

文章编号:0253-9721(2010)09-0132-06

从三维人体扫描生成服装样板

黄海峤^{1,2}, 莫碧贤¹, 郭绮莲¹, 欧秀全¹, 王英男^{1,2}

(1. 香港理工大学 纺织与制衣学系, 香港; 2. 北京服装学院 服装艺术与工程学院, 北京 100029)

摘要 准确与合体的服装版型对于服装生产来说至关重要。尽管三维人体扫描仪可获得人体数据,但从以往文献来看,从三维人体数据生成二维服装版型仍存在挑战。本文的目的是将三维人体点云数据经过一系列步骤,自动生成服装基础版型。这些步骤包括:从三维扫描得到人体数据,将这些散乱数据进行人体识别,将识别后的模型 Delaunay 三角化,对三角化后的人体模型进行 C 均值模糊聚类的人体曲面分割,基于最小二乘法的多边形近似及展开,最后自动生成服装样板。

关键词 服装版型; 三维人体扫描; 人体识别; 人体表面聚类; 服装 CAD

中图分类号:TS 941.26 文献标志码:A

Garment patterns generating based on 3-D body scanning

HUANG Haiqiao^{1,2}, MOK Pikyin¹, KWOK Yilin¹, AU Sauchuen¹, WANG Yingnan^{1,2}

(1. Institute of Textiles & Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China;

2. The School of Fashion Art and Engineering, Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China)

Abstract It is important to make accurate garment patterns for fitting wearers in the garment manufacturing industry. Though virtual 3-D body scanning technology can now obtain body data, previous documents show that it is a challenging work to transform 3-D body data into a 2-D pattern. This paper presents a new method for generating 2-D garment patterns directly from 3-D human body point cloud. The new method consists of five steps, namely body recognition, body modeling, body surface clustering, planar fitting and planar co-planarization. In the paper, algorithms for body feature extraction and body modeling are firstly described, the relationship between human body, patterns and darts are then investigated, and pattern construction through automatic dart transformation are finally developed. This paper has demonstrated how the proposed method can generate 2-D garment patterns from 3-D instructed point clouds.

Key words block pattern generation; 3-D body scanning; body recognition; clustering body surface; garment CAD

服装样板的制作是样衣制作和服装生产的一个重要步骤,一般由设计师手绘或使用 CAD 软件绘制。这个过程通常需要大量时间或某些重复的工序,也会因设计师制版经验的多少而有所差别。近年来,由于三维人体扫描仪的出现,很多研究人员都试图从三维人体数据直接生成二维服装版型,服装被分为合体区与样式区以简化服装版型的生成^[1],

但这种方法需依赖操作者的经验来进行手工输入和参数定义,亦会影响到服装样板的质量。在以前的研究中发现另外一个不足之处是服装的省道只能是径向或者纬向^[2],把人体分为水平和垂直 2 个区域,通过展开这些区域获得服装版型。本文利用人体识别、建模及曲面分类一系列的步骤来生成服装基础版型。

收稿日期:2009-09-21 修回日期:2010-03-16

基金项目:香港理工大学科研项目(RGZQ,G-YH16);北京服装学院科研项目(2009A-2)

作者简介:黄海峤(1978-),男,博士生。主要研究方向为智能服装 CAD。莫碧贤,通讯作者,E-mail:tracy.mok@inet.polyu.edu.hk。

1 问题讨论

从人体点云数据生成服装版型的过程牵涉很多因素。如何从无序的人体点云进行人体测量以得到与服装制作相关的位置信息;如何从无结构的点云数据直接获得更多关于人体结构的几何信息,如曲面、曲率等。这些信息对生成一个合体的服装版型十分重要。此外,如何提取上述的人体曲率、曲面信息,并将之利用到自动生成服装版型,仍是有待解决的问题。基于这些考虑,本文列出了5个步骤来实现从人体点云数据自动生成服装版型,包括:人体识别、建模、聚类分割、多边形回归和多边形展开。

1.1 人体识别

人体识别是把人体的特征点和结构线进行标记的一个过程。在人体相关位置贴标记点,利用计算机算法对这些标记点进行识标以获得人体特征点^[3]。其他学者也尝试使用对人体水平截面分析的方法提取人体特征,如:通过对人体截面的形状、连续性、可导性和拓扑结构进行分析^[4-6],使用模糊逻辑对人体水平截面进行曲率分析^[7],并标出相应的特征。

