

服务式2D、3D 结合GIS 的核心问题及其解决方案

宇林军^{1, 2}, 潘 影¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 北京国遥新天地信息技术有限公司, 北京 100101)

摘要: 3D GIS 是 GIS 的发展方向, 其研究尚处于基础理论阶段, 目前, 市场上还不存在成熟的真 3D GIS。2D、3D 结合是实现 3D GIS 的一条有效途径。服务式 2D、3D 结合 GIS 则是在服务式构架下实现 2D GIS 与三维可视化技术的无缝结合, 即由 GIS 服务器提供传统的 2D GIS 服务, 客户端提供用户界面及 2D、3D 数据融合渲染等功能。实现服务式 2D、3D 结合 GIS 的核心是如何在网络条件下, 进行大规模数据传输及客户端 2D、3D 数据的实时融合渲染。本文针对此核心问题提出了基于 C/S 框架的 2D、3D 结合 GIS 系统构架, 其核心包括基于 LOD(Level of Detail) 模型的客户端渲染构架及基于双缓存机制的数据服务构架。本文基于此系统构架开发了一个原型系统, 使用 ArcGIS Engine 开发了 GIS 服务端, 在 World Wind 开源软件的基础上, 实现了三维客户端。二维 GIS 服务端为三维客户端提供基本的 GIS 服务, 如查询, 缓存区分析等。系统运行结果表明该服务式构架解决了服务式 2D、3D 结合 GIS 的关键问题, 为进一步构建应用系统奠定了基础。该系统构架亦适用于 B/S 构架。实践证明在此框架的基础上通过将客户端封装为 Web 控件可实现基于 B/S 构架的服务式 2D、3D 结合。

关键词: 3D GIS; 分层次细节模型 (LOD); 服务式 GIS; 2D、3D 结合; 三维渲染引擎

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00058

1 引言

2D GIS 基于抽象二维符号的表现形式已无法完全满足城市规划、交通、地质勘探等领域对可视化的新要求, 3D GIS 成为 GIS 未来的发展方向^[1-2]。目前, 尽管市场上的一些 3D 产品如 ArcInfo 的 3DX、Benfly 的 Macrosation MasterPiece、Erdars 的 Image Virtual GIS、Muhigen 的 MuhigenCreator、吉奥的 CCGIS 等具有某些 3D GIS 特征, 但并不能称为真 3D GIS^[3]。3D GIS 比 2D GIS 更具复杂性且受软硬件条件的限制, 其研究仍处于探索阶段^[4-6]。肖乐斌等认为基于二、三维混合结构的 GIS 系统设计是在当前背景下, 处理 3D GIS 系统的一个较为实际的解决方案, 不宜单纯开发 3D GIS^[3, 7]。Rhyne (1997) 定义了 GIS 与可视化结合的四个层次: 初始级(Rudimentary level)、操作级(Operational level)、功能级(Functional level)及融合级(Merged level)^[8]。在初始级中只有少量的数据共享; 操作级别致力于消除数据冗余和达到数据获取的一致性; 功能级的关注点是二者的透明交

流; 融合级的目标是将二者融合为一个全面的系统^[9]。目前, 2D、3D 结合 GIS 的研究以功能级为主, 即 2D GIS 子系统与 3D 子系统集成于同一个系统中, 二者通过内存中的对象或组件实现互操作, 2D、3D 数据分别在两个相互独立的窗口中渲染^[10-12]。融合级别的 2D、3D 结合的核心是 2D、3D 数据的融合渲染, 即在同一个场景中同时渲染 2D、3D 维数据。文献^[13]提出了 LOD 的 2D GIS 图层与 3D 地形叠加渲染构架和系统构架, 实现了融合级别的本地 2D、3D 结合 GIS。

服务式 GIS 是一种面向服务软件工程方法的 GIS 技术体系, 它支持按照一定规范把 GIS 的全部功能以服务的方式发布出来, 可以跨平台、跨网络、跨语言地被多种客户端调用, 并具备服务聚合能力以集成来自其他服务器发布的 GIS 服务^[14]。构建基于服务式构架的 2D、3D 结合 GIS 的目标, 是为了整合传统服务式 GIS 与三维表达各自的优势, 即由 GIS 服务器通过网络提供 GIS 服务, 由客户端提供数据三维可视化服务。目前, 尽管市场上的 3D 软件如 Google Earth、Visual Earth、Skyline 等具有

