

文章编号:1001-9081(2010)06-1594-03

## 复杂光照下的人脸肤色检测方法

李全彬<sup>1,2</sup>, 王小明<sup>1</sup>, 刘锦高<sup>1</sup>, 李明<sup>1</sup>

(1. 华东师范大学 信息科学技术学院, 上海 200062; 2. 徐州师范大学 物理与电子工程学院, 江苏 徐州 221116)

(liqbzy@163.com)

**摘要:**复杂光照对人脸肤色检测具有重要影响。在 YCbCr 颜色空间建立复杂光照条件下的人脸肤色模型, 然后利用该模型检测人脸图像的肤色区域, 并对检测结果利用 4-连通区域的几何特征消除非人脸区域, 最后利用连通元复原误检的人脸肤色区域。实验结果表明, 该方法可以实现复杂光照下人脸肤色区域的准确检测。

**关键词:**YCbCr; 肤色模型; 人脸肤色检测; 光照多变; 4-连通元

**中图分类号:**TP391 **文献标志码:**A

## Face skin color detection in complicated illumination conditions

LI Quan-bin<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-ming<sup>1</sup>, LIU Jin-gao<sup>1</sup>, LI Ming<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. College of Physics and Electronic Engineering, Xuzhou Normal University, Xuzhou Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** Face skin color detection is sensitive to illumination variations. This paper presented a novel method to detect the face skin color regions in complicated illumination conditions. Firstly, a skin color model in complicated illumination conditions was created using YCbCr color space. Secondly, the skin color model was applied to detect the face skin color regions in the input image. Finally, the 4-connected regions were calculated in the detection result and be used to eliminate the non-face regions and recover the real face regions. The experimental results demonstrate that the proposed method can detect the face skin color regions correctly in complicated illumination conditions.

**Key words:** YCbCr; skin color model; face skin color detection; different illumination condition; 4-connected region

### 0 引言

人脸检测是人脸识别的重要组成部分,是模式识别和人工智能领域最复杂和最重要的工作之一,可广泛应用于安全控制、监控系统、人机交互等领域。快速准确地给定图像中自动检测人脸是人脸识别系统需要解决的关键问题之一。

在基于彩色图像的人脸检测中,人脸肤色是一个重要的特征信息。多数情况下,人脸的肤色与背景有一定的区分度,而且属于人脸的像素点对于不同的人种具有相似的色度值<sup>[1]</sup>,同时,人脸肤色对旋转、尺度变化、平移等几何改变有很好的鲁棒性,并在一定的颜色空间有很好的聚类性<sup>[2-5]</sup>,这为利用肤色信息检测人脸提供了可能。实际应用中,待检测图像的人脸区域往往只占很小的比例,经过人脸肤色的检测工作后,复杂背景及大多数非人脸区域被消除,将减少后续工作的计算量,提高整个系统的运行效率。

研究表明,复杂光照是影响人脸肤色检测结果的最主要因素<sup>[6]</sup>。目前已有的很多基于肤色的人脸检测算法<sup>[7-12]</sup>,大多是在设定的标准光照条件下有效,在光照多变情况下均存在明显的误检甚至失效。如文献[8]利用 YCbCr 颜色空间,通过设定  $Y$ 、 $Cb$ 、 $Cr$  均大于某个阈值实现人脸肤色区域的选择,这适用于光照较亮的情况。而当面部阴影较重或光线较暗时,该方法错检率很高(如图 6(c)所示)。丁海波等人<sup>[11]</sup>基于 HSI 空间实现了人脸检测,由于  $H$ 、 $S$ 、 $I$  阈值的限制,对复

杂光照的人脸肤色检测效果也不理想(如图 6(b)所示)。为了消除光照变化对肤色检测的影响,本文首先选取各种复杂光照条件下的肤色区域进行训练,获取光照鲁棒的肤色模型,然后利用该肤色模型进行肤色区域的预检测,最后利用连通区域的几何特征去除非人脸肤色区域,实现了复杂光照条件下人脸肤色区域的精确定位。

