

# 面向不同体型特征的服装款式迁移方法

石 敏<sup>1</sup>, 魏育坤<sup>1</sup>, 王俊铮<sup>1</sup>, 毛天露<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206;

2. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190)

**摘 要:** 大部分成衣的设计以标准比例的人模作为参照, 而对于非标准体型的顾客, 标码服装的大小尺寸则很难与之进行有效匹配。基于此, 提出了一种面向不同体型特征的服装款式迁移方法。首先, 对于一批不同款式的服装, 通过物理模拟的方式穿着到标模及非标模人体之上, 形成标模试穿的服装实例及非标模试穿的服装实例; 其次, 使用仿射变换表示同款服装在标模及非标模下服装实例间的变形映射, 并借助主成分分析法求解服装变形, 在保留因体型特征导致的服装形变的基础上, 剔除由服装款式信息引起的服装形变; 最后, 将服装变形用于标模到非标模的服装款式迁移, 并使用平均离散曲率衡量迁移前后服装款式的改变程度。实验结果表明, 迁移后的服装携带了标模服装的款式信息, 并保留了非标模服装的体型特征。

**关 键 词:** 虚拟试衣; 服装款式迁移; 服装形变; 仿射变换; 主成分分析

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2019050866

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2019)05-0866-06

## Transfer Method of Body Shape-Oriented Garment Style

SHI Min<sup>1</sup>, WEI Yu-kun<sup>1</sup>, WANG Jun-zheng<sup>1</sup>, MAO Tian-lu<sup>2</sup>

(1. School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Most garments are designed according to the standard scale of mannequin. However, for customers with non-standard body shape, it is hard to match them with garments of standard size. Based on the above background, we have proposed a body shape-oriented garment style transfer method. Firstly, for a number of garments of different styles, physically-based simulation method is used to wear the garments on standard human model and the non-standard human model. The garment instances fitting for standard body shapes and non-standard body shapes, are then constructed. Secondly, affine transformation is used to represent deformation between the same garment instances under the standard body shape and non-standard body shape, and the cloth deformation is computed using principal component analysis so that the cloth deformation caused by body shape can be retained and the cloth deformation caused by the garment style can be removed. Finally, cloth deformation is used to transfer the garment style from standard to non-standard model, and we use average discrete curvature to measure the degree of change in clothing style before and after garment transfer. The experiment results show that the transferred

收稿日期: 2019-08-02; 定稿日期: 2019-08-13

基金项目: “十三五”重点研发计划项目(2017YFC0804900); 国家自然科学基金项目(61532002, 61702482); 国家自然科学基金青年基金项目(61300131, 61972397)

第一作者: 石 敏(1975-), 女, 山西大同人, 副教授, 博士, 硕士生导师。主要研究方向为虚拟现实。E-mail: shimin01@ict.ac.cn

通信作者: 毛天露(1977-), 女, 浙江舟山人, 副研究员, 博士, 硕士生导师。主要研究方向为虚拟现实与人机交互。E-mail: ltm@ict.ac.cn

garments have the style information of the garment under standard body shape and the body characteristics of the garment under non-standard body shape.

**Keywords:** virtual fitting; garment style transfer; cloth deformation; affine transformation; principal component analysis

虚拟试衣作为服装动画领域的核心问题,涉及将给定尺寸的服装穿着到虚拟人人体之上。在此过程中,服装通常会发生复杂的形变,如:折皱、弯曲、拉伸等。服装形变可由外部受力造成,如:重力、挤压等,也受到自身内力的约束,例如,不同材质的同款服装穿着在同一个人身上所产生的形变差异明显。构建出折皱逼真、款式合体的服装动画模型是一个颇具挑战的任务。

现实中,同款服装通常会有不同的尺码,以适合于不同尺寸的人体。大部分成衣的设计都是以标准比例的人模作参照,进而进行不同尺码的设计与裁剪;而对于非标准体型的顾客,特别是局部特征鲜明的身型,标码服装的大小尺寸则很难与之进行有效匹配。根据不同的人体体型特征,设计合体的服装并进行虚拟试穿,不仅可以使顾客在成衣前虚拟预览着装效果,也可以辅助其非标尺码服装的快速生成。

