

引文格式: 杨帆, 杜凯. 基于WebGL的三维虚拟地球系统设计与实现, 2016, 23(2): 113-118.

基于WebGL的三维虚拟地球系统设计与实现

杨帆, 杜凯

(武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079)

作者简介:

杨帆 (1989-), 男, 安徽涡阳人, 地理制图与地理信息工程专业硕士研究生, 主要研究方向为三维GIS可视化。

E-mail:

youngf@whu.edu.cn

收稿日期: 2015-11-16

【摘要】传统的三维虚拟地球基于插件实现Web客户端, 难以进行跨平台的应用。对此, 本文基于WebGL这一跨平台的Web三维图形开发环境, 首先构建了Browse/Server模式下的多层体系结构, 探讨了基于WebGL的三维虚拟地球绘制关键技术, 主要包括JavaScript的内存管理和Web端瓦片四叉树调用过程中的缓存管理。最后开发了实验系统, 验证了该方法的可行性和有效性。

【关键词】WebGL; 三维虚拟地球; 体系结构; 内存管理; 缓存管理

【中图分类号】P208

【文献标识码】A

【文章编号】1672-1586(2016)02-0113-06

Design and Implementation for 3D Virtual Globe Based on WebGL

YANG Fan, DU Kai

(State Key Laboratory of Information Engineering of Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Conventional 3D virtual globe builds the client with the aid of plug-ins, and hardly puts into use cross-platform. In this paper, a multi-tier architecture based on B/S mode is constructed, and several key techniques are introduced, including memory management of JavaScript and cache management of tile quad-tree when it's called in Web. Finally, a 3D virtual globe platform is developed, and the validity and feasibility of this approach are verified.

Key words: WebGL; 3D virtual globe; architecture; memory management; cache management

0 引言

已有三维虚拟地球系列平台, 如Google Earth, NASA World Wind, GeoGlobe^[1]等均是Client/Server模式的三维虚拟地球系统, 这类软件需要针对不同的操作系统开发不同的版本并且在使用前都需要下载一个数据量很大的安装包, 以插件的方式与浏览器进行集成, 在安全性和易用性上存在改进的地方。随着互联网相关技术与标准的发展, WebGL这一开放的跨平台Web 3D图形绘制标准以其优越的性能得到人们越来越多的关注, WebGL允许把JavaScript和OpenGL ES 2.0结合在一起, 通过增加OpenGL ES 2.0的一个JavaScript绑定, WebGL可以为HTML5 Canvas提供硬件3D加速渲染, 这样Web开发人员就可以借助系统显卡在浏览器里更流畅地展示3D场景和模型了^[2]。国内外对于WebGL的研究也逐渐成熟起来, 其中, 瑞典西北科学技术大学开发的OpenWebGlobe可以将图像数据, 矢量数据和三维模型等显示在浏览器上^[3]。陈必进等基于浏览器实现了一个多人在线游戏的框架, 无需安装, 跨平台性能良好^[4]。周阳等建立了无插件的Web三维数字水利原型展示系统,

可以为用户在浏览器中提供良好的交互式三维可视化体验^[5]。WebGL的出现使得在普通的浏览器上渲染三维虚拟地球系统成为可能, 由于无需插件或对浏览器进行扩展, 使得系统具有很好的跨平台性和可维护性。

已有基于Web的三维GIS技术研究与应用中, 不少商业开发公司开始在浏览器上推出自己的三维虚拟地球平台产品^[6-9]。早期的Web三维解决方案之一是使用VRML^[10], 这是一种面向Web、面向对象的三维造型语言, 但是VRML对大型场景的管理能力较差、可实现的交互性操作比较简单, 功能上主要局限于可视化。另一种解决方案是使用Java 3D Applet^[11], 如NASA World Wind, 它可以满足三维GIS的需要, 但是需要将Java 3D Applet嵌入到浏览器中, 同时, 由于它并未直接利用图形硬件加速来实现图形渲染, 所以, 得到的应用程序大多画面粗糙, 性能低下。除此之外, 还有Adobe开发的Flash Player浏览器插件和微软提供的Silverlight。相比Java 3D Applet, 它们都能够很好地利用图形硬件的加速功能, 但是, Flash Player移植性存在问题, 不

