

GIS QUALITY EVALUATION AND
RELIABILITY ANALYSIS

胡圣武 著

GIS质量评价 与 可靠性分析

测绘出版社

GIS 质量评价与可靠性分析

GIS Quality Evaluation and
Reliability Analysis

胡圣武 著

测绘出版社

· 北京 ·

内容简介

本书以模糊理论为依据研究了 GIS 质量评价与可靠性分析的理论、技术和方法。主要内容包括对 GIS 的模糊不确定性的研究,基于粗集和模糊集的 GIS 不确定性处理和质量评价, GIS 的模糊可靠性分析的基本理论,以及基于模糊数和模糊故障树的 GIS 模糊可靠性分析。

全书反映了当代 GIS 质量评价与可靠性分析的新发展和新水平,可以作为了解 GIS 的不确定性理论的研究生教材,也可作为从事 GIS 及相关专业的研究人员的参考书。

© 胡圣武 2006

图书在版编目(CIP)数据

GIS 质量评价与可靠性分析/胡圣武著. —北京:测绘出版社,2006.8

ISBN 7-5030-1306-0

I. G... II. 胡... III. ①地理信息系统—质量—评价②地理信息系统—可靠性—分析 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 048754 号

责任编辑:贾晓林/责任校对:董玉珍

封面设计:赵培壁/绘图:何健

测绘出版社 出版发行

地址:北京市西城区复外三里河路 50 号 邮编:100045

电话:(010)68512386 68531558 网址:www.sinomaps.com

北京通州区次渠印刷厂印刷 新华书店经销

成品尺寸:169mm×239mm 印张:9 字数:170 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印数:0001—1500 册

ISBN 7-5030-1306-0/P·430

定价:26.00 元

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

前 言

GIS 的不确定性是当前 GIS 理论研究的热点和难点之一,目前,国内外对此进行了大量的研究,投入了大量的物力和财力,取得了丰富的成果。但这些成果大部分是基于随机性的不确定性,采取基于概率统计的方法。随着人们对不确定性的认识,发现 GIS 中不仅含有随机性的不确定性而且也含有模糊性的不确定性。因此,研究如何削弱和控制 GIS 的模糊不确定性的理论和方法就成为 GIS 不确定性理论的一个重要组成部分。

随着 GIS 的发展,其应用也得到了推广,GIS 及 GIS 产品已经从科研部门走向千家万户,GIS 已经作为一种商品常与人们打交道。但要使 GIS 这种商品真正走向市场化和产业化,可靠性指标已成为一个必备条件。如何在模糊不确定性基础之上研究 GIS 的可靠性指标,给出 GIS 产品真正的和科学的可靠性指标对 GIS 的发展有着深远意义。

基于此,本书以模糊理论为主要理论依据,研究还未引起人们高度重视的模糊性的不确定性在 GIS 数据以及 GIS 产品中的处理和度量方式,实现两个目的。第一,对 GIS 质量评价采取基于模糊不确定性的一些不同与基于随机性的处理方法,以达到对 GIS 质量更严密的控制和更科学的评价,尽量削弱和控制模糊不确定性;其次,对 GIS 产品建立基于模糊随机性的可靠性分析的一套初步理论和基本方法,从而给出一个用户和开发者都满意的和科学的可靠性分析结果。

本书在已有的研究成果基础上探讨了基于模糊理论的 GIS 模糊不确定性处理方法,以及 GIS 产品质量评价的方法,并初步建立了 GIS 模糊可靠性分析的理论体系。本书共分为 8 章,研究了以下几个重要问题,为今后的深入研究打下了一定的基础。

(1)从 GIS 构成的 4 个方面,即 GIS 硬件、GIS 软件、GIS 数据和 GIS 人员来论证 GIS 中的模糊不确定性。

(2)模糊不确定性实体的表示。主要就点、线、面等 3 种模糊实体的模糊表示进行研究。

(3)基于模糊集理论的模糊不确定性处理。一是从 GIS 中常见的实体属性出发,运用隶属度来进行模糊不确定性处理;二是从 GIS 中的模糊语言出发,运用模糊推理进行研究。

(4)基于粗集理论的 GIS 模糊不确定性处理。用实例分析如何以粗集表示 GIS 的模糊不确定性,及对模糊不确定性的处理,并简单介绍 GIS 中粗集的操作。

(5)用模糊理论对 GIS 产品进行质量评价。在分析目前 GIS 产品质量评价方法存在的问题的基础上提出用模糊理论来进行质量评价,主要研究 GIS 产品质量

评价中隶属度的选择和等级确定的一般原则,以及运用模糊关系、模糊多层次综合评价和粗集方法进行 GIS 的质量评价的实例分析。

(6)GIS 质量控制的方法。提出 GIS 产品的多尺度分析的概念以及粗集用于 GIS 质量控制的思路和方法。

(7)初步建立 GIS 模糊可靠性分析的基本理论。分析引入模糊可靠性工程到 GIS 中的理由和 GIS 的模糊可靠性,并提出几个相关的基本概念及 GIS 的模糊可靠性分析的几种基本模型。

