

文章编号: 1000-5862(2013)04-0367-04

# 基于双色彩空间和面部矩形特征的人脸检测

朱志亮<sup>1</sup>, 熊 凤<sup>1</sup>, 陶向阳<sup>1,2\*</sup>, 刘晓山<sup>1,2</sup>

(1. 江西师范大学物理与通信电子学院, 江西 南昌 330022;

2. 江西省光电子与通信重点实验室, 江西 南昌 330022)

**摘要:** 在 YIQ 和 YCbCr 色彩空间中, 结合人类面部矩形的特征, 提出了一种用于人脸检测和定位的算法。该算法通过比较输入图像 R、G、B 3 通道总的平均值和 B 通道的平均值来选择色彩空间, 并采用基于积分图的 2 维 OSTU 法进行肤色分割; 然后根据肤色区域面积对肤色分割图像进行中值滤波; 最后根据中值滤波后的肤色分割图中的肤色区域面积构造最佳人脸矩形, 并用该矩形去定位人脸区域。实验结果表明: 该算法较传统的采用单一色彩空间的人脸检测算法具有更高的准确率。

**关键词:** 色彩空间; 肤色分割; 积分图; OSTU 算法; 人脸检测

**中图分类号:** TP 391.41      **文献标志码:** A

## 0 引言

人脸检测是从各种不同的背景中检测是否存在人脸, 并确定人脸的位置、大小等信息, 是计算机视觉的一个重要研究领域和计算机视觉相关工作的基础<sup>[1]</sup>。人脸检测的算法可以分为: 基于肤色的检测方法、基于形状的检测方法和基于特征的检测方法。其中, 基于肤色分割方法是在建立肤色模型的基础上, 通过肤色似然图的分割, 得到肤色区域, 最后利用人脸特征确定人脸区域<sup>[2]</sup>。基于肤色分割的人脸检测方法被证明是一种高效的分割人脸的方法, 对复杂背景、几何变换等具有较强的鲁棒性<sup>[3]</sup>。

基于 YCbCr 色彩空间的高斯肤色模型<sup>[4]</sup>是应用最为广泛的肤色模型之一。该模型建立的依据是假设 YCbCr 色彩空间中不同肤色的色度分量  $C_b$  和  $C_r$  的分布近似呈 2 维高斯分布<sup>[5]</sup>, 这种假设对于背景较为简单和光照较稳定的图像能获得较好的分割效果, 但是对于特定光照条件和背景较为复杂的图像就不适用了。为了进一步提高人脸检测算法的通用性, 本文在研究基于 YIQ 色彩空间的肤色分割的同时, 提出基于双色彩空间和面部矩形特征的人脸检测算法。实验结果表明, 对于来自 Markus Weber

在加州理工学院采集的正面人脸数据库的测试图片, 该算法能获得更好的检测效果和更高的准确率。

## 1 肤色相似图的获取

### 1.1 YCbCr 色彩空间中的肤色模型及其肤色相似图

高斯肤色模型是根据一定光照变化范围内的个人肤色在 YCbCr 色彩空间中符合高斯正态分布的特点<sup>[6]</sup>, 通过统计肤色样本在色彩空间的分布拟合得出高斯模型, 常用的单高斯模型的模型参数<sup>[7]</sup>为

$$\begin{cases} m = (117.436, 156.559, 9) \\ C = \begin{pmatrix} 160.130 & 12.143 & 0 \\ 12.143 & 299.457 & 4 \end{pmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

任何一个像素  $x(C_b, C_r)$  的肤色相似度  $h(C_b, C_r)$  的计算公式<sup>[8]</sup>为

$$h(C_b, C_r) = \exp[-0.5(x - m)^T C^{-1}(x - m)] \quad (2)$$

通过 (2) 式可以得到输入图像的肤色相似度矩阵  $h$ , 对肤色相似度矩阵归一化后就可以得到肤色概率图  $g$  为

$$g(x, y) = \frac{h(x, y)}{\max\{h(i, j)\}} \times 255 \quad (3)$$

### 1.2 YIQ 色彩空间中的肤色相似图

YIQ 色彩空间是 MTSI 电视传输中采用的彩色

收稿日期: 2013-04-10

基金项目: 江西省教育厅科技项目(GJJ13210), 江西省光电子与通信电子实验室基金(2011001)和江西师范大学博士启动基金(4029)资助项目。

通信作者: 陶向阳(1965-), 男, 江西南昌人, 教授, 博士, 主要从事激光光学与理论物理的研究。

模型,其中  $Y$  分量表示亮度  $I$  和  $Q$  分量表示图像的色度. 因为肤色的色度值和光源的光照密切相关,因此该色彩空间中的肤色聚类的结果较为适用于特定光照条件. YIQ 色彩空间和 RGB 色彩空间的转换公式为

