

一种基于 Viola-Jones 的改进人脸定位算法

董林鹭¹, 赵良军^{2*}, 杨明中¹, 林国军¹, 石小仕¹, 何 岚²

(1. 四川轻化工大学 自动化与信息工程学院 人工智能四川省重点实验室, 四川 自贡 643000;

2. 四川轻化工大学 企业信息化与物联网测控技术四川省高校重点实验室, 四川 自贡 643000)

摘 要: Viola-Jones 算法能快速定位人脸, 但该算法存在对有偏角的人脸出现漏检和对周围环境非人脸区域出现误检的情况。针对该问题, 提出一种基于 Viola-Jones 的改进人脸定位算法。首先将图像中检测到的人脸像素区域排除, 再对剩下未被检测出的区域转为 YCrCb 模式, 设定阈值排除大部分环境中非肤色像素的干扰初步筛选出候选人脸区域, 再利用形态学方法进一步排除身体其他部位肤色的干扰和环境近似人脸像素的背景色干扰并对筛选出的区域进行左角度矫正调整和右角度矫正调整, 重新检测, 准确定位出人脸位置。通过在标准人脸检测库 Faces、IMM 和 AFW 上进行实验, 结果表明, 该算法能有效提高人脸定位的准确性, 较原算法在 Faces 测试库中正确检测率提高 5%, 在 AFW 测试库中正确检测率提高 9%。

关键词: 人脸检测; Viola-Jones 算法; 肤色定位; 任意旋转角度; 形态学; 肤色模型

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2020)10-0042-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2020.10.008

An Improved Face Location Algorithm Based on Viola-Jones

DONG Lin-lu¹, ZHAO Liang-jun^{2*}, YANG Ming-zhong¹, LIN Guo-jun¹, SHI Xiao-shi¹, HE Lan²

(1. Key Laboratory of Artificial Intelligence of Sichuan Province, School of Automation and Information Engineering, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000, China;

2. Key Laboratory of Higher Education of Sichuan Province for Enterprise Informatization and Internet of Things, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: The Viola-Jones algorithm can quickly locate human face, but the algorithm fails to detect faces with deflection angle and fails to detect non-face areas in the surrounding environment. In view of this problem, an improved face positioning algorithm based on Viola-Jones is proposed. Firstly, the area of face pixels detected in the image is excluded, and then the remaining undetected area is converted to YCrCb mode. The threshold is set to exclude interference of non-skin pixels in most environments to preliminarily screen out the candidate face area. Then the morphological method is used to further eliminate the interference of skin color in other parts of the body and the background color interference of similar face pixels in the environment, and the left angle correction adjustment and right angle correction adjustment are carried out for the selected areas, so as to re-detect and accurately locate the face position. The experiment on Faces, IMM and AFW shows that the proposed algorithm can effectively improve the accuracy of the face location, and the correct detection rate in Faces test library and AFW test library is increased by 5% and 9% respectively compared with the original algorithm.

Key words: face detection; Viola-Jones algorithm; skin color location; arbitrary rotation angle; morphology; skin color model

0 引言

随着 5G 网络的普及, 人们利用人工智能服务社会的步伐随之加快。其中, 人脸识别的应用场合变得普遍和友好。但是在环境复杂多变的实际应用中, 计算机要想快速识别出背景复杂且人流量较大的不同场

景下大批量的人脸信息, 预先排除干扰锁定人脸是识别过程中非常重要的一步^[1-3]。因此, 人脸定位的研究能提高人脸识别精度和加快识别速度, 成为众多学者研究的热点。

目前涌现出许多的人脸定位算法, 较为成熟的方

收稿日期: 2019-12-10

修回日期: 2020-04-10

基金项目: 企业信息化与物联网测控技术四川省高校重点实验室开放基金资助(2019WZY04); 四川省教育项目基金(17ZB0302); 自贡市科技计划项目(2019RKX03); 四川轻化工大学科研项目(2018RCL21)

作者简介: 董林鹭(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为信息处理; 通信作者: 赵良军(1980-), 男, 高级工程师, 博士研究生, 研究方向为地理信息遥感、计算机应用。

