

低分辨率KINECT传感器采集三维点云的人脸识别

宋国平

(吉林广播电视大学, 长春 130022)

摘要:针对传统的三维人脸识别算法成本较高且不能很好地处理带有光照、表情等变化人脸识别的问题,设计了低分辨率Kinect传感器采集三维点云的鲁棒人脸识别系统。首先,通过鼻尖检测、人脸剪裁、姿势校正、对称填充及平滑采样得到规范的纹理图像;然后,在纹理图像上运用判别色彩空间变换,从而最大化类与类之间的分离性;最后,利用多模态稀疏编码有效地重建误差以得到查询图像与训练集之间的相似度,并利用Z-得分技术完成最终的人脸识别。在通用人脸数据库CurtinFaces、PIE及AR上的识别率可高达96.7%,实验结果表明,相比其它几种人脸识别算法,本文算法取得了更好的识别效果。

关键词:人脸识别; Kinect传感器; 三维点云; 判别色彩空间; 低分辨率

中图分类号: TP391.3 **文献标识码:** A **DOI编码:** 10.14016/j.cnki.jgzz.2014.10.051

Collecting 3D Point Cloud by Kinect Sensor with Low Resolution for Robust Face Recognition

SONG Guo-ping

(Jilin Radion and TV University, Changchun 130022, China)

Abstract: Traditional three dimensional face recognition algorithms can not deal with robust face recognition but with high costs, a robust face recognition system based on Kinect sensor with low resolution collecting 3D point cloud is designed. Firstly, standardized texture images are got by tip detecting, face cutting, posture correcting, symmetry filling and smooth sampling. Then, discriminant color space transform is used on texture images to maximize separabilities between classes. Finally, multi-modal sparse coding is used to reconstruct errors so as to getting similarities between the query image and total training set, and Z-scoring technique is used to recognize face. Recognition accuracy of proposed algorithm can achieve 96.7% on common face databases CurtinFaces, PIE and AR. Experimental results show that proposed algorithm has higher recognition accuracy and better recognition efficiency than several advanced face recognition algorithms.

Key words: Face recognition; Kinect sensor; 3D Point Cloud; Discriminant color space; Low resolution

由于在安全、监控和军事等领域的广泛应用,人脸识别已经吸引了许多研究工作者的兴趣^[1]。然而,在非约束环境下采集的人脸图像具有不同的姿态、表情、光照及遮挡变化,因为给定图像的变化类型是未知的,所以设计可以同时处理所有这些因素的人脸识别系统显得非常重要^[2]。

传统的方法试图使用2D图像即纹理来应对图像的未知变化,例如,文献[3]提出光照锥线性地对光照变化建模,通过将具有相同姿态、不同光照变化的人脸图像集中于低维凸锥中来对训练集进行建模,尽管该技术能用在新颖光照条件下产生人脸图像,但它假设人脸是凸的且要求训练图像取自点光源。文献[4]

提出了稀疏表示分类(Sparse Representation Classification, SRC)方法,通过删除/纠正异常像素值的方式处理有遮挡的人脸图像(如戴太阳镜)。许多学者也试图使用2D图像解决姿态变化问题,例如,文献[5]提出基于分类的协同表示,这类方法要求每个人有足够多的样本来形成探针图像(即查询人脸图像),这在现实环境中并不总是可行的。文献[6]提出部分相似性算法,然而,训练过程中数据通常相互依赖。

尽管3D图像处理会受光照变化影响,但是3D数据本身是光照不变的,使用3D人脸模型可以产生不同光照条件下的人脸图像。此外,3D人脸模型还可以用来纠正面部姿态或者产生无穷的新颖姿态,例如,文献[7]提出使用PCA、LDA和预测线性判别分析(PDLDA)以整体特征作为降维输入图像进行人脸识别,然而,这些方法并不能对所有的三维人脸图像进

收稿日期: 2014-08-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61075026)

