

青年女性矢状面轮廓曲线提取与拟合研究

倪世明^a, 姚 怡^a, 叶晓露^a, 辛意云^a, 邹奉元^{a,b}

(浙江理工大学, a. 服装学院; b. 浙江省服装工程技术研究中心, 杭州 310018)

摘 要: 矢状面曲线形态是研究人体纵截面体型的前提和基础,也是提高服装合体性的关键。基于青年女性三维人体测量,利用逆向工程技术采集点云数据,并抽取表面轮廓曲线。用最小二乘法对采集到的数据进行拟合,得到青年女性正矢状面、过胸高点矢状面、过后背最凸点矢状面、过肩端点矢状面轮廓曲线的多项式插值拟合方程,曲线拟合优度 R^2 达到 0.96 以上。为进一步量化分析矢状面曲线形态,研究人体纵截面体型和进行体型分类奠定基础。

关键词: 青年女性; 矢状面轮廓曲线; 逆向工程; 数学模型

中图分类号: TS941.17

文献标志码: A

0 引 言

人体数据是体型分析和服装结构设计的关键。近年来,三维人体测量仪逐渐成为获取人体点云数据的重要工具^[1]。对人体点云数据的简化处理既能保持人体细节特征,防止轮廓失真,又能降维储存,准确分析人体体型特征^[2-4]。本研究对人体矢状面的研究,既能降低人体大量的点云数据,又能了解人体矢状面体型特征,是对现有人体体型研究的一个补充。矢状面是指在前后方向,将人体分成左、右两部分的纵切面,该切面与地平面垂直^[5]。矢状面的轮廓曲线,是研究人体纵截面体型的前提和基础,也可以为服装结构设计提供人体的轮廓曲线参考,从而提高服装的合体性。

在截面轮廓曲线的相关研究中, Lee Hyun-Young^[6]利用 Rapid Form 研究女性乳房乳底轮廓线形态,并对其进行分析和参数提取。徐小惠^[7]用 Image ware 在三维人体点云数据中确定人体特征点,过特征点作截面及曲线模拟。覃蕊等^[8]通过三维人体扫描仪对人体内侧脚踝点水平向上 6 cm 处腿部形态进行扫描,并拟合得到袜口处腿截面曲线

的二次方程。刘红等^[9]通过截取过乳头部位的胸围曲线,运用 Origin 软件对标准女体胸围点坐标进行曲线方程拟合。以上方法可以获取体表拟合曲线,通过寻找人体特征点,截取曲线,验证了对人体体表曲线形态量化分析的可能性。佟金等^[10]、张琰等^[11]证明:利用逆向工程技术抽取对象的表面轮廓线数据,用最小二乘法进行数据拟合,可以得到高拟合优度 R^2 的拟合曲线,为进一步量化分析曲线形态奠定基础。

体表曲线的获取是一个点云数据降维优化后重新拟合的过程,要求拟合曲线的数学模型拟合精度高、操作简单、泛化能力强。不断提高曲线拟合精度,使拟合曲线更好地表征人体,是本文研究的出发点。

本研究利用逆向工程技术对青年女性正矢状面、过胸高点矢状面、过后背最凸点矢状面、过肩端点矢状面的三维点云数据进行采集,简单快捷地抽取表面轮廓曲线的点云数据,使用最小二乘法进行数据拟合,确保较高的曲线拟合优度 R^2 并建立相应的数学模型。为进一步量化分析矢状面曲线形态,研究人体纵截面体型和进行体型分类

收稿日期: 2013-11-26

基金项目: 浙江省自然科学基金(Y1110504); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201310338107)

作者简介: 倪世明(1988-),女,浙江绍兴人,硕士研究生,主要从事人体工程与数字化服装方面的研究。

通信作者: 邹奉元, E-mail: zfy166@zstu.edu.cn

奠定基础^[12]。

1 试验方法

1.1 轮廓线点云的提取

对于服装的骨架结构——主体结构线的设计来说,人体是它的先决性因素。主体结构性诸如前中线、过胸高点曲线、过肩峰点曲线、过背凸点曲线、后中线等,都是与人体的矢状面形态紧密联系的,如图1所示。因此本文研究青年女性正矢状面、过胸高点矢状面、过后背最凸点矢状面、过肩端点矢状面轮廓曲线。

