



地球信息科学基础丛书

Geo-information Science

数字地图综合进展

Advances in Digital
Map Generalization

王家耀 李志林 武 芳 主编



科学出版社

数字地图综合进展

Advances in Digital Map Generalization

王家耀 李志林 武芳 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

地图综合是地图学的核心问题之一, 历来受到学界和业界的重视和关注。由于数字地图环境下的地图自动综合的复杂性和求解难度大, 使其成为现代地图学中最具挑战性和创新性的研究领域, 国内外长期以来给予了高度重视, 并已取得了一系列学术成果, 其中有些成果还在地图制图生产中得到了实际应用。

本书共 12 章, 内容基本反映了我国在地图自动综合领域的最新研究进展。全书分别从地图自动综合的发展过程、数字化环境下的地图综合理论模型、数字化环境下的地图综合数据模型、地图综合中几何变换的操作与算法、数字地图综合的规则库、数字地图综合的过程控制模型、基于空间关系的数字地图综合、数字地图综合的质量评估与控制、数字地图综合软件设计与开发、基于 MicroStation 的地图综合软件设计与开发、面向网络环境的地图综合和地图综合未来的发展等方面, 对数字地图综合在我国的研究进展进行了论述。

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

数字地图综合进展/王家耀, 李志林, 武芳主编. —北京: 科学出版社, 2011
ISBN 978-7-03-030417-9

I. ①数… II. ①王…②李…③武… III. ①数字地图-研究进展-中国
IV. ①P28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 032221 号

责任编辑: 赵 峰 / 责任校对: 赵桂芬
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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2011 年 4 月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—2 500 字数: 363 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《数字地图综合进展》 编辑委员会

主 编：王家耀 李志林 武 芳

编 委：（按姓氏笔画排序）

王家耀	邓红艳	艾廷华	闫浩文	齐清文
李志林	李洪省	张传明	武 芳	郭庆胜
钱海忠	章莉萍	董卫华	焦 健	

前 言

地图综合作为地图学的核心和难点问题之一,从20世纪60年代以来始终受到学界和业界的重视和关注。由于数字环境下的地图综合极其复杂且求解难度大,使其成为现代地图学中最具挑战性和创新性的研究领域。

为了进一步推动我国在该领域的创新性研究,在王家耀院士(解放军信息工程大学教授、中国测绘学会地图学与地理信息系统专业委员会主任)和李志林教授(香港理工大学教授)的倡议下,由中国测绘学会地图学与地理信息系统专业委员会主办、河南理工大学承办,于2005年5月在河南省焦作市召开了“地图自动综合学术研讨会”,国内40余名从事该领域研究的专家、学者参加了会议,10余名专家和学者在会上报告了各自的研究成果,并就重点研究方向等问题进行了讨论,达成了共识,决定在研讨会的基础上组织国内从事该领域研究的专家、学者合作编撰出版《数字地图综合进展》专著,指定武芳教授具体负责组织工作,参加编撰的专家、学者投入了很多精力。截至2008年6月,基本完成了初稿的编撰工作(个别章除外);同年12月,书稿的初稿全部完成,武芳教授进行了初步修改;2009年1月,王家耀院士、武芳教授应邀到香港理工大学做学术访问,期间与李志林教授一起对本书初稿内容进行了审查,并讨论与研究了进一步的修改原则。此后,李志林、武芳教授对全书进行了修改和统稿,最后由王家耀院士定稿,经过半年多的努力,完成了书稿。因此,本书是一项集体创作的成果。