作者简介: 宋国平(1968-),男,硕士,副教授,主要研究领域为图像处理、模式识别等。

行正确的识别。文献[8]提出了基于SIFT的ATM视频人脸识别算法,运用SIFT局部特征匹配算法将提取的10帧正脸关键帧与人脸库图像进行特征匹配存储匹配结果,然后利用RANSAC算法将匹配后的图像做去除误匹配处理。文献[9]提出了一种建立在数据源分析基础上对典型人脸识别算法进行后处理的方法,有效地提高了现有典型识别算法的识别性能在无约束环境下的鲁棒性。为了在嵌入式系统中实现实时视频图像人脸识别,文献[10]提出了基于TI系列TMS320DM642的快速人脸检测系统设计方案,测试结果表明,系统可靠运行,优化后系统运行速度提高,能够实现实时视频图像人脸识别。文献[11]提出基于B样条的多级模型自由形式形变(FFD)弹性配准算法,先用低分辨率FFD网格全局配准,再对全局配准后的图像分块并计算对应子图块的相关性系数,对相关性系数小的子图块用高分辨率FFD网格局部细配准,在人脸畸变和表情变化很大的情况下,也能够精确的配准和很好的重建,得到较高识别率。文献[12]在保局投影算法(LPP)及支持向量机(SVM)的基础上提出了一种基于相关反馈的视频人脸识别算法,该算法通过合理的数据建模提取出视频中的时空连续性语义信息,同时能够发现人脸数据中内在的非线性结构信息而获得低维本质的流形结构,还能通过反馈学习来增加样本的标记类别。文献[13]给出了本文范围之外的关于3D人脸识别方法的全面研究,已有的3D人脸识别方法都需要高分辨率3D人脸扫描仪的支持,这种扫描仪成本高、笨重且采集速率低,使用上有很多限制。

基于上述分析,为了在低成本条件下很好地解决姿势、表情、光照、遮挡变化的3D人脸识别问题,提出了一种基于低分辨率Kinect^[14]的鲁棒人脸识别系统,专为低分辨率3D传感器而设计。在具有挑战性的实验环境下,所提方法仍取得了较高的识别率,实验结果表明,在低成本传感器上使用本文算法进行非侵入式的人脸识别是可行的。

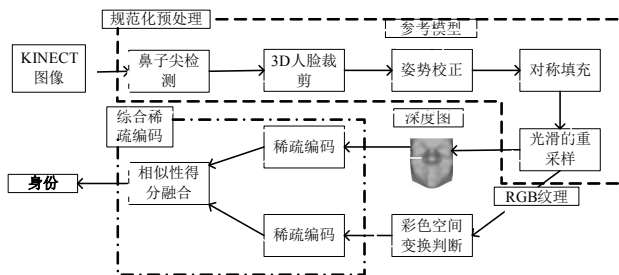


图1 提出的人脸识别系统框架

针对Kinect采集的数据噪声大的问题,本文算法通过结合迭代最近点、面面对称、判别色彩空间及基于多模态的稀疏编码很好地解决了这个问题,如图1所示为所提的基于Kinect的鲁棒人脸识别系统的框图。下面详细介绍各组成部分。

1.1 规范化预处理

给定一个6D点云,提出的预处理算法规范化人脸模型并产生深度图和纹理图像,常见的数据预处理算法的主要目的是去除漏洞和尖刺,由于从Kinect传感器获得的所有数据都没有尖刺,重采样过程会填补漏洞,该算法旨在实现视点不变表示,图2所示为该算法的一个示例,预处理步骤详细描述如下。

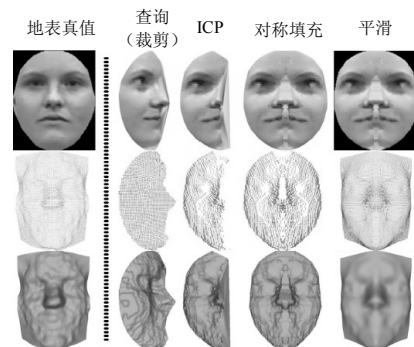


图2 剖面视图上规范化预处理示例

1.1.1 鼻尖检测

由于Kinect深度数据中的噪声大(如图1所示),鼻尖是可以定位于这样的3D人脸模型的最可靠的标志,基于部件的2D+3D算法^[10]可以在不同的表情和姿态下检测到3D人脸上的鼻尖。然而,在这种情况下,3D数据是高分辨率的,本文假设已经检测到近似的鼻尖位置。因为鼻尖仅要求对人脸裁剪和粗略对齐,所以只要检测到的点足够接近真实位置,系统就可以正常工作。

