

# 基于规则的植被地图综合的研究

高文秀<sup>1</sup>, 潘郑淑贞<sup>2</sup>

(1. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 2. 香港理工大学土地测量及地理资讯学系, 香港)

**摘要:** 植被地图综合是专题地图综合的一个特例, 需要遵循地理数据综合规则, 以解决因表达空间缩小而造成的地物要素间的冲突问题, 确保图面上图形表达的合理、清晰和美观; 同时植被地图综合也要遵循植被分布自身的规律。该文主要研究和分析影响植被地图综合的主要规则, 首先描述植被地图的特征, 在此基础上分析讨论影响植被地图综合的主要综合规则, 并简要介绍了用于表达综合规则的产生式规则方法, 用实例描述了这些规则在植被地图综合各个阶段的应用和结果, 以此来反映综合规则在植被地图综合过程中的重要性。

**关键词:** 植被地图; 地图综合; 综合规则; 综合操作

中图分类号: P285.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2004)01-0007-05

## 0 引言

植被地图是专题地图的一种重要类型, 广泛应用于农业和环境资源管理等诸多领域。植被分布很复杂, 而植被地图一般只表示制图区域内最常见的、最占优势的或有特殊意义的一种或几种类型的植被分布特征。判断一片土地上的植被类型的主要依据包括三个方面: 某种植被的数目、植被的平均高度、植被的经济价值。还有其它辅助因素, 比如某些濒临灭绝的稀有植被或具有特殊价值、功能的植被, 如药材林、防护林等。

植被地图一般采用专题图制图方法中的质底法成图<sup>[1]</sup>, 用不同颜色或纹理表现不同的植被类型, 在设色和纹理选择上要突出制图区域的植被分布特征以及它的特殊性。比如在《深圳市地图集》<sup>[2]</sup>中描述林业资源的植被图上用浅绿色表示森林、用橘黄色表示经济林、用深绿色表示灌木林、用粉色表示红树林、用淡蓝色表示水域分布、用暗灰色表示城镇用地、用淡黄色表示其它不属于植被用地的地块。从整体效果来看, 鲜亮的橘黄色突出了经济林在深圳植被分布上的特殊性, 大片普染的浅绿色突出了位于热带和亚热带气候带的深圳有丰富的森林资源, 沿海分布的粉色代表的红树林表明了深圳有别于其它内陆城市的特征。

在实际应用中, 根据应用范围和目的不同, 植被地图表现不同级别的植被分类, 因而植被地图的比例尺也不相同, 比如资源管理部门需要了解某个特定的小范围地区的植被分布状况, 往往需要大比例尺的具

有详细植被分类的植被地图; 而当需要掌握大范围区域内植被的整体分布状况时, 小比例尺的、只表示主要植被类型的植被地图则更为实用。又如林业管理部门关心的是森林资源的分布状况, 那么在各种比例尺地图上突出表现各类树种的分布状况, 而对于畜牧业管理部门, 更关心的是草地的分布状况, 在相同比例尺地图上突出表现的是草地类型及分布范围。

要实现上述对植被地图的不同要求的方法之一是以一个植被类型比较齐全、分布范围比较完整的植被数据库为起点, 根据应用目的确定目标地图的主题和比例尺, 利用数据综合手段生成目标地图。这个过程实施非常复杂, 它不仅要遵循地图综合的基本原则, 还要考虑植被自身特征与分布规律, 并且顾及不同应用目的对各地块植被类型表达的不同要求。此外, 植被分布与其它自然和社会要素紧密相关, 如土壤类型、气候、土地利用等, 在确定某种植被类型的分布范围界线时需要考虑这些要素的特征和影响。这些因素构成了指导植被数据综合正确实施的综合规则, 也构成检验综合结果合理与否的标准。对于“综合规则”有广义和狭义两种理解, 广义的综合规则泛指地理数据综合过程中需要遵循的一切原则或准则, 有些学者采用“综合知识”来表达同样的概念<sup>[3]</sup>; 狭义的综合规则特指采用人工智能的产生式规则方法(IF-THEN的结构方式)表达综合知识而产生的规则。本文采用“综合规则”来描述影响植被综合的综合知识, 同时也采用产生式规则方法表达综合知识, 它主要用在程序设计和系统实现