本书共12章,内容基本反映了我国在地图自动综合领域的研究进展。其中,第1章引论,主要讨论和分析地图自动综合研究的发展过程;第2章数字化环境下的地图综合理论模型,主要分析制图综合的本质特征、地理科学的认识论和方法论对地图综合的影响,并给出了地图综合的概念模型框架;第3章数字化环境下的地图综合数据模型,主要论述了基于地理实体的矢量数据模型、基于空间剖分的格网数据模型和多尺度数据模型;第4章地图综合中几何变换的操作与算法,主要介绍数字地图综合需要进行的操作及综合操作算法;第5章数字地图综合的规则库,包括地图综合规则(知识)的分类体系、表达的控制指标、规则与知识的获取技术以及地图综合规则与知识的表达方法;第6章数字地图综合的过程控制模型,主要介绍基于知识的地图空间数据检查、制图综合链理论模型及自动制图综合链模型;第7章基于空间关系的数字地图综合,包括多尺度空间中的空间关系描述与表达理论、空间关系指导下的地图综合概念模式及基于空间关系的地图要素综合方法等;第8章数字地图综合的质量评估与控制,主要分析制图综合质量问题的研究内涵与现状,提出基于质量控制的自动综合模型质量管理机制和自动综合算法与结果的质量评估方法;第9章数字地图综合软件设计与开发,论述了地图综合软件分类、结构设计、待综合数据的集成与预处理、系统参量与综合规则、可视化环境建立、综合过程控制设计及要素综合的功能设计;第10章基于MicroStation的地图综合软件设计与开发,主要介绍了系统研究的特点与重点、功能实现和系统实现过程

中的技术处理；第 11 章面向网络环境的地图综合，主要论述了网络环境下地图综合的特点、基于多尺度数据库的渐进式综合、矢量数据的渐进式显示和基于 web 的地图综合服务；第 12 章展望，主要从制图综合的自动化、智能化、工程化与多尺度建模 4 个方面分析了地图综合未来的发展。

本书由王家耀、李志林、武芳主编。参加本书编撰工作的有王家耀、李志林、武芳、闫浩文、艾廷华、郭庆胜、齐清文、焦健、钱海忠、邓红艳、张传明、李洪省、章莉萍、董卫华，同时，除各章后面列出的参考文献外，在本书编撰过程中还引用了许多其他专家、学者的成果，在此一并致以衷心的感谢。

王家耀

2009 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 引论	1
1.1 制图综合过程的客观化	1
1.2 制图综合过程的定量化	2
1.3 制图综合过程的模型化	5
1.4 制图综合过程的算法化	5
1.5 制图综合过程的智能化	7
1.6 制图综合过程实现的协同化	8
1.7 制图综合过程的系统化	9
参考文献	10
第 2 章 数字化环境下的地图综合理论模型	12
2.1 引言.....	12
2.2 制图对象的本体特征对地图综合的影响.....	12
2.2.1 地球客体本身的特征对地图综合思维方向的影响	12
2.2.2 制图对象的属性特征对地图综合思维方向的影响	17
2.3 地理科学的认识论和方法论对地图综合的影响.....	21
2.3.1 整体观、层次观和循环认识观的启示	21
2.3.2 地学认知模糊性和地学精度相对性的启示.....	24
2.3.3 形象思维与抽象思维相结合、“形-数-理”一体化方法的启示.....	25
2.3.4 传统方法论与现代科学方法相结合的启示.....	26
2.4 地图综合概念模型框架.....	27
2.4.1 地图综合的信息机理模型.....	27
2.4.2 地图综合的过程概念抽象模型	33
2.4.3 模型与规则相结合的地图综合概念模式	36
2.5 小结.....	38
参考文献	39
第 3 章 数字化环境下的地图综合数据模型	41
3.1 引言.....	41
3.2 基于地理实体的矢量数据模型.....	42
3.2.1 非拓扑模型	43
3.2.2 拓扑模型.....	46
3.3 基于空间剖分的网格数据模型.....	49
3.3.1 平面网格模型	50

