



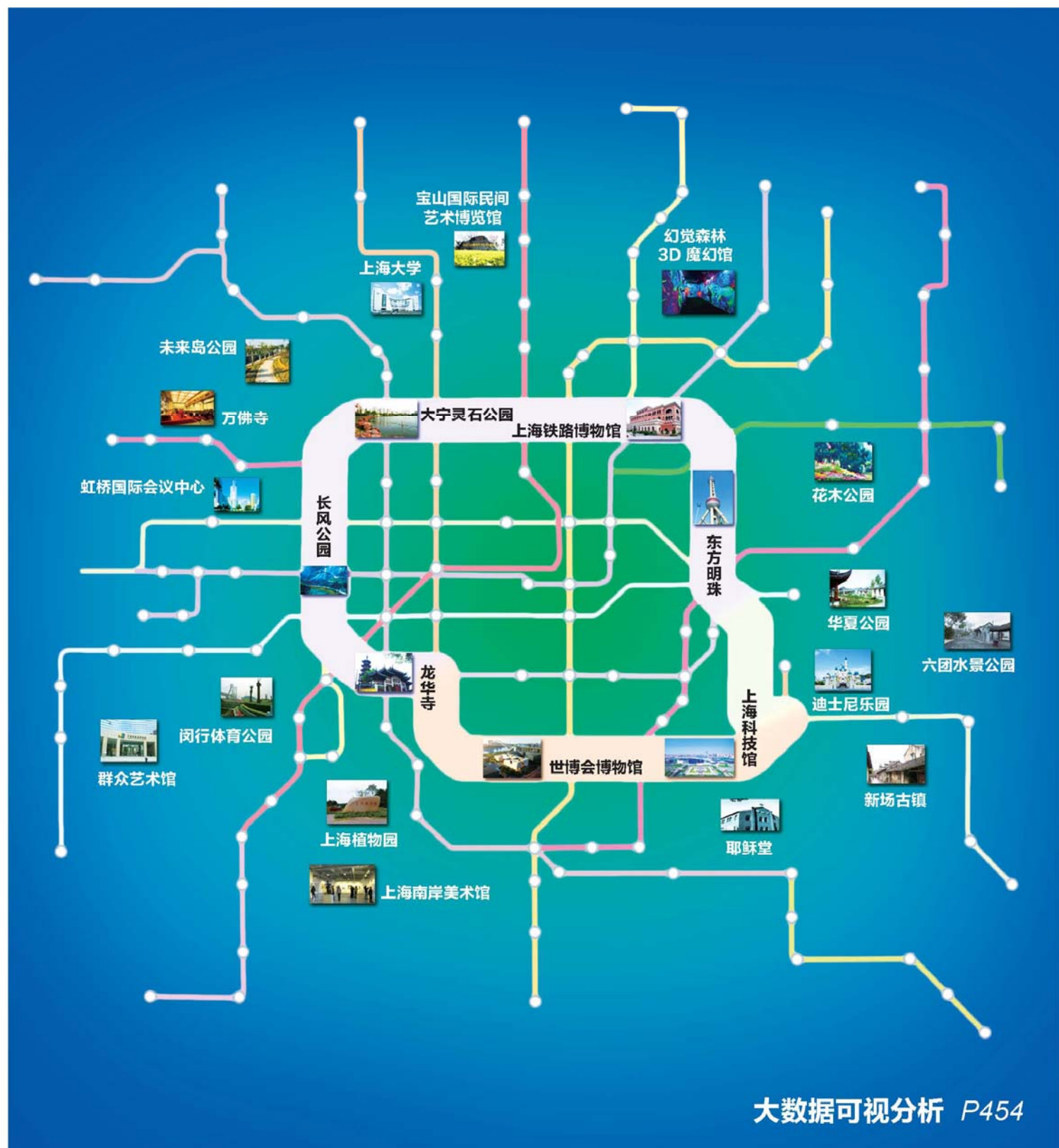
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
04
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第20卷第4期（总第228期）

2015年4月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

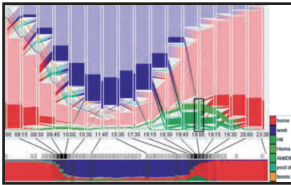
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

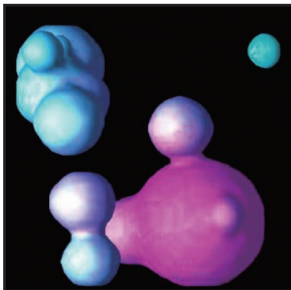
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

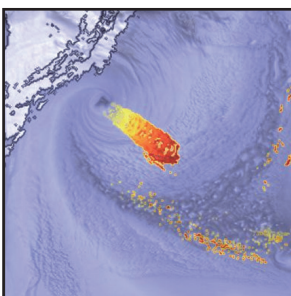
国内定价 50.00元



城市道路交通数据可视分析
综述(第0454页)



可视数据清洗综述
(第0468页)



非对称高斯函数的时变体数
据特征跟踪及可视化
(第0576页)

大数据可视分析

“大数据可视分析”专栏序

梁荣华	0453
城市道路交通数据可视分析综述	
姜晓睿, 田亚, 蒋莉, 梁荣华	0454
可视数据清洗综述	
王铭军, 潘巧明, 刘真, 陈为	0468
基于结构特征的自适应光线投射算法	
罗月童, 张伟, 石放放, 谭文敏	0483
面向浏览器的医学影像可视化系统	
雷辉, 赵颖, 王铭军, 周芳芳	0491

