

基于 Kinect 的三维人体扫描、重建及测量技术的研究

宋诗超^{1,2}, 禹素萍^{1,2}, 许武军^{1,2}

(1. 东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620; 2. 东华大学 教育部数字化纺织服装工程技术工程研究中心, 上海 201620)

摘要: 利用微软公司推出的深度相机 Kinect 对人体进行扫描, 获取人体深度数据, 进一步构建人体表面点云数据; 再运用 Pro/E 软件对点云数据进行人体模型重建, 最后对人体表面特征数据进行测量。结果表明: 与传统的 3D 扫描仪相比, Kinect 能在视频速率下获得深度图像数据并且不用过分考虑光线和纹理环境。

关键词: Kinect; 三维人体扫描; 人体模型重建; 人体测量

中图分类号: TS941.26

文献标志码: A

文章编号: 1671-024X(2012)05-0034-04

Study on 3D body scanning, reconstruction and measurement techniques based on Kinect

SONG Shi-chao^{1,2}, YU Su-ping^{1,2}, XU Wu-jun^{1,2}

(1. College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Engineering Research Center of Digitized Textile & Fashion Technology of Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: A kind of depth camera named Microsoft Kinect is used to scan the body. Firstly, the body depth data are captured, and the 3D body point cloud data are calculated. Secondly, the body model is reconstructed by using Pro/E. At last, the characteristic data of the body surface are measured. Compared with conventional 3D scanners, depth image can be captured by the device at video rate with little effect of light or texture condition.

Key words: Kinect; 3D body scanning; body model reconstruction; body measurement

三维人体模型在动画、电脑游戏、服装设计、舞台表演、工业等领域有着非常广泛的应用。建立三维人体模型的方法主要有 2 种: 一是通过现在比较流行的建模软件如 3DMax、Maya、Poser 等进行构建, 但是通过这种方法建立的人体模型一般都是标准化的人体模型, 在服装领域, 尤其是在定制服装方面, 需要专业的三维建模师, 一般设计师难以掌握其操作, 这就增加了产品的成本, 因此这种方法局限性很大^[1]; 二是利用三维扫描技术。例如: 以白光为基础的扫描技术的影像莫尔法和投影莫尔法; 利用激光二极管发出条光投射到扫描物体表面上, 通过三角测量方法获得数据的激光技术扫描; 在电磁光谱的红外线区域里操作红外线图像传感器, 利用红外线光发射半导体和半导体

位置敏感探测仪, 将红外线能量转换成电子信号, 聚焦于屏幕上的红外线技术扫描等等^[2]。上述方法都能获得真实人体表面的几何数据, 并将这些数据重建, 得到详细的人体模型。目前世界上一些发达国家, 如美国、德国、英国、法国和日本等已经采用上述几种方法研制出了一些先进的非接触式三维人体测量装置, 精度和测量速度都比较高, 但并未得到广泛的应用, 究其原因主要是其动辄几十万甚至上百万美元的购买成本是一般厂商无力承担的。Kinect 因其体积小, 价格低, 使用简单, 在服装定制、采购与电子商务的结合领域, 有着更为广泛的市场推广前景。本文采用 Kinect 在视频速率下获取人体表面深度数据, 进一步构建人体表面点云数据, 然后利用 Pro/E 软件对点云数据重

收稿日期: 2012-06-14

基金项目: 上海市科委长三角联合攻关项目(10595812200); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(11D10417)

第一作者: 宋诗超(1985—), 男, 硕士研究生。

通信作者: 禹素萍(1977—), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师。E-mail: yusuping@dhu.edu.cn

建,最后完成对人体表面特征数据的测量.

1 基于 Kinect 的 3D 人体扫描

1.1 Microsoft Kinect 简介

Kinect 是美国微软公司于 2010 年 11 月 4 日推出的 XBOX-360 游戏机体感周边外设的正式名称,它实际上是一种 3D 体感摄影机,利用即时动态捕捉、影像辨识、麦克风输入、语音辨识、社群互动等功能让玩家摆脱传统游戏手柄的束缚,通过自己的肢体控制游戏,并且实现与互联网玩家互动,分享图片、影音信息.

