

基于 Kinect 深度图像的人体识别分析

李红波,丁林建,冉光勇

(重庆邮电大学 网络智能研究所,重庆 400065)

摘要:介绍了深度图像在模式识别中的研究现状及其在人体识别中的应用。针对目前普通相机拍摄的图像识别在光照、姿态、遮挡等因素影响下性能下降的问题,以微软推出的 Kinect 设备为平台,通过分析 Kinect 相机获取的深度图的特征,提出以综合点特征和梯度特征的局域梯度特征的方式来对人体部位区分判定,并以手肘为例作了简要论证。

关键词:Kinect;深度图像;局域梯度特征;人体识别

中图分类号:TP37

文献标识码:A

文章编号:1005-3824(2012)04-0021-06

0 引言

健全的交互式人体追踪已经在游戏、人机交互、安全工程、远程呈现以及卫生保健等行业中得到应用^[1]。然而,既能识别一般的身体动作,同时又要以满足实时交互所需的速率在硬件上实现实现的技术研究目前还远远不能满足需求^[2]。随着微软 Kinect 深度摄像机的出现,这一工作被大大简化。面向交互应用,基于深度图像进行动态动作识别,最明显的技术特点就是识别的高速率,即能够实现实时识别功能,以及识别的精确度。

利用深度图像进行模式识别是近年来兴起的技术,这主要得益于深度图摄像机的成本降低。特别是微软推出 Kinect 设备,极大地激发了研究者的兴趣。与飞行时间技术(time of flight, TOF)、结构光、三维激光扫描等深度相机相比, Kinect 深度相机的优势在于拍摄的深度图分辨率高,成本低。

以往的利用可见光图像的单目识别常常遭遇光照变化、阴影、物体遮挡以及环境变化等因素的干扰。利用深度图像进行模式识别可以很好地克服以上可见光图像模式识别常遇到的困难。深度图像中像素的灰度值仅与视场窗口平面到物体表面的距离有关。因此,深度图像首先具有空间颜色

无关性,不会遇到光照、阴影等因素的影响。其次,深度图像的灰度值与图像的横、纵坐标组合在一起,在一定的空间范围内,可以用来表示物体在 3D 空间中的坐标,因此可以等效成在 3D 空间中进行模式识别。再者,如果利用图像深度信息进行模式识别,就相当于单目 3D 空间模式识别,可以克服遮挡或重叠问题。更重要的是,深度图摄像机的成像原理可以很好地保证相机标定的鲁棒性,适应各种环境变化,使之容易自调节重新标定且不需要测量标定物。这样,系统研发可以更多关注识别算法本身,而不会过分依赖于标定等前端工作的准确性,极大地简化了实际应用系统的复杂程度。

1 深度图像与人体识别的研究现状

1.1 深度图像的概念与特征

在 3D 计算机图形学中,深度图像指从观察视角看去,图像所包含信息与场景物体表面距离相关的一种图像或一个图像通道。这样,假设图像深度值的变化方向(即摄像机拍摄方向)与所需要描述的三维场景的视场方向 Z 方向相同的话,那么就能够很容易地描述整个三维场景。因此,深度图像也称为距离图像。与彩色图像相比,深度图像能直接反映物体表面的三维特征,且不受光照、阴影和色度等因素的影响^[3]。在局部空间范围内和不需要

收稿日期:2012-07-10

颜色域信息时,深度图像可以代替双目成像。

理想的深度图像如图 1 所示,其中左图是立体结构的可见光图像,右图是深度图像,距离相机越近的位置灰度值越小。

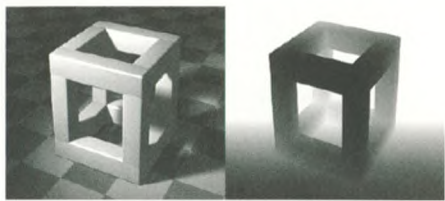


图 1 理想深度图像外观示意图

根据深度图像的定义,可以得到深度图如下 2 个性质:

- 1) 颜色无关性。该性质表明深度图像与彩色图像不同,不会有光照、阴影、以及环境变化的干扰;
- 2) 灰度值变化方向与视场 Z 方向相同。该性质表明,利用深度图像可以在一定范围内重建 3D 空间区域,并且可以在一定程度上解决物体遮挡或同一物体各部分重叠的问题。利用该特性,即使 2 个物体有遮挡部分,物体前后关系在深度图中产生的距离差别,即灰度值的分层性,也可以用某个阈值将遮挡物体或者同一物体的不同部分分割开来,这是可见光图像无法做到的。

1.2 深度图像模式识别研究现状

深度摄像机按照成像原理划分主要有飞行时间法(TOF)、结构光(structured light)、三维激光扫描(laser scanner)等几种,主要应用于机器人、互动游戏等领域。其中飞行时间法的原理是通过给目标连续发送光脉冲,然后用传感器接收从物体返回的光,通过计算光脉冲的往返飞行时间来得到目标物体的距离。结构光法是一种主动光学测距技术,其基本原理是由结构光投射器向被测物体表面投射可控制的光点、光条或光面结构,并由图像传感器(如摄像机)获得图像,通过系统化的几何关系,利用三角原理计算得到物体的三维坐标。三维激光扫描是利用脉冲激光或者相位激光结合快速扫描技术瞬间得到三维空间中坐标的点云(point cloud)数据测量值,可以快速构建结构复杂、不规则的场景。

利用深度图像进行模式识别是近年来兴起的一种方法。其原因是,虽然上述 3 种深度图摄像机价格越来越便宜,并且在工业上得到广泛应用,但

是对于研究领域还是非常昂贵。一家以色列的公司 PrimeSense 于 2010 年 4 月推出为微软 XBOX 专用的三维测量技术的外部设备 Kinect(由动力学“kinetic”与连接“connect”2 个词汇组成的原创混合词)。该设备使用一种类似结构光而不是向空间发射特定形状的技术,叫光编码(light coding)技术,其检测装置只需要一块普通的 CMOS 芯片,因此成本大大降低,可作为民用化设备。其原理是对三维空间进行纵深标记,标记的信号光源采用的是激光散斑(laser speckle),当激光照射到粗糙物体或穿透毛玻璃后形成随机衍射斑点,这些斑点会随着距离而产生不同的图案,因此相机拍摄前首先对三维空间进行一次标定。在 PrimeSense 的专利^[14]上标定的方法是:每隔一段距离,取一个参考平面,把参考平面上的散斑图案记录下来。当检测物体时,所拍摄场景的散斑图像与标定的参考图像依次计算相关系数,存在物体的位置会出现峰值,将每一层参考平面处的峰值叠加,然后经过一些插值计算,就能够得到整个三维场景形状了。

Kinect 设备的出现极大地激发了研究者的兴趣,特别是计算视觉和模式识别的研究者们。其中较为著名的应用有人体检测与跟踪^[4]、姿势识别^[5,6]和头部识别^[7]等。这几篇文献中的工作有一定的相通性,其技术发展呈螺旋上升趋势。Lu Xia^[4]首先对深度图像利用 Canny 算子^[8]进行边缘提取,然后通过计算距离变换和模型匹配的方法,计算出头部的位置并根据经验比例定位整个人体,进而达到检测与跟踪的目的。与 Lu Xia 相比,Abhishek Kar^[5]也是通过距离变换与模型匹配的方法,但是在头部定位的时候选取的是训练过的 Haar 特征级联的分类模型,训练方法采用 Adaboost 算法。Shotton^[6]等提出一种对整幅图像逐点分类的方法,特征采用像素差分,分类方法采用随机森林训练过的分类器,训练样本采用计算机图形学技术的人工合成的人体深度图像。与 Shotton 相比,G. Faneli^[7]的方法也是采用人工合成深度图与变种的随机森林分类器训练的思路,但是所解决的问题是人体头部位置与方向的检测,并采用头部、非头部分别作为正、负样本做训练。