图像处理 and 编码

背投式多投影系统中各向异性问题的研究

王修晖, 王康健, 陆慧娟	0499
可见光与红外图像区域级反馈融合算法	
谷雨, 苟书鑫, 熊文卓, 刘俊, 薛安克	0506
结合天空识别和暗通道原理的图像去雾	
李加元, 胡庆武, 艾明耀, 严俊	0514

图像分析和识别

基于中层时空特征的人体行为识别

王泰青, 王生进	0520
----------------	------

计算机图形学

TBR架构GPU中三角形高效光栅化

符鹤, 谢永芳	0527
---------------	------

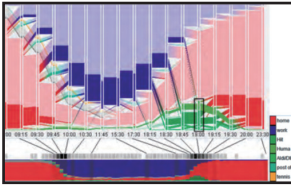
第十届中国计算机图形学大会专栏

V-系统在3D模型数字水印中的应用

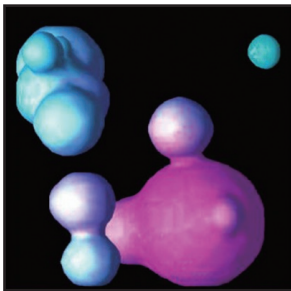
宋瑞霞, 徐燕青, 王小春, 李成华, 王俊, 齐东旭	0533
微距摄影的多聚焦图像拍摄和融合	
赵毅力, 周屹, 徐丹	0544
结合区域配对的室外阴影检测	
艾维丽, 吴志红, 刘艳丽	0551
多尺度粗糙表面的实时绘制方法	
过洁, 潘金贵	0559
体参数化模型离散调和映射生成	
陈龙, 刘玉生, 徐岗	0568
非对称高斯函数的时变体数据特征跟踪及可视化	
白志慧, 周志光, 杨瑞飞, 陶煜波, 林海	0576

CONTENTS

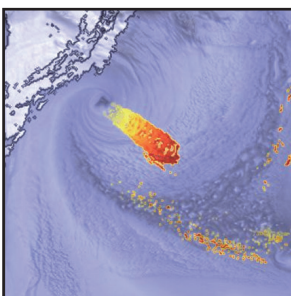
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Visual analytics of urban road transportation data: a survey (P0454)



Survey of visualization data cleaning(P0468)



Time-varying volume visualization and feature tracking based on asymmetric Gaussian function(P0576)

Visual Analytics Towards Big Data

Visual analytics of urban road transportation data: a survey	
Jiang Xiaorui, Tian Ya, Jiang Li, Liang Ronghua	0454
Survey of visualization data cleaning	
Wang Mingjun, Pan Qiaoming, Liu Zhen, Chen Wei	0468
Structure feature based adaptive ray casting algorithm	
Luo Yuetong, Zhang Wei, Shi Fangfang, Tan Wenmin	0483
HTML5-based medical image visualization system	
Lei Hui, Zhao Ying, Wang Mingjun, Zhou Fangfang	0491

Image Processing and Coding

Research on anisotropy problems under rear-projection multi-projector tiled display wall	
Wang Xiuhui, Wang Kangjian, Lu Huijuan	0499
Visible and infrared image region-level feedback fusion algorithm	
Gu Yu, Gou Shuxin, Xiong Wenzhuo, Liu Jun, Xue Anke	0506
Image haze removal based on sky region detection and dark channel prior	
Li Jiayuan, Hu Qingwu, Ai Mingyao, Yan Jun	0514

Image Analysis and Recognition

Human action recognition using mid-level spatial-temporal features	
Wang Taiqing, Wang Shengjin	0520

Computer Graphics

High efficiency triangle raster algorithm in GPU based on TBR architecture	
Fu He, Xie Yongfang	0527

Column of Chinagraph'2014

Application of the V-system to digital watermark of 3D models	
Song Ruixia, Xu Yanqing, Wang Xiaochun, Li Chenghua, Wang Jun, Qi Dongxu	0533
Multi-focus image capture and fusion system for macro photography	
Zhao Yili, Zhou Yi, Xu Dan	0544
Outdoor shadow detection with paired regions	
Ai Weili, Wu Zhihong, Liu Yanli	0551
Real-time rendering of multi-scale rough surfaces	
Guo Jie, Pan Jingui	0559
Generation of volume parameterization model based on discrete harmonic mapping	
Chen Long, Liu Yusheng, Xu Gang	0568
Time-varying volume visualization and feature tracking based on asymmetric Gaussian function	
Bai Zhihui, Zhou Zhiguang, Yang Ruifei, Tao Yubo, Lin Hai	0576

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)04-0491-08

论文引用格式: Lei H, Zhao Y, Wang M J, Zhou F F. HTML5-based medical image visualization system[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(4): 0491-0498. [雷辉, 赵颖, 王铭军, 周芳芳. 面向浏览器的医学影像可视化系统[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(4): 0491-0498.] [DOI: 10.11834/jig.20150404]

面向浏览器的医学影像可视化系统

雷辉¹, 赵颖², 王铭军³, 周芳芳²

1. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 长沙 410114; 2. 中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083;
3. 丽水学院工学院, 丽水 323000

