

一种三维网格模型零水印算法

孙媛媛, 胡 敏

(合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 提出一种三维网格模型零水印算法, 突破了常规水印算法修改模型数据以嵌入水印的作法. 通过三维网格模型的几何特征构造水印信息来实现三维网格模型的版权保护, 解决了三维网格模型水印算法中水印鲁棒性与透明性之间的矛盾. 实验结果表明: 该算法对几何变换、网格简化、随机噪声和剪切攻击都具有较好的鲁棒性.

关键词: 三维网格模型; 零水印; DWT

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)03-0170-03

A Zero -Watermark Algorithm for Three Dimensional Meshes

SUN Yuan-yuan, HU Min

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

Abstract: To protect the copyright of three dimensional meshes, non-watermark algorithm constructs marking watermark by the characteristic structure of three dimensional meshes instead of embedding watermark by altering the data of three dimensional meshes. The proposed method compromise the robustness and transparency of watermarked three dimensional meshes. Experimental results show the proposed method is both simple to implement and fairly robust against common mesh attacks such as geometrical transform, mesh simplification, mesh cropping, random noise added to the vertex coordinates etc.

Key words: there dimensional meshes; zero-watermark; DWT

1 引言

零水印是指不修改原始数据的信息, 通过利用原始数据的重要特征来构造一个水印^[1]. 零水印方法是一种新的数字水印方法, 很好地解决了不可见水印的透明性和鲁棒性之间的矛盾. 目前零水印算法的研究多集中于图像数字水印领域, 三维网格模型方面的研究甚少. 徐涛等在三维网格模型零水印技术^[2]中提出一种三维网格零水印算法, 但该算法由于和模型中心密切相关, 对剪切攻击的鲁棒性较差.

文中提出了一种结合空域不变量的变换域零水印算法, 构造出反映网格全局几何特征的水印. 不同于以往的水印算法采用顶点到中心的距离作为构造水印的基元, 采用表征顶点周围坐标变化的离散法向矢量作为构造水印的基元. 离散法向矢量的模长同顶点到中心的距离一样, 同样是仿射不变量, 与顶点到

中心的距离不同的是其与模型的中心点无关. 文中利用离散法向矢量的模长提取网格模型的全局几何特征, 并对其进行 DWT 变换, 提取能量集中的低频子带作为水印构造的最终来源. 通过实验进行了定量验证, 实验结果表明文中提出的零水印算法对常见的攻击具有鲁棒性.

2 算法的基本原理

三维网格模型具有某些相同或基本相同的全局几何特征, 如三维网格模型的大小、表面曲率、表面各点到中心的距离等. 要使构造的水印信息具有鲁棒性, 必须选择某种全局几何特征作为构造水印的基元. 文中算法选择离散法向矢量的模长作为构造水印的基元, 离散法向矢量的模长和顶点到中心的距离一样是一个仿射不变量, 而且它不依赖于模型的中心点, 所以不用通过将模型的中心移到原点来抵抗平移

收稿日期: 2009-03-09; 修回日期: 2009-06-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(60575023); 安徽省自然科学基金项目(070412046)

攻击,同时克服了文献[2]中算法依赖于模型中心点而不能抵抗剪切攻击的缺点.首先,计算网格各个顶点的离散法向矢量并转换到球面坐标;其次,根据转变后的球面坐标建立三维网格模型的球面坐标映射方阵,使得到的全局几何特征二维化;最后,对得到的球面坐标映射方阵进行二维 DWT 变换,提取能量集中的低频子带构造最终的水印信息.

2.1 离散法向矢量的计算

三维网格模型由一个顶点的集合 $P = \{p_i\}$ 以及连接关系的集合 C 组成.每个顶点 p_i 具有三维坐标,即 $p_i = (x_i, y_i, z_i)$.为三维网格模型的每个顶点 p_i 定义一个向量 n_i , n_i 代表 p_i 与所有与其相连的顶点的坐标值的差^[3],即

$$n_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{j \in S_i} (p_j - p_i) = (n_{ix}, n_{iy}, n_{iz}) \quad (1)$$

式中, S_i 表示与顶点 p_i 相连的所有顶点的下标集合, $|S_i|$ 表示与 p_i 顶点相连的顶点个数.向量 $n_i = (n_{ix}, n_{iy}, n_{iz})$ 实际上相当于一种“离散法向矢量”,用来表征顶点 p_i 周围的坐标变化.文中将 n_i 的模长作为构造水印的基元,这主要考虑到矢量 n_i 的欧几里德模长为一个仿射不变量,因此可以抵抗仿射变换.

