

多尺度空间数据库建立中的关键技术与对策

艾廷华

(武汉大学资源与环境科学学院, 教授、博士生导师 武汉 430072)

〔摘要〕 多尺度空间数据表达及数据库建立具有广阔的应用前景,在流媒体网络数据传输、自适应动态可视化、空间认知导航、互操作尺度匹配多个领域都有重要作用,但实现该技术面临着数据存储量大、操作响应慢、横向空间一致关系难以维护、尺度变化难以达到真正的连续性等诸多问题。针对这些问题提出了实现多尺度空间数据表达的4种技术策略:多级尺度显式存储、初级尺度变化累积、关键尺度函数演变和初级尺度自动综合;其中,结合算法实例重点讨论的初级尺度变化累积模型,借鉴了视频数据压缩的思想,是本研究领域的一种新方法。

〔关键词〕 空间数据库 空间数据综合 网络 GIS 流媒体传输

〔中图分类号〕 K9 P23

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2004)12-0004-05

KEY TECHNOLOGIES AND STRATEGIES IN THE DEVELOPMENT OF MULTI-SCALE SPATIAL DATABASE

AI Ting-hua

(School of Resource and Environment Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Multi-scale representation and multi-scale spatial database play an important role in such fields as the transmission of streaming media data over the web, the self-adaptable visualization of spatial information, the navigation in spatial cognition, the scale match during inter-operation and other applications. Realizing this technology has to resolve the questions including the large data volume, the slow response, the conflicts between data representations and the steep change in scale range. This study aims at the questions above presenting four strategies: storing data of multi-scale versions, accumulating changes based on the initial version, transferring between key state versions and generalizing to derive any version based on the initial state. Among four strategies, the changes accumulation model has been attached importance to be a new method which borrows the ideas from the technology of video data compress.

Key Words: spatial database, spatial data generalization, web GIS, streaming media transmission

CLC Numbers: K9 P23

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2004)12-0004-05

1 前言

对同一区域不同尺度、不同分辨率表达的空间数据进行匹配与集成,是空间数据库融合技术中的一个重要内容。“尺度”概念被认为是空间数据表达的一个重要特征,从认知科学的观点,它体现了人们对空间事物、空间现象认知的深度与广度。一般意义上的地学领域的“尺度”是指研究对象的空间域上延展范围或时间域上的覆盖区间,而地图学与地理信息系统中的“尺度”为“比例尺”所取代,定义为表达空间(地图图面或GIS空间数据库)中的长度与实际地理空间长度的比率。在“表达长度”、“实际长度”、“比例尺”3个基本量中,认知表达空间的“表达长度”是固定的(传统技术的不同比例尺下的序列地形图图幅范围均为50cm*cm左右,计算机显示屏是固定的),这样“空间尺度”与“比例尺”的关系变为分母与商的关系,即大尺度对应小比例尺、小尺度对应大比例尺。数字技术环境下,中文文献对scale的翻

译目前越来越多地用“尺度”概念代替“比例尺”,实质是一致的,只不过数量意义上的变化趋势正好相反。

空间的表达是为认知服务的,认知的水准与能力是需要考虑的因素。大尺度下的空间包容较多的地理目标、较复杂的地理现象,受空间表达能力和认知能力的限制(如地图的“载负量”、肉眼的辨析力、栅格数据结构表达的“粒度”、矢量数据结构坐标表达的定位精度,等等),只有重要的突出的地理目标才得以表达。而对于小尺度空间,一般性的目标都可以表达。因此,空间尺度的广度与认识的分辨率是紧密相关的。

这样,“尺度”、“比例尺”、“分辨率”3个概念密切相关,在某种意义上讲,在数据库技术中,“多尺度”、“多比例尺”、“多分辨率”是等同的。

在数字技术、网络传输、多媒体可视化等技术条件下,人们不再满足于静态、单一分辨率的空间表达,提出了从多角度、多视点、多层次对空间认知表达的要求,这是IT行业

收稿日期:2004-09-09。

作者简介:艾廷华,男,1969~,武汉市珞珈山武汉大学资源与环境科学学院(430072),主要从事空间分析与数据挖掘、移动GIS方面的研究,E-mail: tinghua_ai@tom.com。

