

文章编号: 2095-2163(2020)11-0016-05

中图分类号: TP311

文献标志码: A

# 一种 PCL 与改进积分法人体体型的测量

张洪伟, 李捍东

(贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 随着经济的快速发展,传统人体三维测量技术凸显越来越多的问题,不仅耗时耗力,而且测量结果不准确。当前,在虚拟拟合、电子商务、人体设计等方面均需要更加精确的尺寸。本文对相机采集人体多个角度的图像、输入图像的仿射校正、特征点匹配、模型边缘化和降噪处理进行了研究,并应用 PCL 与改进的积分法分别计算围度和长度。经过对 88 号标准人台模型反复实验测量,以及与标准尺寸对比分析,验证了所提方法的适用性。经对多名男性和女性进行实际测量,将测量结果与 Kinect 测量结果对比分析,证明本研究提出的方法具有较好的鲁棒性和精确性。

**关键词:** 仿射校正; 点云模型; 特征点匹配; PCL; 积分法

## The invention relates to the measurement of human body shape by PCL and improved integral method

ZHANG Hongwei, LI Handong

(School of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**[Abstract]** With the rapid economic development, traditional three-dimensional human body measurement technology has highlighted more and more problems, which not only consumes time and effort, but also has inaccurate measurement results. Currently, more precise dimensions are required in terms of virtual fitting, e-commerce, and human body design. The camera collects images from multiple angles of the human body, the input image affine correction, feature point matching, model marginalization and noise reduction processing are studied, and PCL and improved integration method are used to calculate the circumference and length respectively. The applicability of the proposed method is verified by repeated experimental measurement of the No. 88 standard man-table model and comparison and analysis with the standard size. The applicability of the proposed method is verified by repeated experimental measurement of the No. 88 standard man-table model and comparison and analysis with the standard size.

**[Key words]** Affine correction; Point cloud model; Feature point matching; PCL; Integral method

### 0 引言

三维人体测量,是通过对人体各部位的尺寸和人体体型进行测量,进而研究人体形态特征技术的方法。近年来国内外相关研究机构已经推出多种不同类别和型号的三维人体测量系统。

突出的前沿研究有:云从科技公司提出的基于单帧图像 3D 人体重建技术,在 Human3.6M、Surreal 和 UP-3D 三个数据集上,将原有最低误差降低 30%,提高了后期三维测量的精确性。德国的 VITUS SmartXXL 扫描仪,基于激光光学三角测量,是目前较为精确的无接触人体测量方式。R. Nakamura<sup>[1]</sup>开发了一种新的 VFR,利用两种 Kinects 进行身体测量和尺寸估计,可以获得更准确的测量结果。万燕<sup>[2]</sup>提出一种利用 Kinect 实现扫描,三维重建技术建立一个新的人体成分分析系统。但此种

方法存在环境的干扰,影响重建信息提取的问题,进而会影响人体成分分析的精确性。Tomi B、Sunar MS<sup>[3]</sup>提出基于角度算法和椭圆周长方程处理及 VFR 技术,实现动态测量各种人体尺寸。但此方法存在计算量大,测量速度慢的特点。Dan song<sup>[4]</sup>提出了语义参数化模型实现重构,通过比较 PCA 权重反映和三角形变形映射的  $x/y/z$  三个方向上的误差,得出了参数化的重构有更高的精度。但提出学习的机制不够完善,对身体参数重构有一定影响。Grant M. Tinsley<sup>[5]</sup>对比分析了四个商用三维光学扫描仪(FIT3D、NakedLabs、SizeStream 和 Styku)来确定人体成分估计的精度,并参考 4 分量(双能 X 射线吸收仪、空气体积、体积描记法、生物阻抗谱)模型,相比评估其有效性。得出结论是:所有扫描仪均存在不同幅度比例的偏差。Tan Xiaohui<sup>[6]</sup>通过深度

**基金项目:** 国家自然科学基金(61663005)。

**作者简介:** 张洪伟(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、机器视觉;李捍东(1966-),男,硕士,教授,硕士生导师,主要研究方向:计算机控制技术。

**通讯作者:** 李捍东 Email:470394668@qq.com

**收稿日期:** 2020-08-21

相机来获取 3D 人体模型, 然后通过测地距离的随机森林回归分析, 自动提取 3D 人体焦点特征的方法, 用于提取预定义的特征点和线, 最后根据这些特征点和线计算出人体个体的大小。但此种方法在计算围度上精确度不够高。

目前, 对人体尺寸测量的系统和方法可分为以下几个方面:

(1) 根据用户输入的数据, 建议所选服装的最佳合身尺寸或生成人体的 3 维模型, 部分电商平台已经在使用这种方法<sup>[7]</sup>。

(2) 通过深度运动传感器<sup>[8-9]</sup>(例如 Kinect), 该传感器允许系统检测用户的身体。在虚拟环境中生成的 3D 模型, 跟随用户运动, 从而获得身临其境的体验。

(3) 使用网络摄像头技术捕获用户的图像。用户选择衣服的图像将被覆盖在捕获用户图像的顶部, 当覆盖衣服图像的尺寸和用户的图像相同时, 可以确定最佳适合尺寸。

(4) 通过激光雷达进行人体扫描, 获取点云数据<sup>[10-12]</sup>。用深度学习对原始获取的点云进行处理, 利用多层感知网络 (MLPS) 和最大池化操作获取点云的特征, 根据点云进行尺寸计算。

本文基于以上研究, 提出一种基于 Python 下, 对完善的点云模型用 PCL 库拾取大量三维点坐标, 采用改进的积分法计算尺寸。结果表明, 所提方法测量三维尺寸的精确性较高。

## 1 测量技术路线及模型建立

测量方法具体结构如图 1 所示。对输入的图像进行仿射度量校正, 校准若有偏差, 需重新进行仿射校正, 然后通过透视几何反推, 实现点云重建<sup>[13]</sup>。重建模型输入到 Geomagic Studio 软件中进行降噪处理, 处理后的模型基于 PCL 拾取三维点云坐标, 对点云坐标进行转换和计算, 求解出各部分的尺寸。

### 1.1 图像获取及校准

获取图像的硬件设备为手机自带的 6 400 万超感光摄像头。相比于一些专业的深度相机结构光 (Structured-light) 具有成本低、适用性更强的优点。获取的图像如图 2 所示。

获取的图像手持棋盘格, 棋盘格处于垂直地面的状态, 肩部放松自由向下, 这有利于测量校准相机图像世界坐标系, 以及后期肩部长度距离的测量。

### 1.2 模型创建及特征点选择

对获取的图像经过处理后, 得到完善的点云模型, 如图 3 所示。该研究对特征点的选择采用基于

代数的特征提取方法, 将人体主要分割为 3 个部分: 手臂、主要躯干、双腿, 如图 4 所示。由得到的点云数据映射特征部位的最高点和最低点或投影点, 直接利用代数的关系来确定部位的长度, 此种方法更适合于对长度的测量。如人体身高的测量就可以按照建立的三维坐标系, 以  $z$  坐标轴将点云数据从大到小进行排序, 最大值即为头部  $P_H(x_H, y_H, z_{\max})$ , 最小值为足底  $P_F(x_F, y_F, z_{\min})$ , 则身高为:

$$H = |z_{\max} - z_{\min}|, z_{\max} \in P_H, z_{\min} \in P_F. \quad (1)$$

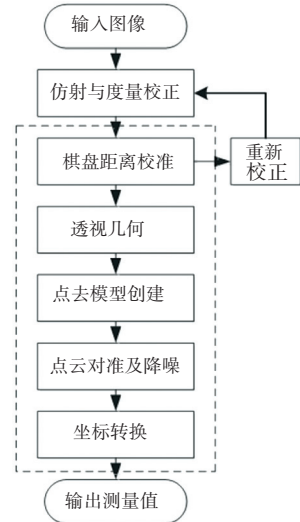


图 1 Python 下三维尺寸测量的系统框架

Fig. 1 System framework of 3D size measurement under Python



图 2 图像与棋盘格校准

Fig. 2 Image and checkerboard calibration



图 3 三维点云模型

Fig. 3 3D point cloud model



图 4 特征部位分割

Fig. 4 Feature segmentation

## 2 三维尺寸测量方法实现

将上述完善好的点云模型输入到基于 PCL 实验平台上,得到大量的空间点云坐标。以  $z$  轴为参考轴,同一等高面上的点,按照平行于  $xoy$  面筛选排序的方法,把面上的所有点插入到一个链表中。当选取的特征点在某一高度上时,从链表中提取出所有  $z$  坐标值相同的点,组成一个点集,以平行于  $xoy$  面圆形模板包裹点云面,最终可以确定围度的截面图,运用改进的积分法和特征顶点式,分别计算尺寸。

### 2.1 点云数据的转换

点云数据的量化方法<sup>[2]</sup>如下所述:

(1) 获取视角值。相机的水平视角  $\alpha$  和垂直视角  $\beta$  分别为  $57^\circ$  和  $43^\circ$ ,如图 5、图 6 所示。

