

基于三维模型网格子集属性的数字水印算法

陈海霞, 章红艳, 章斓

(福建师范大学协和学院 信息技术系, 福建 福州 350001)

摘要: 提出了一种基于三维模型网格子集的新型盲水印算法。算法以三维模型网格中的网格子集为载体,提取三维模型的三角形面片数据,根据三角形相似四元组(TSQ)法计算出边长比和宽高比,通过阈值控制定位嵌入基元,最后根据水印信息值修改网格子属性ID嵌入水印。水印提取过程则通过对嵌入基元定位后,查询属性ID值计算完成。实验结果表明:该算法对于几何变换和剪切、噪声攻击等都具有较好的鲁棒性。

关键词: 数字水印; 三维模型; 网格子集

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2014)03-0232-05

A watermarking scheme based on mesh subsets attributes of 3D models

Chen Haixia, Zhang Hongyan, Zhang Lan

(Information Technology Department, Concord College of Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

Abstract: A new blind watermarking scheme based on the mesh subsets of 3D models was proposed, in which the mesh subsets of 3D models were utilized as the vector and triangular surface data of 3D models were extracted. The triangle's height to width ratio was computed in accordance with the method of triangle similarity quadruple (TSQ). The hideouts to be embedded were located via threshold control. Watermark was embedded by modifying the attributes of the mesh subsets in accordance with the watermark data. The watermark was extracted by computing the ID of the subsets. Experimental data have confirmed the robustness of the algorithm.

Keywords: watermarking; 3D model; subset

随着三维技术的飞速发展,三维数字产品已经成为当前网络中最广泛的多媒体产品之一,作为三维数字产品的主体三维模型,其产权保护已经引起产业界和学术界的高度重视,基于三维模型的数字水印技术已经成为数字水印研究领域一个不可或缺的重要的分支。

目前,基于空域的三维模型的数字水印算法主要是通过对模型坐标点进行调整嵌入水印,基于这种思路,林克正等人^[1-2]提出基于块矢量的三维模型数字水印技术,该算法利用分块质心代

替全局质心,能抵抗剪切、均匀缩放等全局攻击,这种分块技术为后来的水印研究提供了参考。唐斌、康宝生^[3]等人提出基于三维网格的双重数字盲水印,利用三维模型的几何特征不变性来定位水印嵌入点,使得水印提取不再需要原始图像,这类技术对三维模型盲水印的研究起到了决定性作用。本文提出一种基于三维模型网格属性的盲水印算法,通过调整网格三角形的属性ID嵌入水印,本文算法只改变三角形面片属性ID,不改变顶点坐标值,有较好的鲁棒性,特别是能很好地抵

收稿日期: 2014-04-30

基金项目: 福建省教育厅项目(JB12269)

第一作者简介: 陈海霞(1982-),女(汉),江苏南通人,讲师,硕士,研究方向:数字水印与信息隐藏技术。

抗各种几何攻击。

1 基于三维模型网格子集属性的数字水印算法基本原理以及可行性

三角形网格是三维模型的网格的重要组成部分,其他网格可转化成三角形网格。三维模型网格由一个或多个网格子集组成,网格子集是一个网格中可以按照同样属性进行渲染的三角形网格的集合。如图1所示,每一个三角形网格有且仅有一个属性ID,用于记录它属于的子集,子集ID都被存储在网络属性缓冲区中,每一个三角形网格都跟属性缓冲区中的一个元素对应,网格中的三角形在渲染的时候根据属性不同按一定顺序渲染,最后组成一个完整网格。由于只是渲染依据,三角形网格属性ID的改变并不会改变网格的几何特征。现有几何攻击主要针对网格坐标点的值进行修改,对三角面片属性ID并不产生影响,属性缓冲区信息量大,水印容量大,水印可以重复嵌入。为此,本文提出一种基于网格子集的数字水印算法,通过改变特定位置的三角形网格属性ID嵌入水印。

