

# 地图群(组)

## 目标描述与自动综合

闫浩文 王家耀/著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 地图群(组)目标描述与 自动综合

闫浩文 王家耀 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书把地图空间的群(组)目标分为点群、线簇、线网、离散面群和连续面群五大类,本着算法与描述并重的原则分别阐述了各类目标的描述方法和综合算法。

本书适合于地理、地图、测量、规划、城建等领域从事地理空间多尺度问题研究的广大研究人员和技术工作者阅读参考,也可作为高校地图学与地理信息系统专业研究生、本科生的教学用书和相关专业选修课的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

地图群(组)目标描述与自动综合/闫浩文,王家耀著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025202-9

I. 地… II. ①闫…②王… III. 地图学-研究 IV. P28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 140184 号

**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>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张: 9 3/4

印数: 1—1 500 字数: 188 000

**定价: 50.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

## 前 言

地图数据的多尺度自动表达,或称之为地图自动综合,是地图学与地理信息科学界公认的一个国际难题,该问题的解决对国家空间数据基础设施建设、数字地球的构建意义重大。对于国家空间数据基础设施与数字地球而言,多尺度的矢量地图数据是其空间数据库的最基本和最重要的内容,但是,到目前为止的地图自动综合成果,尚不能支撑多尺度矢量地图数据库的自动实现。现有多尺度的矢量地图数据库采用“多库多版本”的方式完成,如国家基础地理信息系统即属此列。“多库多版本”的空间数据库存在许多弊端,如数据库冗余,数据不一致,建库费时且不经济等。

近几十年来,地图学与地理信息科学界十分重视地图自动综合理论和方法的研究,并取得了很多的成果,综合起来有:多尺度地图数据库自动综合框架的建立;地图自动综合算子、算法的研制开发;地图自动综合指标体系的建立;地图自动综合的软件开发等。

多尺度表达方面的现有成果,大部分以单个地图目标为研究对象。然而,地图地物的多尺度描述与可视化表达一般需要顾及上下文环境、考虑地理特征等,也就是说需要考虑地物的群组而不是个体。所以,简单的合并、化简等算法,无法独立承担地图综合的重任。

本书着重于地图群(组)目标描述与自动综合算法的研究。在内容编排上,根据地图目标的几何属性,把群(组)目标分为点、线、面三类,进而考虑线、面目标在空间分布上的差异,把线目标分为线簇、线网,把面目标分为离散的、连续的。这样就把地图空间的群(组)目标分为了五类:点群、线簇、线网、离散面群和连续面群。在内容上,作者摒弃了传统上“重算法,轻描述”的思想,强调地图目标描述方法和综合算法并重,故而在书中对地图群(组)目标的描述花费了相当的笔墨。

本书的出版得到了教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-07-0404)、国家自然科学基金(40871208)的资助。感谢瑞士苏黎世大学 Weibel 教授、香港理工大学李志林教授、解放军信息工程大学武芳教授、武汉大学艾廷华教授和杨必胜教授在成书过程中给予的支持;感谢兰州交通大学王中辉、刘恒飞、白帆等 20 名硕士研究生认真阅读本书初稿并提出了宝贵的修改意见。

地图自动综合是地图学与地理信息科学中理论性和实践性都很强的课题。鉴于作者的学识与经验,本书撰写虽然尽心尽力,但书中论述问题不免挂一漏万,遣词造句可能贻笑大方,文责尽在作者,欢迎同行批评指正。

