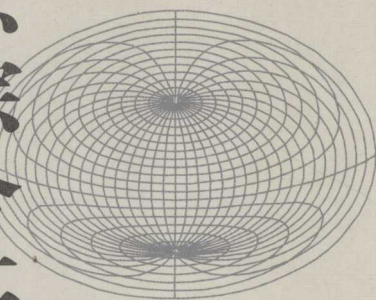




WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社



GIS与地图信息综合基本模型与算法

武
汉
大
学
学
术
丛
书

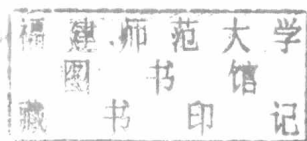
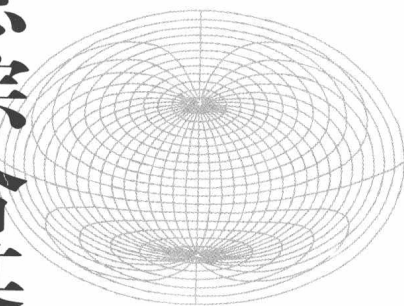
Academic Library

Wuhan University

毋河海 著

国家自然科学基金资助项目 (49971068, 40171079)
国家测绘局科技攻关与测绘科技发展基金资助项目
高等学校博士学科点专项研究基金资助项目
成果

GIS与地图信息综合基本模型与算法



1030423



T1030423



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

武
汉
大
学
学
术
丛
书

Academic Library

毋河海 著

Wuhan University

图书在版编目(CIP)数据

GIS 与地图信息综合基本模型与算法/毋河海著. —武汉: 武汉大学出版社, 2012. 5

武汉大学学术丛书

ISBN 978-7-307-08826-9

I. G… II. 毋… III. ①地理信息系统—研究 ②地图信息—信息处理—研究 IV. ①P208 ②P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 108755 号

责任编辑: 胡 艳

责任校对: 刘 欣

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: 36.5 字数: 878 千字 插页: 3 插表: 1

版次: 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-08826-9/P · 183 定价: 80.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。



武汉大学学术丛书
自然科学类编审委员会

- 主任委员 ▶ 李晓红
- 副主任委员 ▶ 卓仁禧 周创兵 蒋昌忠 李 斐
- 委员 ▶ (以姓氏笔画为序)
- | | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 文习山 | 石 兢 | 宁津生 | 刘经南 |
| 李文鑫 | 李晓红 | 李 斐 | 李德仁 |
| 吴庆鸣 | 何克清 | 杨弘远 | 陈 化 |
| 陈庆辉 | 卓仁禧 | 易 帆 | 周云峰 |
| 周创兵 | 庞代文 | 谈广鸣 | 蒋昌忠 |
| 樊明文 | | | |

武汉大学学术丛书
社会科学类编审委员会

- 主任委员 ▶ 李 健
- 副主任委员 ▶ 冯天瑜 骆郁廷 谢红星
- 委员 ▶ (以姓氏笔画为序)
- | | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 丁俊萍 | 马费成 | 邓大松 | 冯天瑜 |
| 李 健 | 汪信砚 | 沈壮海 | 陈庆辉 |
| 陈传夫 | 尚永亮 | 罗以澄 | 罗国祥 |
| 周茂荣 | 於可训 | 胡德坤 | 骆郁廷 |
| 郭齐勇 | 顾海良 | 黄 进 | 曾令良 |
| 谢红星 | 谭力文 | | |
- 秘书长 ▶ 陈庆辉



毋河海

男，武汉大学教授（博士生导师），1933年12月26日出生于河南省灵宝县，1962年2月毕业于苏联莫斯科测绘工程学院地图学系，获（苏）地图制图工程师称号。1979-1981年，在联邦德国法兰克福应用测量研究所进行自动化地图制图与地图数据库管理系统（CDBMS）研究。1988年被武汉市科协评为武汉科技新秀，被国家人事部授予国家有突出贡献的中青年专家称号。自1991年起享受政府特殊津贴。自1993年起担任国家科技奖励委员会特邀评委。2002年被湖北省科协评为湖北省科技精英。

在地图学领域中，相继提出了下述理论和方法：1965年发表《地势图高度表选择的原理与方法》，推导出变距高度表视觉变形“数值”评估公式。1978年提出与实现“斜轴抛物线光滑插值”，它能自动调节曲线松紧，无需人工干预，具有自适应性。1981年在原西德测绘杂志上发表《地貌形态自动综合的原理与方法》（*Prinzip und Methode der Automatischen Generalisierung der Reliefformen*），首次提出并初步实现了基于地貌结构线的地貌形态自动综合。国际制图协会自动综合委员会主席R. Weibel（1987）认为该文所述的是真正的地貌形态综合，适应于更大的比例尺跨度，并把该文作为本研究领域的第一篇论文；原西德学者W. Weber（1982）认为该文所提出的方法是用二维的“线”实现三维“体”的综合。此外，Wanning Peng、Moracot Pilouk、Klaus Tempfli（1996）等专家也做了类似的评价。