收稿日期: 2003-09-12; 修订日期: 2003-10-24

基金项目: 香港特别行政区研究基金会资助项目(B-0326); 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金资助项目((02)0401)

作者简介: 高文秀(1971-), 女, 博士, 主要从事地图学及GIS数据综合的研究。E-mail: wxgao@mail.iesmars.wtustm.edu.cn

① 深圳市国土局. 深圳市地图集. 1997.

时将抽象的综合知识形式化地表达为计算机能够识别的 IF—THEN 的结构方式。

基于综合规则的地理数据综合已经有较多的探究,比如 Nickerson 和 Freeman<sup>[3]</sup> 的基于规则的自动综合系统 MAPEX,提出了 8 个独立于数据类型的参数以及基于各种数据类型的规则,并采用 IF—THEN 的结构方式将规则应用到综合程序中;Armstrong<sup>[4]</sup> 提出制图综合所必需的三种知识:几何知识(Geometrical Knowledge)、结构知识(Structural Knowledge)和操作知识(Procedural Knowledge),并采用 Frame—Based 方法实现知识表达;Mustiere 等<sup>[5]</sup> 将 KRA 模型应用到自动化制图综合中,利用人工智能推理机制提出制图综合,包括知识抽象(Knowledge Abstraction)和知识表达(Knowledge Representation)两个过程。这些研究从普遍意义上探讨地理数据综合过程的综合规则或综合知识,由于不同应用领域的专题图在数据类型、综合规则或综合知识方面有较大不同,上述研究并不能完善解决某个具体专题图综合的问题。本文主要致力于植被地图综合过程中需要遵循的综合规则的分析 and 描述,并将这些综合规则运用到实验系统中以验证综合规则的有效性。

## 1 综合规则的表达与应用

综合规则的表达方式有很多,如产生式规则(Production)、逻辑(Logic)、语义网络(Semantic network)、框架(Frame)、状态空间(State space)、概念从属(Conceptual dependency)、剧本(Script)、Petri 网等<sup>[6]</sup>。本文采用产生式规则方法,一方面因为该种表示方式自然、简洁,易于理解;另一方面因为产生式规则之间是相互独立的,可以独立的增加、修改或删除,而不会直接影响到其他规则,因此综合规则库的修改相对简单<sup>[7]</sup>。

产生式规则采用下列语法结构表达知识: IF<条件> THEN<行为/结果>,它有两部分组成:位于左侧的条件部分是一组描述对象状态的条件语句的逻辑组合,位于右侧的行为部分由一个或一组动作行为组成,这里的动作对应于某个综合操作。一条规则的条件部分描述了某个待解决的问题的条件或状态,而行为部分则提供了解决该问题能够采用的方法或措施,或者是满足某种条件之后得出的结果。

产生式规则的实际运用首先需要建立规则库和推理数据库,规则库中存放规则,推理数据库存放与求解问题相关的数据或事实以及推理过程中产生的

新的事实。在系统运行时,当某条规则的条件部分与事实匹配时,该规则则是可用的,被打上可用的记号或是提取出来另外保存,但不执行行为部分,继续搜索其他匹配的规则,当找到所有可用的规则后,通过比较,选择一条当前最适用的规则,执行其行为部分。有关产生式规则的具体应用比较复杂,本文不再详细描述。

## 2 植被地图综合规则

植被地图中多以面状图形描述植被的分布范围和形态,本文的主要研究对象也是以面状图形表达的植被地块。下面列出植被地图综合过程需要遵循的主要规则,并用伪代码方式对部分规则给出了相应的产生式规则表达式。

