

# 复杂光照环境下视频人脸序列的自动检测方法

谢倩茹 耿国华

(西北大学信息科学与技术学院 西安 710127)

**摘要** 基于视频序列人脸自动检测是人脸跟踪、识别等研究的基础。提出了一种结合图像增强技术、gabor 特征变换和 adaboost 算法的视频序列人脸检测方法,其主要思想是使用图像增强技术对图像进行光照补偿,减轻不同的光照条件(如局部的阴影和高亮等)对检测结果的影响。该方法首先通过高频增强滤波强化图像的边缘和细节信息,用基于直方图的技术来调节图像的亮度,然后应用 gabor 小波变换进行特征抽取,最后采用 adaboost 方法训练样本,完成人脸的检测。实验表明,该方法能够在不同的光照条件下准确检测出人脸,显示出较强的鲁棒性。

**关键词** 人脸检测,图像增强,光照补偿,Gabor 小波,adaboost

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Automatic Face Detection in Video Sequences in Complex Lighting Environments

XIE Qian-ru GENG Guo-hua

(School of Information and Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China)

**Abstract** Auto human face detection from video sequences is the base of studies for human face recognition and tracking. This paper proposed an efficient and robust method to detect face in video sequences. The key step of this work is to use the technique of image enhancement to alleviate the impact of human face detection caused by variation illumination such as local shadow and highlight. The approach firstly strengthens the edge and detail information of images by means of high-frequency enhanced filtering and uses histogram-based technique to adjust the brightness of the image, then applies the Gabor wavelet to extract features of images, finally trains samples using the adaboost algorithm and complete face detection. The experimental results show that the approach can detect human face accurately under different lighting conditions.

**Keywords** Face detection, Image enhancement, Illumination compensation, Gabor wavelet, Adaboost

## 1 引言

人脸检测是基于视觉的智能人机交互系统实现的关键步骤,是后续完成人脸跟踪和人脸识别的基础。由于人脸的非刚性,位置、表情以及光照等因素的变化会影响检测结果,使得人脸的检测非常复杂<sup>[1]</sup>。视频人脸检测由于在智能安全监控以及访问控制等领域具有重要意义,因此近年来成为研究的热点。基于静态图像的人脸检测研究成果可以应用在视频的人脸检测上,但是视频检测也有自己的特征。实时的视频图像能够提供比静态图片更为丰富的信息,有助于进一步完成表情识别、人脸跟踪以及识别工作。

多年来,人脸检测技术研究已经取得了不少成果。常用的技术方法可以分为两类:一类是基于特征的方法,如肤色、人脸的五官分布以及轮廓等<sup>[2-4]</sup>;另一类是采用统计的方法,包括基于神经网络的方法<sup>[5,6]</sup>、基于支持向量机的方法<sup>[7]</sup>以及基于 adaboost 的方法<sup>[8]</sup>。

基于特征的方法所构成的系统较为简单,但是容易受到噪声、表情、遮挡、姿态以及光照条件等因素的影响,实用价值不大。基于统计的方法构成的系统受到上述因素的影响较小,误检率较低,在人脸检测中被广泛应用。如 Fok Hing 等使用层次学习网络来检测具有尺度变化以及在平面上旋转的人脸<sup>[9]</sup>。张永等利用提取的人脸矩形特征向量和支向量机技术来设计了具有两层分类器的人脸检测系统<sup>[10]</sup>。但这类系统比较复杂,而且实时性较差,不能直接应用到视频的人脸检测上,研究的主要方向集中在提高检测的精度和正确性上。结合神经网络技术(如王承明等)和主成分分析的方法来提高检测的精度<sup>[11]</sup>,Peichung Shih 等使用判别特征分析和支向量机技术降低误检率<sup>[12]</sup>。

基于 adaboost 的算法以其实时性好的特点,成为视频人脸检测的首选算法,但是在噪声、背景纹理、光照等的干扰下,会影响检测结果,为了进一步提高算法的性能,研究人员使用了诸如肤色分割的方法,剔除非人脸的背景,以降低 adaboost