日益兴起的“以人为本”、“个性化”、“自适应”条件的表现。作为一种视觉化 IT 产品, GIS 应当为用户提供“连续”、“无级变焦”式可视化功能,即具有多尺度、多分辨率的空间表达与功能应用。观察越深,获得的信息就越多、越详细;观察的视点越远,获得的范围越广,获得的信息越概略。选择怎样的空间表达尺度不是预先在服务器固定好的,而是不同终端用户根据其个性化的要求,由服务器/终端机制提供自适应的表达尺度。为满足这一需求,建立多尺度空间数据库、提供多尺度空间表达机制,成为当前 GIS 理论研究和工程建设中的一个热点问题。

本文针对这一热点问题,对多尺度空间数据库建设中的关键技术进行讨论,并提出相应对策。

2 多尺度空间数据库的作用

空间数据库的服务功能呈多元化趋势,从而使得“多尺度”机制相应地产生多种功能作用,对其区别分析,可以有针对性地建立多尺度技术策略。空间数据库的作用体现在以下几个方面。

2.1 在空间认知中辅助从粗到细的信息导航

人们对空间现象的认知表现为从总体到局部、从概略到细微、从重要到次要的层次顺序,在传统地图技术表达中,通常通过概略图、区位图、索引图等方式配于主地图内容实现地物目标的搜索和空间信息的查询。多尺度空间数据库表达了同一区域多分辨率下的空间信息内容,通过比例尺的类似于光学系统的“变焦”调节,可以展示从大范围主体信息内容到局部区域细微信息内容的动态表达,从而引导用户对该区域的认识,进行信息导航,辅助用户截取其感兴趣的局部区域,并沿着该路径深入到细节内容。对于空间信息导航,传统地图技术中由概略图到主图有大幅度的比例尺跨越,会产生两者难以对应的认识难度,而多尺度空间数据库的比例尺调节接近于连续式变化,没有大的跳跃,较好地满足了思维连续性的要求。

2.2 在网络传输中支持“流媒体”、“渐进式”的新型数据传输

多尺度空间数据库可改变网络环境中的数据传输方式,实现跨尺度变化中的逐步精细化的数据叠加传输,这是一种新型的数据传输方式,不是将研究区域的图形数据从北到南、从西到东完整地服务器传输到终端,而是经过多次扫描整个区域,按流媒体方式将数据叠加传输。目前这种方式在图像数据、栅格数据、TIN 结构数据的网络传输、网络数据下载中采用 LOD 技术已普遍实现,视觉上表现为图像效果由模糊逐渐变清晰。建立多尺度空间数据库后,可以将这一方式推广到以矢量数据为主的 GIS 数据传输中,按照信息内容的层次性建立顾及尺度影响的新型的空间索引,在多尺度框架下在服务器端建立层次化数据组织,实现从主体到细节化的渐进式传输。这种渐进式的传输方式可介入用户的互动操作、满足用户的自适应条件、节省传输时间、提高传输效率,有的用户可能只需了解区域的大致信息内容,在获得其符合要求的内容后可随时停止传输,避免全部数据传输而浪费时间。

