

地球信息科学基础丛书

遥感数据的不确定性问题

承继成 郭华东 史文中 等 编著



科学出版社
www.sciencep.com

地球信息科学基础丛书

遥感数据的不确定性问题

承继成 郭华东 史文中等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

从数据中的“误差”研究到“不确定性”(uncertainty)研究是学术领域的一次飞跃。在遥感数据中,不确定性问题不仅普遍存在,而且对遥感理论研究和应用都有重大影响。书中重点分析了遥感过程中的不确定模型、度量、尺度效应、传递、可视化、定量分析及其减少不确定性的方法等,对减少遥感数据中的不确定性,提高数据的质量与应用效果具有重要意义。

本书可供从事遥感或应用遥感研究的科技人员参考,也可作为高校相关专业的师生教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数据的不确定性问题/承继成 郭华东 史文中等编著. —北京:科学出版社,2003

(地球信息科学基础丛书)

ISBN 7-03-012046-9

I. 遥… II. ①承…②郭…③史… III. 遥感数据-研究 IV. TP701

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 070479 号

责任编辑:彭胜潮 吴三保/责任校对:张怡君

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年1月第一次印刷 印张:16 1/2

印数:1—4 000 字数:366 000

定价:33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

编写人员简介

承继成：北京大学教授，国立莫斯科大学理学博士。曾获国家科技进步奖二等奖及部委级科技一等奖 6 项。先后出版有《流域地貌的数学模型》(科学出版社, 1986)、《国家信息基础设施》(清华大学出版社, 1999)、《数字地球导论》(科学出版社, 2000)、《面向信息社会的区域可持续发展》(商务印书馆, 2001)、《数字城市纵横》(城市出版社, 2002)、《数字城市——理论、方法和应用》(科学出版社, 2003)等著作及 100 余篇论文。

郭华东：中国科学院遥感应用研究所研究员，博士生导师。发表论文 150 余篇，著作 8 部。曾获国家科技进步二、三等奖 3 项，中国科学院自然科学一等奖一项，中国科学院科技进步特等及一、二、三等奖 5 项。1996 年被授予国家有突出贡献中青年专家称号，2000 年被国务院授予全国先进工作者称号。曾任中国科学院遥感应用研究所副所长(1988~1996)、所长(1997~2002)、中国科学院遥感信息科学重点实验室主任(1994~2002)、国家“863”计划 308 主题专家组组长(1996~2000)等职，是中国科技大学、南京大学、浙江大学、中国科学院研究生院、北京航空航天大学等 7 所大学兼职教授。

史文中：德国澳斯那布吕克大学博士，现任香港理工大学建设与地政学院土地测量及地理资讯学系副教授，地球资讯科技研究中心主任，香港地理信息系统学会主席及国际摄影测量与遥感学会 IV-1 工作组组长。曾于香港、德国、荷兰、澳大利亚以及中国大陆从事 GIS 和遥感领域研究工作。研究兴趣包括：GIS、遥感、虚拟现实、空间数据质量、GIS 中三维及动态数据模型、GIS 的设计与开发、GIS 与遥感的集成、高分辨卫星影像中的特征提取。已发表了 180 (包括国际 GIS 与遥感领域主要刊物上) 余篇论文及若干个人专著，应邀为 GIS 与遥感领域的主要国际刊物审稿或担任客座主编。

邬 伦：教授、博士生导师。1990 年北京大学城市与环境学系获博士学位，1990~1992 年北京大数学系博士后、讲师。1992 年 10 月至 1997 年 8 月，北京大学城市与环境学系 GIS 室主任、副教授。1997 年 9 月晋升为教授，1998 年 4 月遴选为博士生导师。共负责和参加国家科技攻关和国家重大项目十余项，获得国家教委、中国科学院等各项奖 5 项。已发表各种论著 62 篇/种。主要从事遥感基础理论与地理信息系统理论、方法、应用的研究。