1.3 深度图像在人体识别中的应用

利用深度图像对人体进行识别主要包括人体部位的静态识别(部分识别和全身识别)、对骨骼、

关节位置的判定以及人体动作的动态识别等。在全身识别方面, Grest^[9]运用迭代最近点法来追踪已知大小的骨架和起始姿势。Anguelov^[10]等人通过分割图像以及马尔可夫随机场(MRF)模型将3D范围扫描数据中的人模型分割为头、四肢、躯干以及背景几部分。Kalogerakis^[11]用全封闭的三维网格从头顶开始进行分类并分割为不同的部分,然而并没有解决遮挡问题以及对划分拓扑敏感问题。Plagemann^[12]等建立了一个三维网格以找出与测量极值相关的点,并将这些点分为头部、手部、脚部3部分。人脸识别的研究主要集中在二维人脸图像(灰度或彩色图像)。目前的二维人脸识别系统在受控条件下能取得很好的性能,但在光照、姿态、化妆等因素影响下性能将急剧下降。基于深度图像的三维人脸识别可以有效克服或减轻这些因素的影响。天津大学的叶剑华等^[13]采用局部二值模式(local binary pattern, LBP)算子分别提取人脸灰度图像和深度图像的区域LBP直方图序列(LBP histogram sequence, LBPHS),对图像进行分块,从不同层次进行分析,将基于深度图像和灰度图像的算法进行融合,以提高识别率。

2 Kinect 技术

2.1 Kinect 简介

Kinect 是微软在2010年6月14日对XBOX360体感周边外设正式发布的名字。如图2所示, Kinect内置了用于语音识别的阵列麦克风系统,带1个XBOX360外接的3D体感摄影机,利用即时动态捕捉、影像辨识、麦克风输入、语音辨识等功能让玩家摆脱传统游戏手柄地束缚,通过自己的肢体控制游戏。

Kinect 共有3个摄像头,中间的镜头是RGB彩色摄像机,左右两边镜头分别为红外线发射器和红外线CMOS摄像机。此外, Kinect还搭配了追焦技术,底座马达会随着对焦物体的移动而转动。



图2 Kinect 结构图

2.2 Kinect 深度成像的基本原理

根据PrimeSense公司的专利^[14]记载, Kinect深度成像的原理是一种叫做光编码(light coding)的技术。组成成像系统的三个核心元件包括:激光发射器,不均匀透明介质,CMOS感光器件。其构造图如图3所示^[14]。其中,激光发射器与CMOS感光器件成一定角度对准目标场景,而不均匀透明介质放置于激光发射器镜头前。激光发射器透过不均匀介质发射激光,在场景中形成激光散斑。CMOS感光元件可以拍摄散斑图像。

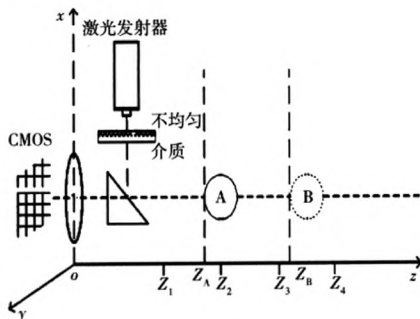


图3 成像系统构造图

光编码技术的成像过程如图4所示。

第1步,标定。首先在目标区域距光源的多个不同位置分别用CMOS感光元件采集散斑图案,然后存储这些不同位置的图案作为参考图像。此时标定完成。图3中,参考图像的位置分别记为 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 。

第2步,取样。当不透明物体放入场景,或者物体在场景中运动时,在物体表面形成新的散斑,得到测试图像,此时的散斑图样发生变化,与所有参考图像均不同。在图3中,物体A和物体B表面形成散斑的位置是 Z_A, Z_B 。

第3步,定位。将测试图像与所有参考图像分别计算相关系数,选取产生相关系数最大的参考图像,即物体在该参考图像所在位置的可能性最大。在图3中,场景放入A物体所拍摄的 Z_A 位置散斑测试图与 Z_2 处参考图像相关系数最大,即认为A物体在 Z_2 距离处。同理,B物体认为在 Z_3 距离处。

第4步,重建。根据所选取的参考图像与光源间的标定关系,通过几何变换,计算得出物体到光源的距离,构建3D图像。并对距离数据归一化,转换成图像灰度值,最后将所生成的深度图像输出给外部处理设备。此时即完成对场景某一时刻的深度图像拍摄,向外部处理系统输出。然后返回执行第2步,得到连续不断的深度图像视频流。

