



基于 ABSS 的着装人体多特征点提取与尺寸测量

胡新荣^{1,2}, 刘嘉文^{1,2}, 刘军平^{1,2}, 彭 涛^{1,2}, 何儒汉^{1,2}, 何 凯^{1,2}

(1. 湖北省服装信息化工程技术研究中心, 武汉 430200; 2. 武汉纺织大学 数学与计算机学院, 武汉 430200)

摘 要: 传统非接触式人体尺寸测量中的关键特征点是根据人体各部位的比例关系直接提取, 该方法对人体体型和着装要求严格, 导致在多数情形下获取的关键特征点存在较大误差。为此, 提出一种基于自适应人体结构分割 (ABSS) 的着装人体多特征点提取和尺寸测量算法 Human pesm-abss。分析东西方人体的异构性和自身体型的差异, 利用 ABSS 对人体结构关键区域进行分割。针对颈、肩部位特征点的提取, 给出最大距离法和局部最大曲率法, 解决传统算法适应性差及鲁棒性弱的问题。对 210 组标准差较大样本的实验测量数据与真实尺寸信息进行对比分析, 结果表明, Human pesm-abss 算法相对于非闭合 Snake 和 Simple-FCN-ASM 模型, 平均误差分别减少 2.2 cm 和 0.26 cm, 耗时分别缩短了 1.098 s 和 3.552 s, 具有更高的实时性与更强的鲁棒性, 适用于在线批量人体着装尺寸测量。

关键词: HSV 色彩空间; 非接触式测量; 特征点提取; 自适应人体结构分割; 轮廓检测

开放科学 (资源服务) 标志码 (OSID):



中文引用格式: 胡新荣, 刘嘉文, 刘军平, 等. 基于 ABSS 的着装人体多特征点提取与尺寸测量 [J]. 计算机工程, 2020, 46(12): 238-246, 253.

英文引用格式: HU Xinrong, LIU Jiawen, LIU Junping, et al. Multi-feature point extraction and dimension measurement of dressed human bodies based on ABSS [J]. Computer Engineering, 2020, 46(12): 238-246, 253.

Multi-feature Point Extraction and Dimension Measurement of Dressed Human Bodies Based on ABSS

HU Xinrong^{1,2}, LIU Jiawen^{1,2}, LIU Junping^{1,2}, PENG Tao^{1,2}, HE Ruhan^{1,2}, HE Kai^{1,2}

(1. Engineering Research Center of Hubei Province for Clothing Information, Wuhan 430200, China;

2. School of Mathematics and Computer Science, Wuhan Textile University, Wuhan 430200, China)

[Abstract] Traditional non-contact body measurement methods extract key feature points directly based on the proportion of body parts, which tends to cause large errors for its strict requirements on body shapes and dresses. Therefore, this paper proposes an algorithm for multi-feature point extraction and measurement of dressed human bodies, Human pesm-abss, which uses Adaptive Body Structure Segmentation (ABSS). The algorithm analysis the differences of shape between Eastern and Western human bodies, and uses ABSS to segment the critical parts of human body structure. To extract the feature points in the neck and shoulder, this paper gives the maximum distance method and local maximum curvature method to solve the problem of poor adaptability and low robustness of traditional algorithms. The experimental data of 210 samples with large standard deviation is compared with the real size information. The results show that compared with the Unclosed Snake model and Simple-FCN-ASM model, the Human pesm-abss algorithm reduces the average error by 2.2 cm and 0.26 cm respectively, and reduces the time consumption by 1.098 s and 3.552 s. The algorithm has better real-time performance and robustness, and can find application in the online in-batch measurement of dressed human bodies.

[Key words] HSV color space; non-contact measurement; feature point extraction; Adaptive Body Structure Segmentation (ABSS); contour detection

DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0056751

基金项目: 国家自然科学基金 (61103085); 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目 (T201807)。

作者简介: 胡新荣 (1973—), 女, 教授、博士, 主研方向为图形图像处理、虚拟现实、计算机视觉; 刘嘉文, 硕士研究生; 刘军平 (通信作者), 讲师、博士; 彭 涛, 副教授、博士; 何儒汉, 教授、博士; 何 凯, 讲师、博士。

收稿日期: 2019-11-29 **修回日期:** 2019-12-31 **E-mail:** jarvan_liu@163.com

0 概述

随着电子信息技术的迅速发展,虚拟试衣平台逐渐受到人们的关注^[1]。人体尺寸测量技术是虚拟试衣的关键技术之一,其在服装定制领域有着不可替代的作用。目前,主要通过接触式和非接触式^[2-4]方式对人体进行尺寸测量。对于前者而言,人体手工量体的优点是测量时具有交互性,在测量过程中可根据客户的穿着习惯对尺寸数据进行动态调整,但在大规模测量时手工测量的效率低下,出错率较高。后者相对于前者,在保证尺寸信息有效性的同时具有实时性高、鲁棒性强等特点。

非接触式测量通常使用的技术包括三维扫描法、模型重建法和图像检测法。文献[5]使用三维扫描仪获取人体部位的尺寸信息,然而三维扫描仪价格昂贵、测量地点不灵活等问题导致了该方法无法在市场上普遍适用。文献[6-7]提出使用深度相机获取人体深度信息,再通过 SMPL 模型^[8]重建人体获取尺寸信息,但由于东西方人体体型的差异性,以致于实际拟合的效果无法满足人体着装尺寸的误差要求,并且在测试过程中,重塑人体模型耗时超过 3 min,使得该方法无法应用于在线批量人体测量系

统中。文献[9-10]使用图像检测法^[11-13],基于正交人体图像获取尺寸信息,但是他们参考欧美 CAESAR 人体数据集提供的结构部位与身高的比例系数直接提取人体关键特征点,并没有考虑东西方人体体型的差异性和自身体型的异构性问题,导致算法在实际测量过程中鲁棒性不强,并且在测量极端体型用户时提取的特征点通常会产生偏离,测量误差较大。

针对上述问题,本文提出基于自适应人体结构分割(Adaptive Body Structure Segmentation, ABSS)的人体多特征点提取与尺寸测量算法 Human pesm-abss,解决因体型异构产生的特征点定位不准的问题。对所提取正交图像中的人体轮廓、人体结构关键区域自适应分割,针对不同部位区域采用特定算法快速、准确地提取特征点,最终通过身高比例法获取各个部位的尺寸信息。