利于跨平台,而Silverlight是一个仅限于浏览器的解决方案并且只能在Windows系统下开发。

针对上述已有的研究与应用现状,本文基于WebGL的跨平台三维图形开发环境,构建了B/S模式的多层体系结构,探讨了JavaScript的内存管理和Web端瓦片缓存管理等关键技术,最后,开发了基于WebGL的三维虚拟地球系统进行试验,对本文提出的方法进行有效性验证。

1 基于WebGL的三维虚拟地球体系结构设计

基于Web的三维虚拟地球是一个面向网络的地理信息服务平台,提供面向多用户的多源、多尺度地理信息的浏览、查询和分析服务,需要设计网络体系结构来支撑上述服务。对此,本文结合WebGL的特点,设计了B/S结构下的三维虚拟地球平台体系结构,如图1所示。

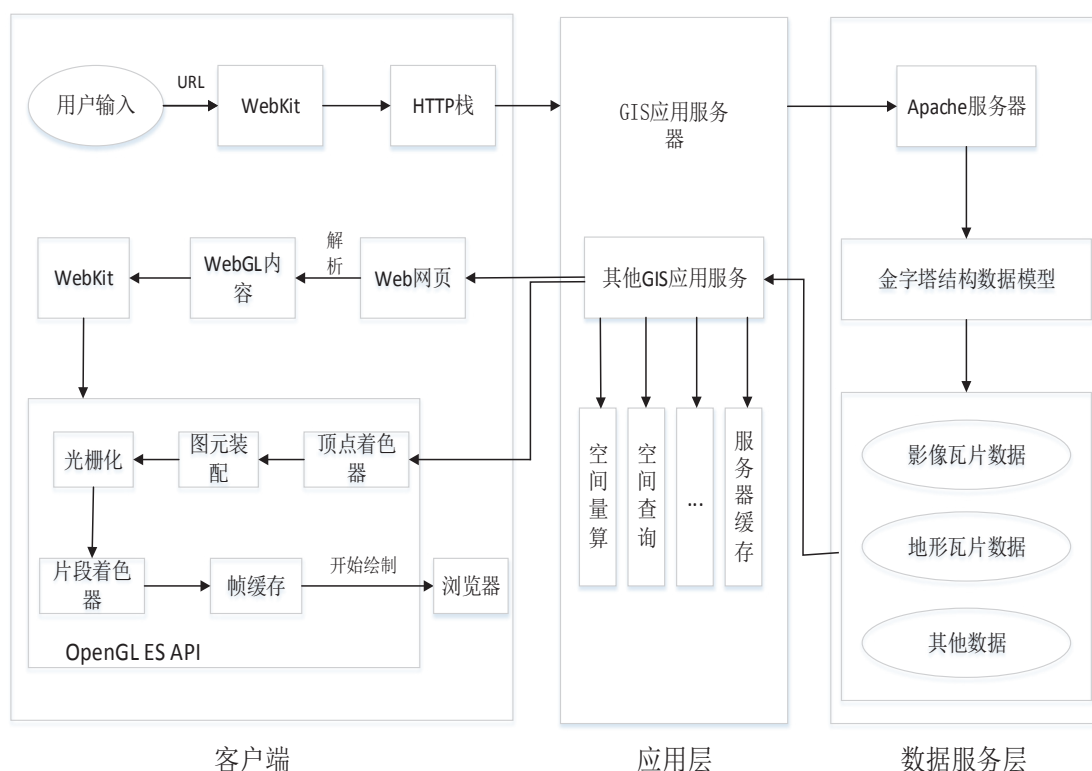


图1 体系结构图

Fig.1 The architecture diagram

是一个三层的体系结构,主要包括客户端,应用层和数据服务层。客户端主要负责三维虚拟地球系统基础网格的构建,可视瓦片的请求和渲染以及各类人机交互。传统的三维虚拟地球平台在构建三维场景时多是借助于OpenGL、Direct3D或是基于它们的三维渲染引擎来调用底层的硬件设备(显卡)完成绘制。这种方式需要开发人员根据不同的操作系统和硬件环境对开发过程做出调整,大大增加了开发难度并且跨平台性较差。而基于WebGL的三维虚拟地球则是直接通过JavaScript调用底层硬件设备完成渲染,具体实现过程为:客户端向服务器发出请求并对返回的内容进行解析,经过网络驱动程序、TCP/IP协议栈、HTTP协议栈到达WebKit。WebKit

创建包含JavaScript代码的绘制树,当JavaScript代码包含对WebGL API的调用时,调用语句会返回到WebKit,调用OpenGL ES API,进行三维虚拟场景的渲染并最终显示在浏览器上。

