

基于 Doo Sabin 细分的图像插值

梁云^{1,2}, 王栋¹

(1. 华南农业大学 信息学院, 广州 510642; 2. 中山大学 信息科学与技术学院, 广州 510275)

(longshouhuanqing@163.com)

摘要: 图像插值是放大低分辨率图像以适应目标显示屏幕的一种重要方法。保持图像的几何特征是保证放大图像质量的一个有效途径。基于 Doo Sabin 细分, 提出了一种新的图像插值方法。该方法首先通过一次映射关系获取高分辨率图像的部分数据; 然后根据高分辨率图像中未知像素点的几何特征将它们分类; 再根据 Doo Sabin 细分方法由已知像素点插值出所有未知像素点。未知像素点的值是与最相关的邻近像素点的加权均值, 加权策略根据像素点间的相对位置由 Doo Sabin 细分推演获得。实验证明, 与现有插值方法相比, 基于 Doo Sabin 细分的图像插值能够更好地保持上采样图像的边缘的尖锐特性, 减少锯齿现象, 获取高质量的高分辨率图像。

关键词: Doo Sabin 细分; 图像插值; 锯齿; 放大; 几何特征

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

New method to interpolate images using Doo Sabin subdivision

LIANG Yun^{1,2}, WANG Dong¹

(1. College of Information, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong 510642, China;

2. School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou Guangdong 510275, China)

Abstract: Image interpolation is an important method to magnify images with low resolution to adapt to the target screens. To preserve the geometry feature of the original image is an effective way to improve the quality of magnified images. This paper proposed a new method to interpolate images based on Doo Sabin subdivision. The method adopted the essential idea of subdividing the quadrilateral mesh to enhance the sampling images of low resolution. Firstly, part of the data of high resolution images was obtained by mapping low resolution images. Secondly we classified the unknown pixels of high resolution images according to their geometric features. Then we interpolated all the unknown pixels by the assigned pixels. Values of the unknown pixels were the weighted average of their neighbouring pixels. The weighted strategy was deduced by Doo Sabin subdivision. Experiments show that our method can preserve the sharp feature of image edges, decrease zigzags and achieve better results than the previous methods.

Key words: Doo Sabin subdivision; Image interpolation; zigzag; magnification; geometry feature

0 引言

随着科学技术的发展, 各种图像摄取显示设备得到广泛应用。图像数据量庞大, 使存储和传输都受到限制。目前, 常见的图像摄取设备只能获取标清数据。但网络电视 (Internet Protocol Television, IPTV)、高清电视 (High Definition Television, HDTV)、巨幕电影等可视媒体的普及, 对高清图像的快速传输和显示的需求变得越来越迫切。因此, 快速获取高清图像成为当前可视数字媒体研究的焦点之一。

获取高清图像数据的方法有 2 种, 提高图像摄取设备的摄取分辨率和插值图像对其进行放大或增强处理。但高清图像摄取的设备造价昂贵, 更换低分辨率的图像摄取设备耗资巨大。因此, 图像插值是一种有效的快速获取高分辨率图像的方法, 目前, 对该项技术的研究已开展近二十年, 部分成果已应用于 (医学) 图像处理、数码设备等领域。

工业和医学领域, 常用的图像放大方法有最邻近插值法、双线性方法、双三次插值方法和样条插值^[1-3]等。最近邻插值放大图像后会产生明显锯齿。双线性插值在一定程度上能

够部分克服锯齿问题, 但会模糊尖锐的边缘部分。双三次插值则处理速度较慢, 放大图像会丢失细节, 不适宜推广应用。

近来, 越来越多的人希望通过保持边缘特性来提高插值图像的质量。文献[4-5]中建议根据图像的等高线插值图像; 文献[6-7]中提出基于边缘方向的插值, 通过保持图像的局部几何特征来保证插值效果; 但这些方法复杂度高, 执行时间长, 效果不够理想。文献[8-9]中建议用边缘自适应的方法插值图像。实验证明基于等高线或边缘自适应的方法对于去除图像的锯齿效果比较有效, 但仍存在不足, 如处理小范围的重复区域。文献[10]中提出保持图像的结构信息可提高插值后图像的质量, 但主要针对视频处理。此外, 还出现了一类基于图像几何特征的插值方法^[11-13], 该类方法通过保持插值图像的几何特征以提高插值结果的质量, 这些几何特征包括梯度网格^[12]和 Delauney 三角剖分网格^[13]。

