

基于面部特征点定位的头部姿态估计

闵秋莎, 刘 能, 陈雅婷, 王志锋

(华中师范大学 数字媒体技术系 武汉 430079)

摘 要: 头部姿势估计在许多智能系统中是检测身份和理解行为的关键,但其受光照变化、遮挡、分辨率等因素影响较大。针对彩色二维图像的头部姿态估计方法准确率不高的问题,在分析现有的头部姿态估计方法的基础上,提出一种基于面部特征点定位的头部姿态估计方法。将 Adaboost 算法和椭圆肤色模型相结合,用于检测人脸,并准确获得图片中的人脸区域。利用 Hough 圆检测方法定位眼睛和鼻孔,利用人眼和鼻孔的位置信息,将眼睛、鼻子定位结果与正脸头部姿态中的眼睛、鼻子进行对比,从而对不同的头部姿态进行粗估计。实验结果表明,该方法能识别正脸以外的6种不同的头部姿态,总体准确率达到93.53%。

关键词: 人脸检测; 人眼定位; 头部姿态估计; 身份检测; 行为理解

中文引用格式: 闵秋莎, 刘 能, 陈雅婷, 等. 基于面部特征点定位的头部姿态估计[J]. 计算机工程, 2018, 44(6): 263-269.

英文引用格式: MIN Qiusha, LIU Neng, CHEN Yating, et al. Head pose estimation based on facial feature point localization[J]. Computer Engineering, 2018, 44(6): 263-269.

Head Pose Estimation Based on Facial Feature Point Localization

MIN Qiusha, LIU Neng, CHEN Yating, WANG Zhifeng

(Department of Digital Media Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

【Abstract】 Head pose estimation is the key to detect identity and understand behavior in many intelligent systems, but it is influenced by illumination, occlusion and resolution. Aiming at the problem that the accuracy of head pose estimation for color 2-D images is not high enough, based on the analysis of existing face pose estimation methods, a head pose estimation approach based on facial feature point localization is proposed. This approach combines the Adaboost algorithm and the ellipse skin color model to detect the human face, which provides the accurate face area in the picture. Hough circle detection method is used to locate the eyes and nostrils. By using the position information of the eyes and nostrils, the eye and nose positioning results are compared with the eye nose in the face head posture, so that the different head posture is rough estimated. Experimental results show that this approach can achieve a recognition rate of 93.53% on 6 different head poses face outside.

【Key words】 face detection; eye location; head pose estimation; identity recognition; behavior understanding

DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0049758

0 概述

随着计算机技术的飞速发展,头部姿态的研究已经成为计算机视觉领域的一大热点。通过不同的头部姿态不仅可以表达肯定或否定的意愿,还可以用来显示人脸的朝向和人眼注视的方向,因此,头部姿态检测在交互中成为一种简单自然并且有效的方式,在人机交互领域的研究中发挥着重要的作用。另外,头部姿态估计是一个典型又复杂的模式识别问题^[1],对于头部姿态估计的方法种类很多,依赖数

据源的不同可以将头部姿态估计方法分为3类:基于三维图像的方法^[2-3],基于深度图像的方法^[4-7]和基于二维彩色图像的方法。文献[2]使用ASM算法与ASEF算法定位人的正脸,运用通用3D人脸模型与二维正面人脸图片建立当前被试者的3D模型,根据模型的姿态判断当前被试者的头部姿态。该方法中三维图像包含了丰富的彩色纹理信息和深度信息,但是信息越多,需要处理的数据量就越大,因此,该方法对设备要求较高。基于深度图像的方法估计精度高、实时性好,文献[5]利用Kinect获取深度图

基金项目: 国家自然科学基金(61501199); 教育部人文社会科学研究青年基金(17YJC880081)。

作者简介: 闵秋莎(1984—),女,讲师、博士,主研方向为数字图像处理、三维重建、学习分析;刘 能、陈雅婷,硕士研究生;王志锋(通信作者),副教授、博士。

收稿日期: 2017-12-19 修回日期: 2018-01-30 E-mail: zfwang@mail.ccnu.edu.cn

像,提出一种基于卡尔曼滤波和随机回归森林的实时头部姿态估计方法,达到了较好的估计效果。文献[6]通过深度信息对驾驶者的头部姿态进行检测,具有较好的鲁棒性。尽管基于深度图像的方法效果不错,但是这种方法需要使用深度传感器获取深度图像,增加了成本。

