

# 地图自动综合问题的分解和基本算子集合<sup>\*</sup>

郭庆胜

(武汉测绘科技大学土地科学学院, 武汉市珞喻路 129号, 430079)

**摘 要** 从地图综合对象的本质特征出发, 结合地图综合的自身规律, 分解了地图自动综合问题。同时, 在分析已有地图综合算子的基础上, 提出了一套具有完备性的地图综合算子集合, 讨论了算子的关联性和有序性。

**关键词** 地图自动综合; 问题分解; 基本算子集合; 完备性; 关联性; 有序性

**分类号** p283.1

地图自动综合主要有两个目的: 不同精度地理分析(空间分析)的需要和不同比例尺的地图显示(生产)的需要。地图用于表达地理信息, 地图自动综合就是对地理信息的综合并用地图语言系统表达。地图综合是理解地理信息的基础, 空间抽象有很深的理论含义, 地图自动综合无疑是一个非常复杂的问题。在生产中, 地图自动综合是一个工程性问题, 要全面解决这个问题, 就必须从全局出发, 抓住事物的本质, 分解问题, 逐步解决。本文对此问题进一步深入研究。

## 1 地图综合对象的本质特征

在数字环境下, 地理信息以数字形式表达, 由于地理分析和可视化的需要, 地理信息的抽象是不可避免的, 地理信息是以数据集及其内在关系为依据来表达地理知识。因此, 地图综合的对象是地理信息, 从原始的地理信息中建立一个新的高层次的、综合后的地理信息库(地理数据库)是一个抽象过程, 然后根据地图综合的不同目的(分析或可视化)作进一步的处理。

地图综合过程中必须保持地理信息的本质特征。下面依据地图自动综合这一个复杂的任务, 探讨地理信息的哪些特征决定了地图综合的“行为规范”, 其主要特征是空间性。

1) 空间定位性 在地图综合过程中必须强调在有限的条件范围内保证定位误差达到最小, 这一点在大比例尺地图上表现得非常明显。

2) 空间关系有序性 地理空间目标之间的关系是有序的, 地图综合过程中不能破坏这种有序性, 最明显的一个地图综合算子是移位。

3) 空间区域性 主要表现在地理特征的区域性, 如高山地貌、中山地貌等, 在地图综合过程中必须考虑这种“区域性”。

4) 空间层次性 地理信息在空间思维过程中, 依据信息的抽象程度, 大脑里会产生不同层次的地理知识。在地图综合中, 这一点常表现为地理信息的抽象——再分类和聚合。

## 2 地图自动综合问题的分解

地图自动综合以地图数据库为基础。通常情况下, 地图数据库是以地图图幅为单位建立的, 地图综合是利用更小的空间来表达客观世界, 在地形图生产过程中是用多幅大比例尺的地形图编制一幅较小比例尺的地形图, 因此要把几幅地图合并成一幅, 并建立一个无缝的地图数据库。

一旦地图综合的对象——地理空间形成, 就需要根据地图综合的目的实施地图自动综合。对于地图设计而言, 地图空间的竞争是一个关键, 这种观点主要是针对地图生产而言, 实际上在空间思维过程中, 随着抽象程度的提高, 空间信息的复杂程度减少, 这同地图设计中的地图空间竞争是同一种思想。在 ATKIS 的地图综合过程中<sup>[2]</sup>, 地理信息是通过“符号”表达的, 在 DLM 中是数字表达, 在 DCM 中用图式符号(在计算机中仍然是数字)表达, 地图综合过程是从 DLM→原始的 DCM→过渡的 DCM(DZM)→…→最终的 DCM。可以看出, 地图综合过程可以得到不同的中间结果, 满足不同的需要。因此, 在下面的讨论中, 作者以地图的生产为最终目标论述地图综合过程如何分解。

对于专题地图的生产而言,地图综合主要表现在地理底图的综合和数据的分类或再分类

地图自动综合在建立了区域性地图数据库后也有相应的步骤。地图自动综合是一个工程性的任务,计算机是按照设计者所分解的模块来完成整个过程的。地图自动综合的基本过程是:

1) 无缝地图数据库的建立 在 GIS 中,表现为无缝地理数据库的建立。有些时候,此步骤无需进行,因为地图综合所需的区域性地图数据库本身是一个整体,已建立。

2) 地图投影变换。

3) 地图更新。

4) 区域地理特征分析。

5) 依据地图综合目的建立地图要素分类码的转换表

6) 根据 4)、5)建立地图综合的要素顺序表和地图综合所需的不同要素的综合标准表

7) 根据地图综合的要素顺序表对地理区域进行分区。分区是以重要的线状要素为边界。分区也有不同层次。大分区要依据区域的整体地理特征,如地貌分区、一个流域的构造。小的分区有街道所构成的区域、一个谷地、一个村落等。

8) 建立分区之间的空间关系。分区内要素间的关系、不同要素及其相互间的空间关系等地图要素的空间关联特征,并建立空间关联表,随之从空间关系中获取空间知识。

9) 依据 5)选取地图要素,并进行相应的地理信息或地图要素的分类概念抽象和空间目标的聚合操作,该过程通常称为“地理信息抽象”。

10) 在 9)所生成的新地图数据库的基础上重新建立空间关系。

11) 在保证空间关系和特征一致的前提下,根据综合标准建立新的原始的综合后的地图数据库,该过程目前常称为“地图的模型综合”,涉及到很多地图综合算子。

12) 以地图符号配置表为标准建立 DCM 模型,生成可视化地图产品。

一个值得注意的问题是在地图图幅的边缘或地理区域的边缘,地理目标是不完整的。虽然无缝地图数据库可以解决部分问题,但是“边缘”始终存在。在常规地图综合中采用“抄边”方法来解决图幅间的协调,在地图自动综合过程如何解决这个问题需要作进一步的探讨。

在有些情况下,可以跳过步骤 2)、3)。最基本的几个任务是地理特征分析、空间关系建立、综合规范的系列表、地理区域分区、地理信息抽象和地

图图形综合算法等。

在地图自动综合中还有一个没有明显涉及到的问题是地图注记。注记是为了可视化的需要,实际上在地理信息抽象过程中,名称作为地理目标的一种属性也应当进行综合,但常规地图综合中有一项就是“注记的选取”。该项任务可在 9)和 12)两个步骤中完成。

从上面分析中可以看出,地图自动综合这一项复杂的工程性问题可以分解成多个可操作的小问题,增强了地图自动综合的可解性。

### 3 地图自动综合基本算子集合

地图综合算子有很多分类方法,文献 [3]提出了 12 个地图综合算子:简化、光滑、聚合、混合、合并、收缩、精选、典型化、夸大、增强、移位和分类。其中,光滑是指趋势线的建立,用曲线函数拟合;聚合是指区域性分布的点状要素群用单个符号来表达;混合强调面状要素的合并;而合并算子则强调线间的合并;收缩是指一个区域用一个点来表示;精选和典型化都是为了表达图形群落的图案特征,但是精选强调目标位置不变,特征表达只强调特征,不考虑准确定位。其它地图综合算子分类方法详见文献 [4~ 10]。

地图综合算子中选取、简化和移位是必不可少的,但是要设计一个地图综合算子的完备集合必须先透彻理解地理信息的特征和地图自动综合的整个过程 (Langram 1991)。前面已分析了地图综合问题的分解,从地图自动综合是一个工程性问题的角度看,地图综合算子应当是整个工程系统中的各个子系统,各个算子之间应当有联系,同时具有相对的独立性。以前的文献中并没有从这个角度去分析地图综合算子,因此哪一种算子集合具有完备性也无法证明。地图自动综合中有很多问题具有非单纯性,因而有的学者提出尽量使地图综合算子简化,如把地图综合算子分成 3 类 (Beard 1991),但是在地图自动综合过程中就难以操作。

