

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107583

基于微信小程序的人体尺寸测量系统*

万乐玲^{1,2,3} 行鸿彦^{1,2,3}

(1.南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心 南京 210044; 2.南京信息工程大学 江苏省气象探测与信息处理重点实验室 南京 210044; 3.南京多基观测技术研究院 南京 214044)

摘要:针对传统人体尺寸测量方法不能够实现远程、便捷式测量的问题,提出了一种基于微信小程序的人体尺寸测量系统应用于远程服装定制,设计开发微信小程序设置特定的轮廓获取含有3种姿态的人体图像数据集,采用u-net网络框架进行训练,提取人体轮廓特征图,经过openpose人体姿态估计算法定位人体骨节关键点,提取人体关键部位提取特征点,利用身高比例法、双椭圆模型拟合人体尺寸信息通过微信小程序反馈给用户。以手工测量为标准,人体尺寸测量中二维尺寸测量准确率达97.8%,三维尺寸准确率达89.5%,最终平均总误差为3.19%。实验表明,基于微信小程序的人体尺寸测量系统能够实现便捷式的人体尺寸测量及远程服装定制。

关键词: 人体尺寸测量;远程服装定制;u-net网络;关键点检测

中图分类号: TH761.6 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 420.20

A convenient human body measure method using portable equipment

Wan Leling^{1,2,3} Xing Hongyan^{1,2,3}

(1. Collaborative Innovation Center for Meteorological Disaster Prediction and Evaluation, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Detection and Information Processing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 3. Nanjing Institute of Multi-platform Observation Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Aiming at the problem that traditional body size measurement methods cannot achieve remote and convenient measurement, proposes a body size measurement system based on WeChat applet to be applied to remote clothing customization. The design and development of WeChat applet set specific contour acquisition contains three types the posture of the human body image data set, using the u-net network framework for training, extracting the human body contour feature map, positioning the key points of the human joints through the openpose human body pose estimation algorithm, extracting the key parts of the human body to extract the feature points, using the height ratio method and the double ellipse model the fitting body size information is fed back to the user through the WeChat applet. With manual measurement as the standard, the accuracy rate of two-dimensional size measurement in the body size measurement is 97.8%, the accuracy rate of three-dimensional size is 89.5%, and the final average total error is 3.19%. Experiment it shows that the body size measurement system based on WeChat applet can realize convenient body size measurement and remote clothing customization.

Keywords: human body measure; remote clothing customization; u-net network; key point detection

0 引言

受新冠疫情影响,服装行业受到重创。在服装行业,由于消费者对人体测量方法以及自身体型的掌握并不深入,导致消费者对服装尺码的误判和服装版型是否适合自己有一个不恰当的认识。传统消费者在实体店购买衣服可以进

行现场试衣,随着服装网购行业的蓬勃发展,消费者在线上购买服装的占比与日俱增,由于缺乏线下的试衣体验,常常出现退换现象,消耗了大量的人力物力。

目前国际上人体尺寸测量一般分为接触式和非接触式^[1-2],接触式测量一般指的是手工测量,测量过程中需要测量人员借助测量工具如皮尺、卷尺等对被测人员进行一

收稿日期:2021-08-14

* 基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFE0105500)、国家自然科学基金(62171228)、南京信息工程大学无锡校区研究生创新实践项目(WXCX202005)资助

对一、面对面的测量。这种方法的优点是测量精度高,但在需要远程测量的情况下有一定的局限性。非接触式测量是指在不接触被测物体的前提下进行精确测量,目前,常用的方法有立体摄像测量法、莫尔条纹法、激光测量法、红外测量法、图像测量法等^[3]。Lcc 等^[4]使用 3D 扫描仪对男性下肢体型的轮廓进行研究分类,大型服装公司一般采用激光扫描仪等大型一起设备,但这种仪器价格昂贵且需要在固定场景下进行测量。李鹏飞等^[5]设计了一种服装在线测量系统,利用 CCD 相机采集图像,经过尺度不变特征转换(scale invariant feature transform, SIFT)算法对图像进行筛选后运用 Forstner 算法对服装图像进行角点提取,但该方法精度不高。