高振纪：北京大学在读博士生。1998~2001 年获中国地质大学(北京)理学硕士学位；现为北京大学地球与空间科学学院(遥感与地理信息系统研究所)在读博士生，主要从事地理信息系统方法研究。

董庆: 博士,中国科学院遥感应用研究所副研究员。主要研究领域为微波遥感、海洋遥感和地理信息系统等。一直从事地理信息系统(GIS)、海洋遥感、海洋微波遥感及其应用研究,在国内率先开展极化 SAR 在海洋表面散射机制和成像方面的研究。参加国家攻关项目、国家攀登计划、“921”、国家自然科学基金等项目研究。在该领域发表论文 10 多篇,参加 3 本专著的编写工作。

赵永超: 博士,中国科学院遥感应用研究所副研究员。主要从事高光谱遥感研究。1994 年毕业于北京大学地质学系,1999 年获北京大学地质学系岩石、矿物、矿床学专业博士学位后到中国科学院遥感应用研究所做博士后从事高光谱遥感研究,2001 年出站后继续留所工作。研究方向有:高光谱遥感中典型地物目标的光谱特性和信息提取模型研究;高光谱图像预处理技术和信息提取技术;与高光谱遥感相关的其他一些科学问题。

范闻捷: 女,讲师。1997 年获河南农业大学农学硕士学位,2000 年获北京大学城市与环境学系理学博士学位。现主要研究方向为热红外遥感、定量遥感。

王锦地: 现任北京师范大学遥感研究中心教授,长期从事多角度遥感基础理论和实验研究,主持多项研究项目,发表论文数十篇。

金江军: 1995~1999 年在西北工业大学全球定位系统专业学习,1999~2002 年在中国空间技术研究院攻读“导航、制导与控制”专业方面的学位,自 2002 年 7 月起,在北京大学 Cyber GIS 实验室等部门从事北京朝阳区政府电子政务项目技术支持,面向奥运城市突发事件快速响应应急系统研究,虚拟现实地理信息系统软件平台开发,数字国土空间元数据管理系统项目开发等工作。

刘春: 同济大学测量与国土信息工程系讲师,2000 年 12 月于同济大学获得工学博士学位,并于 2001 年 12 月起于同济大学海洋科学博士后流动站从事博士后工作,期间在香港理工大学从事研究助理工作。目前参加多个国家自然科学基金项目以及国家“863”项目的子课题研究,完成并已经鉴定通过上海市科委重点项目中的子课题研究,并组织完成多个 GIS 应用系统开发项目。主要研究方向为 GIS 数据精度分析与基础理论研究;矢量 GIS 应用系统开发;数字城市、电子地图建立以及空间数据框架和基础设施建设;ITS 基础地理信息系统的建立和研究等内容。已在国内外发表论文 30 余篇。

刘大杰: 同济大学测量与国土信息工程系教授、博士生导师。我国著名的大地测量学家,现任同济大学学报编委,上海市测绘学会副理事长。曾担任中国测绘学会理事、测绘学报编委以及中国 GPS 协会理事等职。组织完成多项国家自然科学基金项目和省部级项目,目前负责参与国家“863”项目的研究,负责参与上海多个区的房地系统的数据库建立和数据质量的控制,指导上海周边多个城市的数字城市、电子地图建立以及空间数据框架和基础设施建设工作。主要研究方向为空间大地测量、GIS 空间数据精度的度量与质量控制。已于国内外发表论文百余篇。

致谢与说明

本书是在中国科学院知识创新工程重点方向项目“数字地球基础理论问题研究 (KZCX2-312)”、香港理工大学 RGC of Hong Kong (Project 3 zb40)和“地球表面时空多变要素的定量遥感理论及应用”项目资助下完成的,编写过程中得到了陈述彭院士、徐冠华院士、童庆禧院士和李小文院士的大力支持和帮助,在此一并致谢!