本文结合图形学中 Doo Sabin 等人提出的四边形网格细分思想^[14], 提出一种新的图像插值算法。该算法首先将低分辨率图像的像素点映射到高分辨率图像; 然后根据坐标关系, 对插值产生的未知像素点进行分类; 再根据分类结果动态构

收稿日期: 2010-11-28; 修回日期: 2011-02-28。

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (2009170004203010); 华南农业大学校长基金资助项目 (2009X029)。

作者简介: 梁云 (1981-), 女, 山东临沂人, 讲师, 博士, 主要研究方向: 数字家庭、多媒体显示、图像处理; 王栋 (1977-), 女, 河南南阳人, 讲师, 主要研究方向: 视频图像处理、计算机图形学。

造插值算法;最后由 Doo Sabin 细分思想逼近已知像素点来获取未知像素点。实验证明,与现有方法相比,通过本文方法插值后的图像能够更好地保持图像细节,去除放大后的模糊成分,减少图像插值后的锯齿。

1 Doo Sabin 细分

细分算法构造曲面的基本思想是从粗糙的初始多边形网格出发,利用预定义拓扑规则和几何规则对初始多边形进行细化,通过添加新的顶点并与原顶点形成新的边和面,这样递归地平滑细分,直到最终获得光滑曲面。目前常用的细分方法有逼近型细分和插值型细分。在进行细分的过程中,若初始网格点一直保持不变,则为插值型细分;若细分过程中初始网格上的点被逼近处理则为逼近型细分。图1描述的是不同的细分分裂规则^[17]。

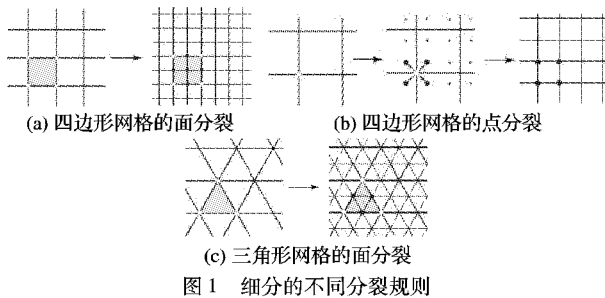


图1 细分的不同分裂规则

Doo Sabin 细分是一种四边形网格细分方法,通过逼近已知顶点进行网格迭代细分,与插值图像过程通过逼近已知像素点来获取未知像素点的问题相同。式(1)、(2)是 Doo Sabin 细分规则,其中 \bar{v}_0 表示一次分裂后的新顶点, v_i 表示分裂前的顶点。Doo Sabin 细分可生成一阶光滑的细分曲面,初始网格为正则四边形时,可生成二次 B 样条曲面。Doo Sabin 细分优点是新增顶点很好的逼近分裂前的顶点。

$$\bar{v}_0 = \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \times v_i \quad (1)$$

其中 γ_0 和 γ_i 的计算如下:

$$\begin{cases} \gamma_0 = \frac{n+5}{4 \times n} \\ \gamma_i = \frac{1}{4 \times n} (3 + 2 \times \cos \frac{2 \times i \times \pi}{n}) \end{cases} \quad (2)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, n-1$ 。

2 细分插值图像

图像放大实际是一个由低分辨率图像增加像素点变成高分辨率图像的过程。提高分辨率会引入未知像素点,对这些未知像素点的赋值方法,决定了放大图像的质量。放大前图像的数据是放大的数据基础,因此未知像素点的值与包围它的已知像素点越接近越好。一个重要问题是如何平衡包围它的四个已知像素点对未知像素点值的贡献,Doo Sabin 方法提供了一种很好的参考。

通过已知像素点来构造放大后新增的未知像素点是图像插值放大的关键。本文引用 Doo Sabin 细分思想对插值图像的未知像素点进行求解,首先将低分辨率图像的像素点映射到高分辨率图像上,再将未知像素点最大限度地逼近包围着它的四个已知像素点,其中对已知像素点的逼近程度根据已知像素点和未知像素点的相对位置而定。与未知像素点越接近的已知像素点对未知像素点值的贡献越大。

$$x' = (k + \alpha)x, 0 \leq \alpha < 1 \quad (3)$$

$$y' = (k + \beta)y, 0 \leq \beta < 1 \quad (4)$$

我们用 p^{k+1} 表示放大图像的像素点,用 P^k 表示放大前图像的像素点, (x', y') 表示 p^{k+1} 的坐标, (x, y) 表示 P^k 中像素点的坐标。则 (x', y') 与 (x, y) 之间的关系可以用式(3)、(4)来表示,其中 k 为整数, α 和 β 分别表示放大整数倍数后的余项。