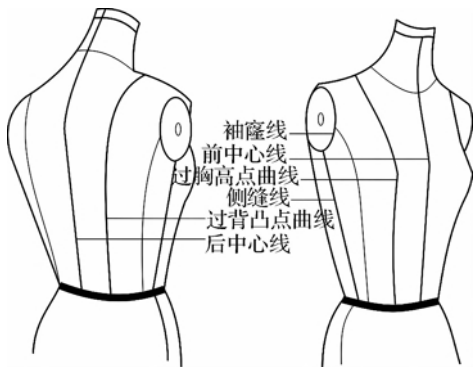
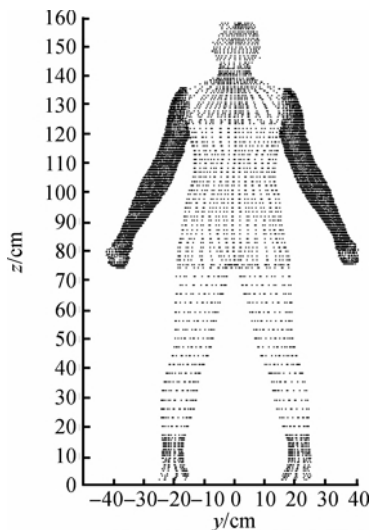


图1 服装用人体主体结构线

为了使本文建立的青年女性矢状面轮廓曲线数学模型具备尽可能广地体现普适性,使各矢状面轮廓曲线拟合更具有针对性,在选择试验样本时,依据国标中160/84A女性体型的标准,在众多人体测量样本中选择一位与国标160/84A体型尺寸最为接近者作为本文研究的试验样本。主要的体型信息是:身高160.1 cm,胸围84.6 cm,腰围65.8 cm,臀围91.2 cm。年龄为22岁,未孕,体质量为51.5 kg, BMI(身体质量指数)为20.09,身体状况健康良好。

采用美国[TC]²三维人体测量仪、经校正的人体测高仪及体重计。测量环境温度为(27±3)℃,相对湿度为(60±10)%,符合裸体测量的环境标准。由此获得青年女性的三维点云数据。在人体三维点云模型中, x 轴表示人体厚度方向, y 轴表示人体宽度方向, z 轴表示人体高度方向,坐标原点由[TC]²扫描系统生成。使用Imageware 12.0软件读入点云文件(见图2),对原始点云数据进行精简及平滑处理。使用“平行点云截面”工具来提取矢状面轮廓线点云,工具界面如图3所示。用垂直于 y 轴扫描平面的截面截取青年女性正矢状面(图4a),进一步精简点云,获得最终的正矢状面轮廓线点云(图5a)。



y 为人体宽度方向, z 为人体高度方向

图2 原始人体点云图



图3 Imageware12.0软件“平行点云截面”工具界面

过胸高点矢状面、过背凸点矢状面、过肩峰点矢状面的关键是先找到人体特征点:胸高点、背凸点、肩峰点。

胸高点、背凸点、肩峰点搜索方法如下:摆正视图,调整三维人体点云模型朝向 x 轴的正方向。近似区域搜索:首先根据胸围高、肩高、背凸点高(颈椎点高一颈至肩胛骨长),初步确定了特征点的 z 坐标;精确位置确定:在特征点所在的大致区域,结合人体外形及特征点的生理特性,找到特征点。

根据找到人体特征点,使用“点位置”工具获取特征点坐标,然后用垂直于 y 轴扫描平面的截面截取,在“平行点云截面”工具中输入起点,也就是特征点坐标,进行目标矢状面截取(图4b、c、d),最终获得目标矢状面轮廓线点云(图5b、c、d)。最后在Auto CAD的工作环境下,调出轮廓线中点的数据坐标。

