



基于特征匹配的三维试衣效果

刘 军¹, 李 重², 胡觉亮²

(1. 浙江理工大学 信电学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 理学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要 基于特征匹配的方法实现了三维试衣效果的展示。该方法基于双二次 Bezier 曲面局部拟合服装模型和人体模型的网格顶点及其邻近点, 估算出人体和服装模型网格顶点的高斯曲率和平均曲率, 然后提取出人体和服装模型两点集的特征匹配点。为了减少误匹配和避免多重对应关系, 使用曲率约束关系或通过少量交互操作得到了正确的关键特征匹配点对, 并运用最小距离目标函数得到两模型匹配的三维坐标变换矩阵, 实现服装与人体模型的粗匹配, 再对服装模型进行缩放和二次匹配, 实现服装模型和人体模型的精确匹配。实验结果表明该算法方便、有效。

关键词 服装 CAD; 特征匹配; 三角网格模型; 三维试衣

中图分类号: TS 941.2 文献标志码: A

3D clothing fitting research based on feature matching

LIU Jun¹, LI Zhong², HU Jueliang²

(1. College of Informatics & Electronics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

2. College of Science, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract This paper presents a 3D clothing fitting via the feature matching. Firstly, the method fits each vertex and its local neighborhood of the clothing and human models by constructing the biquadratic Bezier surface. It can estimate the Gaussian curvature and the mean curvature of each vertex. Then, the feature points of two mesh models are extracted according to curvatures. In order to reduce the wrong matching and avoid the multiple matching relations, it uses the curvature constraint conditions or few interactive operations to obtain the correct corresponding feature points. The coordinate transformation matrix in 3D space is calculated to realize the rough match by the minimal distance function. Finally, the clothing model is scaled and matched again to achieve the accurate matching effect. The experimental results show that the 3D fitting algorithm is convenient and effective.

Key words garment CAD; feature matching; triangular mesh model; 3D clothing fitting

近年来三维服装试衣效果的研究已成为服装 CAD 的一个热门研究课题。一方面, 顾客通过网络不仅希望看到服装的三维立体效果, 还想了解其穿在身上的合体性; 另一方面, 企业可以通过三维服装的展示, 根据顾客的不同需求对服装进行修改, 然后投入生产, 真正实现设计和销售一体化。因此, 三维服装试衣效果研究具有重要的应用价值。

三维服装试衣效果研究已得到国内外诸多学者的广泛关注^[1-4]。国外的有 Vassilev 和 Spanlang 的

三维服装试衣^[5], 日内瓦大学的虚拟服装展示^[6-8], 这些系统均采用了“衣片-缝合系统”, 其服装模型具有较强的真实感, 但服装建模算法复杂度大, 处理时间太长, 影响了试衣效果展示的实时性。国内目前的试衣系统多是将服装的二维图片贴到虚拟模特身上完成试衣, 这只是一种网络服装搭配游戏, 缺乏真实感, 且无法交互操作显示效果^[9]。文献[10]通过交互操作得到人体和模型特征点, 再对其匹配, 从而实现三维服装的试衣展示, 但交互操作产生的特征

点误差会影响模型匹配的精确度。

本文提出一个新的基于特征匹配的三维试衣算法。该算法先估算和比较曲率值自动找到人体和服装的特征点集,然后通过满足最小距离目标函数实现人体和服装的粗匹配,最后对服装进行缩放操作和二次匹配,能够实现精确匹配,最终得到三维数字服装的试衣展示。

1 三维人体模型和服装模型的建立

三维人体模型和服装模型的获取,可通过现有一些模型库或 CAD 软件构造、编辑。本文提取了 Poser 6.0 人体模型库中的三维人体模型和服装模型作为本系统的数据来源,具体是采用 ply 格式的三角网格模型。该系统提供了多个不同身材的人体模型(包括男体、女体)和服装模型供用户选择,如图 1 所示。

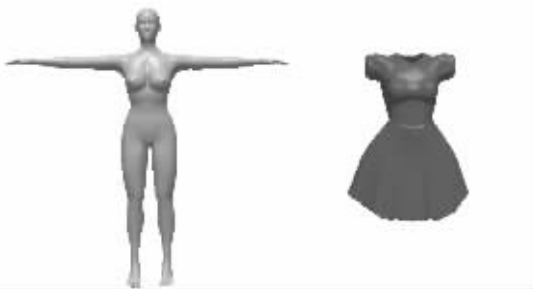


图1 人体库中的女体模型和服装库中的服装模型

Fig.1 Female model and garment model

2 三维人体与服装模型的匹配

三维服装试衣效果的展示可看成是三维不同物体的匹配问题,即寻找一种最佳的坐标变换,使在不同坐标系下的人体模型和服装模型能够正确地匹配,其中关键问题是获取旋转矩阵 R 和平移矢量 T 。由于人体模型和服装模型整体上存在不同的几何形状和拓扑结构,直接进行匹配或是通过交互操作得到特征点匹配结果往往不准确。考虑到人体模型和服装模型局部上具有相似的几何形状,即具有

