

# 基于块的眼睛定位方法

艾娟 姚丹 郭跃飞

(复旦大学计算机科学与工程系, 上海 200433)

**摘要** 为了能更加有效快速地进行眼睛定位,提出了一种基于块(based on blocks)的眼睛定位新算法,该算法首先将图像二值化并划分为块,然后利用两只眼睛的相似性和眼睛对的唯一性将一系列的图像块进行匹配,并以此确定一对眼睛的位置。由于该新算法利用了两眼睛固有的位置关系与相互间的相似性,将两眼睛成对考虑,所以能检测各种角度(平面旋转)人脸的眼睛,并可得到较高的检测准确率。此外,实验显示该算法在一定程度上还能适应不同光照条件和表情变化。大量人脸图片上的实验结果表明,该算法可以可靠、快速地定位眼睛。

**关键词** 面部特征 眼睛定位 人脸识别 块

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)10-1841-04

## Eye Location Based on Blocks

AI Juan, YAO Dan, GUO Yue-fei

(Department of Computer Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract** In this paper, we introduce an effective algorithm based on blocks (BoB) for eye location. The image is partitioned to blocks by a threshold. Based on the comparability between two eyes and the uniqueness of a pair of eyes, it can locate eyes after matching each two blocks. Due to what we use are the location and the comparability between two eyes and eyes are considered in pairs, the algorithm could work on rotated images and get higher detection rate. What's more, it can deal with moderate illumination and expression changes. Experiments on a number of face images have shown that our algorithm is reliable and fast.

**Keywords** facial feature, eye localization, face recognition, block

## 1 引言

众所周知,面部特征提取是一项重要且艰巨的工作。由于眼睛是最常用的面部特征之一,因此一种有效且快速的眼睛定位算法在人脸识别、视频会议、监视系统和人机界面等应用中有广泛的作用。早期的工作中,人们是通过提取一些有效的特征来进行眼睛检测,这些方法包括梯度特征<sup>[1]</sup>、投影函数<sup>[2]</sup>、模板匹配<sup>[3,4]</sup>等等。但是,这些方法通常都需要通过很多预处理和后加工的步骤来消除部分误检图像,且这些方法对图像噪声较敏感<sup>[3]</sup>,更重要的是,它们大部分都无法用于旋转后人脸图片的眼睛检测。Gabor小波作为一种特征提取和图像

表征方法,因为其对适度的光照变化有较好的鲁棒性<sup>[5,6]</sup>,所以在图像识别、图像分析等领域得到广泛的应用。

本文提出了一种基于块的眼睛定位方法,该方法首先选择合适的阈值将二值化后的灰度图像划分为一系列可能是眼睛的块,并利用两只眼睛的相似性进行匹配,以确定唯一的眼睛对,该方法能检测各种角度旋转的人脸图片,且计算复杂度较低。

## 2 块匹配

### 2.1 块的概念

**定义1** 块是指一幅二值图像中两像素 $p, q$ 之间由白像素组成的最大连通区域。其中,白像素为

收稿日期:2007-05-22; 改回日期:2007-06-23

第一作者简介:艾娟(1984~),女,硕士生。主要研究领域为人脸识别、图像处理。E-mail:052021186@fudan.edu.cn

小于阈值的像素,即可能为眼睛的像素;像素  $p, q$  之间存在由一系列离散点  $p_0, p_1, \dots, p_i, \dots, p_n$  组成的路径,  $p_i$  是白像素,  $p = p_0, q = p_n, p_i$  是  $p_{i-1}$  的相邻点,  $1 \leq i \leq n, n$  是  $p_0$  到  $p_n$  的路径长度,即  $n$  pixels.

**定义 2** 块的属性集:  $A = \{$ 外接矩形及其中心点;内嵌矩形及其中心点;外接矩形内的平均灰度值及像素数;内嵌矩形内的平均灰度值及像素数;在外接矩形中以内嵌矩形为窗口搜索得到的灰度最小值点 $\}$ .

## 2.2 块匹配

以前的大部分工作都是针对正面直立的人脸图片,由于考虑到很多图片有旋转情况的存在,因此提出了基于块的检测方法,其不需要过多依赖于眼睛处于图片正上方这一位置信息,就能较有效地解决此类问题。

对于灰度图像来说,眼位附近的灰度值小于大部分其他脸部区域的灰度值。因此通过灰度值的划分就可以勾勒出包含眼睛的部分,进而即可得到一系列的块(如图 1 中白色区域)。对于正面人脸图片,即便是旋转后的图片,眼睛也不会处于图片边缘,且眼睛有其一定的大小形状属性,依据这些特征可以去除大部分不满足要求的块。匹配时,首先对这样得到的块(如图 2 所示)进行属性提取,包括各自外接矩形内的像素数、外接矩形的宽高比、内嵌矩形内的平均灰度值及彼此的内嵌矩形中心点间距离(如式(1)所示)。

$$\Delta P(j) = p_M^c(j) - p_N^c(j) \quad (1)$$

$$D = \sqrt{\Delta P^2(1) + \Delta P^2(2)}$$

其中,  $M, N$  为块的编号,且  $M \neq N, j = 1, 2, p_M^c(j)$  (上角 C 代表 center) 表示编号为  $M$  的块,其内嵌矩形中心点  $j$  的坐标值,  $D$  表示第  $M$  块与第  $N$  块内嵌矩形中心点之间的距离。



