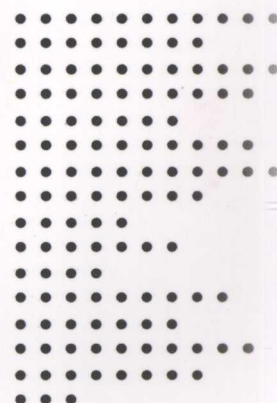
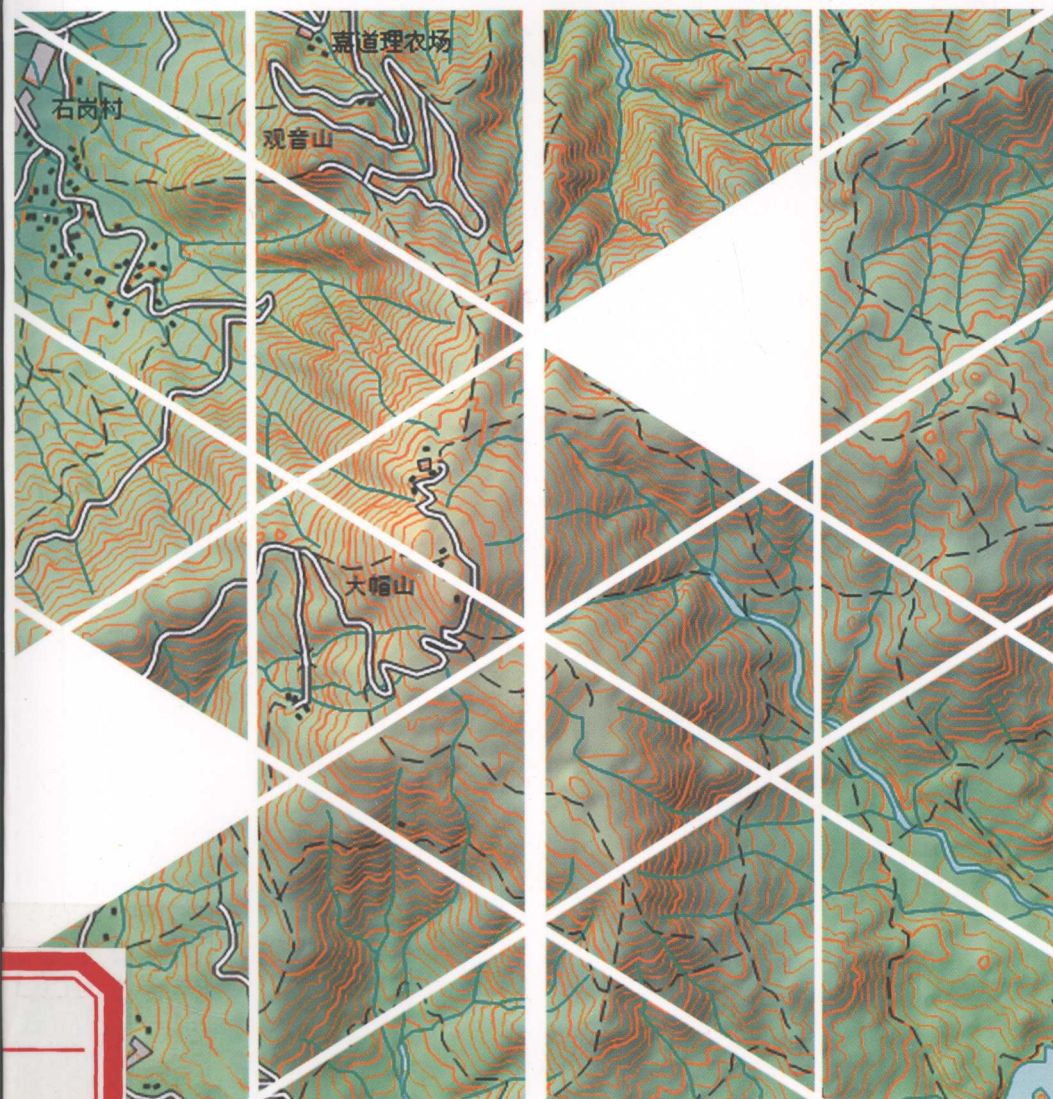




◎ 武 芳 钱海忠 著
邓红艳 王辉连



面向地图自动综合的 空间信息智能处理



 科学出版社
www.sciencep.com

面向地图自动综合的 空间信息智能处理

武 芳 钱海忠 著
邓红艳 王辉连

科学出版社

北 京

内 容 简 介

无论是地理信息系统中空间数据的多尺度表达,还是地图自动化生产中的自动制图综合,核心内容均相同,就是面向地图自动综合的空间信息智能处理。这是一个备受当今制图工作者普遍关注的问题,也是现代地图学面临的核心问题之一。

