置、属性和形态的空间实体之间的相互关系(图 1.2)。

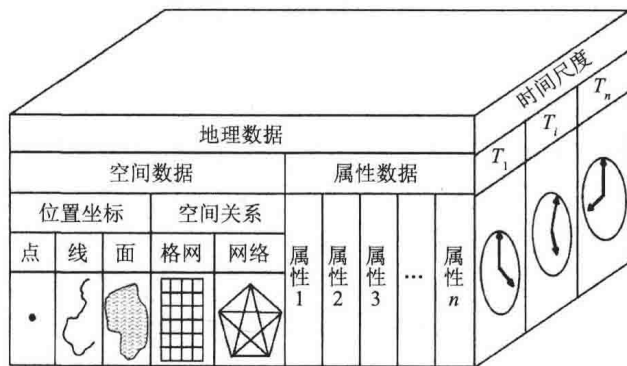


图 1.2 地理数据的多维结构示意图

地理数据是一类具有多维特征,即时间维、空间维及众多属性维的数据。其空间维决定了空间数据具有方向、距离、层次和地理位置等空间属性;属性维则表示空间数据所代表的空间对象的客观存在的性质和属性特征;时间维则描绘了空间对象随着时间的迁移行为和状态的变化。

(3) 地理空间数据。地图数据和地理数据是地理空间信息两种不同的表示方法,地图数据强调数据可视化,采用“图形表现属性”的方式,忽略了实体的空间关系,而地理数据主

要通过属性数据描述地理实体的数量和质量特征。地图数据和地理数据所具有的共同特征就是地理空间坐标,统称为地理空间数据。地理空间数据代表了现实世界地理实体或现象在信息世界的映射,与其他数据相比,地理空间数据具有特殊的数学基础、非结构化数据结构和动态变化的时间特征,为人们提供多尺度地图和各种应用分析。

1.1.2 地理信息系统

地理信息系统(GIS)是多种技术交叉的产物,它以地理空间数据为基础,采用地理模型分析方法,适时地提供多种空间的和动态的地理信息,是一种为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统,实现了地理空间数据的采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述等功能。GIS的本质是以测绘技术获取地理信息为基础;以数据库储存和管理地理数据;以可视化为地理信息表达的主要手段;运用不同的地理空间分析方法满足应用需求。

1. 地理信息系统产生

1) 以地图制图为目的催生了数字地图制图

20世纪50年代,人们把计算机引入地图制图产生了计算机辅助地图制图技术。1964年英国牛津自动制图系统研制成功;20世纪70年代中国科学院地理科学研究所研制了专题制图自动化系统;20世纪70年代末解放军测绘学院实现了地形图自动化绘制;20世纪90年代中国地质大学(武汉)研制出地图编辑出版系统MapCAD,实现了地图制图与地图制印一体化(编印一体化),通过激光照排系统输出把计算机编绘的地图成果输出成高精度的分色胶片,直接制版印刷,走上了全数字化生产的发展道路。早期地图数字化的主要驱动力是地图制图。地图数据是某一特定比例尺的地图经数字化而产生的,以相应的图式、规范为标准,依然保留着地图的各项特征。地图数据强调可视化,忽略了实体的空间关系。

2) 以应用分析为目的催生了地理信息系统

几乎与计算机制图同时,人们用计算机来收集、存储和处理各种与地理空间分布有关的属性数据,并希望通过计算机对数据的分析来直接为管理和决策服务。1956年,奥地利测绘部门利用计算机建立了地籍数据库,逐步发展土地信息系统(land information system, LIS)用于地籍管理。1963年加拿大测量学家R.F.Tomlinson提出了地理信息系统术语,并建立了加拿大地理信息系统用于自然资源的管理和规划。1981年Esri公司发布了ArcInfo商业软件,2001年推出了ArcGIS 8.1,提供了对地理数据的创建、管理、综合、分析能力。2000年我国超图公司推出了SuperMap软件。这些GIS软件为单机和分布式网络的用户提供了地理数据的处理和发布能力。研究GIS主要是为了解决各种地理问题。

