



武 芳 编著

空间数据的多尺度表达

自动综合



解 放 军 出 版 社

京新登字 117 号

书 名：空间数据的多尺度表达与自动综合

编著者：武芳

出版者：解放军出版社

[北京地安门西大街 40 号/邮政编码 100035]

印刷者：一二〇一印刷厂

发行者：解放军出版社发行部

开 本：787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张：15

字 数：360 千

版 次：2003 年 3 月第 1 版

印 次：2003 年 3 月(北京)第 1 次印刷

统一书号：55065·1726

序

十分高兴地读了武芳博士编著的《空间数据的多尺度表达与自动综合》新作,这既是自动制图综合领域科学研究与工程实践的理论总结,又是对该领域进一步研究前瞻性的探索与开拓。

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,也为数字环境下的地图自动综合研究提供了思考问题的基础。

数字环境下的自动综合至少在以下三个方面是必要的:首先,基于较大比例尺地图数据库生产较小比例尺地图时,必须采用自动综合方法;第二,在地理信息系统中,用户要求在“放大”、“缩小”时始终保持屏幕电子地图内容既详细又清晰,这时必须采用自动综合方法;第三,在构建空间数据仓库时,需要利用自动综合方法从不同地方、不同部门的异构数据库中抽取符合用户所需主题的数据。可见在数字环境下,自动综合仍是现代地图学面临的核心问题之一。

武芳博士自攻读硕士学位以来的十多年中,一直从事自动制图综合的研究和工程实践。持之以恒定能成功,辛勤付出必有收获。《空间数据的多尺度表达与自动综合》的内容由分析篇、基础篇、方法篇和应用篇四个部分共十四章构成,可以看出作者在组织本书内容时的独具用心。对自动综合研究的背景、特点、现状及自动综合策略与概念框架等进行分析是十分必要的,只有把问题分析透了,才能有解决问题的方法;把图形空间关系、数据模型和支持空间数据多尺度显示的数据结构等作为自动综合的基础,这是对问题的一种新的认识;基于 Delaunay 三角网的自动综合算子模型,基于 Circle 的自动综合算子模型,自动综合的分形方法、形态学方法和小波方法,包括基于 Agent 的自动综合、自动综合的人工神经网络方法、自动综合的遗传算法等在内的智能化自动综合方法,无疑都是该领域的最新研究成果;理论是用于指导实践的,方法是用来解决问题的,应用篇中的自动综合系统设计和所介绍的基于 MicroStation 的地图编绘系统、地图综合软件 MappingSword 等,反映了作者理论联系实际的优良学术作风。本书的出版,必将对推进该领域的研究产生重要的影响。

先睹为快,受益匪浅。一方面为本书的成功表示祝贺,同时也希望有更多的青年学者静下心来扎扎实实做学问,为推进我国自动制图综合领域的知识创新做出贡献。

王家耀

2002 年 6 月

前 言

无论是空间数据的多尺度表达也好,还是自动制图综合也好,它的核心内容是相同的。这是当今每一个制图工作者所普遍关注的问题,可以说从计算机技术引入地图制图领域的时候起,就开始了这方面的研究试验,而且一直没有间断过,国内外学者在这方面做了大量的工作,取得了一系列的研究成果,但值得进一步研究和深入探讨的问题仍然很多。

鉴于地图的自动综合在地图的自动化生产和 GIS 等领域中所起的重要作用,本书对数字环境下地图综合的特点、研究领域、概念框架以及自动综合方法等关键性的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,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,以新方法的应用为主。

全书共 4 部分 14 章,分别为绪论、数字环境下的自动综合分析、自动综合的综合策略与概念框架、自动综合中图形空间关系研究、自动综合中数据模型的建立、支持空间数据多尺度显示的一种数据结构、基于 Delaunay 三角网的自动综合算子模型、基于 Circle 的自动综合算子模型、自动综合分形方法、形态学方法和小波方法、自动综合的智能化方法、自动制图综合方法特点分析、自动综合系统设计和两种不同类型的地图综合系统。

