

基于模糊聚类的肤色分割

孔潇* 刘党辉*** 沈兰荪*

*(北京工业大学信号与信息处理研究室 北京 100022)

** (装备指挥技术学院 北京 101416)

摘要: 肤色是彩色图像人脸检测中一个非常重要的特征。通常采用一个统计模型分割出可能的肤色区域,但往往会有很多误判。此外, CbCr 等简单的二维空间,不能表示真正的肤色分布。该文提出采用三维的 CrCbCg 模型来更精确地描述肤色分布,同时考虑到一幅图像中肤色区域内颜色点的分布具有相对稳定的特点,利用一种模糊聚类的方法对 CrCbCg 模型的输出结果进行二次分割,进一步去除非肤色点。由于结合了每幅图像自身的特点,该算法能大大提高肤色分割结果的准确性。大量实验结果表明,该算法能有效处理 95% 以上的彩色图像,对于 70% 以上的图像可得到很好的分割结果。

关键词: 人脸检测, 肤色模型, 聚类分割

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)11-1778-04

Skin Extraction Based on Fuzzy Cluster

Kong Xiao* Liu Dang-hui*** Shen Lan-sun*

*(Signal Information Processing Lab, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

** (The Academy of Equipment, Command and Technology, Beijing 101416, China)

Abstract Skin color is an important feature for face detection in color images. Usually by applying a statistical skin model, possible skin region can be segmented. However, the output can not be as accurate as expected. Besides, simple 2D model, e.g. CbCr, can not present the real skin point distribution. So this paper presents a 3D CrCbCg model to describe skin distribution more precisely. Meanwhile, considering skin points in a specific image have a relative stable distribution, a cluster-based skin model is presented to remove background points which are wrongly retained by the general model. Because of applying the characteristic of each specific image, this algorithm can effectively improve the performance and accuracy of skin model. Experimental result shows that this algorithm can achieve satisfied results for over 95% images, including obviously improved images for over 70% .

Key words Face detection, Skin model, Fuzzy cluster

1 引言

检测彩色图像中的人脸时,肤色是脸部区别于其他区域的重要特征,同时因其对姿势、旋转、表情等变化不敏感,已成为彩色图像人脸检测中的一个非常重要的特征^[1,2],可有效去除图像中复杂背景的干扰、减小待搜索范围。由于各类肤色点在颜色空间中呈现非常集中的分布,通常可用一个简单的模型来近似描述这个分布^[3-5]。但是,由于光照的影响以及不同人种肤色的交叉和混合,在实际应用中,这种简单模型一般仍不能获得令人满意的分割结果。而且,通常采用的二维肤色模型,如CbCr模型等,丢失了肤色分布中的亮度

特征,这也造成了模型的不准确。为此, Hsu等^[3]提出一种光照补偿加颜色非线性变换的方法来克服光照的影响,但仍难以准确描述空间中的不规则肤色分布特征。Dios等^[4]提出采用YCgCr颜色空间,对于肤色分布, CgCr平面比CbCr具有更规则的分布,但是采用的仍是二维肤色模型。

另外,通用的肤色模型在训练时,将包含各种颜色的肤色点放在训练集内一起训练,由此得到模型的优势在于可对不同人种的肤色具有较强的适应性。但同时带来的缺陷在于对每副特定图像,分割结果在保留了真正肤色区域之外,常常会保留下很多背景点。因此,需要考虑保持肤色模型在对

各种肤色有较好适应性的基础上，获得对具体图像更好的分割结果。

基于上面的分析，本文提出采用三维的 CrCbCg 彩色空间建立肤色模型。同时，考虑到每幅具体图像中人脸肤色的分布具有一定的稳定性，而背景中伪肤色点的分布则相对散乱，提出了一种基于模糊聚类的方法进一步去除背景干扰，从而获得真正的肤色区域。

2 CrCbCg 空间的肤色模型

YCbCr 是最常用的彩色空间，但由于光照的影响，肤色在 YCbCr 空间中的分布不是简单的二维关系，即使实际肤色相同的两个点，由于光照的影响，转化到 YCbCr 空间后可能位于距离较远的空间位置上，从而影响其二维投影的分布。因此，我们考虑采用三维的 CrCbCg 彩色空间，CrCbCg 的 3 个分量可由式(1)得到，其中 r, g 和 b 是 R, G 和 B 的归一化彩色分量，可在一定程度上减弱光照的影响。肤色在 CrCbCg 空间中的分布如图 1 所示。

$$\begin{bmatrix} Cg \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 128 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -81.085 & 112 & -30.915 \\ -37.945 & -74.494 & 112 \\ 112 & -93.768 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (1)$$

