

# 经编无缝服装计算机辅助设计

蒋高明, 董智佳, 丛洪莲, 张爱军

(江南大学 教育部针织技术工程研究中心, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**从 POSER 软件中调用人体模型格式文件对人体模型进行快速重建,使用 Alpha-Shapes 算法和 RBF 径向基函数实现了人体模型的参数化;在此基础上拟合三维人体模型上特征线,建立了基于三维人体模型的二维衣片模型和裙片、裙子原型模型;应用网格平面参数化技术建立二维原型顶点与三维原型顶点的映射关系,使用纹理映射技术实现经编无缝服装的虚拟展示功能。本系统的建立为高效直观实现经编无缝服装新产品计算机辅助设计提供了有效途径。

**关键词:** 人体建模;经编无缝服装;原型建模;虚拟展示

**中图分类号:** TS 941.26 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2016)02-0170-06

## Warp-Knitted Seamless Garment Computer Aided Design

JIANG Gaoming, DONG Zhijia, CONG Honglian, ZHANG Aijun

(Engineering Research Center for Knitting Technology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** A parametric human model was established by applying the Alpha-Shapes algorithm and Radius Basis Function (RBF) interpolation to the human model which is fast reconstructed by importing the human model file that is exported from the POSER. Based on this parametric human model, a 2D garment and skirt pattern model is obtained from the 3D human body model. By using the mesh plane parameterization algorithm, a mapping relationship between the 2D points and 3D vertices was established. With the texture mapping technologies, the 3D virtual display for the warp-knitted seamless garment was realized. This system provides an effective method to implement the computer aided design for the new product of warp-knitted seamless garment.

**Key words:** human modeling, warp-knitted seamless garments, prototype modeling, virtual display

随着服装 CAD 技术的发展日趋完善,其工艺制版、推挡、排料等功能已广泛应用,解决了传统服装工业生产中的瓶颈问题。与服装 CAD 完善的工艺功能相比,其款式设计功能并没有取得显著成效。其原因主要为:功能方面,服装种类繁多,目前 CAD 仅有通用功能,针对性较弱;设计方面,使用通用图形设计软件,鼠标代替画笔,未从根本上变革传统设计过程,工作效率有待提高;市场方面,服装种类细分化与产品专业化,对 CAD 系统提出更高要求,目前已有服装 CAD 产品开发功能与客户实际需求仍存在较大差距。

经编无缝服装是近年来兴起的一类全成形针织产品,由纱线直接编织成服装,区别于传统产业的由纱线、面料、裁剪到缝制的多步骤生产过程。经编无缝服装生产周期短款式更新快,节约资源与能源,是现代服装生产技术的标志性产品之一。为了适应产品快速变化的需求,对经编无缝服装配套 CAD 系统功能提出了更高要求,国内外针对经编无缝服装已有研究包括:一方面是针对无缝工艺原理以及无缝工艺计算机辅助设计与仿真进行的研究<sup>[1-2]</sup>;另一方面是针对服装成形结构与图案设计原理以及服装塑身性能等进行的研究<sup>[3-4]</sup>。目前已

收稿日期:2016-03-07; 修订日期:2016-04-17。

基金项目:中央高校基本科研业务费专项重点项目(JUSRP51404A);江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目(BY2013015-05)。

作者简介:蒋高明(1962—),男,教授,博士生导师。主要研究方向为纺织装备数字化与智能化、纤维增强复合材料的开发与性能、服装文化与现代服装技术等。Email:jgm@jiangnan.edu.cn

有的经编 CAD 系统如德国 DesignScope<sup>®</sup> victor DJ 系统、意大利 NOVA 系统、中国 WKCAD 系统等均已实现了无缝织物的基本工艺组织设计功能。由此可见,目前国内外还没有关于建立经编无缝服装设计系统的研究。

文中针对经编无缝服装人体建模、服装原型建模以及三维虚拟展示等功能进行研究,最终实现经编无缝服装设计 CAD 系统的建立,为实现经编无缝服装的快速设计奠定了坚实基础。

1 参数化人体建模

人体建模是指针对某一类型人群的体型特征建立的具有高度代表性的人体模型<sup>[5]</sup>。获取三维人体数据是进行三维人体建模工作的基础,人体数据的获取方法主要包括非接触式三维人体测量、二维图片数据采集与重建以及交互式三维造型工具创建 3 种<sup>[6-7]</sup>。文中采用了第 3 种交互式造型工具创建方法,即从三维人体图像 POSER 软件的模型库中调用女性人体数据,在满足本系统构建人体模型要求的同时节约了前期的成本投入且缩短了开发周期。

