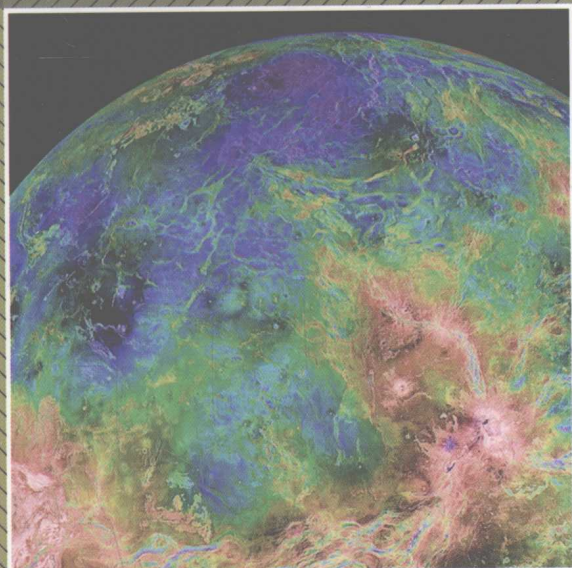


高等学校教材



[英] Michael J. de Smith
[美] Michael F. Goodchild 著
[英] Paul A. Longley

杜培军 张海荣 冷海龙 等译

地理空间分析 —— 原理、技术与软件工具 (第二版)

*Geospatial Analysis: A Comprehensive
Guide to Principle, Techniques and Software Tools
Second Edition*



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书系统讲授了地理空间分析的基本理论方法、应用技术和软件工具,共分8章。第1章介绍本书的写作背景和动机,以及全书中使用的基本概念、术语、公式、符号等知识。第2章是关于地理空间分析的概念框架,包括地理空间分析的基本单元、空间关系和空间统计。第3章对地理空间分析的历史和方法背景进行了总结。第4章是关于地理空间分析的基本单元,包括空间数据模型、几何和关系操作、查询和计算、距离操作、方向操作、格网操作和地图代数。第5章介绍数据探测和空间统计学的基本方法和常用工具。第6章是关于表面分析和场分析的介绍,包括表面建模、表面几何、流域分析、内插方法等。第7章讲授网络和位置分析的相关问题。第8章则对地理计算的方法和建模进行介绍。全书在讲授基本理论方法与应用技术的基础上,介绍了大量的软件工具,并提供了丰富的应用实例。

本书既可以作为“地图制图学与地理信息工程”、“地图学与地理信息系统”等学科研究生或地理信息系统专业高年级本科生地理空间分析、空间分析与地学建模、空间数据处理与分析等课程的教材,也可作为高等学校测绘科学与技术、地理学、信号与信息处理、地质资源与地质工程等相关学科专业学生、教师和从事空间信息科学与技术工作科技人员的工具型参考书。

Geospatial Analysis: A comprehensive guide to principles, techniques and software tools, Second Edition by Michael J. de Smith, Michael F. Goodchild and Paul A. Longley.

Original English language edition copyright 2007 © by Dr Michael J. de Smith, Professor Michael F. Goodchild and Professor Paul A. Longley.

The Chinese Translation Edition copyright © 2009 by Publishing House of Electronics Industry.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission in writing from the Proprietor.

本书简体中文版由 The Winchelsea Press 授予电子工业出版社出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2008-1959

图书在版编目(CIP)数据

地理空间分析: 原理、技术与软件工具: 第2版/(英)德史密斯(Smith, M. J.)等著; 杜培军等译.

北京: 电子工业出版社, 2009.3

(高等学校教材)

书名原文: Geospatial Analysis, A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools, Second Edition
ISBN 978-7-121-08134-7

I. 地… II. ①德…②杜… III. 地理信息系统—分析 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 008053 号

策划编辑: 谭海平

责任编辑: 李秦华

印刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本: 787×1092 1/16 印张: 24.75 字数: 633 千字 彩插: 10 页

印次: 2009 年 3 月第 1 次印刷

印数: 4000 册 定价: 59.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

译者序

每一个初涉地理信息系统（GIS）的人，都会被告知地理信息系统与其他管理信息系统或应用软件工具最大的区别就是 GIS 具有强大的空间分析功能，空间分析是 GIS 的优势所在，也是 GIS 体现其功能、解决实际问题的主要工具。在早期大多数 GIS 类教材中，讲授空间分析的内容往往比较狭窄，主要集中于缓冲区分析、叠加分析、网络分析、地形分析等基本内容，同时在一些商业软件的功能实现中往往也主要集中于这些基本模块。近年来，一方面地理信息系统与其他数据统计与分析方法不断结合，在地理空间数据分析与处理方面出现了许多新的方法、技术和模型；另一方面商业地理信息系统软件，如 ArcGIS 等提供的空间分析工具越来越多，而且一些开源软件、共享软件的快速发展也极大地促进了地理空间分析方法与技术的多元化开发与广泛应用。虽然国内外已有一些关于空间分析与建模方面的教材和著作，但与快速发展的空间分析理论、方法、技术和软件相比，仍然缺少一本能够系统、全面地讲授这一领域基础知识和最新发展的工具书。译者从事空间分析与建模、地理空间分析等方面的研究和教学多年，每次备课、制定研究计划等都需要查阅大量文献和资料，工作量大，耗时多，而且在国外文献检索方面往往存在一定局限性。