2.2 网格模型球面坐标映射方阵的构造

将离散法向矢量转变到球面坐标,包括半径 r 、经度角 θ 、纬度角 φ .考虑到网格模型可能会遭受旋转攻击和顶点重排序攻击,因此需选定一特殊顶点作为网格分割的起始标志点,选取规则如下:按最大的 r 值搜索顶点,检查符合条件的顶点数目是否唯一,若不唯一,则按次大的 r 值继续上述过程,直至找到具有相对最大 r 值且数目唯一的顶点,选择其作为起始标志点.按起始标志点的参数修正网格各顶点的经、纬度角值: $\theta_i = \theta_i - \Delta\theta$, $\varphi_i = \varphi_i - \Delta\varphi$, $\Delta\theta$ 和 $\Delta\varphi$ 分别为起始标志点的经、纬度角值.

设定经度方向的间隔角度 $d\theta$ 和纬度方向的间隔角度 $d\varphi$,将网格模型划分为 $N \times N$ 个分块,由于经度角的取值范围为 0 到 2π ,而纬度角的取值范围为 $-\pi/2$ 到 $\pi/2$,因此 $d\theta = 2\pi/N$, $d\varphi = \pi/N$.计算落入各分块中顶点半径 r 的平均值,将其填入由间隔角度 $d\theta$ 和 $d\varphi$ 决定的 $N \times N$ 方阵对应各格中,得到网格模型的球面坐标映射方阵 I .

2.3 水印的生成

对球面坐标映射方阵 I 作二维 Haar DWT 变换,提取其低频子带 LL ,对该低频子带中各系数进行由小到大排序,取中间值作为阈值 T 对 LL 子带中的各个系数根据式(2)进行二值量化,生成大小为 $N/2 \times$

$N/2$ 的水印方阵:

$$W(m, n) = \begin{cases} 0, & \text{if } LL(m, n) \leq T \\ 1, & \text{if } LL(m, n) > T \end{cases} \quad (2)$$

将二维水印方阵转换为一组长度为 L 的一维二进制序列,并在知识产权(Intellectual Property Right, IPR)信息数据库中注册,在第三方 IPR 信息数据库注册过后此三维网格模型即具有合法的版权保护.

2.4 水印的检测

本算法是盲检测算法,检测水印无需原始网格模型的参与.检测过程和生成水印的过程相似:首先计算各顶点的离散法向矢量并球面坐标化;其次从 IPR 信息数据库得到注册的水印长度 L ,根据 $N = 2\sqrt{L}$ 得到球面坐标映射方阵的大小,对球面坐标映射方阵进行二维 Haar DWT 变换,同样提取低频子带 LL 根据式(2)生成水印;最后将生成的水印与在 IPR 信息数据库得到的注册水印进行相似度的比较.文中采用“归一化相关值”(Normalized Correlation, NC)进行相似度的比较.相似度计算式子如下:

$$NC = \frac{W^T W'}{\sqrt{W^T W} \sqrt{W'^T W'}} \quad (3)$$

其中, W 和 W' 分别是在 IPR 数据库注册的水印和由待测网格模型提取出的水印序列组成的列向量. $0 \leq NC \leq 1$, NC 值越大,表明水印相似度越高.通过实验文中将相关性的阈值设置为 0.5.

3 实验结果

为了验证文中算法,实验采用 bunny 兔子 3D 模型进行测试,该模型由 35947 个顶点和 69451 个三角形面片组成.实验中构造的球面坐标映射方阵的大小为 10×10 ,生成的水印长度为 25.

