

面向服装 CAD 的多因素驱动 人体模型变形技术研究

耿玉磊 陆国栋 邓卫燕 王进 王媚

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 在以人体模型为基础的 3 维服装 CAD 系统中,为了获得设计师所需形体尺寸各异的人体模型,提出了一种多因素驱动人体模型变形的办法。该方法将人体模型的变形驱动因素分为尺寸因素、姿态因素和局部体形因素 3 类,并相应地提出了尺寸驱动、姿态驱动及局部体形驱动的人体模型变形算法。其中尺寸驱动采用基于截面环的算法和基于模板插值的算法,通过对人体特征尺寸进行改变来驱动人体变形;姿态驱动是通过关节变形算法来实现特定姿态的变形,并通过建立姿态库,以实现快速姿态匹配;局部体形驱动包括基于特征面尺寸和基于特征面形状的调整,以得到具有局部特征的人体。实例表明,该方法可对已有的人体进行快速变形,以获得用户所需的人体模型,从而满足了服装 CAD 中对人体模型的多样性需求。

关键词 服装 CAD 人体模型变形 尺寸驱动 姿态驱动 局部体形驱动

中图法分类号: TP391.72 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)11-2349-07

Research on Multi-factor Driven Human Models Deformation Technology in Garment CAD

GENG Yu-lei, LU Guo-dong, DENG Wei-yan, WANG Jin, WANG Mei

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

Abstract Virtual human deformation is one of the most important research focuses, and remains problematic in the research field of 3D garment CAD system. In this paper, we present multi-factor driven deformation methods to deform virtual human models. The driven factors are classified into three classes: size, posture and local figure. Three deformation methods are proposed to deal with the three factors. First, we use a feature size driven method to change the virtual human size, and this method can be divided into cross-section ring based method and templates interpolation based method. Then we implement a posture driven deformation to achieve a specific human body posture, and establish postures library for rapid gesture matching. Finally, we apply a local figure driven deformation which is achieved by changing the size or shape of the feature cross-sections to obtain the virtual human with local feature. Some given examples show that this method is very flexible to have diverse virtual human models for garment CAD.

Keywords garment CAD (GCAD), human model deformation, size driven deformation, posture driven deformation, local figure driven deformation

基金项目:国家自然科学基金项目(60473129);教育部博士点基金项目(20060335118)

收稿日期:2008-07-15;改回日期:2008-10-07

第一作者简介:耿玉磊(1981~),男。浙江大学机能学院工程图学所博士研究生。主要方向为 CAD&CG。E-mail:gengyl@zju.edu.cn

通讯作者:陆国栋,E-mail:lugd@zju.edu.cn

1 引言

服装 CAD (computer aided garment design, GCAD) 是指将 CAD 领域中的理论和技术应用到服装设计、生产等各个环节,以改善产品的整个生产效率与质量的综合系统。目前,2 维服装 CAD 技术的发展和應用都已经非常成熟,3 维服装 CAD 系统虽然取得了一定发展,但许多技术因素仍制约其使用和推广,其中人体模型技术就是其发展的瓶颈之一。3 维人体模型是整个 3 维服装 CAD 系统的设计和运行基础,它决定了系统的设计质量与运行效率。

3 维人体建模和变形技术大体可分为基于皮肤、骨骼的曲面模型方法和基于物理特性的体模型方法以及基于解剖学的分层模型方法 3 类。在此 3 类方法中,曲面模型方法只考虑皮肤层和骨骼层,它能够完整地描述人体的几何信息和拓扑关系;体模型方法是将人体的物理特性加入到其几何模型中,并通过数值计算对其进行仿真,而人体的行为则在仿真过程中自动确定;基于解剖学的分层建模方法是将人体分解成骨骼层、肌肉层、脂肪层和皮肤层,从生理学和物理学角度实现更加逼真的效果^[1]。

由于服装设计的特殊性,对人体建模和变形提出了更具体的要求:

- (1) 虚拟人体要保证表面特征尺寸的精确度。
- (2) 网格结构简单,具有较高的系统运行效率。
- (3) 能够实现人体模型尺寸、姿态和体形方面的快速变形。

基于以上分析,基于皮肤、骨骼的曲面人体模型能够较好地满足服装 CAD 的要求,既能保持人体特征,又有较高的运行效率。本文采用项目组提出的建模方法^[2]通过对标准站立姿态的扫描人体数据和人台(部分人体)扫描数据进行建模来生成拓扑规则网格简化的标准曲面人体模型,并将具有相同拓扑结构的模型建成标准人体库,从而为服装 CAD 提供了基础的人体模型支持。

在实际的服装设计过程中,往往需要不同尺寸、不同姿态、不同局部体形的人体模型作为设计的参考,虽然可通过对不同人体扫描数据进行重建的方法来获得不同的人体模型,但得到原始扫描人体的

过程比较繁琐,不可能让每一个模型都从原始扫描数据通过直接建模而获得,而通过对标准人体模型进行变形,则可以快速简便地获得所需的人体模型。已有的人体变形算法,如蒙皮法^[3]、交叉截面法^[4]、姿态空间变形法^[5]、JLD (joint dependent local deformation) 操作数法^[6]等,往往只注重人体某一方面的变形,如姿态的变形或尺寸的变化,不能满足服装 CAD 中对于人体的尺寸、姿态、局部形体的综合性要求。

因此,如何实现人体模型在尺寸、姿态、局部体形等多因素条件下的快速高效变形,是服装 CAD 系统中人体变形技术的研究重点。本文提出的多因素驱动的人体模型变形方法,取得了较好的人体变形效果,满足了服装 CAD 系统中对人体模型进行变形的要求。

2 多因素驱动的人体变形方法

在 3 维服装 CAD 中,设计师所期望的参考人体在尺寸、姿态或局部体形方面都有特定的需求,这就要求人体变形算法能对多种驱动因素进行支持,本文提出了一种多因素驱动的人体变形方法,将人体的变形驱动因素分为尺寸因素、姿态因素和局部体形因素 3 类,并相应地提出了尺寸驱动、姿态驱动及局部体形驱动的人体变形算法(如图 1 所示)。

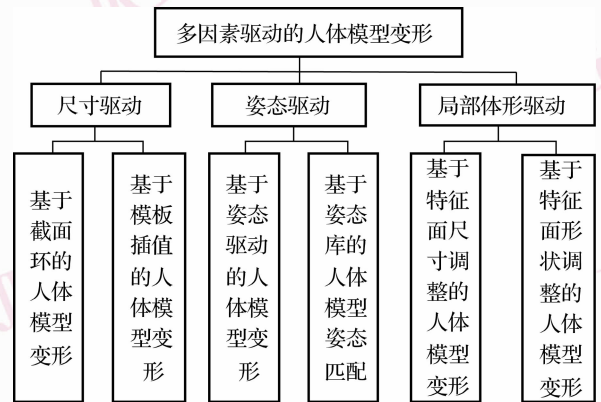


图 1 多因素驱动的人体模型变形方法

Fig. 1 Multi-factor driven human body deformation

尺寸驱动的变形方法是通过改变人体的特征尺寸来驱动人体变形,对于在标准人体库中具有相同拓扑结构的成系列的模型,可通过模板插值算法实

现,这样不仅能较好地保持人体表面的光滑程度,而且不容易产生人体表面失真的问题。对于不能进行模板插值的模型,可采用基于截面环的变形方法进行变形。

姿态驱动的变形方法是通过对标准人体进行关节变形,以获得特定的姿态,并且通过建立的人体姿态库,利用姿态匹配的方法快速完成姿态变形。

局部体形驱动的变形法是通过对人体特征面上特征点进行调整来驱动人体模型的局部变形。局部体形驱动的人体模型变形有以下两种形式:一种是面向特征面尺寸调整的人体模型变形;另一种是面向特征面形状调整的人体模型变形。

