

文章编号:1001-9081(2008)03-0801-03

双层结构 Adaboost 健壮分类器用于人眼精确定位

刘 艺, 龚卫国, 李伟红

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

(wgong@cqu.edu.cn)

摘 要:提出了一种双层结构的 Adaboost 分类器用于眼睛的定位检测和跟踪。双层眼睛分类器由训练的双眼区域和单眼区域的分类器级联构成一个强分类器。该算法较传统的 YCbCr 色度空间眼睛模板而言,对光照变化有更大的适应性。相对普通的 Adaboost 眼睛分类器,该算法保留了原有普通 Adaboost 分类器的高检测率,同时有效降低了眼睛的误检率。通过研究训练样本数,训练级数和 Adaboost 分类器误检率的关系,分类器训练效率得到提高。

关键词:眼睛检测;双层结构;Adaboost;误检率;光照变化

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Robust classifier based two-layer Adaboost for precise eye location

LIU Yi, GONG Wei-guo, LI Wei-hong

(Key Laboratory of Opto-electronic Technology and Systems of the Education Ministry, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: A two-layer eye classifier for eye detection was proposed. Two layers, double-eye layer and single-eye layer, had been trained and cascaded into a strong one for eye detection. Two-layer classifier was more robust in illumination invariance eye detection compared with YCbCr space eye map algorithm. Also, it kept the same detection rate as the commonly trained Adaboost eye classifier with a much lower error detection rate. Relationship among stages, training sample number and error detection rate had been analyzed to facilitate the training procedure.

Key words: eye detection; two-layer; Adaboost; error detection rate; illumination invariance

0 引言

从一幅给定的图像中提取出眼睛信息,就可根据它与人脸的关系得到识别所需的人脸,进而提取其他面部特征。因此,眼睛定位是人脸识别^[1-3]的第一步,这对于高性能的自动人脸识别系统极为重要。

眼睛定位方法主要分为两大主流:

1) 基于统计模型。如文献[4,5]提出的左右眼 Adaboost 眼睛分类器用于双眼定位,文献[6]使用 SVM 方法训练出人脸和人眼分类器。

2) 基于几何、图像特征。如:YC_bC_r 空间下的眼睛模板用于眼睛定位^[7]。该算法是目前使用最广的算法,缺点在于该算法受光照影响严重。传统的图像灰度投影^[8,9],以及图像 x, y 轴灰度投影结合图像 Hough 变换用于眼睛定位^[10]。灰度投影和 Hough 变换求眼睛边缘的算法以及部分基于眼睛几何特点的算法从比较直观的特征入手,但只能定位简单背景下的人眼对于姿态变化和光照影响,鲁棒性低。更为复杂的算法,如:文献[11]提出的多模板可变形模型 multi-template ASM (Active Shape Model) 用于人眼检测,文献[12]提出的灰度值三维模型方法。近来提出的多种融合复杂算法虽然在眼睛定位精度、鲁棒性上有所提高,但算法复杂且检测定位的速度依然不够理想。Adaboost 算法对眼睛定位有很好的姿态、光照鲁棒性,同时可实现高检测速度,使得该算法的研究和改进成为了研究重点。

本文提出了一种双层结构 Adaboost 分类器用于眼睛定位。该算法克服了普通 Adaboost 眼睛分类器存在较多错误检

测的缺点,可达到眼睛瞳孔的精确定位;对一定姿态、光照强烈变化情况有强的鲁棒性。该算法相对于目前提出的多种眼睛定位算法结构简单,检测效果更为理想。

1 分类器训练以及训练参数间的关系

对于单眼分类器,训练样本为不区别左右眼的单眼区域。样本裁定以左右眼角,上下眼帘为界限。裁定完成后,样本使用 Daubechies 小波压缩为 48×24 pixel 大小。

对于双眼分类器,训练样本为人脸上方双眼矩形区域。裁减界限为双眼左右边外眼角,上下眼睑。裁减后,同样使用 Daubechies 小波压缩为 98×24 pixel 大小。

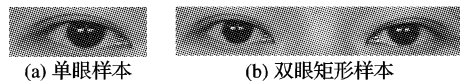


图 1 眼睛检测训练样本

在 Adaboost 分类器训练中,训练样本数、级联级数与错误检测率的关系直接关系到最终训练出来的分类器是否具有检测效果以及错误检测率如何能有效地控制在一定范围以内等问题。设定 S 表示训练级数, N 表示训练样本数, ϵ 表示错误检测率, D 表示分类器检测率。实验表明三者存在如下关系:

1) 在 S 不变的情况下, N 增加, 分类器最终 ϵ 降低。

证明 传统的 Adaboost 算法中^[13], 我们可以推出:

$$\epsilon_{i,i} = \sum_{i=1}^n \omega_{0,i} \left(\frac{\epsilon_0}{1 - \epsilon_0} \cdot \frac{\epsilon_1}{1 - \epsilon_1} \cdot \dots \cdot \frac{\epsilon_{i-1}}{1 - \epsilon_{i-1}} \right) |h_j(x_i) - y_i| \quad (1)$$

其中:

收稿日期:2007-09-30。

基金项目:国防“十一五”重点基础研究项目(C1020060355);重庆市科技公关项目(CSTC 2007AC2018, CSTC 2005AC2018)。

作者简介:刘艺(1982-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:模式识别; 龚卫国(1957-),男,重庆人,教授,博士生导师,主要研究方向:模式识别、智能信息技术; 李伟红(1963-),女,重庆人,主要研究方向:模式识别。

$$\omega_0 = 1/N \quad (2)$$

所以:

$$\varepsilon_{i,i} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{N} \left(\frac{\varepsilon_0}{1-\varepsilon_0} \cdot \frac{\varepsilon_1}{1-\varepsilon_1} \cdot \dots \cdot \frac{\varepsilon_{i-1}}{1-\varepsilon_{i-1}} \right) |h_j(x_i) - y_i| \quad (3)$$

表示 N 增大, T 轮循环下, 每轮 ε_i 与训练样本大小成反比。

而根据文献[14,15] 对于 Adaboost 的研究:

$$\varepsilon_{stageS} \leq 2^T \prod_{i=1}^T \sqrt{\varepsilon_i(1-\varepsilon_i)} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \prod_{stage=1}^S \varepsilon_{stage} \quad (5)$$

随着 N 的增长, 每级 S 上的 T 个 ε_i 降低, 通常选择的 $\varepsilon_i < 0.5$, 导致 ε_{stage} 上限降低, 最终使得 ε 下降。

证毕。

2) N 不变, S 增加, 分类器检测率缓慢降低, ε 迅速降低。

证明 Adaboost 级联分类器满足^[13]:

$$D = \prod_{stage=1}^S D_{stage} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \prod_{stage=1}^S \varepsilon_{stage} \quad (7)$$

D 和 ε 都随 S 增加而减小, 但由于每级 D_{stage} 都设置在 90% 以上, 使得结论成立。

证毕。

3) N 不变, S 增加到一定大小, 分类器无检测效果。

证明 在 S 增大过多后, D 与 ε 同时降低到一定程度, 使得最终分类器无检测效果。

遵循以上 Adaboost 训练参数间关系, 单眼分类器 S 设置为 12 级, N 为 2800 样本。双眼分类器 S 设置为 18 级, N 为 2800 样本。在允许的情况下, N 继续提高可以更大降低分类器误检率。但 S 的设定在此基础上增加 10 的数量级, 生成的分类器无检测效果。

证毕。

2 双层分类器的融合构建

双层 Adaboost 结构是简单的双眼分类器与单眼分类器级联的过程。整个强分类器由两部分组成: 1) 双眼 Adaboost 分类器。2) 单眼 Adaboost 分类器。分类器 1 放于分类器 2 前, 作为 2 的前端过滤器。当标定人脸的视频输入后, 人脸图像序列送入分类器 1 进行检测; 在检测到矩形双眼框后, 标定人脸以及双眼框的图像序列继续送入分类器 2 检测矩形双眼框内的单人眼; 最后, 图像满足瞳孔的精确定位而输出。

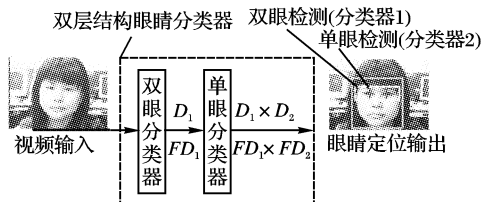


图2 双层结构分类器

双层结构对眼睛错误检测率的抑制:

设定眼睛分类器的检测率为 D , 错误检测率 FD 。双层分

类器满足:

$$D_{双层} = D_1 D_2 \quad (8)$$

$$FP_{双层} = FD_1 FD_2 \quad (9)$$

通常情况下, 对于一般的人眼分类器 2 (单眼分类器), 整个人脸区域存在较高误检测率和检测率 (即: $FD_2 \geq 40\%$, $D_2 > 95\%$)。这就造成在敏感检测到眼睛的同时, 人脸区域

的误减也相当高 (图 4)。

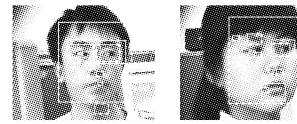


图3 单纯 Adaboost 眼睛分类器检测结果

加入分类器 1 后 (双眼分类器), 由于 1 有高的检测率和低误检率 ($D_1 > 95\%$, $FD_1 < 0.8\%$), 根据式 (7)、(8), 得出 $D_{双层} = D_1 D_2 \approx D_2$, $FD_{双层} = FD_1 FD_2 \ll FD_2$ 。可见双层分类器在保持原有检测率的基础上有效抑制了误检率。