3.3.2 球面网格模型	53
3.4 多尺度数据模型	57
3.5 小结	59
参考文献	60
第4章 地图综合中几何变换的操作与算法	62
4.1 引言	62
4.2 数字地图综合所需的操作	62
4.2.1 数字综合操作的发展	63
4.2.2 点要素的综合操作	64
4.2.3 线要素的综合操作	65
4.2.4 面要素的综合操作	67
4.2.5 三维要素的综合操作	70
4.3 综合操作算法	70
4.3.1 点要素算法	72
4.3.2 线要素算法	75
4.3.3 面要素算法	80
4.4 小结	82
参考文献	82
第5章 数字地图综合的规则库	86
5.1 引言	86
5.2 地图综合规则(知识)的分类体系	87
5.3 地图综合规则表达的控制指标	89
5.4 地图综合规则与知识的获取技术	91
5.4.1 以与专家会面交流的方式获取地图综合知识	92
5.4.2 机器学习法获取地图综合知识	95
5.5 地图综合规则与知识的表达方法	96
5.5.1 地图综合的产生式规则	96
5.5.2 地图综合的面向对象规则	98
5.5.3 地图综合规则的六元组表达	99
5.6 小结	100
参考文献	101
第6章 数字地图综合的过程控制模型	102
6.1 引言	102
6.2 自动制图综合链的定义	104
6.3 基于自动制图综合链的自动综合过程	105
6.3.1 基于知识的地理空间数据检查	105
6.3.2 基于数据检查的综合任务提取	111
6.3.3 制图综合链的自动生成与执行	112

6.3.4	基于制图综合知识的综合操作监控	115
6.3.5	基于制图综合知识的综合算法和综合结果评估	115
6.3.6	基于制图综合知识的综合任务存储	116
6.4	完整的自动制图综合链模型	120
6.4.1	自动制图综合链的流程	120
6.4.2	制图综合链中各模块之间的关系分析	122
6.5	小结	123
	参考文献	123
第7章	基于空间关系的数字地图综合	124
7.1	引言	124
7.2	多尺度空间中的空间关系描述与表达理论	126
7.2.1	多尺度条件下空间关系变化规律	126
7.2.2	多尺度条件下空间关系的等价性	128
7.3	空间关系指导下的地图综合概念模式	132
7.4	基于空间关系的地图要素综合方法(算法)	135
7.4.1	点群目标综合算法	135
7.4.2	线网(簇)目标综合算法	138
7.4.3	面群目标综合算法	141
7.5	小结	145
	参考文献	146
第8章	数字地图综合的质量评估与控制	148
8.1	引言	148
8.2	基于质量控制的制图综合框架模型及数据模型	148
8.2.1	基于质量控制的制图综合信息处理模型	149
8.2.2	基于质量控制的自动综合系统结构	150
8.2.3	面向质量控制的自动综合数据模型	151
8.3	自动综合的算法评估	153
8.3.1	基于极化变换的点群目标选取几何质量评估	154
8.3.2	基于降维技术的建筑物综合几何质量评估	157
8.3.3	线要素化简算法评估	160
8.4	基于多维约束空间的自动综合结果质量评估	165
8.4.1	制图综合结果质量评估的基本思路	165
8.4.2	基于多维约束空间的制图综合评估模型建立	166
8.4.3	实验与分析	168
8.5	小结	169
	参考文献	169
第9章	数字地图综合软件设计与开发	170
9.1	引言	170

9.2	地图综合软件的分类	172
9.2.1	交互式综合与自动综合	172
9.2.2	在线式综合与离线式综合	173
9.2.3	面向 DLM 的综合与面向 DCM 的综合	175
9.3	地图综合软件结构设计	175
9.4	待综合源数据的集成与预处理	178
9.4.1	待综合源数据集成中面临的问题	178
9.4.2	数据预处理的主要任务	179
9.5	系统参量与综合规则	180
9.6	建立可视化环境	182
9.6.1	不同几何要素的可视化策略	182
9.6.2	两种比例尺状态下的图形显示	183
9.7	综合过程控制设计	184
9.8	分要素综合功能设计	186
9.8.1	操作层的划分	186
9.8.2	居民地综合	187
9.8.3	水系要素综合的主要需求功能	188
9.8.4	道路设施综合	190
9.8.5	等高线和高程综合	191
9.9	小结	192
	参考文献	193
第 10 章	基于 MicroStation 的地图综合软件设计与开发	194
10.1	引言	194
10.2	系统的研究特点及重点	194
10.2.1	MicroStation 平台的特点	194
10.2.2	以 MicroStation 为开发平台的编图软件构成	195
10.2.3	总体方案设计	197
10.3	系统功能的实现	197
10.3.1	线要素处理	197
10.3.2	要素的接链处理	203
10.3.3	面要素处理	204
10.3.4	关系处理	208
10.4	系统实现过程中的几点技术处理	209
10.5	小结	211
	参考文献	211
第 11 章	面向网络环境的地图综合	213
11.1	引言	213
11.2	网络环境下地图综合的特点	213