1.1 建立人体模型

从 POSER 中调用仅包含人体曲面顶点三维坐标值的女性人体 OBJ 格式文件,建立半边数据结构表示人体表面模型。将人体模型顶点进行平面投影,应用 Alpha-Shape 算法<sup>[8]</sup>提取投影顶点的边界点及边界点所在边界。参照 GB 16160—2008-T 服装用人体测量的部位与方法并结合经编无缝服装直筒型结构,从正投影面定义 8 个人体特征点,分别为:头顶点 HEP,肩峰点 SP,腋点 AP,腰围点 WP,底裆点 CP,肘围点 EP,腕围点 WRP,踝围点 ANP。从侧投影面定义 4 个人体特征点,分别为:后颈点 BNP,乳点 NP,臀围点 HP,膝围点 KP(见图 1)。

1.2 人体模型参数化

特征参数分为围度参数和长度参数。基于人体特征点提取模型对应特征面(围度)与特征线(长度)的参数信息。围度参数由特征点及法向量定义截面与人体表面相交轮廓的凸包得出,长度参数通过计算定义长度尺寸的特征点间距离得出。确定人体模的尺寸参数并建立人体模型特征尺寸参数模型,如图 2 所示。

使用径向基函数差值算法(RBF)<sup>[9]</sup>对人体上所有特征线的变形位移进行插值,实现对人体三角网格的变形。通过计算 RBF 控制点位移,计算出人体网格上顶点的插值位移,并可根据指定尺寸生成

