

一种融合方法的皮肤检测技术

Skin Detection Technology with Fusion Approach

陈丽 刘艳华

Chen Li Liu Yanhua

(厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

(College of Informational Science and Technology, Xiamen University, Fujian Xiamen 361005)

摘要: 皮肤检测技术发展迅速, 并且能够应用于检测和跟踪人体部位、计算机视觉和可视化等多个领域。然而, 皮肤检测的主要困难仍然是不同程度的皮肤色调、光照条件和颜色接近肤色的背景等等。本文研究了一种新奇的基于融合策略下的动态皮肤检测, 它是由一个平滑动态二维直方图、高斯混合模型和基于脸部皮肤色调颜色计算的实时动态阈值这三种检测方法融合在一起的。本研究通过人脸检测来强化肤色模型, 这是因为人脸是不同色调的皮肤颜色的一个突出特征, 尤其是在包含不同种族的多个人脸图像中。定性和定量实验结果表明, 该方法由于其较低的计算成本和较高的精确度, 比目前先进检测技术更稳定有效。

关键词: 皮肤检测, 融合策略, 动态阈值, 肤色模型

中图分类号: N3.34 ;TP391

文献标识码: A

文章编号: 1671-4792(2015)03-0006-07

Abstract: The skin detection technology develops rapidly and is capable for a wide range of applications in many fields, such as detect and track the components of human body, computer vision and visualization. However, the principal obstacles faced by skin detection are still the different degrees of skin tone color, illumination conditions and skin color-like backgrounds. This paper proposes a novel skin dynamic detection based on fusion strategy, which fuses a smoothed 2-D histogram, Gaussian model and an online dynamic threshold based on the calculation of face skin tone color. In this research, we adopt face detector to refine the skin model, because face is a prominent indicator of different characteristics of skin tone color, especially in images that include more than one face with different ethnicity. Qualitatively and quantitatively experimental results show that the proposed method is more robust and effective compared to state-of-the-art methods, owing to its low computational costs and high accuracy.

Keywords: Skin Detection, Fusion Strategy, Dynamic Threshold, Skin Model

0 引言

随着信息技术的发展, 图像处理起到了越来越显著的作用。在多种多样的图像处理技术中, 皮肤检测作为一种很受欢迎的实用技术已经得到了广泛的关注, 因为它广泛的应用于检测和跟踪人体部位、人

脸检测、面部识别、手势分析、图像检索、计算机视觉和可视化, 以及人机交互等多个领域。然而皮肤检测技术有很多影响因素, 诸如光照条件、颜色接近肤色的背景和服装, 以及种族等等。

皮肤检测技术主要分三个步骤: 首先选择合适

的颜色空间来表征图像像素,然后使用适当的皮肤模型来建模皮肤和非皮肤部分像素,最后依据此建模来分割出正确的皮肤部分。

作为皮肤检测的基本步骤,选择一个合适的颜色空间很关键。相机拍摄的数字图像通常由 RGB 颜色空间存储表示,RGB 是最常用的默认颜色空间,而表征图像时却忽略了光照环境。为了针对不同光照条件提供稳定参数,可以将 RGB 通过线性或非线性的变换方法转化成其他颜色空间。Kakumanu (2007) 等人详细研究了不同的颜色空间,如 RGB、归一化的 RGB、HSV(色调、饱和度和值)、HSI(色调、饱和度和强度)、HSL(色调、饱和度和亮度)、TSL(色调、饱和度和亮度)、YCbCr、CIE-Lab 以及 CIE-LUV 等^[1]。Gonzalez(2001)、Khan(2012)等人综合研究了由 RGB 到 HSV、HSI、标准化 RGB、YCbCr 和 CIE-Lab 等的颜色空间转换^[2-3]。

皮肤检测的本质就是分割出图片中的皮肤部分像素和非皮肤部分像素,一个优良的肤色分割器应该能够克服诸如光照、种族和背景等影响因素。肤色模型一般分为基于物理的和统计的模型,而统计模型可以进一步分为参数、非参数和半参数三种类型。参数模型具有明确的函数形式,可通过训练来调整参数以获得与样本数据集相适合的模型,如高斯模型(GM);非参数模型则没有任何的特定形式,其中,动态直方图则是常见的非参数模型,此模型利用前一帧或几帧图片的模型参数和当前帧估计值