针对上述问题,本文设计了一款微信小程序应用于人体尺寸测量,综合利用 u-net 神经网络、边缘检测算子、openpose 人体姿态估计、图像分割技术构建人体尺寸测量基础数据样本,基于微信小程序构建人体尺寸计算模型,用户只需通过手机等便捷式设备登入人体尺寸测量微信小程序,就能实现远程便捷、高精度、低成本的测量。

1 相关工作

1.1 系统流程

基于微信小程序的人体尺寸测量系统主要分为如下几个步骤,如图 1 所示。

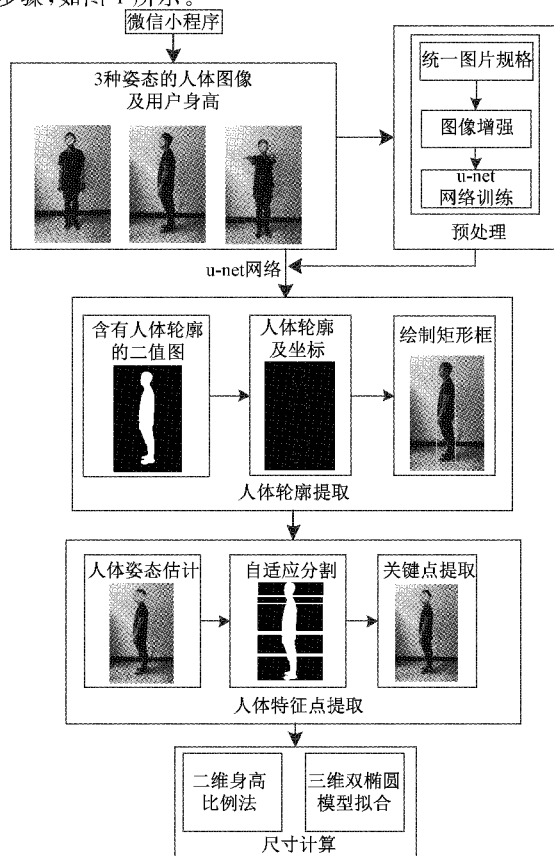


图 1 系统流程

1) 用户通过微信小程序上传正面、侧面、抬手 3 种特定姿势的人体图像以及身高等信息,系统对图像进行预处理,统一大小规格;2) 获取数据集,采用 u-net 网络进行训练,使用 3 种不同姿势的 RGB 人体彩色图像作为网络输入,u-net 网络输出含有人体轮廓的二值图,利用 Canny 算子、最小矩形包围盒算法、遍历算法对图像进行边缘检测和去除冗余背景;3) 使用 openpose^[6]算法进行单人姿态估计,识别出人体的各个部位并自适应对不同部位进行分割提取出人体胸部、腰部、臀部、肩部、头部及脚底关键点;4) 利用身高比例法拟合腿长等各部位人体二维尺寸信息,三维尺寸数据利用双椭圆模型拟合后进行线性修正。

1.2 微信小程序设计

受拍摄角度、环境光线以及镜头本身的影响,摄像头拍摄人体会产生不同程度的畸变。对于需要高精度、低成本的系统,应考虑摄像机镜头的畸变模型,否则会导致较大的误差^[7]。大部分的研究者一般采用定高定距^[8]或采用深度摄像头^[9]的方法降低摄像头本身以及外界环境对图片的影响,但都具有一定的场景限制,影响用户的体验感。本文设计开发一款微信小程序可以同时采集人体图像及测量人体尺寸,通过设定特定的人体轮廓,用户只需将自身轮廓与设定的额人体轮廓重合,就能在较小误差的同时提高用户的体验感。

用户利用手机、平板或电脑端通过登入微信小程序输入性别、身高等个人信息,拍摄时将人体外轮廓与设置轮廓重合,在后台管理平台获得初始样本集,通过人体尺寸测量算法获得测量通过小程序反馈给用户。图 2 为人体尺寸测量系统微信小程序界面。

