

## 使用 Kinect 快速重建三维人体

周 瑾<sup>1)</sup>, 潘建江<sup>1)\*</sup>, 童 晶<sup>2)</sup>, 刘利刚<sup>3)</sup>, 潘志庚<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(杭州电子科技大学应用数学与工程计算研究所 杭州 310018)

<sup>2)</sup>(河海大学计算机与信息学院 常州 213000)

<sup>3)</sup>(中国科学技术大学数学科学学院 合肥 230026)

<sup>4)</sup>(杭州师范大学数字媒体与人机交互研究中心 杭州 310018)

(mathpan@hdu.edu.cn)

**摘 要:** 三维人体模型广泛应用在多媒体工业, 如动漫产业、游戏创作、电影制作等. 针对传统三维扫描仪价格昂贵、操作复杂等缺点, 提出一种基于低廉的深度摄像机(如微软 Kinect)重建三维人体模型. 该方法使用迭代最近点查找确定输入点云与可变模型之间的对应点对, 将可变形人体模型拟合扫描点云数据, 迭代生成高精度的三维人体模型. 实验结果表明, 文中方法能够使用 Kinect 深度摄像机快速重建出高精度的三维人体模型.

**关键词:** 三维人体模型; 微软 Kinect; 迭代最近点

**中图法分类号:** TP391

## Fast 3D Human Body Reconstruction from Kinects

Zhou Jin<sup>1)</sup>, Pan Jianjiang<sup>1)\*</sup>, Tong Jing<sup>2)</sup>, Liu Ligang<sup>3)</sup>, and Pan Zhigeng<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(Institute of Applied Mathematics and Engineering Computations, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018)

<sup>2)</sup>(College of Computer and Information Engineering (Changzhou Campus), HoHai University, Changzhou 213000)

<sup>3)</sup>(School of Mathematical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

<sup>4)</sup>(Center of Digital Media & Interaction Research, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310018)

**Abstract:** 3D human body is an essential part of the media industry, such as cartoon, game, movie, etc. We adopt depth sensor input devices, such as Microsoft Kinect, to reconstruct human body model. In this paper, we propose a system based on a morphable human body model with the help of ICP(iterated closest point) to find corresponding points between input data and the morphable model. After a few iterations, a high quality human body model is generated. Finally, the experimental reconstruction results demonstrate the efficiency of our system and the quality of the reconstructed human model.

**Key words:** 3D human body; Microsoft Kinect; iterated closest point

三维人体模型广泛应用于游戏、虚拟试衣<sup>[1]</sup>等领域. 三维人体模型重建通常利用结构光扫描仪或

者镭射扫描仪获得多个视角的数据; 再通过扫描过程中在身体部位设置的标记点注册点云数据<sup>[2]</sup>, 从而

收稿日期: 2012-05-13; 修回日期: 2012-10-12. 基金项目: 国家自然科学基金(61070071, 61202284); 国家“九七三”重点基础研究发展计划项目(2011CB302400); 国家自然科学基金面上项目(61170318). 周 瑾(1988—), 男, 硕士, 主要研究方向为数字几何处理、计算机图形学; 潘建江(1977—), 男, 博士, 副教授, 论文通讯作者, 主要研究方向为 CAGD、图像处理; 童 晶(1981—), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为计算机图形学、计算机视觉、虚拟现实; 刘利刚(1975—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为计算机图形学、数字几何处理、图像处理等; 潘志庚(1965—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为计算机图形学、虚拟现实、数字媒体技术.

得到完整的人体点云;最后从点云中抽取网格模型<sup>[3]</sup>.但是传统的三维扫描仪价格昂贵,使得人体建模成本高;除此之外,此类扫描设备通常需要受过专门培训的人员操作.因此,传统扫描仪用于人体模型重建存在着价格高和不易用的缺点.最近几年出现的深度摄像机能够采集深度图像,与传统摄像机相比,它除了可以捕获视频信息,同时能够输出深度值图像,反映了像素点到镜头的距离.因此使用深度摄像机扫描物体,可以获取物体表面点云.与传统三维扫描设备相比,深度摄像机的价格远远低于大型三维扫描系统.不仅如此,深度摄像机的使用无需设置额外参数,通过简单操作即可扫描物体表面获得点云数据.本文使用微软发布的一款 Kinect 深度摄像机<sup>①</sup>作为扫描仪器,扫描人体获取人体点云.与动辄几十万元的传统扫描设备相比,Kinect 的价格大概在千元左右,但深度摄像机扫描得到的点云数据存在精度低、单面积扫描范围小的缺点.

