



测绘地理信息科技出版资金资助

CEHUI DILI XINXI KEJI CHUBAN ZIJIN ZIZHU

Study of Automated Cartographic Generalization and Intelligentized Generalization Process Control

钱海忠 武芳 王家耀 著

自动制图综合及其 过程控制的智能化研究

3

7399



测绘出版社

P283

8

KD00967399

测绘地理信息科技出版资金资助

自动制图综合及其 过程控制的智能化研究

Study of Automated Cartographic Generalization and
Intelligentized Generalization Process Control

钱海忠 武 芳 王家耀 著



湖南科技大学图书馆



KD00967399

测绘出版社

· 北京 ·

© 钱海忠 2012

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

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,是作者多年来在该领域研究成果的提炼。本书从自动制图综合的基本特点和理论出发,面向制图综合的智能化方向展开研究。全书共分7章,分别从自动综合相关学科基础、制图综合知识组织与管理、基于 Agent 的自动综合框架模型、基于知识的自动综合算法模型、自动综合算法与算法库、自动综合算法与结果评估、自动综合过程控制等角度对地图自动综合智能化展开了较为全面的研究,最后以一个自动综合系统为例,介绍了智能化自动制图综合系统的设计方法和功能实现。

本书内容紧凑,结构清晰,可作为地图制图学与地理信息工程专业的研究生辅助教材,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

自动制图综合及其过程控制的智能化研究/钱海忠,

武芳,王家耀著. —北京:测绘出版社,2012.9

ISBN 978-7-5030-2682-9

I. ①自… II. ①钱… ②武… ③王… III. ①自动
制图—过程控制—智能控制 IV. ①P283

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 177038 号

责任编辑 贾晓林 封面设计 李 伟 责任校对 董玉珍 责任印制 喻 迅

出版发行	测绘出版社	电 话	010-83060872(发行部)
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010-68531609(门市部)
邮政编码	100045		010-68531160(编辑部)
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com
印 刷	北京世汉凌云印刷厂	经 销	新华书店
成品规格	169mm×239mm		
印 张	14	字 数	250 千字
版 次	2012 年 9 月第 1 版	印 次	2012 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500	定 价	38.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-2682-9/P·602

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前 言

自动制图综合是地图生产自动化与地理信息系统(geographic information system, GIS)的核心技术。因其过程非常复杂,经验性很强,过去一直局限于对其部分模块的研究,虽开发了大量的算法和模型,有力地推动了其发展,但长期以来缺乏有效的从整体上解决这一问题的理论和模型,因而使得这些算法、模型的使用较为随意,缺乏有效的组织、集成与管理,使用效果不佳。本书提出了从整体上研究自动制图综合及其过程控制的理论与框架模型,亦即通过集成已有模块形成具体的过程控制实践步骤,建立循环存储与优化控制体系,实现从整体上控制与优化自动制图综合的整个流程,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新理论、新方法和新途径。

本书分析了自动制图综合的研究背景和现状,指出了当前存在的主要问题,提出了自动制图综合过程控制的新理论和新方法。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,也是对该领域进一步研究的前瞻性探索。全书共分7章,主要包括基于“制图综合知识属性”和“制图综合知识元数据”新概念及相应的结构化描述方式,基于自动制图综合 Agent 的新概念、新方法,多种制图综合新算法模型,一套新的几何质量评估模型,完整的“自动制图综合链”理论与技术模型,开发自动制图综合系统的准则,以及一个相应的系统开发实例。

本书得到信息工程大学测绘学院训练部教务办、信息工程大学测绘学院地图学与地理信息工程系的大力支持;同时本书得到国家自然科学基金(41171305, 40701157)、国家863项目(2007AA12Z211)、“地图制图核心课程群国家级教学团队”和“河南省创新型科技人才队伍建设工程(104200510016)”等专项经费资助。

在本书编写过程中,陈波、张小朋、王辉连、葛磊、翟仁健、朱强、许俊奎、张强、詹陈胜、姬存伟、郭敏、黄智深、刘海龙、王骁等同志付出了辛勤的劳动,对此作者表示衷心的感谢!