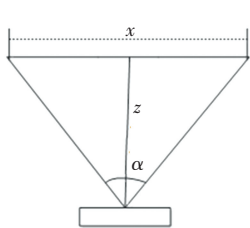


图 5 水平视角

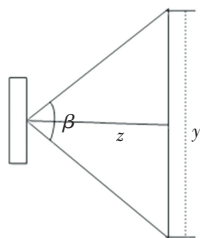


图 6 垂直视角

Fig. 5 Horizontal perspective Fig. 6 Vertical viewing angle

(2) 求取实际值  $x$  和  $y$ :

$$x_i = (x_{i0}/n_x - 0.5) \times z_{i0} \times p_x, \quad (2)$$

$$y_i = (0.5 - y_{i0}/n_y) \times z_{i0} \times p_y. \quad (3)$$

其中,  $x_i$  和  $y_i$  分别为实际物理空间里点在  $x$  轴方向和  $y$  方向上的坐标值;  $x_{i0}$  和  $y_{i0}$  分别为深度图像空间里的坐标值;  $n_x$  和  $n_y$  分别为摄像头的分辨率系数。

### 2.2 人体尺寸测量

转换后的点云基于 PCL 进行处理,获得点云数据点的坐标值。研究调查中,如果只获取关节处的三维坐标值用来实现人体尺寸的精确测量是远远不够的。该研究结合关节点和选取的特征点进行数据的融合和筛选,分别计算围度和长度。

长度的计算相对较为简单。获取关节处的空间点云信息后,表示出关节的空间位置,两关节之间的距离为长度。同时据上述特征点的选择方法,两特征点之间的距离计算长度,结合两方法多次计算的值求解协方差,最稳定的值为确定的尺寸。

对尺寸的测量采用了 GB/T 5703-2010 人体测量的基础项目测量术语作参考<sup>[14]</sup>。如本文重点测量的项目有肩宽:两肘部外侧间面的最大水平距离;胸围:在乳头水平位置测量的胸部围长;腰围:在最下肋骨和上髂嵴中间处的躯干水平围长。根据建立

的坐标轴,左右手肘突出两点关节处坐标为  $p_1(x_1, y_1, z_1)$ ,  $p_2(x_2, y_2, z_2)$  故肩最大宽:

$$W = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}. \quad (4)$$

对人体周长的测量,依据<sup>[15-17]</sup>提到的算法进行改进。特征点所在的水平面与人体的交集集合为  $P = \{p_i = (x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, \dots, n\}$ ,由几何特征点确定水平截面,故特征面上的交集  $z$  的坐标视为相等,其特征点集面如图 7 所示。特征截面与空间坐标系中  $xoy$  面平行,以腰围截面的几何中心为坐标原点建立坐标系,在坐标系中确定各个点的坐标为  $M = \{m_i(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n\}$ ,那么点 1 与点 2 之间的长度计算可以采用改进的积分法。用类似的方法计算 3 与 4 之间长度,依此方法把每一次计算的结果实现累加。

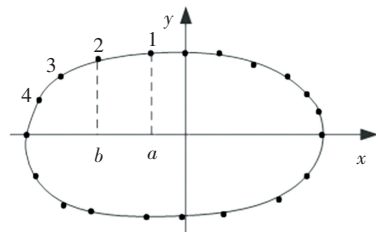


图 7 腰围截面点集

Fig. 7 Waist section point set

改进算法如下:

(1) 从链表中筛选出位于腰围所在特征截面上的坐标点,以外围最远的点用圆面模板包裹,构成腰围点集面,确定相邻两点之间的坐标值。如获取点 1 与点 2 的坐标,在  $x$  轴上分别对应  $a$ 、 $b$ ;若当选择的 1、2 点处存在密集的点云时,采用线性回归方程  $y = bx + a$  计算,选择最贴近直线的点计算。

(2) 通过 1、2 之间无数的点拟合,确定曲线的函数  $f(x)$ 。

(3) 将区间  $[a, b]$  分割成  $n$  个子区间,每个子区间的弧长可以用公式(5)计算:

$$\Delta S_i = \sqrt{(\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)} = \sqrt{\Delta x_i + f'(x_i)\Delta x_i^2} = \sqrt{1 + f'^2(x_i)\Delta x_i}. \quad (5)$$

其中,  $x_i$  为第  $i$  个区间内的任意一点,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。

(4) 总长度等于各个子区间的和:

$$S = \sum_{i=0}^n \Delta S_i = \sum_{i=0}^n \sqrt{1 + f'^2(x_i)\Delta x_i}. \quad (6)$$

