

空间数据网络渐进传输的概念、关键技术与研究进展

杨必胜 李必军

(武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉大学交通研究中心,武汉 430079)

摘要 首先阐述空间数据网络渐进传输的概念、关键支撑技术以及意义。其次,总结了国内外相关研究的现状,分析了空间数据网络渐进传输研究方面的技术难点。最后结合目前国内该方面最新的研究成果对空间数据网络渐进传输的研究趋势做了进一步展望。

关键词 空间数据 多分辨率表达 压缩 渐进传输

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)06-1018-06

State-of-the-art of the Progressive Transmission of Spatial Data over the Internet

YANG Bi-sheng, Li Bi-jun

(Transportation Research Center, State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract This paper presents the concept, key techniques of the progressive transmission of spatial data over the Internet, summarizes the state-of-the-art of related studies, and comments on the latest research progress in the world. Finally, this paper concludes with an outlook and several key techniques of the progressive transmission of spatial data over the Internet.

Keywords progressive transmission, spatial data, compression, multiple representation

1 引言

随着信息技术的飞速发展,网络已经渗透到大众生活的方方面面。各种网络服务亦逐步走进普通百姓的生活。目前,商业界已开发出多样化的网络服务平台方便大众的查询与检索,如:Google Earth, Virtual Earth, Map ABC等,而且各种增值服务以及个性化的服务与网络服务平台的捆绑正逐步从松散型向密集型转变,如:动态出行信息的查询,路径规划,炫地图的生成等。空间数据是网络服务中不可缺少的一种重要资源,亦是各种服务的一种载体和定位参考。空间数据依附在网络上进行传输、表达

和发布是空间信息网络服务中几个重要环节。然而,有限的网络带宽和海量的空间数据构成了空间信息个性化网络服务的一大技术屏障,亦对网络环境下空间数据的个性化表达、在线(移动)制图、传输、检索与共享提出了新的挑战。显然,日益增长的以Gb为计量单位的空间数据量和当前有限的网络带宽(以Mb为计量单位)极大地限制了空间信息个性化网络服务的进一步推进。传统的数据传输模式是客户端首先向服务器端发出一个请求,一旦请求得到认可,服务器端数据开始传输。在数据传输的过程中,客户端直到数据下载完毕才能进行其他的操作。上述传输方式的不足之处在于响应时间长、传输模式单一,难以满足客户端设备和网络设备的

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA12Z212);自然科学基金项目(40871185);教育部科学技术研究重点项目(108085)

收稿日期:2008-12-03;改回日期:2009-03-09

第一作者简介:杨必胜(1974~),男,教授,博士生导师。主要研究方向为时空数据多尺度表达、分析与重建、激光雷达数据处理。
E-mail: bshyang@whu.edu.cn

多样化以及用户个人喜好差异的需求,迫切需要研发多样化的空间数据传输模式—网络渐进传输。

空间数据网络渐进传输根据数据量的大小、网络的传输速度以及显示的尺度动态确定最佳的空间数据分辨率,从而在较短的时间内向客户端分发低分辨率的空间数据。在客户端进行相关操作的同时,如:空间查询、空间分析及数据的可视化,客户端的数据会得到逐步丰富直到所有的数据下载完毕,而且在数据的下载过程中客户端可以随时中断或暂停传输。空间数据网络渐进传输的最大特点是缩短服务端的响应时间、提供个性化的传输方式。空间数据网络渐进传输方法不同于传统的数据压缩或解压缩方法。因为传统的数据压缩或解压缩方法对栅格数据是有效的,然而对于复杂的空间数据尤其是拓扑关系的一致性维护无能为力;它也不同于制图综合的方法,空间数据网络渐进传输方法能保持原始数据的完整性而且是自动的。自 Bertolotto 等人 2001 年首次提出空间数据网络渐进传输的概念框架以来^[1],该方面的研究已引起了国内外广泛的关注。本文遴选了国内目前在该领域的最新研究成果,并结合已结题的国家自然科学基金“空间数据的动态多分辨率网络传输关键技术研究”和正在进行的 863 计划课题“空间数据的多尺度压缩与网络渐进传输关键技术”的研究成果,全面地阐述国内外该领域的最新研究进展、关键技术以及研究趋势,供国内读者了解和追踪空间数据网络传输的最新动态。