11.3 基于多尺度数据库的渐进式综合	214
11.3.1 多尺度空间数据库 MSDB	214
11.3.2 基于 MSDB 实现地图渐进式综合	215
11.4 网络环境下矢量数据的渐进式显示	218
11.4.1 渐进式传输过程	218
11.4.2 渐进式传输方法的对比	219
11.4.3 矢量数据渐进式传输的实现方案	220
11.4.4 基于渐进式地图综合的渐进式传输实现方案	223
11.5 基于 web 的地图综合服务	231
11.5.1 web GIS service 的基本原理	231
11.5.2 地图综合服务的分类与发布	231
11.5.3 面向道路网图形综合的服务模型	234
11.5.4 网络环境下道路网图形综合系统	235
11.5.5 应用实例	238
11.6 小结	240
参考文献	240
第 12 章 展望	242
12.1 观念的不断更新和认识的不断加深驱使制图综合自动化	242
12.2 模型算法的不断优化和知识工程的不断进步促使制图综合智能化	243
12.3 自动综合过程的工程化已具备基本条件但仍任重道远	244
12.4 制图综合与多尺度建模在空间数据处理中越来越重要	244
参考文献	245

第1章 引 论

地图制图综合 (cartographic generalization) 也叫地图综合 (map generalization), 是地图制图学中一个永恒的研究主题。可以说, 从制图学产生之时就有了综合问题。这是因为, 地图是人们认知地理空间环境的结果, 又是人们进一步认知地理空间环境的工具, 而认知的过程就是综合的过程。

地图制图综合是对客观事物 (或现象) 进行简化和抽象的过程, 不简化和抽象就不能简明扼要地反映事物的本质特征。所以, 地图制图综合本质上是一项复杂的人脑思维加工 (简化或抽象) 过程, 是地图制图学中最具创造性的研究领域之一。

地图制图综合研究是伴随着地图学的发展而发展的。在传统手工地图制图时代, 制图综合是由制图员根据地图的用途要求、地图比例尺和制图区域特点, 经过简化和抽象, 形成经过综合的心象地图, 然后用手工作业方式实现, 最终生成新的地图。在现代计算机数字地图制图时代, 制图综合是将制图员思维加工处理过程以程序驱动电子计算机的方式实现的。

要使电子计算机能实现数字地图综合自动化, 必须将整个加工处理过程模型化、算法化和程序化。而程序又必须规则化和智能化, 但这几个“化”并不容易实现。因此, 数字地图综合是地图制图学中最具挑战性的研究领域, 也被誉为世界难题, 国际学术界对该领域长期以来给予了高度的关注。国际制图学会从 1984 年开始成立工作组 (现为委员会), 美国地理信息及分析研究中心在 1988 年设立了一个重大项目, 国际摄影测量与遥感学会从 1996 年开始成立工作组, 在近 10 多年来取得了一大批学术和应用的理论与技术成果。

本章旨在对地图制图综合研究进展作一个综述, 以期从总体上把地图制图综合的研究发展过程展现给读者。

1.1 制图综合过程的客观化

如上文所述, 自地图产生之时就存在综合, 但制图综合这一概念的提出还是后来的事。据有关资料记载, 1921 年 Eckert 首次论述了制图综合的概念。Eckert 认为, 制图综合的实质是对制图对象进行取舍和概括, 这当然是正确的。但是, 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。Eckert 的这一观点在欧洲的影响较大, 一直持续到 20 世纪 60 年代。中国地图制图业界和学界对制图综合质量的评价也长期流传着“公说公有理, 婆说婆有理”的说法。

