

基于颜色重心和分层过滤结构的人脸检测算法

曾龙龙, 许建龙, 袁张露

(浙江理工大学信息学院, 杭州 310018)

摘要: 提出一种基于颜色重心六边形(color barycenters hexagon, CBH)模型, 结合分层过滤结构的人脸检测方法。首先根据肤色在空间的聚类特性检测人脸, 利用 CBH 模型将彩色图像中的肤色区域和非肤色区域分开, 得到人脸检测的候选区域; 然后利用级联型的分层过滤结构, 采用最优椭圆拟合、形态及方差验证、方向归一化和模板匹配等操作逐步排除非人脸区域, 最终确定并标记出彩色图像中人脸的位置。实验结果表明: 该方法能够在复杂背景的彩色图像中快速并且准确地检测出人脸, 误检率较低, 具有较高的应用价值。

关键词: 颜色重心六边形(CBH); 分层过滤; 模板匹配; 人脸检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

0 引言

人脸检测是指对于任意一幅给定的图像, 采用一定的策略对其进行搜索以确定其中是否含有人脸, 如果是则返回人脸的位置、大小和姿态。人脸检测对于自动人脸识别系统的研究具有重要的意义, 在信息安全、智能监控、虚拟现实等领域都具有广泛的应用前景。人脸检测的研究从 20 世纪 70 年代至今, 研究者提出了多种检测方法^[1], 大体上可以分为四类: 基于特征的方法, 利用在图像中搜索特定的角点、边缘、肤色和纹理区域来检测人脸; 基于人脸知识的方法, 根据对人脸知识的了解建立人脸特征间联系的规则, 再根据这些规则来判断检测的结果; 基于模板匹配的方法, 该算法先对人脸建模, 构建相应的模板, 通过匹配来检测和定位人脸; 基于外观的方法, 该方法也可以使用模板匹配的方法来检测人脸, 只是该模板(或模型)是通过训练学习而得到的。相关的人脸检测方法可参考文献[2-5]。但是这些检测方法在实际应用中存在各自的局限性, 如基于知识的方法对于正面人脸具有较高的检测精度, 但不适用于多姿态的人脸检测; 基于模板匹配的方法存

在冗余匹配次数多、检测速度难以提高的缺点。本文提出了一种基于颜色重心和分层过滤结构的人脸检测算法, 首先通过采集不同肤色的人脸的皮肤样本, 计算出颜色重心并在颜色重心六边形中建立肤色模型, 然后利用肤色阈值进行肤色分割, 最后利用级联型的分层过滤结构进行人脸的检测和标识。实验表明, 该方法可以克服姿势、表情、局部遮挡等干扰, 在复杂背景环境下可以得到较理想的检测结果, 具有较强的鲁棒性。

1 肤色分割

肤色是人脸的重要信息, 它虽然对光照敏感, 但是它不受人脸特征影响, 对于旋转、姿态等变化情况都能使用, 具有相对的稳定性、可靠性, 且区别于绝大多数背景物的颜色。在通常的光照条件下, 人脸肤色会集聚在色彩空间中某个特定的区域内。通过在合适的色彩空间上对肤色采样, 建立一个分布函数或区分肤色与非肤色的合适阈值, 就能实现肤色和非肤色的区分, 即肤色分割。

1.1 颜色重心六边形(CBH)模型

通常使用 RGB、YCbCr、HSV 和 HIS 等颜色空

间,在文献[6]中,提出了一种颜色重心六边形(color barycenters hexagon, CBH)模型,其基本思想是将RGB颜色空间转换到二维空间中,建立一个由三个向量组成的彩色三角形,如图1,对于彩色图像中的任意像素,其R、G、B值在该空间中对应该像素的一个重心,该重心在二维平面上的角度反映了该像素点的颜色信息,采用极坐标描述如下式所示:

$$\begin{cases} R:r(\varphi_R)=r_R, (\varphi_R=90^\circ, 0\leq r_R\leq 255) \\ G:r(\varphi_G)=r_G, (\varphi_G=210^\circ, 0\leq r_G\leq 255) \\ B:r(\varphi_B)=r_B, (\varphi_B=330^\circ, 0\leq r_B\leq 255) \end{cases} \quad (1)$$

由式(1)可知,R、G、B三个向量方向固定,取值为[0,255],不同的R、G、B值构成不同形状的彩色三角形,相应的重心位置也不同。所有可能的重心位置构成了一个六边形区域,如图2所示。对于所有的彩色三角形,其重心位置反映了对应像素点的颜色信息,例如:彩色三角形[150,25,15],[25,80,135]和[200,194,130],如图3所示,“×”表示颜色重心的位置。

