

基于 X3D/XML 的组件式 3 维 WebGIS 平台： Geo-SD SHIP 体系结构研究

王 涛^{1),2)} 陈 曦¹⁾ 罗格平¹⁾ 王伟胜¹⁾ 包安明¹⁾ 丁励强³⁾

¹⁾(中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011) ²⁾(中国科学院研究生院, 北京 100039)

³⁾(浙江大学软件学院, 杭州 310027)

摘 要 鉴于数据提供者与数据需求者之间的矛盾是促使 WebGIS 产生、发展的直接动力, 为此围绕着在 Web 环境下如何以 3 维空间可视化方式来实现地理空间数据共享与互操作的问题, 以 X3D/XML 数据流作为不同结构的地理空间数据之间联系的桥梁, 建立了一种新的组件式 WebGIS 体系结构——Geo-SD SHIP (Geo-Spatial Data Sharing and Handling Integrated Platform)。为了更好地阐述基于 X3D/XML 的组件式 3 维 WebGIS 平台的有效性、可行性, 首先对 Geo-SD SHIP 体系结构组成及其特点进行了深入的阐述, 并给出了 Geo-SD SHIP 体系结构框架图; 接着, 详细介绍了基于 X3D/XML 的 Geo-SD SHIP 体系结构中各组件实现的关键技术, 如 Web-3D 虚拟地理场景的创建、用 VC++、.Net 和 ArcObjects 来构建 X3D/XML 数据转换组件和 GIS 空间分析组件, 以及用 VC++、.Net 结合 OpenGL 图形函数库来实现 X3D/XML 数据解析组件等; 最后, 举例说明了 Geo-SD SHIP 体系结构的数据转换服务请求/响应过程、数据需求服务请求/响应过程, 并通过在国家自然科学基金项目和中国科学院知识创新工程重要方向性项目中的成功应用, 证明了 Geo-SD SHIP 体系结构的有效性和可行性。

关键词 空间数据共享和互操作 虚拟现实 WebGIS 可扩展 3 维(X3D) 可扩展语言(XML)

中图法分类号: P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)03-0410-09

3D Sub-assembled WebGIS Platform Based on X3D/XML: An Architecture Research of Geo-spatial Data Sharing and Handling Integrated Platform(Geo-SD SHIP)

WANG Tao^{1),2)}, CHEN Xi¹⁾, LUO Ge-ping¹⁾, WANG Wei-sheng¹⁾, BAO An-ming¹⁾, DING Li-qiang³⁾

¹⁾(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Wulumuqi 830011)

²⁾(Graduate School of CAS, Beijing 100039)

³⁾(College of Software Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The conflict between data provider and demander has given a direct impetus to the research on WebGIS. Considering the problem of implementing the participation and interoperation of geospatial data by using 3D visualization method, the authors construct a new sub-assembled WebGIS architecture, namely Geo-Spatial Data Sharing and Handling Integrated Platform(Geo-SD SHIP), which regards X3D/XML dataflow as the connection among heterogeneous geospatial data. The characteristics of Geo-SD SHIP are explained and its architecture is diagrammatized. In addition, the key technology to implement Geo-SD SHIP was demonstrated, which includes: 1) to create Web-3D virtual geographic scene based on X3D/XML; 2) to construct X3D/XML components for geospatial data exchange and GIS spatial analysis; 3) to implement parser components of X3D/XML data by utilizing VC++ and OpenGL API libraries. Geo-SD SHIP has had successful application in the project of National Science Foundation(Grant No. 40471134) and the CAS pilot project of

基金项目:国家自然科学基金项目(40471134);中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX3-SW-326-03 和 KZCX3-SW-327-01)

收稿日期:2005-05-23;**改回日期:**2005-07-11

第一作者简介:王涛(1976~),男。2005年获中国科学院新疆生态与地理研究所硕士学位,现为中国科学院研究生院博士研究生。主要研究方向为科学可视化、虚拟现实及 3 维时空数据模型。近年来在国内计算机类、地理类、生态类核心期刊上发表论文 5 篇,软件著作权 2 项。Email:sam@ms.xjb.ac.cn

Knowledge Innovation Programs (Grant No. KZCX3-SW-326-03 and KZCX3-SW-327-01), and experimental results demonstrate that Geo-SD SHIP can achieve the participation and interaction of heterogeneous geo-spatial data on the Web.

Keywords geo-spatial data, virtual reality, WebGIS, extensible three-dimensions(X3D), extensible markup language (XML)

1 引言

随着互联网知识的普及和相关应用的不断深入,人们对地理空间数据、空间分析功能的共享需求日益增加,其主要原因有以下两点:一方面,由于地理位置分散的数据提供者存储着海量的地理空间数据,他们希望这些数据能够发挥更大的作用和创造更多的价值;另一方面,由于同样分布在不同地理位置的数据需求者,希望获得更有价值的地理空间数据,这一对矛盾是促使 WebGIS 产生、发展的直接动力,因此,如何使存储量大、空间关系复杂的地理空间数据,在 Web 集成环境下实现空间数据共享和互操作,一直是 WebGIS 研究的重点^[1-32]。