Kinect 设备如图 1 所示. 基座和感应器之间有一个电动机,在上面的感应器中有 1 个红外投影仪,2 个摄像头,4 个麦克风和 1 个风扇. 图 1 最左边 a 是红外光源;b 是 LED 指示灯;c 是彩色摄像头, 用来收集 RGB 数据;d 是红外摄像头, 用来采集景深数据. 彩色摄像头最大支持 1 280×960 分辨率成像, 红外摄像头最大支持 640×480 成像^[3].

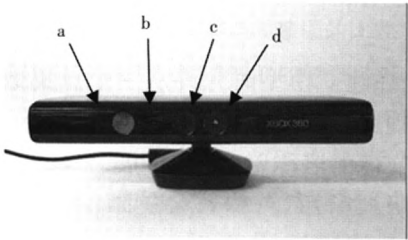


图 1 Kinect 设备
Fig.1 Kinect

1.2 Kinect 深度测量原理

Kinect 有红外发射器和摄像头, 它从红外摄像头获取的红外数据后,在内部对其进行计算处理,然后产生深度数据. Kinect 摄像机的视野是有限的,其视场如图 2 所示.

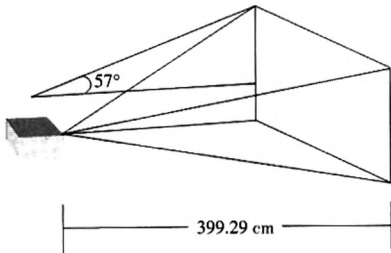


图 2 Kinect 的视场
Fig.2 Field of view of Kinect

由图 2 可知,Kinect 的视场呈锥状, 仰角 57°,最大探测距离 399.29 cm, 物体离 Kinect 越远其视场的横截面积越大. 因此在实际当中, 影像的高度和宽度

与其实际物理位置并不一一对应. 但是每个像素的深度值是和视场中物体离 Kinect 的距离是对应的.

1.3 Kinect 深度数据

在深度帧数据中, 每个像素占用 2 个字节即 16 位,深度值占用 16 位中的 13 位. 如图 3 所示. 要获取像素的距离需要做位操作. 图 3 中,深度值存储在第 3 至 15 位中, 要获取能够直接使用的深度数据需要向右移位,将游戏者索引(Player Index)位移除.

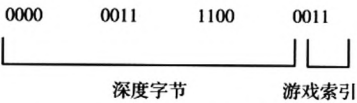


图 3 Kinect 深度数据帧结构
Fig.3 Structure of depth data frame

下列代码简要描述了如何获取像素的深度值.

```
Int32 pixelIndex = (Int32)(X + ((Int32)Y * frame.Width));
```

```
Int32 depth = this.depthPixelDate [pixelIndex] >> DepthImageFrame.PlayerIndexBitmaskWidth;
```

代码中 pixelData 变量就是从深度帧数据中获取的深度信息数组. PixelIndex 中的待计算像素的位置就算出来的. Kinect SDK 在 DepthImageFrame 类中定义了一个常量 PlayerIndexBitmaskWidth, 它定义了要获取深度数据值需要向右移动的位数. 在编写代码时要使用这一常量.

在图像的研究和应用中,并不是研究图像的全部而是其中的一部分, 这些部分通常称为目标或前景, 其他部分称为背景^[4]. 它们一般对应图像中特定的、具有独特性质的区域. 为了辨识和分析目标, 须要将它们分别提取出来,在此基础上就能对目标进一步利用. 如图 4 所示,白色部分的人体模型为目标区域,除去人体模型外的其他部分为背景. 为了去除背景部分本文采取阈值法来进行关键深度数据的获取.