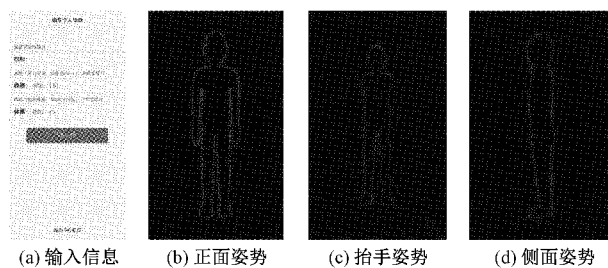


图 2 基于微信小程序拍照轮廓

1.3 数据集

本文通过人体尺寸测量的微信小程序后台管理系统收集制作数据集,图 3 为初始数据集。数据集初始样本数据为 312 组样本图像共 936 张特定姿态的图片,图片大小为 720×1052 ,如图 4 所示。经过图像增强,将初始样本数据集图片通过角度倾斜、左右翻转、平移、调整亮度,高斯模糊等方法进一步扩充,获得样本总量为 14 040 的数据集,随机生成训练集和测试集比例大致为 10 : 1。

2 u-net 人体轮廓提取方法

人体轮廓提取作为非接触式人体测量系统的第 1 步,



图 3 初始数据集

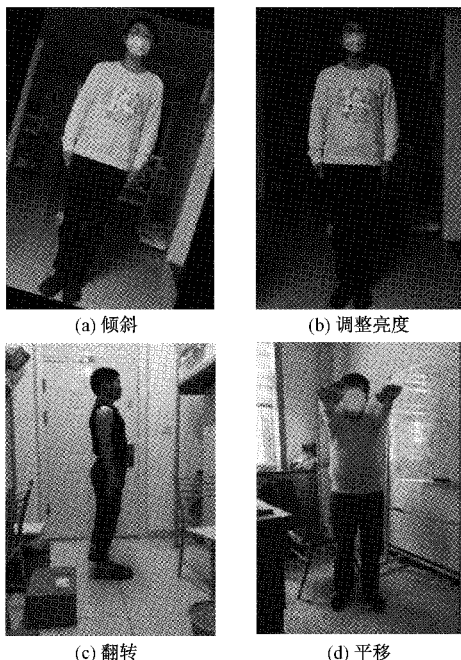


图 4 数据集图像样例

对人体特征部位尺寸的准确提取起着至关重要的作用,目前已有的人体轮廓提取大多先将彩色图片转换为灰度图像

然后进行处理,导致图像大量信息丢失,图像精度下降,使人体轮廓准确度下降^[10]。人体图片常常伴有噪声点和冗余不闭合的边缘信息,给人体轮廓精准提取造成了极大的困难。深度学习方法近年来在计算机视觉领域中取得了相当大的进步^[11]。本文利用 u-net 网络进行人体轮廓提取,利用 u-net 网络的编码器-解码器结构框架和特征尺度融合的特性,在编码时每一个池化层前的特征与解码后的特征进行通道维度的拼接。使用人体正面、侧面及抬手 3 种类型的 RGB 彩色图片作为输入,输出一个含有人体轮廓的二值图,通过对输出图像进行 Canny 边缘检测获得人体轮廓信息及人体轮廓坐标。

2.1 u-net 网络

在深度学习应用于图像分割的主要模型有 u-net、FCN、SegNet 等,2014 年 Long 等^[12]首次使用全卷积网络 (fully convolutional networks, FCN) 对原始图像进行像素级的分割,定义一种跳过体系结构,结合来自深层的粗糙层的语义信息和来自浅层的精细层的外观信息易产生准确而详细的分割。SegNet^[13]在 FCN 的基础上增加了解码器,是一种用于图像分割的深度卷积编解码结构,结合编码器与解码器,编码器不使用全连接层,解码器中使用反池化对特征图进行上采样,在分割中保持高频细节的完整性。

为了快速准确的获取人体详细的轮廓信息,本文使用基于 keras 框架的 u-net 网络,利用 u-net 网络在小数据集上训练,实现应用于尺寸测量的人体轮廓提取。u-net 网络是一个 U 型的编解码结构,由下采样和卷积组成的编码结构进行特征提取,解码结构用于图像恢复,跳跃链接层将最后一层的预测与浅层预测结合起来产生更详细的细节。本文在原始 u-net 网络模型做了修改。首先将网络模型扩大,增加两层编解码提高网络深度来获得边缘细节,然后减少每层网络中的卷积核数,网络模型如图 5 所示。

