

# 一种新的挖掘眼部结构特征的人眼精定位方法

张 静, 叶学义, 张维笑, 陈雪婷

ZHANG Jing, YE Xueyi, ZHANG Weixiao, CHEN Xueting

杭州电子科技大学 模式识别与信息安全实验室, 杭州 310018

Lab of Pattern Recognition and Information Security, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China

**ZHANG Jing, YE Xueyi, ZHANG Weixiao, et al. New method that mines eyes structure feature for precise location of human eyes. Computer Engineering and Applications, 2016, 52(12): 158-162.**

**Abstract:** For interference problems of the glasses in human eyes location, this paper fully exploits the eye structure information, combined with a fixed feature of glasses, proposes a new method for precise location of the human eyes. It obtains eyes regions by using AdaBoost detection algorithm. And on the basis of this, firstly, this paper divides the eye-eyebrow bar regions using gray projection function in the eyes rectangular regions. Secondly, it achieves binary processing of the eye-eyebrow bar regions by using adaptive binary circle fitting. Finally, it determines the exact position of the human eyes through the binary image circle fitting center. This method takes full advantage of the class structure of the eye round, and effectively avoids the impact of the glasses in the human eyes location. The experimental results show that the algorithm has good positioning results in the case of with and without glasses.

**Key words:** AdaBoost algorithm; grey projection function; binary circle fitting; eyes location

**摘 要:** 针对眼镜框对眼睛定位的干扰问题, 充分挖掘眼部类圆形的结构信息, 并结合眼镜框的固有特征, 提出了一种新的人眼精确定位方法。它在 AdaBoost 检测算法已经得到的眼部区域的基础上, 在眼部矩形区域内利用灰度投影法分割眉眼条形区域, 运用自适应二值化圆拟合对眉眼条形区域实现二值化处理, 通过二值化图像圆拟合的圆心来确定人眼精确位置。该方法充分利用了眼部类圆形的结构特征, 有效地避免了眼镜框对人眼定位的影响。实验结果表明, 该算法在有眼镜框和无眼镜框的情况下都具有很好的定位效果。

**关键词:** AdaBoost 算法; 灰度投影算法; 二值化圆拟合; 人眼定位

**文献标志码:** A **中图分类号:** TP391 **doi:** 10.3778/j.issn.1002-8331.1407-0531

## 1 引言

人眼作为人脸特征的关键部位, 是生物特征识别的重要依据, 人眼定位的准确性直接影响着人脸识别以及疲劳检测的可靠性<sup>[1]</sup>。目前, 针对人眼定位的算法有很多, 其中比较典型的算法有投影函数法、Hough 变换法和模板匹配法等。投影函数法<sup>[2-3]</sup>通过图像的灰度变化来定位人眼, 虽然这种方法实现简单, 计算量小, 但其在脸部佩戴饰物的情况下效果较差。Hough 变换法<sup>[4]</sup>利用虹膜为圆形的特征进行人眼定位, 其优点简单通用, 但是它必须在拍到虹膜的情况下才能有较好的效果。模

板匹配法<sup>[5-6]</sup>虽然使用较方便, 但其计算量大, 且定位准确率低, 鲁棒性也较差。

本文提出的挖掘眼部结构特征的人眼定位方法, 可以有效地避免眼镜框对人眼定位的干扰。它在利用 AdaBoost 检测算法已经得到的眼部区域的基础上, 首先在已得到的眼部区域内运用垂直和水平灰度投影, 并结合眼镜的固定特征来得到眉眼条形区域; 其次对眉眼条形区域进行二值化, 利用人眼类圆形的特征, 运用自适应二值化圆拟合来调整二值化阈值, 实现对眉眼条形区域的二值化处理; 最终眉眼条形区域的二值化图像圆拟

**基金项目:** 企业合作横向项目。

**作者简介:** 张静(1988—), 女, 硕士研究生, 研究领域为视频人脸检测, E-mail: yiwangyufou@126.com; 叶学义(1973—), 男, 博士, 副教授, 研究领域为图像处理, 模式识别, 信息安全; 张维笑(1990—), 男, 硕士研究生, 研究领域为人脸识别; 陈雪婷(1990—), 女, 硕士研究生, 研究领域为人脸检测。