随着摄像机技术的日渐成熟,近年来有不少基于单摄像机<sup>[4-5]</sup>或者多摄像机系统<sup>[6-7]</sup>的三维人体重建方法被提出.这些方法或使用图像上的人体轮廓信息,或利用光照及纹理重建三维人体模型,其主要的缺点是计算量大、处理时间长,重建结果易受光照条件影响.深度摄像机的优势在于能够输出点云信息,使得三维人体模型的重建不用完全依赖于图像.Weiss 等<sup>[8]</sup>提出用单台 Kinect 获取使用者在 4 个视角下的三维人体点云,通过点云的轮廓信息估计人体的姿势和体型.在 Tong 等<sup>[9]</sup>提出的三维人体重建方法中,结合图像序列的特征点对应关系以及三维点云实现了点云的非刚性注册算法,将 3 台 Kinect 扫描得到的三维点云重建.

本文提出的快速三维人体重建系统使用 4 台 Kinect 从不同视角同步扫描人体,用户仅需站立在 Kinect 前数秒即可完成扫描过程.将得到的人体点云先进行去噪处理,本文采用了多帧求和平均与双边滤波器<sup>[10]</sup>将扫描过程中产生的噪声去除;去噪后的点云作为可变模型拟合算法的输入,使用 SCAPE 模型<sup>[11-13]</sup>和迭代最近点(iterated closest point, ICP)查找方法<sup>[14-15]</sup>将一个标准模型逐步迭代变形到扫描的人体点云.文献[8]中的人体建模方法仅仅利用点云的轮廓信息而舍弃了大量人体点云,本文是将所有点云用于重建.本文在优化 SCAPE 模型的过程中用到了更多的顶点信息,因此其重建速度比文献[8]快.另外,文献[9]在数据采集过程中要求用户在

转盘上保持同一个姿势 30 s 左右,而在实际使用中很难长时间保持同一个姿势,因此采集过程中会产生人体的非刚性形变,重建时要解决非刚性形变的点云注册问题.为了避免在抓取数据时出现人体非刚性形变,受文献[9]的启发,本文采用在人体前后各设置 2 台 Kinect 的策略,以保证在 3 s 内完成数据的抓取.本文提出的人体重建系统不仅克服了深度摄像机的缺点,而且能够快速重建出高质量的三维人体模型.

## 1 人体扫描及可变形的人体模型

### 1.1 系统设置

本文通过实验观察发现,Kinect 扫描较大面积物体时数据精度丢失严重,通过减小 Kinect 的扫描范围可以提高数据精度.对比图 1 a,1 b 可以看出,扫描较小面积可以提高数据精度;另一方面,为了避免出现非刚性形变,应当在较短的时间内完成人体扫描工作.

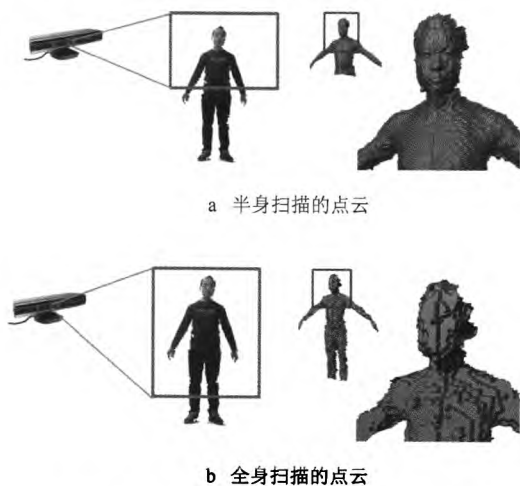


图 1 单台 Kinect 扫描人体的点云数据

考虑到以上 2 点,本文在静止的人体前后各设置 2 台 Kinect,每台 Kinect 仅扫描半身,扫描时重叠区域很小,避免了多台 Kinect 之间的干扰.在扫描前,先对 4 台 Kinect 进行校准<sup>[16]</sup>,得到 Kinect 的内外参数.本文采用两两校准:选定 1 台 Kinect 为参考,另外 3 台与参考 Kinect 进行校准,从而 4 台 Kinect 的坐标系即可统一.如此可将 4 台 Kinect 得到的数据拼接在一起,得到算法的输入点云,如图 2 所示.