前 言

数据是构建科学的基础。不仅自然科学是建立在数据的基础上的,而且社会科学也需要大量数据来做佐证。科学离不开数据,数据是对客观世界的抽象描述,它是客观世界的现象或过程的性质、特征和状态的表征,是信息的载体。由于客观世界具有复杂性和不确定性特征,所以数据也具有相应的复杂性和不确定性特征。复杂性或不确定性主要表现在正确与错误并存,信息与“噪声”并存,正常与变异并存。尽管这种错误、变异或“噪声”所占的比例不大,但它们的存在,影响了数据的质量,出现了数据质量问题。如果运用有质量问题的数据进行分析,则结论可能是不正确的,至少是部分不正确的。根据不正确的结论,可能会产生误导作用,甚至会产生严重的后果。数据质量问题是客观存在的,也是很普遍的。

数据中存在误差,已经早为人们所知,并且对其非常重视。如测绘数据中的误差问题,已经有近 100 年的研究历史。关于误差理论、误差校正方法等也有了很多著作,但现在又出现了新问题。过去是通过测量而获得的矢量数据,或者是通过航空摄影测量而获得的像点数据并制成矢量地图,而现在是遥感数据,是栅格数据,现在运用栅格数据向矢量数据转换就出现了新的误差问题。加上遥感数据种类繁多,新的数据质量问题也相应地增加了,所以再一次引起人们的重视。更为重要的是,人们不仅发现了新的误差问题,而且还发现了数据的模糊性和变异性特征,并且是固有的,不是人为的。人们发现了大量数据中同时存在着传统的误差问题和数据固有的模糊性和变异性特征问题,并主张称它们为“数据的不确定性”问题。

遥感数据中不但存在辐射误差和几何误差,需要进行几何校正和辐射校正,而且普遍存在着“同物异谱”和“同谱异物”现象。它们主要是由于不同地物光谱存在的固有模糊性和变异性特征所决定的。同时遥感数据的混合像元的作用也增加了影像数据的模糊性特征。因此,遥感数据包括的固有不确定性特征主要由地物光谱固有不确定性和遥感技术固有不确定性两者共同组成。

遥感定量研究是遥感发展的必然,而从遥感数据数量研究到遥感数据质量研究的转变则是一次巨大的飞跃。

关于空间数据的不确定性,尤其是遥感数据的不确定性问题,越来越受到广泛的重视。一些重要的国际学术机构或组织把空间数据的不确定性问题作为 21 世纪的重大研究课题。

1996 年美国地理信息科学大学研究中心(UCGISCI)发表的“地理信息科学的优先研究领域”文中提出了“地理数据和基于地理信息系统分析中的不确定性”问题作为重中之重研究课题。

1998 年美国地理信息和分析国家中心(NCGIA)在制订研究计划中提出了“21 世纪三大前沿研究课题”:① 空间数据精度和不确定性;② 空间认知;③ GIS 建模与表达。把

数据的不确定性列为第一,可见对它的重视。

英国国家经济与社会研究委员会(ESRS)在制订今后的研究计划中提出了“地理信息系统中的误差传播”作为重点课题之一。

荷兰空间数据分析专家中心(NEXPRI)在制订研究规划中把“空间分析理论——空间操作中的误差传播”列为重点研究课题。

Goodchild 和 Dubue (1987)指出,没有以准确数据为基础的 GIS 分析的结论是不正确的,至少是不健全的,所谓“Garbage in and garbage out”。而遥感数据是 GIS 的主要数据来源之一。

Alber(1987)指出,现有的 GIS 不能处理数据、模型和空间操作过程中的不确定性问题,虽然它可以以相当快的速度生产各种表面上看来是精美无比的产品,但实际上是一堆废物。GIS 的不确定性问题的,主要是由于数据的不确定性特征所造成的,其次是由于操作过程的不确定性所造成的。

Open Shaw (1989)认为,遥感和地理信息系统的数据在获取和传播过程中由于仪器设备和技术的限制,每一个环节上都会产生难以预料的系统误差和随机误差。如信号通过大气传播时的损耗,遥感平台不稳定和遥感器性能不稳定造成的误差,数字化过程中造成的误差,调查和统计过程造成的人为差错,都将造成空间数据的误差。