1.2 人体建模

建模后的三维人体模型比散乱点云数据提供的信息量大。人体建模对于大量定制服装^[8]及人台开发^[9]等有重要的意义。建立三维人体模型的方法有样条曲线和曲面^[10]、隐式曲面^[11]和多边形网格。对散乱点云数据来说,使用样条曲面和隐式曲面建模意味着更多的人为干预和大量的运算,所以,需要选用较灵活的多边形网格三角化进行人体建模。

1.3 网格曲面分割

网格曲面分割是对表面上的网格进行聚类的过程,具有同一类属性的网格被标记在一起。使用网格中一个定点的法线方向,用基于迭代的八叉树空间和区域生长的算法,对曲面进行分割^[12]。利用曲面的平面度也是优化分割曲面的一个重要度量依据^[13]。有学者曾建议其他方面的量度和判断依据,例如:曲面两点间的测地距离、法线向量距离、平面间夹角和曲率间的差异等。其中,利用法线向量和测地距离作为量度,并采用模糊聚类的方法进行曲面划分,得到较好的效果^[14]。本文利用这种算法与整合平面间夹角和测地距离的组合,并用模糊C均

值聚类(Fuzzy C-Means)进行人体曲面聚类与分析。

1.4 曲面展开

本文的曲面展开可看成是从三维曲面展平到二维平面的过程。人体曲面的展开可利用到生成服装版型^[15-16]。但是一般三维曲面展开到二维平面,曲面上任何两点间距离会因为这个展开而发生变化,只有可展开曲面(developable surface)才不会产生这种变化。对于利用可展开曲面进行建模以及曲面可展开性的判别也进行了讨论^[17]。但一般的曲面展开都会产生不规则形状,这种展开并不适用于服装样板的生成。

2 研究方法与实践

对相关问题的阐述和以往文献的分析可看到,从人体数据到生成服装样板是一个复杂的过程,受到很多因素的限制。本文将从5方面对人体数据进行操作,从而自动生成服装样板,如图1所示。

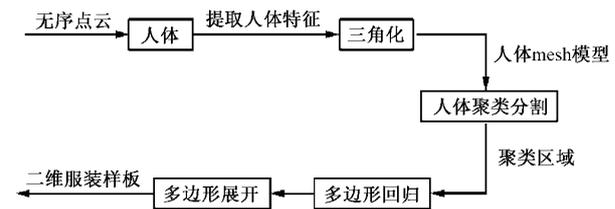


图1 系统设计流程图

Fig. 1 Flowchart of system design

2.1 人体识别

从三维扫描仪得到的数据通常是散乱的数据点,需要在进行深入的操作前对人体进行初步的识别。这个步骤的目的是对散乱的人体点云数据按照服装人体上的定义(ISO 8559——1989《服装结构与人体测量 人体尺寸》,ISO 7250——1996《基本人体测量》,ISO 7250-1——2008《人体测量和关键点定义》)进行一个初步分割,利用人体水平截面、垂直截面以及部分自定义截面的形状特征对人体进行识别,把胸围、腰围、臀围、肩点、前颈点、后颈点、颈侧点、前中心线、后中心线、腿部和手臂识别出来(如图2),为人体建模做好准备。

2.2 人体 Delaunay 三角化

散乱人体数据不能提供所需的曲面信息,这为直接生成服装版型造成困难。在上一步骤,散乱的人体数据被初步识别后,就可对人体的局部进行针对性的建模,这样能够避免大量的计算消耗,由此使

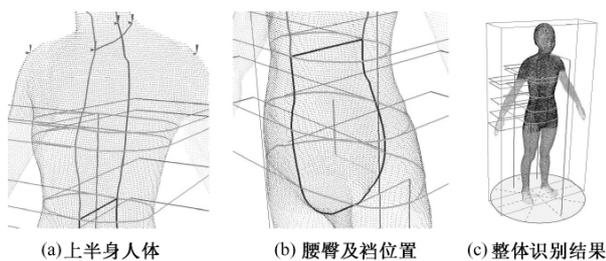


图 2 人体识别结果

Fig. 2 Initial recognition result of a human body.