① <http://www.xbox.com/kinect>



图 2 扫描所得人体点云

1.2 可变形人体模型

2005 年,Anguelov 等<sup>[12]</sup> 结合人体数据库提出了可变人体模型理论——SCAPE(shape completion and animation of people)模型,该模型通过改变标准模型的体型和姿势,将标准模型变形到目标模型.更一般地说,SCAPE 模型将标准模型参数化成体型参数和姿势参数两部分,这 2 个参数决定变形过程中的刚性变化和非刚性变化.本文使用一个具有 550 个模型的人体数据库<sup>[17]</sup>,通过学习得到了 SCAPE 模型.将一个标准模型参数化后指定体型参数和姿势参数即可将标准模型变形到目标点云.在 SCAPE 模型中,人体的非刚性变化通过线性预测值从数据库中建模出姿势参数的变元.而体型参数的模型由主成分分析(principal component analysis, PCA)在人体数据库中得到.

1.3 预处理

考虑到扫描得到的点云存在噪声,在进行重建之前需要对点云进行去噪预处理.本文一次采集 10 帧点云数据,先将所有帧的点云求和平均去除大噪声,再用双边滤波去除微小噪声.图 3 所示为点云的去噪处理.

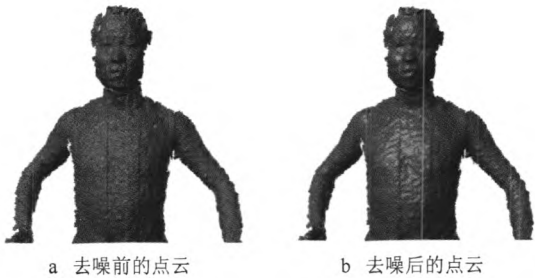


图 3 点云的去噪处理

2 人体重建

为了描述方便,下面给出相关符号说明.首先假设目标点云  $T$  包含点  $T(q) \in \mathbb{R}^3$ ,其中,  $q \in [1:Q]$ ,  $Q$  是顶点个数.目标点云  $T$  即为本文中用 Kinect 扫描人体得到的点云.其次,记 SCAPE 模型中的体型参数为  $\beta$ ,姿势参数为  $\theta$ .具有体型参数  $\beta$  和姿势参数  $\theta$  的人体模型记为  $M_{\beta,\theta}$ ,  $M_{\beta,\theta}$  上的点记作  $M_{\beta,\theta}(p)$ ,其中  $p \in [1:P]$ ,  $P$  是标准模型的顶点个数.标准模型的体型参数和姿势参数分别记为  $\beta_0, \theta_0$ ,则标准模型在人体空间中的投影为  $M_{\beta_0,\theta_0}$ .最后,假设网格拟合的结果为  $Y$ ,因为  $Y$  是由  $M_{\beta_0,\theta_0}$  变形得到的,所以  $Y$  的顶点个数与  $M_{\beta_0,\theta_0}$  同为  $P$ ,  $Y$  上的顶点记为  $Y(p)$ ,其中  $p \in [1:P]$ .

本文提出的三维人体重建算法是一个将标准模型迭代变形到目标点云的过程,算法流程如图 4 所示.其中,一次迭代过程步骤如下:

Step1. ICP 查找目标点云  $T$  与网格  $Y$  之间的对应点对,记为  $C(p,q)$ ,其中  $(p,q) \in [1:P] \times [1:Q]$ .

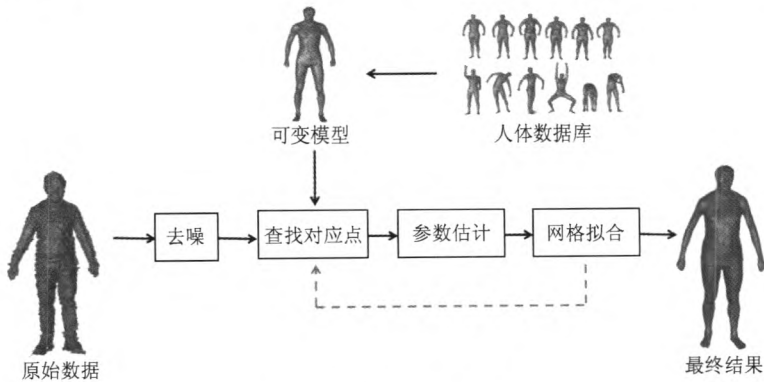


图 4 本文算法流程图

Step2. 将网格  $Y$  投影到 SCAPE 模型空间,即估计  $Y$  对应的体型参数  $\beta$  和姿势参数  $\theta$ .