闫浩文 王家耀

2009年2月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 地图自动综合:地理信息科学领域的一个国际难题.....	1
1.2 地图空间目标描述与自动综合算法研究现状分析 .....	2
1.3 本书论述的主要内容、限定条件及相关说明.....	8
1.4 本章小结 .....	9
参考文献 .....	10
<b>第 2 章 点群目标描述与自动综合</b> .....	14
2.1 基于地图信息论的点群描述.....	14
2.2 点群状分布要素综合的已有算法.....	17
2.3 基于 Voronoi 图的点群综合算法.....	19
2.4 对基于 Voronoi 图的算法的评价.....	26
2.5 实验与讨论.....	29
2.6 本章小结.....	34
参考文献 .....	34
<b>第 3 章 线簇目标描述与自动综合</b> .....	36
3.1 等高线的概念、性质及其自动综合概述 .....	36
3.2 等高线簇的空间关系构造:等高线树 .....	37
3.3 借助等高线提取地性线的方法.....	43
3.4 等高线簇的综合方法.....	50
3.5 本章小结.....	55
参考文献 .....	56
<b>第 4 章 线网目标描述与自动综合</b> .....	58
4.1 线网目标的表现形式.....	58
4.2 道路网的描述与综合方法.....	60
4.3 水系网的描述与综合方法.....	76
4.4 境界线网的描述与综合方法.....	95
4.5 本章小结.....	96
参考文献 .....	97

---

<b>第 5 章 离散面群目标描述与自动综合</b> .....	99
5.1 居民地的研究现状 .....	99
5.2 居民地综合中的算子 .....	99
5.3 居民地综合中的全局约束条件 .....	101
5.4 地块内居民地的聚群与综合算法 .....	102
5.5 本章小结 .....	116
参考文献 .....	117
<b>第 6 章 连续面群目标描述与自动综合</b> .....	120
6.1 连续面群目标的类型 .....	120
6.2 连续面群目标的描述方法 .....	120
6.3 土地类型地图综合的原则 .....	133
6.4 连续面群目标综合的方法 .....	135
6.5 本章小结 .....	145
参考文献 .....	146
<b>第 7 章 结束语</b> .....	148

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 地图自动综合:地理信息科学领域的一个国际难题

地图数据的多尺度自动表达,或称之为地图自动综合,是地图学与地理信息科学界公认的一个国际难题。地图综合最初的目的是解决地图比例尺在从原图向目标图缩小的过程中,由于图面尺寸限制而引起的图形符号的冲突和拥塞。当今,由于地理信息在计算机中的广泛应用,使地图综合自动化从单机环境又拓展到了网络环境,由此出现了与网络地图传输和表达相关的其他一系列新的研究难题(Jones et al., 2005)。

地图综合之所以被称为“国际难题”,多年来悬而未决,至少有如下三个原因:

(1) 地理空间自身变化多样,使得地物、地貌的地图表达方式呈现复杂性,从而使地图学家难以为地图要素提供良好的数学描述。

(2) 传统的手工地图综合结果具有相对的不确定性,使研究人员在计算机环境对特定地物、地貌要素的自动综合中难以用准确的算法唯一地表达。

(3) 地图综合过程是一个人类对地图上要素的思维认知过程,而心理学、人类工程学等相关学科的研究成果尚不能对该过程给予确切的解释,从而使地图学家无法对其进行准确的描述。

针对这一难题,近几十年来地图学与地理信息科学领域的国内外专家进行了卓有成效的研究,并取得了许多研究成果,综合起来有:多尺度地图数据库自动综合框架建立;地图自动综合算子、算法研制开发;地图自动综合指标体系建立;地图自动综合的软件开发等。其中,地图综合算法的研究是地图综合的核心内容,近年的研究成果也相对丰富。

到目前为止的地图自动综合成果,尚不能支撑多尺度矢量地图数据库的自动实现。多尺度的矢量地图数据库采用“多库多版本”的方式完成,如国家基础地理信息系统(national fundamental geographic information system, NFGIS)即属此列。“多库多版本”的空间数据库存在许多弊端,如数据库冗余,数据不一致,建库费时且不经济等。