新的人体模型,图 3 为不同尺寸的人体变形模型,具体变形尺寸参照表 1 所示。

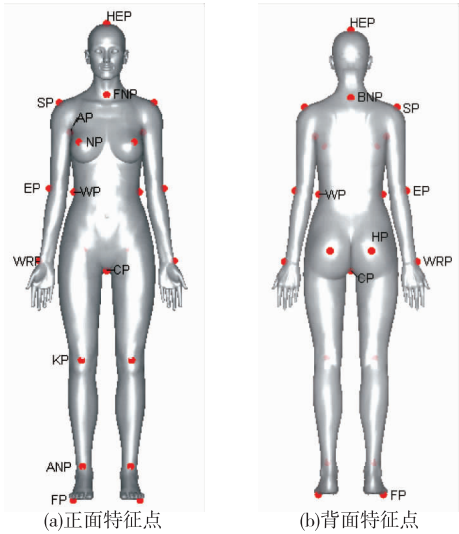


图 1 人体模型特征点  
Fig.1 Feature points of human model

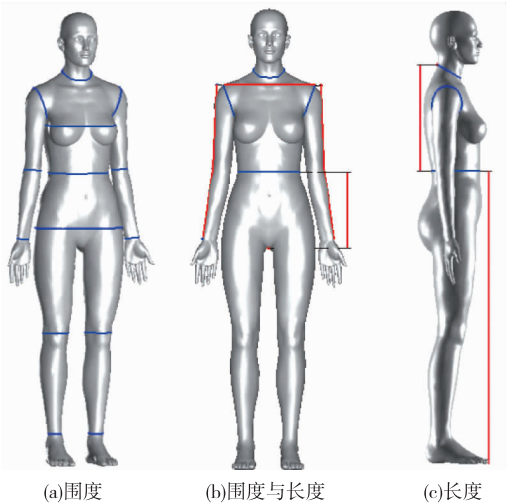


图 2 特征尺寸人体模型  
Fig.2 Feature measurement of human model

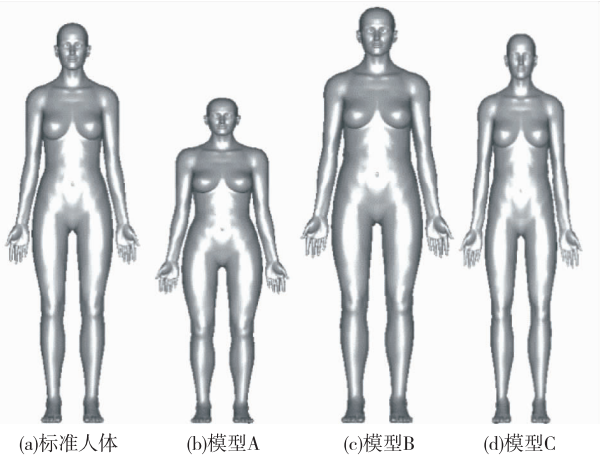


图 3 参数化人体模型  
Fig.3 Parametric human model

表 1 人体模型的尺寸参数  
Tab.1 Size parameter of human model

模型	身高/cm	胸围/cm	腰围/cm	臀围/cm	肘围/cm	腕围/cm	膝围/cm	踝围/cm	颈围/cm	袖窿围/cm
模板	160	84	68	90	24	16	36	21	33	38
A	130	84	68	90	24	16	36	21	33	38
B	165	94	85	100	24	16	36	21	33	38
C	155	84	68	75	24	16	28	16	33	38

2 无缝服装原型建模

服装原型是指平面裁剪中使用的基本纸样,即简单的、不带任何款式变化因素的立体型服装的二维平面纸样实物<sup>[10]</sup>。经编无缝服装为弹性贴身款筒形结构,原型纸样不需考虑放松量。经编无缝衣片、裙片原型的结构如图 4,5 所示。在参数化人体建模的基础上,结合经编无缝服装原型结构特征,从三维模型提取原型结构特征点,实现经编无缝服装衣片原型的建立。

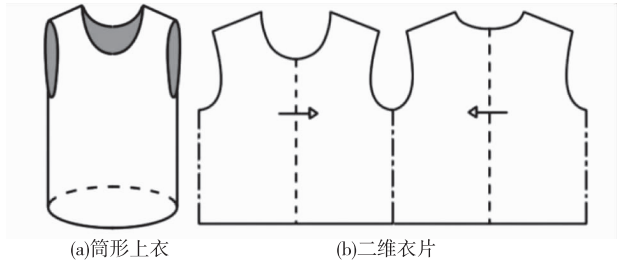


图 4 上衣原型  
Fig.4 Coat prototype diagram

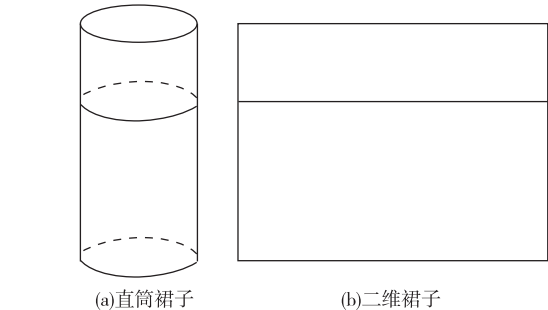


图 5 裙子原型  
Fig.5 Skirt prototype diagram

2.1 服装轮廓线模型的建立

在竖直方向上使用一系列水平切面与人体模型网格相交,应用 Alpha-Shape 算法求得交点的凸包,并在凸包边界上按照逆时针顺序进行均匀的顶点重新采样并连接相邻顶点形成轮廓线。在轮廓线模型的数据结构 GProfs 中,每条轮廓线储存了轮廓线的顶点列表 VL、轮廓线上规则的顶点路径信息 VPath。其中顶点列表 VL 储存了每个顶点在 GMesh 顶点列表 VL 中的索引,顶点路径 VPath 按照逆时

针顺序储存了顶点在轮廓线顶点列表 VL 中的索引值来表示轮廓线顶点路径。轮廓线有  $n$  个顶点,这些顶点在 GMesh · VL 中的索引依次为  $\{V_1, V_2, \dots, V_{n-1}, V_n\}$ ,这些值将保存在该轮廓线的 VL 列表中,同时该轮廓线的路径 VPath 中的值为  $\{1, 2, \dots, n-1, n\}$ 。将人体上的所有  $N$  条轮廓线从  $1 \cdots N$  编号,于是每条轮廓线信息为  $Gprofs[i], i = 1, \dots, N$ 。以此方法建立上身服装和下身裙装的轮廓线模型如图 6 所示。