收稿日期: 2010-04-01; 修回日期: 2010-06-30。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAJ10B05)。

作者简介: 宇林军(1981-), 男, 河北人, 博士研究生, 主要从事地理信息与土地利用研究。E-mail: yulinjn@tom.com

服务式 3D GIS 类似功能,但由于这些软件的设计目标是面向普通大众用户,重点是提供地理定位、数据展示与共享服务,因而,只具备有限的专业 GIS 功能。能否提供专业的 GIS 服务,是 2D、3D 结合 GIS 与这类 3D 产品主要区别。如何在客户端实时渲染服务器端图层是实现服务式 2D、3D 结合 GIS 的关键问题。数据网络传输是限制 3D 客户端 2D、3D 数据融合渲染效率的一个主要因素,即数据网络传输速度无法满足客户端对地形数据及 2D GIS 图层纹理数据的实时加载与更新。因此,实现服务式 2D、3D 结合 GIS 的关键是如何克服网络传输的限制,在客户端实现融合级别的 2D、3D 数据融合渲染。本文试图探索实现服务式构架的 2D、3D 结合 GIS 的途径和方法,针对其核心问题设计了基于 C/S 构架的系统构架,其核心包括客户端渲染框架及基于双缓存机制的网络数据服务构架。

2 服务式 2D、3D 结合 GIS 系统的构架

2.1 系统整体构架

本文在借鉴当前主流服务式 2D GIS 的结构体系^[15-16]的基础上,构建了服务式 2D、3D 结合 GIS 系统整体构架,如图 1:

(1)三维客户端。客户端实现 2D、3D 数据的融合渲染、通过网络与 2D GIS 服务器交互获取 GIS 服务及数据、实现各种应用功能等。客户端渲染框架的核心包括三维渲染引擎、服务器图层及客户端缓存三个部分。三维渲染引擎基于 LOD 模型负责各类图层的渲染。服务器图层是服务器端 2D GIS 图层在客户端的代理。客户端缓存为服务器图层提供数据、与远程服务器交互获取并缓存数据、与操作系统的文件系统交互管理本地缓存数据。

(2)Web 服务器。Web 服务器介于客户端与 GIS 服务器之间,接收并解析客户端请求,发送请求到 GIS 服务器,按指定格式将 GIS 服务器的结果返回到客户端。Web 服务器也直接访问服务器缓存为客户端提供数据服务。

(3)GIS 服务器。GIS 服务器通过 Web 服务器向客户端提供各种 GIS 服务,管理服务器缓存。

(4)数据服务器。数据服务器由空间数据库构成,为系统提供空间数据管理服务。

(5)客户端缓存与服务器缓存。与传统的 2D WebGIS 不同,客户端三维渲染的实时性需要更高

效的数据服务,故此,本文提出了双缓存机制。客户端缓存目的是解决提高数据加载效率,服务器缓存则为了提高服务器端数据服务效率。

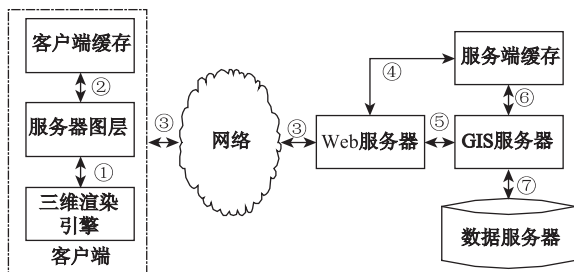


图 1 服务式 2D、3D 结合 GIS 系统的构架

Fig. 1 System architecture for integrating 2D service GIS with 3D visualization technology

