

# 智能化制图综合在 GIS 环境下的 实现方法研究

齐清文

(清华大学土木系“3S”中心, 北京 100084)

潘安敏

(湖南师大经济管理学院, 长沙 410081)

**摘 要** 自动制图综合的研究长期以来未能取得突破性进展, 原因之一是人们对制图综合的知识处理的深度不够。本文探讨在 GIS 环境下实现智能化制图综合的方法。方法要点是: 采用知识推理+ 数学模型的方法, 即将基于专家知识的智能化推理与数学模型处理结合起来, 用知识推理引导和操纵数学模型处理, 以期达到较理想的结果; 在专家知识规则中贯穿面向地理特征的思想, 即包括面向地理要素、面向地物对象- 类, 面向特殊地理区域等方面的知识法则。本文首先阐述在 GIS 环境下实现智能化制图综合功能的策略, 其次描述知识推理控制下的数学模型操作流程, 以及制图综合专家知识库的组织形式; 最后阐述各种面向地理特征的制图综合知识规则。

## 1 前言

近年来, 随着地理信息系统由纯科研项目应用向部门化、网络化的大型运行系统发展, “一库存储”与“多种用途”之间的矛盾越来越显得突出。在学术界, “多比例尺 GIS”或“多分辨率 GIS”更是数次国际和国内 GIS 讨论会、空间论坛的热门话题。在这种形势下, 制图综合不再仅仅是归属于地图学领域的课题, 而是 GIS 领域内需求迫切、不可避免的重要的数据变换操作。因此, 有关制图综合问题的论文屡屡在国内外 GIS 学术会议上宣读, 足以说明其重要性正在引起人们的重视。

然而对于制图综合自动化这样一项复杂的决策处理过程的研究, 长期以来未能取得突破性进展。迄今为止, 解决制图综合自动化主要有二条途径: 一是纯粹的数学模型方法, 现在看来它无法全面解决问题, 因为制图综合中的大量问题是模糊性的, 难以找到相应的数学描述方法; 二是智能化的制图综合方法, 如建立制图综合专家系统 (Nickerson, Freeman, 1986; Brassel, Weibel, 1988; Shea, Armstrong, 1991; J. C. Muller, 1991; T. Kilpeainen, T. Sarjakoski, 1993) 和使用人工神经网络方法 (J. C. Muller, 1993)。从理论上讲, 智能化的制图综合应该是解决问题的根本出路。之所以未能奏效, 一方面缘于制图综合问题本身的复杂性, 另一方面则在于人们对制图综合的“知识”处理的深度不够, 要么没有充分挖掘和利用专业地图人员头脑中关于地理规律的知识, 要么没有对已有的知识进行有效的形式化表达。

本文阐述了作者在设计 and 建立 GIS 环境下智能化制图综合模块过程中对上述问题的解决思路和方法。本文的思路是: 1) 把制图综合自动化的问题放在 GIS 环境下来解决, 即

制图综合既是 GIS 系统的一个模块, 在开发制图综合模块时, 也可充分利用和集成 GIS 平台的现有功能; 2) 在操作机制上, 采用“知识推理+ 数学模型”的方法, 即将基于专家知识的智能化推理与数学模型处理方法结合起来, 用知识推理引导和操纵数学模型处理, 以期达到较理想的结果; 3) 面向地理特征的知识法则, 即在本文的专家知识规则中贯穿的是面向地理特征的思想, 其中包括面向地理要素、面向地物对象- 类, 面向特殊地理区域等。

## 2 实现 GIS 中智能化制图综合功能的策略

根据目前制图综合的发展现状, 我们认为在 GIS 环境下实现智能化制图综合功能应采取以下策略。

### 2.1 分步、分项实施的策略

该项策略是指在选择和确定制图综合的内容、步骤和操作项时, 要根据具体情况和实际需要, 分阶段、分单项地实施操作。具体来说:

(1) 分步实施 一般来说, 在 GIS 环境下存在两种意义上的制图综合, 它们分属于两个不同的阶段。第一阶段是数据的语义概括过程(或数据库综合), 即对客观真实世界进行概念层次上的概括性模拟或模型化, 用于产生并突出地理目标的结构和相互间的关系。方法是利用 GIS 数据库作为输入源, 采用选取/删除、类型合并和等级合并等处理, 产生派生数据库。该阶段不考虑图形显示方面的问题, 因此又被称为“模型概括”(Muller, 1993)。第二阶段是数据的图形概括过程, 即为了视觉表达而对上述派生后的数据库进行的图形表达和概括处理, 主要是表示方法的改变、符号化(或重新符号化), 以及符号化过程中的图形概括(简化、移位、合并、夸大等), 进而生成符合制图规范和可视化原则的地图。这是常规制图综合研究经常涉及的内容。