3) 以多技术集成构建了地理信息服务

地理信息服务是为了实时回答“在哪里”和“周围是什么”两个与人类生活劳动息息相关的基本问题,是为了吸引更多潜在的用户,提高地理信息数据与系统的利用率,所建立的一种面向服务的商业模式。用户可以通过互联网按需获得和使用地理数据及计算服务,如地图服务、空间数据格式转换等,让任何人在任何时间任何地点获取任何空间信息,即4A(anybody、anytime、anywhere、anything)。

地理信息服务是把实时空间定位技术[惯性导航定位、无线电定位导航、全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)、北斗、移动通信定位和室内定位等]、网络GIS、移动无线通信技术(无线电专网、蜂窝移动通信和卫星通信等)、计算机网络通信技

术及数据库技术等现代高新技术有机地集成在一起,实现地理信息收集、处理、管理、传输和分析应用的网络化,在网络环境下为地理信息用户提供实时、高精度和区域乃至全球的多尺度地理信息,对移动目标实现实时动态跟踪和导航定位服务的系统。

地图数据和地理数据共同支撑了地理信息服务。地图数据主要用于可视化,地理数据主要用于各种查询和分析。

4) 以多学科融合催生了地理信息学科

随着地理信息系统应用的深入,人们开始关注地理信息表达(如地理空间理解、地图结构表达和空间语言理解)的合理性、地理建模分析(如地理对象建模、空间尺度分析和空间决策过程)的科学性,以及GIS技术(如人机交互界面、地理数据共享和GIS互操作)的智能性。为了解决时空分布的地球表层地理现象、社会发展及外层空间整个环境及其动态变化的过程在计算机中的表示,人们创造和发展了一系列理论成果。发展过程中以测绘为基础,以数据库作为数据储存和使用的数据源,以计算机编程为平台逐步完善了地理信息的获取、处理、存储、管理、提取、可视化和分析等技术体系,使地理信息学科不仅包含了现代测绘科学的所有内容,而且研究范围较之现代测绘学更加广泛。同时,地理信息学科也如饥似渴地吸收着信息科学的精华,与计算机技术结合,形成了网络、嵌入式和组件式等各种GIS,也推动了计算机信息科学与技术的发展。地理信息学科是以应用为目的,以技术为引导,在社会各行各业服务中逐步从地理学、测绘学和信息学中形成的一门边缘交叉学科,内容涵盖了基础理论、技术体系、软件系统、工程质量标准和应用领域。

2. 地理信息系统组成

GIS主要由四部分组成:计算机硬件系统、计算机软件系统、地理空间数据及系统的组织、使用与维护人员即用户,其核心内容是计算机硬件和软件。地理空间数据反映了应用地理信息系统的信息内容,用户决定了系统的工作方式。

(1) 计算机硬件系统。计算机硬件系统是计算机系统中实际物理设备的总称,主要包括计算机主机、输入设备、存储设备和输出设备。

(2) 计算机软件系统。计算机软件系统是GIS运行时所必需的各种程序,包括:①计算机系统软件。②GIS软件及其支撑软件,包括GIS工具或GIS实用软件程序,以完成空间数据的输入、存储、转换、输出及用户接口功能等。③应用程序。这是根据专题分析模型编制的特定应用任务的程序,是GIS功能的扩充和延伸。

(3) 地理空间数据。地理空间数据是GIS的重要组成部分,是系统分析加工的对象,是GIS表达现实世界的经过抽象的实质性内容。它一般包括三个方面的内容:空间位置坐标数据,地理实体之间空间拓扑关系及相应于空间位置的属性数据。通常,它们以一定的逻辑结构存放在地理空间数据库中。地理空间数据来源比较复杂,随着研究对象不同、范围不同、类型不同,可采用不同的空间数据结构和编码方法,其目的就是更好地管理和分析空间数据。

(4) 用户。GIS必须要有系统的使用管理人员。其中包括具有GIS知识和专业知识的高级应用人才,具有计算机知识和专业知识的软件应用人才及具有较强实际操作能力的硬软件维护人才。

