

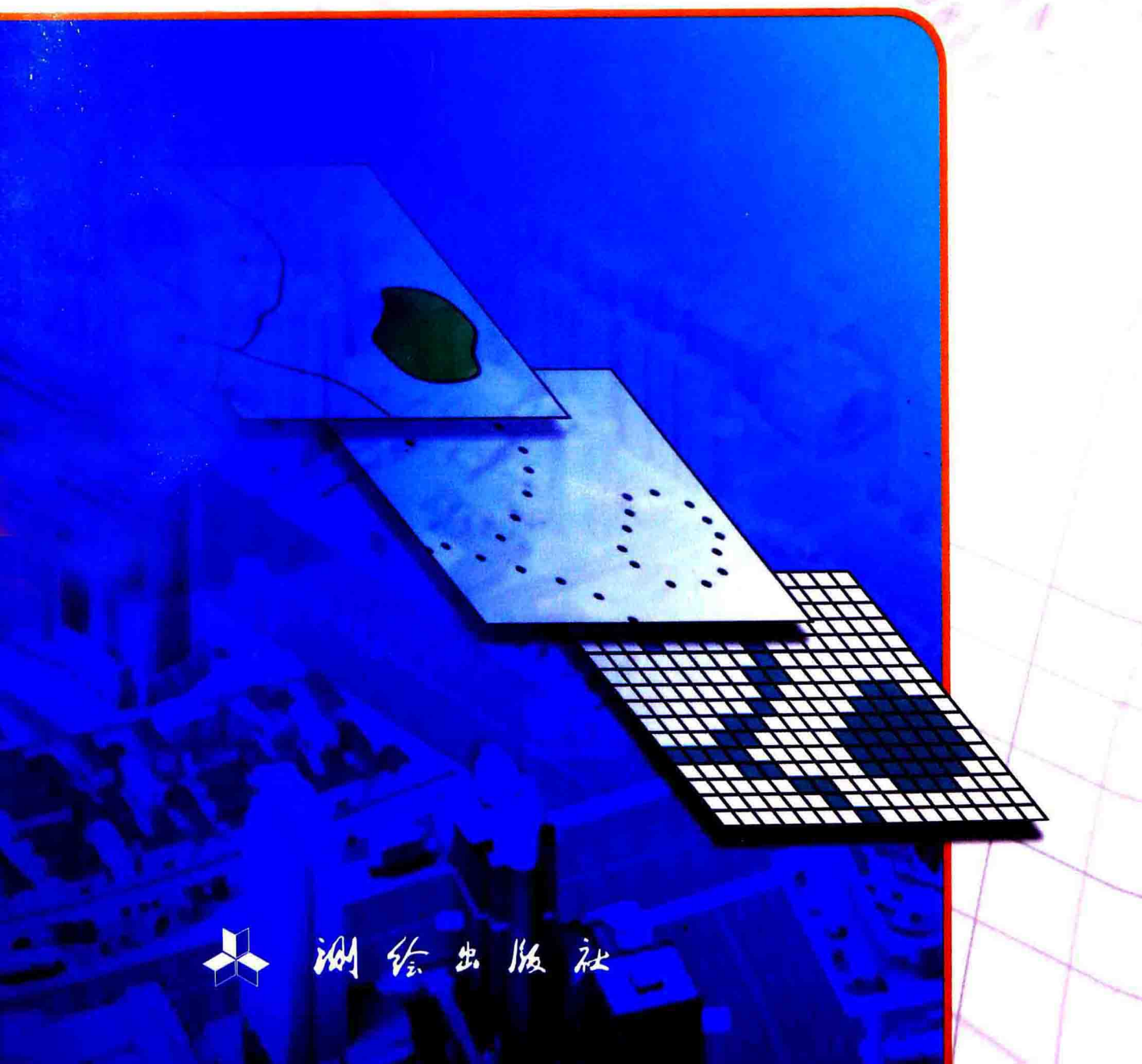
教育部高等学校测绘类(含地理信息)专业教学指导委员会规划教材



地理空间图形学 原理与方法

Theory and Methods of
Geo-spatial Graphics

郑海鹰 李爱光 郭黎 李响 编著



测绘出版社

教育部高等学校测绘类(含地理信息)专业教学指导委员会规划教材

地理空间图形学原理与方法

Theory and Methods of Geo-spatial Graphics

郑海鹰 李爱光 郭黎 李响 编著

测绘出版社

© 郑海鹰 2014

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书提出了地理空间图形学的概念,探讨并初步建立了地理空间图形学的内容体系。由基于计算机环境的地理空间信息特征认知和表达为基础,系统讨论了地理空间图形的生成、变化、处理与交互操作的原理和方法。全书共分 11 章,主要内容包括地理空间信息特征与表达、地理空间图形计算机环境、基本计算、基础算法和裁剪变换技术,以及点线面状地理空间图形生成方法、三维地形生成技术、动态地理空间图形表示方法、地理空间图形交互操作技术、交互式地理空间图形符号库系统设计等。

本书可作为高等院校空间信息技术及其相关专业“地理空间图形学”课程的主讲教材,也可以作为相关专业“计算机图形学”课程的专业扩展参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地理空间图形学原理与方法/郑海鹰等编著. —北京:测绘出版社, 2014.6