Step3. 根据  $C(p, q)$ ,  $\beta$  和  $\theta$  拟合出新的网格  $Y'$ . 若  $Y'$  与  $Y$  已非常接近则迭代终止,  $Y$  即为最终结果; 否则,  $Y=Y'$ , 进行下一次迭代.

迭代开始前, 先为  $\beta, \theta$  和  $Y$  赋初始值:  $\beta=\beta_0, \theta=\theta_0, Y=M_{\beta_0, \theta_0}$ . 下面详细描述迭代的具体算法.

### 2.1 对应点

网格  $Y$  上的每一点  $Y(p)$  在目标点云  $T$  中有最近点  $T(q)$ , 将最近点对记为  $S(p, q)$ , 其中  $(p, q) \in [1:P] \times [1:Q]$ . 接着对集合  $S(p, q)$  进行筛选, 筛选后的最近点对即为  $T$  与  $Y$  的对应点对  $M(p, q)$ . 集合  $M(p, q)$  中的点对应满足以下条件: 1) 点对之间的距离小于某一阈值 ( $<5\text{ cm}$ ); 2) 点对连线与网格  $Y$  上顶点法向量的夹角不能太大 ( $<15^\circ$ ).  $M(p, q)$  并不是最终的  $C(p, q)$ , 而是用  $M(p, q)$  中的点对优化出一个刚性变换<sup>[13-14]</sup>, 此变换作用于网格  $Y$  后对应点的距离平方和最小. 再次求点对集合  $M(p, q)$ , 如此迭代直到收敛, 即  $M(p, q)$  中的点对不再发生变化. 如图 5 所示, 其中标出了找到的对应点.



图 5 通过 ICP 找到的对应点对

### 2.2 参数估计

将拟合网格  $Y$  投影到 SCAPE 模型空间, 即求解  $Y$  在 SCAPE 模型空间中的体型参数  $\beta$  和姿势参数  $\theta$ , 先将上一步迭代中估计的参数  $\beta_{i-1}, \theta_{i-1}$  分别赋值给  $\beta, \theta$ . 根据 SCAPE 模型可知,  $\beta$  与  $\theta$  应该分开求解, 即求  $\theta$  时,  $\beta$  被赋值为  $\beta_{i-1}$ , 反之亦然.  $\beta, \theta$  的求解归结为最小化二次能量函数, 详见文献[12].

### 2.3 网格拟合

投影网格  $M_{\beta_i, \theta_i}$  是 SCAPE 模型空间中的一, 因为 SCAPE 模型空间是人体数据库模型空间, 所以  $M_{\beta_i, \theta_i}$  是一个完整的三维人体模型.  $M_{\beta_i, \theta_i}$  与目标点云  $T$  之间存在一定的差异, 为了使  $M_{\beta_i, \theta_i}$  与目标

点云  $T$  差异最小, 需要对  $M_{\beta_i, \theta_i}$  进行优化, 定义能量函数

$$E(Y') = \sum_p \|M_{\beta_i, \theta_i}(p) - Y'(p)\|^2 + w \sum_i \|Y'(p_i) - T(q_i)\|^2 \quad (1)$$

其中,  $p \in [1:P], (p_i, q_i) \in C(p, q)$ . 式(1)中, 符号右边第 1 个二次项比较了优化结果与投影网格  $M_{\beta_i, \theta_i}$  的距离, 第 2 个二次项比较了对应顶点的距离;  $w$  为权重项, 用来调节对应顶点的距离项在式(1)中的比重, 本文实验中取  $w$  为 1. 最小化式(1)是最小二乘优化问题, 可以直接转化为线性方程组求解. 如果  $Y'$  与  $Y$  的差异很小, 即认为算法收敛; 否则, 将  $Y', \beta_i$  和  $\theta_i$  当作下一次迭代的初值, 继续迭代. 图 6 所示为迭代的中间结果.