自动制图综合是一个富有挑战性的研究领域,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,恳请读者批评指正,以便重印或再版修订。

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 研究自动制图综合的目的	1
§ 1.2 自动制图综合的研究进展及趋势分析	3
§ 1.3 解决制图综合问题的新思路、新途径和新方法	12
第 2 章 制图综合知识及其归纳与组织	15
§ 2.1 概述	15
§ 2.2 制图综合知识在自动综合中的作用	17
§ 2.3 制图综合知识归纳与表达的基本准则	18
§ 2.4 制图综合知识的分类	19
§ 2.5 制图综合知识的获取	20
§ 2.6 制图综合知识的结构化描述	23
§ 2.7 制图综合知识的属性	25
§ 2.8 制图综合知识的管理与组织	26
§ 2.9 本章小结	30
第 3 章 Agent 技术与自动制图综合	31
§ 3.1 Agent 概述	31
§ 3.2 Agent 的基本特性	33
§ 3.3 面向 Agent 的编程体系	34
§ 3.4 Agent 的优势及其在自动制图综合中的应用分析	36
§ 3.5 制图综合 Agent 的分类	37
§ 3.6 制图综合 Agent 的生存状态	39
§ 3.7 制图综合 Agent 之间的交流	40
§ 3.8 制图综合 Agent 的结构化描述	42
§ 3.9 本章小结	43
第 4 章 制图综合算法及算法库构建	45
§ 4.1 制图综合算法应具有的特点	45
§ 4.2 制图综合数据的层次划分	46

§ 4.3	面向空间数据层次划分的聚类方法	48
§ 4.4	基于 ABTM 的制图综合算法模型	59
§ 4.5	基于圆特性的制图综合算法模型	74
§ 4.6	基于降维技术的街区自动综合算法模型	84
§ 4.7	Stroke 与极化变换相结合的道路网选取模型	91
§ 4.8	采用“斜拉式”弯曲划分的曲线化简模型	97
§ 4.9	自动综合算法库的构建	107
§ 4.10	评估综合算法的途径	114
§ 4.11	本章小结	116
第 5 章	制图综合几何质量评估	117
§ 5.1	基于极化变换的点群目标综合几何质量评估	119
§ 5.2	基于降维技术的建筑物综合几何质量评估	127
§ 5.3	基于降维技术的建筑物综合操作过程的反演	134
§ 5.4	本章小结	141
第 6 章	制图综合过程控制与推理	142
§ 6.1	已有研究成果分析	142
§ 6.2	BDI 控制模型和 CBR 推理模型	144
§ 6.3	自动制图综合链理论与技术模型	147
§ 6.4	自动制图综合过程的可视化编辑与回溯	174
§ 6.5	本章小结	180
第 7 章	制图综合系统 GenerMap	182
§ 7.1	系统设计原则	182
§ 7.2	系统实现及实验	185
§ 7.3	本章小结	206
参考文献		208

Contents

Chapter 1	Introduction	1
§ 1.1	Motivation of research on automated cartographic generalization	1
§ 1.2	Research progress and trend of automated cartographic generalization	3
§ 1.3	New approach to automated cartographic generalization	12
Chapter 2	Induction and organization of cartographic generalization knowledge	15
§ 2.1	Overview	15
§ 2.2	Importance of cartographic generalization knowledge in automated generalization	17
§ 2.3	Induction and representation guide lines of cartographic generalization knowledge	18
§ 2.4	Classification of cartographic generalization knowledge	19
§ 2.5	Acquisition of cartographic generalization knowledge	20
§ 2.6	Structure description of cartographic generalization knowledge	23
§ 2.7	Attribute of cartographic generalization knowledge	25
§ 2.8	Management and organization of cartographic generalization knowledge	26
§ 2.9	Summary	30
Chapter 3	Agent and automated cartographic generalization	31
§ 3.1	Overview of Agent	31
§ 3.2	Characteristics of Agent	33
§ 3.3	Agent-oriented programming system	34
§ 3.4	Advantages of Agent and its application in automated cartographic generalization	36
§ 3.5	Classification of cartographic generalization Agents	37
§ 3.6	Living state of cartographic generalization Agents	39
§ 3.7	Intercommunion of cartographic generalization Agents	40