摘要: 目的 当前各大商业公司和开源社区所提供的医学影像可视化系统依赖于各类平台以及与平台相关的插件, 难以实现跨平台访问。为此提出并实现了基于 HTML5 的面向现代浏览器的医学影像可视化系统。方法 基于 B/S(browsers/server)模式进行系统整体架构与设计, 设计自定义的传输协议提供各种定制的图像可视化服务。对于 2 维影像, 采用 HTML 的 canvas 技术和 WebGL 技术进行浏览器端硬件加速。对于 3 维医学影像, 采用前后端异步操作的策略以提供渐进式可视化。算法构造原始数据的多分辨率采样, 并在用户交互过程中实现自适应可视化。结果 在不同的浏览器、多组临床医学影像肝脏数据上测试了系统, 表明系统支持跨浏览器的可视化。测试 2 维和 3 维可视化的结果表明, 系统支持 2 维影像的实时可视化(25 帧/s), 支持 3 维影像的交互可视化。对于 512 × 512 × 154 的医学体数据, 低精度绘制模式的可视化效率可以达到 60 帧/s, 高精度绘制模式的可视化效率可达到 1 帧/s 的绘制效率。结论 本文面向浏览器的医学影像可视化系统利用当下新兴的 WEB 技术实现了跨浏览器、跨平台地对用户提供服务, 为远程及移动医疗影像可视化系统提供了机会。

关键词: 医学影像; 可视化; 插件; HTML5 协议; WebWorkers 规范; WebGL 标准

HTML5-based medical image visualization system

Lei Hui¹, Zhao Ying², Wang Mingjun³, Zhou Fangfang²

1. Department of Electronics and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China;
2. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
3. Institute of Technology, Lishui University, Lishui 323000, China

Abstract: **Objective** Most existing medical systems provided by major commercial companies and open source communities depend on different operating systems and platform-related plug-ins. Thus, cross-platform access is difficult to provide. This study presents a browser-oriented medical image visualization system based on the latest web technology and HTML5. **Method** Our approach is designed on the basis of B/S mode. The proposed method employs a self-defined protocol to offer customized visualization services. In particular, we propose the Canvas technique for HTML4 and WebGL to accelerate browser visualization. We propose an asynchronous approach to provide progressive visualization. This approach constructs multi-resolution sampling data for the underlying dataset and employs an adaptive visualization scheme during user interactions. **Result** We tested our system using multiple clinical and medical datasets in different browsers. Results show that our

收稿日期: 2014-08-25; 修回日期: 2014-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(61103108); 湖南省科技计划资助项目(2014SK3274)

第一作者简介: 雷辉(1977—), 女, 讲师, 2006 年于湖南师范大学获电路与系统专业硕士学位, 主要研究方向为可视化、图像处理。

E-mail: leihui88@163.com

通信作者: 赵颖, 讲师, E-mail: zhaoying@csu.edu.cn

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61103108)

system supports multiple browsers. Experiments on 2D and 3D visualization features show that our system can display 2D images in real-time (25 frame/s), as well as visualize 3D images interactively. For a dataset with a resolution of $512 \times 512 \times 154$, low-resolution sampling performance achieves 60 frame/s), whereas that of high-resolution sampling is 1 frame/s). **Conclusion** The proposed system fully supports cross-platform operation and is compatible with all browsers that support HTML5. These features significantly enhance user experience and open up prospects for remote and mobile medical image visualization systems, as well as give rise to a new opportunity for web medical image visualization systems.

Key words: medical image; visualization; plug-ins; HTML5; WebWorkers; WebGL

0 引言

医疗设备不断地发展产生了大量医学影像数据,这些影像所包含的信息在诊断治疗中有巨大的价值。医学影像可视化使用计算机和图像处理技术充分挖掘医学影像的信息,为医生诊断、治疗、手术等提供有力的支持。目前,主流医学影像可视化平台大致可分为两类:一类是客户端医学影像数据可视化平台,这种平台经过几十年的发展,现已非常成熟,功能也十分完善,各大商业公司和开源社区都有大量软件提供。例如,美国通用公司的 GE Healthcare 已向全球 100 多个国家的医疗专业人士及其患者提供服务,开源软件中的 Osirix^[1] 也被广泛地使用在各个科研机构之中;另一类是基于浏览器插件(平台相关)或者虚拟化桌面的医学影像数据可视化平台,主要是由商业公司提供。这类平台的发展日趋完善,在功能上逐步接近并替换纯客户端,包括高端影像工作站领域,如 TeraRecon 系统。以上介绍的两种医学影像可视化平台依赖于操作系统或者与平台相关的插件,如果要实现跨平台访问,甚至移动设备的访问,所需要的软件移植成本过于庞大。

因此,一些商业公司和开源社区开始探索与平台无关,纯面向浏览器的医学影像数据的可视化平台。如 Oviyam 已实现了与平台无关的 Web 医学影像可视化系统。它使用 DICOM(digital imaging and communications in medicine)标准中 WADO(web access to DICOM persistent object)协议传输图像,主要包括一些简单的 2 维交互功能。但是 Oviyam 还没有支持 3 维影像的绘制,另外基于 WADO 协议的使用也限制了系统提供定制的服务功能。

