文章编号:1005-0523(2004)04-0138-04

一种细分曲面水印算法

赖义生[1],李 黎[2]

(1.浙江工商大学 统计与计算科学学院 浙江 杭州 310035;2.杭州电子科技大学 浙江 杭州 310018)

摘要:本文提出的细分曲面水印算法是基于图像水印算法和Fourier加法性质,将初始网格迭代三次以使网格的顶点数足够多,然后取出一部分顶点坐标用来嵌入水印,嵌入水印后的网格作为新的初始网格.实验结果证明该算法具有较好的强壮性和计算量小的特点.

关 键 词:细分曲面;水印技术;网格模型;Loop-细分模式

中图分类号:TP301.6 **文献标识码**:A

1 相关工作

目前,水印技术的研究着重于图像、音频和视频等媒体数据[1-3].另一方面,由于三维扫描仪、测距仪和CT等三维数据获取设备的日益完善,为几何形状不能或难于用分析曲面表示的对象建模提供了有力的工具,例如医学的人体器官建模、考古学中的古代器件和艺术领域的雕塑作品三维重构等等.离散曲面逐渐成为一种重要的几何表示方法.

细分模式作为从给定规则产生离散曲面的方法统一了传统的参数曲面与多边形两种实体表面的表示.另外,由于实验获取的三维数据量一般都非常大,多分辨率分析成为有效地处理这类数据的重要手段.细分方法与多分辨率分析、小波变换之间的深刻联系也是目前细分模式受到关注的一个重要原因.细分曲面也日渐成为网络传播中的主要媒体数据,也面临着复制和盗版等侵权行为.

然而,研究细分曲面水印算法的文献还比较少.细分曲面利用多边形网格或一系列网格来描述一个曲面.通常,细分曲面是一个网格序列的极限,网格序列则是通过采用一组规则(一般是加权平均)在给定初始网格中插入新顶点并不断重复此过程而获得.本算法是基于Loop细分模式,下面介绍一下Loop细分模式的定义.

1.1 Loop细分模式

1987年Utah大学的Loop在硕士论文中提出一种基于三角网格的细分模式[4],所生成的曲面是盒式样条(Box spline)曲面的推广.

Loop模式采用1-4三角形分裂,只生成E-顶点和V-顶点.顶点计算如下:

1) E-顶点:设内部边的两个顶点为V_0,V_1,共享此边的两个三角形面为为(V_0,V_1,V_2)和(V_0,V_1,V_2),则E顶点为

$$V_E=\frac{3}{8}(V_0+V_1)+\frac{1}{8}(V_2+V_3) \quad (1)$$

2) V-顶点:若内部顶点V的边邻点为V_0,V_1,…,V_{n-1},其中$n=|V|_E$,则相应的V-顶点为

$$V_V=(1-n\beta_n)V+\beta_n\sum_{i=0}^{n-1}V_i \quad (2)$$

即是顶点本身与其所有相邻顶点的加权和,它本身的权值为$1-n\beta_n$,而邻点权值为$1-n\beta_n$,而邻点权值为$\beta_n=\frac{1}{n}(\frac{5}{8}-(\frac{3}{8}+\frac{1}{4}\cos\frac{2\pi}{n})^2)$或$n=3$时

收稿日期:2004-03-04

基金项目:浙江省高校青年教师资助计划项目.

作者简介:赖义生(1967-)男,江西宁都人,博士,从事计算几何;计算机辅助几何设计;逼近论;非线性分析的研究.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$\beta_3=\frac{3}{16}$而 $n>3$ 时 $\beta_n=\frac{3}{8n}$.

(3)边界顶点的处理与 *Catmull－Clark* 模式相同.图 1 *a*－*d* 是 *Loop* 模式各类顶点的面具.