3.1 平移、旋转和各向一致缩放攻击

由于文中所采用的离散法向矢量与模型中心点无关,所以平移攻击对水印的提取不会产生影响;构造球面坐标映射方阵时设置的起始标志点使得模型在旋转前后可以划分到相同的分块中,使得模型旋转前后所构造的球面坐标映射方阵完全相同,因此旋转攻击不会对水印提取产生影响;当模型受到各向一致缩放攻击时,则网格模型顶点的离散法向矢量的模长缩放同样的比例,随之,构造出的球面坐标映射方阵及二维 Haar DWT 变换的小波系数也缩放同样的比例,但其小波系数的相对大小并没发生变化,而水印的构造和检测是小波系数排序后的二值量化结果,因此各向一致缩放攻击也同样不会对水印提取产生影响.

3.2 简化攻击实验

原始模型如图 1 所示.测试文中算法对简化攻击的抵抗能力时,采取 StanMelax 的算法^[4]对三维网格模型进行简化,实验结果见图 2 和表 1.由于离散法向矢量和网格的拓扑关系有关,而网格简化算法多是对模型的平坦区域进行简化,对离散法向矢量的影响不大.从表 1 可以看出,即使受攻击模型只剩很少的顶点,算法仍表现出较强的鲁棒性.



图 1 原始模型

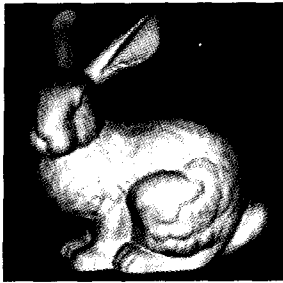


图 2 简化 50%

表 1 简化攻击实验结果

剩余顶点数	简化率	NC
26960	25%	0.9014
17973	50%	0.6405
8986	75%	0.5017

3.3 噪声攻击实验

噪声攻击实验,对三维网格模型的顶点坐标加入均匀的随机噪声.噪声向量的方向沿网格顶点到原点的连线,噪声的幅度定义为噪声向量的长度与网格顶点到网格中心的距离的比值^[5],它体现了噪声的强弱.噪声攻击实验的结果如表 2 所示,加过噪声的网格模型如图 3 所示.表 2 表明该算法对噪声攻击具有很强的鲁棒性.

表 2 噪声攻击实验结果

噪声幅度	NC
0.005	0.9231
0.01	0.8745
0.015	0.8154
0.02	0.7877

3.4 剪切攻击实验

文献[2]中所提算法由于和模型中心点密切相关,所以算法对剪切攻击的鲁棒性较差.文中所采用的离散法向矢量与模型中心点无关,因此对剪切攻击具有很强的鲁棒性.实验结果见图 4 和表 3.表 3 表明该算法对剪切攻击具有很强的鲁棒性.



(a) 噪声幅度为0.005



(b) 噪声幅度为0.015

图 3 加过噪声的网络模型

表 3 剪切攻击实验结果

剩余顶点数	剪切率	NC
32352	10%	0.9608
26960	25%	0.9608
17973	50%	0.9231
8986	75%	0.8462
3594	90%	0.6405



(a) 剪切25%



(b) 剪切50%



(c) 剪切90%

图 4 剪切攻击

4 结束语

文中提出了一个结合空域不变量的变换域零水印算法,构造出反映网格全局几何特征的水印.采用零水印很好地解决了不可见水印的不可感知和鲁棒性之间的矛盾.不同于以往的水印算法采用中心到顶点的距离作为构造水印的基元,文中采用表征顶点周围坐标变化的离散法向矢量作为构造水印的基元,离散法向矢量的模长不仅是仿射不变量同时与模型的中心点无关,可以解决文献[2]中的不抗剪切攻击.实验结果表明文中提出的零水印算法对常见的攻击具有鲁棒性.

参考文献:

[1] 温泉,孙钊锋,王树勋.零水印的概念与应用[J].电子学报,2003,31(2):214-216. (下转第 176 页)

工具进行扫描. GRMON 是 LEON 平台硬件仿真调试器, 支持基于 GRLIB 软核 IP 的 SOC 设计的硬件调试. 通过调试反馈的信息, 可以验证所配置的模块是否符合预期目标, 以及地址信息是否正确等.