3 尺寸驱动的人体模型变形

3.1 人体特征尺寸分类

人体特征尺寸是整个服装设计过程中的基础因素,其中有些尺寸是独立存在的,如胸围、腰围等各围度尺寸,而且这些尺寸的改变并不会影响到其他的尺寸值;而有些尺寸之间则是相互依赖的,表现为当前尺寸值可以由其他几个尺寸计算得到,并且当前尺寸的改变会影响到其他的尺寸值,可称之为尺寸链。人体尺寸链就是由相互连接的尺寸形成的封闭尺寸组,封闭尺寸组中的每一个尺寸,称为尺寸链的环。由于尺寸链是封闭连接的,因此尺寸链中一定有一个环是由其他环间接得到的,可称之为封闭环,而将其他环称为组成环。本文将 3 维人体尺寸分为以下两类:一类是直接尺寸,包括那些不构成尺寸链的尺寸元素和尺寸链中的所有组成环,这种直接尺寸约束着人体模型的表面形状,为人体尺寸变形过程中的驱动尺寸;另一类为间接尺寸,主要为尺寸链中的封闭环。间接尺寸由直接尺寸决定,是人体变形过程中的被动改变尺寸。表 1 给出了全身人体尺寸的分类情况。图 2 所示为对应的尺寸标注。

3.2 基于截面环的人体模型变形

基于截面环的人体模型变形的基本原理是截面环的缩放和移动,变形时,首先提取当前人体模型的 3 维尺寸信息,对于驱动人体尺寸变形的直接尺寸,在去除误差影响之后,再通过分别比较当前尺寸值与用户输入的尺寸值来计算特征尺寸的比例因子,

表 1 人体尺寸的分类

Tab. 1 The classify of human body size

围度尺寸	胸围 G_1 、腰围 G_2 、臀围 G_3 、腿围 G_4 、膝围 G_5 、踝围 G_6
直接尺寸	不构成尺寸链的长度尺寸 肩宽 L_1 、上臂长 L_2 、小臂长 L_3
尺寸链中的组成环	身高 H_1 、颈根高 H_2 、腰高 H_3 、膝盖高 H_4 、胸-腰间距 H_{10} 、颈根-胸间距 H_{11} 、跨高 H_{14} 、腰-胯间距 H_{15} 、前颈点-胸间距 H_{16}
间接尺寸	尺寸链中的封闭环 颈根-腰间距 H_4 、踝高 H_5 、大腿-膝盖间距 H_7 、臀-大腿间距 H_8 、跨-膝盖间距 H_{12} 、臀-胯间距 H_{13}
其他尺寸	胸部角度 A_1 、肩部角度 A_2 、颈围 G_7 、肘围 G_8

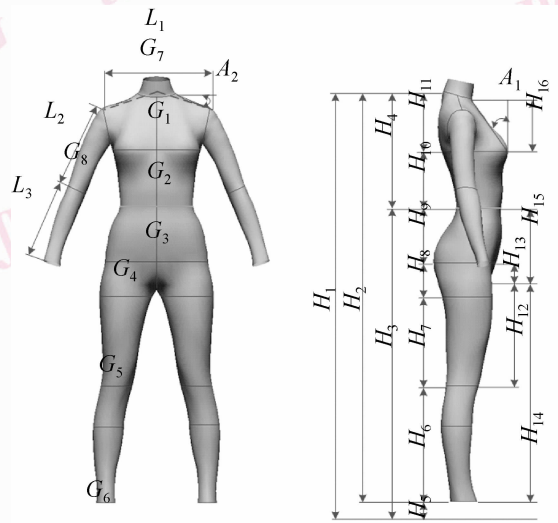


图 2 全身人体模型特征尺寸

Fig. 2 The feature size of human body

以找到与改变尺寸对应的目标特征线。因为目标特征线上下相邻的两特征线之间的表面形状决定了特征尺寸的大小,所以可通过调整这部分表面形状来实现人体模型的尺寸变形;然后确定人体截面环的变形基准,再遍历人体各截面环,以确定人体各截面环的初始实际位置;最后根据各特征尺寸的比例因子,求取人体各截面环的调整比例和调整量,用初始向量加上调整量来得到变形后的截面环。算法流程如图 3 所示。图 4 所示为腰围尺寸驱动的人体变形比较。