图 1 块  
Fig. 1 Blocks



图 2 经筛选得到的块中心  
Fig. 2 Center of blocks after filter

然后根据眼睛的相似性,通过比较其属性特征,将这些块匹配成对,并归一化。由于眼睛对具有唯一性,因此可根据式(2)确定相似度最大的一对块。

$$S = 1 - \frac{\sum_i^N |B_L(i) - B_R(i)|}{N} \quad (2)$$

其中,  $B_L$  和  $B_R$  是匹配得到的眼睛候选对。  $B_L(i)$  和  $B_R(i)$  为块中的第  $i$  个像素值,  $N$  为块中的像素数,  $S$  为两眼睛候选块间的相似度。

## 3 基于块(BoB)的眼睛定位算法

如图 3 所示的系统中的眼睛定位算法主要分以下几个步骤:

- ① 人脸图片归一化,设定初始化步长  $l$  及阈值  $T$ ;
- ② 选取眼位附近的采样点,
 
$$(x_0 + \rho_i \times \cos \theta_j, y_0 + \rho_i \times \sin \theta_j)$$

$$i = 0, \dots, 4; j = 0, \dots, 7$$
- ③ 提取 Gabor 特征值  $\psi(k, p)$  与模板匹配( $p$  为采样点坐标,  $k$  为采样方向和尺度组成的矢量),获取能表征眼位信息的点  $p_{eye}$ ,若获取成功,则转步骤④,否则转步骤⑤;
- ④ 中心点确认,执行步骤⑨;
- ⑤ while 1
  - IF 已定位眼睛 | 阈值过大, Break;
  - 更新阈值,并二值化图像,  $T = l \times T$ ;
  - ⑥ 确定可能是眼睛的块;
  - ⑦ 根据各块的属性特征进行匹配;
  - ⑧ 相似值计算,选取相似度最大的块对,若选取成功,则转步骤⑨,否则转步骤⑤;
  - ⑨ 邻域搜索,确定瞳孔位置;
  - ⑩ 眼位确定。

由于该算法是基于灰度图像进行的,因此,预处理部分需要归一化。

为了提高系统的检测准确度,首先用基于特征圆的方法进行眼睛定位,即对图像中可能为眼睛的矩形区域(即位于人脸图像的上半部且左右分布的两个矩形区域)以八分圆状采样,每个中心点对应 40 个采样点,并将这 41 个点对应的 Gabor 特征值整合为一个向量用来表征该中心点作为眼睛的机率。眼位确定时,首先用 kMeans 算法对 FERET (face

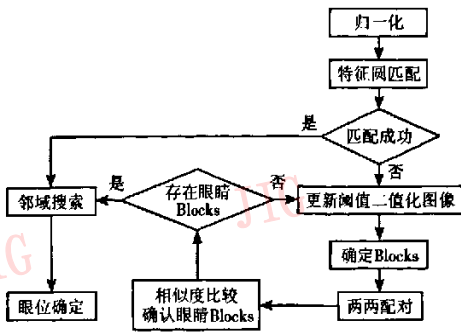


图 3 系统框图

Fig. 3 System architrave

recognition technology) 人脸图像库中的 600 幅眼睛图片进行训练来得到眼睛中心的 Gabor 向量模板; 然后经过模板匹配来获得能够表征眼睛的一系列待测点, 同时确认这些待测点区域的中心点为眼睛候选点; 最后对初始选择的矩形区域中的眼部 Gabor 特征过弱或该区域并不包含眼睛的情况, 在整幅图像上采用块匹配的方法确定眼位。

由于 BoB 算法未利用眼睛的位置信息, 且它仅是利用两只眼睛区域的相似性进行比较, 因此能检测各种角度旋转的图片。

## 4 实验及结果

### 4.1 数据库的选择

一个恰当的人眼定位数据库是很难选择的, 其不但要有利于研究问题的侧重点, 也要考虑到数据库本身的特点, 因为它影响到实验结果是否具有普遍性。

这里选用 FERET 人脸图像库的 600 张人脸图片(非训练所用眼睛图片), 它们具有表情变化、光照变化等特点, 适宜用来考察算法的鲁棒性。

考虑到算法的实用性, 笔者还从网上下载了 204 幅具有普遍性的人脸图片, 用来对本算法的鲁棒性做进一步的考察。这些图片有高分辨率和低分辨率之分, 有戴眼镜及头饰的复杂情况, 也有带表情和姿势的多种状态, 其在一定程度上代表了普遍的人脸图片。

### 4.2 实验结果的度量标准

本次实验采用了 Jesorsky 等人的度量标准<sup>[7]</sup>, 设手工标注的左右眼睛准确位置为  $E_L$  和  $E_R$ , 检测到的左右眼睛位置分别为  $\hat{E}_L$  和  $\hat{E}_R$ ,  $d_L$  为  $E_L$  到  $\hat{E}_L$  的欧式距离,  $d_R$  为  $E_R$  到  $\hat{E}_R$  的欧式距离,  $d_{LR}$  为  $E_L$

