

基于手绘轮廓的3维服饰模型生成

张尧焯 孙正兴 刘凯 张岩

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室, 南京 210093) (南京大学计算机科学与技术系, 南京 210093)

摘要 为了满足虚拟角色交互式服饰设计的需要,提出了一种基于手绘轮廓的3维服饰模型生成方法,该方法的主要特点在于以下3个方面:一是通过限定距离场的方向(仅考虑z轴方向)来建立3维人体模型的参考模型,从而简化了距离场计算;二是利用手绘服饰轮廓与人体投影轮廓间的相对位置关系来生成服饰网格,以实现2维草图向3维服饰的有效映射;三是根据服饰网格点与人体模型上网格点间的对应关系来生成3维服饰模型,确保了服饰宽松部分的有效生成。实验结果表明,该方法能够从2维服饰轮廓实时生成符合人体表面形状的3维服饰模型。

关键词 草绘轮廓 服饰建模 距离场 2维-3维映射

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)06-964-07

A Method of 3D Garment Model Generation Using Sketchy Contours

ZHANG Yaoye, SUN Zhengxing, LIU Kai, ZHANG Yan

(State Key Lab for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract A method to construct a 3D garment model from sketched contours is presented for interactive garment design of virtual characters. Our method has three features: firstly, a reference model of 3D mannequin is established by restricting the direction of the distance field along z-axis only, so that the computation of distance field is much easier; secondly, an efficient mapping from 2D sketch to 3D garment is established by using the relative position between sketched garment contour and the outline of human projection; thirdly, the 3D garment model is constructed according to the mapping between garment grids and the grids of human model, and it ensures that loose part of garments can be constructed correctly. The experiment results prove that the proposed method can generate the garment surface constrained by sketch and adapted the underlying form of character model, and the process can be performed in real time.

Keywords sketchy contours, garment modeling, distance field, 2D-3D mapping

0 引言

服饰是体现动画人物个性特征的重要属性之一,而服饰设计和建模是描绘逼真的虚拟人角色的重要手段,在电影、游戏、设计、广告等领域有着广泛的应用。目前主流的计算机辅助服饰设计系统均遵循传统的“裁剪-缝合”模式^[1-3],即用户先绘制若干平面服饰片,然后通过指定服饰片缝合边界将其贴

合到人体表面,最后对服饰片进行模拟以增强服饰的真实感。这种方式既涉及2维平面的服饰片设计,还包含3维空间中的缝合和穿戴,整个过程复杂冗长,且对3维模型操作和裁剪的专业化技能要求较高,难以真正成为设计师进行服饰创作的有效工具。由于手绘草图是人类一种直接而自然的思路外化和交流方式^[4-5],因此,手绘草图是克服现有服饰设计和建模系统存在问题的重要手段之一^[6-9]。

现有的利用手绘草图交互进行服饰建模的方法

基金项目:国家高科技研究发展计划(863)项目(2007AA01Z334);国家自然科学基金项目(69903006;60373065,60721002);教育部新世纪优秀人才资助计划项目(NCET-04-0460)