法有模板匹配法、SVM 模型、AdaBoost 算法^[4-5]、深度学习^[6]以及肤色检测^[7],但这些方法都存在一定缺陷。如基于支持向量机(support vector machine, SVM)的人脸定位算法,其中翟社平提出利用局部二元模式(LBP)对图像进行特征提取,再利用 SVM 对其进行分类达到人脸定位的目的,但是该算法随着分块数的不断增加,提取到的特征向量的维数也随之增加,出现了“维数灾难”,导致算法训练阶段的时间变长^[8]。

利用深度学习方法进行人脸定位,张衡提出基于级联卷积网络的人脸特征点检测,该方法根据网络预测的特征点位置,对局部区域进行裁剪,然后再对局部区域预测单个特征点,完成人脸的定位检测,但该方法对训练人脸的数量要求较高,当获得的特征点的数量较少时,造成此模型的应用范围较小^[9]。

模板匹配法是最原始的图像处理方法,用人脸的形态模板与图像中的人脸进行匹配,虽运算速度较快,但对于复杂多变的图像该方法将失去人脸定位的功能。对于肤色定位检测,杨明中提出将彩色图像转换为 YCbCr 和 HSI 空间图像,对变化后的色域进行阈值设定,提取肤色达到人脸定位的目的,但是该方法同样有着较高的漏检率^[10-11]。

沈翔提出基于肤色与改进 Adaboost 算法的人脸检测,利用双阈值的权重更新方式避免了分类器训练过程中可能出现的过拟合现象;人脸检测时利用肤色的聚类性,将检测到的肤色区域作为 Adaboost 分类器的搜索候选区域达到人脸定位目的^[12-13]。

Viola-Jones (VJ) 算法是由学者 Paul Viola 和 Michael Jones 共同提出的,相比于上述方法 VJ 算法有着定位速度快的优点,在人脸检测算法中具有重要的地位。该算法的提出标志着机器视觉研究成果具备了投入实际应用的能力^[14-15],但该算法只能检测正面的人脸,对于侧面人脸检测的鲁棒性较差,同时对于多人的图像(毕业照)或人脸皮肤被污染(矿工人脸)的人脸检测漏检率较高。为了提升 VJ 算法的鲁棒性,重点研究了 VJ 算法的缺陷并对其进行改进。

1 VJ 算法介绍

VJ 算法主要分为三部分。第一部分,采用积分图像的方法快速提取图像的特征信息;第二部分,利用弱分类器对提取的特征进行分类,减少计算复杂度;第三部分,再采用级联分类器进一步分类,提高人脸定位的精确度。

1.1 对原图积分获得特征信息

设图像中的像素点为 (x, y) , 将原图像转化为积分图,原理是图像中每一像素点 (x, y) 的和都由该点

左上角所有像素的值相加后的和构成。满足表达式:

$$rr(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} r(x', y') \quad (1)$$

其中, $r(x', y')$ 表示原图像素值, $rr(x, y)$ 表示积分后得到的图像像素值。

灰色区域 S 的和满足表达式:

$$S = D - B - C + A \quad (2)$$

求和的图解过程如图 1 所示。

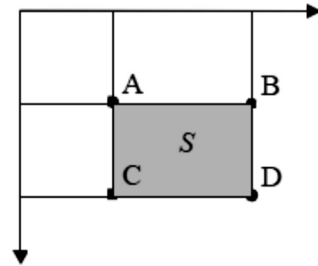


图 1 和计算示意图

对灰度区域 S 进行积分获得该图片的特征,满足表达式:

$$\text{feature}_k = \sum_{k=1,2,\dots,N} w_k \text{Rctsum}(S) \quad (3)$$

其中, w_i 表示灰度区域 S 的权重, $w_i \text{Rctsum}(S)$ 表示灰度区域的图像像素积分, N 表示灰度区域 S 的数量。

1.2 强分类器

VJ 算法为了提升分类速度,将多个弱分类器进行加权组合构成一个强分类器,其中弱分类器满足表达式:

$$h(s, f, p, \theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } pf(s) > p\theta \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