本书是作者在自动制图综合领域科学研究与工程实践的理论总结,是作者在该领域多年研究成果的提炼。从自动制图综合的基本特点和理论出发,本书系统论述了数字环境下面向地图自动综合的空间信息智能处理的原理与方法。全书共分12章,分别从应用于自动综合的相关学科基础、地图自动综合辅助信息获取、基于知识的自动综合处理模型、基于遗传算法的自动综合处理模型、基于ABTM的自动综合处理模型、基于弹性力学的自动综合位移模型、基于数学形态学和神经网络的居民地自动综合处理模型、基于圆特性的自动综合处理模型、基于图论的道路网自动综合模型、基于Agent的自动综合过程控制模型等角度对地图自动综合展开了全面和深入的研究,最后以一个作者开发的自动综合系统为例,介绍了自动制图综合系统的设计方法和功能实现。

本书可作为地图学与地理信息工程专业的研究生教材,也可供从事数字地图制图、地理信息系统、电子地图制作的科研、教学、生产单位的科技人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

面向地图自动综合的空间信息智能处理/武芳,钱海忠,邓红艳,王辉连著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-021290-0

I. 面… II. ①武…②钱…③邓…④王… III. 地理信息系统-研究 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 030899 号

责任编辑:赵 峰/责任校对:陈玉凤

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008年5月第一次印刷 印张:22

印数:1—2 000 字数:508 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

放在我面前的是以武芳教授为首的青年科研群体撰写的一部科学著作，名为《面向地图自动综合的空间信息智能处理》，我作为一辈子从事该领域研究的一名老战士，初读一遍，心情无比兴奋，特提笔写下此序。

地图制图综合历来就是地图学中最富有挑战性和创造性的研究领域之一，多少年来，人们一直期盼着地图制图综合能够理论化和智能化，许多人为此付出了艰辛的劳动。

经过长期地图生产、教学和科研实践总结、积累和沉淀而形成的传统地图制图综合理论和方法，对于手工模拟地图制图环境下的地图制图生产起到了重要的指导作用，也为如今数字制图环境下的地图自动制图综合研究提供了思考问题的基础。但是，地图自动综合在操作主体、对象、方式和结果等方面，有着与手工地图综合不同的特点。在手工地图制图条件下，操作的主体（操作者）是制图员，操作的对象是纸基模拟地图，操作方式是利用绘（刻）图工具在目视可读情况下直接处理图形资料，主要表现为人脑的思维和手工执行，操作的结果是模拟地图；而在计算机地图制图条件下，操作的主体（操作者）是制图员与计算机协同，操作的对象是计算机可视的数字地图，操作方式是在计算机可读环境下通过编程实现，主要表现为人一机交互条件下的计算机识别和执行的过程，操作的结果仍然是计算机可视的数字地图。因此，数字地图自动综合的最大难点就是如何让计算机来模拟人脑的思维过程。

根据思维科学和制图综合理论与方法的研究，人在制图综合过程中的思维方式主要表现为抽象思维（如基于联系的归纳推理思维、基于过程的形式推理思维和基于规则的演绎推理思维等）、视觉思维（如视觉选择性思维、视觉注视性思维和视觉结构联想性思维等）及灵感思维等。电子计算机能在多大程度上模拟人在制图综合过程中的思维？认知科学采用功能模拟的方法来研究人脑思维规律，通过计算机按照模拟模型来模拟人脑的思维过程。显然，模拟结果的正确程度完全取决于模拟模型和输入数据是否客观、正确地反映了人脑思维系统，同时也不能脱离现阶段计算机的工作机制。但是，当前的电子计算机模拟抽象思维比较客观，包括制图综合过程中基于联系的归纳推理、基于过程的形式推理和基于规则的演绎推理；而对于制图综合过程中的视觉思维特别是灵感思维，计算机模拟起来就困难了。同时，用计算机



模拟制图综合过程中人脑的思维方式,求解制图综合的问题,无论是数据处理,还是知识处理,都必须具备问题形式化、可计算性、合理的复杂度3个前提条件。这些都是难度很大的问题。

可喜的是,武芳教授等一群年轻人,在解决地图自动综合的许多难题方面做了大量卓有成效的工作,取得了充分体现自主创新精神的优秀成果,包括基于知识的自动综合处理模型、基于遗传算法的自动综合处理模型、基于ABTM的自动综合处理模型、基于弹性力学的自动综合位移模型、基于数学形态学和神经网络的居民地自动综合处理模型、基于圆的自动综合处理模型,特别是提出了基于Agent的自动综合链及其自动生成的理论和方法及所建立的基于Agent的自动综合过程控制模型,以及地图自动综合辅助信息的获取等,为电子计算机按照模拟模型来模拟人在制图综合过程中的思维方式创造了十分有利的条件,比较客观和正确地反映了人脑思维特点,这是研究成果能够用于生产实践的基础。

当然,自动制图综合的最终实现,还有许多问题需要进一步探索。但是,我们应该充满信心,希望所有从事该领域研究的年轻学者们为这一目标的最终实现共同努力。期待着这一天早些到来。

中国工程院院士

王象远

2007年夏

前言

地图制图综合历来是地图学中最富挑战性和创造性的研究领域之一,也是地图制图中必须解决而又未能很好解决的难题。长期以来,许多地图学家和地图制图工程技术人员在该领域进行了艰辛的研究与试验,形成了手工制图条件下模拟地图的制图综合理论和方法,对手工制图条件下的地图制图生产起了积极的指导作用,也为数字环境下面向地图自动综合的空间信息智能处理研究提供了思考问题的基础。

