



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
03
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

非真实感图像处理 P437





第20卷第3期（总第227期）

2015年3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

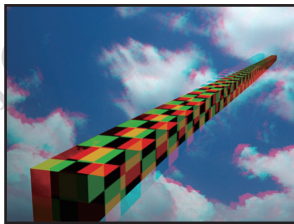
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

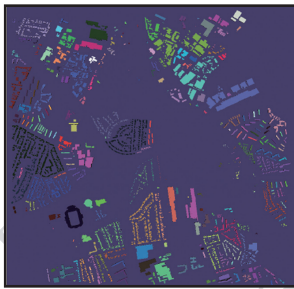
国内定价 50.00元



实时立体视觉系统中的深度映射(第0366页)



基于辐照度的运动模糊图像去模糊(第0395页)



面向智慧城市的3维城市在线可视化(第0445页)

综述

面向血管疾病诊断及预测分析的血流动力学模拟综述

徐梦佳, 杨金柱, 赵宏, 赵大哲 0297

图像处理和编码

多特征融合的车辆阴影消除

邱一川, 张亚英, 刘春梅 0311

图像分析和识别

基于局部时空特征方向加权的人体行为识别

李俊峰, 张飞燕 0320

对表情鲁棒的面部轮廓线3维人脸识别

常朋朋, 达飞鹏, 梅俊 0332

融合双层信息的显著性检测

姜霞霞, 李宗民, 匡振中, 刘玉杰 0340

面向动摄像机的高速运动目标检测

穆春迪, 谢剑斌, 闫玮, 刘通, 李沛秦 0349

匹配滤波在SAR目标单个散射部件检测中的应用

丁柏圆, 文贡坚, 钟金荣, 马聪慧 0357

图像理解和计算机视觉

实时立体视觉系统中的深度映射

李大锦, 白成杰 0366

遥感图像处理

GPU支持的SAR影像几何校正大规模并行处理

杨景辉, 程春泉, 张继贤, 黄国满 0374

基于正则化约束的遥感图像多尺度去模糊

谭海鹏, 曾炫杰, 牛四杰, 陈强, 孙权森 0386

第十届中国计算机图形学大会专栏

基于辐照度的运动模糊图像去模糊

方贤勇, 阚未然, 周健, 李黎, 郭延文 0395

对比度、颜色一致性和灰度像素保持的消色算法

王勋, 罗婷婷, 刘春晓, 彭浩宇 0408

结合因子图的多目的地地图布局优化

罗振珊, 张俊松, 范接鹏 0418

高阶连续的形状可调三角多项式曲线曲面

严兰兰, 韩旭里 0427

改进的自然图像铅笔画效果生成

黄志勇, 姚远, 张晶晶, 马凯, 任东 0437

面向智慧城市的3维城市在线可视化

潘斌, 郭小明, 陈明明, 陈为, 彭群生 0445

CONTENTS

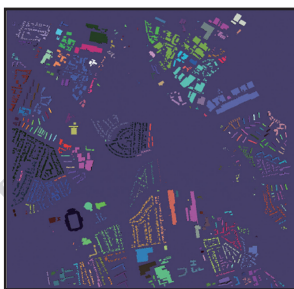
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Depth mapping in real-time stereoscopic systems (P0366)



Deblurring of motion blurred images based on the irradiance(P0395)



Online 3D city visualization for smarter cities(P0445)

Review

Survey of hemodynamics simulation for diagnosis and prediction in vascular disease

Xu Mengjia, Yang Jinzhu, Zhao Hong, Zhao Dazhe 0297

Image Processing and Coding

Vehicle shadow removal with multi-feature fusion

Qiu Yichuan, Zhang Yaying, Liu Chunmei 0311

Image Analysis and Recognition

Human behavior recognition based on directional weighting local space-time features

Li Junfeng, Zhang Feiyan 0320

Expression-robustness 3D face recognition based on facial profiles

Chang Pengpeng, Da Feipeng, Mei Jun 0332

Image saliency detection based on two-layer information fusion

Jiang Xiaxia, Li Zongmin, Kuang Zhenzhong, Liu Yujie 0340

Detecting high-speed moving targets in moving camera environments

Mu Chundi, Xie Jianbin, Yan Wei, Liu Tong, Li Peiqin 0349

The application of matched filter in detecting single scattering parts of SAR targets

Ding Boyuan, Wen Gongjian, Zhong Jinrong, Ma Conghui 0357

Image Understanding and Computer Vision

Depth mapping in real-time stereoscopic systems

Li Dajin, Bai Chengjie 0366

Remote Sensing Image Processing

GPU supported massively parallel processing for geometric correction of SAR imagery