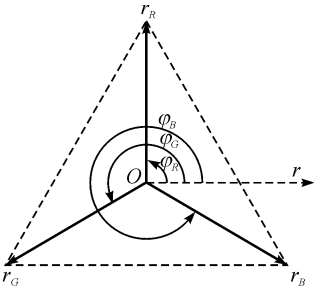


图1 颜色三角形

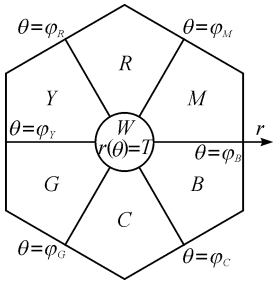


图2 CBH模型

如图2所示,六边形区域可以分为7个不同区域:红(R)、绿(G)、蓝(B)、青(C)、洋红(M)、黄(Y)、无色(W)。当R、G、B值近似相等时,对应重心落在中心的圆形区域,该区域颜色信息较少,通常为噪声区域,设阈值T,该区域可表示为:

$$W:r(\theta)=T, (0\leq T\leq 85) \quad (2)$$

在圆形区域周围有6个颜色区域,分别对应6个分割阈值,各区域阈值如下:

$$\begin{cases} M:r(\theta)=r_M, (\varphi_B\leq\theta\leq\varphi_M, T<r_M) \\ R:r(\theta)=r_R, (\varphi_M\leq\theta\leq\varphi_R, T<r_R) \\ Y:r(\theta)=r_Y, (\varphi_R\leq\theta\leq\varphi_Y, T<r_Y) \\ G:r(\theta)=r_G, (\varphi_Y\leq\theta\leq\varphi_G, T<r_G) \\ C:r(\theta)=r_C, (\varphi_G\leq\theta\leq\varphi_C, T<r_C) \\ B:r(\theta)=r_B, (\varphi_C\leq\theta\leq\varphi_B, T<r_B) \end{cases} \quad (3)$$

在式(2)、式(3)中,T、 φ_M 、 φ_R 、 φ_Y 、 φ_G 、 φ_C 和 φ_B 为分割阈值,实验中初始值分别为5°、60°、120°、180°、240°、300°和360°。

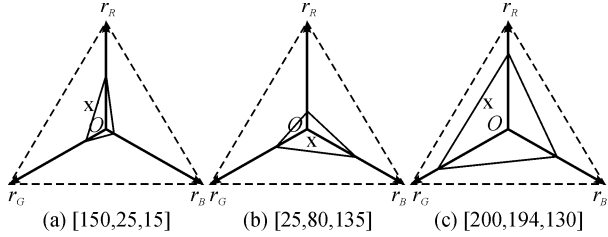


图3 不同彩色三角形的重心分布

1.2 肤色阈值分割

尽管不同图像的人脸肤色不同,但通常颜色是接近的,仅在于光照的不同,对于不同的图像和目标,分割阈值也是不同的,根据上述CBH模型,只需要3个阈值即可分割出肤色区域。为了获取肤色阈值,对采集到的65幅人脸图片中的肤色样本进行分类,计算肤色样本的颜色重心(x,y),并将其描绘在CBH模型上,如图4所示。通过观察这些重心的分布可以得到肤色阈值(Skin):

$$\text{Skin}:r(\theta)=r_{\text{Skin}}, (135^\circ\leq\theta\leq 90^\circ, r_{\text{Skin}}>5) \quad (4)$$

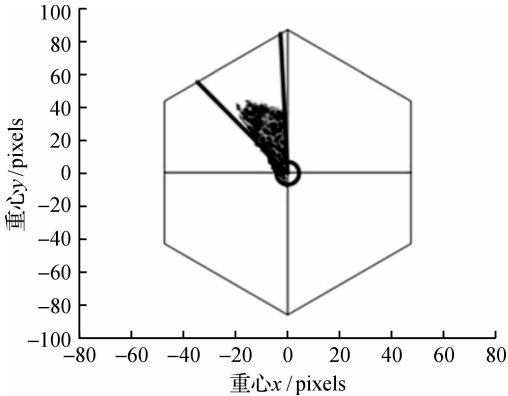


图4 肤色分布

选取两幅样本图像如图5(a),(b)所示,利用式(4)设定的阈值对图像进行分割,当某点像素的重心落在这个阈值内则认为该点为肤色像素,其值不变,反之则置为0。分割结果如图5(a1),(b1)所示。