教育部高等学校测绘类(含地理信息)专业教学指导委员会规划教材

ISBN 978-7-5030-3377-3

I. ①地… II. ①郑… III. ①地理信息系统—计算机图形学—高等学校—教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 019250 号

责任编辑	贾晓林	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍	责任印制	喻 迅
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010—68531363(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	三河市世纪兴源印刷有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	19.5			字 数	480 千字		
版 次	2014 年 6 月第 1 版			印 次	2014 年 6 月第 1 次印刷		
印 数	0001—3000			定 价	47.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3377-3/P·709

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

序 一

当今,全球信息化的浪潮一浪高过一浪,随着全球卫星导航定位技术、天空地一体化智能感知技术、地理信息服务技术、互联网和物联网技术、云计算和网格计算技术的快速发展,地球表层的几何特征和物理特征、人们的行为和位置、大气、水质、环境等的每一点变化,都成为了可被感知、记录、存储、分析的对象,全球信息化已进入大数据时代。

大数据时代的到来,是信息时代数字化、网络化和智能化必然的发展趋势,是全球信息化发展到高级阶段的产物,正在融入地图学与地理信息工程学科的发展进程中。首先,地图仍然是今天人们工作、学习和生活不可缺少的科学工具,而大数据为地图学在信息时代的发展注入了新鲜血液。作为地图学主阵地的地图仍是大数据融合的最佳载体或地理空间框架,是最直观的可视化表达方法。数字地图制图、网络地图制图、智能地图制图已成为信息时代地图学发展进程中里程碑式的“亮点”。其次,大数据为地理信息工程提供了从 TB 级跃升到 PB、EB 乃至 ZB 级规模的数据;大数据融合、统计分析和数据挖掘给地理信息工程学科的发展带来了新的机遇和挑战;基于云计算的大数据分布式存储和并行处理以及地理信息网络服务、网格服务和云服务,成为地理信息工程学科研究的重点,地理信息系统已进入地理信息服务的新阶段。

伴随着信息时代数字化、网络化和智能化的进程,地图学与地理信息工程学科的教学内容也应该有新的发展。基于此,教育部高等学校测绘类(含地理信息)专业教学指导委员会组织国内部分高校从事地图学与地理信息系统学科专业领域教学和科研的教授们编写了这套教材。这套教材覆盖地理信息科学专业的主要专业课程,其内容涵盖地图与地图学基本理论、地图设计与地图制图的基本方法与技术、地理空间数据库与地理空间图形学基础、地理信息系统原理、地理信息系统工程、地理信息系统程序设计、地理信息系统应用、空间分析与数据挖掘原理以及地理空间数据安全等地图学(地图制图学)与地理信息系统(地理信息工程)的方方面面。既有基本概念,又有应用示例;既有课堂讲授和讨论的内容,又有课后思考题和作业,体现了理论和实际的结合。该套教材,可作为各高等学校地理信息科学专业、测绘工程专业以及相关专业的本科教材或研究生的参考用书。

目前,我国已有一百多所高校开办测绘工程专业或地理信息系统专业,教学情况复杂,组织编写这类专业教材有一定难度,不易掌握教学内容的深度和广度。教材由不同高校的多位作者合作编写,在编写过程中,尽量做到专业知识全面覆盖,做好各教材之间的知识交叉与衔接,保持语言文字的风格统一,但在这些方面有可能还是存在某些缺陷和不足,衷心希望使用本套教材进行教学的老师和同学提出宝贵的意见和建议,以便再版时改进。

中国工程院院士

王家凯

2014年夏

序 二

“地理空间(Geo-space)”是一个广泛的概念,显然,这里的地理空间指的是地理信息中具有空间位置特征的部分;“图形学”全称“计算机图形学”,研究将数据转换为图形的原理、方法和技术。“地理空间图形学”是“地理空间”与“图形学”的结合,研究如何将地理空间数据转换为图形,这不是“图形学”到“地理空间”的一种简单的“移植”,而是一种创新性的交叉与融合。

从发展的角度看,这种交叉与融合有一个过程。早期,“计算机辅助地图制图”与“计算机图形学”是分别单独开设的课程;经过一段教学实践后,二者关系很密切,于是“合二而一”,将“计算机辅助地图制图”与“计算机图形学”结合在一起,发展到“计算机图形学与数字地图制图”;而现在的“地理空间图形学原理与方法”不仅是数字地图制图的需要,也是空间信息系统的需要,在更高层次上反映了计算机图形学原理在地理空间信息领域的应用、扩展和深化,主要研究数字地理空间的图形表示、变换处理和显示输出的原理、方法和技术。

《地理空间图形学原理与方法》内容十分丰富,在介绍研究内容、与相关学科的关系、主要应用领域和亟待研究解决的问题等的基础上,重点论述了地理空间图形计算机环境、地理空间信息的特征与表达、地理空间图形的基本计算、地理空间图形基础算法、地理空间图形裁剪变换技术、点线面状地理空间图形生成方法、三维地形生成技术、动态地理空间图形表示方法、地理空间图形交互操作技术和交互式地理空间图形符号库设计等内容,大大扩展和深化了计算机图形学的内容,这正是计算机图形学与数字地图制图、空间信息系统交叉融合的结果,具有地理空间信息领域的特色。

