

虚拟旅游研究进展

蒋文燕^{1,2}, 朱晓华¹, 陈晨³

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
2. 中国科学院研究生院资源与环境学院, 北京 100049
3. 宁夏大学资源环境学院, 银川 750021

[摘要] 虚拟旅游是运用三维实景展示, 将现实中的旅游场景制作成用于互联网、多媒体、触摸屏等多种载体进行展示的电子文件, 可以按固定路线或自选路线从不同角度观赏, 获得身临其境般的体验。本文阐述了虚拟旅游产生的背景及其意义, 分析总结了虚拟旅游的主要研究范围和技术难点, 并对未来的研究方向提出建议。

[关键词] 虚拟旅游; 虚拟景观; 网络旅游

[中图分类号] P208, F592.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)14-0053-05

Research Progress of Virtual Tourism

JIANG Wenyan^{1,2}, ZHU Xiaohua¹, CHEN Chen³

1. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
2. College of Resource and Environment, Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China
3. School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract: Virtual tourism is a digital file of tourist landscape for three-dimensional display in Internet, multimedia, touch-screen and the other carriers. We can watch the landscape from different angles in fixed or self-selected lines. The paper discusses the development and significance of the virtual tourism, generalizes and analyses its research contents and technological key points. At the end, several suggestions are put forward for future researches.

Key Words: virtual tourism; virtual landscape; network tour

CLC Numbers: P208, F592.6

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)14-0053-05

0 引言

虚拟旅游是虚拟现实技术在旅游业中的应用, 同时又结合了 GIS(地理信息系统)、三维可视化和网络等技术。它运用三维实景展示, 将现实中的旅游场景制作成用于互联网、多媒体、触摸屏等多种载体进行展示的电子文件, 可以按固定路线或自选路线从不同角度观赏, 获得身临其境般的体验。虚拟旅游具有临场性、自主性、超越时空、多感知性、交互性、经济性、安全性等特征和优势, 越来越受到人们的关注和欢迎^[1]。

1 虚拟旅游产生的背景及其意义

1.1 产生的背景

随着互联网的发展和普及, 网络旅游逐渐成为一

种时尚和热潮, 有眼光的旅游企业家和网络、电子商务企业家已经发现网络旅游的发展前景, 越来越关注和发展网络旅游。一方面, 国内外的旅游网站迅速增多, 网上旅游信息愈加丰富; 另一方面, 现有的旅游信息主要体现在商务信息的支持上, 景点的信息不足, 仅有少量静态的照片, 难以让浏览者对景点有真切的感受和认识, 很多用户已不再满足于这种简单的文字介绍和图片, 而希望有更具交互性和真实感的资料。因此, 虚拟现实和 GIS 等技术被引入到网络旅游。虚拟现实技术是利用计算机和电子技术来产生逼真的视觉、听觉、触觉和力觉等三维感受环境, 形成一种虚拟世界。虚拟现实系统能根据不同的应用目的, 探寻一种最佳的人机交互方式, 将其应用于网络旅游, 用户不仅能深入虚

收稿日期: 2007-05-13

作者简介: 蒋文燕, 北京市朝阳区大屯路甲 11 号中国科学院地理科学与资源研究所, 研究方向为遥感与 GIS 应用;

E-mail: jiangwy.05s@igsnrr.ac.cn

朱晓华(通讯作者), 北京市朝阳区大屯路甲 11 号中国科学院地理科学与资源研究所, 副研究员, 研究方向为综合自然地理学; E-mail: zhuxh@igsnrr.ac.cn

拟景观环境中,还可以进行决策分析,如设计旅游线路,同时还可以与其他用户进行交流。GIS能进行地理空间数据的采集、存储、提取、检索、分析、显示、制图,实现综合管理和分析应用。将GIS应用于网络旅游,可以实现查询、空间分析等功能。