2006 年 11 月起，本书第一译者在国家留学基金委员会支持下，作为访问学者赴英国诺丁汉大学地球空间科学研究中心（Centre for Geospatial Science, the University of Nottingham）进行学术访问交流，其间参加了由地理学院 Robert Abrahart 副教授（与 OpenShaw 合著国际上第一本关于 Geocomputation 著作的另一位作者）讲授的两门研究生课程：“空间分析”和“空间建模”，并进行了深入交流。Robert Abrahart 副教授推荐了一本刚出版即获得广泛认可的工具书型教材，即由 Mike de Smith、Mike Goodchild 和 Paul Longley 等共同编写的“Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools”，通过访问该书的网站 www.spatialanalysisonline.com 对该书有了一个总体的了解，随后通过与第一作者 Mike de Smith 博士联系，获得了该书 PDF 版本网络本的阅读授权，在对该书有了较为全面系统的认识的基础上，发现该书具有几个明显不同于其他教材、著作或工具书的特点，事实上这也是促使作者翻译和引进该书的主要出发点。

首先，该书从一个全新的、系统的角度对地理空间分析体系结构和内容模块进行了整合和组织，极大地拓展了传统空间分析的内容，特别是与 AAG/UCGIS 于 2006 年推出的地理科学与技术知识体系的相关内容密切结合，同时深入全面地反映了国际上在地理空间分析和地理信息科学教育方面的最新进展。

其次，本书的信息量极其丰富，既提供了基础理论、基本方法和常用技术的介绍，更重要的是提供了大量商业、共享和开源软件包的综述和独立评价，提供了大量的应用实例，并给出了有关软件、数据和共享资源的链接，使得读者可以从本书获得更多的信息和资料，这对于教学、研究中的文献资料检索具有极其重要的应用价值。

第三，本书的出版形式也独具一格，避免了单纯印刷版本的缺点，实现了网站、电子版和低质印刷版三种出版方式，持续更新的网站和网络版使得读者可以及时获得最新的信息，网

站上的丰富资源（包括 PPT 文件和试验数据）更便于读者对地理空间分析领域的研究保持同步更新，这对于读者和用户来讲也是非常方便的。

第四，本书的作者都是国际知名的地理信息科学专家，第一作者长期在 University College London 从事教学和研究，第二作者 Mike Goodchild 是美国科学院院士、地理信息科学领域的国际学术大师，第三作者 Paul Longley 教授则是多部国际知名教材的作者，本书在内容上与 Mike Goodchild 和 Paul Longley 教授的其他著作教材也相互补充。

正是在这些因素的驱动下，第一译者 2007 年 3 月在爱丁堡大学参加会议期间与 Mike de Smith 博士进行了深入交流，征求了 Mike de Smith 博士对翻译出版本书中文版的意见，随后的引进与翻译工作得到了电子工业出版社的高度重视，出版社与 Mike de Smith 博士迅速就翻译出版事宜达成协议，并接受 Mike de Smith 博士的建议，对该书的第二版（2007 年 11 月完成）进行翻译。经过半年多的努力，本书的翻译版初稿终于完成，欣喜之余，我们也感觉压力甚大，正是在翻译过程中的不断学习、吸收和消化，让我们发现国际地理空间分析领域的理论与技术发展如此迅速，作为从事这一领域的教育者和研究人员，我们深感国内在这一领域的研究和教育还有待进一步提高和发展。

本书由中国矿业大学地理信息与遥感科学系杜培军、张海荣、冷海龙、闫志刚、陈国良等共同翻译，其中第 1 章、第 2 章由杜培军翻译，第 3 章、第 4 章由张海荣翻译，第 5 章由闫志刚、杜培军翻译，第 6 章、第 8 章由冷海龙、杜培军翻译，第 7 章由陈国良、杜培军翻译，全书翻译稿最后由杜培军审核、统校并定稿。翻译过程中得到了中国矿业大学测绘科学与技术学科首席带头人邓喀中教授的大力支持，在此表示感谢。

由于本书内容广泛，涉及许多国际上最新的专业词汇和学术用语，因此尽管我们在翻译中试图通过各种途径保证翻译的正确性、规范性，但仍然不可避免地存在不足甚至错漏之处，我们欢迎和感谢任何对本译著的意见和建议，请发送电子邮件至 dupjrs@gmail.com 或 dupjrs@yahoo.com.cn。关于“3S”方面的选题信息及本书的印刷问题，请发邮件至电子工业出版社编辑谭海平，地址为 tan02@phei.com.cn。