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,先后完成了多项有关该领域的研究项目,并发表了与此有关的多篇学术论文,本书正是对这些研究成果的总结。当然,作者还在继续从事该领域的研究,书中有许多方面还有待于在科研、生产和教学实践中逐步充实、完善和提高。

本书经解放军信息工程大学测绘学院王家耀院士审阅,使本书在内容与结构上均得到很大改善;书中许多试验由钱海忠博士、邓红艳硕士完成,没有他们的辛苦工作,本书也难以完成。对此作者深表感谢。

自动制图综合是一个不断有着新的研究内容的研究领域,内容丰富,需要进一步研究的问题很多。限于作者水平有限,书中难免疏漏错误,恳请读者与专家批评指正。

编著者

2002 年 6 月

目 录

第一部分 分析篇

第一章 绪 论	(3)
§ 1 自动综合的研究背景与特点	(3)
§ 1.1 研究背景	(3)
§ 1.2 自动综合需求分析	(5)
§ 1.3 自动综合的特点	(7)
§ 2 自动综合的研究现状	(7)
§ 2.1 自动综合的主要方法	(8)
§ 2.2 自动综合理论基础研究现状	(8)
§ 2.3 自动综合方法研究现状	(9)
§ 2.4 当前各要素自动综合存在的主要问题	(13)
§ 3 当前自动综合研究要解决的主要问题	(14)
§ 3.1 自动综合研究的重点	(14)
§ 3.2 新技术条件下地图自动综合的观念更新	(15)
第二章 数字环境下的自动综合分析	(17)
§ 1 自动综合的问题域	(17)
§ 1.1 自动综合的应用领域	(17)
§ 1.2 数据库综合	(18)
§ 1.3 制图综合	(19)
§ 2 自动综合的限制条件	(22)
§ 3 自动综合的算子集合	(25)
§ 3.1 自动综合系统的主要组成部分	(25)
§ 3.2 自动综合算子集合与算子库的建立	(26)
§ 4 自动综合与比例尺	(29)
§ 4.1 空间数据的多尺度特征	(29)
§ 4.2 从多尺度表示到不依比例尺的 GIS	(33)
§ 4.3 综合比例尺的确定	(34)
§ 5 自动综合的质量控制	(35)
§ 5.1 空间数据的质量	(35)
§ 5.2 综合对数据质量的影响	(36)
§ 5.3 数据质量控制对综合的作用	(37)
第三章 自动综合的综合策略与概念框架	(39)

§ 1 地图综合过程中人类的思维方式	(39)
§ 1.1 人类思维活动的特点	(39)
§ 1.2 智能系统研究理论上和技术上的难题	(42)
§ 2 自动综合的综合策略及解决方案	(46)
§ 2.1 两种不同的综合观点	(46)
§ 2.2 自动综合的综合策略	(46)
§ 2.3 自动综合的协同学方法论	(48)
§ 3 自动综合的概念框架	(49)
§ 3.1 现状分析	(49)
§ 3.2 协同式自动综合概念框架	(51)

第二部分 基础篇

第四章 自动综合中图形空间关系研究	(55)
§ 1 空间关系与自动综合	(55)
§ 1.1 空间关系在自动综合中的作用	(56)
§ 1.2 自动综合中空间关系的类型	(57)
§ 1.3 自动综合算子与空间关系	(57)
§ 2 自动综合空间关系的描述方法	(58)
§ 2.1 拓扑关系描述	(59)
§ 2.2 度量关系描述	(59)
§ 2.3 方位关系描述	(60)
§ 2.4 邻近关系描述	(60)
§ 2.5 群的空间关系描述	(63)
第五章 自动综合中数据模型的建立	(65)
§ 1 自动综合与数据模型	(65)
§ 1.1 自动综合数据模型的重要性	(65)
§ 1.2 自动综合中数据模型的建立	(67)
§ 2 表达邻近关系的数据结构	(68)
§ 2.1 单纯形及其合成	(68)
§ 2.2 单纯形数据结构	(69)
§ 3 Delaunay 三角网的性质与数据结构	(69)
§ 3.1 Delaunay 三角网的性质	(70)
§ 3.2 Delaunay 三角网的构网方法	(71)
§ 3.3 自动综合中 Delaunay 三角网的数据结构	(73)
第六章 支持空间数据多尺度显示的一种数据结构	(76)
§ 1 空间对象的尺度变化分析	(76)
§ 1.1 图形的多尺度变化形式	(76)
§ 1.2 开窗的形式	(76)

