

文章编号 1004-924X(2013)12-3255-08

# 应用自适应图像分割与曲线融合的人眼定位

杨帆<sup>1</sup>, 张华<sup>1,2\*</sup>, 潘国峰<sup>1</sup>, 王志陶<sup>1</sup>

(1. 河北工业大学信息工程学院, 天津 300401; 2. 中国人民解放军 93716 部队, 天津 301716)

**摘要:**人眼定位采用的传统投影算法对人脸边缘、表情及光照适应性差, 易受眉毛、刘海及皱纹的干扰, 故本文提出了一种应用自适应图像分割与曲线融合(AISCB)的人眼定位算法。首先, 分析了眼睛灰度分布的特殊性, 利用特定梯度算子及形态学膨胀元素的方向选择性定义了一种自适应图像分割方法, 用于克服边缘及光照干扰; 其次, 借鉴混合积分投影思想, 利用人眼灰度变化和灰度均值双重特点, 给出了自适应权重投影曲线融合方法来增强算法的鲁棒性; 最后, 通过分析融合后曲线特点, 分别实现了人眼区域的划分及眼睛精确定位。基于 YaleB 和 JAFFE 人脸库的实验表明, 评价标准为  $d_{err} < 0.25$  时, 该算法的平均定位正确率达到 98.92%。表明 AISCB 算法对复杂光照及人脸边缘等适应性强, 对眉毛、刘海及睫毛等头部部位不敏感, 鲁棒性强。

**关键词:**人眼定位; 图像分割; 曲线拟合; 灰度投影

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132112.3255

## Eye location based on adaptive image segmentation and curve blending

YANG Fan<sup>1</sup>, ZHANG Hua<sup>1,2\*</sup>, PAN Guo-feng<sup>1</sup>, WANG Zhi-tao<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;  
2. The 93716 Unit of the Chinese People's Liberation Army, Tianjin 301716, China)

\* Corresponding author, E-mail: zhanghua0335@126.com

**Abstract:** Traditional projection algorithms for eye location have a bad adaptation to face edge, expression and illumination, and they are affected by eyebrows, bangs and eye wrinkles easily. Aiming at the above problems, an algorithm of eye location based on Adaptive Image Segmentation and Curve Blending (AISCB) was proposed. Firstly, the specialty of eye gray distribution was analyzed, and an adaptive image segmentation method was defined by using the direction selectivity of gradient operators and certain expansion elements to overcome the influence of edge and illumination. Then, according to the concept of hybrid integral projection and the characteristics of both eye gray changes and gray mean value, the adaptive weight projection curve blending method was used to enhance algorithm's robustness. Finally, the division of face region and the accurate location of eyes were realized through analyzing the characteristics of fused curves. The experiments on YaleB and JAFFE face data libraries show that AISCB algorithm has a good adaptation to complex illumination and face edges, and it is not sensitive to eyebrows, bangs and other head sections. The correct rate of mean location can reach 98.92% when the evaluation criterion is less than 0.25.

**Key words:** eye location; image segmentation; curve blending; gray projection

收稿日期: 2013-04-25; 修订日期: 2013-06-07.

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(No. 2009ZX02308-004)

# 1 引言

眼睛作为人脸的主要特征,在人脸检测及人脸识别中发挥着重要作用。人眼的精确定位是人脸图像旋转校正及归一化的前提,也是人脸其它部位检测、提取的基础<sup>[1]</sup>。目前,人眼定位方法主要有:形状模板匹配法、基于统计学习的方法和基于灰度特征的方法<sup>[2-5]</sup>。变形模板模型、主动形状模型(Active Shape Model, ASM)及主动表观模型(Active Appearance Model, AAM)都是典型的形状模板匹配法,这类方法能同时得到眼睛的位置和形状信息,但模板表示复杂,且涉及能量函数收敛问题。Adaboost 分类、独立元分析方法(Independent Component Analysis, ICA)、隐马尔科夫模型(Hidden Markov Model, HMM)及支持向量机(Support Vector Machine, SVM)是典型的统计学习方法,这类方法对眼睛形状鲁棒性较强,但需要大量训练样本,且其光照适应性并不与训练样本数量呈正比关系。

