

基于网格优化的图像纹理替换方法

郭延文¹⁾ 孙汉秋²⁾ 彭群生³⁾ 武港山¹⁾

¹⁾(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

²⁾(香港中文大学计算机科学与工程系 香港)

³⁾(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘 要 提出一种新的图像纹理替换方法,该方法在原始图像精确几何及光照信息未知的情况下,用新的纹理有效替换原始图像目标区域的纹理并逼真地保持了原始纹理的扭曲变形和光照效果.该方法借助反求的法向信息,通过一种基于网格边长伸展的参数化方法优化求得原始图像目标区域上划分的网格在纹理空间中的对应网格,有效模拟了原始纹理由于隐藏几何和透视投影引起的纹理扭曲效果;进而通过 YCbCr 颜色空间转换和传递保持了原始纹理的光照阴影效果.由于求取纹理采样规则的优化方法仅仅与原始图像空间相关,而与替换纹理无关,因而对目标图像处理一次后,可以有效地应用于任意新纹理的替换.通过适当的交互,替换纹理的纹元尺度渐变及纹理自遮挡效果亦可有效模拟.实验展示了良好的纹理替换效果.

关键词 图形学;纹理替换;参数化

中图法分类号 TP391

Mesh Optimization Based Image Texture Replacement

GUO Yan-Wen¹⁾ SUN Han-Qiu²⁾ PENG Qun-Sheng³⁾ WU Gang-Shan¹⁾

¹⁾(National Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

²⁾(Department of Computer Science and Engineering, Chinese University of Hong Kong, Hong Kong)

³⁾(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract This paper presents a new method for replacing the existing textures in the interest region of an image with the new ones, without knowing the accurate underlying geometry and lighting conditions. A stretch-based parametrization incorporating the recovered normal information is deduced to imitate the texture distortion induced by the underlying geometry as well as the perspective distortion. The luminance of the original image is simultaneously preserved through color transfer on YCbCr color space. The method is independent on the replaced textures, however only correlates with the original image space. So after processing the input image only once, any new textures can be replaced efficiently without re-execution. By means of the parametrization, the replaced effects with progressively-variant texon scales and texture discontinuity in self-occlusion regions can be produced conveniently and realistically. Experimental results demonstrate satisfactory texture replacing results.

Keywords computer graphics; texture replacement; parametrization

收稿日期:2006-09-25;最终修改稿收到日期:2007-07-14. 本课题得到江苏省自然科学基金(BK2007571)、香港中文大学 RGC 研究基金(2050349)以及国家自然科学基金(60533080,60503058,60603086)资助. 郭延文,男,1980年生,博士,讲师,主要研究方向为计算机图形学、图像和视频处理. E-mail: ywguo@graphics.nju.edu.cn. 孙汉秋,女,博士,副教授,主要研究方向为虚拟现实和人机交互. 彭群生,男,1947年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机图形学、真实感图像生成和生物计算. 武港山,男,1967年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为图像检索及多媒体处理.

1 引言

纹理替换指在图像或视频的目标区域以新的纹理替换原有纹理,使得替换后的纹理呈现和原始纹理一致的自然、形变效果,并保持原始纹理的光照、阴影信息.自然图像一般在较为复杂的环境下摄取,精确恢复图像中物体的几何形状及接受的光照映射通常是非常困难的,因而在原始图像目标区域精确几何信息未知的情况下,如何使替换纹理呈现和原始纹理一致的依附于原始图像几何信息的自然形变效果,以及如何保持原始纹理的光照阴影效果是图像纹理替换领域必须解决的关键问题.

由于在影视特效制作、服装布料的虚拟展示、艺术和工业设计等方面的广泛应用,纹理替换正逐渐成为计算机图形学、视觉与图像及视频处理等诸多领域的研究热点.

1.1 相关工作

早期的研究工作主要涉及如何从给定图像中提取光照映射. Tsing 等基于特定的光照分布模型提出了一个贝叶斯框架来处理近规则纹理在纹理替换时的光照保持^[1]. Oh 等假设图像上剧烈的亮度变化由几何和光照导致^[2],而小的亮度差异由纹理引起,并基于此通过改进的双边滤波把纹理亮度从图像中分离出来.