大约在 20 世纪 40 年代, 前苏联制图学家 Salichtchev 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, 撰写并出版了《制图原理》、《地图编制》等著作, 将制图综合作为客观的科学制图方法, 比较系统的提出了制图综合的

基础原理，包括制图综合的一般原则（舍去次要的，保留主要的）、基本因素（地图用途、地图比例尺和制图区域地理特点）和表现方面（综合方法，即选取、化简、概括和位移等），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的相互联系、相互制约和发展的若干基本理念。在这一思想指导下，20世纪50年代初前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深入研究，通过大规模地形图编绘生产实践，丰富了制图综合理论和方法，分别出版了地形及居民地、道路、水系、土质与植被、地貌与境界等的编绘方法系列分册。同时，又在总结设计和编绘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，将制图综合理论和方法由地形图扩展到了小比例尺普通地理图的编制，编著和出版了《小比例尺普通地理图制图综合原理》（1:100万~1:400万）。这些都体现了制图综合科研与制图生产相统一、制图综合理论与制图综合实践相统一、制图综合方法与制图区域特点相统一的原则（王家耀等，1992）。

由Eckert把制图综合视为无规律可循的主观过程到Salichtchev把制图综合作为客观的科学制图方法，是一个很大的进步。它深刻地揭示了一个道理，即制图综合作为科学的制图方法——简化和抽象，具有认识论和方法论特点，是有规律可循的。这一观点的确立，对制图综合的后续发展具有重要意义。

其实，数字制图综合是主观过程与客观过程的一个结合体。Li和Su（1995）将数字综合的这两个阶段分别称为数字到图形变换（图形表达）和数字到数字变换（或数据综合）（图1-1）。他们认为：在数字到图形变换过程可以引入主观的因素，但在数字到数字变换中一切都应该比较客观（应为比例尺驱动）。Peng等（1996）采用了稍有差别的术语——数据库综合和可视化综合。Müller等（1995）强调一个综合过程可以分为两个阶段：模型综合和制图综合。

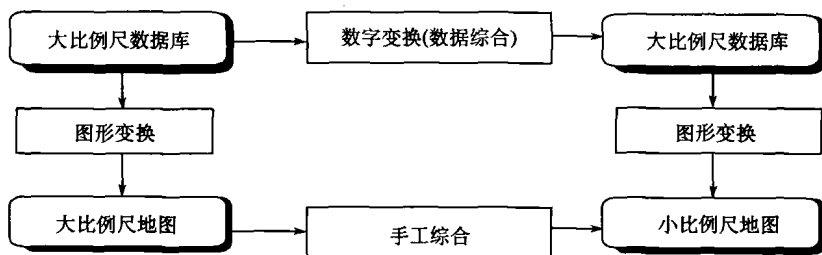


图 1-1 综合过程的客观与主观阶段 (Li and Su, 1995)

1.2 制图综合过程的定量化

在20世纪50年代以前很长的时间内，地图制图综合研究总的来说是处于定性描述状态，所谓主要与一般、重要与次要、详细与概略、大与小等，都是一些模糊的概念，没有可度量的指标，这种状况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实践经验的不断总结、制图综合理论的深入、应用数学

及计算机技术的发展,国内外不少地图制图学家致力于数学方法在制图综合中应用的研究。在国外,20世纪50年代中期,前苏联出版的《小比例尺普通地图制图综合原理》和《普通地理图编制》等著作中,已有数学方法简单应用的记载。前苏联出版的《制图作业数理统计法》(波查罗夫和尼柯拉耶夫,1960)比较系统的应用数理统计方法研究地理要素的分布规律(如河流按其长度的指数分布规律等)和某些要素制图综合数量指标的确定,是第一部用数理统计方法研究制图作业即制图综合问题的著作,对该领域的研究产生了积极的影响。1962年前后,前东德地图学家 Toepfer 发表了多篇学术论文,他通过大量统计分析发现,在大比例尺图上某类物体的数量和据此派生的较小比例尺地图中,该类地物选取数量之间服从资料图和新编图的比例尺之比的开方根规律,故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,由此提出了著名的地物选取规律公式,介绍了开方根选取规律公式的应用(Toepfer, 1963),并编著出版了专著《制图综合》(Toepfer, 1982),在地图制图业界和学界影响较大。Toepfer 最初提出的基本方根模型为

