

蒙太奇网格融合*

刘刚, 金小刚⁺, 冯结青, 彭群生

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

Montage Mesh Fusion

LIU Gang, JIN Xiao-Gang⁺, FENG Jie-Qing, PENG Qun-Sheng

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

+ Corresponding author: Phn: 86-571-87951045, Fax: 86-571-87951780, E-mail: jin@cad.zju.edu.cn

<http://www.cad.zju.edu.cn/home/jin>

Received 2002-12-07; Accepted 2003-03-13

Liu G, Jin XG, Feng JQ, Peng QS. Montage mesh fusion. *Journal of Software*, 2003,14(8):1425-1432.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1425.htm>

Abstract: 3D object fusion is a new geometric modeling tool. It provides an easy and fast way to generate novel models from two or more existing geometric models by using 3D cutting and pasting operations. A new montage mesh fusion method is proposed based on local harmonic mapping in this paper. The approach first extracts mesh regions to be fused by approximating offset curves on meshes, then parameterizes the regions using harmonic mapping with holes, and the smooth mesh fusion is finally obtained by topology combination and fusion control. Compared with the global harmonic mapping method, this approach has the following advantages. (1) The efficiency of the algorithm is greatly improved. The computational cost involved no longer increases exponentially with the number of vertices of the meshes to be fused. (2) The algorithm is robust as the ambiguity in graph structure combination is alleviated. (3) The detail of the cut mesh is fully kept. (4) The topology restriction of the original algorithm is eliminated. Experimental results show that the new approach can be used to create lots of special exaggerated modeling effects for computer animation, thus it is of import value in film and TV industry.

Key words: mesh fusion; harmonic mapping; cut and paste; topology combination; special effects

摘要: 三维物体融合是一种新的几何造型方法,它利用三维模型之间的剪贴操作从两个或多个现有的几何模型中光滑融合出新的几何模型。提出了一种基于局部调和映射的三维网格蒙太奇融合新方法。首先利用网格上的近似等距线算法来抽取出待融合区域,然后对两个待融合区域进行带内孔的调和映射参数化,最后通过拓扑合并和融合控制来实现网格的光滑融合。与原有的基于全局调和映射的融合方法相比,新方法的算法效率大幅度提升,求解时间不再随融合模型顶点数的增加而呈指数增长;减少了二维网格拓扑合并中奇异情况出现的概率,提高了算法的稳定

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60273054, 60021201 (国家自然科学基金); the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.2002CB312101 (国家重点基础研究发展计划(973)); the Specialized Research Foundation for the Doctoral Program of Higher Education of China under Grant No.20020335070 (国家教育部博士点基金);

第一作者简介: 刘刚(1978-),男,湖北沙市人,硕士,主要研究领域为计算机动画。

性;被剪切网格的细节得到完整保留;消除了原算法对融合区域拓扑的限制.实验结果表明,此方法可以用来生成许多三维动画中的特殊夸张造型效果,在影视动画中具有应用价值.

关键词: 网格融合;调和映射;剪贴;拓扑合并;动画特技

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

安徒生的童话故事《海的女儿》陪伴许多人度过了难忘的童年.在哥本哈根港,丹麦著名雕刻家爱德华·埃里克森根据该故事女主人公雕铸而成的“美人鱼”铜像成了该市的象征.艺术家独具匠心的巧妙构思和丰富的想象力令人叹为观止,一个有趣的问题是在计算机动画中怎样创造它们.例如,给定美女和鱼的几何模型,能否创造出美人鱼的模型?新奇性永远是动画师孜孜以求的目标之一,三维物体的蒙太奇融合技术可以用来生成三维动画中的许多特殊而夸张的造型效果,如美人鱼、古埃及的“狮身人头”像和科幻电影中各种古怪的异形等等.在动画设计中,通过造型和三维激光扫描得到的几何模型已有很多,从现有的模型中“粘贴”组合出新的模型将大大提高动画师创作新模型的效率,并允许动画师采用“分而治之”的构造方法设计复杂模型,因而这类“移花接木”的融合技术在影视特技、三维广告制作、娱乐游戏等行业中具有广泛的应用前景.