王进等在图像纹理替换方面做出了有益的探索^[3],通过用户交互调整分布于给定图像目标区域上的细分网格,有效模拟了服装试衣中的衣服褶皱、起浮等效果. 2004 年的 Siggraph 会议上涌现出了另外两种图像纹理替换的方法^[4-5]. Fang 等提出的 Textureshop 方法假设图像的光照条件符合 Lambertian 反射^[4],通过线性逼近恢复了目标区域隐藏几何的法向场,并由此推导出了基于纹理合成的图像纹理替换算法. 然而引入纹理合成的问题是每将一个新的纹理作用于给定图像,合成算法都要重新运行,算法效率不能保证. Liu 等提出的另外一种方法针对规则和近似规则的纹理对象^[5],通过调整分布于原始图像上的网格来提取原始纹理图像相对于规则纹理样本的变形场,并将其应用于任意给定的新纹理来保持原始纹理的形变效果. 该方法需要繁琐且精细的用户交互,且仅仅适用于规则或近规则的特殊纹理. Zelinka 等在 2005 年提出的方法是对 Textureshop 方法的改进^[6],借助图像分割算法提取图像目标区域以减少用户交互,并采用基于跳跃映射的纹理合成来提升算法效率. Guo 等 2005 年提

出的方法^[7]通过求解 Poisson 方程得到原始图像上每点的纹理坐标,但该方法同样需要大量的用户交互来指定对原始图像所划分的网格顶点的纹理坐标.

图像纹理替换方法可以扩展到视频领域,但由于视频是由一系列图像帧组成,视频的纹理替换较之图像纹理替换更为复杂,需要解决时空一致性及目标区域可见性变化等一系列问题. 文献^[7]中的算法首先选取视频的关键帧并对其进行纹理替换,然后把关键帧的纹理依次传递到视频的其它帧,通过对跟踪特征网格的优化和图切割算法有效处理了视频的抖动和目标区域可见性变化的问题. Rototexture 是一种基于纹理映射的视频纹理编辑方法^[8],利用非线性优化视频帧上的弹性模型使替换纹理符合视频序列上法向场的演化,但该方法给出的例子中仍存在明显的纹理飘移现象,鲁棒且有效的视频纹理替换算法仍有待研究.

1.2 本文工作

本文提出一种基于网格优化的图像纹理替换算法. 纹理由于依附于目标物体表面的几何信息及相机拍摄的透视投影会使其呈现出自然的扭曲、形变效果,我们的基本思想是把真实表现该效果构建求解一个关于网格边长伸展的二维参数化问题. 算法首先将原始图像目标区域划分为特征相关的网格;然后借助恢复的网格点处的法向信息及透视投影逼近优化并恢复了该网格在纹理平面上的对应网格;最后通过纹理映射可以将任意新的纹理作用于原始图像. 原始纹理的光照、阴影信息通过在 $YCbCr$ 颜色空间上传递新纹理的 $CbCr$ 颜色分量而保留原始图像的 Y 分量得以保持.

相对于前人工作,我们的方法有以下优点:

(1) 替换纹理弱相关性. 算法中求取图像目标区域上每一点关于纹理平面上采样点的参数化过程是整个算法效率的决定性因素,此过程仅仅与原始图像的内容相关,而与替换纹理无关. 因而优化得到原始图像网格的参数化结果后,任意新的纹理可以方便、快捷地替换,提高了算法效率.

(2) 方法系统性. 通过适当的交互,在网格优化的算法框架下,我们的方法可以方便地生成替换纹理元尺度渐变的效果及图像自遮挡区域纹理的不连续效果. 基于该算法的系统性,我们可以容易地整合出一个应用于服装、布料虚拟展示的软件原型.

本文第 2 节详细论述本文的基于优化的纹理替换算法;第 3 节介绍如何在优化的算法框架下生成替换纹理元尺度变化及图像隐藏几何自遮挡区域

纹理的不连续效果;第 4 节展示我们的实验结果及分析;最后一节总结本文工作并给出未来工作展望.

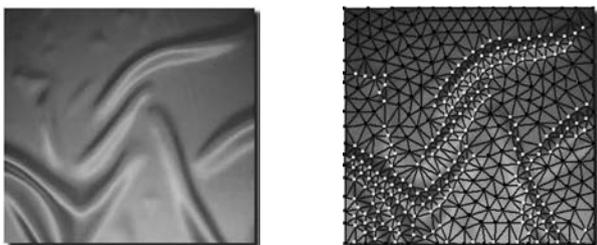
2 基于优化的图像纹理替换

从原始图像目标区域的纹理变形效果分析,从新的纹理平面到目标区域的映射一般是非线性的.为了求解这个非线性映射,我们做出如下假设:原始图像目标区域表面所在的几何曲面是可展或接近可展的.否则,该区域可以被划分为多个可展子区域,替换算法可以分区域迭代进行.基于这个假设,算法的主要思想是:将求解该非线性映射转化为恢复图像目标区域的纹理对应于纹理平面上所占用的原始面积.在对原始图像目标区域划分网格后,我们可以借助投影几何的知识进一步将该问题转化为求解一个关于网格边长伸展的二维参数化问题.算法的主要步骤可以叙述如下:

1. 网格生成. 在原始图像的目标区域划分二维网格,使得网格的形状和目标区域潜在几何相一致.
2. 基于边长伸展的参数化. 参数化目标区域上划分的网格到纹理空间,即求得目标区域内每点在纹理平面上的对应采样点.
3. 光照效果保持. 通过颜色空间转换和传递保持原始图像目标区域的亮度、阴影信息.

2.1 网格划分

对图像目标区域划分的网格应当符合其隐藏的几何特征,而灰度空间上颜色梯度较大的点则可以近似看作几何特征显著点.本文算法首先利用 Snakes 交互指定目标区域的边界,为了减少用户交互,亦可采用最新的图像分割技术来提取图像目标区域^[9],进而离散该区域为边界表示;然后利用边缘检测算子,例如 Canny 算子,作用于目标区域的内部提取得到特征点,另外为了保持网格点的密度均匀,在边缘检测后特征点稀疏的区域自动添加一些辅助点;最后通过 Delaunay 三角化得到一个特征相关的网格 M_I ,图 1 给出一个例子.



(a) 原始图像

(b) 特征网格 M_I

图 1 网格生成(浅色点为通过 Canny 算子自动检测得到的点;而内部区域的深色点为自动添加的辅助点)

2.2 基于边长伸展的参数化

借助少量的几何信息,网格 M_I 在纹理平面上对应的网格可以被求得.直观来说, M_I 的对应网格可以完全由其所有网格边的边长决定,而这些边的理想边长即 M_I 中所有网格边对应的真实三维长度.因而,我们首先介绍求取 M_I 的任意网格边真实三维长度的方法;然后论述如何借助这些求得的真实边长,通过参数化方法求取 M_I 在纹理平面中的对应网格.

(1) 计算网格边的真实三维长度

我们利用文献[4]中提出的算法可以恢复出目标区域大致的法向场,该算法假设原始图像的拍摄条件基本满足 Lambertian 漫反射模型,并基于此推导了一个 shape-from-shading^[10] 的线性逼近,从而恢复了目标区域内每个像素点的法向.这种方法不但实现简单,而且非常有效.对于技术细节,读者可以参考文献[4].事实上,我们仅仅需要借助该方法取得图像隐藏几何曲面在网格 M_I 各网格点处的法向.

借助上述求得的法向场及一些投影几何的知识,我们可以方便地计算出 M_I 上每条边的三维真实长度.图 2 图示了计算 M_I 上每条边相应三维真实长度的方法.假设边 $e(AB)$ 在原始图像上的测量长度为 d ,其在隐藏曲面的局部逼近平面上的对应长度为 $\|FD\|$.注意到 M_I 的划分是符合图像隐藏的几何特征的, $\|FD\|$ 可以近似地被看作为 F 和 D 两点间的真实长度,即待求边 $e(AB)$ 的三维真实长度.法向量 \mathbf{N} 可以通过平均网格点 A 和 B 处被恢复的法向量并投影到平面 OAB 求得.根据图 2 中的几何关系容易得到

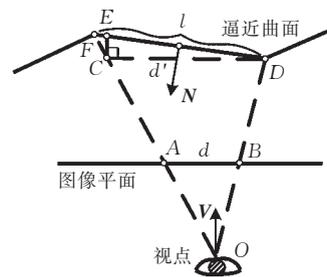


图 2 计算图像区域上边 $e(AB)$ 的真实三维长度 $\|FD\|$ (其中, \mathbf{V} 为视线方向, \mathbf{N} 为边 $e(AB)$ 的法向在平面 OAB 上的投影, $CD \parallel AB$ 并且 $CD \perp CE$)

$$\|ED\| = \|CD\| / (\mathbf{V} \cdot \mathbf{N}) = d' / (\mathbf{V} \cdot \mathbf{N}) \quad (1)$$

其中, \mathbf{V} 是视线方向,在计算法向信息时已经得到, \mathbf{V} 和 \mathbf{N} 都是规则化的单位向量.

