



地理信息系统原理

Principles of Geographical Information Systems

徐敬海 张云鹏 董有福 编著



科学出版社

地理信息系统原理

徐敬海 张云鹏 董有福 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

地理信息系统是一门交叉学科,涉及测绘科学与技术、地理学、计算机科学与技术等。随着其发展和应用的深入,地理信息系统已成为信息产业的重要组成部分。本书编排以空间信息为主线,内容包括空间信息表达基础、建模、采集、处理、管理、分析、可视化、应用型地理信息系统开发和 GIS 应用等。本书内容难度适中,除了包括 GIS 原理的基本理论与内容,还强调操作性与实用性;内容体系以 GIS 经典理论为主,兼顾学科前沿发展和新成果。此外,本书还同时推出配套的 PPT 等文件信息下载(请访问网址 <http://www.ecsponline.com>,选择“网上书店”,检索图书书名,在图书详情页面“资源下载”栏目中获取),以供读者教学参考。

本书可作为地理信息系统及相关专业本科生和研究生教材,也可作为从事地理信息相关技术研究和开发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理/徐敬海,张云鹏,董有福编著. —北京:科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-050055-7

I. ①地… II. ①徐… ②张… ③董… III. ①地理信息系统
IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 233991 号

责任编辑:惠 雪 王 希 / 责任校对:张凤琴
责任印制:张 倩 / 封面设计:许 瑞

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>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 11 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2016 年 11 月第一次印刷 印张:23 1/4

字数:470 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

地理信息系统 (GIS) 是在计算机软硬件支持下, 用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统, 随着其发展, 也称 GIS 为“地理信息科学”。地理信息系统是一门交叉学科, 涉及测绘科学与技术、地理学、计算机科学与技术等学科。随着地理信息技术的发展, 其应用呈现出飞速发展趋势, 已成为全球信息产业的重要组成部分。

本书在编著过程中融合了编著者多年从事地理信息教学和科研工作的总结, 在三个方面有所侧重: 以空间数据为主线组织内容, 突出地理信息系统在测绘科学与技术学科中的关联, 适合地理信息科学专业、测绘工程及相近专业学生与工程技术人员使用; 内容难度适中, 除了讲解 GIS 原理的基本理论与内容, 还强调操作性与实用性; 内容体系以 GIS 经典理论为主, 兼顾学科前沿发展和新成果。

全书共分 10 章: 第 1 章是 GIS 概论, 介绍 GIS 的概念、构成、功能、发展等; 第 2 章是 GIS 空间数据表达基础, 介绍地理空间与坐标系、地图投影 GIS 中常用地图投影等; 第 3 章是空间数据模型, 介绍空间实体、空间数据结构与面向对象的空间数据模型等; 第 4 章是空间数据的获取, 介绍空间数据内容与来源、全野外数据采集、数字化设备采集、空间数据格式转换等; 第 5 章是空间数据处理与质量评价, 介绍几何变换、投影变换、空间数据结构转换、空间数据质量等内容; 第 6 章是空间数据存储与管理, 介绍空间数据管理方式、空间数据引擎、空间索引、NoSQL 数据管理等; 第 7 章是空间分析, 介绍数字地形模型分析、空间插值、叠加分析、缓冲区分析以及探索性空间分析方法等; 第 8 章是空间信息可视化, 介绍地图符号、专题图的表达、地图设计与编制、虚拟现实等内容; 第 9 章是应用型 GIS 设计与开发, 介绍 GIS 系统分析、设计、实施、测试与维护等; 第 10 章是 GIS 应用, 介绍 GIS 在公众服务、城市建设、国土资源管理以及其他行业中的应用等。