收稿日期:2009-07-01;**改回日期:**2009-08-01

第一作者简介:张尧焯(1983—),男,博士研究生。主要研究领域为计算机图形学。

通讯作者:孙正兴。E-mail:szx@nju.edu.cn

主要包括基于手势的辅助建模和基于手绘草图的服饰建模两类。前一类方式仅将手绘草图(主要是手势)作为增强服饰设计系统用户交互的手段,但用户无法利用手绘草图来直接控制生成的服饰模型,如:在 Igarashi 和 Hughes 提出的方法 Sweater^[7]中,用户可以利用手势将服饰片“穿”到3维物体的表面,但其所生成的服饰模型需依赖于用户所选择的服饰片及其缝合方式;Decaudin 等人提出了一种将粗糙服饰几何模型拟合为分段可展曲面的方法^[8],这个方法允许用户先利用手绘草图建模系统来生成服饰曲面片,再利用手势指定曲面片的拟合方式。后一种方式则是直接根据用户输入的手绘草图生成3维服饰模型,这类方法的特点是用户可以有效地利用手绘草图来直接控制其所期望生成的3维服饰模型。虽然其更符合服饰设计师的创作习惯和要求,但必须解决以下两个关键问题:一是如何实现2维手绘草图与3维服饰模型间的有效映射,并确保能满足进一步模拟所需要的服饰曲面质量;二是如何保证服饰模型生成过程的计算速度以便设计师能得到实时的反馈结果。Turquin 等人提出了一种基于手绘草图的虚拟服饰建模方法^[9],该方法通过引入人体模型及其距离场计算来支持用户利用2维手绘草图直接构造3维服饰模型,但由于距离场计算相当耗时,需要借助图形处理器(GPU)加速距离场计算^[10]才能满足实时交互的需要。上述两种服饰建模方法均关注服饰设计的某些环节,区别在于是否使用手绘输入来直接生成3维服饰网格模型:后者属于服饰模型的创建环节,由手绘草图直接生成服饰,因此用户能够直观地控制所生成服饰的外形;而前者属于服饰的模拟环节,主要关注使用手绘草图来对服饰片进行3维空间的操纵,因此用户不能修改现有服饰片的形状,但是可以对其进行模拟拉伸、穿戴等动作。

据此,本文提出了一种基于手绘轮廓的3维服饰模型生成方法,该方法的主要特点在于以下3个方面:一是通过限定距离场的方向(仅考虑 z 轴方向)建立3维人体模型的参考模型,从而简化了距离场计算;二是利用手绘服饰轮廓与人体投影轮廓间的相对位置关系生成服饰网格,从而实现了2维草图向3维服饰的有效映射;三是根据服饰网格点与人体模型上网格点的对应关系生成3维服饰模型,从而确保了服饰宽松部分的有效生成。实验结果表明:该方法能够从2维服饰轮廓实时生成符合人体表面形状的3维服饰模型。

1 基于手绘轮廓的服饰建模方法概述

本文方法的本质是通过赋予人体表面一个偏移量,以便从用户手绘轮廓中重构出贴合人体模型表面形状的3维服饰网格模型,其处理流程如图1所示。

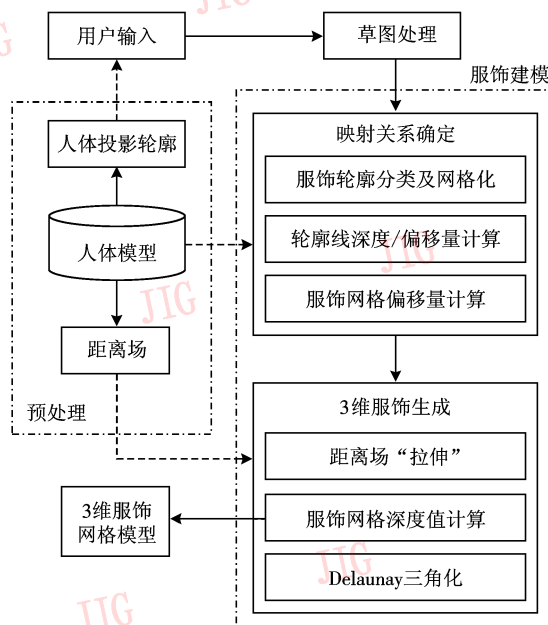


图1 本文方法主要流程

Fig.1 Main process of our method

本文方法主要分为预处理和服饰建模两个部分。在预处理阶段,系统首先提取人体模型的正交投影图像,并采用Canny边缘检测方法^[11]计算其轮廓线,再以此作为用户绘制服饰草图的参照;同时,计算人体模型的距离场(限定为 z 轴方向)作为其参考模型。在服饰建模部分主要分为草图处理、映射关系确定及3维服饰生成3个阶段:

1) 用户输入的笔画根据其位置关系被处理为一组封闭有序的服饰轮廓线段。

2) 确定2维草图与3维服饰网格间的映射关系:首先,根据各服饰轮廓段与人体投影轮廓的相交情况将其分为边界线和轮廓线两类,并将其覆盖范围划分为标准网格;然后,根据各轮廓线段的类型计算其偏移量和深度值;最后,将轮廓线的偏移量扩展到服饰轮廓内部的各网格点。

3) 计算各网格点的深度值,生成最终的服饰网格模型:首先,采用“拉伸”距离场的方法将服饰网格点和人体模型网格点对应起来;然后,根据各网格点修正的偏移量 and 对应距离场数据进行插值得到相

应的深度值;最后,对服饰轮廓线和内部网格点应用 Delaunay 三角化得到最终的服饰网格模型。

本文重点解决的问题包括以下 3 个方面:

1) 在实时的前提下,如何生成尽可能真实的服饰模型。对用户来说,所生成的服饰必须具有相当的真实感以表现其创作意图,且服饰生成所消耗的时间必须满足交互和反馈的需要。为了在服饰模型的真实感和计算复杂度之间取得平衡,必须找到适当的 xy 平面网格个数。对于不同的人体模型而言,服饰网格的精细程度与人体模型的复杂度无关,只和距离场的维数相关;随着人体模型复杂度的增加,距离场的计算时间会增加,而整个流程的计算时间却不变。本文方法采用适当的 xy 平面网格个数和人体模型距离场维数,以便在服饰模型的真实感和计算复杂度之间取得平衡,并让用户在实时条件下得到相当真实度的人体服饰网格模型。

2) 如何建立 2 维轮廓和 3 维服饰曲面的映射关系。由于轮廓线和人体投影轮廓的相对位置是推断服饰网格 3 维信息的主要线索,因此可以用轮廓线到人体投影轮廓的距离来推测服饰网格点到 3 维人体模型之间的距离。本文方法主要从以下 3 个方面来处理这一问题:

(1) 根据轮廓线的 2 维位置及轮廓类型计算其在 3 维空间中的位置;

(2) 根据轮廓线到人体投影轮廓的距离推断内部服饰网格点到人体模型的偏移量;

(3) 根据各网格点的偏移量和预先计算的人体模型距离场求得各服饰网格点的深度值。

3) 如何处理宽松服饰(主要指落在人体轮廓投影外部的服饰网格)。由于这些网格点投影在人体轮廓外部,且在本文改进的距离场中没有对应的深度信息,因此不能直接计算其深度值。由于宽松部分的服饰曲面同样符合人体轮廓的表面形状,同时由于该部分网格点的 z 值随着与人体轮廓距离的增加逐渐减小,因此本文通过“拉伸”距离场填满整个服饰轮廓来将服饰网格点和人体模型网格点对应起来,并根据各网格点的到服饰的距离计算偏移量衰减系数,最后根据修正的偏移量和各网格点对应的距离场信息计算其深度值。

2 基于手绘轮廓的服饰建模算法描述

本文方法提供了一个直立双臂平举姿态的 3 维人

体模型供用户交互,该模型沿 xy 平面朝向 z 轴正方向站立,在此基础上用户能够最大限度地使用轮廓线来设计服饰的形状。用户绘制前,首先计算该模型的距离场,并将人体模型正交投影到 xy 平面,然后通过边缘检测得到人体投影轮廓线。当用户绘制完服饰轮廓线后,即可根据其空间位置将其处理为一组封闭有序的笔画序列,并在此基础上进行服饰曲面的构建。

2.1 对距离场计算方法的修改

在服饰建模过程中,必须根据某点到人体的距离计算该点的深度值,本文方法使用距离场来简化这一计算过程。用户选择某人体模型后,首先将 3 维空间划分为 3 维网格,同时计算其距离场,该距离场储存了 3 维空间中所有网格顶点到这个人体模型表面的距离。由于在深度值计算中引入距离场,将整个计算过程简化为对规则的 3 维网格进行三次线性插值,从而极大地减少了计算时间。

