



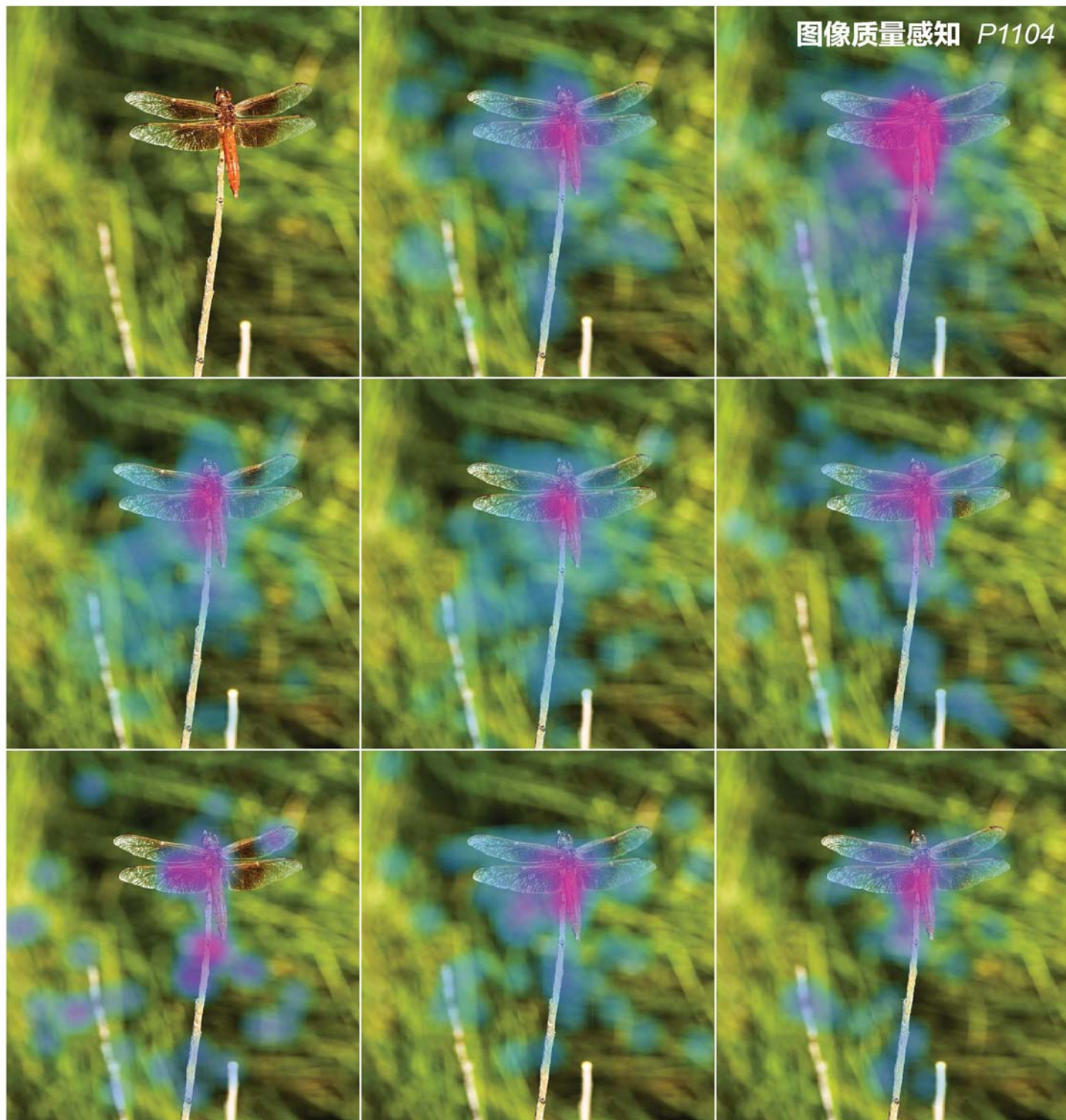
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

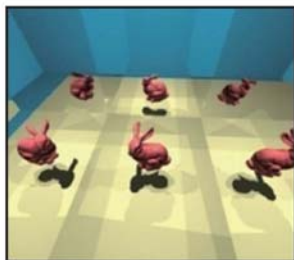
2014
07
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



