

基于混合肤色模型的快速人脸检测算法*

黄建筑, 冯桂, 夏丽娟
(华侨大学, 福建 厦门 361021)

摘要: 提出了一种基于混合肤色模型的复杂背景彩色图像的快速人脸检测算法。为了克服环境光照变化及光照不均的影响, 引入了自适应光线补偿算法; 在 RGB 颜色空间中运用多项式模型对光线补偿后的彩色图像进行肤色区域粗检测; 采用 RGB 颜色空间中的多项式模型和颜色空间中的高斯模型相结合, 对先前所提取的肤色区域做进一步精确的肤色区域提取; 最后, 对二值图像的连通区域进行预处理, 输出人脸区域。实验结果表明, 该算法能快速有效地从复杂背景的彩色图像中检测出人脸, 对光照变化具有较好的鲁棒性。

关键词: 颜色空间; 光线补偿; 肤色模型; 人脸检测

中图分类号: TP751.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)18-0048-04

Fast face detection based on mixed skin color model

HUANG Jian Zhu, FENG Gui, XIA Li Juan
(HuaQiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: A mixed color model based on the complexity of the background color image of a fast face detection algorithm is proposed in the paper. Firstly, in order to overcome the impact of the environmental light change and uneven illumination, an adaptive light compensation algorithm is cited; Secondly, polynomial model to detect skin of light compensated color image is used in the RGB color space; Then, the polynomial model in RGB color space is combined with the Gaussian model YCgCr color space extract further more accurate color region in on the previous extraction of color area; Finally, to make pretreatment of the binary image connected region determines the output of the face region. Experimental results show that the algorithm can quickly and efficiently detect the human face from the complex background color images, and have good robustness of the illumination change.

Key words: color space; light compensation; color model; face detection

随着信息技术及计算机网络的快速发展, 个人身份识别、表情分析、安检、公共场所公共安全等显得至关重要, 利用人脸等人的内在属性进行识别的生物识别技术及其稳定性和可靠性引起了广泛的关注。人脸检测技术不仅是人脸识别、唇读、视频检测与监控等技术的重要前提条件, 而且在模式识别、人机交互、智能监控等领域引起了广泛的重视。人脸检测来源于人脸识别, 它是人脸自动识别系统中的一个重要环节, 其目的是检测图像中的人脸并将其从背景中分割出来。近年来, 人们在人脸检测技术中提出了各式各样的算法, 大体可分为四类: 基于知识的方法、基于特征的方法、基于模板的方法

和基于表象的方法。但这些检测算法在实际应用中存在运算量大、实时性差等缺点。GUAN 和 YANG 提出了基于肤色和几何信息的无监督人脸检测方法, 检测率达 93.7%。利用彩色图像中最重要、最明显的肤色特征, 可以大幅度缩小搜索空间, 降低检测难度, 减少计算量, 提高运算性能。这种方法大大提高了人脸检测速度, 基本可以实现实时检测。但人脸检测是一项非常复杂的系统工程, 检测结果很容易受到各种直接或者间接噪声的影响, 主要表现在:

- (1) 受外貌、表情、肤色等因素的影响, 人脸具有很大可变性;
- (2) 很多情况下脸上可能存在眼镜、胡须以及装饰品

* 基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目(2010J01340)

等附属物;

(3) 头部运动造成图像中人脸位置、角度等发生变化;

(4) 不同光照条件对图像中人脸图像产生影响,亮度变化范围很大;

(5) 不同图像中人脸尺寸及背景噪声等各不相同。

因此,本文针对肤色检测存在的问题,提出了一种基于两种肤色模型相结合的彩色图像快速人脸检测算法,通过实验结果可以看出,该算法具有较好的鲁棒性和较高的准确率。

1 颜色空间^[1]