(a) Upper body; (b) Waist, hip and crotch region; (c) Overall recognized body

用 Delaunay 三角化对数据进行三维建模。结合 greedy 算法^[18]和 incremental^[19]算法,本文提出了不闭合曲面的 Delaunay 三角化构造算法,具体如下。

输入:散乱的人体点云数据

初始化三角形链表 T , 一个空的边 (edge) 队列链表 E

初始化种子三角 t_s 和它的三条边 e_1, e_2 和 e_3 (如图 3(a))

插入边 e_1, e_2, e_3 到 E 中

插入 t_s 到 T 中

while E 非空 do

 提取 E 中的第一个边 e

 根据 e , 找到可能含有 e 的候选三角形中最优的 t_{opt}

 插入 t_{opt} 到 T 中

 把 e 从 E 移除

end while

return T

输出: 一个三角形的链表 T

在算法中, 一个候选三角形的首要条件是这个三角形要含有 e 边, 此外它内部不含有其他的离散点, 一个最优的候选三角形 t_{opt} 是最高分数 $p(t)$ 的三角形, 分数计算公式为

$$p(t) = \begin{cases} 1/r_i & \text{if } \beta_i < \pi/6 \\ -\infty & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $p(t)$ 为每一个候选三角形的分数; r_i 为通过这个三角形三个顶点的圆半径; β_i 为当前这个三角形与已经形成曲面 T 的夹角。图 3(b) 示出根据上述算法得出的结果。

2.3 人体表面聚类分析

人体曲面建模完成后, 意味着有更多的曲面信息可被提取出来, 为进一步的曲面聚类分析做准备。聚类分析通常需要一个衡量距离来判断不同元素之间的所属关系。以人体曲面来说, 曲面上不同的三

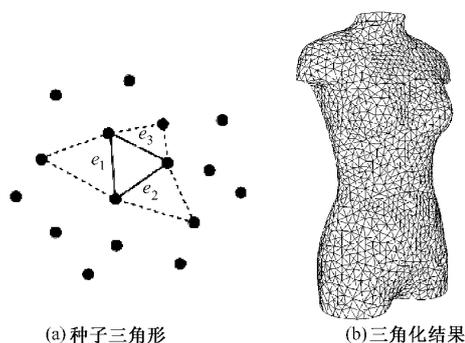


图 3 Delaunay 人体三角化

Fig. 3 Human body Delaunay triangulation.

(a) Seed triangle; (b) Result of triangulation

角形需要归类为不同的区域, 每个区域均具有一定的相似属性, 这个属性是同一个区域的三角面片都具有相似的平面性, 如图 4 所示, 具有相似 (相同) 平面性的三角面片被聚类到一个区域。

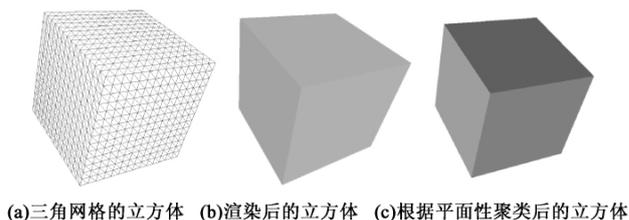


图 4 同一区域平面性的聚类说明

Fig. 4 Planarity of a triangulated cube and its clustering result. (a) Triangular mesh of a cube; (b) Cube in rendering mode; (c) Clustered result of cube based on planarity properties

聚类的标准有很多, 如曲面的法线方向、夹角、测地距离等。本文定义了用角距离和测地距离的线性组合进行曲面聚类, 这个聚类保证了不同三角面片的平面性和他们之间的连续性。2 个相邻的三角面片 f_i 和 f_j 角距离 D_{angle} 定义如下。

$$D_{angle}(f_i, f_j) = 1 + \cos(\alpha_{ij}) \quad (2)$$

式中 α_{ij} 为 f_i 和 f_j 的夹角。这 2 个三角面片测地距离 D_{geod} 定义为他们的重心在曲面上最短的距离, 使用 Dijkstra 算法计算整个曲面三角面片上最短的测地距离, 因而, f_i 和 f_j 的聚类距离可定义为

$$D(f_i, f_j) = \rho \cdot \frac{D_{angle}(f_i, f_j)}{\bar{D}_{angle}} + (1 - \rho) \cdot \frac{D_{geod}(f_i, f_j)}{\bar{D}_{geod}} \quad (3)$$

式中 \bar{D}_{angle} 和 \bar{D}_{geod} 是人体曲面的平均角距离和平均测地距离 $\rho \in (0, 1)$ 定义了他们之间的权重, 根据这个距离, 使用 C 均值模糊聚类 (Fuzzy C-Means) 算法对整个曲面的三角面片进行聚类, 使得具有近似平面性和近似的三角面片成为一类。聚类的结果如图 5 所示。



