

基于肤色分割与 AdaBoost 算法的人脸检测

毕雪芹 惠 婷

(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710021)

摘要: 提出了一种将肤色分割与 AdaBoost 算法相结合的人脸检测方法。该方法利用肤色的聚类特性在 YCbCr 色彩空间中建立肤色高斯模型,通过形态学处理完成图像肤色区域的筛选;然后利用 AdaBoost 算法训练弱分类器并构成强分类器,对强分类器进行组合,形成级联分类器并对候选区域进行人脸检测,排除非人脸肤色区域,实现对不同角度人脸的正确检测。该方法可同时解决肤色分割方法对复杂背景图像的高误检率与 AdaBoost 算法对多姿态人脸图像的低检测率的问题。仿真实验表明,该方法具有检测率高、误检率低、适应性好及鲁棒性强的优点,对具有多姿态、多人脸和复杂背景信息的图像具有较好的检测效果,实用性得到增强。

关键词: 人脸检测;肤色分割;AdaBoost 级联分类器

中图分类号: TN919 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Face detection based on skin color segmentation and AdaBoost algorithm

Bi Xueqin Hui Ting

(School of Electronics Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: This paper proposed a face detection algorithm combined skin color segmentation with AdaBoost algorithm. The method utilizes clustering characteristic of skin color and builds Gaussian color model in the YCbCr color space, screening the skin color regions by morphological processing. Then the AdaBoost algorithm is used to train the weak classifier and a strong classifier is formed. The strong classifier is combined to form a cascade classifier and the candidate regions can be detected by AdaBoost cascade classifier, non-face regions in skin color regions can be excluded and then the correct detection of different angles of the faces is achieved. This method can solve the problem of high false detection rate of skin color segmentation with complex background color images and the problem of low detection rate of multi-pose images based on the method of AdaBoost algorithm. Simulation experiments show that this method has high detection rate, low false detection rate, good adaptability and strong robustness. It has better detection effect for multi-pose and multi-face images and the images of the complex background information, and the practicability is enhanced.

Keywords: face detection; skin color segmentation; AdaBoost cascade classifier

1 引言

人脸识别是生物识别技术的一种,主要利用人的脸部特征进行身份识别。自动人脸识别系统包括人脸检测、人脸图像预处理、特征提取以及匹配与识别4个部分。其中人脸检测作为自动人脸识别系统中的一个关键环节,其目的是判断待检测图像中是否存在人脸,若存在,则判定人脸区域位置。目前,基于模板匹配的检测方法、基于人脸知识的检测方法、基于外观的检测方法与基于特征的方法是主流的人脸检测方法^[1]。

人脸图像中包含颜色特征、模板特征、直方图特征、结构特征及 Haar 特征等多种模式特征。其中,肤色特征是人脸的一个重要特征,且与大多数背景区域颜色有着明显的区别,当人脸出现不同角度的旋转时,此特征仍能保持相对的稳定性。但对于复杂背景图像,肤色检测的效果不理想,误检率高且检测精度有限。

2001年,Paul Viola 和 Michael Jones 提出了基于 AdaBoost 算法的人脸检测方法^[2],该算法利用 Haar 特征构造分类器,使人脸检测具有检测速度快、检测率高及实时性好的优点,但该方法对于偏转人脸检测率低、漏检率

收稿日期:2015-07

高。将肤色分割与 AdaBoost 算法相结合进行仿真实验,结果表明本文方法可以准确快速地检测到人脸,同时具有较低的误检率。

2 肤色检测

研究表明,不同肤色的差异主要是由图像的亮度信息引起的,受色度信息的影响较小,并且肤色在消除了亮度信息的色彩空间中呈聚类特性^[3],利用这一特性便可将图像中的肤色区域或类肤色区域筛选出来。由于 YCbCr 色彩空间能很好的将色彩中的亮度分量分离出来,并且在 CbCr 两维空间内,肤色的分布区域相对集中^[4],因此本文实验选用 YCbCr 色彩空间对图像进行色彩空间的转换。

2.1 肤色分割

本文采用文献[5]方法对输入的彩色图像进行光线补偿预处理,以便于尽可能的消除光照明暗程度和光源颜色这些干扰信息对图像中肤色等色彩信息造成的偏差现象。

图像经过光线补偿后便可进行色彩空间的转换,以下是由 RGB 色彩空间转换到 YCbCr 色彩空间的公式^[6],其中 Y 分量表示颜色的亮度信息,Cb 和 Cr 为色度信息,Cb 表示蓝色,Cr 表示红色。

