

基于八叉树空间分割的三维点云模型密写

綦 科, 谢冬青, 刘 洁

(广州大学计算机科学与教育软件学院, 广州 510006)

摘 要: 针对三维点云模型的信息隐藏, 提出一种基于八叉树空间分割的空域密写算法。对经过主成分分析后的三维点云模型建立包围盒, 利用八叉树空间分割得到小体元并记录分割过程, 通过顶点位移将信息嵌入到小体元内的不同空间位置。实验结果表明, 该算法在提取信息时不需要原始模型数据, 具有嵌入量高、失真度低的特点, 能够抵抗旋转、平移、均匀缩放和顶点重排序攻击, 适合于任意网格的三维模型信息隐藏。

关键词: 三维点云模型密写; 八叉树空间分割; 空域

3D Point Cloud Model Steganography Based on Octree Space Division

QI Ke, XIE Dong-qing, LIU Jie

(School of Computer Science and Education Software, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

【Abstract】 Aiming at the information hiding of 3D point cloud model, this paper presents a spatial domain steganography algorithm based on octree space division. Preprocessed by Primary Component Analysis(PCA), the bounding box of the 3D point cloud model is established and subdivided into voxel based on octree, in which octree structure is used to record segmentation process. The hiding messages are then embedded in the subspace of the voxel by moving the point position. Experimental results show that the extraction process of the algorithm does not need original data model when extracting information, it has features of high capacity and low distortion, it is robust against affine transformations and vertex reordering attacks and also suitable for any meshes of 3D model.

【Key words】 3D point cloud model steganography; octree space division; spatial domain

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.04.003

1 概述

目前, 信息隐藏的研究主要集中在图像^[1]、音频^[2]、视频等载体上。随着各种三维动画和应用的发展, 三维模型信息隐藏作为信息隐藏的一个分支得到了快速发展。三维模型一般分为三维网格模型和三维点云模型。由于网格模型的表示最普遍, 因此当前三维信息隐藏算法大多为三维网格信息隐藏^[3-4], 这些算法利用网格模型的拓扑、边信息、网格之间的角度信息隐藏信息。由于点云模型不具备网格模型的边、拓扑、网格等信息, 因此大多三维网格模型的信息隐藏算法不适用于三维点云模型。文献[4]在空域对点云模型的顶点坐标进行 3 个自由度的位移, 在每个顶点嵌入 3 bit 信息, 获得高容量的信息隐藏。文献[5]提出一种基于伪频谱分析的三维点云模型的水印算法, 具有较高的鲁棒性但是嵌入容量小。文献[6]提出一种基于 PCA 和对称位置置换的三维点云模型密写算法, 只能在每个顶点嵌入 0.5 bit 信息。文献[7]提出一种无损信息隐藏算法, 通过对顶点的 8 邻居集合进行整数 DCT 变换, 在 DCT 高频系数中嵌入信息, 具有高鲁棒性和低嵌入量的特点。

本文针对三维点云模型, 提出一种基于八叉树空间分割的空域密写算法, 由于该算法无须依赖顶点排列和拓扑结构, 因此适合于任意网格的三维模型信息隐藏。

2 基本原理

本文算法基于文献[8]提出的主成分分析(PCA)和文献[9]提出的八叉树建模方法。三维点云模型经过 PCA 预处理调整位置和姿态后, 对平移和旋转攻击具有不变性。对经过 PCA

预处理后的模型建立包围盒, 然后对包围盒按照八叉树空间分割进行一定层次的空间分割得到小体元, 每个小体元包含一个或多个模型顶点, 通过顶点的位移将信息嵌入到小体元内的不同空间位置。选择在八叉树空间分割后的小体元中嵌入信息, 即对模型的顶点坐标在相当小的一个空间范围内做轻微扰动, 不改变该三维模型的外观。在信息提取时, 经过轻微扰动嵌入的信息不会影响模型的 PCA 预处理和八叉树再次分割, 从而可以在盲提取的前提下抵抗旋转、平移、均匀缩放和顶点重排序攻击。

3 本文算法

3.1 PCA 预处理

由于本文只应用顶点数据进行信息隐藏, 因此三维点云模型 O 建模为顶点 $V \in O$, v_i 表示第 i 个顶点, 其对应的坐标为 $v_i = (x_i, y_i, z_i)$ 。

主成分分析 PCA 预处理的目的是将三维模型调整到唯一姿态, 从而使模型对平移和旋转攻击具有不变性。PCA 预处理包括 2 个步骤:

(1) 中心平移。首先计算模型所有顶点的中心 $k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N v_i$,

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2009AA012420); 广东省自然科学基金资助项目(9151009001000059)