Yang Jinghui, Cheng Chunquan, Zhang Jixian, Huang Guoman 0374

Remote sensing image multi-scale deblurring based on regularization constraint

Tan Haipeng, Zeng Xuanjie, Niu Sijie, Chen Qiang, Sun Quansen 0386

Column of Chinagraph'2014

Deblurring of motion blurred images based on the irradiance

Fang Xianying, Kan Weiran, Zhou Jian, Li Li, Guo Yanwen 0395

Decolorization with contrast, color consistency and grayscale pixel preservation

Wang Xun, Luo Tingting, Liu Chunxiao, Peng Haoyu 0408

Synthesizing multi-destinations map with factor graph

Luo Zhenshan, Zhang Junsong, Fan Jiepeng 0418

Higher-order continuous shape adjustable trigonometric polynomial curve and surface

Yan Lanlan, Han Xuli 0427

Improved algorithm for natural image pencil drawing production

Huang Zhiyong, Yao Yuan, Zhang Jingjing, Ma Kai, Ren Dong 0437

Online 3D city visualization for smarter cities

Pan Bin, Guo Xiaoming, Chen Mingming, Chen Wei, Peng Qunsheng 0445

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)03-0445-07

论文引用格式: Pan B, Guo X M, Chen M M, Chen W, Peng Q S. Online 3D city visualization for smarter cities[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(3): 0445-0451. [潘斌, 郭小明, 陈明明, 陈为, 彭群生. 面向智慧城市的3维城市在线可视化[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(3): 0445-0451.] [DOI:10.11834/jig.20150316]

面向智慧城市的3维城市在线可视化

潘斌¹, 郭小明¹, 陈明明¹, 陈为², 彭群生²

1. 辽宁石油化工大学理学院, 抚顺 113001; 2. 浙江大学CAD&CG国家重点实验室, 杭州 310058

摘要: 目的 3维城市可视化是智慧城市信息显示的基础,对城市信息的实时准确传递起着重要作用。而现有的3维城市可视化方法和系统存在两点局限性:一是数据模型不适合于海量建筑物显示;二是对整个城市采用单一绘制方式,而建筑物的纹理、结构、高度等特征相似,绘制结果容易引起视觉混淆,为此提出一种基于人类感知理论的3维城市在线可视化技术。**方法** 在预处理阶段,系统采用建筑综合算法建立3维城市建筑物的多分辨率表示;在运行时刻,系统根据用户交互,自适应选择建筑物相应的层次进行显示。**结果** 采用几个3维城市数据对系统进行了测试,实验结果证明,该系统有效地提高了3维城市绘制效率。Leverkusen城市的5 530座建筑物,绘制效率达到19.4帧/s。**结论** 基于感知的3维城市多分辨率表示,有效提高了3维城市系统的显示效率以及用户获取信息的效率,同时提高了用户的交互效率。

关键词: 智慧城市;3维城市在线可视化;建筑物;人类感知

Online 3D city visualization for smarter cities

Pan Bin¹, Guo Xiaoming¹, Chen Mingming¹, Chen Wei², Peng Qunsheng²

1. School of Science, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China;

2. State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: **Objective** Three-dimensional (3D) city visualization is fundamental for information display in smarter cities. Existing 3D city visualization systems are mainly limited in two aspects. First, the data model of a 3D city is unsuitable for handling massive building data and does not support real-time network transmission. Second, given that the whole city is rendered in a homogeneous graphic style and that most buildings are highly similar in texture, structure, and height, the rendering results usually exhibit high visual complexity. In this study, we propose a technique for online 3D city visualization on the basis of human visual perception and spatial cognition theory. **Method** During preprocessing, our system creates a multiple representation of buildings on the basis of the building generalization technique. Then, at runtime, the system can dynamically choose an appropriate level of buildings on the basis of human interaction. **Result** The algorithm is tested on several large 3D city models. Experiment results confirm the applicability of our algorithm to interactive visualization and information intensity reduction of a 3D city. For the Leverkusen city model with 5 530 buildings, we have improved the frame rate to 19.4 frame/s. **Conclusion** The proposed method can improve the efficiency of 3D city rendering and thus enable users to obtain relevant information through efficient interaction.

Key words: smarter cities; online 3D city visualization; building; human perception

收稿日期:2014-09-11;修回日期:2014-10-25

基金项目:国家自然科学基金项目(61303145);辽宁省教育厅一般项目(L2012131);浙江大学CAD&CG国家重点实验室开放课题(A1312)

第一作者简介:潘斌(1981—),男,讲师,2011年于浙江大学获应用数学专业博士学位,主要从事计算机图形学、信息可视化等的教学科研工作。E-mail:panbin@cad.zju.edu.cn

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61303145)