1980-1984年研制出地图数据库管理系统（CDBMS）软件，它是一个基于DOS与Fortran语言的独立运行系统。该项研究成果荣获1985年国家科技进步三等奖。1986-1990年研究机助编图与专题制图技术，它所研究的是CDBMS在地图数据管理、检索与处理中的应用，其中，研究了拓扑检索以及复杂（复合）目标的生成、管理、检索与智能处理等，该项研究成果荣获1996年国家科技进步三等奖。1991-1995年研究基于图论和计算几何学的结构化地图综合理论体系（国家八五科技攻关项目“地图水系和地貌自动综合试验研究”），1996年1月经测绘专家鉴定，认为该成果属于国际领先水平，该项研究成果获1997年国家测绘局科技进步二等奖。

长期从事地图学、计算机地图制图、地图数据库管理系统、地理信息系统、地图与GIS信息自动综合和扩展分数维的研究，著有《地图数据库系统》（1991），《地理信息系统（GIS）空间数据结构与处理技术》（1997），《地图信息的分形描述与自动综合研究》（王桥，毋河海 1998）和《地图综合基础理论与技术方法研究》（2004）。本书作为武汉大学学术丛书之一，是近20多年来作者所承担与完成的国家测绘局科研基金、国家自然科学基金和高等学校博士学科点专项基金等项目研究成果的集成。

内 容 简 介

本书是作者完成的国家自然科学基金项目、国家测绘局科研项目和教育部高校博士学科点专项基金项目等地图综合问题研究成果的集成,书中研究的仅是在地图数据库或GIS空间数据库中存储的地图空间信息。主要研究内容如下:

1. 综合的 DLM(数字景观模型)观

因为综合子过程多种多样,我们可把它们“再综合”为两类,DLM类和DCM类。第一类包括信息变换算子;第二类包括图形再现算子(数字/图形转换),它原则上不涉及信息量的改变。基于这一观点,我们可把核心问题集中于研究改变地图内容及其细节的第一类算子。所谓的模型综合、数据库综合与DLM综合,它们是完全等价的。综合的对象是DLM,而不是表示它们的符号DCM本身。

2. 地图数据库对自动综合的支持

地图数据库对自动综合的支持体现在:综合对象的支持——DLM(数字景观模型),它是地图数据库的用户观点;数据关系支持——语义关系,空间关系和拓扑关系;为综合所需的基于布尔集合运算的多准则数据检索;综合结果(多尺度,多文件)结果的存储与管理。

3. 非线性综合思想的提出

非线性综合的思想体现在以下两个主要问题中:(1)在结构化综合中,地图载负量的变化是遵循S形(非线性)模型,它是一种受限生长模型或逻辑斯蒂(Logistic)模型;(2)作者提出了扩展分维模型及其在综合中的应用,其中强调指出了通常分维(线性,常量,单参数和自相似)与扩展分维(S形,函数,双参数和非自相似)的本质差别。作者的观点是,综合在宏观上应遵循非自相似原则,即非线性原则。自相似犹如函数的导数或曲线的切线那样,只存在于函数或曲线的无穷小邻域。关键问题是如何建立多分辨率与多比例尺之间的合理的对应关系。

4. 结构化地图综合

GIS与地图信息的结构化综合通过三级结构模式来实现:(1)总体构思子模型,它执行项目的设计任务,遵循国家系列比例尺地图载负量变化的一般非线性(逻辑斯蒂)规律确定地图的载负量,其主要问题是要确定在新设计地图上要表示“多少物体”。(2)结构实施子模型,它的任务是要确定用“哪些物体”来构成已确定的“多少物体”,此处可用的辅助手段是确定和利用必要的语义关系、几何关系和拓扑关系等,即通过结构关系来选定所需数量的物体,或者说这是一个由多种关系来制导的过程。(3)实体塑造子模型,它的任务是以已选定物体个体为对象,对其细节进行综合,把原物体雕塑成具有新面貌的新对象。

5. 上述综合原理在四类几何形体综合中的体现

上述综合原理已在下述四类几何形体中得到初步实现：

点群目标综合的实现步骤为：(1)生成凸壳层的多层嵌套；(2)通过层数的减少或合并进行全局结构上的综合；(3)最后对位于各层(多边形)上的点状物体进行取舍，这一步骤犹如进行一般的曲线综合一样，因此，此方法的实现，意味着方法论上的变换，即将点群目标(面状目标)的综合转换为壳层(线状目标)上点状物体(曲线上的顶点)的综合。