其中, s 表示窗口大小为 24×24 的像素矩阵, f 表示特征, p 表示极性, θ 表示分类器判断矩阵 s 的归类属性。

假设有若干个灰度矩阵 $(s_1, y_1), \dots, (s_n, y_n)$ 。其中,当对应灰度矩阵内的 y_n 为 0 时表示该灰度矩阵为负样本,当 y_n 为 1 时表示该灰度矩阵为正样本。首先初始化权重 $w_{1,i} = \frac{1}{2m} \frac{1}{2l}$, 其中, m, n 分别表示正样本和负样本的数量。设弱分类器的个数由 $t = 1, 2, \dots, T$

表示,根据弱分类器的个数标准化权重 $w_{t,i} \leftarrow \frac{w_{t,i}}{\sum_{j=1}^n w_{t,j}}$ 。

再确定最优的弱分类器,满足表达式:

$$\varepsilon_t = \min_{f,p,\theta} \sum w_i |h(x_i, f, p, \theta) - y_i| \quad (5)$$

根据式(5)重新定义权重,满足表达式:

$$w_{t+1,i} = w_{t,i} \left(\frac{\varepsilon_t}{1 - \varepsilon_t} \right)^{1-y_i} \quad (6)$$

则强分类器表达式满足:

$$C(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{i=1}^T \frac{\varepsilon_i}{1 - \varepsilon_i} h_i(s) \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T \log \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

1.3 级联分类器

级联分类器是由多个强分类器串联组成的多级分

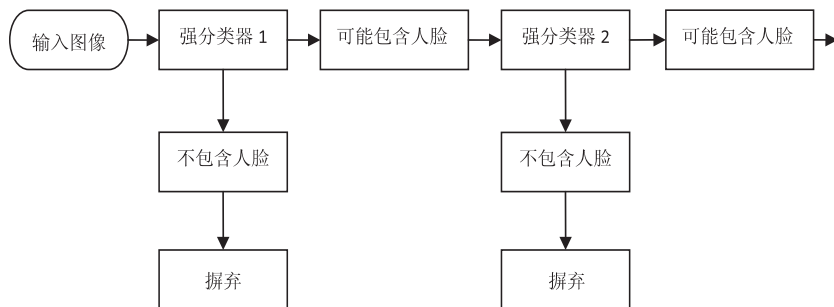


图2 级联分类器示意图

2 人脸偏角对算法的影响

VJ 算法对人脸的偏角敏感性较大,当人脸倾斜时会使 VJ 算法无法识别出人脸位置,为了解决该缺陷,该文通过实验的方法确定出人脸左偏角度和右偏角度对算法定位出人脸性能的影响。

为了验证偏角对 VJ 算法人脸定位精确度有影响,第一个实验如图 3 所示,将一位正脸的人脸进行偏转角度处理,统一到同一图像中让 VJ 算法进行人脸定位。第二个实验如图 4 所示,将有偏转的人脸进行校正处理,统一到同一图像中让 VJ 算法进行人脸定位。第三个实验如图 5 所示,将不同人脸(包含了有偏转角的人脸和正脸的人脸),让 VJ 算法进行人脸定位,同时选用的图像均为标准的测试像。



图3 同一人原图正脸与调整偏转角的人脸定位对比图



图4 同一人原图偏角与矫正后人脸检测对比图

分析图 3 ~ 图 5,无论同一人的人脸发生了偏角还是有偏角的人脸矫正,VJ 算法只能识别正面的人脸。实验验证了 VJ 算法对有偏角的人脸定位鲁棒性

类器,每一级的工作就是判断上一级被确定为人脸的区域是人脸还是非人脸,若是人脸就传递给下一级继续判断,若是非人脸就摒弃。因此,一幅图像被传递的级数越多,是人脸的可能性就越大。该过程如图 2 所示。