地理空间数据的不确定性问题的研究的重要性,已经得到了普遍的承认,而且还制订了一系列的研究计划。在国际性地观测系统(EOS)的研究计划中,就专门设立了“对地观测系统验证计划”(Validation Program for EOS)。

与不确定性问题密切相关的“数据质量”(data quality)和“空间数据精度”(spatial data accuracy)的国际活动十分频繁,如“The International Symposium on Spatial Data Quality”(已开了多次)、“Data Quality 99”。而两年一届的“自然资源与环境科学中的空间精度评估国际会议”(The International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environment Science)已经开了五届:

第一届于 1994 年在美国的 Virginia 的 Williamsburg 召开;

第二届于 1996 年在美国的 Colorado 召开;

第三届于 1998 年在加拿大的 Quebec 召开;

第四届于 2000 年在荷兰的 Amsterdam 召开;

第五届于 2002 年 7 月在澳大利亚的 Melbourne 召开。

国际数据质量会议(The International Symposium on Spatial Data Quality)已经召开了两届:

第一届于 1999 年在香港召开;

第二届于 2003 年在香港召开。

每次会议都出版了专门的论文集。相关论文分别发表在以下的著名刊物上:

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing;

IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing;

Remote Sensing and Environment;

International Journal of Remote Sensing;

International Journal of Geographical Information Science。

关于空间数据中的不确定性问题的研究重点,主要有以下看法:

(1) 国家地理信息与分析中心 (NCGIA, 1998) 提出的三大研究课题之一“空间数据的准确率和不确定性”,具体内容有:

- 1) 评估与提出误差报告及类型文件;
 - A. 评估分类的误差并提出空间数据的转换标准(SDTS);
 - B. 进一步细化、扩展所提出的数据转换标准以满足误差评估报告的目标;
 - C. 提出新的误差评估过程以满足新的需求;
 - D. 对已有的数据转换、标准进行审核。
- 2) 改进现在的遥感误差评估程序;
- 3) 栅格(遥感数据)到矢量及从矢量到栅格的数据转换过程中造成的误差;
- 4) 位置误差的特点及位置与分类误差之间的关系;
- 5) 发展与开发标准化的位置及属性不确定性(误差)的可视化方法;
- 6) 实地检查原始成果图的准确率。

(2) “Accuracy 2000”国际会议提出的空间数据不确定性问题的研究内容:

- 1) 误差-灵敏度 GIS 的发展;
- 2) 空间建模的不确定性传播理论和应用;
- 3) 遥感影像分类的不确定性处理;
- 4) 基于设计和基本模型的不确定性评价;
- 5) 随机空间模拟;
- 6) 时空不确定性的处理;
- 7) 分类数据的空间不确定性建模;
- 8) 空间不确定性的可视化;
- 9) 聚类和综合对空间不确定性评价的影响;
- 10) 空间决策系统与不确定性的融合。

(3) Veregin 提出了 GIS 空间数据误差研究体系,包括:

- 1) 误差源的确定;
- 2) 误差的探测和度量;
- 3) 误差传播的建模;
- 4) 误差管理和控制策略;
- 5) 误差的减少方法。

(4) 史文中(1998)归纳了很多学者对遥感和 GIS 的不确定性问题的研究,主要有以下几个方面:

1) 位置数据不确定性的空间分布。点的误差分布在测绘界已进行了长期的研究,然而对于线段、线及面状元素的不确定性尚未严格地从理论上、方法上系统地研究过。

2) 遥感分类数据属性不确定性的空间分布。通常用于描述遥感分类结果的不确定性方法是误差矩阵,但这种方法不能描述出不确定性空间分布,而概率矢量方法则具有描述不确定性的空间分布的潜在可能,需要开展这方面的研究。