### 1 光照鲁棒的肤色模型

#### 1.1 颜色空间的选择

由于人脸肤色受不同光照的影响而不同,而 RGB 色彩空间对光照强度的变化又比较敏感,直接对输入的含人脸 RGB 图像进行人脸检测效果不好<sup>[13]</sup>。实验证明,YCbCr 颜色空间与 RGB、HSI 和 HSL 等颜色空间相比,具有如下优点<sup>[8]</sup>:1)光照亮度分量  $Y$  具有独立性,可以很好地解决光照强度变化影响人脸肤色的问题;2)在 YCbCr 颜色空间中,人脸的肤色空间更加紧凑(如图 1 所示),肤色和非肤色区域因光照变化引起的重叠不明显,便于检测和分割。

因此,本文首先将输入 RGB 图像变换到 YCbCr 颜色空间再进行肤色的检测。RGB 颜色空间和 YCbCr 颜色空间可以通过式(1)进行转换。

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} +$$

收稿日期:2010-01-07;修回日期:2010-02-26。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60573125;60873264);上海市 2007 年科技攻关重点项目(075115002)。

作者简介:李全彬(1977-),男,山东临沂人,讲师,博士研究生,CCF 会员,主要研究方向:人工智能、网络信息系统;王小明(1977-),男,浙江金华人,讲师,博士研究生,主要研究方向:数字图像处理、模式识别;刘锦高(1948-),男,上海人,教授,博士生导师,主要研究方向:人工智能、光纤通信、移动通信;李明(1955-),男,上海人,教授,博士生导师,主要研究方向:信号处理、通信与信息系统、计算机科学、测试与控制。

$$\frac{1}{255} \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112.000 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

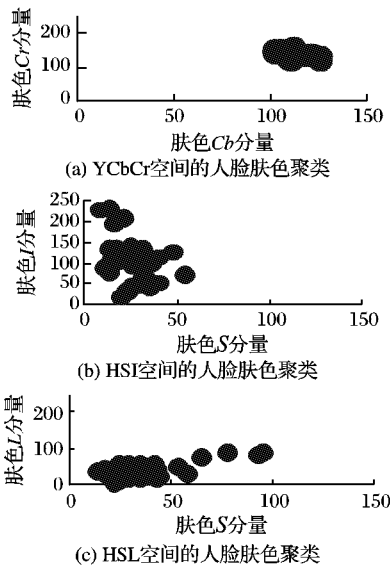


图1 复杂光照下的肤色在3种颜色空间的聚类性比较

## 1.2 肤色模型的计算

### 1.2.1 复杂光照下的肤色样本选择

为了建立的肤色模型能有效地检测各种复杂光照下的肤色,本文选取了100幅光照多变的人脸照片,从中手工截取肤色区域作为训练样本,截取大小不限。部分样本照片及截取的肤色样本如图2所示。这些肤色样本涵盖了逆光下的面部阴影、侧光下的面部阴影、强光下的面部、暗光下的面部、夜间灯光下的面部和标准光照面部等100种光照情况。

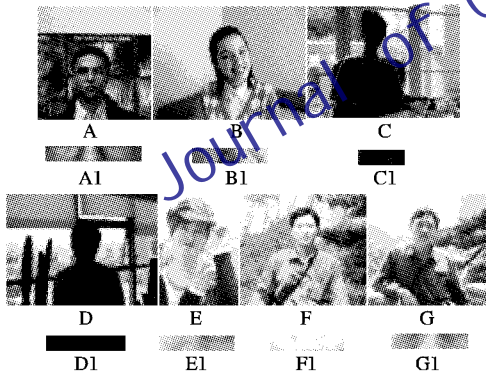


图2 复杂光照下的人脸照片(A~G)及截取的肤色样本(A1~G1)