§ 1.3 制图物体图形表示的变化类型	(78)
§ 2 空间数据多尺度显示的数据结构	(78)
§ 2.1 DAG 结构	(78)
§ 2.2 多尺度数据结构的建立	(79)

第三部分 方法篇

第七章 基于 Delaunay 三角网的自动综合算子模型	(83)
§ 1 Delaunay 三角网在自动综合中的应用分析	(83)
§ 1.1 Delaunay 三角网在图形等级变换中的应用	(83)
§ 1.2 Delaunay 三角网在图形合并中的应用	(84)
§ 1.3 Delaunay 三角网在图形夸大中的应用	(86)
§ 1.4 Delaunay 三角网在图形化简中的应用	(86)
§ 1.5 Delaunay 三角网在位移中的应用	(88)
§ 2 基于 Delaunay 三角网的综合算子设计	(90)
§ 2.1 基于 Delaunay 三角网的面状要素合并	(91)
§ 2.2 基于 Delaunay 三角网的中轴线提取	(94)
§ 2.3 基于 Delaunay 三角网的点目标选取	(96)
§ 2.4 基于 Delaunay 三角网的线状目标化简	(97)
§ 2.5 三角形腐蚀与分层设色表示	(99)
第八章 基于 Circle 的自动综合算子模型	(101)
§ 1 Circle 的特点	(101)
§ 2 基于“Circle”的自动综合算子设计	(101)
§ 2.1 基于“Circle”和“优胜劣汰”的点状要素选取	(101)
§ 2.2 基于“Circle”的线状要素“包含删除法”化简	(102)
§ 2.3 基于“Circle”的面状要素“集群支持法”选取	(103)
§ 2.4 基于“Circle”的面状要素位移	(104)
第九章 自动综合的分形方法、形态学方法和小波方法	(106)
§ 1 自动综合的分形方法	(106)
§ 1.1 分形理论的基本原理	(106)
§ 1.2 点状要素选取的分形方法	(108)
§ 1.3 面状要素选取的分形方法	(109)
§ 1.4 线状、面状要素化简的分形方法	(110)
§ 2 自动综合的形态学方法	(112)
§ 2.1 数学形态学的基本运算	(112)
§ 2.2 街区合并的数学形态学方法	(114)
§ 3 自动综合的小波方法	(116)
§ 3.1 小波基础	(116)
§ 3.2 基于小波的线状要素多尺度变换	(119)

§ 3.3 基于小波的线状要素的多尺度表达	(121)
第十章 自动综合的智能化方法	(123)
§ 1 基于 Agent 的自动综合	(123)
§ 1.1 Agent 基础	(123)
§ 1.2 地图综合中的 Agent	(127)
§ 1.3 地图综合中的监控 Agent	(129)
§ 2 自动综合的人工神经网络方法	(133)
§ 2.1 人工神经网络基础	(133)
§ 2.2 自动综合人工神经网络设计的基本原则	(137)
§ 2.3 自动综合人工神经网络设计	(139)
§ 2.4 海图水深综合的人工神经网络方法	(141)
§ 3 自动综合的遗传算法方法	(147)
§ 3.1 遗传算法的基本原理	(147)
§ 3.2 基于遗传算法的线要素自动化简	(149)
§ 3.3 基于遗传算法的点群要素选取	(152)
§ 3.4 基于遗传算法的点注记配置	(157)
第十一章 自动综合方法特点分析	(161)
§ 1 Delaunay 模型和 Circle 模型特点分析	(161)
§ 2 分形、数学形态学和小波综合模型的特点分析	(163)
§ 3 神经网络、遗传算法和 Agent 用于综合的特点分析	(164)

