

6-6-2020

Monitoring Information Visualization for High-filling Loess Project

Liping Zheng

School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

Chen Wei

School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

Ting Liao

School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

Lu Chang

School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Monitoring Information Visualization for High-filling Loess Project

Abstract

Abstract: The construction of high-filled loess project faces some engineering and technical challenges, such as large and complex earth excavation and earth backfilling operations. According to this situation, *this paper presents a dynamic visualization methods for high-filled project based on 3D GIS. By establishing the model of high-filled loess, comparative analysis and visual analysis, dynamic simulation of high-filled loess project, visualization and analysis of Dig-Fill process and monitoring information are realized.* The results show that this visualization method can directly and accurately display the construction process, help decision makers master construction information and process.

Keywords

high-filled loess project, 3D GIS, monitoring information, visualization

Recommended Citation

Zheng Liping, Chen Wei, Liao Ting, Lu Chang. Monitoring Information Visualization for High-filling Loess Project[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(12): 2980-2985.

黄土高填方工程监测信息可视化

郑利平, 陈伟, 廖婷, 路畅

(合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009)

摘要: 黄土高填方工程因其超大土石方量、建设环境复杂、相互影响因素多等特点, 建设施工技术复杂。针对这种情况提出一种基于三维 GIS 的高填方工程信息动态可视化方法, 通过建立黄土高填方地质体模型、对比分析、可视化分析, 实现了不同时间下黄土高填方施工地形成态仿真、挖填方过程和施工检测数据的可视化呈现和分析。结果可看出采用的可视化方法能直观、准确地展示施工过程, 帮助施工管理者更加方便地掌握、管理施工过程。

关键词: 黄土高填方; 三维 GIS; 监测信息; 可视化

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 12-2980-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712006

Monitoring Information Visualization for High-filling Loess Project

Zheng Liping, Chen Wei, Liao Ting, Lu Chang

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The construction of high-filled loess project faces some engineering and technical challenges, such as large and complex earth excavation and earth backfilling operations. According to this situation, this paper presents a dynamic visualization methods for high-filled project based on 3D GIS. By establishing the model of high-filled loess, comparative analysis and visual analysis, dynamic simulation of high-filled loess project, visualization and analysis of Dig-Fill process and monitoring information are realized. The results show that this visualization method can directly and accurately display the construction process, help decision makers master construction information and process.

Keywords: high-filled loess project; 3D GIS; monitoring information; visualization

引言

黄土高原丘陵沟壑区, 受地形和空间的限制, 实施平山造地可解决城市建设问题。国内正在建设的某地黄土高填方区, 正是在这样的背景下修建的黄土高填方工程。该黄土高填方区工程地质条件和水文地质条件复杂, 具有高填方、超大土石方量、建设环境复杂、相互影响因素多等特点。为了保证

工程质量, 需要进行全面的工程检测, 从而产生大量的监测数据, 这些检测数据的分析和处理对于工程决策至关重要。针对上述情况, 本文引入可视化技术分别对施工地形、挖填方过程和各種检测数据进行可视化分析, 方便施工管理人员及时发现检测数据规律, 从而提高施工过程的安全性和科学性。

可视化技术利用计算机图形与图像处理技术, 将计算结果以图形与图像形式进行呈现, 并进行交互处理的技术。对于可视化研究方法, 大致可以归为以下几种方法: 1) 用不同子窗口表示数据维的不同组合, 如面向像素技术和散列图矩阵等^[1]; 2) 把数据由高维降到低维并对数据重新排列, 如平行坐标系和星型坐标系^[2]; 3) 将数据映射到低维空



收稿日期: 2015-11-05 修回日期: 2016-01-11;
基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAJ06B00);
作者简介: 郑利平(1978-), 男, 湖北麻城, 博士, 教授, 研究方向为可视化、群体和疏散仿真; 陈伟(1990-), 男, 四川成都, 硕士生, 研究方向为可视化; 廖婷(1991-), 女, 安徽宣城, 硕士生, 研究方向为可视化。