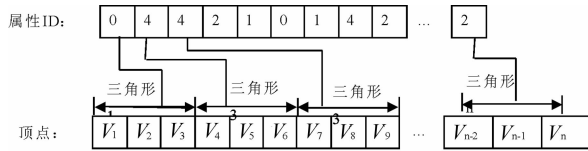


图1 网格中的三角形与子集ID之间的对应关系

Fig.1 Correspondence of mesh triangles and subsets' ID

2 基于三维模型网格子集属性的数字水印算法描述

2.1 水印嵌入基元的选择

2.1.1 定义相似三角形

鉴于本文算法的有效嵌入基元为三角形网格,本文利用三角形相似四元组法^[4] (TSQ) 计算相似三角形特征选择嵌入基元。利用该算法选择的基元具有较强的标识性,在平移、旋转以及缩放、

拉伸等攻击下仍能被较好识别,有较好的稳定性。根据TSQ方法基本原理,利用三角形的边长、高等信息,对三角形面片定义二元组 $T = \{a/b, h/c\}$ (如图2), a/b 以及 h/c 的值接近的一组三角形称之为相似三角形,选择这类三角形的属性值用于水印的嵌入,便于在提取水印时能准确找到嵌入基元并提取水印。

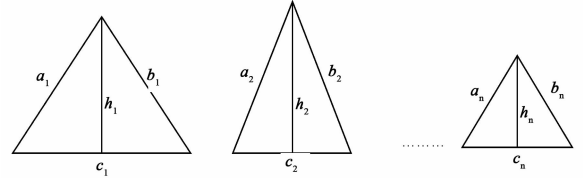


图2 TSQ定义三角形特征

Fig.2 Triangles' features defined by TSQ

2.1.2 找出符合嵌入条件的相似三角形

对模型网格进行遍历,计算所有的三角形网格的二元组特性集 $T = \{t_i | t_i = (a_i/b_i, h_i/c_i), i = 1 \cdots nFacNums\}$, $nFacNums$ 为模型三角形面片总数,集合元素 $t_i = (a_i/b_i, h_i/c_i)$ 表示第 i 个三角形面片的两边长之比和高底之比。计算所有三角形的边长比均值 p 和高底比均值 q ,设定容纳系数 δ 和 γ ,如果 $|a_i/b_i - p| \leq \delta$ 且 $|h_i/c_i - q| \leq \gamma$,则嵌入水印,否则不嵌入。和 δ 和 γ 的值可根据模型中三角形以及水印实际情况设置并调整,以能找到数量相符的嵌入基元为最佳, δ 和 γ 的值越大,水印容量越大。

2.2 嵌入水印

载入三维模型,锁定其属性缓冲区,该缓冲区为一元符号整型数集 $ART = \{Atr_i | i = 1 \cdots nFacNums\}$,其中 $nFacNums$ 为模型中三角形面片数, Atr_i 即为各三角形面片的属性值,即为图2中属性ID。

设水印的一长度为 n 的二进制比特流 $\{W_i = (0, 1), i = 1 \cdots n\}$,遍历属性集 ART ,计算属性数组中每个属性所对应三角形的边长比 a/b 和高底比 h/c ,并计算所有三角形的边长比均值 p 和高底比均值 q ,按下列公式修改属性值:

$$Art'_m = \begin{cases} Atr_m & \text{if } (|a_m/b_m - p| > \delta \text{ 或 } |h_m/c_m - q| > \gamma) \quad \text{不嵌入} \\ 2 * Atrm & \text{if } (W_i = 0 \text{ 且 } |a_m/b_m - p| \leq \delta \text{ 且 } |h_m/c_m - q| \leq \gamma) \\ 2 * Atrm + 1 & \text{if } (W_i = 1 \text{ 且 } |a_m/b_m - p| \leq \delta \text{ 且 } |h_m/c_m - q| \leq \gamma) \end{cases} \quad (1)$$

$m = 1 \cdots nFacNums, i = 1 \cdots n$

式(1)中, n 为水印长度, $nFacNums$ 为模型三角形面片总数, W_i 为第 i 位待嵌入水印, δ 和 γ 为容纳系数, 值根据模型实际情况而设定和调整, a_m/b_m 为第 m 个三角形的边长比, h_m/c_m 为高底比, Atr_m 为修改前属性第 m 个三角形面片属性值, Atr'_m 为修改后的, 原有模型的子集数目将被扩充两倍以上, 嵌入过程如图 3 所示:

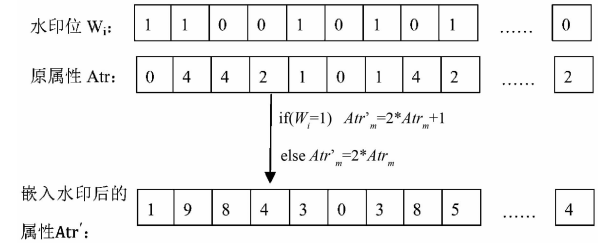


图 3 修改 ID 嵌入水印示意图
Fig. 3 Flowchart of modifying ID

2.3 渲染设置

本算法采用修改面片属性值方法嵌入水印, 实际三维模型设计过程中, 面片属性值则与渲染材质存在映射关系。如模型所有子集采用同种材质, 利用本算法嵌入水印并不会改变模型外观, 对于有多种材质的模型, 属性值改变将直接影响模型视觉效果, 为了嵌入水印, 属性值已经作了公式 1 的变换, 在渲染设置时, 需要找到现有属性对应的面片关联的原材质进行渲染才不会影响模型外观。

首先, 载入模型的材质缓冲区 $matBuf$, 同理, $matBuf$ 也可转化为一组符号整数集 $\{Mat_i \mid i = 1 \cdots nMatNums\}$, 其中 $nMatNums$ 为模型材质种类数。变换前, 若第 i 子集对应的材质为 Mat_i , 则嵌入水印后的第 i 个子集对应的材质为 Mat'_i , 那么, 它们之间满足如下关系:

$$Mat'_i = Mat_{i/2} \quad 0 \leq i \leq 2 * nMatNums \quad (2)$$

材质前后关联如图 4 所示:

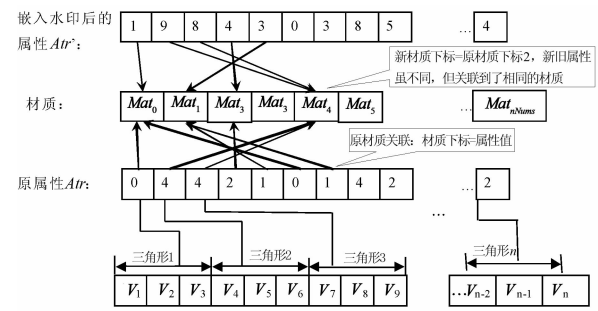


图 4 修改材质关联示意图
Fig. 4 Flowchart of modifying materials

3 水印提取与检测

3.1 水印提取

含水印的三维模型在实际应用过程中, 可能已经受到网格简化、随机加噪等攻击, 或许经过了平移、缩放、旋转等几何变换, 网格顶点序列、坐标、拓扑结构等已经改变。本文算法提取水印不依赖于坐标顶点值, 仅依赖于面片属性, 对几何变换有很强的鲁棒性。对于常见的网络简化攻击、剪切攻击和加噪攻击, 会对顶点拓扑结构产生影响, 会对相似三角形的定位造成干扰, 影响水印提取。对于上述网络简化攻击或剪切攻击, 可利用重采样技术对网格进行复原后提取; 至于加噪攻击, 可采取低通滤波方式去除部分噪声后再提取水印可有利于提高水印的正确性。

水印提取过程与水印的嵌入过程是互逆的, 水印的提取过程分两部分进行:

(1) 载入模型, 提取属性集, 计算属性集中对应的三角片的边长比和高底比, 并计算所有三角形的边长比均值 p 和高底比均值 q , 根据容纳系数和的约定, 找到嵌入水印的三角面片。

(2) 根据已提取的属性值, 依据下列算法提取水印:

$$W_i = \begin{cases} 0 & \text{if } Atr_m \bmod 2 = 0 \\ 1 & \text{if } Atr_m \bmod 2 = 1 \end{cases}$$
$$i = 1 \cdots n, m = 1 \cdots nFacNums \quad (3)$$

上式中, n 为水印长度, $nFacNums$ 为模型三角形面片总数, Atr_m 为第 m 个三角形面片属性值。

3.2 水印检测

在对三维模型水印进行提取时, 由于模型经过变换或受到攻击, 降低了水印的提取正确性, 提取的水印与原水印存大差异, 需要提取的水印与原水印进行相关性比较, 以验证水印的正确性, 从而声明版权, 水印相关性检测可按下列公式计算:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n w_i w'_i}{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w'_i}$$