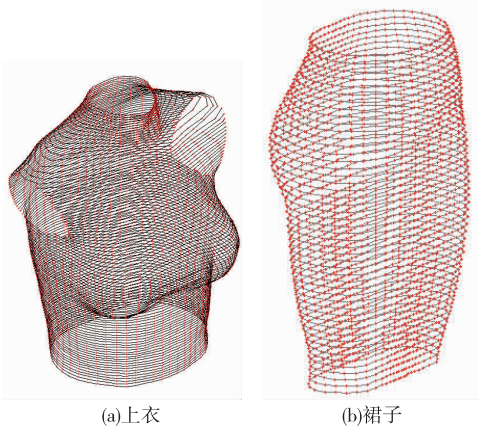


图 6 轮廓线模型  
Fig.6 Contour line model

2.2 基于截面轮廓线的三维服装建模

提取人体网格面片是连接在相邻的两条轮廓线上的顶点来生成的。连接相邻轮廓线顶点生成面片算法:由边集  $E = \{E_1, E_2\}$  生成三角面片时,边  $E_1 = \{pv_1, pv_2\}$  是第  $i$  条轮廓线上的边,边  $E_2 = \{nv_1, nv_2\}$  是第  $i+1$  条轮廓线上的边,则  $E_1$  和  $E_2$  生成的 2 个三角面片  $F_1 = \{pv_1, pv_2, nv_2\}, F_2 = \{pv_2, nv_2, nv_1\}$ ,如图 7 所示。应用连接相邻轮廓线顶点生成面片算法建立了上身服装和下身裙装的三维网格模型如图 8 所示。

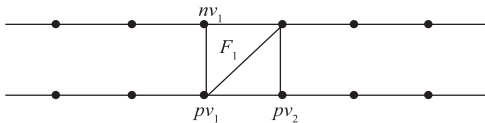


图 7 轮廓线顶点面片生成示意  
Fig.7 Facet generation with contour line vertexes



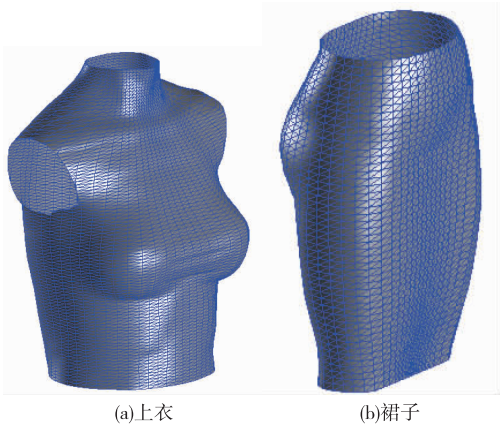


图 8 三维网格模型  
Fig. 8 3D mesh model

2.3 服装原型模型的生成

原始人体参数化的特征点在人体模型的原始网格上自动识别,在人体模型重建完成后,需依据原始特征点位置在重建后的人体模型网格上进行重新定位,并提取衣片和裙片原型对应的特征点,使用贝塞尔曲线拟合领口和袖笼曲线,生成无缝服装衣片和裙片原型模型,如图 9,10 所示。

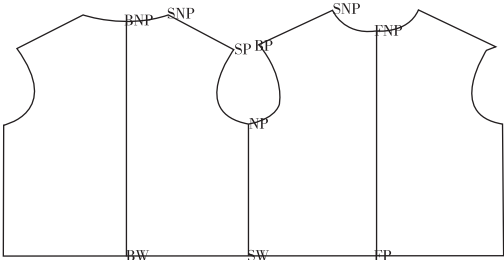


图 9 衣片原型模型  
Fig.9 Coat prototype model

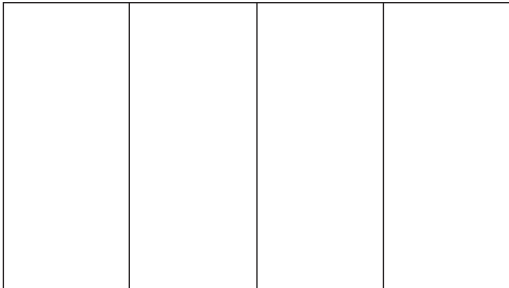


图 10 裙子原型模型  
Fig.10 Skirt prototype model

3 经编无缝服装虚拟展示

以上衣为例,应用三维网格平面参数化技术<sup>[11]</sup>将三维服装网格映射到二维衣片上,并根据三维顶点与二维顶点间的映射关系计算顶点纹理映射坐标,利用 OpenGL 纹理映射技术<sup>[12]</sup>实现二维衣片在三维人体上的实时虚拟展示。