2.2 客户端系统构架

客户端系统构架如图 2 所示:3D 渲染引擎负责各类可渲染类型图层渲染;服务器端 2D GIS 图层在客户端对应于可渲染类型图层,即服务器图层;GIS 分析引擎提供传统 2D GIS 专业分析功能,如查询、最短路径分析、缓存区分析等;临时图层用于分析结果的显示;客户端缓存为服务器图层提供数据缓存服务。其他类型图层包括地形图层、3D 模型图层、KML 图层、粒子系统图层等。

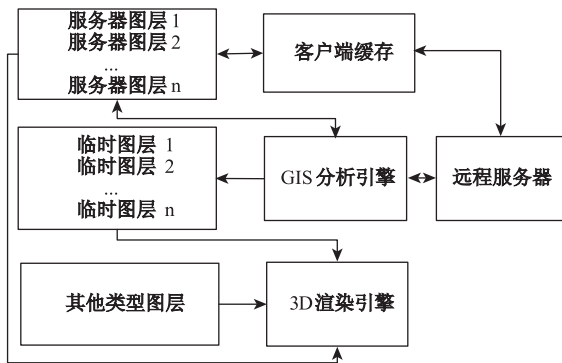


图 2 客户端系统的构架

Fig. 2 Client system framework

2.3 客户端渲染框架

客户端渲染构架如图 3 所示:客户端渲染引擎根据 LOD 规则渲染不同类型的图层。渲染过程为:渲染引擎根据渲染目标与观察者(镜头)的距离选择不同细节程度的纹理数据和顶点数据,经过空间变换后输入到三维渲染管道中,由 Direct3D API

或 OpenGL API 调用相关的硬件设备接口进行渲染场景;系统图层基于 LOD 模型来组织和处理大规模数据,从客户端缓存获取纹理数据和顶点数据;远程服务器为客户端提供 GIS 功能及数据。

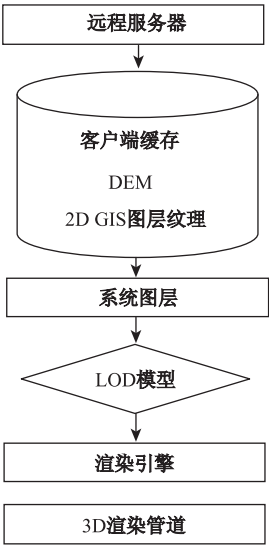


图 3 客户端渲染的构架

Fig. 3 Client rendering architecture

2.4 双缓存机制

服务器数据输出及网路传输是影响客户端渲染效率的两个瓶颈。文献[13]使用本地缓存机制解决了本地 2D GIS 纹理输出速度对实时渲染的限制。类似地,本文在客户端及服务器端同时进行数据缓存,即采用双缓存机制来提高服务器数据服务效率及本地数据加载效率。基于 LOD 规则的双缓存机制工作流程,如图 1:

- (1)3D 渲染引擎基于 LOD 规则调用服务器图层的渲染函数,渲染特定 LOD 级别的的服务器图层地形块(图 1 过程①)。
- (2)若该图层块不存在,则服务器图层调用 LOD 地形块初始化函数访问客户端缓存获取所需纹理数据进行初始化过程(图 1 过程②);如果存在,则返回;如果不存在,则在客户端缓存中查找对应的矢量数据。如果存在,则加载并生成纹理并存储到缓存中,返回该纹理数据到服务器图层;若二者都不存在则向 Web 服务器发送请求(图 1 过程③)。
- (3)Web 服务器接收并解析客户端请求,获取服务器缓存数据(图 1 过程④);若服务器缓存无该

- 数据,则向 GIS 服务器发送请求。
- (4)GIS 服务器根据请求生成数据,储存数据到服务器端缓存后返回到 Web 服务器(图 1 过程⑤、⑥)。
- (5)客户端缓存接收并储存服务器返回的数据,通过回调函数通知服务器图层重新初始化该地形块。
- (6)如果客户端服务器图层设置发生改变,则清空客户端缓存及内存中所有纹理,执行第一步。