鉴于地图自动综合在地图自动化生产和 GIS 等领域中所起的重要作用,本书对数字环境下地图自动综合算法的设计与开发、制图自动综合的智能化、结构化知识的识别与提取、自动综合的过程控制与推理等关键性理论和技术问题作了深入的分析和探讨,在此基础上提出了解决问题的方案,并建立了相应的软件系统。由于自动综合的实用性非常强,需要解决的具体问题太多,全自动实现的难度太大,本书所涉及的内容只能聚焦于有限的几个方面,以新方法的开发应用为主,对有些制图综合算子的解决,分别采用了不同的方法,也是为了对自动综合问题有一个更全面、更深入的尝试,以期找出更适应于不同区域特点的综合方法。

本书是制图自动综合领域科学研究与工程实践的理论总结,也是对该领域进一步研究前瞻性的探索与开拓。全书共分 12 章,主要内容包括应用于自动综合的相关学科基础、地图自动综合辅助信息获取、基于知识的自动综合处理模型、基于遗传算法的自动综合处理模型、基于 ABTM 的自动综合处理模型、基于弹性力学的自动综合位移模型、基于数学形态学和神经网络的居民地自动综合处理模型、基于圆特性的自动综合处理模型、基于图论的道路网自动综合模型、基于 Agent 的自动综合过程控制模型和地图自动综合系统的技术实现等。

本书作者长期从事地图自动制图综合的理论研究与应用实践,先后主持完成了包括国家自然科学基金、国家“863”计划等多项有关该领域的研究项目,并发表了与此有关的近 70 篇学术论文,本书正是对这些研究成果的提炼和总结。当然,完全的制图自动综合还有一段很艰难、很长的路要走,作者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。

经信息工程大学测绘学院王家耀院士审阅,本书在内容与结构上均得到很大改善,王院士也欣然为本书作序;信息工程大学测绘学院训练部对本书的写作给予了大力支持,同时本书也得到国家自然科学基金(40471115、40701157)和国家 863 计划(2007AA12Z211)的资助;书中许多试验由侯璇、谭笑、张琳琳、翟仁健、陈波、朱强等硕士完成,没有他们的辛苦工作,本书也难以完成。对此作者一并表示衷心的感谢。

自动制图综合是一个研究方法、研究内容不断推陈出新的研究领域，内容丰富，需要进一步探索的问题很多。由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和谬误，恳请读者与专家批评指正。

作者

2007年5月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 地图与地图制图综合的发展	1
1.2 地图自动综合与计算机技术	3
1.3 地图自动综合与人工智能	6
1.4 地图自动综合与地理信息科学	8
1.5 地图自动综合理论与方法的探索	10
第 2 章 应用于地图自动综合的相关学科基础	14
2.1 遗传算法	14
2.2 智能体	22
2.3 弹性力学方法	34
第 3 章 地图自动综合辅助信息获取	48
3.1 结构化信息获取	48
3.2 辅助综合的空间关系分析	89
3.3 自动综合索引的建立	107
第 4 章 基于知识的地图自动综合处理模型	119
4.1 制图综合知识的归纳与组织	119
4.2 基于知识的自动综合策略	132
4.3 基于知识的天然河系自动选取	135
4.4 基于知识的人工河网自动选取	144
第 5 章 基于遗传算法的地图自动综合处理模型	157
5.1 基于遗传算法的点群目标选取	157
5.2 基于遗传算法的线要素化简	164
5.3 基于遗传算法的道路网综合	170
5.4 基于遗传算法的河流选取模型	175
5.5 基于遗传多目标优化的人工水网自动选取模型	180
5.6 基于遗传算法的点注记配置模型	192
5.7 基于遗传算法的线注记自动配置模型	196
5.8 模型存在的主要问题与解决方案	202
第 6 章 基于 ABTM 的地图自动综合处理模型	205
6.1 基于边优先的任意多边形最优三角剖分	205
6.2 基于 ABTM 的地图自动综合算法模型	212

6.3	基于 ABTM 的建筑物合并模型	217
6.4	基于 ABTM 的线要素化简	223
6.5	基于 ABTM 的点群要素选取	224
第 7 章	基于弹性力学的地图自动综合位移模型	226
7.1	位移研究现状及方法分析	226
7.2	基于弹性力学原理的目标平移	232
7.3	基于弹性力学原理的目标变形	242
7.4	基于弹性力学原理的位移模型实现	247
第 8 章	基于数学形态学和神经网络的居民地自动综合处理模型	259
8.1	数学形态学辅助下的街区自动合并	259
8.2	数学形态学和神经网络用于建筑物多边形化简	264
8.3	点群目标选取的神经网络模型	273
8.4	居民地图形的等级转换	278
8.5	数学形态学和神经网络用于冲突探测	279
第 9 章	基于圆特性的地图自动综合处理模型	282
9.1	基于圆极化变换的点群要素选取	282
9.2	基于圆特性的线要素化简	288
9.3	基于圆特性的面要素选取	289
9.4	基于圆特性的面要素位移	290
第 10 章	基于图论的道路网自动综合模型	292
10.1	基于图论的道路网选取	292
10.2	道路网网络特征的分类及选取方法	298
10.3	道路网自动选取的结果分析	303
第 11 章	基于 Agent 的地图自动综合过程控制模型	306
11.1	自动综合的任务提取与执行	306
11.2	自动综合过程监控与算法评估	311
11.3	自动综合任务存储	313
11.4	自动综合过程控制	318
第 12 章	地图自动综合系统的技术实现	324
12.1	系统设计原则	324
12.2	制图综合系统 GenerMap	327
	主要参考文献	340

