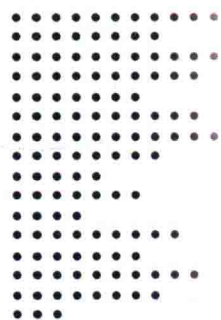
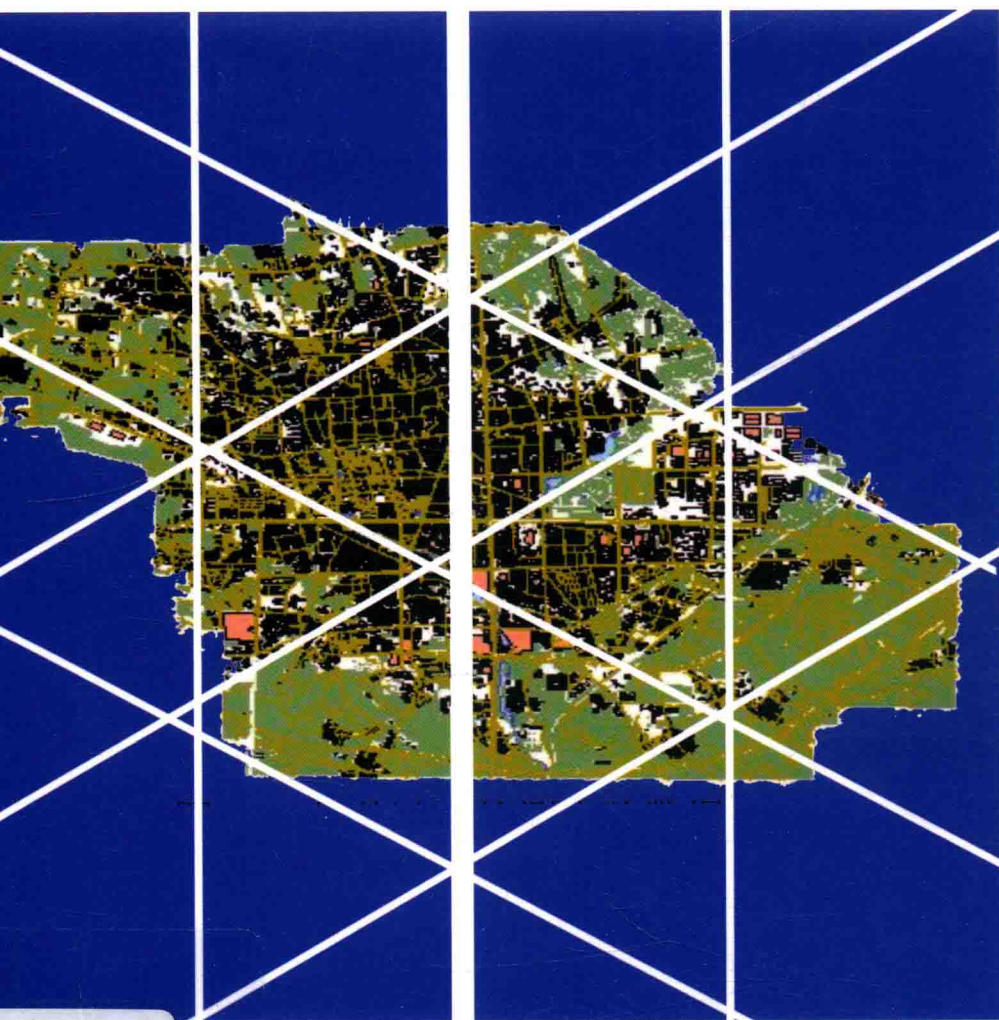




地球信息科学基础丛书

# 居民地增量级联更新 理论与方法

◎ 武 芳 许俊奎 李靖涵 著



科学出版社

地球信息科学基础丛书

# 居民地增量级联更新理论与方法

武 芳 许俊奎 李靖涵 著

国家自然科学基金 (41171354)

预先研究项目 (40601030303)

联合资助

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书以空间数据中变化快、数量多的居民地要素为例,对多尺度空间数据增量级联更新的基本理论、方法、流程和关键技术进行深入的研究,内容共分为10章。第1章为绪论,以情景分析的方式,阐述了多尺度居民地要素增量级联更新模式的基本概念、主要流程和关键技术;第2章针对空间数据更新对“差”的需求,研究了图形数据差的概念和基本类型,提出了基于图形数据差的变化对象分类及形式化表达方法;第3章从空间认知的角度对居民地匹配的特点进行分析,实现了同尺度居民地匹配和变化信息提取;第4章实现了基于多角度相似性辨识的相邻尺度居民地匹配,并在相邻尺度匹配结果的基础上建立了同名对象间的关联关系;第5章以相邻比例尺同名对象间的对应关系为基础,建立了支持增量级联更新的顾及纵向关联和横向索引的多尺度空间数据关联索引结构;第6章提出增量更新环境下的变化信息动态自适应尺度变换策略,实现了影响域渐进扩展的增量综合;第7章和第8章分别实现了利用格网进行邻近分析的拓扑冲突检测模型和基于方向相似性度量的方向冲突检测模型,并提出多种实用的冲突处理方法;第9章对增量级联更新流程中的关键环节如匹配、增量更新进行质量检核,保证了更新前后数据在空间关系方面的一致性和更新的质量;最后一章在前述各章关键技术环节实现的基础上,构建了级联更新的实现流程,结合具体数据及研发的居民地要素增量级联更新原型系统,对增量级联更新的完整过程和主要功能进行验证。