2.5 数据传输格式

本地 2D、3D 结合系统中,子系统间基于栅格格式进行数据传输,2D GIS 图层显示风格由 2D GIS 子系统控制^[13]。但栅格格式数据传输并不适用于服务式构架。首先,栅格格式相对于矢量格式的数据量更大,因而会加重网络传输负担。其次,栅格格式数据使得所有客户端只能共享统一的显示风格,无法根据本地设置个性化显示数据。因此,本系统构架采用压缩的矢量文件(7z 格式压缩的 ESRI 公司 Shape 格式文件)进行传输数据,以减少网络数据流量,提高传输效率。客户端在解压缩并解析矢量文件后,根据本地设置生成相应风格的纹理。

3 原型系统的实现

本文使用 World Wind(NASA 开发的三维交互式地球浏览开源软件)开发了客户端,以 ESRI 公司的 ArcGIS Engine 二次开发包实现了服务器端。

3.1 客户端

3.1.1 图层渲染

World Wind 地形渲染引擎采用基于四叉树算法的 LOD 模型,用 QuadTile 类描述一个地形块,用 QuadTileSet 类描述一个地形图层。QuadTileSet 类的地形块集合属性包含第 0 级(最粗糙级别)地形块。QuadTileSet 对象根据 LOD 规则生成或销毁各级地形块,其结构及渲染过程可参见文献[13]。在服务式 2D、3D 结合 GIS 构架下,服务器图层用 RemoteVectorLayer 类描述。RemoteVectorLayer 类和 RemoteVectorLayerTile 类分别继承和扩展了 QuadTileSet 类和 QuadTile 类。RemoteVectorLayer 扩展属性主要为缓存对象(与服务器交互获取并缓存

数据)和显示风格对象。RemoteVectorLayerTile 类重写了 QuadTile 类的纹理初始化函数。二者主要区别在于 QuadTile 类对象直接从文件系统中获取纹理,而 RemoteVectorLayerTile 类对象则通过其父对象(RemoteVectorLayer 对象)的缓存对象管理和获取纹理。

3.1.2 客户端缓存

客户端缓存接口如图 4:ITextureStore 接口描述了缓存对象的基本属性和方法;IQuadTiledTextureStore 接口继承了 ITextureStore 接口,并拓展了基于四叉树机制的纹理缓存属性和方法;IQuadTiledTextureStore 的 TileService 属性(实现 ITileService 接口)用于与服务器的交互,管理下载请求,如添加、删除、更新纹理下载请求,根据 LOD 规则排列下载优先次序等;RemoteVectorLayer 通过 TextureStore 对象(实现了 IQuadTiledTextureStore 接口)管理数据缓存。

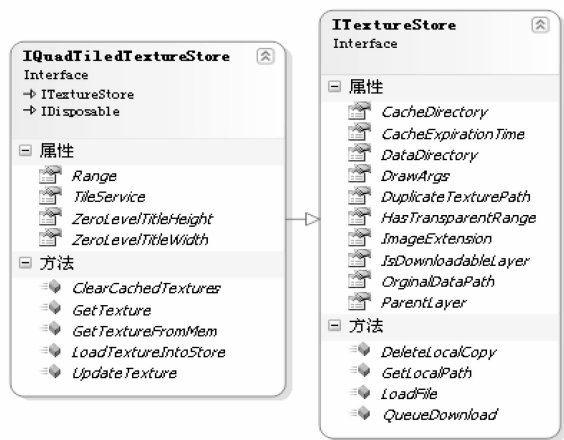


图 4 客户端纹理缓存接口

Fig. 4 Interface of client texture cache

客户端纹理缓存工作流程如图 5 所示。

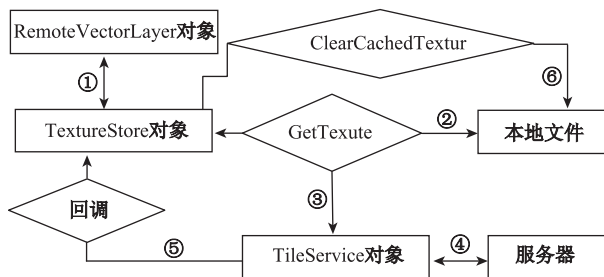


图 5 客户端缓存工作流程

Fig. 5 Work flow of client texture cache

(1) RemoteVectorLayer 对象根据 LOD 规则初始化子地形块(RemoteVectorLayerTile 类型),发送纹理请求到 TextureStore 对象(步骤①)。