线群目标(以河系为例)综合的实现步骤为：(1)建立河系的等级树(非自然树)结构；(2)根据各条河流在树结构中的地位和它所拥有汇水面积来确定它的重要性，汇水面积可作为统计意义上的河系线状目标的 Voronoi 图来建立。

面群目标(以居民地建筑物为例)综合的实现步骤为：(1)确定两邻近面状物体的重心连线，并以此作为引力方向；(2)根据两相向侧面的形状特点进行不同方式的合并。

地貌形态结构化综合的实现步骤为：(1)生成地貌骨架线(山脊线与谷底线)的等级树结构；(2)犹如河系综合那样，此处对谷底线按其在树结构中的地位和它所拥有的统计汇水面积来确定它的相对重要性，从而决定取舍。因为这里谷底线被看成是谷地的“替身”，所以它的取舍意味着与它相关的一组等高线弯曲的去留。因此，这里发生的是等高线弯曲的成组综合。

最后，作者对下述与空间对象的分析和表达有关的问题也进行了研究：(1)斜轴抛物线光滑插值，它确保曲线的最大曲率点(结构点，转弯点)位于原始数据点上；(2)S形分布的数据拟合数学模型研究；(3)DTM 主要因子生成的密集窗口等高线束方法；(4)保留全部原始数据点的不规则四边形 DEM 生成方法；(5)二次有理插值与逼近，这里有四种实现途径：最小二乘法、五特征点法、五分段和值法以及基于给定结点的插值法。二次有理方法的优点是：多项式次数低(二次)、计算简单和自由度高(五度)。当然，不可忘记，它是不便于驾驭的。

本书可供地理、地质、林业、水利、测绘、石油、环境保护、资源开发、管理与规划等部门的专业人员参考应用，同时，也可作为地图和 GIS 相关专业的本科生、硕士研究生与博士研究生的学习参考书。当前，各国又在大力上马“数字地球”、“数字城市”等，地理信息的多尺度或多分辨率表达已经成为热点，本书对此也有参考价值。

ABSTRACT

This book is the summarizing research results of state scientific research projects the author carried out. The main topics lie to the structured generalization of GIS and map generalization, extended fractal dimension and its application in map generalization, multi-aspect supports of cartographic database to map generalization, advance of extended fractal dimension and its application in generalization, and curve interpolation needed in spatial analyses.

Firstly, the author introduced DLM view of generalization. Because the generalization sub-processes are very diverse, we can regeneralize these operators into two groups: DLM group and DCM group. The first group includes operators about information transformation and the second group about graphic representation ("digits to graphic" conversion) without respect to information change in principle. Based on this point of view, we can concentrate the core problem in the studying of the first operator group which aims to change the map content and its details. So-called model generalization or database generalization and DLM generalization are completely equivalent. The object of generalization is DLM, rather than symbols of map features DCM themselves.

Secondly, the structured generalization of GIS and map generalization consists of three implementation sub-models: (1) General conceptual sub-model which carries out the project task; determination of map load following the overall law of variation of series state map load changes. Here the main issue lies to "how many objects" to be represented in the new projecting map. (2) Structure implementation sub-model which determines what objects can fit the "how many" through detecting necessary semantic, geometric and topological relations, i. e. selecting necessary objects structurally. (3) Entity sculpture sub-model which carries out the sculpture operations to further processing the characteristics of above selected object itself.

Thirdly, principles above mentioned have been embodied in four groups object generalization geometrically: (1) Point object group generalization has been realized through forming embedded convex hulls, reducing or merging adjacent hulls (global structure generalization), and finally selection of point objects on the retained hulls (polygon lines), this step is a special line object generalization. Therefore, this method realized transferring from area object (point group) generalization to line object (polygon hull lines) generalization methodologically. (2) Line object group generalization (take river system as an example) has been realized through creating river hierarchical tree structure and evaluation of river importance by the hierarchical position and its drainage area which can be equivalent to the statistical Voronoi diagram of river system. (3) Area object group generalization (take settlement buildings as an

example) concentrated to close located building merging, using an attraction force principle proposed by the author. (4) Structured generalization of landforms implemented through generating relief skeleton lines (ridge and valley bottom lines) and constructing their hierarchical tree structure. Further operations are similar to the river system generalization, but here the valley should be generalized through its replacer (valley bottom line) which should be considered as representative of a group of contour bends lines representing the valley object.

Finally, the author also investigated the following issues of typical algorithms of interpolation for spatial analysis: (1) Oblique axis parabolic interpolation; (2) Curve fitting of sigmoid model (S shape curve); (3) DTM Generation by vector composing of contour bunches in regular grids; (4) DEM interpolation keeping all original source data points using irregular quadrilateral; (5) Quadratic rational interpolations have been realized in four approaches: (a) Least square method of quadratic rational approximation; (b) Five character points method of quadratic rational approximation; (c) Five divided section summing method of quadratic rational approximation; (d) Given nodes based quadratic rational interpolation—Five Nodes gliding Interpolation.