3. 地理信息系统功能

GIS的主要功能包括:地理空间数据获取与处理、地理空间数据存储与管理、地理空间

数据查询与分析、地理空间数据可视化与制图。

1) 地理空间数据获取与处理

数据采集、监测与编辑主要用于获取数据,保证 GIS 数据库中的数据在内容与空间上的完整性、数值逻辑一致性与正确性等。一般而论, GIS 数据库的建设占整个系统建设投资的 70%或更多,并且这种比例在近期内不会有明显的改变。因此,信息共享与自动化数据输入成为 GIS 研究的重要内容。

对数据处理而言,初步的数据处理主要包括数据格式化、转换、概括。数据的格式化是指不同数据结构的数据间变换,是一种耗时、易错、需要大量计算量的工作,应尽可能避免;数据转换包括数据格式转化、数据比例尺的变化等。在数据格式的转换方式上,矢量到栅格的转换要比其逆运算快速、简单。数据比例尺的变换涉及数据比例尺缩放、平移、旋转等方面,其中最为重要的是投影变换;制图综合包括数据平滑、特征集结等。目前, GIS 所提供的数据概括功能极弱,与地图综合的要求还有很大差距,需要进一步发展。

2) 地理空间数据存储与管理

数据存储与组织是建立 GIS 数据库的关键步骤,涉及空间数据和属性数据的组织。栅格模型、矢量模型或栅格/矢量混合模型是常用的空间数据组织方法。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据与分析的功能;在地理数据组织与管理中,最为关键的是将空间数据与属性数据融合为一体。目前,大多数系统都是将二者分开存储,通过公共项(一般定义为地物标识码)来连接。这种组织方式的缺点是数据的定义与数据操作相分离,无法有效记录地物在时间域上的变化属性。

3) 地理空间数据查询与分析

空间查询与分析是 GIS 最核心的功能。空间查询是 GIS 及 GIS 应用系统应具备的最基本的功能,而空间分析是 GIS 的核心功能,也是 GIS 与其他计算机系统的根本区别。GIS 的空间分析可分为三个层次:首先是空间检索,包括从空间位置检索空间物体及其属性和从属性条件集检索空间物体。“空间索引”是空间检索的关键技术,能否有效地从大型的 GIS 数据库中检索出所需信息,将影响 GIS 的分析能力。另外,空间物体的图形表达也是空间检索的重要部分。其次是空间拓扑叠加分析。空间拓扑叠加实现了输入要素属性的合并(union)及要素属性在空间上的连接(join)。空间拓扑叠加本质是空间意义上的布尔运算。最后是 GIS 应用模型分析,目前多数研究工作的重点在于如何将 GIS 与 GIS 应用模型分析相结合。

4) 地理空间数据可视化与制图

图形与交互显示同样是一项重要功能。GIS 为用户提供了许多用于地理数据表现的工具,其形式既可以是计算机屏幕显示,也可以是诸如报告、表格、地图等硬拷贝图件,尤其要强调的是 GIS 的地图输出功能。一个好的 GIS 应能提供一种良好的、交互式的制图环境,以供 GIS 的使用者设计和制作出高质量的地图。

4. 地理信息系统结构

目前, GIS 总体上呈现出网络化、开放性、虚拟现实、集成化、空间多维性等发展趋势。

1) 桌面 GIS

桌面 GIS,就是运行于桌面计算机(图形工作站及微型计算机的统称)上的地理信息系统,也可理解为是运行于较低硬件性能指标上的较为大众化、普及化的 GIS(图 1.3)。



图 1.3 桌面 GIS 系统架构

2) 网络 GIS (WebGIS)

计算机网络技术的最新发展使得在网络上实现 GIS 应用日益引起人们的关注。WebGIS 是指在 Internet 和 Intranet 进行信息发布、数据共享、交流协作基础之上实现 GIS 在线查询和业务处理等功能。分布式交互操作是 WebGIS 的重点。由于速率、安全性及面向业务处理等关键要素，网络 GIS 获得广泛应用，可实现编辑修改、检索查询、信息分析、制图输出等 GIS 基本功能。与传统的 GIS 相比，WebGIS 具有以下特点：①适应性强。WebGIS 是基于互联网的，因而是全球或区域性的，能够在不同的平台运行。②应用面广。网络功能将使 WebGIS 应用到整个社会，真正实现 GIS 的无所不能、无处不在。③现势性强。地理信息的实时更新在网上进行，人们能得到最新信息和最新动态。④维护社会化。数据的采集、输入、空间信息的分析与发布将是在社会协调下运作，可采用社会化方式对其维护以减少重复劳动。⑤使用简单。用户可以直接从网上获取所需要的各种地理信息，方便地进行信息分析，而不用关心空间数据库的维护和管理。