(8)GIS 的模糊可靠性分析。主要运用三角模糊数、梯形模糊数和模糊故障树进行 GIS 的可靠性分析。

模糊不确定性涉及的内容很多,本书只是一个初步的研究,因而还有许多问题需要研究,如:

(1)模糊集中的隶属函数的确定问题,仍然是阻碍模糊理论在 GIS 模糊不确定性处理的一个重要因素。

(2)如何用模糊理论更进一步处理 GIS 中的模糊不确定性值得探讨,本书只是举了一个实例加以说明,通过该例只能说明模糊理论能处理模糊不确定性。

(3)粗集用于 GIS 质量评价时,如何合理的离散化,在所举的例子中,离散区域太宽。

(4)本书只提出 GIS 多尺度的概念,如何对其定量化仍需进一步研究。

(5)如何用粗集进行 GIS 的质量控制。

(6)在可靠性分析中如何表达各单元之间的相关性,以及如何处理其相关性。

(7)如何把模糊集和粗集结合起来——模糊粗糙集或粗糙模糊集,用于 GIS 的质量评价、控制和可靠性分析。

(8)GIS 的模糊可靠性基本理论中的可靠性模糊分配问题,以及在 GIS 的设计阶段如何规定可靠性指标。

(9)GIS 软件人员的模糊属性和 GIS 软件的模糊可靠性分析的研究有待深入。

(10)如何在 GIS 的实际应用中实现本书的研究内容。

(11)如何把模糊理论和概率理论、证据理论、区间理论和确定因子等随机理论结合起来处理模糊不确定性。

(12)位置不确定性中是否存在模糊性仍是一个有争论的问题。

(13)对于 GIS 可靠性数据是属于何种分布仍是一个棘手的难题,它制约着 GIS 模糊可靠性指标的具体计算。

随着模糊理论的进一步完善,模糊理论在 GIS 质量评价与可靠性分析将会得到更大的发展和广泛应用。

本书是在博士论文的基础上修改完成。由于时间较为仓促,加上笔者水平有限,书中错误在所难免,敬请广大读者批评指正!

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
§ 1.1 GIS 质量评价以及可靠性分析研究概况	(1)
§ 1.2 模糊理论在 GIS 质量评价和可靠性分析中的研究概况	(4)
§ 1.3 本书的研究意义	(7)
§ 1.4 本书的研究内容和结构安排	(8)
第 2 章 GIS 的不确定性研究	(10)
§ 2.1 人类对不确定性的认识	(10)
§ 2.2 GIS 中的不确定性	(11)
§ 2.3 GIS 中的随机不确定性	(12)
§ 2.4 GIS 中的模糊不确定性	(15)
§ 2.5 GIS 模糊不确定性与随机不确定性的区别	(25)
§ 2.6 GIS 中的不确定性的相关术语	(25)
第 3 章 GIS 不确定性处理方法研究	(28)
§ 3.1 信息理论	(28)
§ 3.2 概率论	(28)
§ 3.3 证据理论	(29)
§ 3.4 地统计学	(29)
§ 3.5 确定性因子	(31)
§ 3.6 云理论	(32)
§ 3.7 熵理论	(32)
§ 3.8 目标模型和域模型	(32)
§ 3.9 工程方法和控制方法	(32)
§ 3.10 模糊集理论	(33)
§ 3.11 粗集理论	(37)
第 4 章 GIS 的模糊表示及处理方法	(42)
§ 4.1 GIS 中地理实体的模糊表示	(42)
§ 4.2 地理信息的模糊不确定性分类	(47)
§ 4.3 基于模糊集的模糊不确定性处理	(47)
§ 4.4 基于模糊推理的模糊不确定性处理	(48)
§ 4.5 GIS 中模糊不确定性的粗集表示	(50)
§ 4.6 GIS 中的粗集操作	(53)
§ 4.7 基于粗集的模糊不确定性处理	(55)