前 言

我国著名地理与地图学家陈述彭院士曾论述道：地图是多个学科信息的共同载体。空间信息系统或地理信息系统是一个以地理坐标为骨干的信息系统，它脱胎于地图。所以，地理信息系统事实上就是地图的一种延续，就是用地理信息系统扩展地图工作的内容(高俊 2000)。

地图在人类的各类活动中起着极为重要的作用，协助人们揭示重大的科学规律，如《肿瘤地图集》出版后，很多医学专家开始重视用地图方法揭示某些疾病发生的区域性规律，并从环境诱因上去进行深入探索；地质工作者可以根据地质图分析成矿规律，确定矿藏分布，我国地质工作者就是根据主要构造带图的新华夏构造体系的沉降带来确定石油地层，并找出了大庆油田的；魏格纳的板块学说来自于地图分析；利用地震分布图可以寻找断裂带；不少极地海岛的发现就是先在地图上进行分析和预测，然后在极地海洋中进行证实的。

GIS 与地图信息综合是一个国际难题。它首先为自动制作多比例尺地图或生成多比例尺空间数据库所必需，更为多层次、多部门的管理、规划与决策所必需。早在 20 世纪 50 年代末、60 年代初，该问题就被提到议事日程上来。半个世纪过去了，国内外专家与同行们做了大量深入的研究工作，取得了巨大的进展。鉴于 GIS 与地图这一空间信息综合的难度极大，地图工作者、地理工作者、GIS 工作者、地学工作者以及城市规划、环境保护与管理决策等部门的有关工作者仍处于一种窘惑状态，对问题的解决仍寄予极大的期望。

地图信息综合是一个重大的科学与技术问题。要解决此问题，就必须建立完善和科学的理论原理与技术方法体系。没有正确的理论，是不会有正确的技术方法并使其具有普遍意义的。Ramirez 于 1995 年曾说，目前，尽管已出版了论述地图自动综合的专著，但时至今日，仍没有一个明朗的自动化解决方案。笔者认为，GIS 与地图信息综合涉及地图学、图形图像、离散数学、CAD/CAM、图论、拓扑、计算几何、模式识别、计算机视觉等多个学科领域，需集成多个领域的科学理论和技术方法来解决。

地图综合基础理论研究的必要性看来是要予以进一步强调的。到目前为止，地图综合在理论上尚没有形成相对完整的体系，也没有相对统一的理论基础。甚至对于综合是否必要，还有人持异议。因此，对地图综合的基础理论需要进行更为深入的研究。

在研究与解决自动综合问题时，有各种流派从各种不同的角度来分析与研究自动综合相关的问题，相关的研究如雨后春笋。到目前为止，大量的研究偏重于计算机技术与算法的研究，这方面的研究已有 30 多年了，大部分相关问题已经得到基本解决。需要进一步解决的是地图综合的地理实质问题。为此，作者引述了若干早期专家的研究论述，一方面，可使我们心中有数，了解本学科领域在非计算机时代已取得的成就，使我们底气更足、目标更明确，从而使研究的成果更行之有效、更富有生命力；另一方面，也可使我们

避免对已有的成果再次进行研究与“发明”，特别是对一些在概念上狭隘的见解，更要避免再次进行研究与“发明”。

地图综合自动化的实质是要利用计算机这一最强大的新技术来代替制图工作者富有创造性的编图操作。如何使计算机能完成创造性的操作，对图形处理来说是一个层次更高的计算机视觉问题。对于制图员来说，图上的各种物体以及它们的形状、大小、相互关系等是一目了然的，而在计算机环境下，这些物体本身的信息（类别、性质、形状、大小等）在计算机中有完整而翔实的存储或表示，而物体之间的相互关系、特别是动态的空间关系，在计算机中则难以表示（实际上几乎没有表示）。由于对信息综合有重要制约作用的各种动态关系在数据库中未表示，所以计算机环境下所看到的地图或空间数据库与人工环境下看到的相比，缺少了绝大多数空间关系。因此，自动综合的关键就在于自动构建这些为计算机环境下所不能直接看到的各种关系，特别是动态的空间关系。

创造性思维更偏重于发散性思维，是一种从多角度、多方位探索问题并寻找答案的非常规、反常规的思考方式，往往包含想象和幻想成分。

思维从疑问中来，古人云：“学起于思，思源于疑。”