以原图放大 3×3 倍为例来描述基于细分的图像放大方法。将图像放大 3×3 倍时,已知像素点和未知像素点的关系如图2(a)所示,符号“?”表示未知像素点,黑色点表示与未知像素点相邻的已知像素点。黑色点所代表的像素点是由低分辨率图像映射得到的。根据未知像素点和已知像素点间的关系,将待求像素点分成4类,分别用1,2,3,4来描述,其中每一类像素点与和它距离最近的已知像素点的编号相同,见图2(b)。基于 Doo Sabin 细分思想,图2(a)的12个未知像素点由4个已知像素点 P_1, P_2, P_3, P_4 细分得到的。

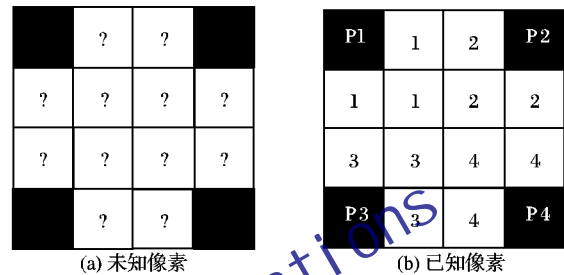


图2 放大 3×3 倍时的已知和未知像素

当式(2)、(3)中的 α 和 β 均为0时,如图2(a)的 P_1, P_2, P_3 和 P_4 像素点,它们的值取插值前图像中与 (x, y) 坐标处像素点的值,如式(5)。

$$p^{k+1} = P^k; \alpha = 0, \beta = 0 \quad (5)$$

式(6)描述了细分放大过程 α, β 均不为零时,4类不同未知像素点的求解公式,每个未知点都是它周围4个已知点的加权平均值。距离未知像素点最近的已知像素点的权值为 $9/16$,在式(6)中用 γ_0 表示;距离次远的两个已知像素点的权值为 $3/16$,在式(6)中用 γ_3 和 γ_4 表示;距离最近的已知像素点的权值为 $1/16$,在式(6)中用 γ_2 表示。此外, P^k 和 p^{k+1} 分别为图像放大前后的像素点。

α, β 值的大小间接反映了插值前后图像像素点间的对应关系。当 α, β 的值较小时,如 $\alpha < 0.5, \beta < 0.5$,表示 p^{k+1} 最靠近该像素周围最近邻已知4个像素点的左上角像素点。如图2(b)中标号为1的未知像素点,此时 γ_0 为 P_1 的系数, γ_2 为 P_4 的系数, γ_3 和 γ_4 则分别为 P_2, P_3 的系数。

$$p^{k+1} = \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \times p^k; n = 4 \quad (6)$$

满足式(2)。

若 $\alpha > 0.5, \beta < 0.5$,则表示 p^{k+1} 最靠近该像素周围最近邻已知4个像素点的右上角像素点,如图2(b)中标号为2的未知像素点,此时 γ_0 为 P_2 的系数, γ_2 为 P_3 的系数, γ_3 和 γ_4 则分别为 P_1, P_4 的系数。若 $\alpha < 0.5, \beta > 0.5$,则表示 p^{k+1} 最靠近左下角像素点,如图2(b)中标号为3的未知像素点,因此此时 γ_0 为 P_3 的系数, γ_2 为 P_2 的系数, γ_3 和 γ_4 则分别为 P_1, P_4 的系数。若 $\alpha > 0.5, \beta > 0.5$,则表示 p^{k+1} 最靠近右下角像素点。如图2(b)中标号为4的未知像素点,因此此时 γ_0 为 P_4 的系数, γ_2 为 P_1 的系数, γ_3 和 γ_4 则分别为 P_2, P_3 的系数。

由以上分析可得,本文提出的基于 Doo Sabin 细分的插值方法处理包括:首先人机交互的输入放大图像的倍数;然后通过式(3)、(4)计算出放大后每个像素点的所对应的 α, β 值;如果 α, β 值为零则根据式(5)将低分辨率图像上的像素点映