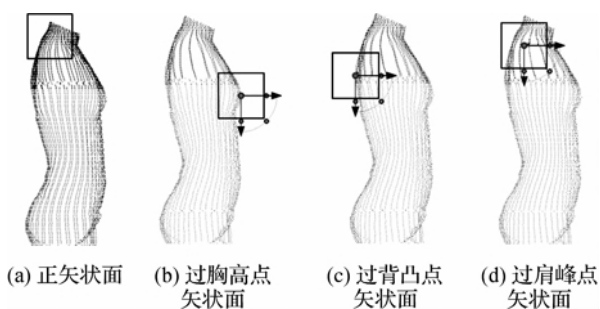


图 4 青年女性矢状面点云提取图

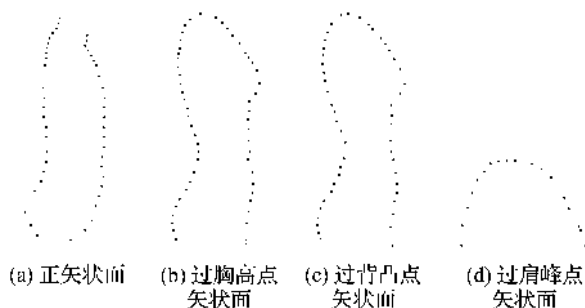


图 5 青年女性矢状面轮廓线点云

1.2 数据拟合方法

采用最小二乘法建立曲线拟合方程,如下式:

$$\sum_{i=1}^m [\varphi^*(x_i) - y_i]^2 = \min_{\varphi(x) \in \Phi} \sum_{i=1}^m [\varphi(x_i) - y_i]^2 \quad (1)$$

式中, $\varphi(x)$ 是函数类 Φ 中任意函数。满足关系式(1)的函数 $\varphi^*(x)$ 称为上述最小二乘问题的最小二乘解。运用最小二乘方法解决实际问题,确定函数类 Φ 是关键。要求 Φ 中的函数形式简单,易于计算,此外 Φ 中的函数 $\varphi(x)$ 的几何形状应与要拟合的数据分布相近^[13]。

数据拟合曲线拟合精度通过拟合优度 R^2 进行评估, R^2 越接近于 1, 表明方程拟合度越高, 表达式如下:

$$R^2 = 1 - \frac{S_{SE}}{S_{ST}} \quad (2)$$

式(2)中,

$$S_{SE} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

$$S_{ST} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4)$$

其中, \hat{y}_i 为拟合曲线的数据值; \bar{y} 为型值点的平均值。

2 轮廓曲线拟合

本文采用 MATLAB 软件进行分析,使用多项

式插值的方法对青年女性正矢状面、过胸高点矢状面、过后背最凸点矢状面、过肩端点矢状面轮廓数据点进行曲线拟合,求解曲线方程系数及拟合精度评估系数。在保证曲线拟合精度的前提下,为了增强拟合方程的稳定性,应尽量选取小的拟合阶数。

插值多项式的表达式为:

$$f(x) = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \cdots + p_{n-1} x^2 + p_n x^1 + p_{n+1} \quad (5)$$

对数据点进行插值,其含义为

$$f(x_i) = y_i \quad i \in \{0, 1, \cdots, n\}$$

代入等式(5),就得到系数为 P_k 的线性方程系统,用矩阵向量形式表示为

$$\begin{bmatrix} x_0^n & x_0^{n-1} & x_0^{n-2} & \cdots & x_0 & 1 \\ x_1^n & x_1^{n-1} & x_1^{n-2} & \cdots & x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_n^n & x_n^{n-1} & x_n^{n-2} & \cdots & x_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中,为了构建插值多项式 $f(x)$,主要是计算系数 P_k 。通过计算,得到青年女性正矢状面、过胸高点矢状面、过后背最凸点矢状面、过肩端点矢状面轮廓线的拟合曲线方程。

矢状面轮廓曲线数据点及其拟合曲线图以右视图的方式显示。图 6—图 9 分别绘制了青年女性正矢状面、过胸高点矢状面、过后背最凸点矢状面、过肩端点矢状面的轮廓数据点及其拟合曲线。图 10 是前述得到的各矢状面轮廓线的拟合曲线叠加图。拟合曲线 1—7 分别表示:正矢状面前中心线、正矢

