

基于地学信息服务的 Internet 3 维 GIS: GeoEye 3D

陶 闯, 王全科

(卡尔加里大学 地学信息工程系, 卡尔加里 加拿大 T2M 4E8)

GIServices-based 3D Internet GIS: GeoEye 3D

TAO Chuang, WANG Quan-ke

(Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary T2M 4E8, Canada)

Abstract: With the advent of Internet, distributed computation and computer graphics technologies, development of Web-based 3D GIS becomes technologically possible. The combination of 3D GIS, visualization, open object computing technologies opens up an entirely new avenue to the geo-scientific community. The concept of Web-based GIS has been improved to the new stage of "Geo-Information Services (GIServices)" from "Geo-data Services". Not only geo-data, but also geo-computing functions can be distributed over a client-server based architecture. Users can "rent" and assemble these different functions from Internet according to their requirements. Based on the new concept and Component Registration Model, we have been researching and developing an Internet-based 3D GIS: GeoEye 3D. The system integrates various technologies, GIS, 3D visualization, distributed computing and network communication, allowing users to visualize and analyze both remote and local data by remote functions. The paper introduces the concept, system architecture, algorithms and applications.

Key words: Internet GIS; GIServices; distributed computation; Component Registration Model; 3D visualization

摘 要: 随着 Internet、分布式计算以及计算机图形学的飞速发展, 开发基于 Internet 的 3 维 GIS 系统已成为可能。这 3 种技术的有力结合为地学领域开创了一个崭新的时代, 促使网络 GIS 的概念由“地学数据服务”提高到“地学信息处理服务”的新阶段。不仅地学数据, 地学信息处理功能也可以分布在基于客户/服务器的架构上, 用户可以根据不同的需求“租用”和组合来自于 Internet 的不同功能。基于这一概念和作者提出的构件注册模型, 我们从 1998 年开始着手研究和开发新一代的 Internet 3 维 GIS: GeoEye 3D。这一系统集成了 GIS、3 维可视化、分布式计算及网络通信等技术, 允许用户通过标准 Internet 浏览器来应用远程功能对远程和本地数据进行可视化分析。阐述了地学信息处理服务概念和构件注册模型以及 GeoEye 3D 的系统架构、算法和应用实例。

关键词: Internet GIS; 地学信息处理服务; 分布式计算; 构件注册模型; 3 维可视化

收稿日期: 2001-09-29; 修回日期: 2001-12-29

作者简介: 陶 闯(1967-), 男, 湖北武汉人, 加拿大约克大学地学信息工程首席研究教授, 卡尔加里大学地学信息工程系兼职教授, 博士, 主要研究领域为 Internet GIS 和空间可视化, LBS、机载激光和 SAR 数据的智能影像处理等。

1 地学信息服务与 GeoEye 3D

从平台角度讲, GIS 的发展已经历了从大型机到桌面、从桌面到网络(客户机/服务器)的发展。网络 GIS 的功能主要以地学数据服务为中心, 地学处理和计算功能主要集中于服务器端。随着 Internet 和分布式计算技术的发展, 以及高性能而又廉价的个人计算设备的普及, 功能分布的新一代 GIS 成为可能。此阶段, 不仅地学数据, 以地学处理计算功能为中心的服务也可从 Internet 中不同提供商处“租用”。我们把地学数据服务和地学功能服务统称为地学信息服务(GIS-services)^[1,2]。

从软件工程的角度讲, GIS 系统功能日益增强, 但大部分 GIS 用户只用了这些功能中的一小部分, 却不得不付出巨大的代价去购买、培训和维护这些系统, 造成资源的巨大浪费。这一问题可以通过软件工程中的构件(component)技术来解决。一个大型的 GIS 系统可以划分为多个内部可协调工作的功能性构件, 这些分布于 Internet 之上的构件可以被用户集成和应用, 这就是地学信息服务(GIServices)的核心概念。

从用户角度讲, 用户可以根据自己的需要从 Internet 上租用相关的服务, 这样用户可以组合出一个经济而又有效的 GIS 系统, 不用为了一项功能去购买一个庞大的系统。更重要的是用户不需要去维护这个系统, 任务完成后即可注销退出系统, 下一次可继续租用。