射到高分辨率图像的对应位置,然后再根据这些已知像素点对未知像素点求解,若 α, β 值不为零则根据 α, β 对像素点进行归类;然后再根据归类结果动态地定位 γ_i 和未知像素点周围四个已知像素点的对应关系,最后通过式(6)计算出所有未知像素点。图3是本文提出的细分插值算法的流程。



图3 细分插值图像放大方法流程

3 实验结果与分析

我们采用 Intel Pentium(R) T2370 1.73 GHz, 2 GB 的 PC 平台, 实验结果及分析如下。

图4、5是2幅黑白图像放大 2×2 倍后的效果对比图。其中, 线框圈定部分是本文推荐方法与现有方法相比存在明显改进的部分。据图可知, 经本文方法插值后, Cameraman 的腿部和飞机机翼的锯齿基本不存在, 图像边缘区域比较光滑。

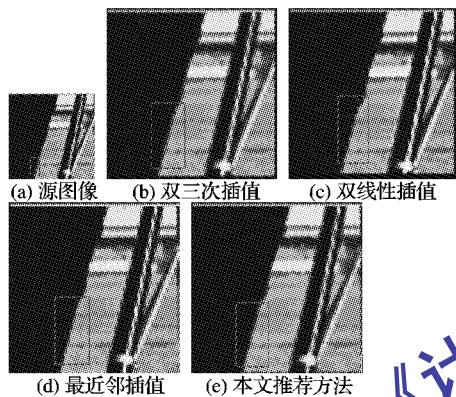


图4 插值放大 Cameraman 图像 2×2 倍的对比

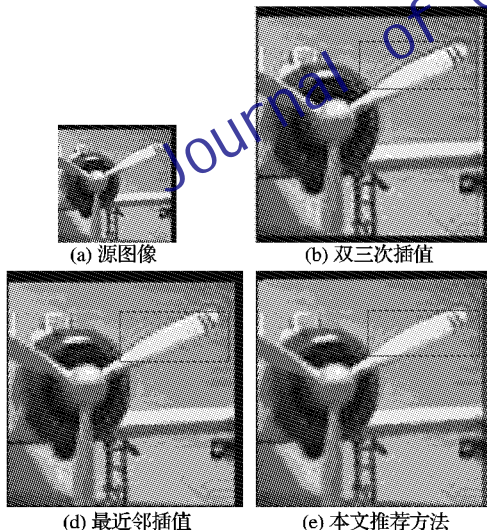


图5 插值放大飞机图像 2×2 倍的对比图

此外, 将 80×80 像素的彩色图像插值放大为 160×160 像素的图像, 插值后结果如图6。由图6可知, 插值过程易产生锯齿的花朵边缘区域, 经过本文方法插值后能够基本消除锯齿, 产生尖锐边缘。

图7则是用最近邻插值, 双线性插值, 和本文推荐的方法将 40×40 的图像放大 4×4 倍的结果。由图7可知, 本文所推荐的方法在放大更多倍数时依然能够更好地保持图像的边缘, 既不会像双线性插值和双三次插值一样产生模糊效果, 也不会像最近邻插值一样产生明显锯齿现象。

本文采用均方差 (Mean Squared Error, MSE)^[15] 和峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)^[16] 两个指标定量分析插值后图像效果, 如式(7)、(8)所示。同一幅图用不同方法插值放大相同倍数时, MSE 越小, PSNR 越大, 则效果越理想。图8是对图6和图7中插值后图像的 MSE 统计结果, 并将数据归约到 $[0, 45]$ 区间。图9则是对图6和图7中插值后图像的 PSNR 统计结果, 并将数据归约到 $[0, 45]$ 内。由图8、9可知, 本文方法的 MSE 最小, 且 PSNR 最大, 从数值上验证了本文方法的有效性和正确性。