1.1.2 三维人脸裁剪和姿态校正

给定鼻尖位置,3D人脸裁剪可以很容易完成,本文算法使用半径为8厘米的球体去裁剪人脸,首先将鼻尖这样的点云转换到原点,然后移除远离原点超过8厘米的那些点,从而可以得到仅有人脸曲面区域的6D点云。

迭代最近点(ICP)算法基于一种精确的对齐技术,而它的计算开销很大,由于不同的对象有不同的脸型,参考人脸模型必须是普通3D人脸的可靠表示,不能由Kinect 3D数据这种噪声级别高的数据构建。因此,本文算法通过对齐扫描、在统一网格上对其重采样,然后取它们的平均值来构建参考人脸,参考人脸在两眼中心之间有64个点,嘴唇中心到眼睛连线之间的点也是64个,完整的人脸有128×128个点,图

1 系统设计

3所示为实验中使用的参考人脸模型,所有人脸包括训练数据和查询人脸都使用6次ICP迭代得到参考人脸。



图3 参考人脸模型

1.1.3 对称填充

姿态校正后,通过将原始点云的X值替换为相反数(-X)来创建镜像点云。然而,并非所有的镜像点都是非常有用的,因为本研究的主旨是填充缺失数据。理想情况下,正面人脸上不需要加点,而所有点应该反映在一个剖面视图上。为此,对于每个镜像点,本文在原始点云(仅XY值)计算它到最近点的欧几里得距离,如果这个距离小于阈值 δ ,则删除镜像点,当且仅当某个位置上无邻域点时添加镜像点。注意,在计算距离时不使用Z,因为在Z的差异通常由脸部对称性引起而不是缺失数据。然后把余下的镜像点与原点云合并,样本对称填充的示例如图2所示。

阈值 δ 可以基于传感器的空间分辨率或者点云本身来选择,该值由用户自定义。依赖于初始样本密度, δ 值过高将产生一个噪声曲面,而值过低则无益于对称填充。经验表明, δ 在1至5mm之间取不同的值对性能的影响不大,当 $\delta=2\text{mm}$ 时能够获得一个很好的平衡。

1.1.4 平滑重采样

重采样有三个主要目标:①能够平滑移除由Kinect传感器产生的噪声曲面,并且对称填充;②能填充在对称填充后仍存在的漏洞;③减少由ICP注册引起的2D网格上人脸误对齐的影响。为此,本文算法将平滑曲面拟合为点云(XYZ),该算法使用相似而不是插值将曲面拟合合成点,使用一个平滑因子(或拟合度)执行曲面拟合,不允许曲面突然弯曲,进而缓解噪声和离群值的影响。对于每一人脸而言,128×128个点被统一重采样,从最小的X和Y到最大的X和Y值,从最小到最大重采样的优点是可以在2D网格上对齐人脸。这里没有平滑纹理,因为它不是嘈杂的,平滑只会使其变得模糊。重采样后,将会丢弃X和Y网格,得到深度和的4个128×128矩阵,为了进一步处理,将它们继续下采样为32×32大小。

1.2 判别色彩空间变换

在形状索引缺失时,色彩信息是非常有用的,即

色彩可以提高识别的鲁棒性。彩色图像通常使用空间建模,由于内部成员的高度关联性,它是一个用于人脸识别的弱空间。研究人员致力于寻求一个更好的颜色空间如判别色彩空间(Discriminative Color Space, DCS)^[15],在这个空间上人脸有更好的分离性。因此,对经预处理后的纹理图像上应用DCS变换。DCS与LDA的思想类似,目的是实现最大化类可分离性,寻找R、G和B成分的线性组合。