图 5 人体曲面聚类

Fig. 5 Body surface clustering. (a) A triangulated body surface; (b) Triangulated surface in rendering mode; (c) Fuzzy clustering membership mapping; (d) Cluster result when cluster number is 3; (e) Cluster result when cluster number is 11

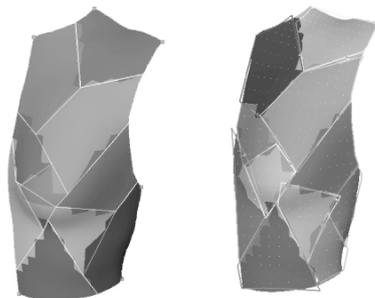
2.4 多边形回归近似曲面区域

人体曲面在完成聚类之后,每个曲面区域都具有相似的平面性,可使用最小二乘法(least squares regression)得到一个近似平面的多边形,使其与曲面的距离最小。通常,一个最小二乘法可由目标函数(4)表示,其中 p 为数据集 x_n 最佳近似函数 y_n 的参数向量,最优的 p_{opt} 可以由最小化 Q 得到。

$$Q = \sum_{n=1}^N (y_n - px_n) \quad (4)$$

在进行近似聚类后的曲面中,可使用平面方程($z = ax + by + c$)来近似一个区域曲面 S , S 由三角形的顶点构成 $\{(x_i, y_i, z_i), i = 1, \dots, n\}$, 因此,可重写目标函数(4)为式(5),对于最优化参数 $p_{opt} = (a, b, c)^T$ 通过方程 $\frac{\partial Q}{\partial a} = 0, \frac{\partial Q}{\partial b} = 0$ 和 $\frac{\partial Q}{\partial c} = 0$ 解出。图 6 示出利用此法对曲面区域进行模拟的结果。

$$Q = \sum_{i=1}^n (ax_i + by_i + c - z_i)^2 \quad (5)$$



(a)三角面片聚类结果 (b)多边形近似聚类结果

图 6 使用最小二乘法进行曲面区域的近似
Fig. 6 Least squares regression-based planar patches approximation. (a) Clustered result of body surface; (b) Planar patches approximation result

2.5 多边形展开

多边形展开利用 2.4 中近似的结果,是通过图(graph)运算生成服装样板,并自动生成相应省道,其过程包括 3 个步骤:1) 旋转每个多边形,使其法线方向平行于坐标轴方向;2) 移动所有多边形到一个平面;3) 根据彼此的相连关系,把多边形拼合在一起。结果见图 7。

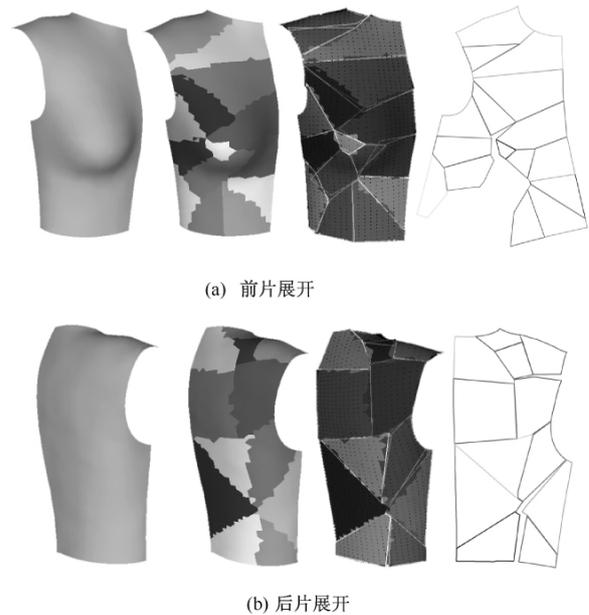


图 7 从人体曲面聚类到多边形近似和展开

Fig. 7 Processes from triangulated surface to polygon co-planarization. (a) Front block pattern; (b) Back block pattern

在生成近似多边形的过程中,每 2 个多边形都是彼此在拓扑上连接起来的,为实现自动展开和形成省道,本文把每个多边形定义为 1 个节点 V ,他们之间的连接关系为 E ,继而所有的多边形就构成了图 $G(E)$, 1 个省道可以看成是 1 个子图 $G'(E')$ 。

