

GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校摄影测量与遥感系列教材

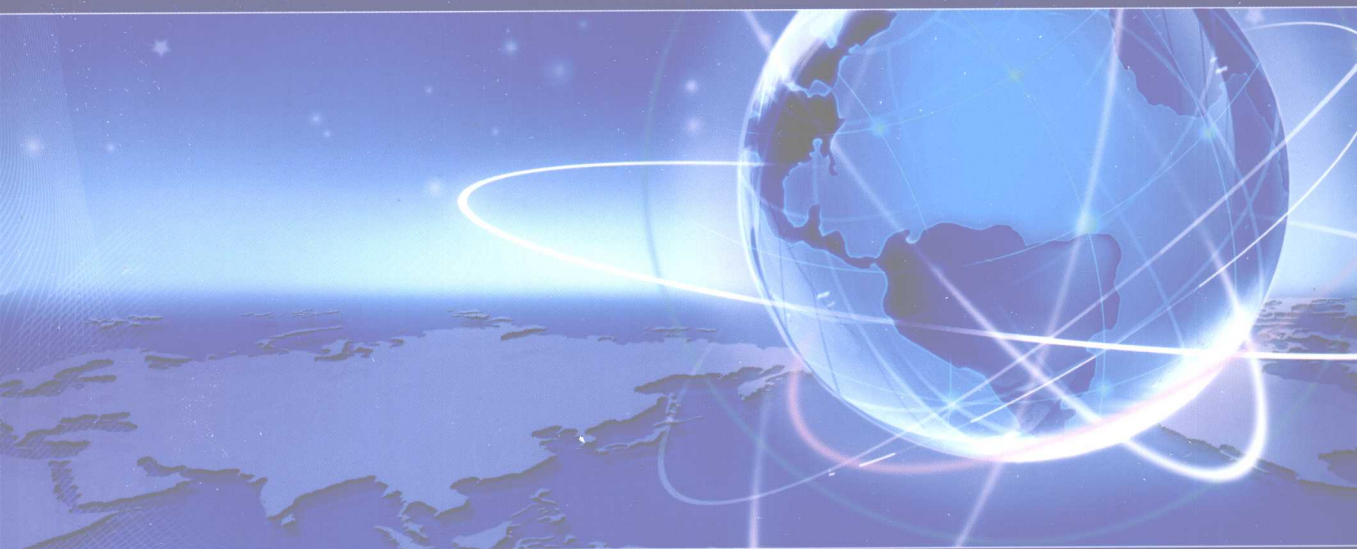


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地理信息系统与科学

Geographic Information Systems and Science

张景雄 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

P208-43
Z127

摄影测量与遥感系列教材

-26



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地理信息系统与科学

Geographic Information Systems and Science

张景雄 编著

P208-43
Z127



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统与科学/张景雄编著. —武汉:武汉大学出版社,2010.1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校摄影测量与遥感系列教材
ISBN 978-7-307-07208-4

I. 地… II. 张… 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(2009)第207972号

责任编辑:王金龙 责任校对:黄添生 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中远印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:26 字数:630千字

版次:2010年1月第1版 2010年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-07208-4/P·165 定价:38.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

美国科学院院士 Goodchild 教授于 1992 年提出了地理信息科学 (geographic information science, GISci 或 GISc) 的概念,阐释了先于此近 20 年面世的地理信息系统 (geographic information systems, GIS) 技术及应用发展的必然。与 GIS 一样, GISci 这一科学名词逐步成为国际学术界和产业界的共识。

本书名的灵感来自著名科学家 Paul A. Longley、Michael F. Goodchild、David J. Maguire、David W. Rhind 所著 *Geographic Information Systems and Science* 一书。我理解,其意境是: Science 为 GIS 的灵魂和基石, Systems 为 GISci 的物质外壳。所以,从某种意义上说,本书的全称是地理信息系统与地理信息科学。但为名称的简练起见,缩写为地理信息系统与科学,其中的科学不是哲学意义上的大科学。

已故王之卓院士、陈述彭院士作为学术泰斗,生前在 GIS 发展之初,为 GISci 理论和技术体系的完善传道授业,身体力行。地球空间信息学界的科学家前辈们倡导了中国的 GISci 的研究和学习的良好风气,海内外众多领域专家和科技人员加入了 GIS 和 GISci 领域的继承和创新的不懈奋进的行列, GISci 呈现出蓬勃向上的喜人景象。

GIS 作为地球空间信息科学体系的核心技术,已成为测绘类专业学生和技术人员的必修课之一。然而,业内对地球科学的整体认识有所欠缺,对 GISci 作为新型学科和方法论地位的理解仅停留在表面,影响了对地球空间信息科学要领的把握,妨碍了 GIS 的应用与发展。我们的高等教育亟需凸显地学背景、凝练学科最前沿和科研最新水平的 GISci 教材,以缩小与世界水准和其他相对成熟学科的差距。