3.1 三维服装网格分割

在进行平面参数化时,平面顶点与三维网格顶点是一一对应的。因此,在将三维服装衣片网格参数化到平面的二维衣片之前,需要提取该衣片对应的三维顶点及其三角网格面片。应用基于切割平面及重网格化的技术对三维服装原型的网格进行切割,获取不同平面衣片对应的三维服装网格顶点及三角面片,建立三维衣片原型,如图 11 所示。

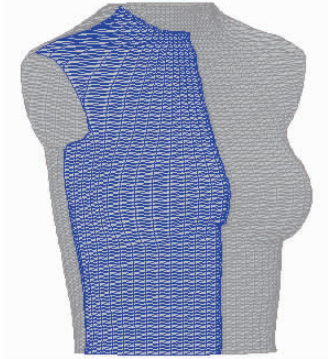


图 11 三维衣片原型  
Fig.11 3D prototype model

3.2 三维服装原型平面参数化

文中实现平面参数化方法是基于几何方法的,对每条切割边界线上的点,及网格内部每条轮廓线上的点应用基于直线段长度的局部参数化。在映射到二维平面衣片时,根据对象线条的参数坐标将其实例化到二维衣片边界及内部轮廓线上。

三维服装衣片网格的顶点是由边界线上的顶点和水平方向轮廓线上的顶点组成的。图 12 中边界线包含腋下线 SW ~ AP,腋围线 AP ~ SP,肩线 SP ~ SNP,颈维线 SNP ~ FNP,胸前线 FP ~ FNP。水平方向轮廓线如 AP ~ FM,SP ~ FN 等。

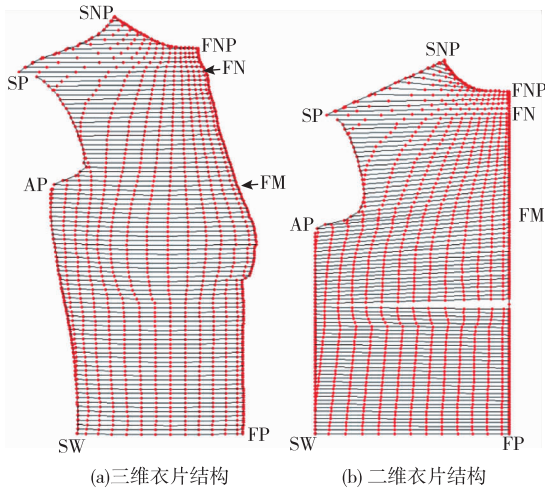


图 12 二维衣片平面参数化  
Fig.12 2D pattern which is parameterized  
在三维衣片原型网格上,顶点或者在切割线边

界上,或者在水平的轮廓线。这两种曲线均使用从起点到终点的顶点路径表示,相邻顶点使用直线段连接,如图 13 所示。其中  $v_0$  是起点,  $v_n$  是终点,  $v_1$  到  $v_{n-1}$  是内部顶点。记曲线总长度为  $L$ , 其为所有相邻顶点间直线段长度之和。记顶点  $v_i$  与其前趋顶点  $v_{i-1}$  间的直线距离为  $l_i$ , 则顶点  $v_i$  到起点的直线段长度  $L_i = l_1 + l_2 + \cdots + l_i$ 。从而该顶点的参数坐标为

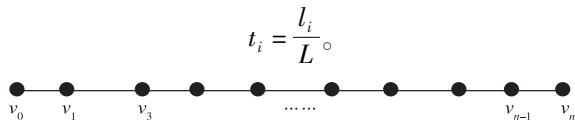


图 13 顶点路径示意

Fig. 13 Vertex path diagram

网格顶点参数化是针对每条边界线及每条轮廓线进行的,这些边界线或轮廓线称为曲线。这些曲线上的顶点按照一定顺序依次相邻排列构成一条顶点序列路径。在进行参数化时,确定当前参数化曲线的起点和终点坐标,依据该曲线的顶点路径,应用图 13 的曲线参数化方法对顶点路径上的每一点计算其在当前曲线上的参数值  $t_i$ 。在求取曲线上的每个顶点的参数值  $t_i$  后,应用平面直线参数方程,将三维顶点映射到二维平面衣片上。已知平面上两点  $V_A$  和  $V_B$ , 则  $V_A$  和  $V_B$  间直线可由参数方程  $P = V_A + t_{AB}$  描述。其中  $P$  为直线上的点,  $V_A$  为起点坐标,  $V_B$  为终点坐标,  $AB = V_B - V_A$  为直线的方向向量,  $t \in [0, 1]$ 。在确定直线起点、终点及参数  $t$  后,直线上的点也就确定了。在计算三维顶点的平面参数化坐标时,通过在二维衣片上确定边界线或水平方向轮廓线的端点,并将三维衣片边界线或水平轮廓线上顶点的参数值作为上式的  $t$  值,从而计算出每个三维顶点在二维衣片上的平面参数化坐标,最终实现三维衣片顶点与二维衣片顶点的一一映射。

