

基于三维几何视觉重要性的纹理图像选择压缩算法

杨柏林¹ 金剑秋¹ 江照意¹ 韩建伟¹ 王勋¹

摘要 不同于传统二维图像, 映射到三维模型上的纹理图像隐式包含了三维几何视觉信息. 然而, 目前已有的纹理图像压缩方法并未考虑此特性. 本文提出了一种与三维模型几何视觉特性相关的纹理图像选择压缩算法. 首先给出一种结合纹理图像的显著性及其纹理走样的视觉重要性图构建方法, 将纹理图像划分为具有不同优先级区域. 之后, 利用提出的选择压缩方法对它们进行不同比例压缩. 实验结果表明当选择本压缩算法时, 纹理化三维模型能够获得较好的视觉效果.

关键词 几何相关, 视觉重要性, 感兴趣区域, 纹理压缩

引用格式 杨柏林, 金剑秋, 江照意, 韩建伟, 王勋. 基于三维几何视觉重要性的纹理图像选择压缩算法. 自动化学报, 2013, 39(6): 826–833

DOI 10.3724/SP.J.1004.2013.00826

Selective Compression for Texture Map Image Based on Visual Importance from 3D Geometry

YANG Bai-Lin¹ JIN Jian-Qiu¹ JIANG Zhao-Yi¹ HAN Jian-Wei¹ WANG Xun¹

Abstract Different from common 2D images, when a texture map image is project to a 3D model in the 3D space, it also implicitly associates with certain 3D geometry information. However, existing common texture map image compression methods do not take this into account. In this paper, we present a visual importance driven selective compression method for texture map image. Firstly, a visual important map construction method is presented, which takes not only the saliency information of the texture image but also the distortion of texture mapping into account. With this visual importance map, the texture map image is divided into several distinct areas. Then, the selective compression method is presented to compress these areas with a varying compression ratio. Experimental results show that the textured 3D model can obtain a better visual result when adopting our method.

Key words Geometry dependent, visual important, region of interest (ROI), texture map compression

Citation Yang Bai-Lin, Jin Jian-Qiu, Jiang Zhao-Yi, Han Jian-Wei, Wang Xun. Selective compression for texture map image based on visual importance from 3D geometry. *Acta Automatica Sinica*, 2013, 39(6): 826–833

近年来, 加载纹理的三维模型由于具有强烈的真实感而被广泛应用到许多三维图形应用程序中, 如在线三维游戏、在线商品虚拟展示和军事仿真等. 然而, 当这些在线三维应用程序变得复杂庞大时, 其所使用的三维模型也需要更高分辨率的纹理图片. 而这些高分辨率大数据纹理图片由于在传输时需耗费大量网络带宽, 导致了网络传输时延现象的产生,

并使客户端无法完成纹理化模型的交互式实时绘制.

因此, 以减少网络中传输数据量为目标的各种纹理压缩技术被提出. 如目前被认为是纹理图像压缩标准的 DXTC^[1] 以及相应的改进方法^[2–3] 等. 然而, 这些方法的解压操作都是在本地进行. 对于某些在线三维应用程序, 我们需要纹理图像渐进地传输到客户端并进行解压和显示. 因此, 为减少网络中传输的数据量, 可以采用一些满足渐进式传输的通用图像压缩技术, 如 SPIHT^[4], JPEG^[5], JPEG 2000^[6] 等.

当观察一个普通二维图像时, 我们通常会注意一些显著性区域. 这些区域往往比其他区域在视觉上更加重要, 因此不需要将所有的图像进行同程度的压缩. 为此, 上述相关压缩技术使用了感兴趣区域编码 (Region of interest, ROI)^[7–8] 方法. 此方法允许将 ROI 区域设定为高优先级, 而其他区域也就是背景区域设定为低优先级. 然而, 如何找到二维图像中合适的 ROI 仍然是一个未彻底解决的问题. 一些方法利用眼跟踪仪器或者特定的能够模拟人类视觉

收稿日期 2012-06-12 录用日期 2012-10-12
Manuscript received June 12, 2012; accepted October 12, 2012
浙江省杰出青年自然科学基金 (LR12F02001), 国家自然科学基金 (61170214, 61170098), 浙江省自然科学基金 (Z1101340), 浙江省教育厅科研重点项目 (Z201018041), 浙江省科技计划项目 (2012C21028) 资助
Supported by Zhejiang Provincial Science Fund for Distinguished Young Scholars (LR12F02001), National Natural Science Foundation of China (61170214, 61170098), Zhejiang Provincial Natural Science Foundation (Z1101340), Foundation of Zhejiang Education Committee (Z201018041), Science and Technology Agency Project of Zhejiang Province (2012C21028)
本文责任编辑 贾云得
Recommended by Associate Editor JIA Yun-De
1. 浙江工商大学计算机与信息工程学院 杭州 310018
1. School of Computer and Information Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018