原始距离场的计算方法存在以下一些缺点:

1) 模型距离场的计算是一个相当耗时的过程,即使采用基于八叉树的算法来简化计算,其时间复杂度仍为 $O(n^3 \lg n^3)$ (n 为 3 维空间网格的维数)^[12],不能满足实际交互的需要(计算时间对比见实验部分);

2) 在服饰生成过程中,同一个距离信息可能对应多个坐标,即在某 2 维坐标 (x, y) 下,可能存在多个 z 值使它们到人体的距离相等,这会导致由距离场所重构的服饰曲面变得不连续。

基于上述问题,本文修改了距离场的计算方式,使其更适合于服饰建模过程。在修改后的距离场计算中,仅考虑沿 z 轴方向的距离信息,整个计算过程分为以下 4 个步骤:

1) 计算人体模型正交投影的轮廓及人体模型在 z 轴方向的范围(z_{\max} 和 z_{\min});

2) 将 xy 平面划分成 $N \times N$ 大小的规则矩形(N 为距离场的维数),矩形的顶点分为人体轮廓内部和人体轮廓外部两类;

3) 对于轮廓内部的每个顶点 (x, y) ,沿 z 轴方向分别计算从点 (x, y, z_{\max}) 及点 (x, y, z_{\min}) 到人体模型的距离;

4) 对于轮廓外部的每个顶点 (x, y) ,计算其到人体轮廓的 2 维距离。

对于空间中的某一个点 (x, y, z) ,已知其到人体模型的距离为 d ,可根据下式求得该点深度 z 的值;同样若已知某点的深度值,其到人体模型的距离可根据下式求得:

$$z = \hat{z} - d + \hat{d} \quad (1)$$

式中的 \hat{z} 可根据该点相对人体的位置分别用 z_{\max} (背面) 或 z_{\min} (正面) 代入得到, 式中的 \hat{d} 可由距离场中对 (x, y) 周围的 4 个矩形顶点的距离信息进行二次线性插值得到。当 (x, y) 在人体轮廓外部时, 通过插值计算得到的 \hat{d} 则表示该点在 xy 平面上的投影到人体轮廓的距离。

由于人体模型在距离场空间中仅占一部分, 因此必须计算距离场中所有点的位置, 并判断其是否在人体投影轮廓外部。为此本文方法在计算距离场时采用了基于四叉树的算法, 以有效地减少判断次数。在文献 [12] 中已验证了该算法的时间复杂度为 $O(m \lg m)$, 其中 m 为空间中分割的块数; 对于本文的 xy 平面来说, 由于 m 即为距离场维数 n 的平方, 因此整个距离场计算的时间复杂度为 $O(n^2 \lg n^2)$ 。当该点位于人体某侧时, 对于确定的坐标 (x, y) , 到人体的距离值与相应 3 维空间中的坐标是一一对应的。

由于距离场仅在空间网格顶点位置保存人体模型的距离信息, 其他位置需要插值计算才能得到, 因此在服饰设计的过程中, 使用距离场会造成模型细节的缺失。对于该问题, 一般可通过增加距离场的维数来使距离场能够更加精确地表示人体模型的表面形状, 但是这会大大增加距离场的计算时间。由于本文方法中采用了修改的距离场计算方法, 因此可以在较小计算开销的基础上使用较高维数的距离场, 以便更细致地表现人体模型的表面形状。

2.2 服饰曲面偏移量计算

根据服饰轮廓线和人体模型, 可以通过以下两个步骤来得到与 3 维服饰曲面对应的偏移量:

1) 根据服饰轮廓和人体模型投影轮廓间的位置关系, 可以计算得到服饰轮廓线在 3 维空间中的位置, 这一过程的算法描述如下:

(1) 将轮廓线的断点分为人体内部和人体外部两类。对于内部断点, 可将其视为附着在人体模型的表面, 该点到人体的距离为 0, 其 z 值等于对应人体模型表面点的 z 值; 对于外部断点, 该点的 z 值可设为与该点最接近的人体轮廓点的 z 值, 这样到人体的距离值即为该点到人体轮廓的距离。以上断点的距离值可通过距离场插值得到。

(2) 将轮廓线的笔画分为两类, 与人体轮廓线相交的为边界线, 不相交的为轮廓线。将服饰轮廓覆盖范围划分为 $N \times N$ 大小的网格, 而将服饰轮廓线重采样为与网格线相交的交点序列 (如图 2 所示)。

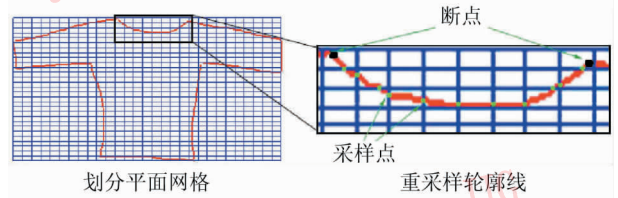


图 2 服饰轮廓段处理

Fig. 2 Process of contour segment

(3) 每段轮廓重采样点的距离信息和 z 值可通过对该段轮廓两个断点的对应值进行插值得到。对轮廓线, 各采样点的 z 值可通过对断点的 z 值进行线性插值得到, 其到人体模型的距离可通过对距离场进行插值得到。对边界线, 各采样点的距离信息同样可通过对断点进行线性插值得到, 其 z 值可通过对距离场进行插值得到。因为人体外部轮廓点的距离表示其到人体轮廓距离最近点的距离, 所以服饰轮廓线的 z 值可设定为人体纵向中轴线的 z 值。对于服饰轮廓线上的点, 距其最近的人体模型点即为人体投影轮廓点, 因此 z 值与距离是保持一致的。

2) 根据 2 维平面中服饰轮廓到人体模型投影轮廓的距离来计算服饰内部网格到人体模型表面的距离信息, 其计算过程如下:

(1) 将 xy 平面的 2 维网格划分为以下 3 种类型: ① 人体轮廓内部的网格 (I), ② 轮廓线穿过的网格 (B), ③ 人体轮廓外部的网格 (O)。

(2) 将第 1 步中计算得到的轮廓线和边界线的距离信息赋给 'B' 网格点, 而 'I' 网格点则初始化为所有边界轮廓线距离信息的平均值。通过迭代可将 'B' 网格点的距离信息扩展到 'I' 网格点。每次迭代过程中, 每个 'I' 网格点的距离值等于自身与周围 8 个非 'O' 网格点距离信息的算术平均。当两次迭代过程中各网格点距离差值之和小于一个阈值或者迭代次数达到一定数值时, 则结束整个迭代过程。本文方法采用从轮廓线向内部的迭代顺序, 用以保持服饰轮廓线到人体的距离信息。

2.3 距离场拉伸与服饰曲面重构

当计算得到所有服饰网格点的偏移量后, 即可根据距离场插值得到所有网格点的 z 值。其具体步骤如下:

1) 通过“拉伸”距离场, 使其填满整个服饰区域, 并将服饰网格点和人体模型网格点对应。根据人体四肢走向, 可将整个投影平面分为 3 个区域 (如图 3 所示)。在区域 1 中, 距离场按照水平方向进行拉伸; 而在区域 2 和区域 3 中, 距离场则按照垂