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112.000 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

在 YCbCr 色彩空间中建立合适的肤色模型,常用的肤色模型有椭圆模型、统计直方图模型、简单高斯模型等。简单高斯模型以概率为基础对肤色进行建模,能较好地表示肤色的分布,检测率高且计算速度较快^[7],因此本文选择在简单高斯模型的基础上对肤色进行建模。

根据如下公式确定高斯模型的参数,其中 $\overline{Cb}$ 、 $\overline{Cr}$ 分别为图像所有像素点色度分量 Cb、Cr 的均值,C 为协方差矩阵,建立肤色高斯模型 $G(m, C)$, $m = E(x)$ 为均值, N 为像素点的个数。

$$\overline{Cb} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Cb_i \quad (2)$$

$$\overline{Cr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Cr_i \quad (3)$$

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_{Cb, Cb} & \sigma_{Cb, Cr} \\ \sigma_{Cr, Cb} & \sigma_{Cr, Cr} \end{pmatrix} \quad (4)$$

根据建立的高斯肤色模型计算待测图像的肤色似然概率,计算公式如下:

$$p(Cb, Cr) = \exp \left[-\frac{1}{2} (x - m)^T C^{-1} (x - m) \right] \quad (5)$$

式中: $x = (Cb, Cr)^T$ 是像素点在 CbCr 空间中的色度向量。肤色似然概率表示像素点与肤色的相似程度,似然概率越大,表明该像素点属于肤色像素点的概率就越大,反

之越小。求取待测图像中所有像素点的肤色似然概率与其中最大的肤色似然概率的比值,即得到原图像的肤色似然图。

2.2 人脸区域筛选

选取合适的阈值对肤色似然图进行二值化处理,仿真实验中选取阈值为 0.6。由于采集图像或处理图像时会引入背景和噪声,则阈值分割后的二值图像中会包含一些被误判为肤色的小块区域。利用数学形态学^[8]可解决这一问题,即对图像进行腐蚀、膨胀、开运算和闭运算处理,以消除人脸图像中的散点,对图像进行平滑处理并填充肤色区域中的孔洞。

形态学滤波消除了图像中大部分的小块噪声,但仍可能包含一些非人脸肤色区域或类肤色区域,则需要根据人脸的几何特性^[9]对候选区域进行筛选,从而尽可能的保留人脸区域。实验中主要考虑人脸区域长宽比与人脸区域的面积。

1) 区域长宽比:将人脸长与宽的比值控制在 0.4~2.5,若候选区域长与宽的比值不在此范围内,则判定该区域是非人脸并被剔除,反之则被保留。

2) 区域面积:对于小于输入图像面积 1% 的候选区域予以排除。

3 基于 AdaBoost 算法的人脸检测

AdaBoost 算法其核心思想是针对同一个训练集训练不同的弱分类器,然后将这些分类能力一般的弱分类器通过一定方法叠加起来,构成一个分类能力很强的强分类器,再将强分类器串联起来形成级联分类器用于检测人脸。

3.1 弱分类器的训练及选取

训练一个弱分类器,就是从大量的矩形特征中选取一个特征,并用这个特征来区分人脸或非人脸,同时要求分类的错误率最低。在用此分类器对样本进行分类的同时更新样本的权重^[10],减小被正确分类的样本的权重,增加被错误分类的样本的权重,经过 T 轮迭代,即可得 T 个最优弱分类器。弱分类器的构造方法如下:

对于每个样本中的第 j 个特征可得一个弱分类器 h_j ,表示为:

$$h_j(x) = \begin{cases} 1, & p_j f_j < p_j \theta_j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中: x 为待检测窗口, $f_j(x)$ 为计算矩形特征值函数, θ 为通过训练得到的特征值的阈值,即弱分类器的阈值。 p_j 用来控制不等式方向,如果正样本的分类结果小于阈值 θ_j , p_j 等于 -1,否则等于 +1。

3.2 强分类器的训练及选取

AdaBoost 算法是一种迭代方法,每个训练样本的权重表示为其被弱分类器选入训练集的概率。如果当此样本被错误分类,在下一轮的训练中,此样本被选中的概率

就会增加。算法的具体实现过程如下:

1) 给定一个训练集 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$

式中: $y_i \in \{0, 1\}$, $y_i = 0$ 表示非人脸样本, $y_i = 1$ 表示人脸样本。

2) 初始化样本权重, 训练开始前, 对每个样本赋予相同的权重: $\omega_1(x_i) = \frac{1}{n}, i = 1, 2, \dots, n$;

3) 确定组成强分类器的弱分类器的个数, 即确定循环迭代的次数 T , 并针对每一轮训练 $t = 1, 2, \dots, T$:

① 将样本权重进行归一化处理:

$$\omega_t(x_i) = \frac{\omega_t(x_i)}{\sum_{j=1}^n \omega_t(x_j)}$$

② 对于每个特征 j , 训练相应的弱分类器 $h_j(x)$, 并计算其在当前状态下的加权错误率:

$$\epsilon_j = \sum \omega_t(x_i) |h_j(x_i) - y_i|$$

③ 选择错误率最小的弱分类器作为最优弱分类器, 并将其组合到强分类器中;

④ 重新调整训练样本的权重:

$$\omega_{t+1}(x_i) = \begin{cases} \omega_t(x_i)\beta_t, & x_i \text{ 被 } h_t \text{ 正确分类} \\ \omega_t(x_i), & \text{其他} \end{cases}$$

式中: $\beta_t = \frac{\epsilon_t}{1 - \epsilon_t}$ 为更新因子。

4) 经过 T 次迭代后, 将得到的错误率最低的 T 个最优弱分类器组合成一个强分类器:

$$H(x) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

式中: $\alpha_t = -\log \beta_t$ 。

检测一副图像时, 强分类器的作用效果等同于让构成它的所有弱分类器投票, 然后根据弱分类器的错误率对投票结果加权求和, 再将投票加权求和的结果与平均投票结果比较得出最终的分类结果。

3.3 训练级联分类器

级联分类器是由多个强分类器组合而成的分类器, 其结构如图1所示, 将提取到的待测图像中的所有子窗口图

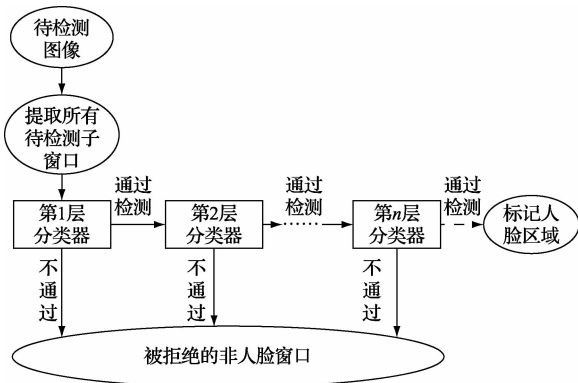


图1 级联分类器结构

像送入级联分类器进行检测, 若级联分类器的某一层判定待测子窗口为非人脸, 则排除该子窗口; 若该子窗口顺利通过级联分类器的各层, 则被判定为人脸, 从而可进行后续处理。

4 基于肤色和 AdaBoost 算法相结合的人脸检测算法

肤色分割人脸检测方法的优点是能够较准确地检测出有角度变化的人脸图像且抗噪性能强、鲁棒性好, 但当检测图像的背景区域过于复杂时, 背景图像中的类肤色区域可能会被误检; 而 AdaBoost 算法通过构造分类器实现人脸检测, 使检测速度得到提升, 但该方法的不足之处是误检率会随着检测率的提高而提高, 且对于侧面人脸检测率低、漏检率高。

根据肤色分割人脸检测和 AdaBoost 算法各自的特点, 将两种方法结合, 即先将彩色图像输入肤色分割模块进行肤色检测, 筛选出肤色与类肤色区域作为候选区域, 再将候选区域输入 AdaBoost 级联分类器中进行更精确的检测, 这样可以利用肤色信息快速排除不相关的背景区域, 增加人脸检测的速度, 降低算法的误检率, 从而实现更加快速与精确的人脸检测。人脸检测算法流程如图2所示。