综上所述,本文研究一种针对不同体型快速生成服装模型及其试衣效果的方法。首先将一批不同款式的服装,通过物理模拟的方式穿着到标模及非标模人体之上,形成标模试穿的服装实例及非标模试穿的服装实例;其次,提取同款服装在标模及非标模下服装实例间的变形特征,在保留因体型特征导致的服装形变的基础上,剔除由服装款式信息引起的服装形变;最后,将服装变形用于标模到非标模的服装款式迁移,并使用平均离散曲率衡量迁移前后服装款式的改变程度。通过实验验证,本文方法生成的服装携带了标模服装的款式信息,并保留了非标模服装的体型特征。

## 1 相关工作

针对服装动画技术已有多项研究。最经典的物理法通过对服装进行受力分析,计算服装的形变情况以生成对应的服装动画。文献[1]提出了一种基于GPU的布料模拟方法,可以有效地模拟高精度和复杂分层的布料。文献[2]在摩擦力的处理上取得新进展,使服装和人体的交互作用显得更为逼真。基于物理模型的服装变形方法作为服装动画最为传统

的模拟方法,虽然能够得到逼真、符合物理规律的服装动画效果,但需要进行大量的计算,难以保证实时性。

基于实例数据驱动的服装动画生成方法可以实现对服装形变数据的重用,成为近年来使用较多的方法。文献[3]提出了一种图像的虚拟试衣方法,可以通过捕获试衣者的骨架结构合成出服装模型的运动及变形;文献[4]提出了一种面向不同人体体型及姿势的服装模型生成方法,该方法可以将训练后的服装模型快速穿着到指定体型及姿势的人体之上;文献[5]提出了一种服装迁移算法,可以将服装模型迁移至与源人体的身体形状及比例差异明显的人体之上;文献[6]通过对服装模型实例及人体运动特征的研究,提出了一种可以根据给定的人体姿势及服装实例数据合成服装变形的服装动画合成方法,但需要对大量的实例数据进行预处理;文献[7]提出了一种将人体的形变权重转换为三维扫描服装的方法。

目前,基于实例数据驱动的服装动画生成方法大多专注于如何将给定款式的服装穿着到特定体型及姿势的人体身上,而针对局部体型特征鲜明的人体设计不同款式的合体服装的工作较少,本文拟面向不同体型特征的服装款式迁移问题展开研究。

## 2 本文算法思路

本文提出了一种面向不同体型特征的服装款式迁移方法,可以为非标体型人体的非标尺码服装的快速生成提供辅助,并在成衣前对着装效果进行预览。图1为本文算法的主要思路,可分为服装实例生成、仿射变换映射、服装变形求解、试衣效果预测4个部分。

(1) 服装实例生成。选取不同体型特征的人体模型,将各款式服装的二维衣片通过物理模拟的方式缝合到不同体型的虚拟人身上,从而得到不同款式的服装实例对。由于试衣模特体型的差异,服装模型会呈现出不同的褶皱信息。