本书可供从事空间数据生产和更新、地图制图综合、地理信息服务等领域的科研人员和工程技术人员阅读,可作为地图学与地理信息工程专业的研究生教材,也可供其他相关专业人员学习与参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

居民地增量级联更新理论与方法/武芳,许俊奎,李靖涵著. —北京:科学出版社,2017.2

(地球信息科学基础丛书)

ISBN 978-7-03-051787-6

I. ①居… II. ①武… ②许… ③李… III. ①居民点-空间信息系统-研究 IV. ①C913.31 ②P208.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 028849 号

责任编辑:杨帅英 / 责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:图阅社

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>

北京新华印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年2月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:397 000

定价:129.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 序

武芳教授率领的青年科研队伍是一个人数不多但工作效率很高的科技创新群体,继前后出版《面向地图自动综合的空间信息智能处理》(2008年5月)、《地图自动综合质量评估模型》(2009年11月)两部学术著作之后,新著《居民地增量级联更新理论与方法》又即将面世了,可喜可贺!

我曾经为前面的两部著作写过序,在我为其中的《地图自动综合质量评估模型》作序时说过两部书可称得上是“姊妹篇”。前者,着重研究地图内容自动综合的模型、算法及基于自动综合链的自动综合过程控制模型,要解决的是地图内部各要素的自动综合及相互关系的自动处理;后者,着重研究地图自动综合的质量评估问题,目的是为自动综合结果的质量提供可信度评价模型。现在看来,如果即将出版的《居民地增量级联更新理论与方法》同前两部著作放在一起,那就可谓是武芳教授等在该领域研究成果的“三部曲”了。这不是偶合,更不是牵强附会,而是作者长期从事数字地图自动综合理论方法研究逻辑思维和科技创新的必然。第一部著作着重研究如何实现地图内部各要素的自动综合问题,而第二部著作着重研究如何评价自动综合结果的可信度质量问题,那么第三部著作则是着重研究自动综合生成的多尺度空间数据在更新时如何解决其一致性增量级联更新的问题。这不正是一种符合科学规律的逻辑思维结果吗!

多尺度空间数据的增量级联更新,无论理论还是方法难度都是很大的,研究解决这个问题的理论方法基础仍然是地图自动综合。该书选择居民地作为研究对象,是因为在空间数据中居民地要素数量最多、变化最快,对研究多尺度空间数据的增量级联更新具有代表性。

该书内容以多尺度空间数据的增量级联更新的基本理论方法、流程和关键技术研究为主线,具有以下特色:

第一,多尺度空间数据的增量级联更新的理论创新。采用情景分析方式,结合实例,阐明了增量级联更新的概念、流程、关键技术及其依赖关系,构建并实现了居民地要素增量更新的原型系统,论证了理论的正确性和技术路线的合理性,体现了理论和实践的统一。

第二,空间数据变化信息表达和提取的理论与方法创新。以地图图形数据“差”理论为基础,讨论了居民地空间变化的分类方法,设计了变化信息的形式化表达模型,并开发了具体的富有针对性的系列居民地匹配算法。

第三,多尺度居民地图形数据关联索引结构的构建的创新。通过相邻尺度空间数据匹配建立同名对象间的对应关系,采用自然格网空间索引方法,构建多尺度居民地图形数据关联索引结构,完成“影响域”渐进扩展的增量综合,从而实现多尺度居民地图形数据的关联和更新在多比例尺之间的传递。

第四，居民地增量级联更新质量评估方法的创新。按照居民地与其他要素间的拓扑关系、方向关系进行冲突检测和处理，居民地形状、位置、面积、方向等为指标进行图形匹配质量的评估，基于邻域相似性对级联更新结果进行质量评估。

显然，第二、第三两个特色是第一个特色实现的基本保证，第四个特色是第一个特色实现结果质量可信度的评估。

在一部著作中，作者把小尺度空间数据增量级联更新这么复杂、难度很大的问题研究得如此系统、深入而实用，可敬可佩。

学术著作出版是丈量中国学术的一把尺子。在当今科技界存在急功近利、学风浮躁、学术不端的环境下，20 多年如一日地从事一个领域的科学研究，而且取得了系列创新的学术成果，值得提倡！

当然，空间数据多尺度自动综合与增量级联更新并非所有的问题都解决了，特别是“互联网+时空大数据”时代的到来，为该领域的研究带来了新的挑战 and 机遇，希望武芳教授的团队和学界业界的同行们继续努力，贡献出更多的佳作，引领学术发展。



中国工程院院士

2016 年春

# 前 言

随着移动互联网的日益普及,地理空间信息作为描述地理实体位置、形状、方向及其空间属性的基础性信息集合,已深度融入社会生活中,成为信息技术链条上不可或缺的基础环节。然而,由于地形、地物、社会设施等随着时间推移不断变化,如何快速、准确地更新地理空间信息就成了摆在地图工作者面前的主要任务。此外,地理空间信息的广泛应用和不同应用模式的独特需求,也对空间数据更新技术提出了更高的要求。