2 相关的研究状况

2.1 基于 TIN/Grid 结构的空数据多分辨率表达与网络渐进传输

栅格结构(Grid)和三角网结构(TIN)是空间数据尤其是 DEM(digital elevation model)数据的主要表达方法。国内外大量的研究集中在利用影像处理的思想对 Grid 结构的空数据进行压缩。比较有代表性的研究成果有基于二叉树方法的压缩、基于小波的压缩和基于 JPEG 的压缩^[2-3]。亦有部分学者开发了基于三角形二分树的算法用于生成多分辨率格网 DEM^[4-5]。然而,上述方法在网络渐进传输的支持方面存在不足。TIN 模型多分辨率表达的研究重点集中在点删除法,三角形删除法,边删除法 3 大类^[6],以及层次三角网模型^[7]和基于小波理论

变换的方法^[8-9]。应用方面主要集中在地形可视化^[10-11]、3 维模型的网络传输与压缩^[12]等领域。De Floriani 1989 年首次提出了层次三角网模型用于构造多分辨率 TIN 模型^[7],此后 Heller, Soucy 和 Laurendeau, Voigtmann 等, Pedrini 相继对该模型的算法进行一系列改进^[13-16]。此类算法的不足之处是模型的精度很难控制而且容易产生狭长的三角形。点删除法是由 Schroeder 等人于 1992 年提出^[17]。此算法具有运行速度快的优点,但是对低分辨率的模型进行重建时,原始模型的拓扑关系容易改变。基于小波变换理论的方法在严格的理论基础对原始的模型进行分解,从而构造出低分辨率的模型和一系列细部的模型信息。在进行小波变换时需要生成大量的三角形来保持递分的连接性,因此,小波变换的结果可能不是最优的^[18]。另外一类备受关注的算法是基于边删除的方法。Hoppe, Garland 和 Heckbert, Xia 等人, El-Sana 和 Varsheny 分别对此类算法进行了研究^[18-22]。这些算法的本质差别在于对拟删除边的重要性进行排序。边删除的算法的优点是此类算法的结果本身就是一个层次结构的表达,该层次结构的有效存储与表达直接影响到算法的运行效率、正确拓扑关系的维护以及模型重建的正确性。值得一提的是韩国的 Park 教授的研究小组在 2001 年率先开发了网络环境下基于 TIN 结构的 DEM 的多分辨率传输,并取得了较高的压缩比^[12],然而该方法在响应时间方面存在一定的不足。作者在边删除算法的基础上,提出了一种动态的多分辨率三角网模型的生成和传输算法^[23-27]。该算法在以下几个方面取得了较好的进展:(1)多分辨率模型的生成效率;(2)多分辨率模型的存储与解码方法;(3)多分辨率模型拓扑关系的有效性检查;(4)多分辨率模型的特征保留以及模型的误差评定。

2.2 矢量地图数据的多分辨率表达与网络渐进传输

矢量地图数据的多尺度表达是提高网络渐进传输效率的重要手段之一。由于矢量地图数据自身的多样性和复杂的拓扑关系导致难以研发出通用的方法对矢量地图数据进行多尺度表达。矢量地图数据多尺度表达的一个关键是保持多尺度空间数据间拓扑关系的一致性和开发高效的算子对矢量对象进行“和并”、“收缩”、“目标移动”、“删除”等操作。大量的研究集中在一些综合算子的研究,如:线模型的简化^[28-29]、多边形模型的简化^[30]、线模型的平

滑^[31]。美国的 Bertolotto 和 Egenhofer 在 2001 年从制图综合的角度首先提出了一个概念性的框架^[1],然而,由于自动制图综合方法的复杂性和不完善性,使得该框架很难予以开发和实际应用。部分研究人员采用一定的预处理方式事先生成一系列不同分辨率的数据^[32-33],但是这种方式的不足之处在于缺乏灵活性,而且难以建立不同分辨率数据间的关联关系和维持拓扑关系的一致性。Sester 和 Brenner 开发了一套综合算子用于建筑物数据的综合和规则化^[34],并且在移动终端上测试了传输效果。然而这套综合算子仅仅适用于建筑物数据的简化和传输。Ai 等人提出了 Changes Accumulation 模型^[35]用于多

边形的渐进传输,然而,该方法在对多边形进行层次剖分时只顾及多边形本身的拓扑关系,因此,对一组多边形进行网络渐进传输时难以维持拓扑关系的一致性。Yang 从空间数据快速简化的角度出发提出了基于“点删除”算子的矢量数据快速简化算法用于多边形网络数据的快速多分辨率表达与传输^[36-39],并定义了一套规则用于拓扑关系一致性的维护。Yang 等人拓展了在 2005 年提出的拓扑约束规则^[39],提出了渐进传输的体系结构,如图 1 所示。并对多边形数据、线数据的网络传输做了进一步深入研究,较好地解决了多种类型空间数据(线结构、面结构)的网络渐进传输。