《地理空间图形学原理与方法》是郑海鹰副教授等学者长期教学实践的积累与总结,该书吸取了该领域相关研究成果,是一部高水平的教材和参考书。该书的出版必将为广大读者带来新的思维方式并从中受到启发。

社会需求和科技进步是持续的,课程设置和教材内容也是不断充实和发展的。随着人口的增长和城市(镇)化进程的加快,土地资源的供需矛盾日益突出,城市土地的立体化开发利用已是一种趋势,在这种情况下,不仅是三维地形生成,还要进一步研究地下空间、建筑物内部空间的三维拓扑关系及三维图形生成的理论与技术,这只不过是举一例子,类似的问题还很多,说明地理空间图形学原理与方法研究的领域还有很大的扩展空间,希望以本书的出版为契机,在大家的共同努力下,为该领域奉献更多的此类成果。

中国工程院院士 王象远

2013年11月

序 三

推进教育转型、深化教学内容和教学方法改革是信息化时代培养高质量人才的迫切需要,是高校创新体系的重要组成部分。这为我们开展课程建设带来了难得的机遇和新的挑战。

“地理空间图形学”是信息工程大学测绘类本科专业通用课程,也是地图学与地理信息工程专业主干专业基础课。郑海鹰副教授主持新编的《地理空间图形学原理与方法》顺应信息化时代人才培养模式需求,总结多年课堂教学实践经验,凝聚多年科研积累,着眼学生分析问题和解决问题能力培养。在教学内容和教学体系上体现内容的系统性和方法的交互性,实践上强调地理空间图形表达的可视化和自动化。教材符合教学大纲要求,逻辑严密,结构严谨,特色鲜明。

《地理空间图形学原理与方法》由地理空间图形计算机环境、地理空间信息特征与表达、地理空间图形基本计算、地理空间图形基础算法、地理空间图形裁剪变换技术、点线面状地理空间图形生成方法、三维地形生成技术、动态地理空间图形表示方法、地理空间图形交互操作技术、交互式地理空间图形符号库系统设计等章节构成,总体上突出经典教学内容,在吸收计算机图形学内容精华的基础上,更加注重反映军事测绘对地理空间图形应用的需求。

回顾该课程的发展历程,经历了“计算机辅助地图制图”“计算机图形学与数字地图制图”,直到目前的“地理空间图形学”等阶段。在这一发展历程中,计算机软硬件技术、图形学技术、地图制图技术、地理信息系统技术等均取得了巨大进步。本教材的出版也再一次从一个侧面印证了技术进步对课程建设的影响。

该教材体现了新形势下对课程内容体系的新探索,既融入了相关领域技术进步的成果,又针对新形势下推进教育转型、教学改革和信息化时代人才培养模式的迫切需求,它的出版可以说是水到渠成,恰逢其时。

信息工程大学地理空间信息学院
地理信息工程教研室
2013年6月

前言

地理空间信息系统是基于计算机技术和网络通信技术解决与空间信息有关的数据获取、表达、存储、传输、管理、分析与应用等信息系统。而地理空间图形学是地理空间信息系统的基础组成部分,研究在计算机环境下,地理空间信息的图形表示、生成、变化、处理与交互操作技术的一门学科。

基于计算机环境的地理空间信息表达是空间信息技术的重要的基础问题。地理空间数据是地理空间信息的数字化表达形式,地理空间图形是地理空间信息的可视化表达形式,它们是地理空间信息的两种最基本、最重要的表达语言和信息传输形式,两者紧密联系、相互支撑转换,共同构成了“数字地理空间图形”,有效地满足了人机交互模式的信息服务需求。数字地理空间图形既具备了计算机图形可视化的一般特性,又突出地表现出对象“空间+关系”的地理空间信息特征,即具有地理信息典型的特征和复杂的属性、关系特征。因此,地理空间图形区别于一般意义的计算机图形,具有明显的地理信息科学技术特点,其生成和变换处理都要以地理空间数据为基础。据此,提出地理空间图形学的概念,是基于计算机环境来有效认知地理空间实体和表达地理空间信息,进而满足地理信息可视化应用的需要。

“地理空间图形学”是将计算机图形学原理应用于空间信息技术领域而建立的一门新课程,是将计算机图形学与地图学及空间信息可视化等学科的知识交叉融合而产生的边缘学科。地理空间图形技术是计算机图形技术在空间信息领域的应用和扩展,同时又为地理信息系统、卫星定位系统、遥感等空间信息技术学科的应用提供地理信息的可视化技术或电子地图显示技术。因此,地理空间图形学可以作为地球空间信息科学体系及地理信息科学内容的组成部分。

本书是在信息工程大学二期课程建设和教学改革成果的基础上提出设计和编写完成的,以编者多年来的专业教学实践和科研积累为基础,并参阅吸收了大量的有关论著。全书共分11章,郑海鹰主持设计并编写了第1章、第3章、4.1节和4.2节、第5章、6.1节和第7章,李爱光编写了第8章、10.2节至10.5节、第11章,郭黎编写了第2章、4.3节、6.2节、6.3节和10.1节,李响编写了第9章。

本书的编写得到了信息工程大学原测绘学院训练部、地图学与地理信息工程系、地理信息工程教研室各级领导和教职人员的大力支持,同时本书也得到国家自然科学基金(41001313)的资助,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在问题和不足,敬请各位专家、同行和读者提出修改意见,以便重印和再版时修订。