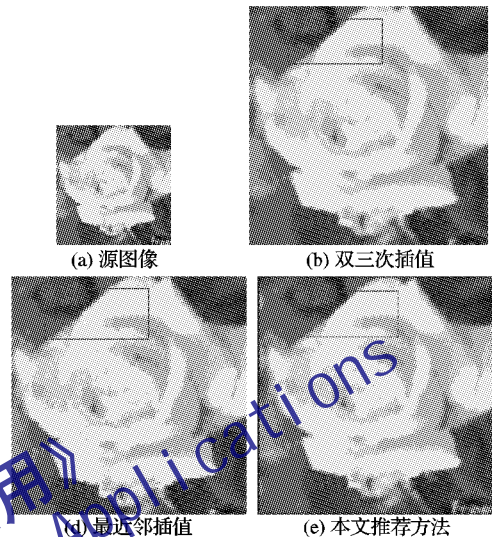


图6 插值放大玫瑰花图像 2×2 倍的对比

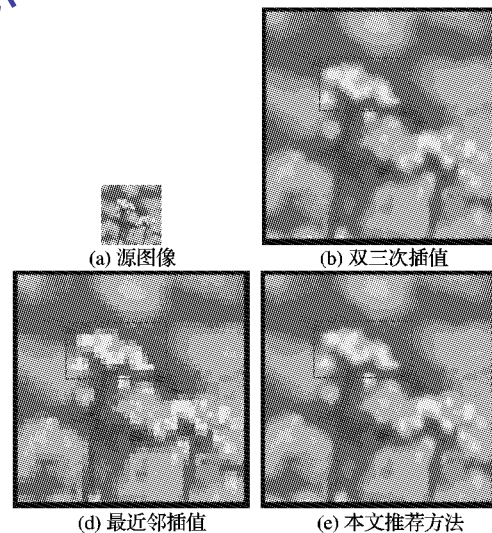


图7 插值放大黄花图像 2×2 倍的对比

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I'(i, j) - I(i, j))^2 \quad (7)$$

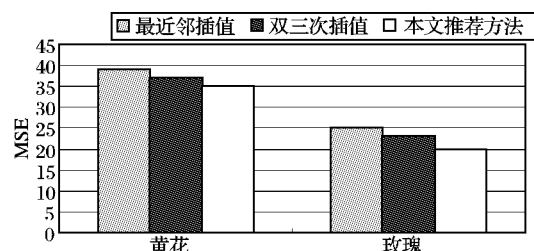


图8 图像插值后的 MSE 值对比

$$PSNR = 10 \times \lg \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (8)$$

4 结语

本文提出的基于细分思想的图像插值方法,一定程度上解决了当前图像放大问题的锯齿和模糊现象。与传统的方法相比,该方法能够改善插值放大后的图像质量。

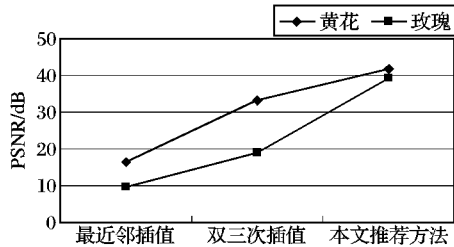


图9 图像插值后的 PSNR 值对比

本文所推荐方法的核心处理是线性计算,所以整个方法的执行效率较高,但如果应用到视频处理中去速度还是比较慢,所以将来进一步的研究工作是提高算法的执行效率,将方法应用到视频放大中去。

参考文献:

- [1] UNSER M, ALDROUBI A, EDEN M. Fast B-spline transforms for continuous image representation and interpolation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(3): 277 - 285.
- [2] HOU H S, ANDREWS H C. Cubic splines for image interpolation and digital filtering[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, Signal Processing, 1978, 26(6): 508 - 517.
- [3] KEYS R. Cubic convolution interpolation for digital image processing[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, Signal Processing, 1981, 29(6): 1153 - 1160.
- [4] MORSE B S, SCHWARTZWALD D. Image magnification using level-set reconstruction[C]// Proceedings of International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2001: 333 - 341.
- [5] MORSE B S, SCHWARTZWALD D. Isophote-based interpolation[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1998: 227 - 231.