利用 $\|ED\|$ 逼近 $\|FD\|$,即假设 $\|FD\| \approx \|ED\|$,则 $e(AB)$ 的真实长度可以表示为

$$l = \|FD\| \approx d' / (\mathbf{V} \cdot \mathbf{N}) \quad (2)$$

在上面的公式中, 边 $e(CD)$ 的长度即 d' 与 $e(AB)$ 的图像测量长度 d 及边 $e(FD)$ 的景深相关. 在一般情况下, 特别当拍摄物体距离相机较远时, 可以认为 M_I 中所有边的景深是大致接近的. 因此, 剔除 M_I 中所有边长的这个均等因子, $e(AB)$ 的真实长度可以表示为

$$l = \|FD\| \approx \|AB\| / (\mathbf{V} \cdot \mathbf{N}) = d / (\mathbf{V} \cdot \mathbf{N}) \quad (3)$$

同样地, 我们可以计算出 M_I 中所有其它网格边所对应的三维真实长度.

(2) 基于边长伸展的二维参数化

M_I 中每条边的三维真实长度即为 M_I 在纹理平面对应网格 M_T 上边的长度, 同时 M_I 应该与 M_T 具有一致的拓扑连接关系, 因而我们可以通过保持边长的参数化完全确定网格 M_T . 然而, 不同于图形学中研究的从网格曲面到平面或球面的传统参数化问题, 这里是一个从二维至二维的参数化过程(图 3).

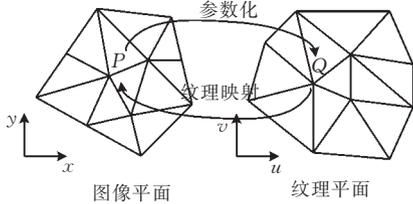


图 3 参数化过程(借助图像网格点处的法向和投影几何逼近, 我们归结模拟纹理的扭曲形变为一个从二维到二维的参数化优化问题; 求得该参数化结果后, 我们仅仅需要把纹理映射到原始图像的目标区域)

为了描述简单, 我们首先定义以下符号表示: $\{P_i = (x_i, y_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 表示网格 M_I 上的节点, $\{Q_i = (u_i, v_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 表示 M_I 在纹理平面上的对应网格 M_T 的对应节点; Q_i 对应于 P_i , 即为待求; 边 $e(Q_i Q_j)$ 对应 $e(P_i P_j)$. 边 $e(Q_i Q_j)$ 的三维真实长度 l_{ij} 已经通过上一小节的方法求得.

除去坐标平移和旋转, 任意的二维网格可以完全由其所有边的边长决定^[11], 因此我们可以通过求解下面基于边长的能量方程的最小值来求解 M_T :

$$E_l = \sum_{(i,j) \in \text{edges}} (\|Q_i - Q_j\|^2 - l_{ij}^2)^2 / l_{ij}^2 \quad (4)$$

易见, 上面能量函数的最小值可以通过牛顿法求解. 然而当网格密度过大或规则性较差的时候, 通过上面能量方程求得的 M_T 可能是拓扑无效的, 即邻接三角形间可能出现反转或交叉. 这主要是由于 M_T 中的三角形相对于其在 M_I 中的对应三角形朝向发生了反转. 为了解决这个问题, 我们进一步优化该能量函数, 通过配置符号函数 sgn 来惩罚可能引起反转的三角形的相关边.

假设共享边 $e(Q_i Q_j)$ 的两个邻接三角形是

$T_{Q1} = T(Q_i Q_{k1} Q_j)$ 和 $T_{Q2} = T(Q_i Q_{k2} Q_j)$; 与它们对应的原始图像目标区域网格 M 中的三角形为 $T_{P1} = T(P_i P_{k1} P_j)$ 和 $T_{P2} = T(P_i P_{k2} P_j)$ (参考图 4). 基于以上分析, 对于 M_I 和 M_T 的每一对对应的三角形, 我们需要保证它们对应的三个顶点走向一致. 为此, 我们定义:

$$\omega_{ij} = \text{sgn} \min(\det(\overrightarrow{Q_i Q_{k1}}, \overrightarrow{Q_j Q_{k1}}) \cdot \det(\overrightarrow{P_i P_{k1}}, \overrightarrow{P_j P_{k1}}), \det(\overrightarrow{Q_i Q_{k2}}, \overrightarrow{Q_j Q_{k2}}) \cdot \det(\overrightarrow{P_i P_{k2}}, \overrightarrow{P_j P_{k2}})) \quad (5)$$