1 系统描述

1.1 系统流程

人体尺寸测量主要分为图像预处理、人体结构关键区域自适应分割、特征点提取、尺寸获取等步骤,系统流程如图 1 所示。

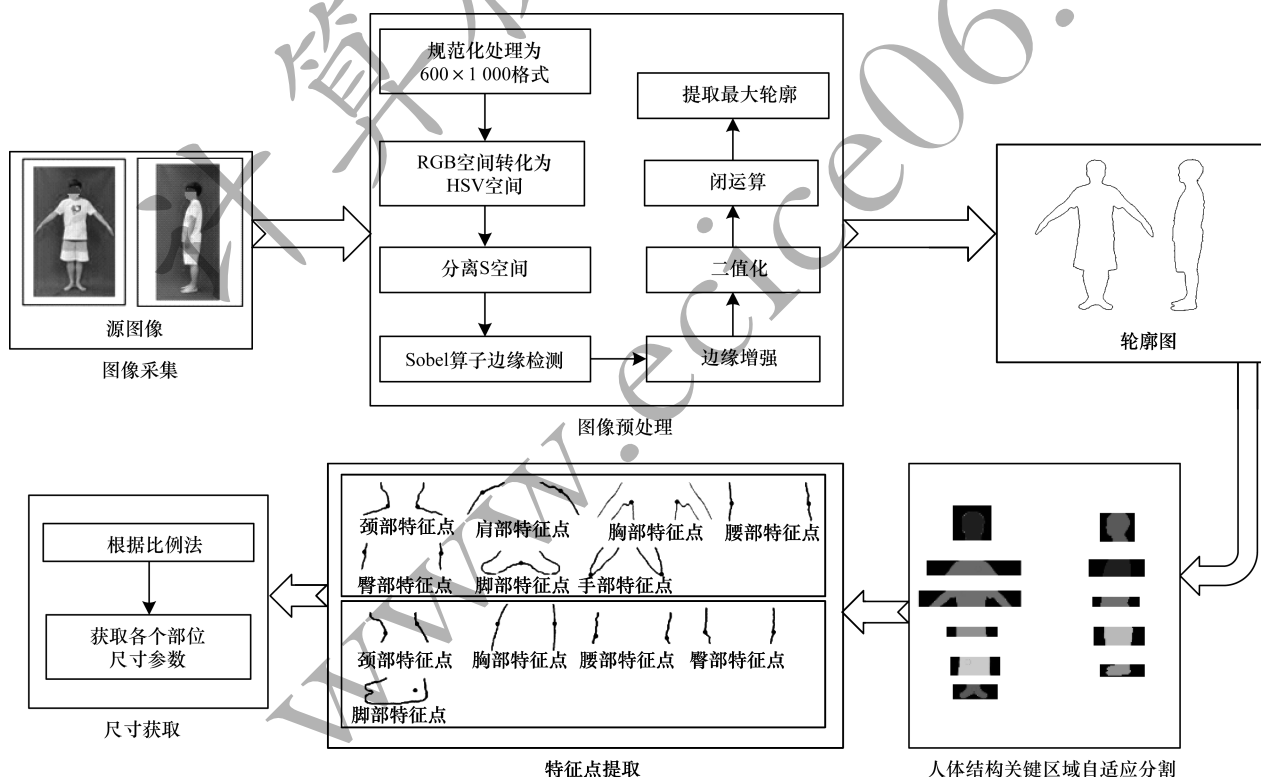


图 1 人体尺寸测量系统流程

Fig.1 Procedure of human bodies dimension measurement system

人体尺寸测量系统流程如下:

1) 在图像预处理过程中,首先将源图像进行规范化操作,然后将图像从 RGB 空间转换为 HSV 空间并分离 S 通道,然后在 S 通道基于多方向的 Sobel 算子和形态学操作提取完整的人体轮廓。

2) 基于 ABSS 算法针对不同体型的用户能够自适应分割出人体结构关键部位的区域范围。

3) 在人体关键特征点提取过程中,分别用最小矩形包围盒算法、最大距离法、局部最大曲率法、断层扫描法在基于分割后的各个关键区域提取特征点。

4) 运用身高比例法获取人体各个部位的尺寸信息。

1.2 照片采集

首先对相机的畸变进行矫正^[14-15],并规定相机的摆放位置(本文经过多次测试,证实相机距离被测者 4 m 远,距离地面高 1.2 m 时效果最好)。为获取完整的人体尺寸信息,要求用户提供特定姿势下的正交图像,双手打开至 30°~45°,姿势测量示意图如图 2 所示。



图 2 姿势测量示意图

Fig.2 Schematic diagram of posture measurement

1.3 图像预处理

颜色空间是图像中最基本的特性之一。目前,计算机显示的彩色图像一般都是用 RGB 空间来表示和存储像素点的颜色信息。由于 RGB 颜色空间中每个分量不仅代表像素的颜色还代表像素的明暗程度,因此各个分量的颜色值易受环境光强影响^[16-17]。相比于 RGB 颜色空间,HSV 颜色空间由 H 分量专门负责表示像素的色调, S 和 V 分量表示像素的饱和度和亮度,由于常见的拍摄背景多为红色、蓝色,并且饱和度较高,因此将图像从 RGB 颜色空间转换为 HSV 颜色空间,然后在饱和度 S 通道图像中利用多方向 Sobel 算子提取完整的人体轮廓,避免了引入环境光线的影响。

由于传统多方向 Sobel 算子^[18]提取轮廓采用均值融合,从而导致该算法在实际运用中提取人体轮廓的效果不佳,因此本文提出基于线性加权融合的算法对多方向梯度图进行处理,算法步骤如下:

步骤 1 输入源图像。

步骤 2 将输入的 RGB 图像转化为 HSV 色彩空间图像。

步骤 3 提取 HSV 色彩空间中的饱和度 S 通道。

步骤 4 运用多方向 Sobel 算子获取饱和度 S 通道 4 个方向的梯度图像,如式(1)所示:

$$\begin{aligned} G_x &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \times S, G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} \times S \\ G_{45^\circ} &= \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & +1 \\ 0 & +1 & +2 \end{bmatrix} \times S, G_{135^\circ} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \\ +2 & +1 & 0 \end{bmatrix} \times S \end{aligned} \quad (1)$$