$$N_T = N_S \times \sqrt{\frac{S_S}{S_T}} \quad (1-1)$$

式中, S_T 和 S_S 分别是新编图和资料图的比例尺分母; N_S 和 N_T 分别是资料图和新编图中符号的数量。但考虑到易于应用, Toepfer 又将公式加以简化为

$$N_T = N_S \times \sqrt[x]{\left(\frac{S_S}{S_T}\right)^x} \quad (1-2)$$

式中, x 为模型参数,取值为 0, 1, 2, 3, 4 或 5,这便是通用选取法则。应用方根模型的关键在于确定模型参数 x 的取值。很显然,方根模型的特点是计算简单。但它有两个明显的缺点:一是模型参数 x 的取值不易准确选取;二是模型未顾及地理景观的差异,尤其是物体的密度的变化。因此,该模型的使用范围受到一定限制,主要用于集群符号的选取,如湖泊群、河网、记号房屋群、岛屿群、街网、石灰岩地区的溶斗符号群等(王家耀, 1988)。式(1-2)也可以写成下面的形式

$$N_T = N_S \times \left(\frac{S_S}{S_T}\right)^p \quad (1-3)$$

式中, $p=x/2$,即可以取值 0, 0.5, 1, 1.5, 2 或 2.5。

Yu (1993) 发现 p 的值从大到小的用途为:最大值属于面状符号,次大的属于点状符号,然后是线状符号,而最小值属于注记。这说明,若地图尺度缩小,面状符号所占空间缩减的速度较快。也就是说,面状符号的密度能迅速地减小。

1983年,法国的 Franke 发表了应用图论方法研究制图综合的结果,主要用于道路网选取。此方法以计算道路网节点的参数值为基础解决道路网一类线状要素的选取问题,即首先建立道路网节点的地图结构数学关系——邻接矩阵,然后引入表示两个地物函数关系的边值,即赋予这种数学关系以具体形式和数值,再利用一定算法作矩阵运算,求得节点强度值,作为实现道路网自动选取的基础。

在我国,20世纪50年代和60年代初就有人着手利用数理统计法和图解算法研究地图上居民地的选取指标,最有代表性的成果在出版的一系列著作中都有所体现(祝

国瑞, 1982; 王家耀, 1983; 王家耀和邹建华, 1992)。此法是建立在地图的适宜面积载负荷量的基础上的, 即利用地图的适宜面积载负荷量来确定制图综合的数学指标, 主要用于居民地选取指标的确定。具体做法是首先确定极限面积载负荷量, 即最稠密地区的适宜面积载负荷量, 然后按照等比级数公式来计算其他各密度区的面积载负荷量 L_{i+1}

$$L_{i+1} = \frac{1}{\rho} \times L_1 \quad (1-4)$$

式中, L_1 是已知最稠密地区的适宜面积载负荷量; ρ 为辨认系数, 即相邻两密度等级之间在刚好能辨别的情况下面积载负荷量数值之比。经过大量实验分析, 辨认系数 $\rho=1.15$ 比较合适。

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 (王家耀, 1983)。相关分析与回归分析建立在样本统计数据基础上, 通过对已出版地图的大量统计分析, 统计量测得某要素实地 (或大比例尺地图上) 的一种 (以 X 表示) 或某两种 (以 X_1 、 X_2 表示) 变量的数据, 同时统计量测得该要素在某种比例尺地图上的一个对应的选取数 (以 Y 表示), 即 Y 与 X 或 Y 与 X_1 、 X_2 之间存在着对应关系。常用的模型有一元回归模型 (一个变量) 和二元回归模型 (两个变量) (王家耀, 1989)。