最后，希望本书能够为我国从事地理空间分析、地学建模与空间决策支持、地理信息科学领域研究和应用的广大专业技术人员，以及高校研究生、高年级本科生的研究、学习和工作提供支持，特别希望本书中提供的大量共享资源、开源软件等能够指导读者从丰富的网络资源中发现有用的工具。

译者

2008 年 10 月

第一版前言

本书最初是与 University College London (UCL) 地理信息科学硕士研究生空间分析课程配套的一个文档，由第一作者 Michael J. de Smith 博士提供。本书的基本设想产生于 2005 年夏天，2006 年夏天完成第一稿，为大量用户提供了丰富的内容。其中部分章节（主要包括空间分析基本模块和表面分析）完成后，作者就与 Longley 教授和 Goodchild 教授讨论了这个项目，他们欣然同意参编并为这一指南编写相应的内容。因此，本书也可以作为由 Longley、Goodchild、Maguire 和 Rhind 等完成的开拓性著作 *Geographic Information Systems and Science* (Second Edition, 2005) 的配套读物，尤其是该书讨论空间分析和建模的第 14 章到第 16 章。他们的参加也极大地方便了本书与更广泛的“空间认识”和其他空间分析计划的链接，特别是 www.spatial-literacy.org、www.ncgia.ucsb.edu 和 www.csiss.org 上提供的材料。

本书的标题中，我们使用了当前广泛应用的“地理空间分析”这一术语，以反映空间分析的广泛领域与新一代地理信息系统和相关软件的综合。本书较为独特之处是对于软件的独立评价，尤其是对那些实现不同形式的地理空间分析的、可以得到的工具集和软件包。根据我们掌握的知识，还没有任何以打印或者电子形式提供的类似资源，因此我们认为需要提供从哪里发现、如何应用选择工具集的指导性文档。本书不可避免地略去了一些主题，尤其是那些很少或没有可用的商业软件包或开源软件支持特定分析操作的内容。其他一些主题即使被包括进来，由于时间的限制及对相关软件包的了解较少，也可能只是相对简单地包含和/或提供简单的例子。

尽管我们尽全力来保证提供的信息是最新的、准确的、严密的、综合的且是具有代表性的，但我们并不宣称它是最详尽的。然而，随着软件产业和新技术发展的快速变化，以传统方式出版这一指南既不现实，也不经济。因此，本书以一种不需要马上排版印刷的方式准备。这就使得产生文字、以电子方式（网络）分发和纸质版本之间的时间差极大缩小，因此降低了成本，并保证内容尽可能是最新的。这同样也使得作品能够定期更新（电子版），但对于纸质版本是不可能的。我们欢迎读者对本书所涉范围、内容和相关素材（如案例研究）进行评述（通过本书网站 www.spatialanalysisonline.com 提交）。

Michael J. de Smith 于爱丁堡
Michael F. Goodchild 于圣巴巴拉
Paul A. Longley 于伦敦
2006 年 9 月

第二版前言

本书源于 University College London (UCL) 地理信息科学硕士研究生课程空间分析模块的一个文档, 由主要作者 Michael J. de Smith 博士提供。跟往常一样, 本书从 2005 年夏天的最初想法, 到 2006 年夏天完成第一稿, 已成为被大量用户使用且内容丰富的指南。书中部分章节 (主要是那些覆盖空间分析基本模块和表面分析的章节) 完成后, Michael J. de Smith 博士与 Longley 教授和 Goodchild 教授讨论了该项目。他们欣然同意为本书提供相应的内容。因此, 本书也可看做是由 Longley、Goodchild、Maguire 和 Rhind 等完成的先导性著作 *Geographic Systems and Science* (Second Edition, 2005) 的配套读物, 尤其是该书讨论空间分析和建模的第 14 章到第 16 章。他们的参予也极大地方便了本书与更广泛的“空间认识”和空间分析计划的链接, 其中最重要的是由美国地理学家学会在网站 www.aag.org/bok/ 上提供的地理信息科学与技术知识体系材料, 以及在 www.spatial-literacy.org、www.ncgia.ucsb.edu 和 www.csiss.org 上提供的空间教育大纲。

本书的第一版以三种形式出版, 即纸质图书、网络版和电子图书 (PDF)。这三种形式已被证明是非常流行的, 从而鼓励我们试图进一步改进和扩展素材及相关的资源。许多学者和行业专家为第一版提供了有用的评价和建议, 全球一些地方的大学已采用本书和配套的资源设置了相关课程。2007 年, 基于这些材料的研讨会先后在爱尔兰、美国、非洲、意大利和日本召开, 而且本书新版的中文版翻译计划正在进行之中。