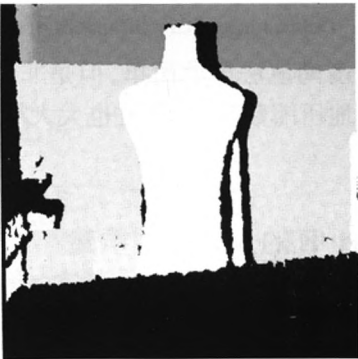


图 4 有背景的深度图像
Fig.4 Depth image with background

在普通的图像处理中,阈值法是比较常用、比较简单的分割方法,它是一种按灰度的幅度分割的方法。在阈值法中,图像的灰度被分成不同的等级,然后用设置灰度门限的方法确定有意义的区域或欲分割的物体的边界^[5]。由于阈值法实现简单、计算量小、性能较稳定而成为图像分割中最基本和应用最广泛的分割技术,已被应用于很多的领域。

阈值法分割有 2 个主要步骤:①确定需要的分割阈值;②将分割阈值与像素值相比较以划分像素。

本文中,阈值的选取对象与传统阈值法有所不同,对象不是灰度,而是模型的深度值。这种方法即为深度阈值处理法。图像深度阈值化的目的是要按照深度级,对像素集合进行一个划分,得到的每个子集形成一个与现实景物相对应的区域,各个区域内部具有一致的属性,而相邻区域不具有这种一致属性。这样的划分可以通过从图像的深度级出发选取一个或多个阈值来实现。具体算法如式(1)所示。

$$f(x,y) = \begin{cases} D(\delta_2 < D < \delta_1) \\ 0(D \leq \delta_2 \text{ or } D \geq \delta_1) \end{cases} (\delta_1 > \delta_2) \quad (1)$$

设图像 $f(x,y)$, 对于输入图像的各个深度值,确定 2 个深度(即阈值) δ_1 和 δ_2 , $\delta_1 > \delta_2$, 当像素深度值 D 大于 δ_1 或者小于 δ_2 , 则 $f(x,y) = 0$, 否则 $f(x,y) = D$ 。

经过阈值法处理,提取目标结果如图 5 所示。

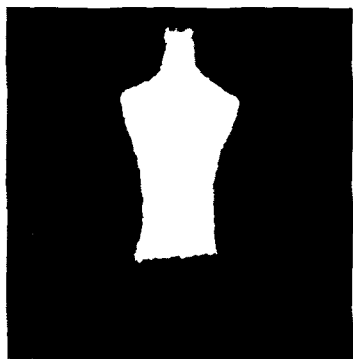


图 5 阈值处理后模型的深度图像

Fig.5 Depth image after threshold processing

使用深度阈值法虽然简单,但是非常有效,它不仅极大地压缩数据量,而且也大大简化了分析和处理步骤。

2 基于 Pro/E 的人体模型重建

2.1 点云数据与 Pro/E 软件接口方法的实现

通过 Kinect 扫描获得的深度数据,可以生成的带有三维坐标信息,这些信息被称之为人体表面点云数据,但是这些离散的三维点构成的“点云”,没有任何

明显的形体特征和拓扑信息。这为后续的信息提取带来了不便,因此对点云数据的可视化是进一步应用的前提。

常用的点云数据处理软件有美国 Imageware 公司的 Sufacer10.0、英国 DelCAM 公司的 CopyCAD、英国 MDTV 公司的 STRIM and Surface Reconstruction、英国 Renishaw 公司的 TRACE, 还有德国 Leica 公司的 Cyclone、美国 Trimble 的 Realworks、Geomatics 等。另外,在一些流行的 CAD/CAM 集成系统中也开始集成了类似模块,如 Uni-graphics 中的 PointCloud 功能、Cimatron90 中的 Reverse Engineering 功能模块等。其他的还如 SolidWorks 公司的 SolidWorks、Autodesk 公司的 AMD、UGS 公司的 UG、PTC 公司的 Pro/E、SDRC 公司的 IDEAS、Intergraph 公司的 SolidEdge、3D/Eye 公司的 Trispectives^[6]。

但是这些软件不能直接读取点云数据,只能把它们转换成这些软件能读取的数据格式才能实现建模。因此,研究点云数据与软件的数据接口是必要的。本文采用的是 Kinect 获得的点云数据与 Pro/E 软件的接口方法。