2 人脸检测

在利用CBH模型获得肤色区域后,需验证其是否是人脸区域。为了提高检测的速度和鲁棒性,提出一种分层过滤的级联型检测结构,如图6所示。首先通过形态学操作去除较小的区域,减少人脸候选区域;为了处理不同姿态的人脸,对所有人脸候选区域进行最优椭圆拟合,利用人脸区域的高度和宽度等先验知识,去除大部分背景区域和其它肤色区域,由于人脸区域包含眼睛、嘴巴等不同亮度信息,因此其方差不同于其它肤色区域,设定一个方差阈值,可去除非人脸区域;最后结合人脸模板进行匹

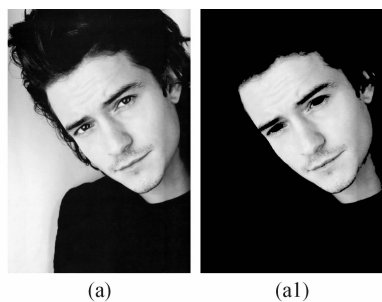


图 5 样本图像(a,b)和肤色分割结果(a1,b1)

配,确定并标记出彩色图像中人脸的位置。该方法利用分层过滤结构对所有的人脸候选区域检测,不但能够有效地去除肤色检测的误检区域,加快了检测速度,而且对多姿态、多人脸和复杂背景等情况具有很好的检测效果。

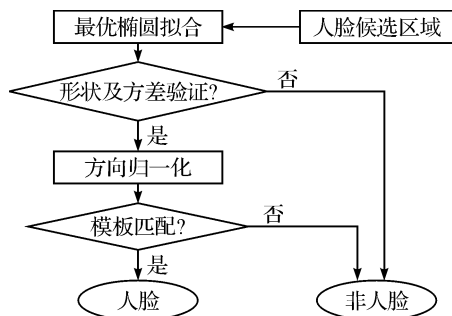


图 6 人脸检测流程

2.1 人脸候选区域

对于复杂背景图片,经过肤色分割提取出的肤色候选区域,由于光照、噪声等因素使得肤色区域包含很多没有完全填充的独立小区域。为了消除这些因素的影响,必须对肤色区域进行形态学操作(腐蚀、膨胀);同时移除背景中的孤立像素点,选取肤色连通区域作为人脸候选区域,包括人脸区域、与肤色相近的背景区域和其它肤色区域。对于非人脸区域,在后续的算法步骤中予以排除。

2.2 最优椭圆拟合

脸的形状可以近似于一个椭圆,为了找到最合适的椭圆,可以使用基于区域或边缘的椭圆拟合。在本文中,使用 Pitu M 等^[7]提出的最小平方椭圆拟合,对相应的人脸候选区利用边界信息拟合最优椭圆。最小平方是在随机误差为正态分布时,由

最大似然法推出的一个最优估计技术,它可使测量误差的平方和最小,因此被视为从依次测量值中求出一组未知量的最可信赖的方法之一,具有很好鲁棒性。图 7 为一个最优椭圆拟合过程。

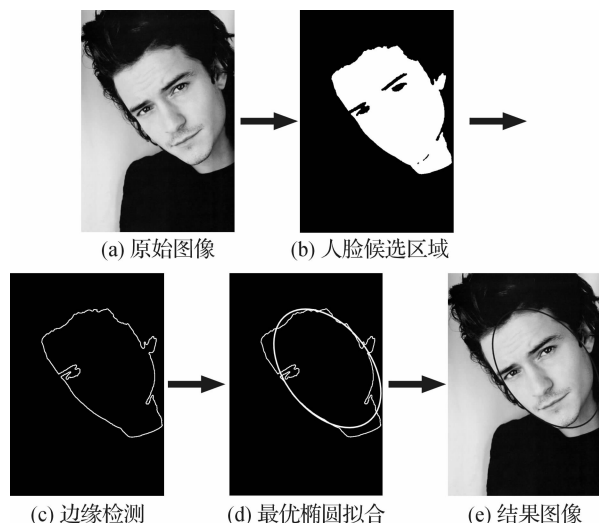


图 7 最优椭圆拟合

2.3 形状和方差验证

经过肤色分割和椭圆拟合处理之后,对于具有复杂背景的图片来说,得到一系列的连通区域,这些区域包括人脸区域、与肤色相近的背景区域及其它肤色区域(如手、臂等)。对于虚假区域,首先可利用人脸区域的宽度和高度等先验知识,将人脸候选区域中的大部分的干扰背景去掉,其次利用人脸肤色区域和非人脸肤色区域方差分布的差别,去除其它非人脸肤色区域的干扰,步骤如下:

a) 人脸形态约束。在人脸目标属性中, H 、 W 分别代表人脸的高和宽,对应着最优椭圆拟合中目标的长轴(r_{long})和短轴(r_{short}),为了去除形状不符合人脸的干扰区域,综合多方面的因素以及反复的验证,实验中,设定人脸高度和宽度比例如下:

$$1.1 \leq \frac{H}{W} \leq 1.8 \quad (5)$$

b) 方差验证。因为眼睛、嘴和眉毛等的颜色亮度与肤色不同,所以对于人脸肤色区域和非人脸肤色区域,方差分布有着明显的差别。另外,鉴于面部特征在红色通道中表现突出,因此仅在该通道中计算方差。由于光照变化和其它因素的影响,所设的阈值应在人脸方差 δ 附近,以保证不会将人脸区域移除。

2.4 方向归一化

通过最优椭圆拟合算法为每一个候选区域计算出最佳匹配椭圆之后,在经过形状和方差验证减少

了人脸候选区域,接下来要对图像进行方向归一化处理,为后续的模板匹配做准备。

若 $(x_{rotated}, y_{rotated})$ 表示人脸像素在 (x, y) 处得旋转坐标,则图像的方向变换公式可用下式表达:

$$\begin{cases} x_{rotated} = x\cos\theta + y\sin\theta \\ y_{rotated} = y\cos\theta - x\sin\theta \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中的取值要依据最优椭圆拟合与标准方向的偏移量来进行计算。运用式(6)将人脸方向归一化处理的实验过程和实验结果如图8所示。

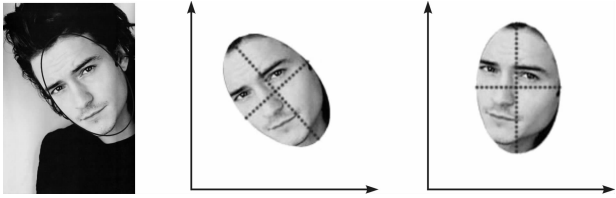


图8 方向归一化

2.5 基于模板匹配的人脸验证

通过对肤色分割后得到的候选区域进行分层过滤之后,可能还存在一些和人脸类似的非人脸区域,对于这些区域,利用模板匹配,判断该候选区域是否是人脸并标记出最终的人脸位置。

对于肤色分割以及优化处理后得到的人脸候选区域,将其转换成灰度图像并进行旋转变换和灰度分布标准化。然后根据候选区域的大小,选取合适的人脸模板进行自适应模板匹配,将满足一定条件并达到匹配度阈值的人脸候选区域作为最终人脸并标记。

人脸候选区域灰度矩阵 $R[M][N]$,灰度均值 μ_R ,均方差 δ_R ,人脸模板灰度矩阵为 $T[M][N]$,灰度均值 μ_T ,均方差 δ_T 。人脸候选区域灰度矩阵与人脸模板灰度矩阵的相关系数 $r(T, R)$ 以及对应像素灰度的平均偏差 $d(T, R)$ 分别为

$$r(T, R) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (T[i][j] - \mu_r)(R[i][j] - \mu_r)}{M * N * \delta_T * \delta_R} \quad (7)$$

$$d(T, R) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (T[i][j] - R[i][j])^2}{M * N}} \quad (8)$$

式(7)、式(8)中: $r(T, R)$ 越大表示人脸模板与人脸候选区域的匹配程度越高;而 $d(T, R)$ 则正好相反。将他们综合起来便可作为匹配程度的度量:

$$D(T, R) = r(T, R) + \frac{\alpha}{1 + d(T, R)} \quad (9)$$

式(9)中: α 为权重系数,取经验值为35.0。

3 实验结果及分析

为了验证本文算法的鲁棒性,笔者分别从网络、数字视频摄像头、人脸数据库中收集了不同大小、不同复杂背景程度的单人脸和多人脸图像进行比较仿真实验,其中包括200张彩色图像,每张图像包含1张或多张人脸,共326张人脸。大部分人脸姿态各异,包括旋转的正面和侧面人脸。测试环境为:Inter Core2 CPU 1.66GHz Notebook,在Visual C++平台上编程实现。测试结果如表1所示。

表1 实验结果统计

检测算法	待检测人脸数量	正确检测数量	误检量	正确率/%	平均检测时间/ms
模板匹配	326	272	23	83.4	113
Adaboost 算法	326	292	15	89.6	81
本文方法	326	311	7	95.4	52

