

非均匀光照下人脸眼睛的定位方法^{*}

尹方平¹, 赖剑煌¹, 阮邦志²

(1. 中山大学数学与计算科学学院, 广东 广州 510275;

2. 香港浸会大学计算机系, 香港)

摘 要: 考虑非均匀光照下人脸眼睛的检测问题, 提出了一种利用高频信息模板匹配方法从复杂图像中定位人脸眼睛的方法。选取 80 幅光线较好的人脸图像, 对它们做光线规范化, 提取 Gabor 高频特征, 构造模板。利用统计模式识别的原理, 在眼睛的大致区域进行模板匹配, 突出眉毛与眼睛这一整体的大致位置, 然后进行二值投影, 最终确定人眼的准确位置。大量实验表明, 该算法具有很高的精度和很强的鲁棒性。

关键词: 眼睛检测; Gabor 滤波; 模式识别

中图分类号: O29; TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2003) 03-0012-04

数字人像技术在公共安全、经济和生活中具有广阔的应用前景。在数字人像技术的诸算法中, 如人脸检测、人脸对齐、姿势判定、人脸识别和表情分析等, 眼睛定位都是至关重要的一个环节。现有的眼睛定位的方法有: ①Karin Sobotka^[1] 使用的灰度投影的方法。这种方法比较简单, 但是每个人的差异比较大, 投影曲线也不是很规则。②Ho^[2] 通过眼睛和鼻子的模板来寻找眼睛, LAM^[3] 使用弹性模板的方法来寻找眼睛。这两种方法比较实用。但是人脸中可能会有其它部位与眼睛很相似, 例如眉毛, 用模板匹配的方法常常会将眉毛误认为眼睛。Feng^[4] 将眉毛和眼睛一起截下制作模板, 提出一种方差映射函数的方法, 利用其灰度信息来进行模板匹配。该方法能够比较地有效避免眼睛与眉毛混淆的问题。③Reinders 等^[5] 提出一种基于神经网络的眼睛定位方法, 然而, 该方法仅能给出眼睛的大致位置, 并不能精确定位眼睛的中心。

现有的眼睛定位方法大多没有考虑光照条件的问题, 对于光线不均匀的人脸图像, 眼睛的寻找错误率通常较高。本文在 Lai^[6] 提出的非均匀光照下人脸检测方法的基础上, 进一步发展了 Feng^[4] 的工作, 提出了一套在非均匀光照下基于 Gabor 滤波、二值投影、模板匹配的人脸眼睛定位的方法。

本文采用 Gabor 滤波器构造模板, 并使用模板匹配的方法进行眼睛的定位。

1 模板的制作方法

眼睛模板的制作方法有很多种, 有的人直接将眼睛割下来制作模板, 有的人利用灰度信息来制作模板, 这些方法比较简单, 但是往往受光线等外界条件影响较大, 效果都不大理想。并且眉毛等部位与眼睛很相似, 用模板匹配的方法常常会将眉毛误认为眼睛。本文选取 80 幅人脸图像, 使用 Gabor 滤波器进行图像变换, 利用其高频信息来制作模板。在模板的制作过程中, 将眉毛与眼睛这一个整体用来制作模板。在模板生成中最重要的是图像的直方图匹配与 Gabor 滤波。

1.1 人脸的直方图匹配

本文选取的是复杂环境下的人脸, 每幅图像的光线强度不同。尤其是非均匀光线环境下, 人脸的特征不易显现出来。为了解决这一问题, 需要先对人脸进行预处理。选一副光线比较好的图像做为模板, 其它图以此做直方图匹配, 使得所有的图像都具有相同的直方图。

由图 1 所示, 经过直方图匹配之后, 能够大大改善图像光线不均匀的效果 (将光照偏暗的图像变成标准的光照的图像), 很大程度上增强了非均匀光线的图像的特征。

1.2 Gabor 滤波

Gabor 小波是小波基的一种, Pötzsch^[7] 指出,

^{*} 收稿日期: 2002-09-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60144001); 广东省自然科学基金资助项目 (021766); 教育部回国人员科研启动基金资助项目

作者简介: 尹方平 (1980 年生), 男, 硕士研究生; 通讯联系人: 赖剑煌, E-mail: styljh@zsu.edu.cn



(a) 原始图像 (b) 人脸定位 (c) 直方图匹配
图 1 对人脸进行直方图匹配前后对比

Fig 1 Contrast two pictures after histogram match

图像在视觉皮层的表示存在空域和频域分量，并且可以将一幅图像分解为局部对称和反对称的基函数表示。Gabor 滤波器的构造是基于高斯函数的。从外形上看，Gabor 小波被封装在一个高斯分布的形状中，而且它的积分为 0。它的形状类似于人脑内部的视觉神经元，具有很强的外界感知能力。由于 Gabor 函数的这种生物特征，经常被用来进行特征提取。