第1章 绪 论

4000 多年前古老的埃及、巴比伦刻在陶片上的地图就是人类认识客观世界的一种抽象的图形表示,从那时起地图就已经成为人们传递时空信息的有效方式。经历了几千年的社会发展,在数字化时代的今天,人们对信息和知识表现出前所未有的渴求,也有多种获取信息的手段和方式,但却无法撼动地图在时空信息表达和传递方面的优势地位。究其原因,地图的抽象性和概括性决定了它传递信息的高比特率,也使得它最能表示已被现代科技所“缩小”的地球甚至宇宙。地图所表现出的抽象性和概括性正是地图制图综合的思维加工和信息抽取的具体体现,地图制图综合在地图生产中的重要地位从来不曾改变,也不可能改变。

1.1 地图与地图制图综合的发展

1.1.1 地图的发展

地图的历史几乎和人类文明一样久远,最原始的地图只是人们试图用石块、贝壳等利器在树皮、沙地、陶片上保存和传递有关地理环境的知识,而信息时代的地图则形式多样,且已成为人们日常生活中不可缺少的工具之一。地图和人类文明一起发展进步,极大地开拓了人们的视野和促进了文明的传播。正是鉴于地图在人类文明史中的重要地位,研究地图的发展和历史就具有特别的意义。回顾和总结历史能帮助我们更好地明确地图学的发展方向,从而推动和扩展地图学的研究,以适应当前经济建设和科学技术的需要。

地图是人类认识客观世界的结果,也是为满足人类改造自然的需要而产生的。在一定意义上,地图的表现形式及其功用的演变也符合人类在不同历史时期对自然环境的认识和改造活动。我国地图的起源可追溯到 4000 年前的夏代,《九鼎图》和《山海经》上的原始地图反映当时人类对所生存的自然环境的认识水平,这个时期的地图仅仅只起着记录和描绘地理环境的认识印象的作用;而地图的较快发展却是在“国家”这样的政治统治形式出现之后,出于封邦建国、管理土地的需要,诞生了我国第一幅具有实际用途的地图——洛邑城址地图。国外的古地图(如巴比伦地图)也反映出人们当时认识的局限性,而古埃及地图的产生则反映了农业生产的需要。随着人类社会的进步,手工业和海上贸易的发展及自然科学的发展极大地促进了制图技术和理论的研究发展:埃拉托色尼编制了视地球为球体的地图;托勒密采用简单圆锥投影方法绘制了世界地图,并著有古代地图制图学巨著——《地理学指南》;出于航海的需要,墨卡托创立了等角正轴圆锥投影。测量技术、印刷技术及自然科学技术的进步也极大地推动了制图技术和地图精度、质量的提高。

可以这样说：地图的发展反映了人类探索、认识地球的历史，也反映了人类社会的发展变迁，地图的发展总是同人们认识世界的需求和自然科学技术的进步息息相关的。学习地图发展的历史更能使我们注意到地图学和社会学及其他学科的紧密联系，在信息时代，对地图的相关研究与应用理应关注现代地图的发展特点。

随着现代科学技术的发展，地图表示的对象和形式有了很大的变化。我国的“神舟”系列航天飞行和“探月”计划表明我国已步入航天大国时代，而这对我国制图工作者来说，可能意味着今后要制作月球地形图甚至其他星系的地图，地图表示的对象早已突破传统定义中的地球。而计算机等技术的引入更是大大改变了制图技术方法并丰富了地图的表现形式。目前有形形色色的地图产品，如数字地图、全息地图、激光地图、多媒体地图等，虽然地图所表示的内容更丰富，其技术含量也比传统地图复杂得多，但制作地图的时间却大大减少。Internet 的普及及其在日常生活中的日益深入，极大地改变了我们的生活，调动了人们对信息更多更新的需求，WebGIS 已渐渐成为人们获取地理空间信息的主要手段，随时更新的遥感影像地图也成为越来越重要的地图形式。

所有这些都提示我们，制图理论和技术也必须随时更新，以适应时代的需求。而地图学科的研究人员也应对其他学科和技术的发展给予足够的关注，才能更好地把握地图的发展方向，从而在信息时代不至于落伍，更好地为地图学的发展做出贡献。