第 5 章 基于模糊理论的 GIS 质量评价	(58)
§ 5.1 质量的相关概念.....	(58)
§ 5.2 GIS 产品分类.....	(60)
§ 5.3 现有的 GIS 产品质量评价方法	(62)
§ 5.4 GIS 产品质量评价的原则和意义	(64)
§ 5.5 基于模糊综合评判的 GIS 质量评价	(65)
§ 5.6 基于粗集的质量评价.....	(79)
§ 5.7 GIS 产品的多尺度分析.....	(84)
第 6 章 基于模糊理论的 GIS 质量控制	(86)
§ 6.1 GIS 质量控制概述	(86)
§ 6.2 基于模糊理论的 GIS 质量控制统计方法	(88)
§ 6.3 基于模糊理论的控制图.....	(90)
§ 6.4 模糊质量的抽样检验.....	(93)
§ 6.5 基于粗集的质量控制.....	(95)
第 7 章 GIS 模糊可靠性理论	(96)
§ 7.1 GIS 可靠性的研究概况	(96)
§ 7.2 GIS 可靠性工程理论.....	(96)
§ 7.3 GIS 模糊可靠性的基本理论	(99)
§ 7.4 模糊可靠性的基本概念	(104)
§ 7.5 GIS 模糊可靠性分析的基本模型	(107)
第 8 章 GIS 模糊可靠性分析	(111)
§ 8.1 模糊可靠性分析中的模糊数	(111)
§ 8.2 GIS 产品的模糊可靠性分析	(113)
§ 8.3 GIS 的模糊可靠性分析	(117)
§ 8.4 考虑相关性的计算理论	(120)
§ 8.5 模糊故障树分析方法	(121)
参考文献.....	(126)

Contents

Chapter 1	Introduction	.....	(1)
§ 1.1	Study outline of GIS quality evaluation and reliability analysis	.....	(1)
§ 1.2	Study outline of fuzzy theory in GIS quality evaluation and reliability analysis	.....	(4)
§ 1.3	Meaning of the study	.....	(7)
§ 1.4	Research contents and structure	.....	(8)
Chapter 2	Study on the GIS Uncertainty	.....	(10)
§ 2.1	Uncertainty cognition of the mankind	.....	(10)
§ 2.2	GIS Uncertainty	.....	(11)
§ 2.3	Random uncertainty	.....	(12)
§ 2.4	Fuzzy uncertainty	.....	(15)
§ 2.5	Difference between random uncertainty and fuzzy uncertainty	.....	(25)
§ 2.6	Relative term of GIS uncertainty	.....	(25)
Chapter 3	The Study of Methods of GIS Uncertainty	.....	(28)
§ 3.1	Information theory	.....	(28)
§ 3.2	Probability theory	.....	(28)
§ 3.3	Evidence theory	.....	(29)
§ 3.4	Geostatistics	.....	(29)
§ 3.5	Certainty factor	.....	(31)
§ 3.6	Cloud theory	.....	(32)
§ 3.7	Entropy theory	.....	(32)
§ 3.8	Object model and field model	.....	(32)
§ 3.9	Engineering and Control Method	.....	(32)
§ 3.10	Fuzzy set	.....	(33)
§ 3.11	Rough set	.....	(37)
Chapter 4	Representation and Methods of GIS Fuzzy Uncertainty	.....	(42)
§ 4.1	Fuzzy representation of GIS entity and property	.....	(42)
§ 4.2	Classification of fuzzy uncertainty of geography information	.....	(47)

§ 4.3	Treatment of fuzzy uncertainty based on fuzzy set	(47)
§ 4.4	Treatment of fuzzy uncertainty based on fuzzy calculation ...	(48)
§ 4.5	Representation of GIS fuzzy uncertainty based on rough set	(50)
§ 4.6	Operation based on rough set	(53)
§ 4.7	Treatment of fuzzy uncertainty based on rough set	(55)
Chapter 5	GIS Quality Evaluation Based on Fuzzy Set	(58)
§ 5.1	Relative concept	(58)
§ 5.2	Classification of GIS product	(60)
§ 5.3	Evaluation Methods about GIS product quality	(62)
§ 5.4	Principles and meaning about GIS product evaluation	(64)
§ 5.5	GIS quality evaluation based on fuzzy synthesis judgment ...	(65)
§ 5.6	GIS quality evaluation based on rough set	(79)
§ 5.7	Multi-scale analysis of GIS product	(84)
Chapter 6	GIS Quality Control Based on Fuzzy Set	(86)
§ 6.1	Outline of GIS quality control	(86)
§ 6.2	Statistical methods of GIS quality control based on fuzzy set	(88)
§ 6.3	Control chart based on fuzzy set	(90)
§ 6.4	Sampling verification of fuzzy quality	(93)
§ 6.5	GIS quality control based on rough set	(95)
Chapter 7	Theory of GIS Fuzzy Reliability	(96)
§ 7.1	Outline of GIS reliability	(96)
§ 7.2	GIS reliability engineering theory	(96)
§ 7.3	Basic theory of GIS fuzzy reliability	(99)
§ 7.4	Basic concept of fuzzy reliability	(104)
§ 7.5	Basic model of GIS fuzzy reliability analysis	(107)
Chapter 8	GIS Fuzzy Reliability Analysis	(111)
§ 8.1	Fuzzy number of fuzzy reliability analysis	(111)
§ 8.2	Fuzzy reliability analysis of GIS product	(113)
§ 8.3	GIS fuzzy reliability analysis	(117)
§ 8.4	Computation theory considering relativity	(120)
§ 8.5	Fuzzy fault tree	(121)
References	.....	(126)