§ 3.8	Structure description of cartographic generalization Agents	42
§ 3.9	Summary	43
Chapter 4	Cartographic generalization algorithms and establishment of cartographic generalization algorithm lib	45
§ 4.1	Characteristics of cartographic generalization algorithms	45
§ 4.2	Hierarchy of cartographic generalization data	46
§ 4.3	Clustering method to hierarchy of cartographic generalization data	48
§ 4.4	Cartographic generalization algorithm based on ABTM	59
§ 4.5	Cartographic generalization algorithm based on Circle characteristics	74
§ 4.6	Street block generalization algorithm based on dimension-reducing technique	84
§ 4.7	Road selection model based on stroke and polarization transformation techniques	91
§ 4.8	Line simplifying model with oblique dividing curve method	97
§ 4.9	Establishment of automated generalization algorithm lib	107
§ 4.10	Approach to assess generalization algorithms	114
§ 4.11	Summary	116
Chapter 5	Geometry quality assessment of cartographic generalization	117
§ 5.1	Geometry quality assessment of point generalization based on polarization transformation	119
§ 5.2	Geometry quality assessment of building generalization based on dimension-reducing technique	127
§ 5.3	Inversion of building generalization process based on dimension- reducing technique	134
§ 5.4	Summary	141
Chapter 6	Process control and reasoning of cartographic generalization	142
§ 6.1	Fore-researches	142
§ 6.2	BDI control model and CBR reasoning model	144
§ 6.3	Theory and technique model of automated cartographic generalization chain	147

§ 6.4	Visual editing and tracing of automated cartographic generalization process	174
§ 6.5	Summary	180
Chapter 7	Automated cartographic generalization system-GenerMap	182
§ 7.1	Guide lines of system design	182
§ 7.2	Development and experiment of system	185
§ 7.3	Summary	206
References		208

第1章 绪 论

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。数字环境下空间数据的自动制图综合仍是现代地图学面临的核心问题之一。制作地图必须进行制图综合,这是不可避免的。可以说,不进行制图综合,就不可能制作地图(王家耀等,1992a;毋河海,1997;王家耀,2008)。

传统制图综合的目的在于“获得新的地图”,人们关注的是两极状态:综合前和综合后。此时,人们往往只对综合后的结果感兴趣,而不关心制图综合的过程。数字制图环境下,人们对综合的过程和结果都产生了兴趣,对综合提出了新的需求(艾廷华,2000)。

30多年来,自动综合问题一直是对制图工作者和地理信息系统(geographic information system, GIS)开发者的一个严峻挑战,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施,这个问题变得越来越重要,显得越来越突出。但是,至今对这个问题的解决还远未达到人们所期待的程度(武芳,2003)。

综合,即概括或归纳。认知任何事物,总是要首先抓住主要特征。因此,综合是一种通用的认知手段,是普遍存在的,不是地图制图领域的“专利”。当然,地图的制图综合又有许多本质特征而区别于一般意义上的“综合”。正是因为这个原因,我们不仅可以进行自动综合新理论、新方法的创新性研究,也可以把许多其他领域关于“综合”的有关理论和方法引入到制图综合中来,用于研究和解决制图综合问题,进行再创新(钱海忠,2006)。

§ 1.1 研究自动制图综合的目的

“综合”一词起源于法文“generalisation”,表示概括的意思。它又是拉丁文“generalis”(共同的,主要的)一词的派生词。这是从语言来源上考究的,它表达了“综合”一词的基本含义。早在1921年, M. Eckert(艾克尔特)就提出了制图综合的概念,把概括和抽象作为制图综合的两个重要手段。从此,制图综合就成为地图学的核心理论和技术之一,始终是地图学家们所关注的焦点问题。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较大程度的进步。

制图综合的基本目的是以缩小的空间图形来显示客观世界。但是当机械地缩

小地球表面时,地物的宽度、长度及地物间的距离等都同比例地缩小了,相邻的离散物体不可区分,复杂的地物轮廓显得模糊不清,这增加了事物的复杂性。实地空间目标的多样性、复杂性与地图载负量的有限性构成了矛盾,且这种矛盾随着比例尺的缩小而变得更加突出。因此,为了使读者能在地图上看到既详细又清晰的图形,且这样的图形又能反映出地理现象的特征和分布规律,就要进行制图综合(祝国瑞等,2001)。

