

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017110121006

基于款式能量的三维编辑纸样调整方法

杨雪松¹ 张秀芳²

(1. 东北师范大学人文学院 服装设计系,吉林 长春 130117; 2. 东北师范大学美术学院 服装设计系,吉林 长春 130117)

摘要: 2D 纸样编辑需要考虑 3D 形态的几何变化和影响悬垂状服装外观的各种物理因素,为了避免繁重的手动 2D 编辑,并简单有效地调整服装长度和合身度,提出一种基于款式能量解决方案的纸样调整方法。首先计算 1 个 3D 目标服装形态,该形态能够最大限度保留输入的服装款式(比例、合身度和形体);然后,在模拟环境下,计算用户选择的 2D 服装纸样,使其可重建服装悬垂在模型上的形态。实验结果表明:该方法能够在模拟实验中快速、可靠地收敛至期望的目标外观,各种编辑服装和二次模拟服装效果效果良好,同时总处理时间较短。

关键词: 悬垂状服装; 款式能量; 3D 形态; 纸样调整; 服装款式

中图分类号: TS 941

文献标志码: A

Three dimensional editing pattern adjustment method based on style energy

YANG Xuesong¹, ZHANG Xiufang²

(1. Department of Fashion Design, College of Humanities & Sciences of Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130117, China; 2. Department of Fashion Design, Fine Arts Academy Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130117, China)

Abstract: 2D pattern editor needs to consider the geometric changes of 3D form and various physical factors that influence the appearance of a draping garment, in order to avoid the heavy work on manual 2D editing, and adjust garment length and fit simply and effectively, a novel pattern adjustment method based on energy design scheme was proposed. Firstly, a 3D target clothing form was calculated, which can retain the maximum input clothing styles (proportion, fitness and form). Then, the 2D garment pattern selected by the user was calculated in a simulated environment, so as to shape reconstruction on the model of garment drape. Experimental results showed that the proposed method can quickly and reliably converge to the desired target appearance, and the effect of various clothing editing and second garment simulation was good, meanwhile, the total processing time was short.

Keywords: draping garment; energy design scheme; 3D form; pattern adjustment; clothing styles

服装设计是一个耗时多的知识密集型工作^[1]。为节省时间,设计人员常以现有服装作为设计基础,并通过结合或修改来创造新的服装外观^[2],其中普遍采用的编辑操作包括现有服装元素的混合,改变下摆或衣袖长度,以及改变服装的松紧度(合身度)等。为将构思应用到服装编辑中,设计人员需要编

辑生成 2D 纸样,然后将其缝合在一起并悬垂在人体上,以生成理想的 3D 外观。由于这些工作涉及多个学科的交叉知识,从 2D 到 3D(2D→3D)的服装混合编辑操作是研究重点和难点。目前已经有不少研究成果,如 3D 形态编辑、2D→3D 建模编辑和 3D 几何式建模编辑等。

3D 形态编辑旨在解决自由形态和设计形态之间的编辑问题^[3],但难以解释服装与模特之间的相互作用,例如保持合身度或比例。典型的表面变形方法^[4]通过惩罚表面剪切和表面法线变动实现形态编辑,但该类方法会导致服装外形出现不理想和不自然的改变。此外,由于仅考虑几何形状,会忽视悬垂状服装所受的物理约束。

收稿日期: 2017-11-15

基金项目: 吉林省高等教育学会 2015 年度高教科研项目 (JGJ2015)

第一作者简介: 杨雪松,讲师,博士,主要研究方向为服装设计与工程、三维人体技术、版型数据开发、服装材料。
E-mail: nihaocqu123@163.com。

2D→3D 建模编辑是一种传统的服装设计程序,有很多商业工具可用,例如样板设计软件 Optitex PDS^[5]等。VOLINO 等^[6]基于2D纸样的交互式服装建模系统,允许用户在2D中编辑纸样,并通过物理实时仿真程序,向用户提供与2D纸样变化相对应的3D反馈,该系统使用需依赖用户在特定领域的知识,虽然此系统缩短了服装建模的时间,但要求用户具备专业的制衣技术,其工作流程也非常耗时。