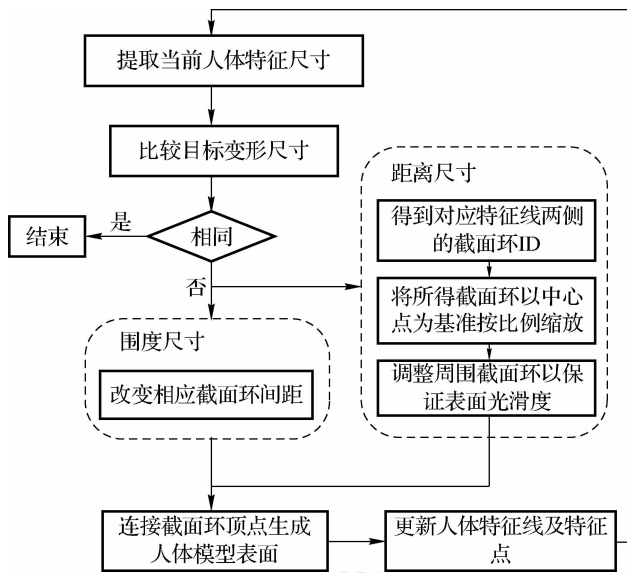


图3 基于截面环的人体模型变形流程

Fig. 3 The proceed of cross-section ring based deformation

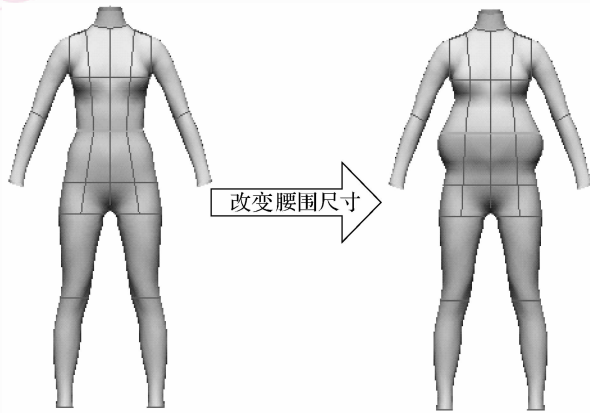


图4 腰围尺寸驱动的人体模型变形

Fig. 4 The human body deformation by changing the size of waist

3.3 基于模板插值的人体模型变形

基于模板插值的人体模型变形,就是通过标准模板插值来得到满足特定尺寸约束的人体模型,即通常所说的插值变形。插值变形算法是目前3维人体参数化及运动模拟中的常用算法之一,该算法由两个或两个以上具有相同拓扑结构的人体模型插值得到新的人体模型。插值得到的人体模型不仅能够很好地保持表面的光滑度,而且不容易产生人体表面失真的问题。然而插值变形算法的实现必须首先建立人体模型库,即将若干具有统一网格结构的标准人体模型按尺寸系列顺序保存,供变形时直接调用。但模型库的建立需要经过大量的数据获取与建

模处理过程,繁琐不易实现。

以 torso 模型为例,当给出尺寸变形的各目标尺寸值,则插值变形算法的实现步骤如下:

(1)以胸围尺寸为参考,在人体模型库中,若能找到两相邻标准模型,使得目标尺寸值介于两标准模型的胸围尺寸值之间,则得到的两个标准模型 A 与 B 即为用于插值的参考模型;

(2)对于用于人体变形的各直接尺寸,分别计算出目标尺寸值与模型 A, B 的相应尺寸值的比例关系,再以当前的比例关系作为线性插值参数,在模型 A, B 上的对应顶点间进行插值即可得到新的网格顶点;

