

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)08-1532-09

论文索引信息: 刘晓平, 吴正, 李琳. 附着贴图的 3 维角色模型融合方法 [J]. 中国图象图形学报 2011, 16(8): 1532-1540

# 附着贴图的 3 维角色模型融合方法

刘晓平, 吴正, 李琳

(合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009)

**摘要:** 现有的 3 维模型融合均是立足于模型的几何网格信息, 需要大量的顶点来提升融合效果。然而在目前的动画与游戏中, 角色 3 维模型一般使用低精度模型, 而以贴图来表现模型细节。因此针对低模角色网格顶点稀疏以及贴图特征, 提出简单调和映射和均平面的思想简化网格连接, 提高网格融合效率; 其次采用基于仿射变换的贴图合成方法完成网格模型融合后的新贴图生成问题, 进而完成角色模型的无缝融合。针对本文的方法以及 3 维模型设计制作的业务流程, 建立人机交互的 3 维模型融合应用系统, 实现高效率的 3 维模型融合与贴图合成。实验结果表明, 该方法能够快速有效地完成动画和游戏中角色模型的融合, 形成逼真度较高的新角色, 为动画和游戏应用增添乐趣。

**关键词:** 3 维模型融合; 调和映射; 贴图合成; 均平面

## Method of model fusion for 3D-character with maps

Liu Xiaoping, Wu Zheng, Li Lin

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

**Abstract:** The existing methods of mesh fusion for 3D models are based on geometric mesh, which needs sufficient number of vertices to enhance the purpose, to connect components. However, the 3D characters in current games and animations generally use low poly model, which mainly uses a variety of maps to show details. To befit the situation of the low-model characters' sparse vertices and extensive use of maps, we propose a simple method of harmonic mapping and averaged-plane to simplify mesh connection process and improve the efficiency. Thereafter, map synthesis based on affine transformation is applied to solve the problem of generation of the new map. Therefore, the new seamless fused model is acquired. Based on methods used in this paper and operational processes of model design and production, a Human-Computer interactive fusion application is developed to implement the efficient 3D model fusion and map synthesis operations. Many experimental results have shown that this approach is fast and effective enough to accomplish the fusion for 3D-character models in games and animations, forms a new character model that is more vivid, and thereby makes more interesting applications.

**Keywords:** 3D model fusion; harmonic mapping; map synthesis; averaged plane

## 0 引言

随着计算机 3 维模型制作技术的快速发展, 影视动画和游戏中栩栩如生的角色造型已经越来越多

的使用全 3D 的制作方式。现有的商业 3 维制作软件, 如 3DSMAX、MAYA 等都提供了丰富的造型工具以及模型表面纹理的制作方法; 然而, 使用这些软件制作一个 3 维角色的过程相当复杂, 步骤中操作专业, 需要耗费大量的人力和时间。因此, 如何快速地

收稿日期: 2010-08-11; 修回日期: 2010-11-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(61070124/F020501)。

第一作者简介: 刘晓平(1964—), 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向为建模、仿真与协同计算。E-mail: lxp@hfut.edu.cn。

获得精美逼真的角色模型成为研究领域的热点问题。基于样例的建模方式是一种快速重用 3 维模型数据、提高建模效率的方法,文献 [1] 利用数据库中已有的 3 维模型,使用智能裁剪、搜索匹配、部件融合等一系列操作,产生新的 3 维模型,与此类似,从已有样例通过快速组合得到新的模型被广泛用于树木生成、建筑群规划以及机械制造。

但是,已有的基于样例的模型部件融合研究集中在如何处理模型的几何网格的连接与光滑问题上,没有发现文献涉及两个模型融合后如何处理不同的表面贴图。而在动画产业中,表面贴图无疑比

几何模型本身更翔实地反映了角色的细节特征;在最近流行的次时代游戏中,游戏中的角色通常只是建立了一个只有上千面片级别的低模,而另外用更多的时间雕刻高模来生成角色的漫反射贴图、高光贴图和法线贴图,同时提高实时渲染效率和增强角色的表现效果,如图 1 所示。因此,贴近行业应用,研究模型表面贴图在模型组合后的重新生成技术,并拓展已有的模型网格融合方法使其适合现有情况下低模的快速组合连接成为提升基于样例建模方法的关键问题。