系统 (Human vision system, HVS) 的滤波器来进行跟踪. 然而, 这些方法都依赖于人类的交互或者先验知识. 不同于上述方法, 文献 [9–12] 提出了利用特征集成理论, 选择某些视觉特征, 如颜色、强度、方向、大小、对称性等基本特征, 利用中央 - 周边机制自动地选择高显著性区域. 然而, 这些方法无法达到实时效果, 为此文献 [13] 提出了仅仅利用边检测、阈值分解、距离转换等简单操作完成, 整个过程简单有效. 此外, 文献 [14] 以三维模型的顶点曲率为基本特征, 将视觉显著性检测方法扩展到三维模型中, 获得视觉显著性区域. 不同于通用的二维图像, 纹理图像不仅包含了 2D 纹理颜色信息, 同时隐性包含了对应到三维模型的几何信息. 因此, 在选择显著性区域的时候若没有考虑几何信息, 那么纹理图片的视觉重要性区域并不能正确地获得. 但是, 目前可查文献并没有一种方法在定义纹理图像的显著性区域考虑几何信息. 为此, 本文提出了一种结合几何视觉信息的纹理图像显著性区域检测方法. 当获得 ROI 区域之后, 需采用有效的 ROI 编码方法对图像进行编码, 以保证 ROI 区域能够获得更好的重构质量. JPEG 2000 标准里提供了两种 ROI 编码方法, 即最大位移法 (MaxShift) 和一般位移法 (General scaling based). 一般位移法允许用户定义 ROI 的优先级. 然而, 此方法的主要缺陷在于其只能应用于规整形状如矩形、圆形等 ROI 区域上. 最大位移法可以应用于各种非规整形状上, 但是并不能调整 ROI 和背景区域的相对重要性. 并且, 此方法不能对整个图像中的多个 ROI 区域定义不同的优先级. 为此, 本文提出了一种针对纹理图片的基于几何视觉重要性的选择压缩算法, 在最大位移法基础上进行选择压缩, 可以根据纹理图像中各个不同的 TROI 区域的优先级进行不同级别的压缩, 以获得不同的重构质量. 第 1 节给出了视觉重要性图的生成方法, 考虑了纹理图像的视觉显著性信息以及纹理图像的映射走样信息. 基于此重要性图, 第 2 节给出选择压缩方法. 在此方法中, 纹理图像被划分为多个具有不同优先级的离散纹理单元感兴趣区域和背景区域. 通过选择性提升小波系数来调整背景区域和多个不同纹理单元感兴趣区域的压缩质量. 第 3 节给出实验结果及其讨论. 最后是结论和未来工作.

1 视觉重要性图生成

在构建视觉重要性图的过程中, 我们综合考虑了纹理图像的视觉显著性信息和纹理图像的映射走样信息.

1.1 显著性纹理图构造

为获取每个纹理单元的视觉显著性值, 本文提出了一种改进的面向纹理图像的显著性区域检测方

法. 为识别纹理化模型的显著性区域, 综合考虑了三维模型的几何信息和表面信号信息如纹理, 并分别通过构造几何特征图和纹理特征图构建最终的显著性图. 算法执行框架如图 1 所示. 算法具体实现过程如下:

步骤 1. 分别获得三维模型的每个顶点平均曲率及其纹理颜色信息.

步骤 2. 根据已获得的顶点平均曲率信息, 使用中央 - 边缘差异操作^[15] 及其非线性归一化操作以获得几何特征图^[16].

步骤 3. 根据已获得的纹理颜色值, 计算颜色 C 、强度 I 和本地熵 E 等特征图.

1) 执行从 2D 纹理空间到 3D 几何空间的逆映射操作, 取得每个顶点所对应纹理单元以及所有相邻纹理单元;

2) 在纹理域通过中央 - 边缘差异操作计算每个顶点所对应的纹理单元的颜色、强度和本地熵特征值, 并形成相应的特征子图.

3) 执行加权归一化操作将上述三个特征子图合并为纹理特征图;

步骤 4. 加权归一化操作将纹理特征图与几何特征图融合形成最终的显著图.

此时能够从此显著性图中获取每个顶点的显著性值, 通过以下步骤可获得每个纹理单元的显著性值 ρ , 并形成显著性纹理图 (Saliency texture map, STM).

1) 将每个三角形从三维几何域投影到二维图像域;

2) 在二维图像域中对每个三角形执行二次线性插值操作, 每个纹理单元都可获得一个唯一的显著性值 ρ .

3) 将每个纹理单元的显著性值输出为一个颜色值在 0~255 之间的显著性纹理图.

从我们提出的显著性纹理图构建方法可以看出, 由于几何特征图和纹理特征图都是在三维空间中进行计算, 从而保证了此方法能够获得不同角度下的视觉显著性部分. 同时, 通过投影操作, 将这些不同视角下的视觉显著性部分反馈到最终的显著性纹理图中. 由于显著性纹理图构造部分是整个视觉重要性图的主要运行部分, 此处以 Head 和 Raptor 两个纹理化模型为例, 给出此算法的运行时间和效率, 如表 1 所示. 算法运行时间包括几何特征图、纹理特征图和最终的显著性特征图计算时间. 实验环境为 Intel 双核 3 GHz CPU、3.25 GB 内存 HP 图形工作站.