由于需求和技术的推动,虚拟旅游应运而生,其研究也迅速发展起来。目前,国内外已有不少成功案例,如德国弗劳恩霍夫图像处理研究所研制成一种单机模式的袖珍旅游系统,使游览者可以重见被损毁古迹的原貌;意大利 Altair 4 创作小组制作发行了一套古埃及虚拟旅游系统(<http://www.altair4.com/>),通过 360°全景模型和 3D 模型生动地展现了古埃及情形;我国浙江大学人工智能研究所开发的“数字敦煌虚拟漫游系统”,使游览者能够身临其境地欣赏到洞窟实景;虚拟明孝陵网站,可以异地同时访问虚拟场景并实现对话交流。

1.2 意义

虚拟旅游应用前景广阔,可以满足不同人群的需求,能带来很大的社会效益和经济效益。这主要表现在以下方面。① 游览者,虚拟旅游系统能逼真动态地展现旅游景点,给人以身临其境的沉浸感,而不再是简单的文字和图片浏览等,可以满足其好奇心,并弥补无法实地旅游的遗憾。② 旅游开发和规划者,虚拟旅游系统能在实际开发前将规划设计等展现出来,获得反馈意见,从而进一步加以改进和完善,这样不仅能降低旅游开发的风险,实现效益最大化,还能起到预先宣传的作用。③ 商家,虚拟旅游有助于创新旅游信息的宣传模式,提高旅游信息服务的质量。在充满竞争的市场中,虚拟旅游能帮助商家吸引更多的游客,还能通过旅游指南、环境解说这样具有特定功能的虚拟旅游系统提高其旅游服务质量,赢得更大的效益。④ 政府,虚拟旅游有利于对旅游业实行宏观调控,实现旅游业的可持续发展,如处理古迹的开发与保护问题、处理旅游开发与环境保护的问题,毋庸置疑,虚拟旅游既能满足游客游览的需要,还能保护、再现古迹等景点。

目前,我国空间信息的基础设施建设正在不断发展与完善,空间信息技术已渗透到很多行业,如农业、林业、气象等,但在旅游业的应用还很少。因此,我国应该抓住 2008 年奥运会给旅游业带来的机遇,通过 GIS、虚拟现实技术和网络技术构建面向网络的旅游信息服务平台,包括虚拟旅游系统,提高旅游行业信息化水平,适应国家对旅游数字服务与管理的要求,促进旅游业的快速发展,实现中国与世界旅游市场平稳接轨。

2 虚拟旅游研究现状

2.1 虚拟旅游研究领域和内容

2.1.1 支撑技术

虚拟旅游系统是利用 GIS、三维可视化、虚拟现实

与网络等技术构建面向旅游业的网络虚拟现实系统平台。在对虚拟旅游系统进行研究时,不同的研究者有不同的看法,但本质相同。王峰等^[2]认为虚拟旅游系统实现是 WebGIS(网络地理信息系统)和虚拟现实技术的结合,即利用 WebGIS 的电子地图支持功能实现地图的生成、管理、显示和网络共享,利用旅游专题数据库储存的景区(景点)地形数据(如 DEM, TIN, 遥感影像)和建筑物、道路等矢量数据,以及相应的纹理图片、实景图像、音频视频等多媒体数据资料,应用虚拟现实建模语言(如 X3D, VRML)建模生成逼真的虚拟旅游景区(景点)三维场景或全景图像,使得旅游者可以在虚拟旅游场景中任意漫游,还可以听到“导游”的详细介绍。宫辉力等^[3]认为三维 GIS 是关键,三维虚拟景观系统主要是研究旅游景区三维数据管理和可视化的各种技术,包括景区三维数据采集和处理技术、表面纹理采集与处理技术、三维对象(包括地形和地物)建模技术、三维空间信息和表面纹理层次细节技术、大数据量动态调度技术等。吉长东等^[4]侧重 VGIS 的研究,并建立了辽宁工业大学校园和东院小区景观 VGIS。

综观这些研究可以看出,在虚拟旅游系统研究中,应努力将 GIS、三维可视化、虚拟现实与网络等技术更好地结合在一起,充分利用各自的优势和作用,设计出在外观、结构、功能和性能等方面都很完美的系统,实现真正的虚拟旅游。