灰度投影是一种基于底层灰度特征的方法,它是脸部特征定位领域的经典算法,其优点是方法简单、定位快速,已被广泛应用于眼睛的定位<sup>[6-7]</sup>。早期应用主要是利用灰度积分投影函数(Integral Projection Function, IPF)及方差投影函数(Variance Projection Function, VPF)进行人眼定位;之后的混合投影函数(Hybrid Projection Function, HPF)结合了两种函数的特点,其定位效果明显优于 IPF 和 VPF<sup>[8]</sup>;区域积分投影函数(Regional Integral Projection Function, RPF)通过结合边缘跟踪实现了人眼的精确定位<sup>[9]</sup>,并改善了多波峰现象;文献[10]提出一种梯度积分投影函数(Gradient Integral Projection Function, GIPF)用于人眼定位,该方法可以自动获取人眼窗口,且可以抗眉毛、阴影等的干扰。

IPF、VPF、HPF 及 RPF 等投影方法都需要依赖其它方法确定人眼区域,且当人眼区域存在眉毛、刘海时定位结果不理想;GIPF 法虽然可以独立使用投影法定位人眼,但其受人脸背景、面部光照及虹膜亮点的干扰严重。当人脸存在复杂光照时,传统算法的上述问题表现得更为严重。针

对传统投影算法的这些问题,本文提出一种基于图像分割与曲线融合(Adaptive Image Segmentation and Curve Blending, AISC)的人眼定位方法。定义了一种自适应分割方法,排除了部分投影干扰区域,在很大程度上改善了 IPF 及 GIPF 的投影效果。借鉴 HPF 思想,并对其存在的不足进行了改进,给出了自适应权值投影曲线融合方法,增强了算法鲁棒性。

## 2 AISC 算法

### 2.1 自适应图像分割

眼睛具有巩膜—虹膜—巩膜这样特殊的构造,灰度值呈现高一低一高的分布,而人脸面部的光照和人脸边缘灰度分布多为由高到低或者由低到高的某一种单一形式,而特定算子具有明显的灰度分布方向选择性,因此,2 个方向相反的行梯度算子(如图 1(a)所示)作用人眼产生的差异不会很大,而且这个差异可以通过水平方向的膨胀进一步减小。另外,面部光照及背景灰度分布相对单一,这样,因为算子的不同又会产生极大的差异,人脸图像作用两算子的结果如图 2 所示。

-4	0	4	4	0	-4
----	---	---	---	---	----

(a) 行梯度算子  $h_1$  与  $h_2$

(a) Row gradient operators

0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

(b) 膨胀元素  $S_1$  与  $S_2$

(b) Expansion elements  $S_1$  and  $S_2$

图 1 行梯度算子及相应的膨胀元素

Fig. 1 Row gradient operators and its corresponding expansion elements



图 2 图像作用算子  $h_1$  与  $h_2$  结果对比

Fig. 2 Comparison results of two operators  $h_1$  and  $h_2$

由图 2 可以看出:一方面,作用不同算子后人脸边缘及鼻子区域存在的灰度差异很大,而眼睛区域差异相对较小;另一方面,眼部灰度变化丰富,对 2 个算子都很敏感,而造成投影干扰的阴影、头发及嘴部的灰度变化则相对平滑缓慢,对 2 个算子相对都不敏感。

$$R(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } abs(h_1 * f(x, y) \oplus S_1 - h_2 * f(x, y) \oplus S_2) > T_1 \\ 1 & \text{if } h_1 * f(x, y) < T_2 \& \& h_2 * f(x, y) < T_3 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $R(x, y)$ 为分割结果。1 表示干扰区,0 表示候选目标区; $f(x, y)$ 为原始图像; $h_1$ 和 $h_2$ 为方向相反的梯度算子,具体分别为 $[-4 \ 0 \ 4]$ 、 $[4 \ 0 \ -4]$ ,如图 1(a)所示; $S_1$ 和 $S_2$ 是膨胀方向分别与 $h_1$ 和 $h_2$ 方向相反的膨胀结构元素,两膨胀元素如图 1(b)所示;阈值 $T_1$ 为阈值 $T_2$ 和 $T_3$ 的平均值;阈值 $T_2$ 和 $T_3$ 分别为图像 $f(x, y)$ 作用算子 $h_1$ 和 $h_2$ 后的均值。