在传统地图生产方式下,制图综合是一个周期长、速度慢、精度低的手工劳动过程。近些年来,随着计算机制图技术的发展和地图生产技术手段的改变,特别是地图数据库和国家空间数据基础设施的相继建立,使得以数字形式存储的地图数量大大增加。如何利用自动制图综合的方法由大比例尺地图数据库制作任一所需的小比例尺地图或派生任一小比例尺地图数据库,已经成为迫切需求。尽管制图综合的数学模型在某种程度上为制图综合的计算机实现创造了基本条件,但是制图综合是一个创造性的思维过程,人的经验、知识和智能起着重要的作用,而人的思维和推理是无法用数学公式完整描述的,至少今天的数学还无能为力(毋河海,2000a;钱海忠,2006)。

正是由于自动制图综合的这种特殊性和困难性,许多部门和系统不得不采用“多库一用”的方式,以满足实际需要。即建立有限的几种比例尺地图数据库,在使用时依据不同需要调用不同比例尺的数据,以达到“多尺度”表达的目的。显然,这种“多尺度”表达的方式势必造成数据冗余、数据的不一致性以及内存开销增加等问题,不能真正实现空间数据多尺度表达的目的。解决这一问题的根本出路在于制图综合自动化。

研究自动制图综合的意义在于:

(1)从大比例尺数据库派生出各种中小比例尺数据库,从而减少数据采集的工作量,实现各种比例尺数据库数据的一致性。

(2)彻底改变传统地图生产速度慢、周期长、不适应未来作战快速反应要求的状况,大幅度提高地图生产速度,缩短地图生产周期。对于实现高技术条件下的快速应急测绘保障具有重要意义。

(3)更好地适应现代社会对多尺度数据库一体化快速更新的需要,为社会建设、作战指挥等提供实时或准实时、准确的多尺度空间数据。

(4)是解决GIS中空间数据的多尺度表达最有效的途径。

(5)应用于导航电子地图的制作与更新。电子导航地图对空间数据的现势性要求非常高,需要广泛采用空间数据的快速提取、派生、更新等技术,而这其中如果有自动综合方法的有力支持,则可节省大量的人力、财力等,并大幅度缩短地图制作周期。

§ 1.2 自动制图综合的研究进展及趋势分析

对制图综合的研究,国内外从未间断过。经过近 100 年的发展,其间经历了几次技术变革和发展阶段,才发展到现在这个水平。主要发展阶段包括:20 世纪 20 年代至 60 年代中期,开始提出制图综合概念,并建立了初步的手工制图综合理论、技术与方法体系;60 年代中期至 70 年代,人们开始借助计算机进行制图综合;70 年代至 80 年代中期,出现了许多卓有成效的算法;80 年代末至今,大比例尺制图综合开始考虑采用人工智能和专家系统来解决制图综合中的难题。在过去很长一段时间里,人们对地图信息综合的一个共识是:它是一个具有不良定义(ill-defined)性的复杂过程,是地图学与 GIS 领域的一个重大难题,有的学者认为是“NP—完全”问题(即计算机解不可能设计出来)。尽管有些成果或产品已经出现,呈现出很好的势头,但离问题的完全解决还很远。总的来说,自动综合仍处于研究与试验阶段(毋河海,2000a)。

从制图综合发展的理论与技术水平而言,可以把制图综合的发展,归纳为以下几个发展阶段:

1. 由把制图综合作为“主观过程”到把制图综合作为“客观的科学制图方法”