本文实现了基于 HTML5 和最新的 Web 技术,面向现代浏览器(Firefox4+、Chrome10+、Safari4+)的

医学影像数据可视和分析系统。该系统无需安装任何插件,可运行在不同桌面及移动平台的浏览器上,实现了 2 维图像的实时浏览、搜索和交互功能,以及 Web 端的 3 维交互浏览;系统根据自定义的传输协议和数据格式,可向用户提供定制的服务功能;系统基于 WebGL 实现了医学影像的 Web 端体绘制,并能依据不同移动终端的性能,采用不同精度的绘制方式,先后提供给用户体绘制快速的预览效果和精确的绘制效果。以肝脏影像数据为例,在设计完成的系统之中成功实现了肝脏血管图像分割功能。

1 相关工作

医学影像的管理和通信对于医学影像可视化平台至关重要。大多数平台都会有各自的医学影像归档与通信系统 PACS(picture archiving and communication systems)。PACS 作为放射学、影像医学、数字化图像技术、计算机技术及通信技术的结合,将医学图像资料转化为计算机数字形式,通过高速的计算设备及通讯网络,完成对图像的采集、存储、管理、处理及传输等功能^[2]。目前,开源的 PACS 服务器 DCM4CHEE^[3] 凭借其强大的影像归档功能和稳定高效的通信性能已经广泛地应用于美国各个医院之中。同时,一些商业公司和开源社区也把它作为 PACS 服务器开发相应的医学影像可视化平台。

为了规范化 Web 对 DICOM 影像的访问, WADO 协议在 2004 年正式成为 DICOM 标准的 18 部分^[4]。用户通过 Internet 发送 WADO 请求路径后,服务器根据参数返回相应的影像数据信息给浏览器端,这为 Web PACS 的实现和研究提供了一条新的途径。但由于协议规范的限制,系统开发者很难根据内部需求扩展相应的功能。自定义传输协议可以较好地解决此问题,不过系统需独自完成图像解码

和数据传输工作。德国 offis 公司开发的 DCMTK^[5] 实现了 DICOM 协议, 利用它可对 DICOM 医学影像进行解码分析。图像数据的传输效率影响着医学影像可视化系统用户体验的优劣。自 JavaScript 诞生以来, 浏览器还无法在 UI 线程之外运行代码。近年来随着 HTML5^[6] 的迅猛发展, 新引入的 WebWorkers API 可以很好地解决这个问题。在运行过程中, WebWorkers 之间并发执行且不占用 UI 线程, 给 Web 运用带来巨大的性能提升。本文系统利用 WebWorkers 的这个特性, 在浏览器端并行传输医学影像数据, 获得了极大的效率提升和较好的用户体验。目前 HTML5 即将成熟, 各大浏览器已经提供对 WebWorkers API 的支持。

2011 年 3 月 WebGL^[7] 标准规范正式发布。作为一种 3D 绘图标准, WebGL 不依赖于任何浏览器插件, 利用底层的图形硬件加速功能完成图形渲染, 这使得在网页上实现 3 维医学影像的实时绘制变为了可能。WebGL 目前版本并不支持 3 维纹理, Congote 等人^[8] 将 3 维纹理拼接成为一张大的 2 维纹理实现了医学体数据在 Web 端的光线投射算法^[9]。然而, 受限于移动平台的硬件条件各不相同, 如果要在移动设备上显示体绘制效果, 就必须对原始数据

进行降采样或者在光线投射过程中减少采样步长。这会造成绘制结果失真和信息丢失, 从而影响医疗诊断过程。本文提出了一种前后端异步处理的方式。前端实时响应用户的交互, 先绘制降采样后的模糊体绘制结果, 再用后端图形硬件出色的服务器完成精确的体绘制结果, 通过鼠标交互实现前后端绘制结果的交替显示。

2 系统设计

基于 HTML5 的医学影像数据可视化平台参照传统的 B/S 模式进行整体的架构与设计, 通过服务器和浏览器端的异步操作最大限度地降低用户延迟, 提高响应时间和绘制效果。系统整体架构如图 1 所示, 浏览器端使用 HTML5 和 JavaScript 来编写 Web 页面及相应的交互功能模块, 通过修改 CSS 文件来控制整个用户界面的布局, 利用 WebGL 来完成 2 维和 3 维影像的绘制。而在服务器端, PACS 负责了全部医学影像的归档管理, 使用 DCMTK 完成 DICOM 影像的解析, 利用 2 维、3 维影像处理模块响应前端不同的服务请求, 它们之间通过 http 协议进行通信。