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, 主要用于具体选取指标的确定。例如: 用模糊综合评判方法研究居民地“重要性”的定量描述, 确定居民地对象的选取 (王家耀和姚杰, 1985)。又如: 用图论方法将道路网简化为最简单的拓扑结构图, 这种拓扑结构图可以用二元矩阵来表示, 经过一定模式的矩阵运算, 即可对图中的点 (节点)、线 (路段) 进行定量描述, 进而解决道路网的选取问题 (王家耀等, 1985)。20 世纪 90 年代初, 数学方法在制图综合研究中得到了较普遍的应用, 取得了比较系统的成果 (祝国瑞, 1990; 王家耀和邹建华, 1992)。

以上是关于综合时地物选取的定量化描述。实际上, 地图综合在三个不同层次下实施: 单独要素 (即要素层次)、要素类 (即要素类层次) 及整幅地图 (即地图层次)。地物选取是在要素类层次上考虑问题。在地图层次, 我们更关心地图信息的整体表达。早在 20 世纪 60 年代, 前苏联科学家 Sukhov 就试图用信息论方法来描述地图信息, 并应用于地图综合 (Sukhov, 1967; Knöpfli, 1983)。Li 和 Huang (2002) 指出: Sukhov 仅考虑了统计信息量, 而地图信息必须包括几何 (度量) 信息量、关系信息量及专题信息量。他们对这三种信息量给出了自己的定义, 并研究了从较大比例尺的资料图变换到较小比例尺的新编图的地图信息的变换 (Li and Huang, 2001)。这四种信息量合在一起, 可用作衡量地图综合好坏的整体指标。

在地图层次的另一个定量化描述为最小可视尺寸 (SVS)。Li 和 Openshaw (1993) 提出了一个客观综合的自然法则, 认为: 在一给定比例尺下, 存在一个小范围, 其内的所有变化都不可视。这个小范围被称为最小可视尺寸, 其大小由实验获得, 大概为 0.5~0.7mm (图上大小)。只要将最小可视尺寸内的所有空间变化都全部忽略, 用一个点 (像元) 来表示这个范围, 就能达到综合效果。

将数学方法用于研究制图综合的数量指标使综合方法从定性描述向定量描述前进了一大步。它描述了制图综合从“主观过程”到“科学的制图方法”这一历史轨迹。

1.3 制图综合过程的模型化

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,制图综合已不再是模拟(纸质)地图环境的手工制图方式,数字化地图环境下的制图综合出现了许多新的特点(王家耀和武芳,1998)。数字地图环境下的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、算法和知识是研究制图综合的一项基础性工作(王家耀和陈毓芬,2000;武芳,2003;毋河海,2004)。这就意味着,复杂的创造性思维过程由制图专家完成,而繁重的作业过程则由程序化的模型、算法、知识驱动的计算机来实现,因此,制图综合质量取决于模型、算法、知识的合理性、完备性及智能化程度。

1967年,英国地图学家 Borad 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作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,进入了更严密的理论模型实验的研究阶段。许多学者认为地图模型是可以数学方法来描述的,并研究了地图模型的逻辑数学描述方法,包括模型元素的逻辑数学描述和物体标志的逻辑数学描述(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的拓扑关系的模型化描述)。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 $M_{k_1} \rightarrow M_{k_2}$, 其中, \rightarrow 为模型变换算子, M_{k_1} 为算子作用之前的模型, M_{k_2} 为算子作用之后的模型。对物体标志进行逻辑数学描述,可为自动制图综合操作提供理论和方法基础(王家耀,1988)。