1.2 纹理走样图构造

纹理映射过程中会产生走样现象. 因此, 除了考虑纹理的显著性之外, 将纹理映射中产生的走样作

为决定视觉重要性区域的另一个视觉重要性尺度. 针对纹理变形, 采用一个 3×2 的 Jacobian 矩阵表示, 其中 Jacobian 矩阵的最大和最小奇异值分别表示最大和最小的参数化变形. 选择最小奇异值 ϕ . ϕ 值越小, 在纹理空间的三角形采样频率就越大. 当获得每个三角形中所有顶点的最小奇异值 ϕ 时, 取这些顶点的平均值. 之后, 将这些三角形面片投影到纹理空间并执行二次线性插值操作. 与 STM 类似, 所有的奇异值将被输出为纹理走样图 (Texture

distortion map, TDM), 如图 2 所示.

最后, 执行非线性归一化操作 $\sigma = N(\rho(u, v)) \cdot N(\phi(u, v))$ 得到每个纹理单元的重要性值, 最终将 STM 和 TDM 融合成视觉重要性图 (Visual important map, VIM), 如图 2 最右边一列所示. 可以看出, 纹理图 Horse 中的视觉重要性区域, 如嘴巴、眼睛、腿及其背上的白色部分都能够检测出来; 对于纹理图 Raptor, 嘴巴、眼睛和爪子等视觉重要性区域也能够被检测出来.

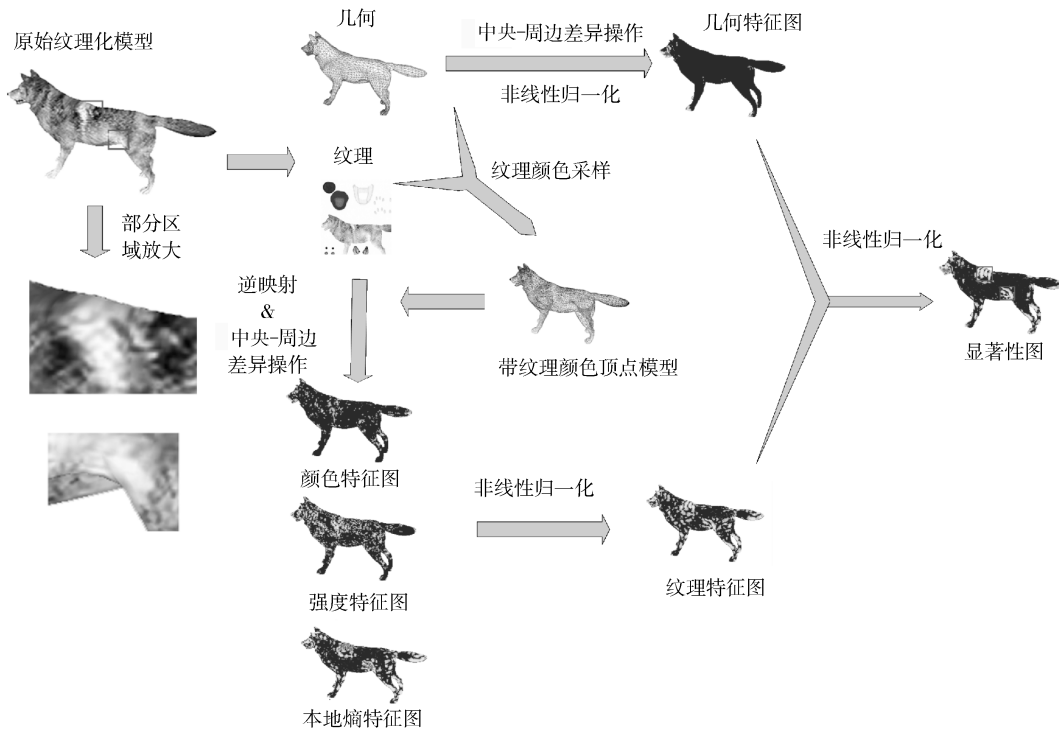


图 1 显著性特征图检测方法

Fig. 1 Detection method of feature map

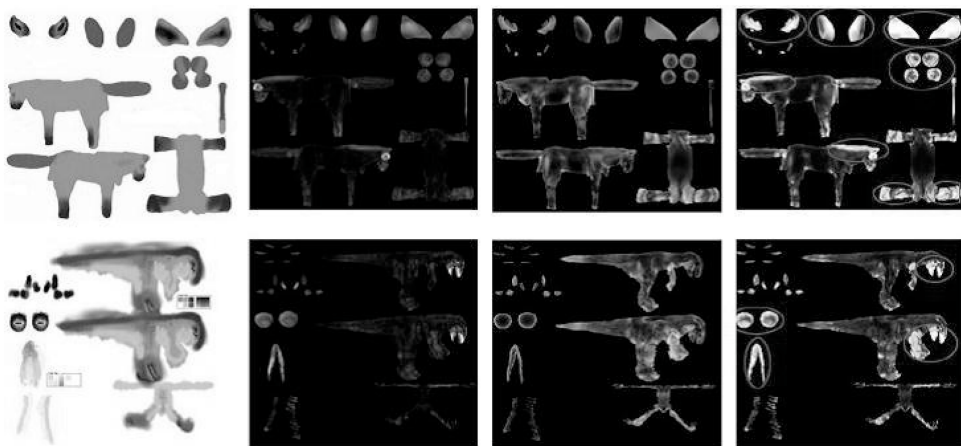


图 2 两个纹理图像 (Horse 和 Raptor) (从左至右分别为原始纹理、STM、TDM 和 VIM)

Fig. 2 Two textures: Horse and Raptor (From left to right: original texture, STM, TDM, and VIM)