对于本书的标题, 我们仍然保留了“地理空间分析”这一术语, 以反映空间分析的广泛范围与新一代地理信息系统和相关软件的综合。本书第二版中, 我们增加了很重要的一章, 内容涉及地理计算方法 (Geocomputational, GC)。这反映了此类技术在主流研究和通用商业软件包中不断扩展的应用。第二版也增加了最新出版的 AAG/UCGIS *Geographic Information Science and Technology Body of Knowledge (BoK)* 对分析方法和计算基础领域中地理计算组成部分的多数模块, 成为本书的一个重要部分。此外, 第二版还增加了关于影像分类的新材料, 以及讨论启发式算法和元启发式算法的小节。对已有的章节, 我们也进行了较小的修改和补充, 以强化或阐明已发表的材料。与该过程相对应, 我们还制作了一个更新的基于每章内容的 Powerpoint 演示文档模板和一个相关的数据集文件, 读者可以通过网站 www.spatialanalysisonline.com 获得。

本书较为独特的方面是对于软件的独立评价, 尤其是对那些实施不同形式地理空间分析的、可以得到的工具集和软件包的独立评价。就我们所了解的, 目前还没有任何以纸质或电子形式提供的类似资料。我们仍然深信需要提供从如何发现工具集至如何应用选择工具集的指导性文档。本书不可避免地略去了一些主题, 尤其是那些很少或没有可用商业软件包或开源软件支持的特定分析操作主题。其他一些主题即使被包括进来, 由于时间的限制及对相关软件包的了解较少, 也可能只是相对简单地包含和/或提供简单的例子。

尽管我们尽全力来保证提供的信息是最新的、准确的、严密的、综合的和具有代表性的, 但并不宣称它们是最详尽的。随着软件产业的快速变化和新技术的出现, 以传统方式出版这些材料既不现实, 也不经济。因此, 本书以一种不需要马上排版印刷的方式准备。这就使得产生文本、以电子方式 (网络、电子书) 分发和打印格式之间的时间差极大地缩小, 从而保证了本

书尽可能体现这一流行趋势的，同样也使得本书能够有规律地进行更新（电子版），嵌入外部资源和供应商的超链接；因此，利用本书的这些版本，将可能得到动态的、广泛的资源。这种方法当然也有一些微小的不足：为了支持网络版中的主题选择，与常规情况相比，需要提供更多的各章小节以及术语的关键词；在正文的不同位置要谨慎地使用符号体系和嵌入的图形符号，以保证基于网络的输出能够在一系列网络浏览器上正确显示希腊字母和其他符号；正文中的参考文献和图表中的颜色对于网络版和电子版（PDF）是可以利用的，但对于纸质版则往往是无法使用的。

与前一版一样，我们欢迎读者对本书所涉范围、内容和相关素材（如案例研究）进行评述（通过本书网站 www.spatialanalysisonline.com）。感谢所有网站、电子版和纸质书籍的用户，感谢他们帮助我们完成第二版的所有评论和建议。

Michael J. de Smith 于爱丁堡
Michael F. Goodchild 于圣巴巴拉
Paul A. Longley 于伦敦
2007 年 11 月

致 谢

本书中显示的许多图形，特别是第 6 章中的图形，都是用英国的 Ordnance Survey 通过 EDINA Digimap/JISC service 所提供的数据生成的，这些数据都具有版权 (© Crown Copyright)。

在此，作者要对以下人员表示衷心感谢：D. Martin 教授同意我们使用图 4.18 和图 4.19；K. McGarigal 教授同意我们在 5.3.4 节中使用关于 Fragstats 的总结；冰岛大学工程系的 H. Kristinsson 博士同意我们使用图 4.60；伦敦大学学院交通研究中心的 S. Ran 教授同意我们使用图 6.24；European Commission Joint Research Centre Directorate (DG JRC) 的 G. Dubois 博士对第 6 章部分内容的评论和同意我们使用来自 AI-Geostats 网站的早期材料（现已更新）；感谢 F. O'Sullivan 同意我们使用图 6.38；感谢日本东京大学空间信息科学中心的 A. Okabe、K. Okunuki 和 S. Shiode 等教授同意我们使用他们的 SANET 软件和实例数据；感谢希腊大学的 S. A. Sirigos 教授同意我们在扉页中使用他的 Tripolis 数据集，同时他还为我们提供了 S-Distance 软件并对第 7 章提出了修改意见。第 8 章的 8.1 节和 8.2 节源于 Christian Castle 和 Andrew Crooks 在 Economic and Social Research Council (ESRC)、Camden Primary Care Trust (PCT) 和 the Greater London Authority (GLA) Economics Unit 经费支持下研究和编写的材料。封面设计和网站入口页面设计都由 Alex Singleton 完成。

我们尽最大努力来感谢和保证本书中使用的所有材料的知识产权。任何需要对这些问题进行查询的个人，可以通过本书网站 www.spatialanalysisonline.com 与作者联系。