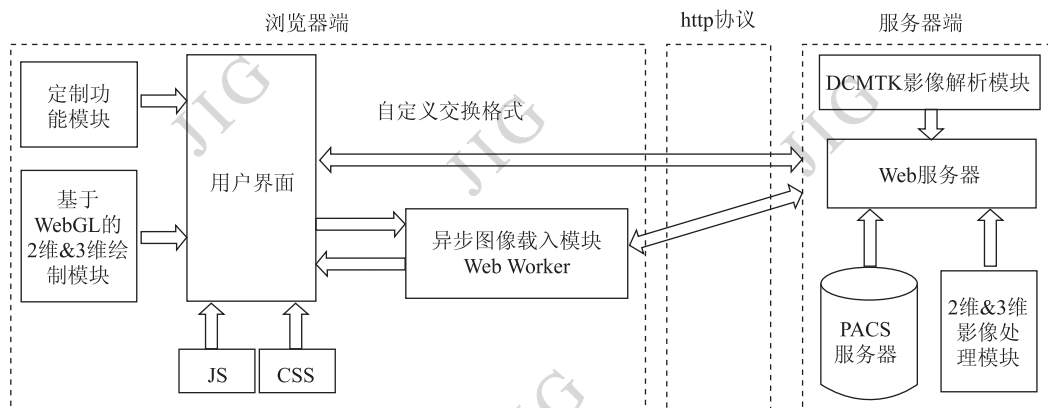


图 1 系统整体架构

Fig. 1 The overall system architecture

整个系统主要分为以下 4 个模块: 医学影像信息搜索和请求模块、2 维图像交互功能模块、3 维数据体绘制模块和自定义功能模块。

2.1 医学影像信息搜索和数据请求

医学影像信息搜索和数据请求是本系统的基础和关键模块。它直接影响到后继的 2 维图像交互以及 3 维影像显示。

2.1.1 医学影像信息的搜索

在影像信息搜索中, 系统可根据用户需求来定义搜索指令。每当浏览器端发出一条搜索指令, Web 服务器端会根据指令参数检索 PACS 服务器的影像数据库, 并把相应检索结果按照 JSON 格式返回给前端。搜索模块的框架如图 2 所示。



图2 影像信息搜索模块

Fig. 2 The module of image information search

在搜索参数的设定过程中,系统按照 DICOM 标准^[10]把医学影像参数信息自顶向下分为 4 层: Patient、Study、Series、Image。用户可以根据每一层的关键字信息来设定搜索指令的参数。同样地,检索得到的信息在结构组织上也是按照这 4 层进行排列。系统采用 JQuery 中的 accordion 控件来对检索数据进行分层显示,用户可直观地选择需要显示的医学图像。

2.1.2 医学影像数据的请求

不同于 Oviyam 通过 WADO 协议请求 DICOM 影

像,本系统采用了 HTML5 中的 Web Workers 实现多线程并行传输医学影像数据,使得后台的数据传输不会影响到前台的界面交互。不同的浏览器对 Web Workers 并发数量的支持各不相同,Chrome 浏览器最多可同时运行 16 个 Worker。但是多个 Worker 线程同时运行会占用大量的系统资源,考虑到交互的流畅度以及系统资源的合理利用,本文系统采用的方式是每次接受一组影像数据时,只开启 2 个主 Worker。它们并发执行,分别负责偶序列和奇序列影像数据的请求访问。与此同时,一旦用户交互选择某一幅影像,而该影像数据的请求指令还在主 Worker 的等待队列中,系统会开启一个新的子 Worker 立即负责此指令的请求。影像数据传送到前端后会保存在一个 2 维数组中,子 Worker 和主 Worker 之间通过互斥操作来防止对此数组的读写冲突。整体框架如图 3 所示。

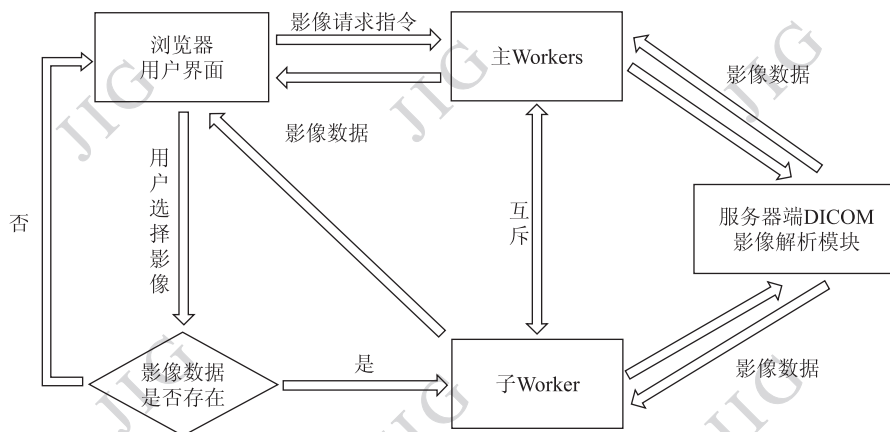


图3 医学影像数据请求模块

Fig. 3 The module of medical image data

服务器端使用 DCMTK 实现 DICOM 影像数据的解析,相应的 CGI 程序一旦接收到主 Worker 或者子 Worker 发送的影像请求指令,便根据指令中文件路径参数加载 DICOM 影像文件并对其解析。最后通过 JSON 的数据格式把解析得到影像数据返回给浏览器端。

2.2 2 维图像交互功能

在前端,系统接收到影像数据后,将每一张切片做成一个 2 维纹理,然后通过 WebGL 中纹理贴图的方式在 HTML5 的 canvas 里绘制 2 维医学影像。在用户界面中,本文系统参照一些流行的客户端医学影像可视化平台(例如,Osirix)来设计整个 2 维交互功能,主要包括窗宽窗位的调整、伪彩映射、测量工