空间数据更新是地理信息服务的关键一环,其理论和技术发展受到国内外地理信息行业人员的广泛关注和研究。然而,空间数据自身的特点致使更新的自动化水平难以满足要求。首先,地理空间数据包含多种要素,如道路、水系、居民地等,各要素的表达方式和特性都不同。其次,同一片地理区域由多级比例尺数据来表达,更新时要考虑各级比例尺数据的一致性。最后,各要素变化的频率和方式不同,要素之间在变化过程中又会互相影响,再叠加多级比例尺数据,进而产生复杂的连锁反应,这些因素都迟滞了空间数据更新自动化水平的提高。面对日益增加的数据更新需求和更新过程中的种种困难,地图工作者提出了多种解决方案,地理空间数据更新方法也从全面更新过渡到增量更新和级联更新,进而产生结合增量更新和级联更新优点而形成的增量级联更新方法。由于更新过程本身的复杂性,为突出重点,本书以居民地要素为例,结合近年来课题组的研究成果,对地理空间数据增量级联更新的理论和技术进行论述。

本书以居民地要素增量级联更新流程为主线,重点讨论更新过程中关键技术的理论探索和方法实践,总体可分为四大部分。第一部分是居民地要素增量级联更新理论基础,主要在第1章中论述,以情景分析的方式,结合实例,论述了增量级联更新的概念、流程、关键技术及其依赖关系等,并在第10章实现了居民地要素增量级联更新原型系统,验证了这些理论和技术路线。第二部分是空间变化信息表达和提取的理论与方法,包括第2、第3、第4章,以图形数据差理论为基础,论述了空间变化的分类方法,设计了变化信息形式化表达模型,并基于空间认知、空间关系相似性、人工神经网络等理论与技术开发了几种具体的空间数据匹配算法。第三部分是多尺度居民地数据关联索引结构的构建及其支撑下的增量综合,包括第5、第6章,首先通过相邻尺度空间数据匹配建立同名对象间的对应关系,在基于自然格网的空间索引辅助下,构建多尺度居民地数据关联索引结构,并以此为基础,完成了影响域渐进扩展的增量综合,实现了多比例尺数据的关联和更新在比例尺间的传递。第四部分是增量级联更新质量评估,包括第7、第8、第9章,首先从居民地与其他要素间的拓扑关系、方向关系入手进行冲突检测和处理;其次以居民地形状、位置、面积、方向等为指标,进行匹配质量评估;最后,基于邻域相似性对更新结果进行



质量评估。

本书涵盖了居民地要素增量级联更新的整个流程,以理论与实践相结合的方式完成了空间数据增量级联更新理论和各环节关键技术的阐述,书中的方法不仅可以直接用于居民地要素的更新中,还可以被其他要素更新借鉴,它不仅是居民地要素更新理论与方法的总结,也是对该领域进一步研究及下一步实现全要素增量级联更新的探索与开拓。

本书作者长期从事地图自动制图综合和空间数据更新的理论研究与实践,先后主持完成了包括国家自然科学基金、国家 863 计划等多项相关研究项目,并发表了与此有关的 80 余篇学术论文,本书是对居民地增量级联更新方面研究成果的提炼与总结。由于更新流程中部分技术还需要人工辅助,实现完全自动化的地理空间数据增量级联更新还很困难,作者及其团队还在从事该领域的研究,书中有许多方面还有待于在科研和教学实践中逐步充实、完善和提高。

本书经信息工程大学地理空间信息学院王家耀院士审阅并提出宝贵的意见,使本书在内容与结构上均得到很大改善,王家耀院士并为本书作序;与西安测绘研究所杨春成研究员及其团队、武汉大学艾廷华教授及其团队在合作完成项目中的有益讨论,也为本书的完成开拓了思路,并且他们提出了很好的建议;信息工程大学的钱海忠教授、翟仁健博士参与了本书相关内容的研究,在研究的组织、实施及本书的撰写过程中,提供了大量的资料,指导了研究的进行和书稿大纲的讨论;研究生姬存伟(第 2 章)、焦洋洋(第 9 章)等参加了本课题(国家自然科学基金“居民地增量级联更新关键技术研究”)的研究,完成了许多实验及相关工作,巩现勇、杜佳威等也对本书的完成提出了修改建议并完成了书稿的校对等工作,没有他们的辛苦付出,本书也难以付梓,在此作者一并表示衷心感谢!

空间数据更新是一个不断有着新的研究方法、研究内容的研究领域,需要进一步探索的问题还有很多。限于作者水平有限,书中难免有疏漏谬误,恳请读者与专家批评指正。

本书在国家自然科学基金(41171354)和预先研究项目(40601030303)的资助下完成,也得到了信息工程大学地理空间信息学院出版基金的大力支持。

作 者

2015 年 9 月

# 目 录

序

前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第1章 绪论                       | 1  |
| 1.1 空间数据更新的基本问题              | 1  |
| 1.1.1 空间数据更新的研究背景与意义         | 1  |
| 1.1.2 空间数据更新的主要模式            | 3  |
| 1.2 空间数据更新技术与方法研究进展          | 5  |
| 1.2.1 国内外相关技术方法研究进展          | 5  |
| 1.2.2 居民地增量级联更新面临的问题         | 10 |
| 1.3 居民地增量级联更新的模式及特点          | 11 |
| 1.3.1 增量更新的概念及特点             | 11 |
| 1.3.2 级联更新的优势与增量信息在尺度间传递的过程  | 15 |
| 1.3.3 居民地增量级联更新基本模式          | 18 |
| 1.3.4 顾及语义信息的复杂对象更新流程        | 19 |
| 1.3.5 增量级联更新的关键技术及其依赖关系      | 20 |
| 1.3.6 居民地增量级联更新的总体实现思路       | 21 |
| 第2章 居民地变化信息分类及形式化表达          | 24 |
| 2.1 空间变化类型的确定与判断             | 24 |
| 2.1.1 空间变化分类                 | 24 |
| 2.1.2 空间变化类型的判断              | 30 |
| 2.2 居民地图形数据差及其分类判断           | 32 |
| 2.2.1 时空变化和图形数据差             | 32 |
| 2.2.2 图形数据差的分类               | 34 |
| 2.2.3 图形数据差类型的判断             | 36 |
| 2.2.4 图形数据差的形式化表达            | 39 |
| 2.3 空间变化、动态更新操作和图形数据差之间的映射关系 | 40 |
| 2.3.1 空间变化与图形数据差的对应关系        | 40 |
| 2.3.2 空间变化与动态更新操作的对应关系       | 43 |
| 2.3.3 图形数据差与动态更新操作的对应关系      | 43 |
| 2.3.4 三者映射关系的建立              | 44 |
| 2.4 变化信息表达模型及其分类判断           | 45 |