多特征融合的图像自动变形
(第1012页)

多通道Haar-like特征多示例学习目标跟踪(第1038页)

快速虚顶点光子映射的焦散
绘制(第1062页)

综述

打印机光谱特性化方法研究综述

万晓霞, 刘强 0985

图像处理和编码

图像场方向导数的局部区域重建

叶学义, 齐珍珍, 何志伟, 李汪兵 0998

Lytro相机的光场图像校正与重对焦方法

周文晖, 林丽莉 1006

多特征融合的图像自动变形

肖红光, 肖树根, 刘京, 李淳芃, 陈立福 1012

结合频谱扩散的指纹图像滤波增强

卞维新, 封举富, 罗永龙, 徐德琴 1021

图像分析和识别

中心投影变换的抗噪性分析

黄永东, 李三三, 杨建伟 1031

多通道Haar-like特征多示例学习目标跟踪

宁纪锋, 赵耀博, 石武祯 1038

自主移动机器人自适应室外道路检测

杜明芳, 王军政, 李静, 崔广涛, 方建军, 曹海青 1046

分层树结构字典编码的行为识别

周同驰, 程旭, 吴镇扬 1054

计算机图形学

快速虚顶点光子映射的焦散绘制

李瑞瑞, 秦开怀 1062

双重视图下的3维网格模型可见水印

陆尘, 朱长青, 王玉海 1068

虚拟现实与增强现实

个性化编辑的轻量化3维树木模型构建

董天阳, 纪磊, 刘思远, 范菁, 熊丽荣 1074

遥感图像处理

带距离徙动校正的压缩感知PFA成像方法

段化军, 朱岱寅 1085

结合边缘和区域的活动轮廓模型SAR图像目标轮廓提取

王沛, 周鑫, 彭荣赜, 符鹏 1095

第2届全国图像图形联合学术会议专栏

视线跟踪技术的图像质量主观数据库构建及其可视化

张昀, 牟轩沁 1104

丰富图像标签的正则化非负矩阵分解方法

夏召强, 冯晓毅, 彭进业 1112

CONTENTS

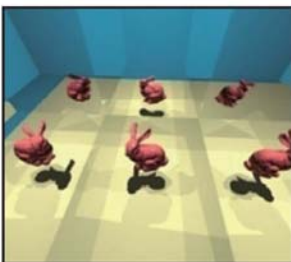
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Multi-feature fusion-based image morphing(P1012)



Multiple instance learning based object tracking with multi-channel Haar-like feature(P1038)



Fast caustics rendering by photon beam tracing based on virtual vertex transformations(P1062)

Review

- Review of spectral printer characterization
Wan Xiaoxia, Liu Qiang 0985

Image Processing and Coding

- Reconstructing image local regions based on directional derivative of a field
Ye Xueyi, Qi Zhenzhen, He Zhiwei, Li Wangbing 0998
- Light field image rectification and refocus method for Lytro camera
Zhou Wenhui, Lin Lili 1006
- Multi-feature fusion-based image morphing
Xiao Hongguang, Xiao Shugen, Liu Jing, Li Chunpeng, Chen Lifu 1012
- The fingerprint enhancement using filtering combined with spectrum diffusion
Bian Weixin, Feng Jufu, Luo Yonglong, Xu Deqin 1021

Image Analysis and Recognition

- Robustness to noise of central projection transformation
Huang Yongdong, Li Sansan, Yang Jianwei 1031
- Multiple instance learning based object tracking with multi-channel Haar-like feature
Ning Jifeng, Zhao Yaobo, Shi Wuzhen 1038
- Adaptive outdoor road detection for autonomous mobile robot
Du Mingfang, Wang Junzheng, Li Jing, Cui Guangtao, Fang Jianjun, Cao Haiqing 1046
- Action recognition using hierarchically tree-structured dictionary encoding
Zhou Tongchi, Cheng Xu, Wu Zhenyang 1054

Computer Graphics

- Fast caustics rendering by photon beam tracing based on virtual vertex transformations
Li Ruirui, Qin Kaihuai 1062
- Visible watermarking for three-dimensional mesh model in two views
Lu Chen, Zhu Changqing, Wang Yuhai 1068