地图自动综合是一项工程,是为了得到一幅更小比例尺的地图,或是更抽象的地理空间图形。已有的地图综合算子以假设完整的空间图形目标为基础,从全局看,整个工程的完成,首先要满足这种假设,实际生产中,要做到这一点需要很多操作。随着空间高度抽象,地图投影必然要变换,否则很难有效表达空间信息。地理空间是随时间变化的,要保证现势性,必须对数据进行更新。这些

都是以往的地图综合算子集没有考虑的。

算子不是算法,它是一个问题,或一个问题的解决方案,它应当是软件中的一类操作。地图综合算子应当是地图综合问题中相对独立的子问题的集合。因而,必须从地图自动综合这一目的性很强的工程出发,深入研究地图自动综合过程,提出地图综合算子集合。

地理信息有 3 种属性特征: 空间、时间和属性(统计上),地理信息的综合无疑要针对这 3 类特征。为了地理信息视觉感受的需要,地图的形式设计就是一个必需考虑的因素。表 1 说明了地图综合算子的主要分类情况。

表 1 地图综合算子的主要分类

Tab. 1 Main Classes of Map Generalization Operators

地图综合中的任务	地图综合的主要算子
地理空间的准备	无缝地图数据库的建立、目标更新、投影变换
地理空间数据的综合	目标选取、目标简化、多目标的合并、移位、夸大、典型化
地理属性数据的综合	数据分类、分类抽象
地理时间属性综合	时序特征的保持
地图符号化和美学塑型	符号化、移位、夸大、注记选取与配置、典型化

表中,无缝地图数据库的建立、目标更新及投影变换在此不作进一步的讨论。

目标选取强调目标整体性的删除与选择,但对于不同要素类别和不同空间数据维数在选取规则和方法上是不同的。选取的定量化已有大量研究成果,且用于指导常规地图综合,选取的“定位化”同要素的类别有紧密关系,在地图自动综合过程中,此问题一直都在探讨之中,它涉及到空间目标的分布特征和地理意义的重要性,而“重要性”是一个主观因素。计算机在进行“自动选取”时,具体选择哪一个目标有时结合在其它算子中。因此选取算子有如下几种情况: ① 按要素分类标志选取。② 按目标的某些显示属性(如长度)选取。③ 为了保证空间结构特征进行选取。目标简化通常指目标细节的逐渐删除,它通常有目标细部的删除和目标图形趋势线的建立两种情况。多目标的合并常表现为地理实体描述方式的维数变化和格式塔原则的应用。它主要表现为: ① 因分类的抽象,相同类别图斑的合并,如土壤图图斑综合、街区的形成等;② 因空间范围和精度限制,同类目标群合并成另一类目标,如双线河变成单线河、点状要素群用其“凸壳”表示等。移位算子在地理信息综合和地理信息可视化过程中都存在。有的学者主张移位同其它算子同时考虑;另一种观点是

移位在其它算子运行后再进行。笔者主张根据冲突的类型和发生原因来决定移位算子同其它算子的关系。夸大同移位一样,在地图综合的两个阶段都存在,它主要针对小而重要的细小部分。典型化不强调定位精度,在许可的精度范围内,强调地理特征空间分布特征的表示。数据分类主要表现在社会经济型统计数据分类,如社会经济地图的编制,在自然地图编制中表现为分类图的编制和综合制图。分类抽象表现为对原有分类层次的更高层次的抽象,如第  $n$  级分类转换为第  $n-i$  级分类。分类抽象在 GIS 的地图综合中还表现为要素分类代码的转换和地理含义的变化(或地理含义的抽象化、一般化)。在具有时间特征的 GIS 中,地理信息有时序特征,地理信息综合时必须仍然保持这种特征。符号化强调地图符号的合理配置,以便抽象后的地理信息的有效传输,它不只是简单的符号配置,更应强调符号关系同地理信息的空间关系、空间分布特征一致。注记在地图中的作用是显而易见的,但是随着比例尺的缩小,地图注记必须进行有效选取,抽象后的地理信息,其含义发生改变,注记内容也因此发生变化,这些注记在自动制图过程中必须自动配置。