钱学森说：“从思维学角度看，科学工作者总是从一个猜想开始的，然后才是科学论证；换言之，科学工作源于形象思维，终于逻辑思维。形象思维源于艺术，所以科学工作者先是艺术，后才是科学。”地图综合中隐含着典型的非线性原理，图上不仅存在着各种各样的物体，而且在它们之间还存在着各种各样的联系，即整体不等于其所包含的各部分的总和，而是大于这个总和，这是一种非加和性。

非加和性是诸要素之间的耦合关系。系统中的要素所具有的性质和行为，不同于它孤立存在于系统之外时所具有的性质和行为。

地图综合的目的，就是要在有限的图面上尽可能多地反映相对重要的物体。“重要”就意味着要对物体进行评价。物体的重要性主要从三个方面进行评价：

- 语义信息，即物体本身的资格（等级、行政意义等）；
- 几何信息，即位置、形状和大小等；

• 关系信息，即在全局中的地位和在局部区域中的相对重要性。这就是说，要使计算机运作具有创造性（智能），除了由物体资格来控制以外，最主要的是要用物体间的关系来制导计算机，使计算机能发现和利用物体间的关系，这些关系或结构的揭示是一种特殊意义下的模式识别，或是更高层次的模式识别，从而可从更深层次的意义来评价物体，这就是图形信息处理中的计算机视觉问题的本质所在。

地图学本身是一种集地理科学、基础数学、图形学与美学等于一体的学科。地图制作过程是集上述有关学科领域的信息与知识于一体的创造性的劳动过程，这样就使得地图自然地成为一种高度智能劳动的结晶，它具有严密的数学基础、精选的地理内涵、科学与精美的艺术表达，使人能对所感兴趣的地区“一目了然”。在模拟时代，地图尺度（比例尺）基本上呈几何级数序列：1 : 2.5 : 5 : 10 等，尺度不连续，多尺度信息处理靠手工来实现。在计算机环境下，多尺度地图与 GIS 信息的动态生成与应用具有更为广阔的空间，多学科交叉为逐渐向所求目标的逼近提供了新颖手段。

近几十年来，人们在图形处理算法、知识推理等方面做了大量的研究。但从总体上看，还是处于孤立或无序的状态，缺少自适应特征，尚未形成具有内在联系的相对完整的

体系。特别是在图形综合的算法方面,大多是基于点处理的曲线化简,基于形态(如弯曲)处理的综合尚处于初级研究阶段。随着时间的推移,应该由基于形态的综合代替基于点处理的综合,因为综合的对象应是大小不同的地理对象(形态、子形态等),而不是若干点,特别是单个点。

地图是一种特殊的图形。首先,它所表达的各地理要素的图形都是不同程度的不规则图形。特别是自然地理要素的图形更是不规则:湾中有湾,汉中有汉,多层嵌套,这是典型的自然分形体。正是地图内容的分形特征,使得“英国海岸线有多长”这一地图量测问题成了分形学——大自然的分形几何学诞生的温床。从这个意义上讲,地图学(一个分支地图量测学)起了“分形学之母”的历史作用。反过来说,源于地图学的分形几何学在描述地图内容不规则图形时,有着先天的优越性。

地图内容是一种空间信息,其主要特点是地理实体同时具有空间位置信息和空间关系信息。“千言万语不如一张图”,用现代计算机语言来讲,图形表达之所以优于自然语言,是因为它不仅表达了地理实体及其主要属性信息,而且同时表达了这些实体之间的各种关系,特别是空间关系。实体与关系是现代数据结构、数据模型与数据库的核心研究与存储对象。从这个意义上讲,图形是以模拟的手段实现了“实体加关系”这一信息基本结构。地图上的物体是可枚举的,因而可用自然语言——予以描述;而物体本身的形状和特征、物体之间的主次关系以及物体之间的各种空间关系等则是无穷无尽的,是无法用自然语言来完备描述的。此外,地图是二维的,可以从任意方向进行阅读;而文字语言则是一维的,只能从头至尾顺序地、不可遗漏地阅读。这就是“千言万语不如一张图”的本质所在。

此外,图形方法作为当代科学的重要工具,还拥有其他的优越性。图形和符号语言拥有巨大的可能性来描述和论证关于事实的科学判断。图形方法已经牢固地进入了科学概括手段的武库,也进入了科学研究的方法论中。图形方法帮助人们分析海量数据,揭示隐于其中的规律性,可把海量的枯燥数据变成广大读者易于理解的直观信息。图形方法为数据赋予了具有吸引力的、直观的和明确的意义,有利于找出新的依赖关系、提出新问题和隐含的事实。

美国数学家斯蒂恩(L. Steen)指出:“当头脑仅与数打交道时,它是在一条轨线上线性地进行思维的。如果一个特定的问题可以被转化为图形,那么思想就整体地把握了问题,并且能创造性地思考问题的解决方法。”(李志才 1995)