表1 显著性图生成时间(s)

Table 1 The time cost of saliency map (s)

模型 (顶点数)	几何 特征图	纹理 特征图	显著 特征图	总计
Head (22 546)	13.2	39.4	16.8	69.4
Raptor (9 873)	8.2	27.3	10.6	46.1

2 选择压缩算法

2.1 离散多 TROI 定义

从 VIM 的构成过程得知, VIM 中每个纹理单元的视觉重要性值 (Visual important value, VIV) 的变化范围是 $0 \sim 255$. 本文将 VIV 值大于某个给定临界值 C 的纹理单元定义为感兴趣纹理单元 (Texel of interest, TOI), 并称这些 TOI 为纹理单元感兴趣区域 (Texel region of interest, TROI). 反之, 小于 C 的纹理单元以及纹理图像中的空白区域 (纹理图像是有多个不同小的子纹理块组成, 这些子纹理块之间一般有一些空白区域) 称为背景 (Background, BK). 我们定义纹理图像中所有的纹理单元个数为 N , TOI 个数则为 NT , BK 中纹理单元的个数为 N_g .

通常, ROI 都定义为一个固定形状^[17], 如圆形、矩阵形状等, 并且所有的感兴趣像素都在此 ROI 内部. 然而, 不同于已有文献中关于 ROI 形状的定义, 本文定义的 TROI 并不是一个固定的形状, 在此 TROI 中, TOI 分布在纹理图像中. 从 VIM 可以看出, 各个 TOI 由于视觉重要性不同, 相应的 VIV 值并不相同. 在执行纹理压缩时, 应当根据各个 TOI 的 VIV 的值不同对其进行有选择性的压缩. 然而, 由于 VIV 值是 $0 \sim 255$, 并不能将其分成 255 个等级再对其每一个等级进行选择压缩.

将 TROI 和 BK 分成若干 M 不同等级, 并给每个等级赋予相应的优先级. 一种方法是根据 VIV 将这些 TROI 平均分成 M 个级别. 由于在整个 VIM 中 VIV 的分布不同, 此方法造成了每个等级拥有不同数量的 TOI, 甚至可能导致某些等级没有一个 TOI. 例如, 表 2 列出了将纹理图像 Horse 按照 VIV 值平均分成 10 个等级及其每个等级中 TOI 的分布个数. 可以看出, 每个等级包含的 TOI 不相同, 其中等级 8 包含了很少的 TOI, 它的数量仅占据整个 TOI 的 0.102%. 由于本文采用的是一种基于 MaxShift 的选择提升方法 (见第 2.3 节), 我们会对

某些高优先级别的 TOI 进行小波系数提升. 然而, 若此等级的 TOI 个数非常少, 即使执行提升也不能获得较好的压缩质量, 反而会导致压缩效率较低.

为此, 本文提出一种新的等级划分方法. 不同与上述按照 VIV 的值进行平均划分方法, 我们主要考虑每个等级的 TOI 个数 N_r , 根据需要尽量保证每个等级 N_r 个数及其所占据比例 $R_r = N_r/N$ 相同. 如果 TROI 分成 M 个级别, 那么每个级别所占据的比例定义为 R_1, R_2, \dots, R_M , 每个等级的优先级定义为 P_1, P_2, \dots, P_M , 其中 P_M 为最低优先级.

2.2 离散多 TROI 的小波域掩码生成

从上述可以看出, 纹理图片被分成多个离散的具有不同优先级的 TROI. 在解压时若对这些 TROI 重构, 需在压缩编码时构造出与其对应的小波域掩码, 以获得重构每个 TROI 所需要的小波系数. 当使用小波分解算法时, 空间域上的图像 L_0 在小波域上分解成多个不同分辨率层次, 即 L_1, \dots, L_n . 因此, TROI 小波域掩码的生成方法是从 L_1 到 L_n 逐层进行遍历, 并对每一层次的行和列进行变换. 根据此小波变换, 可以确定重构空间域上每个像素所需的小波系数. 如: 将原始图像中的样本点定义为 $X(2n)$ 和 $X(2n+1)$, 而 $L(n)$ 和 $H(n)$ 等分别是属于某个样本的低频和高频子波带. 对于 5/3 小波来说, 逆变换如下:

$$X(2n) = \frac{L(n) - (H(n-1) + H(n))}{4} \quad (1)$$

$$X(2n+1) = \frac{L(n) + L(n+1)}{2} + \frac{6H(n) - H(n-1) - H(n+1)}{8} \quad (2)$$

可以看出, 为重构出 $X(2n)$, 需要 $L(n)$, $H(n-1)$ 和 $H(n)$. 对于 $X(2n+1)$, 需用 $L(n)$, $L(n+1)$, $H(n-1)$, $H(n)$ 和 $H(n+1)$. 因此, 若 $X(2n)$ 或 $X(2n+1)$ 属于 TROI, 那么其所依赖的相应高频和低频子波带需加入小波域掩码中.