### 2.1 地图用途与植被类型的关系规则

根据地图用途确定要突出表现的植被类型,并确定不同植被类型的重要性。有多种不同的植被类型分类方式,比如从专业植被学的角度,植被可以按照植被类型群(Vegetation Type Group)、植被类型(Vegetation Type)、植被亚类(Vegetation Subtype)、植被群系(Formation Group)、植被群(Formation)、植被亚群(Sub—formation)、植被丛系(Association Group)和植被丛(Association)分类。对于植被地图而言,它能表现的植被类型由植被数据库中已经存储的植被类型决定。植被数据在录入过程中依照的分类体系不同,将直接决定植被数据综合所依据的分类体系。所有数据在综合之前,先要考察植被数据库,以确定现有植被类型体系能否满足地图用途的需求。

### 2.2 植被分布的延续性规则

植被分布有着空间延续性,在自然状态下,由于气候和地形的影响,植被的地域分布规则是按照较高的树林(tall trees)、较矮的树林(low trees)、较高的灌木林(tall shrubs)、较低的灌木林(low shrubs)、草地(grassland)、苔藓(lichen)和空地(bare soil)的顺序分布<sup>②</sup>。在树林和灌木之间一般不会有草地存在,除非有人为干预。如果在原始数据库或原始植被地图上,某片树林和草地之间有一条狭长的灌木林带,其宽度小于最小距离域值,这种情况下代表灌木林的狭长多边形一般不能被删除,而是要扩大,以体现植被在空间分布上的延续性。所以延续性规则往往与几何规则联合运用到综合过程中。

② Pun Lilian. Generalization of Vegetation Maps Based on Biogeographical Principles. ICA Map Generalization Workshop Beijing, China, 2001.

## 2.3 属性信息的综合规则

专题地图的综合需要着重考虑专题属性, 所以属性信息综合规则在综合过程中起着关键作用。在植被数据综合中, 属性信息的综合主要体现在地块植被类型的转换过程中, 即由详细的植被类型向概略的植被类型转换, 这个转换首先是单向的, 其次必须保持植被类型的逻辑一致性, 同时为了突出表现主题的植被类型, 该植被类型可以比其他植被类型详细。图1概要显示了基于香港地区1:20 000植被数据库建立的植被分类体系(依据不同分类原则, 植被分类体系不同。图1的分类体系依据植被大类并辅以植被外貌形态的概略分类)。该数据库中记录的各地块类型属于第3级分类。植被类型转换的逻辑一致性是指当需要将地块的植被类型从第3级分类向第2级分类转换时, 人工树林地块不能转换为灌木地块或草地地块。如果把2级分类称作3级分类的父类, 植被类型转换的逻辑一致性规则即保持子类与父类继承关系, 人工林地地块只能转换为树木地块。如果目标地图是为了反映各类树木的分布状况, 可以保持树木地块的第3级分类, 只将其他类型地块的植被类型转换到第2级。



图1 植被分类体系  
Fig. 1 Vegetation classification

IF NewClassLevel( $object_i$ ) is lower than OldClassLevel( $object_i$ ) AND NewClassType( $object_i$ ) is parent class of OldClassType( $object_i$ )

THEN Transformation Type of  $object_i$  to new ClassType

式中: NewClassLevel( $object_i$ )——新植被类型的分类级别

OldClassLevel( $object_i$ )——老植被类型的分类级别

NewClassType( $object_i$ )——地块的新植被类型

OldClassType( $object_i$ )——地块的老植被类型

## 2.4 地图规则

地图规则内容很广, 从单个地理要素的图形表达, 到整个地图的图面整饰, 这里只描述属性信息综合之后造成的不符合地图规则的状况。当地块的植被类型由子类向父类转换之后, 某些相邻地块的植被类型转换为同一父类植被类型, 在地图表达中, 如果不考虑其他因素的影响(如行政区域边界), 两个相邻的图斑不应该具有相同属性信息, 否则要将两个图斑合并为一个图斑。所以在植被类型转换之后, 要将相邻的具有相同植被类型的地块合并成一个地块, 即属性信息变换之后, 需要进行空间信息的相应