|       |                         |    |
|-------|-------------------------|----|
| 2.4.1 | 变化信息表达模型的建立             | 45 |
| 2.4.2 | 变化信息分类判断                | 45 |
| 2.5   | 变化信息的分类表达               | 46 |
| 2.5.1 | 变化信息类型判断规则              | 46 |
| 2.5.2 | 变化信息类型的形式化表达            | 47 |
| 第3章   | 同尺度居民地匹配和变化信息提取         | 49 |
| 3.1   | 居民地匹配的空间认知特点            | 49 |
| 3.1.1 | 居民地匹配问题分析               | 49 |
| 3.1.2 | 居民地匹配的空间认知过程            | 51 |
| 3.1.3 | 居民地相似性及其认知              | 52 |
| 3.1.4 | 认知实验及认知特点分析             | 53 |
| 3.2   | 基于人工神经网络的居民地匹配算法        | 56 |
| 3.2.1 | 基于人工神经网络的居民地匹配模型        | 56 |
| 3.2.2 | 人机结合的神经网络训练策略           | 58 |
| 3.2.3 | 居民地匹配实验及变化信息提取          | 59 |
| 3.3   | 空间关系相似性约束的居民地匹配算法       | 63 |
| 3.3.1 | 空间关系相似性及其计算             | 63 |
| 3.3.2 | 空间关系相似性约束的居民地匹配流程       | 65 |
| 3.3.3 | 邻近对象空间关系相似性校验的匹配质量检核    | 66 |
| 3.3.4 | 居民地匹配及变化信息提取            | 67 |
| 3.4   | 基于图形数据差的居民地变化信息提取与表达示例  | 71 |
| 3.4.1 | 居民地要素变化信息提取             | 71 |
| 3.4.2 | 居民地要素变化信息的分类表达          | 75 |
| 第4章   | 居民地要素的形态演化和相邻尺度居民地匹配    | 79 |
| 4.1   | 相邻比例尺居民地匹配的特点           | 79 |
| 4.1.1 | 相邻尺度同名对象对应关系的类型         | 79 |
| 4.1.2 | 居民地在生命周期内的表现形式和对应关系     | 80 |
| 4.1.3 | 相邻尺度居民地匹配问题分析           | 81 |
| 4.2   | 相邻比例尺居民地匹配中多对多关系的发现和确认  | 82 |
| 4.2.1 | 匹配中多对多关系产生的原因           | 82 |
| 4.2.2 | 匹配中多对多关系的发现方法           | 83 |
| 4.2.3 | 多对多对应关系的确认              | 85 |
| 4.3   | 基于多层次相似性辨识的相邻尺度居民地匹配算法  | 86 |
| 4.3.1 | 链角结合的局部配准方法             | 86 |
| 4.3.2 | 基于空间关系相似性约束的匹配对象粗选和位置纠正 | 88 |
| 4.3.3 | 基于多层次相似性辨识的精匹配          | 91 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 4.3.4 相邻尺度居民地匹配示例 .....            | 93  |
| 第5章 多尺度居民地数据关联关系的构建 .....          | 96  |
| 5.1 系列比例尺关联关系模型的建立 .....           | 96  |
| 5.1.1 树型关联关系模型的建立 .....            | 96  |
| 5.1.2 索引结构的设计 .....                | 97  |
| 5.2 基于自然格网的居民地制图综合索引 .....         | 98  |
| 5.2.1 制图综合索引的构建方法及问题分析 .....       | 98  |
| 5.2.2 面向更新的制图综合索引的构建要点 .....       | 100 |
| 5.2.3 制图综合索引的构建策略 .....            | 100 |
| 5.2.4 基于自然格网的制图综合索引构建方法 .....      | 105 |
| 5.2.5 构建过程及分析 .....                | 107 |
| 5.3 多尺度居民地关联索引结构 .....             | 111 |
| 5.3.1 多尺度制图综合索引的一致性约束 .....        | 111 |
| 5.3.2 多尺度居民地关联索引结构的构建 .....        | 112 |
| 5.4 相邻尺度同名对象关联关系建立 .....           | 114 |
| 第6章 居民地变化信息的尺度变换 .....             | 115 |
| 6.1 增量更新环境下居民地的尺度变换方法 .....        | 115 |
| 6.1.1 居民地要素尺度变换方法分析 .....          | 115 |
| 6.1.2 增量更新环境下尺度变换的特点及要求 .....      | 118 |
| 6.1.3 尺度变换方法和流程的改进途径 .....         | 119 |
| 6.2 尺度变换算子的动态自适应选择 .....           | 120 |
| 6.2.1 尺度变换算子动态自适应选择的概念架构 .....     | 120 |
| 6.2.2 尺度变换算子选择支撑库的构建 .....         | 120 |
| 6.2.3 基于智能增强策略的自适应尺度变换算子选择方法 ..... | 125 |
| 6.3 影响域渐进扩展的居民地增量综合方法 .....        | 126 |
| 6.3.1 增量综合概念的提出及研究重点 .....         | 126 |
| 6.3.2 影响域渐进扩展的居民地增量综合 .....        | 127 |
| 第7章 居民地增量信息的拓扑冲突检测与处理 .....        | 132 |
| 7.1 增量更新空间冲突的特点和检测模型 .....         | 132 |
| 7.1.1 增量更新中空间冲突的成因分析 .....         | 132 |
| 7.1.2 增量更新中空间冲突的特点与检测模型 .....      | 134 |
| 7.2 拓扑冲突规则的定义与形式化表达 .....          | 135 |
| 7.2.1 拓扑约束的来源 .....                | 135 |
| 7.2.2 拓扑关系表达模型的建立 .....            | 136 |
| 7.2.3 拓扑冲突规则的形式化表达 .....           | 138 |