自从 M. Eckert 在 1921 年首次论述了制图综合概念以来,就认为制图综合的实质在于对制图对象进行取舍和概括,对其起作用的主要因素是地图用途。这无疑是正确的。但是,M. Eckert 同时认为制图综合是主观过程,从中找不到什么规律,只取决于制图人员的技巧。M. Eckert 的这一观点在欧洲影响较大,一直持续到 20 世纪 60 年代。大约在 20 世纪 40 年代,苏联制图学家 K. A. Salishev(萨里谢夫)在总结第二次世界大战期间地图制图生产经验和地图制图科学研究成果的基础上,发表了《制图原理》等著作,将制图综合作为客观的科学方法加以论述,比较系统地提出了制图综合的一般原则、基本因素和表现方法,认为制图综合的基本依据是辩证唯物主义关于自然和社会现象相互联系、相互制约和发展的概念。在这一思想指导下,苏联中央测绘科学研究所先后对地形图各要素的制图综合进行了研究,并在总结设计和编绘 1:250 万苏联分层设色地图、世界地图集、海图集等大型地图作品经验的基础上,将制图综合原理和方法由地形图扩展到小比例尺普通地理图的编制,编著和出版了《小比例尺普通地图制图综合原理》(1:100 万—1:400 万),并开始注意到制图综合的量化问题。这些都体现了制图综合理论和制图生产实践的统一,制图综合方法与制图区域地理特点相统一的原则(王家耀等,1992)。

由 M. Eckert 把制图综合视为无规律可循的“主观过程”到 K. A. Salishev 把制图综合作为“客观的科学制图方法”,这是一个很大的进步。它深刻揭示了一个道

理,即制图综合作为科学的制图方法,具有认识论和方法论的特点,是有规律可循的。

2. 由制图综合的定性描述到制图综合的定量描述

在很长时间内,制图综合研究与实践总的来说是处于定性描述阶段,影响着制图综合实践的科学性。随着地图制图生产的发展和制图综合理论研究的深入,国内外不少地图制图学家致力于数理统计方法在制图综合中的应用。在国外,苏联的保查罗夫等发表了《制图作业数理统计法》(保查罗夫 M K, 1957),比较系统地运用数理统计方法研究地理要素的分布规律和某些要素制图综合指标的确定;1962 年前后,德国的特普费尔(特普费尔 F)发表多篇文章,建议用资料图和新编图比例尺分母之比的开方根作为确定地物选取数量的依据,提出了地物选取规律公式,并于 1972 年出版了《制图综合》,全面介绍了开方根选取规律公式的应用(特普费尔 F, 1963, 1982);1983 年法国 U. Franke 发表了应用图论方法研究制图综合的成果。在我国,20 世纪 50 年代末和 60 年代初就有人着手用数理统计法和图解算法研究地图上居民地的选取指标;20 世纪 70 年代以后不少人用相关分析和回归分析方法研究居民地选取指标的数学模型,取得了一批有理论和实际应用价值的成果;20 世纪 80 年代中期,一些学者应用模糊集合论方法和图论方法研究地物结构选取模型(王家耀, 1985a, 1985b)。20 世纪 90 年代初,制图综合的数学分析方法得到了较普遍的应用(祝国瑞, 1990;王家耀等, 1992)。

将数学方法用于确定制图综合的数量指标,使制图综合方法从定性描述向量化前进了一大步。其深刻意义在于,它揭示了制图综合从“主观过程”到“科学的制图方法”、由制图综合的定性到定量描述即制图综合指标的“计量化”这一历史轨迹;同时又预示了它适应地图资料的数字化和地图制图技术手段的变革,而在计量化方面必将持续深化并进一步系统化,最终导致制图技术的现代化。

3. 由地图模型到基于模型、算法和知识的自动制图综合

由制图综合的定性描述到定量描述,即制图综合指标的计量化,还未发展到计算机技术在制图综合中的应用。随着制图资料的数字化,制图综合已不再是在模拟(纸质)地图环境下的手工地图制图,数字地图环境下的制图综合有了许多新的特点(王家耀等, 1998)。在数字地图制图综合的条件下,复杂的创造性思维过程由制图员完成,而繁重的作业过程却是由计算机编程实现。即使是应用专家系统技术,计算机也只能是模仿领域专家在制图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。综合质量则取决于模型、算法、规则的合理性和完备性及智能化程度。制图综合的决策是由制图员做出的,而决策的实现是由计算机执行的。

20 世纪 60 年代至 80 年代末,国内外学者研究了地图模型和综合模型(王家耀, 2005)。英国学者 C. Board 于 1967 年在《作为模型的地图》一文中提出了地图作为模型的概念。这一见解使地图学界把地图看做一种模型的思想前进了一大