### 1.2.2 计算肤色模型

设截取的肤色区域为 $SA_j$  ( $j = 0 \sim 99$ , 共100个肤色训练样本), 宽度为 $w_j$ , 高度为 $h_j$ ,  $x_i$ 为肤色区域的第 $i$ 个像素点, 则 $x_i = (B, G, R)_i$ ,  $i = 0 \sim w_j \times h_j - 1$ , 按式(1)计算当前区域每个像素点的 $Y, Cb, Cr$ 值, 得到一个数据集 $V_j: \{Y_i, Cb_i, Cr_i\}$ 。定义一个二维数组 $A[j, l]$  ( $j = 0 \sim 99, l = 0 \sim 5$ ), 分别计算数据集 $V_j$ 中 $Y_i, Cb_i, Cr_i$ 的最大最小值, 依次保存到 $A[j, l]$ 中, 即:

$$\begin{cases} A[j, 0] = \min(Y_i) \\ A[j, 1] = \max(Y_i) \\ A[j, 2] = \min(Cb_i) \\ A[j, 3] = \max(Cb_i) \\ A[j, 4] = \min(Cr_i) \\ A[j, 5] = \max(Cr_i) \end{cases} \quad (2)$$

由于白色区域的 $Cb, Cr$ 值一般为120~130, 落入人脸肤色的 $Cb, Cr$ 值范围, 这使得强光照下的人脸肤色部分区域与高亮度非人脸肤色区域(高亮度背景等)在 $Y, Cb, Cr$ 空间上无法区分, 直接应用式(2)作为肤色模型, 将使得大面积的高亮度非人脸肤色区域被检测出来。考虑到白色区域的亮度值 $Y$ 超过230, 为此对式(2)的 $A[j, 1]$ 作如下修正:

如果  $\max(Y_i) \geq 230$

$$\text{则 } \max(Y_i) = ((\max(Y_i) + \min(Y_i)) / 2) \quad (3)$$

所有肤色样本计算完成后,  $A[j, l]$ 肤色模型内将包含100个肤色样本的600个肤色数据。

## 2 人脸肤色检测

### 2.1 肤色检测

对输入的待检测彩色图像 $S$ , 设宽度为 $w$ , 高度为 $h$ ,  $x_i$ 为 $S$ 的第 $i$ 个像素点, 按式(1)计算每个像素点的 $Y, Cb, Cr$ 值, 得到 $\{Y_i, Cb_i, Cr_i\}$ 。定义一个二维数组 $AYCbCr[i, l]$  ( $i = 0 \sim w \times h - 1, l = 0 \sim 2$ )用来保存当前点的 $YCbCr$ 值。即:

$$\begin{cases} AYCbCr[i, 0] = Y_i \\ AYCbCr[i, 1] = Cb_i \\ AYCbCr[i, 2] = Cr_i \end{cases} \quad (4)$$

如果下列条件同时满足:

$$\begin{cases} A[j, 0] \leq AYCbCr[i, 0] \leq A[j, 1] \\ A[j, 2] \leq AYCbCr[i, 1] \leq A[j, 3] \\ A[j, 4] \leq AYCbCr[i, 2] \leq A[j, 5] \end{cases} \quad (5)$$

则认为当前点是肤色点, 否则将该点设置为 $(B, G, R) = (0, 0, 0)$ 。

应用本文的肤色模型, 按式(5)对复杂光照下人脸图像的肤色检测效果如图3所示。

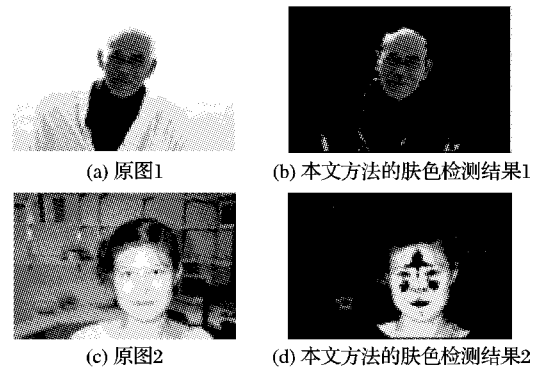


图3 肤色检测效果

### 2.2 消除非人脸肤色区域

初步的肤色检测后, 得到的图像存在很多非肤色像素点或区块(如图3所示)。为了消除这些非人脸肤色区域, 本文首先将初检后的人脸图像转为256色灰度图后进行4-连通元检测, 然后根据连通元的大小、形状等消除不符合设定条件的区域, 得到最终的人脸肤色区域。