从实验数据看,相对于单纯的模板匹配方法和基于Adaboost算法,本文算法在检测率和检测速度上都有所提高。而且,采用肤色分割和模板匹配算法能够适用于不同大小、不同肤色、不同姿态的人脸检测,具有一定的适应性。图9是采用所提算法得到的部分实验结果。

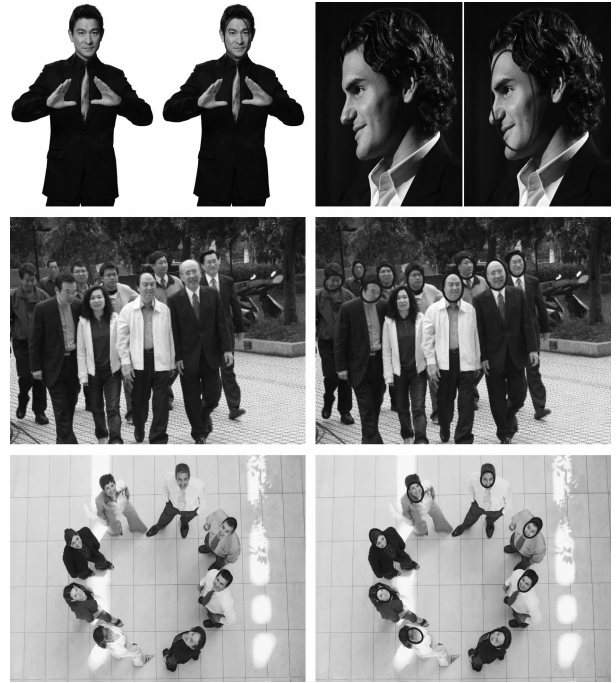


图9 实际图像检测结果

4 结 语

针对复杂背景下的彩色图像,提出了一种基于颜色重心六边形和分层过滤模型的人脸检测方法。该方法综合利用了肤色信息、形状信息和基于模板

匹配的验证,能够快速有效地缩小人脸检测的范围,提高人脸检测速度。通过形状和方差信息选取人脸样本,提高了人脸候选区域的有效性。同时,对人脸椭圆区域进行归一化处理,得到大致正向的人脸候选区域,较好地解决了多姿态人脸检测问题。实验结果表明,该方法提高了检测率和检测速度,具有较少的误检量,对局部遮挡、表情和姿态具有较强的鲁棒性。

参考文献:

- [1] Yang M H, Kriegman D, Ahuja N. Detecting faces in images: a survey[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 24(1): 34-58.
- [2] 梁路宏, 艾海舟, 徐光佑, 等. 基于模板匹配与人工神经网络确认的人脸检测[J]. 电子学报, 2001(6): 744-747.
- [3] Jee H, Lee K, Pan S. Eye and face detection using SVM[C]//Proceedings of the 2004 Int'l Sensor Networks and Information Processing Conference, 2004: 577-580.
- [4] 彭振云, 陶霖密. 基于颜色分割和 KL 变换的人脸特征检测[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2001, 41(4/5): 218-221.
- [5] Jayaram S, Schmugge S, Shin M C, et al. Effect of color-space transformation, the illuminance component, and color modeling on skin detection[C]//Proceedings of Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004(2): 813-818.
- [6] Zhang Q, Kamata S, Zhang J. Color barycenter hexagon model based road sign detection[J]. Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists, 2008(1): 19-21.
- [7] Pilu M, Fitzgibbon A, Fisher R. Ellipse-specific direct least-square fitting [C]//IEEE Conference on Image Processing, Lausanne, 1996(3): 599-602.

Face Detection Using Color Barycenter and Hierarchical Filtering Structure

ZENG Long-long, XU Jiang-long, YUAN Zhang-lu

(School of Informatics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This paper introduces a method based on color barycenter hexagon model and hierarchical filtering structure which detects faces in color image. In the first step, according to the clustering characteristics of skin color in the space, the method separates the skin regions from non-skin regions using CBH model, and gets the face candidate region. Then in order to eliminate the non-human faces, the authors organize some operations on a cascade structure which includes best-fit ellipse, shape and variance verifications, orientation normalization and template matching. At last, it identifies and marks the location of the human face. The results of experiments show that the method can have rapid and accurate detection of a human face in the color image with complex background, the rate of false detection is low, and has a great value in application.

Key words: color barycenter hexagon model; hierarchical filtering; template matching; face detection
(责任编辑: 陈和榜)