应用层主要实现GIS的应用服务,包括分析功能如空间量算和空间查询,服务器缓存功能等。以球面上两点的距离量算为例,用户通过GIS服务器向Web服务器发出数据请求,GIS服务器根据请求从数据库中获取原始数据即两点所在的瓦片,并处理生成用户所需的数据即两点的经纬度,通过Web服务器动态生成Web页面发送回客户端完成距离的计算。应用层的设计中需要重点考虑的是网络带宽的问题。GIS应用服务器利用网络缓存将

频繁访问的数据存储在缓存数组中,无需每次访问都从数据服务器上请求数据,减轻了数据服务器和网络传输的负担,而且可以供不同的客户端访问。

数据服务层主要负责三维虚拟地球中影像、地形和三维模型等空间数据的组织和管理。三维虚拟地球通常采用瓦片数据进行全球多尺度数据的组织与调度,如何有效地对这些瓦片数据进行组织和管理将直接影响系统性能。本文将影像和地形数据以四叉树形式进行组织,构成瓦片金字塔模型。一种类型的数据金字塔包含多个连续编号的数据层,一个数据层包含按照一定规则剖分的瓦片文件,每个瓦片具有一定的空间分辨率、空间范围和行列编码等属性。这样,服务器就可以根据浏览器发出的特定请求快速定位并返回所需的瓦片,完成三维场景的渲染。

2 关键技术

不同于OpenGL、Direct3D这些已经发展成熟的三维图形标准,基于WebGL的三维球体在绘制过程中还需要网页技术的支持,并为适应脚本语言运行效率不高的特点,对传统可视区域的确定方法进行了简化。

通过JavaScript直接调用底层硬件设备渲染三维场景是基于WebGL的三维虚拟地球系统区别于传统三维虚拟地球的显著特点,而JavaScript是单线程的脚本语言,效率较C、Java等语言低,并且与服务器异步通信,这样会增加内存开销,所以,有效的内存管理机制是必须的。

面向Web服务的应用程序需要频繁请求服务器端数据,为了加快三维虚拟地球中海量多尺度瓦片数据频繁请求和调度的速度,需要合理设计Web端瓦片缓存机制,提高系统运行效率。

2.1 基于WebGL 的三维球体的绘制

基于WebGL的三维球体的绘制主要分为3个步骤:①三维球体轮廓的渲染。三维球体轮廓的渲染被封装在基于WebGL的框架内,在页面中使用script标签引入框架的JavaScript文件,使用框架中定义的接口在浏览器上渲染出三维球体。本文使用的是THREE.js框架,这是一个低复杂、轻量级的开源JavaScript 3D引擎。②可视