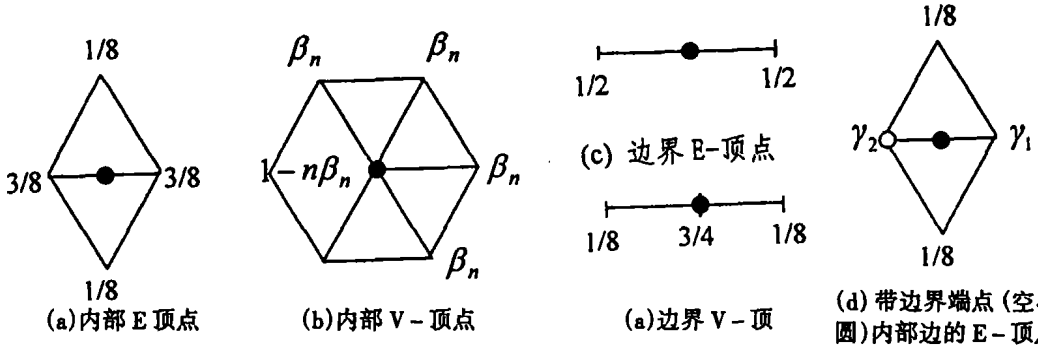


图 1　内部 E 和 V 点及边 E 和 V 点的面

2　基于网格水印的细分曲面水印算法

我们提出一种细分曲面水印算法.将初始网格迭代三次以使网格的顶点数足够多，然后取出一部分顶点坐标用来嵌入水印.υ 是选取的网格顶点坐标，υ'是嵌入水印后的网格顶点坐标，.ω 是水印.水印的嵌入过程可以表示为：$\upsilon'=\upsilon+\alpha^*(I_\omega-I)$，$I_\omega$ 是嵌入水印的图像，I 是原始图像.α 是比例参数.

2.1　水印嵌入和提取

这部分讨论我们的细分曲面水印算法.

1) 水印嵌入

步骤 1：将水印编码成一个二值序列. 水印是“1234”.，$W=(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_{24})$，$\omega_i\in\{0,1\}$，$i=1,\cdots,24$.水印的每个字符被编码成为一个由五个 0 和一个 1 组成的序列.

步骤 2：对一个大小为 32 * 32 的灰度图像进行 Fourier 变换得到相应的幅度谱矩阵和相位矩阵. $X=\{1,2\ldots32\}$；$Y=\{1,2\ldots32\}$.

步骤 3：将 ω_i 嵌入 $B(X,Y)$得到 $B^*(X,Y)$，嵌入公式如下.

$$B^*((i+16),(12+j))=B((i+16),(12+j))+d \quad (3)$$

$i=2,5,-5,-2$；$j=1,2\ldots6$，$\omega_i=1$，$d=1000$；$\omega_i=0$，$d=0$.

步骤 4：对 $B^*(X,Y)$和 $C(X,Y)$进行 Fourier 反变换得到嵌入水印的图像 I^*.

步骤 5：用如下公式得到水印信息 W^*. W^* 很小足以保证嵌入水印后的网格的透明性.

$$W^*(i,j)=(I^*(i,j)-I(i,j))\times0.05 \quad (4)$$

$i=1,\ldots,32$；$j=1,\ldots,32$.

步骤 7：将初始网格 M_0 迭代三次得到网格 M，并且将网格 M 的顶点坐标按照大小重新排序.

步骤 8：选取网格 M 的一部分顶点的 x－坐标组成一个 32 * 32 的矩阵 A.

步骤 9：将水印信息 W^* 加到 A 得到 A^*，再将 A^* 放回网格 M 得到嵌入水印的网格 M^*. 根据 Fourier 加法性质可以推出 M^* 的频域中含有水印信息 W^*，A 和 A^* 可以看作是定义在矩形域上的函数 $0\le i\le32$，$0\le j\le32$.

$$F[A^*]=F(W^*(i,j)+A(i,j)]$$
$$=F[W^*(i,j)]+F[A(i,j)]$$
$$=(F[I^*(i,j)]-F[I(i,j)]\times(\frac{1}{500}+F[A(i,j)] \quad (5)$$

步骤 10：将网格 M^* 作为新的初始网格和细分规则一起作为数据传输.

2)水印提取

步骤 1：将原始细分曲面的初始网格 M_0 迭代三次得到网格 M，并且将网格 M 的顶点坐标按照大小重新排序.