### 2.2 自适应曲线融合

借鉴 HPF 方法的思想,同时考虑到 HPF 存在权值固定的缺点。提出一种自适应权值融合双投影曲线的方法。该方法充分考虑了不同投影方法对不同图像定位效果的差异;另一方面,与 HPF 的像素级操作相比,曲线级融合抗孤立亮点的干扰能力强,而且算法实现简单<sup>[11]</sup>。在曲线融合前首先需要归一化曲线数据:

$$\bar{C}_i(x) = \frac{C_i(x) - u}{\delta} \quad (2)$$

式中: $C_i(x)$ 为待归一化投影曲线, $x = 1, 2 \dots n - 1, n$ ;  $i$ 用于区别由不同方法获取的投影曲线,曲线均值 $u$ 和方差 $\delta$ 的计算如下:

$$u = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n C_i(x) \quad \delta = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n (C_i(x) - u)^2 \quad (3)$$

以 GIPF 曲线为例,曲线的极大值处为人眼的位置,此值越大,该曲线对人眼定位的贡献越大,权值也应该越大;极大值以外的其它数据越平滑,则对人眼定位的干扰越小,相应权值也应该越大。故定义数据权值及归一化形式如下:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{x \in \{x | C_i(x) = \max(C_i(x))\}} (\bar{C}_i(x) - u)^2}{\delta \times n - \sum_{x \in \{x | C_i(x) = \max(C_i(x))\}} (\bar{C}_i(x) - u)^2} \quad (4)$$

基于上述分析,本文提出一种自适应图像分割方法,该方法可以根据人脸的光照分布及人脸边缘,自动从人脸图像中分割出光照区域、人脸边缘及图像中存在的眉毛刘海及阴影等区域。自适应图像分割定义为:

$$\bar{\alpha}_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i} \quad (5)$$

在反映人眼灰度变化方面,GIPF 明显优于 VPF<sup>[10]</sup>,故采用 GIPF 代替 VPF。在投影前首先采用上一节所提方法分割人脸图像,并排除干扰区域以改善 IPF、GIPF 的投影效果。考虑到 IPF 利用投影定位人眼,因此,自适应权值投影曲线融合定义为:

$$C(x) = \bar{\alpha}_{GIPF} \times \bar{C}_{GIPF}(x) - \bar{\alpha}_{IPF} \times \bar{C}_{IPF}(x) \quad (6)$$

式中: $C(x)$ 为融合后的曲线,投影曲线归一化及自适应权值根据式(3)~式(5)计算。行投影曲线融合时,式(3)、式(4)中的 $n$ 为图像的总列数;列投影曲线融合时, $n$ 为图像的总行数。

## 3 基于 AISC B 的人眼定位

### 3.1 人眼区域的确定

为了对人眼中心精确定位,首先需要确定包含眼睛的人眼区域,因此,人眼区域的划分就直接影响人眼定位精度。传统投影方法确定人眼区域时,需要利用“三庭五眼”规则或者 Adaboost 分类器。分割出的人眼区域多数包含眉毛。为了正确划分人眼区域,根据式(1),首先对原始图像分别进行分割,排除干扰区域。以图 2 中原始图像为例,分割结果如图 3(a)所示。在图 3(a)中,影响 IPF 及 GIPF 投影的区域被分割出来,这些区域主要有:人脸边缘、眉毛区域、光照多变的鼻梁区域及灰度变化缓慢的部分面部区域。

排除干扰区域后,再分别进行 GIPF 及 IPF 行投影,并根据式(2)~式(5)分别归一化 2 条行投影曲线,计算曲线权值。最后,根据式(6)实现

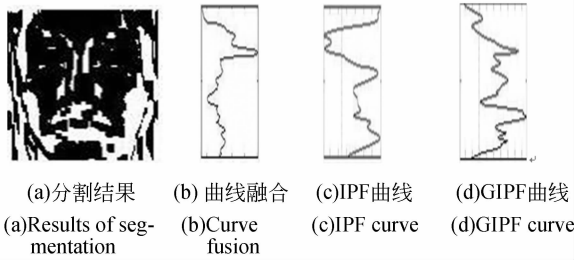
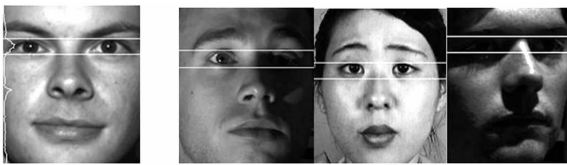