<http://www.china-simulation.com>

• 2980 •

间中,尽可能保持数据间的某种逻辑关系不变,如 PCA (principal component analysis) 和 MDS^[3-4] (multi-dimensional scaling)等; 4)用不同特征的图标来表示不同的数据维,如 Chernoff-faces 和 stick figures^[1]。随着计算机图形学的发展,涌现出一大批优秀的可视化软件和算法,比较有代表性的有 Marching Cubes 方法^[5]。体绘制技术的出现为可视化技术带来了新的突破,如 L.Westover 等^[6]提出的以物空间为序的体绘制技术, M.Levoy 等^[7]提出的以像空间为序的体绘制技术。

在地形可视化方面 van Wijk J J^[8]等提出了由正则图和目标模型双曲面匹配的空间模型技术来可视化地形。Wilkie D^[9]等提出了从 GIS 数据库中创建一种几何和拓扑关系一致的三维模型来进行实时可视化技术。R Walker 等^[10]提出了一种可扩展的框架,用于地形的分析和可视化。J Meyer 等^[11]提出了采用数字高程模型(DEM)数据作为数据源来进行工程环境的可视化和工程过程管理。在黄土地形可视化方面,张勇^[12]等通过数学模拟、对比分析、误差可视化分析等方法对不同尺度下黄土丘陵沟壑区 DEM 地形可视化进行了研究。李邵军^[13]等将滑坡监测与三维地理信息可视化技术相结合,建立了三维滑坡的监测信息系统,实现了滑坡监测信息与监测场址三维地理信息的综合表达。余叔同^[14]等利用三维激光扫描技术动态监测坡沟系统侵蚀形态演变过程,建立高分辨率的坡面 DEM,利用高分辨率 DEM 构建基于 GIS 插件技术的黄土丘陵区坡沟土壤侵蚀模拟系统。

针对当前黄土高填方施工存在的实际问题,本文基于可视化的技术建立黄土高填方工程监测系统,实现挖填方过程和施工检测数据的可视化表达和分析,并基于高填方三维地质体模型,实现施工地形动态仿真,为施工过程综合分析提供了平台。

1 高填方工程监测系统

本文以正在建设的黄土高填方工程为对象,建立基于三维 GIS 的高填方工程监测系统,并在此基础上进行可视化分析。通过建立高填方监测数据

库,实现了对高填方所有原始文档(包括设计、施工、运行的有关文件)的归档管理和对所有现场观测资料、监测资料的整编与管理。将高填方监测数据的变化过程用各种图形图像表示,实现了对高填方监测资料图形化处理,能实时动态地反映监测系统的的变化情况。

本文通过调用 ArcEngine 组件集成自己的 COM 组件,引用 ArcEngine 库定义自己的接口和功能。高填方工程监测信息化集成系统包括以下 3 个子系统,分别是: 1)三维 GIS 图形平台系统。2)数据管理系统。3)高填方预警系统,系统结构如图 1 所示。

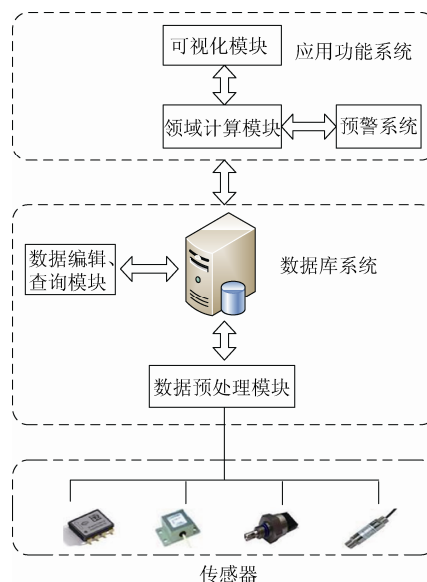


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 System structure diagram

2 高填方地质体模型建模与可视化

2.1 三维地质体模型建立

黄土高填方施工过程不仅涉及地形、施工监测点等静态信息,而且还包括地形沉降、挖填方过程等动态信息^[15]。因此,建立一个能充分反映施工区域静态与动态时空信息的三维数字模型是实现施工过程可视化的基础。三维地质体模型 DEM(Digital Elevation Model)是整个施工过程可视化三维数字模型的重要组成部分,大部分的监测点都分布在上面,同时也是挖填方、沉降的受体。目前,对地形表面的建模大都使用规则网格模型(GRID)或不规则网