具以及旋转、平移、缩放等变换以及测量工具。WebGL 已经提供对硬件加速的支持,系统可利用 GLSL Shader 程序对绘制的顶点和片段进行控制,以达到加速绘制的目的,从而提高效率。目前 WebGL 版本的功能还不够完善,对 OpenGL 中许多特性缺乏支持,因此通过改变传统方法来解决此类问题。

2.2.1 窗宽窗位的调整

窗技术是 CT 检查中用以观察不同密度的正常组织或病态的一种显示技术,包括窗宽和窗位。通过调整窗宽和窗位的大小,可以显示各种密度的组织结构^[11]。如同一般医学影像可视化平台,本文系统利用鼠标控制窗宽和窗位的大小。在图像数据纹理传输过程阶段,WebGL 并不支持浮点型纹理,无

法把较高精度的纹理数据传入绘制。由于所传输的医学影像都是灰度图像, 可将 RGBA 的 32 位全部用来存储灰度值信息, 以使用高精度的纹理数据来显示绘制结果。纹理传入 shader 之后, 根据当前窗宽窗位的大小将其映射到 0~255, 并通过查找伪彩色表得到显示在屏幕上的颜色值。

2.2.2 旋转、平移和缩放

用户根据需求选择对图像进行旋转、平移以及缩放等变换操作。一系列的操作都是通过控制 WebGL 中的模型矩阵完成得到。

2.2.3 测量

系统还可以对感兴趣区域进行长度测量和面积测量。长度测量首先通过鼠标确定直线的起点和终点, 然后结合影像信息中的起始点与间距值, 计算得到直线在原始体空间中的真实长度并将其显示。在面积测量中, 用户可用矩形、椭圆形以及多边形表示感兴趣区域。

2.3 3 维体绘制

由于目前 WebGL 标准还不支持 3 维纹理, 浏览器还无法通过 3 维纹理实现直接体绘制中的光线投射算法。因此本文系统将一次请求的全部影像制作成一幅大的 2 维纹理, 预先设定每行、每列放置的图像数。在光线投射的过程中, 光线上的每一个采样点根据其坐标和 2 维纹理的参数计算得到对应的纹理值。然后, 查询传输函数得到采样点的光学属性, 最后对每条光线上的所有采样点的光学属性进行融合便能得到 3 维体绘制效果。

考虑到实际应用中每台移动设备或者客户端的硬件条件参差不齐, 实现浏览器端的精确体绘制效果并不具有普遍适用性。本文系统采用前后端异步操作的策略, 首先在浏览器端对原始体数据进行预处理, 构造原始数据的多分辨率结构, 并保存为多幅大尺度的 2 维纹理。用户在移动鼠标调整视角的过程中, 系统选择低分辨率的体纹理数据, 采用光线投射算法进行可视化, 便于用户快速找到目标区域。当鼠标停止交互时, 通过交互定时器的设置来发送绘制指令及当前的视景矩阵到后台服务器。服务器端接到指令后会依据当前的视觉参数调用绘制程序读取存储在服务端的高分辨率体数据, 并利用服务器强大的图形硬件快速绘制精确的体绘制效果, 最后通过 JSON 格式传回给前端显示, 流程如图 4

所示。

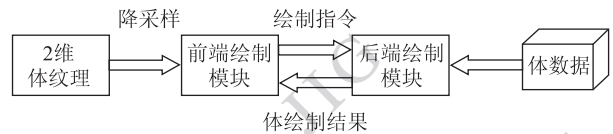


图 4 3 维体绘制模块

Fig. 4 The module of 3D volume rendering

医学数据标量值分布有一定的规律性, 各种组织结构都有自己的标量值范围, 在医学影像可视化平台中通常会根据预设的传输函数设定不同结构的光学属性, 突出显示感兴趣的部分。这种方法相对于手动调节传输函数, 在交互上更为方便, 但是它只能显示一部分特定的组织结构, 无法根据用户需求显示任意的绘制效果。此外, 由于噪声等因素的影响, 采样值会有所偏差, 这会导致预设的传输函数无法清楚地展现用户希望看到的结果。系统加入了一些常用预设的 1 维传输函数。如果用户对预设传输函数绘制的结果不满意, 可以调节控制点的标量值范围和光学属性来调整绘制结果, 能更好地观察感兴趣的组织结构。当浏览器端传输函数发生变化后, 相应的参数同时会发送给后端绘制程序, 使得前后端能够保持绘制参数上的一致性。

这种绘制方式一方面使浏览器端无需承担过多的计算绘制任务, 用户交互体验更加顺畅, 另一方面也能保证用户对特定角度区域精确绘制的需求。

2.4 自定义功能模块

除了一般 2 维、3 维绘制显示和交互功能之外, 系统作为一个基础医学影像可视化平台还提供了对定制功能模块的扩展。引入自定义的交换格式如图 5 所示, 系统可根据用户需求加入功能模块并指定相应指令。浏览器端通过设置指令的类型、参数及信息便能指定服务端提供相应的服务。这使得系统可按用户需求传输数据及文本内容, 更重要的是在功能模块地扩展上也变得更为自由与方便。功能模块的扩展使得前端只需负责用户交互及简单的运算, 复杂的计算过程都由服务器来完成。本系统以肝脏影像数据为例, 针对活体肝移植手术实现了肝脏血管