3) 位置与属性数据结合过程中不确定性的传递。现有的技术中,并没有直接可以处理集成位置与属性不确定性的方法。但如果两种不同的不确定性可以转化和用一种指标

描述,这意味着两种不确定性应在同一理论基础下用同一方法描述。

不仅测绘制图中存在着数据的不确定性问题,而且遥感遥测和地理信息系统科学中也存在不确定性问题,甚至物理勘探(如重力测量、地磁测量)和化学勘探中也存在数据的不确定性问题,所以主张称为空间数据的不确定性或地学空间数据的不确定性。

本书在不确定性的一般理论上重点对地球尤其是地理科学的不确定性问题(侧重于遥感科学技术的不确定性)进行探讨,并且以遥感数据的分类中的不确定性,即属性不确定性作为重中之重进行讨论,对其中的几何不确定性只作一般性论述,重点突出。本书的特点可以归纳成以下几个方面:

(1) 对于不确定性的基本概念,在已有基础上进行修改和补充。

(2) 对地球科学中的不确定性的基本规律进行了归纳和阐明,如“不确定性是客观世界固有的特征”,“凡是人工模拟产品与其世界之间不可能完全一致”等。

(3) 对于不确定性的形成机制,提出了“客观世界的复杂性”与“认知过程的复杂性”的耦合是形成不确定性的主要原因。

(4) 提出不确定性可以划分为两个类型:“固有的不确定性”与“人为的不确定性”。并对固有的不确定性进行了重点讨论。

(5) 对主要地物,如岩石、植物和土壤波谱的固有的不确定性,包括“同物异谱”和“同谱异物”进行了重点分析。

(6) 对遥感技术的不确定性机理进行重点讨论,对多光谱遥感、高光谱遥感和微波遥感数据中的不确定性进行了分析。

(7) 提出了遥感数据中的不确定性问题的度量、分析、评估和控制方法,并讨论了遥感信息的“守恒”与“不守恒”并存问题,即不确定性问题。

本书重点对不确定性的基本概念、基本理论进行了探讨,对地理领域中的不确定性的成因、特征、分布规律,在数据处理过程中的传递、量测、评估、可视化、减少方法等进行了探讨。

遥感数据不仅是地学空间数据的一个重要组成部分,也是地理信息系统数据的主要来源之一。它在社会经济建设中所起的作用越来越大,社会对它的需求也越来越多。但遥感数据的质量问题已成为制约遥感应用效果的重要因素,尤其是对遥感数据的不确定性问题。虽然在国际上已经引起了广泛的重视,但在国内尚未得到应有的重视,本书的出版希望能够抛砖引玉,引起大家对它的充分重视。遥感数据的不确定性问题对我们来说是一个全新的课题,加上我们在这方面的知识有限,书中可能有不妥之处,恳请读者批评指正,作者不胜感激。

最后笔者以耗散结构理论创始人、1997年诺贝尔化学奖获得者 Prigogine 的著作 *The End of Certainty* 中的一段作者附言“我不是想邀请读者来参观考古博物馆,而是想让读者领略科学探险的乐趣”作为前言的结束语,也正符合本书的宗旨。

作者

2003年1月于北京

重要论点

—

Gödel 提出了数学领域中的“不完备定律”(incompleteness theorem)。它是“关于数字确定性丧失的论证”。

Heisenberg 提出了量子力学中“不确定性原理”(uncertainty principles)和微观世界的测不准观点。

Haken 根据热力学的基本规律提出了“混沌论”(chaos theory)、无序现象的普遍性及科学结论(理论)的局限性。

Albert Einstein 说,时间是一种错觉;Prigogine 却说,确定性才是一种错觉。

Einstein 认为:“上帝从不掷骰子”。而 Heisenberg 则指出:“上帝也许不仅掷骰子,而且还把骰子掷到意想不到的地方。”

Prigogine 指出:“只要遵循现实世界的概率过程,我们就将远离僵化的决定论(力学)”。“在这个概率过程的世界里,生命和物质沿时间方向不断演化,确定性本身才是错觉。”