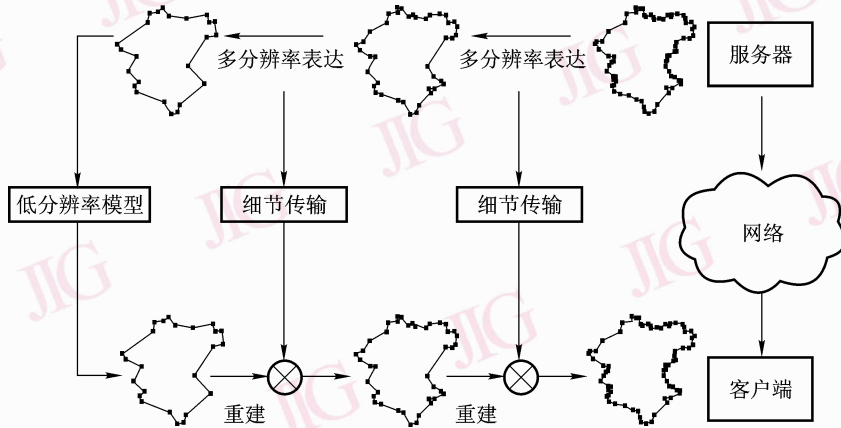


图 1 空间数据网络渐进传输的体系结构

Fig. 1 Framework of the progressive transmission of spatial data

3 关键支撑技术

空间数据网络渐进传输是根据网络传输的带宽、传输的数据量、显示的尺度 3 种因素智能化确定空间数据的最佳分辨率,保证用户在最短时间内浏览到需要的空间数据,并进行自适应表达的过程。空间数据网络渐进传输需要满足以下几个方面的基本要求:(1)保持空间数据的拓扑一致性(包括多层和单层数据的拓扑一致);(2)传输过程中满足用户交互需求;(3)实现由粗到细的传输模式。

其实现的关键支撑技术是空间数据的多分辨率表达与压缩,从而实现从粗到细的逐级精细化传输,满足用户多样化的需求(如:按需传输或中断)。该方面的高效实现是空间数据自适应可视化的前提条件之一。空间数据的自适应可视化也是体现网络数

据渐进传输方法优点的一个很好实例。3 者之间的关系如图 2 所表示。

图 2 阐述了空间数据网络渐进传输的技术流程和框架体系。其关键技术如下:

(1) 空间数据的多分辨率表达和压缩。该技术的有效实现是实现网络渐进传输的前提条件。该方面的突破需要根据空间数据的类型(如:矢量数据(地图)、栅格数据(影像))设计相应的多分辨率表达算法,实现基于特征/模式保留的从粗分辨率到高分辨率的表达。