3D几何式建模编辑基于草图的虚拟服装建模软件,该方法允许用户追踪穿在模特身上的服装轮廓,为某人设计的服装进行非一致性度量,使该服装适应不同的身体形态,同时保留原始服装的设计。黄海峤等^[7]提出可展曲面构造方法,首先建立参数化人台,然后对混合组件进行检测和合并,并添加装饰性服装元素。王帅军^[8]结合人体比例学中服装人体特征的位置关系,运用随机森林算法对人体特征进行统计识别,以此为基础,提出人体特征点构造3D服装原型的算法。当服装组件的转换边界长度不同时,该方法容易产生可见的伪迹。KWOK 等^[9]提出用于紧身服装的混合方法,但将该方法应用到宽松服装时会产生相似的伪迹。

本文优化的重点在于最大限度降低内部形变,并对中间解与悬垂状服装之间的网格三角形偏差进行编码。主要分为2个部分:一是3D编辑程序,即生成设计人员构思的3D服装几何体;二是创建2D服装纸样的样板制作程序。使用物理悬垂模拟程序,将创建出的2D纸样上升到3D模拟后,正确反映出悬垂过程中服装的内部形变。

1 服装编辑工具

本文方法使用1个或多个模拟垂悬服装作为输入,在3D空间中直接进行用户指定的编辑,编辑工具包括常用的更改操作,如合身度调整、长度调整和服装混合等。编辑过程不需要考虑服装纸样,支持自由式控件,且不受服装接缝的约束。

提出的编辑方法旨在保留输入服装的风格,即比例、合身度和形态,并避免出现视觉伪迹。BROUET 等^[10]提出的服装缩放数学模型直接将上述3种款式组件作为规范,其中倾向于形态(或法线)的保留,因此,本文采用该数学模型,并对编辑任务限制的款式能量进行优化,在保留原始服装外观和满足用户约束之间实现平衡。

更改单件服装:每种修改均使用服装网格边的1个圆环作为控件,用户可以沿着人体移动控制环,拉长或缩短服装的一部分,例如衣袖或裙子,还可以

将该控制环拉近或拉离人体,通过松开或收紧该控制环来改变服装的合身度。

一旦用户指定了新的操作位置,本文基于款式以胆的方法在保留控件顶点变更后的位置前提下,通过优化服装款式能量,对服装形态进行更新。得到的结果能够满足处理位置,保留了原有风格,并没有可见伪迹。

服装混合:混合是非常流行的服装编辑操作手段^[11],通过对现有服装部分进行组合以创造出新的设计。在提出的编辑程序中,为生成1个服装混合,用户需要选择2个服装设计,并指定希望组合的部件。生成3D混合服装的几何形态有着重要意义,因为用户希望能够保留某个服装的部分风格,并实现无缝或肉眼无法识别的混合转换,特别是改变部件的几何形态以实现平滑转换。

2 纸样调整方法

本文通过提出的3D编辑工具创建目标服装的几何形态,得到1个静止服装形态。当该服装悬垂在模特身上且受重力影响时,该形态能够二次生成目标服装的几何形态。由于处于静止形态的服装衣片是可以展开的,本文通过2D纸样实现服装的静止形态。静止几何形态与悬垂几何形态通过力的静态平衡相关联,表示为:

$$E(Y, y) = L_{in}(Y, y) + L_{ex}(Y, y) = 0 \quad (1)$$

式中: E 为系统的残留能量; Y 为静止形态网格顶点的向量; y 为3D悬垂面料顶点的向量; L_{in} 和 L_{ex} 分别为内部(如弹力)和外部(如重力)的力。式(1)是通过找到1个静止形态 Y ,使其在力平衡条件下确保与期望的3D目标服装形态 y^e 满足关系 $\|E(Y, y^e)\| < \varepsilon$ 。 ε 表示非常小的正数,如 10^6 。

2.1 基本原理分析

要得到在式(1)中的 Y ,1个可能的方法是对系统进行迭代线性化,并通过空间梯度 $\nabla_y E$ 和灵敏度矩阵 $\nabla_y E^{-1} \nabla_y E$ 达到力的平衡。然而,这还不能解决服装的悬垂问题。因为摩擦力和较强的面料非线性,使得梯度计算非常复杂,不具备可行性。