相似的特征点,可对两模型中的特征点匹配从而实现三维服装的试衣效果。由于曲面的高斯曲率和平均曲率仅与曲面的几何形状相关联,而且是刚体变换不变量,因此可以利用该特征量建立曲面之间的匹配关系^[11]。本文算法的主要思想是首先估算出人体模型和服装模型网格顶点的高斯曲率和平均曲率,然后根据曲率比较得到两模型的特征匹配点对,最后计算三维空间变换矩阵,实现三维人体与服装的匹配。

2.1 人体和服装模型网格顶点的曲率估算

为了得到人体和服装模型的特征匹配点,首先需要估算两模型网格顶点的高斯曲率和平均曲率。由于曲率估算的好坏直接影响后面两模型的匹配精确程度,本文利用文献[12]双二次 Bezier 曲面局部逼近网格顶点及其邻接点的方法对 2 个模型网格顶点的曲率进行估算。双二次 Bezier 曲面可写成

$$S(u, w) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 B_{i,2}(u) B_{j,2}(w) p_{ij} \\ u, w \in [0, 1]$$

式中: p_{ij} 为曲面控制顶点; $B_{i,2}(u)$ 、 $B_{j,2}(w)$ 为 Bernstein 基函数。

为了得到 p_{ij} 的值,本文采用最小二乘拟合的方法来逼近所有的网格数据点。该方法需要计算网格顶点和其 1-邻域点(即所有跟该网格顶点仅通过一条边相邻的节点)在参数曲面上参数 (u_i, w_i) 。首先通过计算网格数据点中所有相邻拟合点法矢量的算术平均来估算三角网格中每一顶点 p_i 处的法矢 N_i ,然后在网格顶点 p_i 处建立公共切平面,该切平面与法矢 N_i 垂直,且 p_i 点为坐标原点,最后将其他 1-邻域点投影到该公共切平面,并把对应的投影点坐标线性变换到标准的 $[0, 1]$ 区间内,这样就获得了参数曲面上的对应的参数 (u_i, w_i) 。经过上述步骤,由网格顶点和其 1-邻域点的参数 (u_i, w_i) 可得到方程组(1)。利用最小二乘法解此方程组求出 p_{ij} ,得到了网格顶点的局部双二次 Bezier 曲面逼近曲面 $S(u, w)$ 。同时可计算出曲面该点的单位法矢为

$$\begin{bmatrix} B_0^2(u_0)B_0^2(w_0) & B_0^2(u_0)B_1^0(w_0) & \cdots & B_2^2(u_0)B_2^2(w_0) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_0^2(u_n)B_0^2(w_n) & B_0^2(u_n)B_1^0(w_n) & \cdots & B_2^2(u_n)B_2^2(w_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{0,0} \\ p_{0,1} \\ \vdots \\ p_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$n = \frac{s_u \times s_w}{|s_u \times s_w|}$$

进而可计算出曲面的第一和第二基本量 $E = s_u^2$, $F = s_u s_w$, $G = s_w^2$, $L = ns_{uu}$, $M = ns_{uw}$, $N = ns_{ww}$, 则通过微分几何公式求出高斯曲率 K 和平均曲率 H

$$K = \frac{LN - M^2}{EG - F^2}$$

$$H = \frac{EN - 2FM + GL}{2(EG - F^2)}$$

双二次 Bezier 曲面方法获得的人体和服装模型的高斯曲率和平均曲率如图 2~3 所示。



图 2 高斯曲率图

Fig.2 Gaussian curvature graph



图 3 平均曲率图

Fig.3 Mean curvature graph

2.2 特征匹配点对矩阵的获取

由于人体模型和服装模型具有不同的几何形状和拓扑结构,为了正确地找到服装模型中与人体模型对应的特征点,可以根据两模型的高斯曲率和平均曲率附加以下约束条件^[11]来寻找

$$\left| \frac{K(B_i) - K(G_i)}{K(B_i)} \right| \leq \delta_k \quad (2)$$

$$\left| \frac{H(B_i) - H(G_i)}{H(B_i)} \right| \leq \delta_h \quad (3)$$

式中: B_i 为人体模型上的一点; G_i 为服装模型上对应的点; $K(B_i)$ 、 $K(G_i)$ 分别为人体模型和服装模型的高斯曲率; $H(B_i)$ 、 $H(G_i)$ 为 2 个模型的平均曲率; δ_k 和 δ_h 为用户定义的阈值。如果人体模型 B_i 和服装模型 G_i 中有 1 个点不满足式(2)、(3),那么该点