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (4)$$

本文定义 YIQ 色彩空间的肤色相似图是通过对其  $I$  分量值进行绝对值化和截尾取整处理后得到新的分量对应的图像为

$$g(x, y) = \text{fix}\{|I(x, y)|\}, \quad (5)$$

其中  $\text{fix}$  表示截尾取整操作.

## 2 肤色分割

### 2.1 积分图及其在 2 维 OSTU 分割法中的应用

2 维 OSTU 法<sup>[9]</sup>是在 1 维 OSTU 法<sup>[10]</sup>的基础上通过构造 2 维直方图<sup>[11]</sup>来对图像进行分割. 计算 2 维直方图的算法主要步骤如下:

(i) 将一幅大小为  $m \times n$  的图像  $f(x, y)$  采用  $3 \times 3$  的均值滤波算子进行平滑处理得到邻域平滑图像  $g(x, y)$ ;

(ii) 建立一个  $256 \times 256$  的空矩阵  $data$ , 然后遍历  $f(x, y)$  与  $g(x, y)$ , 寻找对应像素并计数, 将其存到  $data$  中, 其实现思想为: 对于  $i = 1: m$  以及  $j = 1: n$  采用如下公式进行循环计算:

$$\begin{aligned} data(f(i, j) + 1, g(i, j) + 1) = \\ data(f(i, j) + 1, g(i, j) + 1) + 1. \end{aligned} \quad (6)$$

(iii) 以  $data$  矩阵的数据为基础, 计算 2 维直方图.

“积分图像”(integral image) 概念是由康柏研究院的 P. Viola 和 M. Jones<sup>[12]</sup> 首次提出的, 这种表示法大大加快了人脸检测过程中特征的计算速度, 其计算方法如下:

(i) 计算每一行的前  $y$  个像素的累加值  $s(x, y)$ :

$$\begin{aligned} s(x, 1) &= f(x, 1), \\ s(x, y) &= s(x, y-1) + f(x, y), \end{aligned} \quad (7)$$

其中  $x = 1, 2, \dots, m; y = 2, 3, \dots, n$ .

(ii) 计算任何一点  $(x, y)$  的积分图的取值  $g(x, y)$ :

$$\begin{aligned} g(1, y) &= s(1, y), \\ g(x, y) &= g(x-1, y) + s(x, y), \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $x = 2, 3, \dots, m; y = 1, 2, \dots, n$ .

用该方法计算一个输入图像的积分图像, 只需逐点扫描 1 次原图就可以了. 将其用于 2 维 OSTU 法可以加快分割速度.

### 2.2 基于双色彩空间的肤色分割算法

基于 YCbCr 色彩空间的 2 维 OSTU 肤色分割法对于某些图像的测试效果不理想, 而基于 YIQ 色彩空间的 2 维 OSTU 肤色分割法却能获得较好的效果. 为了更好地分割出肤色区域, 本文将 2 种色彩空间结合在一起, 提出基于双色彩空间的肤色分割算法. 算法步骤如下:

(i) 对所有像素点, 分别计算其 R、G、B 3 个分量的总和:  $sumR$ 、 $sumG$ 、 $sumB$ ;

(ii) 分别计算 R、G、B 3 个分量的平均值和总的平均值:

$$\begin{aligned} aveR &= sumR / (m \times n), \\ aveG &= sumG / (m \times n), \\ aveB &= sumB / (m \times n), \\ ave &= (aveR + aveG + aveB) / 3. \end{aligned} \quad (9)$$

(iii) 比较  $ave$  与  $aveB$ , 若  $ave > aveB$ , 则采用基于积分图和 2 维 OSTU 法的分割法对在 YIQ 色彩空间中得到的肤色相似图进行分割, 从而得到肤色区域; 若  $ave \leq aveB$ , 则采用同样的分割法对在 YCbCr 色彩空间得到的肤色相似图进行分割, 进而得到肤色区域. 这样可以得到分割后的二值图像  $outimag$ ;