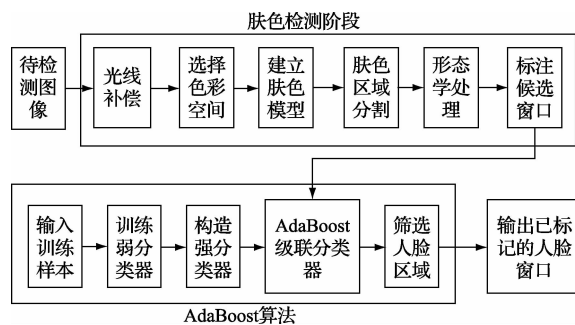
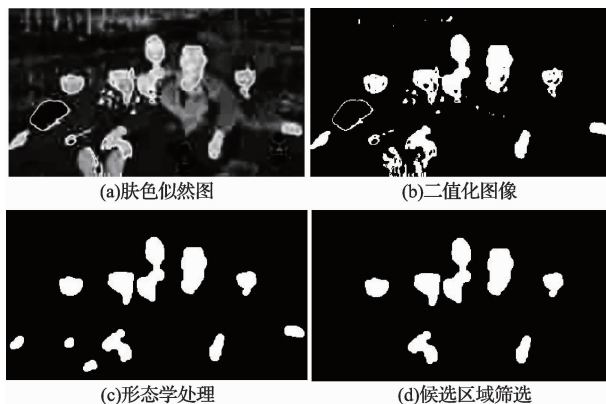


图2 基于肤色和 AdaBoost 算法的人脸检测流程

首先, 将肤色人脸检测标记出的肤色候选区域提取出来作为 AdaBoost 级联分类器的输入; 然后, 利用 AdaBoost 分类器对候选区域进行检测, 这样可以不必对整个图像进行扫描, 提高检测速度。肤色和 AdaBoost 算法的人脸检测仿真结果, 如图3所示。



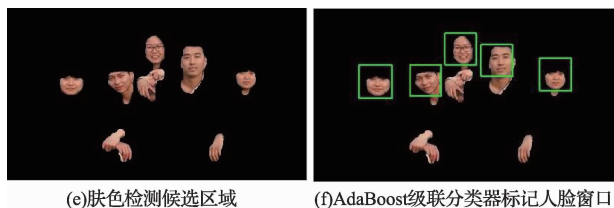


图3 肤色和 AdaBoost 算法的人脸检测仿真结果

5 实验结果及分析

实验对单人脸图像测试集、多人脸图像测试集及复杂背景多人脸图像测试集分别进行肤色分割人脸检测、AdaBoost 算法人脸检测及基于肤色和 AdaBoost 算法相结合的人脸检测。测试图像源自于生活中的数码照片及从互联网上随机搜集的图像。实验环境:处理器为 Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU @ 2.50GHz,内存为 4 GB,操作系统为 Windows 7 旗舰版,在 MATLAB R2012b 仿真软件上编程实现。单人脸图像测试结果举例如图 4 所示,多人脸图像测试结果举例如图 5 所示,复杂背景多人脸图像测试结果举例如图 6 和 7 所示。

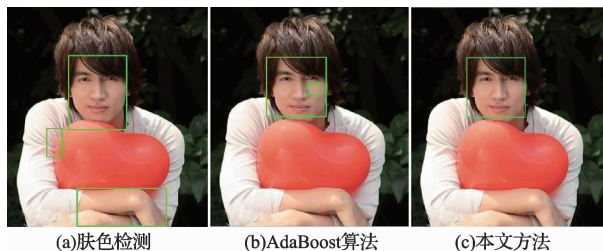


图4 单人脸图像检测结果



图5 多人脸图像检测结果

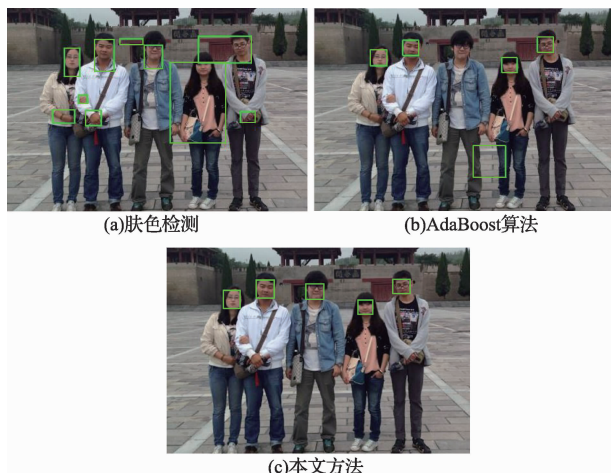


图6 复杂背景多人脸图像
测试结果 I



图7 复杂背景多人脸图像
测试结果 II

由上图可知,基于肤色分割的检测方法可检测到图中所有人脸区域,但是人脸的定位不够准确,并且也能够检测到部分非人脸肤色区域与类肤色区域,对于具有复杂背景的图像,误检率较高;与肤色检测相比,AdaBoost算法的误检区域较肤色检测少,但部分测试样本会有漏检的情况。肤色分割与 AdaBoost 算法相结合的方法可降低误检率与漏检率,使人脸检测算法的性能得到提升。3 种方法分别在单人脸图像测试集、多人脸图像测试集及复杂背景多人脸图像测试集上的实验结果如表 1~3 所示。