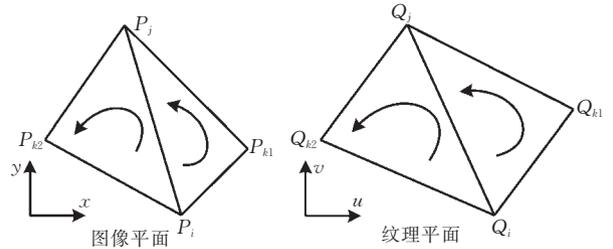


图 4 两种走向示意(纹理平面上待求三角形顶点的走向应该与其在图像目标区域划分网格中对应三角形顶点的走向一致)

通过以上定义, 如果共享当前边 $e(Q_i Q_j)$ 的两个三角形之一相对于它在图像平面上的对应三角形发生了反转的情况, ω_{ij} 的值为 -1 ; 否则, ω_{ij} 取 $+1$. 将 ω_{ij} 配置到能量函数(4)中, 则该能量函数转化为

$$E_l = \sum_{(i,j) \in \text{edges}} (\omega_{ij} \|Q_i - Q_j\|^2 - l_{ij}^2)^2 / l_{ij}^2 \quad (6)$$

方程中的系数 ω_{ij} 惩罚 M_T 中相对与 M_I 中对应三角形发生反转的三角形, 如果存在, 其包含边的相应能量项取较大的值; 否则, 能量项取较小的值. 通过这个能量函数, 我们可以得到 M 在纹理平面上拓扑有效的对应网格.

2.3 光照保持

利用求得的参数化网格, 我们可以把任意新的纹理映射到原始图像的目标区域. 但是仅仅把新纹理上的像素拷贝到目标区域而没有结合原始图像的光照信息, 得到的结果会非常平淡, 缺少真实感. 因此在纹理映射进行的同时, 我们需要把原始图像接受的光照信息传递到替换的纹理图像. 然而如前论述, 反求图像的光照映射是计算机视觉领域非常困难的任务, 因此我们采取一种逼近的方法.

一般来说, 纹理的颜色值可以看作纹理色调和亮度的累积. 因而如果我们能够把亮度信息从原始纹理图像中分离出来, 然后把原图像的亮度和替换后新纹理的色调融合, 则可以在替换纹理后保持原始图像的光照、阴影效果. 这里我们借助一种在电视系统中广泛采用的颜色空间, 即 $YCbCr$ 颜色空间, 来分离颜色的亮度信息. 该颜色空间符合数字视频

的标准. 其中, $CbCr$ 主要表示每一个纹理像素的色调, 而 Y 通道表示像素的亮度. 为此, 我们首先把原始图像和替换纹理分别用 $YCbCr$ 编码, 进而把新纹理上映射点的 $CbCr$ 通道拷贝到原始图像目标区域内对应像素上, 然后融合该点的 Y 通道和对应像素颜色的 Y 通道.

定义 $Y_t, Cb_t, Cr_t, Y_i, Cb_i, Cr_i$ 和 Y_r, Cb_r, Cr_r 分别表示替换纹理图像上的像素点, 原始图像上目标区域内对应像素和所求结果像素的 $YCbCr$ 颜色的各分量, 则所求结果像素点的 $YCbCr$ 颜色的各分量由以下公式计算:

$$\begin{cases} Cb_r = Cb_t, \\ Cr_r = Cr_t, \\ Y_r = (1 - m_t) \times Y_t + m_t \times Y_i. \end{cases} \quad (7)$$

这里, m_t 表示新纹理图像上映射点颜色的 Y 分量和原始图像上目标区域内对应像素的 Y 分量的融合加权系数. m_t 越大, 替换后纹理的光照、阴影效果就越接近原始图像. 在我们的实验中设置其为 0.9, 对大部分的测试例子都取得了良好的效果.

3 两种特殊纹理替换效果的生成方法

利用基于网格优化的算法, 我们可以有效地模

拟纹元尺度渐变及原始图像目标区域几何自遮挡情况下的纹理替换效果.

3.1 纹元尺度渐变的替换效果

虽然最新的纹理合成方法已经可以方便地生成纹元尺度渐变的效果^[12], 但在纹理替换的工作中生成纹元尺度渐变的纹理替换效果仍是非常困难的^[4-5,7], 难点在于如何将替换纹理纹元尺度的变化与模拟纹理的自然形变有机结合. 利用上述基于边长伸展的参数化方法, 我们可以方便地模拟该效果.