步,使地图制图特别是制图综合进入更严密的理论模型试验的研究阶段。许多学者认为地图模型是可以用数学形式来描述的,并研究了地图模型的逻辑数学描述方法,分别研究了模型元素的逻辑数学描述和物体标志的逻辑数学描述(包括概念-等级层次的描述方式、物体空间位置的逻辑数学描述、物体空间结构的逻辑数学描述和物体间拓扑相关的模型化描述)。

地图模型概念是由手工地图制图综合到计算机地图制图综合的理论先导。对地图模型元素进行逻辑数学描述,有助于构建制图综合变换模型 $M_{k1} \xrightarrow{G} M_{k2}$ (G 为模型变换算子, M_{k1} 为算子作用之前的模型, M_{k2} 为算子作用之后的模型)。对物体标志进行逻辑数学描述,其中,概念-等级层次的描述模式有助于构建制图综合的有向图,并借助这种有向图在制图数据库中实施信息搜索。物体空间位置的逻辑数学描述可把地图上的物体集合分解成子系统,并通过物体空间定位量度区分为 3 维立体(体状,如地貌)、2 维(面状,如湖泊)、1 维(线状,如河流)、0 维(点状,如控制点)。物体空间结构的逻辑数学描述,有助于将前述体状、面状、线状、点状物体分别划分为若干子集,并进一步具体描述物体空间结构特征。物体间拓扑相关的模式化描述,有助于在制图综合时有效利用物体间的拓扑结构信息解决如“合并”或“位移”之类的问题。

在数字地图环境下,自动制图综合赖以实施的基础是模型、算法和知识。因为只有易于程序化(计算机程序和人工智能程序),计算机才能执行制图综合的各项操作,而模型、算法和知识是易于编程的。所以,研究制图综合模型、算法和知识,是研究自动制图综合的一项基础性工作(王家耀等,2000;武芳,2003;毋河海,2004)。

制图综合模型指的是描述制图综合中某些关系的数学表达式,即制图综合规律以数学方法表达的数学关系式。其任务是控制资料图到新编图的地图内容的变换(王家耀,2005)。主要有定额(总体)选取模型、结构(定位)选取模型和定额结构选取模型。定额选取模型从宏观上控制选取数量,并在不同区域之间起着选取数量上的平衡作用,包括方根模型、回归模型、方根模型的分形扩展模型。结构选取模型根据物体间的结构关系从资料图的物体中分离出更重要的一部分物体,即解决选取“哪些”的问题,主要有普通综合评判模型、模糊综合评判模型、图论模型、顾及图斑集自身结构特征和分布特征的分形选取模型、顾及目标在图上配置特征的神经网络选取模型等。定额结构选取模型,同时控制选取数量和具体选取对象。应该指出,制图综合模型是描述制图综合中某些关系的数学表达式。但由于这些关系一般都是非确定性的依赖关系,所以是某种统计规律的数学描述,而不是用一般的函数关系来确定的。因而,用这些公式计算出的制图综合指数的可靠性程度受到许多因素的制约,如统计样本数量及其分布的合理性、公式参数确定的合理性、评判因素的完备性等。

制图综合算法指对某一类制图综合问题的有穷的机械地判定(计算)过程。它只用有穷多条指令描述,计算机便能按指令执行有穷步的计算过程,从而得出制图综合结果。基于算法的自动制图综合基本上是面向目标的。最早提出、最经典的是道格拉斯-普克(Douglas-Peucker)算法,后来有的学者对其进行了分形扩展(王桥等,1998),使之除用于一般曲线的自动化简外,还能用于地貌等高线的自动综合。极化变换算法、遗传算法、智能体和弹性力学在自动制图综合中的应用,是近10年来研究较多、取得成果较为丰富的新领域(钱海忠,2006;邓红艳,2006;武芳等,2008)。