基于地学信息服务概念, 加拿大卡尔加里(Calgary)大学自 1998 年开始了名为“GeoServnet”的研究项目, 其目标是探索如何分布和集成 Internet 上 GIS 服务, 研究此目标可能涉及到的空间数据模型、系统结构、软件开发标准、分布式计算、并行计算、GIS 网络通信与安全、3 维可视化等技术。到目前为止, 项目组已进行了多项创新性的大胆尝试, 开发了 2 维和 3 维等多个子系统, 受到学术界和工业界的瞩目。GeoEye3D 是其中的一个子系统, 目标是研究如何分布和集成 3 维 GIS 功能。这一系统所采用的技术、架构、研究成果以及应用状况将在本文中进一步介绍。

2 关键技术与解决方案

2.1 3 维数据模型

目前可用于 3 维 GIS 的数据结构比较多^[3~6], 为了提高开发效率, 本文主要基于 Java3D^[7] 的场景图结构和形体模型(shape3D)建立了一种简化的 3 维数据模型, 充分利用了 Java3D 的功能。

形体模型包含了空间目标的几何(geometry)元素、外观(appearance)元素以及用户数据(user-data) 几何元素定义了空间目标的几何模型和数据, 一个形体模型可以包括多个几何元素; 外观定义了空间目标的色彩、材质和纹理, 一个形体模型只有一个外观元素。用户数据是用户特定的描述信息。为了便于区分每个空间目标, 本文所建立的 3 维数据模型中每个形体模型只包含一个几何元素。几何元素的构造采用了 Java3D 中索引几何列(array)数据结构来统一构造点、线、面以及体等空间目标类型, 其中体由面构成。数字地形可归于面类型, 采用面列表表达。建筑物由体类型来表达, 具体包含侧面、屋顶面。由于 3 维空间目标的特殊性, 本文的 3 维数据结构与 Molenaar 的 3 维矢量数据结构^[8]不同, 点、线、面均由点元素(tuple)直接构造。影像和纹理数据包含于空间目标的外观中。3 维数据模型如图 1 所示。

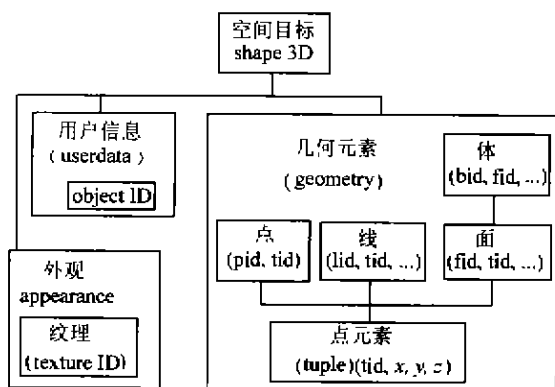


图 1 GeoEye 3D 中的 3 维数据结构

Fig.1 3D data structure of GeoEye 3D

2.2 海量数据管理

数字地形和影像是 3 维 GIS 的主要数据类型, 其数据量随分辨率的提高呈几何级递增, 达到几 G、甚至几十 G 字节。由于 Internet 带宽的限制, 如此庞大的数据难以在 Internet 上实时传输。

对于用户,如果系统的响应时间超过 3 s,则会被认为难以接受,所以海量数据传输成为 Internet 3 维 GIS 研究中另一个重要的问题。目前视点相关的 LOD 技术是一种有效的、被广为采用的策略来处理大数据量的实时传输与可视化^[9,10]。对于大数据量的数字地形和影像,要实现视点相关的 LOD,分块(tile)按等级组织的数据结构是一种十分适合的方法,通常称为“金字塔”结构。

在本项目的研究过程中,我们即采用了金字塔结构来组织数字地形和影像数据。按照金字塔结构来处理后的数据形成一个多分辨率的层次结构,并采用四叉树来索引这个结构中的不同层次中的块,从塔顶至塔底分辨率由低到高变化,相应的分块数则由少到多。这一过程主要在服务器端由独立的数据处理系统完成,主要包括数据分块、合并、光滑等一系列处理过程。客户端则根据当前的浏览尺度和视点位置请求相关级别和相关位置的数据。为了适应用户的实时漫游,客户端采用了数据缓冲的机制来避免已有数据重复请求和传输。通过调整分块的大小,很容易使系统响应速度优于上面提到的系统响应时间。