第四部分 应用篇

第十二章 自动综合系统设计	(169)
§ 1 自动综合系统的总体设计	(169)
§ 1.1 系统总体设计思想	(169)
§ 1.2 系统软件构成及功能模块	(171)
§ 1.3 协同式自动综合流程	(173)
§ 1.4 自动综合算法、算子库的建立	(173)
§ 2 地图自动综合条件的建立与使用	(174)
§ 2.1 编图规则库编辑工具的建立	(175)
§ 2.2 综合参数库编辑工具的建立	(176)
§ 2.3 综合参数库微调器的建立	(177)
§ 3 几种主要地图要素的综合方案设计	(178)
§ 3.1 水系要素的综合	(178)
§ 3.2 居民地的综合	(182)
§ 3.3 各要素空间关系处理	(184)
第十三章 基于 MicroStation 的地图编绘系统	(187)
§ 1 系统的研究内容及设计原则	(187)

§ 1.1 研究内容	(187)
§ 1.2 设计原则	(188)
§ 1.3 总体方案设计	(189)
§ 2 系统的实现	(190)
§ 2.1 线要素处理	(190)
§ 2.2 要素的接链处理	(196)
§ 2.3 面要素处理	(197)
§ 2.4 关系处理	(201)
§ 3 系统实现过程中的几个技术处理	(203)
第十四章 地图自动综合软件 MappingSword 简介	(205)
§ 1 系统模块构成与系统结构	(205)
§ 1.1 系统模块构成	(205)
§ 1.2 系统结构	(206)
§ 2 系统图形化介绍	(207)
§ 2.1 系统界面介绍	(207)
§ 2.2 系统部分功能举例	(210)
§ 3 系统特点和进一步的工作	(215)
§ 3.1 系统特点	(215)
§ 3.2 进一步的工作	(216)
参考文献	(218)

第一部分 分析篇

第一章 绪 论

30 多年来,地图自动综合问题一直是对制图工作者和 GIS 开发者的一个严峻的挑战,尤其是随着国家空间数据基础设施的建立、地图数据库的建成和 GIS 的进一步开发与应用,以及数字地球的提出和实现,这个问题变得越来越重要,显得越来越突出。但是,至今这个问题的解决还远未达到人们所期望的程度。

§ 1 自动综合的研究背景与特点

自动制图综合的研究几乎与计算机地图制图的研究不同步,它的研究背景和研究特点是非常明显的。

§ 1.1 研究背景

有关数字地图自动综合的研究,可以说在计算机技术引入地图制图领域的时候就开始了,而且一直没有停止过。随着地图学及相关学科的发展,数字地图自动综合的研究越来越受到重视,研究的深度和广度都有不同程度的进步。尽管地图制图学者们都深知,地图综合的自动化是一个非常艰难的课题,但他们并没有因此中断过自己的研究工作。这些都说明,地图综合自动化问题的提出绝不是少数人的主观想象,而是有它深刻的实际背景。它是地图制图技术现代化的必然趋势。

(1)手工制图条件下模拟地图的制图综合理论和方法的系统化为数字地图自动综合的研究提供了思考问题的基础

制图综合是解决缩小的地图表象同复杂的客观世界之间矛盾的一种科学方法,经过多年的实践总结和系统研究,形成了现在的指导地图内容编绘的制图综合理论与方法体系,其要点如下:

制图综合作为解决缩小的地图表象同复杂的客观世界之间的矛盾的一种方法,它的应用是有一定条件的,这些条件是地图用途、地图比例尺和制图区域的地理特点等。地图用途决定地图内容的主题和重点,影响制图综合的倾向(着重强调的方面)和程度(详略);地图比例尺决定地图内容的总数量及详细程度,制约着要素的选取和化简;制图区域地理特点对制图综合的影响,主要表现在制图综合结果的地理适应性上。

制图综合的基本方法是选取、化简、概括和位移。选取,是制图综合的最重要的方法,主要解决选取多少、选取哪些和怎样选取的问题;化简,就是简化物体的平面图形,即化简其内部结构和外部轮廓,其结果是导致制图物体平面图形的简化;概括,系指减少制图物体(现象)在质量和数量方面的差别,包括质量特征的概括和数量特征的概括,它是通过制图物体的分类分级来实现的;位移,是编图时处理各要素相互关系的方法,其目的是要保证地图内容各要素总体结构特征的适应性,即与实地的相似性。