1.3 多模态稀疏编码

稀疏表示分类器能稳定的对抗人脸遮挡,可以纠正小部分的错误或缺失的数据。前文提出的规范化预处理算法通常会产生一些小误差,主要因为人脸是不完全对称的,有时剖面视图上可见的脸不到一半。当剖面视图略大于90度时,很多数据是完全缺失的,这种情况下没有镜像参考点。图2给出了一个例子,显示了最终的标准人脸图像中间的误差线,这类误差可由SRC有效地纠正。

本文算法采用多模态SRC算法进行人脸识别,分别应用于预处理深度图和DCS颜色纹理图。基于深度和纹理的个体类重建误差得到两组相似度得分,使用z-得分技术将这两个得分归一化,设定查询图像为相似度得分最高的类标签。

文献[16]指出,如果问题的解具有稀疏性,则可以运用L1正则化最小二乘回归问题(LASSO)求解稀疏编码问题,基于此,本文算法以下式表示稀疏编码:

$$\min_x \|Ax - y\|_2 + \lambda \|x\|_1 \quad (1)$$

上式中, A 是字典,即训练样本, y 是查询人脸, x 是编码参数向量, λ 是一个控制编码稀疏的常数。本文算法中,设置 λ 为0.05,使用SPAMS程序包^[10]求解式(1)。

2 实验

实验在配置为英特尔双核CPU、3GHz主频、4GB内存的PC机上实现,编程环境为MTLAB7.0。

2.1 识别结果

为了很好地评估本文提出的人脸识别系统,进行了三组实验:①带有姿态、表情变化的人脸识别;②带有光照、表情变化的人脸识别;③带有姿态、光照、表情、遮挡变化的人脸识别,分别使用了CurtinFaces^[12]、PIE^[7]及AR^[6]。

2.1.1 姿态、表情变化的人脸识别

该实验评估了提出算法对抗姿态和表情变化的能力,选取公开可用的CurtinFaces数据库,CurtinFac-

es数据库包含52个对象的超过5000幅图像。实验为训练过程选择了18幅图像,如图4所示,每个训练图像仅包含三种变化(光照、姿态和表情)之一,用于计算DCS投影以及编码字典。需要用之前使用的预处理算法进行预处理,在Kinect条件下使用多个训练图像实际上是可行的,因为它获得RGBD数据的速度达到30帧/s。



图4 CurtinFaces中某人的未经预处理的训练图像示例

图5显示了每个对象的39张带有姿态、表情变化的人脸图像,识别是基于每个对象的一个单一RGBD查询图像,表1给出了不同姿态下的识别率,其中,D(深度图)和T(纹理图)的结果为预处理后得到。

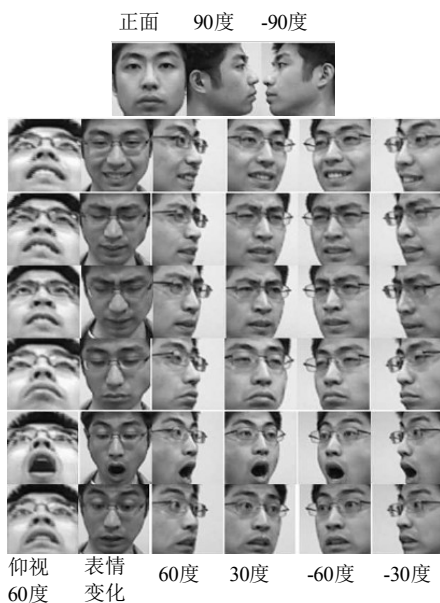


图5 具有姿态、表情变化的未经预处理的测试图像示例

表1 具有姿态和表情变化的识别率(%)

	不对称			对称		
	D	T	融合	D	T	融合
姿态						
正面	100	100	100	100	100	100
旋转±30度	49.5	98.1	93.6	88.3	99.8	99.4
旋转±60度	14.9	80.4	55.1	87.0	97.4	98.2
旋转±90度	1.0	39.4	14.4	74.0	83.7	84.6
倾斜±60度	77.2	91.3	90.0	81.6	89.1	92.8
平均	46.2	87.6	77.0	85.4	95.0	96.3