| 7.2.4 与居民地相关的拓扑冲突约束规则 .....        | 138 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 7.3 基于格网的增量更新拓扑冲突快速检测方法         | 141        |
| 7.3.1 基本思想                      | 141        |
| 7.3.2 格网索引建立与数据结构表达             | 142        |
| 7.3.3 格网大小的确定                   | 143        |
| 7.3.4 冲突检测过程                    | 144        |
| 7.3.5 冲突检测实验                    | 145        |
| 7.3.6 检测效率实验分析                  | 151        |
| 7.4 更新居民地与其他空间目标间拓扑冲突的处理        | 153        |
| 7.4.1 冲突处理的基本方法                 | 153        |
| 7.4.2 不同类型拓扑冲突的度量与处理            | 154        |
| 7.4.3 冲突处理步骤                    | 158        |
| 7.4.4 相关实验                      | 159        |
| <b>第8章 居民地增量信息的方向冲突检测与处理</b>    | <b>163</b> |
| 8.1 空间数据库中的方向冲突                 | 163        |
| 8.1.1 方向关系                      | 163        |
| 8.1.2 方向冲突                      | 163        |
| 8.1.3 方向冲突检测的难点                 | 164        |
| 8.2 方向关系的表达模型                   | 164        |
| 8.2.1 典型方向关系表达模型比较分析            | 165        |
| 8.2.2 方向关系矩阵模型及其扩展              | 165        |
| 8.3 改进的面状目标间方向相似性计算模型           | 168        |
| 8.3.1 基本方向片概念间距离的改进             | 168        |
| 8.3.2 基于最小元素法求解的方向相似性计算方法       | 170        |
| 8.3.3 方向相似性认知实验                 | 172        |
| 8.4 居民地增量更新方向冲突检测               | 174        |
| 8.4.1 基于方向相似性计算的方向冲突检测模型        | 174        |
| 8.4.2 比较与分析                     | 179        |
| 8.4.3 相关实验                      | 180        |
| <b>第9章 居民地增量更新中的几何匹配质量检核与评估</b> | <b>186</b> |
| 9.1 居民地几何匹配质量评估策略               | 186        |
| 9.1.1 匹配质量元素及度量方法               | 186        |
| 9.1.2 质量评估策略                    | 188        |
| 9.2 基于形状相似性度量的匹配错误检测方法          | 188        |
| 9.2.1 关键点内插形状相似性度量的检测方法         | 189        |
| 9.2.2 格网叠置分析形状相似性度量的检测方法        | 196        |
| 9.2.3 基于形状相似性度量的匹配错误检测          | 204        |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 9.3 多指标灰色关联自定义权的匹配正确性判断方法 .....         | 206        |
| 9.3.1 灰色关联分析的基本原理 .....                 | 206        |
| 9.3.2 几何精度指标度量方法 .....                  | 207        |
| 9.3.3 综合度量及匹配正确性判断 .....                | 210        |
| 9.4 基于邻域相似性的增量更新质量评估 .....              | 219        |
| 9.4.1 评估方法及过程 .....                     | 219        |
| 9.4.2 实验与分析 .....                       | 222        |
| <b>第 10 章 居民地增量信息在尺度间的传递及级联更新 .....</b> | <b>225</b> |
| 10.1 增量信息对空间数据的级联更新 .....               | 225        |
| 10.1.1 关联关系的建立 .....                    | 225        |
| 10.1.2 更新的传递流程 .....                    | 226        |
| 10.1.3 变化信息尺度变换及更新传递实验 .....            | 230        |
| 10.1.4 更新传递及级联更新效率分析 .....              | 232        |
| 10.2 居民地增量级联更新过程示例 .....                | 234        |
| 10.2.1 更新数据源预处理 .....                   | 234        |
| 10.2.2 相邻尺度旧数据匹配和关联关系建立 .....           | 235        |
| 10.2.3 起始比例尺数据匹配和变化信息提取 .....           | 236        |
| 10.2.4 起始比例尺数据更新和增量信息提取 .....           | 238        |
| 10.2.5 变化信息尺度变换 .....                   | 241        |
| 10.2.6 增量信息质量评估和相邻尺度数据更新 .....          | 242        |
| 10.2.7 面向下一尺度更新的变化信息提取 .....            | 244        |
| 10.2.8 运行实例分析 .....                     | 244        |
| <b>参考文献 .....</b>                       | <b>247</b> |