制图物体的选取、化简、概括和位移等作为一个完整过程,就其实施而言,既有其相对独立性,又相互制约。

水系、地貌、植被、居民地、道路网、境界、独立地物等地图要素的综合方法,既有共同性,也各有其特殊性。各要素的综合,按其空间分布特征可以分为点状、线状和面状三种情况。点状要素的综合,主要表现为选取;线状要素的综合,主要表现为选取和化简;面状要素的综合,则主要表现为选取、化简和概括。当然,这些都不是绝对的。

(2) 地图综合的模型化和算法化研究在手工综合与自动综合之间起着“桥梁”的作用

制图综合的模型化和算法化研究是随着制图生产的计量化和计算机技术的引入应运而生的。长期以来,地图制图学者们在这方面作了大量的研究工作,我国在 20 世纪 60 年代就有人着手数理统计方法在制图综合中的应用研究,取得了一些成果,尤其是 80 年代以后引进了计算制图物体选取数量的回归模型、模糊集合论、图论、分形及人工神经网络等方法,初步解决了一些问题。

尽管制图综合模型化和算法化的研究目前还存在不少问题,但它毕竟是在手工综合与自动综合之间搭起了“桥梁”。实际上,当能用数学模型和算法描述制图综合的过程和操作时,计算机就可以通过编程来实现地图自动综合的过程和操作。

(3) 计算机技术为数字地图自动综合的研究提供了先进的技术手段

20 世纪 70 年代后期计算机技术的发展,对制图综合的研究起了重要的推动作用,自动制图综合的研究取得了初步成果。

计算机技术作为研究地图自动综合的一种先进手段,其硬件和软件的发展都很快。图形交互编辑功能不断增强,这就为地图自动综合的研究提供了先决条件。

计算机制图技术发展很快,地图要素的自动绘制软件已经成熟,分色制版胶片输出系统已用于地图生产,这些都为地图自动综合结果的图形显示、绘图输出和胶片输出创造了条件。

地图自动综合的研究已取得局部的试验性结果,虽然离实际应用还相差较远,但它毕竟使人们看到了希望,为全面开展地图自动综合的研究提供了某种借鉴,促使人们更积极开展这方面的研究。

(4) 地图数据库的建立和空间基础设施建设的迅速展开,为地图自动综合提供了数字地图背景,同时也对地图自动综合的研究提出了更加紧迫的要求

近些年来地图数据库技术受到了国内外的普遍重视,在我国相继建立了用于各种目的的地图数据库,其中就有为自动编图目的而建立的(如 1:25 万地图数据库),不少地图数据库也都能供编图使用。

地图数据库的建立,特别是国家、区域和全球空间数据基础设施建设的推进,为地图自动综合的实现提供了数据支持条件,为改变以往那种模拟性的、单要素的试验性研究状况,而进入真实的、全要素的实用性研究阶段提供了数据基础。

(5) 人工智能和专家系统技术为地图自动综合的研究提供了新的途径

制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惟一的,需要开拓新的研究途径。

地图自动综合专家系统是一种运用人工智能技术解决地图自动综合问题的方法,它既借

用现今数学模型和算法的研究成果,又从思维推理的角度模拟制图专家的地图综合过程,解决至今认为需要由制图专家才能解决好的复杂问题。这项研究的关键技术是地图综合知识的总结、表达和组织,基于知识的推理机制和相应的控制策略,以及与专家交互的地图数据库。

(6) GIS 的兴起与蓬勃发展进一步推动了地图综合研究的深入开展

在传统地图制图环境下,制图综合是地图制图的理论与技术核心;在计算机地图制图特别是在地图数据库背景下,计算机制图综合也成为数字地图制图生产的核心;在地理信息系统(GIS)中,空间数据的多尺度表示与自动制图综合又被强烈地提了出来,成为 GIS 实用化的核心问题之一,在 GIS 的开发应用如数据获取、数据表达、数据共享中,制图综合起着重要的作用。因此,近几年来越来越受到国内外学术界的普遍重视。