对将被拒绝作为对应匹配点,选取另外一点进行比较,直至全部搜索完毕。

人体模型和服装模型具有不同的几何形状和拓扑结构,特别地,当人体动作变化时或者试穿不同的服装款式时,在特征点对的提取过程中,依靠高斯曲率和平均曲率来提取服装模型和人体模型对应的匹配特征点对,还可能会出现误匹配和多重对应关系。出现这些情况时,采用文献[13]中构造匹配函数的方法或通过小量交互操作的方法得到正确的关键特征点对,如图 4 所示。

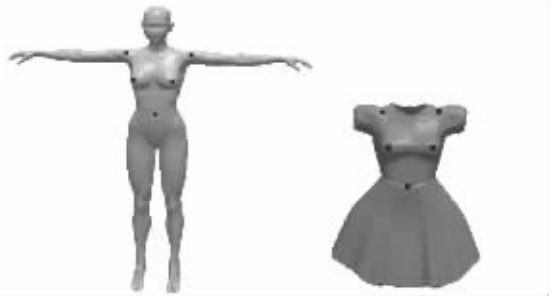


图 4 人体模型和服装模型对应的匹配特征点

Fig.4 Feature points on body and garment model

得到人体模型和服装模型的两特征匹配点集 B 和 G 后,假设 B_i 为对应的人体上特征点坐标向量, G_i 为服装模型上的特征点坐标向量。对于 B 中任何一点 p ,通过建立一个映射 $\phi: B \rightarrow G$,可以找到 G 中对应的点 p' , p' 与 p 为特征匹配点。两特征点坐标向量满足下面的坐标变换方程

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \mathbf{R} \times \begin{bmatrix} G_1 \\ \vdots \\ G_n \end{bmatrix} + \mathbf{T} \quad (4)$$

式中: $\mathbf{R}(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ 为一旋转矩阵; \mathbf{T} 为一平移矢量。

将服装模型和人体模型特征匹配点集的所有点对代入到式(4),并使下面的目标函数最小

$$\phi = \sum_{B_i \in B} \| \mathbf{R}(\theta_x, \theta_y, \theta_z) G_i + \mathbf{T} - B_i \|^2 \quad (5)$$

对于式(5),可采用 SVD 矩阵分解算法,得到坐标变换矩阵 \mathbf{R} 和 \mathbf{T} ,从而实现服装模型和人体模型的粗匹配。

得到服装模型和人体模型的粗匹配后,由于服装和人体的比例可能存在差异,还需要对服装模型进行整体缩放,直至服装模型覆盖相应的人体部位。此时,还可以对人体模型和缩放后服装模型对应的特征匹配点集进行二次匹配处理,获取新的坐标变化矩阵 \mathbf{R} 和 \mathbf{T} ,实现服装模型和人体模型的精确匹配,从而得到三维服装的试衣展示。

2.3 主要步骤

第 1 步 人体和服装模型网格顶点的高斯曲率和平均曲率估算。利用式(1)求解和微分几何公式得到。

第 2 步 两模型特征点对的建立。可利用式(2)、(3)约束条件得到人体和服装模型的特征匹配点对。

第 3 步 人体和服装模型的粗匹配。根据式(4)、(5)得到坐标变换的旋转和平移矩阵。

第 4 步 人体和服装模型匹配的校准。对服装模型进行整体缩放,并进行二次匹配,得到人体和服装的精确匹配,从而实现三维服装的试衣效果。

3 实验结果

本文在 Visual C++ 6.0 的开发环境下,结合 OpenGL 三维建模功能,读取 ply 格式的三维模型数据,实现了基于特征匹配的三维服装试衣系统。通过使用不同人体模型和服装模型验证本文试衣算法的有效性。图 5(a)、(b)分别为人体模型和服装模型的初始位置,对于无任何预知联系下的 2 个模型利用本文提出的算法实现了紧身短裙模型和人体模型的匹配。图 5(c)是该短裙模型的三维试衣效果。图 6 是西装穿在男性模型身上的三维展示效果。



图 5 紧身短裙模型在人体模型上的试衣效果

Fig.5 Matching effect of close-fitting dress. (a)Original position of woman model; (b)Original position of garment model; (c)Clothing fitting effect on woman model



图 6 西装模型在人体模型上的试衣效果

Fig.6 Fitting effect of business suit. (a)Original position of man model; (b)Original position of garment model; (c)Clothing fitting effect on man model