图 3 分割结果及融合曲线效果对比

Fig. 3 Results of segmentation and comparison of fused curves

2 条行投影曲线的融合,图 3(b)为曲线自适应权重值融合结果。图 3(c)、3(d)为传统 IPF 及 GIPF 的投影曲线,相比之下,先进行图像分割然后进行双曲线融合得到的曲线抑制了曲线多峰值,使得曲线波峰更为突出、波峰两侧波谷变深。

分析实验结果可知:融合后曲线波峰出现在眼睛中心位置,波峰两侧曲线迅速下降形成 2 个波谷,曲线的均值介于波峰与波谷之间。以峰值为中心,分别向上、向下寻找曲线均值的首个位置,将它们分别作为人眼区域的上下边界。从图 4(a)可以看出,整个曲线波峰分布在上下眼睑之间,利用曲线均值恰好可以确定人眼上下边界。图 4(b)为部分人眼区域实例,可以看出所选区域恰好包含人眼且没有引入眉毛等干扰,这对下一步人眼的精确定位十分有利。



(a)上下边界确定 (b)部分实例  
 (a) Determination the upper (b) Part examples  
 and lower boundaries

图 4 人眼粗定位

Fig. 4 Rough localization of human eyes

### 3.2 人眼位置的精确定位

为了精确定位人眼位置,还需要通过人眼区域列投影来确定人眼的竖直位置。图 5(b)为 IPF 列投影曲线,可以看出左眼位置出现了理想波谷,由于受鼻梁右侧阴影影响,右眼位置波谷不明显。GIPF 列投影曲线如图 5(c)所示,受虹膜中两亮点影响,GIPF 列投影曲线在虹膜中心和虹膜亮点位置出现了双波峰,受阴影的影响,阴影

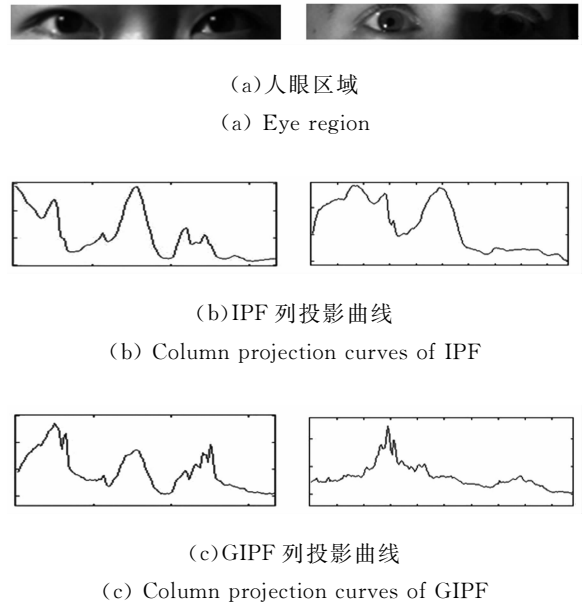
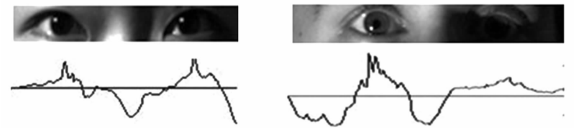


图 5 曲线分析

Fig. 5 Curve analysis



(a)曲线融合结果  
 (a) Results of curve fusion

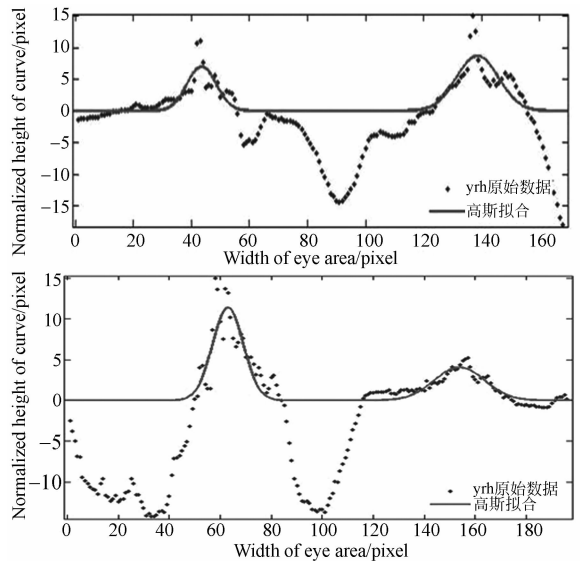


图 6 人眼精确定位

Fig. 6 Precise localization of human eyes

侧曲线的波峰不明显。根据式(2)~式(6)可以实现曲线融合,融合结果如图 6(a)所示,由图 6(a)可以看出,融合后的曲线效果得到了明显改进。IPF 抑制了虹膜中亮点的干扰,融合后曲线波峰明显偏离了虹膜中的亮点、趋向于虹膜中心;另外,GIPF 克服了平滑低亮度区域的影响,融合后的曲线在 IPF 出现多波谷位置,不但没有出现干扰波峰,反而形成了低值区域。