地理信息系统是建立在数字地图基础之上的。一个大型的地理信息系统,管理着庞大的数字地图数据,如果没有有效的自动综合方法,GIS 的数据获取与更新,是一般的测绘部门很难胜任的。理想的方法就是维护最大比例尺地图数据库,其它比例尺地图数据将逐级自动生成,以满足不同的应用需要。

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 GIS 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 GIS 中去。

仅从这些方面即可看出,自动化地图综合在未来的 GIS 应用中占有十分重要的位置。但是,目前的 GIS 还无法解决空间数据(矢量)随比例尺变化而产生的信息量增减问题,即 GIS 空间信息的压缩与复现问题。解决这个问题的根本出路在于实现 GIS 中地图综合的自动化。

(7) 数字地球计划的提出使得地图综合的自动化成为其实现的关键技术之一

随着 RS、GIS 和 GPS、数字通讯和计算机网络互连技术的不断进步,人们在掌握和利用地球空间信息方面的能力空前提高,数字地球计划为我们展示了更加美好的未来,人类的视野范围不断扩大而信息交流的时空距离在不断缩小。

数字地球计划的关键技术之一是无比例尺空间信息的压缩与复现问题,即以一个大规模数据库(通过测量直接得到,可认为未经过综合)为基本数据源,在一定区域内空间对象的信息量随比例尺变化自动增减,使得空间信息的压缩与复现与比例尺自适应的一种信息处理技术。而解决这个问题的根本出路在于实现地图综合的自动化。

§ 1.2 自动综合需求分析

目前,世界上许多发达国家及发展中国家已经相继完成了或即将完成基本比例尺地理数据库的建库工作,各国的基本比例尺视国家的领土大小、人口密度以及经济条件等多种因素的不同而有所不同。

由于基本比例尺地理数据库十分详细完备,精确地记录了地形和地物目标的位置信息、属性信息以及目标间的语义关系和空间拓扑关系,人们往往可以忽略比例尺的存在,从概念上把它看成是现实世界的无边无缝的仿真模型。这个仿真模型自然就成了一切制图活动及地理信息研究和应用的出发点,人们可以随心所欲地提取任意一部分数据制作专题地图,派生任何一种中小比例尺普通地图,也可以把它当作信息源进行各种空间数据的咨询活动。

然而,基本比例尺地理数据库的数据量非常庞大,其详细的地理数据往往隐含着高密度的

空间信息。但是,人们并不是时时处处都需要详细的数据,过多的不相关的信息有时会干扰正常工作,妨碍人们对全局性问题本质的把握。因此,如何把详细的空间数据通过综合的方法改造成适合特定用途和专门用户的地理信息库便成了一项重要的任务。

从数据生产的角度看,管理、维护空间数据与空间数据的质量控制之间的需求是密切相关的,灵活的多比例尺地图生产的需求和现代化的制图生产工具产生了精度、密度和完整性的问题。随着空间数据信息系统数量的增多,自动综合的作用也随之显得更加重要,成为计算机制图系统的核心,只有具备了灵活的自动综合功能,地图数据库才能真正成为数字地图环境下地图生产的一种手段,GIS 才能够真正满足不同详细程度的显示和输出不同详细程度地图的需求。而且,随着 Internet 服务范围的扩大,实时的自动综合方法也将会在网络上出现,数字地球才能在网络的任意节点上为用户提供所需任意详细程度的地球空间数据。

总而言之,人们之所以对自动综合的研究兴趣越来越大,其原因有七:

(1)数据绘制和显示的需要

在许多情况下,模拟地图仍是一种普遍而通用的产品形式,GIS 中应具备绘制模拟地图的功能。当数据输出的比例尺小于数据采集的比例尺时,只有经过制图综合才能以清晰的形式传输复杂的分析结果,保证输出地图的质量。

另外,当数据需要在屏幕上显示时,有时开窗放大的效果并不令人满意,尤其当显示比例尺大于数据采集比例尺时,要想了解更加详细的信息是不可能的,因为在应用空间数据时,其比例尺是不能大于数据采集比例尺的。