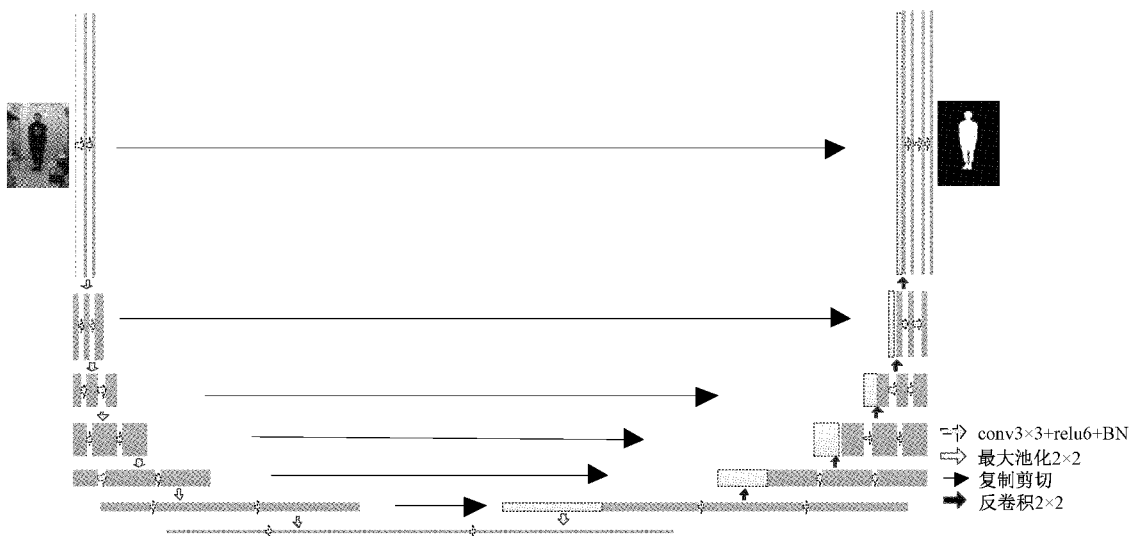


图 5 改进的网络结构

本文使用的网络由收缩和扩张两条路径组成,通过 3×3 卷积的 14 次重复应用,卷积层之间引入特征归一化函数减少过拟合,每次收缩路径中均带有线性整流激活函数(relu6)。卷积运算后,进行 2×2 最大池化反应,步长为 2 pixel。扩张路径中卷积层组织相似,上采样采用 2×2 反卷积使特征图大小扩大 2 倍,生成的特征映射与收缩路径中生成的特征映射在跳跃链接层拼接,最后一层使用 1×1 大小的卷积核数生成前景和背景的概率图。单个像素点 i 的损失函数为:

$$E = \sum_{x \in \Omega} \omega(x) \log(p_{l(x)}(x)) \quad (1)$$

其中, x 为某个像素点, $l(x)$ 表示 x 对应的类别标签, $p_{l(x)}$ 代表点 x 在对应的标签类别的激活值, $\omega(x)$ 表示像素点权重。

使用方法 1^[14]与本文方法进行比较,如图 6 所示。该方法通过 FCN 构建编译网络提取图片特征,通过形态学方法得到人体轮廓。通过比较可以看出本文在头顶、脚尖等边缘细节部位线条更加精细,更便于提高后续人体尺寸测量的精度。

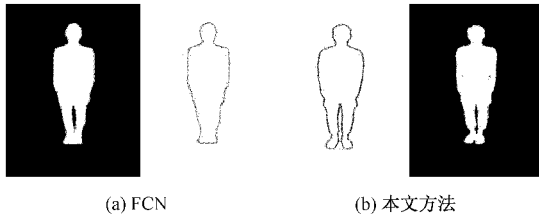


图 6 不同方法提取人体轮廓的对比

2.2 轮廓提取

Canny 边缘检测算是目前最常用的边缘检测方法之一^[15],位莹杰等^[16]对 Canny 算子进行优化研究,增加了图像边缘的连续性。本文采用 Canny 边缘检测算法提取人体边缘轮廓并获取人体轮廓坐标,根据边缘检测的轮廓获得人体矩形包围盒如图 7 所示,利用逐点扫描法在人体矩形包围盒范围内进行扫描计算获得边框顶点坐标 $f_v(x, y)$ 和底部坐标 $f_u(x, y)$ 的欧氏距离 p_h ,得到初步像素身高信息。