## 3 基于面部矩形特征的人脸定位

在对图像进行肤色分割后, 需要进一步进行人脸的定位. 本文根据大部分的人脸对应的外接矩形的长宽之比约为 1.2, 在假设经过肤色分割后的肤色区域中面部区域占大部分的前提下, 提出基于面部矩形特征的人脸定位算法. 该算法通过对肤色分割二值图像采用适当的模板进行中值滤波, 并根据滤波后的肤色区域的面积和人脸长宽比构造最佳人脸区域矩形, 然后利用该矩形去寻找人脸区域, 具体算法步骤如下:

(i) 采用基于双色彩空间的肤色分割算法得到的二值图像  $outimag$  进行归一化处理:  $f = outimag / 255$ , 并计算归一化后的图像的所有像素值之和

total;

(ii) 以大小为  $m \times m$  的模板对  $outimag$  进行中值滤波, 得到输出图像  $ima$  其中  $m = \sqrt{total}/2$ ;

(iii) 对  $ima$  进行归一化处理:  $f_1 = ima/255$ , 并计算归一化后的图像的所有像素值之和  $total_1 =$

$$\sum_{i=1}^{im} \sum_{j=1}^{in} f_1(i, j);$$

(iv) 根据矩形长宽比为 1.2 得到检测矩形的长 ( $length$ ) 和宽 ( $wide$ ), 计算公式如下:

$$length = fix(\sqrt{total_1}/1.2),$$

$$wide = length \times 1.2,$$

其中  $fix$  表示截尾取整运算.

(v) 以该矩形为模板, 遍历滤波前的肤色分割二值图对应的归一化区域  $f$ , 计算矩形区域内的像素值之和  $n$ , 找出当  $n$  最大时对应的矩形的位置, 即矩形的左顶点的坐标 ( $x^*, y^*$ ), 计算表达式为

$$(x^*, y^*) = \operatorname{arcmx}\left\{\sum_{i=x}^{length+x-1} \sum_{j=y}^{wide+y-1} f(i, j)\right\}.$$

(vi) 以第 (iv) 步确定的矩形为边界, 在原图中标出人脸区域;

### 4 实验及分析

为了证明本文算法的可靠性, 在 CPU 为 Petium 3.2 GHz, 内存为 3 GB 的 PC 上利用 Matlab2010a 软件进行实验. 实验图片来自 Markus Weber 在加州理工学院采集的正面人脸数据库.

实验 1 双色彩空间的肤色分割和单色彩空间的肤色分割对比实验.

该组实验主要是验证基于双色彩空间的肤色分割算法的准确性, 实验结果如图 1 ~ 图 4 所示, 其中第 1 列为测试图, 第 2 列为基于 YCbCr 色彩空间和积分图的 2 维 OSTU 分割图, 第 3 列为基于 YCbCr 色彩空间的肤色提取图.