**收稿日期:** 2014-08-06 **修回日期:** 2014-09-26 **文章编号:** 1002-8331(2016)12-0158-05

**CNKI 网络优先出版:** 2015-03-25, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20150325.1620.015.html>

合的圆心即为人眼位置坐标。

2 基于AdaBoost的眼部区域检测

AdaBoost算法<sup>[7-8]</sup>是由 Freund 和 Schapire 提出的,其核心思想是针对训练集训练弱分类器,然后以递增的方式组合多个弱分类器,进而最终得到一个分类效果较好的强分类器。其中弱分类器选取只要比随机猜测略好即可,就可以提升为强分类器,而不必直接去找在一般情况下很难得到的强分类器。这里的弱分类器选取扩展 haar-like 特征即矩形特征<sup>[9]</sup>。

AdaBoost算法在训练过程中,对每一个训练样本都赋予一个权重,即它被弱分类器选入训练集的概率。若某个训练样本没有被分类器正确分类,那么在下一轮的训练过程中,它的权重就会增加,即它被选中的概率会增强;反之,若某个训练样本已经被分类器正确分类,那它的权重就会降低<sup>[10-11]</sup>。

本文训练分类器时选取眼部区域和非眼部区域作为正、负样本,通过 AdaBoost 算法训练得到 13 级强分类器。在利用分类器提取眼部区域前,对输入的图片进行尺度归一化,大小为 480×360,并进行直方图均衡来去除光照的影响。人眼精确定位是在分类器检测出的眼部区域中进行的,从而减少了眼睛定位的候选区域及定位时间。无眼镜人脸图像如图 1(a)所示,其 AdaBoost 算法检测结果如图 1(c)所示,有眼镜人脸图像如图 1(b)所示,其 AdaBoost 算法检测结果如图 1(d)所示。



图1 人脸图像及AdaBoost检测结果

3 人眼精确定位

在利用 AdaBoost 检测算法已经得到的眼部区域的基础上,对该区域进行灰度投影分割左、右眼部分,再分别对左、右眼进行定位,最后得到人眼的精确参数。图 2 显示了算法的框图及计算流程。

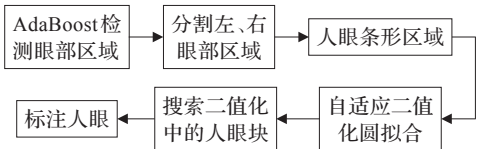


图2 人眼定位算法框图

3.1 分割左右眼及提取人眼条形区域

在检测出的眼部区域中求取左右眼的中心线,并根据中心线分割左、右眼,进而分别对左、右眼进行定位。左右眼中心线在鼻梁的位置,鼻梁位置相对于两侧的垂直灰度要高,利用这一特点对人眼部区域进行垂直灰度投影<sup>[12]</sup>,从而得到左右眼中心线。人眼部区域的宽度记为  $W$ ,高度记为  $H$ ,经过垂直灰度投影后取  $\frac{W}{4} \sim \frac{3W}{4}$  范围内的最大值即为左右眼中心线。利用 AdaBoost 检测算法得到的眼部区域,如图 3(a)所示,其垂直投影直方图,如图 3(c)所示,利用 AdaBoost 检测算法得到的戴眼镜的眼部区域,如图 3(b)所示,其垂直投影直方图,如图 3(d)所示,图 3(a)、图 3(b)中的垂直线为通过上述方法求得的左右眼中心线。