0 引言

目前,3 维数字城市在城市规划、交通控制、灾难应急处理等领域被广泛应用。同时,数字城市的发展也存在着严峻挑战:一方面,建模技术的进步,推动 3 维城市迅速发展,谷歌地球等推出了 3 维城市游览功能,3 维城市包含海量信息,其中最主要的就是 3 维建筑物信息;另一方面,便携设备与移动互联网的普及,使得基于互联网的个性化、智能化 3 维城市服务需求激增(手机定位、卫星导航、路线查询等)。因此产生了以下两个问题:一是现有的网络条件难以实现对数字城市海量信息的实时传输;二是“数据爆炸但知识贫乏”,海量信息反而增加了用户获取其关注信息的复杂度。因此,如何让用户从 3 维城市中及时获取有效信息成为亟待解决的问题。

近年来,可视化以及数据挖掘技术迅速发展,物联网、云计算等信息技术逐渐产业化,IBM 公司于 2009 年提出了“智慧城市”的概念,智慧城市的核心特征包括“更加广泛的联接”和“更加透彻的感知”,即通过网络实现信息实时准确的传递,需要高效的可视化方法。本文从人类的空间认知理论出发,研究 3 维城市中建筑物的简化以及显示。本文提出了一个 3 维城市动态可视化系统,该系统由 3 维城市数据预处理子系统和交互可视化子系统构成。预处理子系统根据城市形态学以及人类对地理空间的认知理论,采用自动的建筑综合算法,建立基于层次结构的 3 维城市多分辨率表示。在运行时刻,系统根据用户交互,自适应的确定显示区域内各个建筑物的显示层次,提高 3 维城市可视化的显示效率以及用户获取信息的效率。

1 相关工作

国外自 20 世纪 90 年代起就开始了数字城市研究,国内的武汉大学、中国科学院、浙江大学、解放军信息工程大学、北京师范大学等单位对数字城市的建模及可视化进行了较为深入的研究,并取得了优秀的成果^[1-3]。本文在现有研究基础上,开展 3 维城市可视化系统研究。

1.1 3 维城市模型多分辨率表示

类比于地图中比例尺的概念,人们提出了 3 维城市模型多分辨率表示(MRDB)^[4]的概念。目前大部分 MRDB 系统通过预计算,建立 3 维城市模型的若干离散分辨率的静态存储^[5],其存在以下问题:首先,在基于移动互联网的服务中,3 维城市模型的可视化更加强调用户的交互性以及个性化^[6],用户更经常需要 3 维城市模型的动态、连续分辨率表示而不是只有预计算的几种静态分辨率;另外,如果基础 3 维城市模型发生更新,则需要对所有不同的分辨率表示进行重新计算。

目前大部分 MRDB 系统通过综合技术来建立 3 维城市模型的多分辨率表示,而建筑物是 3 维城市中最重要特征,因此,3 维建筑物综合近年来逐渐成为研究热点。建筑物综合主要包括单个建筑物和建筑群的综合,文献[7]对单个建筑的简化算法进行了综述,然而,只考虑单个建筑物的综合,仍难以实现有效地实时可视化,建筑群综合可以更大限度地降低 3 维城市的数据规模。Anders^[8]基于 3 维建筑的底面轮廓进行建筑物聚类,然后将该聚类分别向 3 个正交平面投影,通过对 3 个投影轮廓挤压产生的柱体求交,实现 3 维建筑物的综合,但是该算法仅适用于无自遮挡的建筑。Roy^[9]对建筑物简化并聚类,由于聚类结果用二叉树表示,只考虑了建筑物的聚合操作。文献[10]将同一街区的普通建筑物聚类并用统一纹理的柱体来代替,而将地标性建筑物单独显示,该算法并未考虑建筑物之间的联系。文献[11]采用单链接聚类算法对 2.5 维城市建筑物层次聚类,该算法仅考虑了建筑物之间的欧氏距离。

1.2 人类地理空间认知理论

地理空间认知研究地理实体世界在人们大脑中如何建立空间概念,如何在表达空间中描述地理事物与现象,如何在心像地图中通过认知推理解释空间现象、提取空间规律^[12]。因此 3 维城市可视化需要考虑认知主体的特征,而不能仅仅局限于数据客体本身。近年来,研究人员对此进行了非常有价值的探索探究^[13-15]。在知觉过程中,人脑中产生的是对事物的各种属性、各个部分及其相互关系的综合的、整体的反映。人类在认知现代城市这种大尺度的地理空间时,人们一般会采用自上而下的认知过程,以获得对城市整体结构形态的认知。研究者们建立了一些特定的认知模型,其中最为

广泛接受的模型是 Lynch 在 1960 年在大量实验基础上提出的^[16],他指出人类对城市的结构认知主要包括道路、边界、区域、节点(广场等)、地标 5 类信息。因此,根据此模型建立 3 维城市整体结构的数据表示。