基于二维彩色图像的头部姿态估计方法不依赖特殊硬件,成本不高,因此,本文针对彩色二维图像提出基于面部特征点定位的头部姿态估计方法。

1 相关工作

基于二维彩色图像的头部姿态估计方法是传统主流的方法,其中基于外观模板方法是一种较传统的方法。文献[8]基于模板匹配的方法对序列图像进行头部姿态检测,这种方法不需要对数据进行训练学习,但是容易产生较大的误差,计算复杂度也比较高。基于几何方法是根据头部形状和局部特征点的精确定位来估计头部姿态。文献[9]将4个眼角点及鼻尖作为人脸关键点,关键点之间归一化距离作为系统的输入特征,基于自适应线性回归,解得最优稀疏矩阵,最后将稀疏权值的线性组合用于表示图片的头部姿态。文献[10]提出基于面部特征点对头部姿态进行估计的方法,计算简单、准确率较高,但是该方法需要手动提取面部区域,在检测前要花费一定的时间对图像进行处理。在所有的面部特征中,眼睛可以被认为是显著且相对稳定的特征^[11],文献[12]通过研究证实了通过追踪眼睛可以帮助判断头部姿态。文献[13]取正面的面部特征点,然后使用模板匹配的方法对面部特征点进行跟踪,根据眼睛和鼻子的位置来估计3D脸部模型的头部姿态,具有较好的检测效果,但是该方法的计算复杂度较高,从而影响检测速度。文献[14]对多姿态的人脸进行样本训练,对面部特征点进行精确定位,然后用双眼和嘴部构成T字模型,进行头部姿态估计,准确率较高,但该方法只是针对头部左右转动2个方向的情况进行探究。文献[15]使用眼睛定位对平面中不同角度的头部姿态进行检测,由于俯视时眼皮会遮挡眼睛导致参考特征点消失,使得该方法对俯视姿态检测率较低。

根据以上分析可知,眼睛在头部姿态检测中起着重要的作用,因此,眼睛定位具有重要的研究价值。文献[16]通过对图像进行灰度二值化运算、形态学处理分离出瞳孔,然后运用Canny算子进行边缘检测,最后使用Hough圆变换对虹膜内外边界进行定位,从而得到眼睛的准确定位,该方法的准确性依赖于眼部区域分割准确。文献[17]在Adaboost算法已经得到眼部区域的基础上,利用灰度投影法在眉毛和眼睛区域,通过圆检测实现人眼的精确定位,但是该方法对于头部发生偏转的情况,眼部区域

定位不准确,容易发生漏检的情况。文献[18]采用自适应阈值法进行肤色分割确定人脸区域,通过Hough圆变换检测并追踪眼睛,但该方法对人脸检测的准确度还有待提高。文献[19]使用Haar级联分类器检测面部和眼睛,然后使用Hough圆变换保证分类器正确检测到眼睛,最终准确度达到96.96%,但是该方法对人脸检测的准确度有较高的要求,因此,要获取眼睛的准确定位的前提是得到一个精确的面部区域。文献[20]提出使用肤色模型查找图像中的肤色区域,然后用Adaboost算法对肤色区域进行人脸检测,排除非人脸肤色区域,从而实现人脸的正确检测。

本文提出的基于眼睛定位的头部姿态估计方法中,首先使用Adaboost与肤色模型的方法进行人脸检测,在计算复杂度较低的情况下得到精确的人脸区域,然后使用Hough圆变换找到面部区域中所有的圆,根据眼睛的特点剔除非人眼区域,从而定位瞳孔,最后根据眼睛定位的信息对不同的头部姿态进行判断。

2 头部姿态估计方法

本文所提出的头部姿态估计方法主要包括3个步骤:1)检测图像中的面部区域;2)检测眼睛并定位其所在位置;3)将眼睛在面部中的位置与正脸头部姿态的人眼位置进行比较,从而判断头部姿态。各步骤流程分别如图1~图3所示。