2.3 实时 3 维可视化操作

目前可用于加速 3 维绘图的技术主要是视景体裁剪和空间目标的简化。对空间目标,尤其是数字地形的简化则主要采用 LOD 技术。目前比较有代表性的算法主要有 Lindertrom 等的实时连续 LOD^[11], Hoppe 的步进格网^[12]以及 Duachaineau 等的实时优化适应格网(ROAM)^[13],具体算法细节可参考相关文献。

在具体开发中,系统采用了视点独立的 LOD 算法。算法中采用四叉树索引规则地形格网点,每个节点由 1 个中心顶点、4 个角顶点和 4 个边顶点构成,并采用一定的阈值 d 对边顶点进行简化。考虑到地形的连续性,如果节点内的一个边顶点被简化,则相邻节点的对点也应被简化,如图 2 所示。

简化过程由底层叶节点到顶层父节点逐层进行,删掉平坦区域中位于阈值范围内的格网点,形成一个变分辨率的地形格网,大大减少了所需绘制三角形面的数量。此工作在数据可视化前完成,与视点位置无关,减少了每一次视点位置变化时的计算量,用户可对简化后的数字地形进行实时操作。本文所采用的算法中没有考虑视景体裁剪的问题,因为 Java3D 的优化机制将自动完成这

一工作^[7]

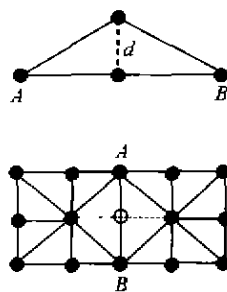


图 2 边顶点的简化

Fig.2 Simplification of edge vertex

2.4 分布式构件管理

根据地学信息服务(GIServices)的概念,Internet GIS 不仅能够集成分布在网络中的数据资源,也能够集成分布式的功能构件。这一研究涉及数据标准、开放性系统设计、分布式计算架构等多个方面的问题。值得庆贺的是开放 GIS 联合体已在 2 维 GIS 研究中取得了显著的进展,使 2 维 GIS 空间目标的设计有了标准,3 维 GIS 标准也正在制定中^[14]。

GeoServnet 项目组在这一问题上作了十分有意义的尝试,提出了构件注册模型^[2]。这一模型中,远程构件的注册需要构件的元信息来支持构件的注册,如功能性描述、版本、位置、端口号等。对于构件的互操作性则需要其他的元信息来支持,如构件的软件设计界面、工作目标和机制、与其他构件的关系等,以便于开发者和用户进行开

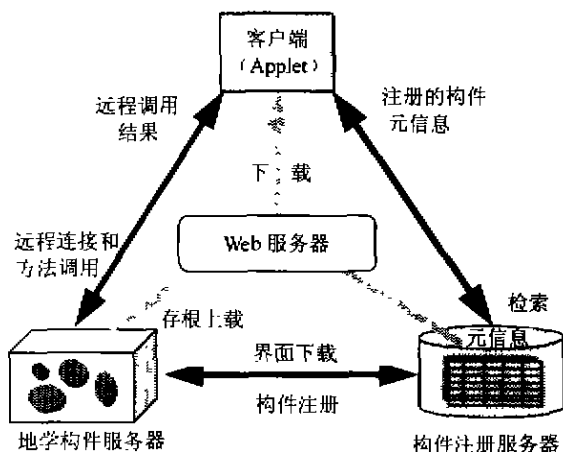


图 3 构件注册模型

Fig.3 Component Registration Model

发和集成应用。

在构件注册模型中,构件注册服务器和 Web 服务器可以位于同一服务器,外部构件注册到构件元信息数据库后,客户端可以检索这个构件元信息数据库,寻找自己所需的构件,并连接操作,模型如图 3 所示。