(2) TextureStore 对象调用 GetTexute 函数获取纹理。如果纹理存在于内存中,则返回;如果纹理以栅格格式存在于本地文件系统,则加载并返回;如果栅格数据不存在,但矢量数据(Shape 格式)存在,则调用 LoadTextureIntoStore 函数解析矢量数据并生成纹理(步骤②);否则生成一个请求发送到 TileService 对象(步骤③)。

(3) TileService 对象接收到纹理请求后,将其添加到纹理请求队列中,并根据 LOD 规则激活最优先下载的请求(步骤④);下载完成后,TileService 对象调用回调函数将下载结果返回到 TextureStore(步骤⑤),并开始尝试激活其他的下载请求,直到完成所有下载任务(步骤④)。

(4) 若图层设置(如显示风格)发生改变,则 RemoteVectorLayer 调用其 TextureStore 属性的 ClearCachedTexture 函数(在 IQuadTiledTextureStore 接口中定义)来清除所有缓存数据(步骤⑥);执行第一步。

3.2 Web 服务器设计与实现

Web 服务器介于客户端与 GIS 服务器之间,通过 TCP 协议及地图服务接口(IMapWebService,图 6)与 GIS 服务器交互。基于不同技术产品(如 ArcGIS Engine 或 SuperMap Objects)的 GIS 服务器实例化地图服务接口。地图服务接口各函数功能分别为:GetLayerTile 函数返回图层指定范围内的数据;GetEntity、QueryByDistance、QueryByGeometry、QuerySQL 执行各种条件的查询操作;ClearCache 用于清除服务端缓存数据;GetGeometoryBuffer 及 FineShortestPath 执行缓存区分析及最短路径分析;GetLayerInfor 返回图层基本信息,如图层名称、初始显示界别、显示风格等;GetLayerUniqueTheme 返回服务器图层单值专题图配置信息。

Web 服务器通过 Web 方法为客户端提供服务。以基于 LOD 规则的数据获取函数(GetMapLayerTile 函数)为例,两个基本步骤为:

(1) Web 服务器访问服务端缓存,如果存在则返回该缓存数据;

(2) 如果不存在,则访问 GIS 服务器获取数据。

C# 伪代码为:

GetMapLayerTile (string 图层名称,int LOD
级别,int 行号,int 列号)

```
{  
    将参数转换为数据在服务器缓存的路径;  
    if (数据存在于服务器端缓存池) return 缓存数据;  
    else 连接 GIS 服务器获取并返回数据;  
}
```

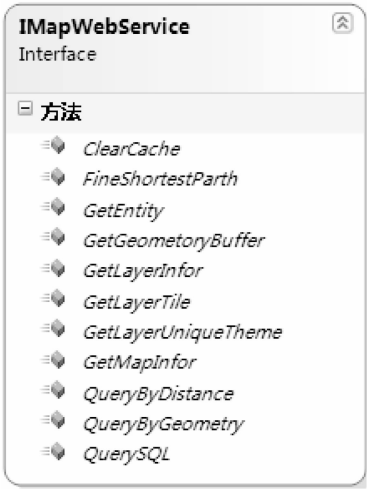


图 6 Web 服务器服务接口
Fig. 6 Interface of Web server

3.3 GIS 服务器设计与实现

GIS 服务器实例化 GIS 服务接口,通过 Web 服务器为客户端提供 GIS 服务。本文使用 ArcGIS Engine 和 . Net Remoting 技术开发了 GIS 服务器,主要接口 (如图 7) 包括: ISpatialServert、ISpatialAnalystService、IQueryService 和 IMapService。