本书由徐敬海拟定编写大纲, 并负责统稿与定稿。其中第 1 章至第 5 章由徐敬海编写, 第 6、7 两章由董有福编写, 第 8 章至第 10 章由张云鹏编写。硕士研究生李向阳、薛娇、杨茜、尹笑哲、何雁如、彭昊、黄汀、李士强等参与了本书资料收集、整理、排版、插图制作等工作, 在此一并表示感谢。同时感谢袁博、吴继忠以及其他同事为本书写作提供的帮助。本书在写作过程中还参考了许多网络资源, 有

些由于无法找到相关作者，未能列入参考文献，在此表示歉意和感谢。

由于编著者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正，联系方式为 E-mail: xu_jing_hai@163.com。为方便教学，本书同时推出配套 PPT 等文件信息下载(请访问 <http://www.ecsponline.com>，选择“网上书店”，检索图书书名，在图书详情页面“资源下载”栏目中获取)，也欢迎广大读者通过 E-mail 索取。

编 者

2016 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 GIS 概论	1
1.1 地理信息系统概念	1
1.1.1 数据和信息	1
1.1.2 地理数据和地理信息	2
1.1.3 地理信息的特征	3
1.1.4 信息系统	3
1.1.5 地理信息系统定义	4
1.2 地理信息系统的构成	6
1.2.1 GIS 硬件系统	7
1.2.2 GIS 软件系统	11
1.2.3 空间数据	13
1.2.4 GIS 管理、操作和应用人员	13
1.2.5 应用模型	14
1.3 地理信息系统的功能与类型	15
1.3.1 地理信息系统的基本功能	15
1.3.2 地理信息系统的类型	17
1.4 地理信息系统与相关学科的关系	19
1.5 地理信息系统的发展	22
1.5.1 GIS 发展简史	22
1.5.2 GIS 中“S”的发展	25
1.5.3 GIS 期刊	30
1.6 主流 GIS 软件介绍	31
1.6.1 国外主要商业化 GIS 软件	31
1.6.2 国内主要商业化 GIS 软件	36
1.6.3 开源 GIS	39

思考题	42
第 2 章 GIS 空间数据表达基础	43
2.1 地理空间与地理坐标系	43
2.1.1 地球椭球体	44
2.1.2 地理坐标系的分类	45
2.1.3 我国 GIS 常用坐标系	49
2.1.4 高程系统	51
2.2 地图投影	52
2.2.1 地图投影的实质	52
2.2.2 变形椭圆与地图投影变形	53
2.2.3 地图投影参数	56
2.2.4 地图投影类型	57
2.3 常用地图投影	62
2.3.1 高斯-克吕格投影	62
2.3.2 通用横轴墨卡托投影(UTM)	65
2.3.3 墨卡托投影	65
2.3.4 Web 墨卡托	67
2.3.5 兰勃特投影	68
2.3.6 阿伯斯投影	69
2.4 GIS 中坐标系与投影的应用	71
2.4.1 GIS 中地图投影标识	71
2.4.2 ArcGIS 中地图投影与坐标系	73
思考题	75
第 3 章 空间数据模型	76
3.1 现实世界的抽象	76
3.2 空间实体	78
3.2.1 空间实体的概念	78
3.2.2 空间实体的特征	79
3.2.3 空间关系	80
3.3 空间数据	83
3.4 空间数据结构	87

3.4.1	空间数据结构与空间数据模型	87
3.4.2	矢量数据结构	89
3.4.3	栅格数据结构	92
3.4.4	表面模型	101
3.4.5	矢量数据结构与栅格数据结构的比较	106
3.5	面向对象的空间数据模型	107
3.5.1	类与对象	108
3.5.2	Geodatabase 模型	109
3.6	时空数据模型	113
	思考题	117
第 4 章	空间数据的获取	118
4.1	空间数据的内容与来源	118
4.1.1	4D 数据	118
4.1.2	空间元数据	119
4.1.3	空间数据来源	124
4.2	全野外数据采集	125
4.2.1	全野外数据采集特点	125
4.2.2	作业过程	126
4.2.3	GPS 测量	127
4.3	数字化设备采集	129
4.3.1	手扶跟踪数字化	129
4.3.2	扫描数字化	131
4.3.3	摄影测量方法	135
4.3.4	遥感方法	136
4.4	空间数据格式转换与互操作	138
4.4.1	空间数据格式转换的内容及要求	138
4.4.2	空间数据格式转换的方式	139
4.4.3	空间数据互操作	140
4.5	空间数据获取技术发展	142
4.5.1	三维激光扫描	142
4.5.2	合成孔径雷达(SAR)	146