在小尺度空间时,对特定建筑物群这类目标,建筑物的形状、朝向等信息逐渐明显,人们一般采用自下而上的认知过程,人的视觉感知受格式塔(Gestalt)识别原则的约束。即“各部分之间相互影响的一个有机整体,具有整体大于各部分之和的特性”,如果建筑物的分布形成的一种态势、一种相互依存的空间构架,视觉判断中自觉将其归为整体构造^[17]。格式塔心理学揭示了知觉的相对性、整体性、恒常性和组织性等基本特征,并总结了称之为组织律的系列知觉组织原则,包括图形—背景原则、接近原则、连续原则、相似性原则等,这些原则已得到学界的普遍认同。因此,基于格式塔原则对特定局部范围内的建筑群进行聚类综合。

2 本文算法

本文算法流程如图 1 所示。系统输入为 3 维城市模型,其中包含 3 维建筑物、道路、河流等信息。在预处理阶段,首先生成建筑物的 2 维投影图,然后根据约束 Delaunay 三角化算法生成建筑物之间的拓扑联系图,并根据人类对城市空间的认知理论建立拓扑相邻建筑物之间的约束,最后,在拓扑联系图的基础上对建筑物进行聚类并根据建筑综合算法建立建筑物的层次表示。在运行时刻,系统可以根据用户交互,实时确定 3 维城市中各建筑物的显示层次。

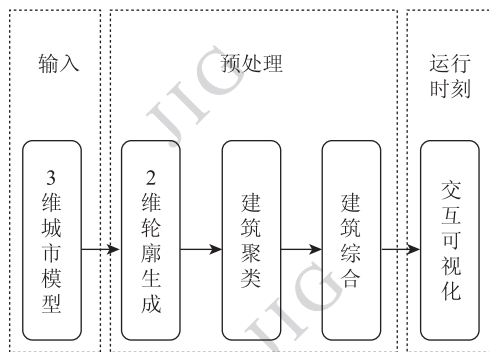


图1 算法流程图

Fig.1 Flow chart of our algorithm

3 建筑物聚类

首先将 3 维建筑物投影到 2 维平面,得到建筑物的底面轮廓,然后基于人类对地理空间认知理论作为约束,根据建筑物的 2 维轮廓进行聚类。

3.1 3 维建筑物 2 维底面轮廓的生成

首先研究 3 维建筑物底面轮廓的自动生成技术。文献[18]将建筑物的外墙面投影到 2 维平面,并将投影线段连接得到 2 维轮廓,但是该算法比较复杂。本文提出了一种基于建筑物顶点的底面轮廓生成算法,首先将所有的 3 维定点投影到 2 维平面,然后采用文献[19]的算法来计算所有投影点的凸包,则此凸包即为该建筑的底面轮廓。结果如图 2 所示,其中左图为原始建筑物,右图为底面轮廓。本文算法效率较高,时间复杂度为 $O(n \lg n)$;另外,由于绝大部分建筑物轮廓为比较规则的多边形,因此,本文算法生成的建筑物轮廓较为准确。

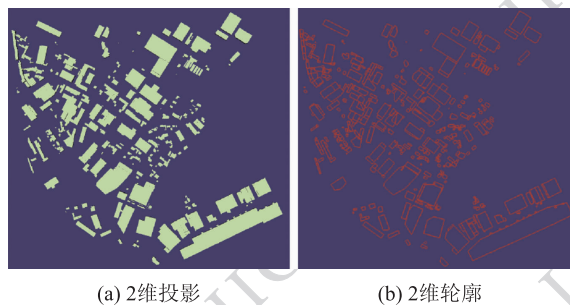


图2 建筑物 2 维轮廓的生成

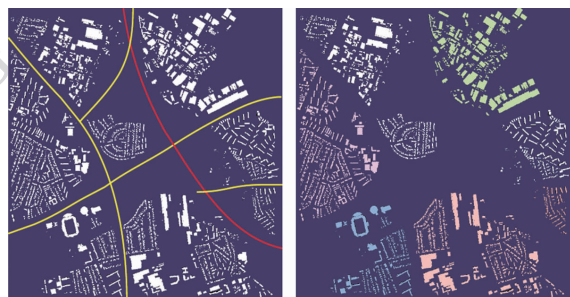
Fig.2 Footprints generation

3.2 建筑物拓扑联系图的构建

要实现建筑物聚类,首先需要建立建筑物之间的联系,而其中最重要的是地理位置关系。人类视觉感知的研究^[19]表明,人类对视觉信号的认知分为两个过程:前注意过程和集中注意过程。前注意过程是人类对环境中的信息的无意识汇集,人类通过该过程能够发现视觉信息的整体结构和布局特征,而不会发现单个物体的细节特征。集中注意过程主要是对局部视觉信息的发现过程,在该过程,人类可以对特定的物体进行识别和分类,并挖掘视觉信息的局部特征。人类在 3 维城市可视化过程中遵循同样的认知过程,因此,引入全局约束和局部约束,建立建筑物之间的拓扑联系。