围绕上述问题,目前 WebGIS 研究呈现出以下一些发展趋势:(1)应用系统专业化:各行业及不同领域根据自身需求,开发了许多以网络地图服务、空间信息检索和空间分析服务为核心的各种专业应用系统^[17,22,23],其特点是基于分布式互联网络架构^[27],如 Microsoft 的分布式互联网络应用架构(windows distributed internet architecture, Windows DNA)或 Java2 enterprise edition(J2EE),由于它们依靠 DCOM/COM+、ActiveX 或者 Java Applet 等技术支持,实现了地理空间数据的分布式操作和软硬件资源的协同服务,从而真正实现了 WebGIS 的分布式计算,但是,由于各专业应用系统的空间数据模型之间存在很大差异,而且没有相互通信的标准数据接口,因而无法实现地理空间数据共享和互操作;(2)平台系统多样化:目前 GIS 软件各大厂商已纷纷推出新一代产品,提供了具有 GIS 空间数据管理功能、空间分析功能,并且支持二次开发的平台系统,如 ESRI(environmental systems research institute, ESRI)公司 ArcGIS9.0 中的 Arc internet map server (ArcIMS),Autodesk 公司的 MapGuide 6.5,MapInfo 公司的 MapInfo ProServer, Intergraph 公司的 GeoMedia WebMap 等等,虽然这些多样化的平台系统在体系结构上大同小异,且基本都是采用 B/S 3 层结构,但是,它们之间也没有实现地理空间数据共

享与互操作的途径;(3)3 维虚拟现实系统可视化:由于 2 维、2.5 维空间数据造成了信息缺失,使得 WebGIS 必然向着 3 维甚至 4 维方向发展^[16,17,28]。目前国际上比较成熟的 3 维 WebGIS 应用主要是采用 ArcIMS 与虚拟现实建模语言(virtual reality modeling language, VRML)结合开发的 GeoVR 平台^[8,9],然而 VRML 数据的内部结构没有标准可言,且可扩展性差,更谈不上实现基于 Web 集成环境的空间数据共享和互操作,但作为 VRML 的后继者——X3D(extensible 3D)的出现,使得 WebGIS 向着 3 维、4 维发展成为可能,它作为新一代网络 3 维动态数据格式和 XML(extensible markup language)的一个扩展子集^[29],不仅吸收了 XML 在描述复杂数据结构、集成异构数据源方面的优点,而且弥补了 XML 3 维空间数据表达方面的缺陷,并对用于描述 3 维空间信息的节点进行了标准化定义,其中包含着专门用于描述 GIS 中 3 维地理空间信息的节点,如 GeoCoordinate, GeoElevationGrid, GeoLocation, GeoLOD 等,这样就使得构建基于 X3D 的 3 维 WebGIS 成为可能^[10,11,24,25]。

然而,基于 X3D 的应用研究目前仍处于起步阶段,有关 3 维 WebGIS 的应用也仅将 X3D 作为 3 维虚拟地理场景构建的工具^[10,11,24,25],而没有基于 X3D 的 3 维 WebGIS 空间数据共享和互操作方面的研究。因此,笔者在前期工作的基础上^[30,31,33],结合目前的研究现状提出了一种新的 3 维 WebGIS 空间数据共享与互操作平台——Geo-SD SHIP(geo-spatial data sharing & handling integrated platform, Geo-SD SHIP)体系结构,从而在根本上解决了 Web 环境下空间数据共享和互操作的问题。

2 Geo-SD SHIP 体系结构特点及各部分功能

Geo-SD SHIP 体系结构(如图 1 所示)以 B/S 3 层(客户服务层、应用逻辑层和数据管理层)Internet 应用系统结构为基础,采用分布式多层互联网应用架构作为分布式平台支持技术,组件化地将客户服

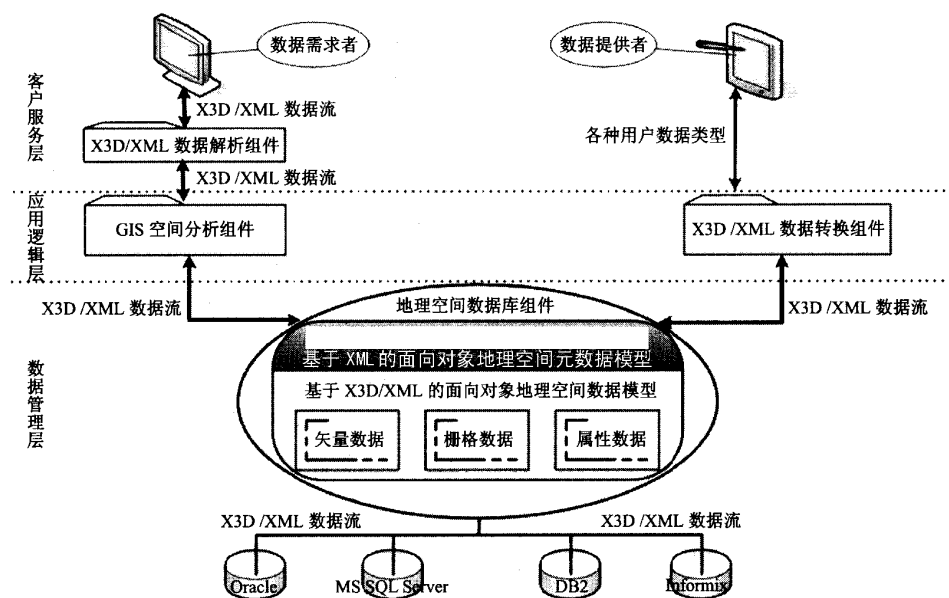


图 1 Geo-SD SHIP 体系结构图

Fig. 1 Framework diagram of Geo-SD SHIP

务层(包括 X3D/XML 数据解析组件和服务请求界面)、应用逻辑层(包括 X3D/XML 数据转换组件和 GIS 空间分析组件)与数据管理层(由基于 X3D/XML 技术的地理空间数据库组件构成,包括地理空间元数据和地理空间数据模型)整合起来,以便使分布在不同地理位置的用户之间、异构数据源的地理空间数据库之间,能够通过由客户服务层的网页浏览器传递的 X3D/XML 数据流来实现数据共享和互操作。在 Geo-SD SHIP 体系结构的 3 层体系结构的具体技术实现上,有以客户端为主(“胖客户端”)、以服务器端为主(“胖服务器”)和客户服务器平衡方案 3 种备选策略,笔者认为,应根据各层的特点及其在整体结构中的不同功能而灵活选择。