较差。同时,证实了本文猜想,调整偏角脸的角度能提高 VJ 算法人脸定位的性能。



图5 不同人包含正脸与偏角脸的人脸检测对比图

为了能使算法自适应调整人脸的偏角度,首先得确认 VJ 算法能定位人脸与不能定位人脸的角度区间。采用标准测试图正面人脸进行角度偏差实验,定义正面人脸 $\alpha = 90^\circ$,左偏 $\alpha = 45^\circ \sim 89^\circ$,右偏 $\alpha = 91^\circ \sim 130^\circ$ 。将所有图像统一到一幅图像中让 VJ 算法同时进行人脸检测。实验结果如图 6 所示。

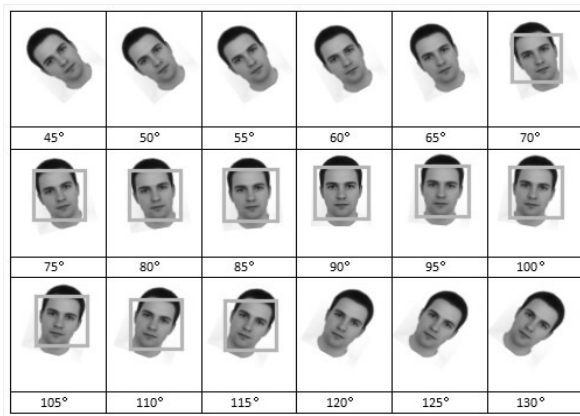


图6 VJ 算法有效检测角度实验结果图

分析图 6,从实验结果可得,VJ 算法的有效人脸检测偏角 θ 在 $70^\circ \sim 115^\circ$ 之间。因此,文中算法的思想

是,首先将图像从 RGB 模式转化为 YCbCr 模式,利用色域阈值过滤掉非皮肤区域,再在过滤后的基础上进行人脸检测,排除检测到的人脸,对候选区域进行形态学筛选排除手臂等肤色的干扰,最后对剩下的区域进行角度矫正,达到提升 VJ 算法性能的目的。

3 疑似人脸区域定位与矫正

3.1 基于肤色与形态学定位疑似人脸区域

肤色转化模型算法^[7]满足表达式:

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112.000 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (8)$$

再根据 YCbCr 模式下皮肤的颜色像素区间在 $90 \leq Cb \leq 130$ 和 $130 \leq Cr \leq 170$ 来设定色域阈值,滤掉大部分非皮肤颜色的背景如图 7(b) 所示,再利用 VJ 算法对图 7(b) 进行人脸检测,检测结果如图 7(c) 所示,最后利用形态学处理方法进一步去干扰,同时去掉已经检测出的人脸区域,得到疑似人脸区域如图 7(d) 所示。

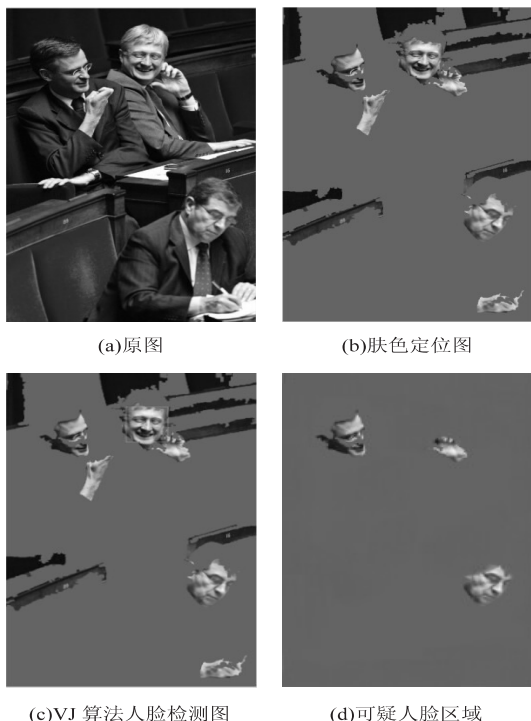


图 7 可疑人脸定位过程图

3.2 疑似区域矫正

在获得图 7(d) 后,利用矩形框框出图中所有的联通区域,各自在图中形成一幅独立的图像,如图 8 所示。

对独立图像进行图像旋转处理达到人脸矫正的目的。

如图 9 所示,对图 8 中某一候选可疑人脸区域进行旋转。以标注框内图像中心为旋转中心 O 建立坐标系并标出 x 轴和 y 轴,设点图像中某像素点 $f(x_1, y_1)$ 经过逆时针旋转到 $f(x_0, y_0)$, 旋转角度为 α , 整个过程 O 点到待旋转像素点 $f(x_1, y_1)$ 的半径距离 r 恒定且与 x 轴的夹角为 β 。