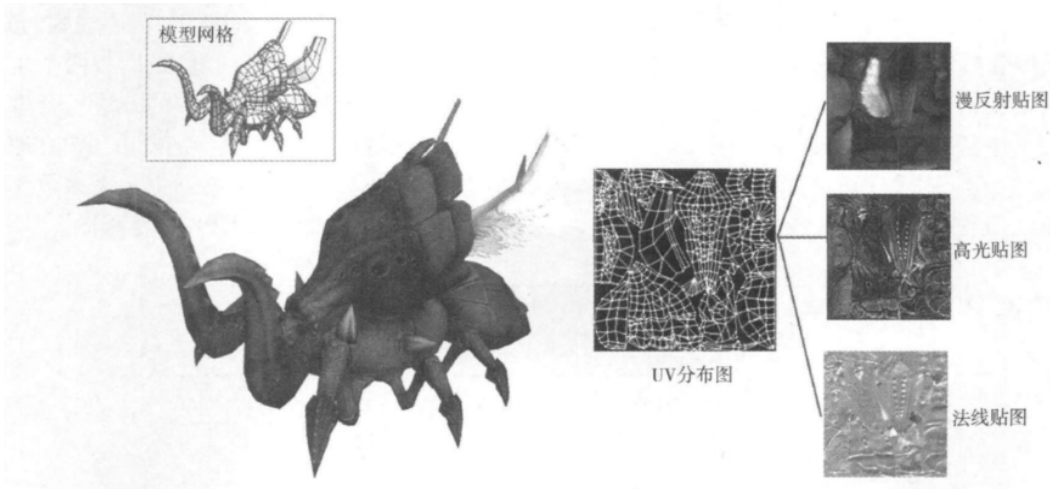


图 1 3 维游戏中的角色

Fig. 1 Character in 3D games

网格融合实际上属于 3 维几何模型上的“剪切粘贴”问题,即从不同的模型上剪切出感兴趣的部分,再将这些部分粘贴到另一个模型上。为了满足不同行业的需求,图形学领域的研究人员在网格融合方面已经进行了很多卓有成效的工作。大致可以分为以下 3 类:

1) 布尔操作方式 布尔操作<sup>[2]</sup>虽然能合并不同的模型,但是它要求参与合并的网格必须是封闭物体; Bierman 等人提出一种基于多分辨率细分曲面的模型剪贴方法<sup>[3]</sup>,该方法要求待融合物体均同构于圆盘,难以处理较为复杂的物体。布尔操作方式耗时且对融合边界的影响很大;

2) 调和映射方法 Kanai 等人提出的基于全局调和映射的方法<sup>[4]</sup>,该方法首先在两个网格之间建立多边形顶点的对应关系,然后插值产生一个光滑的中间物体,该方法同样有同构于圆盘的限制;刘刚等人提出基于局部调和映射的局部网格融合算

法<sup>[5]</sup>,该方法利用等距线抽取待融合区域,从而避免全局求解。调和映射方式简单快速,但大多数都要求融合边界的规则性;

3) 隐式曲面的方法 Singh 等人提出过程隐式曲面的方法来融合多边形网格<sup>[6]</sup>,但是该方法要求待融合区域必须为星形;随着 level set 定理的发展, Muset 提出基于 level set 的算法<sup>[7]</sup>,可以对曲面进行局部和全局的编辑; Bedi 提出一种基于 Bernstein 多项式的隐式函数融合方法<sup>[8]</sup>,该方法不考虑边界的平滑,并且要求待融合物体均为隐式曲面表示形式;万华根等人提出一种基于变分隐式曲面的网格融合方法<sup>[9]</sup>,该方法利用薄板插值 (thin plate interpolation) 对散乱点进行插值,构造光滑过渡曲面的隐式方程。构造隐式曲面的方式可以保证融合处充分的连续,但是有很高的复杂度且对边界规则性也有要求。

然而,现有的方法均不适合本文的模型融合对

象 主要的原因在于: 进行角色融合的主要对象是低精度模型, 低模的表面内容由各种贴图来体现, 而非网格的几何信息来表现, 同时网格点与贴图纹理坐标间固有的约束关系使得模型融合边界的拓扑关系和形状轻易无法改动。因此, 角色模型网格的融合由于表现的特殊性不能进行较高级别的过渡操作, 其目标不在于融合边界的几何光滑, 而是融合的效率 and 过渡网格的简单与均匀; 另一方面, 动画和游戏中角色的形状极不规则, 导致角色分割后的网格边界既不同构于圆盘, 也无法保证凹凸性。

上述原因导致两个模型部件在融合处的复杂度下降, 因而希望使用贴图来增强模型融合的效果。在模型网格融合后, 原本的两张贴图需要合成一张适合于新模型的贴图。虽然在纹理合成<sup>[10]</sup>领域已有相似的工作, 例如过程纹理合成<sup>[11]</sup>和基于样图的纹理合成<sup>[12]</sup>。但是, 纹理的特征是可重复性, 并不适用于不规则且结构性非常强的角色贴图。对于

动画和游戏中细节要求较高的模型, 贴图都是为模型专门绘制的, 包含了角色的表面信息和网格点的纹理坐标, 如何继承模型网格原有的贴图和产生连接处新的贴图是角色融合成功与否的重要问题。