然而,当代地理信息科学的迅猛发展,要求地学研究人员必须给出地图自动



综合问题的答案。1998年,美国前副总统 Gore 发表了其关于数字地球(digital earth, DE)的报告“数字地球:理解 21 世纪我们这颗星球”<sup>①</sup>,其后,各个国家掀起了建设国家空间数据基础设施(national spatial data infrastructure, NSDI)的热潮。DE 的核心是跨比例尺多分辨率地理数据库。Goodchild(1999)通过分析指出,观察全球需要 10m 分辨率的地理数据,而观察树木、汽车等需要 1m 分辨率的地理数据,两者的比例尺跨度至少是  $10^4$ 。这一比例尺跨度对自动化的地图综合而言,无疑是一个巨大的挑战。所以,从这点上说,没有成熟的地图自动综合技术,真正意义上的 DE 实现几乎是不可能的。

## 1.2 地图空间目标描述与自动综合算法研究现状分析

对于地图自动综合问题而言,作者认为:

(1) 地图综合算法是解决地图自动综合问题的难点和核心。算法问题解决了,地图自动综合系统的成功研制就水到渠成了。

(2) 对地物、地貌要素的描述方法是研制地图综合算法的基础,是算法设计中最关键的问题。如果在算法设计之前,没有对地图目标的良好、透彻的认知和描述,就必然会导致算法研制的缺陷。因此,本书把地图目标的描述放在和算法设计同等的位置进行讨论。

(3) 无论是在网络环境下还是单机环境下,地图自动综合问题的本质没有发生变化。因此,本书讨论的地图目标描述和算法设计不再对地图自动综合的计算机环境进行区分。

本书专注于地图上群(组)目标的描述和自动综合算法的研究,故有必要在此对地图多尺度表达的有关概念进行阐述,并就地图综合的空间目标描述及自动综合算法的研究成果进行简要的综述。

### 1.2.1 地图空间的尺度与自动综合

尺度是客体在其“容器”中规模相对大小的描述。在自然现象中,生物界及非生物环境中存在着各种尺度的变化,社会、经济过程和现象中同样存在着尺度特点。这种尺度一是来源于影响它的自然过程的尺度性,同时也受社会经济活动自身尺度性的制约。对于由地理现象的多尺度问题所引发的空间数据的多尺度特征及其表示方法的研究是地图学与 GIS 所不能回避的问题(王家耀等, 2004)。

<sup>①</sup> Gore, 1998, <http://www.digitalearth.gov>.

对地理现象的研究是通过对其描述的概念、量纲和内容的层次性来实现的,即将不同尺度的过程用特定的概念、量纲、属性(内容)来抽象描述。

(1) 概念尺度性。描述地理现象的概念有尺度的含义。空间数据实体的内容是复杂多变的,对于特定类型的空间数据也可以用有尺度含义的概念来反映数据的尺度。

(2) 量纲多尺度。量纲尺度是指描述地理现象或空间实体的单位及两侧的数据量级别,其尺度的单位主要有空间距离单位和时间长度单位。

(3) 属性(内容)多尺度。数据内容多尺度表现为属性变化的强弱幅度及内容的层次性。强弱幅度可以用单位时间内属性特征变化的值表示,内容的层次性是指数据描述过程中的级别可组合性。

就空间数据而言,其尺度体现在空间和时间两个方面,是指数据表达的空间范围的相对大小和时间的相对长短。一般而言,尺度变大信息密度变小,但并不是等比例变化。

(1) 空间多尺度。空间数据以其表达的空间范围大小,分为不同的层次,即不同的尺度。这种特征表现在数据的可综合上,亦即根据数据内容表达的规律性、相关性及其自身规则,有相同的数据源形成再现不同尺度规律的数据。

(2) 时间多尺度。时间多尺度是指数据表示的时间周期及数据形成周期有不同的长短。从一定意义上讲,时间尺度与空间尺度是一致的,即较大的空间尺度往往对应于较长的时间周期。