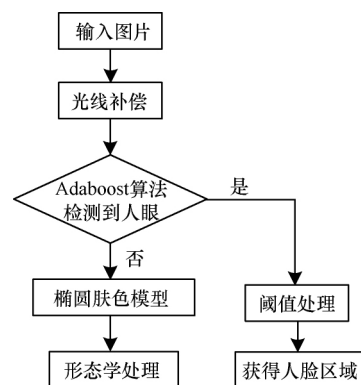


图1 彩色图像的面部检测流程

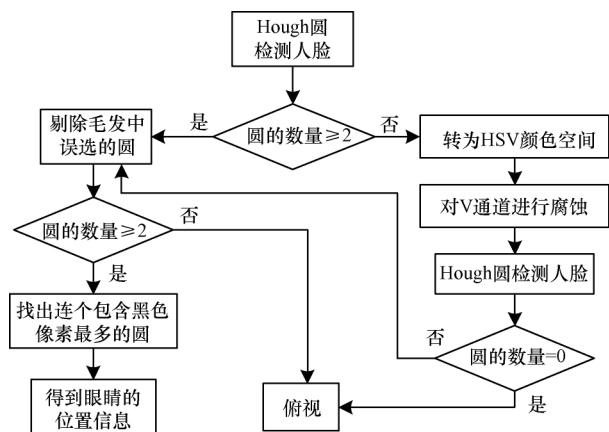


图2 眼睛定位流程

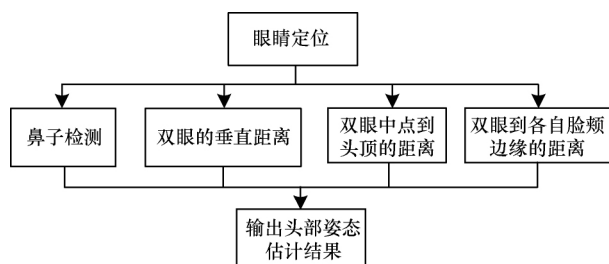


图3 头部姿态估计流程

2.1 彩色图像的面部检测

文献[21]提出了基于 Adaboost 算法的人脸检测方法。该方法检测速度快,但对于偏转头部姿态中的人脸检测准确率较低,容易出现误检和漏检的情况。本文将 Adaboost 算法与文献[22]提出的椭圆肤色模型结合使用,得到了一种更准确的面部区域检测方法,该方法检测过程如图1所示。

在实际应用中,采集的图片会受到光照不均衡的影响,因此,需要对图片进行光照补偿,其中光照补偿的执行步骤如下:

步骤1 分别计算图像 R 、 G 、 B 三通道平均值,获得图片的平均灰度值 $Gray$;

$$Gray = \frac{\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}}{3} \quad (1)$$

步骤2 计算 R 、 G 、 B 三通道的增益系数:

$$K_r = \frac{Gray}{\bar{R}}, K_g = \frac{Gray}{\bar{G}}, K_b = \frac{Gray}{\bar{B}} \quad (2)$$

步骤3 根据得到的增益系数,调整图片中各个像素点的 R 、 G 、 B 分量:

$$R_1 = R \times K_r, G_1 = G \times K_g, B_1 = B \times K_b \quad (3)$$

步骤4 当发生越界的情况时,将 R_1 、 G_1 、 B_1 分量大于 255 的值调至 255。

使用基于 Adaboost 算法和级联的方式进行的人脸检测,速度较快,由于要根据眼睛在面部的相对位置来判断头部姿态,此时需要一个较为精确的脸部区域。而经过级联检测器检测后的面部是一个粗略的区域,里面还含有一些无关的区域,因此,将检测后的区域进行阈值处理,去除多余的空白区域,获得一个较为精确的面部区域。使用 Adaboost 算法进行人脸检测的效果如图4所示。



图4 精细的区域分割过程

仅仅使用 Adaboost 算法进行人脸检测,容易出现误检漏检的情况。针对误检问题,本文提出使用 Adaboost 算法和级联方式进一步检测选择的区域中是否存在眼睛,如果没有眼睛,使用肤色模型对该区域进行确认,当肤色区域面积低于该区域面积的一半时,说明该区域中没有人脸,从而剔除误选区域。此外,当头部偏转一定角度时,Adaboost 算法检测不到人脸区域,产生漏检的情况,该问题可以使用肤色模型在图像中检测人脸,对图像进行补检。由于肤色在 YCbCr 色彩空间的聚类效果比较好,并且在 YCbCr 色彩空间中计算效率高,YCbCr 颜色空间可以将亮度信息与色度信息分离开来,便于色度分析的工作。因此,将图像转换为 YCbCr 模式,RGB 向 YCbCr 色彩空间的转换公式如式(4)所示。