3 检测部分眼睛检测标准

1) 检测中, 为了检测增速, 只传送人脸区域上半部分用于眼睛定位检测。

2) 在实时检测中, 出现检测双眼瞳孔距离小于双层检测器第一层检测到的双眼矩形高度时, 视该结果为错误检测结果 (双眼距离过小表示该次检测结果是同一眼睛周围的两个邻近误检)。

3) 对于第二层单眼检测分类器, 检测到的单眼是矩形表述的。为了精确到瞳孔, 我们取矩形的中点作为瞳孔位置。由于在单眼训练时, 把训练样本限制在了只包含左右眼角和上下眼睑的区域, 保证了单眼分类器检测出的眼睛瞳孔处于矩形框中间。

4 实验

4.1 静态人眼库实验

对于静态图片, 选用 AR 人脸数据库。AR 数据库包括遮挡、光照变化、轻微姿态变化的人脸。去掉完全遮挡的人脸, 将数据库分为正常光照 (1088 张) 与光照变化 (816 张) 两类。单纯 Adaboost 眼睛分类算法、双层 Adaboost 眼睛分类算法及 $YC_b C_r$ 空间下的眼睛模板对 AR 库的检测效果如表 1 所示。

表1 算法比较

算法	AR 库(正常光照) 1088 张		AR 库(光照变化) 816 张	
	检测率	误检率	检测率	误检率
	双层 Adaboost	99.60	0.12	98.50
单纯 Adaboost	98.30	15.60	97.62	16.33
$YC_b C_r$ 眼睛模板	75.00	12.50	0.30	0.00

4.2 实时系统实验

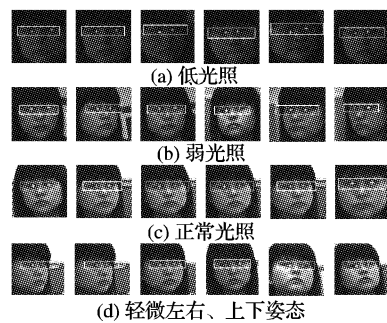


图4 实时系统中光照、姿态变化眼睛检测

双层 Adaboost 同样适用于实时人眼跟踪检测。实验选择 480000 像素的 Aike 摄像头与 3 百万像素的 Basler 641fc 工业摄像头在实验室多光照环境下进行算法测试。实验结果表明: 无论对高或低像素视频流, 该算法都能精确到瞳孔定位, 且算法对多姿态变化有一定鲁棒性。同时, 算法的检测速度和算法对于姿态的鲁棒性是受到视频像素质量积极影响的。

即,对于高质量摄像头,该算法可实现更大姿态转动人脸中的眼睛跟踪定位,跟踪定位速率也更高(对于 Basler641fc 检测速度达 20 fps)。部分视频检测结果如图 4 所示。

5 结语

在本文中,我们提出了一种双层结构基于 Adaboost 算法的眼睛分类器。双层分类器由双眼及单眼 Adaboost 分类器级联而成。由于双层结构均采用 Adaboost 算法,该分类器保持了 Adaboost 算法对于光照变化剧烈以及较为黑暗环境下的人眼检测跟踪的特点,对轻微的姿态变化也具有鲁棒性。第一层双眼分类器成功过滤掉多余误检,保证了分类器的低误检率。对于高像素质量的视频输入,该算法可达 20 fps 的检测速度。该算法最明显的优势在于,保证检测的多种鲁棒性和高精度的同时,算法简单易于实现。

由于第一层双眼分类器在姿态上不能完全适用于左右、上下 45° 偏转以上的眼睛检测,限制了该分类器对大幅度人脸偏转下眼睛的定位检测。今后的工作重点在于改进第一层分类器算法,加入多姿态 Adaboost 算法,融合光流算法的多姿态人眼跟踪检测。

参考文献:

- [1] LIANG YI-XIONG, GONG WEI-GUO, PAN YING-JUN, *et al.* Generalizing relevance weighted LDA [J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38(11): 2217 - 2219.
- [2] LIANG YI-XIONG, LI CHENG-RONG, GONG WEI-GUO, *et al.* Uncorrelated linear discriminant analysis based on weighted pairwise Fisher criterion [J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(12): 3606 - 3615.
- [3] 梁毅雄, 龚卫国, 潘英俊, 等. 基于奇异值分解的人脸识别方法 [J]. *光学精密工程*, 2004, 12(5): 543.
- [4] MA Y, DING X, WANG Z, *et al.* Robust precise eye location under probabilistic framework [C]// *Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*. [S. l.]: IEEE Press, 2004: 339 - 344.
- [5] VIOLA P, JONES M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [C]// *Proceeding of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Hawaii: IEEE Press, 2001: 511 - 518.
- [6] JEE H K, LEE K H, PAN S B. Eye and face detection using SVM [C]// *Proceedings of International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*. Australia: IEEE Press, 2004: 577 - 580.
- [7] HSU REIN-LIEN, ABDEL-MOTTALEB M, JAIN A K. Face detection in color images [J]. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(5): 696 - 706.
- [8] ZHOU ZHI-HUA, GENG XIN. Projection functions for eye detection [J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(5): 1049 - 1056.
- [9] SHAN SHI-GUANG, GAO WEN, CHEN XI-LIN. Facial feature extraction based on facial texture distribution and deformable template [J]. *Journal of Software*, 2001, 12(4): 570 - 577.
- [10] KAWAGUCHI T, HIKADA D, RIZON M. Detection of the eyes from human faces by Hough transform and separability filter [C]// *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing Vancouver*. BC: IEEE Computer Society, 2000: 49 - 52.
- [11] LI Y, LAI J H, YUEN P C. Multi-template ASM method for feature points detection of facial image with diverse expressions [C]// *Proceedings of the 7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 435 - 440.
- [12] WANG J, YIN L. Eye detection under unconstrained background by the terrain feature [C]// *Proceedings of International Conference on Multimedia and Expo*. Netherlands: IEEE Press, 2005: 1528 - 1531.
- [13] VIOLA P, JONES M. Robust real time object detection [C/OL]. [2007-09-01]. http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~vision/courses/2003_2/ICCV01-Viola-Jones.pdf.
- [14] FREUND Y, SCHAPIRE R E. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting [J]. *Journal of Computer and System Sciences*, 1997, 55: 119 - 139.
- [15] SCHAPIRE R E, SINGER Y. Improved boosting algorithms using confidence-rated predictions [J]. *Machine Learning*, 1999, 37: 297 - 336.

(上接第 800 页)

从连续图像序列中抓取某帧,截取其前景区域,并标示出前景匹配过程中的匹配特征点,如图 4 所示。

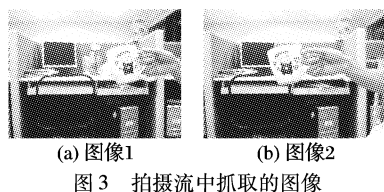


图 3 拍摄流中抓取图像

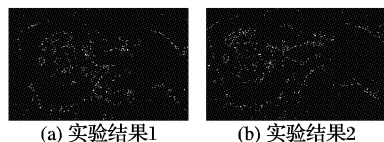


图 4 匹配分析结果

实验结果显示:对前景物体直接进行全区域特征点匹配时,系统帧速率平均为 12 帧,实现实时捕捉比较吃力。使用偏差修正方案后,得到前景偏差为 147 像素,系统捕捉的帧速率在 30 帧以上,已经可以实现实时捕捉。

在使用固定的扫描区域进行捕捉时,系统帧速率保持在 30 帧左右。当前景物物体深度变化较大时,则会出现短暂的误匹配或无响应,之后由于开启可变扫描区域方案,很快可以重新获得正确的匹配,但在此过程中帧速率会短时间下降。

通过实际的单幅图像和从摄像机捕捉的连续图像序列实验验证,将该算法应用在实时图像匹配系统中的效率高于传统图像匹配方法。使用此图像匹配算法可以实现 30 fps 以上的处理速度,从而基本实现视频的流畅。同时,在对特定物体进行捕捉和跟踪的应用中,该算法也提供了足够的精确性。

参考文献:

- [1] SMITH S M. SUSAN—a new approach to low level image processing [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1997, 23(1): 45 - 78.
- [2] VINCENT E, LAGANIERE R. Detecting and matching feature points [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2005, 16(1): 38 - 54.
- [3] 梁栋, 童强, 屈磊, 等. 一种基于极几何和单应约束的图像匹配算法 [J]. *系统仿真学报*, 2006, 18(1): 44 - 46.
- [4] 赵开春, 褚金奎. 一种新的快速鲁棒性角点检测算法 [J]. *计算机工程*, 2005, 31(23): 159 - 161.
- [5] 王哲, 常发亮. 一种基于立体视觉的运动目标检测算法 [J]. *计算机应用*, 2006, 26(11): 2724 - 2726.
- [6] 杨敏, 沈春林. 基于对极几何约束的景象匹配研究 [J]. *南京航空航天大学学报*, 2004, 36(2): 235 - 239.
- [7] 阳方林, 杨风暴, 韦全芳, 等. 一种新的快速图像匹配算法 [J]. *计算机工程与应用*, 2005, (41)5: 51 - 52.
- [8] 罗钟铭, 刘成明. 灰度图像匹配的快速算法 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2005, 17(5): 966 - 970.