Geo-SD SHIP 体系结构的主要特点概括起来有以下几点:①组件化:将 X3D/XML 数据转换和数据解析、GIS 空间分析、3 维虚拟地理场景构建等系统功能,以软件组件的方式有机地结合在一起;②集成性:将 X3D/XML 数据格式在复杂 3 维空间数据结构描述、3 维虚拟地理场景表现方面的优势集成于一体;③分布式:由于 Geo-SD SHIP 体系结构具有 Windows DNA 的支持,并且集成了一组分布式应用程序、分布式底层服务和公共接口的 WebGIS 平台分布式技术基础,因而能够真正实现 3 维 WebGIS 的分布式计算;④可扩展:由基于 X3D/XML 的跨平

台异构数据结构共享和互操作模式、组件化组织结构组成了基于 Geo-SD SHIP 体系结构的系统功能可扩展的基础。这种 Geo-SD SHIP 体系结构的特点还具体地体现在客户服务层、应用逻辑层和数据管理层的功能设计中,而这 3 层结构之间既是相对独立的,又是相互联系的。

Geo-SD SHIP 体系结构各层组成及具体功能设计如表 1 所示。

(1) 客户服务层由服务请求界面和 X3D/XML 数据解析组件构成,其中 X3D/XML 数据解析组件是 Geo-SD SHIP 体系结构用于实现 3 维 WebGIS 主要功能——3 维虚拟地理场景构建的重要组成部分,它负责解析应用逻辑层返回的 X3D/XML 数据流,并将其中包含的 3 维地理空间数据结构,以 3 维虚拟地理场景的形式显示在客户端网页中;服务请求界面负责处理以下两种基本服务请求:① X3D/XML 数据转换服务请求,即面向数据提供者的地理空间数据标准化请求,并主要依靠 ASP. Net 网页来实现其功能,即一方面它向应用逻辑层的 X3D/XML 数据转换组件发送数据转换申请,另一方面接收由应用逻辑层的 X3D/XML 数据转换组件发送回来的结果;② X3D/XML 数据解析和 GIS 空间分析服务请求,即面向数据需求者的地理空间数据获取、3 维虚拟地理场景构建、GIS 空间分析请求,它是通过

表 1 Geo-SD SHIP 体系结构各层功能分配

Tab.1 Function distribution of each tier in Geo-SD SHIP architecture

层名	功 能
客户服务层	1)收集用户的数据转换、3 维虚拟地理场景构建以及 3 维空间分析等应用请求信息;
	2)将用户的请求信息以 X3D/XML 数据流的形式传送给应用逻辑层;
	3)获取应用逻辑层的处理结果;
	4)解析 X3D/XML 数据流,并在浏览器中显示解析结果
应用逻辑层	1)从客户服务层接收数据转换、3 维虚拟地理场景构建和 3 维空间分析请求的 X3D/XML 数据流;
	2)与数据管理层协同工作,以完成 X3D/XML 数据转换、3 维虚拟地理场景构建和 GIS 空间分析等任务;
	3)将处理结果以 X3D/XML 数据流返回给客户服务层
数据管理层	1)定义地理空间元数据模型、地理空间数据模型和提取、存储、检索元数据和地理空间数据,并将结果以 X3D/XML 数据流形式传送给 3 维虚拟地理场景构建策略组件;
	2)定义 3 维虚拟地理场景的生成策略,为应用逻辑层组织所需要的 X3D/XML 数据结构

ASP. Net 网页向应用逻辑层发送服务请求,再将应用逻辑层返回的处理结果在客户端进行解析、显示。客户服务层的特点之一在于使用了 Microsoft . Net Framework 支持的 ASP. Net 技术来开发网页客户端,这不仅突破了 ASP 网页客户端开发中只能使用 VBScript、JavaScript 两种脚本编程语言的限制,即不仅可通过 Microsoft . Net Framework 提供的公共语言运行时(common language runtime, CLR)的支持来使用 Windows 平台支持的任何编程语言(如 Visual C#, Visual C + + ,Visual J + + ,Visual Basic 等等),而且 ASP. Net 提供的代码复用、设备兼容功能,以及安全性、可靠性、稳定性等特性,还可使开发功能更加丰富的 3 维 WebGIS 应用成为可能。客户服务层的另一特点是开发了用于 X3D/XML 数据流解析的 ActiveX 组件。虽然网上已有许多商业化 X3D/XML 数据解析器(如 Cosmo Player, Venues),也有一些开放的、用于 X3D/XML 数据解析二次开发的组件(如 Xj3D, X3DToolkit)^[32],但是由于这些商业化组件无法完成 GIS 空间分析功能,而且基本都是采用执行效率低的

伪编译语言 Java 作为开发工具,因此,笔者运用 Visual C + + . Net 和 OpenGL3 维图形函数库,开发了具有自主知识产权的 X3D/XML 数据解析器。