区域的确定。传统的做法是通过将视景物与地球模型求交完成可视区域的计算,本文在传统方法的基础上将其简化。对经过视点与视窗中心的直线与地球模型求交,以交点为中心的一个正方形即是可视区域,如图2所示,而正方形的边长由交点的经纬度与当前层数的分辨率共同确定。③可视瓦片的选取。确定了可视区域后,根据当前视点相对于地球模型的位置确定一个最高分辨率,然后从最低分辨率一级(第0级)开始,按照四叉树的方式对当前层的可视瓦片逐级往上剖分,直到选出可视瓦片列表。

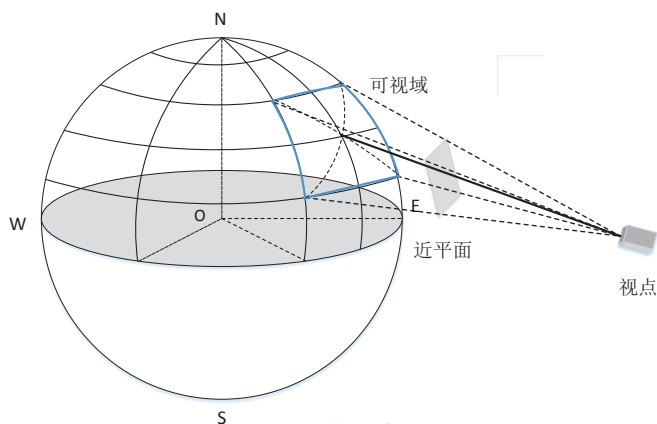


图2 可视区域
Fig. 2 Visible range

在WebGL的底层绘制引擎OpenGL ES中,绘制函数和矩阵变换的参数被定义为float型,而float型最多只能接受7位有效数字,但是地球平均半径约6 371 km,在世界坐标系的转化过程中,每个点的坐标都是一个7位数,而在进行放大的过程中,有时又需要精确到0.1 m,这样在OpenGL ES中对矩阵进行变化时所涉及到的数据可能会超过其精度范围。对此,本文的解决方法是选择地球表面上一点为原点的动态相对坐标系,对数据进行平移,使得数据值变小以满足绘制精度要求。在绘制过程中,将相对坐标的绘制中心从地球的原点平移到视点中心与地球表面的交点,这样在动态绘制过程中使用的即为相对坐标系。坐标系转化过程如图3所示,其中O-XYZ为地心坐标系,原点O为地球质心,Z轴指向北极点,X轴指向本初子午线与赤道的交点,Y轴垂直于XOZ平面构成右手坐标系。P-xyz为站心坐标系,原点P为视点中心与地球的交点,P点的法线方向为z轴,子午线方向为x轴,y轴垂直于xPz面构成左手坐标系。