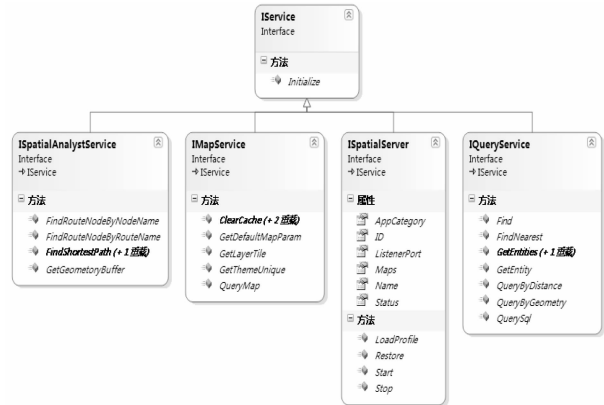


图 7 GIS 服务器接口
Fig. 7 Interface of GIS server

其中,ISpatialServert 接口控制服务器的启动、暂停、停止、重新启动,加载服务器配置文件,返回服务器基本信息等。ISpatialAnalystService 接口提供空间分析服务,如最短距离分析,缓存区分析等。IQueryService 主要提供空间查询服务,包括 SQL 查询和几何查询等。IMapService 提供地图及图层的基本操作功能,管理服务端缓存。

3.4 原型系统的运行分析

原型系统主要数据包括,NASA 的全球 30m 分辨率遥感影像,全球 90m 分辨率 DEM 及包头市交通网络数据。该原型系统实现了基于服务式构架的二维 GIS 图层与三维地形实时叠加渲染及空间查询、缓存区分析、最短路径分析等功能。从系统运行结果来看,与整合本地 GIS 相比原型系统客户端渲染效率稍慢。但系统运行一段时间后,由于部分数据缓存到本地,其效率与本地 GIS 的 2D、3D 结合系统渲染效率相当。因此,该原型系统渲染效率完全可以满足应用需求。用户可根据不同行业领域的具体需求,在此框架基础上实现相应的应用功能。北京国遥新天地信息技术有限公司以此构架开发了产品 EV - Globe,并成功地将其应用到电力、海洋、石油、军事等多个行业领域中。此系统构架设计亦适用于 B/S 构架,基于 B/S 架构下的 EV - Globe 产品已发布。

4 结 论

2D、3D 结合 GIS 集传统 2D GIS 功能与 3D 表现于一体,是实现 3D GIS 的一条可行途径。建立融合级别的 2D、3D 结合 GIS 的关键是实现 2D、3D 数据的实时叠加渲染。文献[13]建立了基于 LOD 模型的渲染构架,将 2D GIS 整合于 3D 系统中。服务式构架的 2D、3D 结合 GIS 目的是在网络构架下融合 2D 服务式 GIS 与三维可视化技术。与整合本地 2D GIS 不同,在服务式构架下整合 2D GIS 具有两方面的困难:首先,三维客户端与二维 GIS 服务器被网络分离,3D 子系统无法像整合本地 2D GIS 那样在内存中共享 2D GIS 对象,因而,客户端向用户提供专业的功能更加困难;其次,数据的网络传输限制了客户端服务器图层的实时渲染。因此,本文针对实现服务式 2D、3D 结合 GIS 的关键问题构建了 C/S 结构的系统构架,其核心包括在文献[13]

基础上,改进的客户端图层渲染构架及基于双缓存机制的数据服务构架。本文基于 World Wind 开源软件与 ArcGIS Engine 开发包开发了一个原型系统,实现了服务式构架的二维 GIS 图层与三维地形实时叠加渲染、GIS 查询、空间分析等功能。系统运行结果表明,该框架解决了网络 GIS 与三维可视化结合的核心问题,渲染效率完全能够满足应用需求。通过将客户端封装为 Web 控件,该系统框架亦可适用于 B/S 构架。但若将其应用于工程开发还需更多工作,如系统日志管理,提供更灵活丰富的空间分析功能、更丰富的图层显示风格等。

参考文献:

- [1] 刘哲,严泰来,张晓东. 3D 技术研究进展[J]. 中国农学通报,2006,22(11):451-455.
- [2] 李勇,郝向阳,西勤. 三维地理信息系统相关技术研究[J]. 测绘科学,2001,26(4):25-28.
- [3] 肖乐斌,钟耳顺,刘记远,宋关福. 三维 GIS 的基本问题探讨[J]. 中国图象图形学报,2001,6(9):842-848.
- [4] 施加松,刘建忠. 3D GIS 技术研究发展综述[J]. 测绘科学,2005,30(5):117-119.
- [5] 王继周,李成名,林宗坚. 三维 GIS 的基本问题与研究进展[J]. 计算机工程与应用,2003,39(24):40-44.
- [6] Zlatanova S, Rahman A A and Pilouk M. 3D GIS: Current Status and Perspectives[C]. // Proceedings of the

- Joint Conference on Geo-spatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, Canada, 2002:8-12.
- [7] 徐苏维,王军见,盛业华. 3D/4D GIS/TGIS 现状研究及其发展动态[J]. 计算机工程与应用,2005,3:58-62.
- [8] Rhyne T M. Going Virtual with Geographic Information and Scientific Visualization [J]. Computers & Geosciences, 1997, 23(4):489-491.
- [9] Wang Xinhao. Integrating GIS, Simulation Models and Visualization in Traffic Impact Analysis[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29:471-496.
- [10] 万幼,边馥苓. 二三维联动的 GIS 系统体系结构构建技术[J]. 地理信息世界,2008, 2:48-52+69.
- [11] 周新耿,刘芬. 2 维、3 维空间信息系统的结合和应用[J]. 计算机与数字工程,2005,33(3):101-103.
- [12] 向南平,周翠竹. 三维 GIS 空间-属性信息交互查询的设计与实现[J]. 测绘工程,2005,14(2):47-49.
- [13] 宇林军,孙丹峰,李红. 基于紧密型二三维结合的 GIS 构架与系统实现[J]. 地理与地理信息科学,2009, 25(5):17-20.
- [14] 宋关福. Service GIS 引发地理信息服务共享与聚合革命[J]. 地理信息世界,2008,6(6):82-85.
- [15] 北京超图地理信息技术有限公司. SuperMap IS . Net 开发手册[OL]. 2000-2007.
- [16] ESRI . ArcGIS Server: ESRI's Complete Server GIS [OL]. 2006.

The Key Problem of Service-based Integration of 2D GIS and 3D Visuliation Technology and Its Solution

YU Linjun^{1,2}, PAN Ying¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Beijing Earth View Image Inc., Beijing 100101, Chian)

Abstract: 3D GIS will be the next generation of geographic information system (GIS). Ideally, 3D GIS should be developed based on good theoretical foundation. Currently, many researches have been carried out both by academic groups and commercial sector to develop 3D GIS application. So far, there is no ideal 3D GIS product available on market partly due to the complicated topology of spatial objects in 3D environment, inappropriate spatial data structures and hardware limitation. Studies carried out indicated that the integration of 3D visualization technology with current 2D GIS applications could be an alternative for realizing 3D GIS. One obvious benefit of such combination is that it can take advantages of both technologies. Service-based integration aims to realize the integration of 2D GIS with 3D virtualization technology based on service framework. Data transmission speed between remote server and client is the main bottleneck of providing textures for 3D rendering engine. Thus, the key problem of this type of integration is how to maintain the frame rate of rendering in 3D client under the limited data transmission speed. This

paper promotes a system architecture based on C/S framework, in which the core is consisted of a LOD-based rendering architecture and a data service architecture based on double cache mechanism, which will help overcome above problems. The double cache mechanism is designed to improve the performance of data serving at both client side and sever side by using a client data cache and a sever data cache. The prototype GIS sever is developed by ArcGIS Engine to provide data and traditional 2D GIS service, for example, spatial querying, for 3D client. The client application is developed with help of World Wind, an open source software, which acts as a user interface. The results obtained by this prototype system show that how this framework helps to overcome the key problem of the integration of 2D service GIS with 3D visualization technology, which would be extended for various applications in feature. This framework is also suitable for B/S framework simply by encapsulating 3D client into a web component.

Key words: 3D GIS; level of detail (LOD); service GIS; 2D and 3D integration; 3D rendering engine