第 1 章 绪 论

随着 GIS 的飞速发展,其功能越来越强,发挥的作用也越来越大,对社会的政治、经济产生了深远的影响。计算机的普及使 GIS 从科研部门走进了千家万户,但真正要使 GIS 以及 GIS 产品能发挥其作用,产品必须满足一定的精度并给出可靠性指标。国内外对 GIS 的质量控制问题都非常重视,但现有成果大都是基于随机理论来处理随机不确定性的,对模糊不确定性研究相对比较少。

GIS 质量评价是 GIS 质量控制基础的一部分,因而也引起了高度重视。由于产业化的相对滞后,把 GIS 及 GIS 产品作为一种普通商品来研究其可靠性涉及还比较少,模糊可靠性的研究就更少。用模糊理论研究 GIS 的质量评价和可靠性分析,对 GIS 的普及化、应用化和产业化将产生深远的影响,具有很大的实用价值。

§ 1.1 GIS 质量评价以及可靠性分析研究概况

1.1.1 GIS 质量评价的发展及研究现状

近几年来,GIS 质量评价这个问题,作为质量控制的重要问题之一,是国内外研究的热点问题之一,并取得了丰富的成果,它主要是研究如何控制、消除和减弱 GIS 不确定性,主要可分为以下几个发展阶段。

第一阶段是 20 世纪 60~70 年代,GIS 诞生不久,人们在开发 GIS 作为数字制图的工具时发现,为了取得好的商业利润就必须注意 GIS 的质量问题,这一阶段主要采用数理统计学的原理对制图和图形操作运算的质量与精度进行分析(Liu Da-jie 等,1999;刘大杰等,2001)。

第二阶段是 20 世纪 80 年代,GIS 数据的质量与不确定性研究被 GIS 系统的开发者和用户所认可并得到真正的重视。GIS 数据质量研究的内容除了继续采用数据统计学原理建立空间数据的误差模型之外,开始了影像分类和判读过程中的误差分析的研究。

第三阶段是 20 世纪 90 年代,随着 GIS 应用技术的成熟以及应用范围的扩大,有关 GIS 空间数据精度分析和质量控制的理论研究及其应用有了更明显的发展。特别是在我国,由于 GIS 迅猛发展,对 GIS 质量问题也引起了极大的关注,武汉大学、同济大学、中科院地理研究所和香港理工大学等单位投入了大量的人力和物力来研究,并取得了一定的成绩。这一阶段主要是对 GIS 数据中的点、线和面等实体的误差及其性质和传播规律进行分析和可视化研究。

第四阶段是从 1999 年 7 月在香港召开国际空间数据质量研讨会到现在。由于 GIS 在社会中发挥的作用越来越大, GIS 质量控制和评价就显得更加重要, 人们对此的研究也越来越深入, 不断寻找新的理论和方法, 使 GIS 质量控制的研究成果得到极大丰富。

这一阶段的研究可以归纳为如下几个主要方面。

1. 数据质量信息包含的内容和表达

主要是研究空间数据质量应包括的主要内容和指标, 以及如何对质量信息进行管理, 并给出研究空间数据质量的标准。

2. GIS 数字产品的抽样检验与质量管理

主要研究 GIS 产品抽样的理论和检验的方法, 以及质量控制的方法。如刘大杰、刘春等提出对 GIS 产品采用“二级检查、一级验收”的检查原则, 探讨了对数字产品实行抽样检验的基本原理、抽样方案和质量控制方法(刘大杰, 2000; 刘春等, 2000; 2002; 陈能等, 2000); 戴前石研究了林业地理信息系统的空间数据质量及误差(戴前石, 2002); 齐南平探讨了 DTM 数据采集的质量控制(齐南平, 2002), 等。