给定纹元尺度均一的纹理样本, 生成替换纹理纹元尺度渐变效果的关键是为原始图像的目标区域网格指定关于纹元尺度的尺度场, 进而将该尺度场结合到关于网格边长伸展的优化算法目标函数中. 为此, 算法首先在原始图像目标区域划分网格上指定少量的关键尺度(如图 5(a)), 进而通过径向基函数或反距离加权平均的插值方法为网格上每条边赋予一个尺度, 该尺度随即被添加到优化的目标函数:

$$E_l = \sum_{(i,j) \in \text{edges}} (\omega_{ij} \|Q_i - Q_j\|^2 - (1/s_{ij}^2) \cdot l_{ij}^2) / l_{ij}^2 \quad (8)$$

这里 s_{ij} 代表边 $e(Q_i, Q_j)$ 的尺度. 最小化上述目标函数, 我们可以优化得到纹理平面上的参数化网格(图 5(b)). 图 5(c)、图 5(d) 给出两个相应的纹元尺度渐变的替换效果.

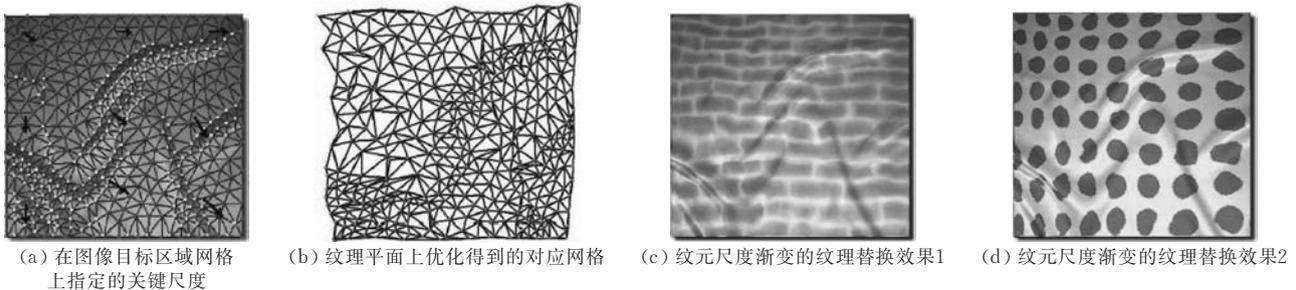


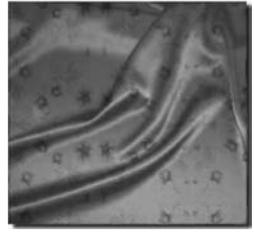
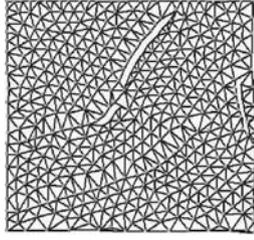
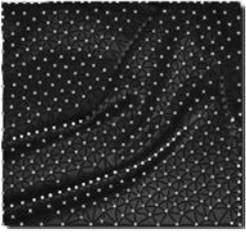
图 5 纹元尺度渐变的纹理替换效果(原始样本纹理尺度均一, 而替换效果的纹元由左上角至右下角逐渐增大)

3.2 图像区域存在自遮挡情况的纹理替换效果

在图像的自遮挡区域(例如衣服或布料的褶皱处), 图像隐藏几何的可见部分是不连续的, 纹理替换的结果在自遮挡区域应该呈现视觉的不连续性, 这种效果在服装布料的虚拟展示中可以有效模拟衣服或布料的褶皱信息. 前人的工作一般难以处理这种情况, 我们可以通过少量的用户交互生成这种效果.

基本的思想是: 在对目标区域网格进行参数化的时候考虑这种几何的不连续性. 首先, 我们在自遮挡的区域交互指定少量的网格点为关键点(如图 6(a)中的红色网格点); 然后, 为每个关键网格点拷贝

产生一个虚拟点, 其中一个属于被遮挡的隐藏曲面, 而另一个属于可见的曲面部分, 即相同的两个网格点分别属于被指定网格点两边的网格区域; 最后, 在进行参数化的过程中将关键点视为两个网格点进行优化, 可以为每个关键点求得两个不同的纹理坐标. 由于纹理映射时处于关键点两侧的邻接网格的共享点分别具有不同的纹理坐标点, 因而可以生成图像自遮挡区域纹理的不连续感. 图 6(b) 为相应优化得到的纹理平面上的对应网格, 注意在自遮挡区域对应的纹理平面上的空洞. 图 6(c)、图 6(d) 为两个相应的纹理替换效果.