三维物体融合实际上可以分解为三维物体几何模型的“剪切”和“粘贴”问题,即从一个物体上“剪切”出一块,然后“粘贴”到另一个物体上.在进行这些操作时,必须考虑“粘贴”时物体粘贴边界的光滑连续性问题.解决这个问题的一种方法是采用元球之类的隐式曲面^[1-7],如 Pederson 提出的“剪切”和“粘贴”隐式曲面的方法^[8].隐式曲面的光滑融合特性使得“粘贴”后的光滑过渡问题变得非常简单,但这种表示只适合原始物体均为元球(或其它隐式曲面)表示的物体.针对机械产品设计中的特征造型问题,Ranta 等人提出了一种实体间“剪切”和“粘贴”的方法^[9].但该方法不考虑物体融合后融合边界的光滑性问题.1997年,Chan 等人提出了一种在世界坐标中的 B 样条曲面粘贴方法^[10].但该方法要求源物体和目标物体均为张量积 B 样条曲面,而不能用来处理一般的多边形网格.2001年,Singh 等人提出了采用过程隐式曲面来连接多面体的新方法^[11].该方法要求待融合的区域为星形物体,但在许多应用中这个约束条件并不能满足.2002年,Museth 等人提出了一种基于 Level set 的曲面编辑算子来实现局部和全局封闭曲面编辑^[12].该方法可以实现网格融合,但需先把物体转换为体表示,处理完以后再把体表示转化为多边形表示,但这种间接的方法存在速度慢、容易丢失细节等缺陷.Biermann 等人提出了一种基于多分辨率细分曲面将特征剪切到目标区域的方法^[13],但该方法对特征和目标区域的复杂度有较强的依赖性,不适用于复杂物体间的融合.

Kanai 等人于 1999 年提出的基于全局调和映射的网格融合是近年来一种比较实用的方法^[14].该方法首先利用物体渐变的思想建立网格顶点之间的对应关系,然后插值对应点产生光滑的中间物体.为了解决对应问题,算法需要把一个拓扑同构于圆盘的三维网格调和映射到一个外接于单位圆的二维正多边形内^[15-18].假设融合区域三维网格的顶点数为 n ,则该映射的算法复杂度为 $O(n^2)$.物体的融合只是局部区域,而求解方法却是全局的.如果源物体和目标物体包含的点比较多,则求解的计算量非常大.在嵌入单位圆后,在计算两个网格的拓扑合并时也需要不少的计算量,而且由于奇异情形多,算法的稳定性难以保证.为了克服 Kanai 等人方法的缺点,本文提出了一种基于局部调和映射的三维网格融合新方法.

1 基于全局调和映射的网格融合算法及缺点

基于全局调和映射的网格融合算法可大致分为 4 步^[13](如图 1 所示).

(1) 用户在原始网格模型 M^1, M^2 上分别选取相同数目的顶点(图 1(a)),称它们为对应顶点 CV(corresponding vertex).通过对对应顶点 CV 在 M^1, M^2 中分别定义融合区域 F^1 和 F^2 (图 1(b)).我们称 F^1 和 F^2 为 Tile,它们表示网格上被用户选取进行处理的子区域.图 1(b)中网格上的小方块点表示被选择的顶点.

(2) 对 F^1 的边界进行粗调整,使 F^1 和 F^2 的边界基本重合(图 1(c)).

(3) 对两个 Tile 通过调和映射进行二维参数化,得到 H^1, H^2 (图 1(d)). H^1 和 H^2 分别保留了 F^1 和 F^2 的拓扑结构.合并 H^1, H^2 得到 H' , H' 混合了 H^1 和 H^2 的图结构(图 1(e)).

(4) 由 H^c 得到合并的 Tile F^c , 它建立了两个融合区域网格之间的顶点对应关系. 记 $\hat{F}^2 = M^2 - F^2$, 通过融合控制函数 FCF (fusion control function) 进行交互控制, 便可插值得到最终的目标网格 $M^c = F^c \cup \hat{F}^2$ (图 1(f)).