(2) 分项实施 制图综合有许多操作项, 例如取舍、类型归并、等级简化或合并、符号化(重新符号化)、曲线光滑、符号退化、特征点夸大、轮廓合并、要素移位等。对城市基础地理信息系统而言, 其制图综合的实施并不需要运行上述所有的操作, 而是根据需要分项进行。因此弄清每次制图综合的目的并把握处理对象的信息特征是简化操作、提高效率的关键。

### 2.2 集成化和模块化的策略

为完成 GIS 环境下智能化的制图综合操作, 应将 GIS 工具、数学模型、专家系统三者集成到一起, 建立 GIS 中制图综合模块。该模块由“GIS 工具”、“制图综合操作工具/数学模型库”和“制图综合推理机/知识库”三部分组成。它们各自完成特定的功能, 形成一个有机的整体。具体来讲:

(1) GIS 工具的功能: 接收并组织、管理输入的数据; 通过对地物的空间和属性查询来辅助推理机进行推理判断; 通过对地物的空间和属性查询来辅助模型方法的概括, 并做补充性操作; 输出处理结果。

(2) 制图综合推理机/知识库的功能: 根据 GIS 工具的查询所得出的结果识别地物结构和特征; 经过推理判断, 选择操作项和数学模型。

(3) 制图综合操作工具/模型库的功能: 实施制图综合操作并把概括结果返回给 GIS 系统。

### 3 知识推理控制下的数学模型操作流程

从制图综合的过程来看, 数学模型方法和专家知识推理方法的作用是不同的。前者完成的是具体的操作, 如形状简化、取舍等; 后者则主要用于过程的判断和联结。因此, 将两者紧密结合, 才有可能得到令人满意的结果。可以说, 专家知识推理起主导控制作用, 数学模型则起具体执行功能。

知识推理主要用于:

(1) 结构识别, 即从原数据库中和原地图上对地物的地理特征进行判定, 包括识别地物类型、地物等级、空间位置、与其它地物的空间关系, 以及确定地物的重要性等。结构识别的结果是确定被处理的对象(地物);

(2) 过程识别, 即确定对所选定的对象进行何种概括处理(概括行为判定), 概括过程会给(新)目标数据库或地图带来什么样的结果(概括结果预测)。根据上述判定和预测, 确定应该采用的操作项(过程), 这也是过程识别的结果;

(3) 过程模型化, 即分别为“知识规则驱动操作”和“数学模型处理”两种概括方法选择具体的操作规则和数学模型, 并确定运行时应取的参数。过程模型化的结果是确定了规则、模型和参数。

(4) 概括质量的判定, 即对概括后的新数据库或新地图的质量进行检验和判定。判别标准包括地物类型和等级体系的一致性、景观特征的保持、地物之间协调关系的保持、几何精确性与地理规律真实性的统一、表达清晰性与内容完整性的统一五项。这一步骤中的知识规则十分复杂, 因为五项判定标准都是定性的、模糊性的指标, 必须把它们分解成一步步可形式化的逻辑段落。

(5) 决定下一步概括行为, 即通过(4)得出“满意”或“不满意”的结论后, 判断下一步应该采取的概括行为。如对本次概括不满意, 则须修改本次方案并重做本次概括; 如对本次概括满意, 但整个制图综合任务还没完, 则选择下一个地物或对本次选定的地物进行另一项操作; 如果整个概括任务已经完成, 且经概括质量判定达到“满意”结论, 则结束整个制图综合任务, 产生(新的)目标数据库或目标地图。

## 4 制图综合专家知识库

### 4.1 知识规则的来源、类型和组织形式

本实验的制图综合专家知识库中的知识规则来自以下几个方面: 1) 来自现成规范: 一是现成的关于地理/地图数据库管理中数据交换标准, 二是普通地图编辑大纲中的制图综合现成规范或细则; 2) 从地理学者和制图专家的制图综合经验总结中归纳出规则; 3) 从数据库中提取规则和从地图分析中总结规则。