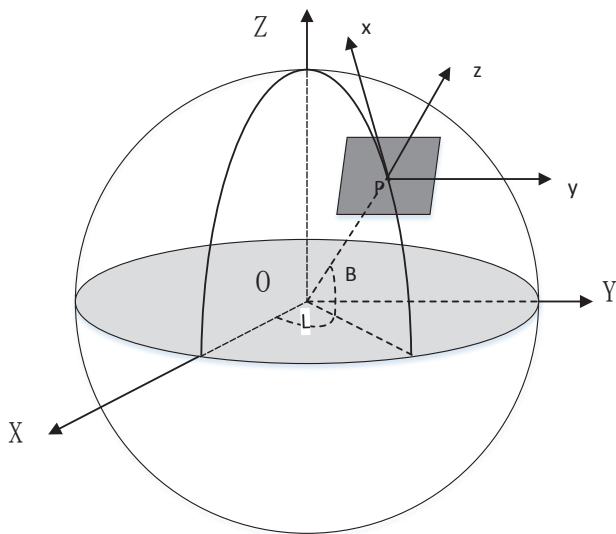


图3 球面坐标系变换

Fig.3 Spherical coordinate system transformation

2.2 基于JavaScript的瓦片内存管理

不同于C等低级语言有专门的内存管理基元，可借助于`malloc()`、`free()`等函数实现内存的分配和释放，JavaScript的内存基元在变量（对象、字符串等）创建时自动分配，使用完后通过一种被称为“垃圾回收”的机制自动释放。在进行基于WebGL的三维虚拟地球系统的开发时，通常不是把所有可视瓦片一次性从服务器载入，因为JavaScript在网页设计应用中的一条基本原则就是JavaScript编写的应用程序在与服务器进行交互通信时是异步的，这是由于它的工作方式是单线程的。

当用户网速较慢或者瓦片数据没有下载完成而需要查看其他区域的信息时，程序应该能够立即终止瓦片的下载，重新计算下载，这就是异步访问机制。在JavaScript中，如数据库事务、文件下载等耗时的异步操作通常被封装在jQuery.js框架中。jQuery是一个兼容多浏览器的JavaScript库，这里主要用到了它提供的异步处理、进度反馈等方法。如图4所示，当服务器接收到客户端的数据请求后，由`jQuery.ajax()`执行异步HTTP请求，调用`jQuery.load()`从服务器加载数据并返回到指定的元素中，当后台的组件程序取消异步操作时，触发`jQuery.ajaxstop()`事件，无论数据是否加载完成，都取消加载并释放内存。

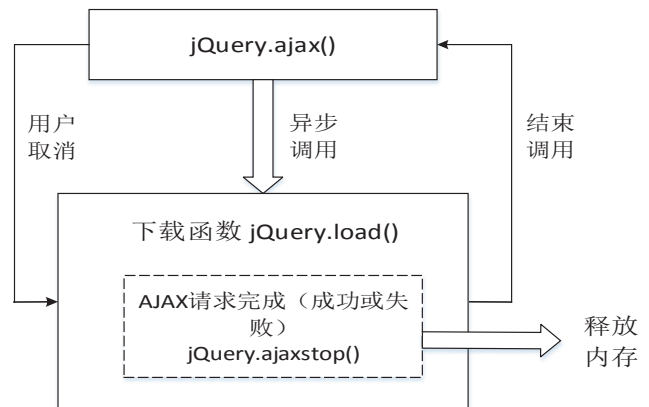


图4 瓦片加载过程

Fig.4 Tiles loading process

2.3 Web缓存瓦片管理方法

基于WebGL的三维虚拟地球系统在构建过程中用到的瓦片具有数据文件多、数据量大的特点，如何根据客户端的请求快速返回所需的瓦片将直接关系到系统的运行效率。根据经验，用户在使用三维虚拟地球时，视点的变动通常不会很大，这就说明，上一次访问的瓦片下一次访问时可能还会用到，当需要切换视点时，如果仍然在服务器查找所需瓦片，内存的负担将会很大，所以缓存的管理和使用非常必要。

传统的三维虚拟地球在渲染三维场景时是从服务器上下载瓦片数据并根据一定规则保存在本地文件夹中，当下次用到时直接从本地缓存文件中加载。而Web端通常采用异步更新的机制实现缓存管理，当服务器检查到缓存需要更新时并不是立即更新，而是输出JavaScript对客户端进行提示（需要更新缓存，请等待）或不提示用户而直接采用过去的缓存，并使用AJAX（Asynchronous JavaScript And XML）或包含框架的方式再次请求服务器，这次服务器才开始更新。

本文提出的缓存方法具体步骤是：设定一个定长的对象数组存储服务器根据请求返回到客户端的瓦片，当改变视点再次向服务器请求瓦片时，首先检查请求的瓦片是否在缓存数组中，如果在，直接返回，否则，向服务器发出请求，并采用LRU（Least Recently Used，即最近最少使用）算法更新数组，用请求到的最新瓦片替换最近使用次数最少的瓦片。Web端瓦片缓存管理流