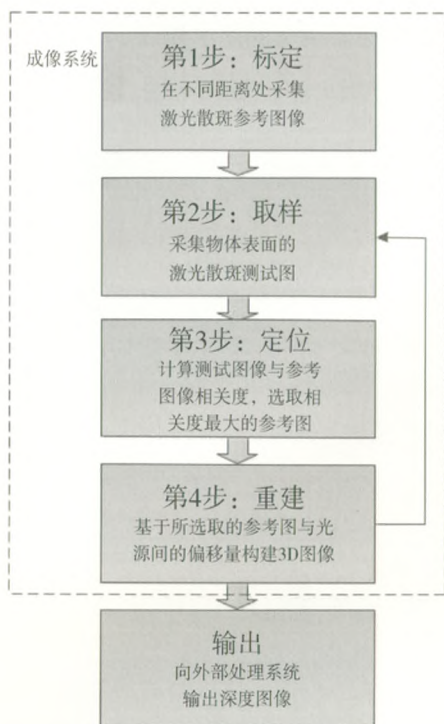


图4 光编码技术成像过程图

3 深度图像的人体识别分析

3.1 利用 Kinect 获取深度图像数据

对常见的姿势进行识别试验,需要收集用以训练的大量的人体姿态图像。由于目前没有公开的深度图像人体姿态标准库,因此利用微软 Kinect 设备自制小样本库。如图5所示,仅人的双手就能产生各种各样不同方式的动作,人体能够做出的动作是无法统计完全的。为避免在动作选取阶段进行大量重复性工作,从中选取变化明显的动作样本,从而生成人的不同形状及尺寸所对应的深度图。该图位深是 16 bit,因此图像灰度值的范围是 0 ~ 65 535。当取值为 0 时,距离为最近有效距离;当取值为 65 535 时,距离为 Kinect 深度摄像机所能支持的最远距离。



图5 深度图像样本

3.2 深度图像特征提取的问题分析

在特征提取中,好的特征是能够对不同类别的样本有很高的区分度,并且尽可能的减少特征的维数以及计算量。梯度与点特征是可见光人体识别的特征提取中两大类常见的特征。梯度特征包括 Canny 算子^[8], Laplace-Gaussian^[15] 算子和方向梯度直方图^[16] (HOG)等。对于前2种算子,能够比较好地检测出图像中所有边缘处的点,即灰度值变化较大的点。但是这2种方法很可能将图像分割成几个不连通的区域块,对于复杂场景中的人体识别还需要进一步进行图像处理以排除其他噪声地干扰。如果选用经典的形态学方法结合阈值分割,虽然能够去除一部分细小噪声;也有可能同时破坏被检测目标的形态。方向梯度直方图是人体检测与识别中非常经典的方法,其优点是处理精度高,检测效果好,但是缺点是维数高,计算开销大,动辄几千维,因此实时处理很难保证。另一方面,常见的点特征包括角点^[17-18], SIFT^[19]等。虽然维度不高,但是点特征在背景比较凌乱的情况下难以适应人体多变的姿态,而且点特征还需要进行聚类等操作,加大大解决问题的难度。因此,单纯的采用梯度特征或者点特征都不是一个好的解决方案。

3.3 深度图像局域梯度特征的提出

在分析深度图像的性质之后,结合所要处理的深度图像,如图5所示。采用以下被本文称作深度图像局域梯度特征的方式。该特征是点特征与梯度特征的良好结合,并且很好地利用深度图像的性质,能够反映特征点周围的局域信息。梯度局域特征的示意图如图6所示。

设深度图像为 I , 任意像素为 x , $d_1(x)$ 是 x 点处的深度值(灰度值)。另设集合 D 为方向集,是平面八等分角的集合,

$$D = \{\alpha | \alpha = \frac{t\pi}{4}, t \in Z\} \quad (1)$$

另外, $K_\alpha = (k_1, k_2)$ 代表以原点为起点,与水平向右方向呈 α 角度的偏移向量,满足,

$$k_1, k_2 = \begin{cases} \text{常数} & \text{且 } k_1^2 + k_2^2 \neq 0, \alpha \in D \\ 0 & \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中: $t = 2 * (2m + 1) (m \in Z)$ 时, $k_1 = 0, k_2$ 取常数值; $t = 2 * (2m) (m \in Z)$ 时, $k_2 = 0, k_1$ 取常数值;其他情况下 k_1, k_2 取常数值。另设 θ 是由任意2个偏移向量组成的向量对, $\theta = (K_u, K_v), U, V \in D$, 共 28 对。对每个 θ , 局域梯度特征计算如下