为适应武汉大学遥感科学与技术专业教学改革的要求,巩固该专业的强势专业地位,也为地学背景专业的 GIS 课程建设提供精密定位、遥感信息、定量分析 (包括不确定性分析) 等关键基础理论和技术保障,本人近几年沉寂于《地理信息系统与科学》教材的撰写工作。它将作为一个桥梁,联结地学、测绘科学和遥感科学与技术,使得经典地学方法、现代对地观测技术、计量方法、空间统计分析和地学计算融为一体,为实现李德仁院士、宁津生院士、刘经南院士、张祖勋院士、李小文院士等关于地球空间信息科学坚实基础框架的理念添砖加瓦。

这是一种跨学科的尝试,也实现了本人一大夙愿。近几年来,尤其是师从 Goodchild 教授作博士后研究以来,我开始酝酿 GIS 的高级教程。多年来,武汉大学遥感信息工程学院开设了地理信息系统与空间分析方面的基础性课程,自 2005 年秋季新开的地理信息系统高级教程恰由本人主讲。遥感学院的“摄影测量与遥感”属全国的强势学科,已在基于遥感影像的空间信息的科研和教学方面积累了公认的成就。这些学科整体的优势和积累将成为加大教学改革力度的重要条件,并为本教材提供最广义的基础设施。

本人的专业背景涵盖摄影测量、遥感、地理信息系统、地理统计与计算。逐渐增长的教

学与科研经验,包括空间信息技术集成双语课和高等统计概论研究生课程的讲授,有助于撰写空间信息理论、技术和应用的教材;日益壮大的科研团队也为教材提供了第一手材料。

本教材彰显 GISci 的科学观,阐明地理信息机理,演绎它的地学、数学和统计学基础,阐述空间分析和空间模型,阐释空间不确定性问题。深入浅出的讲解,有助于理论和解析方法相结合的教学效果的提高;实例分析的融入,演绎了实践环节在 GISci 学习中的重要性;每章列出思考题,鼓励学生理论联系实际;使用 ESRI 的品牌 GIS 软件系统(如 ArcInfo 和 ArcGIS 等),探索基于 GIS 软件系统的空间问题求解。本教材既可为本科高年级教学之用,亦可供研究生和科技人员参考。

本书在构思、立项和撰写过程中得到了许多专家、领导和同仁的大力支持与帮助。中国科学院院士 Michael Goodchild 教授一直关心我的 GISci 教学工作,并经常为我解惑;中国测绘科学研究院科技委主任林宗坚教授教导我应从信息论的角度探讨 GISci 和遥感的信息机理问题;国际摄影测量与遥感协会秘书长陈军教授作为中国 GISci 的领军人物之一,引导我走上 GIS 和 GISci 书山学路。武汉大学遥感信息工程学院的领导对作者的工作给予了大力支持和帮助,张剑清教授、舒宁教授和袁修孝教授等知名专家亦对作者的教学和科研给予了指导。我的博士生唐韵玮为本书的完稿付出了艰辛和不懈的努力,游炯、罗彬、翁宝凤等研究生协助完成了文字处理和英文翻译的浩繁工作。武汉大学出版社的编辑王金龙同志为本书的及时出版提供了大力帮助。

作者的家人对其 GISci 教材和教学工作以及相关基础型研究工作给予了充分的理解和支持。善良忠厚的父母、贤惠的妻子、青春年少的孩子,他们朴实的关心和忍耐,为的是我们的 GISci 梦想成真!

由于作者水平有限,书中错误疏漏难免,恳请读者批评指正。

张景雄

2009 年 9 月 于武昌珞珈山

目 录

第1章 概述	1
1.1 地理信息系统	1
1.1.1 简介	1
1.1.2 发展趋势	2
1.2 地理信息科学	4
1.2.1 从系统到科学的飞跃	4
1.2.2 科学问题	7
第2章 地理数据模型	14
2.1 地理空间概念化	14
2.2 场	16
2.2.1 模型	16
2.2.2 空间自相关	19
2.2.3 尺度	21
2.3 对象	23
2.3.1 模型	23
2.3.2 矢量数据结构	26
2.3.3 面向对象的数据模型	27
2.4 网络	29
2.4.1 模型	29
2.4.2 线性参考与动态分段	31
2.5 时空表达	34
2.5.1 基于位置的模型	34
2.5.2 基于空间实体的模型	35
第3章 地球参考与地理坐标系	38
3.1 大地测量学基础	38
3.1.1 大地水准面和地球椭球体	38
3.1.2 高程和深度参考系	39
3.1.3 用水平面代替水准面的限度	40
3.2 坐标系统与坐标转换	42
3.2.1 坐标系统	42