1.1.2 制图技术对地图制图综合的影响

地图在近几十年中有了飞速的发展和质的变化，地图学也发生了几次技术变革。计算机制图技术为地图的生产和应用带来了深入而广泛的影响。

在传统地图生产中，地图制作人员一直潜心于制图方法的改进，以缩短地图制作的周期和提高成图质量，但是始终不能很好地解决地图编印过程繁杂这一“瓶颈”问题，其根本原因其实是受当时的制图技术条件所限制。手工制图方法在过去的制图活动中占有很大的比重，特别是手工制图条件下的制图综合对制图工作者有较高的制图综合理论和艺术修养水平方面的要求。制图综合的基本方法虽然可归纳为选取、化简、概括和位移，也有较详细的编绘规范作指导，但在手工制图技术条件下，不同的制图人员对同一幅图相同地区的编绘结果可能有较大的出入和明显的风格差别，这与制图人员所受的教育、作业训练以及艺术素养和感受能力都有密切关系；制图综合的质量控制也受很多人因素为影响。所以，即使有了较为系统化的手工制图条件下的制图综合理论和方法，但手工制图所生产的地图却体现出明显的制图者的个人风格，地图质量也不能得到有效管理。

现在从地图的编绘直到印刷版的制作，从数据的输入到图形的输出，能做到基本摆脱手工操作，全部实现计算机制作，地图生产周期大大缩短。现在对信息源进行一次数字制图工程，可以得到多项数字产品，能很好地满足信息时代的需求。数字制图技术对地图制图综合的影响最明显的是推动了制图综合的算法化和模型化，为自动制图综合的研究提供了技术基础。地图数据库为地理空间数据的精度控制和制图综合的质量控制提供了有利条件。数字制图技术条件下，地图制图综合期望从繁杂的手工操作中解脱出来，更多地关注制图综合过程控制、知识推理、综合决策和质量控制等方面，同时在提

高制图综合的自动化程度上投入更多的精力。

而且,在新的技术条件下,地图制图综合的观念和研究范围都有所改变。GIS得到日益广泛的应用,GIS环境下地图制图综合的动机不再仅仅是为适应比例尺缩小后的图形表达,而且还具有数据集成、数据表达、数据分析和数据库派生等其他功能。由于在数字制图和GIS中地理要素的表现形式与传统的模拟地图已有了不少的改变,因此数字条件下的综合,在其概念和内容上也应有很大的扩展。不少学者从不同的理论角度对地图制图综合的概念进行了有益的探索,比较有代表性的列举如下:

基于关系代数理论,将地图看作是一定数据模型支持下的空间目标及其空间关系的集合,从大比例尺、高分辨率状态到小比例尺、低分辨率状态的地图综合过程,是集合上的映射过程,包括目标元素映射和空间关系映射(毋河海,1995)。

从信息论、熵理论基础上,认为地图综合是一个信息熵传输过程(Björke, 1996; Weber, 1980)。

从人工智能角度,认为地图综合是一个智能体行为过程(Lamy *et al.*, 1999; Lamy, 1998)。

同样是基于AI提出,认为地图综合是一个问题求解过程(Longergan, 1999; Ware *et al.*, 1998)。

在数字环境下,地图综合的内容也有了较大扩展。例如,DTM(Digital Terrain Model)是数字环境中表达地形表面的普遍方法,地形表面的综合可以看作是DTM的综合,而等高线可以看作是GIS环境下DTM图形表达的一种形式,因此,DTM的综合和等高线的综合都是对地形表面的综合,而DTM的综合在传统的综合中是没有的。采用多媒体的形式也是GIS中表示地理物体和现象的常用形式。多媒体信息中如图像、声音、文字的综合也应看作是地图综合的一部分,它们分别有不同的形式和特点,其综合的方式、方法也各不相同。

1.2 地图自动综合与计算机技术

1.2.1 地图自动综合与空间数据结构模型

计算机及相关技术在地图制图学中的应用极大地促进了地图学的发展,并诞生和发展了数字地图制图、地理信息系统等新的学科和技术。数字地图制图技术极大地提高了地图生产效率,也为数字地图自动综合的研究提供了有利条件。制图综合的模型化和算法化研究也随着制图生产的计量化和计算机技术的引入而展开,而且到现在仍然在自动综合中占有很重要的地位。对GIS及相关软件而言,由于处理的数据具有空间属性,系统的分析应用也与地理环境直接关联,这对数据结构、分析算法和软件都有深刻的影响。

数据结构是计算机学科的核心课程,为编写出好的程序,必须分析待处理对象的特性及各对象之间的联系,并抽象出适当的数据结构模型和设计相应算法。GIS及数字制图相关软件从一开始就重视空间数据结构模型的研究,空间数据不仅包含图形和图像数据,还有诸如地物属性、拓扑关系、资源、环境、经济等信息,处理的数据源不同是

GIS 相关软件有别于其他信息系统的关键。在地理信息系统研究开发方面,不断有人提出新的空间数据结构模型,以便更有效地管理和分析应用空间数据,如栅格数据模型、矢量数据模型、矢栅一体化数据模型、混合数据模型、集成数据模型和面向对象数据模型等。在地图自动综合软件开发研究中,不仅有大量图形图像算法的开发应用,而且还要解决地理实体空间特征、空间关系及属性特征的层次关系、构成关系等的一体化描述,能进行较复杂的空间分析和空间认知表达,而这在很大程度上有赖于一个好的空间数据结构模型。