Virtual Reality and Augmented Reality

- Construction of lightweight three-dimensional tree models supporting personalization editing
Dong Tianyang, Ji Lei, Liu Siyuan, Fan Jing, Xiong Lirong 1074

Remote Sensing Image Processing

- PFA imaging with range migration correction by compressive sensing
Duan Huajun, Zhu Daiyin 1085
- Active contour model based on edge and region attributes for target contour extraction in SAR image
Wang Pei, Zhou Xin, Peng Rongkun, Fu Peng 1095

Column of UCIG'2013

- Eye tracking based image quality assessment database and visualization method
Zhang Yun, Mou Xuanqin 1104
- Regularized non-negative matrix factorization method for image tag enrichment
Xia Zhaoqiang, Feng Xiaoyi, Peng Jinye 1112

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)07-1068-06

论文引用格式: Lu C, Zhu C Q, Wang Y H. Visible watermarking for three-dimensional mesh model in two views[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(7): 1068-1073. [陆尘, 朱长青, 王玉海. 双重视图下的3维网格模型可见水印[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(7): 1068-1073.] [DOI:10.11834/jig.20140711]

双重视图下的3维网格模型可见水印

陆尘, 朱长青, 王玉海

南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023

摘要: 目的 为保护3维模型数据的版权, 提出一种在3维视图下和线框视图下都可察觉的3维网格可见水印, 并针对三角形网格建立了相应的可见水印算法。方法 该算法首先将待嵌入区域投影到2维平面上, 再将矢量形式的水印信息嵌入其中, 最后将该区域投影到原模型上。算法的核心过程是将三角形划分成在水印信息内和在水印信息外的两部分。文中借鉴了Sutherland-Hodgeman多边形裁剪算法, 将其应用于水印嵌入的过程。结果 为验证算法的可行性, 使用3个3维模型数据进行了实验, 实验结果表明该算法较好地保持了原模型的外观, 且嵌入的水印信息在两种视图下清晰可见, 嵌入水印后的数据增加量约为10%。结论 本文算法可有效地嵌入水印信息, 达到保护3维模型数据版权的目的。

关键词: 网格模型; 可见水印; 3维视图; 线框视图; 多边形裁剪

Visible watermarking for three-dimensional mesh model in two views

Lu Chen, Zhu Changqing, Wang Yuhai

Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

Abstract: **Objective** To protect the copyright of 3D model data, a scheme of visible watermark for 3D mesh models that is perceptible in the 3D view and the wireframe view is proposed. A new visible watermarking algorithm for 3D triangle meshes is established as well. **Method** First, the region to embed is projected onto the 2D plane. Then, the watermark in vector format is embedded into the region. Finally, the region is projected onto the original meshes. The core process of this approach is to separate the triangles into two parts. One part is in the watermark, and the other part is outside the watermark. The Sutherland-Hodgeman algorithm for clipping polygons is altered and used in the embedding. **Result** To verify the effectiveness of the proposed algorithm, experiments are conducted with 3D model data. The algorithm keeps the visual characteristics of the original model well, and the watermark is plainly visible in both views. The increment of the size of the embedded data is about 10 percent. **Conclusion** The proposed approach is an effective way to embed watermark into triangle meshes and can be used in the copyright protection of 3D mesh models.

Key words: mesh model; visible watermark; 3D view; wireframe view; polygon clipping

收稿日期: 2013-11-07; 修回日期: 2013-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301413); 江苏省自然科学基金项目(BK20130903)

第一作者简介: 陆尘(1989—), 男, 南京师范大学地理科学学院硕士研究生, 研究方向为空间数据安全。E-mail: alasluchen@sina.com

通信作者: 朱长青, E-mail: zcq88@263.net

0 引言

数字时代已经到来,数字化的多媒体产品得到了广泛应用。随着计算机技术和网络技术的迅速发展和普及,人们能够很方便地获取、复制和发布多媒体数据,这导致了盗版、侵权问题日益严峻。如何保护数字多媒体产品版权是当前迫切需要解决的问题。数字水印技术是为解决版权问题而产生的。作为对多媒体内容保护的最后一道屏障,数字水印近年来引起了人们的高度重视并已成为一个日益活跃的研究领域^[1-3]。