目 录

第 1 章 绪论和术语	(1)
1.1 动机和媒介	(1)
1.1.1 本书综述	(1)
1.1.2 空间分析、地理信息系统和软件工具	(1)
1.1.3 目标读者和范围	(4)
1.2 软件工具和配套材料	(4)
1.2.1 GIS 和相关软件工具	(4)
1.2.2 建议阅读材料	(8)
1.3 全书结构	(10)
1.4 术语和缩写	(10)
1.4.1 定义	(11)
1.5 常用单位和符号	(14)
1.5.1 符号	(14)
1.5.2 统计度量和相关公式	(15)
第 2 章 空间分析的概念框架	(21)
2.1 地理空间视角	(21)
2.2 基本单元	(21)
2.2.1 地点	(21)
2.2.2 属性	(22)
2.2.3 对象	(23)
2.2.4 地图	(25)
2.2.5 地点的多种属性	(25)
2.2.6 场	(25)
2.2.7 网络	(26)
2.2.8 密度估计	(26)
2.2.9 细节、分辨率和尺度	(26)
2.2.10 拓扑	(27)
2.3 空间关系	(28)
2.3.1 共同位置分析	(28)
2.3.2 距离和方向	(28)
2.3.3 多维尺度变换	(29)
2.3.4 空间背景	(29)
2.3.5 邻域	(29)

2.3.6	空间异质性	(30)
2.3.7	空间依赖性	(30)
2.3.8	空间采样	(30)
2.3.9	空间内插	(31)
2.3.10	平滑和锐化	(31)
2.3.11	一阶和二阶过程	(31)
2.4	空间统计学	(32)
2.4.1	空间概率	(32)
2.4.2	概率密度	(32)
2.4.3	不确定性	(33)
2.4.4	统计推断	(33)
2.5	空间数据基础设施	(34)
2.5.1	Geoportals	(34)
2.5.2	元数据	(35)
2.5.3	互操作	(35)
2.6	小结	(35)
第3章	历史和方法论背景	(36)
3.1	历史背景	(36)
3.2	方法背景	(38)
3.2.1	作为过程的空间分析	(38)
3.2.2	分析方法	(39)
3.2.3	空间分析与PPDAC模型	(41)
3.2.4	PPDAC不断变化的背景	(47)
第4章	空间分析的基本模块	(49)
4.1	空间数据模型和方法	(49)
4.2	几何及相关操作	(50)
4.2.1	矢量数据集的长度和面积	(50)
4.2.2	栅格数据集的长度和面积	(52)
4.2.3	表面积	(54)
4.2.4	曲线光滑与点的剔除	(56)
4.2.5	质心和中心	(58)
4.2.6	点(对象)在多边形内	(63)
4.2.7	多边形分解	(64)
4.2.8	形状	(65)
4.2.9	叠置和组合操作	(66)
4.2.10	区域插值	(69)
4.2.11	分区及重新分区	(71)
4.2.12	分类和聚类	(75)
4.2.13	边界和区域隶属度	(85)

4.2.14	镶嵌和三角剖分	(91)
4.3	查询和计算	(95)
4.3.1	空间选择和空间查询	(95)
4.3.2	简单计算	(96)
4.3.3	比值、指数、归一化和标准化	(99)
4.3.4	密度、核和占有率	(102)
4.4	距离操作	(109)
4.4.1	度量	(111)
4.4.2	成本距离	(115)
4.4.3	网络距离	(122)
4.4.4	缓冲区分析	(123)
4.4.5	距离衰减模型	(125)
4.5	方向操作	(128)
4.5.1	方向分析概述	(128)
4.5.2	线数据集的方向分析	(128)
4.5.3	点数据集方向分析	(133)
4.5.4	表面方向分析	(134)
4.6	格网操作和地图代数	(135)
4.6.1	单格网和多格网操作	(135)
4.6.2	线性空间滤波	(136)
4.6.3	非线性空间滤波	(139)
4.6.4	腐蚀和膨胀	(139)
第 5 章	数据探测与空间统计学	(141)
5.1	统计方法与空间数据	(141)
5.1.1	描述性统计	(142)
5.1.2	空间采样	(142)
5.2	探测性空间数据分析	(147)
5.2.1	EDA、ESDA 和 ESTDA	(147)
5.2.2	异常值探测	(148)
5.2.3	交叉表和条件分区分布图	(150)
5.2.4	ESDA 和地图化点数据	(152)
5.2.5	数据的趋势分析	(153)
5.2.6	聚集搜索	(154)
5.3	基于格网的统计	(155)
5.3.1	基于格网的统计概述	(155)
5.3.2	交叉表化格网数据	(156)
5.3.3	栅格数据集的样方分析	(157)
5.3.4	景观测度	(159)
5.4	点数据集和距离统计	(165)