设人脸图像为 $I(r)$ ，则对其做 Gabor 变换后得到的图像为：

$$\langle I(r), \Psi(k, r) \rangle = I(r) * \Psi(k, r)$$

其中

$$\Psi(k, r) = \frac{k^2}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{k^2}{2\sigma^2} r^2\right] \cdot \left[\exp(ikr) - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right) \right]$$

$k = k(\cos \Phi, \sin \Phi)$ 为平面波矢量， $\|k\| = \frac{2\pi}{\lambda}$

控制了高斯包络的宽度， σ 是与小波频带宽有关的常数。得到的特征图像如图 2。



图 2 人脸特征图像

Fig. 2 Facial characteristic pictures

1.3 模板的制作

在 80 幅人脸特征图像中，截下眉毛和眼睛部位，进行尺度规范化，将它们统一大小为 12×14 ，再对这些眼睛求平均，得到左、右眼模板（图 3）。



图 3 眼睛模板

Fig. 3 Eye templates

2 眼睛定位的方法

在模板匹配的过程中，首先对待检测的人脸进行预处理，进行 Gabor 滤波，再进行匹配，对眼睛

进行粗略的定位，可得到眉毛与眼睛的大致位置。再在此小区域内进行二值投影，可得到眼睛的准确位置。

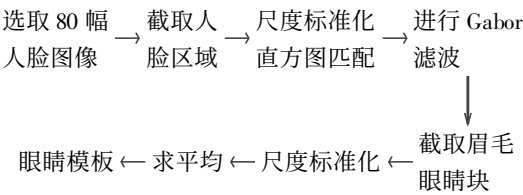


图 4 眼睛模板制作示意图

Fig. 4 Sketch map of making eye templates

2.1 相似度的计算方法

假设人眼模板的灰度矩阵为 $A[M][N]$ ，待检测图像的灰度矩阵为 $B[M][N]$ ，可以求出两个矩阵的内积：

$$R = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (A[i][j] \times B[i][j])$$

其中，

$$A = \frac{A[M][N]}{\|A\|}, B = \frac{B[M][N]}{\|B\|}$$

而范数定义为：

$$\|A\| = \sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} A^2[i][j]}$$

2.2 眼睛的粗略定位

首先将待测图像进行尺度规范化为 50×50 ，再进行直方图匹配并且进行 Gabor 滤波，得到人脸的特征图像。用做好的模板对待检测图像变换得到的特征图像进行逐行扫描匹配，记录下相似度最大的位置。

由此可以得到人眼的大概位置，如图 5 所示，框中将包括眉毛和眼睛。这需要进行眼睛的精确定位。



图 5 模板匹配相似度最大部位的确定

Fig. 5 Detection of the most similarity position

2.3 眼睛的准确定位

将找到的区域分离出来，可以看到里面眉毛和眼睛所处的位置都比较独立。然后对这副图进行二值化，再进行水平投影：

$$\text{level}(x) = \int I(x, y) dy$$

这里将出现 2 个很明显的波峰。上面一个波峰为眉毛，下面一个为眼睛。由此就可以确定人眼的水平位置，根据这个位置估计一个眼睛的大致范围，进行垂直投影，这样可以得到眼睛的纵坐标。

作垂直投影：

$$\text{level}(y) = \int I(x, y) dx$$

由此，就可以得到人眼中心部位的坐标了。

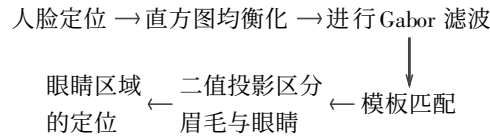


图 6 眼睛定位操作示意图

Fig 6 Sketch map of detecting eyes

3 实验与结果

本实验原始图像来源于日本 Omron 公司提供的非均匀光照人像数据库。

3.1 实验的步骤

(1) 选取 80 幅光线较好的人脸图像，截取人脸区域作样本。以一幅图像作为标准，对 80 幅图像作尺度标准化和直方图匹配，然后将所有人脸样本进行 Gabor 滤波。

(2) 在滤波后的图像中选取眉毛和眼睛作为一个整体，将它截下，得到左眼的眉毛眼睛块与右眼的眉毛眼睛块。对所有的分块选取 12×14 进行尺度标准化并且进行求和平均，以此得到左眼模板和右眼模板。

(3) 对将进行眼睛定位的 172 幅图像进行预处理，标定人脸区域。

(4) 人脸中按照从左到右，自上而下的顺序，从人脸图像左上角第一个像素开始对图像进行扫描。取定一个 12×14 的矩形区域，将它与眼睛模板进行匹配，计算出两者之间的相似度大小。