由于虹膜与巩膜周围的灰度变化复杂及各种噪声影响,融合后的曲线波峰往往并不出现在手工标定的虹膜的正中心,两眼虹膜位置而是分别呈现高斯分布<sup>[10]</sup>。依据此特性,为了更准确地确定虹膜的中心位置,本文对曲线进行二阶高斯拟合。图 6(b)给出了曲线高斯二阶拟合结果,从结果可以看出,曲线两波峰囊括了两眼的虹膜,2 个最大值出现在虹膜中心位置。从实验结果看,以二阶高斯拟合曲线的双波峰定位人眼可彻底解决多波峰问题,定位结果更加精确。

对于非严格正面的人脸,人脸的姿态变化可能导致两只眼睛的水平定位存在误差。针对此种情况,根据列投影曲线融合结果的 2 个波峰位置,将 3.1 节划分出的人眼区域分割为 2 个独立的人眼窗口,再对两窗口重新进行行投影曲线融合,利用曲线波峰分别重新确定两眼的水平位置,从而消除水平定位误差。

## 4 实验结果及分析

采用 C++ 编程实现本文算法,使用文献[12]中的评价标准。假设手工标定的左右眼位置分别为  $C_l$  和  $C_r$ ,算法自动标定的左右眼位置分别为  $C'_l$  和  $C'_r$ ,则眼睛的相对定位误差定义为:

$$d_{\text{err}} = \frac{\max(|C_l - C'_l|, |C_r - C'_r|)}{|C_l - C_r|}, \quad (7)$$

式中的距离为欧氏距离。根据人脸五官的分布特点,当  $d_{\text{err}}=0.25$  时意味着一只眼睛的最大人眼偏离距离为眼睛宽度的一半。一般认为  $d_{\text{err}} < 0.25$  表示定位成功,否则定位失败,此标准一般为眼定位的最低标准。

### 4.1 测试的标准人脸库

YaleB<sup>[13]</sup>人脸库包含 38 个人、9 种姿态和 64 种光照的 21 888 种图像。本文采用 Lee 等分割好的不包含背景的,大小为 186 pixel×192 pixel 的部分人脸图像,从中随机选取光照水平角在 40°以内的 410 张人脸图像作为一个测试集,用于考察算法对光照的适应性。选取 JAFFE 人脸库中包括 213 张头肩图像,通过 Adaboost 人脸检测方法把人脸区域分割出来构成另一个测试集,通过该测试集可以考察算法对表情及人脸边缘的适应性。

### 4.2 测试结果及分析对比

为分析算法的整体性能,实验设定了不同的评价标准,表 1 为在不同评价标准下算法在 2 个测试集上正确定位的样本数量。整体来看,随着评价标准苛刻程度增加,正确定位样本数量快速下降,当评价标准为  $d_{\text{err}} < 0.25$  时,算法在两测试集上的平均准确率都达到 98.92%,即算法标定点 98.92% 都分布在以手工标定点为圆心、以 0.5 倍眼宽为半径的圆内。算法对光照、表情及人脸背景鲁棒性强;另一方面,JAFFE 上的测试结果明显高于 YaleB 上的结果,且随评价标准苛刻程度的增加其定位正确率的下降速度低于 YaleB。这主要由于 YaleB 中的样本存在光照变化,并且样本小角度姿态变化使脸部光照的影响更加严重,而光照对定位的影响较表情及边缘的影响要严重。

表 1 不同评价标准下正确定位眼睛的样本数量

Tab.1 Sample numbers of correct localization for eyes in different evaluation standards

	$d_{\text{err}} < 0.35$	$d_{\text{err}} < 0.30$	$d_{\text{err}} < 0.25$	$d_{\text{err}} < 0.20$	$d_{\text{err}} < 0.15$	$d_{\text{err}} < 0.10$	$d_{\text{err}} < 0.05$
YaleB	409	408	405	390	369	334	289
JAFFE	213	212	211	204	194	179	158