(5) 当分割的区间  $n$  为很大时,点 1 与点 2 之间的距离为:

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^n \Delta S_i. \quad (7)$$

(6) 依次计算点 3, 4... 距离, 得出测量结果。

### 3 实验结果分析

#### 3.1 实验环境

此次实验在 Ubuntu 16.04 上进行, 开发语言为 Python2, OpenCV 的版本为 2.4.13.6, 集成开发环境为 PyCharm; 硬件环境为 CPU intel Core i5 四核, 主频 2.40 GHz。

#### 3.2 实验与分析

用 XYB-1 88 号人台, 验证提出算法的有效性。分别测量胸围、腰围、总肩宽, 操作过程如下:

(1) 将实验的人台固定在操作台上, 人台处于垂直于地面的水平面上, 便于距离的校准。

(2) 用相机获取人台的图像。对图片处理后输入到 Geomagic Studio 进行降噪处理, 结果如图 8 所示。

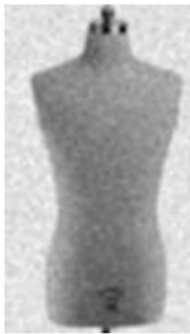


图 8 去噪处理后模型

Fig. 8 Model after denoising

(3) 国标 88 号人台尺寸数据见表 1。

表 1 88 号人台上半身立裁标准尺码表

Tab. 1 The standard size chart for the upper body of the 88th person cm

测量项目	XYB-1-88	
	男	女
胸围	88	88
腰围	74	68
总肩宽	43.5	39

(4) 所提方法对人台进行测量后, 得到数据见表 2。

对 88 号人台模型进行多次试验测量, 测出的数据和标准人台的尺码表进行对比, 得出误差最大的是腰围 1.28, 误差最小的是肩宽 0.16。显然所提方法精确性比较高, 测量速度较快, 可以适用于实际的

测量。

表 2 本文方法测量的数据

Tab. 2 Data measured by this method cm

测量项目	次数	XYB-1-88	
		男	女
胸围	1	88.63	86.91
	2	86.76	87.09
	3	88.96	89.03
	4	87.05	88.61
	5	86.72	87.69
腰围	1	73.02	69.06
	2	74.29	67.35
	3	73.65	68.54
	4	74.91	67.53
	5	74.39	67.09
总肩宽	1	44.02	38.21
	2	43.85	39.32
	3	43.76	38.79
	4	43.05	39.16
	5	43.69	39.25

基于人台模型测量的适用性, 对 15 名男女进行了尺寸的实际测量。在 Ubuntu 系统下基于 Python 实现了上述算法, 根据计算速度和人体尺寸精度考虑, 每两点云坐标之间分割为 20 个子区间去计算。选取总共 15 名男女进行了三维尺寸的反复试验测量。同时利用基于 Kinect 测量技术, 对 15 名男女进行三维尺寸的扫描测量, 结果对比分析, 两方法的测量值见表 3~5。

表 3 本文算法测量结果

Tab. 3 The measurement results of the algorithm in this paper cm

姓名	肩长	腰围	臂长
1 男	40.73	78.37	51.15
2 男	41.63	77.92	52.33
3 男	40.57	80.18	51.93
4 男	40.29	79.07	51.15
5 男	41.87	79.09	50.66
6 男	39.59	78.84	50.67
7 男	40.19	82.49	48.61
8 男	39.75	81.19	48.21
9 男	48.44	80.05	49.58
10 女	35.94	70.99	45.56
11 女	36.81	70.29	44.79
12 女	34.72	65.8	43.14
13 女	36.39	69.01	42.62
14 女	34.25	61.36	41.26
15 女	35.61	67.73	41.08



表4 Kinect扫描测量结果

Tab. 4 Kinect scan measurement results cm

姓名	肩长	腰围	臂长
1 男	41.55	76.83	51.57
2 男	42.03	78.79	51.58
3 男	42.02	81.56	52.06
4 男	41.56	76.91	50.95
5 男	41.91	77.76	51.29
6 男	38.52	77.43	51.45
7 男	41.33	84.11	48.24
8 男	39.22	79.31	49.18
9 男	47.87	81.38	48.03
10 女	36.38	69.16	46.49
11 女	35.61	69.02	45.23
12 女	34.5	64.18	42.1
13 女	35.44	67.63	42.97
14 女	34.15	60.8	40.59
15 女	35.12	66.21	41.48