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112 \\ 112 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

由于椭圆肤色模型对光线、遮挡具有较好的鲁棒性,因此在 YCbCr 颜色空间中使用椭圆肤色模型,椭圆肤色模型 $Cb'-Cr'$ 由式(5)、式(6)给出。

$$\frac{(x - ecx)^2}{a^2} + \frac{(y - ecy)^2}{b^2} = 1 \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C'_b - cx \\ C'_r - cy \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 $ecx = 109.38$, $ecy = 152.02$, $\theta = 2.53^\circ$, $ecx = 1.60$, $ecy = 2.41$, $a = 25.39$, $b = 14.03$,这些值均由 $Cb'-Cr'$ 空间的肤色聚集区域计算得到。通过肤色模型检测后,将得到二值图像,由于检测到的区域中会包含非人脸区域,此时对图形进行膨胀与腐蚀操作,可以消除非人脸区域或者缩小非人脸区域的范围,最后在形态学处理后的图像中找到连通区域最大的即为人脸区域。使用椭圆肤色模型处理图片的过程如图5所示。



图5 椭圆肤色模型的补检过程

2.2 眼睛定位

获得人脸区域之后,本文用 Hough 圆检测对面

部区域内的所有圆进行检测,由于存在某些人眼睛比较小的情况,通过在脸部区域直接搜索圆形来定位眼睛会比较困难,因此需要将眼部区域扩大,以便寻找眼睛区域。HSV 色彩模型与人类的颜色视觉比较相似,其中, V 表示色彩的明亮程度,不受光照强度的影响,眼睛区域在人脸图像中比较暗,在 V 通道中眼睛区域与皮肤对比强烈,此时对图像进行腐蚀操作,可以扩大眼部区域。将图像由 RGB 转为 HSV 颜色空间,转换过程如下。

首先对 R, G, B 进行归一化处理,使 $R, G, B \in [0, 1]$, 令 $m_{\max} = \max(R, G, B)$, $m_{\min} = \min(R, G, B)$, 然后使用如下公式进行转化:

$$V = m_{\max}(R, G, B) \quad (7)$$

$$s = \begin{cases} 0, & V = 0 \\ \frac{m_{\max} - m_{\min}}{m_{\max}}, & V \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$H = \begin{cases} \text{undefined} & S = 0 \\ \left(\frac{G - B}{m_{\max} - m_{\min}} + 0 \right) \times 60, & S \neq 0, R = m_{\max} \\ \left(\frac{B - R}{m_{\max} - m_{\min}} + 2 \right) \times 60, & S \neq 0, G = m_{\max} \\ \left(\frac{R - G}{m_{\max} - m_{\min}} + 4 \right) \times 60, & S \neq 0, B = m_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

上述操作结束后,对 V 分量的图像进行腐蚀操作,获得一个明显的眼部区域对比灰度图,如图 6 所示。

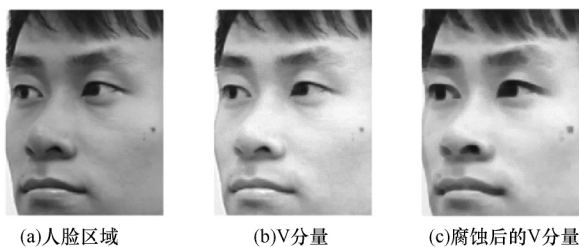


图 6 获取的眼部区域对比

在 V 分量图中使用 Hough 变换算法来查找图像中黑色的圆。Hough 变换技术的主要优点在于其对特征边界描述中的间隙是宽容的,并且相对不受图像噪声的影响。为了检测眼睛的圆形,使用如下等式:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (10)$$

其中 x_0, y_0 是圆心坐标, r 为圆的半径。经过 Hough 圆检测后,可以获取圆的圆心坐标 (x_0, y_0) 及半径 r 的信息,在这些圆中存在非人眼区域,需要添加限制条件进行筛选。过程如下:

1) 在 V 分量图中,分别选取圆上下左右 5 个像素以内区域,如图 7 所示,其中 r 为 Hough 圆检测到的圆的半径,扫描该区域,将圆周围像素是黑色的圆剔除,从而去除了头发、眉毛区域中误选的圆。