步骤 2：将待检测细分曲面的初始网格 M^* 与网格 M 做比较，利用公式(6)将水印信息放大得到放大后的网格 M'. $g(x)$是网格 M 的顶点的 X－坐标. $f(x)$是网格 M^* 的顶点的 X－坐标. $f'(x)$是放大后的 X－坐标.

$$f'(x)=g(x)+(f(x)-g(x))^*10^6 \quad (6)$$

步骤 3：选取网格 M'顶点 X－坐标的一部分组成大小为 32 * 32 的矩阵 A，然后对 A 进行 *Fourier* 变换得到幅度谱矩阵 B.

步骤 4：将 B 中相应的 24 位置上的数值取出组成一个序列 W，将 W 均等分成 4 组，根据编码原则将每组恢复出一个字符，最后得到恢复的水印. 例如，W=[123 45 67 89 200 189 230 113 77 92 119 67

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

123 45 67 89 200 189 230 113 77 92 119 67]，将 W 均等分成 4 组，这 4 组根据编码原则分别恢复成[1 0 0 0 0 0]、[0 1 0 0 0 0]、[1 0 0 0 0 0]和[0 1 0 0 0 0]，那么水印为“1212”.

3 实验结果

本算法是在 VC＋＋和 MATLAB 平台上实现的. 水印为四个数字. 所有测试的细分曲面模型是将原始初始网格迭代三次后的网格. 测试模型包括牛模型(4613 顶点，9248 面片).

表 1 列出了本实验的攻击方法. 实验结果证明在经历了这些攻击后仍然能将水印完整地提取出来. 这些攻击包括加噪、旋转、平移、缩放、滤波、裁剪和一些组合攻击. 图 2 表示了牛模型的一些实验结果.

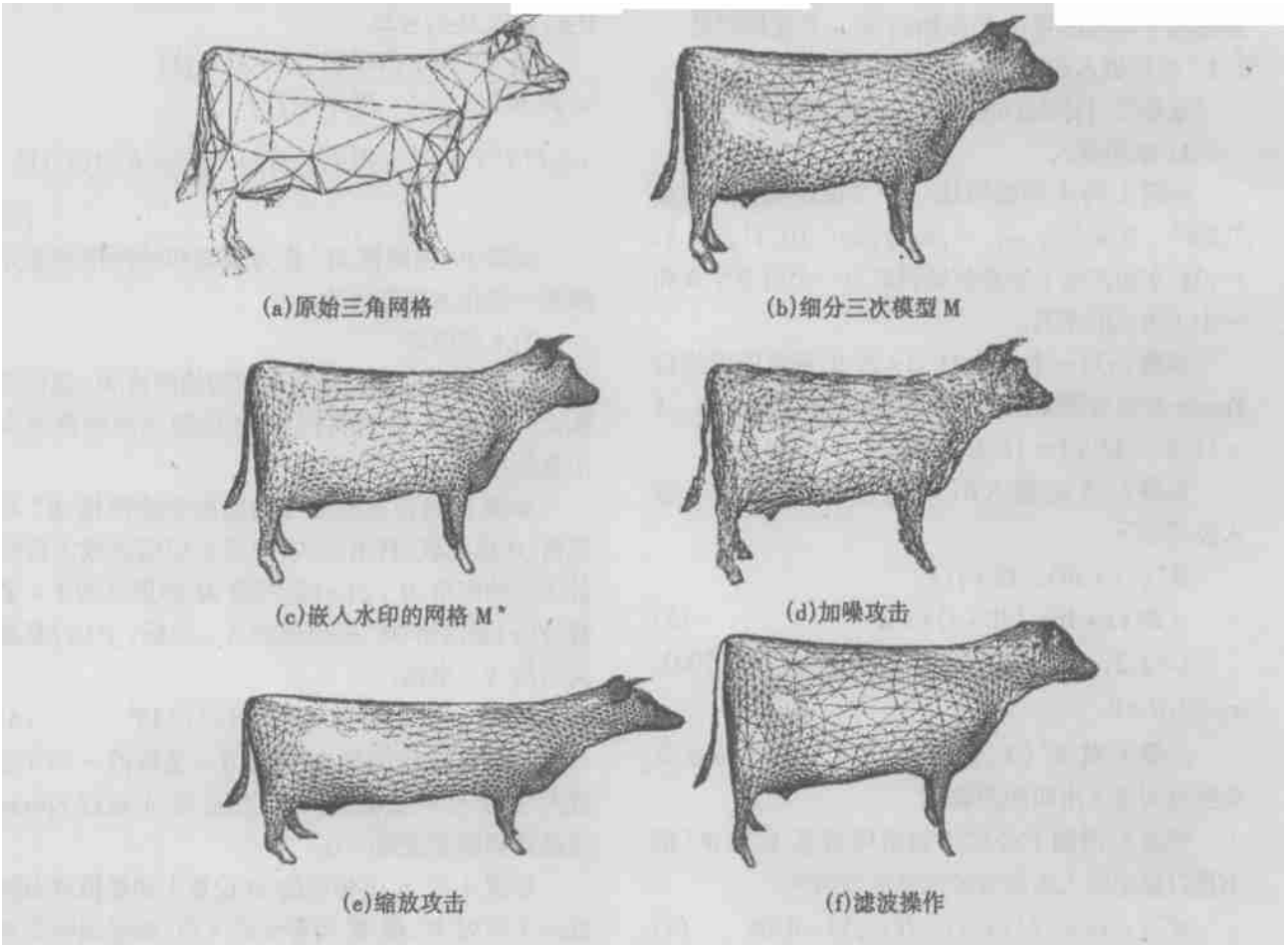
本算法对缩放和平移攻击有很强的强壮性. 将嵌入水印后的网格顶点坐标乘以常数得到缩放后的网格，对网格顶点坐标加上常数得到平移后的网格. 根据 *Fourier* 变换的性质，改变空域的值相应也改变频域的值，由于本算法是根据局部最大值来恢复水印，所以仍能从缩放或平移后的网格中提取出水印.