表5 测量误差对比

Tab. 5 Measurement deviation comparison cm

姓名	肩长误差	腰围误差	臂长误差
1 男	0.82	1.54	0.42
2 男	0.4	0.87	0.75
3 男	1.45	1.38	0.13
4 男	1.27	2.16	0.2
5 男	0.04	1.33	0.63
6 男	1.07	1.41	0.78
7 男	1.14	1.62	0.37
8 男	0.53	1.88	0.97
9 男	0.57	1.33	1.55
10 女	0.44	1.83	0.93
11 女	1.2	1.27	0.44
12 女	0.22	1.62	1.04
13 女	0.95	1.38	0.35
14 女	0.1	0.56	0.67
15 女	0.49	1.52	0.4

经对比结果可以看出,最大偏差是腰围 2.16 cm,最小偏差为臂长 0.04 cm,平均的偏差为 0.70 cm。综合来看,本文提出的方法测量三维尺寸效果较好。出现腰围误差比较大的原因是,根据特征点选择确定的腰围特征截面不准确、对两点云坐标之间的分割太少,以及人体表面结构的不规则,均会对测量的结果带来一定影响。

#### 4 结束语

本文提出了一种基于 Python 下,对相机获取的图像经过一系列处理后,结合 PCL 和改进的积分法、特征顶点式,对人体三维尺寸的围度和长度测量计算。最后通过实验与 Kinect 扫描测量结果进行

对比分析。结果表明,本文的方法有更好的适用性。进一步的研究将在尺寸测量算法的改进和选取合适特征点确定特征截面的方法进行。

#### 参考文献

- [1] NAKAMURA R, IZUTSU M, HATAKEYAMA S. Estimation Method of Clothes Size for Virtual Fitting Room with Kinect Sensor[C]// IEEE International Conference on Systems. IEEE, 2013:3733-3738.
- [2] 万燕,胡桂兰,董国胜,等. 基于 Kinect 的三维人体扫描测量技术[J]. 东华大学学报(自然科学版),2015,41(1):78-83.
- [3] TOMI B, SUNAR M S, MOHAMED F, et al. Dynamic Body Circumference Measurement Technique for a MoreRealistic Virtual Fitting Room Experience[C]//2018 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e). IEEE, 2018.
- [4] SONG Dan, JIN Y, WANG T, et al. A Semantic Parametric Model for 3D Human Body Reshaping [C]//International Conference on E-Learning and Games. Springer Cham, 2018.
- [5] TINSLEY G M, MOORE M L, BENAVIDES M L, et al. 3-Dimensional Optical Scanning for Body Composition Assessment: A 4-Component Model Comparison of Four Commercially Available Scanners[J]. Clinical Nutrition, 2020: 2202-2208.
- [6] TAN Xiaohui, PENG Xiaoyu, LIU Liwen, et al. Automatic human body feature extraction and personal size measurement[J]. Journal of Visual Languages & Computing, 2018, 47:9-18.
- [7] "Fit me," [EB/OL]. [2018-07-29]. <http://fits.me/>
- [8] 孙晶晶,王金变,管玉. 基于三维扫描技术的人体测量[J]. 天津工业大学学报,2012,31(5):30-33.
- [9] 李琪,王向东,李华. 基于双 Kinect 传感器的三维人体姿态跟踪方法[J]. 系统仿真学报,2020,32(8):1446-1454.
- [10] 郭娟,羿莹. 非接触式三维人体扫描技术的应用分析[J]. 山东纺织科技,2018,59(1):39-41.
- [11] 徐继红,张文斌. 非接触式三维人体扫描技术的综述[J]. 扬州职业大学学报,2006(3):49-53.
- [12] 林德静,孙晓东. 基于三维扫描的人体尺寸提取技术[J]. 北京服装学院学报,2005(3):36-41.
- [13] CHENG Zhiquan, CHEN Yin, MARTIN RAKOG R, et al. Parametric modeling of 3D human body shape—A survey[J]. Computers & Graphics, 2018, 71:88-100.
- [14] GB/T 5703—2010 用于技术设计的人体测量基础项目[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2010.
- [15] capture system using color markers and silhouette [C]// Instrumentation and Measurement Technology Conference. Proceedings of the IEEE. IEEE, 2006: 151-156.
- [16] WEI X, ZHANG P, CHAI J. Accurate Real-time Full-body Motion Capture Using a Single Depth Camera[J]. ACM Transactions on Graphics(S0730-0301), 2012, 31(6): 188.
- [17] UKIDA H, KAJI S, TANIMOTO Y, et al. Human motion capture system using color markers and silhouette [C]// Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2006. IMTC 2006. Proceedings of the IEEE. IEEE, 2006: 151-156.