(2) 仿射变换映射。利用仿射变换表示同款服

装经标模试穿的服装实例与非标模试穿的服装实例间的变形映射, 构建出仿射变换排列矩阵。

(3) 服装变形求解。利用主成分分析法(principal component analysis, PCA)求解服装变形, 剔除仿射

变换排列矩阵中非共性的款式信息, 保留因体型特征导致的共性的服装形变。

(4) 试衣效果预测。将求解的服装变形作用于三维样衣进行试衣效果预测。

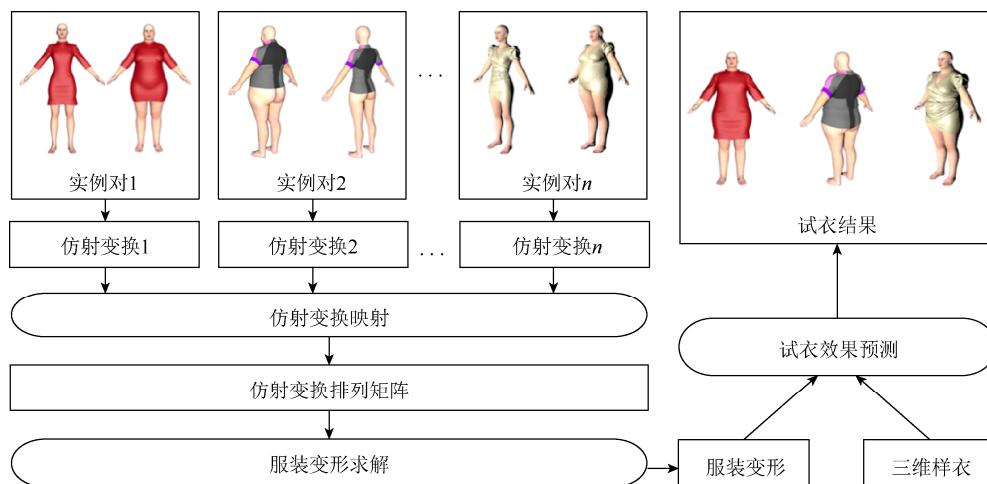


图1 算法思路

### 3 服装款式迁移

#### 3.1 A-pose 虚拟人服装实例生成

现实生活中, 人的身材各种各样, 北卡罗来纳大学的研究人员对 6 318 名女性进行了调查<sup>[8]</sup>, 结果发现, 46%的女性属于香蕉体型, 20%多女性属于梨形体型, 14%的女性属于苹果体型。为使实验更具现实意义, 本文分别构建香蕉体型作为标准体型、构建梨形体型及苹果体型作为对照体型进行虚拟试衣, 如图 2 所示。

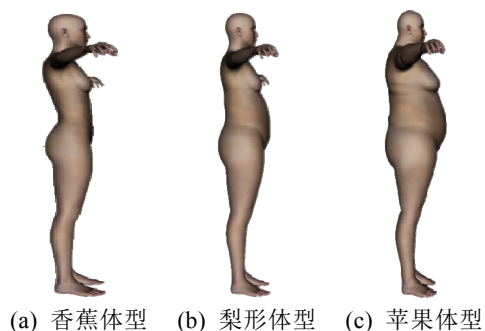


图2 本文构建的3种体型的虚拟人

A-pose 虚拟人是指双手向下倾斜 45°张开、两腿自然伸直的站立人体。该姿势的虚拟人动作规整, 不仅方便于把服装模型套至虚拟人上, 还能较好地呈现虚拟服装各个角度的款式形态。为生成 A-pose 虚拟人的服装实例, 本文基于工业设计软件 (marvelous designer), 模仿工业制衣的流程构建该

姿势虚拟人的服装模型, 即首先设计服装的二维衣片, 然后将对应的衣片缝合。

通常地, 一款服装由不同部位的二维衣片组成, 并通过缝合线相联系, 如图 3(a)所示。每根缝合线连接着 2 个缝合点, 缝合过程中, 对缝合线施加缝合力, 同一条缝合线连接的 2 个缝合点会不断收缩直至重合。此外, 为了模拟真实的试衣环境, 对所有衣片施加重力, 并对服装顶点进行动力学计算和碰撞处理。图 3(b)展示了缝合完毕的衣片。

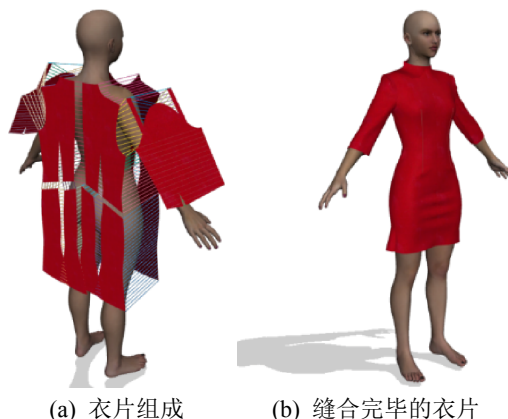


图3 衣片缝合

#### 3.2 仿射变换映射

仿射变换通常由一个线性变换和平移构成。设 2 个三角形分别为  $(x_1, x_2, x_3)$  和  $(y_1, y_2, y_3)$ , 则仿射变换为

$$y_i = Qx_i + d, i \in 1, \dots, 3 \quad (1)$$

其中,  $x_i, y_i$  为三角形的顶点;  $Q$  为  $3 \times 3$  矩阵;  $d$  为位移矩阵。

式(1)中, 用三角形的3个顶点计算仿射变换, 虽然能将顶点变换到正确的三维坐标, 但由于没有垂直方向的信息, 可能使变换后的三角形反向。为此, 文献[9]定义了第4个顶点, 即

$$x_4 = x_1 + \frac{(x_2 - x_1) \times (x_3 - x_1)}{\sqrt{|x_2 - x_1| \times |x_3 - x_1|}} \quad (2)$$