3 基于模糊聚类的肤色分割

目前的肤色分割算法大多利用一个统计的肤色模型来分割图像，但使用这种方法只利用了模型分布的先验信息，而对于一幅具体的图像，由于没有考虑其自身的具体分布，会保留下较多背景区域。考虑到一幅图像中的肤色区域点的颜色分布具有一定的稳定性，而其他颜色点分布则并无明显规律，我们提出在通用模型分割结果之后，通过进一步采用模糊聚类方法来获得真正的肤色区域，从而提高了肤色分割的准确度。

3.1 基于统计模型的肤色分割

采用 CrCbCg 肤色模型进行初次分割后，得到候选肤色区域，然后统计该区域内各颜色点出现的概率，去除一些概率极小点后，可得到该图像的肤色分布图。图 2 给出了一个

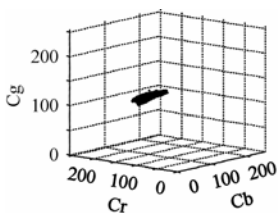


图 1 肤色点在 CrCbCg 空间内的统计分布

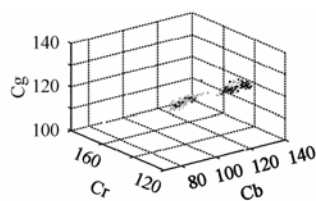


图 2 一幅实际图像中主要肤色点在 CrCbCg 中的分布

例子，可以看到各颜色点的分布呈现明显的聚类分布特点(肤色点出现概率由大到小依次用红、蓝、绿、浅蓝、紫、黄等不同颜色表示)。

经分析可知，中间位置的聚类大致为黄色、白色皮肤的肤色点位置，并且各点出现概率的变化相对较小；而右边的聚类则大致为头发、黑色区域以及其他背景点，各点出现的概率变动相对较大。

根据这个特点，可采用模糊聚类算法，对初始分割后的各点聚类。如果获得多个聚类中心，就可跟据各类的分布特点，利用判决策略确定出真正肤色聚类，舍弃背景聚类。反之，如果没有明显的多个聚类中心，则不做处理，保留初始分割结果。

3.2 模糊聚类算法

对分割后肤色点聚类时，使用改进的模糊C均值算法^[6]。设 $\{x_i, i=1,2,\dots,n\}$ 是 n 个样本组成的样本集合， c 为预定类的数目， $m_j, j=1,2,\dots,c$ 为每个聚类的中心，隶属度函数 $\mu_j(x_i)$ 表示第 i 个样本 x_i 属于第 j 类的概率。

用隶属度函数定义的聚类损失函数可以写为

$$J_f = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n [\mu_j(x_i)]^b \|x_i - m_j\|^2 \quad (2)$$

其中 $b > 1$ 是一个可控制聚类结果模糊程度的常数。

限制隶属度函数，使所有样本对各类的隶属度总和为 n ，即

$$\sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n \mu_j(x_i) = n \quad (3)$$

由此，在式(3)的约束下求式(2)的极小值，可得

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^n [\mu_j(x_i)]^b x_i}{\sum_{i=1}^n [\mu_j(x_i)]^b}, \quad j=1,2,\dots,c \quad (4)$$

$$\mu_j(x_i) = \frac{n \left(\frac{1}{\|x_i - m_j\|^2} \right)^{1/(b-1)}}{\sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n \left(\frac{1}{\|x_l - m_k\|^2} \right)^{1/(b-1)}}, \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,c \quad (5)$$

实际使用时，对每个点引入权重的概念，将各颜色点出现的概率作为辅助隶属度函数的权重值 w_i ，使式(4)变为

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^n [\mu_j(x_i)]^b w_i x_i}{\sum_{i=1}^n [\mu_j(x_i)]^b w_i}, \quad j=1,2,\dots,c \quad (6)$$

根据式(5)、式(6)，通过迭代的方式使聚类中心由初始位置向目标位置靠近，具体的迭代算法为：(1)设定聚类数目

c 和参数 b ; (2)初始化各个聚类中心 m_i 和隶属度函数 $\mu_i(x_j)$; (3)用当前聚类中心 m_i 根据式(5)计算隶属度函数 $\mu_i(x_j)$; (4)用新隶属度函数根据式(6)更新聚类中心; (5)若算法收敛则停止, 否则返回(3)。

3.3 肤色聚类区域的判决

模糊聚类后, 需利用一个判决准则来确定保留哪个聚类, 去除哪个聚类或者保留所有聚类, 为此我们利用如下3个判决条件。

(1) 肤色模型的先验信息 训练肤色模型时, 将肤色点出现概率较高的区域标注出来, 如果聚类后某类的中心以及属于该类的大部分点均在这个高概率区域内, 则表明其为肤色聚类的可能性很大, 不管后续两个条件是否满足, 均将其保留, 从而避免肤色区域被误判为背景区。高概率肤色点的分布如图3所示。