2.3 在可视化方式中实现用户自适应的动态可视化

在 GIS 数据可视化中的放大、缩小(zoom in / out)是为从不同层次深度获得空间信息的视觉化,在单一尺度的

空间数据库支持下,放大、缩小可得到图形符号化的不同形式,但并没有增加/减少信息内容,比如,到一定比例尺后进一步放大只能得到符号、文字占满整个屏幕的肥大的线划、笔划、马赛克效果等。在新技术条件下,人们不再满足于静态、单一分辨率的空间可视化,提出了从多角度、多视点、多层次对空间可视化表达的要求。在多尺度空间数据库支持下,可根据屏幕当前可视化比例尺,动态地选择对应的尺度内容进行显示,获得适宜的可视化效果。可视化方式有两种。一是对同一研究区域动态地展示多种尺度下的显示版本,但同一版本不同位置显示的比例尺是相同的。二是同一版本下不同位置显示的比例尺不同。前者类似于用多面具有不同反射能力(可理解为可视化内容的多少)的平面镜来观察区域,后者类似于用凸凹不平的“哈哈镜”来观察区域,在同一窗口下有的区域放大,有的区域缩小。“哈哈镜”可视化方式在诸如汽车导航中十分有用,在汽车到达的道路交叉口及邻近区域希望用“凸透镜”来突出显示细节,而对远的区域希望见到由“凹透镜”显示的主体信息内容(该可视化空间已不是欧式空间,几何度量要建立橡皮刻度尺)。

2.4 在数据、系统集成中实现横向一致性匹配及便捷的互操作

不同来源、不同时间、不同精度的空间数据集成与融合,是 GIS 工程应用中的突出问题,其中语义特征的匹配和尺度特征的匹配是两大关键技术。无疑,多尺度空间数据库的建立增强了不同数据集成匹配的能力,可以实时地将不同尺度的数据调整为一致,或通过临时输出不同版本的数据使得其尺度达到一致或接近,为不同系统间的数据互操作提供条件。

3 多尺度空间数据库建立需解决的关键问题

多尺度空间数据库可认为是数据表达在空间域上多层次版本的集成,这种表达与视频技术的图形图像表达在时间域上的多版本集成非常相似,只不过前者变化的条件是空间轴,后者为时间轴。视频技术的目标是通过小数据量实现逼真、清晰的动画效果,该技术领域研究的一个关键问题就是解决高保真数据压缩。类似地,多尺度空间数据库也面临着同样的问题需要解决,一方面要获得连续的尺度表达效果,另一方面又不能让数据量无限增大。具体地说,多尺度空间数据库的建立面临着以下几个关键技术问题。

3.1 比例尺变化粒度适宜

首先是数据库的多尺度表达“多”到什么程度,即在比例尺变化轴上如何划分多小的“刻度”或“粒度”,类似于视频技术中 1 秒钟存储多少“帧”的确定。比例尺变化粒度划分太大,是离散的跳跃式表达,不能获得连续的效果;比例尺变化粒度划分太小,无疑会大大增加数据量。因此,当比例尺发生微小变化 $d(s)$ 时,数据表达在什么层次上发生变化是首先要解决的问题。显然,多尺度空间数据库不可能也没有必要存储无限小粒度的数据表达,比例尺的变化是离散的、跳跃的,但划分的粒度应针对应用需求是合适的。

GIS 数据可看作是在 3 个水平上的层次结构:要素层、目标层、几何细节层。要素是具有相同语义特征的目标集;目标是具有独立地理意义的表达实体,是构成要素的基本单位;几何细节是几何表达上的划分的结构体,是构成目标的基本单位,如构成河流目标的“弯曲”特征,构成面状目

标的三角形剖分单元。当比例尺发生一步变化时,数据表达发生变化的主体对象可以有3个层次:要素层、目标和几何细节,分别对应不同的变化粒度。在要素层上划分粒度过于粗糙,而且不同要素层之间难以根据重要性差距进行排序(除非考虑专业化的特殊要求)。在某一要素层下,目标可根据表达的重要性进行排序,与表达尺度建立函数关系,在地图综合技术中通过“选取”算子实现,当尺度变化到某一刻时,够资格的目标便显示出来,变化的对象以完整的目标图形出现或消失;更细小的粒度划分则是在“几何细节”层次上,随着比例尺的变化,目标的几何细节有逐步演变的过程,接近于连续式的变化。