假设得到的连通元的坐标为 $L_i(x_{i1}, y_{i1}, x_{i2}, y_{i2})$ , 其中 $(x_{i1}, y_{i1})$ 、 $(x_{i2}, y_{i2})$ 分别为连通元的左上角和右下角点, 即连通元的宽 $w_i = x_{i2} - x_{i1}$ , 高 $h_i = y_{i2} - y_{i1}$ 。设 $L_i$ 内非零像素点的个数为 $N_i$ , 总像素点数为 $Z_i$ , 则将满足如下条件的连通元消除:

- 1) 如果  $N_i/Z_i \leq 0.5$ ;
- 2) 如果  $N_i < 300$ ;
- 3) 如果  $w_i < 10$  或  $h_i < 10$ ;
- 4) 如果  $w_i < 20$  并且  $w_i/h_i < 0.5$ ;
- 5) 如果  $h_i < 20$  并且  $w_i/h_i > 1.8$ 。

按上述策略消除非人脸区域的结果如图4所示。由于肤色预检后的肤色区域经常包含面部和颈部联合的情况(如图3(d)),采用文献[14]的宽高比策略 $0.8 \leq w_i/h_i \leq 2$ 会出现将人脸区域误消除的问题,该情况同样不满足文献[15]提到的人脸区域近似正方形的假设。

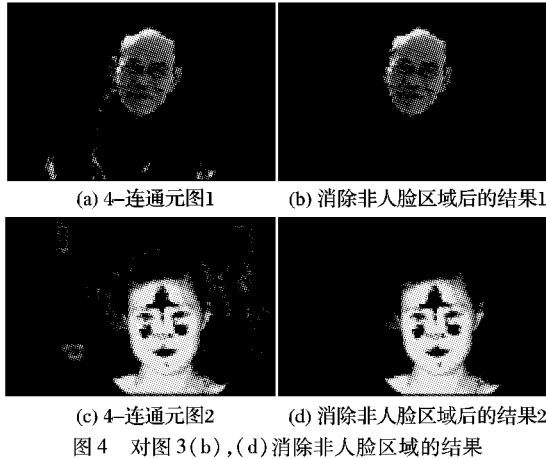


图4 对图3(b),(d)消除非人脸区域的结果

### 2.3 人脸区域的复原

经过以上步骤已经获得了较为准确的人脸肤色区域,但由于眼睛、嘴唇、少量高亮度区域等本应属于人脸的部分特征在肤色预检时被误消除,将影响后期的检测和识别工作。为此,需要对肤色区域的误消除部分进行复原。假设原图为 $S$ ,2.2节得到的结果图为 $R$ ,则在 $R$ 内再次进行连通元检测,设得到的某个连通元为 $L_i$ , $x_j(x,y) \in L_i$ ,逐行找到满足如下条件的第一个点 $x_{j1}$ 和最后一个点 $x_{j2}$ : $x_{j1} \in \{x_{j1}(x-1,y) \mid x_{j1}(x,y) < > 0 \text{ 且 } x_{j1}(x+1,y) < > 0\}$ , $x_{j2} \in \{x_{j2}(x,y) \mid x_{j2}(x,y) < > 0 \text{ 且 } x_{j2}(x+1,y) = 0\}$ 。然后将 $R$ 中 $x_{j1}$ 和 $x_{j2}$ 之间的像素点用 $S$ 的对应像素值覆盖,即实现了误消除区域的还原。还原效果如图5所示。