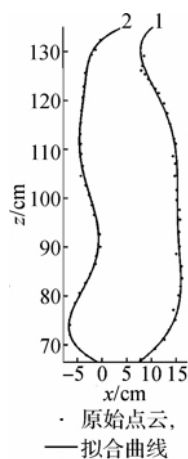


图 6 青年女性正矢状面前中心线点云及其拟合曲线

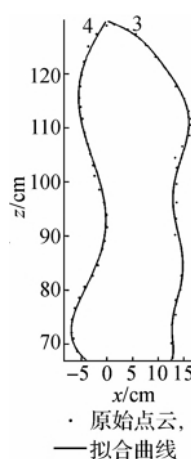


图 7 青年女性过胸高点矢状面点云及其拟合曲线

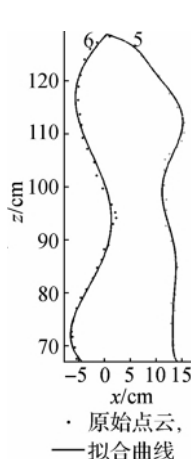


图 8 青年女性过后背最凸点矢状面点云及其拟合曲线

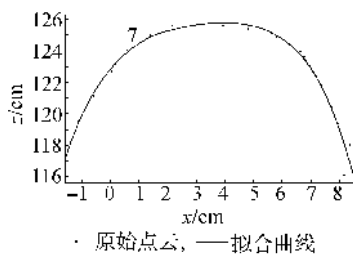


图 9 青年女性过肩端点矢状面点云及其拟合曲线

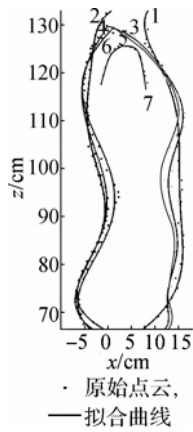


图 10 青年女性矢状面轮廓线的拟合曲线

状面后中心线、前过胸高点矢状面拟合曲线、后过胸

高点矢状面拟合曲线、前过后背最凸点矢状面拟合曲线、后过后背最凸点矢状面拟合曲线、过肩端点矢状面拟合曲线。表 1 列出了拟合曲线 1—7 的系数, 方程拟合的拟合优度 R^2 。可以看出, R^2 都在 0.96 以上, 接近于 1, 表明矢状面轮廓曲线拟合方程的拟合度很高。

基于以上步骤, 本文提取了能用于青年女性体型分类的纵截面特征曲线。利用 Imageware12.0 提取青年女性正矢状面、过胸高点矢状面、过背凸点矢状面、过肩峰点矢状面的点云数据, 使用最小二乘法进行数据拟合, 建立高拟合优度的二维曲线数学模型, 有效地表征三维人体的特征空间。

后续研究可以在本研究的基础上, 大规模测量样本, 研究基于人体矢状面轮廓曲线形态的体型分类。

表 1 青年女性矢状面拟合曲线的方程系数和拟合优度 R^2

$f(x)=p_1 * x^4 + p_2 * x^3 + p_3 * x^2 + p_4 * x + p_5$							
方 $f(x)=p_1 * x^5 + p_2 * x^4 + p_3 * x^3 + p_4 * x^2 + p_5 * x + p_6$							
程 $f(x)=p_1 * x^6 + p_2 * x^5 + p_3 * x^4 + p_4 * x^3 + p_5 * x^2 + p_6 * x + p_7$							
系 $f(x)=p_1 * x^7 + p_2 * x^6 + p_3 * x^5 + p_4 * x^4 + p_5 * x^3 + p_6 * x^2 + p_7 * x + p_8$							
数 $f(x)=p_1 * x^8 + p_2 * x^7 + p_3 * x^6 + p_4 * x^5 + p_5 * x^4 + p_6 * x^3 + p_7 * x^2 + p_8 * x + p_9$							
	1	2	3	4	5	6	7
P_1	7.480e-009	5.095e-010	-8.116e-011	-5.121e-007	-7.169e-011	-5.068e-009	-0.010 12
P_2	-4.113e-006	-3.423e-007	6.36e-008	0.0002685	5.69e-008	2.58e-006	0.129 1
P_3	0.0009 195	9.688e-005	-2.162e-005	-0.05527	-1.959e-005	-0.000 506	-0.723 4
P_4	-0.106 5	-0.0149 5	0.0041 66	5.58	0.0038 18	0.046 65	2.197
P_5	6.688	1.354	-0.497 2	-276.1	-0.460 9	-1.858	122.9
P_6	-213.3	-71.75	37.66	5349	35.28	9.613	
P_7	265 2	2052	-1767		-167 2	833.1	
P_8		-2.430e+004	4.694e+004		4.488e+004		
P_9			-5.409e+005		-5.221e+005		
R^2	0.979 3	0.982 2	0.987 3	0.979 1	0.964 3	0.968 8	0.966 2