# 第1章 绪 论

科学的发展和技术的进步极大地扩展了人类的活动空间,也对地理空间信息的生产和应用产生了深层次的巨大需求。地理空间信息作为客观世界地理空间和人类活动环境的信息集合,被广泛应用于政治、经济、军事、社会生活等各领域,特别是随着移动互联网的普及,它已成为人们生活中不可或缺的基础信息。随着空间数据获取技术的高速发展,空间数据的生产模式和效率有了很大提高,空间数据库的建库工作已逐渐完成。然而,随着我国经济建设的飞速发展,地形地物等要素不断变化,这些数据库的现势性逐渐降低,空间数据的更新与维护成为空间数据库建设的核心工作。如何降低成本、节约时间,利用各部门最新数据和资料更新空间数据库,成为数据生产和提供部门所要面对的关键问题。因此,本书以更新为主题,以提高更新过程的自动化程度为目标,以居民地要素为例,探讨多尺度空间数据库更新的理论与方法。

## 1.1 空间数据更新的基本问题

### 1.1.1 空间数据更新的研究背景与意义

随着科学技术的高速发展和社会信息化程度的加深,地理空间信息作为信息产业的关键一环,逐渐进入工业、农业和百姓的生活中,得到了日益广泛的应用。而作为地理信息系统“血液”的地理空间数据,其重要性也与日俱增,尤其是在军事领域,地理空间数据已成为指挥系统和武器装备的运行基础,是战役指挥、导弹寻的、无人机导航等系统运行的重要支撑(陈军等, 2004)。通过军队和地方测绘人员的不懈努力,当前已建成全国 1:50 000 框架数据库、1:250 000 基础地理空间数据库、1:500 000 交通数据库和 1:1 000 000、1:3 000 000 数据库等,各省也陆续建立了 1:10 000、1:5000、1:1000 甚至局部地区 1:500 的各种数据库,我国基础地理空间数据的建库工作初见成效(陈军, 2002)。

但由于我国幅员广阔,地理空间数据量众多,并且近年来随着国家经济建设和城市基础设施建设的飞速发展,地物、地形、社会及人文要素不断发生变化,导致这些已建成的数据库现势性逐年下降,直接影响着其使用价值,已很难满足经济建设和高科技条件下的军事斗争需求,迫切需要进行迅速、全面、持续的更新工作。《中华人民共和国新测绘法》第三章十五条也明确指出:“基础测绘成果应当定期进行更新,国民经济、国防建设和社会发展急需的基础测绘成果应当及时更新”(陈军等, 2007b)。人们逐渐认识到“地理空间信息更新将取代数据获取而成为 GIS 建设的瓶颈”,当前,测绘工作的重心正在由初期的数据生产向当前的数据更新与服务转变(Li et al., 2002)。

地理空间数据更新是一个繁杂的过程,根据更新的范围、周期和技术手段的不同,可以分为定期全面更新、增量更新和多比例尺级联更新三种模式(Mader, 1999)。定期

全面更新是指在规定的周期内,或是一定比例的地理空间实体发生变化时,开展更新工作,对一定范围内的基础地理数据进行全面的更新(蒋捷和陈军,2000);增量更新是指变化(几何或语义变化)一经发生、发现、测定,空间数据库便更新其内容,保存变化信息,而且更新后的数据能够不断传递给用户使用的一种理想的更新方式(Langran, 1993; Cooper and Peled, 2001; Cooper, 2003; 周晓光等, 2006);多比例尺地理空间数据级联更新是指通过建立多个比例尺数据之间的关联,用一批现势性数据通过关联更新多个比例尺的数据(傅仲良和吴建华, 2007; 毋河海, 2000b; Kilpeläinen, 1997; Haunert and Sester, 2005)。从更新目标看,前两种模式侧重于对某一比例尺地理空间数据的更新,而多尺度级联更新则能够一次更新多个比例尺数据库。从更新时效性和范围来看,增量式更新具有较大的灵活性,能够有效地应对需求的变化,实现局部地区或某一要素的持续动态更新。

就更新效率和应用前景而言,增量更新和多尺度级联更新的优势更加明显。然而,由于增量更新将更新范围限制在固定的尺度内,而多尺度级联更新在实现多级数据更新的同时又缺少随需而变的灵活性,这就导致它们难以应对当前多尺度空间数据快速、高效、灵活更新的需求。因此,若将这两种更新模式的优点有机结合,形成多尺度空间数据增量级联更新模式,该模式不但具有增量更新快速、灵活的优点,还可以实现多级比例尺变化信息的同步更新,势必会有效地促进多尺度空间数据更新理论和实践的发展。相比原有的三种更新模式,多尺度空间数据增量级联更新模式具有如下优势:

(1) 可以有效地维护多比例尺数据的一致性。对单个比例尺地图数据分别进行更新时,由于更新的时间、更新的数据源、采用的更新方法不同,因此更新结果也必然会有差异,这种差异就造成多个比例尺数据之间的不一致性,如同名地物的不同表示,地物选取的差异造成的地物不匹配等问题。而采用多比例尺增量级联更新方法,由于小比例尺数据是从最初的大比例尺数据缩编更新而来,所以不会存在不同比例尺地物选取差异的问题,每次更新都是从大比例尺数据发现变化信息,然后对变化信息进行自动制图综合处理,经过各要素层的冲突检测和关系处理后对小比例尺数据进行更新,因此,各比例尺数据可以保持大致相同的现势性。此外,在级联更新过程中,更新方法的连贯性也会使同名地物在系列比例尺地图上的表示有一定的规律性。这样,多比例尺数据的增量级联更新可以保证地理空间数据在空间对象层次、地图要素层次和整个地图层次的高度一致性,进而提高空间数据的可用性和有效性。