作者简介: 綦 科(1972-), 男, 副教授、博士研究生, 主研方向: 信息隐藏, 图像处理, PKI/PMI; 谢冬青, 教授、博士、博士生导师; 刘 洁, 高级实验师、硕士

收稿日期: 2010-07-14 **E-mail:** qikersa@163.com

其中, N 为模型的顶点数。然后将三维模型平移使模型中心 k 与坐标原点配准, 得到平移后的三维模型 O' , 顶点 $v' \in O'$, v' 对应的坐标为 $v' = (v'_x, v'_y, v'_z)$ 。经过中心平移后的模型对平移攻击具有不变性, 并且为信息提取提供对齐和配准的坐标原点。

(2) 主轴匹配。对经过中心平移后的顶点 $v' \in O'$, 计算其协方差矩阵 c :

$$c = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^N X_i'^2 & \sum_{i=0}^N X_i' Y_i' & \sum_{i=0}^N X_i' Z_i' \\ \sum_{i=0}^N X_i' Y_i' & \sum_{i=0}^N Y_i'^2 & \sum_{i=0}^N Y_i' Z_i' \\ \sum_{i=0}^N X_i' Z_i' & \sum_{i=0}^N Y_i' Z_i' & \sum_{i=0}^N Z_i'^2 \end{bmatrix}$$

计算矩阵 c 的 3 个特征值 ($\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$) 对应的特征向量 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 。将 β_1 与 z 轴对齐得到旋转矩阵 M_1 , 然后将旋转变换后的 β_2 与 x 轴对齐得到旋转矩阵 M_2 。由于 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 相互正交, 因此此时 β_3 必与 y 轴对齐, 得到总的旋转矩阵 $M = M_1 \times M_2$ 。通过对模型顶点 v' 做相应旋转, 可以使三维模型调整到唯一姿态, 对旋转攻击具有不变性。

3.2 八叉树空间分割

八叉树空间分割是依据三维点云模型顶点空间分布的特点, 首先建立点云的包围盒, 然后对包围盒按照 8 个象限进行递归分割, 逐步分解成一系列被单一类型区域包含的立方体小体元, 以八叉树结构记录分割过程, 具有分割速度快、记录节点搜索速度快的特点。

由于三维模型的八叉树空间分割结果严格依赖于模型的初始姿态, 因此初始包围盒的不同方向将导致不同的空间分割结果。为了准确提取信息, 含密模型和初始模型必须具有相同的八叉树记录结构, 因此, 对一个点云模型进行八叉树剖分前, 需要应用 3.1 节的 PCA 预处理方法将原始模型调整到唯一姿态。

经过 PCA 预处理的点云模型中心移到原点, 将原点作为八叉树空间分割正方体包围盒的中心, 以模型顶点和中心的最大距离作为包围盒的尺寸, 将该立方体包围盒作为八叉树的根节点, 然后对模型进行自顶向下的八叉树剖分, 每个子立方体均被视为根节点的子节点, 由此划分下去, 将包围盒分割成多个小体元。空间分割采用均匀轴向剖分, 每次剖分的子包围盒的尺寸是上层包围盒的 $1/2$, 剖分停止的条件是预先指定的层次, 即代表八叉树叶子节点的小体元尺寸 $s' = 2^{-n} \times s$, 其中, s 为原始包围盒尺寸; n 为预先设定的剖分层次。最终形成的八叉树具有如图 1 所示的记录结构, 其中, 黑色节点表示该节点中含有三维模型的顶点; 白色节点表示该节点中不包含三维模型的顶点。

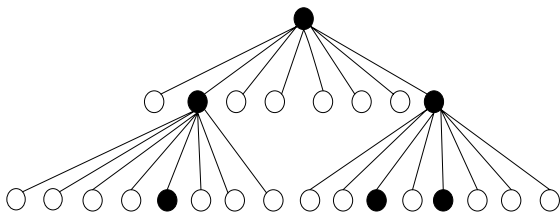


图 1 八叉树结构

经过八叉树空间分割后的三维模型, 每个顶点一定位于某个特定的叶子节点表示的小体元内, 即每个小体元包含一个或多个模型顶点。

3.3 信息嵌入

对于内含顶点的小体元, 将小体元再次进行空间细分,

通过将顶点位移至不同细分空间的中心位置, 实现待隐藏信息的嵌入。

令 $C_{\max}$ 为小体元隐藏信息比特数, 则小体元细分空间数 $l = 2^{C_{\max}}$ 。如图 2 所示, 设 $C_{\max} = 3$, 则小体元被分为 $l = 2^{C_{\max}} = 8$ 个细分空间, 对每个细分空间按照一定的顺序编码为 (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111)。设 A 为小体元内包含的三维模型顶点, 待隐藏信息为 “010”, 则将 A 点位移至与待隐藏信息有相同编码状态 (010) 的细分空间的中心点 o , 实现 3 bit 信息嵌入。