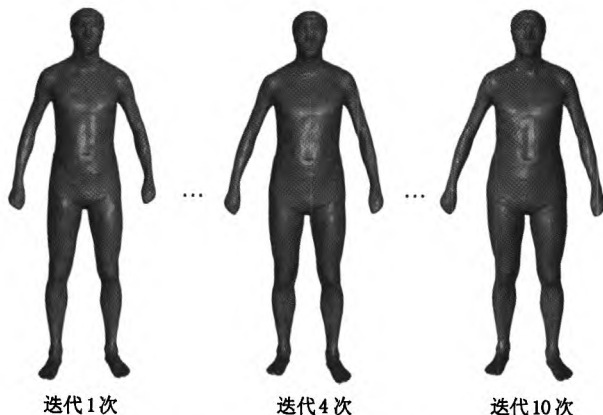


图 6 迭代过程中的部分中间结果

## 3 实验及结果分析

在数据采集的过程中, 本文要求用户的姿势与标准模型相似, 即为迭代提供了一个比较好的初始值姿势, 以保证重建结果的质量. 图 7a 所示为目标点云, 作为算法的输入; 图 7b 所示为标准模型, 最终结果由该模型变形得到; 图 7c 所示为标准模型经数次迭代变形的结果. 图 8 中展示了更多结果.

我们采用 C++ 实现了本文提出的系统, Kinect 的数据采集使用了 OpenNI<sup>①</sup>. 本文算法在 Intel Core i3 3.1 GHz GPU, 4 GB 内存的台式机上运行. 重建的平均迭代次数为 10 次, 每次迭代花费 6 s, 重建一个三维人体模型所要花费的平均时间为 1 min, 表 1 所示为统计每次迭代中算法各部分的运行时间. 采用文献[8]的方法重建一个三维人体模型需要