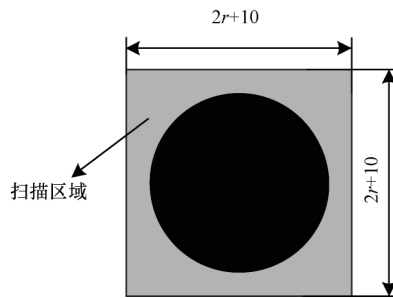


图 7 眼睛周围扫描区域

2) 经过上一步筛选后,分别统计剩下的圆的区域中包含的黑色像素个数,将黑色像素最多的 2 个圆保留下来。

经过以上 2 个条件筛选后,便可以得到眼睛区域的信息。

2.3 头部姿态估计

本文提出的方法可以估计头部 6 种不同的姿态,这 6 种姿态分别是正脸绕着 X, Y, Z 轴旋转。为了更好的用户体验,这 6 种姿态均是以被摄者的方向为准,对 6 种姿态进行定义,如图 8 所示。

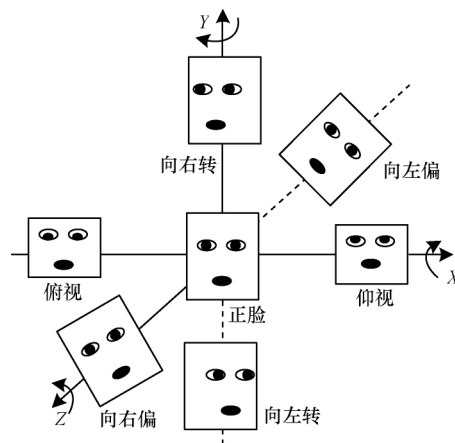


图 8 坐标轴上的头部姿态

根据 Hough 变换检测到人眼,并得到眼睛在人脸图像中的位置信息,将所得到的位置与正脸时眼睛的相关位置关系进行比较,从而判断出头部姿态,判断的依据如图 9 所示。在图 10 中, Fy 表示正脸时右眼与左眼在垂直方向的距离, dis_y 表示不同姿态下右眼与左眼在垂直方向的距离,当 $|dis_y| > 20$ 时,再与 Fy 进行比较。 FW_r 表示正脸时右眼距到脸部右边界的距离, FW_l 表示左眼到脸部左边界的距离, W_l 表示其他头部姿态下右眼到右脸边界的距离与左眼到左脸边界的差值。当 $|dis_y|, |W_l|$ 的值在 20 像素以内时,认为头部没有发生偏转。当 $|dis_y|, |W_l|$ 的值在 20 像素以外时,根据图 10 的头部姿态判定规则来判断头部的偏转方向。当判断头部姿态既不是左右偏也不是左右转的时候,根据眼睛定位结果判断双眼的中心到头顶的距离 Fh' 与正脸的 Fh 是否发生变化,仰视与俯视时,眼睛到面部顶端距离会缩小。