今天,地图自动综合的研究已越来越重视智能化技术在综合知识处理中的应用,而这更要求数据结构模型能表示复杂空间实体的构成关系和复杂的语义关系,甚至能表达制图知识、认知模型等内容。在计算机软件广泛采用面向对象分析方法的今天,能够很好地抽象出可以自然地表示地理空间及复杂地理实体的数据模型,而面向对象的空间数据模型还能很好地融合空间数据和空间知识,信息扩充自然容易。我们只要做好对综合策略和相关信息需求的分析,采用恰当的认知和抽象思维方式,就能抽象出我们所需要的空间数据模型,更好地去实现自动综合智能化。

1.2.2 计算机软件技术在地图自动综合软件中的应用

没有计算机技术的引入就没有地图自动综合的研究基础。而随着计算机软件技术近几十年的飞速发展,自动综合软件的开发也由最初的综合算法程序代码发展到现在的多要素综合系统。自动综合的研究人员理应对软件技术的最新动向给予足够的关注,去开发实用的自动综合软件。

在很长的一段时间里,地图自动综合软件的开发都集中在开发一些实用的某地图要素的综合算法上,这与结构化程序设计在软件开发领域的主导地位是分不开的。C 语言作为最广泛使用的结构化程序设计语言,对计算机图形学、图像处理等学科的发展起到了很大的推进作用。由于 C 语言具有简洁、高效、移植性好及有较强大的图形库等特点,因此基于 C 语言开发的数字地图编绘软件较多,且基于综合算法的工具也较多。但出现了数据库技术和面向对象的编程语言后,地图综合软件或商业地理信息系统软件的地图综合工具包的开发才进入了一个新的阶段,有了更多的基于模型的自动综合方法研究,也为地图综合知识的发现、表达和组织奠定了一定的技术基础,推动自动综合研究向智能化的方向发展。

随着计算机软件技术的发展,自动综合软件的开发也不再仅仅停留在算法和编图工具上,而有了自动综合的软件系统开发,软件规模的增加使得开发设计必须按软件工程的方法来进行。软件工程对一个软件开发项目的成功与否有着决定性的作用,Rational Rose 等 CASE 工具也在软件开发中得到了广泛应用,复杂的大型软件系统开发有了工程技术上的保障。在开发专家系统的 AI 编程语言方面也有了很大发展,既有已被广泛应用的 LISP、PROLOG 等语言,也有如 IPL-II、SAIL、CONNIVER, KRL 和 Small-talk 及面向对象的语言能被用于智能系统的研究开发。开发自动综合专家系统等智能化的自动综合系统是几代人的夙愿,现有的技术条件已基本成熟,我们没有理由不相信会有自动综合软件步入实用化的那一天。

1.2.3 网络技术对地图自动综合的影响

我们所处的时代是一个信息爆炸的时代,也是一个网络时代,通信网、互联网已成为我们日常生活中信息交换的主要平台,人们对信息的需求是前所未有的。地理信息在网络上的有效传输和表达也成为备受关注的课题,电子地图的网络综合正是在这样的背景下产生的。因此,近几年,网络环境下地图自动综合的研究越来越受到国内外众多学者的关注,现已成为自动制图综合研究领域的一个新的研究热点。

制图综合需要处理海量的地图数据,而且往往是一个非线性和迭代的信息处理过程,完成一幅图的自动综合可能需要调用大量的综合算子,一个简单的图形化简操作由人工完成可能只需几秒钟,而用自动综合算法来实现时其算法复杂度和数据流量都可能异常惊人。因此制图综合是一个耗时的过程,但是对于网络地图来说,时间因素至关重要。为了解决这一特定环境下的自动综合问题,许多外国学者普遍致力于综合方法的探索与研究。Weibel 于 1997 年就提出过用于解决网络地图自动综合问题的两种综合方法:面向表达的方法(representation-oriented approach)是网络制图应用中最广泛使用的方法,它试图将不同比例单一尺度上的表达方式合成为一个连续的多尺度的表达;面向过程的方法(process-oriented approach)是一种将综合理解为从不同比例尺和不同用途的数据库中降低复杂性的一个变换过程的方法。相比较而言,这种方法在基于内容的网络制图方面应用非常有限,主要原因是用户发送请求后需要等待很长的响应时间)。基于 Weibel 提出的两种方法,还有一种面向起源的方法(derivation-oriented approach)是对面向表达方法的进一步完善,其核心是建立一个由多个细节层次模型组成的多尺度数据库,也曾被提出用于进行网络环境下的地图自动综合。Alessandro Cecconi 在总结上述 3 种方法的基础上于 2003 年提出了将多尺度数据库与地图综合过程相结合的方法,利用多尺度数据库来增进地图综合的需求。

由于实时的自动地图综合在现阶段不是切实可行的(一些综合运算尚未被解决,而另一些又过于耗时),因此将多尺度数据库与地图综合过程相结合的方法可以解决这方面的一些问题。这种结合的优点在于将复杂的综合过程细分为两个阶段:一是离线的预处理阶段,指在一个在线用户需求一张网络地图之前就必须完成的一些综合预处理工作阶段,其结果是在多尺度数据库中存储细节层次模型。由于这些模型是独立于用户的需求预先建立的,并不需要考虑时间的因素,因此可用到所有可用的综合算法。二是在线的实时综合阶段,即根据用户的需求,计算效率高的综合算法可被用到实时的计算过程中来。同时,通过运用这些算法,用户还可以从已有的细节层次模型(离线预处理阶段建立起来的)中提取出与所需尺度最为接近的细节层次模型。