$$f_\theta(l, x) = d_1(x + K_u) - d_1(x + K_v) \quad (3)$$

式(3)中: $f_{\theta}(l, x)$ 反映像素 x 周围的梯度信息,并以此来表示像素 x 的特征,既属于一种点特征,也是一种类梯度特征,是二者的良好组合。对于同一个物体,局域梯度特征具有空间位置不变性,即当该物体在场景中自由平移时,其表面上点的特征数值是不变的。特别的,对于球表面绝对不变,即不随球体沿任意方向的旋转而改变。因此该特征能够很好地地区分表面凹凸不平的物体。

4 举例论证

对于人体部位与姿势,深度图像局域梯度特征有很好的区分度。以手肘为例,取 28 维特征向量的其中 2 维来进行说明。

如图 6,图 a 是某一张深度图样本,该人面朝镜头,矩形框中是该人的左右两个手肘,其左手肘是 90° 向上弯曲,右手肘向斜下方伸直。图 b 与图 c 分别是左右手肘的放大图像。设该 2 维特征分别是按照 $\theta_i = (K_u, K_v)$, $\theta_j = (K_u, K_v)$ 的偏移向量对计算得来。对 θ_i 的特征值,在图 b 中 $f_{\theta_i}(l, X_b)$ 是一个较大的差值,而 c 图中,对应的一维特征值 $f_{\theta_i}(l, X_c)$ 趋于 0;反过来,对于 θ_j 特征值对图 b 的手肘 $f_{\theta_j}(l, X_b)$ 趋于 0,而图 c 中 $f_{\theta_j}(l, X_c)$ 是一个很大的值。

此外,可以直观地粗略估计,对其他 26 维特征值, b 图与 c 图差别不大,那么和的这 2 维特征值即可区分左右手肘以及左右手肘的姿势(左手肘向上弯曲,右手肘向斜下方伸直)。对于其他的动作或者姿势也可以用公式(3)计算得来的 28 维特征向量区分,道理与图 6 所示相同。

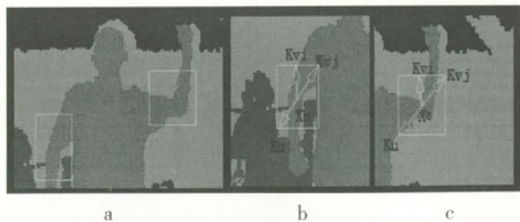


图 6 深度图像局域梯度特征

这种深度图的局域梯度特征受启发于前人的工作,不止一篇文献中提到了类似的思想或者变种^[6,20-21]。Fanelli G^[16]提出的思想是在此基础上加上空间归一化系数,且偏移半径尺度为随机数;Lepetit V^[20]的思想是单纯的可见光灰度图像邻域偏移量相加减,进而作为二叉树结构的分类;Shotton J^[21]思想是中心像素 R, G, B 三个通道交叉相减。深度图的局域梯度特征至少有 4 个优点:

1) 计算量小——因为只涉及图像像素数值的

算术运算,总共 28 维,那么有 3×28 次加减法算术运算;

2) 深度图像不受光照、颜色、阴影或者纹理等因素的影响;

3) 采用梯度特征具有空间位置不变性。

4) 该特征已经包含邻域信息。即用周围 8 个点之间的相互梯度值代替中心像素周围一个常量尺度区域块。因此,该特征是颜色无关性与空间不变性的优美组合。

5 结束语

本文主要讲述了利用 Kinect 提取的深度图像进行人体部位识别的方法。从深度图像在模式识别中的研究现状及其在人体识别中的应用出发,结合 Kinect 摄像机及其成像原理,针对可见光图像识别在光照、姿态、遮挡等因素影响下性能下降问题,提出采用综合点特征与梯度特征相结合的局域梯度特征方式来区别人体部位和姿势的方法。该方法对人体部位的区分提供了一种可行的解决方案。

由于深度图像的人体识别在一些细微动作识别以及处理速率上,均有进一步提升和改进的空间,所以在未来的工作中我们将在积极关注深度图像人体识别领域发展的同时,努力改进识别算法,进一步提高识别精确率和速率。利用 Kinect 相机的深度图像人体识别在未来将有着广阔的发展空间。