$G_{\text{new}} = G(E) - G'(E')$ 可表示 1 个新的多边形的图关系, 这里的减法意味着剪断了省位置上的多边形连接关系。即 G_{new} 表示了 1 个拥有省道多边形的关系图。展开 G_{new} 多边形的结果是得到生成的服装版型。

3 结 语

从人体扫描数据自动生成服装样版是一个复杂的过程, 需要一系列的步骤才能完成。

由于服装结构和后续的计算要求, 需要先标记人体点云数据的关键点进行人体的初步识别; 对于散乱数据来说, 能够提供的曲面信息, 如曲率、曲面连续性等数据非常有限, 因此, Delaunay 三角化建模是深入分析人体结构和生成服装样版的必要步骤; 使用 FCMs 的聚类方法对人体三角面片模型中不同区域的平面性(角距离)和连续性(侧地距离)进行分析, 将具有相同平面性和连续性的三角面片归类到一个区域; 对于不同区域, 利用最小二乘法进行平面多边形近似, 并根据不同区域的连接关系及省道位置的计算展开近似多边形并生成版型。

上述方法虽然能够从人体点云数据自动生成服装版型, 但仍存在问题有待进一步研究: 1) 在实验研究中发现, 对于不同类型的人体生成版型, 聚类数量的确定、角距离和测地距离之间的权重会直接影响到多边形近似的结果和版型的生成; 2) 如何把松量与这种方法结合, 并放入样版中也是一个尚待解决的问题; 3) 如何评价与应用根据这种方法生成的服装版型, 检验其与传统服装版型的差异及其优缺点, 合体度的客观定量分析与主观评价等。 FZXB

参考文献:

[1] KIM S, PARK C K. Basic garment pattern generation using geometric modeling method [J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2007, 19 (1-2): 7-17.

[2] CHOI Y, NAM Y, CHOI K, et al. A method for garment pattern generation by flattening 3D body scan data [C]//*Digital Human Modeling*. Berlin: Springer, 2007: 803-812.

[3] GEISEN G, MASON C, HOUSTON V, et al. Automatic detection, identification, and registration of anatomical landmarks from 3D laser digitizer body segment scans [C]//*Engineering in Medicine and Biology Society: Vol 1. IEEE 17th Annual Conference*, 1995: 403-404.

[4] PARGAS R P, STAPLES N J, DAVIS J S. Automatic measurement extraction for apparel from a three-dimensional body scan [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 1997, 28 (2): 157-172.

[5] NURRE J, CONNOR J, LEWARK E, et al. On segmenting the three-dimensional scan data of a human body [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2000, 19 (8): 787-797.

[6] XU B. Automatic segmenting and measurement on scanned human body [J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2006, 18 (12): 19-30.

[7] WANG C C L, CHANG T K K, YUEN M M F. From laser-scanned data to feature human model: a system based on fuzzy logic concept [J]. *Computer-Aided Design*, 2003, 35 (3): 241-253.

[8] CHO Y, OKADA N, PARK H, et al. An interactive body model for individual pattern making [J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2005, 17 (1-2): 91-99.

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

[10] JONES P R M, LIK P, BROOK-WAVELL K, et al. Format for human body modeling from 3-D body scanning [J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1995, 7 (1): 7-16.

[11] MATSUDA R, NISHITA T. Modeling and deformation method of human body model based on range data [C]//*Proceedings of International Conference on Shape Modeling and Applications*. Washington: IEEE Computer Society, 1999: 80-87.

[12] WOO H, KANG E, WANG S, et al. A new segmentation method for point cloud data [J]. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2002, 42 (2): 167-178.

[13] SHAMIR A, CENTER I, HERZLIYA I. A formulation of boundary mesh segmentation [C]//*Proceedings of the 2nd Inter-national Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission*. Washington: IEEE Computer Society, 2004: 82-89.

[14] KATZ S, TAL A. Hierarchical mesh decomposition using fuzzy clustering and cuts [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2003, 22 (3): 954-961.

[15] MCCARTNEY J, HINDS B, SEOW B. The flattening of triangulated surfaces incorporating darts and gussets [J]. *Computer-Aided Design*, 1999, 31 (12): 249-260.

[16] YANG Y, ZHANG W. Prototype garment pattern flattening based on individual 3D virtual dummy [J]. (下转第 142 页)