- [6] LI X, ORCHARD M T. New edge-directed interpolation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1521 - 1527.
- [7] SAJJAD M, KHATTAK N, JAFRI N. Image magnification using adaptive interpolation by pixel level data-dependent geometrical shapes[EB/OL]. [2010 - 09 - 01]. <http://www.waset.org/journals/waset/v31/v31-16.pdf>.
- [8] BATTIATO S, GALLO G, STANCO F. A new edge-adaptive zooming algorithm for digital images[EB/OL]. [2010 - 06 - 01]. <http://svg.dmi.unict.it/iplab/administrator/users/Marbella.pdf>.
- [9] SUN JIAN, XU ZONGBEN, SHUM H-Y. Image super-resolution using gradient profile prior[EB/OL]. [2010 - 07 - 01]. http://research.microsoft.com/en-us/um/people/jiansun/papers/GradientSR_CVPR08.pdf.
- [10] SHAN QI, LI ZHAORONG, JIA JIAYA, et al. Fast image/video up-sampling[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(5): 153.
- [11] PAN Q, LUO X-N, ZHU J-W. A medical image magnification based on local geometric similarity[J]. Journal of Software, 2009, 20(5): 1146 - 1155.
- [12] LAI Y-K, HU S-M, MARTIN R R. Automatic and topology-preserving gradient mesh generation for image vectorization[J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 28(3): 1 - 8.
- [13] DEMARET L, DYN N, ISKE A. Image compression by linear splines over adaptive triangulations[J]. Signal Processing, 2006, 86(7): 1604 - 1616.
- [14] DYN N, LEVIN D, GREGORY J A. A butterfly subdivision scheme for surface interpolatory with tension control[J]. ACM Transactions on Graphics, 1990, 9(2): 160 - 169.
- [15] SAJJAD M, KHATTAK N, JAFRI N. Image magnification using adaptive interpolation by pixel level data-dependent geometrical shapes[EB/OL]. [2010 - 09 - 01]. <http://research.nust.edu.pk/data/pdf/6063.pdf>.
- [16] CHA YOUNGJOON, KIM S. Error-amended sharp edge (case) schemes for image interpolation[C]// IEEE International Conference on Image Processing. Atlanta: IEEE, 2006: 701 - 704.
- [17] 郑贵锋. 移动网络上细分图形的简化与传输方法的研究[D]. 广州: 中山大学, 2005.

(上接第1545页)

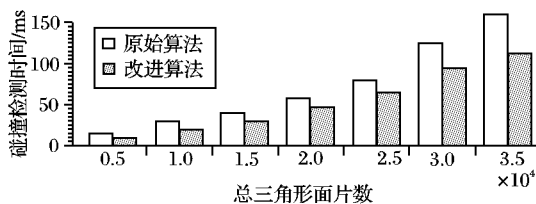


图9 碰撞检测时间测试

3 结语

本文算法与现存算法相比具有以下特点:

1) 使用改进的 OBB 混合包围盒碰撞检测技术,减少了必须进行相交性判断的三角形对的数目,显著地提高了相交检测速度,并减少了将近一半存储量,算法效率较高。

2) 将布尔运算的复杂问题分解为三种三角形基本类型,简化问题,计算量较小。

3) 在多个实体求交时,根据体的包含关系构建关系邻接表,使该算法能有效地处理组合实体情况,因此该算法工程应用性强。

参考文献:

- [1] 郭开波, 张李超, 王从军, 等. STL 模型布尔运算的实现[J].

- 华中科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(7): 96 - 99.
- [2] 毕林, 王李管, 陈建宏, 等. 三维网格模型的空间布尔运算[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(5): 82 - 86.
- [3] 兰向荣, 潘懋, 王占刚, 等. 基于 TIN 的体布尔算法及其地质应用[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(4): 6 - 10.
- [4] MANTYLA M. Boolean operations of 2-manifolds through vertex neighborhood classification[J]. ACM Transactions on Graphics, 1986, 5(1): 1 - 29.
- [5] GOTTSCHALK S, LIN M C, MANOCHA D. OBBTree: A hierarchical structure for rapid interference detection[J]. Computer Graphics, 1996, 30(8): 171 - 180.
- [6] AKENINE-MOLLER T. Fast 3 D triangle-box overlap testing[J]. Journal of Graphics Tools, 2002, 6(1): 29 - 33.
- [7] 王伟, 马峻, 刘伟. 基于 OBB 包围盒的碰撞检测研究与应用[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 1 - 4.
- [8] TOMAS M. A fast triangle-triangle intersection test[J]. Journal of Graphics Tools, 1997, 2(2): 25 - 30.
- [9] 邵春丽, 胡鹏, 黄承义, 等. Delaunay 三角网的算法详述及其应用发展前景[J]. 测绘科学, 2004, 29(6): 68 - 71.
- [10] 王文成, 吴恩华. 判断检测点是否是多边形或多面体内的新方法[J]. 软件学报, 2000, 11(12): 1614 - 1619.