

# 基于肤色模型和区域特征的人脸检测方法

张立刚, 何东健

(西北农林科技大学信息工程学院, 杨凌 712100)

**摘要:**精度和速度是人脸检测系统的两个衡量标准。针对传统人脸检测方法两者不能兼优的问题, 该文提出一种结合颜色空间和特征区域的人脸检测方法。该方法采用肤色模型提取肤色像素, 利用拓展的马赛克方法获取人脸区域, 构建模型并提取嘴唇和眼睛, 结合区域特征定位中心点。实验结果表明, 该方法简单易行、定位精确。

**关键词:**人脸检测; 肤色模型; 马赛克方法; 区域特征

## Face Detection Method Based on Skin Model and Regional Feature

ZHANG Li-gang, HE Dong-jian

(College of Information Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100)

**【Abstract】** Precision and speed are two appraisal criterions of face detection system. In order to get accurate precision and fast speed, this paper presents a novel method based on skin model and regional feature. This method extracts face pixels using skin model, then gets the face region through an extension method of mosaic, extracts the lip and eyes utilizing the built models and locates the central points based on the regional feature. Experiments show that the method performs easily and locates points accurately.

**【Key words】** face detection; skin model; mosaic method; regional features

### 1 概述

人脸检测的定义为: 对一幅任意图像, 通过检测确定图像中是否包含人脸, 如果存在, 则确定人脸的位置和范围。目前, 人脸检测方法主要有基于颜色特征的方法、人工神经网络方法、AdaBoost算法、主分量分析方法、模板匹配方法等。神经网络方法需要正负样本集的训练且要对图片遍历缩放, 再将其输入网络<sup>[1]</sup>; AdaBoost算法<sup>[2]</sup>提取样本特征, 需构建多个弱分类器组成强分类器, 训练过程耗时; 主分量分析法对高维降维以寻求主分量信号, 需要训练特征脸; 模板匹配适合于已确定人脸位置的检测。虽然这些方法已取得较高精度, 但算法都需要复杂的训练, 运算量大, 在实时性要求严格的场合速度很难满足要求。因此, 寻求精度和速度的平衡检测方法是人脸检测系统实现的关键。

肤色信息被证明是一种高效的分割人脸的方法, 对复杂背景、几何变换等具有很强的鲁棒性。因此, 可以利用肤色信息构建高效的人脸检测算法。人脸器官分布有不变的区域特征, 可以用来提高检测精度。本文以硬件实现人脸检测为应用目标, 研究并提出一种颜色空间和区域特征相结合, 算法简单、定位精确的人脸检测方法。

### 2 检测算法

算法流程如图1所示, 首先对图像进行亮度调整, 采用肤色模型提取肤色像素初步定位人脸区域后, 利用颜色特性提取嘴唇和眼睛区域, 再结合区域特征分割出嘴唇和左、右眼, 定位出中心点。



图1 人脸检测算法流程

### 3 肤色分割

肤色分割就是在合适的颜色空间中, 建立肤色模型, 提取肤色信息。Vladimir等将肤色模型分为4类: 直接定义肤色区域模型, 无参数肤色分布模型, 有参数肤色分布模型和动态肤色分布模型<sup>[3]</sup>。直接定义肤色区域法肤色模型构建简单, 选择合适的颜色空间能实现快速人脸分割。因此, 本文采用该方法, 它包括调整亮度和建立肤色模型。

#### 3.1 亮度调整

由于光照方向和图像获取设备的不确定, 会导致图像亮度不均匀, 而亮度变化会对颜色特征造成影响, 从而影响肤色检测。因此, 需要对亮度进行调整。本文采用 Gray World 算法, 该算法基于从物体表面反射回来的平均颜色对应于亮度颜色的假设, 能实现对 RGB 图像简单和快速的颜色补偿, 公式如下:

$$S_c = \frac{C_{std}}{C_{ave}}$$
$$C_{new} = C * S_c \quad (1)$$

其中,  $C_{std}$  为标准亮度图像 R, G, B 值;  $C_{ave}$  为输入图像的 R, G, B 平均值;  $C_{new}$  为变换后图像的 C 值。

$C_{std}$  确定方法如下: 在室内普通光线强度下, 拍摄相同背景的照片, 随机选取 20 张, 取 R, G, B 分量的灰度平均值作为  $C_{std}$ 。