2.1.2 系统设计

在系统结构上,目前的虚拟旅游系统一般采用客户层、服务器层和数据库层 3 层结构。客户层实现三维虚拟场景及漫游和信息查询等;服务器层包括网络服务器和 GIS 服务器,网络服务器主要起代理和缓冲作用, GIS 服务器主要进行数据分析和逻辑处理等;数据库层主要是存储属性数据和空间数据。

在系统功能上^[1],主要有以下功能。① 旅游信息浏览,包括交互式三维场景虚拟漫游和虚拟景点导航。交互式三维场景虚拟漫游使得旅游者可根据需要选择固定路线漫游,或者利用键盘等调整视点的前进、后退和观察角度,在三维场景中选取不同模式进行浏览;虚拟景点导航以可视化的数字地图为背景,用文本、照片、图表、声音、动画、视频等多媒体为表现手段,为旅游者展现虚拟旅游景点的位置关系和综合面貌,动态标注虚拟旅游线路等,具有交互式的查询和分析功能。② 交流讨论,提供旅游者与商家及旅游者之间的交流平台。③ 信息查询,包括景点线路、酒店预定、门票预定等。④ 网上购物,即购买旅游纪念品等。⑤ 系统保护管理,包括安全性管理和数据完整性管理。安全管理主要是对不同类别的用户、角色、权限和授权进行管理;数据完整性管理是通过约束条件、主码约束和外码约束等保证数据的完整性。⑥ 系统及数据库维护,包括页面更

新和数据库数据更新操作等。

在这些功能中,第一部分最重要,但目前的研究成果或多或少存在一定局限,主要是不够逼真、网速慢、交互能力差等缺陷,还需要进一步的研究;对于其他部分,目前的研究比较成熟,很多网站已投入实际应用。

2.1.3 开发方法

到目前为止,在虚拟旅游系统开发方法上有较多研究,大致可归为 4 类。① 三维全景,利用全景技术生成全景图像,建立旅游景点的全景图模型,再利用 Java 与 WebGIS 相结合等方式实现旅游景点的动态交互和漫游等,但在交互方式上,用全景图像描述的景物是固定不变的,漫游过程重复而单调。这方面的研究比较多,Dykes^[5]采用全景图技术开发虚拟环境;Traka 等^[6]研究了构建全景图的问题;杨键等^[7]采用全景图和基于图像的动画来建立虚拟环境,用户通过实时图像处理浏览器,可以模拟环绕漫游和贯穿漫游;李新华等^[8]利用 ADVR 全景漫游技术,直接从真实场景照片出发,实现了高度真实感的实时交互漫游;周春艳等^[9]采用基于全景图像构建全景空间的方法实现了虚拟校园;赵庆展等^[10]通过拍摄序列图像和全景拼接,构建了新疆石河子大学的虚拟校园。② VRML/X3D 语言。VRML 是互联网上基于 WWW 的具有交互性的虚拟现实建模语言,是 HTML 的三维模拟,使用 VRML 浏览器能读懂的 ASCII 文本格式来描述世界和链接。VRML 的访问方式是基于 Client/Server 模式,其中服务器提供 VRML 文件,即用文本信息描述的三维场景,由互联网传输,然后在客户端由 VRML 浏览器解释生成三维场景,这种工作机制,避免了在网络上直接传输图形文件,把复杂任务交给本地机器,从而减轻了网络的负担,使得在互联网上的三维交互成为可能;同时,由于浏览器是本地平台提供的,从而实现了虚拟现实的平台无关性。在虚拟旅游中,VRML 使用得较多^[11-19],研究人员对建立大范围场景、优化模型等进行了大量研究,且通常结合 Java 实现场景动态性和交互性等。X3D 是基于 VRML 发展起来的,它支持 VRML 的语法规则,在文件格式方面使用了 XML 语法体系,实际上 X3D 就是 XML 和 VRML 相结合的产物。X3D 基于图像填充和图形建模这两种方式建构三维场景,对形体结构的建立采用图形建模,对外观则采用图形纹理填充。它还整合了 ASP、JSP 等技术,可以通过网络服务器发布三维网页信息。X3D 是构建 B/S 结构的在线虚拟旅游系统的重要方法。Baron 等^[20]研究开发了一个公共居民区的空间决策系统,用 VRML/X3D 构建了居民区的虚拟环境,还结合其他软件实现了用户交互等功能;沈旭昆等^[21]介绍了如何运用新的三维图形技术 X3D,并结合 VRML 及 Java 技术进行基于 Web 的交互式三维场景的创建;丘威等^[22]分析了构建在线虚拟室内漫游系统的关键技术,