### 4 地图综合算子集完备性的解释

设客观世界是一个完备集合  $R$ ,该集合在 GIS 中以点、线和面为基本构成要素,分别为  $P, L, A$ 。设综合后的地理空间集合为  $RG$ ,相对应的点、线、面为  $PG, LG, AG$ 。若考虑时间因素,则原始地理空间集合为  $R^T$ ,综合后为  $RG^T$ 。

$P, L, A$  为几何上的点、线、面,  $PG, LG, AG$  也是如此,同时设 GIS 中某一比例尺的地理数据库为客观世界的完备集合部分  $R'$ ,则  $R' \rightarrow RG$  就是一个集合的转换过程。

$$P = \{P_i | i = 1, n\}$$
$$P_i = \{ \text{LOCATION}_i \cup \text{ATTRIBUTE} \cup \text{TIME} \}$$
$$L = \{L_i | i = 1, n\}$$
$$L_i = \{ \text{LOCATION}_i \cup \text{ATTRIBUTE} \cup \text{TIME} | j = 1, m \}$$
$$A = \{A_i | i = 1, n\}$$
$$A_i = \{ \text{LOCATION}_i \cup \text{ATTRIBUTE} \cup \text{TIME} | j = 1, m \}$$
$$PG, LG, AG \text{ 同 } R, L, A \text{ 类似}$$
$$R = \{P \cup L \cup A\}$$
$$R' \text{ 是 } R \text{ 的部分, } R' \text{ 可以由多个 } R'_1, R'_2, \dots \text{ 组}$$

成,  $R'_i$  对应于以图幅为单位的数据库, 从理论上讲,  $P_k L_k A_i$  只有是一个完整的集合时才具有完整的地理含义, 因而综合算子无缝地图数据库的建立成立。客观世界是变化的, 若需要最新的地理信息, 则需要使  $P_k L_k A_i$  的 TIME 为当前时间, 因而综合算子目标更新成立。  $R L A$  中 LOCATION 和  $PG LG AG$  中的 LOCATION 因需要不同而会参考不同地图投影系统, 所以综合算子投影变换成立。人们在空间思维过程中, 随着空间范围的增大或者思考内容的专一, 思考的内容只是  $R$  的一部分, 因而  $RG \subset R' \subset R$ , 这说明综合算子目标选取成立。类似地,  $PG \subset P LG \subset L AG \subset A$ , 说明综合算子目标简化成立。

地理信息中简化必然会造成空间关系的不一致, 那么要保持这种空间关系就必然需要“移位”算子, 简化算子的本质是删除细节, 但个别细节在特定环境下要保留, 那就需要“夸大”算子。对于从  $RG$  集合到地图图形这一个步骤, “符号化”是必然的, 但有限的视觉空间要清楚表达空间关系和一定小而重要的特征, “移位”和“夸大”是需要的, 这就证明综合算子移位、夸大、典型化存在。

地图综合过程很大一部分内容是地理信息抽象, 综合算子目标选取和目标简化是针对单个目标而言, 然而  $P L A$  集合中  $P_k L_k A_i$  之间是关联的, 该相关是空间相关, 当地理信息抽象程度提高时必然会产生目标的合并, 有时, 目标集以地图图形方式表达地理信息时, 是以图案的纹理特征来表达的, 这就说明综合算子典型化存在。

$P_k L_k A_i$  中的 ATTRIBUTE 的综合必然需要算子数据分类和分类抽象, TIME 集合的综合表现在空间目标的时序特征上, 因而时序特征保持算子成立。

## 5 地图综合算子的关联性和有序性

地图综合算子的关联性主要表现在地图综合过程中算子的作用效果的互补。例如, 线状要素简化必然采用移位算子以保持综合后的线同周围要素的关系不变; 符号化产生要素冲突, 要用移位解决, 在特殊情况下还要利用“选取”算子对局部目标进行重新选取。