参考文献:

- [1] 王晓光, 苏群星. 虚拟维修通用仿真软件系统的设计[J]. 计算机仿真, 2006, 23(8): 266-268.
- [2] YUKIHIRO M, TOSHINORI Y. VR-based interactive learning environment for power plant operator[C] // Proceedings of the International Conference on Computers in Education. Washington DC: IEEE Computer Society, 2002: 922-923.
- [3] 范剑英, 于舒春, 王洋. 基于法向量边缘融合的深度图像分割[J]. 计算机工程, 2010, 36(17): 221-222, 225.
- [4] XIA Lu, CHEN C C, AGGARWAL J K. Human detection using depth information by Kinect[EB/OL]. (2011-11-21)[2012-04-18]. <http://download.csdn.net/download/guoming0000/3820813>.
- [5] ABHISHEK K. Skeletal tracking using Microsoft Kinect[J]. Methodology, 2010: 1-11.
- [6] SHOTTON J, FITZGIBBON A, COOK M. Real-time human pose recognition in parts from single depth images

- [EB/OL]. (2011-04-20) [2012-04-18]. <http://www.computer.org/csdl/proceedings/cvpr/2011/0394/00/05995316-abs.html>.
- [7] FANELLI G, WEISE T, GALL J. Real time head pose estimation from consumer depth cameras [EB/OL]. (2011-11-20) [2012-04-18]. <http://wenku.baidu.com/view/4df718b569dc5022aaea0017.html>.
- [8] CANNY J. A computational approach to edge detection [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8 (6): 679-698.
- [9] GREY D, WOETZEL J, KOCH R. Nonlinear body pose estimation from depth images [J]. Computer Science, 2005, 3663: 285-292.
- [10] 赵海, 李桐林, 于国锋. 复杂矩形网等值线图的剪切 [J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(4): 380-383.
- [11] KALOGERAKIS E, HERTZMANN A, SINGH K. Learning 3D mesh segmentation and labeling [J]. ACM Transactions on Graphics, 2010, 29(3): 101-102.
- [12] PLAGEMANN C, GANAPATHI V, KOLLER D, et al. Real-time identification and localization of body parts from depth images [C] // Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2010). Anchorage, Alaska; [s. n.], 2010: 3108-3113.
- [13] 叶剑华, 刘正光. 多模态人脸识别融合方法比较研究 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(19): 153-156.
- [14] GARCIA J, VALENCIA E S, ZALEVSKY Z, et al. Range mapping using speckle decorrelation: The United States of America, US7433024B2 [P]. 2008-10-07.
- [15] MARR D, HILDRETH E. Theory of edge detection [C] // Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences. London; [s. n.], 1980: 187-217.
- [16] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection [C] // Proceedings of CVPR. San Diego; [s. n.], 2005: 886-893.
- [17] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [EB/OL]. [2012-04-20]. <http://www.bmva.org/bmvc/1988/avc-88-023.pdf>.
- [18] SMITH S M, BRADY J M. S. A new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.
- [19] LOWE D. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91.
- [20] LEPETIT V, LAGGER P, FUA P. Randomized trees for real-time key point recognition [EB/OL]. (2005-11-12) [2012-04-20]. <http://cmp.felk.cvut.cz/~zimmerk/track3D/papers/LepetitLF05.pdf>.
- [21] SHOTTON J, JOHNSON M, CIPOLLA R. Semantic texture forests for image categorization and segmentation [EB/OL]. (2008-09-10) [2012-04-20]. <http://jamie.shotton.org/work/publications/cvpr08.pdf>.