图形方法是使数字资料变简单、直观和明了的有力手段,从而使它们可进行数值上的比较、预测发展趋势和表达相互联系。此外,图形法与文字相比较有一系列优越性,如:

- 能够在更大的程度上引起读者的注意;
- 更容易通过从图上的感受捕捉到各数值之间的联系,并且便于记忆;
- 可一瞬间获取关于海量数据的基本结论,从而可大大节省时间;
- 可使所研究的问题的某些方面明朗化,这些方面有助于对问题的理解更为完整和全面;
- 可暴露隐蔽的事实和联系,同时刺激分析性思维和研究。

在数字化时代,空间信息的获取属于一般的数字测绘或图数转换;而对于空间关系的建立,由于空间数据的海量性,手工的方法是无能为力的,必须依靠相应的算法来完成。空间关系是空间知识的主体,这类知识的获取是执行算法的结果。通过知识推理,得出应

进行何种图形处理操作,即进行某种综合算法。由此可见,算法是知识推理的“前提”与“后果”,算法在空间信息处理中有“彻头彻尾”的“始”与“终”的作用。由此可见,算法是图形处理的核心组成部分。

对于国家基本比例尺地形图来说,不同比例尺地形图服务于不同的然而确定的目的和用途,即地形图的用途是以比例尺的划分来体现的。反过来说,地形图的比例尺可看成是影响地图用途和内容的主导因素。对地图内容来说,比例尺是其内容的“过滤器”,直接影响到地图内容的详略程度,但它不是唯一因素。历史上曾出现过简单机械地把比例尺作为唯一的地图内容综合原则,而将地图综合过程比成人的视觉过程,即当比例尺缩小时,地图上线状目标的微小弯曲随之消失,这就好比我们远离群山,两眼不能辨认其中细小的碎部一样。这样的观点显然是机械的,是不完全的,是一种“只看见树木,不看见森林”的做法(萨里谢夫 1956)。M. Eckert 于 1921 年在论述“综合的本质与困难”时就曾讲道:“需要强调的是,综合中的缩减与用缩放仪或照相机的缩减毫不相干。”(M. Eckert 1921)因为小比例尺地图并不是大比例尺地图的精确缩制品,它不仅要表达可按比例表达的大而重要的物体,而且也要表达无法按比例表达的小而重要的物体(夸大表示)。地图信息综合是一个高度智能化的创造过程,涉及基本资料地图、补充资料地图、相关地理文献、地图工作者的专业与美学素养等,不只是物体的可被表达的尺寸问题,尽管物体尺寸起着重要作用。

本书的论述主线是笔者所提出的结构化综合模型。1981 年笔者首次提出地貌形态的结构化综合(毋河海 1981),即把等高线看做特殊的实体,不是孤立地进行单条等高线的综合,而是首先建立它们之间的联系:自动生成地性线(山脊线、谷底线等),作为联系地貌形态的纽带,使得综合某条等高线时,同时顾及与其相邻的其他等高线,从而是根据二维的“线”综合三维的“体”(W. Weber 1982a)。这是单要素的结构化综合思想。

1991 年笔者在《地图数据库系统》中,论述了整个地图的结构化综合问题,提出了结构化综合的三级综合概念模型。它由以下三个子模型来实现:

1. 总体选取(构思)模型

总体选取(构思)模型的使命是对新地图或新空间数据库在数字环境下进行半自动化设计,其任务是地图与空间数据库总体容量控制指标的自动确定。解决这个问题,若利用国外文献或其他地区的统计资料,无疑是舍近求远;对于自动综合来说,既然地图学曾孕育了分形学,则利用分形学原理对本地区地理信息自身进行多要素的分形演绎(特别是在顾及扩展分数维的条件下)无疑是一种总体上的自适应。

在总体模型实现问题上,笔者提出地图载负量变化规律的“受限增长”模型,如同人口增长规律一样,它受到图面拥塞程度(如同生态环境条件一样)的限制,遵循 Logistic 规律,需要针对不同的地区特点,在海量观测数据的基础上,通过回归分析,解算其 Logistic 模型参数。Logistic 模型可作为地图信息随比例尺变化的基础数量模型。

分数维的发现改变了人们观察世界的方式,与此相关的分形思想已经成为一种新的认识论与方法论。目前,大多数分形研究成果都是用来生成各种逼真显示或生成复杂精美的、令人陶醉的艺术作品和景观图画等。对于空间数据处理来说,分形原理既与空间信息可视化有密切联系,又与空间数据建模和空间信息压缩密切相关。对于这些领域来说,一个共同的也是最基本的问题是,利用分形这一有力工具来揭示自然现象或过程的结构特