使用 GRMON 扫描结果如图 4 所示, 由于 AMBA 总线的 plug&play 信息对 LEON 非自带设备均自动默认为未知设备 (Unknown device), 因此图中的 Unknown device 即本文嵌入到 SOC 平台的 SPI 模块. 它占用了 80000a00 - 80000b00 地址空间, 而 80000c00 - 80000e00 地址空间仍然是可以利用的, 因此还可以根据实际需求继续向此 SOC 平台中添加 IP 核.

```

01.01:000 Gaisler Research Generic APB UART (ver 0x1)
    irq 2
    apb: 00000100 - 00000200
    baud rate 38461, DSI mode (FIFO debug)
02.01:004 Gaisler Research Multi-processor Interrupt Ctrl (ver 0x3)
    apb: 00000200 - 00000300
03.01:011 Gaisler Research Modular Timer Unit (ver 0x0)
    irq 8
    apb: 00000300 - 00000400
    8-bit scalar, 2 = 32-bit timers, divisor 40
04.01:060 Gaisler Research Keyboard PS/2 interface (ver 0x1)
    irq 4
    apb: 00000400 - 00000500
05.01:060 Gaisler Research Keyboard PS/2 interface (ver 0x1)
    irq 5
    apb: 00000500 - 00000600
06.01:01a Gaisler Research General purpose I/O port (ver 0x0)
    apb: 00000600 - 00000700
0a.10:000 Gleichmann Electronics Unknown device (ver 0x0)
    irq 10
    apb: 00000700 - 00000800
0f.01:052 Gaisler Research APB status register (ver 0x0)
    irq 7
    apb: 00000800 - 00000900
....

```

图 4 GRMON 扫描结果

6 结束语

作为开源 SPARC 架构的 IP 软核微处理器,

LEON 以其良好的可移植性与可配置性成为建立片上系统的首选方案. 利用 LEON 软核和其它开源 IP 核可以方便地设计和继承典型的 SOC 平台. 文中完成了基于 LEON3 软核的 SOC 平台建立, 并将 SPI 模块嵌入到 SOC 平台中, 实现了 Verilog 模块与 VHDL 模块的互相兼容, 并通过写 wrapper 实现了 SPI 接口到 APB 总线的移植. 实验证明, 文中提出的方法是完全可行的, 为此 SOC 平台的进一步开发奠定了良好的理论和实践基础.

参考文献:

- [1] 夏继强, 周丽萍, 满庆丰. 基于 FPGA 的串行总线扩展平台[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(9): 127-130.
- [2] Jiri Gaisler. A portable and fault-tolerant microprocessor based on the SPARC V8 architecture[C]// IEEE Proceedings of the International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN'02). Maryland: Bethesda, 2002.
- [3] 李林, 张小林, 杨希. 基于 LEON 开源软核的 SOC 平台构建与测试[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2007(1): 32-35.
- [4] 桑伟伟, 杨军, 李锐. 一种基于 AMBA 总线协议的功能测试方法[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(3): 88-91.
- [5] Marc Bertola, Guy Bois. A methodology for the design of AHB bus master wrappers[C]// Digital System Design. Canada, 2003: 90-95.

作者简介:

孔璐女, (1986-), 硕士研究生. 研究方向为集成电路设计与系统集成.

(上接第 172 页)

- [2] 徐涛, 张艳宁. 三维网格模型零水印技术[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2007, 37(4): 901-904.
- [3] Ashourian M, Enteshary R. A new masking method for spatial domain watermarking of there-dimensional triangle meshes[C]// Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region (TENCON' 2003). Iran: Isfahan, 2003(1): 428-431.
- [4] Stan Melax. A simple, fast and effective polygon reduction algorithm[J]. Game Developer, 1998(11): 44-49.
- [5] 张静, 郑国勤. 基于几何特征的三维网格数字水印算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(4): 740-747.

作者简介:

孙媛媛女, (1984-), 硕士. 研究方向为三维模型数字水印技术.

胡敏女, (1967-), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为计算机图形学、数字图像处理等.