图5 图3(d)的还原效果

## 3 实验

本文采用的复杂光照下的测试图像共500张,大小不等。测试图像来自数码相机拍摄、网络、人脸库<sup>[16]</sup>和Caltech人脸库<sup>[17]</sup>。图6显示了本文方法和文献[8,11]的肤色检测效果比较。表1列出了本文方法和其他方法对500张测试图像的人脸肤色检测结果。

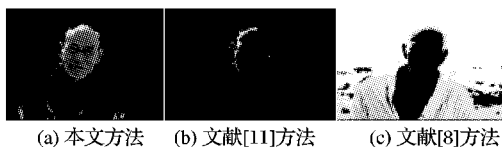


图6 不同方法对图3(a)的检测效果

表1 本文方法和其他肤色检测方法比较

肤色检测方法	正确检测率/%
文献[8]方法	62
文献[11]方法	46
文献[14]方法	69
本文方法	92

## 4 结语

本文实验证明,通过建立复杂光照的肤色模型在YCbCr颜色空间进行光照多变的肤色检测是可行的。由于本文考虑的光照情况比较多,彼此之间有一定的关联性,对检测结果有一定的负面影响,造成某些非肤色区域的误检,这些误检一般可以通过4-连通元的方法进行消除。但如果待检测图片的大片背景落入某个肤色模型区间内,该区域又不满足消除条件,将随同肤色区域一起被保留,造成一定的肤色冗余,如何消除此类误检是下一步研究的内容。

### 参考文献:

- [1] CHAI D, NGAN K N. Face segmentation using skin-color map in videophone applications[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(4): 551-564.
- [2] DAI Y, NAKANO Y. Face-texture model based on SGLD and its application in face detection in a color scene[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(6): 1007-1017.
- [3] CHEN Q, WU H, YACHIDA M. Face detection by fuzzy pattern matching [C]// ICCV'95: Fifth International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1995: 591-596.
- [4] MIYAKE Y, SAITOH H, YAGUCHI H, et al. Facial pattern detection and color correction from television picture for newspaper printing [J]. Journal of Imaging Technology, 1990, 16(5): 165-169.
- [5] GAO L, QOSHTASBY A. Detecting human faces in color images[J]. Image and Vision Computing, 1999, 18(1): 63-75.
- [6] MARTIN K, UPRI B, PIETIKAINEN M. Facial skin color modeling [M]// LI S Z, JAIN A K. Handbook of face recognition. Berlin: Springer, 2005: 113-135.
- [7] PHUNG S L, BOUZERDOUM A, CHAI D. A novel skin color model in YCbCr color space and its application to human face detection [C]// 2002 International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 2002.
- [8] LIN C. Face detection in complicated backgrounds and different illumination conditions by using YCbCr color space and neural network [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(16): 2190-2200.
- [9] de DIOS J J, GARCIA N. Face detection based on a new color space YCgCr [C]// 2003 International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 2003, 2: 909-912.
- [10] IKEDA O. Segmentation of faces in video footage using HSV color for face detection and image retrieval [C]// 2003 International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 2003: 913-916.
- [11] 丁海波, 薛质, 李生红. 基于HSI空间的肤色检测方法[J]. 计算机应用, 2004, 24(22): 210-211.
- [12] 齐永锋, 火元莲. 一种基于肤色的人脸检测与定位方法[J]. 计算机应用, 2009, 29(3): 785-788.
- [13] TORRES L, REUTTER J Y, LORENTE L. The importance of the color information in face recognition [C]// 1999 International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 1999: 3627-3631.
- [14] 王建国, 林宇生, 杨静宇. 基于新颜色空间YCgCr的人脸区域初定位[J]. 计算机科学, 2007, 34(5): 228-233.
- [15] 韩燕丽, 杨慧宇, 苏伟. 基于分形和肤色模型的自然态人脸检测方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(1): 251-254.
- [16] HOND D, SPACEK L. Distinctive descriptions for face processing [C]// Proceedings of the 8th BMVC. [S. l.]: BMVA Press, 1997: 320-329.
- [17] Caltech faces[EB/OL]. [2008-10-10]. <http://www.vision.caltech.edu/html-files/archive.html>.