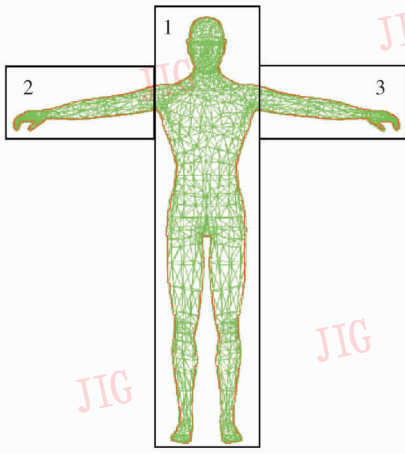


图 3 人体投影图划分

Fig.3 Division of mannequin projection

直方向进行拉伸。如区域 1 中某个网格顶点 (x_0, y_0) 拉伸过后其坐标变为 (\hat{x}, y_0) :

$$\hat{x} = w_c \times (x_0 - x_{mid}) / w_d + x_{mid} \quad (2)$$

其中, w_c 为直线 $y = y_0$ 处服饰宽度, w_d 为该直线上人体宽度, x_{mid} 为该直线上人体模型中点的 x 坐标。

2) 对服饰宽松部分的每个网格点计算其偏移量衰减系数, 表征其距离人体投影轮廓的距离。偏移量衰减系数定义在 $[0, 1]$ 范围内, 其与网格点到人体的距离成反比。偏移量衰减系数定义如下:

$$\lambda = d_1 / (d_1 + d_2) \quad (3)$$

d_1 表示该点到服饰轮廓的距离, d_2 表示该点到人体投影轮廓的距离。对人体投影轮廓外的服饰网格点, 其偏移量修正为 $\hat{d} = \lambda \times d$, λ 表示该点的偏移量衰减系数。所有的服饰网格均使用修正后的偏移量进行插值计算(式(1))。

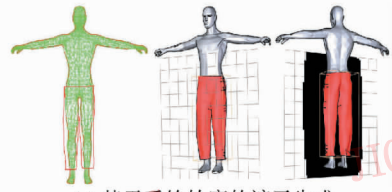
3) 对服饰轮廓和内部网格点进行 Delaunay 三角化, 得到最终的 3 维服饰网格模型。

3 实验与讨论

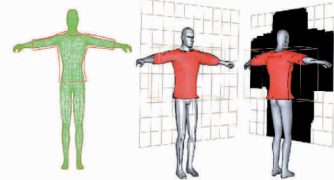
根据服饰投影是否落在人体轮廓内部, 可将服饰分为紧贴类型(基本落在轮廓内部)与宽松类型(有较大部分落在轮廓外部), 并通过上述两类服饰的实验结果验证本文方法的有效性。

紧贴类型服饰的实验结果如图 4 所示, 在胸口、腰身、臀部等人体模型表面起伏较大处, 所生成的服饰网格能够贴合人体模型表面形状; 同时服饰外形与用户绘制的轮廓线完全吻合。