综合算子的有序性表现在以下几个方面: 1) 从地理空间的准备、地理信息的抽象到地图生成是一个有序的过程。2) 对不同要素的综合, 算子运用顺序有所不同。3) 同一综合对象, 算子运用顺序不同, 综合结果也会不同<sup>[10]</sup>。

## 6 结 论

本文参考现有地图综合算子, 提出了一套新的地图综合算子, 并从地理信息的抽象和以地图方式可视化的角度解释了该算子集合的完备性。

从这些算子中可以发现有待深入研究的内容, 其主要体现在选取的“定位化”、简化时的空间关系维持、合并时的数据转移和空间关系的变化、注记的选取与自动配置等。这些问题的发现与整理对地图自动综合理论方法的完善是很有好处的。

本文详细分析了地图自动综合过程, 对比手工地图综合, 提出了一种分解问题的方案。针对已有地图综合算子的不完备性, 打破原有的假设条件, 详细讨论了一套新的地图综合算子。该套算子更适合具体的工程性应用。它是从地图综合的任务出发, 具有多层次性, 适合当前不同的地理信息综合需要, 更有利于软件开发和算子的有效组合。该内容是建立地图自动综合系统必须研究的问题, 对该系统的开发是非常有利的。

## 参 考 文 献

- 1 祝国瑞, 尹贡白. 普通地图编制. 北京: 测绘出版社, 1982
- 2 Heisser M, Vickus G, Schoppmeyer J. Rule-oriented Definition of the Small Area Selection and Combination Steps of the Generalization Procedure. GIS and Generalization: Methodology and Practice. In: GIS-data 1, London, 1995. 111~ 125
- 3 Shea K S, McMaster R B. Cartographic Generalization in a Digital Environment: When and How to Generalize. In: Proceedings of Autocarto 6, 1984. 202~ 210
- 4 Beard M K. Constraints on Rule Formation. In: Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation. NCGIA, 1991. 121~ 135
- 5 Langram G. Generalization and Parallel Computation. Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation. NCGIA, 1991. 204~ 216
- 6 Mackaness W A. Integration and Evaluation of Map Generalization. Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation. NCGIA, 1991. 217~ 226
- 7 Schlegel A, Weibel R. Extending a General-purpose GIS for Computer-assisted Generalization. In: Proceedings of 17th ICA, Sweden: Stockholm, 1995.

658~ 663

8 Ruas A, Lagrange J P. Data and Knowledge Modelling for Generalization. In GIS and Generalization Methodology and Practice. GISdata 1, London, 1995. 85~ 99

9 Lee D. Experiment on Formalizing the Generalization. In GIS and Generalization Methodology and Practice. In GISdata 1, London, 1995. 215~ 226

10 Mackaness W A. Knowledge of the Synergy of Generalization Operators in Automated Map Design. In The Canadian Conference on GIS Proceedings / ACTES, 1997 ( 1): 75~ 87

# The Decomposement and Operators Set of Automatic Map Generalization

Guo Qingsheng

( School of Land Science, W TU SM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

**Abstract** Automatic map generalization is a complex problem which includes much data analysis. And knowledge is needed in data models operations and their relations. Thus, it is necessary to analyze the method of decomposement and operators set of automatic map generalization for solving this complex problem. In this paper, with respect to the essential characteristic of objective of map generalization and its self-rules, the problem of map generalization is decomposed, and a complete operators set of map generalization is given, based on the analysis of existent operators sets of map generalization. The relationship and rank of operators are discussed.

**Key words** automatic map generalization; decomposement of problem; basic operators set; completeness of operators; relationship of operators; rank of operators

## 《武汉测绘科技大学学报》编辑委员会

名誉主任: 宁津生  
主任: 李德仁  
委员: 刘经南 王新洲 朱灼文 晁定波 张正禄  
郑肇葆 龚健雅 舒宁 许云涛 张祖勋  
毋河海 刘耀林 李霖 杜道生 朱元泓  
詹庆明 李清泉 赵茂泰 梁荫中 柳建乔  
主编: 李德仁 (兼)  
副主编: 柳建乔