指令类型	指令参数	文本信息	数据信息
------	------	------	------

图 5 自定义交换格式

Fig. 5 Custom exchange format

分割功能。因为血管与肝脏组织的对比度比较大,系统用了区域增长^[11]算法来实现肝脏血管的分割。用户只要在影像上选择好区域增长的种子点、设好阈值并发送指令给服务器,服务器便会根据这些参数计算得到血管数据,最后返回给前端进行显示。

3 实验结果

实验在配置为 CPU: Intel E7500 2.93 GHz, 内存 4 G, 图形卡: NVIDIA GeForce GTX260 (1 024 MB 显存) 的机器上完成。分别使用 Windows 7 和 Ubuntu 11.04 下的 Chrome 与 Firefox 浏览器对整个系统进行测试。实验发现,本文系统能很好地兼容这两种浏览器,无论在运行速度还是功能实现上面几乎没有任何差异。具体实验数据以 Ubuntu 11.04 下的 Chrome 中的运行结果为例。

分别对 3 组影像进行请求访问,结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出,在请求影像数据的过程中,因为每次请求影像的总时间会因影像数目的不同而有所差异。不过对于单张影像的请求而

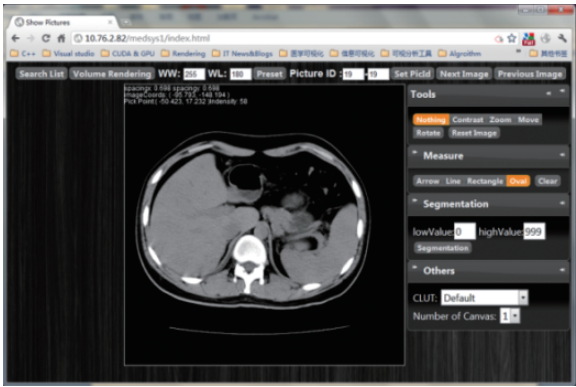
言,在网络情况较佳的情况下传输延迟基本维持在 100 ~ 300 ms,由于图 3 中介绍的子 Worker 的存在,延迟基本不影响用户交互显示特定图像。

表 1 图像数据请求时间

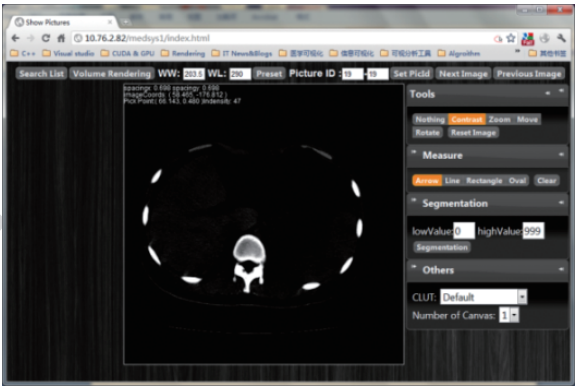
Table 1 The request time of image access data

影像数目	平均传输数据大小/KB	单张传输最大最小延迟/ms	传输总时间/s
42	259	352/160	12.18
94	252	375/197	28.55
154	270	407/170	46.37

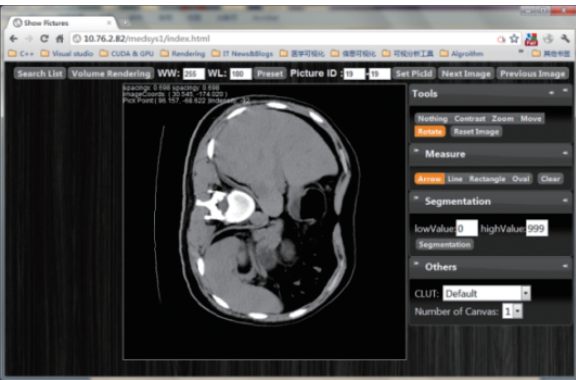
图 6 为系统的 2 维交互界面,它提供了一系列的交互工具,辅助用户对图像进行各类操作,图 6 中列举了 2 维交互的几种方式。图 6(b)中的影像,在默认的伪彩映射下,系统通过调整窗宽窗位便能清楚地突显出肋骨组织;图 6(c)影像是旋转图像后的效果;图 6(d)影像为矩形区域面积测量的结果。由于 WebGL 对硬件加速的支持,2 维影像的可视化可以达到实时的效率(25 帧/s),整体交互体验都比较流畅。



(a) 原始影像



(b) 调整窗宽窗位



(c) 旋转图像



(d) 矩形测量

图 6 系统交互界面

Fig. 6 The system interface

在肝脏血管分割实验中,采用由中南大学湘雅医院影像科提供的一整套胸腔CT影像,预先分割出肝脏区域并对其进行降噪平滑处理。如图7(a)调整过窗宽窗位后的肝脏影像,图7(b)为服务端经过区域增长后的影像结果,其中绿色部分为分割出来的血管。选择不同切片,可以发现每一层切片中血管图像都已被分割。

系统在进行3维体绘制时,选取了分辨率为 $512 \times 512 \times 154$ 像素的体数据。浏览器端绘制程序对原数据进行了降采样, x 与 y 方向上的分辨率为