本文的创新处是推导出不带梯度的计算,是独立于模拟程序的静止形态计算方法,充分利用悬垂服装的物理学观测以及编辑设置。其基本原理是,当织物和模特的所有参数均保持固定时,悬垂服装的平衡几何形状主要取决于2个关键因素:2D纸样的几何形状和初始悬垂条件。由于本文的目标是找到能够复制目标几何形态的最终悬垂服装,因此,使用该目标几何形态,在研究中的每一步设定初始条件,得到的解与纸样2D的位置(或朝向)不相关。

由此,三角化的 2D 纸样形状完全由其构形的三角形形状所决定。本文通过优化这些三角形的形状来寻找最佳的纸样几何形状。

为此,首先对修改后的目标服装 3D 衣片进行 2D 参数化,将其作为期望纸样的初始猜测值。该初始纸样反映了服装的裁剪,但并没有考虑到悬垂过程中对纸样进行拉伸的物理力。使用此类纸样二次模拟生成的服装一般会在比例和合身度上出现显著误差,但其三角法线与目标服装大致相似。合身度和比例上的较大偏差源于不同的内部几何形状,即 2 个服装网格上对应的三角形形态差异,因此,优化可以集中在最大限度地降低内部形态差异。

此外,在悬垂过程中网格内部几何变化是有界的,且大部分偏向单边,即服装面料几乎不会被压缩。且在悬垂过程中的伸展也是有限的,与静止状态相比,针织品的伸展度最高为 100%,而一般机织物的伸展度则低于 10% [12]。

综上所述,可以将服装静止形态的计算考虑为在线性变换空间中的局部一整体的固定点迭代计算,同时在三角形形状编码空间进行优化。由于提出的方法应用模拟编码,对最终服装进行物理建模,以找到输入服装的平衡悬垂和 1 个初始化程序。因此,该方法适用于大部分标准模拟代码,仅需要模拟程序将 1 组纸样 Y 作为输入,即可通过目标 y^g 对求解器进行初始化,并输出处于静态平衡的最终悬垂,即

$$\phi(Y, y^g) \rightarrow y \quad (2)$$

该过程描述为:假设找到 1 组网格服装纸样 Y 及其相应的样纸三角形 S 。在应用仿真后,输出的模拟悬垂网格 s 与目标样纸网格间的内部转换是 1 个纯标识,也即:二者之间的每个三角形 i 的 3D 转换是刚性的,以使得

$$s_i^g = R_i s_i + c_i \quad (3)$$

式中: R_i 和 c_i 分别表示旋转和平移。需要说明的是:纸样三角形 S_i 与模拟悬垂三角形 s_i 之间的映射并不是刚性的,已知初始猜测,通过在静止形态上的迭代更新操作,可推导出寻找最有形的参数。

2.2 设置步骤

将三角形 S_i, s_i 和 s_i^g 向 $x \rightarrow y$ 平面旋转,三者对齐,以使得指定边界向量 u 与 x 轴对齐。然后在无转换的 2D 矩阵形式中分别将其表示为线性算子 T_i, t_i 和 t_i^g 。则每个三角形 i 在式(2)中的 2D“自向性行为”是:

$$Y(T_i) = t_i = A_i T_i \quad (4)$$

$$A_i = [t_i T_i^{-1}] \quad (5)$$

式(5)给出了三角形形状由于全局耦合模拟步骤造成的局部变化。

2.3 更新步骤

在提出算法的每个迭代 k ,以三角形 T_i^k 形成 1 个 2D 纸样。首先将全局模拟步骤从目标应用到模拟平衡网格,得到更新后的三角形 $t_i^k = A_i T_i^k$ 。然后,独立地更新每个三角形 T_i^k ,并应用全局 2D 嵌入,将所有更新后的三角形缝合到 1 个连续的 2D 纸样中,以进行下一个模拟步骤。