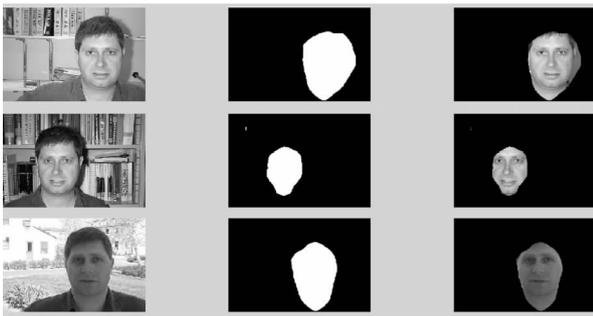


图 1 基于双色彩空间的肤色分割



图 2 基于 YCbCr 色彩空间分割效果图

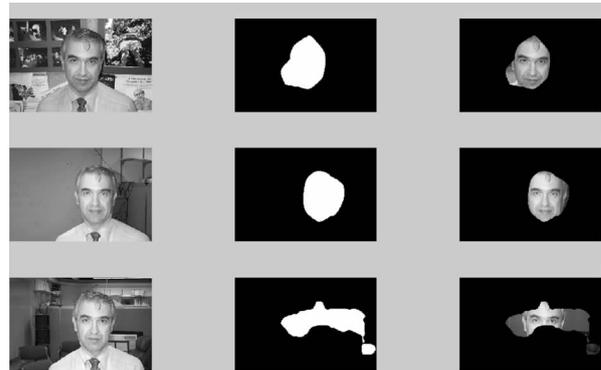


图 3 基于双色彩空间的肤色分割

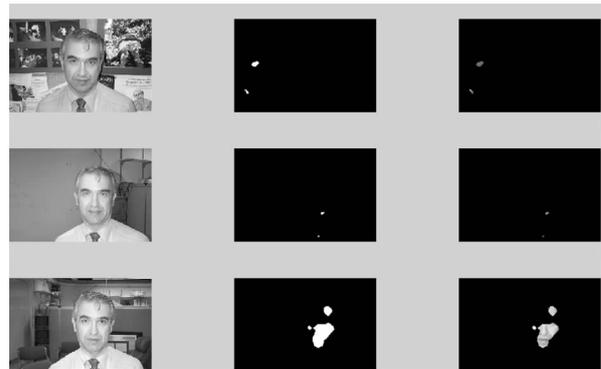


图 4 基于 YIQ 色彩空间的肤色分割

由实验结果可以看到, 基于双色彩空间的肤色分割算法结合了 2 种色彩空间对肤色分割的优势, 因此能获得比单一的色彩空间更好的分割效果. 本文提出的中值滤波的模板是建立在假设经过初次肤色分割后真正的肤色区域比伪肤色区域大很多的基础上的. 这种假设对于 Markus Weber 在加州理工学院采集的正面人脸数据库是比较合适的.

实验 2 基于面部矩形特征的人脸定位.

该组实验主要是验证本文提出的基于面部矩形特征的人脸定位算法的准确性. 实验连续对 8 幅图像进行了测试, 测试结果如图 5 所示.

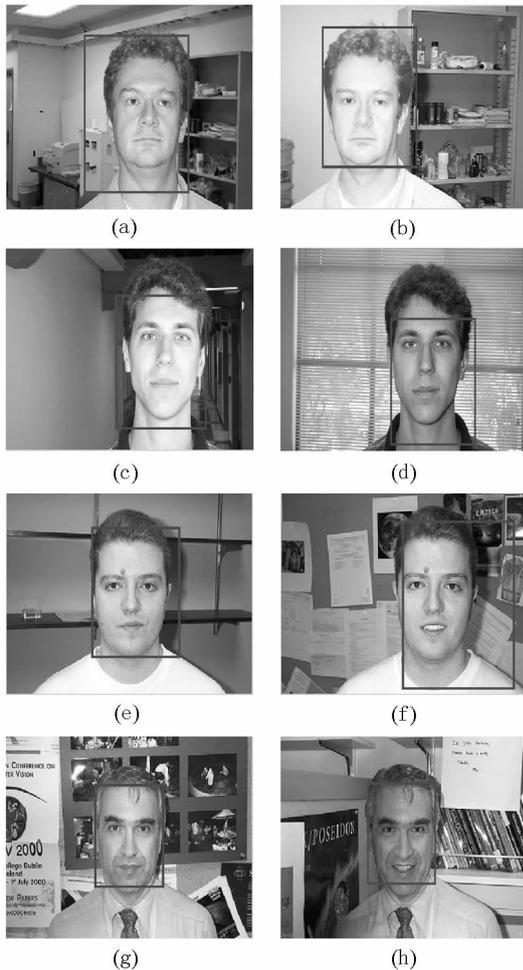


图 5 人脸定位结果图

由图 8 可以看到, 8 幅图像中的定位结果都是较为准确的, 只有图 5 (f) 中由于有过多的背景区域和肤色相似, 所以检测结果的范围较大, 不过也包含了准确的人脸区域, 可以进一步采用基于统计理论的人脸检测方法来定位人脸<sup>[13-15]</sup>。

## 5 结束语

本文提出了 YIQ 色彩空间中肤色相似图的概念, 并结合积分图和 2 维 OSTU 法, 提出了基于双色彩空间的肤色分割算法, 即通过比较输入图像 R、G、B 3 通道的总平均值和 B 通道的平均值的大小来自动选择色彩空间。基于面部矩形特征的人脸定位算法是在假设经过肤色分割后的肤色区域中面部区域占大部分的前提下, 通过对肤色分割二值图像采用适当的模板进行中值滤波, 再根据滤波后的肤色区域的面积和人脸长宽比构造最佳人脸区域矩形, 然后利用该矩形去定位人脸区域。实验结果表明, 对于单人脸正面图像, 本文算法比传统的基于单色彩