1.1 RGB 颜色空间

由于在 RGB 空间中三要素具有高度相关性,亮度信息对图像的处理会带来干扰。为了消除亮度的影响,YANG 提出了归一化的 RGB 模型,将 RGB 彩色空间映射到色度空间,即从三维空间变换到二维空间。该色度空间具有对图像亮度和视点方向都不敏感的优点,可以较好地消除图像中可见和室外不可见的阴影,其转换公式如下所示:

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad (1)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \quad (2)$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \quad (3)$$

1.2 $YCbCr$ 颜色空间

参考文献[1]中对 10 种不同颜色空间进行了详细的对比,可知 HSV、 $YCbCr$ 和 YD_bD_r 三个颜色空间最适于肤色检测。种族、性别和年龄的不同造成了肤色的不同,而肤色的不同主要表现在亮度上,在除去亮度的色度空间里,不同人的肤色分布具有相似的聚类性,在各个颜色空间中, $YCbCr$ 颜色空间和 $YCrCb$ 颜色空间都是感知均匀的色彩空间,能够较好地将亮度和色度分开。由于 $YCbCr$ 空间中的 C_b 分量是蓝色分量 B 与亮度分量 Y 的差,而在肤色信息中 B 分量所占的比重比较小,DE DIOS 提出了 $YCbCr$ 空间,其中采用绿色分量 G 与亮度分量 Y 的差,同时它更能有效地表达肤色的特征,因此肤色在 $YCbCr$ 颜色空间比在 $YCrCb$ 颜色空间具有更好聚类性,其转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_g \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2568 & 0.5040 & 0.0979 \\ -0.318 & 0.4392 & -0.1212 \\ 0.4392 & -0.3677 & -0.0714 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

2 肤色分割算法

肤色检测要取得好的效果,需要解决两个问题:如何选择合适的颜色空间以及如何确定规则中的参数,即肤色模型问题。要进行肤色检测就是要在该空间中判断肤色是否能够聚集在某个集中的区域,从而可以根据像素在该空间中的坐标判断该像素是否属于肤色点。因此选择恰当的肤色空间和肤色区间闭值以最终确定肤色

模型是非常重要的。所谓肤色模型,与其他的数学建模一样,即用一种代数的解析或查找表等形式来表达哪些像素的色彩属于肤色,或者表征出某一像素的色彩与肤色的相似程度。肤色模型可以进一步地划分为色彩空间中的简单门限聚类模型、高斯模型和高斯混合模型等。简单门限聚类模型具有计算简单、速度快等优点,因此,本文采用了归一化 RGB 空间中的二次多项式模型与 $YCbCr$ 肤色模型相结合的方法,称为混合的肤色模型检测算法。

2.1 自适应光线补偿

由于实际背景复杂多变,噪声污染源难以确定及环境光照变化的影响,需要对彩色图像进行必要的预处理,为后续的图像处理提供较高质量的彩色图像。将图像通过改进的自适应光线补偿对过亮、过暗及中间区域的像素灰度进行修正,以达到减少环境光线变化的影响。针对彩色图像的实际情况,本文采用一种自适应光线补偿方法。通过将图像亮度灰度范围内的两端区域进行压缩,降低过亮和过暗区域的对比度;再用对数函数做非线性变换函数,使变换后图像对比度增加。光线补偿的具体过程如下^[2]。

(1) 对光照过亮和过暗区域的修正

设一张彩色图像为 $I(x,y)$,图像像素总数是 N ,有 $L=256$ 个灰度级,对亮度值进行直方图统计,第 k 级灰度的值为 r_k ,灰度级 r_k 出现的频数为 n_k , $P_k(r_k)$ 为第 k 个灰度级出现的概率,则:

$$P_k(r_k) = \frac{n_k}{N} \quad (5)$$

$$s_k = \sum_{i=0}^k P_i(r_i) \quad (6)$$

式中, $0 < r_k \leq 255, k=0,1, \dots, L-1$ 。当 $s_k < 0.05, s_{k+1} > 0.05$ 时,将亮度值 $f(x,y)$ 赋值给 B ,即令这些像素的最大亮度值为 B ;当 $s_k < 0.97, s_{k+1} > 0.97$ 时,将亮度值 $f(x,y)$ 赋值给 E ,即令这些像素的最低亮度值为 E 。