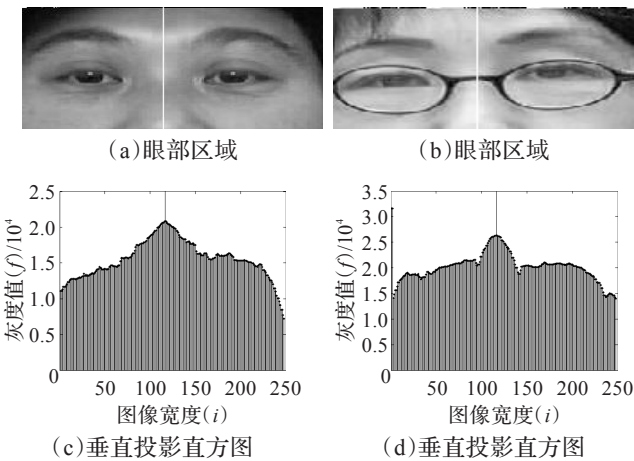


图3 眼部区域垂直投影直方图及中心线位置

通过中心线的位置分割左右眼,进而对左、右眼分别处理,运用改进的水平灰度投影提取眼睛的条形区域。当图像的某一行的灰度值发生变化时,这种变化就会在水平灰度投影函数值上反映出来。因此,可以运用水平灰度投影来大体确定眼睛所在的位置。传统的方法<sup>[13]</sup>通过水平投影函数曲线上的极小值作为眼睛所在的位置,这种方法实现简单,容易理解,然而实验结果表明在有眼镜框的情况下定位效果并不理想。由于眉毛以及黑框眼镜在水平灰度投影曲线上也很有可能成为极小值点处,这种情况下对极小值的选取产生干扰,难以准确提取人眼条形区域。除此之外,在眉毛遮挡的特殊情况下,在眉毛所在位置可能不存在极值点,此时对极值点选取也将发生变化。利用中心线得到的左眼的水平投影直方图及极小值点位置如图 4(a)所示,其极小值点处对应眼睛位置如图 4(b)中水平线所示,在佩戴眼镜情况下左眼水平投影直方图及极小值点位置如图 4(c)所示,其极小值点处对应眼睛位置如图 4(d)中水平线所示,在眉毛遮挡情况下左眼水平投影及极小值位置如图 4(e)所示,其极小值点处对应眼睛所在位置如图 4(f)中水平线所示。

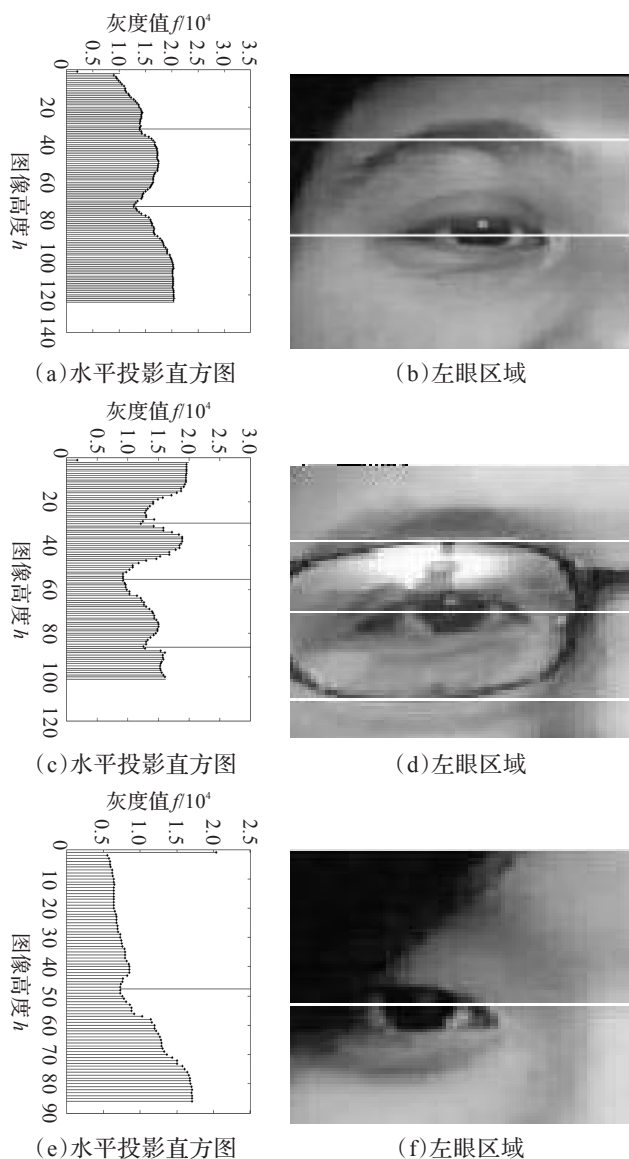


图4 左眼水平灰度投影直方图及极小值位置

通过实验表明,一般情况下,由于人眼和眉毛在水平方向,在人脸部没有任何饰物时,人眼和眉毛在水平方向灰度值较低,以此对人眼图像进行水平投影易找到两个极值点,此时运用传统方法很容易找到眼睛所在位置。然而,当佩戴眼镜、眉毛遮挡、眼镜高光等情况下,人眼图像的水平投影的极值点个数将会出现多种可能,此时传统方法很难实现眼睛位置的定位。本文改进了水平灰度投影定位人眼的方法,通过极值点的个数以及眼睛区域的灰度特征来确定眼睛所在位置。实验结果表明,可能会出现以下几种情况:第一,在眼部没有饰物且没有遮挡的情况下,由于眼睛和眉毛在水平方向的灰度值较低,因此在人眼区域的水平灰度投影容易找到两个极值点,此时提取下方的极值点来排除眉毛的影响,下方极值点的位置即为人眼所在位置记为  $y_{mid}$ 。第二,在佩戴眼镜的情况下,由于眼镜框及眉毛的影响,在人眼区域的水平灰度投影存在两个以上极值点,此时利用