王家耀和成毅(2004)认为,尺度是地理现象相关的最基本但也是难以理解和容易混淆的概念之一,它有多种含义,在本书中一般指信息被观察、表示、分析和传输的详细程度。由于不可能观察地理世界的所有细节,而多种地理现象和过程的尺度行为也并非按比例线性或均匀变化,需要研究地理实体的空间形态和过程随比例尺变化的规律,这是建立 GIS 多尺度空间数据处理模型表示方法的基础。

地理信息的自动综合这个困扰地图学及 GIS 界的国际性难题至今难以解决,当前的 GIS 数据库为了满足人们浏览空间数据集的不同需求,不得不存储多种比例尺、不同详细程度的空间数据,即同一空间实体的多种表示共存于同一个数据库中,会产生大量的数据冗余及相应的一系列弊端,更重要的是在进行跨图幅综合分析时会产生一系列的问题,因此需要寻求合适的空间数据多尺度处理与表示方法,能够通过多尺度的操作,使之从一种表示完备地过渡到另一种表示。这种完备性包括保持相应尺度的空间精度和空间特征,保持空间关系的一致性以及维护空间目标语义的一致性。

### 1.2.2 地图空间目标描述的研究现状

地图目标的描述是一个复杂的问题,牵扯几何学、图形学、数学形态学、地理空间认知、空间知识发现、空间数据挖掘、空间关系理论等方面的内容。总括起来,专家对地图空间的描述大致上从以下四个方面入手:基于知识与规则的、基于空间关系理论的、基于几何因子和参数的、基于信息理论的。

#### 1. 基于知识与规则的描述

基于知识与规则的地图描述研究成果很多(郭庆胜,1998;Barrault, et al., 2001;Galanda et al., 2002)。郭庆胜(1998)把地图综合过程中需要的描述性内容看作知识,把地图自动综合的知识分为以下四类:

(1) 有关地图综合的外在条件方面的知识。它主要是指比例尺或精度的变化所带来的各种限制条件,使得地图综合不得不发生。它主要包括:图形限制条件、比例尺或精度限制条件等。

(2) 有关地图要素本身的知识。它主要包括要素内部的几何结构知识和语法、语义知识,要素群内、要素间空间关系及其语法、语义知识。

(3) 有关地图综合算子应用的知识。它主要包括地图综合算子使用条件和地图综合算子使用顺序方面的知识。

(4) 有关地图综合结果评价方面的知识。它主要是指地图综合算子所产生的局部和总体效果是否符合制图规范等方面的知识。

#### 2. 基于空间关系理论的描述

许多学者对地图空间目标的描述是基于空间关系理论的(Tobler, 1970; Müller et al., 1992; Jones et al., 1995; Visvalingam et al., 1995; 毋河海, 1995; Ruas et al., 1996; Weibel, 1996; 郭仁忠, 1997; 艾廷华, 2000; 杜清运, 2001; Li et al., 2002; Sester, 2005)。郭仁忠(1997)把地图上的空间关系分为五类,即距离关系、拓扑关系、方位关系、相似关系和相关关系。

(1) 距离关系。依据空间描述的需要又区分为绝对距离和相对距离、定性距离和定量距离等,用以描述空间目标之间的远近程度。距离关系在空间描述中是最为基础的关系,是其他关系计算的基础。

(2) 拓扑关系。拓扑关系是研究和应用最多的一类空间关系。郭仁忠(1997)从便于空间计算的角度出发,区分出了19种空间拓扑关系。

(3) 方位关系。方位关系用以描述空间目标之间的方位(或方向)依赖,一般以东、西、南、北、东北等术语定性描述,也可以用角度进行定量描述。国际上

有人研究了目标之间方向关系的相似性(Goyal,2000);国内有学者研究了空间方向关系的定性和定量描述模型(闫浩文,2003)。

(4) 相似关系。空间相似关系虽然在地图数据的多尺度表达中非常有用,它是衡量地图综合结果正确程度的重要依据,但该方面的研究成果几乎处于空白。

(5) 相关关系。空间相关性的研究成果很多,如 Tobler 第一定律(Tobler,1970)就是其中的典范。但是,关于空间相关性的研究基本上集中于地理现象之间的相关性或者地理现象与社会经济现象之间的相关性研究,关于地图上目标之间的相关性,鲜有学者进行过系统的探讨。