表 2 为 4 种方法在 YaleB 库上的定位准确率及耗时的比较。当评价标准  $d_{\text{err}} < 0.35$  时,4 种

算法的定位准确率都达到 95% 以上,这主要因为此标准十分宽松。此时 GIPF 定位相对精确,而

由于 HPF 和 RPF 定位时,都依赖于事先 Ada-boost 分类器检测出的人眼区域,在该区域内定位人眼,基本可以满足  $d_{err} < 0.35$  的评价标准。当选择极端评价标准  $d_{err} < 0.05$  时,HPF、RPF 及 GIPF 的定位正确率均低于 50%,与 AISCB 算法相差较远。这主要由于本文从 YaleB 库中所选测试样本的水平光照角度为  $40^\circ$ ,光照条件较为恶劣,这时,3 种传统算法受虹膜周边的眉毛、睫毛、刘海及虹膜中亮点的影响严重,造成定位结果随机性很大。而 AISCB 算法能够根据不同的光照自适应分割出干扰区域,且融合了 GIPF 及 IPF 各自的优点,在  $d_{err} < 0.25$  时仅有 5 张图片定位失败,在  $d_{err} < 0.05$  苛刻的评价标准下,定位正确率仍然达到了 70% 以上。苛刻条件下,曲线融合及高斯拟合的作用表现的更为突出。从统计角度看,AISCB 算法定位样本的结果中,大部分都紧密分布在手工标定点周围,只有极个别的点偏离手工标记点较远。紧密度远远高于其它 3 种方法。

在算法耗时方面,RPF 算法由于后续步骤中的区域分割及边界跟踪十分复杂,其平均耗时远大于其它算法;本文 AISCB 算法由于是基于整个人脸进行检测,且算法包含了图像分割及曲线融合,其耗时略高于 HPF 及 GIPF 两种算法。但其仅以耗时略有增加的较小代价获取了高精度的人

眼定位。综上所述,AISCB 算法优于传统投影定位算法。

图 7 给出了 AISCB 算法的部分定位结果,图中用白色十字表示定位的眼睛位置。在大角度偏光、强光照、姿态变化及存在夸张表情等情况下,都能成功定位。



图 7 部分人眼定位结果

Fig. 7 Localization results of part of human eyes

表 2 算法定位准确率及耗时的比较

Tab. 2 Comparison of localization accuracy rate and time-consuming among different methods

算法	不同评价标准下的准确率/%			平均耗时/ms
	$d_{err} < 0.35$	$d_{err} < 0.25$	$d_{err} < 0.05$	
HPF	95.01	80.98	37.24	19.465 47
RPF	95.73	88.17	44.72	43.384 32
GIPF	96.18	90.74	49.30	27.697 41
AISCB	99.75	98.78	70.48	30.185 81

## 5 结 论

传统投影算法对人脸边缘、表情及光照适应性差,易受眉毛、刘海及皱纹等干扰,并且无法从人脸图像中自动获取人眼区域。针对上述问题,本文提出了一种 AISCB 人眼定位算法。该算法能够根据光照等变化自适应分割干扰区域,实现了自适应权值的双投影曲线的曲线级融合,大大提高了算法的鲁棒性。AISCB 算法不仅能够从光照复杂及存在背景的人脸图像中自动获取人眼区域,而且能够克服表情、阴影、眼镜及皱纹等的影响,快速实现人眼定位。从 YaleB 及 JAFFE 人脸库测试结果看,评价标准为  $d_{err} < 0.25$  时,其定位正确率达到 98.92% 以上,优于传统投影算法。另外,实验结果表明,光照带来的人脸灰度变化是影响投影算法的主要原因。

## 参考文献:

[1] 李粉兰,徐可欣.一种应用于人脸正面图像的眼睛自动定位算法[J].光学精密工程,2006,14(2): 320-326.

LI F L, XU K X. An algorithm applied in frontal-view face images for automatically localizing eyes

[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14 (2): 320-326. (in Chinese)

[2] 周志宇,杨卫成,汪亚明,等.应用梯度矢量流 Snake 和灰预测的人脸轮廓跟踪[J].光学精密工程,2011,19(11): 2744-2752.