$$p_h = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

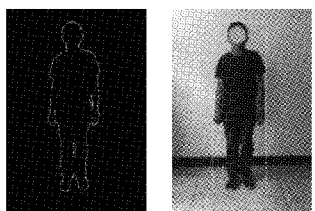


图 7 人体轮廓信息

3 人体特征点提取

在基于便捷式设备的人体尺寸测量过程中,人体特征点的精准提取决定这后续人体尺寸的计算以及围度拟合的准确性。一般关键点检测的方法有基于人体比例的关键点检测算法、基于人体轮廓编码的关键点检测算法和基于人体轮廓分割的人体关键点检测算法。基于人体比例的关键点检测算法是根据人体部分占比身高的比例来提取特殊部位的关键点,这种方法计算简单但精度不高;基于人体轮廓编码的关键点检测算法是根据人体轮廓特点来寻找特殊部位的关键点,该方法检测效率高但容易误检、漏检和多检。因此,基于上述问题,本文基于 openpose 人体姿态估计算法,提出一种适用于人体尺寸测量的关键点检测算法。首先采用 openpose 人体姿态估计算法检测出人体各部位骨节关键点如图 8 所示,根据骨节关键点的位置分割人体,依照实际测量规范按照一定的比例检测出人体头部、肩部、胸部、腰部、臀部、脚踝等特征位置。

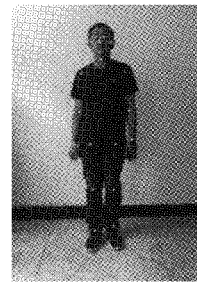


图 8 openpose18 点人体模型

3.1 openpose 人体姿态估计

openpose 整体网络结构如图 9 所示,首先输入的 RGB 彩色图像通过 VGGNet 的前 10 层创建特征映射 F ,然后通过两分支的多阶段 CNN 进行处理,分支一用于预测关键点置信度网络 S :

$$S_1 = \rho^1(F) \quad (3)$$

$$S^t = \rho^t(F, S^{t-1}, L^{t-1}), \forall t \geq 2 \quad (4)$$

根据式(3)和(4)进行迭代预测,将输入图像的特征 F 与上一阶段的预测串联,迭代 t 次后从不断更新部分亲和场得到关键点置信图 S^t ,其中 p^t 表示在第 t 次迭代的 CNN,分支 1 输出 19 个特征图,分别代表 18 个人体关键点和背景。

分支 2 用于预测关键点亲和度向量场 L :

$$L^1 = \Phi^1(F) \quad (5)$$

$$L^t = \Phi^t(F, S^{t-1}, L^{t-1}), \forall t \geq 2 \quad (6)$$

其中, Φ^1 为第 1 阶段推理的 CNNs, Φ^t 为第 t 阶段的 CNNs,根据式(5)和(6)原始图像特征 F 与每个阶段的预测结果共同用于精准预测关键点亲和度向量场 L^t 。

3.2 特征点提取

根据国家标准发布的《中国成年人人体尺寸》^[17]标定

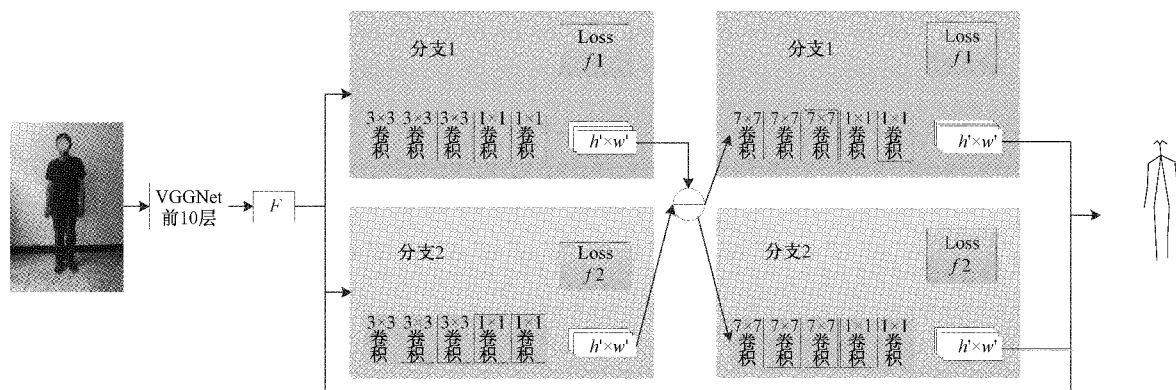


图 9 openpose 网络结构

的人体尺寸比例,传统算法在提取胸部关键点时利用手臂与身体形成的夹角作为特征提取胸部关键点,由于用户拍照姿势与计算二维胸部尺寸有直接的关系。侧面张开手臂的角度与计算胸宽尺寸的误差有不同程度的关系,如表 1 所示。