#### 3.2 肤色模型

肤色分割的颜色空间主要有 RGB, HSV,  $YCbCr$  等, 选择合

**基金项目:** 陕西省自然科学基金资助项目(2004D12)

**作者简介:** 张立刚(1982-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图像分析与识别; 何东健, 教授、博士、博士生导师

**收稿日期:** 2007-12-25 **E-mail:** zlg246@yahoo.com.cn

适的颜色空间是决定分割效果好坏的主要因素，而没有一个现存的颜色空间能够胜任所有的图像。因此，本文选取两个颜色空间构建肤色模型进行检测。

针对  $YCbCr$  空间运算复杂的问题，Melanie在JPEG2000定义的无损编码——RCT(Reversible Component Transformation)的  $Y_r U_r V_r$  空间中，利用  $U_r, V_r$  分量提取肤色像素<sup>[4]</sup>。YES颜色模型是Xerox公司提出的一种颜色模型，包括  $Y, E, S$  颜色分量，分别代表亮度、红-绿轴的色度和黄-蓝轴的色度。其优点是计算效率高，亮度与色度信息分离，且避免了非线性空间的奇异性，适合于肤色分割。两个颜色空间的转化公式如下：

$$\begin{pmatrix} Y_r \\ U_r \\ V_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.250 & 0.500 & 0.250 \\ 0.500 & -0.500 & 0.000 \\ 0.000 & -0.500 & 0.500 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Y \\ E \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.253 & 0.684 & 0.063 \\ 0.500 & -0.500 & 0.000 \\ 0.250 & 0.250 & -0.500 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

实验发现：

(1)在  $Y_r U_r V_r$  空间中， $U_r$  分量在肤色提取中起主要作用。

(2)  $V_r$  与  $Y$  分量有相似的处理效果，从而可以代替  $Y$ ，克服其计算复杂的缺点。据此，本文采用  $Y_r, U_r$  和  $S$  分量构建肤色提取模型：

$$Map = \begin{cases} 0 & Y_1 < Y_r < Y_2 \cap U_1 < U_r < U_2 \cap S_1 < S < S_2 \\ 255 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

其中， $U_1 = 10$ ， $U_2 = 74$ ； $S_1 = 16$ ， $S_2 = 60$ <sup>[4]</sup>； $Y_1 = 70$ ， $Y_2 = 200$ 。 $Y_1$ 和 $Y_2$ 通过实验确定：在室内普通光线强度下，拍摄照片并手工选取大约20万肤色像素，进行直方图投影，确定其值。针对原图2(a)，处理结果如图2(b)所示。



(a)原图 (b)二值化图 (c)5×5分割结果 (d)4×4分割结果

图2 肤色分割

### 3.3 人脸区域分割

由于模型提取的二值图像包含噪声和相似人脸区域的伪区域，特别是嘴、眼睛等处留下“空洞”，因此需要弥补“空洞”，实现完整人脸区域的分割。形态学处理和边界跟踪是常用的方法，但测试发现，由于器官占人脸区域比重较大，形态学处理并不能有效地弥补“空洞”；边界跟踪易受小面积区域影响。针对一定大小范围的人脸图像，本文提出一种拓展的马赛克方法：(1)把图像分割为非重叠的  $a \times a$  子模块，统计模块内肤色像素点数，取阈值  $T_1$  进行二值化处理；(2)在  $a \times a$  子模块基础上，重复一次分割和二值化处理。针对  $120 \times 160$  的图像，取  $a=5$ ， $T_1=13$ ，二值化处理得到一个低分辨率的图像，如图2(c)所示。处理后，由于图片还可能存在“空洞”和边缘噪声，而一般的人脸区域不小于  $20 \times 20$ ，因此以  $5 \times 5$  为单位模块，再次选择  $4 \times 4$  的模块 ( $20 \times 20$  像素)，对图像进行遍历二值化，统计新模块内肤色单位模块的数量，阈值取13，从而弥补“空洞”，如图2(d)所示。

## 4 特征提取

提取出人脸区域后，为实现人脸特征的提取，有必要进

一步检测。颜色信息是提取脸部特征的有效方法，同时人脸的几何特征受旋转、缩放等变换和外界环境影响小，适合应用于人脸的精确定位。

### 4.1 嘴唇提取

由嘴唇和肤色色度分析可知，在  $YCbCr$  颜色空间中，嘴唇比肤色具有较高的  $C_r$  分量。同时，在  $YIQ$  颜色空间中，不同人种的嘴唇区域的  $Q$  分量分布在一定的范围内。因此，本文结合这两个特性，构建嘴唇的提取模型：

$$Map_{lip} = \begin{cases} 0 & C_1 < C_r < C_2 \cap Q_1 < Q < Q_2 \\ 255 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