3.2.1 全局约束

城市形态学研究城市建筑物的整体布局 and 分布模式, 基于城市形态学理论建立建筑物之间的全局约束。城市形态学的奠基性文献[16]将城市中的物体分为道路、边界、区域、节点、地标5类。以此理论作为建筑物聚类的全局约束, 城市的区域由道路和河流等分割形成。为此, 首先提取道路、河流等的中心线作为城市区域之间的分界线, 并检测各分界线之间的交点, 将城市划分为多个区域, 如图3所示。



(a) 原始城市模型

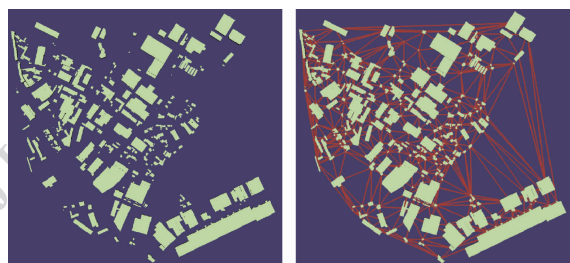
(b) 区域划分结果

图3 基于城市形态学理论的城市区域划分

Fig. 3 Building clustering based on global constraints

3.2.2 局部约束

为建立城市各区域内建筑物之间的拓扑联系, 首先采用 Delaunay 三角化算法分析建筑物之间的拓扑邻接关系, 如图4所示。然后根据格式塔原则计算邻接关系图中各条边的权重。通过计算建筑物之间的距离、平行度以及相似度等指标, 计算建筑物邻接关系图中边的权值。



(a) 城市建筑物

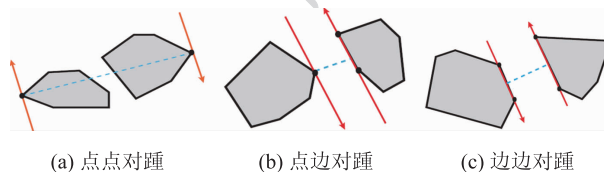
(b) 建筑物拓扑联系图

图4 建筑物邻接关系图

Fig. 4 Building clustering based on local constraints

1) 建筑物之间距离计算。建筑物之间距离的计算有许多方法, 例如中心距离、最小距离等, 但是此类距离度量方法并未考虑建筑物之间的形状、面积、高度等差异, 这里采用平均对踵距离 (antipodal

distance) 作为建筑物地面轮廓之间距离的度量。首先查找两相邻建筑物的2维底面轮廓多边形之间的对踵点, 3种对踵类型如图5所示。



(a) 点对点踵

(b) 点边对踵

(c) 边边对踵

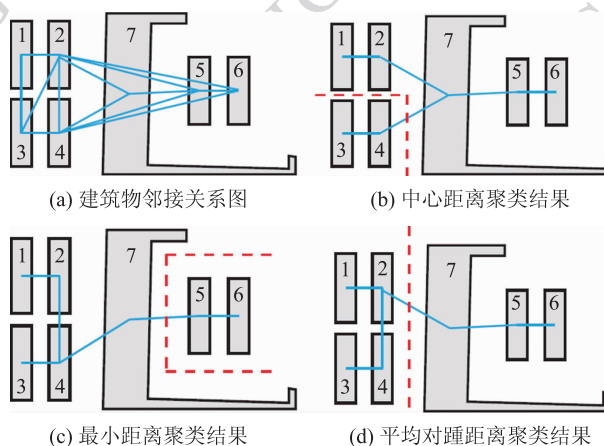
图5 多边形之间对踵点的3种情形

Fig. 5 Three cases of antipodal pairs between two polygons

计算建筑物底面轮廓间的平均对踵距离为

$$P(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (1)$$

式中, x, y 为建筑物底面轮廓, d_i 为对踵点对之间的距离, 如果建筑物的底面轮廓为非凸多边形, 则需首先将其分解为凸多边形。采用平均对踵距离与其他距离之间的结果对比如图6所示。



(a) 建筑物邻接关系图

(b) 中心距离聚类结果

(c) 最小距离聚类结果

(d) 平均对踵距离聚类结果

图6 采用不同的距离度量得到的聚类结果对比图

Fig. 6 Building clustering using different distance metrics

2) 建筑物之间平行度计算。建筑物的朝向对建筑物聚类起着重要作用, 本文在计算相邻建筑物邻接边的权重时也对相邻建筑物之间的平行度进行计算。通过计算建筑物底面轮廓的最小矩形包围盒, 以包围盒的长轴作为建筑物的方向。则建筑物底面轮廓经 x, y 之间的方向差异为