### 3. 基于几何因子和参数的描述

从数学的角度出发,为特定地图图层和地图目标寻求合适的描述参数,是最直观的、也是专家研究最多和最感兴趣的方面(Douglas et al.,1973;王家耀,1984;Langran et al.,1986;Peuquet et al.,1987;Li et al.,1992;Palmer,1992;武芳等,1992;van Kreveld et al.,1995;Li et al.,1996;王桥,1996;Bader et al.,1997;Yukio,1997;Ruas,1998;Shekhar et al.,1999;Goyal,2000;Boffet et al.,2001;Christophe et al.,2002;Rainsford et al.,2002;Li et al.,2002;Duchêne et al.,2003;Burghardt et al.,2004;Li et al.,2004;Bader et al.,2005;Yan et al.,2006)。瑞士苏黎世大学 GIS 研究所的 Weibel 教授及其研究小组多年对地图综合算法的研究成果,大部分都是从参数和因子出发的。

### 4. 基于信息理论的描述

自从信息论的概念(Shannon et al.,1949)被提出后,地图信息论也随后被引入地图综合中(Sukhov,1967,1970),并得到了逐步的发展(Neumann,1994;Papadias et al.,1994;Bjørke,1996;闫浩文等,2005)。闫浩文和王家耀(2005)从地图综合的需要出发,把地图包含的信息概括为以下四类。

(1) 统计(positional or statistical)信息,即考虑地图上地物数量的信息,如点数、居民地数等。

(2) 拓扑(topological)信息用以表达地物之间拓扑关系的信息。

(3) 专题(thematic)信息是指地图目标包含的专业性或专有的信息,如居民地的人口,河流的深度等。

(4) 几何度量(metric)信息是指描述地物、地貌集合特征的信息,如两个点目标的距离、面目标的面积、线目标的长度等。

### 1.2.3 自动综合算法的研究现状

地图要素按照其对应地图符号的几何属性可以分为点、线、面三类,三者的关系见表 1.1。相应的,地图综合算法也可以分为三类:点要素综合算法、线要素综合算法和面要素综合算法。

表 1.1 地图符号几何属性、表达的要素及综合算法对照

地图符号的几何属性	可能表达的地图要素	综合算法列举
点状	控制点、岛屿、居民地、独立地物、名称注记	居民地空间比率算法、分布系数算法、重力模型算法、分割算法、嵌套化简算法、圆增长算法、点状专题数据在线综合算法、点地图化简算法等
线状	河流、道路、境界线、地类界	偏角算法、矢径算法、滚圆算法、Douglas-Peucker 算法、Visvalingam 算法、Mustiere 算法等
面状	水域、居民地、土质植被、行政区	Müller 等(1992); Regnauld(2001); Li 等(2004); Su 等(1995,1997)

学者提出的关于点群状分布要素的综合算法有:Langran 和 Poiker (1986)提出的关于注记选取和注记定位的居民地空间比率算法(settlement-spacing ratio algorithm)、分布系数算法(distribution-coefficient algorithm)、重力模型算法(gravity-modeling algorithm)、分割算法(set-segmentation algorithm)和嵌套化简算法(quadrat-reduction algorithm);由 van Kreveld 等(1995)提出的关于居民地选取的圆增长算法(circle-growth algorithm);由 Burghardt 等(2004)提出的点状专题数据在线综合算法;由 de Berg 等(2004)提出的点地图化简算法。