眼睛的灰度特征对灰度投影法加以改进。在这种情况下,由于穿过眉毛的极值点总在上方,因此首先将最上方的极值点排除,然后以其余极值点位置为中心进行多行水平灰度投影,本实验中以每个极值点为中心取5行进行水平灰度投影,求得最小的多行水平灰度投影,其对应的极值点即为眼睛所在的位置  $y_{mid}$ 。第三,在眉毛遮挡或者眉毛稀疏的特殊情况下,此时人眼区域的水平灰度投影只有一个极值点,则该极值点的位置即为人眼所在位置记为  $y_{mid}$ 。

通过对上述三种情况的处理得到人眼所在位置  $y_{mid}$  后,通过  $y_{mid}$  来确定人眼条形区域的上边界纵坐标和下边界纵坐标。设上边界纵坐标为  $y_{top}$ ,下边界纵坐标为  $y_{bottom}$ ,通过实验验证当上边界  $y_{top} = y_{mid} - 6$  和下边界  $y_{bottom} = y_{mid} + 8$  时可以很好地提取人眼条形区域。利用本文方法对上述三种情况的人眼条形区域提取图如图5(c)、图5(d)、图5(g)、图5(h)所示。

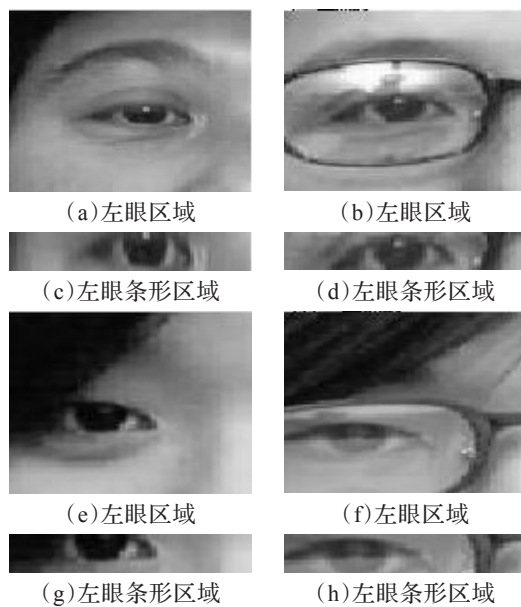


图5 人眼条形区域

### 3.2 自适应二值化圆拟合

在提取到的人眼条形区域中精确定位人眼,首先对人眼条形区域进行二值化。由于人眼部信息比较敏感,传统的全局二值化可能滤掉一些有用的像素特征,因此提出了一种自适应二值化圆拟合的方法。此处的自适应二值化圆拟合是利用人眼部区域近似圆形的结构特征,在二值化图像中进行眼部区域圆拟合,并通过圆拟合度来调整二值化阈值来完成二值化处理。通过设定一个较小的初始化阈值进行二值化,利用自适应二值化圆拟合来调整二值化的阈值,记为  $T_0$ ,并根据圆拟合的圆心来定位人眼。具体步骤如下:

(1) 设定一个比较小的初始化阈值  $T_0$ ,本文取值为  $T_0 = 1$ ,以  $T_0$  为阈值进行二值化处理。



$$f(x)=\begin{cases}1, I(x)\leq T_0\\0, I(x)> T_0\end{cases}\tag{1}$$

其中,  $I(x)$  为人眼条形区域的原像素值,  $f(x)$  为二值化后的像素值。

(2)对二值化图像进行高斯低通滤波处理,实现平滑去噪。

(3)进行膨胀操作,得到比较平滑的边缘,图像边缘比较连续,断点少。

(4)搜索连通的白色像素块即像素值为1的连通区域,并记录每一块的像素点数,记为  $n_i$ 。

(5)判断  $n_i$  是否大于某一阈值,此阈值为可以描述人眼区域的最小像素个数。当连通区域中像素个数  $n_i$  小于该阈值时,则认为该连通区域不足以描述人眼,将该区域删除,只有  $n_i$  大于该阈值时,才认为该连通区域可能为人眼区域,并对其进行处理。通过实验当阈值为40时,定位效果较好,若不满足增加  $T_0$ ,返回步骤(1);若满足则对该白色像素块进行圆拟合记录圆心  $(x,y)$ ,并求得拟合度,记为  $D$ ,判断  $D$  是否大于预先设定的拟合度阈值,记为  $D_k$ ,若  $D < D_k$ ,则增加  $T_0$  并返回步骤(1),否则进行步骤(6)。