上式中, n 为水印序列的长度, w'_i 和 w_i 分别为提取的水印与原水印位。 ρ 是相关性度量, 取值范围在 0 ~ 1 之间, 度量值越大, 水印的相关性越大, 存在水印的可能性就越大。

4 实验结果与分析

4.1 嵌入实验

本次实验中水印嵌入和提取采用 VS2008 与 DirectX SDK 进行程序设计, 实验中对模型变换和模拟攻击借助 3dsMax 软件完成。模型选取三维模型网格 Airplane, 网格原始模型如图 5 所示。网格为 DirectX SDK 安装包中自带媒体库中的测试网格, 网格由 1282 个顶点、596 个三角形面片, 分 8 种子网格渲染而成。水印图像选择含版权信息的二值图像如图 5 所示。

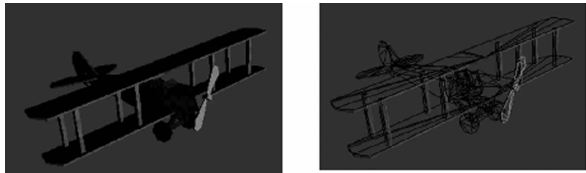


图 5 用于嵌入的原始模型

Fig .5 Original model for embedding

将水印图像转化为长度为 200 的二进制序列待嵌入。根据计算, Airplane 网格中三角形边长比均值 $p = 2.1653$, 高底比均值 $q = 1.7960$, 取容纳系数为 $\delta = p/4 = 0.54$, $\gamma = q/4 = 0.45$ 经验算, 有 217 个面片符合公式 1 中约束的嵌入要求, 按一个面片嵌入一位水印的计算, 可以容纳长度 217 位的水印信息, 取前 200 个面片嵌入。

以下是水印嵌入的部分代码:

```
float deltap = 0.54; float deltaq = 0.45; //容纳系数定义
for (int j = 0; j < mesh -> GetNumFaces(); j +
+) { //遍历三角形面片
    tr_hc = (mesh -> Gettriangle()). GetHC() //
获取相似三角形的宽高比
    tr_ab = (mesh -> Gettriangle()). GetAB(); //
获取相似三角形的边长比
    if (abs(tr_hc - deltap) <= p && abs(tr_ab -
deltaq <= q) {
        //相似三角形宽高比和边长比满足嵌入要求, 根据水印位值修改属性值
        if (buffer[j] != 0water. data = 1) //
水印位为 1
            buffer[j] = buffer[j] * 2 + 1; //修改属性值
        else if (buffer[j] != 0water. data = 0)
```

```
//水印位为 0
        buffer[j] = buffer[j] * 2; //修改属性值
    }
}
以下是水印图像和嵌入水印后的模型:
```



图 6 水印图像

Fig. 6 Bitmap of watermark

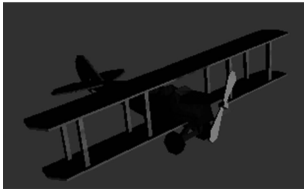


图 7 嵌入水印后的模型

Fig. 7 The model with embedded watermark

经过图 5 与图 7 的对比, 水印嵌入后对模型外观基本无改变, 体现本文算法中水印的不可见性。

4.2 提取实验

为验证算法的鲁棒性, 将含水印模型经过旋转、缩放和平移变换后提取水印, 并计算提取后的水印与原水印的下关系数, 各种变换参数以及水印相关系数值如下表 1 所示。

表 1 几何变换测试数据表

Tab. 1 Data of geometric transformation testing

变换方式	参数值	相关系数 ρ	肉眼能否辨别水印
未变换	/	1.000 0	是
旋 转	X 轴 60°	1.000 0	是
	Y 轴 180°	1.000 0	是
	Z 轴 45°	1.000 0	是
均匀缩放	X、Y、Z 方向各放大 2 倍	0.901 6	是
非均匀缩放	X:1.5 倍, Y:2 倍, Z:1.2 倍	0.467 2	否
平 移	X 轴	1.000 0	是
	Y 轴	1.000 0	是
	Z 轴	1.000 0	是

由表 1 可看出, 旋转和平移对本文算法嵌入的水印提取不产生影响, 本文算法对均匀缩放也体现出了很好的鲁棒性, 但对非均匀算法抗攻击能力较差, 这是由于非均匀缩放改变了相当一部分三角形的边长比和高底比, 影响了含水印三角形的定位, 对水印提取产生了干扰。