(2) 对中间灰度区域修正

FRANK S 研究指出:人眼视觉感受的亮度与入射光强呈对数关系。为使变换后的图像柔和,层次清晰,取得最佳视觉效果,要求变换后的图像 $g(x,y)$ 的直方图与模拟人视觉的视敏响应曲线相匹配。其变换公式如下:

$$g(x,y) = (G-S)/(\ln n - \ln m) [\ln f(x,y) - \ln m] + S \quad (7)$$

式中, $g(x,y)$ 为经过变换后的图像像素的亮度值; m, n 表示变换前图像中的最大灰度和最小灰度; G 和 S 是图像变换后的最大灰度和最小灰度。即经过灰度变换后图像像素的亮度值 $g(x,y)$ 表达式如下:

$$g(x,y) = \begin{cases} 255 \times (\ln f(x,y) - \ln B) / (\ln E - \ln B) & B \leq f(x,y) \leq E \\ 0 & f(x,y) < B \\ 255 & f(x,y) > E \end{cases} \quad (8)$$

2.2 二次多项式肤色模型

二次多项式模型首先由 SORIANO 提出,此后 CHI-《微型机与应用》2010 年第 29 卷第 18 期

图形、图像与多媒体

ANG^[3]对此进行了改进,二次多项式模型由两个 $r-g$ 平面的二次多项式与一个圆方程构成^[4]:

$$f_{upper}(r) = -1.3767r^2 + 1.0743r + 0.1452 \quad (9)$$

$$f_{lower}(r) = -0.776r^2 + 0.5601r + 0.1766 \quad (10)$$

$$W(r, g) = (r - 0.33)^2 + (g - 0.33)^2 \quad (11)$$

在以上三个方程的基础上,肤色区域可通过以下规则进行分类。

$$R_1: g > f_{lower}(r) \ \& \ g < f_{upper}(r)$$

$$R_2: W(r, g) \geq 0.0004$$

$$R_3: R > G > B$$

$$R_4: R - G \geq 20$$

2.3 YC_gC_r 高斯模型

人脸肤色检测是一种非线性很强的分类模式,一般来说,在进行人脸检测时,颜色空间中色度和亮度的分离度越大越好,但实际上色度值对亮度值存在一定的非线性的依赖关系,很大程度上影响了人脸的检测。因此,对 YC_gC_r 空间进行非线性分段色彩变换,以消除色度对亮度的依赖,经过变化得到的颜色空间用 $YC'_gC'_r$ 来表示,两坐标变换过程具体推导过程如下所示^[5-6]:

(1) $\bar{C}_g(Y)$ 和 $\bar{C}_r(Y)$ 表示肤色聚类域的中轴线:

$$\bar{C}_g(Y) = \begin{cases} 128 + \frac{(K_l - Y)(135 - 128)}{K_l - Y_{min}} & Y < K_l \\ 128 + \frac{(Y - K_h)(135 - 128)}{Y_{max} - K_h} & K_h \leq Y \end{cases} \quad (12)$$

$$\bar{C}_r(Y) = \begin{cases} 138 + \frac{(K_l - Y)(138 - 131)}{K_l - Y_{min}} & Y < K_l \\ 138 + \frac{(Y - K_h)(138 - 120)}{Y_{max} - K_h} & K_h \leq Y \end{cases} \quad (13)$$

(2) 肤色聚类区域的宽度分别用 $W_{C_g}(Y)$ 和 $W_{C_r}(Y)$ 表示:

$$W_{C_i}(Y) = \begin{cases} WL_{C_i} + \frac{(Y - Y_{min})(W_{C_i} - WL_{C_i})}{K_l - Y_{min}} & Y < K_l \\ WH_{C_i} + \frac{(Y_{max} - Y)(W_{C_i} - WH_{C_i})}{Y_{max} - K_h} & K_h \leq Y \end{cases} \quad (14)$$