从制图综合的总体特征来看, 本实验的知识规则分为以下几种: 1) 几何性知识: 是关于地理要素几何特征和拓扑关系的描述性知识; 2) 结构性知识: 是地理客体的存在环境和产生过程的写照, 即对制图综合起科学指导作用的地理专业知识, 也可以看作是地理规律规则; 3) 过程性知识: 用于根据被处理对象的具体情形判断和选择制图综合过程和操作项,

属于逻辑判断性运行规则。在实际规则表达中, 陈述语句和过程语句混合使用; 几何性知识、结构性知识和过程性知识分开描述, 在推理运用时再将它们组合成复杂的规则链。

从操作过程来看, 其知识规则又分为: 1) 关于地物地理特征的描述性知识, 用于结构识别; 2) 用于制图综合操作项选择的知识规则; 3) 用于制图综合算法选择的知识规则; 4) 面向专门地理要素概括的知识规则; 5) 面向典型地理区域的制图综合知识规则。本系统的制图综合知识规则由概括条件、概括行为和概括要求(或概括水平)三个变量组成。如果用三维空间坐标系反映它们之间的关系, 便可形成图 1 所示的结构图。

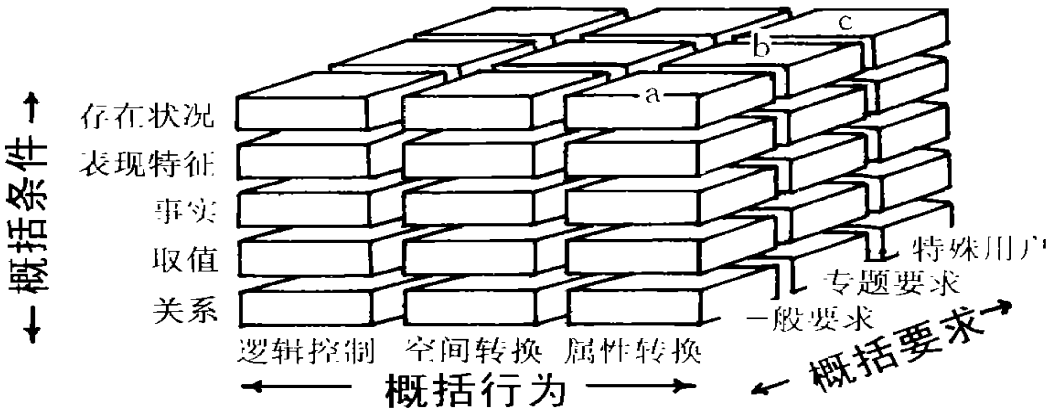


图 1 制图综合知识规则的组织结构

Fig. 1 The Structure of Knowledge Rules for Generalization

在图 1 中, “概括条件”这一维分为五个条件: 1) “存在”状况, 即某地物在数据库中是否存在; 2) “表现特征”, 即在某数据集中某种性质或特征的表现情况; 3) “事实”, 即某种事实是否为真; 4) “取值”, 即某实体的属性值; 5) “关系”, 即地物之间的空间关系或拓扑关系。

“概括行为”这一维分成三种情况: 1) 逻辑控制, 即通过控制逻辑判断的改变来驱动制图综合追踪和推理技术, 或者通过调整目前被激活的规则处理方法来改变规则; 2) 空间转换, 即调整数据库中实体在空间上显示格局或显示方式; 3) 属性转换, 即根据制图综合特殊要求修改与某特定地物相联的地物属性。

第三维是概括要求, 也可称为概括水平, 是指在“一般”制图要求、“专题”制图要求和“特殊用户”制图要求下应达到的制图综合水平。这一维与面向对象的理论和方法是一致的。可以根据不同的要求, 对地物实施不同层次、不同复杂程度的组合和“类”的继承。这里的“类”既可以是地物实体“类”, 也可以是不同操作水平的概括, 即从“一般”到“专题”再到“特殊用户”体现的是制图综合的水平从低到高的发展过程。上述三个变量的任意组合, 就构成了知识库中的一个知识规则组的结构。

#### 4.2 面向地理特征的制图综合知识规则

“面向地理特征的制图综合知识规则”有两方面含义: 一是这种制图综合知识规则以地理规律作其为科学指导, 即在对地物对象实施概括时, 必须顾及到它们的地理特征, 如空间维数、空间分布、空间相互关系、类型和等级等; 二是这种制图综合的结果必须能够反映地理规律。

“面向地理特征”的特性贯穿于本系统知识规则控制下的制图综合操作的各个环节, 是本文的主导思想之一。本文 4.1 中所述的按照操作过程区分的知识规则均属于面向地理特征的知识规则。