到  $E_R$  的欧式距离, 则检测的相对误差定义为

$$e = \frac{\max(d_L, d_R)}{d_{L,R}} \quad (3)$$

一般来说,  $d_{L,R}$  约为眼睛宽度的两倍, 这样  $e = 0.25$  就意味着  $d_L$  和  $d_R$  中较大的一个距离约为眼睛宽度的一半, 也就是说, 低于这个误差被认为是可以接受的<sup>[7]</sup>, 所以, 如果  $e < 0.25$ , 则认为检测结果是正确的, 否则错误。

下面给出本文使用的性能评价标准:

准确率 (precision), 即正确定位眼睛中心的人脸数与总人脸数之比。

### 4.3 实验

检测结果示例如图 4 所示, 统计结果如表 1 所示。从上述实验看到, 该算法不仅能检测各种角度旋转的图片(如图 5 所示), 并有较高的检测准确率。

对于网上下载的人脸图片检测效果亦然(如图 6 所示)。同时笔者发现, 该算法对光照和表情变化也有一定的鲁棒性(如图 7 所示)。



图 4 检测得到眼睛中心位置示例

Fig. 4 Detection examples

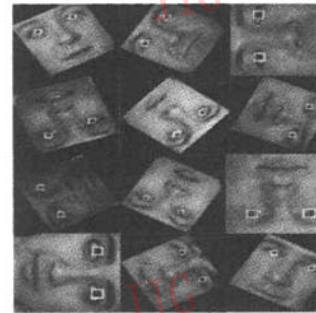


图 5 各种角度旋转图片的检测情况

Fig. 5 Detection examples on rotated images

为了验证本文算法 (BoB) 的有效性, 这里用目前使用最多的基于投影函数 (projection) 和基于 Gabor 特征的方法的检测结果分别与之相比较 (表 1)。由表 1 可见, 本文算法突出了块匹配方法的优点, 既提高了眼睛检测准确率, 又保证了检测速度, 且在实用程度上有很大提高。由于网上图片的



图 6 对网上非正立人脸图片的检测效果

Fig.6 Detection examples on face images from internet



图 7 表情和光照发生变化的检测结果对比

Fig.7 Examples when express or illumination changes

表 1 分别对 FERET 库和网上下载的图片用 BoB 与 Projection<sup>[2]</sup>, Gabor<sup>[6]</sup>方法进行检测的实验结果比较  
Tab.1 Contrast the experiment results on FERET database and network pictures respectively by BoB, Projection and Gabor

	FERET(600 幅人脸图片)			网上图片(204 幅人脸图片)		
	BoB 方法	Projection 方法	Gabor 方法	BoB 方法	Projection 方法	Gabor 方法
检测率 (%)	91.5	80.33	83	51	35.5	46
处理时间 (s)	0.4937	0.4051	0.3141	0.9332	0.5150	0.5077

复杂程度较高,因此处理时间虽有所增加,但在检测率上却更体现出本文方法的优势。

## 5 结 论

本文针对眼睛定位这一课题,提出了一种基于块的眼睛定位算法和眼睛定位系统,本系统结合了文中提出的基于块的眼睛定位算法与 Gabor 特征的优点,在眼睛定位中取得了良好的眼睛检测准确率,其优点在于:(1)能较好的检测各种角度人脸中的眼睛;(2)对表情和光照发生一定变化的人脸图像有较好的鲁棒性。以后的工作将着力于进一步提高检测的准确率和增强算法对光照变化的鲁棒性。

### 参考文献 (References)

- 1 Kothari R, Mitchell J L. Detection of eye locations in unconstrained visual images [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing [C], Lausanne, Switzerland, 1996, 3: 519 ~ 522.
- 2 Zhou Z H, Geng X. Projection function for eye detection [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(5): 1049 ~ 1056.
- 3 D'Orazio T, Leo M, Cicirelli G, et al. An algorithm for real time eye detection in face images [A]. In: Proceedings of International Conference on Pattern Recognition [C], Cambridge, UK, 2004: 278 ~ 281.
- 4 Kawaguchi T, Hidaka D, Rizon M. Detection of eyes from human faces by Hough transform and separability filter [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing [C], Vancouver, BC, Canada, 2000, 1: 49 ~ 52.
- 5 Wang Peng, Green Matthew B, Ji Qiang, et al. Automatic eye detection and its validation [A]. In: Proceedings of Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], San Diego, CA, USA, 2005: 164.
- 6 Sun Da-ni, Wu Le-nan. Eye detection based on Gabor transform [J]. Journal of Circuits and Systems, 2001, 6: 29 ~ 32.
- 7 Jesorsky O, Kirchner K J, Frishholz R W. Robust face detection using the Hausdorff distance [A]. In: Bigun and J, Smeraldi F eds. Audio and Video based Person Authentication. Lecture Notes in Computer Science [M], Berlin: Springer-Verlag, 2001: 90 ~ 95.