本次实验采取三种攻击方法对模型进行攻击测试,分别是网格简化攻击,添加随机噪声攻击和剪切攻击,受攻击后的 airplane 模型分别如图 8、图 9 和图 10 所示。

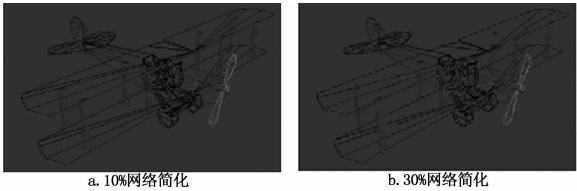


图 8 网格简化后的 Airplane 模型

Fig.8 An airplane model with simplified meshes

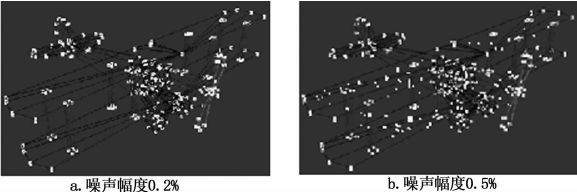


图 9 加噪后的 Airplane 模型

Fig.9 An airplane model with noise



图 10 剪切后的 Airplane 模型

Fig.10 A trimmed airplane model

实验分别对受攻击后模型进行水印的提取和检测,具体测试数据见表 2。

从表 2 可知,本文算法对剪切、网格简化、加噪等也有很好的鲁棒性,只有在 50% 大面积剪切时方导致水印信息提取量不足。

参考文献:

[1] 胡敏,谢颖,谢良凤,等. 基于几何特征的三维模型数字水印技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2008,20(3): 390-394.

[2] 林克正,卜雪娜,唐新远. 块矢量的三维模型数字水印[J]. 计算机工程与应用,2010,46(3):188-191.

[3] 唐斌,康宝生,王国栋. 基于三维网格模型的双重数字盲水印算法[J]. 计算机工程,2012,38(6):120-122.

[4] 王金荣,冯结青,缪永伟孙,等. 基于径向基函数的三维网格鲁棒公钥非盲水印[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011,23(1):22-30.

[5] 何文广,王耀民. 一种新的三维模型水印频域算法[J]. 现代计算机,2011,35(2):158-161.

[6] 齐敬敬,顾永军,党长青. 一种三维网格模型的数字水印算法[J]. 计算机仿真,2012,29(6):253-256.

[7] Dhar P K, Khan M I. A new audio watermarking system using discrete Fourier transform for copyright protection[J]. IJC-SNS,2010,10(6):35-40.

[8] Prasad K M, Jyothsna V. High secure image steganography in BCBS using DCT and fractal compression[J]. IJCSNS,10 (4),2010:162-170.

表 2 各种攻击下水印提取与检测数据表

Tab.2 The extraction and testing data of watermark under attacks

攻击方式	参数值	相关系数 ρ	肉眼能否辨别水印
未受攻击	/	1.000 0	是
剪 切	20% 剪切	0.921 6	是
	50% 剪切	0.776 5	是
网格简化	20% 简化	0.895 6	是
	50% 简化	0.544 4	是
加 噪	噪声幅度 0.2%	0.954 6	是
	噪声幅度 0.5%	0.875 6	是

5 结论

本文算法基于子网格属性划分,利用子网格 ID 的可变换性,在不改变网格坐标几何特征的前提下嵌入水印,通过材质关联修改保证了水印的不可见性。实验证明,本文算法在旋转、平移、缩放等几何变换下能取得很好的鲁棒性,能较好地抵抗剪切、加噪、网格简化等恶意攻击,提取水印不需要原始模型参与,是高效、实用的三维模型盲水印算法。本文算法水印的嵌入依赖于子网格划分,暂不适用于只有一种网格属性的简易网格,针对这类型网格,可先将其网格先进行人为属性划分成多个子网格后再利用本文算法。本文算法在水印的嵌入与提取过程中,嵌入基元的定位需依赖于相似三角形边长比和底高比计算,计算量较大,如何高效准确定位嵌入基元上是下一步研究的难点,也是基于三维模型盲水印算法需要解决的重要问题。