变换, 以满足地图表达的基本原则。此外, 在地块的图形表达方面, 也要遵循植被地图表达的基本原则。

IF ClassType( $object_i$ ) = ClassType( $object_j$ ) AND  $object_i$  is adjacent to  $object_j$

THEN Merge the two Objects( $object_i$ ,  $object_j$ )

## 2.5 几何规则

人眼对事物的分辨能力有一个自然限度, 地图图面上的几何图形大小必须满足这一限度。制图综合的目的之一是避免图面上出现不可识别的图形, 在尽量保证植被地块位置准确的基础上, 保持正确的拓扑关系和清晰的图形表达。

2.5.1 设定最小面积域值 实际经验得出图面面状图形面积小于  $0.5 \text{ mm}^2$  将不能清晰辨认<sup>[8]</sup>, 所以小于最小面积域值的图形都必须处理, 而且随着地图主题的不同, 对各类植被类型的面状图形的最小面积域值和处理方法都不同。比如对于以反映森林分布为主的植被地图综合, 对于小面积图形可以采用以下处理措施: 1) 如果该面状图形代表的植被类型是森林, 而且在其周围一定范围内没有森林分布时, 要将该图形放大以满足最小面积域值要求, 以此显示该区域有森林分布 (IF Area( $object_i$ ) < Area threshold of Forest AND There is no forest parcels around  $object_i$  THEN Enlargement Operation ( $object_i$ )); 2) 如果放大森林地块会造成与重要道路或是境界线发生冲突时, 可以先移动地块位置, 然后再放大; 3) 如果该森林地块周围有其他森林地块, 可以将它与其他森林地块合并(对于相互邻接的地块)或者聚合(对于非邻接的地块), 形成一个较大的地块; 4) 如果该小面积面状图形代表的是其它植被类型, 在不影响体现植被分布延续性(见后面第三条规则)的前提下, 可以将该面状图形与其周围的面状图形融合。

2.5.2 设定最小距离域值 该域值既可以用于约束彼此不邻接地物之间的最短可视距离, 也可以用于约束面状图形的狭窄部分的最小宽度。如果地物之间的距离小于该域值, 人眼已经不能识别它们之间的距离; 面状图形的狭窄部分小于该域值时, 狭窄部分将看似一条线。在这些情况下, 要么将小于域值的部分压缩成一条线, 它的面积由其邻界面状图形分摊; 要么放大到大于该域值。具体采用何种方式, 需要与其它规则联合确定。

2.5.3 保持正确的拓扑关系 数据综合势必要改变原始数据所反映的地理对象之间的拓扑关系, 但是拓扑关系的变化需要遵循一定规则, 有些拓扑关系的变化是错误的不能接受的, 比如对于成片分布的植被地块, 不能因为删除某个小面积地块而造成空洞, 又比如原来处于外侧邻接关系的两个地块综合后不能够

变成包含关系或相离关系等(图 2)。有关数据综合前后拓扑关系变化的情况还有很多,这里不再详述。



图 2 植被综合过程中的拓扑关系变化  
Fig 2 Change of topologic relationship in vegetation data generalization

(1)各类植被类型面积比率在综合前后保持平衡。前面谈到在综合之前要确定不同植被类型的重要性,并且根据目标地图的主题突出表现主要植被类型的分布特征。但是从整体上,需要保持各类植被类型地块面积的比率平衡,才能真实地反映该地理区域的植被分布特征。这是衡量综合结果是否合理的标准之一。