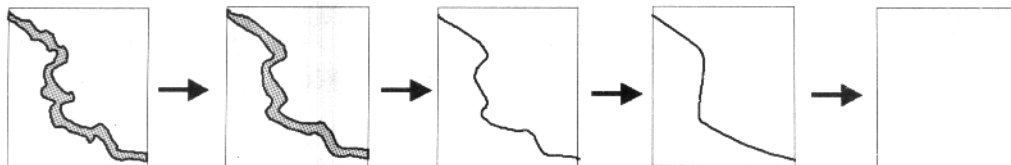


图1 河流的表达随着尺度的变化依次出现多边形形状化简(量变)、中轴化(质变)、曲线化简(量变)、删除(质变)

在建立多尺度空间数据库时,如何划分合适的比例尺变化粒度取决于应用过程中感兴趣信息内容的层次结构。比如,用户感兴趣的是河流流域的网络结构,划分的粒度达到河流目标层即可,没有必要将河流的弯曲演变出来,如果用户感兴趣的是河流的分布,则要深入到弯曲层次,逐步地将河流的曲线表达由概略到详细的过程演变出来,如图1所示。总体上,对比例尺变化粒度的划分应掌握如下原则:发生变化的对象层次比感兴趣的信息内容的层次低一级。

3.2 数据容量最小化

与单一尺度的空间数据库相比,多尺度空间数据库无疑会大大增加数据量,采取必要的技术手段降低数据容量成为需要解决的关键问题之一。在视频技术中,数据压缩一直是研究的热门课题,受视频压缩技术常用方法的启发,多尺度空间数据库的数据量压缩可以采取以下技术策略:(1)只存储变化的数据部分,取代完整的数据存储;(2)识别关键变化部分,过滤无关紧要的细小变化;(3)通过几何图形渐变函数导出新尺度下的数据表达。

3.3 操作响应速度实时

网络传输环境 服务器/终端机制下实现多尺度表达的操作有两种:“在线式操作”和“脱线式操作”。在服务器端进行预处理(相邻尺度表达间的变化提取、关键变化部分的识别),获得多尺度表达的粗数据,在终端进行实时处理完成粗数据基础上的精细化多尺度表达(基于关键尺度表达的函数实时内插)。两种操作相互依存,过多的“脱线式操作”对多尺度表达准备得越充分,显式记录处理好的数据,可减轻终端“在线式处理”的负担,但增加了数据的容量。相反,较少的服务器端“脱线式处理”满足了数据量减少的要求,但增加了“在线式”实时处理的负担,从而导致响应速度慢的弊端。这一矛盾如何协调取决于两种操作的有效性,如采用基于Morphing函数内插生成中间尺度的数据表达。若形变函数复杂、占用时间长,不能达到实时化效果,就要放弃该技术;而采用由预处理显式记录多种尺度版本下的数据表达,终端应用时直接下载处理好的数据,以达到快速响应的目的。最终实现数据量小、操作响应实时,则需要寻求高

度自动化的快速地图综合技术,在较少已知数据上,导出不同尺度下新的表达。

3.4 横向数据表达一致

多尺度空间数据库通过用户视图输出一定的数据集(或实时生成导出)得到一定尺度下的数据表达,在横向上,该尺度所对应的数据在空间关系特别是拓扑关系上是否一致是需要重点研究的问题,需要采用后处理的方法来调整破坏了的空间关系一致性。在多尺度表达中产生不一致的原因在于新尺度下导出的目标表达未能考虑上下文的影响,而且新尺度下的目标组合不是数据预处理可预见到的,由用户实时处理临时组合,不可避免会产生空间冲突。例如,

在小比例尺条件下河流要简化表达为曲线,与大比例尺条件下的双线河表达相比,原来的河流多边形与土地利用多边形间的相切吻合关系被破坏,两目标间产生裂隙,这时需通过后处理由土地利用多边形扩展来