4.5.3	从 GPS 到 GNSS	151
	思考题	154
第 5 章	空间数据处理与质量评价	156
5.1	几何变换	156
5.1.1	几何纠正	156
5.1.2	均方根误差	157
5.2	投影变换	158
5.3	空间数据的编辑	160
5.3.1	空间数据的错误检查方法	160
5.3.2	几何数据的编辑	161
5.3.3	空间数据拼接	162
5.3.4	拓扑关系的建立与编辑	164
5.3.5	栅格数据的重采样	165
5.3.6	属性数据编辑	166
5.4	空间数据结构转换	166
5.4.1	矢量-栅格转换	166
5.4.2	栅格-矢量转换	171
5.5	空间数据压缩与综合	175
5.5.1	矢量数据压缩	175
5.5.2	栅格数据压缩	178
5.6	空间数据质量	181
5.6.1	空间数据质量的概念	181
5.6.2	空间数据误差来源	182
5.6.3	数据质量评价	183
5.6.4	空间数据质量控制	184
5.6.5	空间数据生产过程中的质量控制	184
5.7	空间数据标准	186
5.7.1	ISO/TC 211 标准体系	186
5.7.2	OGC 标准体系	188
5.7.3	我国国家地理信息标准体系	190
	思考题	191

第 6 章 空间数据存储与管理	192
6.1 空间数据管理	192
6.1.1 矢量数据管理	192
6.1.2 栅格数据管理	196
6.1.3 地图切片与影像金字塔管理	197
6.2 空间数据引擎	199
6.2.1 空间数据引擎的概念	199
6.2.2 空间数据引擎工作原理	200
6.2.3 ArcSDE 空间数据引擎	202
6.3 空间数据索引	203
6.3.1 实体范围索引	204
6.3.2 格网索引	205
6.3.3 四叉树索引	207
6.3.4 其他索引	210
6.4 空间数据库查询语言	213
6.4.1 标准查询语言 SQL	213
6.4.2 SQL 的扩展	214
6.5 基础地理空间数据库建立	216
6.5.1 基础地理空间数据库类型	216
6.5.2 基础地理空间数据库建库流程	217
6.5.3 基础地理空间数据库更新	225
6.6 长事务与版本管理	229
6.6.1 事务处理	229
6.6.2 版本控制	230
6.7 NoSQL 数据库	231
6.7.1 NoSQL 定义和介绍	231
6.7.2 常见 NoSQL 数据库	233
思考题	235
第 7 章 空间分析	237
7.1 数字地形模型分析	237
7.1.1 DTM 与 DEM	237

7.1.2	DEM 的类型	239
7.1.3	DEM 的特点	241
7.1.4	DEM 应用	242
7.2	空间插值	249
7.2.1	全局插值法	249
7.2.2	局部插值法	250
7.2.3	逐点插值法	253
7.3	空间叠加分析	254
7.3.1	叠加分析概述	254
7.3.2	基于矢量的叠加分析	255
7.3.3	基于栅格的叠加分析	259
7.4	空间查询	261
7.5	空间缓冲区分析	263
7.5.1	缓冲区分析	263
7.5.2	基于矢量的缓冲区分析	264
7.5.3	基于栅格的缓冲区分析	267
7.6	网络分析	267
7.6.1	网络组成和属性	268
7.6.2	网络的建立	270
7.6.3	网络的应用	270
7.7	探索性空间分析方法	272
7.7.1	基本分析工具	272
7.7.2	检验数据分布	277
7.7.3	寻找数据离群值	277
7.7.4	全局趋势分析	279
7.7.5	空间自相关及方向变异	279
	思考题	282
第 8 章	空间信息可视化	283
8.1	空间信息可视化概述	283
8.1.1	可视化的概念	283
8.1.2	空间信息可视化的表现形式	284