(2)应用逻辑层是由 X3D/XML 数据转换组件和 GIS 空间分析组件构成,它们也是由 VC + + . Net 与 ESRI 公司的 GIS 软件开发工具包 ArcObjects 结合开发的 ActiveX 组件。X3D/XML 数据转换组件负责接受由客户服务层传送的 X3D/XML 数据转换服务请求,其可将用于创建 3 维地理场景的空间数据(如 digital elevation model, DEM 数据)和用于纹理渲染的遥感影像数据(如 JPEG, bitmap 数据),以及用于 GIS 空间分析的矢量数据(如 Coverage, scalable vector graphics SVG)和属性数据(如 database file DBF, XML 数据)转换为 Geo-SD SHIP 体系结构中用于空间数据共享和互操作所要求的 X3D/XML 数据格式,而 GIS 空间分析组件则负责将客户服务层传送的 GIS 空间分析服务请求,在 3 维虚拟地理场景中完成距离量算、面积量算、属性数据提取、统计分析、简单的叠加分析等处理,并将处理结果返回给客户服务层。应用逻辑层的特点是:①X3D/XML 数据转换组件作为现有 GIS 应用与基于 Geo-SD SHIP 体系结构的 3 维 WebGIS 应用之间的桥梁,不仅完成了对现有空间数据和非空间数据格式向 X3D/XML 数据的转换,并且在不放弃现有 GIS 应用和避免投资浪费的前提下,即可将现有应用升级为互联网环境下的 3 维 WebGIS 应用,另外, X3D 数据转换组件还为在 Geo-SD SHIP 体系结构内部实现 X3D/XML 数据流通信奠定了基础;②GIS 空间分析组件的数据源——X3D 数据格式中代表栅格数据类型的 GeoElevationGrid 节点、TriangleSet 系列节点和代表矢量数据类型的 Contour2D 和 ContourPolyline2D 节点,以及各节点中与外部属性数据类型联系的 Definition 节点属性,为基于 Geo-SD SHIP 体系结构的系统在 3 维虚拟地理场景中,实现 GIS 空间分析功能奠定了基础。

(3)数据管理层由地理空间数据库组件构成,它具有以下 3 种核心功能:①定义基于 XML 的面向对象地理空间元数据模型,并以此模型为标准来提取、存储 X3D/XML 数据流中的元数据,或检索相关的地理空间元数据;②定义基于 X3D/XML 的面向对象地理空间数据模型,并以此模型为标准来提取、存储 X3D/XML 数据流中的地理空间数据,或检索由元数据确定的空间数据和非空间数据;③定义 3 维虚拟地

理场景的生成策略,用于将检索得到的空间数据和非空间数据组织成建立 3 维虚拟地理场景时所需要的数据结构。数据管理层的最大特点就是引入了基于 XML 的元数据管理机制,它是通过元数据来检索海量地理空间数据库中的空间数据和非空间数据,并将检索结果以 X3D/XML 数据流形式传输。目前,笔者已完成了 Geo-SD SHIP 体系结构地理空间元数据、地理空间数据模型的定义(另文论述),而 3 维虚拟地理场景生成策略还在进一步完善中。另外,通过使用先进的计算机技术,笔者解决了 Geo-SD SHIP 体系结构中核心组件的一些关键技术问题。

3 Geo-SD SHIP 体系结构的关键技术

3.1 基于 X3D/XML 的 3 维虚拟地理场景的创建

在基于 Web 的 3 维虚拟地理场景创建过程中,其关键技术在于如何解决海量地形数据的 3 维可视化、遥感影像纹理的 Web 传输和大范围地理场景的渲染。在 Geo-SD SHIP 体系结构中,可先根据客户端提交的地理场景相关参数,以 X3D/XML 数据流的形式交给地理空间数据库组件,然后通过该组件的操作来检索获得所需要的 X3D/XML 数据流,再由组件中的 3 维虚拟地理场景生成策略构建的组件对象,按照细节层次模型(lay of detail, LOD),以 X3D 数据格式、面向对象的方式来组织 X3D/XML 数据流,并传送给客户服务层的 X3D/XML 数据解析组件用于进行大范围地理场景的渲染处理;而影像纹理数据也是以 X3D/XML 数据流进行 Web 传

输,并通过客户端的 X3D/XML 数据解析组件来完成影像数据还原、渲染。这样,在基于 Web 创建 3 维地理场景的同时,又实现了地理空间数据的跨平台共享和互操作。

3.2 X3D/XML 数据转换组件

Geo-SD SHIP 体系结构中的 X3D/XML 数据转换组件,其对空间数据的转换操作是由 VC + + .Net 和 ArcObjects 工具包开发的空间数据转换包完成的。ArcObjects 工具包中包含有地理空间数据分布式对象模型(Geodatabase Distributed Objected Model),虽然该模型中的 DataChangesImporter 和 DataChangesExporter 对象已能够实现大部分地理空间数据之间的相互转换,但是笔者运用 VC + + .Net 和 ArcObjects 工具包,对 DataChangesImporter 和 DataChangesExporter 对象稍加改造,又实现了空间数据格式(如 DEM,Grid 等)与 X3D/XML 数据格式之间的相互转换。由于针对不同的应用专题,其非空间数据的结构是不一样的,因此,非空间数据的转换实现起来相对困难。笔者通过分析发现,由于工作中采用的大部分非空间数据是统计年鉴或人口普查数据,因此 Geo-SD SHIP 体系结构中的 X3D/XML 数据转换组件,就是以这两种属性数据源为基础,用 XML 格式来组织非空间数据。而对于其他专题类型的属性数据源(如地下水、土壤养分等),则根据其学科特点采用面向对象方法和 XML 格式来组织数据。下面以人口普查数据为例来说明非空间数据转换的具体实现过程。