$$\omega_{\text{dir}}(x, y) = \frac{\theta(x, y)}{\frac{\pi}{2}} \quad (2)$$

式中, $\theta(x, y)$ 为建筑物 x, y 之间的方向夹角。如图7所示。

3) 建筑物之间相似度计算。根据建筑物的周

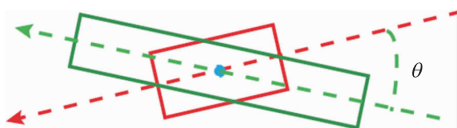


图7 建筑物之间方向夹角的计算

Fig. 7 Angle between two buildings

长(P)、边数(E)、面积(A)、高度(H)等因素计算建筑物之间的相似度,即

$$Sim_p(x, y) = 1 - \frac{\min(P_x, P_y)}{\max(P_x, P_y)} \quad (3)$$

$$Sim_e(x, y) = 1 - \frac{\min(E_x, E_y)}{\max(E_x, E_y)} \quad (4)$$

$$Sim_A(x, y) = 1 - \frac{\min(A_x, A_y)}{\max(A_x, A_y)} \quad (5)$$

$$Sim_H(x, y) = 1 - \frac{\min(H_x, H_y)}{\max(H_x, H_y)} \quad (6)$$

式(3)—(6)分别计算两建筑物之间周长、边数、面积、高度之间的差异。两建筑物之间的相似

度为

$$Sim(x, y) = \sum_{v \in \{P, E, A, H\}} Sim_v(x, y) \quad (7)$$

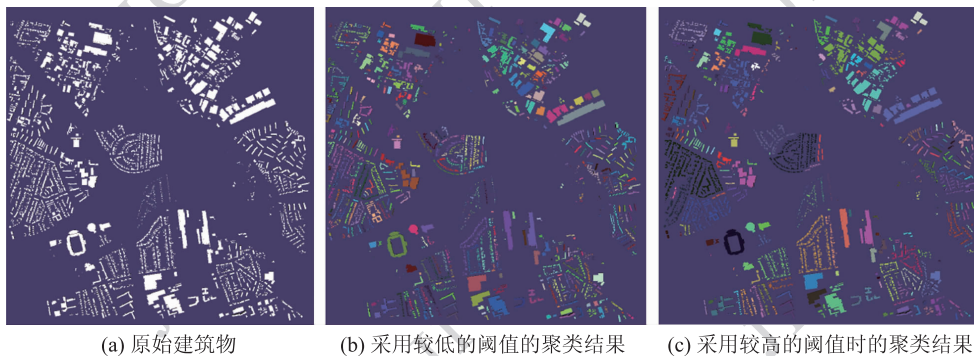
综上,计算得到建筑物之间距离、平行度以及相似度之后,在邻接图中两相邻建筑物之间邻接边的权值为

$$\omega(x, y) = P(x, y) + \omega_{dir}(x, y) + Sim(x, y) \quad (8)$$

权值越大,则两相邻建筑之间的近似程度越低,反之,近似程度越低。

3.3 建筑聚类

根据建筑物的加权拓扑邻接图,采用单链接层次聚类法对建筑物进行聚类。首先将邻接图中的所有边按照权值进行排序,并将权值最小的边所连接的两个建筑物归为一类,然后计算其他相邻建筑与该类中建筑物之间的最小距离,如果距离小于事先设定的阈值,则将相邻建筑合并到该类。否则,产生新的聚类。重复上述步骤直到区域的所有建筑都被聚类为止。聚类结果如图8所示。



(a) 原始建筑物

(b) 采用较低的阈值的聚类结果

(c) 采用较高的阈值时的聚类结果

图8 建筑物聚类结果

Fig. 8 Building clustering with different thresholds

4 建筑综合

建筑物聚类之后,根据聚类结果,基于建筑综合技术,构造每一聚类建筑物的二叉树数据结构,从而建立建筑物的多分辨率表示。二叉树的叶节点表示原始的建筑物,中间节点则是通过对其子节点进行建筑综合得到的建筑物中间表示。中间节点数据包括子节点建筑综合后的2维底面轮廓以及子节点建筑的平均高度信息,具体的结构如图9所示。建筑综合时,首先对建筑物的2维底面轮廓进行综合,然后计算平均高度。为融合某中间节点的所有子节点

建筑的2维底面轮廓,首先将每一子建筑物2维底面轮廓的长度小于某一设定阈值的边,然后建立所有子建筑底面轮廓的凸包,然而,凸包难以保持这些2维轮廓的某些特征,因此需对凸包进行收缩。遍历凸包的每一条边,如果该边的两个顶点属于不同的建筑物,则从这两个建筑物的轮廓中选择一个顶点(该顶点与凸包中该边的两个顶点所构成的三角形的面积最大),插入凸包中该边的两个顶点中间,从而将凸包的该边分解为两条边,需要注意的是,这两条边不能与已有的边相交。凸包的收缩过程如图10所示。