将  $x_1, \dots, x_4; y_1, \dots, y_4$  代入式(1)可消除  $d$ , 求得  $QX=Y$ , 其中

$$\begin{cases} X = [x_2 - x_1 & x_3 - x_1 & x_4 - x_1] \\ Y = [y_2 - y_1 & y_3 - y_1 & y_4 - y_1] \end{cases} \quad (3)$$

综上, 三角形  $(x_1, x_2, x_3)$  到  $(y_1, y_2, y_3)$  的仿射变换为

$$Q = YX^{-1} \quad (4)$$

设服装  $A_1$  和  $B_1$  的三角形数为  $t_1$ ,  $A_2$  和  $B_2$  的三角形数为  $t_2, \dots, A_n$  和  $B_n$  的三角形数为  $t_n$ 。  $A_i$  和  $B_i$  是拓扑一致的同款服装, 其第  $k$  个仿射变换为  $q_{ki}$ , 则  $A_i$  和  $B_i$  的所有仿射变换可以表示为  $\tilde{D}_i = [q_{1i}, \dots, q_{t_i i}]^T$ , 所有服装的仿射变换  $\tilde{F}$  可表示为

$$\tilde{F} = [\tilde{D}_1, \tilde{D}_2, \dots, \tilde{D}_n] \quad (5)$$

设人体模型有  $t_m$  个三角形, 服装  $A_1$  与人体三角形之间的映射关系为:

(1) 对于人体模型第  $j$  个三角形, 查找距离其质心最近的  $A_1$  上的三角形。设该三角形为服装第  $k$  个三角形, 则记录所有的  $t_m$  个匹配对  $[j, k]$ ;

(2) 对于未匹配到的  $A_1$  的三角形, 查找距离其质心最近的人体三角形, 记录剩余的  $t_1 - t_m$  个匹配对。

综上, 基于服装三角形和人体三角形的匹配对, 可以找到每个人体三角形对应的服装三角形, 服装的仿射变换映射矩阵为

$$F = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{t_m 1} & q_{t_m 2} & \dots & q_{t_m n} \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 3.3 服装变形求解

为了剔除仿射变换数据的非公共信息, 同时保留不同款式服装形变的公共部分, 本文选取 PCA 求解服装变形。利用 PCA 求解服装变形的步骤如下:

**步骤 1.** 计算仿射变换集的主成分。

$k$  款服装缝合至 2 个虚拟人后可以生成  $2k$  件服装, 设第  $i$  款服装对应的两件衣服的所有三角形求得的仿射变换表示为  $\tilde{D}_i$ , 经人体模型重新映射后的仿射变换  $D_i$  表示为

$$D_i = [q_{1i}, \dots, q_{t_{mi} i}]^T \quad (7)$$

其中,  $t_m$  为人体三角形数。所有服装构成的仿射变换集  $F$  可以表示为

$$F = [D_1, D_2, \dots, D_k] \quad (8)$$

$F$  的均值为

$$\psi = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k D_i \quad (9)$$

其中,  $\psi$  为均值化的  $F$ ,  $\psi$  的协方差矩阵  $Cov(L_i, L_i^T)$  的计算方法为

$$Cov(L_i, L_i^T) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k L_i L_i^T \quad (10)$$

其中,  $L_i$  为

$$L_i = D_i - \psi, i = 1, 2, \dots, k \quad (11)$$

协方差矩阵  $Cov(L_i, L_i^T)$  即为特征空间, 将特征空间中特征向量的值降序排列即可组成新的特征空间  $C'$ , 称  $C'$  中第  $m$  个特征向量  $u_m$  为第  $m$  主成分。

**步骤 2.** 求解服装变形。

越靠前的成分越能揭示原始数据的特征信息, 故通过提取靠前的主成分而舍弃靠后的主成分以达到提取主要特征的目的。取  $C'$  中前  $x$  个主成分构成新的特征空间  $C_x$ , 即

$$C_x = [u_1 \quad u_2 \quad \dots \quad u_x] \quad (12)$$

服装变形  $F_f$  可表示为

$$F_f = C_x \Omega + \bar{F} \quad (13)$$

其中,  $\Omega$  表示为

$$\Omega = C_x^T (F - \bar{F}) \quad (14)$$

利用上述方法, 可剔除仿射变换排列矩阵中非共性的款式信息, 因体型特征导致的共性的服装形变得以保留。

## 4 迁移效果评价

款式迁移效果可以从视觉差异方面进行评价, 然而, 通过该方式衡量服装款式的迁移效果通常具有主观性, 为了客观地衡量迁移后的服装是否携带标准体型下服装模型的款式特征, 本文使用平均离