Pro/E 在建立模型时允许从一个点集数据文件输入数据,因此很容易实现与点云数据的接口。此类型点云数据文件的名称以 pts 为扩展名,点云数据的格式如图 6 所示。

X_1	Y_1	Z_1
X_2	Y_2	Z_2
...		
X_n	Y_n	Z_n

图 6 pts 点文件的数据格式

Fig.6 Data format of pts point files

此种点云数据文件都遵循如下的一般规则:文件为简单的文本文件,每个点数据占一行,空行将被忽略。# 号用于标记注释行的开始,可置于行的任何位置。系统读取数据行时,# 号后的内容被忽略。每个点在一行内用它的 x 、 y 、 z 3 个坐标值表示^[7]。

将 Kinect 获取的深度数据按照上述格式写成包含人体表面三维信息的 pts 点云数据文件后,再用 Pro/E 软件进行读取,从而实现点云数据的可视化,如图 7 所示。

2.2 利用 Pro/E 重建人体模型的结果及分析

图 8 所示为人体模型原图与重建图的比较。

将可视化的点云直接进行重构就得到如图 8(b)

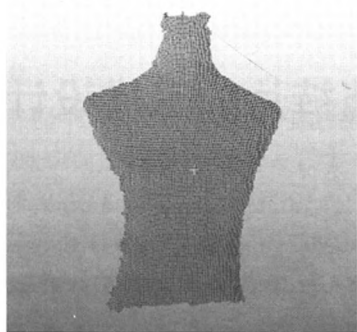
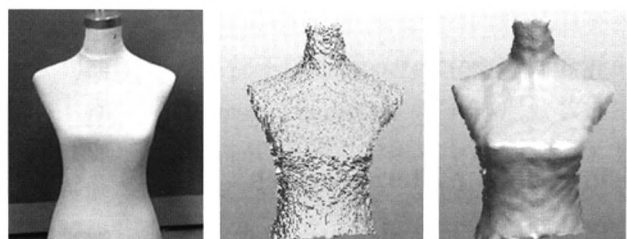


图7 人体模型三维点云数据可视化图

Fig.7 3D point cloud data of body model



(a) 模型原图 (b) 直接利用点云数据 (c) 对点云数据降噪后对人体模型重建图

图8 人体模型原图与重建图的比较

Fig.8 Body model image and reconstruction image

所示的结果.从图8(b)中可以看出,模型表面粗糙,纹理较多,其原因主要是 Kinect 获取人体模型表面的深度点的数量较多,难免会有误差,这样就会出现一些深度起伏较大的点,即为噪声点,对模型重构后,噪声点就会凸显,呈现在模型上成为粗糙的纹理.为了能够得到质量较高的模型,需要对点云数据进行去噪声处理,如图8(c)所示,即为对点云数据去噪声后得到的重建模型.从图8(c)中可以看出,较之图8(b),模型的表面平滑了许多,同时也与图8(a)的原始模型基本相符,说明利用 Kinect 捕获的人体表面数据详细、准确,能与实际数据能够成线性的比例关系,这就为人体表面特征数据的测量提供了依据.

3 人体表面特征数据的测量

3.1 点云数据的量化标定

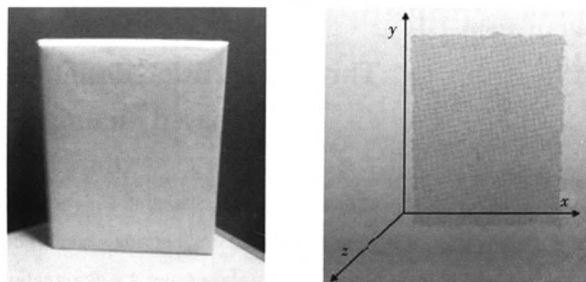
人体表面特征为不规则的曲线,情况非常复杂,这使得用 Kinect 得到的点云数据在空间内分布并不规则,很难直接通过人体点云数据进行量化并计算它们之间的距离关系,进一步得到人体表面特征数据.