(6)二值化圆拟合的圆心  $(x,y)$  即为人眼中心点,标记人眼位置,定位结束。

通过上述方法,既避免了全局二值化对有用像素的滤除,也很好地将人眼区域近似圆形的结构特征,可以有效地避免眼镜框对人眼定位的干扰,并在调整二值化阈值的同时得到了人眼的精确位置,使得人眼定位的效率得到提高。人眼条形区域如图6(a)所示,利用自适应二值化圆拟合得到的二值化图像如图6(b)所示,最终人眼定位结果如图6(c)所示。

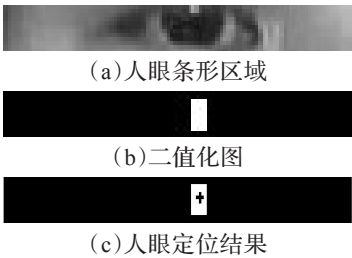


图6 二值化处理及定位结果

4 实验与分析

实验以中科院CAS-PEAL<sup>[14]</sup>人脸库和自建的人脸库为对象。为了验证本文方法在有眼镜框情况下的定位效果,选取CAS-PEAL人脸库中的Accessory子库进行实验。在子库Accessory中共有2 616张戴眼镜和戴帽子的人脸图,选取736张戴眼镜的人脸图,其中718张可以正确提取眼部区域,在得到正确的人眼区域的718张图像上进行眼部精定位,定位准确率达到93.9%。由

于CAS-PEAL人脸库图片背景简单,图像质量比较高,利用本算法进行人眼定位准确率比较高。为了进一步验证本文方法的适应性,在背景复杂,摄像头分辨率不高的情况下,采集了160张戴眼镜的人脸图以及挑选的CAS-PEAL人脸库中眉毛遮挡、闭眼的220张人脸图建立人脸库。在自建的人脸库中364张可以正确提取眼部区域,在得到正确的眼部区域的364张图像上进行人眼精定位,定位准确率达到89.6%。上述实验说明,在背景复杂、眉毛遮挡、闭眼特殊情况下该算法仍然具有较高的人眼定位准确率。为了验证算法在没有眼镜框的情况下也具有较好的定位效果,选取CAS-PEAL人脸库中的Normal子库进行实验。在子库Normal中共有1 040张没有眼镜的人脸图,其中1 028张可以正确地提取眼部区域,在得到正确的眼部区域的1 028张图像上进行人眼精定位,定位准确率达到99.0%。通过上述实验可知,本文提出的方法对于无眼镜框的情况同样适用。仿真实验结果如表1所示。

表1 实验结果

人脸库	图像数	AdaBoost提取的眼部区域数	定位正确图像数	定位准确率/%
Normal(无眼镜)	1 040	1 028	1 018	99.0
Accessory(有眼镜)	736	718	674	93.9
自建库(有眼镜)	380	364	326	89.6

本文算法与文献[15]的算法进行了对比,文献[15]利用AdaBoost检测算法得到人脸区域,而本文通过AdaBoost算法训练得到的分类器可以直接检测出人眼区域,减少了人眼定位的候选区域及定位时间。文献[15]进行眉眼分离时对多行像素进行水平积分投影求极值点,进而分离眉眼区域,该方法虽然可以避免极值点不明显的情况,但在戴眼镜以及眉毛遮挡的情况下可能会丢失有用的极值点。本文方法根据单行像素水平积分投影的极值点个数来决定是否进行多行像素水平积分投影,既避免了有用极值点的丢失又有效地去除了眼镜框的影响。在进行人眼坐标精确定位时,文献[15]对灰度值的复杂度进行分析最终确定人眼,本文方法则结合人眼区域类圆形的结构特征,提出了二值化圆拟合的方法,有效地避免了眼镜框的影响。实验表明,本文算法在得到正确的眼部区域的数据库中,无眼镜的人眼定位准确率达到99.0%,和文献[15]的定位准确率相差无几,而有眼镜的人眼定位准确率达到90.1%,比文献[15]的准确率高。两种算法定位准确率比较如表2所示。