提出基于 X3D 技术的虚拟室内漫游场景建模和应用。

③ 编程方法,基于 Java3D、DirectX、OpenGL 和 XML 等结合面向对象编程以及网络技术的实现。Java3D 基于 OpenGL 或 DirectX 等底层 API,Java3D 具备与 Java 相同的平台独立性和良好的网络开发支持。Java3D 实际上是 Java 语言在三维图形领域的扩展,与 Java 一样,Java3D 有纯粹的面向对象结构。Java3D 有丰富的类库,可以充分利用 Java 语言的强大功能,从而能编写复杂的三维应用程序。这些特性保证了 Java3D 强大的扩展性。Java3D 还很容易与 Java 平台的 JSP、Applet、Serverlet、JDBC 和 EJB 等技术相结合。Zhang 等使用 Java3D 包和 JBuilder 软件设计开发了一个分布式虚拟地理环境;Hibbard^[23]应用 Java2D 与 Java3D 设计并开发了 VisAD 可视化环境系统;张大坤等^[24]介绍了基于 Java3D 的虚拟艺术馆应用软件的开发及该软件的体系结构,使用了大量的动画技术、曲面造型、渲染以及多媒体技术,是 Java3D 在图形方面的扩展;陈健等^[25]利用 Java3D 技术实现基于 Web 的城市三维景观可视化技术方案,并成功实现了原型系统。OpenGL 被广泛地应用于图形与动画制作、虚拟现实技术和计算机可视化等领域。利用 OpenGL 提供的基本图形操作函数可以实现几何建模、图形变换、渲染、光照和材质、反走样、混合、雾化、位图和图像、纹理映射、交互操作以及动画制作等功能。虚拟旅游系统一般是在 VC++ 等环境下通过调用 OpenGL 函数库编程实现。LU 等^[26]用 OpenGL 和 MO 开发了虚拟黄河系统;李学锋等^[27]介绍了利用 OpenGL 进行三维虚拟园区漫游的设计和实现的方法,表明使用 OpenGL 能在保持场景真实感的情况下,对园区的地形场景进行实时漫游;李保杰等^[28]运用 OpenGL 在 VC++ 环境下实现可视化;刘升等^[29]介绍了基于 VC++ 编程环境及 OpenGL 图形标准的三维物体运动仿真及场景漫游系统的开发方法。这类方法也是目前用得比较多的,而且效果较好,但需要较高的编程技术。④ Web3D 商业软件,这类软件主要应用于产品与场景的展示,利用这些软件的 API 可以开发虚拟场景,并实现简单的动画效果,例如 Viewpoint、3DML、Vecta3D、KOV3D 等。

2.2 虚拟旅游技术难点

虽然从理论上讲,高逼真度、实时漫游的虚拟旅游系统是能够建立的,但现在还远未达到这种水平。目前,虚拟旅游存在真实感弱、交互性差、网络传输慢等不足,归根结底,是数据信息生成的问题。这是虚拟旅游的技术难点,也是阻碍其发展的关键因素。

数据信息的生成,既要考虑到逼真度,又要考虑到速度。逼真度不仅要求虚拟景观的“形似”,还要求“神似”,即用户与其交互;相应地,要求虚拟景观下载速度快、交互延迟少,只有两者兼顾才能使用户真正有身临