图 2 为人口普查资料的树状结构图,下面以该图

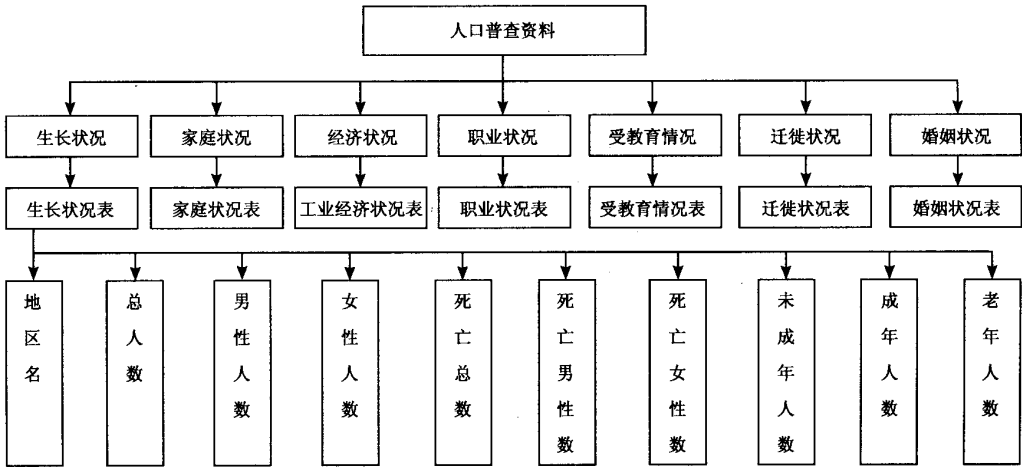


图 2 人口普查资料树状结构图
Fig. 2 Dendriform diagram of census data

中生长状况表为例表示出其 XML 模型的伪码结构:

```
<? xml version = '1.0' encoding = 'utf-8'? >
<census metadata1 = 'value1' metadata2 = 'value2'... >
<growth metadata1 = 'value1' metadata2 = 'value2'... >
  <location > somewhere </location >
  <totalPopulation > 1381.9 </ totalPopulation >
  <male > 720.6 </male >
  <female > 661.3 </female >
  <death > 7 </death >
  <deathMale > 4 </deathMale >
  <deathFemale > 3 </ deathFemale >
  <pupil > 187.8 </pupil >
  <adult > 1078.6 </adult >
  <oldFolks > 115.5 </oldFolks >
</growth >
</census >
```

在数据收集过程中,可首先将获得的人口普查资料中的生长状况数据,在客户端,以 Excel 表(该表的字段名与 XML 模型中节点名称相同)的形式通过 ASP. Net 网页上传至服务器端,并由 X3D/XML 数据转换组件将 Excel 表格转换为 XML 格式;然后,用地理空间数据库组件中的元数据对象来获取生长状况表中的元数据信息,而数据信息则由空间数据库对象获取,并存入数据库中。

3.3 GIS 空间分析组件

Geo-SD SHIP 体系结构中的 GIS 空间分析组件,也是由 VC + +. Net 结合 ArcObjects 工具包开发完成的。其中 ArcObjects 工具包中的地学分析对象模型(GeoAnalyst Object Model)和空间分析对象模型(SpatialAnalyst Object Model)提供了丰富的栅格

数据分析功能,由于 ArcObjects 工具包中并未提供现成的矢量分析模型,因此 Geo-SD SHIP 中的矢量分析功能是 VC + +. Net 与 Geometry Object Model 开发实现的。此外,由于 ArcObjects 工具包中还有 3 维分析对象模型(3DAnalyst Object Model)、网络分析对象模型(NetworkAnalysis Object Model)和轨迹分析对象模型(TrackingAnalyst Object Model),因此可以根据这些模型进一步开发 3 维空间分析、网络分析以及跟踪分析等功能。

3.4 X3D/XML 数据解析组件

X3D/XML 数据解析组件是由 VC + +. Net 与 OpenGL 图形函数库结合开发而成,并以 ActiveX 组件形式安装在客户端的网页浏览器中,其技术核心是首先将应用逻辑层获取的 X3D/XML 数据流读入 XML 数据文本对象(XMLDataDocument)中,并利用该对象的节点数据获取方法(XMLNodeReader)来读取每个节点内容;然后,通过 VC + +. Net 结合 OpenGL 函数库开发的节点解析组件来对获取的每个节点内容进行相应的 3 维地理场景建模、纹理渲染。

4 Geo-SD SHIP 体系结构运作机制及应用举例

Geo-SD SHIP 体系结构的运作机制十分灵活,它既可以仅是面向数据提供者的 X3D/XML 数据转换请求,并可以仅是面向数据需求者的 X3D/XML 数据解析和空间分析请求,也可以是完整的地理空间数据服务请求(如图 3 ~ 图 5 所示)。在 X3D/