步骤 5 通过线性加权融合获取图像的绝对梯度,如式(2)所示:

$$G = |G_x| \cdot \alpha + |G_y| \cdot \beta + |G_{45^\circ}| \cdot \chi + |G_{135^\circ}| \cdot \lambda + \delta, \delta > 0 \quad (2)$$

步骤 6 将图像二值化后输出最大轮廓:

$$D = \begin{cases} 1, G > Th + \delta \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中, G_x 、 G_y 、 G_{45° 、 G_{135° 分别为水平、竖直方向、45°和 135°的梯度, S 为 HSV 图像中的 S 通道, G 为轮廓提取结果, α 、 β 、 χ 、 λ 分别为水平、竖直方向、45°和 135°梯度矩阵图的权重, δ 为增强参数, Th 为阈值, 本文取 0.5, D 为二值化图形, 式(3)中的 1 代表人体部位, 0 代表背景。

1.4 轮廓提取结果

轮廓提取结果如图 3 所示, 其中, 图 3(a) 为源图像, 饱和度 S 通道如图 3(b) 所示, 通过提取边缘轮廓, 并经多次实验验证, 当权值 α 、 β 、 χ 、 λ 和 δ 分别为 0.25、0.33、0.22、0.2 和 120 时效果最好, 如图 3(c) 所示, 筛选最大轮廓如图 3(d) 所示。

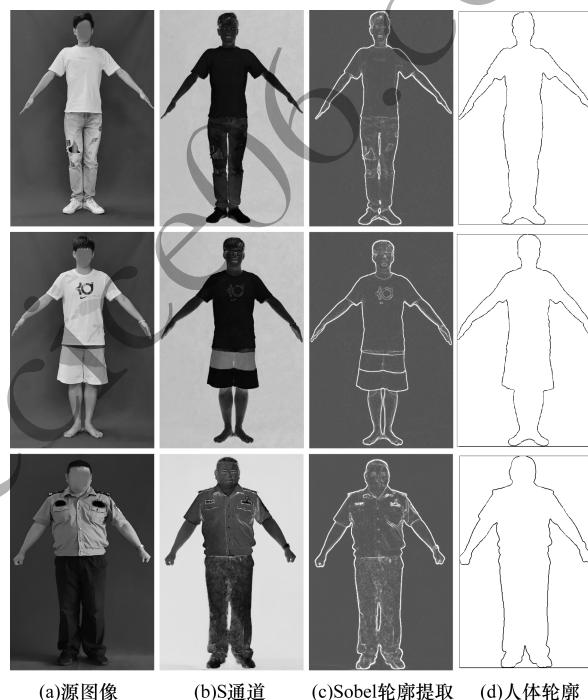


图 3 轮廓提取结果

Fig.3 Result of contour extraction

2 人体结构关键区域自适应分割

2.1 传统算法特征点提取

目前,传统图像检测算法依据欧美 CAESAR 人体数据集^[19]提供的人体结构关键部位与身高的比例关系,直接通过断层扫描法提取特征点,并没有考虑东西方人体的差异性。本文参考国际 GB/T 10000—88《中国成年人人体尺寸》,以及 2009 年中国标准化研究院完成的中国成年人人体尺寸抽样试点调查^[20]工作中获

取的亚洲人体数据信息,并与国外数据进行对比,如表 1 所示,其中,表 1 中加粗字体为参数相差较大值。

表 1 欧美与亚洲人体关键部位与身高的比例
Table 1 Ratio of key body parts to height in Europe, America and Asia

性别	身高	肩部	胸部	腰部	臀部
男(东方)	1.00	0.844	0.720	0.600	0.467
男(西方)	1.00	0.833	0.760	0.625	0.458
女(东方)	1.00	0.810	0.720	0.630	0.530
女(西方)	1.00	0.823	0.745	0.600	0.460

从表 1 可以看出,东方人体结构关键部位在胸部和臀部的参数值相差较大。

如图 4 所示,针对身材比例、体型不标准的用户,通过传统图像检测法结合亚洲人体参数提取的特征点仍然容易发生误定位,其中图 4 标出的点为准确特征点,横线为表 1 中亚洲人(东方)体参数表示的比例线。

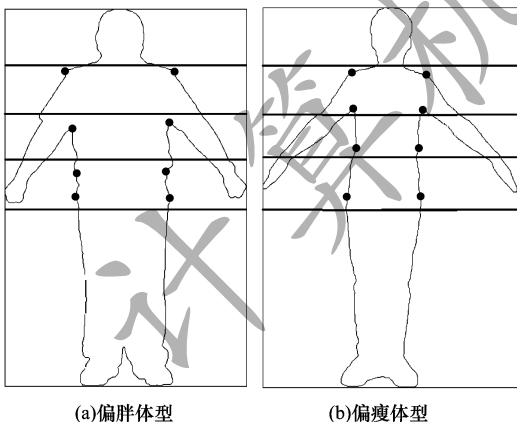


图 4 极端体型用户测量结果

Fig.4 Measurement results of extreme body type users

2.2 人体体型阈值区间的分析

由图 4 可见,将问题扩展到一般性,对于偏胖、正常、偏瘦体型的测量用户,人体结构关键区域划分无法达到一致。由于用户的体型与轮廓的面积有着直接的关系,将人体正面、侧面轮廓面积之和进行归一化处理,原理如式(4)所示:

$$H = \begin{bmatrix} S_1 \cdots \\ S_{160} \end{bmatrix} \xrightarrow{T} \begin{bmatrix} S_1 \cdots \\ S_{160}^I \end{bmatrix}$$
$$T = \frac{(S_n - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} \cdot (\max - \min) + \min \quad (4)$$

为了寻找不同体型分布规律,通过对实地测量的 210 组样本中随机选取 150 组样本进行分析,依据 BMI 值将人体体型粗粒度分成 3 类,分类结果如图 5 所示。为验证体型分类阈值的有效性和准确性,使用另外 60 组样本进行测试,测试结果如图 6 所示(其中圆点为误分类样本)。