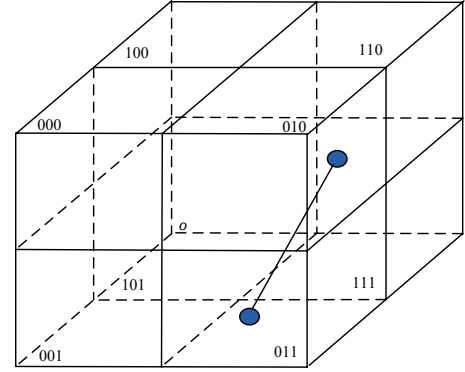


图 2 小体元空间细分和信息嵌入

如果小体元内含有的顶点数大于 1, 则该小体元不能作为信息嵌入单元。

事实上, 当小体元细分空间数 $l = 2^{C_{\max}} > 8$ 时, 在小体元内可以嵌入的信息比特数 $C_{\max} > 3$ 。因此, 每个可嵌入顶点至少嵌入 3 bit 信息。

在信息嵌入过程中, 八叉树叶子节点 (小体元) 的选择顺序决定了信息嵌入的顺序, 因此, 采用伪随机选择方法, 从八叉树记录结构中随机选取叶子节点, 生成信息嵌入的顶点序列。

3.4 信息提取

信息提取过程与信息嵌入过程类似: 先对待检测的三维模型进行 PCA 预处理, 然后按照 3.2 节方法构造八叉树记录结构。按照信息嵌入相同的伪随机序列, 选择八叉树叶子节点, 对叶子节点按照 3.3 节方法进行空间细分, 最后依据顶点在小体元内的空间位置编码提取信息。

4 实验结果

为了验证算法的嵌入量和失真度, 实验以 VC++6.0 为编程语言, 在配置为 Pentium Dual-Core CPU 2.0 GHz 和 2 GB 内存的 PC 机上实现。

实验设定 $C_{\max} = 3$, 即在每个可嵌入顶点嵌入 3 bit 信息。模型的可嵌入顶点数为 $(N - N_{in} - N_{edge})$, 其中, N 为三维模型的顶点数; N_{in} 为内含顶点数大于等于 2 的所有小体元中顶点数之和; N_{edge} 为确定三维模型正方体包围盒尺寸的顶点数, 即具有最大和最小坐标值的 2 个顶点。因此, 模型的最大可嵌入容量 $C = 3 \times (N - N_{in} - N_{edge})$ 。实验预先设定的八叉树剖分停止层次 $n = 11$ 。

实验选取 5 个三维模型作为测试对象, 测试结果如表 1 所示。表 1 列出了载体模型的顶点数、网格数、嵌入信息量和失真度。失真度^[10]: $d = RMS(U, C) / d_B$, 其中, U 为原始三维模型; C 为含密模型; d_B 为原始三维模型外接包围盒的对角线长度; $RMS(U, C)$ 为原始模型与含密模型间的 Hausdorff

距离。

表1 三维模型测试结果

载体模型	顶点数	网格数	嵌入信息量/bit	失真度/ 10^{-5}	嵌入时间/s
status	25 020	49 894	75 036	1.59	≈ 1.7
horse	48 485	96 966	145 401	2.89	≈ 3.1
tree	14 979	12 322	44 913	3.06	≈ 1.3
light	8 345	15 982	25 017	2.25	≈ 0.7
bunny	35 947	69 451	107 814	2.13	≈ 2.5

图3和图4分别是bunny模型和horse模型在信息隐藏前后的对比图,从实验结果可以看出,信息隐藏后的模型失真度小,视觉完全分辨不出模型是否含密。

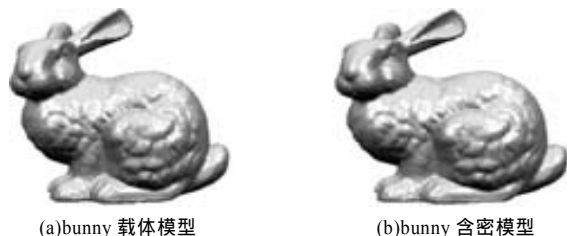


图3 bunny模型在信息隐藏前后的对比

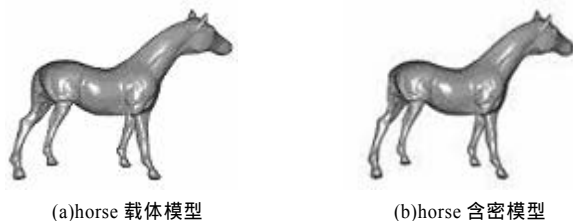


图4 horse模型在信息隐藏前后的对比

本文算法只应用了顶点坐标数据作为信息隐藏的载体,而没有用到边、拓扑等数据,为了测试算法的鲁棒性,实验对含密载体进行了旋转、平移、均匀缩放和顶点重排序测试。实验结果表明,在抽取隐藏信息时没有发生错误,算法对仿射变换攻击和顶点重排序攻击具有鲁棒性。当均匀收缩攻击时,由于计算精度和存储精度问题,因此可能发生信息抽取错误。