本文的目标是最大限度减少在步骤 k 模拟出的三角形 t_i^k 与目标三角形 t_i^g 之间的内在形状差异。为此,需要找到最优形状三角形 T^* ,以使得正向模拟时,满足条件:

$$t_i^g = A_i^* T_i^* \quad (6)$$

虽然上式中的 A_i^* 未知,但可以通过纸样至悬垂的转换 $t_i^k = A_i T_i^k$ 迭代地逼近 A_i^* 。然后,可以将上述关系表达为三角形上 T_i^* 的固定点条件:

$$T_i^* = A_i^{-1} t_i^g = [T_i^k (t_i^k)^{-1}] t_i^g = T_i^k [(t_i^k)^{-1} t_i^g] = T_i^k B_i \quad (7)$$

由于三角形 t_i^k 和 t_i^g 有 1 个共同的原始顶点,且均有 1 个边与 x 轴对齐,基矩阵 B_i 变为带平行和垂直组件的剪切矩阵。通过式(6)更新静止形态三角形,应用 1 个固定点迭代步骤以减少内部形变:

$$T_i^{k+1} = T_i^k B_i \quad (8)$$

2.4 嵌入步骤

在对三角形进行单独处理时,式(8)中每个固定点的更新步骤会产生 1 组不连接的 2D 三角形。然后从 T_i^{k+1} 更新到 1 组适用于模拟的网格纸样 X^{k+1} 。本文使用原始纸样的缝线作为样板边界,将 2D 嵌入作为连接的解来计算。由于本文在局部将拉伸最小化,并在全局更新平衡解,为嵌入提供了必要的连接,以将更新后的三角形放宽到附近的整个网格。

为保持嵌入的收敛特性,应该引入最小偏差并保持收缩。以最小偏差在 2D 空间中嵌入 1 组三角形是一种标准的网格参数化问题。本文使用文献 [13] 提出的网络参数化方法进行实验。因为该方法非常适用于嵌入,该方法平衡了长度和角度,在实现嵌入静止网格 Y^{k+1} 的度量偏差分布较为一致。

然后,利用新的静止网格 $\phi(Y^{k+1}, y^g) \rightarrow Y^{k+1}$ 到下一个仿真步骤中,以得到 A_i 的全局更新。需要说明的是,在 3D 优化程序中,目标服装衣片几乎是展开的,因此每个仿真步骤中的内部偏差是有界的。

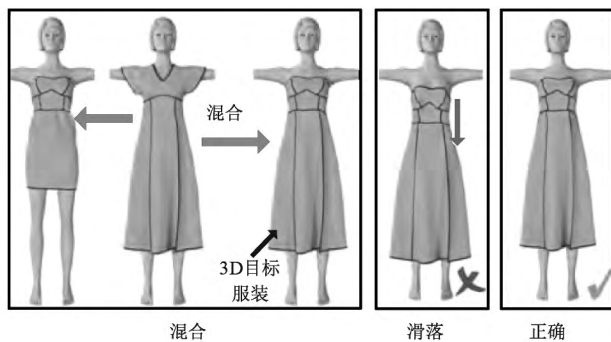
剪切变换 B_i 不会大幅改变之前的纸样三角形形状,且偏差数值(角度和面积)几乎可以忽略不计。

3 实验结果与分析

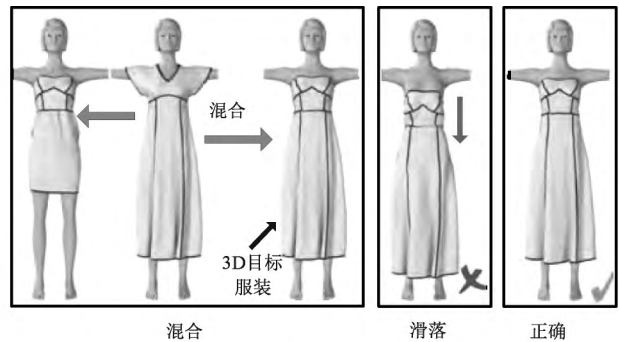
3.1 模拟与改动

本文使用2个前向动态模拟程序对提出的工作流程进行测试。第1个模拟程序采用标准织物质点弹簧系统^[14],偏重于处理速度,每个模拟步骤平均耗时3s。第2个是ARCSim模拟程序^[15],测试偏重于准确度,每个模拟步骤平均耗时5min。