关于线状分布要素的综合算法有:偏角算法、矢径算法、滚圆算法、Douglas-Peucker 算法(Douglas et al., 1973)、对道路线条化简的 Visvalingam 算法(Visvalingam et al., 1995)、道路自适应化简的 Mustiere 算法(Mustiere, 2005)等。相对而言,线要素综合算法的研究成果最多。线要素综合算法基本围绕两个目的在进行:①是使点数尽量少;②是尽量保持线的弯曲特征。目前研究的以单根线条化简为目的的线要素综合算法基本能够满足地图综合的需要。

关于面状分布要素的综合算法,可以分为两类:一类是基于矢量数据结构的算法(例如,Zhang et al., 1990; Müller et al., 1992; Boffet et al., 2001; Regnauld, 2001; Christophe et al., 2002; Rainsford, 2002; Li et al., 2004);另一类是基于栅格数据结构的算法(Monmonier, 1983; Su et al., 1995; Li et al., 1996; Su et

al., 1997)。

综上对点、线、面要素综合算法的已有成果可知,对单根线目标、单个面目标的化简算法已经基本成熟,专家的研究兴趣逐步转入考虑上下文的复杂群组要素的综合,此类研究包括三类,分别是点群状分布要素综合、线网(或者线簇)状分布要素的综合和面群状分布要素的综合。

地图上的许多要素可以看作呈点群状分布,如地形图上的控制点集合、独立地物的集合、名称注记的集合、中小比例尺地图上一定区域范围内众多岛屿的集合、居民地的集合(见图 1.1)等。呈线网(或线簇)状分布的地图要素典型的是等高线、河流网、道路网(见图 1.2)和境界线网,由于它们在空间分布特征和语义上存在较大差异,在地图综合中一般需要独立地设计算法。面状分布的群组要素有水域、行政区、土质植被、大中比例尺地图上的居民地等。按照面与面之间的拓扑关系,它又可以分为两类:一类呈离散分布[见图 1.3(a)];一类呈连续

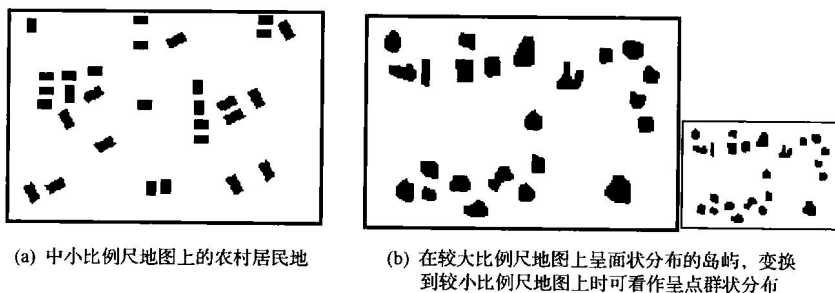


图 1.1 地图上呈点群状分布的要素举例

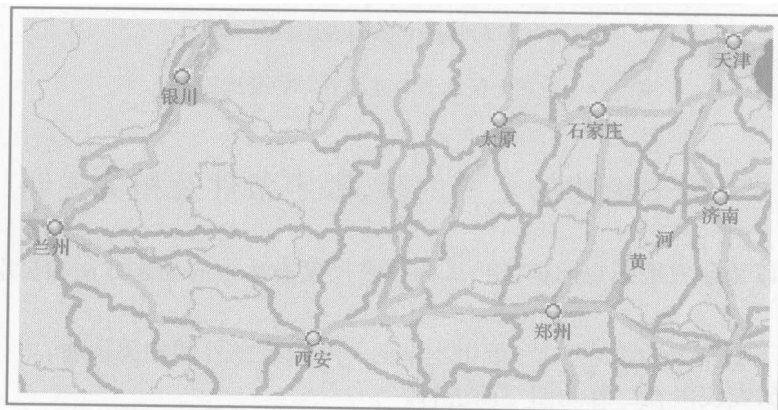


图 1.2 地图上的道路呈线网状分布

(资料来源:www.go2map.com. 2006年10月)