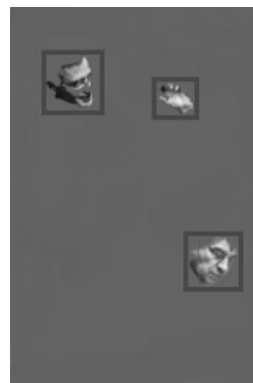


图 8 疑似联通区域框图

则点 $f(x, y)$ 的表达式为:

$$\begin{cases} x = r \cos \beta \\ y = r \sin \beta \end{cases} \quad (9)$$

点 $f(x_1, y_1)$ 的表达式为:

$$\begin{cases} x_1 = r \cos(\beta - \alpha) = r \cos \beta \cos \alpha + r \sin \beta \sin \alpha \\ y_1 = r \sin(\beta - \alpha) = r \sin \beta \cos \alpha - r \cos \beta \sin \alpha \end{cases} \quad (10)$$

将式(9)代入式(10)化解后满足:

$$\begin{cases} x_1 = x \cos \alpha + y \sin \alpha \\ y_1 = y \cos \alpha - x \sin \alpha \end{cases} \quad (11)$$

则图像的矫正中左偏公式满足:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (12)$$

同理,右偏公式满足:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

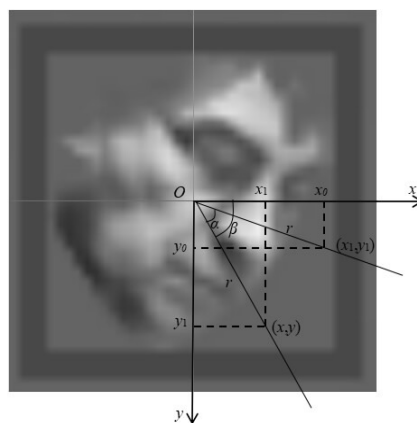


图 9 矫正示意图

为了减少计算复杂度,通过实验结合实际,规定矫正的角度 α 的旋转角度和旋转方式。目的是为了达到

算法的自适应的性能。

对于旋转角度 α , 根据图 5 的有效偏角实验结合人脸偏角习惯分析, 人脸在未被检测出来的情况时其左偏角集中在 45° 到 70° 之间, 右偏角集中在 115° 到 135° 之间。即左偏角差不能检测的角度区间有 35° , 右偏角不能检测的角度区间有 20° 。即矫正步骤如下:

(1) 假设未矫正前人脸左偏, 则对可疑人脸区域进行矫正向右旋转 35° 。因为, 假如未矫正之前人脸偏转角为 45° 加上 35° 后矫正到 80° , 则人脸偏角在 VJ 算法的检测角度范围内。如果未矫正之前人脸偏转角为 70° 加上 35° 后矫正到 105° , 同样矫正后的人脸在 VJ 算法的检测角度范围内。

(2) 若在步骤 (1) 下无法检测到人脸, 则考虑人脸未矫正前向右偏, 对可疑人脸区域进行矫正向左旋转 20° , 因为, 当人脸在未矫正之前偏转角为 135° 减去

20° 矫正到 115° , 则人脸偏角在 VJ 算法的检测角度范围内, 如果未矫正之前人脸偏转角为 115° 减去 20° 后矫正到 95° , 同样矫正后的人脸在 VJ 算法的检测角度范围内。