到稿日期:2010-11-17 返修日期:2011-03-02 本文受国家自然科学基金重点项目(60873094),国家高技术研究发展计划(863)(2008AA01Z301)资助。

谢倩茹(1975-),女,博士生,讲师,主要研究方向为图像处理、模式识别,E-mail:qxie@nwu.edu.cn;耿国华(1954-),女,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为三维可视化、模式识别。

算法的误检率。可是在背景与肤色相近或者在亮光或背光的环境里,肤色检测的结果也会不准确,从而间接影响最终的检测结果。一个实用的人脸检测系统要能保证在不同的环境中实时地检测出人脸。

本文结合图像增强、gabor 小波特征提取和 adaboost 算法提出了视频人脸序列检测的一种新方法。这种方法的特点是:首先对原始图像序列进行光照补偿,以减少不同光照条件对检测结果的影响;然后利用 gabor 技术提取局部特征;最后采用 adaboost 算法检测出人脸区域。方法的处理流程如图 1 所示。实验结果表明,本方法具有较好的鲁棒性,即使在光照条件不理想、清晰度不高的条件下也能快速准确地完成人脸的检测。



图 1 方法流程图

## 2 光照补偿

因为光照对人脸产生的影响非常大,不同光照条件所导致的高光、阴影等会使五官的轮廓变得模糊,从而影响人脸检测结果,所以消除光照对图像的影响,对稳定检测结果具有重要的意义。消除光照影响在预处理和检测阶段都可以进行。相对于在检测阶段所使用的技术,在预处理阶段完成光照补偿更为简单和快速。这里在图像的预处理阶段采用图像滤波技术,对图像进行光照补偿。

直方图均衡化能够改善图像亮度和对比度,对于人脸图片中的阴影等有较好的调节作用,但是却会弱化图像的边缘,丢失细节信息。而高频加强滤波能够在强调高频成分的同时增强低频的成分,使图像的边缘和细节更清晰,所以这两种方法具有较好的互补作用。本文提出结合高频加强滤波和直方图均衡化的方法对图像进行光照补偿。

具体方法如下:首先对图像进行傅立叶变换,分离出图像的低频和高频分量;然后在保证不丢失低频分量的前提下采用高频强调滤波的方法来强调图像的高频部分,突出图像的边缘信息;最后对图像进行傅立叶反变换,采用直方图均衡化的方法,调节图像的灰度范围。

### 2.1 高频强调滤波

高频强调滤波是高通滤波的一种补偿形式。由于在高通滤波中去除了傅立叶变换中的零频率成分,导致其背景的平均强度减小,呈现出黑色的背景,这样就需要在滤波的结果中叠加上原始图像的内容。可以在高通滤波的函数前乘上一个系数,再加上一个偏移量,使得零频率不被过滤掉,就能保证在强化边缘信息的同时保持背景的亮度。其传递函数如下:

$$h_{hfc}(u, v) = a + bh_{hp}(u, v)$$

式中,  $h_{hp}(u, v)$  为高通滤波的传递函数,  $a > 0$  且  $b > a$ 。这里选用巴特沃斯高通滤波,其传递函数为:

$$h_{hp}(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}}$$

式中,  $D_0$  为截止频率到原点的距离;  $D(u, v)$  为从点  $(u, v)$  到

傅立叶变换中心的距离,假设图像的尺寸为  $M \times N$ ,则将其定义为:

$$D(u, v) = [(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2]^{1/2}$$

### 2.2 直方图均衡化

直方图均衡化是通过压缩图像中像素较少的部分并拉伸像素较多的部分,来调整图像的对比度,从而使图像的亮度和对比度得到显著改善。在对图像进行高频加强滤波之后,图像的亮度和对比度都没有达到理想的状态。而经过灰度均衡化处理之后,就可以有效解决这一问题。其变换函数如下:

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, k=0, 1, 2, \dots, L-1$$

式中,  $n$  是图像中的像素总和,  $n_k$  是灰度级为  $r_k$  的像素个数,  $L$  是图像中可能的灰度级总数。

### 2.3 试验结果

实验输入图像采用 Yale 人脸数据库中的图片,均为  $100 \times 100$  的位图图像。由于巴特沃斯高通滤波能够有效抑制图像的低频成分,突出图像的边缘,因此首先采用巴特沃斯高通滤波进行图像的锐化,然后选用直方图进行均衡化。图 2(a) 是输入的原始图像。图 2(b) 是选用巴特沃斯高通滤波后的图像,可以看到虽然能够显示一些图像的轮廓,但是背景太黑,给人脸检测带来很大困难。图 2(c) 是对图像进行高频加强滤波后的结果,从图中可以看出虽然图像的整体还是偏暗,但是灰度级的色调由于低频分量的保持而没有丢失。图 2(d) 是采用高频加强滤波和直方图均衡化后的结果,图像的清晰度大为提高,并且图像的细节和边缘信息都得到了强化。采用先滤波后均衡化的方法,比使用任何单一的方法所取得的效果更好。

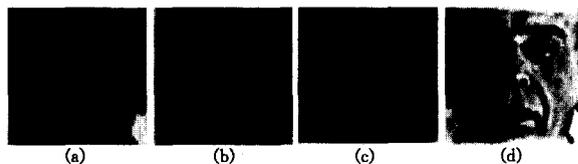


图 2 使用高频增强滤波和直方图技术进行光照补偿的结果

有些光照补偿方法,在处理过亮或者过暗的图像时能够取得比较好的效果,但是对正常光照下的图像,却会产生噪声污染。使用本文方法分别对正常光照下、有遮挡的情况及高光的情况做了实验。试验结果如图 3 所示。从试验结果来看,使用这种方法进行光照补偿,能够对不同条件下的人脸图像产生较好的补偿作用。



图 3 不同光照条件下光照补偿结果

### 3 Gabor 特征提取

Gabor 小波具有两个重要的特征:一个是方向的选择性,一个是空间的局部性。它兼顾了时域和频域信号的分析,解决了傅立叶变换中频域分析的局限性。另一方面,它选取的特征信息与图像的整体信息相关,对局部特征的丢失不敏感,相较 DCT 变换,每个采样窗关联的是局部信息,对于局部信息的丢失很敏感,所以在人脸检测与识别方面更具有优势。

二维 Gabor 小波函数可以如下定义:

$$G_j(z) = \frac{\|k_j\|^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\|k_j\|^2 \|z\|^2}{2\sigma^2}\right) \left[ \exp(jk_j \cdot z) - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right) \right]$$

式中,  $k_j = \begin{pmatrix} k_{jx} \\ k_{jy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_v \cos \phi_u \\ k_v \sin \phi_u \end{pmatrix}$ ,  $k_v = k_{\max} / f^v$ ,  $\phi_u = u\pi / k$ ,  $z = (x, y)$  代表像素的位置,  $v$  决定了 gabor 小波的尺度,  $u$  决定了 gabor 小波的方向,  $k_{\max}$  对应最大的采样频率,  $f$  是频域中的采样步长,  $\sigma$  表示高斯窗的宽度和波长的比例关系。

为了获得多尺度的 gabor 特征,本文使用 32 个 gabor 的滤波器。这些滤波器包含 4 个尺度( $v=0, \dots, 3$ )、8 个方向( $u=0, \dots, 7$ )。给定一幅图像  $I(x, y)$ , 对于图像上任意一点  $z=(x, y)$ , 其 gabor 特征可以通过 gabor 滤波器与该图像的卷积运算获得:

$$O_j(z) = I(z) \otimes G_j(z)$$

得到的所有特征都将通过 adaboost 的分层训练器进行训练。

### 4 人脸检测

adaboost 算法利用在同一个训练样本中训练出大量分类能力较弱的弱分类器,然后将弱分类器根据一定的权重组合形成强分类器,以提高检测的精度。本文采用 adaboost 算法进行人脸检测,取得了较好的效果。