修正吻合关系。

4 4种技术策略

上述讨论的关于多尺度空间数据库建立的技术需求,很难同时满足,有些本身之间就是矛盾的。比如,要达到应用时的实时化需要预处理充分,将结果以多种尺度版本显式存储,这必然增加数据量。采用什么样的策略来实现空间数据的多尺度表达及数据库的建立,并达到尺度变化的“粒度”精细、数据冗余最小、操作响应速度实时等优化约束条件,面临着大量理论问题及工程技术问题需要解决。本节从数据组织角度针对数据量压缩和尺度变化粒度精细(在几何细节层次上变化),归纳出4种实施多尺度表达的策略,并重点研究其中的两种:“变化累积模型”与“Morphing演变模型”。

在尺度变化空间,与尺度 s 对应的表达为 $f(s)$,由尺度 s_i 到 s_{i+1} 的表达变化为 $\Delta f=f(s_{i+1})-f(s_i)$ 。这里以数据库的存储内容为考察对象,则实现多尺度表达的技术策略及其数据集可总结为以下4种:

- (1)多级尺度显式存储型, $\{f(s_0), f(s_1), f(s_2), \dots, f(s_i), \dots\}$;
- (2)初级尺度变化累积型, $\{f(s_0), \Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3, \Delta f_4, \dots\}$;
- (3)关键尺度函数演变型, $\{f(s_{k0}), f(s_{k1}), f(s_{k3}), \dots\}$,其中 s_{ki} 为关键尺度;
- (4)初级尺度自动综合型, $\{f(s_0)\}$ 。

以上4种策略,从(1)到(4)自动化程度逐步提高,其中(1)和(4)是两种极端状态。(1)对各个尺度建立对应的数据表达并显式存储,存储的内容为脱线式操作预处理好的结果,应用时提取某尺度对应的数据集即可,只是一个数据读取调用的操作,但数据冗余最大、尺度变化离散(不是真正的连续性尺度变化)。这是目前在实际应用中普遍采用的方法,将同一区域的数据独立地建立多套比例尺数据库,技术完备一点的还在不同比例尺下目标表达间通过目标匹配建立对应关系。(4)只存储初级尺度下的数据,由全自动化综合技术在初级尺度数据基础上,实时综合输出任意尺度的数据表达,数据冗余最小,且全部由在线式操作实时产生新

尺度数据,是一种理想状态。众所周知,全自动化综合是地图学与 GIS 领域瓶颈问题,目前地图综合研究所取得的成果距全自动会还相距甚远,因此这种策略在目前技术水平下没有实际意义。(1)和(4)这两种策略在空间数据库框架下研究的意义不大。在目前完全自动化技术还没实现,实际应用又很迫切,而且要满足多尺度表达的几个约束条件(数据冗余小、尺度变化精细、操作响应快等)下,策略(2)和(3)是比较实际的解决方案。(2)和(3)两种策略的思想来源于视频数据的压缩。视频数据以“帧”为基本存储单位,其序列构成了时间尺度上的变化过程,而这里空间表达 $f(s)$ 可看作是空间尺度上的变化过程,两者在很大程度上是相似的。为减少数据冗余,视频数据的压缩采用了以下一些方法,如:以变化数据存储取代完全版本的每帧影像存储;基于关键状态由图形变换 Morphing 内插中间连续状态。受这些思想方法的启迪,我们提出(2)和(3)技术策略,下面结合实例详细讨论。

4.1 初级尺度变化累积模型

在尺度空间 $\{s_0, s_1, s_2, \dots, s_i, s_{i+1}, \dots\}$, 相邻尺度间的变化 $\Delta f = f(s_{i+1}) - f(s_i)$, 则通过递推关系,可计算出任意尺度 s_i 下的表达式为:

$$f(s_i) = f(s_0) + \Delta f_1 + \Delta f_2 + \dots + \Delta f_i$$

该公式表明任意尺度下的表达可通过变化的累积叠加来实现,因此把它称作“初级尺度变化累积模型”,这是顾及尺度特征的空间表达的新型数据模型。这里的初级尺度对应小比例尺、低分辨率下的粗糙表达状态。比例尺越大,累积的变化部分越多(上述表达式包含的项数越多),对目标的表达越完备、越真实。