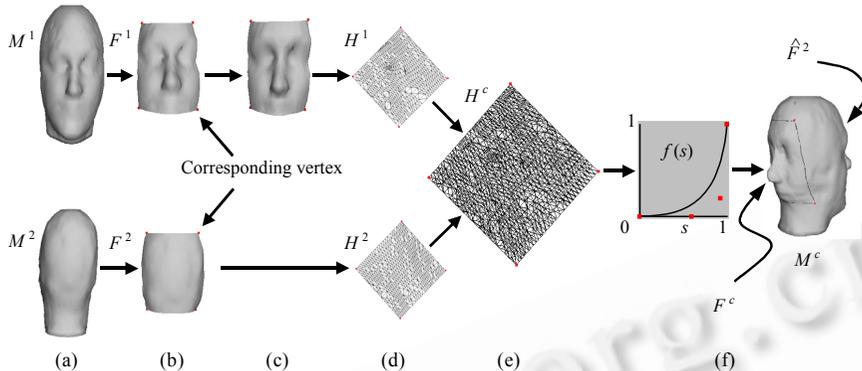


Fig.1 An overview of mesh fusion based on global harmonic mapping

图 1 基于全局调和映射网格融合的框架图

Kanai的方法是一种实用的网格融合算法,但仍存在一些缺陷.

1) 效率不高.这是原算法存在的一个性能瓶颈.假设融合区域三维网格的顶点数为 n ,则调和映射需要求解一个近似为 $2n \times 2n$ 的线性方程组.如果源物体和目标物体包含的点比较多,则求解的计算量非常大(具体数据见表 1).随着融合区域网格顶点数的增加,拓扑合并的计算量也急剧增长,这使得该算法非常耗时.

Table 1 Relation between the number of mesh vertices and the computation time in harmonic mapping

表 1 调和映射计算时间与网格顶点个数之间的关系

Number of mesh vertices	287	317	392	452	504	848	1120	1909
Computational time (s)	0.156	0.484	0.984	1.625	2.266	14.062	31.000	165.547

2) 稳定性差.当网格的顶点较多时,原算法不仅效率不高,还会增加产生各种奇异情况的可能.可能的奇异情况包括 H^1 和 H^2 中的点重合、 H^1 上的点位于 H^2 的一条边上等,这都降低了拓扑合并算法的稳定性.而原算法为了避免各种奇异情况而采用的先调整重合点位置,然后重复进行调和映射直到无奇异情况发生的方法,只会使算法效率更低.效率和稳定性的缺陷决定了原算法不能很好地应用于中大规模网格的融合.

3) 拓扑的限制.因为采用全局调和映射对 Tile 进行参数化,Tile 必须拓扑同构于圆盘.这个限制使得原来的算法只能剪贴物体上拓扑同构于圆盘的部分.

2 基于局部调和映射的局部网格融合算法

2.1 新算法采取的改进策略和框架

不难发现,基于全局调和映射网格融合算法效率不高的根源在于全局求解,它必须对抽取出的整个 Tile 进行调和映射、拓扑合并等处理.全局求解的思想来源于三维 Morphing^[15],其特点是它的融合控制函数是全局的,所以它可以对融合效果进行灵活的全局控制.但是从三维剪贴的角度来说,被剪切网格细节需要尽量保留,要融合的只是两个物体的剪切边界处.因此,在更多时候我们并不需要全局融合,只需要能使过渡区域保持视觉光滑的局部控制即可.新算法设计的一个核心思想是没有必要为不需要的灵活性而付出不必要的性能代价.我们采用了局部融合的方法,在把被剪切网格加到另一个物体上时,只融合两物体边界处的过渡区域.由于融合时只需影响局部区域,可预先在待融合物体上定义一个局部的待融合的区域.这样,新算法不需全局求解,只需映射受影响的局部区域,减少了计算量,提高了算法的效率.