钱海忠等(2005b)首次把极化变换思想引入到空间数据制图综合中来,通过极化变换,巧妙地把二维平面上的空间目标群体转化为单根一维光谱线进行处理,在此基础上通过对光谱线的处理而达到对空间目标进行自动综合及其质量评估的目的(钱海忠等,2005c;钱海忠等,2005e;钱海忠,2006b;钱海忠等,2010)。由于其实现了从二维空间向一维空间的降维处理,不但降低了制图综合的复杂性,同时对线要素自动综合的许多算法和模型也可以应用到二维空间的自动综合中来。Peters(2011)在钱海忠等人研究基础上,进一步研究了三维坐标空间中点群要素的极化变换问题。

遗传算法是一种仿生算法,抽象于生物体的进化过程。通过全面模拟自然选择和遗传机制,它以编码空间代替问题的参数空间,以适应度函数作为评价依据,以编码群体作为进化基础,建立起一个迭代过程。在这一过程中,群体的个体不断进化,最终达到求解问题的目的。主要用于点群目标的选取、线要素化简、道路网综合、河流选取和人工水网的自动综合、点注记和线注记自动配置等方面。但是,遗传算法存在效率和收敛问题。遗传算法的效率低源于它是一种全局优化算法,但鉴于遗传算法具有很好的并行性,遗传操作中每个个体之间是相互独立并且可同时计算,这完全符合分布式计算的要求,所以采用并行遗传算法来解决模型的效率问题是有效的。遗传算法的收敛问题,一直是学界关注的理论问题,如一般收敛性理论、基于马尔可夫链的模型等,都不可能从根本上解决这个问题。目前研究的做法是限制迭代次数,即最大适应度取值与平均适应度取值足够接近,或迭代次数达到指定次数时,使迭代终止,当然这并不是理想的解决方法。

智能体(Agent)技术最初来源于分布式人工智能领域。智能体是处于某个环境中的封装好的计算实体,是一种新的计算和问题求解的思路。不规则三角网(triangulated irregular network, TIN)技术的几何处理功能非常强大,但面对智能化的挑战,仍满足不了自动制图综合的需求。Agent与TIN两种技术的结合,可构建基于智能体的不规则三角形网模型(Agent based TIN model, ABTM)算法,主要用于建筑物合并、点群要素选取和线要素化简(钱海忠等,2005a)。

弹性力学是研究弹性体受力作用产生变形的原理,即弹性体受到一定的外力

作用时会产生形变,当外力撤销时又恢复原形。如果仅仅是弹性体部分受力,则形变时物体总体形状基本保持不变,只是局部变形。这个特点正是地图制图综合中所希望出现的效果,即保持目标空间关系总体不变。地图要素关系处理是自动综合的一个难点,图形符号位移操作是关系处理的一个重要方法,而位移操作的一个重要的约束条件就是要正确表达要素间的空间关系。导致位移操作复杂性的一个重要因素是位移具有传播的特性。只有解决和控制了位移的传播,才能避免位移操作后产生新的冲突并能保持正确的空间关系。早在20世纪70年代,德国汉诺威大学就有人着手研究位移操作问题,其后一直未间断过。早期的研究采用机械式方法,目前的研究采用优化方法。而基于弹性力学原理的位移操作就是迄今最为有效的优化方法(侯璇,2004)。侯璇等人深入研究了目标冲突的探测方法,并对目标受力进行了分析,在此基础上提出了平移和变形两种方法。对于变形趋势强烈的目标采用平移方法,包括基于平面空间变形的平移方法和基于平面杆件的平移方法。两者相比,前者在空间关系的确定上更为全面,同时约束条件也更突出。这是因为前者是基于平面三角网的空间变形的平移方法,相应地位移操作应限制在一个面状区域,且目标群不能少于3个且不宜呈线状分布,适用范围受到限制。后者是利用最小生成树描述目标间的空间关系,适应能力强,几乎能描述所有的空间形态。对于更多变形趋势不是很强烈的自身形状比较复杂的目标,则采用位移操作的目标变形方法。此外,基于数学形态学、人工神经网络和 Circle 的自动综合算法方面的研究也取得了许多成果(王家耀等,1999;钱海忠等,2005b;钱海忠等,2006b)。