5 结束语

本文提出一种针对三维点云模型的盲提取密写算法。利用基于PCA预处理的八叉树空间分割的特性,通过顶点位移

将信息嵌入到八叉树叶节点表示的小体元内的不同空间位置,算法具有高嵌入量、低失真度的特点。今后工作是将本文算法应用于无损信息隐藏领域,以及将PCA预处理后的八叉树空间分割方法扩展应用于脆弱水印领域。

参考文献

- [1] 刘志军. 基于小波域块分类的信息隐藏算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(12): 144-146.
- [2] 柴毅, 刘一均, 郭茂耘, 等. 鲁棒的高容量音频信息隐藏算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(4): 162-163.
- [3] Zafeiriou S, Tefas A, Pitas I. Blind Robust Watermarking Schemes for Copyright Protection of 3D Mesh Objects[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2005, 11(5): 596-607.
- [4] Cheng Yuming, Wang Chung-Ming, Tsai Yuan-Yu, et al. Steganography for Three-dimensional Models[C]//Proc. of CGI'06. Hangzhou, China: [s. n.], 2006.
- [5] Cotting D, Weyrich T, Pauly M, et al. Robust Watermarking of Point-sampled Geometry[C]//Proc. of International Conference on Shape Modeling and Applications. Genova, Italy: [s. n.], 2005.
- [6] Wang Chung-Ming, Wang Peng-Cheng. Data Hiding Approach for Point-sampled Geometry[J]. IEICE Transactions on Communications, 2005, E88-B(1): 190-194.
- [7] Luo Hao, Pan Jeng-Shyang, Lu Zheming. Reversible Data Hiding for 3D Point Cloud Model[C]//Proc. of the 2006 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Pasadena, California, USA: [s. n.], 2006.
- [8] Kalivas A, Tefas A, Pitas I. Watermarking of 3D Model Using Principle Component Analysis[C]//Proc. of ICASSP'03. New York, USA: ACM Press, 2003.
- [9] Eagher D. Geometric Modeling Using Octree Encoding[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1982, 19(2): 129-147.
- [10] Cheng Yuming, Wang Chung-Ming. An Adaptive Steganographic Algorithm for 3D Polygonal Meshes[J]. The Visual Computer, 2007, 23(9-11): 721-732.

编辑 陆燕菲

(上接第6页)

用户接入WLAN_2网络,而ASABT算法选择接入性能稍逊、信任度较高的UMTS网络。从图4可以看出,在相同情况下,本文提出的ASABT算法与基于灰度关联的接入选择算法相比,使用户获得了更好的服务体验。

5 结束语

本文以异构无线网络为背景,提出了一种基于信任度的接入选择算法ASABT,将网络信任度作为接入网络选择的一个重要因素。移动用户在选择网络前,首先向可信第三方请求网络的信任度,进而利用信任度对网络性能指标进行信任加权,同时考虑用户个人偏好,对备选网路进行逼近理想解的排序,最终得到最优接入网络。仿真实验表明,该方法综合考虑了网络多种性能指标及其信任度,为用户选择高效可信的接入网络提供了依据。

参考文献

- [1] Zhang Qian, Guo Cuanxiong, Guo Zihua, et al. Efficient Mobility Management for Vertical Handoff Between WWAN and WLAN[J].

IEEE Communications Magazine, 2003, 41(11): 102-108.

- [2] Majlesi A, Khalaj B H. An Adaptive Fuzzy Logic Based Hand Off Algorithm for Interworking Between WLANs and Mobile Networks[C]//Proc. of IEEE International Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Lisbon, Portugal: [s. n.], 2002.
- [3] 李军, 房雅丁, 宋梅, 等. 异构网络中一种基于灰度关联的动态接入选择策略[J]. 北京邮电大学学报, 2006, 29(增刊): 175-177.
- [4] 唐文, 陈钟. 基于模糊集合理论的主观信任管理模型研究[J]. 软件学报, 2003, 14(8): 1401-1408.
- [5] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [6] 万树平. 多传感器信息融合的Vague集法[J]. 计算机工程, 2009, 35(12): 259-260.

编辑 顾姣健