通过将二维衣片上顶点的坐标归一化,获得对应三维顶点的纹理坐标,而纹理图像就是设计的二维衣片图案。应用 OpenGL 的纹理映射技术实现衣片图案设计的三维展示,如图 14 所示,在二维衣片上设计的图案被直接映射至三维衣片上。

3.3 三维服装虚拟展示

如图 15 所示,在系统界面视图中,左边为三维展示界面,右边为二维图案设计界面。通过使用绘图工具,可以在二维衣片款式设计界面中绘制图案,在图案设计界面中绘制的图形可以在三维虚拟展示视图中即时展示,设计完成后可实现服装的三维虚拟展示效果,如图 16 所示。

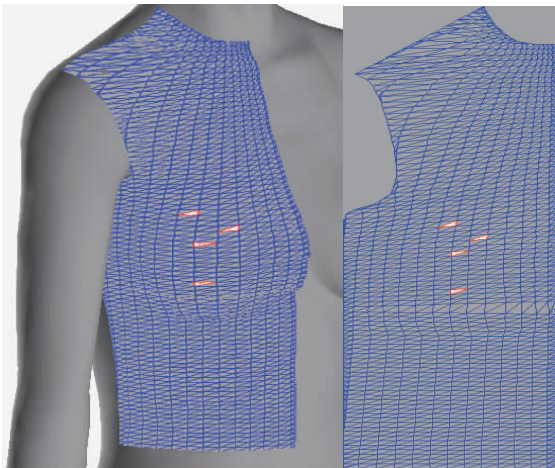


图 14 纹理映射示意

Fig. 14 Texture mapping diagram

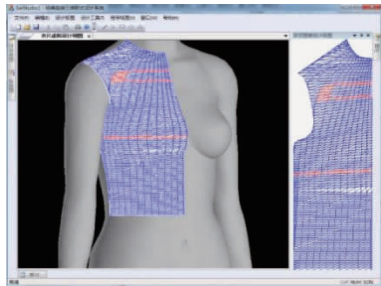


图 15 系统界面

Fig. 15 System interface

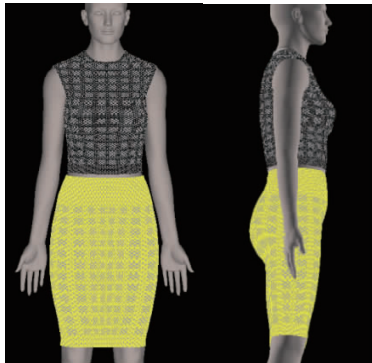


图 16 三维服装效果展示

Fig. 16 3D garment effect display diagram

3.4 经编无缝服装设计系统

经编无缝服装设计系统体系是一个分层结构,如图 17 所示,系统中包含开发基础类库、几何算法库、三维模型几何处理模块、三维模型建模模块、三维模型渲染系统、交互同步显示系统、二维图案设计模块、人体及服装处理模块等。

4 结 语

1)使用二维投影法和 Alpha-Shapes 算法提取人体的特征点及特征面并建立了相应的截面凸包,实现人体特征尺寸提取与人体模型参数化,在此基础

上,通过使用 RBF 算法实现了人体模型的参数化变形。

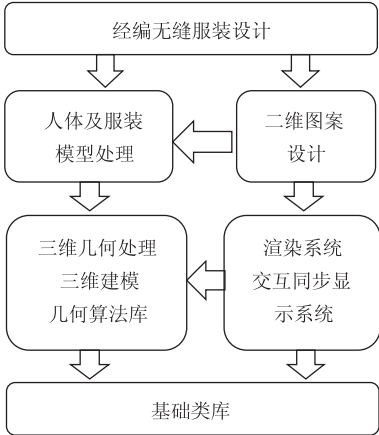


图 17 系统架构

Fig. 17 System architecture

2) 对人体点云模型文件进行表面三角面片划分,利用水平切面切割人体顶点,获取人体凸包轮廓线,应用重网格化对凸包轮廓截面进行三维服装表面模型的重建,在三维服装模型基础上实现了二维无缝服装衣片原型模型与裙子原型模型的建立。