离线式综合用到的综合算法复杂且响应的速度较慢,需要用户通过交互的方式完成,而在线式综合要求算法成熟,这一过程是全自动化的。与前几种方法相比,此方法是目前针对网络环境下的地图自动综合研究所提出的一种最佳方法。

随着人们对网络环境下地图自动综合研究工作的不断深入,出现了许多针对网络地图自动综合而提出的新概念,例如:按需综合(on-demand generalization)、实时综合(real-time generalization)、根据用户需求实时产生的综合(on-the-fly generaliza-

tion)、在线式综合 (on-line generalization) 以及离线式综合 (off-line generalization) 等。

由此可见, 网络环境下的地图自动综合并不是拘泥于某一种具体形式的制图综合, 而是涵盖了上述各种综合形式的制图综合。

1.3 地图自动综合与人工智能

迈入 21 世纪, 信息技术给地图学带来了前所未有的变化, 大大提高了地图生产的效率。但是, 自动制图综合这一地图生产自动化的核心理论与技术, 却仍存在许多尚待解决的问题, 究其原因是因为制图综合过分依赖人脑, 具有高度的复杂性和困难性。

制图综合采用的主要方法是选取、化简、概括和位移等, 这些基本的复杂操作过程都是由制图人员通过长期的经验积累发挥主观能动性完成的, 其综合的质量取决于制图人员对制图对象规律性的认识和对这些规律的表达能力; 而在自动综合中, 这一过程由计算机来完成, 然而计算机的特点是处理抽象思维快捷迅速, 处理像制图综合中大量存在的形象思维和灵感思维十分困难, 综合的质量取决于模型, 算法, 规则的合理性、完备性及智能化的程度, 而现有的理论和方法目前都不能很好地全面解决自动制图综合问题。

地图综合的数学模型在某种程度上为地图综合的计算机实现创造了基本条件, 但地图综合毕竟是一项具有一定创造性的工作, 人的经验、知识和智能起着重要的作用, 而人的思维、推理是无法用数学公式来完整描述的, 至少今天的数学还无能为力。所以, 用数学方法研究地图综合是必要的, 但对于解决自动综合问题来说并不是唯一的, 需要开拓新的研究途径。

不论地图产品的形式是纸质的、电子的或其他形式, 都需要地图数据作支撑。而地图数据的生产过程中地图综合概括仍然是一个最复杂和重要的环节, 它也是一个信息的智能深加工过程。制图综合与思维科学和人体科学有密切联系, 而这都是人工智能研究的重点学科, 地图自动综合迫切需要利用人工智能技术来解决一些难题, 比如自动综合的决策、知识推理和过程控制等。地图自动综合智能化是实现自动综合的最有前景的方向, 不解决空间认知和知识推理决策等问题, 也就不可能实现真正意义上的自动综合软件, 而只能是开发一些辅助数字制图的编图工具而已。

人工智能的一些研究成果已经被一些学者和研究开发人员引入制图综合之中, 取得了可喜的研究成果, 例如:

1) 在自动综合中使用 Agent

国外学者提出了基于多 Agent 系统 MAS (Multi-Agent System) 的自动综合模型。在 MAS 中, 把问题分为 4 个不同的阶段: 问题分解、亚问题的分配、亚问题的解决和亚问题的整合 (或称结果综合)。把问题分解后, 找到符合一定条件的地理实体作为 Agent, 建立综合的 Agent 模型。目前, 自动综合的 Agent 基本算法有很多, 可划分为化简算法、合并算法、夸大算法、光滑算法等。

另外, 欧洲还建立了联合开发机制, 联手进行自动综合的研究与开发。比如 1997

年由欧洲 Laser-Scan 公司资助并联合苏黎世大学、法国国家地理信息研究所、苏格兰爱丁堡大学地理系等单位联合研制的“欧洲 Agent 计划”,较系统地研究了 MAS 技术在自动制图综合系统中的运用(有关研究成果可浏览网站 <http://agent.ign.fr>),其研究成果已投入使用,例如 Mark2 LAMP2 Generaliser,该计划于 2000 年 12 月结束。专家在对 1997 年欧洲 Agent 计划进行评估后认为,该系统把 Agent 用于独立对象综合,得到了较满意的结果,但基于 Agent 的位移处理不尽如人意,后续工作正在对该问题进行研究。1999 年 6 月,法国国家地理信息研究所发起了一个新的工程,称为“Carto2001: Space Cartographic Odyssey”,该工程采用了 Agent、beam 和交互式工具,并成功地把 beam 技术用于解决“位移”问题,结果表明,beam 技术是进行位移处理的较好工具。一幅地图,用 Carto2001 进行自动综合需 50h,然后还需要进行 100h 的交互式综合。

2) 自动综合的智能化算法

应用于自动综合领域的智能化算法目前主要有遗传算法和人工神经网络等。

遗传算法(genetic algorithm, GA)是以自然选择和遗传理论为基础,将生物进化过程中适者生存的规则与群体内部染色体的随机信息交换机制相结合的解决最优化问题的方法。鉴于遗传算法的最优特性,将其应用于自动综合具有许多明显的优势,主要用于制图综合中点群目标选取、线要素化简、道路网综合以及注记配置等方面。