(3) 得到非线性的分段变化色度函数:

$$C'_i(Y) = \begin{cases} C_i(Y) - \bar{C}_i(Y) \frac{W_{C_i}}{W_{C_i}(Y)} + \bar{C}_i(Y) & Y < K_l \ \cap \ K_h < Y \\ C_i(Y) & Y \in [K_l, K_h] \end{cases} \quad (15)$$

其中, C_i 指 C_g 或 C_r ; $K_h=150$ 和 $K_l=100$ 为非线性分段色彩变换的分段阈值; $Y_{min}=16$ 和 $Y_{max}=235$ 是肤色聚类区域中 Y 分量的最小值和最大值; $W_{C_g}=36.29$, $W_{C_r}=30.65$, $WL_{C_g}=18$, $WL_{C_r}=16$, $WH_{C_g}=10$, $WH_{C_r}=8$ 。

采用非线性分段肤色分割得到的肤色区域在 $YC'_gC'_r$ 空间中近似于椭圆。在建模时,主要利用色度信息,用椭圆公式匹配两个色度分量的距离,如式(16)和式(17)所示^[7]。

$$\frac{(x - ec_x)^2}{a^2} + \frac{(y - ec_y)^2}{b^2} \leq 1 \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C'_g - C_x \\ C'_r - C_y \end{bmatrix} \quad (17)$$

式中参数 $C_x=108.46$, $C_y=164.16$, $\theta=2.36$ (弧度), $ec_x=1.02$, $ec_y=3.26$, $a=26.32$, $b=9.86$, 都是根据 C'_g , C'_r 空间计算得来的。

若满足以上不等式像素点则是肤色,否则不为肤色。

根据以上所建立的两色度模型,本文所提出将归一化 RGB 空间中的二次多项式模型 YC_gC_r 和肤色模型相结合的混合肤色模型,即有快速人脸检测算法,总体框架如图 1 所示。

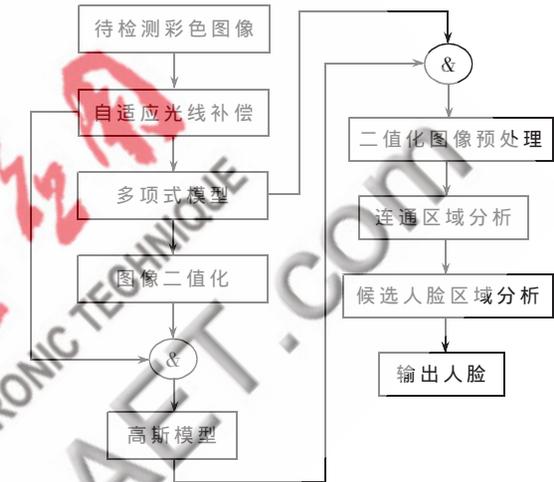


图 1 人脸检测算法总体框架图

3 人脸定位

经过肤色检测得到二值图像的连通区域,其中可能还包括肩膀、脖子等肤色区域及类肤色其他物体。为减少人脸检测与定位的搜索空间,首先对检测到的连通区域进行预处理,然后从以下几个方面对人脸候选区域进行判断来检查是否有人脸存在^[7]:

- (1) 连通区域的宽和高必须大于 20 像素。
- (2) 计算肤色区域的宽高比,限定要检测的人脸比例大小,排除一些类肤色区域但长宽比不符合要求的区域,其阈值为[0.6, 2]。
- (3) 计算肤色区域的面积和该肤色区域外接矩形的面积的比,排除一些不规则但具有肤色特征的非人脸区域,其所选阈值为[0.5, 0.9]。