ZHOU ZH Y, YANG W CH, WANG Y M, et al.. Realization of face contour tracking by GVF Snake and grey prediction [J]. *Opt. Precision*

- Eng., 2011, 19(11): 2744-2752. (in Chinese)
- [3] HANSEN D W, JI Q. In the eye of the beholder: a survey of models for eyes and gaze [J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(3): 478-500.
- [4] 黄彬彬, 唐璁. 一种新的人脸图像中眼睛定位方法[J]. *液晶与显示*, 2009, 24(2): 278-282.
- HUANG B B, TANG J. Novel method of eye detection in facial images [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(2): 278-282. (in Chinese)
- [5] KIM H, KIM W. Eye detection in facial images using zernike moments with SVM [J]. *ETRI Journal*, 2008, 30(2): 335-337.
- [6] 辜小花, 龚卫国, 杨利平. 有监督图优化保局投影[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(3): 672-680.
- GU X H, GONG W G, YANG L P. Supervised graph-optimized locality preserving projections [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(3): 672-680. (in Chinese)
- [7] 王力, 唐璁, 许海柱. 一种基于 Harris 角点检测的快速瞳孔定位方法[J]. *液晶与显示*, 2008, 23(1): 87-90.
- WANG L, TANG J, XU H ZH. Fast pupils localization method based on Harris corner detection [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(1): 87-90. (in Chinese)
- [8] 耿新, 周志华, 陈世福. 基于混合投影函数的眼睛定位[J]. *软件学报*, 2003, 14(8): 1395-1399.
- GENG X, ZHOU ZH H, CHEN SH F. Eye location based on hybrid projection function [J]. *Journal of Software*, 2003, 14(8): 1395-1399. (in Chinese)
- [9] 王文成, 常发亮. 一种基于区域投影的人眼精确定位方法[J]. *光电子·激光*, 2011, 22(4): 618-622.
- WANG W CH, CHANG F L. A precise eye localization method based on region projection [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2011, 22(4): 618-622. (in Chinese)
- [10] 孟春宁, 白晋军, 张太宁, 等. 基于梯度积分投影和最大期望算法的人眼定位[J]. *光电子·激光*, 2012, 23(10): 1971-1976.
- MENG CH N, BAI J J, ZHANG T N, et al.. Eye localization based on gradient integral projection and expectation-maximization algorithm [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2012, 23(10): 1971-1976. (in Chinese)
- [11] 李光鑫, 徐抒岩, 吴伟平, 等. Piella 像素级多分辨率图像融合框架的扩展及其算法[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(12): 2773-2780.
- LI G X, XU SH Y, WU W P, et al.. Extension of Piella pixel-level multiresolution image fusion framework and its algorithm [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(12): 2773-2780. (in Chinese)
- [12] JESORSKY O, KIRCHBERG K J, FRISHHOLZ R W. Robust face detection using the Hausdorff distance [C]. *Third International Conference on Audio and Video based Biometric Person Authentication, Halmstad, Sweden*, 2001: 90-95.
- [13] LEE K C, HO J, KRIEGMAN D. Acquiring linear subspaces for face recognition under variable lighting [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(5): 684-698.

## 作者简介:



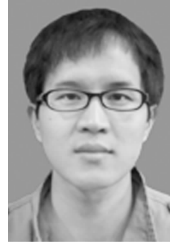
杨帆(1964—),男,吉林吉林人,博士,教授,博士生导师,1995年于吉林大学获得硕士学位,2005年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事计算机视觉检测技术、生物特征识别技术和图像处理与模式识别方面的研究。E-mail: yangfan@hebut.edu.cn



张华(1986—),男,河北秦皇岛人,硕士研究生,助理工程师,2009年于河北工业大学获得学士学位,主要从事图像处理、智能信息处理及信号分析等方面的研究。E-mail: zhanghua0335@126.com



**潘国峰**(1968—),男,内蒙古呼和浩特人,博士,副教授,硕士生导师,1997年于成都理工大学获得硕士学位,2008年于河北工业大学获得博士学位,主要从事电子信息与功能薄膜、半导体敏感器件及智能传感器系统方面的研究。  
E-mail: pfg@hebut.edu.cn



**王志陶**(1987—),男,河北邯郸人,硕士研究生,2011年于河北工业大学获得学士学位,主要从事图像处理方面的研究。E-mail: wang\_xiexienin@yeah.net

(版权所有 未经许可 不得转载)