在定标之前,首先确立坐标系. x 轴表示模型的宽度, y 轴表示模型的高度, z 轴表示模型的深度.由 Kinect 视场可知, x,y 轴像素间的像素距离与这2个

像素表示的实际物距并不相符,而是按照一定比例缩放的相对值,所以对点云数据的标定,实际上就是找出像素间 x,y 方向的相邻2像素间的像素距离与这2个像素表示的实际物距间的对应关系.这就需要借助一个标准模型作为参照.本文参照模型为一个长 L 为270 mm、高 H 为340 mm的标准长方体,如图9.设 x 轴方向的模型像素点数为 n_1 , y 轴方向的模型像素点数为 n_2 ,则 x,y 轴方向2像素点表示的实际物距 w,h 可由式(2)得出.

$$\begin{cases} w = \frac{L}{n_1 - 1} \\ h = \frac{H}{n_2 - 1} \end{cases} \quad (n_1, n_2 > 1) \quad (2)$$

经计算得 $w = 1.52 \text{ mm}$, $h = 2.12 \text{ mm}$.



(a) 长方体模型原图 (b) 长方体模型坐标系内的点云数据图

图9 长方体模型原图及坐标系内的点云数据图

Fig.9 Cuboid mode and point cloud data coordinate image of it

3.2 人体模型表面数据的测量

在空间坐标系中,2点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 间的距离如式(3)所示:

$$|\overrightarrow{P_1 P_2}| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (3)$$

由于人体模型表面的点云数据非常密集,可将相邻像素点之间表示人体表面的弧线距离近似为直线距离,则人体表面任意两像素点的实际长度公式如式(4)所示:

$$\begin{cases} D = \sum_{N=1}^{i-1} d_N \\ d_n = \sqrt{(S_{n+1} - S_n)^2 + w^2 + h^2} \end{cases} \quad (4)$$

式中: D 为模型表面任意2点间的实际长度; d 为任意2个像素点间的实际距离; s 为像素点的深度距离; i,n 均为正整数,且 $i \geq 2, n \geq 1$.

选取人体模型的肩宽、胸围、腰围3个特征部位进行测量,结果如表1所示.

(下转第41页)

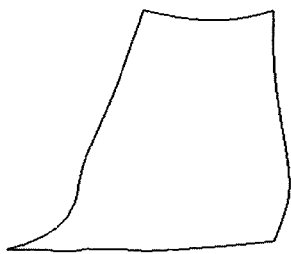


图 8 提臀裤的平面展开图
Fig.8 Flattening pattern of hip-raising pants

5 结束语

将 UG 逆向工程与现代服装设计相结合,从对人体臀部的三维测量、点云处理、构线绘面、曲面变形及平面展开,提出了提臀裤后上裆裤片的逆向设计方法,该方法打破了传统服装业从二维到三维的正向思维,为服装设计的量身定制提供了新的思路,解决了生产过程中重复试穿验证的繁琐问题。

本文作为一次探索性研究,在构建曲面及曲面变形过程中方法还不够成熟,获得的提臀裤后上裆裤片与二维设计时的纸样也稍有差别,这些问题都必须加

以改进.后续工作会着重研究平面样板的准确性,通过面料缝合、真人试穿、测量对比等实验对平面纸样进行验证,实现逆向工程在现代服装业的应用价值。

参考文献:

[1] 常丽霞,张欣.非接触三维人体测量技术在服装工业中的应用[J].国际纺织导报,2004,27(4):76-79.
[2] 刘正,张欣,陈翔.基于逆向工程技术的虚拟个性化人台的制作[J].天津工业大学学报,2005,24(3):38-40.
[3] 苏靖,陈韶娟.逆向工程技术在纺织工业中的应用[J].国际纺织导报,2007,30(12):56-59.
[4] 郑福祿,招才文,何志冲.UG NX6 中文版逆向造型设计经典实例解析[M].北京:清华大学出版社,2009:7.
[5] 成思源,谢韶旺.Geomagic studio 逆向工程技术及应用[M].北京:清华大学出版社,2010:35-50.
[6] 凌超.UG NX6.0 逆向设计典型案例详解[M].北京:机械工业出版社,2009:8-11.
[7] 张瑞萍,孙晓红,等.UG NX6 中文版标准教程[M].北京:清华大学出版社,2009:82-89.
[8] 何永喜.UG 曲面设计在逆向工程中的应用[J].辽宁经济技术职业学院学报,2011,6(5):60-61.
[9] 李燕.基于三维人体扫描数据的女性文胸立体设计研究[J].针织工业,2008,35(6):35-37.