3.2.2	坐标转换	45
3.3	地图投影	53
3.3.1	基本概念	53
3.3.2	常见的地图投影	55
3.4	离散网格	60
3.4.1	网格与地理格网	60
3.4.2	全球离散格网	62
第4章	测量与数据获取	66
4.1	地形测量	67
4.1.1	控制测量与地形测图	68
4.1.2	数字测图	69
4.1.3	基于地形图的数据提取	71
4.2	测量数据处理	72
4.2.1	条件平差	72
4.2.2	间接平差	73
4.3	GPS 原理	75
4.3.1	伪距测量与载波相位测量	77
4.3.2	差分 GPS	81
4.4	GPS 数据处理	83
4.4.1	伪距数学模型	83
4.4.2	双差分载波相位数学模型	83
4.4.3	自由电离层	84
4.4.4	最小二乘法	85
4.4.5	GPS 测量定位误差	86
第5章	遥感数据获取	89
5.1	摄影测量原理	89
5.1.1	成像方程及其应用	89
5.1.2	相对定向与绝对定向	94
5.1.3	解析空中三角测量	97
5.2	数字摄影测量	98
5.2.1	影像匹配	99
5.2.2	影像特征提取	102
5.2.3	数字微分纠正	106
5.3	遥感物理基础	112
5.3.1	物体的发射辐射	113
5.3.2	地物的反射辐射	115
5.4	遥感数据与处理	117

5.4.1	遥感数据特性	118
5.4.2	遥感数据处理	121
5.4.3	定量遥感	128
第 6 章	数字地形分析	134
6.1	数字高程模型	134
6.2	坡度、坡向和表面曲率	138
6.2.1	坡度和坡向	138
6.2.2	地形曲率	139
6.3	地形因子的计算	143
6.3.1	基于格网 DEM 的坡度、坡向计算方法	143
6.3.2	基于 TIN 的算法	148
6.3.3	曲率计算	150
6.4	立体透视图	154
6.5	地形形态特征线的提取	157
6.5.1	单流向算法	158
6.5.2	多流向算法	159
6.6	流域分析	162
6.6.1	流域描述	162
6.6.2	水流网络计算	167
第 7 章	空间对象的几何计算	171
7.1	线段方程及其应用	171
7.2	直线生成算法	173
7.2.1	DDA 算法	174
7.2.2	Bresenham 画线算法	175
7.2.3	并行画线算法	178
7.3	区域填充	180
7.3.1	扫描线多边形填充算法	180
7.3.2	内—外测试	184
7.3.3	曲线边界区域的扫描线填充	185
7.3.4	边界填充算法	185
7.3.5	泛滥填充法	187
7.4	二维裁剪	189
7.4.1	点的裁剪	189
7.4.2	线段的裁剪	189
7.4.3	多边形的裁剪	197
7.4.4	曲线的裁剪	201
7.4.5	外部裁剪	201

第 8 章 网络分析	203
8.1 路径分析	203
8.1.1 最小累积耗费路径	203
8.1.2 最短路径分析	207
8.2 连通分析	214
8.3 资源分配	218
8.3.1 选址问题	219
8.3.2 分配问题	221
第 9 章 空间抽样	224
9.1 抽样的统计学基础	224
9.1.1 总体与样本	224
9.1.2 抽样问题的描述	226
9.2 简单随机抽样	228
9.2.1 概述与使用	228
9.2.2 简单估计法(SE 法)	232
9.3 分层抽样法	236
9.3.1 概述与使用	236
9.3.2 分层抽样的简单估计法(SSE 法)	244
9.4 实例	248
9.4.1 基于相对有效性的整群抽样方案	248
9.4.2 以最大地减小克里金方差为目标,寻找最理想的采样方案	249
第 10 章 空间插值	255
10.1 概述	255
10.1.1 概念	255
10.1.2 空间插值的源数据	256
10.1.3 空间插值方法的分类	257
10.2 距离倒数加权方法	262
10.3 基于 TIN 的空间插值	265
10.3.1 确定包含内插点的三角形	265
10.3.2 基于三角面的插值方法	267
10.3.3 基于磨光函数的光滑连续插值方法	268
10.3.4 基于 TIN 的插值方法评述	272
10.4 趋势面方法	272
10.4.1 模型	273
10.4.2 方法	274
10.5 薄板样条	275