分布[见图 1.3(b)]。根据上述讨论,可以把地图上的群(组)目标分为五类:①点群;②线网;③线簇;④连续面群;⑤离散面群。这个分类体系是本书结构的基础。

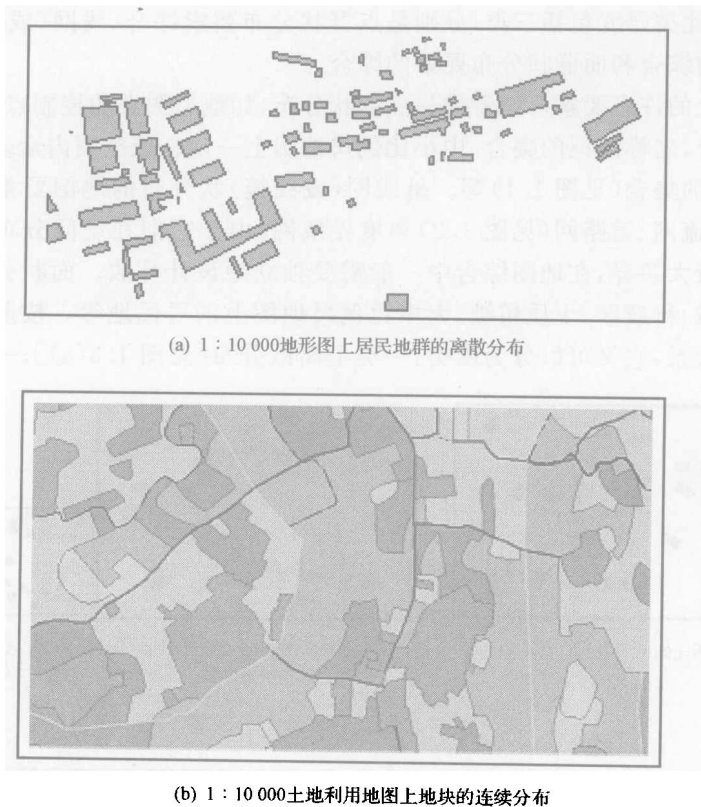


图 1.3 地图上呈离散和连续分布的面群要素

### 1.3 本书论述的主要内容、限定条件及相关说明

本书着重研究地图空间群(组)目标在多尺度表达中的描述方法和自动综合算法。

为了下面章节的论述方便,给出本书的一些限定条件和相关说明:

- (1) 研究仅限在二维地图空间进行。
- (2) 研究着重于矢量数据格式。
- (3) 研究的算法不区分计算机的单机与网络环境。
- (4) 就一类地物目标算法的研制而言,一般不考虑其他地物层的上下文

关系。

(5) 对算法的研究以全自动地图综合为目标。

(6) 书中对问题的论述部分是作者近年的直接研究,部分引用了同行学者的成果,在各章参考文献中予以标注。

(7) 论述问题尽量引用国际、国内最新的研究成果。

(8) 每章小节中会罗列本章相关的问题,以便同行专家、学者共同研究与解决。

## 1.4 本章小结

本章是全书的绪论,从地图综合的基本概念、研究现状出发,说明地图综合是地图学与地理信息科学领域亟待解决的一个国际难题,进而基于地图目标的点、线、面分类,讨论各类地图综合算法的研究进展,并得出结论。单目标的地物、地貌综合算法已经基本成熟,专家的研究兴趣转向群(组)目标的研究。然后,在地图空间群(组)目标分类的基础上,给出本书的主要研究内容及研究的限定条件。

与本章相关的主要问题有:

(1) 当前地图综合的研究成果是否能够支撑地图全自动软件的研制与开发?如果不能实现真正的全自动,当前成果与其目标之间差距究竟有多大?

(2) 为什么实现真正的全自动地图综合是一个国际难题?其主要的难点有哪些?

(3) 能否把地图空间的描述看作比地图综合算法的研制更基础、更重要?

(4) 目前的研究成果似乎不能支撑地形图的全自动综合,那么能否支撑特定类型地图(如土地利用地图)的全自动综合?