(2) 缩短更新周期,提高更新效率。传统的地理空间数据更新一般是采取各比例尺数据单独进行,往往由不同的单位或同一单位的不同人员主持,无论更新任务、目标相同与否,都要进行数据源搜集与整理、变化探测与发现、变化信息制图综合、地图各要素的冲突检测等流程,这些工作需要消耗大量人力物力,并且周期较长。若采用多比例尺增量级联更新方法,当对大比例尺数据进行变化检测和更新后,对更新内容进行存储。由于多比例尺数据的一致性,其余比例尺数据需要更新的内容必然是最大比例尺更新内容的子集,所以只需要通过多比例尺数据之间的关联,分析并处理变化信息即可,不用对所有地图数据进行检测,如此必然会节省大量的人力物力,缩短更新周期,提高更新效率。

(3) 实现需求牵引下的适时更新。随着地理空间信息在经济和日常生活中的应用日



趋增多,传统的更新方式已经很难满足多样化的数据更新需求。一些突发事件如地质灾害、应急救援等往往需要在几天或更短的时间内就获取局部或某一要素现势性较高的地理空间数据,而国家重大工程项目建设则对空间数据有自身的特殊需要,此外,不同领域对空间数据更新的时效性要求也有很大的差异,这就要求更新方法具有适时更新能力。多比例尺地理空间数据增量级联更新方式利用增量信息更新多比例尺数据库,通过灵活地对更新内容、更新时间、更新方式进行配置,可以满足当前复杂的更新需求。

### 1.1.2 空间数据更新的主要模式

在 GIS 发展的初期,制图工作者的注意力主要放在几种空间数据库的建设上,对空间数据库更新等问题的研究较少。近年来,随着地理空间信息的深入应用,人们发现“当前 GIS 的核心已从数据生产转为数据更新,数据更新关系着 GIS 的可持续发展”(Fritsch, 1999)。目前,空间数据更新已经引起各国政府的普遍重视,如美国国家地理信息与分析中心 20 世纪 80 年代就开始了大比例尺数据更新小比例尺数据的研究;法国国家制图机构的相关实验室已在该领域进行了多年的开发研究;瑞士与欧洲共同体共同资助的“MurMur”项目中,多尺度数据库的同步更新是其主要研究目标之一;欧洲联盟资助了导航地图持续更新计划——FeedMAP。国际学术组织也加强了对该领域的关注,如 1999 年国际制图协会(ICA)和国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)成立了“增量更新和空间数据库版本化”(incremental updating and versioning of spatial data bases)联合工作组,先后 5 次组织了专题研讨会。2003 年 8 月 ICA 又将该工作组升格为“增量更新和空间数据库版本化”委员会。2004 年 7 月召开的第 20 届 ISPRS 大会专门设立了“地理空间数据库的变化检测与更新”(change detection and updating for geo-databases)、“核心数据库的修订与维护”(revision and maintenance of coregeo-databases)两个主题单元。同时,中国国家自然科学基金委员会自 20 世纪 90 年代以来也陆续对多个空间数据更新研究项目进行了资助。由此可以看出,空间数据更新已经引起了国内外政府、学术机构和学者的广泛关注。

在空间数据库更新的工程应用方面,我国于 2002 年完成了 1998 年建成的全国 1:250 000 地形数据库的首次更新,2006 年年初完成了全国 1:50 000 地形数据库的初始数字化建库,并根据国民经济建设与社会发展的迫切需求,启动了对全国 1:50 000 地形数据库的全面更新,2010 年已基本完成更新工作。由于当初 1:50 000 数据库建库时使用的地形图现势性较差,所以 1:50 000 数据库更新采用的是全面更新的方式。

根据更新数据源采集方式的不同,空间数据的主要更新方法及适用范围如表 1.1 所示(GB/T 14268—2008《国家基本比例尺地形图更新规范》)。

此外,根据更新周期、更新范围的不同,空间数据更新又可以分为定期全面更新、持续增量更新和多比例尺级联更新。

#### 1. 定期全面更新

即在规定的周期内,或是一定比例的地理空间实体发生变化时,开展更新工作,对一定范围内的基础地理数据进行全面的更新(蒋捷和陈军,2000)。例如,荷兰地形署 1:10 000 数据库根据区域特点更新周期分为 4 年、6 年、8 年;日本采用基于栅格的



表 1.1 空间数据的主要更新方法

| 更新方法         | 技术手段                                                 | 适用数据类型                                                            |
|--------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 外业实测更新法      | 通过野外测量数据采集系统，获取地形点的坐标和高程                             | 1：500、1：1000、1：2000、1：10 000 地形图更新宜采用此技术方法。一般用于补测新建的住宅楼群或独立的高大建筑物 |
| 航空摄影更新法      | 采用航空摄影测量方法与外业调绘的作用方法，获取地形点的坐标和高程                     | 1：5000、1：10 000、1：25 000、1：50 000 地形图更新或地物变化范围较大或较复杂的地貌，宜采用此技术方法  |
| 航天遥感更新法      | 选择现势性强、影像地面分辨率不低于图上 0.1mm 的卫星像片，用于地形变化范围不大的局部更新      | 1：100 000 地形图更新宜采用此技术方法                                           |
| 数字正射影像图采集更新法 | 将 DLG 与 DOM 叠合，对变化了的要素进行图形采集                         | 地物变化范围较大或已变化的较复杂的地貌，宜采用此方法                                        |
| 地形图编绘更新法     | 利用不小于成图比例尺的最新版地形图和现势资料，通过内容取舍与更新、地图综合与编辑等编绘技术方法更新地形图 | 1：25 000 以及小于 1：25 000 比例尺的地形图更新宜采用该方法                            |