程图如图5所示。

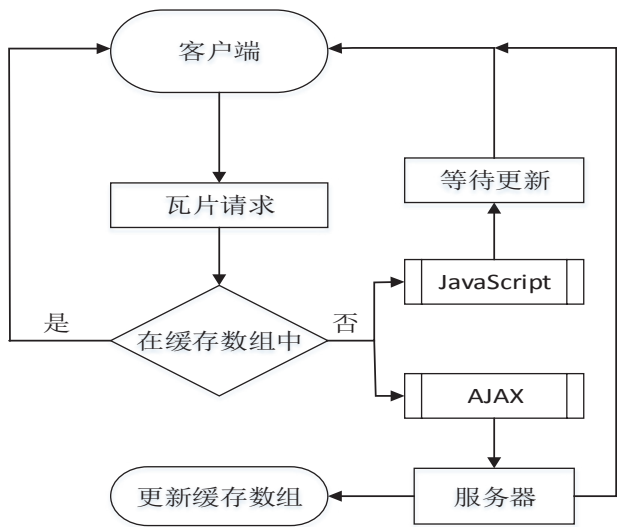


图5 瓦片缓存管理
Fig.5 Tile cache management

3 实验

为了实现B/S模式下基于WebGL的三维虚拟地球系统，实验在VS 2012环境下，使用JavaScript语言进行编程实现，程序的调试则借助已开启WebGL功能的Google Chrome浏览器，实验数据以四叉树结构存放在部署于本地的Apache HTTP Server 2.2上。硬件配置为Intel(R) Core(TM) i3-2100 4核 3.10GHz CPU，NVIDIA Quadra 600显卡，4G显存，8G内存。

实验用到的影像数据由天地图瓦片下载工具下载得到，影像瓦片为256像素×256像素的jpg格式，其中，2~12层的瓦片包含全球范围，而13~18层只包含武汉地区；地形数据来自STRM，采用90m分辨率，地形瓦片为32像素×32像素的tif格式。为配合影像数据，选用中国地区的部分作为实验数据。基于WebGL的三维虚拟地球系统的效果如图6，图7所示。

为了测试实验系统的绘制效率，采用WebGL Inspector进行性能分析，启动Google Chrome开发人员工具，在系统窗口的右上角可以实时显示帧频。经过统计分析，三维虚拟地球可视化的平均帧频在45帧/秒左右，能够满足流畅的三维场景浏览需要。