其中， $[C_1, C_2], [Q_1, Q_2]$  分别为  $C_r$  和  $Q$  的取值范围。

在CVL图像库<sup>[5-6]</sup>中，选取肤色和嘴唇像素，进行统计，得到范围为： $C_1 = 160$ ， $C_2 = 174$ ； $Q_1 = 16$ ， $Q_2 = 30$ 。处理结果如图3(a)所示。

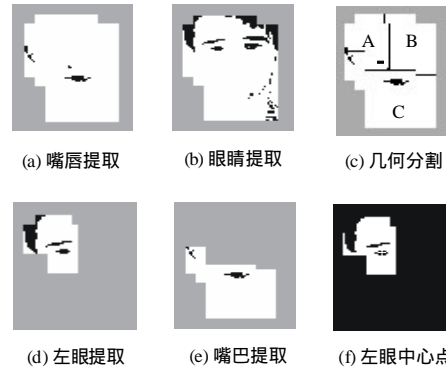


图3 特征定位

### 4.2 眼睛提取

在彩色图像中，虹膜的  $RGB$  值小，眼白的  $RGB$  值大，而两者的  $RGB$  差值很小。因此，可以利用  $RGB$  三色的两两差值的绝对值作为眼睛像素提取条件<sup>[7]</sup>。虹膜是眼睛最主要的特征，本文利用虹膜进行识别，同时为降低嘴巴、耳朵和人脸边缘等的影响，对  $RGB$  的最大值以及和值进行限制，构建眼睛的提取模型：

$$Map_{eye} = \begin{cases} 0 & F_1 < F < F_2 \cap M_1 < M < M_2 \cap S_1 < S < S_2 \\ 255 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

### 4.3 特征定位

经过以上处理，得到眼睛和嘴唇的候选块，为定位出它们的中心点，处理步骤如下：

#### (1) 区域分割

根据眼睛和嘴唇的几何分布特征，对3.3节得到的  $5 \times 5$  子模块组成的人脸区域，统计出该区域的垂直和水平平分线，如图3(c)所示，则左、右眼和嘴唇被分割在3个区域  $A, B, C$  中，设区域中心点为  $M(x_0, y_0)$ ，分割效果如图3(d)和图3(e)所示。这样，降低了器官的相互影响，同时去除了部分噪声的干扰，有利于后续处理。

#### (2) 形态学处理

为去除噪声的干扰，需进行形态学处理。在此，对眼睛和嘴唇区域，选取  $3 \times 1$  的方形模板进行开运算。

#### (3) 区域提取

对于眼睛，以左眼为例，为克服眉毛对眼睛的影响，在区域  $A$  中从区域中心  $M$  按图3(c)所示箭头方向向左上扫描，第一个黑色块就是眼睛区域。针对头发干扰的问题，依据头发分布在区域的左边界，采用如下算法去除干扰：对第  $N$  行

像素, 设该行肤色区域宽度为  $Width(N)$ , 若扫描像素数超过  $Width(N)/4$  时没有黑色像素, 则中止该行扫描, 继续扫描下一行; 若遇到黑色像素, 则为左眼区域最下部的像素, 记录该像素坐标, 终止扫描, 并搜索与其连通的所有像素, 这些像素即为左眼区域。右眼中心点同理得出。对于嘴唇, 根据在人脸中下部的特点, 从区域中心  $M$  点在区域  $C$  向下扫描, 用与眼睛一样的方法实现嘴唇区域提取。

(4)中心点定位

对于得到的眼睛和嘴唇区域像素, 求其重心, 定位中心点。定位左眼中心点如图 3(f)所示。

## 5 实验结果

在 CVL 人脸图像库中选取 38 幅正面和具有一定偏转的照片, 并在室内拍摄 20 幅照片, 调整自拍照亮度, 并处理所有照片大小为  $120 \times 160$  像素。使用 P4 2.8 GHz、512 MB 内存 PC 机, 在 VC6.0 环境下对照片进行检测实验。

在 58 幅照片中, 有 5 幅由于亮度不均衡和肤色变化太大, 没有提取出眼睛或嘴巴区域, 该方法识别率为 91.38%, 说明亮度是影响识别率的主要因素; 其他照片定位出左、右眼和嘴巴的中心点  $(x, y)$ 。实验中, 测定值以像素为单位, 以照片左上角为原点, 设手工定位的中心点为  $(x_0, y_0)$ 。

定义测定误差为

$$E_{item} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} \quad (6)$$

其中,  $item$  为左、右眼和嘴唇;  $n$  为识别正确的照片数。由测定结果得到左眼、右眼和嘴唇误差分别为:  $E_{lefteye} = 1.175$ ,