从表1可以看出,剖面视图有84.6%的识别率,归功于本文算法的对称预处理技术,而当除去对称填充步骤时,得到的识别率仅有39.4%。深度和纹理都极

大地受益于对称填充,除了有俯仰姿态的纹理图像(从91.3%降至89.1%),它的缺失数据不能靠对称性来估计。在所有情况下,深度图大部分受益于对称填充,单独使用深度数据的平均识别率从46.2%增加至85.4%,因为除了纠正姿态,对称数据还有助于平滑脸部深度曲面噪声,虽然融合预处理的深度和纹理只能略微提高性能,但是深度信息对姿态纠正和数据的对称填充仍然有益。

2.1.2 光照变化的人脸识别

该实验评估了本文算法对抗光照和表情变化的能力,选取PIE人脸数据库,PIE数据库包含了两个光照子集,包含65个对象,每个对象有21张图像。每个对象面对中间的摄像头(正脸),都用中性的表情。一个数据集的照片是在房间灯开着的情况下抓获的(简称RL-PIE),另一个数据集是在房间灯关着的情况下抓获的(简称NRL-PIE)。将640×486像素的彩色图像转换成灰度图像,所有的图像都从原始的640×486灰度图像裁剪成大小为128×125像素。如图6所示为PIE数据库中的人脸图像示例。



图6 带有光照变化的PIE人脸数据库中图像示例

选取每个人的10张图像用于训练,剩下的用于测试,识别率如表2所示,其中,D(深地图)和T(纹理图)的结果是预处理后得到的。

表2 带有光照和表情变化的识别率(%)

光照	不对称			对称		
	D	T	融合	D	T	融合
柔光	87.3	91.0	95.8	91.8	91.6	97.7
左侧光	89.4	96.6	97.6	93.8	96.5	98.6
右侧光	89.1	96.8	98.4	92.5	97.1	98.9
左右测光	88.7	95.7	97.7	92.3	94.9	98.1
平均	88.8	95.6	97.6	92.8	95.6	98.4

从表2可以看出,在所有情况下,深度图均受益于对称填充(平均识别率从88.8%增加到92.8%),这与前面的姿态实验相吻合,由此可见,由对称填充平滑改进了Kinect噪声数据深度图的性能。此外,融合深度和纹理数据在这种情况下显著提高了性能,尤其是柔光照的情况下(从91.6%增加到97.7%),因为当光照条件过低时纹理信息急剧减少,而深度信息几乎不受影响。

2.1.3 遮挡的人脸识别

该实验评估了本文算法对抗光照和表情变化的能力,选取AR人脸数据库,AR人脸数据库包括70个男性56个女性的4000幅图像,这些图像包含有六类差异:脸部表情变化(无表情、微笑、生气、尖叫)、不同的光照变化、遮蔽(太阳镜和围巾)。本文从原始AR数据库选择100个对象(50个男性和50个女性)用于实验,带有遮挡变化的人脸图像如图7所示。



图7 带有遮挡变化的AR人脸图像示例

包括戴太阳镜和围围巾两种遮蔽方式,实验只使用前半部分图像,因为后半部分几乎被太阳镜/围巾全覆盖了,也就没有相关的判别信息,识别率如表3所示,其中,D(深地图)和T(纹理图)的结果是预处理后得到的。

表3 本文算法的遮挡人脸识别率(%)

条件	不对称			对称		
	D	T	融合	D	T	融合
太阳镜	92.4	37.6	97.7	97.2	39.6	95.2
围巾	93.1	38.7	93.2	95.2	38.7	94.3

从表3可以看出,深度图比纹理图的识别效果更好,平均识别率比纹理图高出55.2%),因为太阳镜曲面远不同于人脸曲面,它能够很容易的被识别出来。

2.2 性能分析

表4给出了本文算法的测试时间,除了前面提到的稀疏编码,大部分时间消耗在ICP算法的实现上。

表4 整个测试集和单个查询图像的识别时间(秒)

阶段	整个测试集	单个查询图像
人脸图像裁剪	235	0.065
ICP注册	13310	3.467
对称填充	3805	0.988
重采样	1836	0.479
dCS改造	4	0.001
稀疏编码(深度)	100	0.025
稀疏编码(纹理)	323	0.080
融合	65	0.015
总计	19678	5.114

