

随意图像纹理映射的补偿方法

刘小丹 佟 鹏

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116081)

摘 要 基于局部摄影测量学的随意图像纹理映射是一种新的三维模型纹理映射方法,但其存在由局部纹理缺失引起的纹理失真问题。提出一种纹理映射的补偿方法,即在局部摄影测量学和约束参数纹理映射方法的基础上,根据随意图像与模型的关系确定纹理缺失区域,采用刚体转动惯量极小值测定方法和镜像方法寻找模型待映射范围内的对称面,用对称点的纹理信息对纹理缺失区域进行纹理映射补偿。实验结果表明,对于有局部对称面的三维模型,补足了缺失的纹理,消除了纹理拉伸失真现象。

关键词 纹理映射,摄影测量学,随意图像,三维模型对称面

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Compensation Method for Texture Mapping Using Casual Images

LIU Xiao-dan TONG Peng

(School of Computer Science and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)

Abstract The local photogrammetry texture mapping using casual images is a new 3D model texture mapping method, but there is texture distortion from lack of local texture. A compensation method of texture mapping was presented. On the basis of the local photogrammetry and constraint parameters texture mapping method, according to the relationship between the model and casual images, the area of texture missing is determined. The minimum rigid-body dynamics inertia determination method and mirror image method are utilized to search for the symmetry plane within the scope of model mapping. The texture information of the symmetric points is got to implement compensation of texture mapping for the area of texture missing. Experimental results show that, for the local symmetrical 3D model, the area of texture missing is complemented, and the texture stretching distortion is eliminated.

Keywords Texture mapping, Photogrammetry, Casual images, Symmetry plane of 3D model

1 引言

纹理映射将二维纹理图像映射到三维模型表面,以增强模型的真实感。纹理映射是三维图形学的重要技术之一,广泛地应用于虚拟现实、工业设计和游戏设计等领域。

通常情况下,选择多幅理想角度拍摄的图像作为二维纹理图像来保证纹理映射效果,但这限制了应用范围。使用随意图像做纹理映射,早期常用约束参数化的方法。Lévy、Hormann、Kraevoy 和 Lee 等讨论了约束参数化的方法及应用^[1-3]。这种方法通过对三维网格参数化和设定特征约束点,与随意图像之间建立映射关系。由于随意图像的拍摄角度、距离等参数与三维模型的显示角度没有建立关联,因此这种方法经常会引起纹理映射的失真。基于摄影测量学的约束参数化算法通过恢复相机的参数,建立一个从模型表面到随意图像的全局投影,较好地解决了这个问题,但是该算法只适用于随意图像中拍摄对象的形状和三维模型非常相似的情况^[4]。

2009年,Yochay 和 Ayellet 提出了一种新的基于摄影测量学的约束参数化算法来解决这个问题^[5]。他们提出局部摄

影测量学投影方法,根据局部的相机参数为每个顶点分配不同的约束参数,从而建立三维模型各个顶点的局部投影。对于随意图像中拍摄对象与三维模型差异较大的情况,该算法仍具有较好的纹理映射效果。由于纹理图像是随意选择的,而三维模型的显示区域是由用户指定的且涉及一个动态角度范围,因此纹理图像的拍摄角度与模型的显示角度之间可能会存在较大差异,经常会出现纹理映射时某些区域纹理信息缺失的情况。

本文提出一种利用模型对称性质对纹理缺失区域进行纹理补偿映射的方法,在文献^[5]的基础上,确定纹理缺失区域,寻找待映射区域内模型的对称面,将对称点的纹理映射到纹理缺失区域,这在一定程度上解决了用随意图像做纹理映射所出现的纹理失真问题。

2 确定纹理缺失区域

文献^[5]提出的基于局部摄影测量学的约束参数化算法较好地解决了随意图像纹理映射的纹理失真问题。局部摄影测量学投影方法用局部相机参数为模型的每个顶点分配不同的约束参数,以此建立的各个顶点的局部投影更好地实现了

到稿日期:2012-02-22 返修日期:2012-05-16 本文受国家自然科学基金(61170143)资助。

刘小丹(1957—),男,硕士,教授,CCF高级会员,主要研究方向为计算机图形学与图像处理,E-mail:ml3604245010@163.com;佟 鹏(1986—),男,硕士生,主要研究方向为计算机图形学。