在实验中,从互联网上选取不同光照条件下的视频序列。首先对光照条件较好、视频清晰度比较高的视频序列用本文的方法进行检测,检测结果如图 4 所示。然后选取了在夜晚行进环境下拍摄的视频,该视频光照条件不好而且清晰度不高。分别用 adaboost 算法和本文的方法对该视频进行了检测,结果如图 5 和图 6 所示。从试验结果来看,不进行光照补偿,直接使用 adaboost 算法,在黑暗的环境下不能很好地完成检测,漏检率比较高。使用本文方法则能够准确地检测出人脸,提高了检出率。

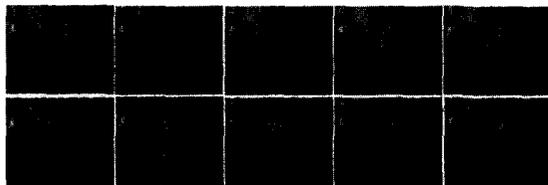


图 4 正常光照条件下的检测结果



图 5 未使用光照补偿后的检测结果

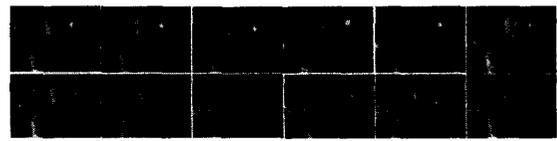


图 6 用本文光照补偿方法直接进行人脸检测的结果

**结束语** 本文提出了一种快速而且鲁棒的视频人脸检测算法。采用图像滤波和直方图均衡的技术进行光照补偿,并采用多方向、多尺度的 gabor 小波提取人脸的特征,最后借助 adaboost 算法对这些特征进行分层训练,完成视频的人脸检测。从试验结果来看,这种方法具有较好的光照补偿作用,能够在不同的光照条件下和有轻微的姿态变化时,取得较好的检测结果。

由于样本的训练非常耗时,因此今后的工作应该主要在降低 Gabor 特征的维数、提高样本训练的速度上进行,同时应该加强侧面人脸的训练,以满足实际需要。

### 参考文献

- [1] Hjelmås E, Low B K. Face Detection: A Survey[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2001, 83(3): 236-274
- [2] Schwerdt K, Crowley J. Robust face tracking using color[C]// Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesturerecognition. 2000: 90-95
- [3] Jin Zhong, Lou Zhen, Yang Jing-yu, et al. Face detection using template matching and skin-color information[J]. Neuro computing, 2007, 70(4-6): 794-800
- [4] Govindaraju V. Locating human faces in photographs[J]. International Journal of Computer Vision, 1996, 19(2)
- [5] Rowley H A, Baluja S, Kanade T. Neural network-based face detection[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(1): 23-28
- [6] Huang Lin-Lin, Shimizu A. Face detection from cluttered images using a polynomial neural network[J]. Neurocomputing, 2003, 51: 197-211
- [7] Osuna E, Freund R, Girosi F. Training support vector machines: An application to face detection[C]// Proc. Computer Vision and Pattern Recognition. Puerto Rico, 1997: 130-136
- [8] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [C]// Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001). Kauai, Hawaii: [ s. n. ], 2001: 511-518
- [9] Fok H, Chi T. A hierarchical learning network for face detection with in-plane rotation [J]. Neurocomputing, 2008, 71(16-18): 3253-3263
- [10] 张永, 薛芝茂. 基于两级分类器的人脸检测系统设计[J]. 计算机科学, 2010, 37(4): 293-298
- [11] 王承明, 等. 基于主成分分析和神经网络的人脸检测新算法[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2007(3)
- [12] Shih P, Liu Cheng-jun. Face detection using discriminating feature analysis and Support Vector Machine [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(2): 260-276