对子节点建筑物的底面轮廓融合之后,本文计

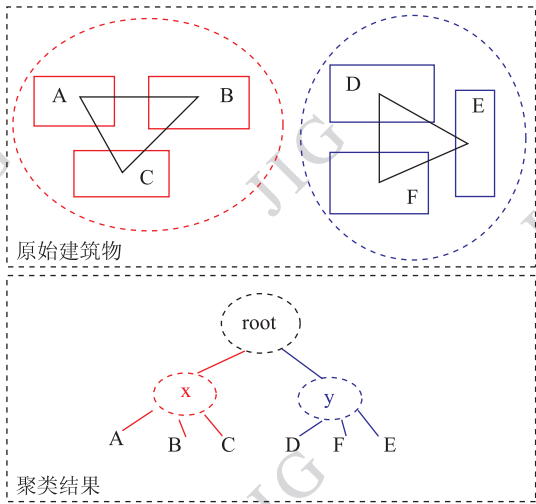


图9 建筑物聚类的层次表示
Fig. 9 Hierarchical represent of building clusters

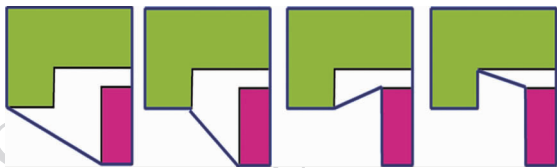


图10 凸包的迭代收缩过程
Fig. 10 Iteratively shrinking the convex hull

算中间节点的平均高度。平均高度为该中间节点的所有子节点建筑物的高度的加权平均,即

$$H_x = \frac{\sum_{x \in X} A_x H_x}{\sum_{x \in X} A_x}$$

(9)

式中, H_x 为中间节点 x 的所有子建筑物的平均高度, A_x 为子建筑物 x 的底面轮廓的面积。

5 实验结果

采用 CityGML 格式的数据进行测试。CityGML 是一种开放数据模型,可以实现虚拟 3 维城市模型的数据存储与交换。CityGML 共支持对城市 3 维模型 5 个层次细节 (LOD) 的表现,即 LOD0-LOD4。主要针对 LOD1 层次的 3 维城市模型进行实验。实验数据来自 CityGML 网站 (<http://www.citygml.org>)。实验结果如图 11 所示,该图数据采用勒沃库森的部分数据。本文算法的运行效率如表 1 所示。

表 1 本文算法运行结果分析

Table 1 Performance for different models

城市数据	建筑物数量	时间/s		帧率/(帧/s)
		建筑聚类	建筑综合	
Leverkusen	5 530	11.2	7.1	19.4
Britain	2 248	3.6	2.1	72.3

实验采用的机器配置为 Intel Core2Duo CPU 2.3 GHz,4 G 内存,NVidia GeForce GTX280 显卡。本程序基于开源软件 OpenSceneGraph 开发。运行时刻,系统根据建筑在屏幕上的投影面积来动态选择合适的建筑物显示层次。