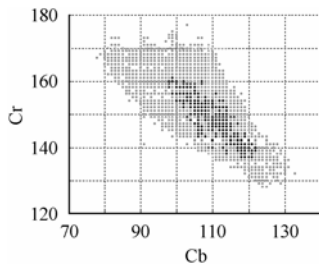


图3 高概率肤色点的分布

(2) 聚类中心间的距离 如果待测图像中的颜色点具有如图2所示的分布形式, 则经过模糊聚类后可得到两个中心, 且这两个中心的位置相距较远。反之, 如果没有明显的分布中心, 则聚类后只有一个中心或有两个中心且距离较近。如果两中心距离大于设定的阈值, 则应用聚类结果进行再次分割, 反之则保留原结果。

(3) 聚类中各点出现概率的方差 考察图2中两个聚类的分布, 发现真正肤色区域内, 各颜色点出现的概率比较平均, 而背景区域内干扰点出现的概率则无明显规律, 呈现一个变化大、不规则的分布。因此, 聚类中颜色点所对应出现概率的方差也可作为判断条件。两个类中方差明显大的, 应该是背景区域。确定出某些聚类是“真正”的肤色点后, 对初次分割结果进行二次分割; 否则, 保留初次分割结果。

整个算法流程图如图4所示。

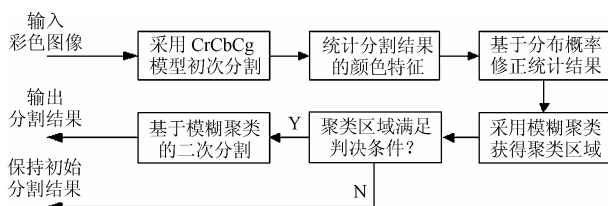


图4 肤色分割算法流程图

4 实验结果

为了测试算法的有效性, 我们用两个测试集对其进行了测试。第1个是HHI测试集^[7], 测试时使用了全部206幅图像。该测试集的特点是背景相对简单, 每幅图像只包括1张人脸, 人脸区域在图像中占据较大比例, 不同图像间光照变化非常剧烈, 背景部分的颜色与肤色非常接近。因此, 大部分传统的肤色模型对这个测试集的结果都不尽理想。第2个测试集是我们自己组织的彩色图像, 其来源包括数码照片、电视截图、Internet上获取等, 共包括478幅图像。每个图像均包含1个或1个以上人脸, 人脸大小变化范围大, 背景复杂, 光照变化范围大。

测试时, 根据得到的结果图像中真正肤色区域的分割情况, 制定了3个衡量准则来划分分割结果:

(1) 最终结果好: 结果图像中基本只剩下肤色区域, 成功去掉了绝大多数背景。本部分结果由两部分构成:

(a) “改进明显”: 在肤色模型结果的基础上, 利用模糊聚类算法, 进一步去除了绝大部分背景区域, 最终得到理想的结果;

(b) “维持原好结果”: 经过肤色模型即得到很好的分割结果, 聚类算法无需进一步改进, 仅仅保留原结果即可。

(2) 最终结果一般: 结果图像中保留了绝大部分肤色区域, 但还保留了相对较多的背景区域。本部分结果由两部分构成:

(a) “有微弱改进”: 在肤色模型结果的基础上, 去除了小部分背景点, 但最终结果中仍包含较大部分的背景区域;

(b) “维持原一般结果”: 对于肤色模型的结果没有更多的改进, 保持原结果不变。

(3) 最终结果差: 结果图像中误去除了相当一部分真正的肤色区域, 给后续处理带来困难。本部分结果由两部分构成:

(a) “结果变差”: 在肤色模型结果好或一般的情况下, 去除了相当部分的肤色区域, 使结果变差;

(b) “维持原差结果”: 肤色模型的结果就已经去除了大部分肤色点, 后续操作无法做出进一步改进。

对上述两个测试集的测试结果如表1所示。部分结果图像如图5所示。

与文献[3]所列算法的比较如表2所示, 其中所列数字为每种算法在每个测试集下得到理想结果的比例, 标准为结果图像中基本只剩下肤色区域, 成功去掉了绝大多数背景。

表 1 本算法对两个测试集的结果比较

| 测试集 | 最终结果好 | | 最终结果一般 | | 最终结果差 | |
|---------|-----------------|--------|----------------|-------------|---------------|-------|
| | 改进明显 | 维持原好结果 | 微弱改进 | 维持原一般结果 | 结果变差 | 维持差结果 |
| HHI 测试集 | 83 | 62 | 4 | 56 | 1 | 0 |
| | 40.29% | 30.10% | 1.94% | 27.18% | 0.49% | 0% |
| | 共 145, 占 70.39% | | 共 60, 占 29.12% | | 共 1, 占 0.49% | |
| | 有效分割: 99.51% | | | 无效分割: 0.49% | | |
| 自组 测试集 | 203 | 190 | 7 | 54 | 16 | 8 |
| | 42.47% | 39.75% | 1.46% | 11.30% | 3.35% | 1.67% |
| | 共 393, 占 82.22% | | 共 61, 占 12.76% | | 共 24, 占 5.02% | |
| | 有效分割: 94.98% | | | 无效分割: 5.02% | | |