(3)对与模型 A 相同的网格结构连接插值得到的所有顶点进行表面光滑处理,并重新生成特征线及 3 维尺寸,即得到变形后的人体模型。

为了保证建模结果的精确度,插值变形算法通常需要迭代多次。变形结果如图 5 所示。

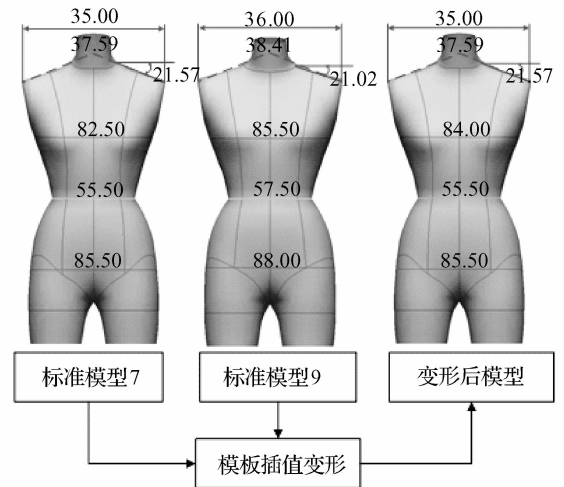


图5 模板插值的人体变形

Fig. 5 Templates interpolation based deformation

4 姿态驱动的人体模型变形

4.1 人体关节提取及表示

基于人体特征点的定义和实际人体的关节,本文给全身人体定义了 24 个关节点,包括肩关节、肘关节、腕关节、髋关节、膝关节、踝关节等(如图 6 所示)。

多数关节点都位于相邻人体区域的交界处,如肩关节点位于肩部区域与手臂区域的相交面上,对于这类关节点,若能找到相邻子面片的公共截面环,则截面环中心点即为所求的关节点。部分关节点位

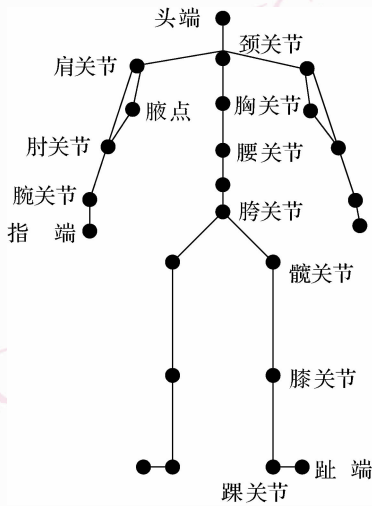


图 6 全身人体关节点定义

Fig. 6 Skeleton structure

于人体特征点邻近的截面环内,如胸关节、膝关节等。遍历所有截面环,若能找到与目标特征点距离最近的截面环,则截面环中心点即为关节点。另外,胯关节就是胯部特征点。当确定了所有关节点,将相邻关节点连接,便生成了人体表面下的骨架结构。

4.2 姿态驱动的人体模型变形

通过交互地设定各关节点的位置和角度,以实现人体姿态的变化。此方法关键在于如何用关节点表示人体网格的所有顶点。已知人体模型表面由若干截面环构成(如图 7 所示)。对于人体模型可运动部位的任一截面环 $S[m]$, P_1, P_2 分别为该截面环上相邻的两关节点,它们的连线与截面环所在的平面相交于点 P_0 , n 为截面环 $S[m]$ 的法向量。对于 $S[m]$ 上的任一顶点 $V_{m,n}$, 可用向量 $v = V_{m,n} - P_0$ 表示。当改变某一关节点位置时,只要重新确定变形后向量 \tilde{v} 及向量起点 \tilde{P}_0 。便可以得到新的网格顶点。 \tilde{n} 为变形后截面的法向量,如果可以求得 \tilde{n} 相对于原法向量 n 的变换矩阵 M , 则 $\tilde{v} = M \cdot v$ 。而变