表 1 不同角度对应的胸厚值 cm

性别	男	女
真实胸宽	31.0	28.0
侧面抬起 30°	28.5	26.8
侧面抬起 60°	27.9	25.5
侧面抬起 90°	26.1	24.9
正面抬起	30.1	27.3

注:加粗字体为与真实胸宽相差较小值。

人体胸宽在手臂展开不同角度时与真实胸宽的参考值相差较大,在手臂正面抬起是误差最小。本文将侧面张开双臂改为将手臂正面抬起,降低由于衣物不贴身而产生的误差,如图 10 所示。

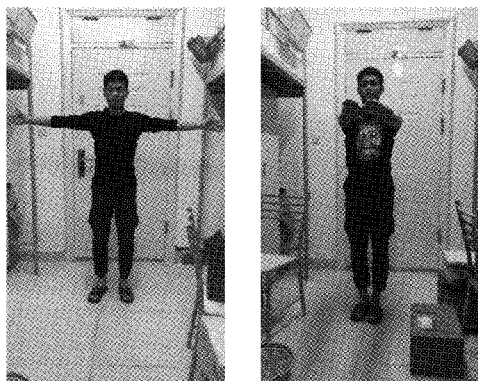


图 10 不同拍照姿势对比

对于正面图像需要提取人体头顶、肩部、脚底关键点,对于侧面图像需要提取人体头顶、肩部、胸部、腰部、臀部、脚底关键点。根据 openpose 人体姿态估计算法获得人体 18 个关键位置点坐标自适应将人体分割,具体算法过程

如下。

1) openpose 算法提取出 18 个骨节关键点。

2) 建立人体骨节关键点坐标集合 $K_{(x_i, y_i)}$, 建立人体轮廓坐标集合 $P_{(x_j, y_j)}$ 根据公式 $x_{head} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{x_i}$ 计算出人体中点遍历集合 $P_{(x_j, y_j)}$ 求出整体与 x_{head} 对应的 y 的集合,找出集合中的最小元素 $miny$ 得到头顶关键点。

3) 将图像以眼部、肩关节、腕关节、膝关节纵坐标部位自适应分割。

4) 使 $y \in K_{y_i}$, 利用公式计算出关键点位置:

$$y_{shoulder} = (K_{y_{shoulder}} - K_{y_{nose}}) * \sigma_i + K_{y_{neck}} \quad (7)$$

$$L = \pi(b_i - b_1) + 4a_i - 2(b_i + b_1) \quad (8)$$

$$y_{chest} = (K_{y_{shoulder}} - K_{y_{nose}}) * \sigma_i + K_{y_{neck}} \quad (9)$$

$$y_{waist} = (K_{y_{hip}} - K_{y_{nose}}) * \sigma_i + K_{y_{nose}} \quad (10)$$

$$y_{waist} = (K_{y_{hip}} - K_{y_{nose}}) * \sigma_i + K_{y_{nose}} \quad (11)$$