8.2	地图符号	286
8.2.1	地图符号的分类	286
8.2.2	地图符号视觉变量	290
8.2.3	地图符号设计	294
8.2.4	地图注记	296
8.3	专题图的表达	298
8.3.1	点状要素的表示方法	298
8.3.2	线状要素的表示方法	302
8.3.3	面状要素的表示方法	303
8.3.4	表示方法的分类与选择	309
8.4	地图设计与编制	311
8.4.1	地图制作过程及方法	311
8.4.2	地图设计的过程与内容	313
8.5	虚拟现实	315
8.5.1	虚拟现实的概念	315
8.5.2	虚拟现实技术	316
8.5.3	虚拟现实的应用	318
	思考题	319
第9章	应用型 GIS 设计与开发	320
9.1	GIS 系统分析	320
9.1.1	系统需求分析	320
9.1.2	系统可行性研究	322
9.1.3	系统分析报告	322
9.2	GIS 系统设计	323
9.2.1	应用型 GIS 设计的原则	323
9.2.2	应用型 GIS 的总体设计	324
9.2.3	应用型 GIS 的详细设计	329
9.3	GIS 系统实施	332
9.3.1	程序编制	333
9.3.2	数据库建立	333
9.3.3	用户培训	333

9.3.4	系统测试	334
9.4	GIS 软件测试	336
9.4.1	GIS 软件的特点	336
9.4.2	GIS 软件测试步骤	336
9.4.3	GIS 软件测试误区	337
9.4.4	GIS 软件测试的策略及经验	338
9.5	GIS 系统维护	338
9.5.1	系统评价	339
9.5.2	系统维护	340
	思考题	341
第 10 章	GIS 应用	342
10.1	GIS 在公众服务中的应用	342
10.2	GIS 在城市建设中的应用	345
10.3	GIS 在国土资源管理中的应用	348
10.4	GIS 在其他行业中的应用	352
	思考题	356
	参考文献	357

第 1 章 GIS 概论

地理信息系统 (geographic information system, GIS) 是 20 世纪后期以来迅速发展起来的一门介于地球科学与信息科学之间的交叉学科, 它既是地理学、地图学、测绘学与计算机科学的结合, 也是管理和研究地理空间数据的技术系统。随着科学与技术的发展, 人类社会已全面进入信息时代, 表现为信息技术突飞猛进, 信息产业空前发展, 信息资源爆炸式扩展。融入信息技术的地理信息系统技术日益受到科技界、企业界和政府部门的广泛关注, 并成为 21 世纪的支柱产业。本章介绍地理系统的概念、系统构成、系统功能与类型、与相关学科的关系、GIS 发展历程及主流 GIS 软件等内容。

1.1 地理信息系统概念

1.1.1 数据和信息

数据和信息是理解地理信息系统的基础, 在地理系统的研究和应用中是两个重要的术语。一般认为数据是对客观世界的表示, 是指定性或定量描述某一目标的原始材料, 包括文字、数字、符号、语言、图像、影像以及它们能转换成的数据等形式, 是一种未经加工的原始材料, 例如, 数字“18”在计算机中二进制表示为“10010”等。数据具有可识别性、可存储性、可扩充性、可压缩性、可传递性及可转换性等特点。

信息来源于数据, 但与数据不同。信息是用文字、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, 是生产、建设、经营、管理、分析和决策的依据。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, 并得以认识和改造世界。可以认为信息是通过某些介质向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实和知识的表达与描述。例如, 一个人的存在, 可以从姓名、性别、年龄、籍贯、政治面貌、社会关系、职称、工资等方面信息来描述; 而当一个人的情况发生变化时, 如年龄变化、工资改变、政治进步等, 均应及时地对反映其信息进行更新。因此也可以说, 信息是客观事物的存在及演变情况的反映。