表 1 为实验中人体和服装模型匹配时的相关旋转矩阵和平移矢量数据。

表 1 服装模型和人体模型匹配的实验数据

Tab.1 Experiment data of garment and body models

| 实验结果 | 旋转矩阵 $R(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ | 平移矢量 T |
|------|--|--------------------------|
| 图 5 | (0.4, -24.78, 23.93) | (0.689, -1.273, -1.976) |
| 图 6 | (0.2, -20.39, 22.85) | (-0.098, -0.181, -0.282) |

进行了比较。同现有的迭代匹配方法相比,本文算法无需给定初始值且避免了复杂的迭代计算,算法速度得到提高。同交互操作得到特征点相比,本文利用曲率得到的特征点的方法更加准确,有利于服装试衣的精确展示。与传统的把二维图片贴到模特上完成服装试衣相比,本文的服装试衣系统可以交互操作,从不同角度展示服装效果,如图 7 所示。另外,本文算法在粗匹配后增加了服装缩放和精确匹配处理,算法对于紧身类服装也适用,如图 5 所示。

将本文的三维服装试衣算法和现有的一些方法



图 7 不同视角下三维服装的试衣展示

Fig. 7 Display of garment fitting from different perspectives

4 结 语

本文提出了一种基于特征匹配的三维服装试衣算法。该方法对于无任何预知联系下的服装模型和人体模型,通过曲率约束得到两模型的匹配点集,利用最小距离目标函数实现两模型的匹配,较好地实现了三维服装的试衣效果。

现有的方法适用于人体模型和服装模型动作和款式相对固定的情形。当人体动作变化或试穿不同的服装款式时,通过曲率属性等数学方法获取两模型的特征点对仍可能会出现误匹配和多重对应关系,该方法还存在一定的局限性,如何改进将是今后的研究工作重点之一。

FZXB

参考文献:

- [1] 马晓宇,冯毅力.三维服装模拟技术的研究进展[J].纺织学报,2004,25(4):122-124.
MA Xiaoyu, FENG Yili. A summarization of three-dimensional simulation technology of garment[J]. Journal of Textile Research, 2004, 25(4): 122-124.
- [2] 陆永良,李汝勤,胡金莲.虚拟服装的发展历史和现状[J].纺织学报,2005,26(1):132-134.
LU Yongliang, LI Ruqin, HU Jinlian. History and current situation for virtual clothing development[J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(1): 132-134.
- [3] CORDIER F, SEO H, Magnenat-Thalmann N. Made-to-measure technologies for an online clothing store[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2003, 23(1): 38-48.
- [4] GILLIES M, BALLIN D, CSAJI B. Efficient clothing fitting from data[J]. Journal of WSCG, 2004, 12(1): 129-136.

- [5] VASSILEV T, SPANLANG B. Efficient cloth model for dressing animated virtual people [C]. // Proceedings of Learning to Behave Workshop, Enschede: [s. n.], 2002: 89-100.
- [6] Miralab Website. Virtual Try On [CP/OL]. [2008-06-26]. <http://www.miralab.unige.ch/subpages/ClothesSite/index.html>.
- [7] VOLANI P, MAGNENAT Thalmann N. Virtual clothing: Theory and Practice [M]. [s. l.]; Springer-Verlag, 2000.
- [8] IGARASHI T, HUGHES J. Clothing manipulation [C] // Proceedings of the 15th annual symposium on user interface software and technology. Paris: [s. n.], 2002: 91-100.
- [9] 高峰,董兰芳.网上3D试衣系统技术研究[J].计算机仿真,2006,23(6):209-212.
GAO Feng, DONG Lanfang. Research on technique of net-based 3D fitting room [J]. Computer Simulation, 2006, 23(6): 209-212.
- [10] 胡静.三维试衣的理论方法研究[D].上海:华东师范大学,2002.
HU Jing. Research on the theory of 3D fitting-on [D]. Shanghai: East China Normal University, 2002.
- [11] 徐金亭,刘伟军,孙玉文.基于曲率特征的自由曲面匹配算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2007,19(2):193-197.
XU Jinting, LIU Weijun, SUN Yuwen. Algorithm for free-form surface matching based on curvatures [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2007, 19(2): 193-197.
- [12] RAZDAN A, BAE M. Curvature estimation scheme for triangle meshes using biquadratic Bézier patches [J]. Computer-Aided Design, 2005, 37(14): 1481-1489.
- [13] GAL R, COHEN Or D. Salient geometric features for partial shape matching and similarity [J]. ACM Transactions on Graphics, 2006, 25(1): 130-150.