3) 开放式 GIS (OpenGIS)

OpenGIS 是指在计算机和通信环境下，根据行业标准和接口所建立起来的 GIS。它使数据不仅能在应用系统内流动，还能在系统间流动。OpenGIS 是使不同的 GIS 软件之间具有良好的互操作性，以及在异构分布数据库中实现信息共享的途径。OpenGIS 规范是由开放地理信息系统协会 (Open Geospatial Consortium, OGC) 制定的一系列开放标准和接口。OGC 由商业部门、政府机构、用户及数据提供商等多个领域的成员组成，以获取地理信息处理市场最大的互操作。OGC 的目的是通过信息基础设施，把地理空间数据资源集成到主流的计算技术中，促进可互操作的商业地理信息处理软件的广泛应用。OpenGIS 规范提供了地理信息及处理标准，按照该规范开发的各个系统之间可以自由地交换地理信息和处理功能。OpenGIS 具有下列特点：①互操作性。不同 GIS 软件之间连接、信息交换没有障碍。②可扩展性。硬件方面可在不同软件、不同档次的计算机上运行，软件方面增加新的地学空间数据和地学数据处理功能。③技术公开性。开放思想主要是对用户公开，公开源代码及规范说明是重要的途径之一。④可移植性。独立于软件、硬件及网络环境，不需修改便可在不同的计算机上运行。除此之外，还有诸如兼容性、可实现性、协同性等特点。

4) 虚拟 GIS (VGIS)

VGIS 就是 GIS 与虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术的结合。VR 技术是当代信息技术高速发展, 并与其他技术集成的产物, 是一种最有效地模拟人在自然环境中视、听、动等行为的高级人机交互技术。VR 的一个特点是将过去认为只擅长于处理数字的单维信息的计算机发展成也擅长于处理适合人的特性的多维信息的计算机。

VR 技术的基础是高级的三维图形技术、问题求解工具、多媒体技术、网络通信技术、数据库、信息系统、专家系统、面向对象技术和智能决策支持系统等技术的集成。GIS 与 VR 技术相结合将使 GIS 更加完美, 用户在计算机上就能观察到真三维的客观世界, 可在虚拟环境中更有效地管理、分析空间数据。目前 VGIS 的研究主要集中在虚拟城市。

5) 多媒体 GIS (MGIS)

多媒体 (multia-media) 技术是一种集声、像、图、文、通信等为一体, 并以最直观的方式表达和感知信息, 以形象化的、可触摸 (触屏) 的甚至声控对话的人机界面操纵信息处理的技术。多媒体技术对 GIS 的系统结构、系统功能及应用模式的设计产生极大影响, 使得 GIS 的表现形式更丰富、更灵活、更友好。

MGIS 将文字、图形 (图像)、声音、色彩、动画等技术融为一体, 为 GIS 应用开拓了新的领域和广阔的前景。它不仅能为社会经济、文化教育、旅游、商业、决策管理和规划等提供生动、直观、高效的信息服务, 还将使电脑技术真正走进人类社会生活。

6) 三维 GIS (3D GIS)

在许多地学研究中, 人们所要研究的对象是充满整个 3D 空间的, 如大气污染、洋流、地质模型等, 必须用一个 (X, Y, Z) 的 3D 坐标来描述。在 3D GIS 中, 研究对象是通过空间 X 、 Y 、 Z 轴进行定义的, 描述的是真 3D 的对象。随着许多行业, 如城市地下管网、空间规划、景观分析、地质、矿山、海洋等对 3D GIS 的需求日益迫切, 3D GIS 的理论和应用近年来受到许多学者的关注。

7) 时态 GIS (TGIS)