其中, σ_i 为各部位系数尺寸信息。

5) 遍历集合 $P_{(x_i, y_i)}$, 找到与 y_j 相匹配的 x_j 。

实验结果如图 11 所示,其中人体边框三角点位为人体关键部位特征点,人体内圆点为骨节关键点。

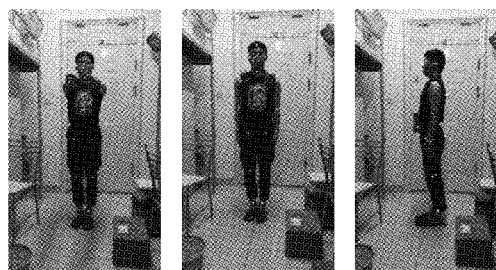


图 11 人体关键点提取

4 人体尺寸测量

人体尺寸主要包含二维及三维尺寸信息,如表 2 所示。

4.1 尺寸计算

本文使用身高比例法,利用用户输入身高与轮廓边框

表 2 人体尺寸信息

尺寸信息	类别
二维尺寸信息	身高、身长、腿长、手长、
	肩宽、肩厚、胸宽、胸厚、
	腰宽、腰厚、臀宽、臀厚
三维尺寸信息	肩围、胸围、腰围、臀围

的欧氏距离获得人体比例系数 $r_i = H / \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$, 结合各部位像素信息得到二维尺寸数据。

三维尺寸数据无法从图像中直接获取,需要通过二维尺寸信息拟合获取三维尺寸数据。二维图像非接触式人体测量方法的围度尺寸的提取有曲线拟合、回归方程、图形数学模型、灰色关联分析等研究方法^[18]。

本文采用曲线模型拟合的方法对人体臀围、腰围数据进行实验,首先算出胸宽、胸厚、腰宽、腰厚等二维尺寸数据然后进行数据拟合,拟合模型基于椭圆模型的基础上利用双椭圆模型算法如图 12 所示,然后进行线性修正。

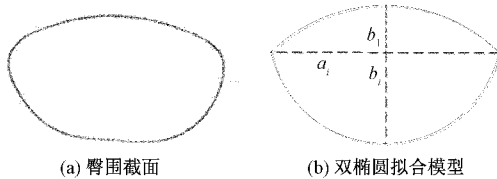


图 12 人体臀部模型拟合

人体臀围、腰围信息计算:

$$b_1 = \frac{y_{shoulder}^{right} - y_{shoulder}^{left}}{2} \quad (12)$$

$$b_i = \frac{K(y_j) - K(y_i)}{2} \quad (13)$$

$$L = \pi(b_i - b_1) + 4a_i - 2(b_i + b_1) \quad (14)$$

其中, L 为人体腰部、臀部的三维尺度信息。参考徐枫等^[19]对胸围拟合的回归分析,结合本文对人体特征点提取计算人体胸围尺寸:

$$D_{bust} = 16.202 + 2.13 \times T_{bust} + 0.93 \times W_{bust} + 0.172 \times W - 0.761 \times T_{shoulder} \quad (15)$$

其中, W_{bust} 为体重信息, D_{bust} 为输出的胸围尺寸信息。

4.2 误差分析

实验对 30 位不同年龄、不同性别、身着贴身衣物的被测者利用本文方法进行尺寸测量,实验结果与人工测量结果如表 3 所示。

以手工测量为参照,图 13 为方法 1 和方法 2^[20]与本文方法的人体尺寸测量数据结果对比,可以看出本文方法与手工测量数据最接近,尺寸测量精度更高。

本文最终平均误差在 3.19%,近半年使用本系统超过 500 例的在线服装定制充分说明本文测量方法在人体测量和服装定制与手工测量结果趋于稳定和一致,给远程在线服装定制提供新方向。

表 3 人体尺寸测量平均误差

人体部位	手工测量	方法 1	方法 2	本文方法
身长/cm	42	39.95	40.12	40.89
腿长/cm	82	84.13	83.95	83.39
肩宽/cm	38	40.02	39.12	38.66
胸围/cm	92	85.52	95.86	90.56
腰围/cm	65	63.51	69.69	66.34
臀围/cm	82	77.64	80.09	83.51
平均总误差/%	0	4.65	3.93	3.19