注: 拟合曲线 1—7 分别是: 正矢状面前中心线、正矢状面后中心线、前过胸高点矢状面曲线、后过胸高点矢状面曲线、前过后背最凸点矢状面曲线、后过后背最凸点矢状面曲线、过肩端点矢状面曲线。

3 结 论

矢状面曲线形态是研究人体纵截面体型的前提和基础, 也是提高服装合体性的关键。本文通过对矢状面曲线的研究, 得出以下结论:

a) 提取了能表征人体纵截面体型的轮廓曲线。利用逆向工程处理软件 Imageware12.0 从青年女性的三维扫描数据点云中, 有效提取青年女性矢状面表面轮廓曲线数据, 既保持人体细节特征, 防止轮廓失真, 又能降维储存。

b) 建立了高拟合优度的二维曲线数学模型, 有效地表征三维人体的特征空间。使用最小二乘法进行曲线拟合, 得到青年女性正矢状面、过胸高点矢状

面、过后背最凸点矢状面、过肩端点矢状面轮廓曲线的多项式插值拟合方程, 拟合优度 R^2 都在 0.96 以上。

c) 为后续进一步量化分析矢状面曲线形态, 研究人体纵截面体型和进行体型分类奠定了基础。

参考文献:

[1] Vuruskan A, Bulgun E. Identification of female body shapes based on numerical evaluations[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2011, 23 (1): 46-60.

[2] 李晓久, 景晓宁. 基于非接触式测量的人体点云简化方法[J]. 纺织学报, 2012, 33(7): 146-150.

[3] Choi Y L, Nam Y J. Classifications of upper lateral

- body shapes for the apparel industry [J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 2010, 20(5): 378-390.
- [4] Lenda J C, Pamela V U, Evelyn L, et al. Body shape assessment scale: instrument development for analyzing female figures [J]. Clothing and Textiles Research Journal, 2006, 24(2): 80-95.
- [5] 徐玉东, 王建红. 人体解剖生理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 3-4.
- [6] Lee H Y, Kyunghi H. Measurement protocol of women's nude breasts using 3D scanning technique[J]. Applied Ergonomics, 2004(35): 353-359.
- [7] 徐小惠. 基于人体特征的紧身原型领、袖曲线生成规则研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2011: 15-38.
- [8] 覃蕊, 范雪荣, 陈东生. 男短袜袜口出标准腿截面曲线研究[J]. 纺织学报, 2012, 33(3): 119-123.
- [9] 刘红, 张明, 陈东生, 等. 标准女体胸围曲线研究[J]. 纺织学报, 2011, 32(2): 117-120.
- [10] 佟金, 吴娜. 臭蛻螂唇基表面轮廓曲线数学模型建立及分析[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 113-116.
- [11] 张琰, 任露泉, 周长海. 蜈蚣胸背板轮廓曲线的数学分析[C]//镇江: 中国农业机械学会学术年会论文集, 2008: 435-438.
- [12] 倪世明, 金娟凤, 庞程方, 等. 基于纵向轮廓曲线的青年女性体型细分研究[J]. 纺织学报, 2014, 35(8): 87-93.
- [13] 韩丹夫. 数值计算方法[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006: 253-254.

Study on Curve Extraction and Fitting of Young Women's Sagittal Plane Contour

NI Shi-ming^a, YAO Yi^a, YE Xiao-lu^a, XIN Yi-yun^a, ZOU Feng-yuan^{a,b}

(a. School of Fashion Design and Engineering; b. Zhejiang Provincial Research Center of Clothing Engineering Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Sagittal plane curve shape is the premise and foundation of studying longitudinal section shape of human body, and also a key for garment fitness. In this paper, based on 3D human body measurement of young women, cloud data were collected by reverse engineering technology, and the surface contour curve was extracted. Least square method was used to fit the data collected, and gain polynomial interpolation fitting equations of profile curve of the middle sagittal plane, the sagittal plane across bust point, the sagittal plane across the back and the sagittal plane across shoulder point. The goodness of curve fitting R^2 is above 0.96. It lays a foundation for further quantitative analysis of sagittal curve form, studying the longitudinal section shape of human body and classifying the body type.

Key words: young women; sagittal plane contour curve; reverse engineering; mathematical model

(责任编辑: 杨一舟)