记录历史数据有时候是非常重要的。在 GIS 中也要经常查询历史, 最典型的例子就是宗地, 一块宗地可能经过许多次的买卖或变化。在土地纠纷中, 人们需要详细的历史记录作为法律依据。GIS 在环境应用中, 也经常需要用到多时态的信息对环境进行综合评价。因此, 研究 GIS 的时态问题成为当今 GIS 领域的一个重要方向。TGIS 不仅应包括回顾过去的历史数据, 还应包括展望未来的规划数据。

TGIS 的组织核心是时空数据库, 其概念基础是时空数据模型。时空数据结构的选择应以不同类型的时空过程和应用目的为出发点。虽然, 人们已分别在时态数据库和空间数据库研究方面取得很大进展, 但是“时态”+“空间” $\neq$ “时空”, 两者难以简单地组合起来, 这导致了 TGIS 研究与应用的困难。

8) 组件式 GIS (ComGIS)

GIS 软件属大型软件, 开发一套功能完备的 GIS 软件是一项极其复杂的工程。如何合理地组织 GIS 软件的结构, 一直是 GIS 软件技术专家们研究的问题。它的发展大体经历了如下历程: GIS 模块、集成式 GIS、模块化 GIS 和核心式 GIS。当前计算机软件控件技术 (ActiveX 控件, 其前身为 OLE 控件) 为 GIS 软件提供了一种新的开发模式。

ComGIS 基于标准的组件式 GIS 平台, 各组件之间不仅可以自由、灵活地重组, 而且具

有可视化的界面和方便的标准接口。其特征主要体现在：①高效无缝的系统集成，允许将专业模型、GIS 控件、其他控件紧密地结合在统一的界面下。②无须专门的 GIS 开发语言，只要掌握基于 Windows 开发的通用环境，以及组件式 GIS 各控件的属性、方法和事件，就能完成应用系统的开发。③大众化的 GIS 用户可以像使用其他 ActiveX 控件一样使用 GIS 的控件，使非专业的 GIS 用户也能胜任 GIS 应用开发工作。④开发成本低，非 GIS 功能可以利用非专业控件，降低了系统的成本。

1.1.3 地理信息系统应用

GIS 在近年来已广泛应用于资源调查、环境评估、灾害预测、国土管理、城市规划、邮电通信、交通运输、军事公安、水利电力、公共设施管理、农林牧业、统计、商业金融等领域，且其应用领域呈现不断扩展趋势。

1. 地理信息系统应用概念

地理信息系统应用就是根据具体的应用目标和问题，借助于 GIS 自身的技术优势，使观念世界中形成的概念模型，具体化为信息世界中可操作的机理和过程，目的是解决实际复杂问题，也是 GIS 取得经济和社会效益的重要保证。

2. 地理信息系统应用分类

GIS 在应用领域沿着两个方向发展：其一仍是在专业领域（如测绘、环境、规划、土地、房产、资源、军事等应用系统）的深化，由数据驱动的空间数据管理系统发展为模型驱动的空间决策支持系统，主要包括资源开发、环境分析、灾害监测；其二就是作为基础平台和其他信息技术相融合（如物流信息系统、智能交通和城市管理信息系统等），通过分布式计算等技术实现和其他系统、模型及应用的集成而深入行业应用中，如电子政务、电子商务、公众服务、数字城市、数字农业、区域可持续发展及全球变化等领域。

1) 用户类型分析

(1) 强 GIS 需求用户。以规划、国土、测绘等传统 GIS 应用领域的用户为主。这些单位的业务应用都离不开 GIS，都建立了自己的 GIS 应用系统，并且自己生产基础测绘数据；其对平台的主要需求是各类专题图层数据，并且这些专题数据主要用于分析，通常不会直接应用到业务系统中。

(2) 中 GIS 需求用户。以环保、公安、城市建设等行业用户为主。这些单位的业务应用不直接与 GIS 应用打交道，但是其管理决策都需要 GIS 的支撑。这些单位积累有自己的专题图层数据，但迫切需要统一的标准底图进行可视化叠加，或结合空间基础数据进行分析。

(3) 弱 GIS 需求用户。以工商、民政、统计、教育、园林绿化、卫生、旅游、招商等行业用户为主，这些用户的业务不涉及 GIS 应用，对 GIS 的了解也比较少。通常没有 GIS 应用系统及专题数据，但是需要将自己的业务统计分析数据通过 GIS 进行空间可视化展现。