4.2.1 关于地物地理特征的知识描述

数据库中的数据是按点、线、面进行编码存储的, 它并没有深层次的关于地物的地理意义的描述。可以对数据库数据中进行地理信息抽象, 从中抽取关于地物地理特征的描述性知识规则, 存储在知识库中。

地物的地理特征可从三个侧面来描述 (见图 2): 即地理含义、结构特征和等级体系。描述地物这三方面地理特征的知识是互相配合, 互相补充的。“地理含义”是对每一个 (或每一类) 地物所做的定义和空间关系描述; “等级体系”则是从不同空间尺度上, 对单个地物组合成的地理综合体的类型和区域单元的不同等级进行描述; 而在地理含义和等级体系两方面的描述中, 又都渗透着“结构特征”知识。换言之, 对地物所做的定义和对地物间相互关系的描述是沿着从高到低的层次进行的, 先从总体上概括性地描述高等级类型和区域的主题、空间和时间特征, 然后逐级细化, 一步步对较低级的和较详细的地物类型等级和区域单元在主题、空间、时间三方面的特征进行描述。

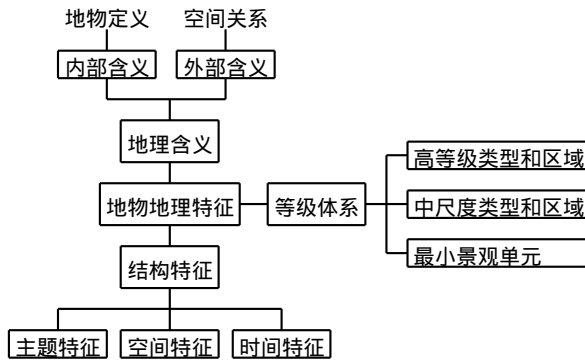


图2 地物地理特征三个方面

Fig 2 Three Aspects of Geographic- Feature of Geo- objects

从知识类型上讲, 地物地理特征的描述性知识主要属于几何性知识和结构性知识两种。本文把这种知识表达成“对象- 类”知识。首先, 把地理客体表达成四类对象: 一是“实体”(entity), 存在于真实的地理世界中; 二是“对象”(object), 存在于数字世界中; 三是“符号”(symbol), 存在于制图世界中; 四是“要素”(feature), 是对实体、对象、符号三者的综合表达。这四类对象也可称为地物的“高级类”或“超类”(hyperclasses)。如果把这些类适当地链接起来, 那么制图综合知识规则就可以先应用于某一个超类中, 然后把概括结果传递到其它超类中。例如, Douglas-Peucker 算法处理的是数字环境中的“链”(线串)和“条带”(带宽控制)两类“对象”; 当绘出概括后的曲线时, 便转换到了制图范围内的“符号”类。其次, 把地物定义成上述四种超类下属的类(classes)和子类(subclasses), 确定每类(子类)中的成员(members)、各类(子类)之间的关系、与各类相联系的变量, 以及可对这些地物类实施的操作(operations)。这样做的实质就是用模型化、系统化的方法描述制图综合中所涉及到的地理客体, 为进一步组织、管理和处理这些实体提供了条件。

4.2.2 用于 GGEN 过程识别（操作项选择）的知识规则

用于 GGEN 的过程识别的知识规则的作用，是判断应该对地物对象实施怎样的制图综合处理。首先这种知识推理和判断应有一定的标准，其次才能对不同操作项制定知识规则。过程识别的标准分为“图形显示限制”、“地物地理特征的保持”、“地图或数据应用的要求”和“操作过程特征”四个方面（见图 3）。其中操作过程特征的三项标准是在其它三个方面标准应用的基础上使用的，它对整个操作过程起到系统化、流程化管理的作用。例如，“取舍”操作项的优先级应该高于其它所有的操作项，即在整个过程的初始阶段，只有取舍项能被激活；当地物被选取和删除之后，其它概括项才能运行。