数字水印按其外观的可见性可以分为两类:不可见水印和可见水印。利用不可见水印技术嵌入的水印信息在原数据上不可见,主要应用于版权保护和内容鉴别。可见水印技术以对人眼可见的形式在原始数据中嵌入水印,与不可见水印技术相比更加直观,可应用于广告和版权标识等。

目前,对于3维模型不可见水印已有一些研究。最早提出3维模型数字水印算法的是 Ohbuchi,在文献[4]中,Ohbuchi 提出了两种3维模型不可见水印算法和一种可见水印算法。之后的研究也主要集中在3维模型不可见水印上,研究的重点在于提高算法的鲁棒性^[5-7]。Benedens 等人^[8]在局部三角形网格上使用了 Nielson 范数嵌入水印,使得嵌入的水印可以抵抗缩放、平移、旋转等仿射变换。喻志强等人^[9]提出了一种鲁棒的三角模型数字水印算法,通过修改从模型中心到各顶点的向量长度来嵌入数字水印。刘旺等人^[10]提出了一种基于离散傅里叶变换(DFT)的鲁棒3维网格数字水印嵌入算法,该算法能够抵抗网格简化、加噪声、剪切等类型攻击以及它们的混合攻击,具有很好的鲁棒性。胡敏等人^[11]提出了一种自适应的鲁棒水印算法,在嵌入水印时先进行仿射变换,再根据各顶点邻域内顶点位置确定的权值以加性规则嵌入水印,能够抵抗几何变换、简化、随机噪声和剪切攻击。刘海艳等人^[12]提出了一种基于特征点模长的3维地理模型数据水印算法,具有较好的不可见性,能够有效抵抗平移、旋转、等比例缩放以及一定程度的加噪攻击。

对于3维模型可见水印算法的进一步研究还很少见,在中国知网上检索不到包含“3维模型”、“可见水印”的文章,在 IEE Electronic Library (IEL)检索包含“visible watermark”和“3D”的6篇文章中也与3维

模型可见水印算法无关。当前,对于3维模型可见水印的形式和分类还没有准确的阐述,相关的算法也很少,因而这方面的研究是很有意义的。本文根据可见水印的定义和作用,顾及3维网格模型在3维视图和线框视图下渲染方式的差别,提出了一种3维网格模型可见水印并建立了相应的算法。

1 3维网格可见水印的基本思想

图像数据具有统一的数据模型和显示方式,因而图像可见水印的形式是唯一的。3维模型具有多种建模方法且其显示方式更加复杂,这导致了3维模型可见水印具有多种形式。3维网格模型是3维模型的一种常用建模方式且应用广泛,本文提出一种双重视图下可见的3维网格模型水印。

字母和汉字类型的水印信息可由一组与水印信息具有相同轮廓的面片表示。本文提出的3维视图下可见水印的基本思想是从3维网格表面上提取出一块外形上与面状水印信息相似的区域,并将这块区域的表面颜色和水印颜色相混合,或将该区域内的纹理和水印颜色相混合,从而达到水印的效果。

线框视图也是3维建模软件常用的一种视图。在线框视图下,3维网格模型的纹理、颜色特征都不参与模型的渲染,只有多边形的边被显示出来。而在该种视图下,上述的水印则不可见。如果线框视图下模型表面某个区域内的多边形的面积显著地区别于其他区域,也即该区域内多边形的密度显著地区别于其他区域,该区域就可以被识别出来。上述水印在原模型表面上开辟出一块具有与水印信息相同形状的区域,增大该区域内的面片密度,使之大于其周围区域的面片密度,就可以显示出水印信息本身。这是线框视图下可见水印的基本思想,与文献[4]中提出的网格加密可见水印基本一致。

本文提出的可见水印通过划分模型表面和增加网格密度来标示水印信息。对于平移、旋转、缩放、加噪这类改变模型坐标但实质上不改变模型形状或改变量很小的攻击,可见水印具有良好的抗攻击性。用户通过调节观察的视角和视距,即可观察到水印信息。