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 基本概念	1
1.2 地理空间图形学的研究内容	3
1.3 地理空间图形学与相关学科的关系	5
1.4 地理空间图形技术主要应用领域	9
1.5 地理空间图形技术研究中要解决的问题	10
思考题	11
第 2 章 地理空间图形计算机环境	12
2.1 地理空间图形系统概述	12
2.2 地理空间图形的数据表示及图形输入设备	15
2.3 地理空间图形显示原理及图形输出设备	19
2.4 多窗口系统	26
2.5 计算机图形标准	29
思考题	33
第 3 章 地理空间实体的信息特征与表达	35
3.1 地理空间实体与分类	35
3.2 地理空间信息的计算机表达	39
3.3 简单地理实体表达	47
3.4 复杂地理实体表达	51
3.5 地理实体动态特征表达	53
3.6 地理实体的图形位置关系表达	56
思考题	60
第 4 章 地理空间图形基本计算	62
4.1 图形坐标系统及其转换	62
4.2 图形及属性	68
4.3 图形几何关系计算	77
思考题	82
第 5 章 地理空间图形基础算法	83
5.1 直线段图形生成算法	83

5.2	圆和圆弧图形生成算法	87
5.3	规则曲线图形生成算法	92
5.4	自由曲线图形生成算法	95
5.5	线宽、线型图形生成算法	105
5.6	多边形区域图形填充算法	109
5.7	字符、汉字图形生成算法	119
	思考题	128
第 6 章	地理空间图形裁剪变换技术	129
6.1	图形裁剪	129
6.2	图形几何变换	138
6.3	图形投影变换	147
	思考题	152
第 7 章	点、线、面状地理空间图形生成方法	153
7.1	点状地理空间图形生成方法	153
7.2	线状地理空间图形生成方法	161
7.3	面状地理空间图形生成方法	171
7.4	注记图形配置方法	176
	思考题	180
第 8 章	三维地形图形生成技术	181
8.1	三维图形生成技术基础	181
8.2	基于 OpenGL 的三维图形构建	191
8.3	三维地形表示与模型化方法	195
8.4	地理空间实体的立体图形生成	203
	思考题	207
第 9 章	动态地理空间图形表示方法	208
9.1	动态视觉变量	208
9.2	计算机动画技术基础	210
9.3	静态视觉变量的动态表示方法	212
9.4	与时间无关的动态表示方法	215
9.5	与时间相关的动态表示方法	217
	思考题	218

第 10 章 地理空间图形交互操作技术	219
10.1 地理空间图形基本交互技术	219
10.2 地理空间图形对象操作	228
10.3 地理空间图形图面操作	246
10.4 地理空间图形特效技术实现	260
10.5 专业图形界面设计实现	270
思考题	279
 第 11 章 交互式地理空间图形符号库系统设计	 280
11.1 交互式地理空间图形符号库系统的总体设计	280
11.2 点状地理空间图形符号库的设计与实现	283
11.3 线状地理空间图形符号库的设计与实现	294
11.4 面状地理空间图形符号库的设计与实现	299
思考题	300
 参考文献	 301

第1章 概 论

人类从原始部落到信息社会,对生存空间和环境的认识不断提高,逐渐形成了一门古老而又不断演化的学科——地理学。东汉思想家王充在《论衡·自纪篇》中说:“天有日月星辰谓之文,地有山川陵谷谓之理。”地理学就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的学科。地图是地理信息的载体,它作为传输地理信息的语言或工具自古以来就在政治、军事、经济等领域发挥了重要作用。随着信息社会的不断发展,计算机技术、网络通信技术和包括遥感、地理信息系统、全球定位系统的空间信息技术得到快速的发展和广泛的应用,电子地图成为承载和传输地理信息的新模式。电子地图不同于常规的纸质地图,其制作和应用都需要计算机环境的支持。作为空间信息可视化应用平台的电子地图涉及空间信息的输入、存储、传输、处理和应用的全过程,而地理空间图形的表达、生成和操作处理是电子地图的核心。本章首先介绍地理空间图形相关的基本概念,在此基础上讨论地理空间图形学的研究内容,以及与相关学科的关系,之后介绍地理空间图形技术主要应用领域和研究中要解决的问题。

1.1 基本概念

对于空间(space)的概念,不同的学科有不同的解释。在研究地球表层空间分布规律的地理学范畴,地理空间(Geo-space)是指基于地球表层空间上下有限距离的空间范围。依附于地理空间存在着各种事物和现象,它们可能是物质的,也可能是非物质的。如行政区划境界、居民地、道路交通、水系、植被、地形地貌等各种自然和人文现象。这些事物和现象的共同特征是,它们都与地理位置相关,且具有一定的几何形状,它们真实存在,但并不一定可见。我们将这些具有地理位置特征的事物和现象称为地理空间对象(Geo-spatial object),简称为地理对象,也称为地理目标。地理空间实体(Geo-spatial entity)简称地理实体,是指具有相同属性的地理对象或集合,它是根据分析应用的需要对具有共同特征和性质的地理对象的抽象。地理实体可以指总体也可以指个体,因此,我们也常称其为地理实体对象或地理实体目标。地理实体具有空间特征和属性特征。其空间特征表现为地理实体的几何特征(包括地理实体的位置、形状、大小及分布特征)和实体间的空间关系。地理实体的属性特征表现为实体的质量特征和数量特征。地理空间信息(geospatial information)简称地理信息,是指地理实体对象与其空间位置和地理分布有关的信息,即地理空间实体对象及相互间所包含的意义,如地理实体对象的类别、数量、质量、空间位置、分布特征、空间关系等。地理空间信息反映了自然和社会现象的分布、组合、联系及其时空的发展和变化。