第 11 章 空间预测的克里格法	278
11.1 克里格法基本原理	278
11.2 简单克里格法与普通克里格法	280
11.2.1 普通克里格法的解算过程	280
11.2.2 点克里格法的计算实例	284
11.2.3 块段普通克里格法的计算实例	286
11.3 指示克里格法	288
11.3.1 指示变异函数	288
11.3.2 指示克里格方程组	288
11.4 泛克里格法和协同克里格法	289
11.4.1 泛克里格法	289
11.4.2 协同克里格法	290
第 12 章 空间多变量分析	292
12.1 地图叠置	292
12.1.1 要素类型与地图叠置	292
12.1.2 地图叠置方法	293
12.1.3 破碎多边形	295
12.1.4 地图叠置中的误差传播	296
12.2 多准则评价	297
12.2.1 传统 MCE 方法	297
12.2.2 模糊评价方法	298
12.3 相关分析	302
12.3.1 两要素之间相关程度的测定	302
12.3.2 多要素间相关程度的测定	303
12.4 主成分分析	305
12.4.1 主成分分析的基本原理	305
12.4.2 主成分分析的计算步骤	306
12.5 空间聚类	307
12.5.1 主要聚类方法的分类	308
12.5.2 层次聚类分析步骤	309
12.5.3 模糊聚类分析	312
12.5.4 其他聚类算法	316
第 13 章 空间模型	318
13.1 二值模型与指数模型	319
13.1.1 二值模型	319
13.1.2 指数模型	321

13.2 线性回归模型..... 326

13.2.1 回归模型..... 326

13.2.2 平方和..... 326

13.2.3 高斯最小二乘法估计回归参数..... 327

13.3 二值 Logit 模型..... 330

13.3.1 选择的概率模型..... 330

13.3.2 最大似然估计..... 332

13.3.3 Logit 模型的性质..... 335

13.4 系统模型与过程模型..... 337

13.4.1 系统模型..... 337

13.4.2 过程模型..... 338

第 14 章 时间序列分析..... 340

14.1 趋势分析..... 341

14.2 周期分析..... 345

14.3 随机时间序列分析..... 347

14.3.1 时序模型的识别..... 350

14.3.2 模型的参数估计..... 352

14.3.3 时间序列的预测..... 355

14.4 基于时间序列分析的土地覆盖遥感..... 356

第 15 章 误差与空间不确定性..... 363

15.1 精度评估..... 364

15.1.1 精度与准确性..... 364

15.1.2 连续场精度..... 365

15.1.3 类别场精度..... 367

15.1.4 位置精度..... 368

15.1.5 置信区间和样本大小..... 370

15.1.6 假设检验..... 371

15.2 误差传播..... 374

15.2.1 解析方法..... 375

15.2.2 随机模拟方法..... 378

15.3 空间不确定性..... 381

15.3.1 概率论与模糊集合..... 381

15.3.2 方法与应用..... 384

参考文献..... 388

第 1 章 概 述

1.1 地理信息系统

1.1.1 简介

地理信息系统(geographical information systems, GIS)是一种用计算机创建的有关地理空间的数学化表达、空间操作、空间分析和可视化的信息系统,是应用于地理空间领域的科学、技术、工程和艺术的统称。

地理信息系统的定义是由两个部分组成的。一方面,地理信息系统是一门学科,是关于描述、存储、分析和显示空间信息的理论和方法的一门新兴的交叉学科;另一方面,地理信息系统是一个技术系统,是以地理空间数据库(geospatial databases)为基础,提供多种空间运算和解析分析,输出查询和分析结果,为地理研究和空间决策服务的计算机技术系统。

地理信息系统具有信息系统的各种特点。地理信息系统与其他信息系统的主要区别在于其存储和处理的信息是经过地理编码的,使得地理位置及与该位置有关的地物属性信息成为信息检索的重要部分。在地理信息系统中,现实世界被表达成一系列的地理要素和地理现象,它们至少由空间位置参考信息和非位置信息两个部分组成。

由于所存储的信息的特点,地理信息系统具有如下特征:第一,具有信息处理的空间性和动态性,已完成采集、管理、分析和输出多种地理信息等功能;第二,具有由计算机系统支持而进行的空间信息处理的优越性,因为计算机程序可以模拟常规的或专门的地理分析方法,作用于空间数据,产生有用信息,完成人类难以完成的任务;第三,具有计算机系统支持的地理信息处理的快速、精确、综合性,能对复杂的地理系统进行空间定位和过程动态分析。

虽为计算机软硬件系统,地理信息系统的内涵却是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型,即一个缩小的、高度信息化的地理系统;用户可从对地理系统在功能方面进行模拟,信息的流动及其结果完全由计算机程序来仿真。在地理信息系统环境下,客观世界抽象为模型化的空间数据,用户可以按应用目的考察现实世界模型的内容,获得分析和预测的信息,用于管理和决策;地理学家可以在地理信息系统支持下提取地理系统各不同侧面、不同层次的空间和时间特征,也可以快速地模拟自然过程的演变或思维过程的结果,取得地理预测或“实验”的结果,选择优化方案,用于管理与决策。