征,对空间信息进行科学的描述与建模,以达到控制与预测的目的。

分形学的概念与尺度变化中的不变性有密切的联系。地图中自然要素的轮廓图形在一定尺度范围内呈现出分形趋势。在这种情况下,就可以利用表达不变性的分形参数——分数维来考察自然要素的图形本身及其演变特征。应该说,尺度跨度越小,自相似程度越高;反之,尺度跨度越大,自相似程度越低。从宏观上看,分数维不是常量,而是变量。这就是分数维的扩展问题。用分形学原理综合空间信息时,应使自相似性随着尺度的缩小而逐渐弱化。

笔者对扩展分数维进行研究后,得出的宏观规律是其总体变化呈“S”形(毋河海 1998;毋河海 2010),也是一种受限增长曲线,因此,可用地图或空间数据库信息容量的自动分形演绎手段,来研究地图信息或空间数据库的总体信息随比例尺的变化规律。这里精确的自相似已经无法继续存在,受限增长模型的应用就意味着分数维或总体复杂度的衰减。

总体构思模型是要在全局上解决选取“多少”的问题。

2. 结构实现(构图)模型

在完成总体选取的基础上,需要进一步进行单要素的结构化与相关多要素的结构化,以解决下一个重要问题,即选取“哪些”的问题。因为选取意味着评价,所以,这里问题的实质是如何对各种地理实体进行科学合理的评价。所有地理物体都有其本身的各种特征,且存储在空间数据库中,这无疑是评价的主要依据。但这还远远不够,因为单从物体本身来看,许多物体大体一样,难以区分它们之间的明显差异,难以满足从中选择一部分的需求。其解决办法就是进一步查明它们在单要素整体结构上所处的地位与相对于其周围物体多要素关联的局部重要性,即全局关系与局部关系的建立与应用问题。当代数学方法,如图论、拓扑、计算几何等中的树结构、凸壳层结构、Voronoi 图或其对偶 Delaunay 三角网等数学工具,就是重要的结构化数据处理手段。

这里是通过各种关系或联系,特别是那些不能存储或无法存储的动态邻近环境(Context)关系,来全面地评价地理对象,以确保选取的科学性与合理性;反过来说,被选取的地理对象则隐式地表达了在评价它们时所曾用到的那些关系。这是笔者所提出的综合的DLM(数字景观模型=地图数据库)信息变换观:

$$DLM_1(\text{实体集 } E_1, \text{关系集 } R_1 \subset E_1 \times E_1) \Longrightarrow DLM_2(\text{实体集 } E_2, \text{关系集 } R_2 \subset E_2 \times E_2)$$

关系信息的挖掘、应用与变换几乎就是结构的建立、应用与变换,也可看成空间知识的发现、应用与变换的过程。

3. 实体塑造模型

该模型的使命是要对已被选定的地理物体本身的各种属性、特别是图形属性进行“塑造”。在处理实体时,笔者提出微结构数据处理思想,即在对空间数据库进行宏观综合时,把每一个物体看成无结构的一个点,着重研究物体之间的各种关系,特别是空间关系。当研究一个选定物体的微观综合时,则把物体的细节看成整个物体的子结构。子结构具有明确的形态,甚至具有明确的地理意义(如等高线的弯曲、谷地与山脊)。在数字环境下,子结构至少由一个点构成(如一个点状物体),通常由若干毗邻点构成。子结构的建立要用相应的算法来实现,如曲线通常由一系列弯曲(Bend)构成,而弯曲则需要用曲线拐点来予以分离,即实体的塑造是基于子结构的处理来实现,而

不是单个点的逐步筛选(毋河海 2003)。

在对 GIS 与地图信息综合的研究过程中,笔者利用计算机视觉原理为不同地图要素的结构化综合确立了实施手段:

对于点集目标的综合,笔者提出建立凸壳层嵌套结构和生成基于点集的 Voronoi 图方法,变点集综合为由相邻凸壳层合并而成的曲线的综合,实现了由呈面状分布的点集到呈线群分布的线集的方法论上的变换;

对于线集(以河网为例)目标的综合,笔者提出建立河网的等级树结构(不是自然树结构),从全局上评价各条河流的重要性,同时构造基于线集的 Voronoi 图,为每条河流生成统计权重数(统计流域面积),借此可对处于同一结构层中的不同河流做进一步的分异;

对于以建筑物为代表的面状物体的综合(合并),笔者提出了“引力法合并”原理,并把合并程度量化为具有明确定义和操作准则的六个级别;

对于以地貌为代表的体的综合,笔者提出建立地性线树结构,视地性线为地貌形态的“替身”,加上 Voronoi 图,犹如处理河流那样处理地貌形态“替身”——地性线的选取。最终,通过地性线的综合体现地貌形态体的综合,这也是一种方法论问题,即变体状形态的综合为其“替身”(线状物体集合)的综合。