人们对地理环境的认知可以区分为基于人脑和计算机两种。认知基础不同,其信息表达、传输和处理技术就有较大差别。与地图学是以人脑思维作为认知基础不同的是:地理空间图形学是基于计算机环境的,其内容包括了对地理实体对象的认知表达、生成处理和交互操作三个部分。由于计算机是以数字化的方式进行信息的表达、存储、处理和传输,因此,计算机环境

是一种数字化的环境。那么,基于计算机环境的地理实体认知表达则是以数字形式作为对其地理空间信息特征表达的基础,在计算机系统内部表示、存储、处理,或在设备和网络之间传输地理空间信息时均采用数字形式,而图形(或图像)只是在需要向人这类用户提供服务时所采用的一种可视化的、有效的信息表达方式。基于计算机的数字化环境,数据和图形是目标地理信息特征表达的两种基本形式和语言,地理空间数据是地理实体信息的数字化形式,地理空间图形是地理实体信息的可视化形式,两者紧密联系、相互转换,共同构成了“数字地理空间图形”(或称为基于计算机数字表示的地理空间图形),成为现代地理空间信息服务和应用的基础,也作为区别于传统地图表达的核心。“数字地理空间图形”具有计算机图形的一般特性,但比一般的计算机图形具有更多的专业特性,除作为图形对象本身更为复杂多样外,更强调其图形和数据所表达的地理空间信息和关系特征。因此,“数字地理空间图形”的表达信息丰富、类型多样、变化灵活,其生成处理和操作技术也丰富多彩,既吸收了现代计算机图形学的精华和算法基础,又扩展了地理空间图形生成处理和操作技术。

如此看来,数据和图形是计算机环境下表达地理空间信息的两种基本形式,我们分别称其为地理空间数据和地理空间图形。

地理空间数据(geospatial data)简称地理数据或空间数据,是地理信息的数据形式,即以数字化的形式(语言)表达和传输地理实体的特征信息,如利用位置坐标、分类编码、属性参数、关系表等抽象地表达地理空间对象的类别、位置、特征、分布等信息。由于采用数据形式表示使得地理信息利用先进的计算机和网络通信技术存储、处理和传输成为可能,也为信息的可视化提供了基础。否则,变化中的地理环境也不可能进入计算机网络系统中。

地理空间图形(geospatial graphics)简称地理图形,是地理信息的图形形式,即以符号化的形式(语言)表达和传输地理实体的特征信息,如利用图形图案、颜色、尺寸等视觉变量的变化构建的地理图形形象直观地表达了地理实体对象的类别、位置、特征、分布等信息。地理空间图形是数字化的图形,它是以空间数据为基础由一系列的计算机程序生成实现的,不仅实现了空间数据可视化,还可以提供计算机与人交互的可视化工具和工作平台,更重要的是利用这种最适于人的形象直观的方式展示和表达信息,可以更有效地发挥信息的作用和提高系统的应用效率。可以设想如果没有这种图形的表达方式,计算机中的一堆数字(地理空间数据)的价值和意义将大打折扣。

因此,地理空间数据和地理空间图形这两种方式的有机结合,成为了人们方便快捷、直观形象地认识世界、认识环境、获取有用信息的最有效工具。

传统纸介质地图是以模拟的图形符号为语言来表达和传递地理空间信息的,图形的形象直观等特点使得基于符号表达的纸质地图得以在应用中发挥重要作用,但是由于手工制作技术复杂繁琐,而且一经印刷出版其内容就被“固化”了,因此无法在计算机环境下使用。

随着计算机技术的不断发展和广泛应用,地理空间信息的表达在原纸质地图的基础上不仅产生了地理空间数据这一全新的表达形式,而且更新了地图制作的手段、模式,生成了电子地图这种新产品,使地理信息的图形表达有了质的飞跃,不仅内容更加丰富、形式更加灵活多样、生成快速高效,而且基于地理空间数据的支撑,使得应用电子地图实现智能分析、动态跟踪、辅助决策等成为可能,极大地拓展了地理信息的应用空间。

作为地理空间信息两种表达模式的地理空间数据与地理空间图形分别服务于计算机等设备和人这两种不同的用户对象,它们互为支撑、互为应用,快速推进了地理空间信息高效、快

速、广泛的应用,开创了空间信息科学的新纪元。

1.2 地理空间图形学的研究内容

国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)的定义为:计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专门显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。它是建立在传统的图学理论、应用数学及计算机科学基础上的一门边缘学科。换句话说,计算机图形学是研究怎样用计算机及图形设备来输入、表示、变换、处理和显示图形的原理、算法及系统。它借助于由软件和硬件设备集成一体的计算机图形系统实现图形生成的全过程。

地理空间图形学是计算机图形学原理在空间信息技术领域的应用,是计算机图形学与地图学及空间信息可视化等学科的知识交叉融合而产生的边缘学科。地理空间图形技术是计算机图形技术在空间信息领域的应用和扩展。可以说,地理空间图形学是应用计算机图形学和地图学原理,研究数字地理空间图形的表示、变换处理和显示输出的原理、方法和技术的学科。