2 三角形网格可见水印算法

三角形网格表示是3维模型表示中最普遍的一种表示方式,多边形3维网格都可转换成三角形网

格。结合上述可见水印模式,针对三角形网格,提出一种3维三角形网格可见水印算法。该算法包含:水印嵌入区域选择、水印信息生成和水印嵌入3个过程。

2.1 水印嵌入区域选择

水印嵌入区域选择即是在3维三角形网格上选择一组待嵌入水印的面片。所选择的嵌入区域应由一组比较平滑的面片组成,也就是说相邻平面片之间法向量的夹角应该尽可能小。该步骤可通过用户在交互式3维图形系统下人工选择嵌入区域来完成,也可以通过三角形网格剖分算法来完成。三角形网格剖分算法是另一个研究领域,相关文献有很多,这里不再赘述。

2.2 水印信息生成

要将水印信息嵌入3维三角形网格中,则水印信息必须满足一定条件。首先,由于三角形网格数据是矢量形式的数据,嵌入的水印信息也必须是矢量形式的多边形。图像或文字形式的水印信息都必须转换成矢量形式。其次,组成水印信息的多边形必须是凸多边形。如果遇到凹多边形的水印信息,需要将凹多边形分割成两个或更多的凸多边形。这与水印嵌入算法有关。

2.3 水印嵌入

水印信息是2维平面内的,这就意味着在水印嵌入过程中需要把2维平面内的图形转换到3维空间。将水印嵌入区域内的三角形面片投影到2维平面内,再将水印信息嵌入到3维平面内的这些三角形中,最后将嵌入过程中新产生的三角形投影到原水印嵌入区域内。

假设水印信息为一组凸多边形 W ,待嵌入水印的三角形网格为 T ,则嵌入的具体步骤为:

1) 将待嵌入水印的3维三角形网格 T 按投影方向 $\mathbf{n} = (x_n, y_n, z_n)$ ($\mathbf{n} \neq \mathbf{0}$) 平行投影到过原点且法向量为 $\mathbf{n}$ 的平面 P 上,得到投影后的2维三角形网格 T_p 。投影方向 $\mathbf{n}$ 的计算公式为

$$\mathbf{n} = \sum_i s_i \mathbf{n}_i \quad (1)$$

式中, $\mathbf{n}_i$ 为三角形 T_i 指向三角形网格 T 同一侧的单位法向量, s_i 为三角形 T_i 的面积。设点 $p(x, y, z)$ 为投影前的坐标,点 $p'(X, Y)$ 为投影后的坐标,则当 $x_n = 0, y_n = 0$ 且 $z_n \neq 0$ 时,其投影公式为

$$\begin{cases} X = x \\ Y = y \end{cases} \quad (2)$$

其他情况下的投影公式为

$$\begin{cases} X = \frac{y_n x - x_n y}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2}} \\ Y = \frac{-x_n z_n x - y_n z_n y + (x_n^2 + y_n^2) z}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2} \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}} \end{cases} \quad (3)$$

2) 对水印信息 W 进行平移和缩放,使其全部落在投影后的三角形网格 T_p 内;

3) 利用水印信息 W 将三角形网格 T_p 划分为两部分,即在水印信息内的部分 T_{in} 和在水印信息外部的部分 T_{out} ;

4) 根据水印信息的颜色,改变在水印信息内的三角形 T_{in} 的颜色或纹理;

5) 将落在水印信息内的三角形 T_{in} 划分成更小的三角形;

6) 将三角形 T_{in} 和 T_{out} 按投影方向 $\mathbf{n}$ 平行投影到原模型上,并加入到原模型中。设点 $p_i(x_i, y_i, z_i)$ 为投影目标三角形 T_i 上的一点, $\mathbf{n}_i = (x_{n_i}, y_{n_i}, z_{n_i})$ 为投影目标三角形 T_i 的法向量。则当 $x_n = 0, y_n = 0$ 且 $z_n \neq 0$ 时,其投影公式为

$$\begin{cases} x = X \\ y = Y \\ z = \frac{-x_{n_i} X - y_{n_i} Y + x_{n_i} x_i + y_{n_i} y_i + z_{n_i} z_i}{z_{n_i}} \end{cases} \quad (4)$$