地理信息系统的学科渊源可谓独特。首先, GIS 的发展大都(但不是所有)走用数字计算机处理和分析地图数据的道路。早期计算机不能处理复杂地图形式的信息,它们设计的目的是用于非地图形式的数字生产和操作处理;GIS 是计算机发展和应用很多年后,才出现的用于处理地图数据的新技术。20 世纪 40 年代,电子计算机问世;20 世纪 50 年代前,瑞士

气象学家用计算机辅助制作气象图;稍后 Terry Coppock 用计算机分析了农业地理数据;20 世纪 50 年代末期,伦敦大学用计算机分析来自农业人口普查的大约 50 万条数据记录,并对这些数据进行归类,以备手工制图的需要;20 世纪 60 年代中期,加拿大的 Roger Tomlinson 用计算机完成某些简单但劳动强度很大的加拿大土地详查工作,他被誉为加拿大地理信息系统(CGIS)之父,而 CGIS 被认为是第一个真正的 GIS。

地图自动生产是 GIS 形成的一个学科根源。一旦所有类型的信息以数字形式表达,这些信息的操作、拷贝、编辑和传输就变得非常容易。David Bickmore 是用 GIS 进行地图自动化生产的最初创始者。在 1964 年前,David Bickmore 和 Ray Boyle 建立了高质量的数字地图牛津系统。当时,完成制图自动化输出具有相当的复杂性,必须在完善的地图数据输入、显示和输出设备发展成熟之后,自动化制图技术的好处才能体现出来。到 20 世纪 70 年代早中期,地图数字化仪、交互式图形显示设备、绘图仪等设备价格才可接受,自动化制图机构也随之增加。

GIS 的又一学科根源可追溯到环境领域。在 20 世纪 60 年代,环境敏感性规划观点揭示了地表环境由一组相对独立的层组成,每层代表地表环境的特定组成,并形成了所关心的地表环境。地表环境的这些层可以包括地下水、自然植被或土壤。GIS 的产生也与城市学、人口统计学密切相关。人口统计是地理关联的,要求报表按地理单元的空间等级关系公布统计结果。在 20 世纪 60 年代后期,人口统计详尽表述的概念,推动了美国人口调查局提出的双重独立的地图编码系统(DIME)的发展。DIME 本质上是一个具有城市街道网络简单拓扑表达的 GIS,DIME 编码思想中的许多方法被重复应用在基于更大比例尺地图的城市功能基础设施的维护方面。

GIS 的产生还与遥感科学技术的发展密切相关。20 世纪 60 年代后期和 70 年代早期,作为潜在的、方便的与不可替代的地球观测(数据)源,遥感技术的发展也刺激着 GIS 的发展。当很多图层处理技术相当专业化时,为了将遥感信息和其他信息结合起来,愈来愈多的综合 GIS 变得更加重要。今天的 GIS 包含了广泛的图像处理功能,并且增加了不同类型的遥感数据源,可以选择不同功能对其进行处理,特别在对陆地景观变化的检测方面,综合 GIS 技术显得更加重要。

1.1.2 发展趋势

GIS 是一个技术创新和技术应用的新领域,也是变化迅速的一个新领域。毋庸置疑,计算机技术方面的发展对 GIS 的快速进步作出了主要贡献。因此,有必要回顾近年来与 GIS 相关技术的发展轨迹图,把握这些技术对 GIS 的影响。

直到 GIS 被关注,也许所有技术进步的根本原因,是计算机硬件方面的改善。20 年前,Intel 微处理器公司的创始人之一 Gordon Moore 提出,每 18 个月计算机硬件性价比将提高 1 倍。在 1997 年中期,硬件技术出现了新的发展特点,即在以后几年内处理器速度以等比级数增长。随着技术发展,不仅硬件系统变得既快速又便宜,而且硬件系统的物理尺度也变得愈来愈小,如现在笔记本和野外便携式计算机在 GIS 领域的普遍使用。硬件的部分性能已经被很多的成熟图形用户界面(GUI)所采纳,而强调空间分析功能提升了支持可视化和数据挖掘的硬件性能。

GIS 应用的一个主要特征是海量与多维数据(如 x, y, z 坐标)的使用,以及多用户对空

间数据的连续访问。由于关系数据库(RDBMS)技术的快速发展,很多软件开发商开始用RDBMS管理非图形数据。今天,计算机性能、多用户访问技术和数据压缩技术已经在很大程度上得到提高,并且在一个RDBMS中存储图形和非图形数据的GIS软件系统也已经标准化。对象关系DBMS及其扩展功能的发展,使数据库管理系统能管理空间数据类的复杂数据类型。