在计算机科学中,图形和图像这两个概念是有区别的:

图形(graph)是指由外部轮廓线条构成的矢量图,可由几何算法、模型描述、矢量线段、点的坐标组合表示。一般指用计算机绘制的画面,如直线、圆、圆弧、曲线和图表等。

图像(image)是指由扫描仪、相机等设备捕捉实际的画面产生的数字图像,是由像素点阵构成的位图。在计算机中的存储格式有 BMP、PCX、TIF、GIFD 等,一般数据量比较大。它除了可以表达真实的照片外,也可以表现复杂绘画的某些细节,并具有灵活和富有创造力等特点。

与图像不同,在图形文件中只记录生成图的算法和图上的某些特征点的坐标和图形参数等。在计算机还原时,相邻的特征点之间用特定的小直线段连接就形成曲线,若曲线是一条封闭的图形,也可用算法来填充颜色。它最大的优点就是容易进行移动、缩放、旋转和扭曲等变换,主要用于表示线框型的图画、工程制图、美术字等。常用的矢量图形文件有 3DS(用于 3D 造型)、DXF(用于 CAD)、WNF(用于桌面出版)等。图形只保存算法、参数和特征点,所以相对于位图(图像)的大数据量来说,它占用的存储空间也较小。但由于每次屏幕显示时都需要重新计算生成图形,故显示速度比图像慢。在打印输出和放大时,图形的质量较高,而点阵图(图像)常会失真。

由于目前采用的图形输出设备都属于点阵扫描式,故矢量图形在显示输出时,最终还是要变换成位图(图像)数据再由显示器等输出设备显示出图形,这时屏幕上显示的图形实际上已转变为图像。

因此,计算机图形表示有两种基本形式:矢量图形和点阵图形(也称数字图像、栅格图像、位图),这两种形式常依据需要进行转换。

计算机图形按照图形的表现形式不同,通常分为:线划式图形(线框架图),即用线段来表现的图形;真实感图形,指具有面模型、色彩、浓淡和明暗层次效应的立体图形。

按照图形表现空间的不同又分为:二维图形,在平面坐标系中定义的图形,也称为平面图形或 2D 图形;三维图形,在三维坐标系中定义的图形,也称为立体图形或 3D 图形。

计算机图形学所描述的图形对象具有广义的概念,不特指某一个行业或某种应用。地理空间图形所表示的对象则是特指基于地理环境(或与地理环境相关)中的各种自然现象或人文现象的实体对象(统称为地理实体对象)。因此,地理空间图形具备计算机图形的特性,但又具

有自身的特点。地理空间图形的空间定位特征突出,也是这类图形的基本特征。另外,地理空间图形的属性特征也更丰富,除了图形本身的属性(称为目标的图形属性或图形参数,如颜色、灰度、线宽、线型等)外,还附加了更多的语义属性,如图形对象的空间要素类型、等级、名称、数量质量特征、行政隶属关系等。

地理空间图形学以地理空间图形为研究对象,其研究内容涵盖了地理空间实体对象的图形数据表示、输入、交互处理、图形生成全过程的相关内容,并为地理空间信息的分析应用提供可视化基础。

按地理学的观点,地理空间实体对象的基本特征主要表现为几何特征和属性特征。

几何特征也称定位特征、位置特征或空间特征。地理实体一般是以定点、定线或定面的形式与现实世界或地理空间建立联系,地理实体在二维或三维空间中具有一定的地理位置,呈一定的几何形态分布,即地理实体具有位置、形状,以及空间分布、空间关系等特征。

属性特征也称定性特征、语义特征或非几何特征。地理实体具有各自的属性特征,由于地理实体的种类繁多,故其属性内容也涵盖广泛,如实体对象的名称、类别、等级、数量特征、质量特征、状态,以及隶属关系、层次关系等关系特征。

地理实体的时间特征除了其时间、状态等时间属性外,还包含了其几何和属性特征随时间的变化关系,即地理实体的几何和属性特征都具有时间属性,会随着时间同时或各自独立地发生变化。因此,时间因素也赋予了地理实体的动态属性。

地理实体的关系特征较为复杂,除可作为属性的隶属关系、层次关系外,还有更为复杂的是基于地理实体对象位置而存在的如关联关系、邻接关系、包含关系、分离关系、重叠关系等。发生关系的主体可以是一对多,也可以是多对多。

鉴于地理实体的时间特征和关系特征的复杂性,且考虑到它与地理实体的几何特征和属性特征间的复杂关系,有时也将其单独列出。

在计算机环境中,我们所关注的这些地理特征就是以地理空间数据和以此为基础生成的地理空间图形来表达的。因此,地理空间数据和地理空间图形是表达地理空间实体特征和承载地理空间信息的两种基本形式。

如前所述,地理空间数据是以数字化的形式(语言)表达和描述地理空间实体的特征信息。依据其所描述地理实体的特征信息内容不同,可将地理空间数据分为三种类型:

(1)属性数据。以数字编码、名称字符串、数字串、时间字符串等数据描述地理实体的属性特征及部分时间状态信息。

(2)几何数据。以位置坐标数据、点线面体等的坐标组合数据、几何形状等图形参数数据描述地理实体的位置、形状等几何特征,以及变化状态、运动轨迹等特征信息。

(3)关系数据。以二维关系表数据描述地理实体相互间的空间关系和空间分布特征。

这三类数据之间相互联系,共同描述地理实体的特征信息。换句话说,地理实体是通过属性数据描述其各种属性信息及部分时间特征信息,通过几何数据描述其几何特征和位置的变化及运动状态等与时间相关的信息,通过关系数据来描述其与其他地理实体间的空间关系或分布特征等。

地理空间图形是以图形图像符号的可视化形式描述地理空间实体的特征信息,以图形图案、颜色、尺寸等静态视觉变量及组合描述地理实体的属性特征,以图形的位置、分布等描述地理实体的空间位置、形状、分布特征和空间关系等,以图形的动态视觉变量及图形画面的变化

等描述地理实体的变化和运动状态等特征信息。

由于所描述的地理实体的种类繁多且特征信息内容丰富,地理空间图形也有多种分类(该内容在第3章讨论)和应用,但各种地理空间图形还是由基本的计算机图形(如点、直线段、曲线、多边形区域、线型、字符汉字等)组合变换而成。因此,计算机图形学中基本的二维和三维图形生成及交互处理的原理和方法是地理空间图形学原理和方法的基础。在此基础上,地理空间图形的生成处理技术则体现了地理空间信息的专业特点。

1.3 地理空间图形学及相关学科的关系

地理空间图形学原理与技术是由20世纪60年代开始的计算机辅助地图制图逐渐发展起来的地图制图新技术,是传统科学与现代技术结合、多学科交叉的产物。它从产生、发展到广泛应用,是时代发展不断提升的应用需求和计算机等信息技术的不断成熟而促成的。从计算机辅助地图制图,到数字地图和电子地图,再到目前遍布网络和各行各业的地理空间信息可视化平台和虚拟地理场景,地理空间信息的显示和应用已经从原来的纸质地图走进了个人电脑、互联网、手持设备等,人们可以方便地了解自己所处或关注的地理环境、查询相关信息,满足人们生活、娱乐、工作等信息需求。

地理空间图形学的理论和技术基础是由计算机图形学和地图学等计算机技术和地图制图技术的基础学科所奠定,同时又为地理信息系统、卫星定位系统、遥感等空间信息技术应用学科提供地理信息的可视化技术或电子地图显示技术。

1.3.1 计算机技术学科

计算机科学技术的发展和应用为地理空间图形学的发展应用提供了物质和技术基础。尤其是计算机图形图像处理技术使得地理空间信息的数字表达和图形表达得以实现,成为数字地图和电子地图的技术基础,计算机图形图像系统(包括软件平台和硬件设备)为地理空间信息可视化平台提供了物质基础。

1. 计算机图形学

计算机图形学(computer graphics)的研究内容主要包括计算机图形的表示、处理、生成和交互的原理、方法及软件开发技术。这些技术的运用实质上实现了通过对图形的定义描述来构建其数据结构模型(矢量图形表达),通过对图形数据及模型的处理来将其转换成位图图像(图形生成处理)显示在屏幕上。图形交互的过程实质上是矢量图形数据和位图点阵数据两种形式的相互转换。它的发展和应用为各专业基于计算机环境实现信息可视化提供了基础。

2. 数字图像处理

数字图像处理(digital image processing)也称为计算机图像处理,它是利用计算机对原图像进行去除噪声、增强(突出某些特征)、复原(使模糊图像清晰)、压缩、分割、提取特征、分类、变换等处理而生成新的图像的原理和技术。早期进行的是二维图像处理,而且早已广泛应用于农牧业、林业、环境、军事、医学等各个领域,并朝着三维图像生成、立体成像、多种存储传输媒体等方向发展。

3. 模式识别

模式识别(pattern recognition)是指通过计算机对图形或图像信息进行处理、分析,以实现

事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过程,是从图形(图像)到描述表达的过程。图形图像等信息输入到计算机后,先对其特征进行抽取等处理,然后利用各种识别技术,如统计识别技术、句法(语法)识别技术以及基于模糊数学的模糊识别技术等,按照不同应用要求,由计算机对图形图像做出分类和描述,从图像中提取数据模型。如邮件分拣设备,扫描信件上手写的邮政编码,将编码的图像复原成数字。模式识别技术已得到广泛的应用,如文字识别、指纹识别、医学诊断等。

4. 计算几何

计算几何(computational geometry)是研究几何模型和数据处理的学科,探讨几何形体的计算机表示,分析研究如何灵活、有效地建立几何形体的数学模型及在计算机中更好地存储和管理模型数据,是计算机辅助设计的基础。计算几何是由函数逼近论、微分几何、代数几何、计算数学等形成的边缘学科,也是几何学的分支。在六七十年代已广泛应用于造船、航空、汽车及众多工业产品的外形设计和制造领域。如 B 样条曲线曲面和孔斯曲面。

5. 数据模型

数据模型(data model)是对数据特征的抽象,是对图形或其他对象的描述和定义等。数据模型所描述的内容包括三部分:数据结构、数据操作、数据约束。数据模型中的数据结构主要描述数据的类型、内容、性质及数据间的联系等。数据结构是数据模型的基础,数据操作和约束都建立在数据结构之上。