并非所有制图综合问题都能模型化和算法化。所谓基于知识的自动综合,指对制图综合中处理某些问题的规范化描述。20世纪90年代初,制图综合专家系统与知识推理引起了不少学者的兴趣和关注,取得了一些探索性成果,但其后在自动制图综合中的应用却处于低谷,导致制图综合的智能化进展步履维艰(毋河海,2004)。制图综合本质上是一个高度智能化的系统,智能离不开知识,有知识才谈得上智能。制图综合就是知识重新表达与知识抽象相结合的过程,制图综合知识是制图综合过程的基础(王家耀等,2006;钱海忠,2006)。例如:利用制图综合知识对综合前的数据进行检查,可以获得待综合区域的特点、重点综合内容、综合方法等信息;利用制图综合知识对综合后的数据进行检查,可以判别综合结果是否满足要求;制图综合知识可为制图综合算法提供参数支持和为计算结果提供约束条件;制图综合知识是制图综合过程控制的主要依据。正是基于这样的认识,王家耀等(2006)对制图综合知识的分类、制图综合知识获取和转化为XML格式的知识库构建、制图综合知识的结构化描述、制图综合知识的属性、制图综合知识的管理与组织及其在制图综合过程控制与推理中的应用等问题进行了研究。应该说这是迄今在该领域最富新意的研究成果。

由地图模型到基于模型、算法和知识的自动制图综合研究,在自动制图综合理论、方法与技术上是一个不断深化和进步的过程,近 30 多年特别是近 10 年来的自动制图综合研究都是围绕这个主题进行的,实践证明这是一条正确的途径。

4. 由追求制图综合的全自动化到人机协同

经历过长期的传统手工地图制图后,当地图资料的数字化、地图生产的计量化和计算机技术用于制图综合时,人们的认识存在着两种倾向。一种倾向认为制图综合完全是凭制图经验的个体劳动过程,由计算机完成人都尚未弄清楚的制图综合是不可能的。即使在数字地图环境下,实际的地图生产中也只是将传统的用绘图工具对模拟地图进行综合“搬到”计算机屏幕上用鼠标进行制图综合,本质上仍是手工方式。另一种倾向是夸大了计算机的作用,认为只要编写出程序,就能利用计算机具有的强运算能力和高运算速度,在很短时间内完成手工制图时需要花费许多人力和很长时间才能完成的制图综合作业,盲目追求制图综合的全自动化。这两种倾向都是不科学的,都是因为对人和计算机处理信息的能力和特点,以及人和计算机在制图综合过程中的相互关系缺乏深入分析研究,对人和计算机在制图综合过程中怎样协同工作的认识忽明忽暗。从理论上讲,都是因为缺乏对制图综合过程本质和特征的正确把握。

针对数字地图制图综合中人机协同存在的上述问题,王家耀(1999)研究了人在制图综合过程中的思维方法和计算机模拟人在制图综合中的思维能力,提出了自动综合中人机的最佳协同理论。关于人在制图综合过程中的思维方式,主要研究了制图综合的抽象思维方式(基于联系的归纳推理思维、基于过程的形象推理思维、基于规则的演绎推理思维)、视觉思维方式(视觉选择性思维、视觉注视性思维、视觉结构联想性思维)和灵感思维方式等。关于计算机模拟人在制图综合中的思维能力,研究表明,目前的计算机模拟抽象思维比较容易,特别是制图综合专家系统技术的研究,能比较有效地模拟基于规则的演绎推理思维。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,甚至不可能。同时,用计算机模拟制图综合中人的思维方式,求解制图综合问题,必须具备问题形式化、可计算性、合理的复杂度等 3 个前提条件。另外,实用的自动综合必须是数据库支持的,而目前已建成的数据库并不是为地图生产建立的,即使有些制图综合问题能够形式化、算法化,但没有可供计算的数据,仍然无法求解。即使有些制图综合问题可以总结成规则知识,但没有与结论相匹配的前提条件信息,基于规则的推理仍然得不出结论。所以,要求数据库中的数据能客观、正确地反映人脑思维系统,目前还不现实,这就影响计算机对制图综合过程中人的思维的有效模拟。由于计算机目前还不能有效模拟制图综合过程中人的全部思维方式,这就决定了人在制图综合中不可替代的作用,决定了自动编图系统只能是人机协同系统。关于自动制图中的人机协同的问题,应根据人和计算机处理地图信息的工作特点,实现最