空间的检测算法能更准确地进行人脸检测和定位。

## 6 参考文献

- [1] 黑建业, 熊淑华, 马娅丽. 基于欧氏距离的人脸检测窗口合并方法 [J]. 计算机应用, 2013, 33(4): 1122-1124.
- [2] 张继涛, 王伟, 高君林. 基于肤色分割和模板匹配的人脸检测技术研究及实现 [J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1): 51-67.
- [3] 张立刚, 何东健. 基于肤色模型和区域特征的人脸检测方法 [J]. 计算机工程, 2008, 34(19): 209-211.
- [4] Phung S L, Bouzerdoum A, Chai D. Skin segmentation using color pixel classification: analysis and comparison [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(1): 148-154.
- [5] 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): 159-163.
- [6] Yang Jie, Lu Weier, Waibel Alex. Skin color modeling and adaptation [EB/OL]. [2012-12-18]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.44.8168>.
- [7] 冯伟兴. Visual C++ 数字图像模式识别技术详解 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [8] 郭耸, 顾国昌, 蔡则芬, 等. 肤色相似度和动态阈值相结合的肤色分割技术 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(18): 1-3.
- [9] 刘健庄, 栗文青. 灰度图像的 2 维 Otsu 自动阈值分割法 [J]. 自动化学报, 1993, 19(1): 102-106.
- [10] Ostu N. Athreshold selection method from gray level histograms [J]. IEEE Trans on SMC, 1979, 9(1): 62-69.
- [11] 刘健庄. 基于 2 维直方图的图像模糊聚类分割方法 [J]. 电子学报, 1992(9): 42-48.
- [12] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [EB/OL]. [2013-01-26]. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=990517&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=990517&tag=1).
- [13] 孙宁, 邹采荣, 赵力. 人脸检测综述 [J]. 电路与系统学报, 2006, 11(6): 101-113.
- [14] 田彦山, 马金伟. 视频中多信息融合的人脸检测方法 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2010, 34(6): 626-631.
- [15] 刘志勇, 冯国灿, 王珏. 局部线性嵌入及其在人脸表情识别中的应用 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 362-368.

(下转第 386 页)

- [9] 周模, 张建宇, 代亚非. 可扩展的 DHT 网络爬虫设计和优化 [J]. 中国科学: 信息科学, 2010, 40(9): 1211-1222.
- [10] 王珏. 重叠型 P2P 网络中的查询负载均衡策略研究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2012, 36(3): 292-296.
- [11] 姜梦稚. 基于 Java 的多线程网络爬虫设计与实现 [J]. 微型电脑应用, 2010, 26(7): 21-22.

## Design and Implementation of a Distributed Web Crawler

YANG Rui, HU Hong-si, ZHANG Wen-bo, YAO Tian-fang\*

(Department of Computer Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

**Abstract:** User-specified keywords to generate URL seeds by search engine has been used. Webpage for user's requirements as research corpus through distributed web crawler has been extracted. Experiments show that the distributed web crawler can be good solution to extract a large number of corpora in a short time.

**Key words:** distributed system; web crawler; design

(责任编辑: 冉小晓)

(上接第 370 页)

## Face Detection Algorithm Based on Double Color Space and Facial Rectangular Characteristics

ZHU Zhi-liang<sup>1</sup>, XIONG Feng<sup>1</sup>, TAO Xiang-yang<sup>1,2\*</sup>, LIU Xiao-shan<sup>1,2</sup>

(1. College of Physics & Communications Electronics, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

2. Key Laboratory of Photo-electronic & Telecommunication of Jiangxi Province, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** An algorithm for face detection and location based on human facial rectangular characteristics in the YIQ and the YCbCr color space has been proposed. The algorithm selects the color space by comparing the average of the input image channels of R, G and B with the average of the channel of B, and segments the skin area with the two-dimensional OSTU and integral figure. Then, the skin segmentation figure by median filter based on the acreage of the skin area has been processed. In the end, an optimal face region rectangle with the acreage of the skin area which has been processed by median filter has been constructed, and the rectangle to locate the face region has been used. The experiments show that the algorithm has higher accuracy than the traditional face detection algorithms using single color space.

**Key words:** color space; skin segmentation; integral figure; ostu algorithm; face detection

(责任编辑: 冉小晓)