(2)植被分布与其它地理要素之间的关系规则。通常某种植物分布的边界与植被的形态变化一致,而植被形态变化往往与包括土壤类型在内的其它因素的变化密切相关。比如在地势急剧变得陡峭的地段,地表由土壤覆盖变为裸露的岩石,那么植被的类型必然发生变化。在综合过程中,在空间允许的情况下,要尽量保持因地形变化或土壤变化引起的植被类型的变化。换言之,植被资料的综合还要考虑与非植被资料的关系。

### 3 植被地图综合实例

王家耀<sup>9</sup> 引用 Guptill 的观点说明未来的地图数据库应该是无缝的,无比例尺的,从单一的数据源经过自动综合实现多尺度数据表达。但就目前计算机发展水平看,还无法实现无人工参与的全自动化的综合系统。因此人机交互式地图数据综合成为当前广泛采用的方式,实现这种方式的途径有多种,简单讲是从源数据库出发,由人工确定目标地图的主题、设定综合规则参数、综合算法参数及执行顺序,由计算机完成综合算法实施的具体过程。实际上人工干预和计算机操作在整个数据综合过程中是交互进行的。本文采用人机交互方式实现植被地图的综合实验。

实验系统以 Arc/Info 为软件平台存储和管理数据,利用 ArcObject 进行二次开发,增加数据综合功能,实现植被地图的综合。植被地图综合的全过程比较复杂,本文就主要步骤进行阐述。

(1)准备数据并确定目标地图主题。实验数据采用香港 1:20 000 植被数据(以下称源数据库),图 3 是数据样本。该数据库中描述的地块类型除了图

1 中显示的第 3 级的植被类型外,还有非植被类型,如已开发区(Developed)、空地(Bare)、被遗弃农业地块(Abandoned Agriculture)和农业地块(Agriculture)等。目标地图的主题是 1:50 000 植被地图,反映香港地区的植被分布状况。



图 3 源数据库中的数据样本  
Fig 3 Data sample in the original vegetation database

(2)选取数据。选取数据是数据综合的重要步骤,主要针对源数据库是综合性数据库的情形,需要首先从中选取与目标地图有关的地理数据生成派生数据库,在此基础上进行后续综合步骤。本文的实验数据库专门记录植被分布状况,所以选取数据库中所有数据参与后续综合步骤。

(3)属性数据转换。前面属性综合规则谈到了本文实验数据的植被分类体系(图 1),在综合实施过程中,将非树木的植被地块,由第 3 级分类转换为第 2 级分类。而将非植被类型的地块都简单地用“其它类型”(Others)表示,无需区分它们的详细信息。在地块类型转换过程中,需要遵循属性综合规则中的逻辑一致性规则。图 4 显示了部分经过属性转换之后的数据状态。原来属于各种非植被类型的地块都转换为“Others”,它们用同种颜色填充。



图 4 属性数据变换后结果  
Fig. 4 The result after attribute transformation

(4)几何数据综合。从图 4 可以看出,属性数据转换使得某些相互邻接的地块属于同一种植被类型,这不符合地图规则。所以在属性数据转换之后还要进行几何数据综合。几何数据综合操作的类型很多,针对图 4 首先需要进行合并操作,即将相邻接的属于同一种植被类型的地块合并为一个地块(图 5),而且地块合并之后需要进行面积、周长等属性信息的更新。接着需要对小于几何规则中最小面积域值的地块进行处理(图 6)。在几何数据综合过程中

需要遵循几何规则, 尤其是拓扑关系规则。



图 5 地块合并后的结果  
Fig. 5 The result after merge operation



图 6 处理小面积地块后的结果  
Fig. 6 The result after small plot operation

除了上述几何数据操作之外, 还有处理小于最小距离域值的狭长型地块的操作、地块边界简化操作等, 这里不再一一详述。图 7 显示了经过所有综合步骤之后产生的 1:50 000 植被地图的一部分内容。