3) 采用网格平面参数化技术将三维衣片特征点展平并到二维衣片上,实现二维衣片顶点与三维衣片顶点的映射关系,使用纹理映射技术实现经编服装的虚拟展示,建立了二维图案设计窗口与三维展示实时交互显示的界面,提供了直观的可视化设计模式。

参考文献:

[ 1 ] 董智佳,蒋高明,吴志明,等. 经编无底无缝织物成形原理与计算机辅助设计[J]. 纺织学报,2015,36(2): 55- 60.  
DONG Zhijia, JIANG Gaoming, WU Zhiming, et al. The forming principle and computer-aided design of warp knitted seamless fabric[J]. Journal of Textile Research, 2015,36(2): 55- 60. (in Chinese)

[ 2 ] 张燕婷,蒋高明,丛洪莲,等. 经编提花无缝成形织物的计算机设计与仿真[J]. 纺织学报,2013,34(1): 138-142.  
ZHANG Yanting, JIANG Gaoming, CONG Honglian, et al. Computer-aided design and simulation of warp knitted jacquard seamless shaping fabric[J]. Journal of Textile Research, 2013,34(1): 138-142. (in Chinese)

[ 3 ] 董智佳,蒋高明. 经编提花无缝服装的成形结构与计算方法[J]. 纺织学报,2012,33(1): 102-106.

DONG Zhijia, JIANG Gaoming. Shaping structure and design method of warp knitted jacquard seamless garment [J]. Journal of Textile Research, 2012, 33 ( 1 ) : 102-106. (in Chinese)

[ 4 ] 张吉生,吴志明,储云明. 经编无缝女束身上衣的塑身性能[J]. 纺织学报,2014,35(3): 109-114.  
ZHANG Jisheng, WU Zhiming, CHU Yunming. Research on forming method of warp knitted seamless tunic blouse [J]. Journal of Textile Research, 2014, 35 ( 3 ) : 109-114. (in Chinese)

[ 5 ] 钟世镇. 数字化虚拟人体的科学意义及应用前景[J]. 南方医科大学学报,2003,23(3): 193-195.  
ZHONG Shizhen. Scientific significance and prospective application of digitized virtual human[J]. Journal of First Military Medical University, 2003, 23 ( 3 ) : 193-195. (in Chinese)

[ 6 ] WANG C C L. Parameterization and parametric design of mannequins[J]. Computer-Aided Design, 2005, 37 ( 1 ) : 83-98.

[ 7 ] WANG C C L, WANG Y, Yuen M M F. Feature based 3D garment design through 2D sketches[J]. Computer-Aided Design, 2003, 35 ( 7 ) : 659- 672.

[ 8 ] XU X, Harada K. Automatic surface reconstruction with alpha-shape method [J]. Visual Computer, 2003, 19 ( 7/8 ) : 431- 443.

[ 9 ] 吴宗敏. 径向基函数、散乱数据拟合与无网格偏微分方程数值解[J]. 工程数学学报,2002,19(2): 1-12.  
WU Zongmin. Radial basis function scattered data interpolation and the meshless method of numerical solution of PDEs [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2002, 19 ( 2 ) : 1-12. (in Chinese)

[ 10 ] 中泽愈. 人体与服装[M]. 袁观洛,译. 北京:中国纺织出版社,2001.

[ 11 ] 彭群生,胡国飞. 三角网格的参数化[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(6): 731-739.  
PENG Qunsheng, HU Guofei. Survey on parameterization of triangular meshes [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2004, 16 ( 6 ) : 731-739. (in Chinese)

[ 12 ] 肖源源,王子牛. 基于 VC + + 的 OpenGL 纹理映射技术的研究与实现[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2008, 25 ( 2 ) : 158-160.  
XIAO Yuanyuan, WANG Ziniu. Research and implementation for texture mapping of openGL based on VC + + [J]. Journal of Guizhou University ( Natural Science ), 2008, 25 ( 2 ) : 158-160. (in Chinese)

(责任编辑:杨 勇)