从表4可以看出,本文算法可以在5秒内完成单个查询人脸图像的识别,识别总时间几乎与姿态、表情、光照和遮挡无关。

2.3 比较及分析

据了解,很少有使用Kinect传感器在姿态、光照、表情和遮挡条件下进行人脸识别的文献,因此,不能

直接比较算法的性能,表5列出了一些其它文献给出的相关的非侵入性人脸识别结果,包括实验所用数据库、图像的条件(姿态、光照、表情变化及遮挡)、识别精度。

表5 各算法的识别结果比较

算法	条件	精度
本文算法	姿态	88.7% (3D)
	光照	91.1% (2D)
	表情	96.7% (2D+3D)
	遮挡	
SIFT-ATM ^[8]	姿态 表情	83.7% (3D)
部分相似性算法 ^[6]	遮挡 表情	90.12% (2D)
3D双向重构 ^[15]	光照	~92% (3D辅助2D)
多级FFD配准超分辨率 重构 ^[10]	表情 老化	95.37% (2D+3D)
SRC ^[4]	光照 遮挡	97.5% (2D)
光照锥 ^[3]	姿态 光照	91.3% (2D)

从表5可以看出,SIFT-ATM使用面部匀称解决姿态问题,然而,该算法使用高分辨率的3D设备采集数据,在大型数据集上单独使用深度数据得出了识别率仅为83.7%。局部相似性算法只使用2D数据执行姿态不变的人脸识别,在一个较小的数据集上达到90.12%的识别率。3D双向重光照算法在光照变化条件识别率为92%。多级FFD配准超分辨率重构算法在仅有表情变化的条件下在FRGC数据集上取得了95.37%的识别率。SRC算法仅使用2D数据,在一个相对较小的具有遮挡的数据集上取得了97.25%的识别率。光照锥算法在同时有姿态和光照变化的条件下能得到91.3%的识别率。然而,这些算法中没有一个是能够同时处理姿态、表情、光照和遮挡变化。

在具有挑战性的实验环境下,本文算法仅使用Kinect得到的噪声深度数据得到的平均识别率为88.7%,正如图1所说明,没有纹理的Kinect人脸图像噪声太大,即使通过人工方法也无法识别,因此,使用Kinect深度数据得到88.7%的识别率本身就是一个重大成就,这种结果表明了这些数据对人脸识别的有用性。经过深度图、纹理图预处理后,整个系统的识别率可高达96.7%。仅从识别率来看,本文算法仅次于SRC,但是,从数据集的条件来看,本文算法的测试条件最为苛刻,同时带有姿态、光照、表情、遮挡变化,故综合来看,本文算法的鲁棒性最好。

3 结束语

本文提出了一种基于低分辨率Kinect传感器采

集三维点云的人脸识别方案,使用低成本的Kinect传感器采集深度和纹理信息。实验结果表明,相比其它几种人脸识别算法,本文算法取得了更好的识别鲁棒性,面部对称在非正面视图下有助于人脸识别,也有助于平滑噪声深度数据,尽管由Kinect这种消费者级别传感器得到的3D数据噪声非常大,它对人脸识别仍是有效的。因此,使用高速低成本3D传感器也能很好地进行非侵入性的人脸识别。

未来会并将本文算法运用到其它的人脸数据集上,并结合其它先进技术,进行大量的实验,在提高识别率的同时,降低算法的计算开销和运用成本,以更好地应用于实时3D人脸识别系统中。