3 系统架构设计

GeoEye 3D 的架构是一个 3 层(three-tier)结构,即客户端层、中间层(协议层)和服务器端层,如图 4 所示。

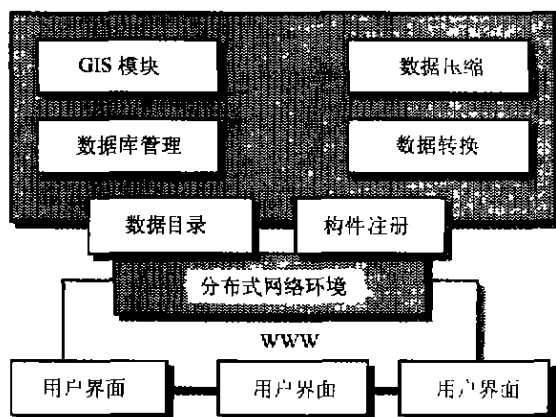


图 4 系统架构

Fig.4 System architecture

客户端层由用户界面和功能构成,是用户与系统交互的具体环境。2 维索引、3 维可视化、查询检索、3 维空间目标编辑以及 GIS 分析功能位于这一界面内。这一界面的功能可以定制以满足不同层次用户的需求。对于只要求浏览数据的普通大众可以定制功能简洁的界面,隐藏复杂的 GIS 操作工具;对于 GIS 专业用户则可根据不同的需要定制不同功能的界面。

中间层处理客户端与服务器端之间的通信,主要包括数据管理协议和构件注册协议等,也可称为协议层。数据管理协议是基于 HTTP 协议开发的一种高级协议。通过这一协议,客户端与服务器端可传输地图数据和显示参数。构件注册协议是基于 Java RMI 开发的另一种协议。这一协议定义了方法和功能类的开发界面。基于此协议开发的方法和功能类可以通过 RMI 远程注册到服务器端,实现功能共享。

服务器端层则由不同功能的服务器以及相应的服务构成。除了 Web 服务之外,不同功能的服

务由驻留和运行在服务器上的构件提供,例如数据库管理、数据压缩、数据转换、GIS 分析等。利用服务器的大内存、多 CPU 并行处理的能力可以完成普通个人计算机(PC)难以完成的工作,甚至实时完成,如大规模矢量数据空间索引的建立、大数据量数字地形和影像的裁剪和索引的建立等。

4 GeoEye 3D 应用实例

GeoEye 3D 采用了纯 Java 解决方案,集成了点、线、面、体、地形、影像和属性等数据类型,不仅支持大数据量数据的 Internet 集成,而且支持基于 Internet 的 3 维可视化、GIS 分析操作等。GeoEye3D 的研发已进行了多个版本,先后在城市规划、管线、数据集成、地质工程等多个领域进行了成功的应用。

图 5 为 GeoEye 3D 在落基山脉中 Moose Mountain 山区(加拿大)项目中的应用实例。在此项目中 GeoEye 3D 主要用于集成摄影测量、遥感、雷达、地质等数据源,通过 Internet 向政府、科研机构和石油公司等发布数据,提高协同工作的能力,同时通过 3 维可视化和 GIS 分析的手段来促进地质分析。图 5 中所示为其中的一个分析实例——通视性分析,浅色区域表示从箭头所标志位置所能看到的区域。在数字地形简化方面,本例所示为简化大约 30% 后的效果。实验表明,对于本例数据如果提高阈值,简化 60% 后的地形可视化效果依然可以接受。

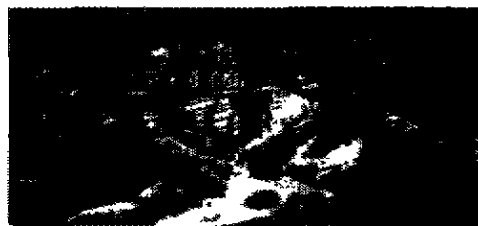


图 5 通视性分析

Fig.5 Viewshed analysis

5 结 论

地学信息服务(GIServices)的概念是 GIS 的发展趋势,它改变了 GIS 的设计和应用模式。基于这一概念的新一代 GIS 的开发必须基于一个分布式的网络环境,采用可互操作的构件式开发方法,因此开放的、标准的数据模型和开发界面、分布式算法、可互操作的构件管理开发机制以及数据传输等是这一领域研究的关键问题。