设计一种从已有角色模型快速组合生成新的角色模型的融合方法。首先采用用户交互方式切割或者点选形成需要融合的角色部件, 如头、手臂、上半身等, 该交互选择方法大多数 3 维建模软件都予以支持, 与前述模型融合的前提不同, 本文方法不要求切口的形状; 然后对两个只有一个切口的部件交互放置后进行自动融合操作, 在局部调和映射的方法上提出了均平面的思想, 解决切口处不规则的问题, 同时简化两个边界的连接问题; 最后将两个角色的贴图, 使用图像局部变形和插值的方法组合生成新的贴图, 在此过程中, 纹理坐标需要由用户在原本的基础上交互设定, 同样, UV 展开也是大多数 3 维建模软件所支持的功能, 如图 2 所示流程图。

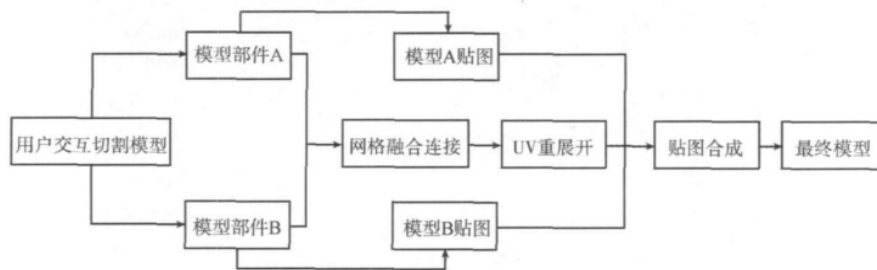


图 2 角色模型融合方法流程

Fig. 2 Business process of model fusion

## 1 角色模型网格融合

进行网格融合的对象是低精度模型, 它缺少足够的几何信息来表现高细节外观, 因此在融合中追求的是融合效率和过渡部分的均匀。这里采用简单的调和映射的思想, 通过映射后的对应关系寻找切口处的匹配点, 在两个模型切口之间生成的均匀的过渡网格。

首先定义网格的融合边界  $L_i$  由点集  $V(v_0, v_1, \dots, v_{n-1})$  和边集  $E(e_0, e_1, \dots, e_{n-1})$  组成, 其中  $0 \leq i \leq n-2$  时,  $e_i = (v_i, v_{i+1})$ , 而  $e_{n-1} = (v_{n-1}, v_0)$ 。由融合边界的边结构可知, 边界呈空间环状。设待融合网格  $A$  的融合边界  $L_A = (V_A, E_A)$ , 网格  $B$  的融合边界为  $L_B = (V_B, E_B)$ , 由于不希望融合时对边界处网格进行变化, 则问题转变

为在两个空间环  $L_A$  和  $L_B$  之间构建过渡网格。Kanai 等人提出的调和映射方法中<sup>[6]</sup>, 需要交互指定匹配点且需要圆盘同构。而所面临的两个边界环不规则且可能不在同一平面上, 为了自动寻找匹配点, 可以先拟合一个平面来近似反映其拓扑关联和大致方位, 这个平面被称为均平面; 在确定了参与融合的边界环的均平面后, 就可以依托均平面确定一个融合参考平面, 从而将融合边界一致化到参考平面上, 简化拓扑合并前匹配点的寻找难度。

### 1.1 均平面的求解

首先给出均平面的求解过程。

如图 3(a) 所示, 将与边  $e_i$  和其所属面片  $f$  的法向量垂直, 并且向外的单位向量称之为边  $e_i$  的方向向量。

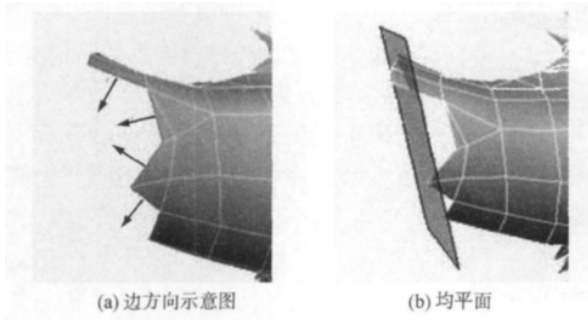


图 3 均平面示意图  
Fig. 3 Average plane

通过式(1)计算该方向向量:

$$vector(e_i) = Normlize(normal(f) \times e_i) \quad (1)$$

边方向向量确定后,即可以用边的方向向量和边的长度作为定义均平面的参数。从而得到边界环  $L_i$  的均平面  $P_i$ ,  $P_i$  过  $L_i$  的重心  $v_M$  并且它的法向量由边方向向量加权决定,加权系数即为边的长度,重心、均平面为

$$v_M = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} v_i$$

$$norm(P_i) = \frac{1}{C} \sum_{i=0}^{n-1} l(e_i) \cdot vector(e_i) \quad (2)$$

式中  $C = \sum_{i=0}^{n-1} l(e_i)$  为边界环  $L$  的周长,  $l(e_i)$  为边  $e_i$  的长度,  $vector(e_i)$  为  $e_i$  的边方向向量。

1.2 融合参考平面

利用式(1)(2)可以得到  $L_A, L_B$  的均平面方程  $P_A: A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$ ,  $P_B: A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0$ 。