其境感。但由于受计算机硬件等的限制,这两者相互矛盾,逼真度高的虚拟景观显示速度慢。因此,目前的虚拟景观逼真度差,多是基于图像的,即使用三维全景方法生成;而基于几何建模的还停留在研究阶段,投入实际使用的少,这是因为对于虚拟景观的构建,既要表达景观实体的外部信息,又要表达建筑物等景观实体的内部信息。建筑物内部信息的表达往往更加复杂,因为其数据采集难,数据量大。

尽管很多科研者在努力寻找改善的方法,即在满足一定逼真度的前提下尽可能使用少的数据,提高显示速度,但效果仍不理想。

3 结论与展望

虚拟旅游的发展尚处于初步阶段,它的发展滞后于计算机技术、虚拟现实技术、GIS 和网络技术。所以,现阶段只有充分结合各支撑技术的优势,扬长避短,才能使虚拟旅游水平得到相对的提高。虚拟旅游可以从两方面进行深入研究。

1) 开发方法。首先,可以发展混合式虚拟旅游,即结合图像式虚拟旅游和几何式虚拟旅游。图像式虚拟旅游开发简单,显示速度快,成本低,但是虚拟景观固定不变,漫游重复而单调,且虚拟景观不包含实体数据信息,难以实现交互。几何式虚拟旅游包含的是实体数据信息,交互表现好,可以从任何角度、位置欣赏虚拟景观,但数据量大,显示速度慢。不难看出,图像式虚拟旅游和几何式虚拟旅游的结合,可以弥补各自的不足,有助于虚拟旅游的发展。开发时,对于外景等大范围虚拟景观,进行 360°实地场景拍摄,并制作全景图;对于建筑物等虚拟景观,进行几何建模,并加入到全景图场景中,最后实现动态和交互。其次,设计理想的数据模型。如对虚拟景观中的实体进行分类建模,对同类实体使用重构,不仅能简化开发,还能最小化数据量。可以先将虚拟景观中的实体分为点、线、面和体 4 类,再对每类细化成小类。这样开发有层次、有条理,而且能针对每类实体采用不同的模型优化方法。归根结底,就是在满足逼真度的要求下,不断探寻减少数据量的方法。

2) 虚拟旅游产品。目前,投入实际使用的虚拟旅游产品基本只有虚拟旅游网站。这虽是虚拟旅游发展的初衷,但是它存在几个不利因素。首先,虚拟景观的显示速度不仅受到计算机硬件的限制,而且受到网速的限制;其次,真正的虚拟旅游对硬件和设备的要求比较高,限制了研究者的开发,即使这样的虚拟旅游开发出来,也难以通过网络向用户展现;第三,真正的虚拟旅游开发需要高超的软硬件技术,成本自然很高,通过网站的形式提供给用户,回收利益小,对开发商来说,吸引力不足。这些从技术和成本上都限制了虚拟旅游的发展。先进的科技水平能带来经济效益,高经济效益又

会推动科技的发展。因此,要开发多种类别和层次的虚拟旅游产品,适应不同的用户群,如建立虚拟旅游馆,通过有偿的形式向游览者提供先进的设备来体验真正的虚拟旅游还可免去,在满足游览欲望的同时。开发这些虚拟旅游产品会带来更大的经济效益,也会促进虚拟旅游的发展。

虚拟旅游尽管刚刚起步,存在许多不足,但是具有很大的发展前景,有许多方面值得去深思和探讨。虚拟旅游虽不能完全代替实地旅游,但是随着技术的发展,研究的深入,会越来越接近实地旅游。将来,游览者可以在虚拟旅游景观中感受鸟语花香、欣赏风光美景,并能与环境交流、与游客交谈。比起实地旅游,这样的虚拟旅游或许会多一份情趣。

参考文献 (References)