网络技术重要性的提高深刻地影响着GIS的发展。20世纪80年代后期,有了用局域网技术将计算机连在一起的策略。不久后,用户开始对广域网技术感兴趣,而用户对Internet技术的兴趣则更高,使Internet对GIS的影响更加深远。OpenGIS协会(OGC)是一个由100多家公司、政府和大学组成的国际性协会。OGC对用OpenGIS在不同性质系统间建立连接的互操作软件的开发方面,已经做了相当的努力。随着Internet的发展,开放对象标准和对象嵌入已经用于支持分布式计算。CORBA和OLE/COM标准允许对象或数字信息包在不同的软件环境中自由传递,并且系统能够解释对象的内容。Java语言已经提供了在整个Internet上传送程序模块和数据的手段,并且允许一个系统将一个进程送到另一个系统上去执行。

技术方面的每一个进步,都向提高存储、操纵、显示和查询地理数据能力的方向发展,并深刻改变数据信息计算实现的方式,即由一个用户与文件服务器交互的行为,变为由客户、服务器与数据信息源/操作目标对等方式的计算。

数据的生产与使用发生了许多重大的变化,深刻影响着GIS的应用和发展。20世纪90年代迅速发展起来的GPS可用来采集新数据。低价手持GPS接收机能满足很多领域数据采集的需要,并且还可以参考美国实时导航和全球定位系统(NAVSTAR GPS)或与之相当的俄罗斯的实时导航和全球定位系统(GLONASS)记录的高精度地理信息。另一方面,通过不同的GPS获取的数据和对数据做后处理,可以得到比原始数据分辨率高得多的数字化数据。该技术对大范围与系列应用的数据采集,带来了革命性变化,特别是数据采集器发展到在采集数据的同时还允许输入空间数据的属性数据的阶段。总之,GPS卫星定位和导航技术与现代通信技术相结合,促成了空间定位的技术革命:用GPS同时测定三维坐标的方法将使测绘定位技术从陆地和近海扩展到整个海洋和外层空间,从静态扩展到动态;从事后处理扩展到实时(准实时)定位与导航,大大扩宽了它的应用范围。

数字摄影测量系统利用人工和自动化技术,由数字影像生成各种数字和模拟的产品,而数字产品可直接输入GIS。例如,数字正射影像图、数字高程模型(digital elevation models, DEM)之类新产品的广泛生产,大大降低了数据的生产成本。自1991年,框架性地理数据与专业性地理数据已经成为商业性产品,同时它们也成为一种战略性资源。企业GIS应用出现了愈来愈明显的连续发展趋势,并已经发展为服务于企业客户需要的一个高附加值的销售业和咨询业。

目前,多平台、多传感器航空、航天遥感数据获取技术趋向三高,即高空间分辨率、高光谱分辨率和高时相分辨率。中国将全方位推进遥感数据获取的研究,形成自主的高分辨率资源卫星、雷达卫星、测图卫星,以对环境与灾害进行实时监测。其次,航空、航天遥感技术愈来愈不依赖于地面控制,可以计算确定影像目标的3维坐标。摄影测量与遥感数据的计算机处理正逐步迈向自动化和智能化,多时相影像在变化信息提取与分析中正发挥越来越大的作用,全量化遥感方法亦慢慢走向实用。摄影测量与遥感在构建“数字地球”和“数

字城市”中正在发挥愈来愈大的作用(李德仁,2008)。

由于数字数据集的大量增长,GIS 用户要知道有什么数据集存在,其质量如何,怎样得到它们,将变得更加困难。Internet 技术的进一步发展,出现了一个重要的数据技术发展成就,即元数据(“数据的数据”)的在线生产服务(李德仁,2008)。1997 年,出现了一个有重要意义的技术开发,即开发价格低廉、包含数据处理功能与元数据功能的智能数据产品,该产品也包含允许用 GIS 软件包直接快速访问数据的功能。随着数据技术的进一步发展,地理信息全数字信息库的开发逐渐变得可行,开始用图书馆学的方法支持地理信息的管理与共享。

GIS 技术本身也呈现喜人的发展趋势。目前,GIS 随着高分辨率卫星遥感数据的快速增加和数字城市等需求的增长,面向对象的数据模型和图形矢量库、影像栅格库和 DEM 格网库一体化的数据结构将更加灵活有效。空间数据的表达趋势是基于金字塔 LOD(level of detail)技术的多比例尺空间数据库,在不同尺度表示时可自动显示相应比例尺或相应分辨率的数据,实现多比例尺、多尺度、动态多维和实时 3 维可视化。利用数据挖掘方法从空间数据库和属性数据库中发现更多的有用知识,从 GIS 空间数据库中发现了知识可以有效地支持遥感影像解译,从属性数据库中挖掘的知识又可以优化资源配置等一系列空间分析的功能。通过 Web 服务器和 WAP 服务器的互联网和移动 GIS 将推进数据库和互操作的研究与地学信息服务事业。目前,已兴起的 LBS 和 MLS,即基于位置的服务和移动定位服务,突出地反映了这种变化趋势。