融合边界的均平面确定后,为一致化  $L_A$  和  $L_B$  以确定它们的顶点对应关系,必须把  $L_A$  和  $L_B$  映射到一个参考平面上进行衡量。这里利用均平面的中间平面来定义参考平面  $P_M$ ,  $P_M$  满足这样的性质:  $P_M$  上任意一点到  $P_A$  的距离和到  $P_B$  的距离都相等。  $P_M$  的求解有两类情形,如图 4 所示。

1)  $P_A$  和  $P_B$  平行 如  $(A_1, B_1, C_1) = (A_2, B_2, C_2)$ , 即平面法线方向一致,则  $P_M$  的平面方程

$$P_M: A_1x + B_1y + C_1z + 0.5 * (D_1 + D_2) = 0$$

如  $(A_1, B_1, C_1) = -(A_2, B_2, C_2)$ , 即平面法线方向相反,则  $P_M$  的平面方程

$$P_M: A_1x + B_1y + C_1z + 0.5 * (D_1 - D_2) = 0$$

2)  $P_A$  和  $P_B$  不平行 首先得到  $P_A$  和  $P_B$  的交线方向  $s = (A_1, B_1, C_1) \times (A_2, B_2, C_2)$ , 以及由  $P_A$  和

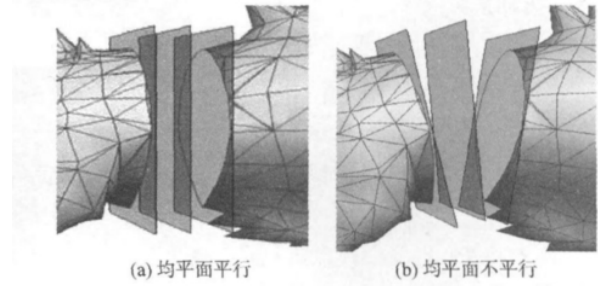


图 4 融合参考平面示意图  
Fig. 4 Fusion referenced plane

$P_B$  法线方向确定的经过平面  $P_M$  的一条直线方向  $l = (A_1, B_1, C_1) + (A_2, B_2, C_2)$ , 从而  $P_M$  的法线  $n_M = s \times l$ , 另外求得交线上任意一点  $p_0(x_0, y_0, z_0)$  则由法线和平面上一点决定了  $P_M$  的平面方程  $P_M: A_M(x - x_0) + B_M(y - y_0) + C_M(z - z_0) = 0$ 。

1.3 调和映射

Kanai 等人的调和映射方法中<sup>[4]</sup>为了构造光滑的连接体采用了较为复杂的调和函数,本文所面临的游戏低模不需要复杂的连接体,甚至希望不产生过多的中间网格。因此在融合参考平面  $P_M: A_Mx + B_My + C_Mz + D_M = 0$  得到后,将边界环上的点 1:1 拓扑映射到  $P_M$  上进而产生简单的匹配关系。

对于融合边界  $L_i$ ,使用点  $v_i$  到  $P_M$  的投影操作决定映射函数  $v'_i = f(v_i)$ 。

$$f(v_i) = v_i - n_i \cdot \frac{n_M \cdot v_i + D_M}{n_M \cdot n_i} \quad (3)$$

式中  $n_M = (A_M, B_M, C_M)$  为  $P_M$  的法线向量,  $n_i = (A_i, B_i, C_i)$  为边界环  $L_i$  的法线向量。设  $L_i$  环上的每一个点经过式(3),空间坐标变换为  $(f(v_0), f(v_1), \dots, f(v_{n-1}))$  在  $P_M$  平面上构成 2 维曲线,其重心为  $v'_M = \sum_{i=0}^{n-1} f(v_i)$ 。将  $L_A$  和  $L_B$  的投影的重心重合形成新的坐标原点,平面  $P_M$  为  $XOY$  平面,则边界环被映射为处于平面坐标系上并且重心在原点的 2 维曲线,如图 5 所示。

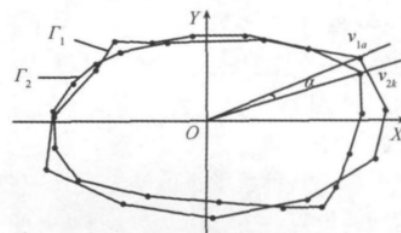


图 5 调和映射后的 2 维曲线  
Fig. 5 Curve after harmonic mapping

### 1.4 拓扑连接

经过映射后的边界环如图 5 所示, 设边界环  $L_A$  被变换为 2 维曲线  $\Gamma_1(v_{10}, p_{11}, \dots, p_{1m})$ , 边界环  $L_B$  被变换为 2 维封闭曲线  $\Gamma_2(v_{20}, p_{21}, \dots, p_{2n})$ 。周长分别为  $C_1$  和  $C_2$  (顶点顺序均重置为沿曲线顺时针方向)。