图 5、图 6 为一些宽松类型服饰的生成示例。



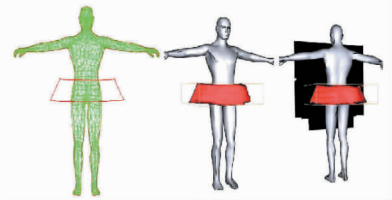
(a) 基于手绘轮廓的裤子生成



(b) 基于手绘轮廓的上衣生成

图 4 普通服饰生成

Fig.4 Examples of common garment



(a) 迷你裙

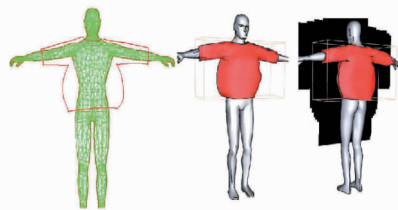


前方 左侧 侧后方

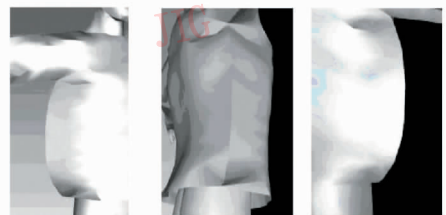
(b) 迷你裙局部特写

图 5 宽松服饰建模 1

Fig.5 Examples of loose style garment



(a) 宽松上衣



前方 左侧 后方

(b) 宽松上衣局部特写

图 6 宽松服饰建模 2

Fig.6 Examples of loose style garment

图5为一条迷你裙,图6为一件宽松的上衣,它们均有一大部分投影在人体轮廓外部。

图5(b)和图6(b)从3个不同的视角显示了服饰宽松部分的特写。该示例证明:在拉伸程度不大时,宽松部分的服饰网格平滑,且能够贴合人体侧面的形状。

本文方法采用的距离场计算,其时间复杂度为 $O(n^2 \lg n^2)$,相对于原始距离场计算复杂度 $O(n^3 \lg n^3)$ 有了相当的降低。表1为这两类距离场计算时间的比较。

表1 距离场计算时间比较

Tab.1 Comparison of DF computation

模型面片数	228	2 576	4 006	34 684
本文距离场计算时间	14.562	18.267	20.031	67.797
原始距离场计算时间	33.204	198.153	574.32	> 5 000

本文实验采用的距离场维数为 128×128 ,原始距离场维数为 $32 \times 32 \times 32$ 。随着人体模型复杂度的增长,本文距离场的计算时间增长缓慢,而原始距离场的计算时间却增长很快。因此,在服饰建模中使用修改的距离场能够使本文方法在使用不同的人体模型时更具通用性。

在本文实验中,服饰建模流程主要的复杂度集中在根据内部服饰网格的距离信息来计算其 z 值的过程。若不采用距离场加速计算,那么在计算每个网格点 z 值时,就必须对人体模型进行遍历,其时间复杂度为 $O(m)$ (m 为人体模型的面片数);使用距离场将使这一过程的时间复杂度变为 $O(1)$,从而使整个服饰建模过程能够实时完成。表2为在 30×30 大小的2维平面网格上,不同服饰建模方法计算时间的比较。其中,简化距离形式的方法不使用距离场,而是将服饰网格点到人体模型顶点的最短距离近似地看作是其到人体模型的距离。使用该简化的距离形式虽然可以降低计算开销,但是服饰曲面的真实感将会大大下降,并不能在服饰质量与

表2 建模方法运算时间比较

Tab.2 Comparison of various methods

模型面片数	228	2 576	4 006	34 684
使用距离场	0.266	0.493	0.697	1.732
简化距离形式	0.541	1.158	1.916	8.834
不使用距离场	4.232	8.927	17.244	68.793

计算时间上取得很好的平衡。

本文方法的控制参数主要为距离场维数和 xy 平面的服饰网格数,其中预处理过程与距离场的维数相关,而2维平面网格的维数在计算网格距离信息和 z 值的迭代过程,以及在计算每个网格偏移量的过程中将会影响计算时间。该参数选取的目标为:在保证时间需要的前提下,应使用尽可能高的距离场维数和 xy 平面来划分网格数。在实际实验过程中,由于用户在选择人体模型之后,可以在计算距离场的同时绘制服饰轮廓,因此距离场的计算时间必须小于用户的绘制时间;且由于采用了基于四叉树的算法计算距离场,因此所使用距离场的维数必须为2的幂。本文使用的人体模型包含4 006个三角形,当距离场维数为 128×128 时,其计算距离场需要约20 s(见表1);而当距离场为 256×256 时,所需计算时间则超过了1 min,因此本文选用 128×128 的距离场维数。所选取的服饰网格数必须使服饰生成过程实时完成,根据表2所示,在本文人体模型条件下,选取 30×30 的网格数需要0.7 s左右的服饰生成时间,可见符合实时性的需要。