Prigogine 从耗散结构理论出发阐明了“确定性的结束”(the end of certainty)。

Shannon 提出的“信息论”(information theory)中说,信息就是两次不确定性之差,是不确定性的消除。

Helen Couclelies(2002)提出“和不确定性共处”(living with uncertainty),即生活中处处有不确定性,世界充满不确定性。

二

Mandelbrot 在《英国的海岸线有多长?》(*How long is the coast of Britain?*)文中从分形分维的角度指出它的长度是不确定性的,甚至是模糊不清的。

Goodchild 认为,地理知识的不完备性、概念的模糊性与数据的衍生性(从地图、遥感影像及其他数据中产生),使得空间数据具有不确定性特征。

Duckham(2001)提出了“地理信息不完整性是固有的特征”。

Helen Couclelis (2002)提出了“地理知识的局限性”(the limits of geographic knowledge)。

三

1992年2月由国际标准组织(ISO)、国际计量委员会(CIPM)、国际法制计量组织

• v •

(OIMC)、国际电工委(IEC)和国际计量局(BIPM)共同组织的国际不确定度表达工作组(ISO/TAGA/WG)通过了《实验不确定度的说明》,这不仅仅是实验数据的不确定度,而且是所有仪器数据的不确定程度的度量及表示方法的标准。

目 录

前 言

第一章 关于数据的基本概念	1
1.1 数据的定义	1
1.2 数据的一般模型	1
1.3 数据的基本特征——数据三要素	2
1.4 数据质量	2
1.5 数据的重要性	4
第二章 一般不确定性问题	5
2.1 不确定性基本概念	5
2.2 不确定性的普遍性	6
第三章 空间数据的不确定性	13
3.1 空间不确定性的基本概念	13
3.2 关于地理空间不确定性的形成原因	15
第四章 空间数据不确定性的主要类型	18
4.1 客观世界固有的不确定性	18
4.2 人为引起的不确定性	19
4.3 地理空间数据不确定性的其他问题	22
第五章 空间数据不确定性的概念模型	24
5.1 综述	24
5.2 空间数据不确定性的概念模型	24
第六章 遥感数据的不确定性特征及形成机理	30
6.1 综述	30
6.2 物体和外来电磁波相互作用的机制	31
6.3 遥感数据中的不确定性机理的框架	33
6.4 遥感数据及其不确定性流程	34
6.5 遥感数据不确定性的来源	36
6.6 遥感与地理信息系统数据不确定性的主要问题	37
第七章 岩石波谱固有的不确定性	38
7.1 岩石物质成分及物质结构的不确定性	38
7.2 岩石的物质成分与物质结构与其光谱特征	39
7.3 岩石波谱的“同物异谱”现象——岩石波谱数据不确定性特征之一	44
7.4 岩石的“同谱异物”现象——岩石波谱数据不确定性特征之二	51
7.5 同类岩石表面状况不同引起的波谱变化——岩石波谱数据不确定	