(3) 如果前两步都未能检测出人脸, 则直接结束矫正运算, 判定可疑区域为手臂、背景等干扰区域。

4 实验

为了验证文中算法的真实有效性, 以 MATLAB2016a 编程, 以 2.60 GHz 的英特尔处理器、内存为 8 GB 的笔记本为平台进行实验仿真。实验中采用三个标准人脸检测库 Faces、IMM 和 AFW 进行人脸检测实验。同时, 利用 VJ 算法和文献 [10] 算法与文中算法进行对比。

实验结果如表 1 所示。

表 1 不同算法检测结果比较

算法	Faces			IMM			AFW		
	正检 率/%	误检 率/%	漏检 率/%	正检 率/%	误检 率/%	漏检 率/%	正检 率/%	误检 率/%	漏检 率/%
VJ 算法	87.65	24.61	13.32	100	1.47	0	69.58	29.38	30.42
文献 [10]	89.66	11.01	10.34	100	0.22	0	72.34	17.63	27.66
文中算法	91.32	11.24	8.78	100	0.22	0	78.22	18.52	21.78

文中算法对于有偏角人脸且背景复杂的人脸正检率较 VJ 算法提高较 10%, 较文献 [10] 算法提高 6%。误检率对于 Faces 人脸库文中算法较 VJ 算法降低 13%, 对于 AFW 人脸库文中算法较 VJ 算法降低 12%。实验结果表明, 文中算法能有效提高正检率, 降低误检率, 提高 VJ 算法的应用性能。

5 结束语

总结了 VJ 算法的基本原理, 并对 VJ 算法的偏角漏检的角度进行试验, 提出了一种改进方法, 对研究人脸检测的学者具有一定的参考意义。同时, 该算法能有效提高多人图像中人脸的检测率, 但还是存在漏检与误检的情况。接下来将进一步研究人脸检测的特点, 提高人脸的检测率, 降低误检率。

参考文献:

- [1] 石高辉, 陈晓荣, 刘亚茹, 等. 基于卷积神经网络的人脸关键点检测算法设计[J]. 电子测量技术, 2019, 42(24): 125-130.
- [2] 王 颖. 基于随机 Fourier 有监督特征变换降维算法的人脸检测方法[J]. 吉林大学学报: 理学版, 2019, 57(3): 640-646.
- [3] 杨 磊, 刘美枝. 一种改进的核二维主成分分析人脸识别算法[J]. 中国科技论文, 2018, 13(2): 208-212.
- [4] 刘王胜, 冯 瑞. 一种基于 AdaBoost 的人脸检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(11): 209-214.

- [5] 王志伟, 张晓龙, 梁文豪. 利用 SVM 改进 Adaboost 算法的人脸检测精度[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(6): 32-35.
- [6] WU Y, JI Q. Discriminative deep face shape model for facial point detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2015, 113(1): 37-53.
- [7] 唐文权, 徐 武, 文 聪, 等. 复杂背景下基于肤色检测的动态手势分割与识别[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(33): 330-335.
- [8] 翟社平, 李 扬, 马蒙雨, 等. 基于 LBP 和 SVM 的人脸检测[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(9): 44-47.
- [9] 张 衡, 马明栋, 王得玉. 基于级联卷积网络的人脸特征点检测[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2019, 39(3): 104-110.
- [10] 林国军, 杨明中, 陈明举, 等. 一种肤色定位的人脸检测算法[J]. 液晶与显示, 2019, 34(1): 70-73.
- [11] 崔 鹏, 燕天天. 融合 YCbCr 肤色模型与改进的 Adaboost 算法的人脸检测[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2018, 23(2): 91-96.
- [12] 李振雨, 王好臣, 王功亮, 等. 基于级联 Adaboost 和神经网络主元分析算法的人脸检测系统[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(1): 280-286.
- [13] 沈 翔, 朱建鸿. 基于肤色与改进 Adaboost 算法的人脸检测[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(4): 143-145.
- [14] HUANG Jing, SHANG Yunyi, CHEN Hai. Improved Viola-Jones face detection algorithm based on HoloLens[J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2019, 2019(1): 1-11.
- [15] 霍芋霖, 符意德. 基于 Zynq 的人脸检测设计[J]. 计算机科学, 2016, 43(10): 322-324.