其他情况下的投影公式为

$$\begin{cases} x = \frac{(y_n y_{n_i} + z_n z_{n_i}) x' - x_n y_{n_i} y' - x_n z_{n_i} z' + x_n \sigma}{x_n x_{n_i} + y_n y_{n_i} + z_n z_{n_i}} \\ y = \frac{-y_n x_{n_i} x' + (x_n x_{n_i} + z_n z_{n_i}) y' - y_n z_{n_i} z' + y_n \sigma}{x_n x_{n_i} + y_n y_{n_i} + z_n z_{n_i}} \\ z = \frac{-z_n x_{n_i} x' - z_n y_{n_i} y' + (x_n x_{n_i} + y_n y_{n_i}) z' + z_n \sigma}{x_n x_{n_i} + y_n y_{n_i} + z_n z_{n_i}} \\ x' = \frac{y_n}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2}} X - \frac{x_n z_n}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2} \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}} Y \\ y' = -\frac{x_n}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2}} X - \frac{y_n z_n}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2} \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}} Y \\ z' = \frac{\sqrt{x_n^2 + y_n^2}}{\sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}} Y \\ \sigma = x_{n_i} x_i + y_{n_i} y_i + z_{n_i} z_i \end{cases} \quad (5)$$

若不进行第4)步,不改变处在水印信息内部的三角形的外观,则只添加线框视图下的可见水印。

若不进行第5)步,则只添加3维视图下的可见水印。

2.4 三角形划分

将三角形网格投影到2维平面内后,水印嵌入的过程实质就是将三角形网格 T_p 划分成两组三角形网格 T_{in} 和 T_{out} , 三角形网格 T_{in} 在水印信息内部, 三角形网格 T_{out} 在水印信息外部。此过程与计算机图形学中的裁剪过程相似, 但又有区别。在2维观察中, 需要在观察坐标系下对窗口进行裁剪, 即只保留窗口内的那部分图形, 去掉窗口外的图形^[13]。将水印信息视为窗口, 则水印嵌入过程还需要得到窗口外的部分。

借鉴并改进经典的 Sutherland-Hodgeman 多边形裁剪算法^[14], 使之可以应用于水印嵌入。Sutherland-Hodgeman 多边形裁剪算法, 又称逐边裁剪算法, 其基本思想是将多边形的边界作为一个整体, 每次用窗口的一条边界对要裁剪的多边形进行裁剪。本文中, 水印信息相当于窗口, 每次裁剪时把落在水印信息内的多边形保留下来, 并把它作为下一次裁剪的多边形, 另外还要把落在窗口外部的多边形记录下来。

如图1所示, 水印信息的一条边及其延长线构成的裁剪线把三角形分为两个区域, 包含有水印信息的区域称为可见侧, 不包含水印信息的域为不可见侧。这样, 沿着多边形一次处理顶点会遇到4种情况。Sutherland-Hodgeman 多边形裁剪算法仅保留观察窗口内的多边形, 在处理这4种情况时, 只记录了窗口内多边形的顶点信息。在此基础上, 使用的三角形划分算法还记录了窗口外多边形的顶点信息, 以获得水印信息外部的多边形。这4种情况的处理方法如下:

1) 三角形一条边的起点 S 在不可见侧而终点 E 在可见侧, 如图1(a)所示, 这时输出该边与水印信息的交点 I 和该边终点 E 到可见侧多边形 P_{in} 中, 输出交点 I 到不可见侧多边形 P_{out} 中;

2) 三角形一条边的起点 S 和终点 E 都在可见侧, 如图1(b)所示, 这时输出该边终点 E 到可见侧多边形 P_{in} 中;

3) 三角形一条边的起点 S 在可见侧, 而该边终点 E 在不可见侧, 如图1(c)所示, 则输出该边与水印信息的交点 I 到可见侧多边形 P_{in} 中, 输出交点 I 、该边终点 E 到不可见侧多边形 P_{out} 中;