原来的50%,沿着光线的最大采样数目设为100步。服务器端程序绘制时,保持数据大小不变,沿着光线的最大采样数目设为500步。实验结果如图8所示,图8(a)为精度为原数据25%的前端实时绘制结果,绘制帧率可达60帧/s。图8(b)为后端服务器高精度异步绘制结果,平均响应延迟约为0.7s。每个图中左边为绘制窗口,右边为1维传输函数模。从图8可以看出,虽然前端绘制效果相对比后端要略显模糊,但是基本能区分不同的结构组织,这便能辅助用户设置传输函数以显示后端精确的绘制结果。

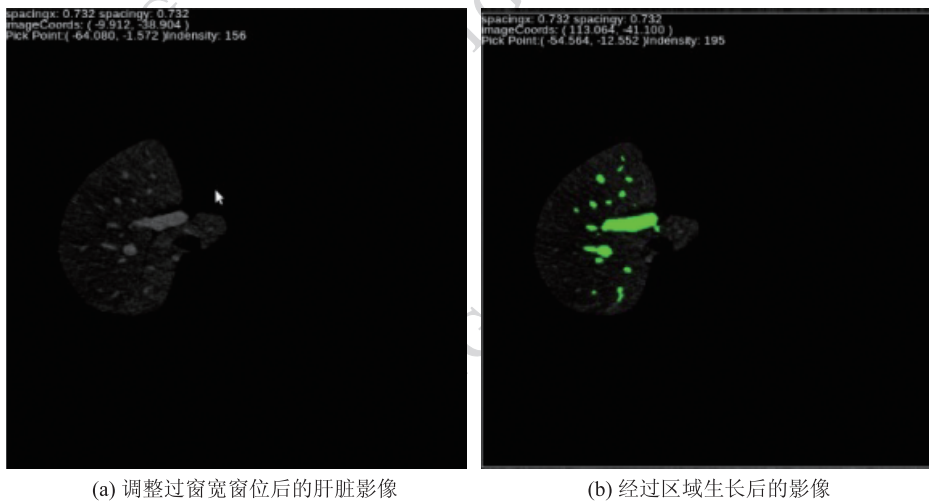


图7 肝脏血管分割

Fig. 7 The liver blood vessel segmentation



图8 3维体绘制界面

Fig. 8 Three dimensional volume rendering interface

4 结论

本文提出的基于HTML5的医学影像可视化平台利用了当下一些新兴的Web技术实现了跨浏览器、跨平台地对用户提供服务,它不依赖于任何平台

以及与平台相关的插件。此系统作为基础医学影像可视化平台,可以根据用户不同的需求来定制相应的服务功能,在移动及远程医疗中很有发展前景。这种方式突破了传统面对面的医疗模式,医生在外地就可以通过Web技术传递信息和医治病人,使得高水平的医疗服务能够普及到更广发的区域。

本文系统的未来工作包括两方面:一是,在与临床医生的交流过程中,发现医生更为关注 2 维图像的传输速度,因此在网络条件一般的情况下如何提高图像的传输效率便成本文下一步要研究的一个主要问题。二是,由于移动设备的硬件条件相对落后,系统需要在不同的移动设备上测试其性能并针对移动平台改进算法与交互的方式。最后,除了肝移植模块,还需要开发更多的定制功能模块,满足医疗影像需求。

参考文献 (References)

- [1] Rosset A, Spadola L, Ratib O. OsiriX: an open-source software for navigating in multidimensional DICOM images [J]. Digital Imag. , 2004, 17(3) : 205-216.
- [2] Meyer-Ebrecht D. Picture archiving and communication systems (PACS) for medical application [J]. International Journal of Bio-Medical Computing, 1994, 35(2) : 91-124.
- [3] Warnock M J, Toland C, Evans D, et al. Benefits of using the DCM4CHE DICOM archive [J]. Journal of Digital Imaging, 2007, 20(11) : 125-129.
- [4] Pianykh O S. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) [M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2012.
- [5] Eichelberg M, Riesmeier J, Wilkens T, et al. Ten years of medical imaging standardization and prototypical implementation: the DICOM standard and the OFFIS DICOM toolkit (DCMTK) [C]// Proceedings of Medical Imaging 2004: PACS and Imaging Informatics. San Diego, CA, USA: SPIE, 2004: 57-68.
- [6] HTML 5 in W3C. HTML5: A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML. [M/OL]. [2014-11-18]. <http://www.w3.org/TR/html5/>.
- [7] KHRONOS GROUP. WebGL-opengl es 2.0 for the web [M/OL]. [2014-11-18]. <http://www.khronos.org/webgl/>.
- [8] Congote J, Segura A, Kabongo L, et al. Interactive visualization of volumetric data with WebGL in real-time [C]//Proceedings of the 16th International Conference on 3D Web Technology. Paris, France: ACM, 2011: 137-146.
- [9] Weiler M, Kraus M, Merz M, et al. Hardware-based ray casting for tetrahedral meshes [C]//Proceedings of the 14th IEEE Visualization. Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2003: 333-340.
- [10] Mildenberger P, Eichelberg M, Martin E. Introduction to the DICOM standard [J]. European Radiology, 2002, 12(4) : 920-927.
- [11] Tian P L. Window width and window level setting in CT study [J]. Medicine & Engineering, 2001, 3(1) : 6-10. [田培林. CT 检查的窗宽窗位设置 [J]. 医学与工程, 2001, 3(1) : 6-10.]
- [12] Adams R, Bischof L. Seeded region growing [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(6) : 641-647.