人工神经网络(artificial neural network, ANN)是由大量的、同时也是很简单的处理单元(或称神经元)广泛互相连接而形成的复杂网络系统,它反映了人脑功能的许多基本特性,是一个高度复杂的非线性动力学系统。神经网络具有大规模并行、分布式存储和处理、自组织、自适应和自学习的能力,特别适用于需要同时考虑许多因素和条件的、不精确和模糊的信息处理问题。

制图综合最基本的特点在于它是一项复杂的创造性思维过程。在数字地图制图综合条件下,这种复杂的创造性思维过程至少可以部分地由电脑来完成,在某种意义上,自动制图综合是人工神经网络获取、处理和输出制图信息的过程。因此,人工神经网络在自动综合中还是有相当的应用前景的。

3) 基于知识的自动综合方法

基于知识的方法常常与算法一样经常被提起。在自动综合的发展历史中,算法和基于知识的方法(如专家系统)都常被用来解决综合的问题。算法的方法缺少灵活性(只能针对某一具体任务),对物体的定义不十分完善,基于知识的方法的困难则在于综合知识的规范化、知识的获取和知识的表示。在这方面,国内外众多学者做出了大量的努力。

目前,基于知识的自动综合方法已经被制图工作者和研究者们所认同,但这方面的研究尚处于起步阶段。国内外学者目前更多地关注于地图自动综合知识的表示和形式化的研究上,这是地图自动综合走向智能化的基础。尽管地图综合知识表示和形式化的研究取得了一定的成果,并且有些已经用于地图自动综合系统的开发,但总体来说,实用化程度还没有达到人们期望的效果。随着人工智能、知识工程等技术领域的不断突破和

发展, 基于知识的自动综合方法也将日益成熟和完善。

关注人工智能方面的最新研究方向和成果, 结合地图学的理论研究来提高自动综合的智能化水平, 是我们应该努力的方向。

1.4 地图自动综合与地理信息科学

1.4.1 地图自动综合与 GIS

在 GIS 中需要地图综合, 是近年来才被人们认识到的。一方面, 出于节约成本、减少数据采集量的考虑, 人们逐渐认识到了数据库的“一库多用”的重要性; 另一方面, GIS 的空间分析结果只有通过恰当的制图表达, 才具有最优化的可读性, 而按地图要求去进行表达, 就必然要使用地图综合手段。因此, GIS 系统中 (或 GIS 环境支撑下) 的地图综合的含义比传统地图学中的地图综合概念丰富。

自动综合在数字制图生产和 GIS 领域的应用范围是非常广泛的。数字环境下的自动综合, 根据其应用目的和限制条件的不同, 可以将整个综合问题看作是由两个变换过程 (Peng *et al.*, 1995) 所构成, 一个过程是从现有的数据库中经过综合变换推导出新的具有不同详细程度的数据库; 另一过程是当用某一比例尺进行可视化输出时, 数据库中数据容量过大不能进行清晰的图形表达所进行的综合变换。在这两个方面中, 前一过程是变换空间模型的复杂性水平, 后一过程是数据库的图形表达, 与传统的制图综合相同, 但考虑了地图、数据库与可视化之间的差别。由此可将地图综合的过程分解成两个子过程: 推导新数据库的子过程和数据库中数据可视化的子过程, 这两个子过程叫做数据库综合 (或称模型综合) 和制图综合 (或称可视化综合), 分别用来处理前述的两个变换过程。

长期以来, 在 GIS 界有一种观念: GIS 中没有比例尺的概念, 因而也就不需要多比例尺数据库。这种观念随着 GIS 的技术发展和应用面的推广越来越显现其不足。同样, 承认 GIS 的多比例尺数据的存在, 但主张建立多个数据库、每个数据库维护单一比例尺的观点也有明显的局限性。随着研究的深入, 在 GIS 中建立数据库多重表达机制越来越显得必要和重要。许多 GIS 系统在实际应用中不仅需要多种详细程度的数据支持, 而且需要把这些多尺度表达的信息动态地连接起来。因此, 面向对象的多尺度的 GIS 开发问题成为一个重要问题, 其重点就是 GIS 中制图自动综合工具的开发。

只要自动综合的问题不解决, 现有的 GIS 系统仍将独立地存储不同比例尺的地图数据。换句话说, 相同地理现实的多尺度显示将在同一数据库中共存。这类依比例尺的数据库是目前计算机辅助制图系统的共同点。尽管目前的状况如此, 人们最终还是希望有更先进的系统来取代这种方式。GIS 和自动制图系统的最终目标都将是利用基于知识的方法和综合算法生成不依比例尺的 GIS。

毫无疑问, 一个自动地图智能化综合系统应是地理信息系统的重要组成部分。对于数字地图来说, 比例尺的概念将逐渐淡化, 地图信息的繁简程度应根据应用需要来变化。目前的地理信息系统中专题地图的制作还不涉及基础底图的变化, 而未来的专题图制作应把基础底图的变换处理作为一项内容, 这就需要将自动综合的一些处理加入到