① <http://www.openni.org>

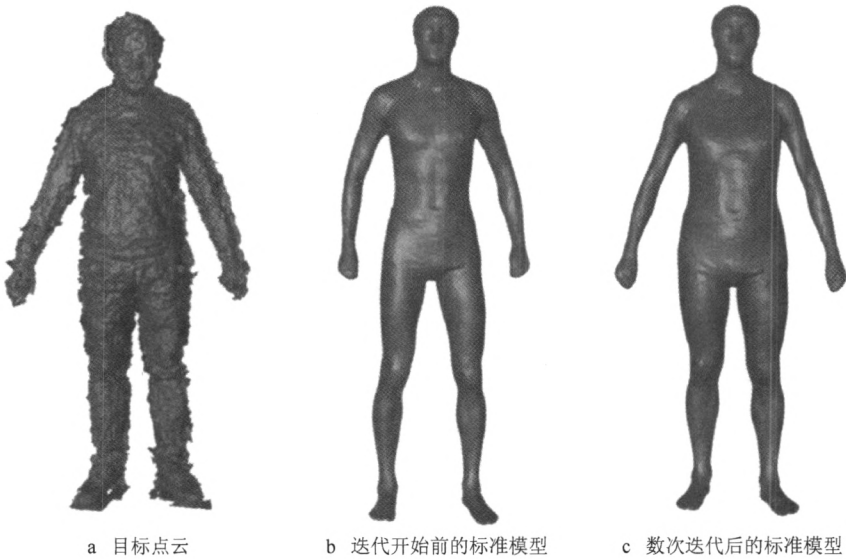


图 7 算法的初始输入与迭代后的结果

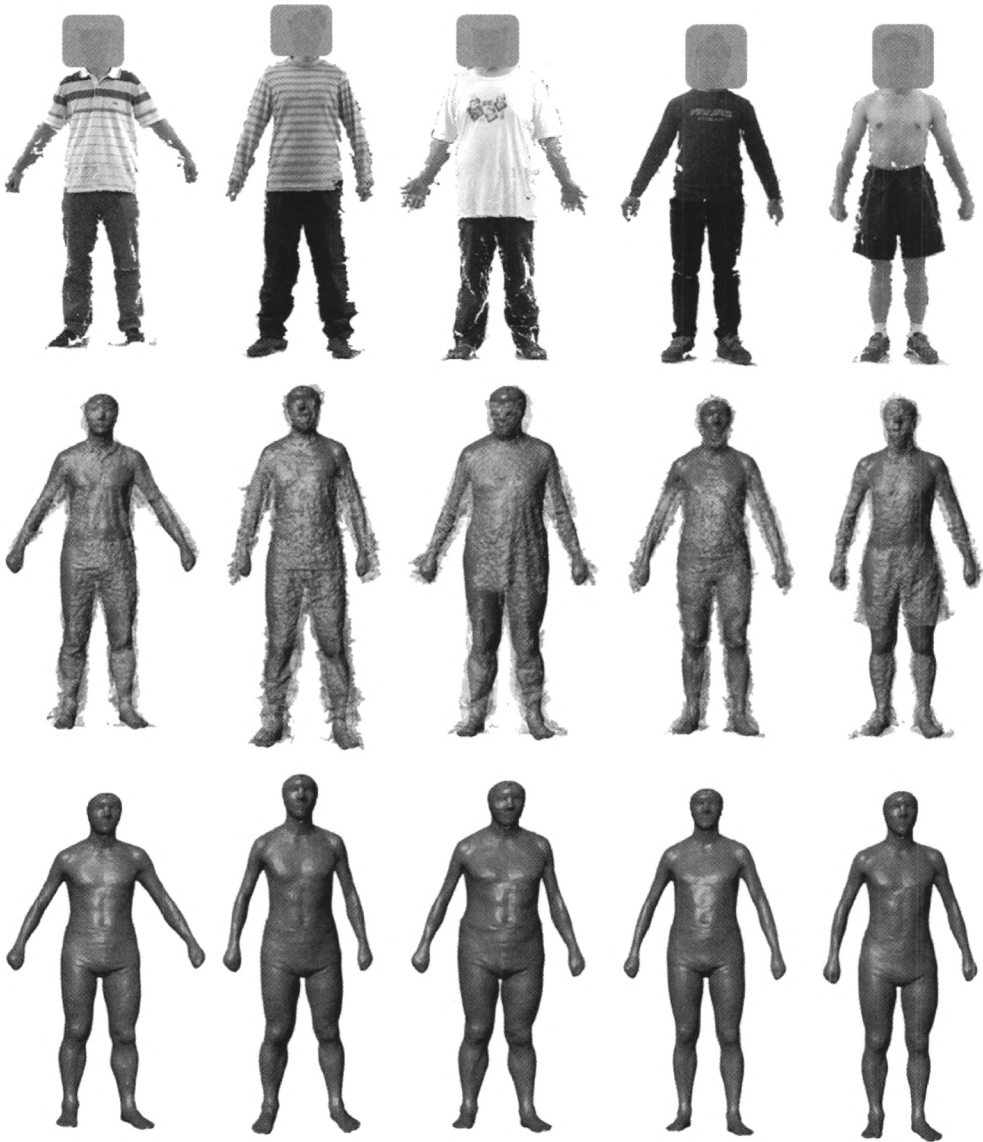


图 8 三维人体重建结果



花费 1 h,相比之下,本文方法在运行时间上有显著的优势.

表 1 算法各部分时间统计

实验者	预处理	ICP 对齐	优化
A	1.365	2.657	3.654
B	1.492	2.487	3.867
C	1.286	2.557	3.569
D	1.397	2.497 1	3.648
E	1.385	2.506	3.635

为了评估本文的实验结果,我们分别对重建出来的三维人体模型和参与实验者的身高、手臂长、小腿长、腰围和肩宽进行了测量.实验与真实测量值的误差如表 2 所示,其中百分数表示误差与真实值的比例.通过观察误差统计值发现,算法存在一定的误差.出现误差的主要原因有两点:1)本文使用 ICP 查找对应点对,该方法对初始位置过度依赖而且没有几何特征的约束,查找结果不能保证完全正确;2)本文使用的人体数据库相对较小而且这个数据库采集的是欧洲人体模型,考虑到欧洲人与亚洲人体型上的差异,对实验结果也会产生一定的影响.

表 2 实验者身体测量数据的绝对误差值和误差比

实验者	身高	手臂长	小腿长	腰围	肩宽
A	4(2%)	2(8%)	5(14%)	5(6%)	5(11%)
B	5(2%)	3(11%)	4(10%)	3(3%)	7(14%)
C	3(1%)	2(7%)	4(10%)	4(4%)	5(10%)
D	2(1%)	3(12%)	3(9%)	1(1%)	4(9%)
E	2(1%)	2(8%)	2(6%)	1(1%)	2(5%)

4 结论及未来工作

三维人体模型被广泛应用在游戏、动漫、三维电影等领域,能够提供虚拟现实的视觉体验.本文提出的三维人体重建系统用 4 台 Kinect 同时从 4 个视角扫描人体,能够避免扫描过程中人体的非刚性形变,快速采集数据.通过两两校准 Kinect,4 个部分的数据能够自动拼接成一个整体;将采集得到的点云作为输入,通过 SCAPE 模型和 ICP 查找拟合输入点云,可重建出精确的三维人体模型.与传统的三维人体重建相比,本文提出的重建方法硬件设备成本低、数据采集简单、重建时间短.另一方面,本文提出的系统使用廉价的深度摄像机扫描人体,能够克服深度摄像机数据精度低的缺点,并且重建时间短、

结果精度高,重建出的三维人体模型能够满足诸如虚拟试衣等领域的应用;又因为系统硬件成本低,容易被推广使用.