以上计算机技术学科都围绕图形、图像、数据的处理、变换等相关内容展开,它们之间各有侧重又相互联系,其相互关系见图 1.1。

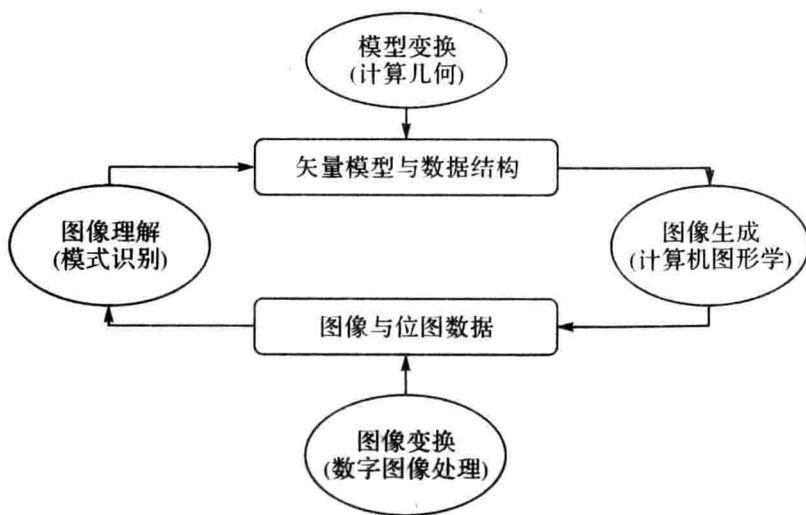


图 1.1 图形图像的表达、处理与各相关学科的关系

1.3.2 地图制图技术学科

1. 地图学

地图学是研究地理空间信息的图形表示和传递的科学。地图是记录地理信息的一种图形语言形式,是客观世界的自然与社会现象按照一定的数学法则、符号法则和综合概括法则在平面上的综合表示,它是认识和分析地理环境信息的有效手段。

2. 地图设计

地图设计是研究如何根据地图用途和用户要求,按照地图感受理论实现对地图的技术规

格、数学基础、地图内容及表示方法、地图符号与色彩、总体布局及图面效果、地图制作工艺方案等进行全面规划的原理和方法。

3. 地图编绘

地图编绘是研究如何在地图设计文件的指导下,根据地图用途、比例尺和制图区域特点对地图内容实施要素选取、图形化简、概括、图解关系处理,制作编绘原图的原理和方法。

不仅地图的应用需求成为地理空间图形技术发展的原动力,地图学和地图设计与编绘的理论方法又为地理空间图形技术的拓展和应用奠定了专业基础。

1.3.3 空间信息技术学科

空间信息技术在广义上也被称为“地球空间信息科学”,地球空间信息科学(Geo-spatial information science, Geomatics)也称为地球信息科学或地理信息科学,它是以地理空间(或地球空间)为基础,借助于地理空间信息的获取、存储及处理技术,研究地理空间信息的变化规律、传输模式及应用服务。地球信息科学的技术体系中最基础和最基本的技术核心是3S技术及其集成。3S是指卫星定位系统、地理信息系统和遥感的统称。3S技术及其集成又成为数字地球的核心技术。而地理空间实体对象的数字化和图形化技术是它们共同的技术和应用基础。

1. 地理信息系统

地理信息系统(geographic information system, GIS)是一种特定的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层空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。地理信息系统处理和管理的对象是多种地理空间实体数据及其关系,用于分析和处理在一定地理区域内分布的各种现象和过程,解决复杂的规划、决策和管理问题。地理信息系统全过程的操作和应用都是基于电子地图平台,且多以图形操作的方式完成,如图1.2所示。因此,地理空间图形技术成为地理信息系统技术的基础,并应用于地理信息系统的全过程。

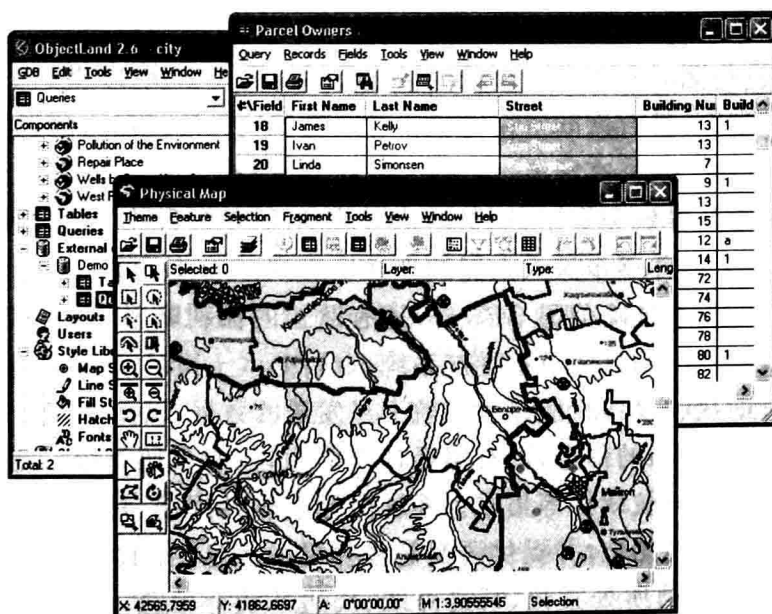


图 1.2 地理信息系统应用示例