- [1] 路遥, 王小平, 苟秉宸, 等. 基于 Web 的虚拟旅游系统[J]. 计算机辅助工程, 2005, 14(4): 31-34.
LU Yao, WANG Xiaoping, GOU Bingchen, *et al.* Web-based virtual tour system [J]. Computer Aided Engineering, 2005, 14(4): 31-34.
- [2] 王峰, 刘仁义, 刘南. WebGIS 和虚拟现实技术在旅游业发展中的应用研究 [J]. 浙江大学学报 (理学版), 2005, 32(6): 706-710.
WANG Feng, LIU Renyi, LIU Nan. Study on the application of WebGIS and virtual reality technology in tourism development [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2005, 32(6): 706-710.
- [3] 宫辉力, 赵文吉, 李小娟, 等. 旅游地理信息系统——设计与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 225-243.
GONG Huili, ZHAO Wenji, LI Xiaojuan, *et al.* Virtual geographic information system: Design, development and apply[M]. Beijing: Science Press, 2005: 225-243.
- [4] 吉长东. 基于 IDL 的城市小区景观 VGIS 平台研究与实现 [D]. 辽宁: 辽宁工程技术大学. 2002.
JI Changdong. Research and realization on VGIS platform of urban section sight based on IDL [D]. Liaoning: Liaoning Technology University, 2002.
- [5] DYKES J. An approach to virtual environments for visualization using linked geo-referenced panoramic imagery [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2000, 24: 127-152.
- [6] TRAKA M, TZIRITAS G. Panoramic view construction[J]. Signal Processing: Image Communication, 2003, 18: 465-481.
- [7] 杨键, 耿卫东, 潘云鹤, 等. 基于图像的虚拟景观漫游 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(3): 229-235.
YANG Jian, GENG Weidong, PAN Yunhe, *et al.* Picture-based virtual touring [J]. Journal of Computer-aided Design and Computer Graphics, 2001, 13(3): 229-235.
- [8] 李新华, 阮宗才, 韦穗. 芜湖长江大桥多媒体全景漫游[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(增刊): 490-492.