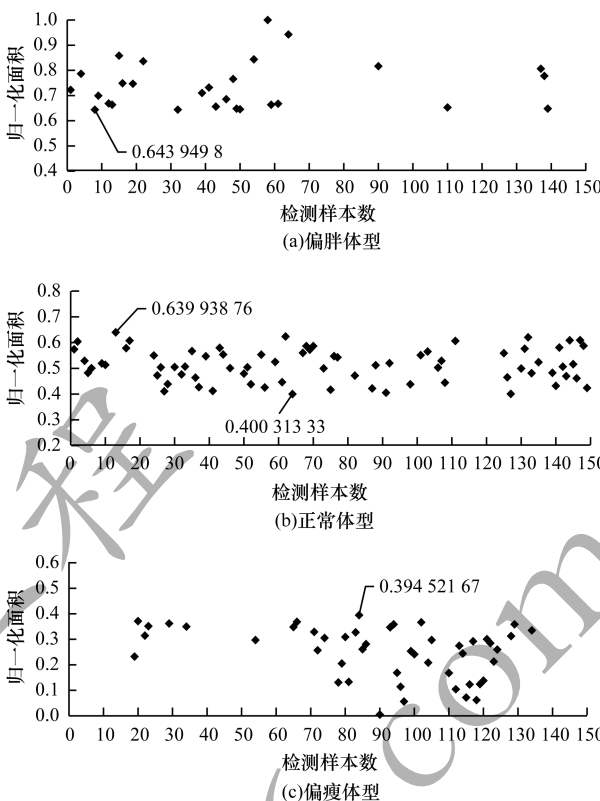


图 5 体型分类结果

Fig.5 Results of body type classification

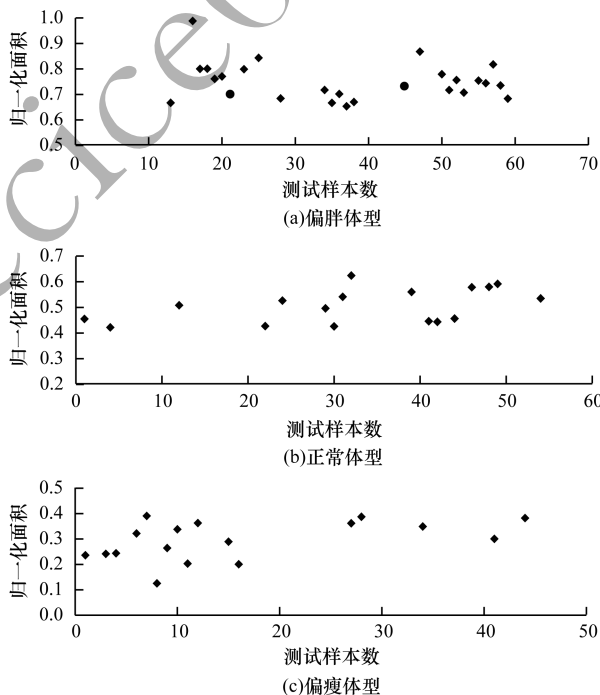


图 6 阈值测试结果

Fig.6 Results of threshold test

由图 5 可知, $S_{\text{偏胖}} \in (0.64, 1]$, $S_{\text{偏瘦}} \in [0, 0.40)$ 。通过图 6 实验结果证实了该方法对人体体型粗粒度分类的准确性。

2.3 人体结构关键区域自适应分割算法

通过对人体体型分类的研究,依据 ISO 85559-1《Size Designation of Clothes》作为人体尺寸特征选

择的标准,并结合表 1 中标准人体参数信息,提出了一种人体结构关键区域自适应分割算法,算法流程如图 7 所示,其中迭代参数 $\Delta t = 0.01$ 。

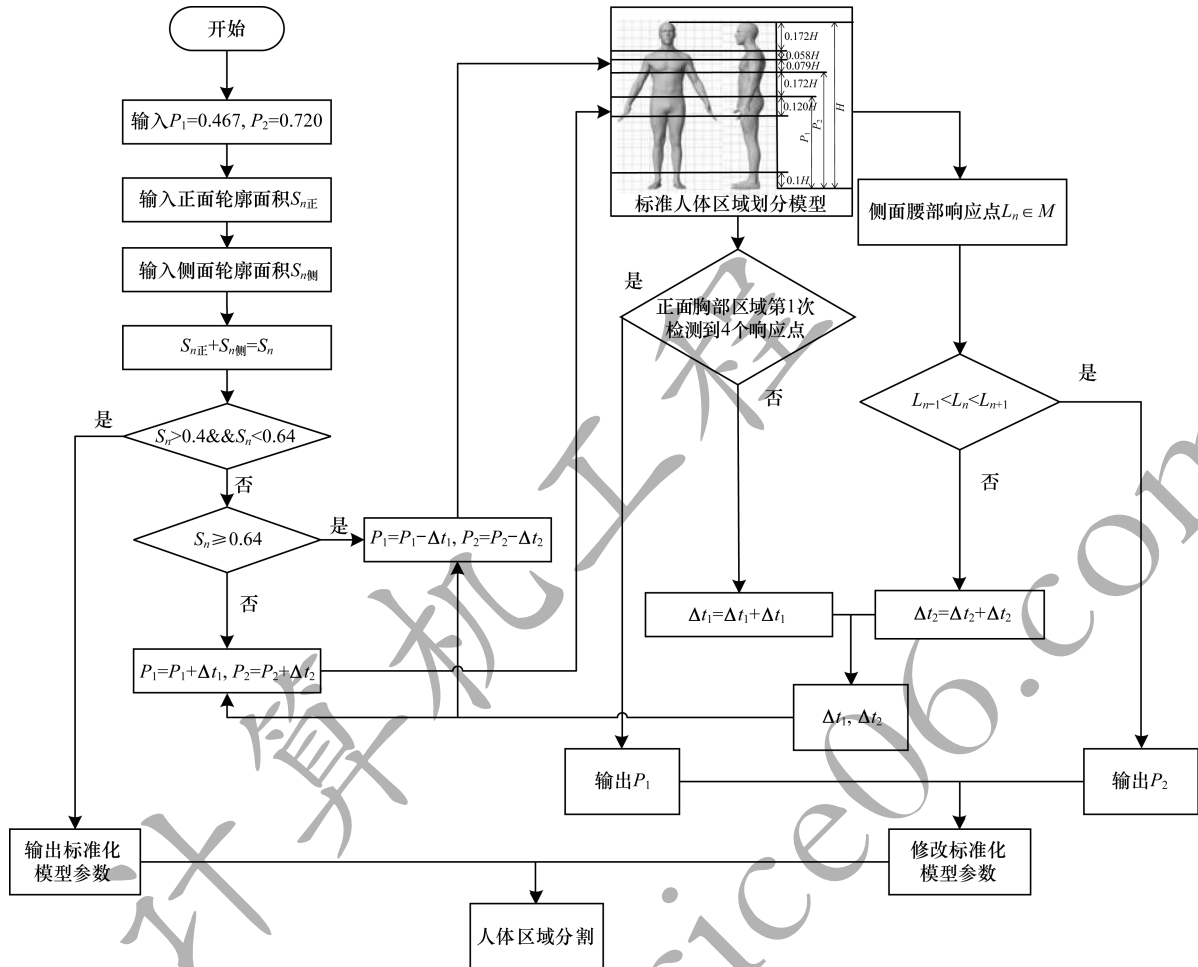


图 7 人体结构关键区域自适应分割算法流程

Fig. 7 Procedure of adaptive segmentation algorithm for key regions of human body structure