但是,本文方法也存在一些不足:在去噪的过程中,有少量特征点被当成噪声去除了,重建出来的三维人体模型的质量在一定程度上受到影响;在采集数据时如果能实时重建出三维人体模型,将提高系统的实用性,例如可避免因扫描错误而重新采集数据的情况出现,从而大大提高重建效率.

参考文献 (References):

[1] Carignan M, Yang Y, Thalmann M, *et al.* Dressing animated synthetic actors with complex deformable clothes [J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1992, 26(2): 99-104

[2] Montani C, Scateni R, Scopigno R. Discretized marching cubes [C] //Proceedings of the IEEE Conference on Visualization'94. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1994: 281-287

[3] Dorai C, Wang G, Jain A K. Registration and integration of multiple object views for 3D model construction [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(1): 83-89

[4] Hasler N, Ackermann H, Rosenhahn B, *et al.* Multilinear pose and body shape estimation of dressed subjects from image sets [C] //Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2010: 1823-1830

[5] Guan P, Weiss A, Balan A O, *et al.* Estimating human shape and pose from a single image [C] //Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2009: 1381-1388

[6] Balan A, Sigal L, Black M J, *et al.* Detailed human shape and pose from images [C] //Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2007: 1-8

[7] Xiao Jun, Zhuang Yueting, Wu Fei. Computer vision and machine learning in 3D human animation: a survey [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(3): 281-290 (in Chinese)

肖俊, 庄越挺, 吴飞. 计算机视觉与机器学习技术在三维人体动画中的应用综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(3): 281-290

[8] Weiss A, Hirshberg D, Black M J. Home 3D body scans from noisy image and range data [C] //Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2011: 1951-1958

[9] Tong J, Zhou J, Liu L G, *et al.* Scanning 3D full human bodies using Kinects [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2012, 18(4): 643-650

- [10] Tomasi C, Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images [C] //Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1998: 836-846
- [11] Allen B, Curless B, Popovic Z. The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 587-594
- [12] Anguelov D, Srinivasan P, Koller D, *et al.* SCAPE: shape completion and animation of people [J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 408-416
- [13] Zhou S Z, Fu H B, Liu L G, *et al.* Parametric reshaping of human bodies in images [J]. ACM Transactions on Graphics, 2010, 29(4): Article No. 126
- [14] Amberg B, Romdhani S, Vetter T. Optimal step nonrigid ICP algorithms for surface registration [C] //Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2007: 1-8
- [15] Besl P J, McKay H D. A method for registration of 3-D shapes [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239-256
- [16] Svoboda T, Martinec D, Pajdla T. A convenient multi-camera self-calibration for virtual environments [J]. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2005, 14(4): 407-422
- [17] Hasler N, Stoll C, Sunkel M, *et al.* A statistical model of human pose and body shape [J]. Computer Graphics Forum, 2009, 28(2): 337-346