基于地学信息服务(GIServices)的概念, 卡尔加里大学地学信息工程系采用纯 Java 的解决方案开发了 Internet 3 维 GIS 系统 GeoEye 3D。系统集成 3 维 GIS、3 维可视化和 Internet 技术, 应用了简化的空间数据模型、数据压缩与 LOD、分布式计算等技术, 提高了系统的性能, 并在城市、管道、地质工程等多个领域中进行了成功的尝试^[15,16]。GeoEye 3D 处于正在开发和提高的过程中, 更有效的分布式和并行算法、可视化算法、空间数据模型、GIS 分析功能以及与 2 维 Internet GIS 的无缝结合等已逐步加入研究和开发的日程。

参考文献:

- [1] TAO V. Development of Web Based GIServices[A]. Proceedings of GIS 2000 Conference [C/CD]. Toronto: Geoplace Inc, 2000.
- [2] TAO V, YUAN S, FEI C. *et al.* GeoServnet: A Network Based GIS Service System for On-Line Geocomputing[A]. Proceedings of Geoinformatics' 2000 [C]. Monterey Bay: CPGIS, 2000.
- [3] TURNER K. What is the Difference among 2D, 2.5D, 3D and 4D? [J]. GIS World, 1997, 10(3): 54.
- [4] LI R. Data Structures and Applications Issues in 3D Geographic Information Systems [J]. Geomatica, 1994, 18(6): 209-224.
- [5] LATTUADA R. A Triangulation Based Approach to 3D Geoscientific Modelling[D/OL]. London: University of London, 1998.
- [6] CAMERON E. Integrating Object, Terrain, and Texture Data in Urban 3D GIS. ENG0661 Project Report[R]. Calgary: University of Calgary, 1999.
- [7] MICROSYSTEMS S. Java3D API Collateral[EB/OL]. <http://java.sun.com/products/java-media/3D/collateral/>, 2001-09-21.
- [8] MOLENAAR M. A Topology for 3D Vector Maps [J]. ITC Journal, 1992, (1): 25-33.
- [9] JOHN S F, MICHEAL J Z, *et al.* NPSNet: Hierarchical Data Structures for Real-time Three-dimensional Visual Simulation[J]. Computers and Graphics, 1993, 17(1): 65-69.
- [10] MARTIN R, YVAN L, LEE I. TerraVision II: Visualizing Massive Terrain Databases in VRML [J]. IEEE Computer Graphics and Applications (Special Issue on VRML), 1999, 19(2): 30-38.
- [11] LINDSTROM P, DAVID K, *et al.* Real-time, Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields[A]. Siggraph 96[C]. New Orleans: Siggraph, 1996. 109-118.
- [12] HOPPE H. Smooth View-dependent Level of Detail Control and Its Application to Terrain Rendering [A]. Siggraph, 97[C]. Los Angeles: Siggraph, 1997. 189-198.
- [13] DUCHAINEAU M. ROAMing: Real-time Optimally Adapting Meshes[A]. Proceedings of IEEE Visualization[C]. Phoenix: The IEEE Inc, 1997. 81-88.
- [14] OGC. Open GIS Consortium Homepage[R/OL]. <http://www.opengis.org>, 2001-12-14.
- [15] TAO V, WANG Q, AKEHURST W. Web-based 3-D Visualization and Manipulation of Geospatial Data [A]. Proceedings of GeoCanada 2000 Conference [C/CD]. Calgary: GeoCanada, 2000.
- [16] TAO V, WANG Q. Internet based 3D Terrain Visualization and Analysis[A]. Proceedings of International Pipeline Conference[C]. Calgary: University of Calgary, 2000.
- [17] LI B. A Component Perspective on Geographic Information Services[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 2000, 27(1): 75-86.
- [18] WANG X, GRUEN A. The Configuration and Implementation of a Hybrid 3D GIS for Urban Data Management[J]. Geographic Information Sciences, 1999, 4(1-2): 29-36.