随意图像纹理信息与模型顶点的映射关系。在模型显示角度与纹理图像拍摄角度相近的情况下,纹理映射效果很好。模型的纹理映射区域决定于模型的显示角度,显示角度一般由用户指定。这里的拍摄角度和显示角度都是指欧拉角(Euler angle),即由3个维度的角度旋转分量来表示的角度矢量。对于来源于随意图像的纹理图像,其拍摄角度与模型的显示角度如果有较大差异,则对模型上某些区域做纹理映射时会出现纹理信息缺失的情况,如图1所示。图1(a)是一张随意的纹理图像,图1(b)是待映射人脸模型,图1(c)和图1(d)是纹理映射的结果。图1(d)与图1(c)相比,当纹理图像的拍摄角度与模型的显示角度差异较大时,部分模型显示区域对应的纹理图像没有充分的纹理信息,所以人脸的左侧区域在映射过程中必须大幅度地拉伸纹理,从而导致纹理明显失真。

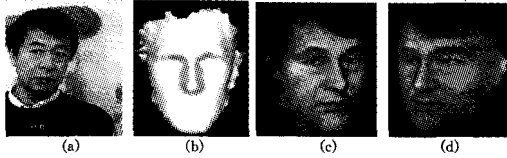


图1 角度差异引起的纹理信息缺失

确定待映射模型上的纹理缺失区域,是纹理补偿映射的基础。摄影测量学方法会给出纹理图像的拍摄角度,模型显示角度则由用户指定。这两个角度三维分量差之和一般不会大于 90° ,否则会出现严重的纹理映射失真^[6]。设三角网格模型为 M ,网格的顶点坐标为 $v_i = (x_i, y_i, z_i)$,确定模型上待映射范围内纹理缺失区域的步骤如下。

1. 以纹理图像拍摄角度为视角,变换 M 到视角坐标系 M' 。用深度缓冲区方法计算 M' 的可见顶点,生成 M 对应顶点集合 $A = \{v_{A1}, v_{A2}, \dots, v_{Ak}\}$ 。

2. 以模型显示角度为视角,变换 M 到视角坐标系 M'' 。用深度缓冲区方法计算 M'' 的可见顶点,生成 M 对应顶点集合 $B = \{v_{B1}, v_{B2}, \dots, v_{Bk}\}$ 。

3. 定义纹理缺失区域对应的顶点集合:

$$C = B - A \cap B \quad (1)$$

式中, C 的顶点是待映射范围内可见顶点,但在纹理图像中没有对应纹理信息。

4. 确定非纹理缺失区域边界点集。交集 $A \cap B$ 属于非纹理缺失区域,集合中的顶点如果与 C 中的某一顶点构成三角网格的一个边,则该顶点是非纹理缺失区域的边界点。设定非纹理缺失区域边界点集为 D 。

3 基于对称面的纹理补偿映射

三维模型的局部如果有对称面,其表面纹理一般也应有对称性,如动物、植物、建筑、交通工具、家具等。纹理缺失区域的纹理补偿映射是否可行,取决于纹理图像拍摄角度和模型显示角度所确定的模型范围内是否存在对称面,并且纹理缺失区域必须位于对称面的一侧。三维模型局部对称面一般要从模型表面空间对称性入手进行寻找^[7]。

3.1 寻找模型局部区域对称面

本文基于动力学中刚体对于对称轴的转动惯量取得最小值的原理^[8],来计算模型局部区域的对称面。刚体对直线的转动惯量的数学描述为:刚体各微元质量 μ_m 与其到直线的距离平方 D^2 的乘积之和。转动惯量用 I 表示,其形式为:

$$I = \sum D^2 \mu_m$$

设视角 θ 所对应的视角坐标下的模型为 M_θ ,过模型 Z 坐

标值最小顶点做垂直于 Z 轴的平面,将模型可视顶点向此平面投影,投影值为各顶点到平面的距离,即 Z 的值。如此形成各顶点到平面距离的二维灰度图像。如果用最小转动惯量方法在此灰度图像中找到对称轴,则 M_θ 可视范围内的对称面就是过对称轴且平行于 Z 轴的平面。

在二维图像中,目标是由一个像素点集 $p = \{(x_i, y_i) | i \in [1, N]\}$ 构成的, N 为目标所包含的像素个数。其中每一点可以等价于刚体中的一个质量微元。刚体对于某条直线的转动惯量可以通过对每一个质量微元的转动惯量积分得到。设对称轴 $f(x) = kx + b$,则刚体对 $f(x)$ 的转动惯量为:

$$I = \sum_{i=1}^N \mu_i D_i^2 \quad (2)$$

式中, $\mu_i = z_i$ 为点密度, D_i 为:

$$D_i = \frac{|y_i - kx_i - b|}{\sqrt{1+k^2}}$$

寻找使 I 取得最小值时的 k 和 b ,就可以确定对称轴。

I 对 b 求偏导,可得:

$$\frac{\partial I}{\partial b} = \frac{1}{1+k^2} \sum_{i=1}^N 2z_i (b + kx_i - y_i) \quad (3)$$