3 人体着装特征点提取

人体特征点提取是获取尺寸信息中最关键的步骤之一,目前现有特征点提取的算法都是基于图像自身属性,没有考虑实际测量规范,从而导致算法提取尺寸误差较大。

3.1 颈部特征点提取

传统算法在提取颈部特征点时,针对正面颈部提取颈部距离最小的响应点,从而造成了较大的误差。为此,本文提出基于最大距离法提取正面颈部特征点,如图 8(a)所示(粗线条为颈部区域轮廓线)。

$$f_{\text{正面neck}}(x, y)^{\text{left}} = \max(\overline{p_1 l_1})$$

$$f_{\text{正面neck}}(x, y)^{\text{right}} = \max(\overline{p_2 l_2}) \quad (5)$$

其中, l_1 、 l_2 为左右手与头顶连接后的两条颈部特征直线,颈部轮廓线记为 c_1 、 c_2 , $p_1 \in c_1$, $p_2 \in c_2$ 。

针对侧面颈部特征点,目前传统算法是提取 l_A -第七椎点,但依据 ISO 8599-1 测量标准侧面颈部尺寸

应为 l_B -第七椎点,以至于通常会造成测量值偏小,本文依据实际测量规范,加入 30° 的偏移量以减小误差,如图 8(b)所示。

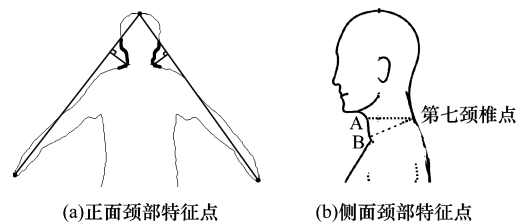


图 8 颈部特征点

Fig. 8 Neck feature points

3.2 肩部特征点提取

形状曲线估计法^[21]分别用 30° 和 45° 的直线作为肩膀手臂的形状估计。由于每个用户张开双臂角度不同,且肩形不同,很难单用某个度数的直线进行形状匹配。

肩部特征点提取步骤如下:

步骤 1 肩部轮廓线为 l ,建立点 $p_i (p_i \in l)$ 的邻域集合,即与 p_i 点的欧式距离最近的 k 个点构成的集合 P_i ,大量实验证实 k 取 8 ~ 10 时效果最好,本文 k 取 8^[25]。

步骤 2 计算所有点 p_i 的平均曲率 C_i 。

步骤 3 对点 p_i 及其邻域集合内任意一点 $p_r \in P_i$,即根据公式 $\bar{C}_i = \frac{1}{k} \sum_{1 \leq r \leq k} C_r$,求集合 P_i 的平均曲率 $\bar{C}_i$,其中 C_r 是点 p_r 的平均曲率。

步骤 4 根据公式 $\sigma_i = \sum_{1 \leq r \leq k} \sqrt{\frac{(C_r - \bar{C})^2}{k-1}}$ 计算局部曲率误差 σ_i ,设置局部阈值 σ ,本文 σ 取 0.3。

步骤 5 当 $\sigma_i \geq \sigma$ 时,保留点 $p_i \in M$,否则删除。

步骤 6 遍历集合 M 选取曲率值最大的点 $p_{\max}$,如果此集合内的任意两点 $p_x, p_y \in P_{\max}$ 都满足公式 $f\left(\frac{p_{x1} + p_{x2}}{2}\right) > \frac{f(p_{x1}) + f(p_{x2})}{2}$,即 $p_{\max}$ 为肩部特征点。

实验结果如图 9 所示,其中图 9(b) 点线为全局拟合曲线,对比图 9(a) 可以明显看出,其提取的曲率最大的点并不是真实的肩部特征点,根据局部最大曲率法提取的待选特征点如图 9(c) 所示,图 9(d) 中星型点为全局拟合曲线的最大曲率点,圆点为局部最大曲率法最终提取到的肩部特征点,结果表明,局部最大曲率法相对于传统角点检测方法提取特征点的精准度更高。

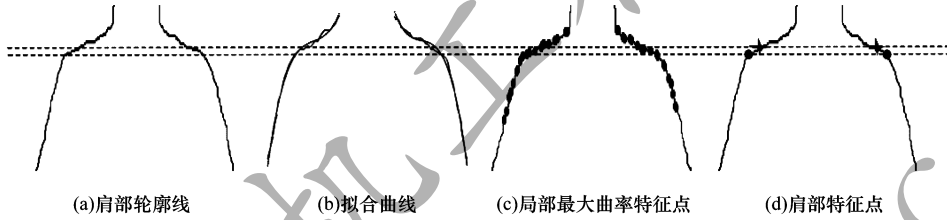


图 9 局部最大曲率法
Fig. 9 Local maximum curvature method

3.3 人体尺寸测量

本文采用身高比例法测量人体尺寸,在测量时,被测量者提供自己的身高 H ,然后根据头顶部 $f_{\text{head}}(x, y)$ 和脚底 $f_{\text{foot}}(x, y)$ 特征点的欧式距离获取比例系数 ω_s 。

基于已提取的人体特征点信息,可以在图片中获取各个部位所占据像素点的个数 p ,在获取到像素点个数之后结合比例系数 ω_s ,即得到各个部位的尺寸信息:

$$\omega_s = \frac{H}{d(f_{\text{head}}(x, y), f_{\text{foot}}(x, y))} \quad (6)$$

$$p_x = d(f_x(x, y)^{\text{left}}, f_x(x, y)^{\text{right}}) \quad (7)$$

$$L_x = p_x \cdot \omega_s \quad (8)$$

其中, X 表示人体不同的身体部位, L 表示测量的尺寸信息。

4 实验与结果分析

本文实验拍摄了 210 组实验样本,为了检验 Human pesm-adss 算法在检测人体体型异构型时的鲁棒性和精确性,对标准差较大的 210 组样本(学生、警察、法院工作人员)进行测试特征点提取实验,部分样本特征点提取结果如图 10 所示,人体各个部位测量数据分析如图 11 所示。