格模型(TIN)。GRID 模型拓扑关系简单,模型能够充分体现高程变化的细节,分析处理算法简单易于实现,空间操作及存储组织灵活简便。但数据存储空间占用较大,并且在不规则的地形特征和较为平坦的地形特征之间在数据表示方面不够协调。TIN 模型具有高效的存储方式,简单的数据结构,与不规则的地面特征表现较为一致,可以表示线性特征和迭加任意形状的区域边界,易于更新,可适应各种不同分布情况的地形数据但算法实现较复杂且困难。由于研究对象施工地势起伏不定,所以选用 TIN 模型能更好地反映地形地貌。

2.2 地形渲染与动态仿真

实现施工过程三维地形动态仿真是建立三维地质体模型的主要目的,本文实现了动态沉降仿真和动态挖填方过程。动态沉降仿真即通过在土层下安置的相当数量且排列合理的传感器模拟整个空间的变化,空间土层下沉使得传感器数据发生变化,收集一定数量的数据后,对数据进行处理过滤掉因传感器噪音影响差异过大的数据。选取适当的模型,拟合出地质体沉降变化趋势,对于偏离严重的地段可以分析出此处地面发生变化的程度。动态沉降仿真展示了地形随着应力而产生沉降的过程,从动态可视化的角度展示了地貌变化,对于预警和辅助建立沉降曲线很有帮助。动态挖填方展示了施工过程从最初地貌到挖填方完成的全程变化过程,能让施工管理者从宏观的角度观察到整个地形的变化,为以后的建设施工提供参考。动态沉降和动态挖填方原理及方法类似,下面将详细讨论动态挖填方实现原理。

黄土高填方动态挖填方过程的实现,首先完成数据的加载并把加载的数据保存进结构体,加载数据的格式为 DEM 高程数据。通过对数据进行处理和渲染得到静态的三维地形场景,然后加入时间因素,实现地形随时间的动态变化,以动态的形式呈现出地形的变化过程。为了实现地形动态变化,由公式(1)对整个地形进行高程渲染:

$$Z_{inter} = (Z_{tar} - Z_{cur}) \times percent + Z_{cur} \quad (1)$$

其中: Z_{tar} 为目标高程; Z_{cur} 为当前地形高程; Z_{inter} 为中间高程; $percent$ 为时间比例尺度。通过对地形范围内连续的高程点进行渲染,便可以实现地形动态变化。从图 2 可以直观地观察到黄土高填方区的整个施工过程,由原始地貌逐渐趋于平地的过程。

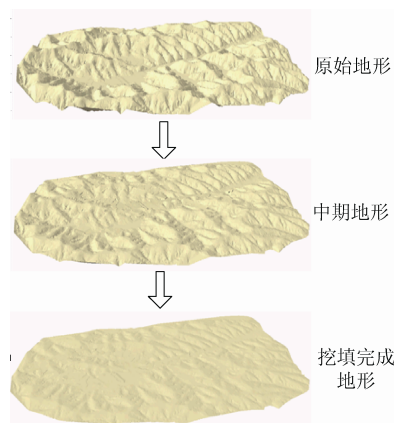


图 2 黄土高填方全区挖填动态变化过程

Fig. 2 Dynamic changing process of excavating and filling of the whole high-filled loess project