(2) 支持流媒体表达的数据结构和高效索引。该技术是高效管理空间数据多分辨率表达结果的前提,从而能够满足大范围地理场景中任意区域内空间数据的快速检索与传输。

(3) 远程客户端的自动重建组件。重建组件对传输到的细部数据在后台进行自动重建,实现用户

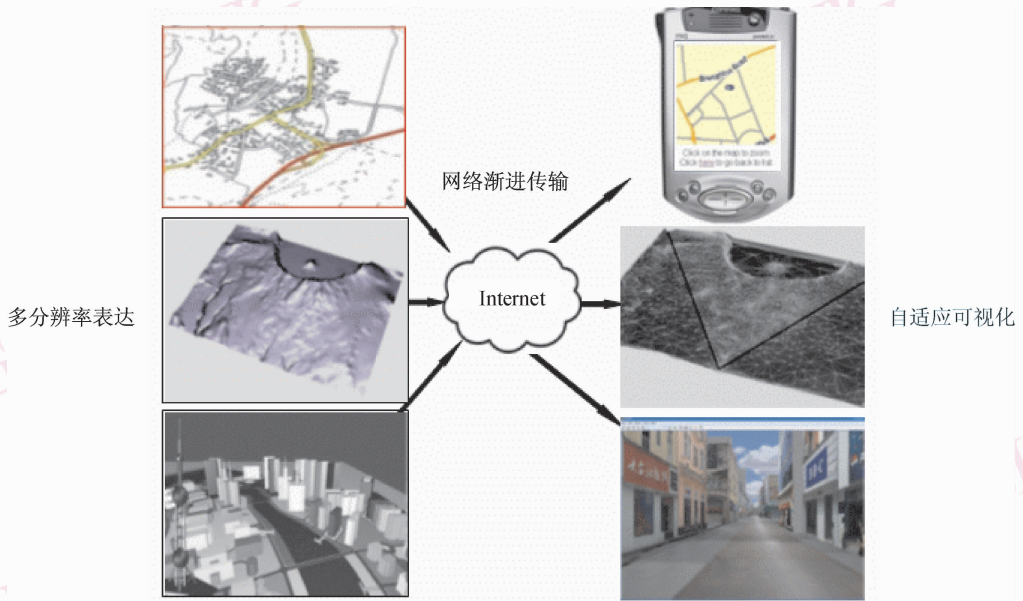


图2 空间数据的多分辨率表达、压缩,网络渐进传输与自适应可视化

Fig. 2 Relations between compression, multiple representation, adaptive visualization, and progressive transmission of spatial data

焦点范围内空间数据的较高分辨率表达。

(4) 个性化交互操作(如:放大、漫游等)。满足用户的交互操作需要,根据远程用户终端显示的分辨率和显示范围的大小,自动确定终端屏幕的最佳信息荷载量,同时根据用户指定的范围从服务器端自动抽取相应的空间数据。

上述4个关键技术是实现空间数据网络渐进传输不可缺少的技术支撑,也是设计和开发相应软件和算法的前提和基础。设计和实现空间数据网络渐进传输的系统需要从以下几个方面进行架构设计:(1)空间数据的多分辨率表达模块;(2)多分辨率表达结果的压缩模块;(3)索引模块(按空间范围进行索引,如:四叉树结构);(4)可视化模块;(5)数据重建模块(供远程客户重建数据)。其中模块(1),(2),(3)需要在服务器端完成,模块(4),(5)需要在客户端完成。在软件的体系结构上按C/S模式进行设计,同时需要在服务器端设计相应的Cache从而减小服务端多用户并发需求的压力。下面分别阐述上述模块中涉及到的核心技术和难点。

3.1 空间数据的多分辨率表达与压缩

在空间数据的多分辨率表达方面需要解决以下几个方面的问题:(1)保持相邻分辨率数据间空间对象的几何形状的极大相似性;(2)保留空间数据

的主要几何结构特征(如:道路网的几何结构、道路网眼的密度等);(3)建立不同分辨率数据之间的内在关联关系(如:同一对象在不同分辨率数据中的对应关系);(4)保持拓扑关系的一致性(如:避免空间对象的自相交)。满足上述4点的要求的多分辨率表达算法能够把原始空间数据表达为低分辨率空间数据和一系列的细部数据两个部分。网络传输是首先传输低分辨率的数据,然后逐步传输细部数据,从而实现从粗到细传输过程。而且,条件(1)和(2)可以保持空间数据传输过程中主要特征的保留和不同分辨率数据之间的平滑过渡。其中保持拓扑关系的一致性可以从两个方面进行解决,其一是在对原始数据进行多分辨率表达过程中的每一步进行拓扑关系的检校,避免对象的自相交和保持正确的方位关系。其二是在对低分辨率数据进行重建的过程中进行检校,保证重建过程的正确性。压缩技术是减少数据存储量的有效手段之一。在开发高效压缩算法的同时,需要同时兼顾数据的存储空间和压缩效果,在压缩比和压缩效果方面取得均衡。因此,需要开发基于模式识别的空间数据的多分辨率表达算法。作者在这个方面已经进行了一定的研究,开发了基于簇模型的变分辨率压缩算法,该算法能把空间数据压缩成流媒体的表达结构,从而便于网络渐

进传输^[38-41]。

3.2 空间数据的自适应可视化

空间数据的自适应可视化旨在建立人、计算机、现实世界、复杂时空现象之间的协同关系,实现时空数据的协同可视化,为信息服务、空间认知提供必要的支持。这方面的研究是当前地理信息科学研究的一个热点。空间数据的自适应可视化包括自适应表达内容和自适应表达方式两个方面。自适应表达内容对空间数据从空间尺度进行简化、综合、压缩、合成、转换等技术处理建立多尺度的空间数据表达模型,为进一步加强数据的管理、更新、可视化、网络渐进传输奠定基础。自适应表达方式方面主要针对表达介质的多样性(如:车载终端、智能手机)、介质的尺寸的差异以及表达尺度的不同使用不同的界面、颜色、符号、表达尺度以及显示内容,建立个性化的表达方式,提高对复杂空间现象的理解和认知、实现空间数据的协同可视化和交互式分析与共享。