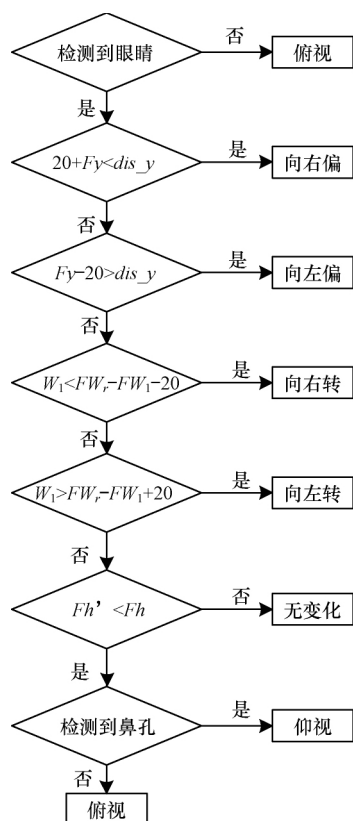


图9 头部姿态判定规则

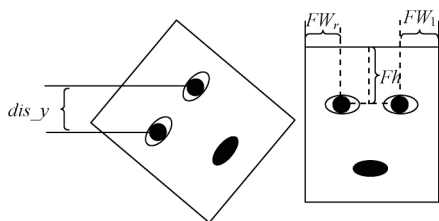


图10 面部参数标识

在判断仰视和俯视时,鼻孔成为判断的一个依据,因此还需要在面部对鼻孔进行检测。由于眼睛已经定位了,之前已经剔除了毛发中的圆,根据鼻孔距离近的特点,在眼睛的下方利用 Hough 圆检测,找到 2 个圆心在 X 轴方向的距离不超过 25 个像素,并且包含黑色像素最多的圆,将它们定义为鼻孔。如果不满足这 2 个条件则判断为未检测到鼻孔。俯视时鼻孔检测不到,眼睛也会被眼皮遮挡而无法检测到,因此仰视与俯视便可以通过双眼中点在垂直向上的位置和是否检测到眼睛、鼻孔来区分,综合以上特点,除正脸以外的 6 种姿态便得以区分。

3 实验结果与分析

3.1 人脸检测实验

为了验证本文提出的人脸检测方法的准确性,在实验中对 300 张图片进行检测,其中 100 张来自 lfpw 人脸数据库,100 张来自 helen 人脸数据库,剩

下的 100 张来自自制的人脸库。实验中将本文提出的方法与文献[20]提出的方法、Adaboost 算法、高斯肤色模型和椭圆肤色模型进行对比,结果如表 1 所示。

表1 人脸检测实验结果对比

方法	误检率/%	漏检率/%	正确率/%	平均检测时间/s
本文方法	7.330	0	92.67	1.25
文献[20]方法	9.667	0	91.33	5.17
Adaboost 算法	3.670	12	86.67	0.65
高斯肤色模型	27.330	0	94.33	4.75
椭圆肤色模型	28.330	0	92.67	4.63

由表 1 可以看出,与文献[20]提出的方法相比,本文提出的人脸检测方法正确率更高。此外,文献[20]提出的人脸检测方法由于先使用肤色模型进行检测,然后使用 Adaboost 算法对肤色区域进行筛选从而确定面部区域,而肤色模型检测的方法比较耗时,使得该方法整体在检测人脸时花费的时间较长,而本文提出的方法先用 Adaboost 算法进行检测,然后使用肤色模型进行补检,在准确度较为理想的情况下,大大减少了检测时间。肤色模型用于检测人脸时,尽管准确度较高,但是它的误检率也很高,总体花费时间较多。本文将肤色模型与 Adaboost 算法结合后,虽然正确率略有下降,但是大幅减少了误检率,并且提高了检测速度。

3.2 人眼定位实验

本文提出的眼睛定位方法,通过添加限制条件对 Hough 圆检测到的圆形区域进行筛选,去除非人眼区域,降低了误检的风险,提高了检测效果,实验结果如图 11 所示。

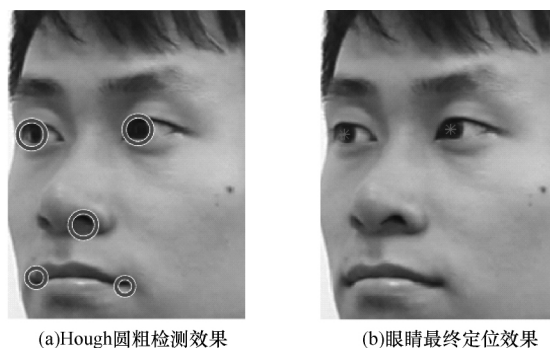


图11 本文方法人眼定位效果

对不同的头部姿态图片进行人眼定位,图片均来自自建库,从自建库中选择 350 张图片进行测试,定位结果如表 2 所示。

表2 人眼定位实验结果对比

定位方法	定位正确图像数	定位准确率/%
文献[17]方法	246	70.29
本文方法	345	98.57

文献[17]提出的方法在正脸的情况下定位准确率可以达到 95.4%,但是对于头部姿态发生偏转的条件下,人眼定位效果并不理想,对比文献[17]方法,本文提出的方法在人眼定位时能得到较好的效果,可保证下一步骤的头部姿态估计顺利进行。

3.3 头部姿态估计实验

针对本文提出的方法,为了检测其正确率,在实验中采集了 50 个人的 6 个姿态图片,对每个人的 6 个姿态分别采集了 10 张偏转角度不同的图片,共 3 000 张姿态不同的图片。部分测试图片如图 12 所示。