为了 GIS 的可持续发展,我们迫切需要探讨并解决一些理论问题,如空间数据表达、数据采集、数据精度、数据分析、显示、变化发现与空间数据库的更新、基于 GIS 的知识发现、数据的可交换性与安全性问题等。要解决上述这些问题,需要计算机科学、信息科学、通信科学、地理科学、环境科学、管理科学、测绘与遥感科学、数理统计、人工智能及专家系统等科学和技术领域的协同攻关。

1.2 地理信息科学

1.2.1 从系统到科学的飞跃

美国科学院院士、美国地理信息与分析中心(national center for geographic information and analysis)执行委员会主席、加利福尼亚大学教授 Michael Goodchild 于 1992 年提出了地理信息科学 geographic information science(GISc or GISci)的概念和科学体系(Goodchild,1992)。地理信息科学是关乎 GIS 发展、使用和应用的理论。它讨论一些由于 GIS 和相关信息技术的使用而导致的基本问题(Goodchild,1990,1992;Wilson 和 Fotheringham,2007)。

地理信息科学是一个现代科学术语,是关于采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用与地理和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学,是当前的测量学、摄影测量与遥感科学、地图学、地理信息系统、计算机科学等学科和模式识别、卫星定位技术、专家系统技术与现代通信技术等的有机结合。地理信息来自多种数据源,如地球轨道资源卫星、空间定位卫星、各种传感器以及地面测量和调查的结果;地理信息系统是以上多学科集成的基础平台,用于搜集、存储、管理和分析空间信息和数据;卫星定位、摄影测量与遥感是快速获

取和更新地理信息的主要技术手段,目前正走向全数字化道路;地图学既用于地理信息的分析与处理,也用于地理信息的显示与表达。专家系统的引入将力求使数据采集、更新、分析和应用更加自动化和智能化(李德仁,2008)。

回到有关地理信息科学的关键名词的解释。科学是指基于经典统计假设检验或贝叶斯统计法则的推理。科学和文学是艺术的两种形式,艺术是文化的一种,而文化又是人类思维的一种。技术是利用机械帮人们解决问题。信息技术强调机械装置和硬件,而信息科学强调人们如何利用信息来认识自然(人类只是作为自然的一小部分),即强调逻辑、方法、软件和心理结构。信息是人思维的一种,数据是信息的一种,特别是对于存档的供今后使用的信息。数据有9种基本类型:文字、数字、符号、点、线、面、体、音调和节奏。地理数据通常指空间数据库所记录的点、线、面数据。地理信息是对世界和地图数据诠释的结果。因此,在选取数据进行信息绘制表示的过程中,要考虑选择什么样的数据以及如何选择数据。信息是从社会中建立的,它取决于决策和选择,而决策和选择本身又受到制度和政策的影响,认识这一点至关重要。

地理信息科学是博大精深的新兴学科,我们只能科海拾贝,通过它们折射其科学内涵和深邃的空间思维。下面,我们跟随 Goodchild 教授的学术思想,有选择地遨游 GISc 的广袤世界。

数据模型是我们用来在数字数据库中描述地理变量的逻辑框架。由于每一个都必须是一个近似,故而在两个模型中做选择时不仅要考虑可用的功能,还要考虑产品的精度。在过去十年里,地理信息系统发展的亮点之一是关于数据模型的讨论,如对于栅格和矢量的讨论,而现在的讨论加入了对象、图层、复杂物体的等级模型以及时空表达。我们仍没有一个甚至是对于二维静态实例的完整的、严格的地理数据建模框架。

数据模型作为地理信息表达方式——无论是作为概念上或是实际的观测数据的存储,其关键内容是表达地球上、地球内部和地标的现象。与数据表达紧密相关的是空间分析和地理建模。例如,在路径问题的研究中,空间信息是作为连接两地(以点的形式表示)的主要表达方式;在环境问题的研究中,空气污染、水污染或土壤污染可用网格的形式表示;但在另外一些研究中,这些实体可能会以定义了明确边界的多边形的对象来表达。这两种表示方法就是我们所熟知的基于位置的表达方式和基于特征的表达方式。