本书是笔者多年来在国家测绘局的“六五”、“七五”、“八五”科研攻关项目、两个相关国家自然科学基金资助项目和高等学校博士学科点专项科研基金项目的研究成果的集成,是笔者在 GIS 与地图信息综合这一大漩涡中沉浮的一些记录。为了表明研究问题时的领域环境,笔者在研究成果的基础上,在本书中简要地提及了国内外专业界一些有关的论述和本领域的一些比较突出的学术思想与方法,并尽可能标明相关作者与出处,以便读者参考。

在本书的诞生过程中,受到武汉大学学术丛书编审委员会第 12 次会议的肯定,承蒙解放军信息工程大学测绘学院高俊院士、王家耀院士,中国科学院地理研究所廖克研究员、齐清文研究员,武汉大学祝国瑞教授、龚健雅教授等的鼎力相助与支持,笔者在此深表谢意。

在科研项目中,当时的博士研究生参与了不少问题的研究,其中,王桥参与了分形学方法在地图内容自动综合中的应用研究,特别是在对开方根规律的分形扩展方面,其学术思想意义更为重大;杜清运参与并实现了基于地性线的显式结构化综合和基于地貌高程带的地貌形态自动综合的主体试验工作;郭庆胜参与了等高线树的研究和曲线的自动分段研究;艾自兴参与了河流的自动选取等的研究;龙毅参与了扩展分维模型与地图内容总体选取的科学试验与问题探讨;博士研究生王涛、李雯静为制作本书的绝大部分图件付出了巨大的辛劳。对于上述诸位的贡献,笔者深表谢意。

在本书的诞生过程中,武汉大学资源与环境科学学院刘耀林院长和顾春盛科研秘书以及校科技部、校学术委员会给予了巨大的支持,武汉大学出版社对本书的出版给予了极大的关照与支持,副社长陈君良、编辑解云琳和胡艳付出了辛勤的劳动,笔者在此深表谢意。

夫人张清华教授是从事土木工程专业的,已退休多年。她为笔者所承担的上述多个科研项目的完成做出了默默无闻的贡献。本书初稿完成以后,她不得不成为第一个义务读者,她以一个“外行”的身份通读了全书,发现不少错漏,提出了不少合理建议,笔者借

此机会特地致谢。

面对 GIS 与地图信息综合这一国际难题，国内外专家学者们在三四十年间进行了多领域、多层次和多角度的广泛且深入的研究，为此，笔者感到有必要围绕综合模型与算法这两个子领域，汇集部分以启发式综合为主的、涉及模型与算法的重要参考文献。本书基本上没有收入基于知识的系统、神经网络、小波原理应用、非数值算法（如遗传算法、模拟退火算法和免疫算法等）和基于 Agent 的研究成果。本书汇集大量的文献资料，有多方面的意图：（1）反映这个国际难题所涉及的“仓海领域”的规模与研究现状；（2）可作为地图信息综合研究现状的一种“特殊的综合”；（3）表明需要建立强大的国家团队，确立特大型的国家科研攻关工程，对几十年来的研究成果进行有机的集成，促使这个国际难题的解决有一个质的飞跃或有一个较满意的进展；（4）最后，也是相当重要的，即表明本书也只能是这个研究领域的“仓海之一粟”，很有挂一漏万之嫌，有待广大同行的审视。愿大家携起手来，共同努力，向“综合”这一宏大目标稳步迈进。

武汉大学资源与环境科学学院

毋河海

2010 年 9 月

目 录

第 1 章 模型与算法概述	1
1.1 模型的概念	1
1.1.1 什么是模型	1
1.1.2 模型的形式分类	2
1.1.3 模型的影响因素	4
1.1.4 主导因素模型	4
1.1.5 模型的作用	4
1.1.6 “替身”原理	5
1.2 模型方法	5
1.2.1 模型的多态性	5
1.2.2 模型的功能分类	6
1.3 信息模型	6
1.3.1 概念层次上的信息模型	7
1.3.2 逻辑层次上的信息模型	7
1.3.3 物理层次上的信息模型	7
1.4 处理模型	8
1.5 模型化方法	9
1.5.1 演绎法	9
1.5.2 归纳法	9
1.5.3 混合法	9
1.6 模型化的认识论本质	10
1.6.1 归纳推理	10
1.6.2 演绎推理	10
1.6.3 归纳与演绎的相互关系	11
1.6.4 分析与综合在建模中的作用	11
1.7 数学模型的建立与应用	12
1.7.1 模型的理想化	13
1.7.2 数学模型的选择	14
1.7.3 数学模型中的量化与序化	16
1.7.4 数学模型的构造过程	16
1.8 常用的数学模型函数	16
1.8.1 多项式函数	16