图 7 1:50 000 植被图  
Fig. 7 The 1:50 000 vegetation map after generalization

#### 4 结语

本文着重分析了影响植被地图综合的原则, 主要有几何规则、属性信息综合规则、植被连续性分布规则、地图规则等, 并将这些规则运用到实验系统中。实验系统基本实现了从 1:20 000 植被数据库通过人机交互式综合过程生成 1:50 000 植被地图, 综合后结果基本保持了综合前的各类植被类型面积比率, 且保持了地块图形表达的合理和清晰。

本文的讨论针对植被地图综合的一般过程, 从比较概略的角度分析影响植被地图的综合规则, 事实上根据研究区域和综合目的的不同, 有更多细节规则需要考虑。而且, 不是所有的综合规则都能够形式化地表达为产生式规则, 有些综合规则具有较

强的偶然性, 它的运用需要借助于数据综合人员的经验和知识积累。此外, 产生式规则方法并不是最理想的综合规则表达方法, 因为针对某个条件, 其执行行为或结果相对比较固定, 但是在实际操作中根据不同数据状况, 相同条件可能需要不同的执行行为或者存在不同的结果。所以, 综合规则的理想表达方法还有待于进一步的研究和发展。

感谢香港理工大学的 Pun Lilian 博士、李志林博士和武汉大学的龚健雅教授、杜道生教授对研究工作的热心指导和帮助!

#### 参考文献:

- [1] 张克权, 黄仁涛. 专题地图编制[M]. 测绘出版社, 1991.
- [2] BUTTENFIELD B P, MCMASTER R. Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation[M]. London: Longman, 1991.
- [3] NICKERSON, BRADFORD G, FREEMAN, et al. Development of a rule-based system for automatic map generalization[A]. Proceedings of the Second International Symposium on Spatial Data Handling[C]. Washington, 1986.
- [4] ARMSTRONG, MARC P. Knowledge classification and organization[A]. BARBARA P Battenfield, ROBERT B M cMaster, HERBERT Freeman. Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation[C]. Longman Scientific & Technical Publications, UK, 1991.
- [5] MUSTIERE Sebastien, ZUCKER Jean-Daniel, SAITTA Lorenza. Cartographic generalization as a combination of representing and abstracting knowledge[A]. ACM GIS' 99, Kansas City, MO USA, 1999. 162-164.
- [6] 田盛丰. 人工智能原理与应用——专家系统、机器学习、面向对象的方法[M]. 北京理工大学出版社, 1993.
- [7] SHEA S, MCMASTER ROBERT B. Cartographic generalization in a digital environment: when and how to generalize[A]. Proceedings AutoCarto 9, 1989. 56-67.
- [8] MULLER J C, WANG Zeshen. Area-patch generalization: a competitive approach[J]. The Cartographic Journal, 1992, 29: 137-144.
- [9] 王家耀. 空间信息系统原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 314-332.

### Research on Rule-based Generalization of Vegetation Map

GAO Wen-xiu<sup>1</sup>, PUN Lilian<sup>2</sup>

(1. National Laboratory of Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079;

2. Department of Land Surveying and Geo-Informatics, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract:** Vegetation map generalization is one of special cases of thematic map generalization. The generalization of vegetation map should be controlled by the generalization rules to solve the conflicts of map elements in smaller mapping space in order to keep map reasonable and clear. And the vegetation map generalization should follow the rules of vegetation distribution. The main subject of this paper is to discuss the rules which influence the vegetation map generalization and the application of these rules. The paper first depicts the nature of vegetation map, then introduces the basic concept of Production-Rule method for the representation of generalization rules. In the third section, the main rules of vegetation map generalization are analyzed in detail and some of them are represented with the Production-Rule method as examples. An example depicts the application of these rules and the results of generalization in the fourth section. At last a conclusion part in the fifth section summarizes the contents of the paper and discusses the future works.

**Key words:** vegetation map; map generalization; generalization rules; generalization operation