信息具有四方面特点。

(1) 客观性。信息是客观存在的, 任何信息都是与客观事物紧密联系的, 这是信息的正确性和精确度的保证。

(2) 适用性。信息对决策是十分重要的,它可作为生产、管理、经营、分析和决策的依据,因而它具有广泛适用性,但同一信息对不同部门的重要性程度不尽相同。

(3) 传输性。信息可以在信息发送者和接收者之间传输,既包括系统把有用信息传送至终端设备(包括远程终端)或以一定形式提供给有关用户,也包括信息在系统内各子系统之间的传输和交换。信息在传输、使用、交换时其原始意义不被改变。

(4) 共享性。信息与实物不同,信息可传输给多个用户,为用户共享,而其本身并无损失,共享使信息被多用户使用成为可能。

数据与信息既有区别,又有联系。信息与数据是不可分离的,信息来源于数据,数据是信息的载体。数据是客观对象的表示,而信息则是数据中包含的意义,是数据的内容和解释。数据本身并没有意义,如十进制数字“18”,二进制数字“10010”,其本身不表达特别的意义;而为了得到数据中包含的信息,就要对数据进行处理(运算、排序、编码、分类、增强等),如用数字“18”表达一个人的年龄时,“18”便转换为一种信息,对一个人的年龄进行了描述。数据包含原始事实,信息是数据处理的结果,是把数据处理成有意义和有用的形式。总体上数据经过加工处理之后,可以成为信息;而信息需要经过数字化转变成数据才能存储和传输。在不引起歧义的情况下,有时两者可以相互代替对方。

1.1.2 地理数据和地理信息

地理信息作为一种特殊的信息来源于地理数据。地理数据是各种地理特征和现象间关系的符号化表示,是指表征地理圈或地理环境固有要素或物质的数量、质量、分布特征、联系和规律的数字、文字、图像和图形等的总称。地理数据主要包括空间位置数据、属性特征数据及时域特征数据三个部分。

空间位置数据描述地物所在位置,这种位置既包括地理要素的绝对位置(如城市的地理经纬度),也包括地理要素间的相对位置关系,如空间上的相邻、包含等。属性特征数据有时又称非空间数据,是描述特定地理要素特征的定性或定量指标,如公路的等级、宽度、起点、终点等。图 1-1 是城市道路网地理数据的一个示例。时域特征数据用来记录地理数据采集或地理现象发生的时刻或时段,如某次森林火灾发生的时间点或持续时间。时域特征数据对环境模拟分析非常重要,正受到地理信息系统学界越来越多的重视。空间位置、属性及时域特征构成了地理空间分析的三大基本要素。

地理信息是有关地理实体的性质、特征和运动状态的表征和一切有用的知识,是与地理环境要素有关的物质的数量、质量、性质、分布特征、联系和规律的数字、文字、图像和图形等的总称。地理信息作为一种特殊的信息,它同样来源于地理数据,是对表达地理特征与地理现象之间关系的地理数据的解释。地球表面的岩石圈、水圈、大气圈和人类活动等是最大的地理信息源。



图 1-1 地理空间数据实例(基于平面坐标系的城市道路网)

1.1.3 地理信息的特征

地理信息除了具有信息的一般特性外，还具有一些独特特征：

(1) 空间分布性。地理信息具有空间定位的特点。先定位后定性，并在区域上表现出分布式的特点，不可重叠，其属性表现为多层次，也称为区域性、多维性。区域性是指地理信息的定位特征，且这类定位特征是通过公共的地理基础来体现的。多维性是指在一个坐标位置下具有多个专题和属性信息。