首先将  $\Gamma_1$  的每个顶点进行归一化, 归一化度量参数为  $\lambda$  ( $0 \leq \lambda \leq 1$ )。取第一个顶点  $v_{10}$ , 定义  $\lambda_{10} = 0$ , 当  $0 < i \leq m - 1$  时,  $\lambda_{1i} = \lambda_{1j-1} + l(v_{1i}, v_{1j-1}) / C_1$ 。

接着对  $\Gamma_2$  的顶点度量归一化。在  $\Gamma_2$  寻找一点  $v_{2k}$ , 该点到原点的向量和  $v_{10}$  到原点的向量夹角  $\alpha$  最小(图 5)。令  $\lambda_{2k} = 0$ , 则第  $k$  点开始, 假设第  $i$  个顶点的前一个顶点索引为  $pre(i)$ , 后一个顶点索引为  $post(i)$ , 则  $\lambda_{2i} = \lambda_{2pre(i)} + l(v_{2post(i)}, v_{2i}) / C_2$ 。

归一化后, 实际上是将曲线同构映射为单位圆。拓扑连接的步骤如下:

- 1)  $\Gamma_1$  从  $v_{10}$  开始,  $\Gamma_2$  从  $v_{2j}$  点开始, 连接  $v_{10}$  和  $v_{2j}$  作为生长边;
- 2) 假设当前的生长边为  $v_{1i}$  和  $v_{2j}$ , 则判断  $\lambda_{1post(i)} < \lambda_{2post(j)}$ , 则  $i = post(i)$ ; 否则  $j = post(j)$ ; 重复步骤 2), 直到网格构建完毕。

图 6 展示了此方法连接后的网格较为均匀。

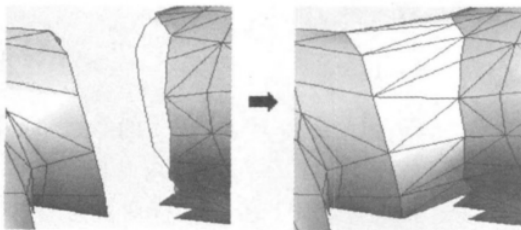


图 6 拓扑合并后的网格  
Fig. 6 Mesh of topology combined

## 2 贴图合成技术

贴图的合成需要解决两个问题, 一个是已有网格贴图的继承, 另一个是过渡网格贴图的生成。对于继承的问题, 实际上是一种贴图数据的重用, 可用仿射变换的方法完成变形复制; 而对于过渡处贴图的生成这里采用某种数学插值的方式来完成贴图之间的过渡渐变效果。

### 2.1 贴图的继承

在网格融合前, 角色  $A$  和角色  $B$  分别有其各自

的贴图, 并且源于不同的图片, 同时有各自的贴图映射规则, 即纹理坐标。对于参与融合的角色, 可能只用到其源贴图图像的部分内容, 而其余的贴图图像在剪切掉角色模型的一部分后, 失去了在融合后模型中使用的价值。因此, 在融合过程中, 只需要为新贴图提取所需要的部分图像内容, 同时舍弃冗余的贴图图像部分, 这样可以大大地节约贴图空间, 优化贴图的使用效比。

以漫反射贴图为例, 设角色  $A$  对应的漫反射贴图为  $MP_A$ , 角色  $B$  对应的漫反射贴图为  $MP_B$ 。网格  $A$  的面片贴图映射规则函数为  $\Delta_A = g_A(x)$ , 此处  $x$  表示网格  $A$  上的面片,  $\Delta$  表示面片  $x$  对应贴在贴图图像上的一个三角形或四边形区域; 同理, 网格  $B$  的面片贴图映射规则函数  $\Delta_B = g_B(x)$ 。贴图映射规则一般由美工人员通过 3 维建模软件对角色进行 UV 展开并设计, 在本文方法中, 新角色模型的贴图映射规则同样需要美工人员的参与, 因为可以继承已有规则, 所以只需要做简单的调整即可。在 UV 重分后, 可以得到新角色模型  $C$  的面片贴图映射规则函数为  $\Delta_C = g_C(x)$ 。根据第 2 节中的网格融合方法, 对于网格  $A$  上的参与模型融合的面片  $f$ , 在融合后的网格  $C$  中保持不变, 但显然  $f$  在  $\Delta_A$  和  $\Delta_C$  中所对应的贴图图像中的区域是不同的, 因此问题转换为: 如何将  $\Delta_A = g_A(f)$  图像区域变换到  $\Delta_C = g_C(f)$  上去, 对于网格  $B$  同样如此。

如图 7 所示, 新纹理面片  $\Delta_C$  上的任意一点像素  $P_2$ , 都可以对应到网格面片上的一点  $P$ , 决定  $P$  点颜色值的点为  $\Delta_A$  中的  $P_1$  像素点。因此, 新纹理面片  $\Delta_C$  的内容完全可以由原纹理面片  $\Delta_A$  得到。这里采用双线性插值的三角形变形算法来完成贴图图像的变形过程, 该变形算法实际是仿射变换过程, 其中变形矩阵  $M$  由  $\Delta_A$  和  $\Delta_C$  的 3 个顶点唯一确定, 得到