令 $\frac{\partial I}{\partial b} = 0$,得:

$$b = (\sum_{i=1}^N y_i z_i - k \sum_{i=1}^N x_i z_i) / \sum_{i=1}^N z_i$$

令

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N x_i z_i / \sum_{i=1}^N z_i, \bar{Y} = \sum_{i=1}^N y_i z_i / \sum_{i=1}^N z_i$$

则有

$$b = \bar{Y} - k\bar{X} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3),并对 k 求偏导,可得:

$$\frac{\partial I}{\partial k} = \frac{1}{(1+k^2)} \sum_{i=1}^N z_i \{k^2 (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y}) + k[(x_i - \bar{X})^2 - (y_i - \bar{Y})^2] - (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})\} \quad (5)$$

令

$$\frac{\partial I}{\partial k} = 0$$

$$R = \sum_{i=1}^N z_i (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})$$

$$S = \sum_{i=1}^N z_i [(x_i - \bar{X})^2 - (y_i - \bar{Y})^2]$$

解式(5)得:

$$k_{1,2} = \frac{-S \pm \sqrt{4R^2 + S^2}}{2R} \quad (6)$$

将式(6)代入式(4)可求出 $b_{1,2}$ 。由 $k_{1,2}$ 和 $b_{1,2}$ 确定的两条直线相交于图像中目标的形心。再用式(2)分别计算关于两条直线的转动惯量,取小者为对称轴。

进一步用镜像方法对对称轴做筛选^[7]。变换图像到以对称轴为 Y 轴的坐标系,将 Y 轴右侧图像做水平镜像处理,与 Y 轴左侧做对应像素减运算,累计每对像素的运算结果 E_θ 并与阈值比较。设定适当阈值以抑制偏差较大的对称轴出现。镜像的方法可以单独用来确定对称轴,但计算量过大。

确定模型局部区域对称面的主要算法:

1. 令 θ 为纹理图像拍摄视角;

2. 变换 M 到视角坐标系的 M_θ ,用最小转动惯量方法和镜像方法求 M_θ 可视范围内的对称面,记载其 E_θ ,并将对称面转换到 M 坐标系;

3. 令 $\theta = \theta + t$, t 为朝向模型显示角的欧拉角增量,如 θ 大于模型显示视角,则转4,否则转2;

4. 对所有对称面,只保留纹理缺失区域位于一侧的对称面;
5. 如不存在对称面,则转 6,否则,选择 E_0 值最小的对称面;
6. 结束。

图 2 是以上算法对人脸模型进行局部对称面检测的结果,(a)为纹理图像,(b)为人脸模型,(c)为显示角度,(d)为距离投影图像和对称轴。

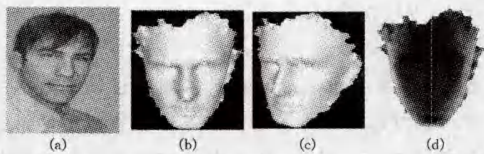


图 2 模型局部对称面检测

3.2 纹理补偿映射

纹理图像与模型之间的特征约束点对由用户交互式设定。模型上位于纹理缺失区域的特征约束点一般对应纹理图像边缘上的特征约束点,形成纹理拉伸。在待映射范围内模型存在对称面的前提下,本文的纹理补偿方法将自动修正模型上涉及纹理缺失区域的特征约束点,并根据模型局部对称关系处理纹理缺失区域。

首先,在摄影测量学方法的支持下,对纹理缺失区域中的特征约束点,寻找测地距离最近的非纹理缺失区域边界点集 D 中的顶点来代替,以完成基于局部摄影测量学的约束参数化纹理映射操作。

接下来对纹理缺失区域进行纹理补偿映射。设 I_S 为纹理图像; T 为模型点到纹理图像 I_S 的映射; I_A 为纹理图集(Texture atlas); T_A 为模型点到 I_A 的映射,由模型平面参数化建立。纹理补偿映射过程如图 3 所示。 p 为模型上非纹理缺失区域点, p' 是点 p 在纹理缺失区域的对称点。点 p 和 p' 通过 T_A 分别映射到纹理图集上的点 q_A 和 q_A' 。 q_s 是点 p 通过局部摄影测量学映射 T 映射到纹理图像上的点, q_s 通过 $T \cdot T_A^{-1}(q_A)$ 将该点纹理信息复制给点 p 在纹理图集上的对应点 q_A 。根据模型的对称关系, p' 在纹理图集上的对应点 q_A' 的纹理信息应该被 q_A 的纹理信息替代,即把 q_s 点的纹理信息用 $T \cdot T_A^{-1}(q_A)$ 映射到纹理地图的 q_A' 点,当然,可以直接从 q_A 处复制纹理信息。