3. 不确定性模型和不确定性传播模型

在这一方面取得了如下成果, 如: 史文中等对具有不确定性的空间实体建立了拓扑关系模型(史文中, 2005; 胡圣武等, 2004); 邬伦、于海龙等论述了 GIS 不确定性框架体系与数据不确定性研究方法(邬伦等, 2002); 史文中、王树良研究了 GIS 数据的属性不确定性方法及其发展(史文中等, 2001, 2002); 刘文宝、邓敏探讨、分析了 GIS 图上地理区域空间的不确定性(刘文宝等, 2002); 陶本藻根据平差理论研究了 GIS 质量控制中不确定度理论(陶本藻, 2000); 郭达志、胡召玲等就 GIS 中空间对象的不确定性进行了研究(郭达志等, 2000); 张菊清、窦和军研究了 GIS 中属性数据不确定性的表示及传播(张菊清等, 2003); 葛咏进行了机载合成孔径雷达(SAR)的不确定性分析研究(葛咏等, 2001, 2002); 柏延臣就遥感信息提取的不确定性和尺度效应进行了研究(柏延臣, 2002), 等。

4. 不确定性的可视化

主要研究对不确定性的大小表示的理论和方法。如: 艾廷华等采用粒子系统模型、蒙特卡洛模拟法等在做专题图时对多边形填充的不确定性用动画模拟; 刘大杰、童小华、刘文宝、戴洪磊等对空间数据中点、线、面的不确定性模型进行了可视化表示(戴洪磊等, 1999); 王建华等在 GIS 的应用系统中加入了不确定性可视化图标和界面(王建华, 2004); 戴洪磊等探讨了 GIS 中衡量位置数据不确定性的可视化度量指标族(戴洪磊等, 2002)。

5. 空间分析、决策和 GIS 应用中的不确定性

主要研究空间分析中不确定性带来的影响, 及 GIS 的不确定性对提供决策的影响规律。

6. 引入边缘学科的不确定性

GIS 中引入边缘学科的数据质量研究是目前多学科交叉发展的必然趋势。当前 GIS 空间数据的质量、精度和不确定性研究,除以概率论与数理统计为理论基础的研究之外,还加入了信息论、模糊数学、数学规划、分形理论、小波分析、粗集理论和人工神经网络等学科。如李大军进行了基于信息熵的空间数据位置不确定性模型的研究(李大军,2003)。

上述对 GIS 质量控制和质量评价的研究状况进行了总结,从中看出,GIS 质量控制和质量评价问题已研究的比较深入。但其理论依据大多局限于传统的概率论和数理统计,主要研究的是基于随机性的不确定性的 GIS 质量控制和质量评价。

1.1.2 GIS 可靠性分析的研究概况

由于 GIS 产业化发展相对比较落后,所以 GIS 可靠性分析还未引起 GIS 学术界的高度重视,其发展比较缓慢。目前,这方面的成果相对较少,现将其国内外研究情况总结如下:

可靠性工程的诞生可以追溯到 20 世纪 40 年代,当时为了战争的需要,迫切要求对飞机、火箭及电子设备的可靠性进行研究。最早提出可靠性理论的是德国的科学技术人员。20 世纪 50 年代初期,美国为了军事发展需要,投入大量的人力、物力对可靠性进行研究,成立了电子设备可靠性专门委员会和电子设备可靠性顾问委员会。同期,前苏联为了保证人造地球卫星发射与飞行的可靠性,也开始了可靠性研究。1958 年日本科学技术联盟成立了可靠性研究委员会,专门对可靠性进行研究。20 世纪 60 年代我国在雷达、通讯、电子和计算机等方面也提出了可靠性问题。从此以后,由于电子设备的大量需要以及使用,可靠性研究在国内外都引起了重视,可靠性研究得到了很大的发展(高社生等,2002;郭永基,2002)。

目前,对 GIS 的可靠性分析研究大部分还是依赖于测量平差理论,主要还是研究随机性的不确定性。如 1967~1968 年,Baarda 教授提出了在测量平差范围内的可靠性理论,即在单个备选假设情况下,研究平差系统发现单个模型误差的能力和不可发现的模型误差对平差结果的影响;李德仁在 Baarda 的基础上完善了测量平差的可靠性理论,并就摄影测量学中观测值的可靠性进行了系统的分析(李德仁等,2002)。现在大多数的 GIS 可靠性分析都是在 Baarda 和李德仁的可靠性理论基础之上进行的。如刘文宝等对 GIS 中图形数据的可靠性评价;陶本藻,姚宜斌对测量数据可靠性分析与数据探测(陶本藻等,2002);史文中、刘文宝等在 3 维 GIS 中模拟了空间实体的可靠性。