散曲率衡量服装模型变换前后的款式改变程度。离散曲率越小,表明服装的款式改变程度越小。离散曲率的计算式为

$$\begin{cases} r(v) = \min_{i,j} n_i \cdot n_j \\ \forall i, \forall j \in p(t_i), 1 \leq i < j \leq m \end{cases} \quad (15)$$

其中,  $r(v)$  为服装模型中顶点  $v$  的离散曲率;  $p(t_i)$  为与顶点  $v$  相邻的三角形的集合;  $n_i, n_j$  分别为序号为  $i, j$  的三角形的单位法线;  $m$  为  $p(t_i)$  中三角形的数目。

若服装  $A, B$  分别为变换前后的同款服装模型, 其顶点数为  $t$ , 则服装  $A, B$  平均离散曲率的计算可表示为

$$\overline{r_{A,B}} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t |r(A_i) - r(B_i)| \quad (16)$$

其中,  $r(A_i)$  为服装模型  $A$  中第  $i$  个顶点的离散曲率;  $r(B_i)$  为服装模型  $B$  中第  $i$  个顶点的离散曲率。

## 5 实验结果

基于上述方法, 本文进行了款式迁移实验及多姿态虚拟试衣实验。实验的硬件平台为 Intel(R) Core(TM) i7 4870HQ CPU @ 2.5 GHz, 16 GB 内存, 显卡型号为 AMD Radeon R9 M370X 2048 MB。

图 4 给出了 2 种不同款式服装的迁移效果对比。图 4(a1)和图 4(a2)为标准体型下服装的物理模拟结果, 图 4(b1)和图 4(b2)为对照体型(苹果体型)下服装的物理模拟结果, 将服装变形作用于图 4(a1)和图 4(a2) 2 款服装后, 得到图 4(c1)和图 4(c2)的试衣效果, 即迁移后的服装模型。渲染结果表明, 通过本文方法生成的服装既具备非标模下经物理模

拟的服装的体型特征, 又携带了标模下经物理模拟的服装的款式信息。

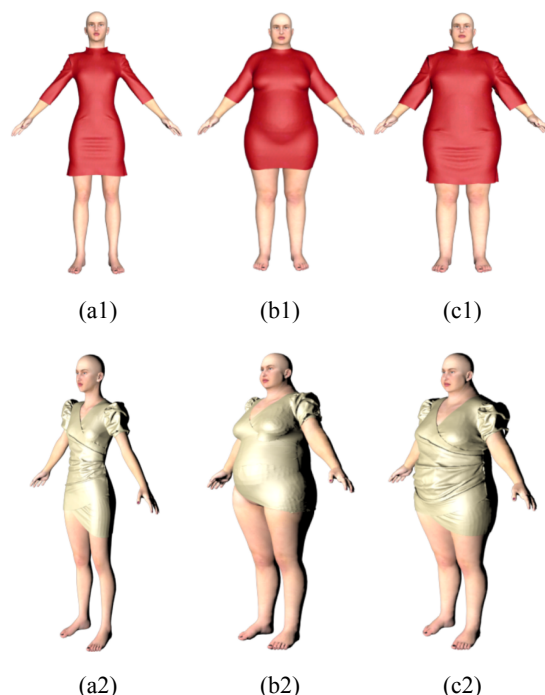


图 4 款式迁移效果对比

本文选取 3 款服装分别计算本文方法平均曲率差及对照体型下服装曲率差, 表 1 给出了不同款式服装模型的顶点数及三角形面数、虚拟人的三角形面数、本文方法平均曲率差、非标模下服装模型平均曲率差。

为验证复杂姿态虚拟人的试衣效果, 选用深蓝连体裤作为试衣服装, 选用标准体型人体及对照体型人体(梨形体型)作为试衣人, 并为其设置了站立、倚靠、急停和舞蹈几种姿势, 如图 5 所示。