图 12 部分测试图片

测试者男女比例为 2:3,实验中对每一位被试者的每一种姿态的准确率进行了统计,最终的统计结果如图 13 和图 14 所示。

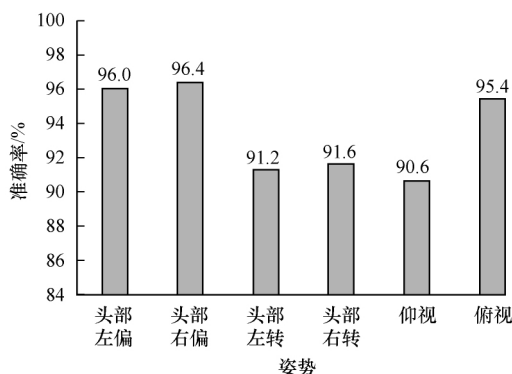


图 13 6 种头部姿态估计的准确率

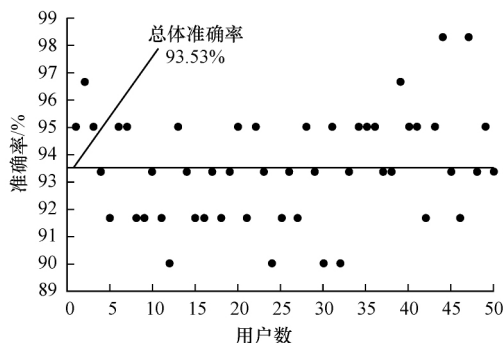


图 14 50 位志愿者的头部姿态估计的准确率

由图 13、图 14 可知,本文所提方法能够对正脸以外的 6 个头部姿态进行估计,准确率达到 93.53%,但是头部的左右转和仰视的准确度相比于

其他姿态低。因为在左右转时,由于转动的角度比较大,双眼中的一只眼睛会被遮挡,仰视角度过大时,双眼容易被遮挡,导致获取眼睛信息失败,使得头部姿态估计发生误判,故这 4 种姿态的识别率略低。但是在实际的应用中,比如通过头部运动来控制翻页效果或者鼠标的移动,点头或者摇头,在这些应用中出现左右偏转和仰视角度过大的情况较少,本文方法在正常的头部偏转中具有良好的估计精度,足以满足头部姿态估计的应用需求。相比于文献[9]提出的使用关键点之间的相对距离建立特征向量,然后利用自适应线性回归方法在训练集中找到一个最优集合,用该集合的线性组合来估计头部运动姿态。该方法在 3 个头部旋转方向上均可以实现精确的姿态估计,但是该方法依赖于前期对面部特征点的精确定位,并且需要一定量的图片进行训练。而本文提出的方法只需要提取被试者一张正脸照片,将正脸特征点的定位作为评判的依据,来估计其他头部姿态,相比文献[9]的方法会简单一些。本文提出的头部姿态检测方法平均正确率可达 93.53%,文献[23]对深度图像的头部姿态进行估计,基于 SPILT 算法和基于字典的方法检测面部特征点,然后分别使用几何估计和外观估计的方法对头部姿态进行估计,该方法的头部姿态估计准确度为 91.1%。本文方法在无任何深度信息的条件下,依然能达到较好的检测效果。

4 结束语

本文提出了一种精确的人脸区域检测方法,降低了无关区域的干扰,准确的人眼定位使得人眼误检率大幅下降。结合鼻孔区域定位,给出了一种基于面部特征点定位的头部姿态估计算法。实验中,人脸的检测率达到 92.67%,人眼误检率比现有方法大幅下降。将以上改进的人脸检测与人眼定位方法整合到头部姿态估计中,准确率达到 93.53%。下一步工作重点是进行头部姿态的细估计,并对其应用进行拓展,进而完善头部姿态估计的方法。

参考文献

- [1] 唐云祁,孙哲南,谭铁牛. 头部姿势估计研究综述[J]. 模式识别与人工智能, 2014, 27(3): 213-225.
- [2] 张波,王文军,成波. 基于人脸 3D 模型的驾驶人头部姿态检测[J]. 汽车工程, 2016, 38(1): 53-60, 71.
- [3] FANELLI G, DANTONE M, GALL J, et al. Random forests for real time 3D face analysis[J]. International Journal of Computer Vision, 2013, 101(3): 437-458.
- [4] PADELERIS P, ZABULIS X, ARGYROS A A. Head pose estimation on depth data based on particle swarm optimization[C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2012: 42-49.