$E_{righteye} = 1.032$ ,  $E_{lip} = 3.682$ 。

考虑到手工定位也存在偏差, 该方法已实现眼睛的精确定位, 与文献[8]方法对比, 本方法大大提高了眼睛的定位精度。当嘴唇张开时, 易造成只扫描到上嘴唇区域的情况, 其定位方法还需要改进。

对于识别正确图像的特征点定位, CVL 人脸图像和自拍照分别平均用时为: 0.184 s 和 0.201 s, 说明了本方法的实时性。

(上接第 196 页)

## 4 结束语

本文 CM 评价模型考虑了全局的任务信息、协作者信息、环境信息, 解决了为每个 CM 设计一个评价模型的难题, 通用性很高。由于 CM 库中每个 CM 都能通过遗传操作产生很多变体, 因此有效解决了 CM 库的完备性问题。使用本文模型无须为 CM 库中的每种 CM 提供特殊评价函数就能正确评价 CM, 并能通过全局联合最优搜索方法找到与当前任务环境最相称的 CM。

本文模型及算法已在某雷达自协同作战原型系统中得到初步应用, 效果较好。笔者将进一步完善评价模型, 改进算法以提高搜索速度, 并将其应用于最终的雷达自协同作战系统中。

### 参考文献

[1] Excelente-Toledo C B, Jennings N R. Learning When and How to Coordinate[J]. Web Intelligence and Agent Systems, 2003, 1(3/4): 203-218.

## 6 结束语

本文提出了一种结合肤色模型和区域特征, 且适合于硬件实现的人脸检测方法。在  $Y, U, V$ , 和  $YES$  颜色空间中构建了一个高效的肤色提取模型, 提出一种扩展的马赛克方法来弥补“空洞”, 克服了传统形态学处理和边界跟踪的不足。结合  $Y_C, C_r$  和  $YIQ$  颜色空间的  $C_r$  和  $Q$  分量, 提取嘴唇区域; 并根据 RGB 分量的特点, 构建眼睛提取模型, 提取眼睛区域。根据区域特征, 提出分割左、右眼和嘴唇的方法, 并在分割区域内, 实现中心点的定位。实验表明该方法的有效性。

感谢 Peter peer 先生对本文帮助。

### 参考文献

[1] Smach F, Atri M, Miteran J, et al. Design of a Neural Networks Classifier for Face Detection[J]. Transactions on Engineering, Computing and Technology, 2005, 5(4): 274-277.

[2] Theocharides T, Vijaykrishnan N, Irwin M J. A Parallel Architecture for Hardware Face Detection[Z]. 2006.

[3] Vezhnevets V, Sazonov V, Andreeva A. A Survey on Pixel-based Skin Color Detection Techniques[C]//Proc. of GRAPHICON'03. Moscow, Russia: [s. n.], 2003: 85-92.

[4] Melanie P L. Hardware Implementation for Face Detection on Xilinx Virtex-II FPGA using the Reversible Component Transformation Colour Space[C]//Proceedings of the 3rd IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2005.

[5] Solina F, Peer P, Batagelj B, et al. Color-based Face Detection in the "15 s of Fame" Art Installation[Z]. 2003.

[6] CVL Face Database[EB/OL]. (2007-04-13). <http://www.lrv.f-ri.uni-lj.si/facedb.html>.

[7] 王文宁, 王汇源. 彩色图像中多姿态的人脸快速检测及定位[J]. 计算机工程, 2005, 31(17): 149-151.

[8] 侯云舒, 付中华, 张艳宁, 等. 基于改进 ASM 的人脸特征点提取[J]. 计算机应用研究, 2006, 23(11): 255-257.

[2] Bourne R A, Excelente-Toledo C B, Jennings N R. Run-time Selection of Coordination Mechanisms in Multi-agent Systems[C]//Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence. Berlin, Germany: [s. n.], 2000.

[3] Excelente-Toledo C B, Jennings N R. Learning to Select a Coordination Mechanism[C]// Proc. of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. Bologna, Italy: [s. n.], 2002.

[4] Excelente-Toledo C B, Jennings N R. The Dynamic Selection of Coordination Mechanisms[J]. Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 2004, 9(1/2): 55-85.

[5] Bourne R A, Shoop K, Jennings N R. Dynamic Evaluation of Coordination Mechanisms for Autonomous Agents[C]//Proc. of the 10th Portuguese Conference on AI. Porto, Portugal: [s. n.], 2001.

[6] 徐晓华, 陈峻, 陈宏建. 可变种群规模的遗传算法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 870-873.