(2) 数据量大。地理信息既有空间特征，又有属性特征，此外地理信息还随着时间的变化而变化，具有时间特征，因此数据量很大。例如，随着全球对地观测不断发展，人们每天都可以获得上万亿兆的关于地球资源、环境特征的数据。

(3) 多维结构。同一个空间位置上，具有多个专题和属性的信息结构，可取得高度、噪声、污染、交通等多种信息。

(4) 时序特征。地理信息随时间变化的序列特征，也称动态变化特征，可由超短期(台风、地震)、短期(江河洪水、季节低温)、中期(土地利用、作物估产)、长期(城市化、水土流失)和超长期(地壳运动、气候变化)时序来划分。

1.1.4 信息系统

信息系统是对信息进行采集、存储、加工和再现，并能回答用户一系列问题的系统。信息系统具有四大基本功能，即数据采集、存储管理、分析数据的能力和表达数据的能力。信息系统是基于数据库的问答系统，在辅助决策过程中，信息系统可提供有用的信息。从计算机科学角度看，信息系统是由硬件、软件、数据和用户四个主要部分组成的。在计算机时代，大部分重要的信息系统都是部分或全部由计算机系统支持的。

从适用于不同管理层次的角度出发，根据信息系统所执行的任务可将其分为事物处理系统(transaction process system, TPS)、管理信息系统(management information system, MIS)、决策支持系统(decision support system, DSS)以及人工



图 1-2 信息系统分类

智能和专家系统(expert system, ES), 如图 1-2 所示。

事务处理系统强调对数据的记录和操作, 主要支持操作层人员的日常事务处理, 如图书情报信息系统、各种订票系统等。

管理信息系统是应用最广泛的一种信息系统, 它不但支持各种日常事务处理, 同时适用于各种企事业单位的经营管理, 如企业管理信息系统、财务管理信息系统、人事档案信息系统、医院管理信息系统等都属于这一类。

决策支持系统则是用以获得辅助决策方案的交互式计算机系统, 它从管理信息系统中获得信息, 经处理数据和分析推测, 支持高层管理者制定决策。它由分析决策模型, 管理信息系统中的信息、决策者的推测三者相组合达到最佳的决策效果。

人工智能和专家系统是模仿人工决策处理过程的计算机信息系统。它扩大了计算机的应用范围, 将其由单纯的资料处理发展到智能推理上来。

此外, 还有一种空间信息系统(spatial information system, SIS), 它是一种十分重要而又与其他类型信息系统有显著区别的信息系统。因为它所要采集、管理、处理和更新的是空间信息, 因此, 这类信息系统在结构上也比其他一般信息系统复杂得多, 功能上也较其他信息系统强得多。地理信息系统就是一种十分重要的空间信息系统。

1.1.5 地理信息系统定义

地理信息系统(geographic information system, GIS)国内外有许多定义, 不同的应用领域、不同的专业, 对它的理解不完全一样, 目前还没有一个完全统一的被普遍接受的定义。有人认为 GIS 是管理和分析空间数据的计算机系统, 在计算机软硬件支持下对空间数据按地理坐标或空间位置进行各种处理, 实现数据输入、存储、处理、管理、分析、输出等功能。通过对数据实行有效管理, 研究各种空间实体及其相互关系, 通过对多因素信息的综合分析可以快速地获取满足应用需要的信息, 并能以图形、数据、文字等形式表示处理结果。有人认为 GIS 是一种特定而又十分重要的空间信息系统, 它是以采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球(包括大气层在内)空间与地理分布有关数据的空间信息系统。有人认为 GIS 就是数字制图技术和数据库技术的结合。有人则按研究专业领域不同给予不同的名称, 如地籍信息系统、土地信息系统、环保信息系统、管网信息系统和资源信息系统等。这些定义, 有的侧重于 GIS 的技术内涵, 有的则强调 GIS 的应用功能, 都比较科学地阐明了 GIS 的对象、功能和特点。

整体上可认为地理信息系统是对地理空间实体和地理现象的特征要素进行获