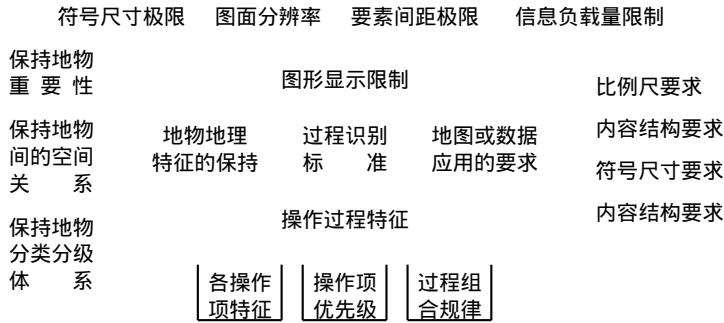


图3 过程识别的标准  
Fig 3 Criteria of Course Recognition

上述四方面过程识别标准是互相影响的。当不同标准之间出现冲突时，应该设定优先级来解决。

制图综合的过程识别知识规则分成三种，它们反映了制图综合的三个子过程，即减少对象数目、简化空间内容、简化属性内容。每个子过程都需要根据上述标准判断并确定一系列具体操作。

“减少对象数目”主要是指在数据库中选取或删除部分地物对象。按“图形显示限制”和“应用要求”两项标准判断是否选取或删除对象是较普遍的情况。前者限定了什么信息能够被正确地显示，后者则限定符号的宽度、面积、长度、符号间距等指标。当地物符号超出上述限制时，就需采取相应的概括措施，即删除那些太小、太短的对象，或合并那些间距太窄、太近的图斑即用一个整体符号代替分散的小符号。当然，也存在按照“保持地理特征”标准判定减少对象数目的操作项，例如当对图形对象的拓扑关系进行概括时，如果仅仅删除某些节点或某段“链”，则整个图形的拓扑关系就会受到破坏，因此由具有拓扑关系的多边形组成的区域要么被整体删除，要么被整体保留并转换成另一种图形。

“简化空间内容”的过程通常有两种操作，一是线划光滑处理，二是图形“退化”处理。前者就是常规制图综合中的线状要素的形状简化，后者则属于重新符号化的一种。与“减少对象数目”中的判断相似，“图形显示限制”标准确定符号的面积、宽度、弯曲的半径和符号间距等指标。“保持地理特征”标准强调对某些特征地物细节的保留。例如保持建筑物拐角平面图形的直角形态，保持道路穿过城市的拓扑关系等。“应用要求”标准则在上述两个标准的基础上提出一些特殊的地物细节表达要求，但当此项标准与上述两个标准有冲突时，以这两个标准为准。

“简化属性内容”的过程主要是类型的概括和数量分级的简化。从理论上讲, 这种操作只修改对象的属性值, 而不会影响到对象的数量和空间内容。此时的判断标准主要是“应用要求”, 其次也有“图形显示限制”标准, 如符号种类序列、图上的颜色数量、灰阶数量或面状图案数量等, 因为这些控制了图上分类和分级数量。

#### 4.2.3 用于数学模型(算法)选择的知识规则

紧接着“过程识别”的步骤是“过程模型化”, 其中为操作项选择适当的数学模型(或算法)是过程模型化的关键成分。从直观意义上看, 它取决于不同数学模型或算法本身的特性, 如各算法适宜处理的数据类型, 对数据的处理方式, 对不同图面情形的适应能力, 等等。然而选择算法的最根本的原则还是地物本身的结构特征。这里以图形简化操作中的算法选择为例, 从三个角度作一说明。首先, 根据算法对数据处理的方式和要求来看, 如果光滑处理只是按照计算出的比例来去除曲线上的一定数量的点, 则应选择 Topfer 的方根模型; 如果光滑处理的作法是按照一定的阈值保留曲线的骨架点, 则最好采用 Douglas-Peucker 算法; 而上述两种算法都有缺陷, 应将二者结合起来。其次, 从被处理对象的特征来看, 如果被处理的是连续变化的面状地物或现象(即用等值线表示的地物现象), 且处理途径是全局性的而不是从单个点或线条入手, 则应采用趋势面拟合筛选法; 如果被处理的线状地物具有自相似性, 则可采用分形-分维方法; 如果被处理的线状要素联结成网络形态, 则可采用拓扑分析法。最后, 从被处理对象的数据结构角度来看, 如被处理对象是以栅格数据存储的, 则应采用面向栅格数据的算法, 如果被处理对象是矢量数据, 则应采用面向矢量数据的算法。