该策略实现的关键技术包括:(1)相邻尺度表达间“变化”的提取;(2)“变化”组合的线性结构的建立;(3)“变化”绑定实现一定“粒度”的划分(该绑定过程相当于在上述表达式中合适位置加括号);(4)“变化”累积后真实表达的恢复。根据尺度变化粒度划分的层次,变化的内容可以是目标实体,也可以是几何细节单元。基于目标实体的变化累积,实际例子中有基于 Horton 编码对水系流域的各河流目标分级,按比例尺建立线性索引,实现流域网络结构的多尺度表达。在地图综合算法现有成果中,基于层次结构的目标表达如 GAP-tree,可以直接支持变化累积模型的建立。实现基于目标实体的变化累积模型相对要简单一些,但变化的粒度太粗糙,基于几何细节的变化累积要“细腻”,关键是寻找有效的在尺度特征影响下目标与几何细节间的层

次分解与组合,分解的基本单元可看作是前一个尺度向下一个尺度的变化部分。作为应用实例,这里提出多边形目标的基于变化累积模型的多尺度表达。

对面状目标的拟合表达可以用凸壳多边形,但凸壳将原多边形的凹部区域也包围进来,如果原多边形的凸度很小,则拟合的精度很差,这时需要对凹部区域进行凸壳剔除,当多余部分被剔除后,再进行凸壳分解,这样反复下去直到剖分的多边形为凸多边形,得到多边形的多层次凸壳分解结果,并用树结构来记录。具体的算法见文献(Ai, Li and Liu, 2004)。图 2 是一个简单的多边形凸壳分解示例,对树遍历得到如下的线性组合:

$$f(s) = h_0 - h_1 - h_2 - h_3 + h_{11} + h_{12} + h_{13} + h_{14} + h_{31} - h_{121}$$

式中的负号表示对应的凸壳在目标表达中取负作用,要剔除该凸壳对应区域,正号则是添加该凸壳区域,正负号在层次树中交替出现。图 3 是一复杂多边形分解为凸壳的结构图以及在多尺度表达中的应用。如果将凸壳换成矩形,则得到多边形的外接矩形 MBR 的层次化分解,可用于具有垂直正交性质的建筑物多边形的多尺度表达。图 4 为 1 个应用实例。