4) 三角形一条边的起点 S 和终点 E 都在不可见侧, 如图1(d)所示, 则输出该边起点 E 到不可见

侧多边形 P_{out} 中。

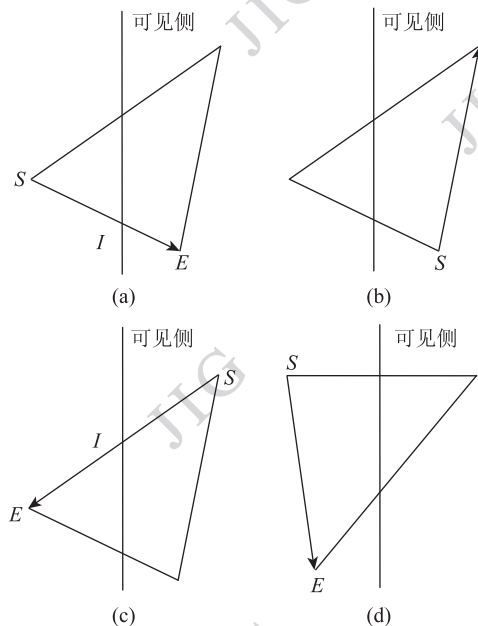


图1 针对水印信息的一条边处理三角形的4种情况

Fig. 1 Four cases of an edge of watermark processing a triangle

在水印信息的一条裁剪边界处理完所有的顶点后, 可见侧多边形 P_{in} 要用窗口的下一条边界继续裁剪, 不可侧多边形 P_{out} 要被划分为三角形。最终裁剪后的可见侧多边形 P_{in} 也要被划分为三角形。在求交点 I 的过程中, 应记录下其所在的三角形序号 i , 以便后继投影到三角形 T_i 上。

3 实验结果及分析

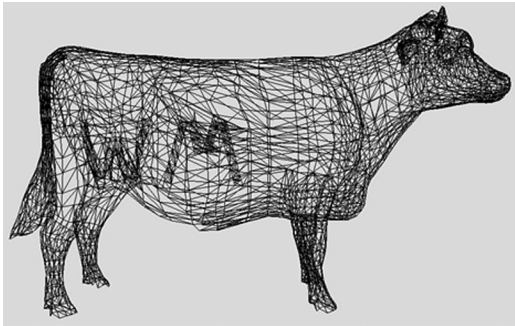
为了检验本文可见水印算法的可行性, 使用3个三角形网格形式的3维模型数据进行了实验, 并从视觉效果和数据增加量两方面对嵌入后的模型进行评估。数据1是一个由3062个点和5806个三角形面组成的牛模型, 数据2是由一个由2831个点和4874个三角形面组成的恐龙模型, 数据3是一个由2655个点和1660个三角形面组成的人脸模型。嵌入的水印信息为“WM”。

将水印信息嵌入到3个模型后的实验结果如图2—图4所示。

从图2—图4中可以看出, 水印信息在3维视图下和线框视图下都能清晰地呈现于3维模型中, 且没有改变原模型的形状, 不破坏原模型的细节特征, 不妨碍原模型的使用, 水印信息良好地与3维模



(a) 3维视图下



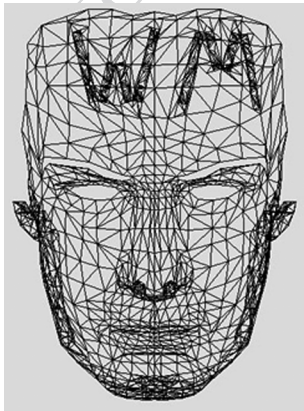
(b) 线框视图下

图2 3维视图下和线框视图下数据1嵌入结果图

Fig. 2 Results of data 1 in the wireframe view and the 3D view



(a) 3维视图下



(b) 线框视图下

图4 3维视图下和线框视图下数据1嵌入结果图

Fig. 4 Results of data 3 in the wireframe view and the 3D view

表1 数据增加量

Table 1 Increment of data

数据	嵌入前		嵌入后		增加量/%	
	点	面	点	面	点	面
数据1	3 062	5 806	3 472	6 208	13.39	6.92
数据2	2 831	4 874	3 211	5 246	13.42	7.63
数据3	2 655	1 660	2 963	1 860	11.60	12.05

从表1可以看出,3个数据在嵌入水印后,点和面的数目增加了10%左右。这表明本文可见水印算法对数据本身的修改也不大。如果进一步缩小水印信息,对数据的改变则更小。

4 结 论

已有的研究较少涉及3维模型可见水印,本文提出一种在3维视图下和线框视图下都可察觉的3维网格可见水印,扩充了3维模型可见水印的形式。

图3 3维视图下和线框视图下数据1嵌入结果图
Fig. 3 Results of data 2 in the wireframe view and the 3D view