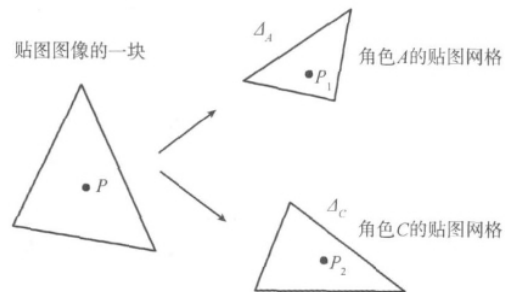


图 7 网格面片对应的不同纹理面片  
Fig. 7 Different UV-faces matching face

变形矩阵后, 利用双线性插值和扫描线技术即可快速地完成三角形图像的变形。

双线性插值可以较好地保持图像像素的连续性, 即使在纹理面片形态产生大幅度变化时, 仍然可以保持像素的平滑过渡。但在图像的变形过程中, 由于各个面片彼此形态变化的程度和方式不同, 不可避免地会产生像素精度的损失以及纹理面片之间的分辨率差异问题。图 8 是采用双线性插值三角形变形算法提取出源贴图的部分图像, 展示了提取后可能出现的图像局部变形和分辨率的改变情况。

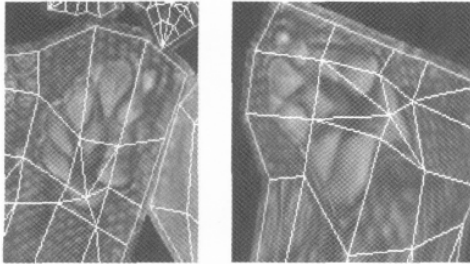


图 8 源贴图仿射变换效果  
Fig. 8 Effect after affine transformation

### 2.2 过渡贴图的生成

在第 1 节网格融合过程中, 边界环之间生成的过渡网格是原先并不存在的网格, 也就是说, 它没有任何可以继承的贴图规则, 更没有与之相匹配的贴图图像。如果仅仅只是继承了角色 A 和角色 B 的贴图, 那么在过渡处会产生贴图的缺失, 无法在视觉上造成两个部件真正融合在一起的效果。因此, 填补过渡网格的贴图空白, 并能在一定程度上使边界贴图之间形成过渡, 对于新角色的逼真度和可用性都有着非常重要的意义。

采用边界环对应的贴图像素采用线性采样并插值生成缺失部分贴图像素的方法。如图 9 所示, 缺

失网格对应的贴图上的任意一点  $M'$ , 对应在网络上的位置为  $M$ , 使用边界环  $L_A$  和  $L_B$  对应于均平面的重心和  $M$  决定的平面切割网格, 分别与边界环  $L_A$  和  $L_B$  相交于  $A$  点和  $B$  点。那么  $M$  点对应的贴图像素值应该由  $A$  点和  $B$  点对应的贴图中相对应的像素值共同决定。 $A$  点和  $B$  点对应在贴图上的像素采用双线性插值的方法提取, 得到  $A$  和  $B$  的像素值后, 采用线性加权方式, 计算  $M$  点对应的贴图像素值为  $rgb(M) = \lambda_1 \cdot rgb(A) + \lambda_2 \cdot rgb(B)$ , 其中  $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ , 由  $AM$  与  $BM$  的长度比决定。对于缺失部分贴图上的每一个像素, 均进行这样的操作, 就会形成线性渐变效果的像素集。

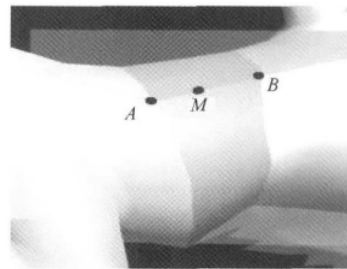


图 9 缺失像素的生成  
Fig. 9 Missing pixels generation

如图 10 所示红色框的贴图来源于角色 A, 蓝色框的贴图来源于角色 B, 而绿色的则是根据边界像素插值生成的新贴图部分。图 10(c) 已经可以赋予融合后的新角色 C, 其舍弃了源贴图中不再使用的部分, 节省了 UV 分布图的空间, 有利于提高贴图映射的效率并且方便新角色继续参与其他游戏角色的融合; 同时, 新生成的缺失部分贴图像素可以在一定程度上满足两种贴图之间的渐变效果, 达到视觉上的自然过渡, 使得观察者在观察游戏角色时不会出现纹理贴图突变的情况。