(上接第 37 页)

表 1 人体模型测量值与实际值的比较

Tab.1 Measured value and actual value of body model

部位	测量值/mm	实际值/mm	误差/mm
肩宽	405.56	419.00	13.44
胸围	331.02	345.00	12.98
腰围	250.29	262.00	12.29

测量结果表明,测量值与实际值误差范围为 10~15 mm,说明用 Kinect 对人体进行测量是比较准确的。

4 结束语

本文利用 Kinect 获取人体模型表面深度数据,进一步得到人体模型表面的三维点云数据,再利用 Pro/E 软件对获得的点云数据进行优化,重建得到质量较高的三维人体模型,最后对模型的特征部位进行测量.重建和测量的结果表明,本文的处理过程有效、便捷,能快速得到符合要求的三维人体模型,并能计算出较为精确的人体表面特征数据.但是由于实验条件的有

限,本文只完成了对人体模型前半面的重建和测量的研究工作,在今后的研究中可以利用多个 Kinect 对人体不同角度进行深度数据的获取,进一步得到完整的人体模型和测量数据。

参考文献:

[1] 李雪飞,周毅灵.个性化三维人体 OBJ 模型文件的构建[J].纺织学报,2008,29(10):127-131.
[2] 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,2006,10(3):49-53.
[3] TONG Jing, ZHOU Jin, LIU Ligang, et al. Scanning 3D full human bodies using Kinects [J]. Visualization and Computer Graphics, 2012, 18(4): 643-650.
[4] 李志斌,王勇勇.C# 快速分割阈值灰度图像[J].福建电脑,2010,10(5):164-165.
[5] 林正春,王知衍,张艳青.最优进化图像阈值分割算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2010,22(7):1202-1205.
[6] 任常青,张青萍,张晓宇.基于 AutoCAD 的 LIDAR 点云数据可视化[J].测绘技术装备,2011,13(3):42-45.
[7] 王永强,于德敏,许增朴.点云数据与 CAD/CAM 软件接口方法研究与实现[J].微计算机信息,2005,21(8):63-65.

作者: 宋诗超, 禹素萍, 许武军, SONG Shi-chao, YU Su-ping, XU Wu-jun
作者单位: 东华大学信息科学与技术学院, 上海201620; 东华大学教育部数字化纺织服装工程技术工程研究中心, 上海201620
刊名: 天津工业大学学报 
英文刊名: Journal of Tianjin Polytechnic University
年, 卷(期): 2012, 31(5)
被引用次数: 1次

参考文献(7条)

1. 李雪飞;周毅灵 个性化三维人体OBJ模型文件的构建[期刊论文]-纺织学报 2008(10)
2. 徐继红;张文斌 非接触式三维人体扫描技术的综述[期刊论文]-扬州职业大学学报 2006(03)
3. TONG Jing;ZHOU Jin;LIU Ligang Scanning 3D full human bodies using Kinects 2012(04)
4. 李志斌;王勇勇 C#快速分割阈值灰度图像[期刊论文]-福建电脑 2010(05)
5. 林正春;王知衍;张艳青 最优进化图像阈值分割算法[期刊论文]-计算机辅助设计与图形学学报 2010(07)
6. 任常青;张青萍;张晓宇 基于AutoCAD的LIDAR点云数据可视化[期刊论文]-测绘技术装备 2011(03)
7. 王永强;于德敏;许增朴 点云数据与CAD/CAM软件接口方法研究与实现[期刊论文]-微计算机信息 2005(08)

引证文献(1条)

1. 刘卓 基于体感的人体运动捕捉技术在军事体育中的应用研究[期刊论文]-军事体育学报 2013(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_tjfgxyxb201205008.aspx