型融合在了一起。

将水印信息嵌入到3个模型中后,数据量的变化如表1所示。

基于投影技术和一种改进的多边形裁剪算法,建立了三角形网格模型可见水印算法。算法在保持原模型外形的基础上,良好地嵌入了水印信息。本文可见水印对3维网格模型数据版权保护起到了积极的作用。

3维网格模型存在多种光照模型和面绘制算法^[15]。本文算法并没有具体地考虑这些模型和算法对水印和3维模型本身可视效果的影响。结合3维模型的渲染方式研究3维模型可见水印算法也是进一步研究的方向。

参考文献 (References)

- [1] Sun S H, Lu Z M. Digital watermarking techniques [J]. Chinese Journal of Electronics, 2000, 28(8): 85-90. [孙圣和, 陆哲明. 数字水印处理技术 [J]. 电子学报, 2000, 28(8): 85-90.]
- [2] Yi K X, Shi J Y, Sun X. Digital watermarking techniques: an introductory review [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(2): 111-117. [易开祥, 石教英, 孙鑫. 数字水印技术研究进展 [J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(2): 111-117. [DOI: 10.11834/jig.20010229]]
- [3] Yang Y X, Niu X X. Theory and Applications of Digital Watermarking [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2006: 20-21. [杨义先, 钮心忻. 数字水印理论和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 20-21.]
- [4] Ryutarou O, Hiroshi M, Masaki A. Watermarking three-dimensional polygonal models through geometric and topological modifications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1998, 16(4): 551-560.
- [5] Zhang X Y, Peng W, Zhang S Y, et al. Review of watermarking techniques for 3D polygonal models [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2003, 15(8): 915-916. [张新宇, 彭维, 张三元, 等. 3D 网格数字水印研究进展 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(8): 915-916.]
- [6] Pan Z G, Sun S S, Li L. An overview of 3D model watermarking [J]. Computer Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(8): 1103-1110. [潘志庚, 孙树森, 李黎. 3 维模型数字水印综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(8): 1103-1110.]
- [7] Li J. Review of digital watermarking for 3D models [J]. Journal of Hubei University for Nationalities (Natural Science Edition), 2009, 27(1): 44-46. [李军. 3 维模型数字水印研究 [J]. 湖北民族学院学报, 2009, 27(1): 44-46.]
- [8] Ben O, Busch C. Towards blind detection of robust watermarks in polygonal models [J]. Eurographics, Blackwell Publishers, 2000, 19(3): 199-208.
- [9] Yu Z Q, Ye H S, Zhao R C, et al. A robust watermarking technique of triangular meshes [J]. Computer Applications, 2002, 22(9): 94-96. [喻志强, 叶豪盛, 赵荣椿, 等. 稳健的三角形网格数字水印技术 [J]. 计算机应用, 2002, 22(9): 94-96.]
- [10] Liu W, Sun S H. Digital watermarking algorithm for three-dimensional mesh model based on DCT [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2006, 21(4): 329-335. [刘旺, 孙圣和. 基于 DFT 的鲁棒 3 维网格模型数字水印算法 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 21(4): 329-335.]
- [11] Hu M, Xie Y, Xu L F, et al. A geometry property based adaptive watermarking scheme for 3D models [J]. Computer Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(3): 390-394. [胡敏, 谢颖, 许良凤, 等. 基于几何特征的自适应 3 维模型数字水印算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(3): 390-394.]
- [12] Liu H Y. Research on digital watermarking algorithm for 3D geographic model [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2012: 25-30. [刘海艳. 3 维地理模型数据数字水印算法研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2012: 25-30.]
- [13] Sun J G, Yang C G. Computer Graphics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998: 206. [孙家广, 杨长贵. 计算机图形学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998: 206.]
- [14] Foley J D, Dam A, Feiner S K, et al. Computer Graphics: Principles and Practice in C [M]. Toronto: Addison-Wesley Professional, 1995: 124-127.
- [15] Lu F, He Y F. Fundamentals of Computer Graphics [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008: 288. [陆枫, 何云峰. 计算机图形学基础 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 288.]