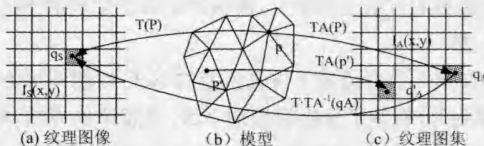


图 3 纹理补偿映射过程

4 实验结果分析

在 Windows XP 环境下,使用 VC++、OpenGL 和 MATLAB,以人脸为主要模型实现了上述方法。图 4 是根据模型对称性质,从纹理图像相关区域提取纹理信息对纹理缺失区域进行纹理补偿映射的实验效果。

图 4(a)是作为纹理图像的随意图像,(b)是人脸模型,(c)和(d)分别是相对纹理图像拍摄角度偏转 θ_1 和 θ_2 时未作纹理补偿映射的结果,(e)和(f)是本文方法对偏转 θ_1 和 θ_2 时作纹理补偿映射的结果。两个欧拉角具体值为:

$$\theta_1 = (30^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$$

$$\theta_2 = (70^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$$

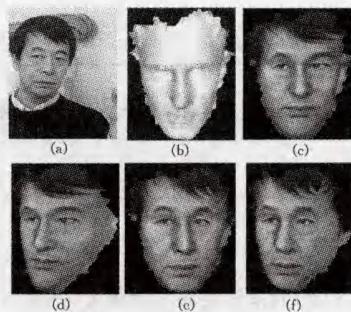


图 4 纹理补偿映射效果

图 4(c)的偏转角度较小,左脸稍有拉伸失真。图 4(e)补偿作用表现在使两眼尺寸相同,左腮没有水平拉伸痕迹。图 4(d)偏转角度大,左脸大部分在纹理缺失区域内,纹理拉伸变形严重。图 4(f)修正模型上的特征约束点,恢复非纹理缺失区域的映射关系,消除了纹理拉伸现象。对于纹理缺失区域,用对称性纹理信息补偿映射,基本解决了纹理失真。非纹理缺失区域边界处的接缝过渡不平滑,一部分原因是在对称补偿处理时没有考虑纹理图像光照效果。

结束语 使用随意图像做三维模型的纹理映射有重要的应用价值,但效果难于保证。文献[5]的工作取得了明显的进展,但在拍摄视角与显示视角差异较大时仍然存在纹理失真,问题的根源是物体上部分纹理信息在随意拍摄时被其它部分遮挡。本文提出一种使用随意图像的纹理补偿映射方法,其基于局部摄影测量学投影方法,根据纹理图像拍摄角度与模型显示角度的变化定位纹理缺失区域,进一步寻找随意图像中可用于补偿的纹理信息。本文用极小转动惯量和镜像技术寻找模型局部对称面,用对称纹理信息完成纹理缺失区域的补偿处理。实验表明,对于存在局部对称面的模型,当随意图像拍摄角度与模型显示角度差异较大时,本文方法有效地抑制了纹理拉伸现象。纹理补偿映射的区域边界接缝平滑过渡处理和对称补偿时纹理图像的光照效果处理将是进一步研究的问题。

参考文献

- [1] Lévy B. Constrained texture mapping for polygonal meshes[C]// Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001. New York USA: ACM Press, 2001: 417-424
- [2] Lee T, Yen S, Yeh I. Texture mapping with hard constraints using warping scheme[J]. IEEE Trans. on visualization and computer graphics, 2008, 14(2): 382-395
- [3] Hormann K, Lévy B, Sheffer A. Mesh parameterization: theory and practice[R]. ACM SIGGRAPH 2007 course # 2. New York USA: ACM Press, 2007
- [4] Kraevoy V, Sheffer A, Gotsman C. Matchmaker: constructing constrained texture maps[C]// ACM SIGGRAPH 2003 Papers. New York, USA: ACM Press, 2003: 326-333
- [5] Tzur Y, Tal A. Flexsticker—Photogrammetric texture mapping using casual images[J]. ACM Trans. Graph. 2009, 28(3): 1-10
- [6] Xiao J, Fang T, Tan P, et al. Image-based facade modeling[J]. ACM Trans. on Graphics, 2008, 27(5): 1-10
- [7] 金涛, 陈建良, 童水光. 三维模型对称平面重建的特征匹配方法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2003, 15(5): 616-620
- [8] 马尔契夫 A II. 理论力学[M]. 李俊峰, 译. 北京: 高等教育出版社, 2006: 26-56