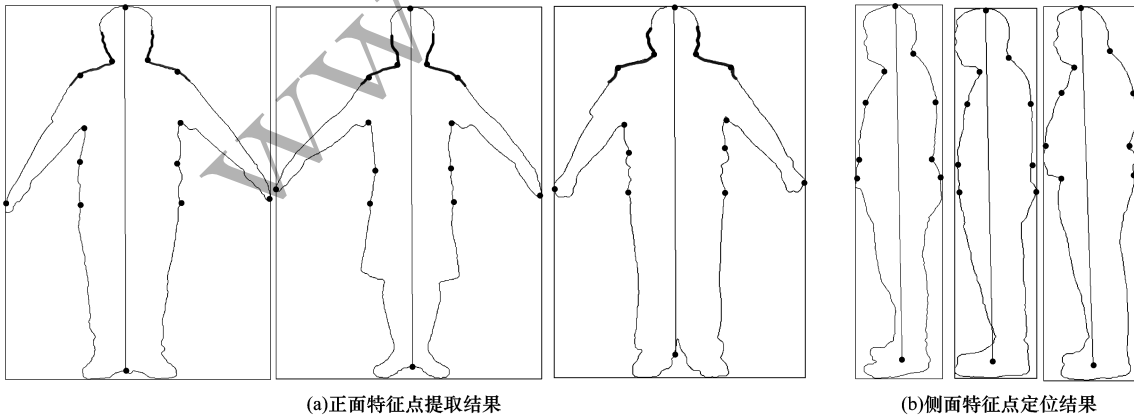


图 10 人体特征点提取结果

Fig. 10 Extraction results of human bodies feature points

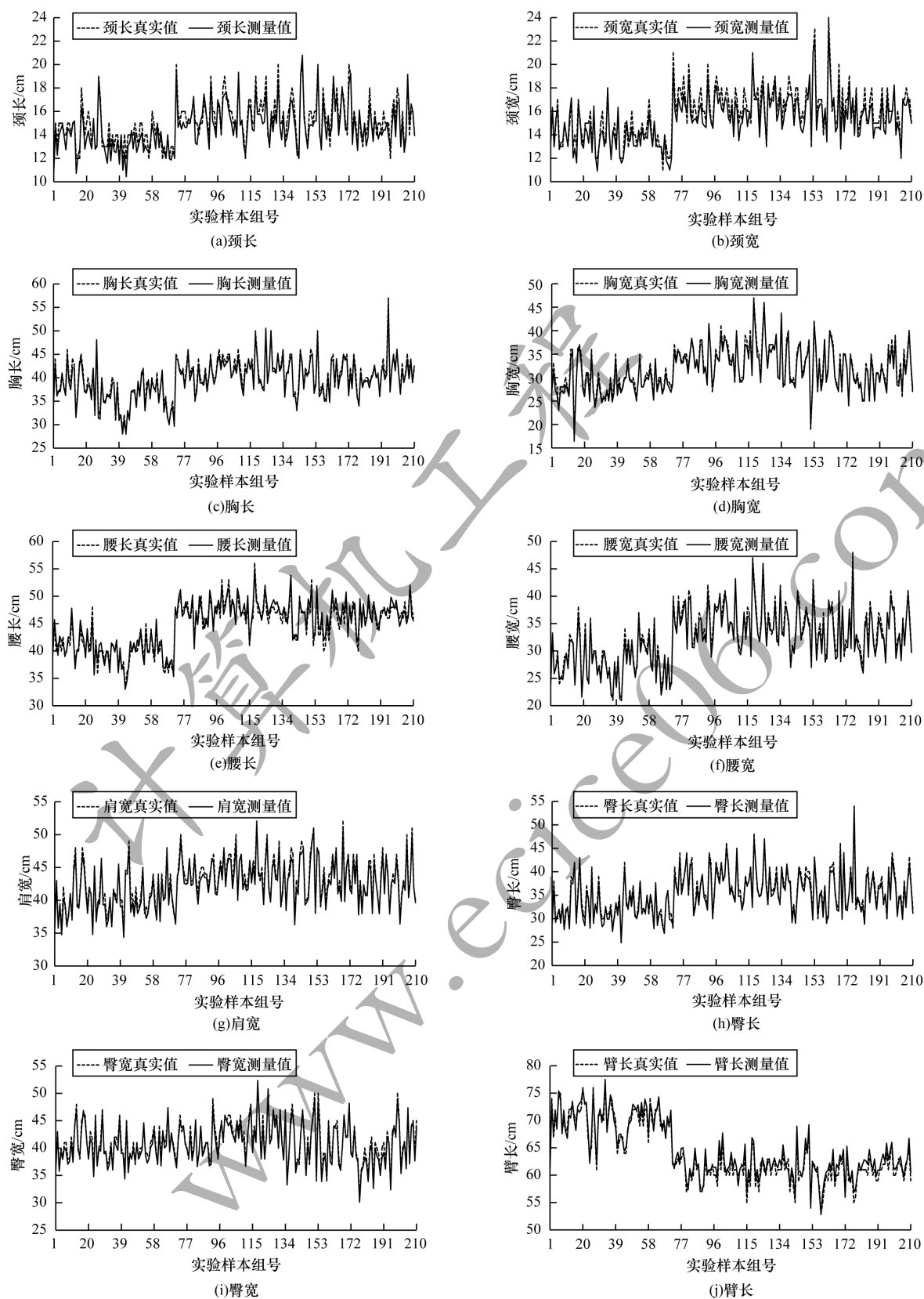


图 11 测量结果与误差分析

Fig. 11 Measurement results and error analysis

为检验算法的性能优势, 本文将传统比例法^[10]、Simple-FCN-ASM 模型^[12]、非闭合 Snake 模

型^[22]和 Human pesm-adss 算法进行比较分析, 特征点提取结果如图 12 所示, 性能分析如表 2 所示。

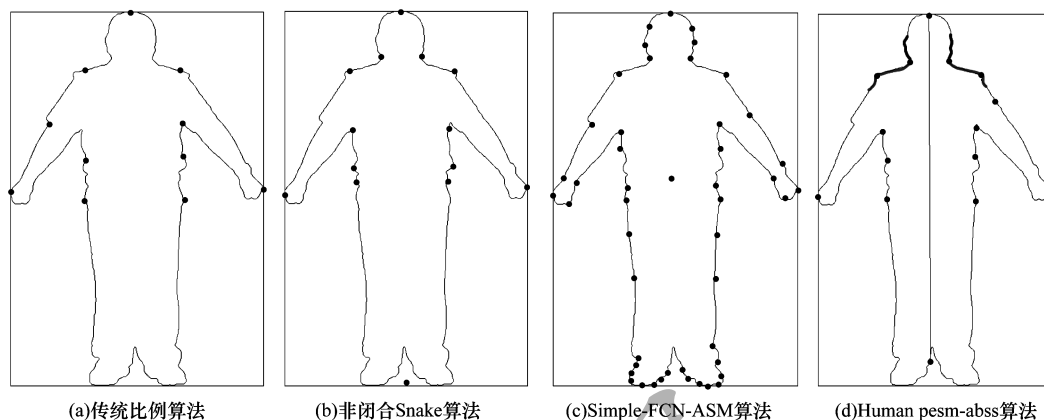


图 12 不同算法特征点提取结果

Fig. 12 Feature point extraction results of different algorithms

表 2 不同算法性能分析

Table 2 Performance analysis of different algorithms

算法模型	平均误差 /cm	最大误差 /cm	提取特征 点个数 (正面)	单个样本 耗时/s
传统比例 算法 ^[10]	4.56	8.00	11	0.124
非闭合 Snake 模型 ^[22]	3.50	5.20	14	1.396
Simple-FCN- ASM 模型 ^[12]	1.56	2.02	49	3.850
Human pesm- abss 算法	1.30	1.98	14	0.298

实验环境为 Window 10 操作系统, E5-1620v4 3.50 GHz 处理器, 6 GB 内存, NVIDIA 1080 显卡。

4.1 Human pesm-abss 算法结果分析

通过对 210 组标准差较大的样本(学生、警察、法院人员)进行测量实验, 由图 10 验证了 Human pesm-abss 算法针对各种体型用户时的鲁棒性, 并且由图 11 证实了该算法测量的精准性, 具体表现为实验测量的尺寸信息与真实值的平均误差为 ± 1.3 cm, 其中最大误差为 $+1.98$ cm。依据 ISO 8559-1《Size Designation of Clothes》中规定人体着装最大误差为 2 cm 以内, 所以 Human pesm-abss 算法误差的大小完全满足人体着装尺寸误差要求, 并且单个样本测量耗时为 298 ms, 显著提升了在线批量测量系统的实时性。

从实验结果可以看出, 实际值与测量值之间仍然存在着一定的误差, 误差的来源主要有以下 3 个部分:

1) 人体站姿不标准, 如测量时驼背会造成身高占据的像素偏小, 使得比例系数 ω 偏大, 最后直接导致所有测量数据偏大。

2) 由于客观因素的影响, 无法要求每位测量者穿着较为紧身的衣服, 这是误差的主要来源之一。