性特征之三·····	53
7.6 同类地质体或岩石物理参数的不确定性——岩石数据不确定性特征 之四·····	53
第八章 植物波谱固有的不确定性 ·····	56
8.1 植物物质成分与物质结构及其对光谱影响的机理·····	56
8.2 不同的叶层结构具有不同的反射光谱特征·····	60
8.3 植物波谱的同物异谱现象——植物光谱数据的不确定性之一·····	61
8.4 植物波谱的同谱异物现象——植物波谱数据的不确定性之二·····	74
8.5 农作物微波辐射、散射特征 ·····	77
8.6 植物微波遥感数据的不确定性·····	78
第九章 土壤与水体波谱固有的不确定性 ·····	80
9.1 土壤波谱的一般特征·····	80
9.2 土壤波谱的不确定性特征·····	80
9.3 环境变化引起的土壤波谱不确定性·····	82
9.4 土壤发射波谱的不确定性·····	84
9.5 土壤介电常数、导电率的特征与微波辐射的不确定性 ·····	86
9.6 水体电磁波谱的不确定性特征·····	89
9.7 水体的物理特性及发射波谱的不确定性·····	90
第十章 地物波谱不确定性基本规律及其对遥感数据解译的影响 ·····	92
10.1 植物波谱的不确定性特征 ·····	92
10.2 岩石、土壤的波谱特征·····	93
10.3 地物波谱不确定性对遥感数据解译的影响 ·····	95
第十一章 遥感影像数据固有的不确定性 ·····	96
11.1 遥感混合光谱成像机理的不确定性 ·····	96
11.2 不同波段的遥感影像灰度值特点 ·····	97
第十二章 遥感影像的混合像元与遥感数据的不确定性 ·····	99
12.1 遥感影像的栅格数据固有的不确定性 ·····	99
12.2 混合像元与多种地物光谱信息的复合机制·····	100
12.3 混合像元分解模拟·····	101
12.4 混合像元可能造成的不确定性·····	102
第十三章 多光谱与高光谱数据的不确定性 ·····	107
13.1 多光谱遥感影像数据的不确定性·····	107
13.2 高光谱成像光谱数据的不确定性·····	113
第十四章 雷达影像数据的不确定性 ·····	122
14.1 合成孔径雷达图像的不确定性·····	122
14.2 合成孔径雷达复图像信号的不确定性·····	125
14.3 SAR 图像不确定性去除需要注意的问题 ·····	128
14.4 去除 SAR 图像中的相位不确定性的迭代过程 ·····	130
14.5 SAR 干涉处理过程的不确定性 ·····	132

第十五章 遥感影像数据不确定性的基本特征	140
15.1 地物波谱固有的不确定性	140
15.2 遥感影像固有的不确定性	140
15.3 混合像元引起的不确定性	140
15.4 多光谱影像的不确定性	140
15.5 高光谱影像的不确定性	141
15.6 雷达影像不确定性的基本特征	141
第十六章 空间数据的标准与规范	142
16.1 制定空间数据标准与规范的组织及其任务	142
16.2 国际空间数据标准的主要内容	142
16.3 数据质量标准	143
16.4 量测数据的不确定度标准	146
16.5 其他标准	146
16.6 有关数据质量标准的若干问题	147
第十七章 遥感数据不确定性在处理过程中的传播	148
17.1 遥感数据不确定性传播的主要类型	148
17.2 误差类型与误差传播规律	149
17.3 误差的综合分析方法	151
第十八章 遥感数据不确定性的尺度效应	156
18.1 不同地类遥感数据要求的判别面积	157
18.2 遥感分类中的尺度效应	158
第十九章 遥感数据不确定性分析技术	162
19.1 基于光谱位置(波长)变量的不确定性分析技术	162
19.2 遥感数据信息熵的不确定性分析技术	164
19.3 空间数据质量的评估	166
19.4 遥感数据不确定性的可视化研究	167
19.5 遥感与地理信息系统集成引起的不确定性	167
19.6 遥感与地理信息系统中的不确定性处理方法	169
19.7 遥感与地理信息系统的不确定性的减少	171
第二十章 遥感影像解译不确定性的评估与表达	172
20.1 遥感影像解译不确定性评估综述	172
20.2 基于采样的检验方法	173
20.3 误差矩阵的内容与表达	176
第二十一章 属性数据精度的缺陷率度量统计模型	181
21.1 问题定义	182
21.2 GIS 属性数据精度的缺陷率度量	182
21.3 缺陷率统计模型的均值与方差表达	183
21.4 基于分层抽样的属性数据缺陷率	186
21.5 遥感土地利用属性数据实例	186