这些问题关乎我们将世界是看做分离的还是连续的、对象的集合还是场的集合,从而对其观察、分析、描述、建模。我们是认为空间中到处都是定义了值的变量,还是一个空旷的空间中散布着可能重叠的物体?实际上,这些论题使关于 GIS 的讨论从内部数据结构这个相对晦涩的概念而转到我们怎么理解地理变量这个更大众的问题上。每天,人们看到一个由物体组成的世界,然而自然过程科学对于连续变化给予更多关注。因而,面向对象的讨论威胁到使新一代与那些启蒙时代的“顽固派”相争。四叉树、计算复杂性分析和弧节点数据结构都是有持久意义的突破。许多挑战性的问题仍旧存在,比如,地形数据模型间的转换要求对地形特征有一种很好的理解,并且可能要对地形类型有特定了解。未来,我们仍需要研究出有效的存储方法和处理海量数据的能力。

由于空间数据通常是地理空间实体的概括或近似,空间数据有很多不准确性或不确定性。不确定性可能是由于固定理论术语中的模糊概念造成的,或由于统计术语中微积分的概率所造成的。对于空间数据不确定性的研究及其测定和建模,以及在空间数据操作中生

成的衍生数据的分析,这些都毫无疑问是地理信息科学的研究部分。那么,一个人在向数据库输入时如何对一个准确描述的地理变量进行编译?如何在数字描述中描述不确定因素和不准确因素?不确定性是如何从数据库蔓延至 GIS 产品的?

尽管所有地理数据在一定程度上都不确定,所有当前这一代的 GIS 都沿用了制图的一般做法,对地理物体进行描述时假定它们的位置和属性都是全部已知的;数据质量将可能不被注明。GIS 产品不确定性所引起的后果从未被统计过。医学影像分析的目的是如何从图片上判断物体的真实位置,而我们通常对于地理世界(或影像)的真实是没有任何明确概念的,因为地理实体大多是解译或概括的结果。我们需要更好的测量和描述不确定性的方法,尤其是对于 GIS 中常出现的复杂空间物体。我们需要更好的方法来将世界作为一个重叠连续性的集合处理,而不是将它放在一个严格有界的物体模型里。这些问题的大部分答案将来自于空间统计学,但地理信息专家必须提供目标和范例,并对所有目标和限制进行定义。地质统计学(特别是克里格法)可以用来研究不确定性建模。我们现在有许多常用的数字化误差模型,以及估算测量的结果(如周长和面积)。基于随机场的地理数据集的建模或衍生数据的建模可用来对 GIS 物体的不确定性进行建模。

地理信息系统经常受到这样的批评:它不能很好地关注于地图制图原理,或只是认为地图是一个简单的信息存储库,而非一个交流的工具。显示输出的设计很重要,因为它会影响到用户的世界视图。诸如像背景色的选择或相邻多边形之间的对比等看似简单的事也会产生重大的影响。电子显示的能力远高于传统制图。我们需要研究动画显示、三维显示、图标的使用和客户端的隐喻、颜色声调的持续渐变、变焦及浏览、同时访问空间的多窗口、即时系列的多元数据等。我们需要用电子媒介来获得比常规地图设计更有效的信息交流。所有这些都是地理信息科学的基础问题。

地理可视化(GVis)结合了数字制图科学的可视化,支持地理空间数据和信息的采集和分析,包括空间分析和仿真结果。GVis 使地理数据和信息的采集、分析及传输过程朝着信息可视化方向前进。与传统的制图相反,GVis 通常是用三维或四维(后者包括时间)来同用户进行交互。

空间分析可认为起源于早期的地图制图和测量,目前已渗透到社会许多领域,如景观生态学的研究、空间人口动态研究和生物地理学研究、流行病学方面的疾病区分析(著名的有 John Snow 绘制的霍乱暴发以及蔓延)。一个地理信息系统是一个可以支持很多空间分析工具,包括建立新的空间实体类的过程,分析实体位置和属性,以及利用实体的多个类别及它们间的相互关系来建模。它包括原始的几何操作,如计算多边形重心,或建立线缓冲区,以及一些更复杂的操作,如通过网络决定最短路线。尽管普遍认为分析是地理信息系统的主要中心目标,但 GIS 与空间分析的一体化的不足,以及许多 GIS 系统囿于相对简单的分析功能仍是一个主要问题。GIS 将已知的空间分析技术纳入到现有的产品这方面少有进步的原因有许多。一个明显的原因是,GIS 市场将重点放在信息管理而非分析上,因为 GIS 技术的利润市场只有相对简单的需求,强调简单的查询和制表;另一个原因是空间分析的相对模糊概念,没有一个清楚的或强有力的概念理论框架,主要瓶颈是现今对于地理数据模型低水准的理解。

GIS 和空间分析的一体化发展缓慢,经历了至少三种方式:分析功能直接被加到 GIS 中,松耦合分析、紧耦合。有效紧耦合形式下,数据可以在 GIS 和空间模块间传递,比如拓扑