3) 实际测量的尺寸都包含了一定的放松量, 并且放松量一般根据测量师傅的经验判定, 没有量化

的标准, 所以也在一定程度上产生了误差。未来会根据经验总结各款式、材质衣服的放松量, 加入机器视觉识别衣物类型并自适应修改尺寸数据, 从而进一步减少测量误差。

4.2 算法对比分析

传统比例算法提取结果如图 12(a) 所示, 由于仅通过单一特征根据人体比例关系提取关键特征点, 在测量极端体型用户时, 测量结果的精确性较低, 算法的鲁棒性不强。非闭合 Snake 算法虽然无需手动设置初始轮廓, 但仍需根据经验手动调节关键参数。对于 Simple-FCN-ASM 模型而言, 需要建立人体模板对测量用户进行匹配并拟合。在针对标准差较大的样本时, 模板收敛的速度慢, 并且由于下半身基于对称原则提取特征点, 通常模板容易发生单侧偏移从而产生较大的误差。

然而, 这些算法都只涉及了人体正面尺寸信息的提取, 并且是依据图像本身的特性提取关键特征点, 以至于实验测量结果与实际值的误差较大, 无法满足人体着装尺寸的需求。

Human pesm-abss 算法通过改进的多方向 Sobel 算子在 HSV 空间中提取人体轮廓, 避免了非闭合 Snake 算法的手工调参。同时基于 ABSS 算法快速提取人体正面、侧面关键结构区域, 解决了 Simple-FCN-ASM 模型需要长时间迭代收敛的问题。针对人体关键的结构区域, 提出符合 ISO 8559-1《Size Designation of Clothes》规范的算法提取特征点, 整个过程中无需手工操作, 大幅提升了算法的适用性。

由表 2 可知, Human pesm-abss 算法与传统算法相比, 虽然在耗时上增加了 0.174 s, 但在尺寸获取的精确性上有着显著的提升, 使得误差处于人体着衣尺寸误差允许的范围。相对于非闭合 Snake 模型和 Simple-FCN-ASM 模型在平均误差方面减少了 2.2 cm 和 0.26 cm, 并且在耗时方面, 分别缩短了 1.098 s 和 3.552 s, 大幅提升了在线人体尺寸测量系统的实时性。

5 结束语

本文提出一种基于自适应人体结构分割的着装人体多特征点提取与尺寸测量算法。该算法运用图像预处理、人体结构关键区域自适应分割、人体关键特征点提取、身高比例法相结合的技术,解决传统图像检测模型检测时间长和极端体型特征点定位不准的问题,并选取 210 组标准差较大的样本(包括学生、警察、法院工作人员)对此算法进行了论证。实验结果表明,该算法测量的平均误差为 ± 1.3 cm,最大误差为 $+1.98$ cm,单个样本测量耗时不超过 0.3 s,相比目前传统图像检测模型,无论在尺寸信息提取的精确度上,还是在时耗方面都有显著的提升。虽然本文方法在具体应用中取得了一些成果,但在实际生活中,领围、胸围和臀围这类具有三维属性的围度信息能够更直观地表示出人体体型状态,因此,下一步将对人体二维尺寸信息转化为三维尺寸信息的方法进行研究。