§ 1.2 模糊理论在 GIS 质量评价和可靠性分析中的研究概况

1.2.1 模糊理论在地理信息系统中的研究现状

1. 模糊集在地理信息系统中的研究现状

模糊集在地理信息系统中的应用,最早见于专题制图中对地类要素边界“不精确性”问题的讨论。模糊理论在地理信息系统中的应用主要有基于模糊场的误差带、多边形的叠置与模糊聚类分析(贺华中,2002)。模糊场的误差带是在属性值连续分布的边界线两侧,以模糊隶属度($0 < a < 1$)形成的一个属性值过渡带或缓冲区。目前许多 GIS 软件工具(如 Arc/Info)的缓冲功能模块就用等值线描述缓冲区。模糊集在多边形叠置分析中,主要用于解决几个图层叠置后生成的许多子多边形的类别归属问题。通常的方法是依据面积、误差和公共边界线的长度,或是三者的组合。现行软件通常是选择具有最长公共边界的多边形作为合并条件,但这不能保证属性的最相似性,使误差达到最小。用模糊聚类来分析则可圆满的解决此问题。

张育之、冯可君在地图杂志上开辟模糊数学基础知识及其在地图制图学中的应用栏目,比较系统地介绍了模糊数学的基础知识,举例说明了模糊数学在地图制图学中的应用情况(张育之等,1986;1987)。此后,模糊数学在地图制图中得到了广泛的应用。1989 年何宗宜研究了模糊多层次综合评判原理及其在专题地图编绘质量评价中的应用,建立了评价专题地图编绘质量的数学模型(何宗宜,1989);1991 年王家耀、冯可君、胡寿康等对模糊数学在地图制图中的应用进行了论述,论述了模糊数学与地图制图学的关系,模糊数学在地图制图学中的应用情况,并推荐了几个能有效地用于地图制图的模糊数学模型(王家耀,1991);1991 年邹建华又将模糊多元分析应用于地图制图的分类中,提出了一种新的地图制图的分类方法(邹建华,1991)。

模糊数学在 GIS 领域的应用中已取得了很多成果。国外在 20 世纪 90 年代初就将模糊数学引入到 GIS 中,具体参阅有关文献(Kollias 等,1991;Banai,1993)。我国从 20 世纪 90 年代中期开始将模糊数学引入到 GIS 中。例如:1996 年刘文宝、李宗华介绍了 GIS 知识推理操作中的误差度量和传播,得出这一误差传播实质上是推理过程中模糊集合隶属函数误差指标的传播(刘文宝等,1996);随后,黄波等研究了 GIS 中空间模糊叠加模型,提出了基于模糊集合论的叠加模型(黄波等,1996);王建华、祝国瑞探讨了模糊分析学在空间信息分析中的应用,给出模糊区域的概念及其测度方法(王建华等,1996);肖平、李德仁研究了 GIS 中模糊栅格数据结构隶属度和地理多边形边界锐度的解算问题,在顾及不确定性的 GIS 空间数据结构的基础上,引入一种新的计算隶属度的方法(肖平等,1998);胡圣武、王新

洲、潘正风把模糊理论用于 GIS 的质量评价(胡圣武等,2004);李大军用模糊理论对 DLG 产品进行质量评价(李大军等,2002);王庆国用模糊理论中的多层次综合评判理论对 4D 产品进行了质量评价(王庆国,2004)。

2. 粗集在地理信息系统中的研究现状

粗集理论在 GIS 中的应用比较少,目前还处于探索阶段,国内外有关该方面的成果也比较少。其中有:Karim O 论述了如何用粗集来表示和度量 GIS 中空间属性的不确定性(Karim,2003);Ahlqvist, Johannes 和 Arim 讨论了如何用粗集分析 GIS 中空间数据分类中的不确定性,并把分析结果与确定的方法进行比较,结果表明基于粗集的分析结果明显优于确定方法的分析结果(Ahlqvist 等,1998);卢冰原把粗集中的决策理论与 GIS 相结合以增强 GIS 的决策能力(卢冰原,2002)。