表2 定位准确率比较

定位方法	无眼镜图片	有眼镜图片	所有图片
文献[15]方法	99.1	84.3	91.7
本文方法	99.0	91.8	95.4

通过仿真实验以及与其他算法比较可知,该算法不但在没有眼镜的情况下人眼定位效果良好,而且在佩戴眼镜时也可以保证较好的定位效果。除此之外,在背景复杂、眉毛遮挡以及闭眼等情况下,该算法同样具有适应性,定位效果较好,图7显示了在不同情况下的部分人眼定位结果。

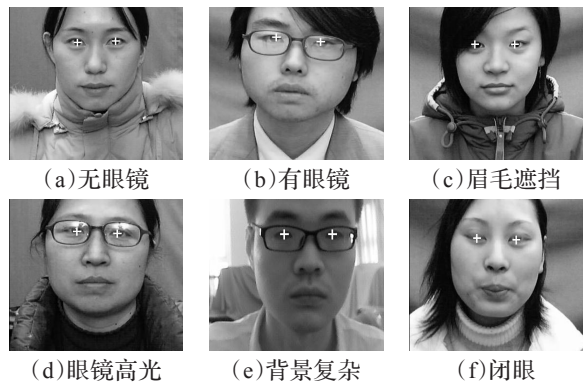


图7 实验结果

## 5 结论

人眼作为人脸特征的关键部位,是生物特征识别的重要依据。针对眼镜框对人眼定位的干扰问题,本文提出了一种新的挖掘眼部结构特征的人眼定位方法。该方法在利用 AdaBoost 检测算法已经得到的眼部区域的基础上,对已得到的眼部区域内运用垂直和水平灰度投影,并结合眼镜的固定特征来得到眉眼条形区域。然后,运用自适应二值化圆拟合来调整二值化阈值,实现对眉眼条形区域的二值化处理。最终,眉眼条形区域的二值化图像圆拟合的圆心即人眼位置坐标。该方法充分挖掘眼部的结构信息,并结合眼镜的固有特征,有效避免了眼镜对人眼定位的影响。实验结果表明,在不同人脸库中,佩戴眼镜的人眼定位准确率达到了 91.8%,具有很大的优势。

**致谢** 在此感谢中科院计算技术研究所提供的 CAS-PEAL 人脸数据库。

## 参考文献:

- [1] Yang M H, Kriegman D, Ahuja N. Detecting faces in images: a survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1): 34-58.
- [2] Xia Haiying, Yan Guoping. A novel method for eye corner detection based on weighted variance projection function[C]// Congress on Image and Signal Processing, 2009: 1-4.
- [3] Yong M. Robust precise eye location under probabilistic framework[C]// Proceedings of Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2004.
- [4] Kierkegaard P R. A method for detection of circular arcs based on the Hough transform[J]. Machine Vision and Applications, 1992, 5(4): 249-263.
- [5] Valenti R, Gevers T. Accurate eye center location through invariant isocentric patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(9): 1785-1798.
- [6] Yuille Alan L, Hallinan Peter W, Cohen David S. Feature extraction from faces using deformable templates[J]. International Journal of Computer Vision, 1992, 8(2): 99-111.
- [7] Vitányi P, Freund Y, Schapire R E. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting[C]// Computational Learning Theory. Berlin Heidelberg: Springer, 1995: 23-37.
- [8] Schapire R E. The strength of weak learnability[J]. Machine Learning, 1990, 5(2): 197-227.
- [9] Lienhart R, Maydt J. An extended set of Haar-like features for rapid object detection[C]// Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing, 2002.
- [10] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001: 511-518.
- [11] 黄福珍, 苏剑波. 人脸检测[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2006: 47-52.
- [12] 严严, 章毓晋. 基于视频的人脸识别研究进展[J]. 计算机学报, 2009, 32(5): 878-886.
- [13] Zou Guofeng. Eyes location method based on the ada-boost algorithm and block integral projection[C]// 2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Guiyang, 2013.
- [14] CAS-PEAL face database[EB/OL]. [2014-06-10]. <http://jdl.ac.cn/peal/index.html>.
- [15] 黄增喜, 张海军, 李一波, 等. 一种快速的自动人眼定位方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(7): 183-186.