2) 按研究对象性质和内容分类

按研究对象性质和内容又可分为专题 GIS 和区域 GIS。

(1) 专题 GIS。由于 GIS 强有力的数据管理、处理、显示和制图功能，测绘制图部门可利用 GIS 技术实现计算机制图设计、数据存储、编辑加工及自动化生产，GIS 技术便于地图修改、更新，缩短成图周期，大大提高劳动部门生产率。

专题 GIS 是具有有限目标和专业特点的 GIS，为特定目的服务，如水资源管理信息系统、

矿产资源信息系统、农作物估产信息系统、水土流失信息系统、地籍管理系统、土地利用信息系统、环境保护和监测系统、城市管网系统、通信网络管理系统、配电网管理系统、城市规划系统、供水管网系统等。

(2) 区域 GIS。区域 GIS 主要以区域综合研究和全面信息服务为目标。可以是不同的规模,如国家级、地区或省级、市级和县级等为各不同级别行政区服务的区域信息系统,也可以是以自然分区或流域为单位的区域信息系统。例如,加拿大国家地理信息系统、日本国土信息系统等面向全国,属于国家级的系统;黄河流域地理信息系统、黄土高原重点产沙区信息系统等面向一个地区或一个流域,属于区域级的系统;北京水土流失信息系统、铜山县土地管理信息系统等面向地方,属于地方一级的系统。

3) 按应用服务领域分类

与空间位置有关的领域都是 GIS 的重要应用领域。GIS 主要应用服务领域如下。

(1) 电子政务中的地理信息应用。在电子政务中,往往需要提供各级政府所管辖的行政空间范围,以及所管辖范围内的企业、事业单位甚至个人家庭的空间分布,所管辖范围内的城市基础设施、功能设施的空间分布等信息。另外,政府各职能部门也需要提供其部门独特的行业信息,如城市规划、交通管理等。电子政务中信息应用(地理信息服务是其中一个重要的组成部分)的主要目的是加强政府与企业、政府与公众之间的联系与沟通。

(2) 电子商务中的地理信息应用。在电子商务中,企业往往需要向客户(企业或个人)提供销售、配送或服务网点的空间分布等空间信息,同时允许客户在电子地图上标注自己的位置或输入门牌号等信息,这样可以准确定位客户的位置。为了使电子商务得以高效实施,企业往往还配备了相应的信息管理系统,以对客户、销售点、配送中心、服务网点等信息加以管理,并实现最近配送点搜索、路径规划、配送车辆监控等功能。电子商务中的地理信息应用是以提高电子商务的效率、增加销售额和降低成本为主要目的的。

(3) 面向公众的地理信息应用。向公众提供与之衣食住行密切相关的各类地理信息,如购物商场、旅游景点、公共交通、休闲娱乐、宾馆饭店、房地产、医院、学校等空间查询服务。从服务的空间范围来说,有的覆盖全国,有的覆盖全省,有的覆盖某个地区,也有的覆盖某个城市。面向公众的地理信息应用正在以迅猛的速度发展。

(4) 辅助政府和企业决策的综合地理信息应用。政府和企业在进行决策时,往往需要 GIS 作为辅助支持的工具。例如,企业往往非常关注经济状况、投资资讯、合作对象、企业形象、产品宣传、市场分析、客户分布、交通信息,以及其他相关信息;政府部门非常关注基础设施、交通信息、投资环境、行业分布、企业信息、经济状况、房地产、人口分布等信息。

(5) 地学研究与应用。GIS 在地学中的应用主要解决四类基本问题:①与分布、位置有关的基本问题,一是对象(地物)在哪里;二是哪些地方符合特定的条件。②各因素之间的相互关系,即揭示各种地物之间的空间关系,如交通、人口密度和商业网点之间的关联关系。③事物发展动态过程和发展趋势,表示空间特征与属性特征随时间变化的过程,回答某个时间的空间特征与属性特征,从何时起发生了哪些变化。④模拟问题。利用数据及已掌握的规律建立模型,就可以模拟某个地方如具备某种条件时将出现的结果。

3. 地理信息系统应用过程

GIS 以数字世界表示自然界,具有完备的空间特征,可以存储和处理大量的空间数据,