参考文献

- [1] 廖海斌,陈庆虎,王宏勇. 融合局部形变模型的鲁棒性人脸识别[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(7): 877-881.
- [2] 江明阳,封举富. 基于鲁棒主成分分析的人脸子空间重构方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(6): 761-765.
- [3] 张超. 基于光照锥的人脸三维重构系统[D]. 清华大学, 2012.
- [4] 朱杰,杨万扣,唐振民. 基于字典学习的核稀疏表示人脸识别方法[J]. 模式识别与人工智能, 2012, 25(5): 859-864.
- [5] 高灿,苗夺谦,张志飞等. 主动协同半监督粗糙集分类模型[J]. 模式识别与人工智能, 2012, 25(5): 745-754.
- [6] Tan X, Chen S, Zhou Z H, et al. Face recognition under occlusions and variant expressions with partial similarity [J]. Information Forensics and Security, IEEE Transactions on, 2009, 4(2): 217-230.
- [7] IGPS W, Uchimura K, Hu Z. Improving the PDLDA based face recognition using lighting compensation[C]//The Workshop of Image Electronics and Visual Computing. 2010.
- [8] 张鑫. 基于SIFT算法的ATM视频人脸识别系统研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2012.
- [9] Srinivasan M, Ravichandran N. A new technique for Face Recognition using 2D-Gabor Wavelet Transform with 2D-Hidden Markov Model approach[C]//Signal Processing Image Processing & Pattern Recognition (ICSIPR), 2013 International Conference on. IEEE, 2013, 151-156.
- [10] 邹垚,张超. 基于DSP的人脸识别算法实现与优化[J]. 计算机应用, 2010, 30(3): 854-856.
- [11] 孔英会,张少明. 多级FFD配准视频人脸超分辨率重建[J]. 光电工程, 2012, 39(10): 46-53.
- [12] 鲁珂,丁正明,赵继东,吴跃. 一种基于相关反馈的视频人脸算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2012, 39(3): 154-160.
- [13] Tang H, Yin B, Sun Y, et al. 3D face recognition using local binary patterns[J]. Signal Processing, 2013, 93(8): 2190-2198.
- [14] 罗元,谢或,张毅. 基于Kinect传感器的智能轮椅手势控制系统的设计与实现[J]. 机器人, 2012, 34(1): 110-113.
- [15] Li B Y L, Liu W, An S, et al. Face recognition using various scales of discriminant color space transform[J]. Neurocomputing, 2012, 94: 68-76.
- [16] 孔康,汪群山,梁万路. L1正则化机器学习问题求解分析[J]. 计算机工程, 2011, 37(17): 175-177.
- [7] 曾波波,王贵锦,林行刚. 基于颜色自相似度特征的实时行人检测[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012, 52(4): 571-574.
- [8] Wojek C, Walk S, Schiele B. Multi-Cue on board pedestrian detection [J]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2009: 794-801.
- [9] Xing W, Zhao Y, Cheng R, et al. Fast pedestrian detection based on Haar pedestrian detection [J]. International Journal of Computer and Communication Engineering, 2012, 1(3): 207-209.
- [10] Wang X, Han T X, Yan S. An HOG-LBP human detector with partial occlusion handling [J]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2009, 32-39.
- [11] Gavrila D, Munder S. Multi-cue pedestrian detection and tracking from a moving vehicle [J]. International Journal of Computer Vision, 2007, 73(1):41-59.
- [12] Dollar P, Wojek C, Schiele B, et al. Pedestrian detection: an evaluation of the state of the art [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 99:1-20.
- [13] 溪海燕,肖志涛,张芳. 基于线性SVM的车辆前方行人检测方法[J]. 天津工业大学学报, 2012, 31(1):69-74.
- [14] Wang K Q, Yang S C, Dai T H, et al. Method of optimizing parameter of least squares support vector machines by genetic algorithm. Computer Applications and Software, 2009, 26(7):109-111.
- [15] Keller C, Enzweiler M, Gavrila D M. A New Benchmark for Stereo-based Pedestrian Detection [J]. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2011, 691-696.
- [16] Wang K Q, Yang S C, Dai T H, et al. Method of optimizing parameter of least squares support vector machines by genetic algorithm. Computer Applications and Software, 2009, 26(7):109-111.
- [17] Keller C, Enzweiler M, Gavrila D M. A New Benchmark for Stereo-based Pedestrian Detection [J]. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2011, 691-696.

(上接第50页)

低分辨率KINECT传感器采集三维点云的人脸识别

作者: [宋国平](#), [SONG Guo-ping](#)
作者单位: [吉林广播电视大学, 长春, 130022](#)
刊名: [激光杂志](#) 
英文刊名: [Laser Journal](#)
年, 卷(期): 2014(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jgzz201410015.aspx