4 结 语

本文较为全面地阐述了空间数据网络渐进传输的国内外最新研究进展,论述了空间数据网络渐进传输的若干关键支撑技术与技术实现途径,并对目前国内该方面最新的研究成果进行了评述。总体而言,国内该方面的整体研究基本上与国外同行的研究处于同等水平。空间数据网络渐进传输的前提条件是空间数据的多尺度表达与压缩,而多尺度表达的前提条件是保持不同尺度空间数据间的极大相似性。因此,建立基于模式识别理论的空间数据(2维/3维)的压缩与多尺度表达方法将是解决上述问题的一个有效途径。其次,对于远程客户端而言,有效地显示空间数据是客户端的进一步操作的基础,因此,研究具有环境感知的空间数据自适应可视化技术是提高用户空间认知与理解的有效方法。作为一种新的数据传输与表达方法,需要进一步研究空间数据网络渐进传输的评价体系和指标,从而对空间数据的网络传输做出定性和定量的评价,该方面的研究可以借鉴空间信息服务质量方面的研究成果进行综合评价,亦可结合具体的应用设定相应的评价体系和指标进行评价,如:位置服务、网络车辆导航等。

参考文献 (References)

- Bertolotto M, Egenhofer M J. Progressive transmission of vector map data over the world wide web [J]. *Geoinformatic*, 2001, **5**(4): 345-373.
- Bjørke J T, Nilsen S. Wavelets applied to simplification of digital terrain models [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2003, **17**(7): 601-621.
- David S T, Michael W M. *JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice* [M]. USA: Kluwer Academic Publisher: 1-808
- Duchaineau M A, Wolinsky M, Sigeti D E. Roaming Terrain: real-time optimally adapting meshes [A]. In: *Proceedings of 18th IEEE Visualization [C]*, Phoenix, AZ, USA, 1997: 81-88.
- Lindstrom P, Pascucci V. Terrain simplification simplified: a general framework for view-dependent out-of-core visualization [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer graphics*, 2002, **8**(3): 239-254.
- Ribelles J, Lopez A, Belmonte O, et al. Multiresolution modeling of arbitrary polygonal surfaces: a characterization [J]. *Computer Graphics*, 2002, **26**: 449-462.
- De Floriani L. A pyramidal data structure for triangle-based surface description [J]. *IEEE Computer Graphics and Application*, 1989, **8**(2): 67-78.
- Pajarola R, Rossignac J. Compressed progressive meshes [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2000, **6**(1): 79-93.
- Valette S, Prost R. Wavelet-based progressive compression scheme for triangle meshes: wavemesh [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2004, **10**(2): 123-129.
- Gerstner T. Multiresolution compression and visualization of global topographic data [J]. *Geoinformatic*, 2003, **7**(1): 7-32.
- Zuo Xiao-qing, Li Qing-quan, Yang Bi-sheng, et al. A view-dependent method for the multi-resolution representation of terrains with roads embedded [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, **28**(2): 319-334.
- Park D, Cho H, Kim Y. A tIN compression method using delaunay triangulation [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, **15**(3): 255-270.
- Heller M. Triangulation algorithms for adaptive terrain modeling [A]. In: *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling. IGU Commission on GIS [C]*, Zurich, Switzerland, 1990: 163-174.
- Soucy M, D Laurendeau. Multiresolution surface modeling based on hierarchical triangulation [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1996, **63**(1): 1-14.
- Voigtmann A, Becker L, Hinrichs K. A hierarchical model for multiresolution surface reconstruction [J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1997, **59**(5): 333-348.
- Pedrini H. *An Adaptive Method for Terrain Surface Approximation Based on Triangular Meshes [D]*. Troy-NY, USA: Department of