作者简介:

李红波(1970-),男,甘肃兰州人,高级工程师,重庆邮电大学工程研究院副院长,产学研办公室副主任,主要研究方向为数字媒体、机器视觉、虚拟现实;丁林建(1989-),男,安徽安庆人,硕士研究生,研究方向为数字媒体技术;冉光勇(1988-),男,重庆铜梁人,硕士研究生,研究方向为数字媒体技术。

Analysis of human identification based on kinect depth image

LI Hongbo, DING Linjian, RAN Guangyong

(Institute of Network Intelligence, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing, 400065)

Abstract: Nowadays somatosensory human-computer interaction devices have become hotspot applications in the field of digital media. These devices capture the depth images of players through several inner cameras and sensors, from which human skeletons can be extracted, and players' movement can be tracked and captured. We introduce the research status of depth image in the field of pattern recognition and application of human recognition. Since the recognition of images captured by common cameras shows poor performance in the influence of illumination, posture and overlap, based on the device of Microsoft Kinect, the features of depth images captured by Kinect cameras are analyzed. Then, local gradient features integrating point features and gradient features have been put forward to identify human body. Brief demonstration and analysis are given by taking elbow as an example.

Key words: Kinect; depth image; local gradient features; human recognition

(责任编辑:张 诚)

作者: [李红波](#), [丁林建](#), [冉光勇](#), [LI Hongbo](#), [DING Linjian](#), [RAN Guangyong](#)
作者单位: [重庆邮电大学网络智能研究所, 重庆, 400065](#)
刊名: [数字通信](#)
英文刊名: [Digital Communication](#)
年, 卷(期): 2012, 39(4)
被引用次数: 1次

参考文献(21条)

1. [王晓光;苏群星 虚拟维修通用仿真软件系统的设计\[期刊论文\]-计算机仿真 2006\(08\)](#)
2. [YUKIHIRO M;TOSHINORI Y VR-based interactive learning environment for power plant operator 2002](#)
3. [范剑英;于舒春;王洋 基于法向分量边缘融合的深度图像分割\[期刊论文\]-计算机工程 2010\(17\)](#)
4. [XIA Lu;CHEN C C;AGGARWAL J K Human detection using depth information by Kinect 2012](#)
5. [ABHISHEK K Skeletal tracking using Microsoft Kinect 2010](#)
6. [SHOTTON J;FITZGIBBON A;COOK M Real-time human pose recognition in parts from single depth images 2012](#)
7. [FANELLI G;WEISE T;GALL J Real time head pose estimation from consumer depth cameras 2012](#)
8. [CANNY J A computational approach to edge detection 1986\(06\)](#)
9. [GREST D;WOETZEL J;KOCH R Nonlinear body pose estimation from depth images 2005](#)
10. [赵海;李桐林;于国锋 复杂矩形网等值线图的剪切\[期刊论文\]-中国图象图形学报 2002\(04\)](#)
11. [KALOGERAKIS E;HERTZMANN A;SINGH K Learning 3D mesh segmentation and labeling 2010\(03\)](#)
12. [PLAGEMANN C;GANAPATHI V;KOLLER D Real-time identification and localization of body parts from depth images 2010](#)
13. [叶剑华;刘正光 多模态人脸识别融合方法比较研究\[期刊论文\]-计算机工程与应用 2009\(19\)](#)
14. [GARCIA J;VALENCIA E S;ZALEVSKY Z Range mapping using speckle decorrelation 2008](#)
15. [MARR D;HILDRETH E Theory of edge detection 1980](#)
16. [DALAL N;TRIGGS B Histograms of oriented gradients for human detection 2005](#)
17. [HARRIS C;STEPHENS M A combined corner and edge detector 2012](#)
18. [SMITH S M;BRADY J M S A new approach to low level image processing\[外文期刊\] 1997\(01\)](#)
19. [LOWE D Distinctive image features from scale-invariant key points 2004\(02\)](#)
20. [LEPETIT V;LAGGER P;FUA P Randomized trees for real-time key point recognition 2012](#)
21. [SHOTTON J;JOHNSON M;CIPOLLA R Semantic texton forests for image categorization and segmentation 2012](#)

引证文献(4条)

1. [周长劼. 史卓 基于景深图像的身高测量系统设计\[期刊论文\]-桂林电子科技大学学报 2013\(3\)](#)
2. [陆凯. 肖力. 陈雪权 基于PCL的局域网内Kinect点云数据采集传输系统设计\[期刊论文\]-计算机与数字工程 2013\(11\)](#)
3. [熊心雨. 潘伟. 唐超 基于本征维数和置信度的行为序列分割\[期刊论文\]-厦门大学学报（自然科学版） 2013\(4\)](#)
4. [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_sztz201204004.aspx