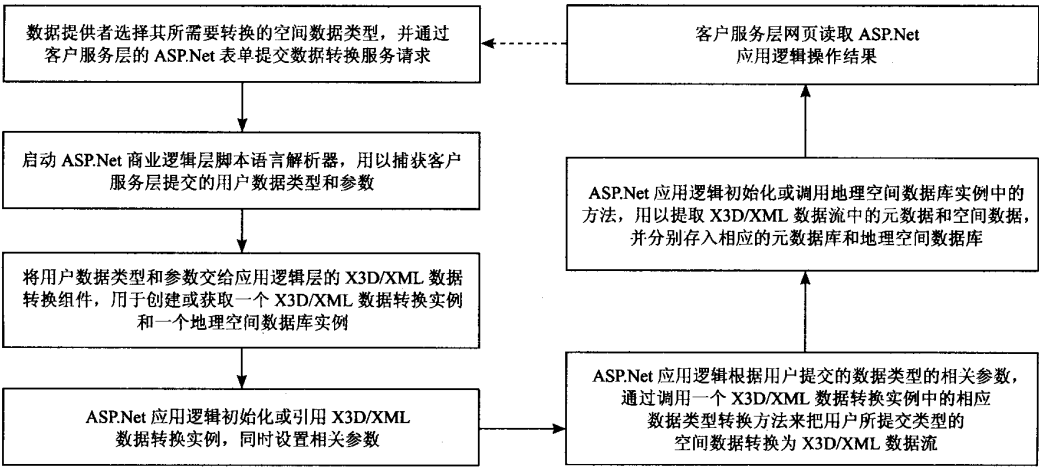


图 3 一次完整的 X3D 数据转换请求/响应过程

Fig. 3 Integrated X3D data conversion request/response process

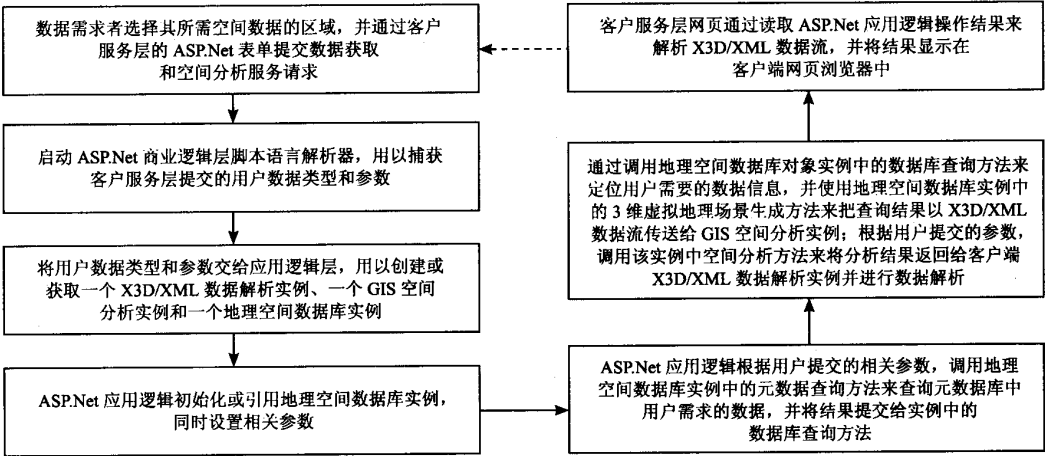


图 4 一次完整的 X3D 数据解析请求/响应过程

Fig. 4 Integrated X3D data parsing request/response process

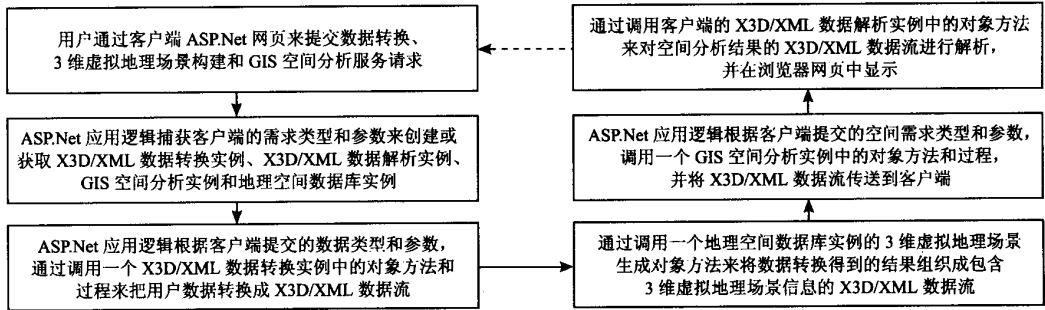


图 5 一次完整的空间数据服务请求/响应过程

Fig. 5 Integrated spatial data service request/response process

XML 数据转换服务请求过程中, 首先, 由 ASP. Net 应用控制逻辑来获取用户请求, 并将此请求交由 X3D/XML 数据转换组件进行处理; 接着, 其结果以 X3D/XML 数据流的形式传送给地理空间数据库组件, 以获取地理空间元数据和地理空间数据, 并存入数据库中; 然后, 在 X3D/XML 数据解析和空间分析请求中, ASP. Net 应用控制逻辑通过调用地理空间数据库组件中的地理空间元数据、地理空间数据获取方法来检索客户端所需要的数据信息, 并由 3 维虚拟地理场景生成策略来进行组织, 再以 X3D/XML 数据流传送给 GIS 空间分析组件; 最后, 将完成空间分析操作之后的结果, 再以 X3D/XML 数据流传送给客户服务层, 并将其显示在客户端网页浏览器中。而完整的地理空间数据服务请求, 则实际上是以上两种服务请求的交互。

Geo-SD SHIP 体系结构的组件化设计思想, 在实际应用中也取得了很好的效果。在国家自然科学基金

项目和中国科学院知识创新工程重要方向性项目的研究中, 已成功构建了 Geo-SD SHIP 体系结构中的地理空间数据库组件^[33-35] (如图版 I 图 1 所示), 并初步实践了 Geo-SD SHIP 体系结构中的部分组件功能, 且取得了很好的效果。图版 I 图 2、图 3 及图 6 显示的是一次完整的 X3D/XML 数据转换请求/响应过程。图版 I 图 4 和图 5 显示的是基于 Geo-SD SHIP 构建的天山北坡研究区 3 维虚拟地理场景。

5 结论及展望

本文基于 X3D/XML 的 3 维 WebGIS 平台——Geo-SD SHIP 的体系结构, 以 X3D/XML 数据流为各组件之间联系的桥梁, 使异构数据源的地理空间数据库之间能够通过 X3D/XML 来实现数据共享和互操作, 进而实现了地理空间数据在基于 Web 的 3 维虚拟地理场景中的可视化表达, 不但突破了仅将



图 6 查询完成的非空间数据结果(XML 格式)
Fig.6 Querying results of non-spatial data(XML format)

X3D 数据格式作为 3 维虚拟地理环境建模工具的局限,而且开拓了 3 维 WebGIS 研究的新思路。同时,为利用 WebGIS 与其他专业结合来解决该领域的科学问题开辟了一条新道路,如与土地利用/土地覆被变化专业结合,解决土地利用规划决策中不同决策层之间的矛盾(另文论述),以及进行土地覆被驱动力动态变化过程中的成因分析等等。当然,Geo-SD SHIP 体系结构的完善还有以下工作要做:①完善、优化地理空间数据库组件,在提供更加高效的面向对象 3 维虚拟地理场景生成策略的同时,深入研究该组件与其他专业模型(如土地利用/土地覆被变化驱动力模型)之间的协同运作,以实现专业模型在基于 Web 的 3 维虚拟地理场景中的可视化表达;②拓展新的 GIS 空间分析功能,如 3 维叠加分析、3 维场景分析、决策支持分析,以及与其他专业领域模型相结合的空间分析;③建立 Geo-SD SHIP 体系结构的 WebServices 注册模型和提供基于 X3D/XML 的 3 维 WebGIServices;④通过解析完整的 X3D 数据节点来增加丰富的光照、纹理渲染功能,以提高 X3D 数据在 Web 集成环境下表达效果的真实感。

参考文献 (References)

1 Voss Angi, Denisovich Ivan, Gatsalsky Peter, et al. Evolution of a

participatory GIS[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2004, 28(6):635 ~ 651.