3 施工检测数据可视化

同传统的二维空间相比,三维可视化及空间分析能够为我们提供更多的信息,这些信息对于施工管理非常重要。对于施工建设过程不仅仅需要掌握单个监测点的监测信息,更需要了解整个地形空间的信息。三维空间分析及可视化,利用 ArcEngine 提供的二次开发接口,实现了加载三维地形图、加载 TIN 数据、查看监测点数据、高程渲染、坡度分析、场景拍摄、漫游、剖面分析等一系列功能。

3.1 地形高程可视化

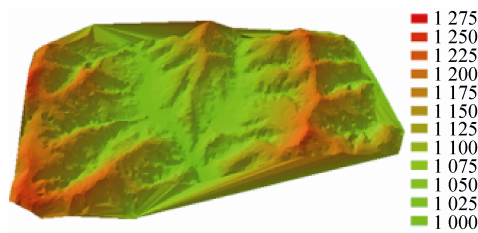
根据地面高度划分的高程层,逐层设置不同的颜色,称为地貌分层设色法。通过分层设色,可使地貌高程分布及相互对照更加鲜明。实现分层设色需要用到以下几个组件类: AlgorithmicColorRamp, SimpleFillSymbol, TinElevationRenderer, RgbColor, RasterClassifyColorRampRenderer。AlgorithmicColorRamp 类提供了一些方法和属性,如 CreateRamp 方法用于创建一定长度的颜色坡面,Size 属性用于设置产生颜色的数量。Raster Classify Color Ramp

Renderer 类提供了按类别渲染 Raster 数据的相关数据, TinElevationRenderer 提供了基于连续属性值, 如高程、坡度等。建立高程渲染的数学模型如下:

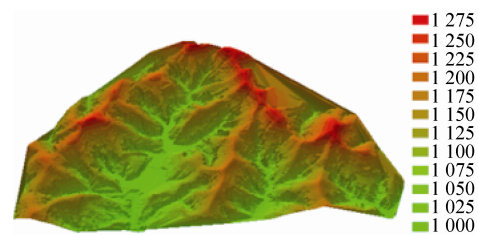
$$[d_{Min}, d_{Min} + i \times d_{Interval}] \in A_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$d_{Interval} = \frac{d_{Max} - d_{Min}}{n} \quad (3)$$

式中: d_{Max} 为地形最大高程; d_{Min} 为地形最小高程; n 为分层数; A_i 为自定义从起始颜色到终止颜色带; $d_{Interval}$ 为间隔数。图 3 显示了按高程渲染的黄土高填方 D 区和 E 区的效果图。



(a) 黄土高填方 D 区



(b) 黄土高填方 E 区

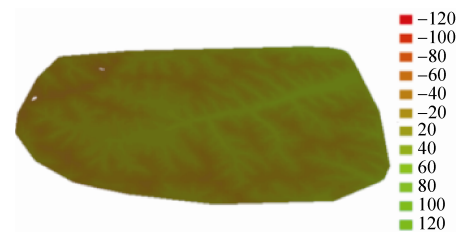
图 3 黄土高填方高程渲染效果(高程/m)

Fig. 3 Rendering results of the high-filled loess project (elevation / m)