表 2 本算法与其他方法^[3]正确分割结果的比较

| 测试集 | Hsu et al. ^[3] | 本文 |
|---------|---------------------------|--------|
| HHI 测试集 | 30.10% | 70.39% |
| 自组测试集 | 39.75% | 82.22% |

95%左右的有效分割, 82%的图像分割结果好, 如图 5 中的后两幅图像。

总之, 实验结果表明本算法可有效地对分割彩色图像中的肤色区域, 分割性能可大大超过现有的通用肤色模型方法。

5 结束语

本文分析了现有肤色模型中的普遍问题, 提出了一种基于三维肤色模型和模糊聚类的肤色分割方法。实验表明: 本算法通常都可以获得比传统肤色模型更好的结果, 能大大减少伪肤色点的区域, 是一个更加有效的肤色分割方法。

参 考 文 献

- [1] Yang M H, Kriegman D, Ahuja N. Detecting faces in images a survey. *IEEE Trans.on PAMI*, 2002, 24(1): 34 – 58.
- [2] 刘党辉, 沈兰荪, Kin-Man Lam. 人脸检测研究进展. *计算机工程与应用*, 2003, 39(28): 5 – 9.
- [3] Hsu R L, Abdel-Mottaleb M, Jain A K. Face detection in color images. *IEEE Trans.on PAMI*, 2002, 24(5): 696 – 706.
- [4] de Dios J J, Garcia N. Face detection based on a new color space YCgCr. *Proc. of IEEE ICIP*, Barcelona, Spain, 2003, (3): 909 – 912.
- [5] Storring M, Andersen H, Granum E. Skin color detection under changing lighting conditions. *7th Symposium on Intelligent Robotics System*, Coimbra, Portugal, 1999: 187 – 195.
- [6] 边肇祺, 张学工. *模式识别*. 北京: 清华大学出版社, 2000: 280 – 283.
- [7] MPEG7 content set from Heinrich Hertz Institute, <http://www.hhi.de>.

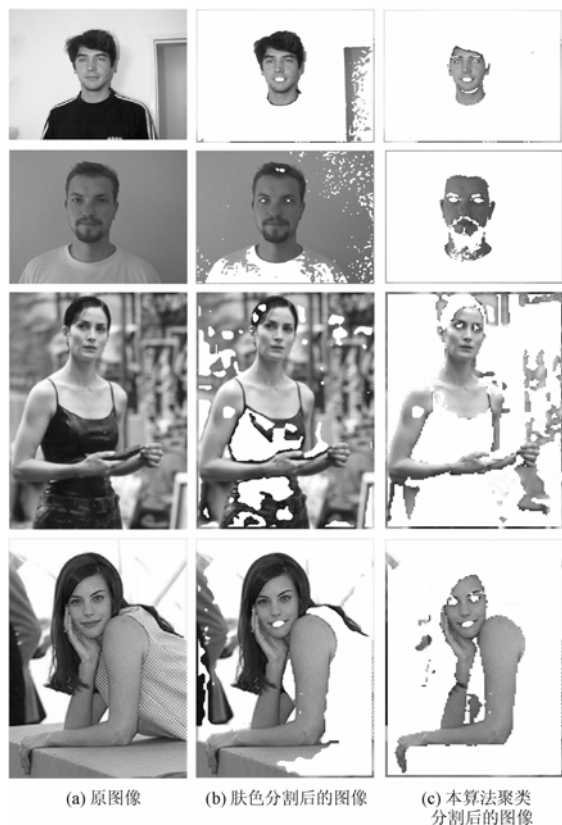


图 5 算法结果示意

通过分析实验结果我们看到, 对于 HHI 测试集, 有效分割可达 99%以上, 而对于 70%以上的图像可以获得非常理想的结果, 如图 5 中的前两幅图像。同时由于在聚类判决时使用了 3 个有效的判决条件, 保证了原图像中的真正的肤色区域不会被误分割为背景。

对于我们自己组织的复杂图像测试集, 由于其肤色、背景等变化毫无规律, 算法的性能相对有所下降, 但仍保证了

孔 潇: 男, 1980 年生, 硕士生, 研究方向为 人脸检测与跟踪。
 刘党辉: 男, 1972 年生, 博士, 讲师, 研究方向为 图像处理与模式识别。
 沈兰荪: 男, 1938 年生, 教授、博士生导师, 研究方向为 图像编码、处理、传输与应用以及光谱信号的检测与处理等。