1.2.2 模糊理论在 GIS 质量评价中的研究现状

国内外有关基于模糊理论的 GIS 质量评价都是从 20 世纪末才开始的,目前,尚处于探索阶段,研究成果并不很多,现简单介绍其研究情况。

王建华在其博士论文中引入模糊理论,就 GIS 的拓扑关系进行了讨论;邓敏,刘文宝就 GIS 中模糊点目标位置的不确定性进行了描述;王家鼎就地理学中的模糊信息优化处理方法进行了研究,并提出 GIS 中模糊性存在的原因(王家鼎,1999);王树良、李德仁、史文中、王新洲等提出了地学粗空间的理论,以及在 GIS 不确定性中的应用(王树良,2002);曹菡、陈军等研究了模糊边界地理现象的建模方法(曹菡等,2001);刘文宝、邓敏进行了矢量 GIS 中模糊地理边界的分析(刘文宝等,2000);Zhang Jin 用 Rough 集来研究 GIS 中空间数据的不确定性(Zhang Jin,2002);Ahlqvist, Johannes 和 Arim 用 Rough 集分类来描述空间数据的不确定性(Ahlqvist 等,1998);Konstantin 和 Carlo 研究了空间统计学在 GIS 中的应用,特别就不确定性问题进行了探讨(Konstantin 等,2002);Jonathan, Simon, Gordon 用模糊方法来处理 GIS 的时间不确定性(Jonathan 等,2002);Hnton 在其博士论文中提出用基于模糊面向对象的方法来处理空间数据的不确定性(Hnton, 1999);Panagiotis T 在其博士论文中把 Bayesian 用于 GIS 质量控制(Panagiotis, 2000);Lagacherie, Andrieux 和 Bouzigues 分析了土壤中分类中含有的模糊不确定性(Lagacherie 等,2001);Schneider 研究了 GIS 中模糊实体模糊性的度量及其性质(Schneider,2000);Tang Xin-ming 在其博士论文中研究了空间数据的模糊性,及模糊实体之间的拓扑关系(Tang,2004);Goodchild, Lin 和 Lenng 研究了具有模糊性的地图的可视化,确定了地图中模糊性的大小,以及地图质量的控制方法(Goodchild 等,1993);宋涛在其硕士论文中研究了基于矢量数据的模糊不确定性,并推导出计算模糊不确定性大小的公式(宋涛,2002);秦建新在其博士论文中

提出空间信息存在着不确定性,并对模糊不确定性的可视化进行了探讨(秦建新,2000);刘亚彬在其博士论文中研究了空间推理的逻辑基础和空间信息的模糊性与不确定性(刘亚彬,2001);刘大有论述了不确定性的处理方法,以及模糊不确定性在知识推理中的应用(刘大有,2000);王新洲论述了模糊数学在空间信息处理中应用,并就模糊数学用于 GIS 质量评价和控制提出了一些理论和方法(王新洲等,2004)。

综上,基于模糊性的 GIS 质量评价还处于探讨阶段,有待深入研究。

1.2.3 模糊理论在 GIS 可靠性分析中的研究现状

应用模糊理论处理可靠性问题始于 1975 年(Kaufmann,1975)。Ayyub 对于模糊数学在结构可靠性中的应用进行了全面的评价;Tanaka 在可靠性中引入了模糊概率的概念,Singer 对传统结构的可靠性函数进行了模糊化描述;Utkin 提出了基于模糊目标和约束条件的冗余最优化的解算;Dringra 应用模糊数学对多目标约束的串联系统可靠度最优化问题进行了研究;Viertl 提出了基于模糊寿命的可靠性评估方法(Viertl,1980;1996);Reddy 分别利用随机变量和模糊变量表示不确定性,提出了一种随机模糊可靠度的分析方法;Onisewa 以实验为基础,采用模糊方法处理人的可靠性,提出了两个概念人差错的可能性和人为故障的可能性,并以它们分别替代人的差错概率和人为故障概率;王光远从抗震结构所受载荷的模糊性和随机性出发,建立了抗震结构的模糊可靠性分析方法;随后经过 10 余年的系统研究,以王光远为首的课题组创立了具有国际先进水平的工程软件设计理论;在模糊可靠性领域,特别值得一提的是我国青年学者蔡开元博士,以其卓越成就赢得了国际同行的赞誉,他所建立的率模可靠性理论、能双可靠性理论,在可靠性领域引起了巨大反响;黄洪钟对机械模糊可靠性理论进行了深入研究,并建立了机械模糊可靠性理论(黄洪钟等,1994;1995;1996;1999);另外,一些高等院校也参与了研究(孙占全,2003)。但总的说来,模糊可靠性无论是在理论研究,还是工程应用都还处在初步阶段。

由于 GIS 是一个复杂的系统且含有模糊不确定性,其可靠性分析应考虑模糊性,进行模糊可靠性分析。近几年来,对 GIS 可靠性分析也考虑了 GIS 模糊不确定性,取得了一些成果。如胡圣武、王新洲、潘正风提出了一种基于三角模糊数的 GIS 可靠性分析(胡圣武等,2004;2005);王新洲、史文中、王树良就 GIS 的模糊可靠性提出了一些基本概念和算法(王新洲等,2004);刘文宝、史文中进行了基于模糊不确定性的 GIS 位置的可靠性分析。

因此,基于模糊理论的 GIS 可靠性分析,有待大力研究和发展。

§ 1.3 本书的研究意义

近几年来, GIS 应用越来越广泛, 它已涉及到与地球科学有关的各个学科, 及国家经济建设的各个领域, 它对社会经济活动的各种规划和管理的决策支持作用也日益增强。GIS 产品是通过数据采集、数据存储、数据变换、空间操作、空间分析以及信息可视化等一系列过程生产的, 这其中的每一个过程都会带来不确定性, 即通常所说的误差。现在, 人们已经认识到 GIS 中存在不确定性, 并且进行了大量研究, 取得了一定的成果。