新的网格融合算法的框架如图 2 所示.与原算法的不同之处在于:(1) 我们提出利用网格上的近似等距线算法来抽取待融合区域 \tilde{F}^1 和 \tilde{F}^2 (图 2(d)).(2) 对两个待融合区域进行带内孔的调和映射参数化.待融合区域不再拓扑同构于圆盘,而是同构于一个环形圆盘.

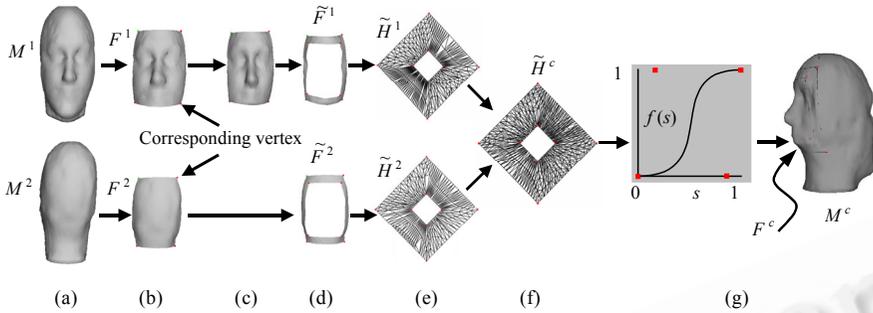


Fig.2 An overview of mesh fusion based on local harmonic mapping

图 2 基于局部调和映射网格融合的框架图

2.2 局部调和映射

为了找到两个 Tile 之间的顶点对应关系,我们通过局部调和映射对它们进行参数化.首先将它们映射到一个共同的平面区域,然后将平面上的网格进行拓扑合并以找到顶点对应关系.全局调和映射将 Tile 嵌入到一个内接于单位圆的正 n 边形中,其中 n 为用户选择的对应点 CV 的数目.在新算法中,因为需要参数化的两个待融合区域同构于环形圆盘(如图 3 所示),我们在正 n 边形内嵌一个小的正 n 边形,映射的目标区域为这两个正 n 边形间的环形区域 H .在图 2 中,因为我们选择的对应点数目是 4 个,故嵌入的为内接于单位圆的正方形环 F 和 H 具有相同的顶点/边/面图结构,所以它们的顶点、边和面之间是一一对应的.映射分两步进行.

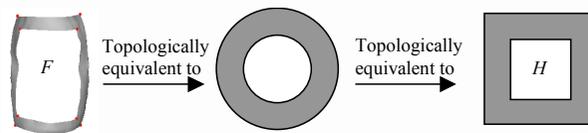


Fig.3 Fusion region topologically equivalent to a ring-like disk

图 3 融合区域均同构于环形圆盘

1) 边界映射 $g: \partial F \rightarrow \partial H$, 将 F 的边界映射到 H 的边界.内外边界的两组 n 个 CV 被放于 H 的内外正 n 边形的顶点,其他边界上的顶点按照其在边界边上的顺序和长度比例映射到内外正 n 边形的边上.待融合区域 \tilde{F}^1 和 \tilde{F}^2 嵌入到相同的 H 中.

2) 调和映射 h , 将 Tile 的内部顶点从 F 映射到 H .假设 $Edges(H)$ 表示 H 中边的集合, i, j 表示标号, v_i, v_j 表示 H 中顶点的位置, 则映射到 H 中的点的位置使能量函数 E 取极小值:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{\{i,j\} \in Edges(H)} K_{i,j} \|v_i - v_j\|^2, \tag{1}$$

其中

$$K_{i,j} = \frac{l_{i,k_1}^2 + l_{j,k_1}^2 - l_{i,j}^2}{A_{i,j,k_1}} + \frac{l_{i,k_2}^2 + l_{j,k_2}^2 - l_{i,j}^2}{A_{i,j,k_2}}, \tag{2}$$

l_{ij} 表示 F 中边 $\{v_i^F, v_j^F\}$ 的长度, $A_{i,j,k}$ 表示 F 中面 $\{v_i^F, v_j^F, v_k^F\}$ 的面积, k_1, k_2 为 F 中与内部边 $\{i,j\}$ 相关联的两个顶点.