(5) 地图综合的比例尺跨度究竟有没有限度?若有,是多大?目前的研究成果中,比例尺跨度最大为多少?

(6) 把地图的多尺度表达问题从单机环境转移到网络环境,问题的本质有没有变化?有哪些方面会发生变化?

(7) 在科技如此发达的21世纪,为什么对地图自动综合这个看似简单却有难度的问题仍然没有解决?是因为在这方面研究的深度或者广度还不够,还是我们研究的方向有偏差,甚至也可能是需要等待某种新技术或者新科学的诞生,这个问题才能迎刃而解?



## 参 考 文 献

- 艾廷华. 2000. 城市地图数据库综合的支撑数据模型与方法的研究[博士学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学.
- 杜清运. 2001. 空间信息的语言学特征及其自动理解机制研究[博士学位论文]. 武汉: 武汉大学.
- 郭仁忠. 1997. 空间分析. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社.
- 郭庆胜. 2002. 地图自动综合理论与方法. 北京: 测绘出版社.
- 郭庆胜. 1998. 地图自动综合知识的分类及其形式化描述. 解放军测绘学院学报, 15(3): 199—203.
- 李霖. 1997. 地理信息系统空间目标查询模型的研究[博士学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学.
- 王家耀. 1984. 制图综合中数学方法的应用. 郑州: 郑州测绘学院出版社.
- 王家耀, 成毅. 2004. 空间数据的多尺度特征与自动综合. 海洋测绘, 24(4): 1—3.
- 王桥. 1996. 分形理论在地图图形自动处理中的若干扩展与应用研究[博士学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学.
- 武芳, 王家耀. 1992. 军交图数据库支持下的线划要素的自动移位. 测绘学报, 21(4): 291—298.
- 毋河海. 1995. 河系树结构的自动建立. 武汉测绘科技大学学报, 20(增刊): 7—14.
- 闫浩文. 2003. 空间方向关系理论研究. 成都: 成都地图出版社.
- 闫浩文, 王家耀. 2005. 基于 Voronoi 图的点群目标普适综合算法. 中国图象图形学报 A, 10(5): 633—636.
- Ahuja N. 1989. Extraction of early perceptual structure in dot patterns: Integrating region, boundary and component gestalt. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 48(3): 304—356.
- Ahuja N. 1982. Dot pattern processing using Voronoi neighborhoods. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 4(3): 336—343.
- Bader M, Barrault M, Weibel R. 2005. Building displacement over a ductile truss. International Journal of Geographical Information Science, 19(8-9): 915—936.
- Bader M, Weibel R. 1997. Detecting and resolving size and proximity conflicts in the generalisation of polygon maps//Proceedings of the 18th International Cartographic Conference, Stockholm, Sweden: 1525—1532.
- Barrault M, Regnaud N, Duchene C, et al. 2001. Integrating multi-agent, object-oriented and algorithmic techniques for improved automated map generalization//Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Beijing, China: 2110—2116.
- Bjørke J. 1996. Framework for entropy-based map evaluation. Cartography and Geographic Information Systems, 23(2): 78—95.
- Boffet A, Serra S R. 2001. Identification of spatial structures within urban blocks for town characterization//Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Beijing, China(CD-ROM).
- Burghardt D, Purves R, Edwards A. 2004. Techniques for on-the-fly generalization of thematic point data using hierarchical data structures//Proceedings of the GIS Research UK 12th Annual Conference, Norwich, England.
- Christophe S, Ruas A. 2002. Detecting building alignment for generalization purpose//Proceedings of the 10th International Symposium on Spatial Data Handling, Ottawa, Canada(CD-ROM).
- de Berg M, Bose P, Cheong O, et al. 2004. On simplifying dot maps. Computational Geometry, 27: 43—62.
- Douglas D H, Peucker T K. 1973. Algorithms for the reduction of the number of points required to repre-