更新方法，城市地区每 3 年更新一次，郊区每 5 年更新一次，山区每 10 年更新一次；我国上海市确定 1：10 000 矢量地图的更新周期为 5 年，1：2000 矢量地图的更新周期为 4 年，1：1000 矢量地图的更新周期为 3 年，而中心城区 1：500 矢量地图的更新周期为 2 年等。此外，国家基础地理信息中心于 2002 年对全国 1：250 000 数据库进行了首次更新，国家测绘局也于 2006 年启动了国家基础地理信息 1：50 000 数据库更新工程（蒋捷和赵仁亮，2008）。

2. 持续增量更新

当前的地理空间数据库更新大多采用定期全面更新方式，由于数据量巨大，所以更新周期一般长达数年。然而，近年来为满足突发事件处理、重大工程建设等需要，迫切需要能够在几天或较短的时间内得到指定要素或特定地区现势性较高的数据，这就导致了更新方式向持续增量更新转变。例如，日本在完成全日本数字公路地图数据库的基础上，设置了专门的队伍与机制来完成更新信息的动态采集与持续更新。丹麦国家测绘署采用航片发现变化，然后再将变化信息矢量化并用来对原数据库进行增量更新。增量式更新由于方式灵活而且能够更好地保证空间数据的现势性，是空间数据库更新的一大趋势（Langran，1993；Cooper and Peled，2001；Cooper，2003；周晓光等，2006）。

3. 多比例尺级联更新

多比例尺空间数据级联更新是为了解决单个尺度数据更新成本高、不同尺度数据一致性差的问题而提出来的一种更新方法（Kilpeläinen，1997；Haunert and Sester，2005），傅仲良和吴建华（2007）认为在当前的技术条件下有两种实施方案。

方案一：首先构建多个比例尺空间数据之间的关联关系，然后根据较大比例尺的更新数据，分析、识别其所对应的小比例尺空间要素，并把它提取到工作层。

方案二：通过空间关系、要素类等信息建立多个尺度数据的关联关系来实现联动更新。在大比例尺数据更新完成后，首先配置小比例尺数据的更新环境，然后根据大比例尺数据的更新结果提示进行人工编辑更新。

这两种方案都是通过提示辅助人工进行较小比例尺的更新,其关键在于建立多尺度地理要素之间的关联关系。

## 1.2 空间数据更新技术与方法研究进展

### 1.2.1 国内外相关技术方法研究进展

多比例尺地理空间数据更新是一项复杂的系统工程,是多项技术的有机组合,下面依次从地理空间数据更新策略与模式、变化信息的分类与表达、空间数据的匹配及变化信息检测与提取、多尺度级联更新的数据模型、变化信息的尺度变换、空间关系的冲突检测与处理、更新的质量检核与评估 7 个方面,讨论各项技术的研究现状。

#### 1. 空间数据更新策略与模式

近年来,国内外对更新模式、更新方法进行了持续的研究。Kilpeläinen 和 Sarjakoski (1995) 通过缩编大比例尺数据中的变化信息来更新小比例尺数据。艾廷华等 (2005) 根据大比例尺数据直接缩编来更新小比例尺数据。蒋捷和陈军 (2000) 将更新过程分为确定更新策略、变化信息提取、变化信息采集、现势数据生产和现势数据提供 5 个步骤,重点分析了数据更新的若干关键问题。傅仲良和吴建华 (2007) 提出了基于 CHT-EUR 空间数据库模型的多比例尺空间数据库更新方法,通过空间要素匹配和属性对比对发生变更的数据进行自动识别。胡云岗等 (2007b) 总结出地图数据缩编更新的 4 种模式:直接缩编替代更新、直接缩编叠加更新、增量缩编更新、新旧数据叠加缩编更新,并论述了各种模式的适用情况,最后以路网数据更新为例进行了说明。陈军等 (2008) 总结并提出了缩编更新的一些关键技术:地图综合技术、人机协同作业环境的建立、多源数据整合处理与分析、变化检测与提取技术等。

#### 2. 变化信息的分类与表达

变化信息的分类与表达是实现增量信息提取、存储管理以及发布的前提,是更新操作的入口,关系到整个空间数据增量更新的正确性和完整性。而当前的研究主要以面向时空变化的分类与表达为主,并未深入研究变化信息的分类与表达,主要研究工作有:

(1) Claramunt 和 Theriault (1996) 提出了基于地理事件对时空变化的表达以实现变化信息的描述。他们给出了影响地理要素状态变化的事件类型集合,将影响居民地变化的事件分为生亡事件和进化事件。通过基于地理事件对时空变化进行分类,继而实现对变化信息的分类与表达。

(2) Homsby 和 Egenhofer (2000) 提出了一种以地理对象状态和基本更新操作为基础的空间变化的表达方法。该方法利用一种可视化语言来对时空变化的不同类型加以区分和表达,将地理实体的状态分为对象存在状态、对象不存在但是有历史状态、对象不存在且无历史状态,以此实现变化信息表达的目的。

(3) 周晓光等 (2006) 提出了一种基于事件的时空数据库增量更新方法。该方法通过建立变化事件与空间变化类型之间的关系以及空间变化类型和动态更新操作之间的关系,继而实现对变化信息的分类与表达。