(2)数据分析的需要

地理数据的分析总是针对一定的空间尺度和一定的空间等级进行的,亦即空间现象和过程通常是依比例尺的,像气候、水资源、农业、森林、交通、土地及城市规划等许多应用都需要不同详细程度的变换及综合,因为数据的分析与传输往往都是在局部的或较高的层次上进行的,需要不同综合程度的地理信息模型,空间数据的分析和观察必须在比例尺条件下进行。

(3)数据压缩的需要

复杂程度的降低(制图综合的主要功能)是人类最基本的功能,科学综合的部分过程与人的行为和判断能力是一致的,因此为减少数据量和处理时间而进行的数据压缩是很必要的。

(4)数据库派生的需要

在目前建立地图数据库仍费时费力的情况下,由大比例尺数据库派生较小比例尺地图数据库仍然是地图数据库应用的一个重要方面,这样不仅节约了建库经费,而且可以大大节省建库时间。

(5)数据更新的需要

数据更新是数据库维护中需要经常进行的一项工作,由于更新的资料或数据与数据库中数据的比例尺有可能不一致,因而必需经过一定的综合才能入库。

(6)数据一致性的需要

许多制图部门建立了许多不同比例尺的地图数据库,无论如何这都是费时费力的事,而且这些不同比例尺数据库之间没有同一物体的信息联系,因此要想在不同版本的数据库之间传播是不可能的。

(7)增加信息可视性的需要

合理综合的结果,不仅保留了空间数据库在给定比例尺或图像格式情况下原始信息的最

佳数量,而且去除了图像中的噪音,放大了图形的最基本部分,使图形的最主要特征得以保持,这样才能满足可视化的需要。因此可以说综合是在给定比例尺条件下增加信息可读性的一种工具。

§ 1.3 自动综合的特点

地图自动综合,是在数字地图环境下,根据地图用途、地图比例尺和制图区域地理特点的要求,由计算机通过编程的模型、算法和规则等,对数字化了的制图要素与现象进行选取、化简、概括和移位等操作的数据处理方法。自动地图综合的特点如下:

(1)地图自动综合在操作对象、主体、方式和结果等方面,有着与手工地图综合不同的特点。前者的操作对象是数字地图,操作主体(操作者)是制图员与计算机的交互作用,操作方式是在计算机可读的情况下通过编程来实现,操作结果是数字地图(经过综合的);而后者的操作对象却是模拟地图,操作主体是制图员,操作方式是利用刻(绘)图工具在目视可读的情况下直接处理图形资料,其结果仍是模拟地图。

(2)由于模拟地图具有目视可读的特点,所以手工地图综合过程中选取、化简、概括和位移等操作是一次(同时)完成的,而在数字地图环境下,只能是计算机可读,选取、化简和位移等操作是分别独立进行的,其操作步骤具有很强的可分解性。从这个意义上说,地图综合过程中的操作步骤分解越细(当然要合理),地图自动综合的实现相对地越容易。

(3)模拟地图的制图综合其结果仍然是模拟地图,在目视可读的情况下,地图综合的质量是可以目视检查的,当然也是可以目视修改的。数字地图综合的结果仍然是数字地图,计算机可读,但目前计算机还无法判别综合结果是否符合要求,因此,还必须在图形交互编辑条件下,将综合结果显示在屏幕上,由制图员进行检查并利用修改功能予以修改。当然许多情况下也是可以使用智能启发式人机交互方式进行修改的。

(4)地图综合是一项复杂的创造性思维过程和繁重的劳动过程,在模拟地图综合的情况下,这种复杂的创造性思维过程和繁重的劳动过程都是由制图人员完成的,综合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;在数字地图综合条件下,复杂的创造性思维过程由制图员完成,而繁重的重复劳动过程却是由计算机编程实现的,即使引用专家系统技术,计算机也只是模仿制图专家在综合过程中处理问题的思维方式,解决由制图专家才能处理好的问题,综合质量取决于模型、算法和规则的合理性、完备性及智能化程度,综合决策由制图员做出,而决策的实现由计算机完成。