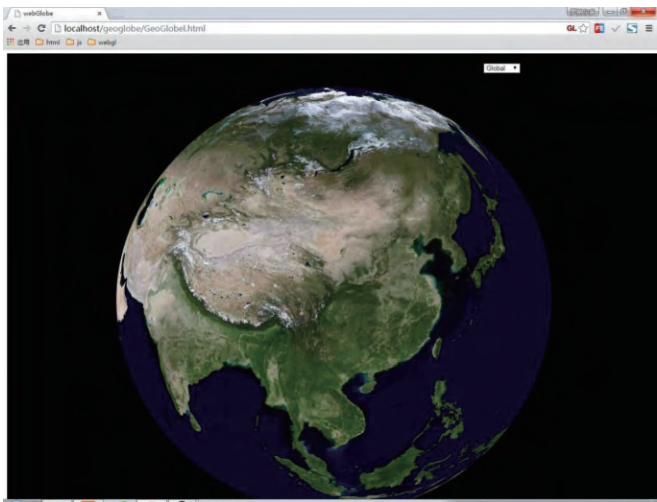


图6 多尺度影像
Fig. 6 The multiscale image

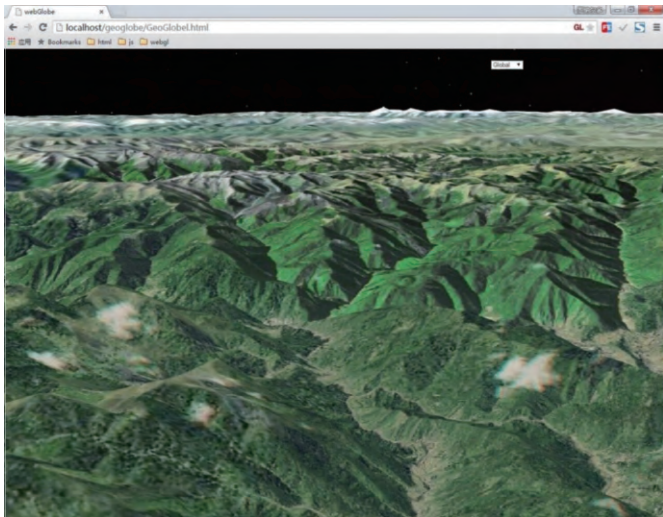


图7 多尺度地形
Fig.7 The multiscale terrain

4 结束语

本文主要探讨了基于WebGL的三维虚拟地球系统的若干关键技术，主要包括体系结构，内存管理和缓存设计，并开发了实验系统进行验证。下一步将基于WebGL的跨平台特性，探讨面向移动客户端的三维虚拟地球系统。

参考文献

[1] 龚健雅, 陈静, 向隆刚, 等. 开放式虚拟地球集成共享平台 GeoGlobe[J]. 测绘学报, 2010, 39 (6) : 551-553

[2] Khronos Group. WebGL specification version 1.0.2 [EB/OL]. 2013. <https://www.khronos.org/registry/webgl/>

- specs/1.0.2/
- [3] Loesch B, Christen M, Nebiker S. Openwebglobe - an open source sdk for creating large-scale virtual globes on a webgl basis[J]. isprs -International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012, xxxix-b4:195-200.
- [4] Chen B, Xu Z. A framework for browser-based Multiplayer Online Games using WebGL and WebSocket[C]. Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on. IEEE, 2011:471 - 474.
- [5] 周阳, 余江峰, 唐一鸣. 基于WebGL的三维数字水利展示系统研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(3):44-48.
- [6] Montevallo J. Developing world wind: under construction[J]. E the Environmental Magazine, 2005, (Jan-Feb):45-46.
- [7] Frankl A, Zwertvaegher A, Nyssen J. Transferring Google Earth observations to GIS-software: example from gully erosion study[J]. International Journal of Digital Earth, 2013, 6(2):196-201.
- [8] 万剑华, 郑红霞, 丁仁伟. 基于Web三维虚拟场景的建立[J]. 测绘科学, 2005, 30(4):78-80.
- [9] 陶刚, 池天河, 郑桂香. 基于Skyline的网格三维GIS建设与应用[J]. 测绘科学, 2011, 36(6):219-221.
- [10] 严子翔. VRML虚拟现实网页语言[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [11] 陈运华, 余腊生. Java Applet内嵌网页运行初探[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014(17):271-272.

《地理信息世界》征订启事

GEOMATICS WORLD

欢迎订阅 欢迎赐稿 欢迎刊登广告

中国地理信息产业协会会刊《地理信息世界》是我国唯一以推动地理信息科技创新、产业创新为宗旨的最具权威的国内外公开发行的中国科技核心期刊。是中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、中国期刊全文数据库全文收录期刊、《CAJ-CD规范》执行优秀期刊。

《地理信息世界》面向地理信息系统、卫星与导航、遥感、测绘、地图、仪器装备、计算机等领域, 聚焦学术技术前沿, 荟萃科技产业成果精华。

《地理信息世界》为双月刊, 大16开本, 图文并茂, 全彩色印刷。每期96页, 每册定价: 20.00元, 全年120.00元。

《地理信息世界》2014年开始由北京市报刊发行局总发行。

发行范围: 公开发行。

订 购: 全国各地邮电局(所)

邮发代号: 80-902