21.6	抽样样本容量选定原则·····	188
21.7	抽样样本容量选定方案·····	190
21.8	属性数据质量的限差·····	191
21.9	缺陷率限差实例·····	192
第二十二章	利用 AMTIS 热红外多角度数据反演组分温度的不确定性研究 ·····	193
22.1	热红外多角度数据的不确定性·····	193
22.2	热辐射模型与反演方法的不确定性分析·····	195
22.3	地面实验验证的不确定性·····	198
第二十三章	遥感反演中不确定性信息处理的数学方法·····	199
23.1	遥感反演中的不确定性信息问题·····	199
23.2	未确知数与盲数·····	200
23.3	未确知有理数和盲数用于对反演参数可信度的估计·····	203
第二十四章	遥感数据的不确定性管理·····	206
24.1	风险管理·····	206
24.2	不确定性管理的概念模型·····	206
24.3	数据质量评估矩阵·····	207
24.4	误差元数据管理系统·····	208
第二十五章	遥感数据的不确定性减少途径·····	209
25.1	“同物异谱”和“同谱异物”现象引起的不确定性的减少方法·····	209
25.2	混合光谱与混合像元引起的不确定性及其减少方法·····	210
25.3	利用遥感分类不确定性的时空分布特征规律降低分类不确定性·····	211
25.4	遥感影像分类中的不确定性·····	212
25.5	遥感数据分类制图过程中的不确定性·····	214
25.6	其他·····	214
第二十六章	遥感数据不确定性控制的数学理论基础·····	216
26.1	一般数学方法·····	216
26.2	鲁棒方法·····	217
第二十七章	遥感信息的不守恒、不对称和不确定性问题探讨 ·····	229
27.1	“三不”理论·····	229
27.2	不确定性是客观世界固有的特征·····	230
27.3	遥感信息的不守恒与不确定性·····	232
27.4	遥感信息对称的不确定性·····	233
参考文献	·····	235

第一章 关于数据的基本概念

本书中最主要的关键词有两个,即“数据”和“不确定性”。首先要对它们进行介绍,然后展开全面讨论。

1.1 数据的定义

数据在地球信息科学或空间信息科学中一般是指关于某一现象、过程或地区的性质、特征、状态的文字、数字、图形、公式、模型、表格或影像的描述或表达。严格地说应该称为资料比较科学,因它不仅仅是数据,数据只不过是其中的一种表达形式。但是在信息社会中,这些文字、图形和影像等在经过编码之后,才可以输入计算机,进行各种处理和分析,并可以通过网络进行传输和实现共享,因此称为数据也未尝不可。数据集(dataset)是一张统计表格,指一幅地图或一幅遥感影像的数据,是指数据的集成或集成数据。

数据按其特征可以划分为两个基本类型:即空间数据和非空间数据。空间数据包括图形(含各种地图与专题图、规划图、设计图等)和影像(含航空和航天的各类影像等);非空间数据包括文字、数字、公式、模型及表格数据等。严格来说,图形和影像从形式上和直观上就具有明显的空间概念,而文字、数字、公式、模型和表格则不具有空间概念,而在内容上,实质上则隐含了空间概念。

对于大多数数据尤其是地球科学的数据来说都具有空间概念,除了图形、影像具有空间概念外,文字、数字和图表、表格的含义中也都或明或暗的含有空间概念,如坐标格网和国名、州(省区)及各城市(区)名等也都隐含了空间概念,凡是有位置概念的数据,就是空间数据。

数据又可以分为广义数据和狭义数据。狭义数据仅指数字、图形和影像;广义数据除了上述内容外,还包括文字、表格、公式、模型及一切与目标物有关的内容。

1.2 数据的一般模型

数据虽然是对客观世界性质、特征和状态的描述,但是由于客观世界的复杂性和在数据产生过程中携带了一些和客观世界无关的干扰影响,使得数据产生了与客观世界不一致的状况,在信息科学中一般称它为“噪声”(noise)。在测绘与制图中称为误差(error)。这“噪声”和“误差”包括了客观世界的复杂性和人为误差两个方面的影响在内。根据信息理论,数据是由信息和噪声共同组成的,只有当数据中排除了“噪声”和“误差”之后,才能称为信息(information):

$$\text{数据} = (\text{信息}) + (\text{噪声或误差})$$

$$\text{信息} = (\text{数据}) - (\text{噪声或误差})$$