表1 单人脸图像测试集检测结果比较

测试项	算法		
	肤色检测	AdaBoost	本文方法
人脸总数	100	100	100
检测数	119	98	108
误检数	25	20	16
检测率	94%	78%	92%
误检率	25%	20%	16%

表 2 多人脸图像测试集检测结果比较

测试项	算法		
	肤色检测	AdaBoost	本文方法
人脸总数	281	281	281
检测数	334	237	293
误检数	68	43	29
检测率	94.7%	69%	94%
误检率	24.2%	15.3%	10.3%

表 3 复杂背景多人脸图像测试集检测结果比较

测试项	算法		
	肤色检测	AdaBoost	本文方法
人脸总数	165	165	165
检测数	251	154	179
误检数	98	47	23
检测率	92.7%	64.8%	94.5%
误检率	59.4%	28.5%	13.9%

根据表 1、2 及表 3 中的检测数据对实验结果进行分析,3 种方法中肤色检测的正确率最高,但同时误检率也最高;AdaBoost 算法的误检率比肤色检测低,但检测率也较低。本文方法的检测率比肤色检测略低,但误检率为 3 种方法中最低,并且具有良好的检测效果。

6 结 论

本文分别介绍了基于肤色分割的人脸检测与基于 AdaBoost 算法的人脸检测方法,通过 MATLAB 仿真对两种方法进行比较分析,了解两者的优缺点并提出了将肤色和 AdaBoost 算法相结合的人脸检测方法。实验证明,该方法利用肤色检测作为初检可有效地检测到不同角度的人脸,再利用 AdaBoost 级联分类器对候选区域检测,排除候选区域中的非人脸肤色区域。该方法有效地解决了肤色检测误检率较高和 AdaBoost 方法漏检的问题,在提高检测率的同时降低误检率,具有良好的准确性和鲁棒性,实现更准确的人脸定位。

参 考 文 献

[1] 苑玮琦,韩春霞. 复杂背景下的多人脸检测方法[J]. 计算机应用,2010,30(3):635-638,673.

[2] VIOLA P, JONES M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features[J]. Processing of Conference on Computer Vision and pattern Recognition, 2001:511-518.

[3] 艾学轶,吴彦文,汪亭亭. 复杂背景下基于肤色分割的人脸检测算法研究[J]. 计算机工程与设计,2010,31(14):3268-3273.

[4] 徐翠,李然. 基于 YCbCr 空间的高斯肤色模型的人脸检测[J]. 教育技术软件导刊,2009,8(2):179-181.

[5] 刘成云,常发亮,陈振学,等. 融合改进参考白和稀疏网络的彩色人脸检测[J]. 仪器仪表学报,2014,35(4):820-826.

[6] 刘春生,常发亮,陈振学,等. 改进的高斯肤色模型及其在人脸检测中的应用[J]. 仪器仪表学报,2012,33(5):1117-1121.

[7] 周云鹏,朱青,王耀南,等. 面部多特征融合的驾驶员疲劳检测方法[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(10):1140-1148.

[8] 曾维. 手势识别系统中手指及指尖检测方法[J]. 国外电子测量技术,2013,32(4):39-42.

[9] 张静,蔡乐,刘安安,等. 一种层级化的人眼检测方法[J]. 电子测量技术,2013,36(11):39-42.

[10] 段玉波,任璐,任伟建,等. 基于肤色分割和改进 AdaBoost 算法的人脸检测[J]. 电子设计工程,2014,22(12):167-170.

作 者 简 介

毕雪芹,1974 年出生,硕士研究生,副教授。主要研究方向为计算机测控系统。

E-mail:bixueqin@126.com

惠婷,1989 年出生,硕士研究生,控制理论与控制工程专业。

E-mail:544271077@qq.com