加噪攻击是将每个网格顶点坐标值的 0.03% 加到相应的顶点坐标上. 本算法计算量少，嵌入水印过程只有 60 秒. 嵌入水印后的网格的透明性很好，不影响网格的正常使用. 改变部分顶点坐标值的操作是将部分顶点坐标值赋为 0.

组合攻击包括缩放－加噪、平移－加噪、缩放－平移、缩放－平移－裁剪等操作.

表 1 抗攻击种类

攻击	牛	蚂蚁	*Klein* 瓶
加噪	√	√	√
缩放	√	√	√
旋转	√	√	√
平移	√	√	√
裁剪	√	√	√
滤波	√	√	√
一些组合攻击	√	√	√
改变部分顶点坐标值的操作	√	√	√



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　结论

在本文，我们提出一种细分曲面水印算法. 首先，将初始网格迭代三次以使网格的顶点数足够多，然后取出一部分顶点坐标用来嵌入水印. 水印不是直接嵌入网格顶点坐标的，而是嵌入一幅图像里，最后根据 *Fourier* 加法性质将水印信息嵌入网格顶点坐标得到嵌入水印的网格作为新的初始网格. 该算法计算量小，对加噪、旋转、平移、缩放、滤波、裁剪和一些组合攻击有较强的抵抗力.

参考文献：

[1]M. Barini，F. Bartolini，V. Cappellini，A. Piva，A DCT－Domain System for Robust Image Watermarking，Signal Processing. 1998，(3)：357～372.

[2]I. J. Cox，Matt L. Miller，The First 50 Years of Electronic Watermarking，Journal of Applied Signal Processing，No. 2，pp. 126－132，2002.

[3]黄继武，谭铁牛. 图像隐形水印综述[J]，自动化学报，2000，(5)：654～655.

[4]C. Loop，Smooth Subdivision Surfaces Based on Triangles，Master's thesis，Utah：University of Utah，Department of Mathematics，1987.

Watermarking Subdivision Surface

LAI Yi-sheng[1]，LI Li[2]

(1. College of Statistics and Computer Science，Zhejiang Gongshang University，Hangzhou 310035，China；2. Hangzhou Institute of Electronics Engineering，Hangzhou 310018，China)

Abstract：For subdivision surface，the subdivision surface is obtained based on one 3D mesh watermarking algorithm and the addition property of Fourier transform. The experiments show that it is transparent，robust，accurate and cost－efficient.

Key Words：subdivision surface，watermarking technology，mesh model，loop－subdivision

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net