E 是一个正二次函数,其惟一解可通过求解稀疏线性系统 $\nabla E = 0$ 来得到. H 中顶点集的 x, y 分量定义了一个 $2n$ 维的矢量 V :

$$V = (v_{1x}, v_{1y}, v_{2x}, v_{2y}, \dots, v_{nx}, v_{ny}), \tag{3}$$

其中 n 表示 H 中顶点的数目. E 是一个二次型,可以表示成 $E = V^T H V$ 的形式.这样, E 的梯度可以表示为 $\nabla E = \partial E / \partial V$.

注意到边界上的点是固定的,我们需求的只是内部的点.为了求解该线性系统,将 V 分成两部分:自由部分 V_h 和固定部分 V_g .常量矩阵 H 也同时作相应的分解.这样,能量函数 E 可重写成下面的形式:

$$E = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_h^T & \mathbf{V}_g^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{hh} & \mathbf{H}_{hg} \\ \mathbf{H}_{gh} & \mathbf{H}_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_h \\ \mathbf{V}_g \end{bmatrix} \quad (4)$$

因为能量函数对于固定部分 \mathbf{V}_g 是个常量,我们只需求 E 对自由部分 \mathbf{V}_h 的梯度:

$$\nabla E = \frac{\partial E}{\partial \mathbf{V}_h} = 2\mathbf{H}_{hh}\mathbf{V}_h + 2\mathbf{H}_{hg}\mathbf{V}_g = 0, \quad (5)$$

便可解得该线性系统,从而得到 H 中顶点集 V 的位置.只要给定的是流形多边形模型,该线性系统的解存在,并且解是惟一的.

2.3 待融合区域的抽取

在基于局部调和映射的网格融合中,首先应确定环形待融合区域.一种方案是让用户在每个网格上手工选择两组点,对每组点的相邻点之间分别用近似最短路径算法求得一条边界.该方案的优点是简单直观,缺点是用户的交互过多,给用户增加负担.为此,我们提出了网格上的近似等距线算法.在该算法中,用户只需选取一组点,并指定距离值,系统根据用户给定的信息自动在网格上进行等距线抽取,得到第 2 条边界(如图 2(d)所示).该方法不仅简单方便,而且可避免因用户操作不正确而引起的误差.

不失一般性,假设网格 M 已三角化,而且三角面片大小相差不大.根据用户选择的一组点并进行近似最短距离计算,我们可以得到融合边界顶点集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{n_0}\}$, 这些点组成一个封闭的环.定义一个顶点 v 的 1-ring(v) 为网格上直接与 v 关联的点的集合.定义 V_i 为到 V 距离为 i 的顶点集合(距离的单位为三角形),则 V_i 可用下面的方法近似求解:

- 1) 已知集合 $V_0 = V$ 为到 V 距离为 0 的顶点集合.
- 2) 分别求 V_0 中点 v_1, v_2, \dots, v_{n_0} 的 1-ring, 得到 1-ring(v_1), 1-ring(v_2), 1-ring(v_{n_0}), 则距离 V_0 为 1 的点的集合为 $V_1 = 1\text{-ring}(v_1) \cup 1\text{-ring}(v_2) \cup \dots \cup 1\text{-ring}(v_{n_0}) - V_0$.
- 3) 假设 $V_i = \{v_1^{(i)}, v_2^{(i)}, \dots, v_{m_i}^{(i)}\}$, 同理可求得距离 V_0 为 $i+1$ 的点的集合为 $V_{i+1} = 1\text{-ring}(v_1^{(i)}) \cup 1\text{-ring}(v_2^{(i)}) \cup \dots \cup 1\text{-ring}(v_{m_i}^{(i)}) - V_i$.

2.4 拓扑合并

为了得到两个待融合区域之间的顶点对应关系,我们把映射到公共区域的二维网格进行拓扑合并.合并过程分为 4 步:

- 1) 求 H^1 的边和 H^2 的边两两之间的交点.
- 2) 对上一步求得的交点排序,分裂 H^1, H^2 中的边,产生 H^c 中的顶点和边.
- 3) 对 H^c 中的每个顶点建立相邻边的顺时针链表.
- 4) 创建 H^c 中的面.