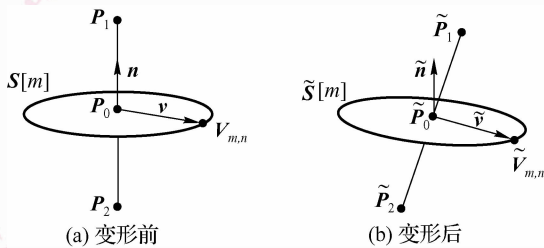


图 7 网格顶点表示方法

Fig. 7 Vertex of the mesh

形后向量 \tilde{v} 的起点 \tilde{P}_0 则可直接由两关节点位置的线性插值得到。从而得到的新顶点为 $\tilde{V}_{m,n} = \tilde{P}_0 + \tilde{v}$ 。

4.3 基于姿态库的人体姿态匹配

由于姿态驱动的人体变形能够满足简单的人体动态建模要求,因此用户可以根据需要,通过逐步调节人体变形来获得所要求的人体姿态。实际上,对于服装 CAD 系统需求的人体姿态模拟而言,通常总是使用一些常用的人体姿态,通过考察人体的伸展和收缩部位,以确定服装的伸展和收缩面积,即研究人体的活动余量。这时候,若使用关节驱动,通过逐步变形来达到姿态匹配,就显得有些繁琐。若系统能够预先定制一系列人体常用的姿态,则可在变形时,通过姿态选择,直接将全身人体通过定制的姿态驱动变形来进行姿态匹配。这样,不仅比较容易实现姿态匹配,而且比较容易实现不同姿态之间的动态变形,进而实现动作模拟。这样,一方面可节省用户进行姿态设计的时间;另一方面,也便于开展 3 维服装的活动余量的研究。图 8 所示为几种常用的姿态。

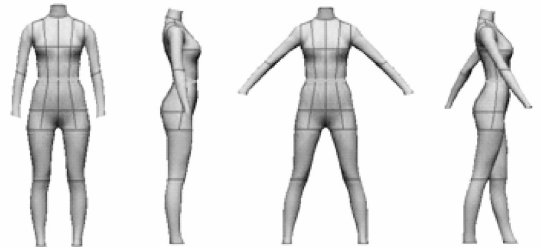


图 8 几种常用姿态

Fig. 8 Several common posture

5 局部体形驱动的人体模型变形

5.1 特征面选择及其特征点表示

对于面向局部匹配的人体模型变形,首先要确定需要局部变形的人体模型的特征面。现有的人体模型躯干部分在水平方向有胸部特征线、腰部特征线和臀部特征线。考虑到人体的体形和实际变形需要,本文确定了以下人体模型躯干部分的 4 个特征面:胸部特征面、腰部特征面、臀部特征面和人体台模型(指人体模型的一部分)的底边特征面。前面 3 个特征面对应了 3 条特征线,而底边特征面则是与

人台躯干最低部分的截面环对应的特征面。图 9 为特征面及特征点示意。

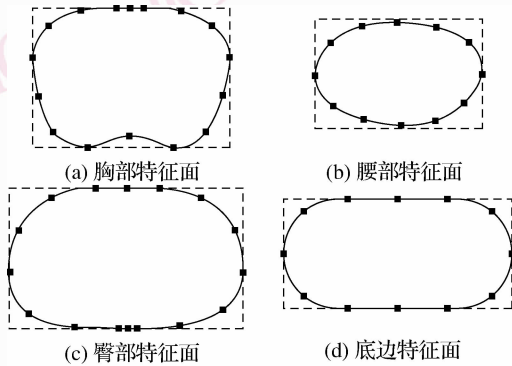


图 9 局部匹配人体模型变形的特征面和特征点
Fig. 9 The feature cross-section and feature points

5.2 基于特征面尺寸调整的人体模型变形

基于特征面尺寸调整的变形方法是从围度尺寸角度来实现人体模型的局部匹配,即在截面环上匹配了周长的要求。对于某一特征面的尺寸调整,首先要求得目标的长度、宽度跟现有尺寸值的比例,这两个比例值就是 x 方向和 z 方向的缩放比例因子;同时再根据比例因子,调整特征面上所有特征点的 x, z 值,即更新样条线的信息;接着根据样条曲线和人体模型网格来求得最接近样条曲线的多边形折线,并通过调整其形状,使之接近初始网格边的形状;然后根据已变形的网格边,通过调整邻近区域的网格边,使人体模型变形比较光滑,并更新所有特征线和尺寸信息,最后再进行变形步骤迭代,直到误差满足变形精度要求。图 10 显示了基于特征尺寸调整的人体模型变形前后的对比。