- [5] 李成龙,钟 凡,马 昕,等.基于卡尔曼滤波和随机回归森林的实时头部姿态估计[J].计算机辅助设计与图形学报 2017 29(12):2309-2316.
- [6] 吴福华,汪同庆.利用深度信息检测驾驶员头部姿态[J].烟台大学学报(自然科学与工程版) 2017 30(2):155-159,166.
- [7] PAPA ZOV C, MARKS T K, JONES M. Real-time 3D head pose and facial landmark estimation from depth images using triangular surface patch features [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press 2015: 4722-4730.
- [8] LI Xinghua, CHEN Haiyang, CHEN Qinglei. A head pose detection algorithm based on template match [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Computational Intelligence. Washington D. C., USA: IEEE Press 2012: 673-677.
- [9] 郭知智,周前祥,柳忠起.基于自适应线性回归的头部姿态计算[J].计算机应用研究,2016,33(10):3181-3184.
- [10] MA Bingpeng, CHAI Xiujuan, WANG Tianjiang. A novel feature descriptor based on biologically inspired feature for head pose estimation [J]. Neurocomputing, 2013, 115(8):1-10.
- [11] 陈书明,陈美玲.头部姿态估计技术研究综述[J].泉州师范学院学报 2015 33(6):78-85.
- [12] RAHAYFEH A A, FAEZIPOUR M. Eye tracking and head movement detection: a state-of-art survey [J]. IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine 2013 1(1):210-212.
- [13] CHUN J, KIM W. 3D face pose estimation by a robust real time tracking of facial features [J]. Multimedia Tools & Applications 2016 75(23):1-16.
- [14] 刘春生,常发亮,陈振学,等.基于AAM和T型结构的人脸3D姿态估计[J].计算机工程与应用 2012 48(25):163-167.
- [15] 陈 喆,杨兵兵,殷福亮.使用眼睛定位的平面角度头部姿态识别方法[J].信号处理,2013,29(10):1354-1361.
- [16] 占 艳,韦昌法,刘青萍,等.基于Hough变换的虹膜图像预处理研究[J].软件导刊,2016,15(10):167-169.
- [17] 张 静,叶学义,张维笑,等.一种新的挖掘眼部结构特征的人眼精定位方法[J].计算机工程与应用,2016 52(12):158-162.
- [18] ZIA M A, ANSARI U, JAMIL M, et al. Face and eye detection in images using skin color segmentation and circular Hough transform [C]//Proceedings of International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering. Washington D. C., USA: IEEE Press 2014: 211-213.
- [19] FITRIYANI N L, YANG C K, SYAFRUDIN M. Real-time eye state detection system using Haar cascade classifier and circular Hough transform [C]//Proceedings of the 5th Global Conference on Consumer Electronics. Washington D. C., USA: IEEE Press 2016: 1-3.
- [20] 毕雪芹,惠 婷.基于肤色分割与Adaboost算法的人脸检测[J].国外电子测量技术 2015 34(12):82-86.
- [21] VIOLA P, JONES M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press 2003: 511-518.
- [22] HSU R L, ABDEL-MOTTALEB M, JAIN A K. Face detection in color images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2002 24(5):696-706.
- [23] DERKACH D, RUIZ A, SUKNO F M. Head pose estimation based on 3-D facial landmarks localization and regression [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press 2017: 820-827.

编辑 顾逸斐

(上接第262页)

- [14] 李晶皎,马 利,王爱侠,等.基于改进Patchmatch及切片采样粒子置信度传播的立体匹配算法[J].东北大学学报(自然科学版) 2016 37(5):609-613.
- [15] HU H P, ZHU M. Fast stereo matching based on seed pixel propagation [J]. Guangxue Jingmi Gongcheng/optics and Precision Engineering 2015 23(3):887-894.
- [16] LI Z, CHEN J. Superpixel segmentation using linear spectral clustering [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press 2015: 1356-1363.
- [17] 张 勇,袁家政,刘宏哲,等.基于结构张量的GrabCut图像分割算法[J].计算机工程,2017 43(8):258-265,271.
- [18] 孙劲光,赵 欣.一种基于耦合对象相似度的阈值分割算法[J].计算机工程 2016 42(10):255-260.
- [19] 李 伟,孙元超,李宗春,等.一种改进的最小二乘平面拟合算法[J].测绘科学 2017 42(1):15-19.

编辑 索书志