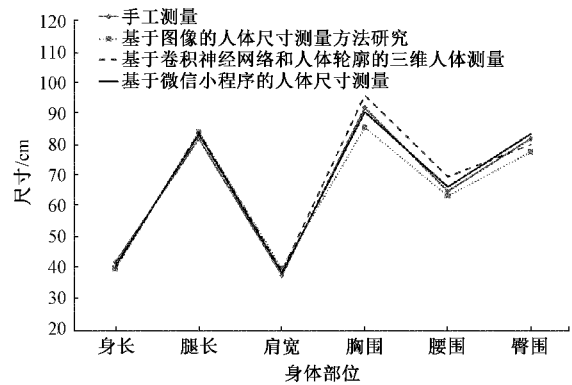


图 13 3 种方法测量结果对比

5 结 论

本文基于微信小程序实现了人体尺寸测量,设计特定的人体拍照姿态轮廓,用户按照轮廓指示进行特定姿态图像的拍摄。通过使用 u-net 网络对数据集进行训练获得人体轮廓,利用 openpose 人体姿态估计算法自适应分割人体检测出关键部位特征点,然后利用模型拟合、数学回归分析方法计算出人体尺寸并反馈给用户。本文实现了一种基于微信小程序的人体尺寸测量,使远距离非接触式精准快速测量人体尺寸成为可能,为私人订制,在线定制服装电子商务提供了便捷。

本文在人体尺寸测量方法中还需进一步改进,对于人体各部位尺寸数据准确率还需进一步提高,人体三围尺寸部位计算还需细化,增加颈围、腿围等尺寸计算也是下一步研究内容。对于人体尺寸的远程便捷式精准测量并应用于在线服装私人订制仍是一个值得探究的课题。

参考文献

- [1] 杨春雨,顾振,张鑫,等. 基于深度学习的带式输送机煤流量双目视觉测量[J]. 仪器仪表学报, 2021, 41(8): 164-174.
- [2] 张微,奚桐. 基于单个 kinect 红外测量技术的人体着装测量研究[J]. 上海纺织科技, 2016, 44(5): 47-50.
- [3] 师乐. 基于二维图像实时个性化人体模型重建算法的研究[D]. 西安:西安工程大学, 2019.
- [4] LEE K S, SONG H K, KIM S, et al. Categorization

- of lower body shapes of abdominal obese men using a script-based 3D body measurement software [J]. *Fashion and Textiles*, 2020, 7(1):1-16.
- [5] 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.
- [6] CAO Z, HIDALGO G, SIMON T, et al. OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2018, 43(1): 172-186.
- [7] 张靖, 朱大勇, 张志勇. 摄像机镜头畸变的一种非量测校正方法[J]. *光学学报*, 2008(8):1552-1557.
- [8] 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.
- [9] ADIKARI A, GANEGODA N, WANNIARCHI W. Non-contact human body parameter measurement based on kinect sensor[J]. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 2017, 19(3):2278-2661.
- [10] YANG M, GUO P P, LIU G L, et al. Method of human body contour extraction based on HSV color model[C]. *The Textile Bioengineering and Informatics Symposium*, 2015:504-510.
- [11] 黄夏阳, 张涛, 朱秋煜, 等. 天空背景红外图像序列弱小目标检测算法研究[J]. *电子测量技术*, 2021, 44(13): 138-144.
- [12] LONG J, SHELHAMER E, DARRELL T. Fully convolutional networks for semantic segmentation[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2015, 39(4):640-651.
- [13] BADRINARAYANAN V, KENDALL A, CIPOLLA R. SegNet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2017, 39(12):2481-2495.
- [14] 路煜. 基于全卷积的编解码网络的人体轮廓提取方法研究[J]. *信息与电脑(理论版)*, 2020, 32(3): 47-48, 52.
- [15] 赵昆越, 田汉民, 郭丹, 等. 基于特征点检测的接触角自动测量方法[J]. *电子测量与仪器学报*, 2018, 32(11): 147-153.
- [16] 位莹杰, 师红宇. 基于 Canny 算子的优化研究[J]. *国外电子测量技术*, 2021, 40(8):77-81.
- [17] 张靖, 朱大勇, 张志勇. 摄像机镜头畸变的一种非量测校正方法[J]. *光学学报*, 2008(8):1552-1557.
- [18] 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.
- [19] 徐枫, 张浩, 郑嵘. 照相测量中胸围拟合的回归分析[J]. *纺织学报*, 2006(8):49-52.
- [20] 王巨峰. 基于卷积神经网络和人体轮廓的三维人体测量[D]. 杭州:浙江大学, 2018.

作者简介

万乐玲, 硕士研究生, 主要研究方向为仪器仪表技术、图像信号检测与处理。

E-mail: 20191219101@nuist.edu.cn

行鸿彦(通信作者), 教授, 主要研究方向为气象仪器设计与计量、信号检测与处理等。

E-mail: xinghy@nuist.edu