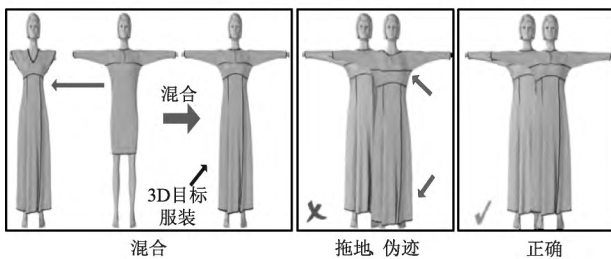
2种模拟程序下的测试结果见图1。可以看出,使用质点弹簧和ARCSim仿真程序生成的混合无肩带连衣裙,从模特身上滑落(见图1(a)(b))。此外,在服装底部,使用不同仿真程序从此类纸样中模拟出的服装存在不同的伪迹出现:当使用ARCSim时,则在胸部出现缝线偏移(见图1(c));使用质点弹簧模拟程序时,混合式连衣裙的裙角拖地(见图1(d))。本文方法调整了所有输入纸样,在2个模拟程序中都表现良好,其模拟服装均与3D目标服装相匹配。



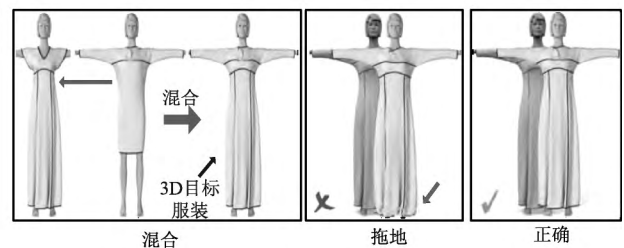
(a) ARCSim模拟程序1



(b) 质点弹簧模拟程序1



(c) ARCSim模拟程序2



(d) 质点弹

图1 2种模拟程序下的测试结果

服装长度和合身度更改的仿真结果见图2~4。使用本文基于款式能量的方法可以进行服装的各种改动,包括下摆延长和缩短,合身度调整。

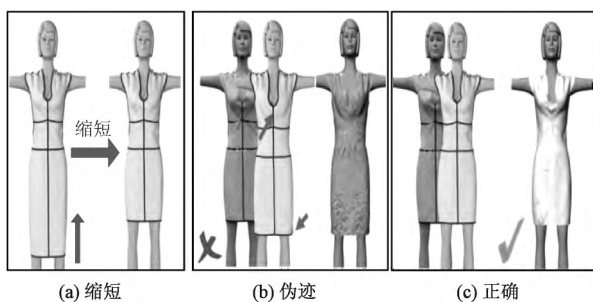


图2 缩短仿真

图2~4所有分图的左边模特为3D编辑输入的仿真结果,右边模特为使用扁平化纸样进行的仿真结果;图2(b)、(c)、3(b)、3(c)从左到右,第1个

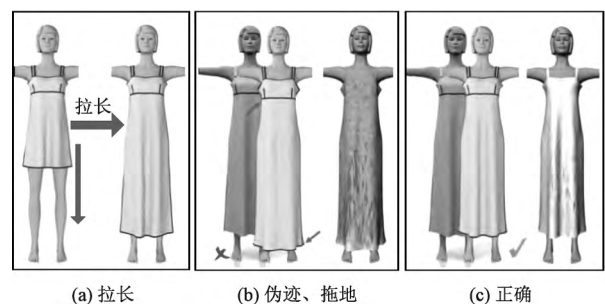


图3 拉长仿真

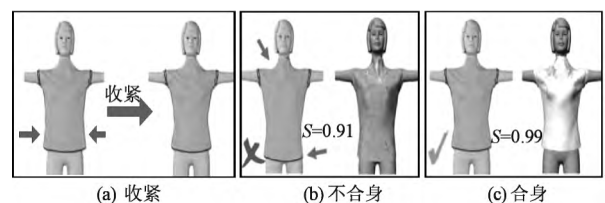


图4 收紧仿真

人物服装(深色)为参考的目标服装。在所有样例中,该方法所生成的目标输出和二次模拟输出均能满足用户的期望。

3.2 与其他方法的比较

裙边拉长后的纸样调整见图5。一般而言,标准的网格编辑技术不适用于服装编辑,而本文基于款式能量的解决方案则可以生成理想的3D输出。目前很多3D服装编辑和建模方法使用扁平化的方法创建服装样板,如文献[10]的方法。当使用极低弹力织物时,该解决方法在二次模拟后会出现明显的可见伪迹,如图5(b)、(c)为缩放后的二次模拟,图5(b)裙角出现拖地问题,图5(c)为本文方法缩放结果。可以看出本文方法的样板调整具有一定的通用性,而文献[10]方法不适用于更加通用的模拟设定。

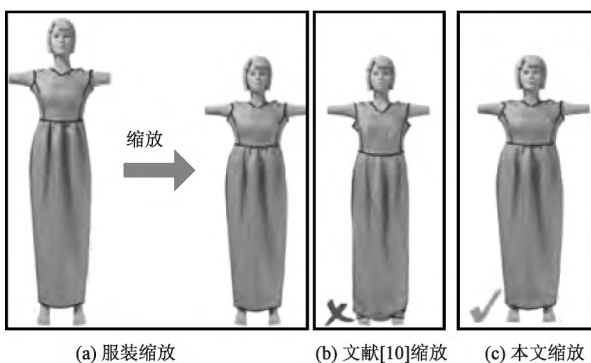


图5 裙边拉长之后的纸样调整