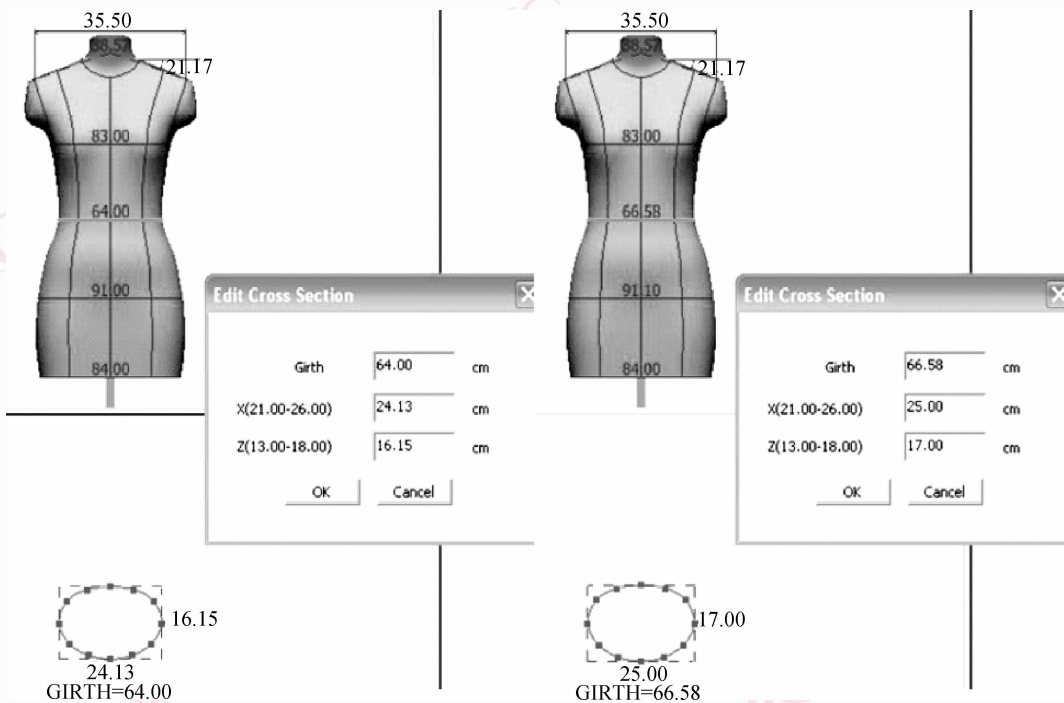


图 10 面向特征面尺寸调整的人体模型变形

Fig. 10 The deformation by adjusting the feature cross-section size

5.3 基于特征面形状调整的人体模型变形

基于特征面形状调整的变形方法是从形状角度实现人体模型的局部匹配。由于特征面上每一个特征点都可以编辑,因此形状调整是通过基于特征点的微调来实现在约束条件下人体特征面形状的任意改变。这里的调整不是通过等比例缩放得到,而是先通过鼠标拖动单个特征

点,同时更新特征点和样条曲线的信息;然后根据样条曲线和人体模型网格求得最接近样条曲线的多边形折线,再通过调整其形状,使之接近初始网格边形状;最后根据已变形的网格边,通过调整邻近区域的网格边来使人体模型变形比较光滑。图 11 为通过改变臀部特征面的形状进行的人体变形。