由于现在只需对两个正 n 边形之间的环形区域进行合并,不仅减少了计算量,而且降低了奇异情况出现的概率,提高了算法的稳定性(图 2(f)).

2.5 融合控制

通过拓扑合并得到两个物体之间的对应关系后, H^c 中的每个顶点对应两个点:一个是 M^1 上的对应点 v^1 , 另一个是 M^2 上的对应点 v^2 . 对它们进行插值, 就可以得到一系列的中间物体, 插值效果通过融合控制函数 $f(s)$ 来控制. 从融合的角度来说, 我们希望在接近 H^c 外边界的地方其形状为 F^2 , 在靠近 H^c 内边界的地方其形状为 F^1 . 故我们可把 H^c 中点 v 对应的融合参数值取为 $s = l/D$, 其中 l 为从顶点 v 到外边界的最短距离, D 为内外边界之间的最短距离(如图 4 所示). 当顶点 v 接近于外边界时, s 值接近于 0; 当顶点 v 接近于内边界时, s 值接近于 1.

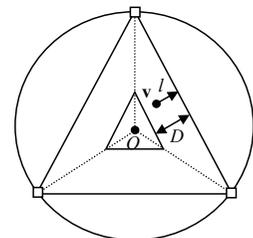


Fig.4 The control parameter for FCF
图 4 融合控制函数的控制参数

假设 v^c 表示顶点 v 在 M^c 中的三维位置,则该点可用如下公式来计算:

$$v^c = f(s)v^1 + (1-f(s))v^2, \quad (6)$$

通过交互调整融合控制函数,可以达到满意的融合效果.从剪贴操作的角度来说,希望被剪切网格的细节得到保留,快进慢出函数是满足该要求的一种常用的融合控制函数.

3 实验结果及讨论

我们用 Visual C++和 OpenGL 在 PC 机上实现了一个蒙太奇融合的原型系统.所采用的 CPU 为 Intel P4 1.6GHz,操作系统为 Windows 2000.图 5~图 8 为用我们的算法生成的几个例子.图 5 中给定的是一条鱼和一个人头的模型,得到的是鱼鳍和人头的光滑融合.在图 6 中,乌龟壳被剪贴到了 UFO 上.图 7 实现了牛头与马身的蒙太奇融合,创建了一个牛头马身动物,这类动物在科幻电影中尤其有用.从图 7 可以明显看出,牛角以及脖子附近的褶皱都得到了完整的保留.在图 8 中,我们将茶杯柄剪贴到了人头上.由于茶杯柄不同构于圆盘,Kanai 的基于全局调和映射的方法是无法实现此类效果的.相反,新算法只要求待融合区域拓扑同构与圆环即可,而采用近似等距线算法抽取的局部区域总能基本上满足这个要求,所以新算法降低了拓扑的限制.