参考文献

- [1] ZUO Pangli, ZHAO Yi. A design of 3D modeling virtual fitting project for online shopping[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Singapore, Republic of Singapore: IEEE Press, 2011: 1893-1897.
- [2] WANG Jun, LI Xiaojie. Research overview of digitised clothing based on 3D measurement technology[J]. China Textile Leader, 2011(11): 82-84. (in Chinese)
王军, 李晓久. 基于三维测量的数字化服装应用研究综述[J]. 纺织导报, 2011(11): 82-84.
- [3] CHEN Weiwei, CHEN Yan. The development and application of non-contact 3D body measurement technique[J]. Progress in Textile Science and Technology, 2011(6): 88-90. (in Chinese)
陈伟伟, 陈雁. 非接触式三维人体测量技术的进展及应用[J]. 纺织科技进展, 2010(6): 88-90.
- [4] LUO Shunhua, WANG Jianping. Research on 2D image-based non-contact anthropometric technology[J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(8): 151-155. (in Chinese)
骆顺华, 王建萍. 基于二维图像非接触式人体测量方法探析[J]. 纺织学报, 2013, 34(8): 151-155.
- [5] ELBRECHT P, HENNO J, PALM K J. Body measurements extraction from 3D scanner data[J]. Applied Mechanics and Material, 2013, 339: 372-377.
- [6] ALLDIECK T, MAGNOR M, XU W, et al. Video based reconstruction of 3D people models[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City, USA: IEEE Press, 2018: 335-346.
- [7] BOGO F, KANAZAWA A, LASSNER C, et al. Keep it SMPL: automatic estimation of 3D human pose and shape from a single image[C]//Proceedings of European Conference Computer Vision. Amsterdam, the Netherlands: [s. n.], 2016: 125-136.
- [8] MATTHEW L, NAUREEN M, JAVIER R, et al. SMPL: a skinned multi-person linear model[J]. ACM Transactions on Graphics, 2015, 34(6): 150-167.
- [9] ZOU Kun, MA Li, LI Rong, et al. Image-based non-contacting anthropometric method[J]. Computer Engineering and Design, 2017, 38(2): 512-516. (in Chinese)
邹昆, 马黎, 李蓉, 等. 基于图像的非接触式人体参数测量方法[J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(2): 512-516.
- [10] XU Huiming, XIA Likun, YANG Qi, et al. Human featured automatic measurement system[J]. Journal of Image and Graphics, 2017, 22(2): 225-231. (in Chinese)
徐慧明, 夏立坤, 杨琪, 等. 新型人体参数自动测量系统[J]. 中国图象图形学报, 2017, 22(2): 225-231.
- [11] GE Baozhen, GUO Huating, PENG Bo. Automatic model style measurement based on automatic body feature extraction from 3-D scanning data[J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(4): 1994-2019. (in Chinese)
葛宝臻, 郭华婷, 彭博. 基于人体特征提取的模特体形尺寸自动测量方法[J]. 纺织学报, 2012, 33(4): 1994-2019.
- [12] XU Mingxing, LI Zhong. Image-based feature extraction and dimension measurement for human bodies[J]. Computer Systems & Applications, 2018, 27(6): 87-94. (in Chinese)
许明星, 李重. 基于图像的人体特征点提取与尺寸测量[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(6): 87-94.
- [13] ZHU Xinjuan, XIONG Xiaoya. Feature point positioning and modeling approach for human body based on improved ASM[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(2): 286-294. (in Chinese)
朱欣娟, 熊小亚. 基于改进 ASM 模型的人体特征点定位和建模方法[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(2): 286-294.
- [14] ZHANG Zhengyou. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [15] BROWN D C, BROWN D. Close-range camera calibration[J]. Photogrammetric Engineering, 1971, 37(8): 855-866.
- [16] MA Ruiqing, LIAO Ningfang. Influence of illuminant chromaticity on color constancy under RGB-LED light source[J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39(9): 410-418. (in Chinese)
马瑞青, 廖宁放. RGB-LED 光源下光源色度对颜色恒常性的影响[J]. 光学学报, 2019, 39(9): 410-418.
- [17] MAHESWARI S, KORAH R. Review on image segmentation based on color space and its hybrid[C]//Proceedings of International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies. Kumaracoil, India: IEEE Press, 2016: 639-641.
- [18] BORA D J. A novel approach for color image edge detection using multidirectional sobel filter on HSV color space[J]. International Journal of Computerences & Engineering, 2017, 5(2): 154-159.
- [19] ROBINETTE K M, BLACKWELL S, DAANEN H. Civilian american and european surface anthropometry resource final report, volume I: summary[EB/OL]. [2019-10-20]. <https://www.researchgate.net/publication/235056696>.

(上接第 246 页)

- [20] YIN Yan, YANG Jie, MA Chunsheng, et al. Analysis on difference in anthropometry dimensions between east and west human bodies[J]. Standard Science, 2015(7):10-14. (in Chinese)
尹彦, 杨洁, 马春生, 等. 东西方人体测量学尺寸差异分析[J]. 标准科学, 2015(7):10-14.
- [21] MA Li. Research and implementation of non-contacting anthropometric algorithm based on image[D]. Chengdu: Electronic Technology University, 2017. (in Chinese)
马黎. 基于图像的非接触式人体测量算法的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- [22] LI Pengfei, ZHENG Mingzhi, JING Junfeng. Application of image processing in on-line clothes size measurement[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(8):1214-1219. (in Chinese)
李鹏飞, 郑明智, 景军锋. 图像处理在衣服尺寸在线测量中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8):1214-1219.
- [23] LI Pengfei, ZHENG Mingzhi, JING Junfeng. Measurement system of garment dimension based on machine vision[J]. Wool Textile Journal, 2017, 45(3):42-47. (in Chinese)
李鹏飞, 郑明智, 景军锋. 基于机器视觉的服装尺寸在线测量系统[J]. 毛纺科技, 2017, 45(3):42-47.
- [24] GAO Jianshu, YANG Tao. Feature point accurate extraction algorithm of airplane image in residual ice detection[J]. Computer Engineering, 2012, 38(17):205-208, 213. (in Chinese)
高建树, 杨涛. 残冰检测中飞机图像特征点精确提取算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(17):205-208, 213.
- [25] KENNETH F. Fractal geometry: mathematical foundations and application[M]. Translated by ZENG Wenqu. 2nd ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2007. (in Chinese)
法尔科内. 分形几何: 数学基础及其应用[M]. 曾文曲, 译. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2007.

编辑 索书志