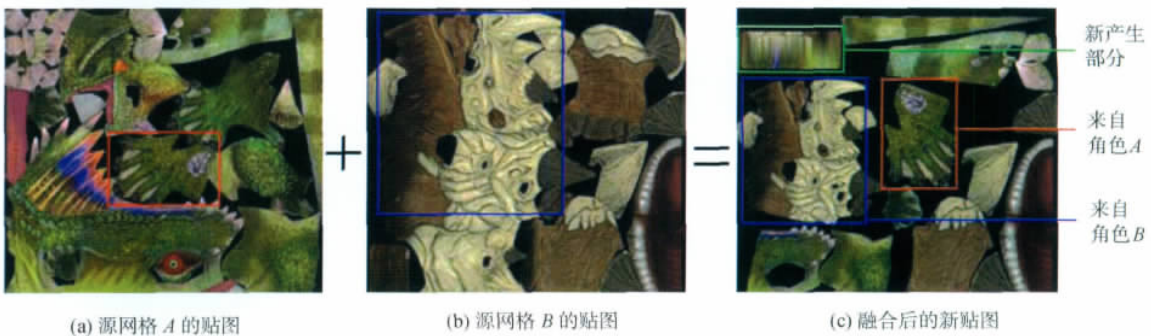


图 10 贴图合成示意图  
Fig. 10 Map synthesis schematic diagram

### 2.3 法线贴图

法线贴图对于模型细节的表现具有十分重要的意义,从贴图角度上表现物体的凹凸细节,相比于几何表现存在着巨大的优势,它避免了不必要的巨大几何代价,利用贴图的形式来干扰法线,从而得到视觉上的凹凸效果。但是,法线的制作成本较高,一般来说,从雕刻高模到烘焙法线,一张完整的法线贴图生成需要 3~5 天的时间。那么,在角色融合过程中有效重用法线贴图细节将会大幅度减少新模型的制作时间和制作成本。

法线贴图合成的关键在于过渡网格部分的细节,其他网格部分完全可从已有细节中继承获取,但过渡处法线贴图的生成略有差异。如图 10(a) 所示,模型在连接处出现凹凸效果中断的情况,因此我们希望能够有效地保持和延伸这些凹凸效果,使之自然趋向于平坦。

虽然在中间部分没有更多的凹凸细节,但是该方法重用了已有的凹凸细节,另一方面使得在交界处具有明显的渐变趋平效果,在非过于细节化的场合下,这种合成后的法线贴图具有相当意义上的可用性。

## 3 实验结果

采用游戏公司所提供的几十种角色测试本文的方法,实验环境为 CPU core 2 × 2.66 GHz,内存 4 G,显卡是 NVIDIA Quadro fx1700。图 11 给出的是蜥蜴的后半身和野猪的前半身最终的融合效果,其中蜥蜴的面片数为 950,野猪的面片数为 2 414,模型融合耗时 15 ms,贴图生成耗时 140 ms,前述使用的参考图样例都来自于该样本。

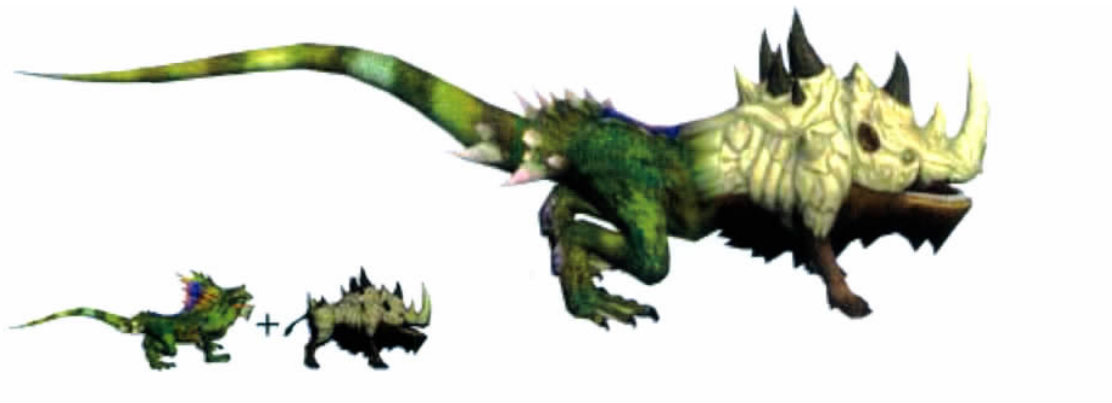


图 11 蜥蜴(左)和野猪(右)合成后的结果

Fig. 11 Fusion result of lizard( left) and boar( right)

图 12 展示了其他角色样本部件融合的结果,连接处给予放大展示,表 1 给出了角色样本的实验参数。对于贴图的生成时间,不仅和融合模型的面片

数量有关,而且受到重分的 UV 分布图对贴图的图像利用率的约束,因此,它的耗时可能与面片数的数量没有明显的正比关系。

表 1 角色模型样本融合实验参数

Tab. 1 Character samples parameters in fusion experiment

角色 A	面片数	角色 B	面片数	模型融合时间/ms	贴图生成时间/ms
螃蟹下半部	2 795	蜥蜴前半部	2 538	16	110
螃蟹上半部	550	蠕虫下半部	1 544	10	125
海狸身子	586	袋鼠头	308	6	125
恐龙身子	914	袋鼠上半身	466	8	109
蜘蛛后半部	1 746	蜥蜴前半部	2 538	15	156
松鼠	1 156	黄蜂翅膀	114	9	109