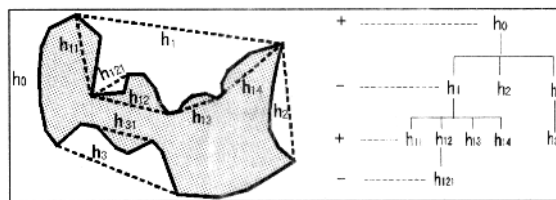


图 2 多边形的层次化凸壳分解及树结构表达

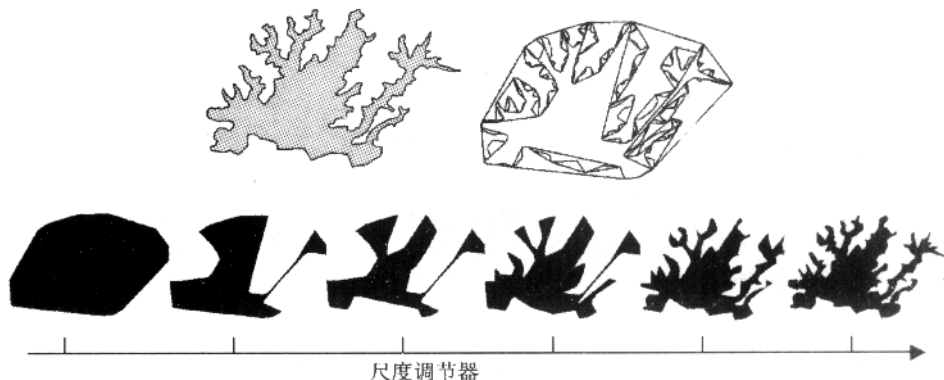


图 3 复杂多边形的凸壳层次化分解及在多尺度表达中的应用示例

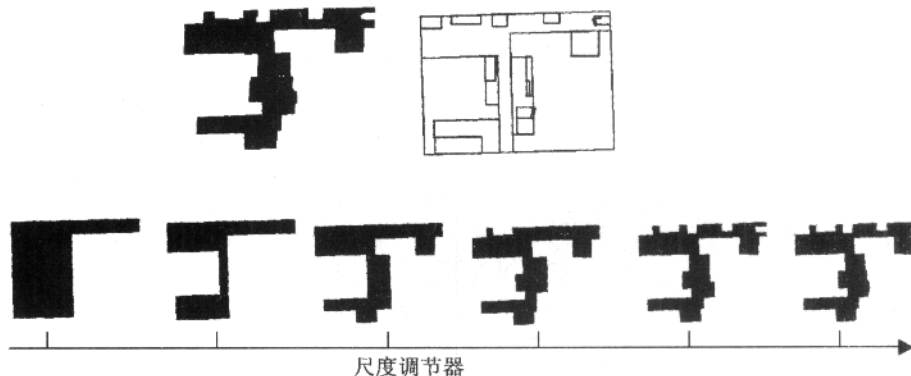


图 4 建筑物多边形的外接矩形 MBR 的层次化分解及在多尺度表达中的应用示例

4.2 关键尺度 Morphing 变换模型

在 Flash 设计、CG 动画设计中,基于关键图形状态由图形渐变函数内插生成连续的中间图形状态得到动画效果。在多尺度空间数据表达中,也可以采用类似的技术,找出两关键尺度 s_0 与 s_1 ,然后通过渐变函数 Morphing 导出 $[s_{ki}, s_{kj}]$ 之间的任意尺度 s_x 下的数据表达:

$$f(s_x) = \text{Morphing}(f(s_{ki}), f(s_{kj})), s_x \in [s_{ki}, s_{kj}]$$

图 5 为曲线多尺度表达由 Morphing() 函数实现的示例。这里的图形渐变函数 Morphing() 可从计算机图形学中获得,但要顾及多尺度空间数据表达的专业要求,变化的步数、变化的速度、控制因素应与地图综合条件联系起来,比如语义特征产生的影响,要求对具有某种语义的目标夸大表示,在函数中通过加权来体现。Morphing() 函数的执行也可以看作是一个地图综合、图形抽象化的过程,常规的地图综合算法完成大比例尺向小比例尺变化后的输出结果,已知条件只有一端,即大比例尺图形状态,而 Morphing() 变换的已知条件(控制状态)是两端,综合的程度在两端控制下不至于偏离太远。该模型实施的几个关键技术包括:(1)数据表达的关键尺度的确立;(2)相邻关键尺度上的目标匹配;(3)Morphing 函数的建立。

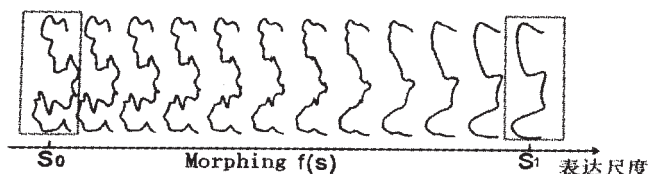


图 5 在两端尺度控制下的 Morphing 渐变完成曲线的多尺度表达

5 结语

本文围绕多尺度空间数据库的建立,详细讨论了多尺度空间数据表达的作用、关键技术需求。受视频数据高保真压缩方法的启迪,本研究提出了 4 种技术策略来实现多尺度空间数据库的建立,分别是多级尺度显式存储型、初级尺度变化累积型、关键尺度函数演变型和初级尺度自动综合型,重点研究了基于初级尺度的变化累积模型。