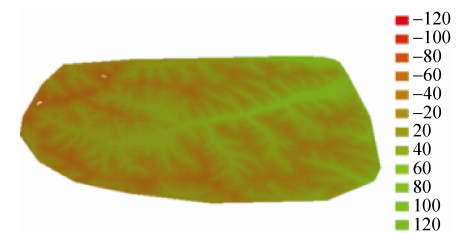
3.2 挖填方数据可视化

黄土高填方施工过程其实是一个平山造城的过程, 即把高山上的黄土挖去填到沟壑里使地形趋于平地。对于施工管理者来说, 了解整个地形的变化和挖填厚度是很重要的。要想获得某一时刻的挖填厚度, 可通过将这一时刻的地形与未挖填时刻的地形进行计算, 求出这一时刻的挖填厚度。对于 $\forall D' \in D$ 有 $\{D' \in D_{dig} | d_{dif} \in D' \text{ 且 } d_{dif} > 0\}$ 同理 $\forall D'' \in D$ 有 $\{D'' \in D_{fill} | d_{dif} \in D'' \text{ 且 } d_{dif} < 0\}$ 。其中: D 为地形的全体区域; D', D'' 为 D 区域的任意子区域; d_{cur} 为当前时刻地形的高程; d_{ori} 为未挖填时刻地形的高程; d_{dif} 为这段时间的挖填厚度且 $d_{dif} = d_{cur} - d_{ori}$ 。

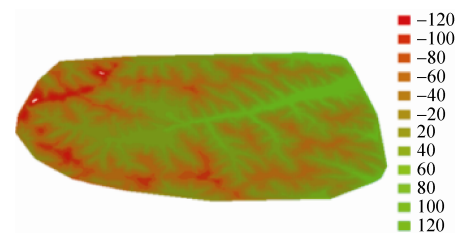
通过 d_{dif} 可以得知挖方厚度和填方厚度, 根据 d_{dif} 的数值来投影到最终地形上渲染出挖方和填方区。这样就可以直观的通过地形了解挖填方的位置和数值, 随着时间的变化动态地渲染出挖填过程, 图 4 显示了施工过程逐年的挖填厚度, 负数代表了挖方厚度, 正数代表了填方厚度。从图中可以观察到高山上的黄土被逐渐挖去, 填到沟壑里, 随着时间的推进挖填厚度逐年增加, 并可以观察到各处的挖填厚度。从宏观上了解了整个地形的挖填情况, 对以后的施工建设提供了信息支持。



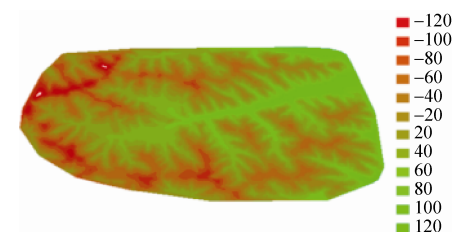
(a) 2012 年度挖填厚度



(b) 2013 年度挖填厚度



(c) 2014 年度挖填厚度



(d) 2015 年度挖填厚度

图 4 2012-2015 年全区挖填厚度可视化效果图 (挖填厚度/m)

Fig. 4 Digging and filling visualization of year 2012-2015 (excavation thickness / m)

3.3 施工监测数据可视化

黄土高填方工程施工数据分类繁多数据量大。其中沉降监测数据尤为重要，黄土高填方施工工程复杂且挖填厚度大，必然会改变原有地形地貌。由于填土厚度大，填方区的土方受重力影响会对原有地基施加一定的压力，必然会引起地基及周围地层的变形。为了保证后期修建建筑物的安全性及其正常使用寿命，对沉降数据进行可视化研究具有重要的意义。

高填方施工的沉降监测点大部分分布在填方区，对整个区域进行沉降可视化时，需要对监测点数据进行插值计算。本文利用反距离加权插值法对监测数据进行插值计算，此方法简单易行，直观并且效率高。图 5 通过对部分沉降监测数据进行分析，选取五个监测点作为分析对象，做出了累积沉降量随时间的变化趋势图。图 6 对这 5 个点进行可视化，用渐变色渲染出沉降点累积沉降量的变化过程。从图中我们可以直观地对监测点进行对比分析，一目了然地看出各个监测点间沉降数据的对比。把黄土高填方 D 区作为研究对象，通过对沉降监测点数据进行反距离加权插值做出了动态可视化效果图，图 7 显示了黄土高填方 D 区 2014-03-2015-04 的沉降可视化效果，随着时间的推移可以看出填方区的沉降比挖方区较为明显，这也符合工程施工的现象，因为填方区的土质与原有土质相比较为松散且随着填方量的增加土方受到的压力会加大，导致沉降较为明显。挖方区的土质还是保持原有的状态所以沉降不太明显。