### (上接第 872 页)

- [10] Su Guangda, Meng Kai, Du Cheng, *et al.* Face recognition method based on the geometric size normalization: China, 200510067962. X[P]. 2005-10-26 (in Chinese)  
(苏光大, 孟 凯, 杜 成, 等. 基于人脸几何尺寸归一化的人脸图像识别方法: 中国, 200510067962. X[P]. 2005-10-26)
- [11] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [C] //Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2001. Washington D C: IEEE Computer Society Press, 2001: 511-518
- [12] Freund Y, Schapire R E. Decision-theoretic generalization of online learning and an application to boosting [J]. Journal of Computer and System Sciences, 1997, 55(1): 119-139
- [13] Kanade T. Picture processing system by computer complex and recognition of human faces [D]. Kyoto: Kyoto University, Department of Information Science, 1973
- [14] Jesorsky O, Kirchberg K J, Frischholz R W. Robust face detection using the Hausdorff distance [C] //Proceedings of the 3rd International Conference on Audio and Video-Based Biometric Person Authentication. Berlin: Springer, 2001: 90-95
- [15] Dai Jingwen, Liu Dan, Su Jianbo. Rapid eye localization based on projection peak [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2009, 22(4): 605-609 (in Chinese)  
(戴景文, 刘 丹, 苏剑波. 基于投影峰的眼睛快速定位方法 [J]. 模式识别与人工智能, 2009, 22(4): 605-609)
- [16] Ai Juan, Yao Dan, Guo Yuefei. Eye location based on blocks [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(10): 1841-1844 (in Chinese)  
(艾 娟, 姚 丹, 郭跃飞. 基于块的眼睛定位方法 [J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(10): 1841-1844)
- [17] Sun Darui, Wu Lenan. Eye detection based on Gabor transforms [J]. Journal of Circuits and Systems, 2001, 6(4): 29-32 (in Chinese)  
(孙大瑞, 吴乐南. 基于 Gabor 变换的人眼定位 [J]. 电路与系统学报, 2001, 6(4): 29-32)

作者：[周瑾](#)，[潘建江](#)，[童晶](#)，[刘利刚](#)，[潘志庚](#)，[Zhou Jin](#)，[Pan Jianjiang](#)，[Tong Jing](#)，[Liu Ligang](#)，[Pan Zhigeng](#)

作者单位：[周瑾,潘建江,Zhou Jin,Pan Jianjiang\(杭州电子科技大学应用数学与工程计算研究所 杭州 310018\)](#)，[童晶,Tong Jing\(河海大学计算机与信息学院 常州 213000\)](#)，[刘利刚,Liu Ligang\(中国科学技术大学数学科学学院 合肥230026\)](#)，[潘志庚,Pan Zhigeng\(杭州师范大学数字媒体与人机交互研究中心 杭州 310018\)](#)

刊名：[计算机辅助设计与图形学学报](#)

英文刊名：[Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics](#)

年，卷(期)：2013, 25(6)

参考文献(17条)

1.[Carignan M;Yang Y;Thalmann M](#) [Dressing animated synthetic actors with complex deformable clothes](#) 1992(02)

2.[Montani C;Scateni R;Scopigno R](#) [Discretized marching cubes](#) 1994

3.[Dorai C;Wang G;Jain A K](#) [Registration and integration of multiple object views for 3D model construction](#)[外文期刊] 1998(01)

4.[Hasler N;Ackermann H;Rosenhahn B](#) [Multilinear pose and body shape estimation of dressed subjects from image sets](#) 2010

5.[Guan P;Weiss A;Balan A O](#) [Estimating human shape and pose from a single image](#) 2009

6.[Balan A;Sigal L;Black M J](#) [Detailed human shape and pose from images](#) 2007

7.[肖俊;庄越挺;吴飞](#) [计算机视觉与机器学习技术在三维人体动画中的应用综述](#)[期刊论文]-[计算机辅助设计与图形学学报](#) 2008(03)

8.[Weiss A;Hirshberg D;Black M J](#) [Home 3D body scans from noisy image and range data](#) 2011

9.[Tong J;Zhou J;Liu L G](#) [Scanning 3D full human bodies using Kinects](#) 2012(04)

10.[Tomasi C;Manduchi R](#) [Bilateral filtering for gray and color images](#) 1998

11.[Allen B;Curless B;Popovic Z](#) [The space of human body shapes:reconstruction and parameterization from range scans](#)[外文期刊] 2003(03)

12.[Angelov D;Srinivasan P;Koller D](#) [SCAPE:shape completion and animation of people](#)[外文期刊] 2005(03)

13.[Zhou S Z;Fu H B;Liu L G](#) [Parametric reshaping of human bodies in images](#) 2010(04)

14.[Amberg B;Romdhani S;Vetter T](#) [Optimal step nonrigid ICP algorithms for surface registration](#) 2007

15.[Besl P J;McKay H D](#) [A method for registration of 3-D shapes](#)[外文期刊] 1992(02)

16.[Svoboda T;Martinec D;Pajdla T](#) [A convenient multi-camera self-calibration for virtual environments](#) 2005(04)

17.[Hasler N;Stoll C;Sunkel M](#) [A statistical model of human pose and body shape](#)[外文期刊] 2009(02)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jsjfszsjtxxb201306015.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjfszsjtxxb201306015.aspx)