文献[7、9]提供了一些3D服装编辑能力,但该类方法仅限于通过用户提供的可形变尺寸样板,使用预定义的操作来操作,而本文基于款式能量的方法支持各种类型的服装样板和拓扑结构。

3.3 处理时间和统计量分析

纸样调整的统计量见表1。其中,典型的输入服装网格中包含5 000~27 000个三角形;拉伸初始值表示纸样调整前的服装拉升度,拉伸最终值表示纸样调整后的服装拉升度,其取值范围为[0.8, 1.0]。

裙边拉长后的纸样调整见图6。输入服装网格的三角形数量取值范围与商用服装设计软件基本一致,因此本文选择表1中的三角形数量对速度和准确性的平衡进行考量,其总处理时间的变化范围为40~150 s。在总处理时间中,10~20 s被用于3D计算;20~80 s用于执行样板更新;其余时间用于模拟程序。如图6所示,样板调整通常在5次迭代下收敛,从左至右:迭代0~5次。颜色(深至淡)表示对应目标的几何形态内部三角拉伸。

表1 纸样调整的统计量

三角形数量	拉伸初始值	拉伸最终值	Hausdorff初始值(% h)	Hausdorff最终值(% h)
27 000	0.891	0.990	6.1	0.7
8 601	0.895	0.990	8.0	0.8
8 230	0.897	0.992	4.7	0.5
3 001	0.902	0.989	6.0	0.5
5 095	0.903	0.990	3.9	0.7
14 715	0.943	0.993	6.6	0.8
14 735	0.980	0.992	5.6	0.9
18 752	0.900	0.989	6.6	0.7
18 722	0.901	0.986	5.5	0.6
11 709	0.912	1.000	4.8	0.3
7 700	0.909	0.996	2.2	0.7



注:数值为平均拉伸值。

图6 裙边拉长之后的纸样调整

第1次迭代能够实现超过80%的误差减少。虽然提出的优化方法以拉伸为基础,但本文希望优化的度量是目标服装与二次模拟服装之间的距离,且最关注的是最差情况和二者之间的Hausdorff距离。对于测试的大部分模型,当使用扁平样板方法时,目标服装与悬垂模拟服装之间的Hausdorff距离超过模特高度的5%。在经过样板调整后,该距离降低到0.5%~0.8%之间,很明显得到了较大改进。

为测试本文方法的可扩展性,对输入网格进行了2次细分,创建了1个包括65 000个三角形的网格。发现运行该模型耗时显著增加,总计耗时11 min,但实现相同的误差范围所需的迭代次数相同。