4 结论

本文提出了一种新的基于手绘轮廓的3维服饰模型生成方法,该方法的主要特点在于以下3个方面:一是通过限定距离场的方向(仅考虑 z 轴方向)来建立3维人体模型的参考模型,并以此简化距离场的计算,从而大大降低了整个服饰建模的预处理时间消耗;二是先利用手绘服饰轮廓与人体投影轮廓间的相对位置关系来生成服饰网格,然后根据服饰轮廓线段的分类计算其偏移量,并将其扩展到整个服饰网格,从而实现了2维草图向3维服饰的有效映射;三是先根据服饰网格点与人体模型上网格点间的对应关系来生成3维服饰模型,然后通过“拉伸”距离场使其填满整个服饰区域,以便将服饰网格点和人体模型网格点对应起来,使其深度值可以通过距离场直接计算,从而确保了宽松式样服饰的有效生成。实验结果表明,该方法能够从2维服饰轮廓实时生成符合人体表面形状的3维服饰模型。

本文方法仍然存在一些问题,例如目前的交互界面只支持任意笔画的绘制顺序,尚不能完全满足自由绘制的需要。在下一步的工作中,将会允许更

加自由的绘制方式,同时会允许用户使用一些草图手势来进行交互。此外,由于本文的距离场计算只考虑 z 轴方向的距离信息,因此不能由距离场直接计算人体投影轮廓外部的服饰网格点的偏移量。尽管本文对距离场进行了拉伸,以便直接重构宽松部分的服饰网格,但方法的本身仍然存在以下一些问题:

(1) 目前距离场拉伸方向取决于人体各肢体的方向,而确定距离场拉伸的方向却是一项困难的工作;

(2) 由于本文构造的服饰曲面实际上是通过对人体表面进行拉伸得到,因此当服饰宽度远大于人体轮廓时,服饰曲面的边缘将会变得尖锐,且不能很好地表现人体表面的尖锐部分;

(3) 衰减系数的定义方式会影响所生成服饰曲面的形状,当服饰宽度在一定范围内时,则线性定义的衰减系数能够表达服饰的形状。下一步将寻找一种鲁棒的算法来使这一部分的服饰网格生成更符合实际情况的需要。

参考文献 (References)

[1] Hinds B, McCartney J. Interactive garment design [J]. The Visual Computer, 1990, 6(2): 53-61.

[2] Werner H M, Magnenat-Thalman N, Thalman D. User interface for fashion design [C] // Proceedings of the IFIP TC5/WG5. 2/WG5. 10 CSI International Conference on Computer Graphics, Amsterdam, The Netherlands: North-Holland Publishing Co., 1993: 197-204.

[3] Bonte T, Galimbertia, Rizzi C. A 3D Graphic Environment for

Garments Design [M]. Norwell, USA: Kluwer Academic Publishers, 2002: 137-150.

- [4] Jorge J A, Glinert E P. Calligraphic Interfaces: towards a new generation of interactive systems [J]. Computers & Graphics, 2000, 24(6): 817-823.
- [5] Sun Zhengxing, Feng Guihuan, Zhou Ruohong. Techniques for sketch-based interface: review and research [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(9): 1889-1899. [孙正兴, 冯桂焕, 周若鸿. 基于手绘草图的人机交互技术研究进展 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(9): 1889-1899.]
- [6] Igarashi T, Matsuoka S, Tanaka H. Teddy: a sketching interface for 3D freeform design [C] // Proceedings of SIGGRAPH '99. New York, USA: ACM Press, 1999: 409-416.
- [7] Igarashi T, Hughes J F. Clothing manipulation [C] // Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, New York, USA: ACM Press, 2002: 91-100.
- [8] Decaudin P, Julius D, Wither J, et al. Virtual garments: A fully geometric approach for clothing design [J]. Computer Graphics Forum, 2006, 25(3): 625-634.
- [9] Turquin E, Wither J, Boissieux L, et al. A sketch-based interface for clothing virtual characters [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2007, 27(1): 72-81.
- [10] Sud A, Otaduy M A, Manocha D. DiFi: Fast 3D distance field computation using graphics hardware [J]. Eurographics, 2004, 23(3): 557-566.
- [11] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [12] Jones MW, Satherley R. Using distance fields for object representation and rendering [C] // Proceedings of 19th Annual Conference of Eurographics (UK Chapter), Aire-la-Ville, Switzerland: Eurographics Association, 2001: 37-44.