然而, 由于多个离散 TROI 具有不同的优先级, 因此属于这些 TROI 的系数也应当在掩码生成过程中赋予相应的优先级. 从掩码生成过程可以看出, 在原始纹理图像中相邻样本存在一些相同的子带. 如 $L(n)$, $H(n-1)$ 和 $H(n)$ 都与原始图像中样本 $X(2n)$ 和 $X(2n+1)$ 相关. 如果 $X(2n)$ 和 $X(2n+1)$

表2 纹理图像 Horse 的 TOI 被分成的 10 个等级及其每个等级 TOI 分布

Table 2 The TOIs of Horse texture image divided into 10 ranks and the TOI's distributions of each rank

等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
个数	48 342	3 371	3 604	2 207	1 089	1 218	329	67	1 803	1 790
比率	0.7376	0.0514	0.0549	0.03367	0.01661	0.01858	0.0050	0.00102	0.02751	0.027313

具有相同的优先级, 可以赋 $L(n)$, $H(n-1)$ 和 $H(n)$ 相同优先级. 然而, 正如第 2.1 节所述, 处于不同优先等级的 TOI 会彼此相混, 这样造成相邻的原始样本拥有不相同的优先等级.

目前, 已有的文献只是提出了确定相应的子带是否是小波域上的感兴趣区域的方法, 并没有给出一种对相应的子带系数赋予不同优先级方法. 一种比较容易实现的方法是取这些相邻样本中优先级值最大或最小值赋给相应子带. 但是, 此方法会改变每个分解层次中各个等级所占比例 R_i 的大小. 例如: 如果选择最大原则, 那么属于低等级 TROI 的小波系数将会随着小波分解的层次增高逐渐减少并最终导致它们在高层次消失. 因此, 为了保证所有分解层次的每个等级的比率保持不变, 提出采用下面的方法给每个分解层的每个子带赋予一个合适的优先级.

步骤 1. 获得所有相邻接的原始样本的优先权之和. 例如, 如果 $X(2n)$, $X(2n+1)$, $X(2(n+1))$ 和 $X(2(n+1)+1)$ 的优先级分别是 P_1, P_2, P_3 和 P_4 , 那么定义与此四个样本相关的系数如 $H(n)$ 的优先级是 P_1, P_2, P_3 和 P_4 的总和, 即 $(P_1+P_2+P_3+P_4)$;

步骤 2. 对所有的系数的优先级总和按照升序进行排序;

步骤 3. 将这些系数的优先级总和按照相同的比例重新划分成 M 个等级, 并给每个小波系数赋予相应的优先等级值.

2.3 针对多 TROI 的系数选择提升方法

在决定被提升的 TROI 后, 可以利用 MaxShift 对每个子带相关的系数进行提升. 然而, 利用 MaxShift 时并不能对具有不同优先级的 TROI 获得不同的压缩率. 本文在 MaxShift 方法基础上提出了选择提升掩码方法 (Selective shift mask, SSM). 此方法选择出那些具有高优先级的 TROI 而不是所有的 TROI 进行掩码提升, 使得 TROI 和 BK 位于不同的质量层次. 如第 3.1 节所述, 整个图像被分成 M 个等级选择排列在前面的 L 个等级进行提升, 而剩余的 $M-L$ 等级和 BK 将会保留. 调整 L 的值以调整 TROI 和 BK 的相对压缩质量. 此外, 由于采用的选择提升是与小波变换的层次数相关, 即 L 值不能大于小波分解层次数. 可以看出, 本文方法将根据 TROI 的优先级进行系数提升. 因此, 对于高优先级的 TROI 将会有更多的子带系数被提升. 反之, 那些低优先级的 TROI 将只有少量的子带系数被提升. 此外, 对于划分等级个数 M 而言, 其取值的不同对选择提升算法有着一定的影响. 若 M 取值较大, 那么纹理图片划分的等级就较多. 相对较小的 M 值而言, 可供选择提升层次就越多、越精细, 此时选择提升的效果就越好. 即: 可以精确地选择最需要的小波系数进行提升, 从而在相同比特率下获得更

好的视觉效果. 而另一方面, 正如上面所述, 选择提升算法可供提升的优先级别不能大于小波变换层次, 因此并不能将 M 值设置得过大. 为此, 在本文的实现中, 通常将 M 设为 10 个等级左右.

如图 3 所示, 对纹理图像 Wolf 定义四个等级 TROI, 分别是 $TROI_1, TROI_2, TROI_3$ 和 $TROI_4$, 并分别用红、黄、绿和蓝四种颜色表示, 而其他背景区域则用白色表示. 此四个 TROI 的优先级为: $TROI_1 > TROI_2 > TROI_3 > TROI_4$. 图 3(a) 和图 3(b) 分别是采用 MaxShift 掩码方法和本文提出的选择提升掩码方法的效果. 对于 MaxShift 掩码方法, $TROI_1, TROI_2, TROI_3$ 和 $TROI_4$ 的所有子带的系数都被提升. 而对于本文的 SSM 方法, 每种 TROI 的系数都有不同的提升方法. 例如, 对于最高优先级的 $TROI_1$, 所有的系数的所有子带都被提升, 而对于最低级别 $TROI_4$, 只有 LL_3 子带的系数被提升. 对于 $TROI_2$, $LL_3, HL_3, LH_3, HH_3, HL_2, LH_2, HH_2$ 子带的系数被提升. 对于 $TROI_3, LL_3, HL_3, LH_3, HH_3$ 子带的系数被提升.