表 1 不同方法曲率差对比

服装名称	服装顶点数	服装面数	虚拟人面数	平均曲率差	
				本文方法	非标模下
中袖连衣裙	18 352	36 475	37 744	0.044 0	0.070 0
短袖 T 恤	11 413	22 866	37 744	0.097 4	0.261 9
短袖礼服	78 169	156 054	37 744	0.060 6	0.210 7

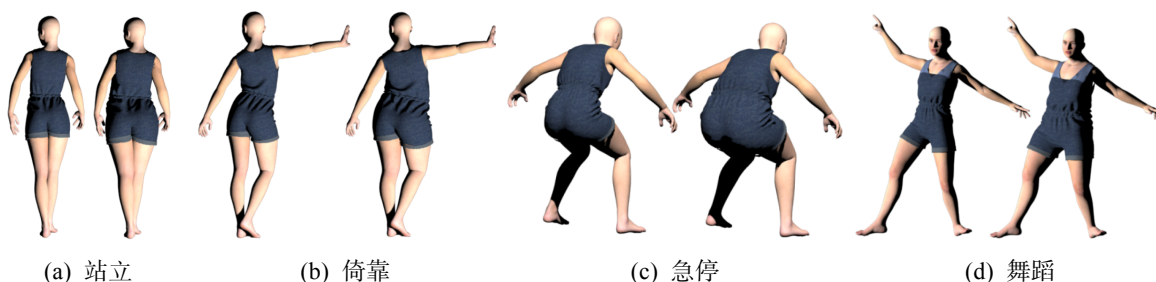


图 5 复杂姿态下的试衣效果

## 6 结 束 语

基于本文技术的款式迁移方法可以根据标准体型下给定款式的服装模型生成目标体型下同款的服装模型,辅助不同体型的顾客在成衣之前快速预览着装效果,但仍存在以下不足:

(1) 样本数据集中的服装模型是通过二维衣片缝合至虚拟人人体之上形成的,其缺点是无法表示复杂材质的服装(如毛衣等织物),因为上述类型材质的服装通常在计算机中并非以三维网格模型的方式存储。如何进行复杂材质的服装款式迁移有待进一步探究。

(2) 基于本文方法的款式迁移技术首先需要将不同款式的服装通过物理模拟的方式缝合至具有不同体型特征的人体之上,以进行仿射变换映射与服装形变求解。这需要预先构建不同体型特征的服装实例数据集,对于样本数据集中不存在的人体体型,无法利用本文方法进行款式迁移。

(3) 本文仅选取了3种典型的人体体型及20个服装实例对求解服装形变,在后续的工作中,将增加人体体型及服装实例对的数目与种类以对比款式迁移的效果。此外,本文拟采用栈式自编码器求解服装形变,以期提升服装形变的特征提取效果。

### 参 考 文 献

[1] TANG M, WANG H M, TANG L, et al. CAMA:

Contact-aware matrix assembly with unified collision handling for GPU-based cloth simulation [J]. Computer Graphics Forum, 2016, 35(2): 511-521.

- [2] DAVIET G, BERTAILS-DESCOUBES F, CASATI R. Fast cloth simulation with implicit contact and exact coulomb friction [C]//Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation. New York: ACM Press, 2015: 197-197.
- [3] ZHOU Z L, SHU B, ZHUO S J, et al. Image-based clothes animation for virtual fitting [C]//SIGGRAPH Asia 2012 Technical Briefs. New York: ACM Press, 2012: 33.
- [4] GUAN P, REISS L, HIRSHBERG D A, et al. Drape [J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(4): 1-10.
- [5] BROUET R, SHEFFER A BOISSIEUX L, et al. Design preserving garment transfer [J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(4): 1-11.
- [6] XU W W, UMENTANI N, CHAO Q W, et al. Sensitivity-optimized rigging for example-based real-time clothing synthesis [J]. ACM Transactions on Graphics, 2014, 33(4): 1-11.
- [7] YOON S H, KIM T, KIM H W, et al. Transferring skin weights to 3D scanned clothes [J]. ETRI Journal, 2016, 38(6): 1095-1103.
- [8] SIMMONS K, CYNTHIA L. ISTOOK P D. Female figure identification technique (FFIT) for apparel. Part I: Describing female shapes [J]. Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, 2004, 4(1): 1-16.
- [9] SUMNER R W, POPOVIĆ J. Deformation transfer for triangle meshes [J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 399-405.