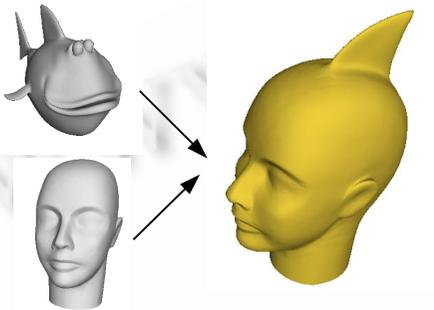


Fig.5 The fusion of a fish and a head
图 5 鱼鳍与人头的融合

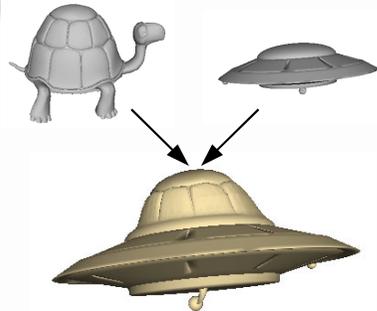


Fig.6 The fusion of a UFO and the shell of a turtle
图 6 将乌龟壳剪贴到 UFO 上

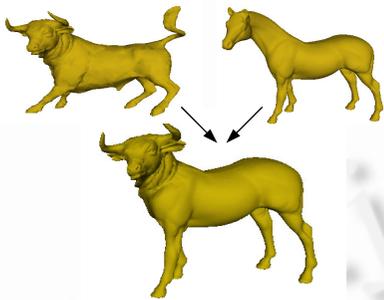


Fig.7 The fusion of a bull head and the body of a horse
图 7 牛头与马身的融合

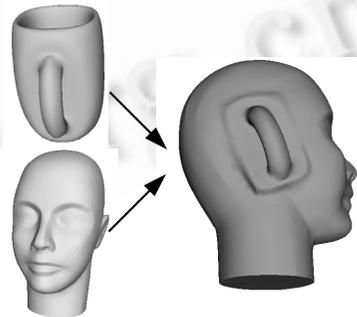


Fig.8 The fusion of a head and a cup handle
图 8 将茶杯柄剪贴到人头上

表 2 列出了基于局部调和映射和基于全局调和映射网格融合算法的效率比较.在该表中, n_v, n_e, n_f 分别表示 Tile 上的顶点、边和面的数目, t_h 是两个 Tile 调和映射的时间和, t_c 是拓扑合并的时间.N/A 表示老算法由于计算时间太长和占用系统资源太多而无法统计.从表 2 可以看出,随着图 5~图 7 的 3 个例子中网格模型复杂度的增加,若采用基于全局调和映射网格融合算法,调和映射和拓扑合并的计算时间急剧增加.相反,若采用基于局部调和映射的网格融合算法,计算时间的增加是有限的,这是因为新算法只与模型中的局部融合区域的复杂度有关,而与待融合模型的复杂程度没有直接关系.

Table 2 Computational efficiency comparison between two algorithms
表 2 算法的计算效率比较

Examples		Fig.5	Fig.6	Fig.7	Fig.8
F^1	n_v	309	1 086	2 473	1 376
	n_e	858	3 144	7 361	4 089
	n_f	550	2 059	4 889	2 712
F^2	n_v	470	1 038	5 278	224
	n_e	1 351	3 037	15 721	599
	n_f	882	2 000	10 444	376
$t_h(s)$	Kanai's algorithm	2.594	49.282	N/A	Cannot handle
	Our algorithm	0.078	1.359	0.860	0.109
$t_e(s)$	Kanai's algorithm	8.141	15.156	N/A	Cannot handle
	Our algorithm	2.566	3.156	7.531	1.610

4 结 语

根据三维剪贴操作通常只影响局部区域的特点,本文提出并实现了一种新的基于局部调和映射的网格融合算法,同时提出了一种基于网格上近似等距线计算的待融合区域抽取算法.与原算法相比,新算法具有效率高、鲁棒性强、细节保留、对原物体的拓扑要求较低等优点,可应用于影视动画设计中.

References:

- [1] Bao HJ, Jin XG, Peng QS. Fundamental Algorithms for Computer Animation. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2000. 356~368 (in Chinese).
- [2] Bloomenthal J. Skeletal design of natural forms [Ph.D. Thesis]. Albert: The University of Calgary, 1995.
- [3] Jin XG, Li YF, Peng QS. General constrained deformations based on generalized meatballs. Computers & Graphics, 2000, 24(2):219~231.
- [4] Cani-Gascuel M-P, Desbrun M. Animation of deformable models using implicit surfaces. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1997,3(1):39~50.
- [5] Jin XG, Tai C-L. Analytical methods for polynomial weighted convolution surfaces with various kernels. Computers & Graphics, 2002,26(3):437~447.
- [6] Jin XG, Tai C-L. Convolution surfaces for arcs and quadratic curves with a varying kernel. The Visual Computer, 2002,18(8): 530~546.
- [7] Turk G, O'Brien JF. Shape transformation using variational implicit functions. In: Waggenspack W, ed. Proceedings of the SIGGRAPH'99. Los Angeles: ACM Press, 1999. 335~342.
- [8] Pedersen HK. Decorating implicit surfaces. Computer Graphics, 1995,29(3):291~300.
- [9] Ranta M, Inui M, Kimura F, Mäntylä M. Cut and paste based modeling with boundary features. In: Rossignac J, Turner J, Allen G, eds. Proceedings of the 2nd ACM Solid Modeling. ACM Press, 1993. 303~312.
- [10] Chan LKY, Mann S, Bartels R. World space surface pasting. In: Davis WA, Mantei M, Klassen RV, eds. Proceedings of the Graphics Interface'97. Morgan Kaufmann Publishers, 1997. 146~154.
- [11] Singh K, Parent R. Joining polyhedral objects using implicitly defined surfaces. The Visual Computer, 2001,17(7):415~428.
- [12] Museth K, Breen DE, Whitaker RT, Barr AH. Level set surface editing operators. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3):312~332.
- [13] Biermann H, Martin I, Bernardini F, Zorin D. Cut-and-Paste editing of multiresolution surfaces. ACM Transactions on Graphics, 2002,21(3):330~338.
- [14] Kanai T, Suzuki H, Mitani J, Kimura F. Interactive mesh fusion on local 3D metamorphosis. In: MacKenzie S, ed. Proceedings of the Graphics Interface'99. Morgan Kaufmann Publishers, 1999. 148~156.
- [15] Kanai T, Suzuki H, Kimura F. Three-Dimensional geometric metamorphosis based on harmonic maps. The Visual Computer, 1998,14(4):166~176.
- [16] Kanai T, Suzuki H, Kimura F. Metamorphosis of arbitrary triangular meshes. IEEE Computer Graphics and Applications, 2000, 20(2):62~75.

- [17] Eck M, DeRose T, Duchamp T, Hoppe H, Lounsbery M, Stuetzle W. Multiresolution analysis of arbitrary meshes. In: Mair SG, Cook R, eds. Proceedings of the SIGGRAPH'95. Los Angeles: ACM Press, 1995. 173~182.
- [18] Lee AWF, Sweldens W, Schröder P, Cowsar L, Dobkin D. MAPS: multi-resolution adaptive parameterization of surfaces. In: Cunningham S, Bransford W, Cohen MF, eds. Proceedings of the SIGGRAPH'98. Orlando: ACM Press, 1998. 95~104.

附中文参考文献:

- [1] 鲍虎军,金小刚,彭群生.计算机动画的算法基础.杭州:浙江大学出版社,2000.356~368.

第 1 届全国人工智能教育学术研讨会

征文通知

由中国人工智能学会主办,首都师范大学承办,北京航空航天大学、北京工商大学、天津师范大学协办的第一届全国人工智能教育学术研讨会将于 2003 年 12 月 13~15 日在北京召开。

这次会议是中国人工智能学会主办的首届全国人工智能教育学术研讨会,也是我国人工智能教育工作者在新世纪的第一次盛会。它一定会对我国人工智能教育事业的发展起到积极的促进作用。

会议主题:信息时代的智能教育

主要内容:

1. 国内外人工智能教育的现状及我国人工智能教育改革的讨论;
2. 不同层次、不同专业的人工智能教学要求、教学计划和教学大纲的讨论;
3. 人工智能课程的教学经验和教材建设经验交流;
4. 智能教学软件和教学系统交流;
5. 关于试办人工智能本科专业的问题的讨论;
6. 其他一些与人工智能教育有关的问题;
7. 人工智能基础、理论、技术和应用研究的进展。

报到地点:北京航空航天大学招待所

报到时间:12 月 13 日全天

时间安排:12 月 14 日上午开幕式、特邀报告,下午主题发言和分组交流,
12 月 15 日上午分组交流,下午自由交流或参观。

联系方式:

联系地址:100037 北京市西三环北路 105 首都师范大学信息工程学院

联系人:谢达 王万森 葛庆平

联系电话:010-68416830, 68903443, 68901041

E-mail: xieda89@263.net wangwansen@263.net wangws@mail.cnu.edu.cn