- LI Xinhua, RUAN Zongcai, WEI Sui. Multimedia panoramic warping for Wuhu Changjiang bridge [J]. Journal of System Simulation, 2001, 13(Suppl): 490-492.
- [9] 周春艳, 邹峥嵘. 基于全景图像的虚拟校园[J]. 电脑与信息技术, 2002(2): 34-36.
ZHOU Chunyan, ZOU Zhengrong. The virtual campus based on panoramic images [J]. Computer and Information Technology, 2002(2): 34-36.
- [10] 赵庆展, 赵欣, 常静. 虚拟校园全景漫游系统的实现[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2006, 24(1): 124-126.
ZHAO Qingzhan, ZHAO Xin, CHANG Jing. The implementation of virtual campus panorama wander-through system[J]. Journal of Shihezi University(Natural Science Edition), 2006, 24(1): 124-126.
- [11] TSUYOSHI H, EN-MI L. Virtualization of landscape by VRML system[J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 55: 175-183.
- [12] EN-MI L, TSUYOSHI H. Three-dimensional virtualization forest of landscape by VRML [J]. Landscape and Urban Planning, 2003, 63: 175-186.
- [13] 王洪, 朱清新. 用 VRML 实现虚拟校园的实时漫游[J]. 计算机应用, 2004, 24: 141-143.
WANG Hong, ZHU Qingxin. The real time wandering of virtual campus realized by VRML[J]. Computer Application, 2004, 24: 141-143.
- [14] 苗雪兰. 基于 Java 和 VRML 的旅游地理信息系统[J]. 计算机工程, 2005, 31(17): 228-230.
MIAO Xuelan. Traveling geographic information system based on Java and VRML [J]. Computer Engineering, 2005, 31(17): 228-230.
- [15] 李冉, 蔡正林. 结合 VRML 和 Java 建立动态场景 [J]. 电脑与信息技术, 2005, 13(1): 33-36.
LI Ran, CAI Zhenglin. Combining VRML and Java to build dynamic scene [J]. Computer and Information Technology, 2005, 13(1): 33-36.
- [16] 侯文君, 吴宇飞, 王颖, 等. 多用户虚拟北邮校园漫游系统的设计开发[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8): 2203-2205.
HOU Wenjun, WU Yufei, WANG Ying, *et al.* Designing and developing multi-user virtual campus ramble system[J]. J System Simulation, 2006, 18(8): 2203-2205.
- [17] 魏尊亮. VRML 在三维交互式虚拟场景中的应用[J]. 中国科技信息, 2006(2): 44.
WEI Zunliang. The application of VRML in 3D alternative virtual scene [J]. China Science and Technology Information, 2006(2): 44.
- [18] 王森, 王萍, 王昱颖, 等. 大规模 VRML 虚拟场景的快速浏览算法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(1): 170-172.
WANG Sen, WANG Ping, WANG Yuying, *et al.* Fast walkthrough algorithm of large scale VRML environment [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(1): 170-172.
- [19] 魏占营. 大场景 VRML 在 OpenGL 中的实现——以北京市西城区为例[J]. 测绘科学, 2004, 29(5): 41-44.
WEI Zhanying. Visualization of huge VRML scene by OpenGL [J]. Science of Surveying and Mapping, 2004, 29(5): 41-44.
- [20] JACK B, JIM P, BRUNO P. Public participation in a spatial decision support system for public housing [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29: 630-652.
- [21] 沈旭昆, 王大江, 齐越. 基于 X3D/VRML 的三维场景设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2003, 26(3): 230-232.
SHEN Xukun, WANG Dajiang, QI Yue. Interactive 3D techniques of virtual reality based on X3D/VRML [J]. Computer Engineering and Application, 2003, 26 (3): 230-232.
- [22] 丘威, 张立臣. 基于 X3D 的在线虚拟室内漫游系统的研究与应用[J]. 计算机应用, 2005, 25(8): 1930-1932.
QIU Wei, ZHANG Lichen. Research and application of an online virtual indoor wandering system based on X3D [J]. Computer Application, 2005, 25(8): 1930-1932.
- [23] HIBBARD W, ANDERSON J, PAUL B. A Java and world wide web implementation of VisAD [J]. Advances in Space Research, 1998, 22(11): 1583-1589.
- [24] 张大坤, 薛忠明. 基于 Java3D 的虚拟艺术馆开发技术[J]. 沈阳工业大学学报, 2004, 26(5): 547-550.
ZHANG Dakun, XUE Zhongming. Development of virtual art library based on Java3D[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2004, 26(5): 547-550.
- [25] 陈健, 高井祥. 基于 Java3D 的城市三维景观的网络可视化[J]. 四川测绘, 2005, 28(4): 156-160.
CHEN Jian, GAO Jinxiang. Web-based visualization of 3D scene of city based on Java3D [J]. Surveying and Mapping of Sichuan, 2005, 28(4): 156-160.
- [26] HELI L, GUIFANG L, JIULIN S. Virtual Huanghe river system: Framework and technology [J]. Chinese Geographical Science, 2006, 16(3): 255-259.
- [27] 李学锋. 基于 OpenGL 的园区漫游系统的设计和实现[J]. 福建电脑, 2004(8): 50-51.
LI Xuefeng. The design and practice of park wandering system based OpenGL [J]. Fujian Computer, 2004(8): 50-51.
- [28] 李保杰, 于法展, 李战成, 等. 基于 OpenGL 虚拟校园漫游系统的设计与实现 [J]. 苏州科技学院学报 (工程技术版), 2006, 19(1): 86-90.
LI Baojie, YU Fazhan, LI Zhancheng, *et al.* The design and practice of a virtual campus based on OpenGL[J]. J University of Science and Technology of Suzhou (Engineering and Technology Edition), 2006, 19(1): 86-90.
- [29] 刘升, 王行愚, 游晓明. 基于 VC++ 的 OpenGL 三维动画仿真及场景漫游的实现[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(17): 3235-3238.
LIU Sheng, WANG Xingyu, YOU Xiaoming. Implementation of OpenGL 3D animation simulation and scene walkthrough based on VC++[J]. Computer Engineering and Design, 2006, 27(17): 3235-3238.

(责任编辑 岳臣)