图 12 多个角色模型融合后的新角色模型

Fig. 12 More new models are generated using fusion process

多个角色样本实验的结果表明,本文办法能够在足够短的时间下快速利用已有的游戏或者动画中的角色模型,合成出各式各样的新角色模型,目前,这些角色模型已经得到合作的游戏公司从业人员的

认可,达到在游戏中使用的要求。同时,我们也发现,对于取色和花纹类似的怪物角色在合成后视觉的连续性较好,基本感觉不出是不同的角色合成的,而对于色差过大或图案风格完全不一样的怪物角



色合成后除了连接处过渡非常明显,整体效果看来也相对怪异,这就需要角色设计师有意识地挑选类似源角色合成,才能得到符合观感的新角色。

## 4 结 论

角色模型的快速融合技术在游戏与动画影视等行业都具有广泛的用途,一方面,该技术可以帮助模型制作人员快速重用已有模型,缩短制作时间,提高工作效率;另一方面,美工可以将自己的主观创意通过一系列的模型融合来快速查看结果,启发美工设计出更有趣逼真的模型。本文的研究工作正是在此行业需求的驱动下开展的,设计一种简易快捷的融合途径,针对游戏与动画影视行业中使用的附着有贴图的 3 维模型,使用基于样例的建模方法,利用拓扑映射实现几何网格部件的快速融合,提出均平面的思想放宽了对融合边界规整性的要求;在网格融合的基础上,提出一种源贴图的继承与新贴图的生成方案,完成新角色贴图的合成,增强了新角色的真实感与可用性。

工作对于动画和游戏行业具有非常重要的意义,也使得基于样例的建模方法可以真正的得以应用。在未来的工作中,设想有两方面的提升需要:1) 开展对新的 UV 分布图自动生成的研究,从而进一步加快新角色制作的过程;2) 改进过渡网格处贴图各像素值的生成方法,力图使之达到更为自然连贯的效果。

志谢 感谢 VCC 研究室项目组同学的共同努力,以及上海久之游信息技术有限公司提供的大量角色数据资料。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Funkhouser T, Kazhdan M, Shilane P, et al. Modeling by example [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2004, 23(3): 652-663.
- [ 2 ] Adams B, Dutré P. Interactive boolean operations on surfel-bounded solids [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2003, 22(3): 651-656.
- [ 3 ] Biermann H, Martin I, Bernardini, et al. A cut-and-paste editing of multiresolution surfaces [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2002, 21(3): 330-338.
- [ 4 ] Kanai T, Suzuki H, Mitani J, et al. Interactive mesh fusion based on local 3D metamorphosis [C]//*Proc. of Graphics Interface '99*. Kingston, Ontario, Canada: Canadian Human-Computer Communications Society, 1999: 148-156.
- [ 5 ] Liu Gang, Jin Xiaogang, Feng Jieqing, et al. Montage mesh fusion [J]. *Journal of Software*, 2003, 14(8): 1425-1432. [刘刚, 金小刚, 冯结青, 等. 蒙太奇网格融合 [J]. *软件学报*, 2003, 14(8): 1425-1432.]
- [ 6 ] Singh K, Parent R. Joining polyhedral objects using implicitly defined surfaces [J]. *Visual Compute*, 2001, 17(7): 415-428.
- [ 7 ] Museth K, Breen D, Whitaker R, et al. Level set surface editing operators [C]// *Proceedings of SIGGRAPH*. San Antonio, Texas: ACM Press, 2002, 21(3): 330-338.
- [ 8 ] Bedi S. Surface design using functional blending [J]. *Computer-Aided Design*, 1992, 24(9): 505-511.
- [ 9 ] Wan Huagen, Jin Xiaogang, Liu Gang, et al. Mesh fusion based on variational implicit surfaces [J]. *Journal of Software*, 2005, 16(11): 2001-2007. [万华根, 金小刚, 刘刚, 等. 基于变分隐式曲面的网格融合 [J]. *软件学报*, 2005, 16(11): 2001-2007.]
- [10] Turk G. Texture synthesis on surfaces [C]//*Proceedings of SIGGRAPH*. Los Angeles: ACM Press, 2001: 347-354.
- [11] Turk G. Generating textures on arbitrary surfaces using reaction diffusion [C]//*Proceedings of ACM SIGGRAPH*. Los Angeles: ACM Press, 1991: 289-298.
- [12] Wei Liyi, Marc Levoy. Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization [C]//*Proceedings of SIGGRAPH*. New Orleans: ACM Press, 2000: 479-488.

[ 1 ] Funkhouser T, Kazhdan M, Shilane P, et al. Modeling by