对于不确定性, 目前, 人们所认识的和研究的主要是随机不确定性, 但实际上可以把不确定性分为强和弱两类: 随机性和模糊性是强不确定性; 未确知性是弱不确定性。未确知性的“弱”主要表现在两方面: 第一, 当未确知性与随机性和模糊性共存时, 它就可以被后二者所掩盖或包含; 第二, 当未确知性单独存在时, 它可以用随机性和模糊性的表达方式来表达(王光远等, 1994)。因而, 正确分析 GIS 中的不确定性应该考虑模糊不确定性, 这样才能全面揭示 GIS 的不确定性, 才能给出 GIS 产品的质量和可靠性指标。

研究基于模糊理论的 GIS 质量评价对于提高 GIS 质量、GIS 发展具有较大作用, 其意义如下:

(1) 可以提高 GIS 的决策支持作用, 提高 GIS 产品的可靠性和实现 GIS 的应用目标。

(2) 为 GIS 的生存和发展提供保障, 质量低劣的 GIS 产品, 将无法得到用户的信任。正如 Goodchild(Goodchild 等, 1989) 和 Abler(Abler, 1987) 等所说的, 不考虑 GIS 质量, 则生产出来的 GIS 产品只能是一堆完美的高级垃圾。

(3) 对评价 GIS 产品质量, 确定 GIS 录入数据的质量标准, 改善 GIS 的数据处理方法, 减少 GIS 设计与开发的盲目性等方面都有着深远的影响。

(4) GIS 质量评价理论的研究是 GIS 基础理论研究的一个重要部分, 有利于完善 GIS 基础理论, 促进地球空间信息学的发展。

GIS 及 GIS 产品的可靠性已成为衡量 GIS 及 GIS 产品质量的重要指标之一。给出 GIS 及 GIS 产品的可靠性指标, 这对 GIS 开发者和用户都是至关重要的, 这也是 GIS 及 GIS 产品正确走向商业化的一个必然过程。因此, 研究 GIS 可靠性分析是相当必要的, 其意义如下:

(1) 可以尽量防止和减少 GIS 及 GIS 产品错误的发生, 尤其是一些致命的错误出现。

(2) 提高 GIS 及 GIS 产品的可用率。

(3) 改善 GIS 开发商的信誉, 增强竞争力, 扩大 GIS 产品的销路, 从而提高经济效益。

- (4)可以减少 GIS 产品的售后服务,从而减少开支和节省时间。
- (5)有利于 GIS 产品与世界接轨。

§ 1.4 本书的研究内容和结构安排

1.4.1 研究内容

1. GIS 模糊不确定性

(1)论证 GIS 的模糊不确定性。主要从 GIS 的数据、软件、硬件和人员 4 个方面论证 GIS 中含有模糊不确定性。

(2)用模糊数学研究 GIS 的不确定性。对于 GIS 而言,数据的采集是一个非常重要的工作,由于人们认识的局限性和事情的未知性,必然给 GIS 数据带来模糊性的不确定性,如土壤的分类、图像的分割等。因此,必须用模糊数学的知识来对模糊不确定性进行度量。

(3)用粗集研究 GIS 的不确定性。粗集是对模糊数学的发展,用它研究模糊性的不确定性可以改善模糊数学中的隶属函数的缺陷。

2. GIS 质量评价

主要研究以下 3 个方面:

- (1)基于模糊综合评判的 GIS 质量评价;
- (2)GIS 质量的多尺度分析;
- (3)基于粗集的 GIS 质量控制和质量评价。

3. GIS 可靠性分析

GIS 产品作为一种信息产品必须商业化,才会有稳定的市场,才能兴旺发达。根据国家 1993 年颁布的《产品质量法》,必须提供商品的可靠性指标。因此,GIS 产品也必须提供可靠性指标。由于 GIS 中存在模糊性,因而,基于模糊理论的可靠性分析就非常必要。主要研究以下 3 个问题:

- (1)模糊可靠性的基本概念;
- (2)基于模糊数的 GIS 可靠性分析;
- (3)基于模糊故障树的 GIS 可靠性分析。

1.4.2 本书的结构安排

第 1 章 绪论。系统归纳和总结基于随机不确定性的 GIS 质量控制与可靠性分析的研究现状,指出 GIS 中不仅含有随机不确定性,也含有模糊不确定性。因而,提出用模糊理论来进行 GIS 质量控制与可靠性分析。同时,分析了模糊理论在 GIS 质量控制与可靠性分析中的研究现状及其研究意义,提出本书的研究目标和研究内容。