5.4.1	基本距离派生统计量	(165)
5.4.2	最近邻方法	(165)
5.4.3	热点和聚集分析	(171)
5.5	空间自相关	(174)
5.5.1	自相关、时间序列和空间分析	(174)
5.5.2	全局空间自相关	(175)
5.5.3	局部空间关联指标	(185)
5.5.4	自相关指数的显著性检验	(187)
5.6	回归方法	(188)
5.6.1	回归概述	(188)
5.6.2	简单回归和趋势面建模	(192)
5.6.3	地理加权回归	(194)
5.6.4	空间自回归和贝叶斯建模	(197)
5.6.5	空间滤波模型	(202)
第 6 章	表面和场分析	(204)
6.1	表面建模	(204)
6.1.1	测试数据集	(204)
6.1.2	表面和场	(204)
6.1.3	栅格模型	(206)
6.1.4	矢量模型	(208)
6.1.5	数学模型	(209)
6.1.6	统计模型和分形模型	(210)
6.2	表面几何	(211)
6.2.1	梯度、坡度和坡向	(211)
6.2.2	剖面与曲率	(215)
6.2.3	方向导数	(219)
6.2.4	表面上的路径	(220)
6.2.5	表面平滑	(220)
6.2.6	坑的填充	(221)
6.2.7	体积分析	(222)
6.3	可视性分析	(222)
6.3.1	视域和 RF 传播	(223)
6.3.2	视线	(225)
6.3.3	Isovist 分析	(226)
6.4	分水岭和排水系统	(227)
6.4.1	分水岭和排水概述	(227)
6.4.2	排水建模	(227)
6.4.3	D-infinity 模型	(228)
6.4.4	排水系统模型案例分析	(228)

6.5	格网化、内插和等值线生成	(230)
6.5.1	格网化和内插概述	(230)
6.5.2	格网化和内插方法	(232)
6.5.3	等高线生成	(235)
6.6	确定性内插方法	(236)
6.6.1	距离倒数加权	(237)
6.6.2	自然近邻法	(239)
6.6.3	最近邻法	(240)
6.6.4	径向基和样条函数	(240)
6.6.5	改进的 Shepard	(242)
6.6.6	利用线性内插的三角剖分法	(243)
6.6.7	使用似样条内插的三角剖分	(243)
6.6.8	矩形或双线性内插	(243)
6.6.9	剖面法	(244)
6.6.10	多项式回归	(244)
6.6.11	最小曲率	(244)
6.6.12	移动平均法	(244)
6.6.13	局部多项式	(244)
6.6.14	拓扑格网/栅格拓扑	(245)
6.7	地统计内插方法	(245)
6.7.1	核心概念	(245)
6.7.2	克里金内插	(256)
第 7 章	网络和位置分析	(263)
7.1	网络和位置分析简介	(263)
7.1.1	网络和空间位置分析概述	(263)
7.1.2	相关术语	(263)
7.1.3	源数据	(264)
7.1.4	算法和计算复杂度理论	(265)
7.2	网络和位置分析的关键问题	(266)
7.2.1	网络分析综述	(266)
7.2.2	启发式和元启发式算法	(273)
7.3	网络结构、最优路线和最优行程	(281)
7.3.1	最小生成树	(281)
7.3.2	Gabriel 网络	(282)
7.3.3	Steiner 树	(284)
7.3.4	最短路径问题	(285)
7.3.5	行程、TSP 问题和交通工具行程安排	(289)
7.4	选址和服务区问题	(293)
7.4.1	选址问题	(293)

7.4.2	拉格朗日 p 中心和 p 中值问题	(296)
7.4.3	服务区	(300)
7.5	弧路线安排	(302)
7.5.1	网络遍历问题	(302)
第 8 章	地理计算方法和建模	(305)
8.1	地理计算概述	(305)
8.1.1	地理计算模型	(305)
8.1.2	地理信息系统中的动态过程建模	(306)
8.2	地理模拟	(311)
8.2.1	地理模拟简介	(311)
8.2.2	元胞自动机	(311)
8.2.3	智能体和基于智能体的建模	(314)
8.2.4	基于智能体的模型的应用	(316)
8.2.5	基于智能体的模型的优势	(318)
8.2.6	基于智能体模型的局限性	(320)
8.2.7	解释或预测	(320)
8.2.8	开发一个基于智能体的模型	(322)
8.2.9	用于基于智能体建模的模拟/建模系统类型	(323)
8.2.10	选择模拟/建模系统的指导意见	(324)
8.2.11	用于基于智能体建模的模拟/建模系统	(325)
8.2.12	基于智能体模型的检验和校正	(329)
8.2.13	基于智能体模型输出的验证和分析	(330)
8.3	人工神经网络	(332)
8.3.1	人工神经网络介绍	(332)
8.3.2	径向基函数网络	(343)
8.3.3	自组织网络	(344)
8.4	遗传算法和进化计算	(350)
8.4.1	遗传算法介绍	(350)
8.4.2	遗传算法的组成	(351)
8.4.3	遗传算法应用实例	(355)
8.4.4	进化计算和遗传规划	(358)
附录	网络链接	(359)
参考文献		(364)
后记		(380)

第1章 绪论和术语

1.1 动机和媒介

写作本书的目标是在地理空间分析概念和方法方面深入全面（但不必面面俱到）、软件工具方面具有代表性和独立性，而且最重要的是在应用和实现上都具有实用性。当然，我们也认识到在当前的条件下，试图提供一部能够满足各种用户需求的、标准化的且面向特定学科的教科书是不合适的。有鉴于此，本书出版方式的一个重要创新就是传播材料形式和途径的多样化和广泛性。