2 Pundt Hardy, Bishr Yaser. Domain ontologies for data sharing—an example from environmental monitoring using field GIS [J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(1):95 ~ 102.

3 Houlding Simon W. XML—an opportunity for < meaningful > data standards in the geosciences[J]. Computers & Geoscience, 2001, 27(7):839 ~ 849.

4 Badard T, Richard D. Using XML for the exchange of updating information between geographical information systems [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2001,25(1):17 ~ 31.

5 SU Ya-fang, Slottow Joan, Mozes Avi. Distributing proprietary geographic data on the world wide web-UCLA GIS database and map server[J]. Computers & Geosciences, 2000,26(7):741 ~ 749.

6 Tait Michael G. Implementing geoportals: applications of distributed GIS [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29(1):33 ~ 47.

7 Döllner Jürgen, Hinrichs Klaus. An object-oriented approach for integrating 3D visualization systems and GIS [J]. Computers & Geosciences, 2000,26(1):67 ~ 76.

8 HUANG Bo, LIN Hui. A Java/CGI approach to developing a geographic virtual reality toolkit on the Internet [J]. Computers & Geosciences, 2002,28(1):13 ~ 19.

9 HUANG Bo, Lin Hui. GeoVR: a web-based tool for virtual reality presentation from 2D GIS data[J]. Computers & Geosciences, 1999, 25(10):1167 ~ 1175.

10 Lee Dong Hoon, Jung Soon Ki. Computer vision – assisted interaction in X3D Virtual Environment on WWW [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2003,27(13):332 ~ 340.