(a) 目标区域上划分的网格及在自遮挡区域指定的深色关键点

(b) 纹理平面上优化得到的对应网格

(c) 自遮挡区域纹理替换的不连续效果1

(d) 自遮挡区域纹理替换的不连续效果2

图 6 原始图像目标区域存在自遮挡情况的纹理替换效果

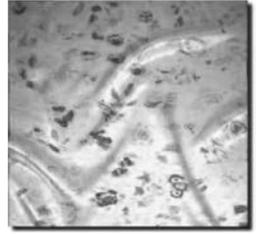
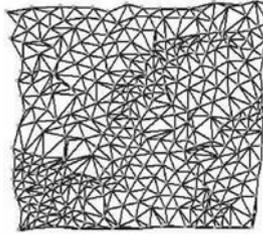
4 实验结果与分析

4.1 实验结果

我们在配备有 Intel 奔腾 4 2.4GHz 主频处理器、512MB 内存的计算机上实现了本文提出的图像纹理替换算法. 除图 5、图 6 外, 图 7~图 9 展示了其它部分实验结果.

图 7(a)为求解得到的关于图 1 中图像划分的网格 M_I 在纹理平面上对应的网格 M_T . 由于图 1(b) 中的网格 M_I 仅仅包含 385 个顶点, 利用牛顿方法,

算法耗时 7.2s 求解目标函数(6)的最小值从而得到网格 M_T . 图 7(b)为相应的纹理替换结果. 图 8 给出了两个关于人体着装的纹理替换效果.



(a) 对应于图1右图中的原始图像划分网格在纹理平面上求得的网格

(b) 相应的纹理替换效果

图 7



图 8 通过本文算法得到的关于人体着装的纹理替换效果



(a) 从文献[4]中截取的图片

(b) 文献[4]文章中的纹理替换效果

(c) 本文试验结果(由于采用纹理样本不尽相同, 本文结果(c)与文献[4]原文中效果(b)亮度不完全一致)

(d) 另外一个纹理替换的结果

图 9 与 Textureshop^[4]纹理替换效果的对比

图 9 展示了本文的实验结果(图 9(c))与文献[4]中结果(图 9(b))的对比效果,原始图像 9(a)为从相关作者主页下载.注意到由于采用的纹理样本的差异,图 9(c)与图 9(b)相比色调和亮度存在一定的不同,与文献[4]基于纹理合成的替换算法相比,本文结果(图 9(c))的替换纹理相对较为连续,并且体现出了在自遮挡区域的视觉不连续效果.图 9(d)为另外一个本文算法实验结果.

4.2 分 析

本文纹理替换的方法是基于纹理映射的,相对于前人基于纹理合成的替换算法,本文网格优化的方法对于给定的原始图像仅仅需要求解参数化问题一次;进而对于任意输入的新纹理,在纹理平面相对于原始图像目标区域采样规则确定的情况下,我们仅仅需要将新的纹理与原始图像的亮度信息进行融合,而无需再次重新运行整个算法,这在一定程度上提高了纹理替换的效率.然而将原始图像目标区域表示成单一的整体网格,虽然可以保持替换纹理的连续性,但由于优化问题的不稳定性,容易使得替换纹理在某些区域产生透视投影缩短效果的同时在其邻接区域被拉伸,从而影响替换效果.对该问题的一个解决思路是首先将原始区域分割为若干子区域,对每个子区域运行网格优化的替换算法以降低优化误差,最后对不同区域邻接处的替换效果进行融合以保持替换效果的连续并减少瑕疵.

5 总 结 和 展 望

本文提出的基于网格优化的图像纹理替换新算法在原始图像目标区域精确几何及光照信息未知的情况下,以新的纹理替换原始纹理并有效保持了纹理的自然形变效果和光照效果.算法的关键是如何建立从新纹理平面到图像目标区域的映射关系,我们借助目标区域网格点的法向信息和投影几何的逼近,成功地把该问题转化为求解关于网格参数化的优化问题.借助参数化的算法框架,我们还可以方便、逼真地模拟替换纹理纹元尺度渐变和原始图像自遮挡区域纹理的视觉不连续效果.