1.1.1 本书综述

我们在本书中力图覆盖当前广泛应用的地理信息系统和相关软件中提供的空间分析及有关建模技术的全部内容。尽管本书多数讨论中仍沿用更常见的空间分析（spatial analysis）这一术语，事实上这些技术和工具往往被统称为地理空间分析（geospatial analysis）。

通过网站 www.spatialanalysisonline.com 可以访问本书的交互式网络版本，也可以获得本书目录和部分示例内容的 PDF 文档。两种信息都保持经常性更新。互联网是目前全社会最主要的信息交流平台，大多数 GIS 用户都习惯于从网络上搜索易于针对特定需求定制的素材和信息。对于这些用户，我们的目标就是提供一个独立、可靠、权威的第一平台，以期能够全面覆盖新用户需求的理念、技术、软件和应用材料。

希望对本书覆盖主题的背景有深入了解的读者请参阅 1.2.2 节。需要查找地理空间分析软件工具应用实例的用户可以参阅 1.1.2 节。

应用是 GIS 发展的驱动力，Longley, Goodchild, Maguire and Rhind et al. (2005) 对此有很好的介绍 (2005, Chapter 2, “A gallery of applications”)。同样，本书配套网站提供的材料也高度重视应用。其中最主要的是一系列伦敦及其周边地区面向特定部门的示例研究的 London GIS Casebook，以及一个交互式的邻域分析工具 London Profiler。这些示例包括一系列应用的详细资料，如健康与福利、应急与安全管理、环境工程与规划、教育、企业发展、零售业等。

1.1.2 空间分析、地理信息系统和软件工具

尽管过去半个世纪以来空间分析技术的内容得到了发展，但许多内容仍然局限于特定的范围，而另外一些内容则由于未能在当前主流 GIS 产品中得到实现而被忽略。这一领域正处在快速变化之中，越来越多的 GIS 软件包正在包含各种分析工具作为标准内置模块或可选工具包、插件或分析工具。多数情况下，这些工具由初始软件供应商（商业机构或协作的非商业开发团队）提供，然而其他情况下，也有一些工具由第三方开发提供。后来，许多产品都提供了用于开发个人分析工具或其他工具的软件开发工具包（Software Development Kits, SDKs）、编程语言和语言支持、脚本工具及特殊的用户界面。

本书覆盖了大量提供地理空间分析功能的软件工具的应用实例。此外，部分章节还提供了这些工具的综述信息及软件提供商的网站链接。除了目前包括的章节，本书还强调如下内容：

- GIS 和相关软件（参见表 1.1）
- 软件产品样本
- 软件性能
- 网络分析软件
- 选择模拟/建模系统指南
- 基于智能体的模拟/建模系统
- 引用的主要软件产品（网站）

商业软件产品通常不提供源代码访问或所用算法的细节信息，它们一般提供作为程序基础的书籍或文章的引用，以及配套的在线帮助、描述参数和应用白皮书。这意味着对一个给定数据集使用一个软件包进行处理产生的结果，一般不能和任何其他软件包或人工编程生成的结果进行精确匹配。导致这种不一致性的原因主要包括：不同软件包软件体系的差异；用于实现某一方法的算法差异；源数据或解译过程中的误差；编码误差；不同 GIS 软件包数据模型、存储和操作信息方法的不一致性；特殊情况的不同处理（如漏值、边界、邻近度、干扰、距离计算等）。

非商业软件包有时会提供一些或全部分析功能的源代码和测试数据，但需要注意“非商业”通常并不意味着用户可以下载到全部源代码。源代码为理解、复制和进一步开发提供强有力的支持。这些软件通常也提供与功能有关的已知缺陷和限制，尽管一些商业软件也能提供这类信息，但通常都不是非常透明。从这个意义来讲，非商业软件能够比许多商业软件更好地满足科学研究的严格要求，但同时非商业软件的文档资料、培训工具、跨平台测试和技术支持往往都非常有限，因此对用户和系统管理员有更高的要求。多数情况下，开源 GIS 软件或类似的非盈利 GIS 软件通用性都比较差，只是专注于某一特定形式的空间表达（如格网或栅格空间模型）。与一些商业软件类似，这些工具也可能只为特定的应用领域设计，如强调水文学或传染病学方面的问题。

选择软件工具的过程要求我们提出这样的问题：(1) “地理空间分析技术意味着什么？”；(2) “我们需要考虑 GIS 软件的什么功能？”。一定程度上，如果准备自行选择 GIS 软件，第二个问题更容易回答。针对目的，我们主要关注那些提供地理信息系统功能的产品，至少要支持栅格（基于格网）和/或矢量（基于点/线/多边形）数据的二维制图（显示和输出），并具有一定的基本地图操作工具。本书中的评论主要针对一系列广泛应用的产品，或那些具有大多易于使用的分析工具的产品。这就使得我们要超出纯 GIS 的范畴。例如，需要用到一些不直接提供制图功能但具有通用 GIS 地图格式输入/输出接口的软件包（如 Crimestat），一些包括一定地图工具但其主要目的是空间或时空数据探测分析的软件（如 GeoDa、GS+、STARS），以及一些包含有地图功能的通用和专业分析工具（如具有地图工具箱的 MATLAB，具有 GeoBUGS 的 WinBUGS，这些工具及其他示例软件的详细信息参见表 1.1）。