3 实验结果与讨论

在实现中, 采用 JPEG 2000 压缩结构. 为验证本文方法的有效性, 将本文提出的方法与使用无 ROI 编码的 JPEG 2000 压缩方法 (JPEG 2000 without ROI coding, JRC)、采用 MaxShift ROI 编码的 JPEG 2000 压缩方法 (JPEG2000 with MaxShift ROI coding, JMRC) 做比较. 其中, JMRC 方法中 ROI 区域的定义采用的是本文的视觉重要性图. 下面从主观评价和客观评价两个方面来比较本文算法与 JRC 和 JMRC 方法性能.

3.1 主观评价

首先比较各个算法所产生的纹理图像压缩后的重构质量, 之后比较重构纹理映射到三维模型上的视觉质量. 图 4 比较了对纹理图像 Head 和 Raptor 分别采用本文方法、JRC 和 JMRC 方法的解压重构效果. 从图 4(d) 可以看出, 我们的方法在背景区域产生较为严重的走样. 但是, 这些区域并不会映射到三维模型中, 如图 4(d) 所示. 另一方面, 对于纹理图像 Head 的眼睛、鼻子、嘴巴等以及纹理图像 Rapor 的眼睛等 TROI 区域, 本文方法可以得到较高的重构质量. 事实上, 我们的方法是降低 BK 区域的质量以弥补 TROI 区域的质量. 此外, 本文比较纹理图像映射到三维模型的最终渲染效果. 图 5 是图 4 中纹理图像映射到对应三维模型上的效果. 从图 5 的模型映射效果可以看出, 纹理模型 Head 和 Horse 整体上能够获得更好的视觉效果, 特别是模型中的 TROI 区域.

3.2 客观评价

由于纹理图像的最终目标是映射到三维模型上, 因此我们主要从映射后的纹理模型的视觉效果来评价不同纹理压缩算法的质量.

本文采用峰值信噪比 (Peak signal-noise ratio, PSNR) 和多尺度结构相似索引方法 (Multi-scale structural similarity index, MS-SSIM) 方法^[18] 作为客观评价尺度, 以衡量纹理图压缩后映射到三维模型上视觉质量. PSNR 是一种经典的图像比较衡量尺度, 而 MS-SSIM 基于统计的方法完成两幅图像的相似性比较, 是目前最精确的方法^[19]. 显然, 某一角度下单独的一张纹理图像的 PSNR 或 MS-SSIM 值并不能衡量此纹理化的视觉精度. 因此, 我们需要从多个不同视角以获得一系列纹理图片, 计算其 PSNR 或 MS-SSIM 值, 并取它们的平均值, 形成一个统一的误差衡量值. 在本文实验中, 我们将整

个空间分成 24 等份, 即针对每个模型获得 24 张不同视角下渲染后纹理图片, 分别计算其 PSNR 和 MS-SSIM 值并取平均值. 表 3 列出了不同算法下, 5 种不同码率下的压缩后重构纹理图像映射到三维模型中对应的 PSNR 和 MS-SSIM 值. 可以看出, 本文提出的方法能够获得较高的 PSNR 和 MS-SSIM 值, 表明本文的方法相对 JWR 和 JMRC 能够获得较高的视觉质量. 其主要原因是: 1) 本实验中选择的两个纹理图片中, 空白区域占据了整个纹理图片的很多空间, 而这些空白区域并不会映射到三维模型中. 因此对于此部分, 我们的方法是极度压缩, 从而弥补了其他区域的压缩质量. 2) 本文采用的是选择提升压缩方法, 相对 JWR 方法, 我们并不是对所有的 ROI 区域的所有子带都提升, 而是根据纹理图像压缩比特率及其 ROI 区域的优先级进行选择提升. 此时, 在同一比特率下, 我们的方法能够获得更好的图像质量.

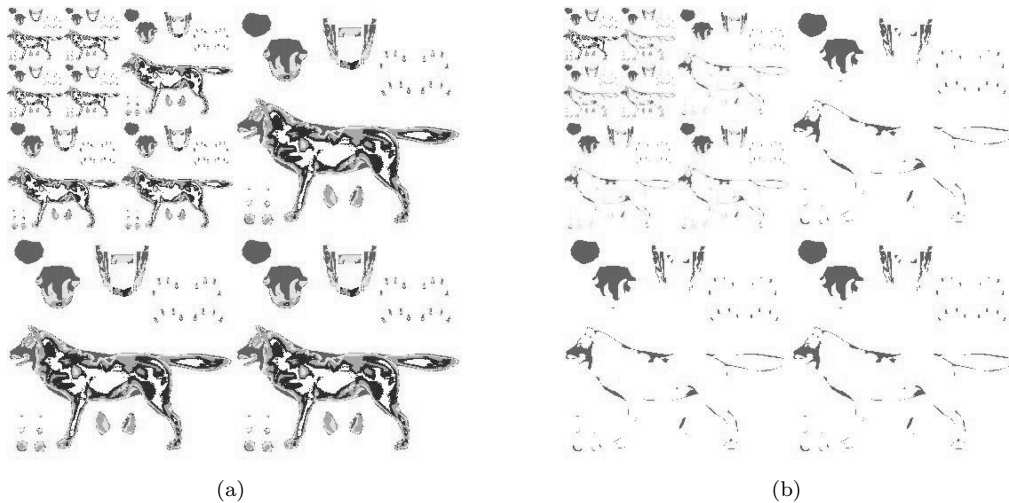


图 3 对四个 TROI 的采用 Maxshift 掩码 ((a)) 和 SSM 方法效果 ((b))
Fig. 3 Maxshift ((a)) and SSM ((b)) method adopted for four TROIs