#### 4.2.4 面向地理要素的制图综合知识规则

面向地理要素的制图综合, 就是在通用制图综合模型和知识规则方法的基础上, 针对每类不同的地理要素制定概括方案, 采用不同的综合策略和方法。笔者在实践中总结了海湾、道路、桥梁、城市区段、湖泊和水库、林地等几种地物的制图综合知识规则。这些规则中都涉及到“地物重要性”参数。本文用“肯定度系数”来模拟该参数。肯定度系数的取值范围是 0~1, 它在推理规则中描述地物“事件”出现的概率大小。这样, 地理要素的重要性可表达为: 肯定度系数为 0 的地物, 其重要性系数为 0, 它在地图上是不应该表示的; 肯定度系数为 1 的地物, 其重要性系数也是 1, 它在任何情况下都应该出现在地图上。对于重要性系数在 0~1 之间其它值的地物, 则还应该结合其它指标和规则来综合判断。肯定度系数的确定一方面根据地物本身特征, 如几何尺寸、面积、深度、质地、结构属性等, 另一方面则是根据该地物与其它地物的相互关系。

#### 4.2.5 面向我国典型地理区域的制图综合知识规则

上述各节所述均为通用型知识规则, 然而对于典型地理区域, 除遵循一般规律和知识规则外, 还应总结出适应其区域特殊性的制图综合知识规则。这种在共性原则指导下的个性处理也是更高层次的制图综合的要求。

本节选定了七个典型地理区域, 它们是: 东南部丘陵地区、四川盆地、黄土高原、江浙水网地区、石灰岩地区、高山地区、干旱地区。对每个地区的水系、地貌、居民地和道路四项地理要素的制图综合规则进行总结。规则所涉及的都是能够形式化的指标。每条规则分三部分: 首先是地理特征的描述(如水网形态特征等), 其次是操作项的选择, 最后是给定概括操作时的参数。限于篇幅, 这里不详细说明。

## 参 考 文 献

- 1 Buttenfield and McMaster. Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, London: Longman, 1991.
- 2 特普费尔 制图综合 江安宁译 范小林 李道义校 测绘出版社, 1982
- 3 Vicars D W, Robinson G J. 用专家系统的技术实施地图的制图综合 王永宁译 地图, 1989, 3
- 4 齐清文, 刘岳 非连续分布面状地理现象的图形自动概括方法 地理研究, 1996, 5(1).
- 5 郭庆胜 地理信息系统中地图智能综合的试验 '94 全国 GIS 年会论文集
- 6 Zhan, B. Butterfield Object-oriented Knowledge-based symbol selection for visualizing statistical information Int Journal of GIS, 1995, 9(3).
- 7 Muller Theoretical considerations for automated map generalization ITC Journal, 1989, 3
- 8 Keller S F. On the use of case-based reasoning in generalization Advances in GIS Research: Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling, edited by T. C. Waugh and R. G. Healey, Published by Taylor & Francis, 1994
- 9 Muller J C. Building knowledge tanks for rule-based generalization ITC Journal, 1991, 3 138~ 143
- 10 Goffredo, Stefana Knowledge-based system for automatic Generalization of satellite-derived thematic maps, proceedings of 17th ICA conference, 1996, Barcelona, 1995

## A STUDY ON THE METHOD OF INTELLIGENT GENERALIZATION IN GIS ENVIRONMENT

Q i Q ingwen

("3S" Center of Civil Engineering Department,  
Tsinghua University, Beijing 100084)

Pan Anmin

(College of Economic Management,  
Hunan Normal University, Changsha 410081)

### Abstract

The study on automated cartographic generalization has little breakthrough due to the lack of depth of generalization knowledge gained nowadays. This paper expounded the methods of intelligent generalization in GIS environment. The key points were: 1) combining knowledge inference with mathematical models; 2) using geographic-characteristics-oriented mechanism in generalization knowledge, including the knowledge rules orienting to geographic features, to geographic object-classes, and to specific geographic regions. In this paper, the authors' strategy of realizing intelligent generalization in GIS environment was related at first. And then followed the flow-chart of math-model process driven by knowledge inference, as well as the structure of generalization expert knowledge base. Finally, various geographic-characteristic-oriented knowledge rules were described.

### 作 者 简 介

齐清文, 男, 1963 年生, 1981- 1988 就读于陕西师大地理系, 先后获地理专业学士和地图学与遥感专业硕士学位, 1988 年 7 月至 1993 年 8 月在湖南师大地理系任教, 1996 年获中国科学院地理研究所理学博士学位, 1996 年~ 1998 年在清华大学土木系“3S”中心进行博士后研究工作, 1998 年 1 月起兼任中国科学院地理研究所地图室主任。主要从事地图学理论和方法、地理信息系统的理论和应用、专题地图制图自动化的研究。先后在国内外学术刊物和学术会议上发表 20 余篇论文。