- Electrical, Computer, and System Engineering. Rensselaer Polytechnic Institute, 2000.
- 17 Schroeder W, Zarge A J, Du W. Decimation of triangle meshes [J]. *Computer Graphics*, 1992, **26**(2): 65-70.
- 18 Heckbert P S, Garland M. Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms[R]. TR. CMU-CS-95-194, Carnegie Mellon University, 1995:1-31.
- 19 Hoppe H. Progressive meshes [A]. In: *Proceedings of SIGGRAPH'96* [C], New Orleans, USA, 1996: 99-108.
- 20 Hoppe H. Smooth view-dependent level_of_detail control and its application to terrain rendering [A]. In: *Proceedings of IEEE Visualization 1998* [C], Research Triangle Park, North Carolina, USA, 1998: 35-42.
- 21 Xia J, El-Sana J, Varshney A. Adaptive real-time level-of-detail-based rendering for polygonal models [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1997, **3**(2): 171-183.
- 22 El-Sana J, Varshney A. Generalized view-dependent simplification [J]. *Computer Graphics Forum*, 1999, **18**(3): 84-94.
- 23 Yang Bi-sheng, Li Qing-quan, Gong Jian-ya. A robust and rapid algorithm for generating and transmitting multi-resolution three-dimensional models [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51**(8): 987-993.
- 24 Yang Bi-sheng, Shi Wen-zhong, Li Qing-quan. An integrated TIN and grid method for constructing multi-resolution digital terrain model [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, **19**(10): 1019-1038.
- 25 Yang Bi-sheng, Shi Wen-zhong, Li Qing-quan. A dynamic method for generating multi-resolution TIN models [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS)*, 2005, **71**(8): 917-927.
- 26 Yang Bi-sheng. A multi-resolution model of vector map data for rapid transmission over the Internet[J]. *Computers & Geosciences*, 2005, **31**(5): 569-578.
- 27 Yang Bi-sheng, Li Qing-quan, Shi Wen-zhong. Constructing multi-resolution triangulated irregular network model for visualization [J]. *Computers & Geosciences*, 2005, **31**(1): 77-86.
- 28 Saalfeld A. Topologically consistent line simplification with the douglas-peucker algorithm [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 1999, **26**(1): 7-18.
- 29 Visvalingam M, Herbert S. A computer science perspective on the bendsimplification on algorithm [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 1999, **26**(4): 253-270.
- 30 van Oosterom P. The GAP-tree, an approach to On-the-fly map generalization of an area partitioning [A]. In *GIS and Generalization, Methodology and Practice* [C], London: Taylor & Francis, 1995: 120-132.
- 31 Li Z L, Openshaw S. Algorithms for automated line generalization based on a natural principle of objective generalization [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1992, **6**(5): 373-389.
- 32 Buttenfield B P. Transmitting vector geospatial data across the internet [A]. In: *Proceedings of GIScience 2002, Lecture Notes in Computer Science 2748* [C], Boulder, CO, USA, 2002: 51-64.
- 33 Cecconi A, Weibel R. Map generalization for on-demand web mapping [A]. In: *Proceedings of GIScience 2000* [C], Savannah, Georgia, USA, 2000: 302-304.
- 34 Sester M, Brenner C. Continuous generalization for visualization on small mobile devices [A]. In: *Proceedings of Developments in Spatial Data Handling-11th International Symposium on Spatial Data Handling* [C], Fisher, peter F (Ed) Springer Verlag, 2004: 469-480.
- 35 Ai T, Li Z, Liu Y. Progressive transmission of vector data based on changes accumulation model [A]. In: *Proceedings of The 11th International Symposium on Spatial Data Handling* [C], Leicester, UK, 2004: 85-96
- 36 Yang Bi-sheng. Implementation of progressive transmission algorithm for vector map data in web-based visualization [A]. In: *Proceedings of ISPRS'04* [C], Istanbul, Turkey, 2004.
- 37 Yang Bi-sheng. Generating progressively vector data streaming for adaptive mobile visualization [A]. In: *Proceedings of ISPRS 2008* [C], Beijing, China, 2008.
- 38 Yang Bi-sheng, Ross Purves, Robert Weibel. Variable-resolution compression of vector Data [J]. *Geoinformatica*, 2008, **12**(3): 357-376.
- 39 Yang Bi-sheng, Ross Purves, Robert weibel. Efficient transmission of vector data over the internet [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, **21**(2): 215-237.
- 40 Yang Bi-sheng, Li Qing-quan. Progressive transmission vector data map over WWW[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, **34**(4): 355-360. [杨必胜, 李清泉. World Wide Web(WWW)上矢量地图数据的多分辨率传输算法[J]. *测绘学报*, 2005, **34**(4): 355-360.]
- 41 Yang Bi-sheng, Li Qing-quan. Efficient compression of vector data map based on a clustering model [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, **33**(3): 265-269. [杨必胜, 李清泉. 基于簇模型的矢量地图数据的高效压缩方法[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2008, **33**(3): 265-269.]