除地图模型外,人们也建立了制图综合模型,即描述制图综合中某些关系的数学表达式。前面所说的定量分析模型都属于制图综合模型。实际上,地图综合的模型也分单独要素(即要素层次)、要素类(即要素类层次)及整幅地图(即地图层次)三个层次。前面讲的是在要素类层次和地图层次。而在单独要素层次,地图综合的模型便是地图综合的几何变换操作。在经典的教科书中,我们可以看到4~5个操作,如取舍、合并、移位、简化和符号化。但是这些综合算子对计算机处理来说过于概括了。后来 Mc-Master 和 Shea (1992) 将这些操作进行了细化,分辨出了12个操作。Li (2007) 认为这12个操作还是过于笼统,因此在此基础上区分出了6组共40个操作。

1.4 制图综合过程的算法化

自动制图综合算法分为两大类:一类为基础算法,另一类为高级算法。基础算法指的是对综合操作的几何变换的简单实现,而高级算法可能是由几条基础算法组成的复合算法或智能算法。

在数字表达发展的初期,由于计算能力的限制,减少线上点的个数是个十分重要问题。在那个时期,数据量是考虑的首要因素之一,因而出现了很多减少点的数据量的相关算法,也叫点压缩算法(point-reduction algorithms)。最经典的是 Douglas-Peucker (Douglas and Peucker, 1973) 算法(王家耀和武芳, 1998)。这些算法都建立在 Attneave (1954) 的发现之上:从心理学角度看,线上的某些点与其他点相比,具有更为丰富的信息,仅用这些点(具有丰富信息)已足够刻画该实体的形状特征。换句话说,删去那些信息相对较少的点,不会导致线发生较大变形,空间要素也同样如此。信息丰富的点在计算机图形学和模式识别中被称作显著点(dominant points);而在地理空间科学领域里被称为关键点(特征点)(critical points)。在经典几何学中一条曲线上的关键点是:最大值点、最小值点、曲率最大值点、曲率最小值点和拐点。在此基础上, Freeman (1978) 又作了如下补充:曲率上的不连续点、端点、交点(结点)和切点。

这些算法,顾名思义,旨在减少表达曲线的点数量。在通常情况下,通过删除一些点能使线的形状得到简化,因此人们采用这种算法来做综合。点压缩算法的本质是用尽可能少的点来逼近原始线条的形状,所以必须强调的是,在该算法实施前后尺度没有发生变化,化简后线的表达还是在同一尺度下。因此,通过使用点压缩算法达到多尺度表达(或综合)目的是一种误解,但可用来做前处理或后处理(Li and Openshaw, 1993)。

由于 Douglas-Peucker 算法在应用上具有某些局限性,后来有的学者对其进行了分形扩展(王桥, 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。同时,由于 Douglas-Peucker 算法在对线划要素进行化简的过程中存在自相交问题, Li 和 Openshaw (1992) 提出了基于客观综合的自然规律的线划要素综合算法。这一算法的参数仅为新编图和资料图的比例尺,称为比例尺驱动的客观综合算法。慢慢地,人们也开发了线光滑、线局部修正、线典型化、线的取舍等许多算法,同时,小波理论、弹性力学模型等数学工具也被广泛应用。

从 20 世纪 80 年代初开始,许多学者对面要素综合产生了兴趣。Monmonier (1983) 为取舍及合并提出了一些好建议, Li 和 Su (1995) 开发了一套基于数学形态学的算法。

遗传算法、智能体技术和弹性力学在自动制图综合中的应用是近 10 年来研究最多、取得成果最多的新的研究领域(武芳等, 2008)。

遗传算法是一种仿生算法,由生物体的进化过程抽象而来。它通过全面模拟自然选择和遗传机制,以编码空间代替求解问题的参数空间,以适应度函数作为评价依据,以编码群体作为进化的基础,建立起一个迭代过程。在这一过程中,群体中的个体不断进化,函数接近最优解,最终达到求解问题的目的。主要在点群目标的选取、线要素化简、道路网综合、河流选取和人工水网的自动综合、点注记和线注记的自动配置等方面应用比较广泛。但是,遗传算法存在效率和收敛的问题。

智能体 (Agent) 技术最初来源于分布式人工智能领域,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。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 ABTM (Agent based TIN model) 算法,主要用于居民地建筑物合并、