4 结束语

本文提出一种在3D空间中直接编辑服装的方法,与传统的2D编辑方法相比较,本文方法大大提升了处理速度,且对不熟悉2D纸样的新用户更加直观。该方法的核心是纸样调整算法,该方法没有梯度计算,且独立于模拟程序。实验表明:方法能够在3D中直接执行各种流行服装的修改。在目标形

态纸样几何图形的计算之外,织物参数的优化也是一个有价值的研究方向,是未来的研究重点。

参考文献:

- [1] 刘晓刚. 品牌服装设计[M]. 上海: 东华大学出版社, 2015.
- [2] 涂毅佳. 基于平面纸样的服装微空间创意造型方法[J]. 毛纺科技, 2016, 44(11): 68-73.
- [3] YUMER M E, CHAUDHURI S, HODGINS J K, et al. Semantic shape editing using deformation handles [J]. Acm Transactions on Graphics, 2015, 34(4): 1-12.
- [4] 许旭兵, 赵孟超. 压褶服装“一衣多穿”的形态设计[J]. 丝绸, 2014, 51(7): 47-52.
- [5] LIU Y M, JANG H K. A study on the functional characteristics of apparel 3D CAD system [J]. Advanced Materials Research, 2013, 62(7): 501-505.
- [6] VOLINO P, CORDIER F, THALMANN N. From early virtual garment simulation to interactive fashion design [J]. Computer-Aided Design, 2005, 37(6): 593-608.
- [7] 黄海娇, 王英男. 基于可展曲面的3D服装原型建模与服装样板生成[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2011, 37(6): 720-726.
- [8] 王帅军. 基于人体特征识别的3D服装造型技术研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2016.
- [9] KWOK T H, ZHANG Y Q, WANG C C L, et al. Styling evolution for tight-fitting garments [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics, 2016, 22(5): 1580-1592.
- [10] BROUET R, SHEFFER A, CANI M P, et al. Design preserving garment transfer [J]. Acm Transactions on Graphics, 2012, 31(4): 36-45.
- [11] 刘炯宙, 李基拓, 陆国栋. 三维服装物理: 几何实时混合模拟 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(12): 2244-2250.
- [12] 顾伯洪, 孙宝忠. 纤维集集体力学[M]. 上海: 东华大学出版社, 2014.
- [13] LIU L, ZHANG L, XU Y, et al. A local/global approach to mesh parameterization [J]. Computer Graphics Forum, 2008, 27(5): 1495-1504.
- [14] 陈代绶. 垂直悬挂质点弹簧系统的振动 [J]. 大学物理, 2007, 26(9): 22-26.
- [15] NARAIN R, SAMII A, O'BRIEN J F. Adaptive anisotropic remeshing for cloth simulation [J]. Acm Transactions on Graphics, 2012, 31(6): 1-10.

欢迎订阅 2019 年《产业用纺织品》

《产业用纺织品》(月刊), 大16开, 全彩色印刷, 定价12.00元/册, 全年144.00元, 国际标准连续出版物号: ISSN1004-7093 国内统一连续出版物号: CN31-1595/TS 邮发代号: 4-492。

《产业用纺织品》由东华大学主办, 为中文核心期刊, 已入编中国学术期刊(网络版)、万方数据-数字化期刊群、中文科技期刊数据库、超星期刊域出版平台及博刊网等。

《产业用纺织品》主要刊登有关国内外各种产业用纺织品和非织造布的综述、科研、生产技术的报告, 国内外新产品、新材料、新技术、新设备的报道, 有关专利、标准和测试方法的介绍, 国内外有关的动态、市场信息和新闻简讯。《产业用纺织品》努力成为纺织、冶金、化工、电子、医疗卫生、农林、水利、建材及国防工业各科研、生产和使用单位之间信息联络的纽带, 促进中国产业用纺织品和非织造材料的研究、生产和应用。

《产业用纺织品》承接相关广告, 并热诚为客户宣传, 欢迎有意者来电或发E-mail联系。

地址: 上海延安西路1882号第三教学楼15楼

电话: 021-62373227 62378228

传真: 021-62373898

E-mail: techtex@dhu.edu.cn