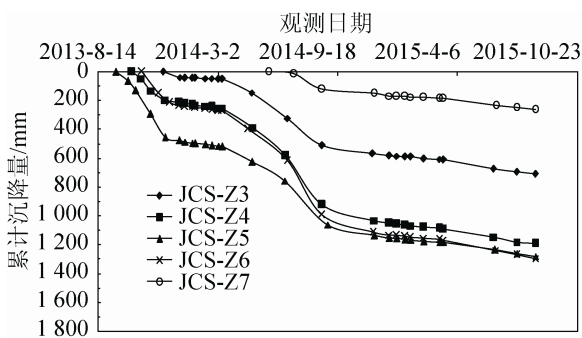


图 5 累积沉降量随时间的变化曲线
Fig. 5 Cumulative settlement according to time

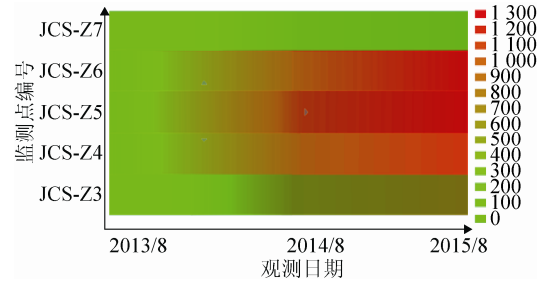


图 6 累积沉降量随时间的可视化(累积沉降量/mm)
Fig. 6 Cumulative settlement visualization (cumulative settlement / mm)

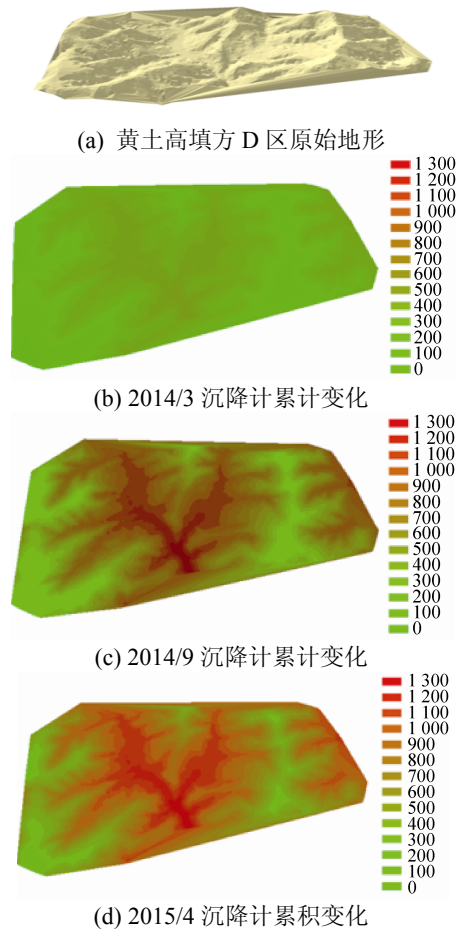


图 7 黄土高填方 D 区 2014/3-2015/4 沉降可视化(累积沉降量/mm)
Fig. 7 Visualization of high-filled loess zone D from 2014/3 to 2015/4 (cumulative settlement / mm)

3.4 性能分析

下面，我们对实现的黄土高填方可视化系统进行性能测试。测试环境为：CPU 为 Intel Core i7(3.4GHz)，内存 8.00GB，Windows7 操作系统，程序运行环境采用 .Net Framework v4.0，显卡为

4038MB 显存的 NVIDIA GeForce GTX 660。

针对不同的地形规模, 测试了地形渲染时间。地形规模从 4058×5621~215×430, 测试结果如表 1 所示。可以看出, 从小规模的地形到大规模的地形渲染时间均表现良好, 使得在不消耗太多计算机性能的情况下便能够直观的了解整个施工过程。