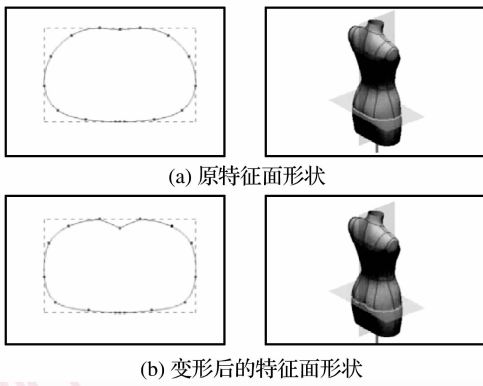
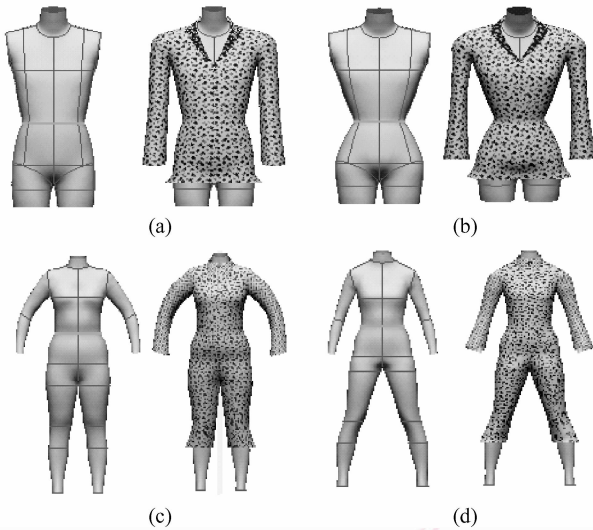


图 11 面向特征面形状调整的人体模型变形
Fig. 11 The deformation by adjusting the feature cross-section shape

6 结 论

本文根据服装 CAD 对人体变形的特殊要求,提



(左:人体模型;右:根据人体模型生成的衣服)
图 12 根据人体生成合体衣服

Fig. 12 The garments created according to the human models

出了一种多因素驱动的人体模型变形方法,该方法通过尺寸、姿态、局部体形等驱动因素,迅速准确地对标准人体模型进行变形来得到所需尺寸、姿态及体形的人体模型,以便为服装 CAD 的量体裁衣提供人体模型基础。此方法已应用于 3 维服装设计软件 LookStailorX 系统,该系统可通过本文提出的变形方法来得到设计师所需的人体模型,并可在此基础上生成合体的衣服,图 12 即为经过变形的人体和生成的衣服。

参考文献 (References)

- 1 Wu Xiao-mao, Ma Li-zhuang, Gu Bao-jun. State of the art of the research on human-body modeling and skin deformation in computer animation [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(4): 565-573. [吴小毛,马利庄,顾宝军.计算机动画中人体建模与皮肤变形技术的研究现状与展望[J].中国图象图形学报,2007,12(4):565-573.]
- 2 Wang Mei, Lu Guo-dong, Zhang Dong-liang. 3D human reconstruction and animation in garment CAD [J]. Journal of Engineering Graphics, 2007, 28(1): 1-6. [王媚,陆国栋,张东亮.服装 CAD 中三维人体建模技术的研究及应用[J].工程图学学报,2007,28(1):1-6.]
- 3 Lander J. Skin them bones: Game programming for the web generation [J]. Game Developer, 1998, (5): 11-16.
- 4 Thalmann D, Shen J, Chauvineau E. Fast realistic human body deformations for animation and VR applications [A]. In: Proceedings of International Conference on Computer Graphics [C], Pohang, Korea, 1996: 166-174.
- 5 Lewis J P, Matt Corder, Nickson Fong. Pose space deformation: A unified approach to shape interpolation and skeleton driven deformation [A]. In: Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques [C], New Orleans, Louisiana, USA, 2000: 165-172.
- 6 Magnenat-Thalmann N, Thalmann D. The direction of synthetic actors in the film rendezvous a Montreal [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1987, 7(12): 9-19.