因此两个问题中更困难的是第一个——“什么可以被视为地理空间分析”。从概念上讲，地理空间分析指所有能够用于二维及更高维框架下与地表过程有关的技术的子集。如果这一框架的位置或范围发生变化，或者目标在其中重新定位，地理空间分析的结果也将变化；如果不是这样，即任何位置结果都一致，说明位置并不重要，因此采用常规的非空间分析技术更为简单易行。

许多 GIS 产品在一个非常窄的范围内使用（地理）空间分析这个词。在基于矢量的 GIS

中, 空间分析包括一些诸如地图叠加(将两个或多个地图或图层按照预先的规则进行合并)、简单缓冲区(确定一个或多个特征在地图上特定距离内的区域)和类似的基本操作。这些反映了 OGC “简单特征定义” 中空间分析一词的应用。对于广泛应用于环境科学和遥感领域的基于栅格的 GIS, 这些基本操作包括一系列应用于一幅或多幅地图(或图像)单元的操作, 如滤波、地图代数操作等。这些技术涉及按照简单的规则处理一个或多个栅格图层以生成一个新的图层, 如将某一单元的值用其邻域单元值组合代替, 或对于两个配准的栅格数据集中每个格网单元计算其值的和或差。在通用术语“空间分析”中也往往包括描述性统计, 如单元数量、均值、方差、最大值、最小值、累积值、频率, 以及一系列其他度量和距离计算。

然而, 尽管一些 GIS 专家频繁使用许多功能, 这里只包含了一些基本工具。针对以上这个初步的功能集合, 需要增加一系列专门用于空间数据和时空数据分析的统计技术(如描述性技术、探测性技术、解释性技术和预测性技术)。尽管这些技术最初起源于环境和生命科学, 特别是生态学、地质学和流行病学中的问题, 但却在现今的社会科学、医学和刑事学研究中具有重要意义。另外需要指出的是, 空间统计学很大程度上是一门观测科学(如天文学)而不是一门试验科学(如农学或药学)。地理空间科学的这一方面对于分析具有重要的影响, 尤其是对于空间问题中采用的大量统计方法。

将地理空间分析定义为二维地图操作和空间统计学, 对于我们的目标来说仍然是局限的, 还需要考虑其他非常重要的领域, 包括: 面分析——尤其是分析自然表面的性质, 如梯度、坡向和可视性, 以及分析类似面数据的“场”; 网络分析——对自然和人工网络中的属性进行检查, 以了解网络内和网络间“流”的行为, 以及位置分析。基于 GIS 的网络分析可以解决一系列实际问题, 如路线选择、设施定位及其他涉及“流”的问题(如水文学)。在许多情况下, 与网络相关的位置问题能够使用为网络分析设计的工具予以解决, 但在其他一些情况下, 已有的网络往往关联性很小; 甚至没有关联性, 或者不可能包含在建模过程中。一些没有严格限制为网络类的问题, 如新道路或管线选线、区域仓库定位、移动电话基站选择或乡村社区医疗中心选择等, 可以在不参考已有物理网络的情况下得到有效分析(至少可以进行初步分析)。平面上的位置分析同样适用于没有网络数据集或网络数据集太大或太昂贵而无法应用的情况, 或者位置算法非常复杂或涉及大量可选择参数的检查与模拟。

地理空间分析另一个重要的方面是可视化——图像、地图、图表、表格、三维静态和动态视图, 以及相关表格数据的生成和操作[参见 Slocum et al. (2008)]。越来越多的 GIS 软件包提供一系列这类工具, 提供动态或旋转视图, 在 2.5 维表面表示上覆盖图像, 提供动画和飞行浏览、时空可视化的动态链接和刷新。最后一类工具的开发最慢, 主要体现在尽管发展迅速, 但却仍然只能获得有限范围的适用兼容数据集和有限的分析方法。三维几何和图像-现实可视化正在成为现代系统的**必备要素**, 在未来几年中可以期待这类工具的快速发展。这些工具都强化了地理空间分析全过程中所使用的核心工具(数据解释、模式和关系识别、模型构建、结果通信)。

GIS 软件, 特别是在商业界, 主要是被需求和应用驱动的, 集中体现为投资的意愿程度。因此, 在很大程度上, 可得到的功能往往反映了商业和资源的现实情况(包括处理和显示硬件改进的发展, 高质量数据集的可获得性), 而不是地理空间科学的发展现状。事实上, 许多可用的功能往往在软件包中仅仅得到简单提供, 由于设计者和程序员更易于实现它们, 尤其是那些采用面向对象编程和数据模型的工具更是如此。例如, 一个为易于理解的应用需求而设计的多边形特征提供的操作, 可能也方便应用于其他特征(如点集、多义线), 尽管它们对这一功