表 1 黄土高填方地形模型渲染性能分析
Tab.1 Performance analysis of the high-filled loess terrain model rendering

地形规模	渲染时间/s
4 058×5 621	2.245
2 495×2 884	1.173
750×930	0.681
215×430	0.390

4 结论

本文面向黄土高填方施工问题, 引入三维 GIS 和可视化方法, 利用其强大的数据操作、数据分析和图形建模能力来解决黄土高填方可视化问题。通过建立高填方工程可视化模型, 对施工过程进行动态可视化展示, 方便施工管理者直观地掌握高填方施工过程。研究成果不但对黄土高填方的建设和未来类似工程的修建具有重要的现实意义, 而且丰富了高填方施工相关领域的研究内容。

参考文献:

- [1] Keim D. Information visualization and visual data mining[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (S1077-2626), 2002, 8(1): 1-8.
- [2] Keim D. Designing pixel-oriented visualization techniques: Theory and applications[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (S1077-2626), 2000, 6(1): 59-78.
- [3] Naud A, Duch W. Interactive data exploration using MDS mapping[C]//Proceedings of the Fifth Conference: Neural Networks and Soft Computing. 2000: 255-260.
- [4] Li J X. Visualization of high-dimensional data with relational perspective map[J]. Information Visualization (S14733-8716), 2004, 3(1): 49-59.
- [5] 张迎平, 高国贤, 陆一峰, 等. 基于区间树硬件加速索引的 Marching Cubes 算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(7): 871-878.
Zhang Yingping, Gao Guoxian, Lu Yifeng, et al. Hardware-accelerated interval tree index for Marching Cubes [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2012, 24(7): 871-878.
- [6] Westover L. Interactive volume rendering [C]// Proceedings of the 1989 Chapel Hill workshop on Volume visualization. ACM, 1989: 9-16.
- [7] Wei L Y, Levoy M. Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization[C]//Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000: 479-488.
- [8] van Wijk J J. Visualization of Regular Maps: The Chase Continues[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics(S1077-2626), 2014, 20(12): 2614-2623.
- [9] Wilkie D, Sewall J, Lin M C. Transforming GIS data into functional road models for large-scale traffic simulation [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (S1077-2626), 2012, 18(6): 890-901.
- [10] Walker R, Slingsby A, Dykes J, et al. An extensible framework for provenance in human terrain visual analytics[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (S1077-2626), 2013, 19(12): 2139-2148.
- [11] Meyer J, Bethel E, Horsman J L, et al. Visual data analysis as an integral part of environmental management [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (S1077-2626), 2012, 18(12): 2088-2094.
- [12] 张勇, 汤国安, 彭钊. 数字高程模型地形描述误差的量化模拟—以黄土丘陵沟壑区的实验为例[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 252-256.
Zhang Yong, Tang Guoan, Peng Qi. A mathematical simulation of DEM terrain representation error—a case study in the loess hill-gully areas of China[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(2): 252-256.
- [13] 李邵军, 冯夏庭, 杨成祥, 等. 基于三维地理信息的滑坡监测及变形预测智能分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(21): 3673-3678.
LiShaojun, FengXiating, Yang Chengxiang, et al. Landslide monitoring and intelligent analysis on deformation prediction based on three dimensional geographic information[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(21): 3673-3678.
- [14] 余叔同, 郑粉莉, 张鹏. 基于插件技术和 GIS 的坡面土壤侵蚀模拟系统[J]. 地理科学, 2010, 16(3): 441-445.
Yu Shutong, Zheng Fenli, Zhang Peng. Hillslope Soil Erosion simulation system based on plug-in technique and GIS[J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 16(3): 441-445.
- [15] 胡事民, 杨永亮, 来煜坤. 数字几何处理研究进展[J]. 计算机学报, 2009, 32(8): 1451-1469.
Hu Shimin, Yang Yongliang, Lai Yukun. Research progress of digital geometry processing[J]. Chinese Journal of Computer, 2009, 32(8): 1451-1469.