图 4 重构效果 (从左至右分别为原始纹理, JRC, JMRC 和本文方法的重构结果)
Fig. 4 Reconstruction results (From left to right: original texture and the results of JRC, JMRC, our method)

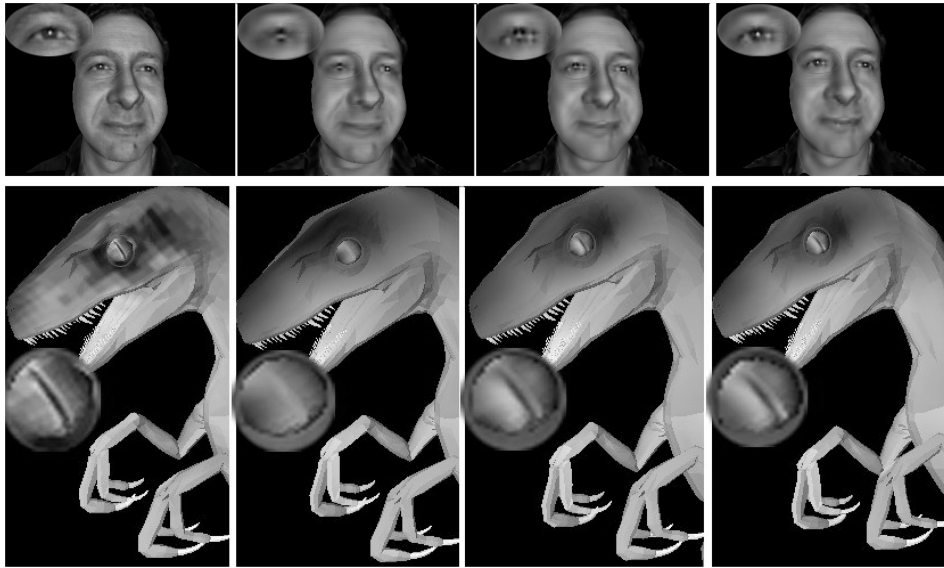


图 5 映射效果 (从左到右分别是纹理图像 Head 和 Raptor 的原始纹理映射效果、采用 JRC、JMC 和本文方法压缩后的映射效果)

Fig. 5 Mapping results (From left to right are the mapping results of original texture, adopted JRC, JMRC, and our method.)

表 3 在不同算法下, 纹理模型对应的 PSNR/MS-SSIM 和值对比
Table 3 PSNR/MS-SSIM among several algorithms

测试图像	码率	PSNR/MS-SSIM		
		JWR (%)	JMRC (%)	本文方法 (%)
Raptor	0.05	18.29/76.81	19.23/78.21	20.25/81.23
	0.08	20.24/81.91	21.35/82.25	22.35/84.53
	0.12	27.91/82.16	29.35/83.52	31.24/85.62
	0.24	30.8/87.53	31.25/89.43	33.58/91.45
	0.48	33.69/91.87	35.67/92.32	37.56/93.95
Head	0.05	17.55/78.41	18.05/79.43	18.65/81.34
	0.08	18.12/83.56	20.81/82.34	21.34/83.54
	0.12	19.99/85.55	22.46/86.42	23.56/89.45
	0.24	23.89/88.34	25.72/90.23	27.35/92.56
	0.48	28.38/90.54	31.01/92.34	33.24/94.56

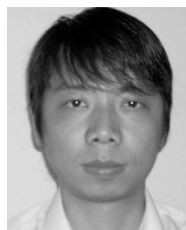
4 结论

本文提出了一个基于三维几何视觉重要性的纹理图像选择压缩方法. 首先, 将纹理图像中的与几何相关视觉重要区域定为纹理单元感兴趣区域. 在压缩时, 降低此纹理图像中纹理单元感兴趣区域的压缩比, 而尽力压缩其他非纹理单元感兴趣区域. 为获得与几何相关的视觉重要性区域, 综合考虑纹理图像的显著性信息及其纹理映射时纹理走样信息, 并在此基础上构建视觉重要性图. 基于此图, 纹理图像被分割为具有不同优先级别的多个离散纹理单元感兴趣区域和背景部分. 为获得较好的压

缩比及其视觉效果, 本文根据此优先级别提出了选择性压缩方法, 此方法通过提升属于不同子波带的小波系数来完成. 为准确获取属于不同纹理单元感兴趣区域的小波系数, 提出了一种纹理单元感兴趣区域掩码生成方法. 与传统的 JPEG 所采用的 MaxShift ROI 方法相比, 我们的方法能够在获得较高的压缩性能的同时, 较好地保持纹理图像中的视觉重要性区域的图像细节. 由于我们选择提升方法是基于 JPEG 2000 基础之上完成, 因此该算法能够容易实现. 同时, 可以将此方法广泛应用于在线三维应用程序中纹理化模型的纹理图片的渐进传输中.