(5) 在进行第 4 步操作的时候，记录相似度最大的位置，那里就是眉毛和眼睛的部位。

(6) 在此小区域范围内再利用水平与垂直的灰度投影的方法可以找出眼睛的准确位置。

3.2 实验的结果

本文对 172 幅光线非均匀的图像进行重复试验，试验结果如表 1。

表 1 实验结果数据

Tab 1 Result of experiment

眼睛分类		左眼	右眼	左右眼
带眉毛的 Gabor 滤波眼睛模板	正确个数	164	162	161
	成功率/%	95.4	94.2	93.6
不带眉毛的 Gabor 滤波眼睛模板	正确个数	157	157	156
	成功率/%	91.3	91.3	90.7
一般灰度	正确个数	126	112	107
眼睛模板	成功率/%	73.1	65	62.4



图 7 人眼检测结果

Fig 7 Result of Detect the eyes

由表 1 可以看出，使用 Gabor 滤波器制作模板匹配的成功率远高于一般灰度图制作模板的成功率，而使用眉毛与眼睛特征图像制作模板比单纯使用眼睛的特征图像平均要高 3 个百分点。

4 结 论

该算法具有如下特点：通常人们只用眼睛部位来制作模板进行模板匹配，在匹配的过程中会将类似眼睛的部位（如眉毛）误认为是眼睛；而有的人直接采用灰度投影的方法来进行眼睛定位，由于有头发、眉毛的影响，导致眼睛定位不准确。而本文采取两步走的方法，将两种方法有机地结合起来，将眉毛和眼睛看作一个整体来制作模板，避免了这种事件的发生。并且本文使用 Gabor 滤波器中的高频成份，利用 Gabor 滤波的特性，避免了不均匀光照的影响。实验表明，所提出的方法具有实时性好、检测和定位精度高以及对光照等环境条件不敏感等优点。

而该方法的局限性主要有以下几个方面：① 人脸的姿势变化太大；② 人眼完全闭合，几乎成一条直线；③ 阈值不适合个别图像，比如头发太长，遮住眉毛等部位，导致出现较多波峰而产生误判。

对以上问题，还需加以研究和讨论。

参考文献：

[1] SOBOTKA K, PITAS I. A fully automatic approach to facial feature detection and tracking[C] . First International Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication, Crans-Montana, Switzerland, 12—14 March 1997.

- [2] HO B P, POGGIO T. Face recognition with support vector machines: global versus component-based approach[J]. International Conference on Computer Vision (ICCV 01) , 2001 (2): 688—694. <http://cv.stat.fsu.edu/research/geometrical-representations-of-faces/PAPERS/svm.pdf>
- [3] LAM K M, YAN H. Locating and extracting the eyes in human face images [J]. Pattern Recognition, 1996, 29 (5): 771—779.
- [4] FENG G C, YUEN P C. Multi-cues eye detection on gray intensity image [J]. Pattern Recognition, 2001, 34 (5): 1033—1046.
- [5] REINDERS M J T, KOCH R W C, GERBRANDS J J. Locating facial features in image sequences using neural networks // Proceedings of the 2nd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition [C]. Vermont, 1996: 230—235.
- [6] LAI J H, YUEN P C, CHEN W S, et al. Robust facial feature point detection under nonlinear illuminations [C]. Proceedings of Second International Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real-time Systems (RATFG—RIS 2001), Canada, 2001: 168—174.
- [7] FÖTZSCH M, RINNE M. Gabor wavelet transformation [EB/OL]. <http://www.neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de/ini/VDM/research/computerVision/imageProcessing/wavelets/Gabor/contents.html>
- [8] LADES M, VORBRÜGGEN J C, BUHMANN J, et al. Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture [J]. IEEE Trans Computer, 1993, 42: 300—311.

A Novel Method of Detecting and Locating Human Eyes under Nonlinear Illuminations

YIN Fang-ping¹, LAI Jian-huang¹, YUEN PC²

(1. Center of Computer Vision, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Computer Science, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China)

Abstract: This paper focuses on detecting eye states under nonlinear illuminations, with an automatic and real time method proposed. The method is based on high-frequency information pattern recognition and image projection. Firstly, 80 facial characteristic pictures will be got after matching the histogram and extracting the high-frequency information by Gabor wavelet. Secondly, the templates, made based on the idea which is established by the priori knowledge, include the eyebrows and eyes. Thirdly, after matching the picture, a block including eyebrows and eyes will be got. Finally, the eyes can be accurately located based on projection on the block. Experimental results demonstrate the high efficiency of the algorithm in runtime and correct localization rate.

Key words: eye detection; Gabor wavelet; pattern recognition