通过以上判断,基本排除了非人脸肤色区域,能够较准确地得到人脸区域。

4 实验结果与分析

在进行实验时,考虑到不同光照条件、不同肤色人种及图像背景复杂度,从互联网和现实生活中选取一些图片作为实验对象,组成两个测试集:(1)测试样品集,如无背景或简单背景、光照变化、人脸区域较大、任意角度的头肩部图像和集体照;(2)复杂测试集,有类肤色背

景存在,人脸个数、大小、位置未知,光照变化,多角度多表情的图片。用本文的算法对这两个测试集进行测试,实验数据如表1所示。

表1 实验数据

	简单测试集	复杂测试集	平均检测时间/s	
			单脸	多脸
人脸总数	122	237		
RGB模型检测人脸数	112	215	0.332 9	2.912 1
YCbCr模型检测人脸数	117	220	0.364 5	3.055 2
混合模型检测人脸数	119	229	0.968 7	4.163 3
漏检人脸总数	3	8		
误检人脸总数	4	13		

通过表1的实验数据可以得出,对于简单样品集,本文的算法具有较好的结果;对于复杂样品集,由于人脸尺寸太小和背景类肤色性,存在极少数的漏检误检。参考文献[8]单人脸检查的平均检测时间是0.22s,多人脸检测的平均检测时间是13.35s,相比之下,本文所述检测算法对单人脸检测速度比较慢,而多人脸检测速度有较大提高。因为检查速度不仅与运行环境有关,还与图像的复杂度、尺寸大小有关。图2给出实验结果的部分典型实例,图中矩形框画出了检测到人脸的位置。



左上:原始图像,右上:RGB模型,左下:YCbCr模型,右下:混合模型

图2 部分实验结果

从上述实验数据可以看出,本文算法可以得出较好的实验结果,进一步证明了本算法的有效性和快速性。

利用肤色信息检测肤色区域具有较低的计算量,并且对部分遮挡和姿态角度变化具有较强的鲁棒性,因此本文提出了用两种颜色空间相结合的算法进行肤色检测,尽可能多地检测出真肤色区域(漏检率低),而包含尽可能少的伪肤色区域(误检率低)。通过实验验证,本文的算法具有很好的肤色分割效果和较好的人脸检测效果。下一步的研究工作就是要根据具体实际应用及其他特征信息,进一步提高人脸检测速率和准确率。

参考文献

- [1] CHAVES-GONZALEZ J M, VEGA-RO M A, JUANETC D. Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study. *Digital Signal Processing*, 2010(20):806-823.
- [2] 贾灵芝, 李岗, 钱坤喜. 基于自适应光线补偿的人脸检测算法[J]. *计算机技术与发展*, 2008, 12: 120-122, 126.
- [3] CHENG C C, WEN K T, YANG M T, et al. A novel method for detecting lips, eyes and faces in real time. *Real-Time Imaging*, 2003, 9(4):277-287.
- [4] SORIANO M, BIRGITTA M, SAMI H, et al. Adaptive skin color modeling using the skin locus for selecting training pixels. *Pattern Recognition*, 2003(36):681-690.
- [5] 张争珍, 石跃祥. YCbCr颜色空间的肤色聚类人脸检测方法[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(22):163-165.
- [6] 胡庆新, 方跃, 张淑凤. 一种新的驾驶员疲劳检测系统中的人脸区域检测方法[J]. *仪器仪表学报*, 2008, 4.
- [7] 王建国, 林宇生, 杨静宇. 基于新颜色空间 YCbCr 的人脸区域初定位[J]. *计算机科学*, 2007, 34(5):228-233.
- [8] 严云洋, 郭志波, 杨静宇. 复杂环境下的快速人脸检测算法[J]. *江南大学学报(自然科学版)*, 2007, 6(6):723-727.

(收稿日期:2010-07-07)

作者简介:

黄建筑,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:视频图像处理。
冯桂,女,1960年生,教授,主要研究方向:图像处理,数字水印,虹膜识别。

夏丽娟,女,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:视频水印。