References

- 1 Iourcha K, Nayak K, Zhou H. System and Method for Fixed-Rate Block-Based Image Compression with Inferred Pixel Values, U.S. Patent 5956431, September 1999
- 2 Stróm J, Akenine-Móller T. iPACKMAN: high-quality, low-complexity texture compression for mobile phones. In: Proceedings of the 2005 ACM SigGraph/EuroGraphics Conference on Graphics Hardware. New York, USA: ACM, 2005. 63–70
- 3 Fenney S. Texture compression using low-frequency signal modulation. In: Proceedings of the 2003 ACM SigGraph/EuroGraphics Conference on Graphics Hardware. San Diego, California: ACM, 2003. 84–91
- 4 Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, **6**(3): 243–250
- 5 Kalyanpur A, Neklesa V P, Taylor C R, Daftary A R, Brink J A. Evaluation of JPEG and wavelet compression of body CT images for direct digital teleradiologic transmission. *Radiology*, 2000, **217**(3): 772–779
- 6 Taubman D S, Marcellin M W. *Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001
- 7 Sanchez V, Basu A, Mandal M K. Prioritized region of interest coding in JPEG2000. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, **14**(9): 1149–1155
- 8 Sun Chao, Jiang Shou-Da, Wang Jian-Feng. A region-of-interest image coding algorithm based on EBCOT. *Acta Automatica Sinica*, 2010, **36**(5): 650–654 (孙超, 姜守达, 王建峰. 一种基于 EBCOT 的感兴趣区图像编码算法. *自动化学报*, 2010, **36**(5): 650–654)
- 9 Guo C L, Zhang L M. A novel multiresolution spatiotemporal saliency detection model and its applications in image and video compression. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2010, **19**(1): 185–198
- 10 Itti L. Automatic foveation for video compression using a neurobiological model of visual attention. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, **13**(10): 1304–1318
- 11 Aziz M Z, Mertsching B. Fast and robust generation of feature maps for region-based visual attention. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, **17**(5): 633–644
- 12 Lin Y W, Fang B, Tang Y Y. A computational model for saliency maps by using local entropy. In: Proceedings of the 24th AAAI Conference on Artificial Intelligence. Chongqing, China: AAAI, 2010. 967–973
- 13 Paul L R. A simple method for detecting salient regions. *Pattern Recognition*, 2009, **42**(11): 2363–2371
- 14 Lee C H, Varshney A, Jacobs D W. Mesh saliency. In: Proceedings of the 2005 ACM SigGraph. New York, USA: ACM, 2005. 659–666
- 15 Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, **20**(11): 1254–1259
- 16 Yang B L, Wang X, Li F W B. Salient region of textured 3D model. In: Proceedings of the 18th Pacific Conference on Computer Graphics and Application (Pacific Graphics 2010). Hangzhou, China: IEEE, 2010. 78–84
- 17 Bradley A P, Stentiford F W M. JPEG 2000 and region of interest coding. In: Proceedings of the 2002 Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications. Melbourne, Australia, 2002. 303–308
- 18 Wang N, Simoncelli E P, Bovik A C. Multiscale structural similarity for image quality assessment. In: Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. New York, USA: IEEE, **2**: 1398–1402
- 19 Ponomarenko N, Battisti F, Egiazarian K, Astola J, Lukin V. Metrics performance comparison for color image database. In: Proceedings of the 4th International Workshop on Video Processing and Quality Metric for Consumer Electronics. Scottsdale, Arizona, USA, 2009. 201–209



杨柏林 博士, 浙江工商大学副教授. 主要研究方向为移动图形计算, 三维模型传输协议, 移动增强现实.

E-mail: ybl@mail.zjgsu.edu.cn

(**YANG Bai-Lin** Ph.D., associate professor at Zhejiang Gongshang University. His research interest covers mobile graphical computation, 3D model transmission, and mobile augmented reality.)

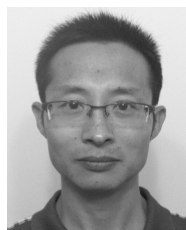


金剑秋 博士, 浙江工商大学副教授. 主要研究方向为图像处理, 压缩传感理论与应用.

E-mail: jqjin@mail.zjgsu.edu.cn

(**JIN Jian-Qiu** Ph.D., associate professor at Zhejiang Gongshang University. His research interest covers image processing and compressive sensing

theory.)



江照意 博士, 浙江工商大学副教授. 主要研究方向为三维模型处理, 多光谱成像. E-mail: zyjiang@mail.zjgsu.edu.cn

(**JIANG Zhao-Yi** Ph.D., associate professor at Zhejiang Gongshang University. His research interest covers 3D model processing and multi-spectral imaging.)



韩建伟 浙江工商大学计算机与信息工程学院副教授. 2009 年于浙江大学获博士学位. 主要研究方向为图形学, 图像处理. E-mail: hanjianwei@gmail.com

(**HAN Jian-Wei** Associate professor at Zhejiang Gongshang University. He received his Ph.D. degree from Zhejiang University in 2009. His research interest covers image processing and computer graphics.)



王勋 博士, 浙江工商大学教授, 主要的研究方向为数字水印, 计算机图形学. 本文通信作者.

E-mail: wx@mail.zjgsu.edu.cn

(**WANG Xun** Ph.D., professor at Zhejiang Gongshang University. His research interest covers digital watermarking and computer graphics. Corresponding author of this paper.)