本文的算法虽然可以产生纹元尺度渐变的效果,但难以控制替换纹理整体方向的渐变,如何有效控制替换纹理的整体及局部方向变化是未来的研究

方向之一.另外,本文基于颜色空间转换和传递的光照效果保持方法对于原始区域纹理信息较强的图像难以取得好的效果,这是由于在 $YCbCr$ 或 HSV 等颜色空间上,亮度通道仍然编码一定的色调信息,我们期望结合更为普适性的图像亮度提取方法使我们的算法更为鲁棒,这是未来的另外一项研究工作.

参 考 文 献

- [1] Tsin Y, Liu Y, Ramesh V. Texture replacement in real images//Proceedings of the IEEE CVPR 2001. Hawaii, USA, 2001: 539-544
- [2] Oh B M, Chen M, Dorsey J, Durand F. Image-based modeling and photo editing//Proceedings of the SIGGRAPH 2001. Los Angeles, USA, 2001: 433-442
- [3] Wang Jin, Peng Qun-Sheng. An 2D grid subdivision algorithm based on C^2 and applicatoin. Chinese Journal of Computers, 2000, 23(9): 899-904(in Chinese)
(王进,彭群生. 一个二次连续的平面网格细分算法及其应用. 计算机学报, 2000, 23(9): 899-904)
- [4] Fang H, Hart J. Textureshop: Texture synthesis as a photograph editing tool//Proceedings of the SIGGRAPH 2004. Los Angeles, USA, 2004: 254-359
- [5] Liu Y, Lin W, Hays J. Near regular texture analysis and manipulation//Proceedings of the SIGGRAPH 2004. Los Angeles, USA, 2004: 368-376
- [6] Zelinka S, Fang H, Garland M, Hart J. Interactive material replacement in photographs//Proceedings of the Graphics Interface 2005. Victoria, Canada, 2005: 227-232
- [7] Guo Y W, Wang J, Zeng X, Xie Z, Sun H Q, Peng Q S. Image and video retexturing. Computer Animation and Virtual Worlds, 2005, 16(3): 451-461
- [8] Fang H, Hart J. RotoTexture: Automated tools for texturing raw video. IEEE Transactions on Visualization & Computer Grapics, 2006, 12(6): 1580-1589
- [9] Li Y, Sun J, Tang C K, Shum H Y. Lazy snapping//Proceedings of the SIGGRAPH 2004. Los Angeles, USA, 2004: 303-308
- [10] HORN B K. Height and gradient from shading. International Journal of Computer Vision, 1990, 5(1): 37-75
- [11] Maillot J, Yahia H, Verroust A. Interactive texture mapping//Proceedings of the SIGGRAPH. 1993: 27-34
- [12] Zhang J D, Zhou K, Velho L, Guo B N, Shum H Y. Synthesis of progressively-variant texture on arbitrary surfaces//Proceedings of the SIGGRAPH 2003. San Diego, USA, 2003: 295-302



GUO Yan-Wen, born in 1980, Ph.D., lecturer. His research interests include realtime computer graphics, image and video processing, and computer vision.

SUN Han-Qiu, Ph. D., associate professor. Her current research interests include virtual reality and human-computer

interaction.

PENG Qun-Sheng, born in 1947, Ph.D., professor, Ph.D. supervisor. His research interests include virtual reality, realistic and infrared image synthesis, and biology computing.

WU Gang-Shan, born in 1967, Ph.D., professor, Ph.D. supervisor. His research interests include multimedia processing, image retrieval and digital museum.

Background

Texture replacement or retexturing is the process of replacing the current textures on the specified region of image/video, with the same texture distortion and shading effects consistent to the unknown underlying geometry and lighting conditions. Retexturing on image and video resources has wide applications in digital entertainment, virtual exhibition, art and industry design.

Existing methods on texture replacement either falls into texture synthesis based techniques with low efficiency or is only suitable to regular or near regular textures. This paper presents a texture mapping based image texture replacement method. A stretch-based parameterization scheme incorporating the recovered normal information is deduced to imitate texture distortion of the interest region. The approach is in-

dependent of the replaced textures, only correlating with the original image space. So after processing the input image only once, any new texture can be efficiently replaced without re-execution. Based on mesh parameterization framework, two special effects, e. g. replaced effects with progressively-variant texon scales and texture discontinuities in self-occlusion image regions, are imitated realistically. Experimental results show the satisfactory performance.

This project is sponsored jointly by the Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No. BK2007571), National Natural Science Foundation of China (Nos. 60533080, 60503058, 60603086) and the CUHK Direct Research Grant (No. 2050349).