从地图自动综合的特点可以看出,地图综合的理论复杂性和自动综合过程的实际困难性是很明显的。

§ 2 自动综合的研究现状

自从电子计算机引入地图制图领域以来,人们一直期盼着用计算机实现地图综合,从而取代地图综合的手工作业,并进行了大量的研究试验,从点状要素的取舍、线划的形状特征化简,面状要素的轮廓化简与合并,乃至图形要素间的关系处理等,有些算法经过几代人的研究与改进已基本成熟,知识库或规则库及其推理机制的研究正在进行,人机交互的图形环境越来越丰富多样,一个实用的多要素地图自动综合系统正在形成。

§ 2.1 自动综合的主要方法

目前,自动综合对于地图生产自动化水平和 GIS 的数据服务能力,具有不可忽视的辅助与制约作用,因而多年来各国制图学者对自动综合问题从各个侧面作了大量的研究。特别是自 1995 年以来,随着 Internet 的兴起,对大量、迅速、合理的地理数据的需求急剧增加,GIS 环境下的自动综合、导航系统电子地图应用中的数据综合等促使自动综合研究进入一个新的发展阶段,理论、方法、成果、队伍都在不断丰富壮大。

自动综合虽然不是新的研究主题,但它仍然不断有新的研究内容。自 20 世纪 60 年代中期这个问题首次提出后,研究活动虽不断深入,但其进程并不顺利,制图产品仍然是半自动的、手工生产方式。尽管自动综合在分形、人工神经网络、认知学、传输模型、专家系统等方面进行了大量的研究,但我们目前所具有的仍只是进行制图综合的一些算法。许多综合操作如图形化简、分类分级、删除、合并等算法目前已在商业化的软件中出现,甚至一些复杂的操作像位移等也在 ArcInfo 等软件中出现并能部分地解决一些问题,但是,这些 GIS 软件中没有一个能够完全地胜任制图学意义下的综合。因此,有效的综合比图形编辑及统计计算等具有更强大的功能。这就是说,缺乏完整的综合工具仍然是 GIS 发展中的障碍。

人类最早尝试用计算机来解决制图综合问题可追溯到 20 世纪 60 年代中期,最早的理论工作是由 Tobler(1966)开始的,他提出了一些计算机制图综合处理的基本原则。在此之后,Douglas 与 Peucker(1973)、Long(1969)等提出了一些卓有成效的算法,使计算机制图综合问题的研究得以正式展开。Douglas - Peucker 算法已被公认为是线状要素化简的一种经典算法,至今仍被沿用。自 80 年代中期开始,一些知名的学者,如 McMaster(1987)、Meyer(1986)、Nickerson 和 Freeman(1986)等,都在制图综合领域提出了很多理论和方法,促进了自动综合研究的进一步开展。

80 年代以前的自动综合研究有两点不足,一是基本上集中在中、小比例尺地图的范围,而中小比例尺地图主要由线状和点状要素组成,对于大比例尺图中面状要素(复杂建筑物轮廓)很少涉及;二是研究方法基本局限在某一种计算机算法处理某种要素上,这些算法明显不可能解决具有连带关系即空间关系的制图综合问题。

80 年代后期至 90 年代这两方面有了很大进展,比较有代表的有 Vicars 与 Robinson(1989)以及 Muller(1991)等的研究成果,他们一方面涉及了大比例尺地图的综合,另一方面开始考虑采用知识库与专家系统的技术来解决问题。

归纳起来说,地图自动综合在其近 40 年的发展历程中,用于自动综合的方法主要有:

(1)基于人机交互的方法。

(2)基于批量处理的方法。

主要有面向信息的综合方法、面向滤波的综合方法、启发式综合方法、专家系统综合方法、神经网络综合方法、分形综合方法、数学形态学综合方法、小波分析综合方法等。

(3)基于知识的智能增强方法。

§ 2.2 自动综合理论基础研究现状

自动综合理论基础研究大体上可以分为三个方面,即基于地图信息和地图传输的地图综合理论、基于认知的地图综合理论和基于感受的地图综合理论。从总体上来说,自动综合理