多尺度空间数据库的建立与地图综合技术密切相关,在网络传输、多源数据集成、系统互操作背景下,空间数据多尺度表达向传统的地图综合技术提出了更高的要求。传统的地图综合目标主要针对小比例尺地图的缩编生产,与多种应用功能的空间数据库结合后,地图综合在数据渐进式传输、自适应可视化、认知信息导航、互操作中尺度匹配多个应用领域都要发挥作用,因此提出了更多需要研究的理论、技术问题。网络环境下完成多尺度表达存在两种综合操作:脱线式综合与在线式综合,过多的脱线式综合预处理可提高多尺度数据操作的响应速度,但减少了数据的用户适应性,增加了数据量;过多的在线式综合实时处理正好是相反的效果。“地图综合”一直被认为是一个世界性的难题,尽管目前在理论、技术上取得了不少成果,但距完全自动化

还相距甚远,在这种背景下,将脱机预处理与在线实时处理结合,纳入人机协同作业机制不失为一种现实的解决方案。

在计算机图形学、CAD、动画技术中一些相关的思想方法可以借用空间数据多尺度表达中,但要结合空间数据本身的特征及应用需求作针对性的改进,比如三维构形的 LOD 技术、动画实现的 Morphing 算法、视频数据的压缩算法等。

参考文献 (References)

- [1] 高俊. 地图学四面体——数字化时代地图学的诠释[J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 6~11
- [2] Ai T, Li Z, Liu Y. Progressive transmission of vector data based on changes accumulation model [C]. Proceedings of the 11th International Symposium on Spatial Data Handling, Leicester, UK, Springer-Verlag, Berlin 2004. 85~96. <http://www.geog.le.ac.uk/sdh2004/proceedings>
- [3] Ai T, Oosterom P van. GAP-tree Extensions Based on Skeletons [C]. In: Richardson D, Oosterom P van(eds). Advances in Spatial Data Handling, Springer-Verlag, Berlin, 2002. 501~514
- [4] Bertolotto M, Egenhofer, M. Progressive Transmission of Vector Map Data over the World Wide Web [J]. GeoInformatica, 2001, 5 (4): 345~373
- [5] Buttenfield B P. Transmitting Vector Geospatial Data across the Internet [C]. Egenhofer M J, Mark D M (eds.). Proceedings GIScience 2002. Berlin: Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, 2002, 2 478: 51~64
- [6] Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Line or Its Caricature [J]. The Canadian Cartographer, 1973, 10(2): 112~122
- [7] Han H, Tao V, Wu H. Progressive Vector Data Transmission[C]. Proceedings of 6th AGILE, Lyon, France, 2003
- [8] Jiang B, Ormeling F J. Cybermap: the map for cyberspace [J]. Cartographic Journal, 1997, 34 (2): 111~116
- [9] Oosterom P Van. The GAP-tree, An Approach to On-the-Fly Map Generalization of An Area Partitioning [C]. In: Muller J C, Lagrange J P, Weibel R (eds) GIS and Generalization: Methodology and Practice. Taylor & Francis, London, 1995. 120~132
- [10] Rauschenbach U, Schumann H. Demand-driven Image Transmission with Levels of Detail and Regions of Interest [J]. Computers & Graphics, 1999, 23(6): 857~866
- [11] Preparata F P, Shamos M I. Computational Geometry An Introduction [D]. Springer-Verlag, 1985
- [12] Ruas A. Multiple Paradigms for Automating Map Generalization: Geometry, Topology, Hierarchical Partitioning and Local Triangulation [C]. ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition, 1995, 4: 69~78
- [13] Srinivas B S R, Ladner M, Azizoglu, Eve A Riskin. Progressive Transmission of Images using MAP Detection over Channels with Memory [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(4): 462~475

(责任编辑 肖庆山)

更正: 本刊 2004 年第 10 期第 34 页作者单位“浙江省政府研究室”有误,应为“中共浙江省委党校”,特此更正。

—编者—