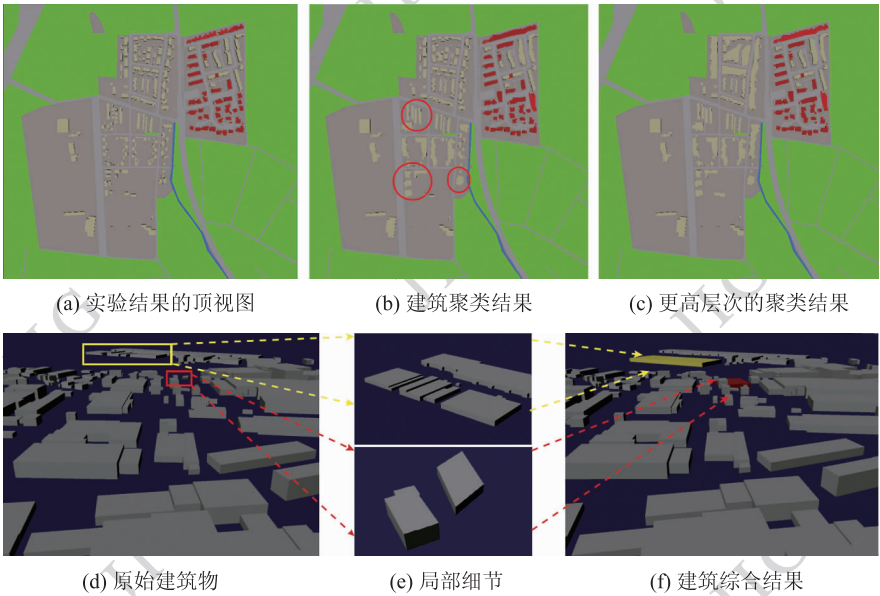


图11 实验结果
Fig. 11 Results of our algorithm

6 结 论

基于人类的空间认知和视觉感知理论,提出了一种3维城市建筑物的多分辨率表示算法。在预处理阶段,首先基于城市形态学理论以及格式塔原则,对建筑物进行聚类;然后采用建筑综合技术建立每类建筑的多分辨率表示。在运行时刻,系统可以根据用户交互,自动选择建筑物相应的显示层次,从而提高系统的显示效率以及用户获取信息的效率。随着智慧城市以及移动互联网的迅速发展,用户对3维城市可视化技术的需求将越来越高,尤其是较大规模的3维城市受显示设备的显示能力以及网络传输能力的限制,本文城市多分辨率表示算法提供了一种解决思路。本文算法也存在一定的局限性,首先,在目前研究阶段,本文只针对LOD1层次的3维城市模型提出了建筑综合算法的探索性研究,接下来将研究包含植被对象、纹理信息等更详细层次的3维城市模型的高效可视化;另外用户对的主观感受将会是第一位的,则需要设计科学的用户测试。因此如何对本文系统采用行之有效的用户测试方法,是一个值得深入研究的方向。

参考文献 (References)

- [1] Hoppe H. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering[C]//Proceedings of the Visualization. New York, USA: IEEE, 1998: 35-42. [DOI: 10.1109/VISUAL.1998.745282]
- [2] Zhu Q, Li D R, Gong J Y, et al. The design and implementation of cybercity GIS[J]. Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 26(1):8-11. [朱庆, 李德仁, 龚健雅, 等. 数码城市GIS的设计与实现[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2006, 26(1):8-11.]
- [3] Wang Y. Research on the real-time rendering and 3D interaction of the urban landscape[D]. Nanjing: Nanjing University, 2005. [王源. 城市景观实时渲染与3维交互技术研究[D]. 南京: 南京大学, 2005.]
- [4] Glander T. Multi-scale representations of virtual 3D city models [D]. German: University of Potsdam, 2013.
- [5] Weibel R, Dutton G. Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications[M]. Hoboken, USA: Wiley, 1999:125-155.
- [6] Pan B, Zhao Y, Guo X M, et al. Perception-motivated visualization for 3D city scenes[J]. Visual Computer, 2013, 29(4):277-286. [DOI: 10.1007/s00371-012-0773-1]
- [7] Meng L Q, Forberg A. 3D building generalisation. Challenges in the portrayal of geographic information. Amsterdam [M]. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science, 2007.
- [8] Anders K. Level of detail generation of 3d building groups by aggregation and typification[C]//International Cartographic Conference. La Coruna, Spain: Rosa González-Cebrián Toba, 2005: 234-238.
- [9] Roy J, Balter R, Bouville C. Hierarchical representation of virtual cities for progressive transmission over networks[C]//International Symp. on 3D Data Processing. Chapel Hill, USA: IEEE, 2006: 432-439. [DOI:10.1109/3DPVT.2006.73]
- [10] Glander T, Döller J. Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models. Computers[J]. Environment and Urban Systems, 2009, 33(5):375-387. [DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2009.07.003]
- [11] Chang R, Butkiewicz T, Ziemkiewicz C, et al. Legible simplification of textured urban models[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2008, 28(3):27-36. [DOI:10.1109/MCG.2008.56]
- [12] Gao J. Cartographic tetrahedron: explanation of cartography in the digital era [J]. Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica, 2004, 1: 6-11. [高俊. 地图学四面体——数字化时代地图学的诠释[J]. 测绘学报, 2004, 1:6-11.]
- [13] Li Z L, Yan H W, Ai T H, et al. Automated building generalization based on urban morphology and Gestalt theory[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2004, 18(5): 513-534. [DOI: 10.1080/13658810410001702021]
- [14] Yang L, Zhang L Q, Ma J T, et al. Interactive visualization of multi-resolution urban building models considering spatial cognition [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2011, 25(1): 5-24. [DOI:10.1080/13658816.2010.488239]
- [15] Zhang L Q, Deng H, Chen D, et al. A spatial cognition-based urban building clustering approach and its applications[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, 27(4): 721-740. [DOI:10.1080/13658816.2012.700518]
- [16] Lynch K. The image of the city[M]. Massachusetts: MIT press, 1960.
- [17] Nan L L, Sharf A, Xie K, et al. Conjoining Gestalt rules for abstraction of architectural drawings[J]. ACM Transactions on Graph. 2011, 30(6):1-10. [DOI:10.1145/2070781.2024219]
- [18] Fan H C, Meng L Q, Jahnke M. Generalization of 3d buildings modelled by citygml[C]//Advances in GIScience, Berlin: Springer, 2009:387-405. [DOI: 10.1007/978-3-642-00318-9_20]
- [19] Kallay M. The complexity of incremental convex hull algorithms in Rd[J]. Information Processing Letters, 1984, 19(4):197-203. [DOI: 10.1016/0020-0190(84)90084-X]