- 11 Chittaro Luca, Ranon Roberto. Using the X3D language for adaptive manipulation of 3D Web content [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, **31**(37): 287 ~ 290.
- 12 Bell M, Dean C, Blake M. Forecasting the pattern of urban growth with PUP: a web-based model interfaced with GIS and 3D animation [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2000, **24**(6): 559 ~ 581.
- 13 LI Qing-yuan, ZHANG Fu-hao, ZHU Xue-hua, *et al.* Web GIS programming technique research [J]. *Journal of Image and Graphics*, 1998, **3A**(6): 485 ~ 489. [李青元, 张福浩, 朱雪华等. Web GIS 实现技术探讨 [J]. 中国图象图形学报, 1998, **3A**(6): 485 ~ 489.]
- 14 ZHANG Jian-ting, LIU Wei-guo. A preliminary study on WebGIS [J]. *Geographical Research*, 1998, **17**(2): 185 ~ 192. [张健挺, 刘卫国. 网络地理信息系统研究 [J]. 地理研究, 1998, **17**(2): 185 ~ 192.]
- 15 JUNGWIRTH Bernd, (TAO Ying-ruo Translate). GIS on the internet: applications, technologies and trends [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2000, (4): 44 ~ 45. [JUNGWIRTH Bernd [德国], (陶颖若译). 因特网与地理信息系统: 互联地理信息系统 [J]. 测绘通报, 2000, (4): 44 ~ 45.]
- 16 XIAO Le-bin, ZHONG Er-shun, LIU Ji-yuan, *et al.* A discussion on basic problems of 3D GIS [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, **6A**(9): 842 ~ 848. [肖乐斌, 钟耳顺, 刘纪远等. 3 维 GIS 的基本问题探讨 [J]. 中国图象图形学报, 2001, **6A**(9): 842 ~ 848.]
- 17 YANG Chong-jun, WANG Yu-xiang, WANG Xing-ling, *et al.* Review of the main technologies of WebGIS [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, **6A**(9): 886 ~ 894. [杨崇俊, 王宇翔, 王兴玲等. 万维网地理信息系统发展及前景 [J]. 中国图象图形学报, 2001, **6A**(9): 886 ~ 894.]
- 18 CHI Tian-he, ZHOU Xu, WANG Lei, *et al.* WebGIS resolution for China's sustainable development information sharing system [J]. *Resources Science*, 2001, **23**(1): 34 ~ 39. [池天河, 周旭, 王雷等. 中国可持续发展信息共享系统的 WebGIS 解决方案 [J]. 资源科学, 2001, **23**(1): 34 ~ 39.]
- 19 HUNAG Yu-xia, Cliff K, KE Zheng-yi, *et al.* Interoperating GIS: Overview [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, **6A**(9): 925 ~ 931. [黄裕霞, Cliff Kottman, 柯正谊等. 可互操作的 GIS 研究 [J]. 中国图象图形学报, 2001, **6A**(9): 925 ~ 931.]
- 20 SHI Xing-rong, YU Neng-hai, ZHANG Yong-qian. Study on WebGIS based on component object technology [J]. *Computer Engineering*, 2001, **27**(6): 4 ~ 6, 13. [史杏荣, 俞能海, 张永谦. 基于组件对象技术的 WebGIS 研究 [J]. 计算机工程, 2001, **27**(6): 4 ~ 6, 13.]
- 21 LIU Rong-gao, ZHUANG Da-fang, LIU Ji-yuan. Framework for representation of spatial data in Web [J]. *Acta GeoDaetica et Cartographica Sinica*, 2001, **30**(3): 276 ~ 280. [刘荣高, 庄大方, 刘纪远. Web 环境下实现空间数据表达的框架研究 [J]. 测绘学报, 2001, **30**(3): 276 ~ 280.]
- 22 LUO Ying-wei, LIU Xin-peng, WANG Yue-long, *et al.* The design and implementation of digital campus system based on Geo-Union [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, **7A**(8): 844 ~ 850. [罗英伟, 刘昕鹏, 王月龙等. 基于 Geo-Union 的数字校园系统的设计与实现 [J]. 中国图象图形学报, 2002, **7A**(8): 844 ~ 850.]
- 23 XIU Wen-qun. Web GIS [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, **7A**(6): 610 ~ 617. [修文群. 网络地理信息系统 [J]. 中国图象图形学报, 2002, **7A**(6): 610 ~ 617.]
- 24 SHEN Xu-kun, WANG Da-jiang, QI Yue. Interactive 3D techniques of virtual reality based on X3D/VRML [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2003, **39**(26): 230 ~ 232. [沈旭昆, 王大江, 齐越. 基于 X3D/VRML 的 3 维场景设计与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2003, **39**(26): 230 ~ 232.]
- 25 TANG Zhong-shi, WANG Yue-guo, HUANG Jun-feng, *et al.* The research of internet 3D GIS based on X3D [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2003, (9): 30 ~ 32. [唐中实, 王越国, 黄俊峰等. 基于 X3D 的网络 3 维 GIS 研究 [J]. 测绘通报, 2003, **9**: 30 ~ 32.]
- 26 HUANG Zhao-qiang, FENG Xue-zhi. The research of spatial heterogeneous data source integration of GIS [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, **9**(8): 904 ~ 907. [黄照强, 冯学智. 地理信息系统空间异构数据源集成研究 [J]. 中国图象图形学报, 2004, **9**(8): 904 ~ 907.]
- 27 LIU Nan, LIU Ren-yi. Strategy of distributed WebGIS in server group and its implementation [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, **9**(1): 99 ~ 104. [刘南, 刘仁义. 基于 COM + 的分布式 WebGIS 架构及实现方法 [J]. 中国图象图形学报, 2004, **9**(1): 99 ~ 104.]
- 28 Turner A K, (GUO Qiu-ying Translate). What's the difference among 2-D, 2.5-D, 3-D and 4-D [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 1998, (2): 44 ~ 45. [A. Keith Turner, (郭秋英译). 2D 2.5D 3D 以及 4D 之间的差异 [J]. 测绘通报, 1998, (2): 44 ~ 45.]
- 29 X3D Browser and sample X3D models [EB/OL]. <http://cic.nist.gov/vrml/vbdetect.html>, 2005-05-08.
- 30 WANG Tao, CHEN Xi, WANG Wei-sheng, *et al.* Design and implementation of Web-based database application system of Xinjiang ecological resources and environment [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004, **40**(23): 200 ~ 205. [王涛, 陈曦, 王伟胜等. 基于 Web 的新疆生态资源环境数据库应用系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2004, **40**(23): 200 ~ 205.]
- 31 LUO Ge-ping, CHEN Xiao-gang, WANG Tao, *et al.* Preliminary analysis on the visualized simulation of land use/land cover change in typical oases [J]. *Arid Land Geography*, 2005, **28**(1): 45 ~ 51. [罗格平, 陈小钢, 王涛等. 典型绿洲土地利用/土地覆被变化的可视化模拟初步分析 [J]. 干旱区地理, 2005, **28**(1): 45 ~ 51.]
- 32 JIANG Yong-fa, LU Guo-nian, Peng Shi-kui. Research on geometry modeling method of three-dimensions landscape GIS: a case study of Tangcheng in Wuxi [J]. *Geographical Research*, 2004, **23**(2): 265 ~ 273. [姜永发, 闾国年, 彭世葵. 3 维景观 GIS 几何建模方法——以无锡唐城为例 [J]. 地理研究, 2004, **23**(2): 265 ~ 273.]
- 33 WANG Tao, LU Zhao-zhi, CHEN Xi, *et al.* Development of intranet-based database management system of Bollworms in Xinjiang by using Delphi [J]. *Arid Land Geography*, 2005, **28**(1): 72 ~ 75. [王涛, 吕昭智, 陈曦等. 用 DELPHI 开发新疆地区棉铃虫测报数据库管理系统 [J]. 干旱区地理, 2005, **28**(1): 72 ~ 75.]



图1 新疆资源生态环境数据库应用系统——生态环境子库
Fig.1 Resources and environments database applications system of Xinjing—Entironments SubDatabase



图2 提交非空间数据转换服务请求
Fig.2 Submitting non-spatial data conversion request



图3 转换完成可供查询的非空间数据
Fig.3 Dropdown list of non-spatial data

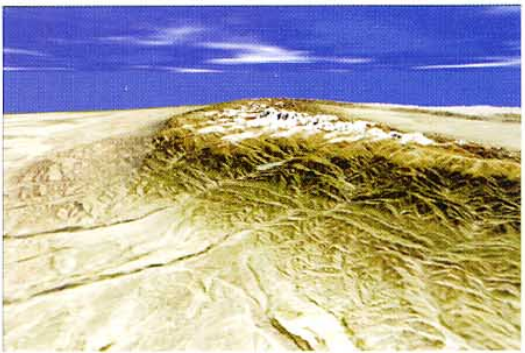


图4 天山北坡3 维虚拟场景(3 维虚拟漫游截屏)
Fig.4 Panorama on northern slope of Tianshan mountains (3D virtual walkthrough snapshot)



图5 天山北坡农田3 维虚拟场景(3 维虚拟漫游截屏)
Fig.5 Farmland on northern slope of Tianshan mountains(3D virtual walkthrough snapshot)