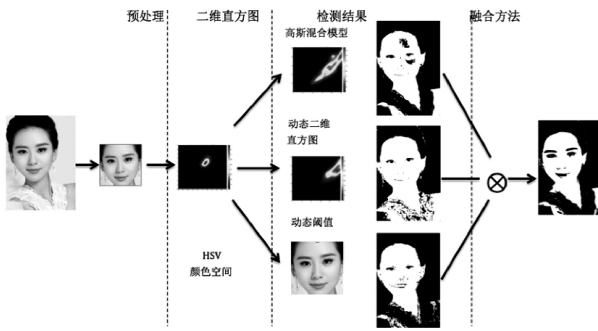
的线性加权来作为模型参数更新的递推公式,是常见的参数更新方法;半参数方法一般指神经网络方法,它们具有相同的函数形式,以及不同数目的隐式参数。Kakumanu(2007)等人总结出:最简单和经常使用的模型方法是在特定光照条件下通过大量的训练数据集确定的皮肤颜色的阈值;直方图技术会受到皮肤和非皮肤部分之间的重叠程度的影响,并且需要大量的训练数据;当考虑到较低的假阳性率(FPR)和较高的真阳性率(TPR)时,高斯混合模型(GMM)比单高斯模型(SGM)性能更好;虽然多层感知器(MLP)与贝叶斯网络(BN)分类器性能相似,但 MLP 有存储空间小的优点,BN 也有计算成本低的优势。

对于多种多样的颜色空间和肤色模型,选择最合适的用于皮肤颜色像素分割是有难度的。Albiol(2001)等人提出,对于每个颜色空间贝叶斯方法的性能是相似的^[4]。Terillion(2000)等人证明,GMM 可用于非标准化的颜色空间,而 SGM 只有用标准化的颜色空间才能得到良好的检测结果^[5]。不同的色彩空间对非参数模型没有多大影响,而参数分类技术会受到颜色空间以及训练数据的数量和质量的影 响。Fu(2004)等人比较了高斯混合模型下的三种颜色空间,即 RGB、HSV 和 YCbCr,他们发现了 HSV 颜色空间由于其亮度和色度的去相关,检测结果最好^[6]。

1 皮肤检测方法

图一展示了本文所设计的自动肤色检测器的框架结构。第一步,用与文献[10]中人脸探测方法类似

的算法探测出图像中的人脸部分。第二步,用基于人脸皮肤色调的一种实时动态方法来计算人体肤色的动态阈值。第三步,用从所述第二步中获得的动态阈值及二维直方图肤色模型和高斯混合肤色模型分别分割出图像的皮肤和非皮肤部分像素分布。最后,将三个特征的检测结果构建成一个融合策略框架,用来检测整个图像的皮肤区域。在本文中,将RGB色空间变换为HSV色空间以获得更好的检测性能。



图一 研究框架:人脸识别,二维直方图,高斯模型,动态阈值和融合策略

1.1 预处理

预处理的主要任务是人脸探测。对于任何给定的图像,我们首先使用自适应亮度补偿和混合滤波技术来平滑。然后,作为皮肤颜色区的非平滑纹理,人眼检测是依靠亮度和人眼的颜色之间的匹配关系,而嘴巴往往是位于两眼中心之间的垂直平分线。最后,该人脸被精确地从肤色区域通过两个眼睛和嘴巴的位置检测出来^[10]。

1.2 颜色空间

HSV能够表示出感知颜色的联系,并且计算简单。其中,H参数是色相,表示颜色信息,即光谱颜色的位置,此参数由角度量表示,因此是一个不低于零的值;S(Saturation)是饱和度,表示色彩的纯度,S越高色彩纯度越高;反之,S越小色彩纯度越低,图像灰度化更加明显,S的取值范围是1%~100%;V(Value)是亮度,其取值范围是0%~100%。因为人类的肤色种类有很多,而在默认的RGB图像里,不同的光线也使肤色的范围扩大了,比如在阴天里,画面出来的颜色是灰沉的,而有阳光的图像是鲜艳的、色彩是饱和的。所以,光照不同,人的肤色也随之变换,采用HSV来建模,即采用H分量作为人脸皮肤颜色统计参数,可以降低各种条件对建模的影响。在色相H分量中,皮肤颜色集中在某一小区域范围内,因为H分量表示了图像的色彩信息,受光线强弱的影响比较小^[12]。因此,本文使用HSV颜色空间,究其原因有二:首先,Chaves-Gonzalez(2010)等人比较了十种常用于皮肤检测的颜色空间,其中HSV是赢家^[11]。其次,正如上文所提到的,无论是高强度的白光、环境光线、还是光源表面光,RGB到HSV的转换都是不变的^[1],转换公式如下:

$$V=m \tag{1}$$

$$S=(m-n)/m \tag{2}$$

$$H = \begin{cases} 60 \times [(G - B)/(m - n)] & \text{if } m = R \\ 60 \times [2 + (B - R)/(m - n)] & \text{if } m = G \\ 60 \times [4 + (R - G)/(m - n)] & \text{if } m = B \end{cases} \tag{3}$$

其中 m 和 n 分别表示 R、G、B 的最大值和最小值。若 H 值小于 0 就加上 360。

1.3 皮肤检测

皮肤检测的本质是将彩色图像转换为二值图, 并通过改变它的阈值得到所有有关皮肤颜色的像素值为 255, 即阈值为 1, 非皮肤的像素值为 0, 即阈值为 0。

1.3.1 二维直方图肤色模型方法

我们使用二维平滑直方图来分割出图像中的皮色调部分。阈值作为分割的决定性因素, 被调整为真阳性率(TPR)和假阳性率(FPR)的折衷, 给定为:

$$D_H(q_s, q_n) = \begin{cases} 1 & \text{if } P(q_s, q_n) \geq 0.3 \\ 0 & \text{if } P(q_s, q_n) < 0.3 \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中 q_s, q_n 分别表示肤色像素直方图中皮肤像素数与总像素数之比, 以及非肤色像素直方图中皮肤像素数与总像素数之比。

1.3.2 高斯混合肤色模型方法

作为较小的训练数据和存储要求的参数模型, 高斯混合模型基于肤色分类的概率分布函数(PDF)分割方法定义为:

$$D_G(\Sigma_i, \lambda_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } H_p(\Sigma_i, \lambda_i) \geq 0.05 \\ 0 & \text{if } H_p(\Sigma_i, \lambda_i) < 0.05 \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中 H_p 是 PDF, 即 $P(c)$ 的幅值, $P(c)$ 的计算方法如下:

$$P(c) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{(2\pi)^{1/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \lambda_i\right) \quad (6)$$

式(6)中 λ_i 是由 Σ_i 和 μ_i 表示的, c 是颜色变量, μ_i 和 Σ_i 分别指的是均值矢量和对角协方差矩

阵, w_i 表示混合的 $\sum_{i=1}^N w_i = 1$ 。

1.3.3 基于人脸色调计算的实时动态阈值方法

该方法从图像中的静态正面人脸中去掉眼睛和嘴巴部分, 剩余的人脸部分色调获得肤色动态阈值。然后通过增加围绕中心轴的像素, 不断更新阈值, 直到 95% 脸部的像素被识别为皮肤, 得到最终阈值, 用于识别整个图像的皮肤部分像素, 最终阈值表示如下:

$$D_T(S_{min}, S_{max}, V_{min}, V_{max}) = \begin{cases} 1 & \text{if } S_{min} \leq S \leq S_{max} \\ 0 & \text{if } V_{min} \leq V \leq V_{max} \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中 $S_{min}, S_{max}, V_{min}$ 和 V_{max} 是由最终阈值确定的 HSV 颜色空间的分量的最大和最小值。

1.3.4 融合策略

为了稳定有效地检测图像中的皮肤区域, 笔者提出了一种集成以上三个独立分割皮肤和非皮肤区域的特征, 融合成单一的检测结果。融合的匹配算法表示如下:

$$D = \Gamma \{ D_H(q_s, q_n), D_G(\Sigma_i, \lambda_i), D_T(S_{min}, S_{max}, V_{min}, V_{max}) \} \quad (8)$$

式(8)中 Γ 表示选择性图像融合技术, 即 \otimes 运算的结果。

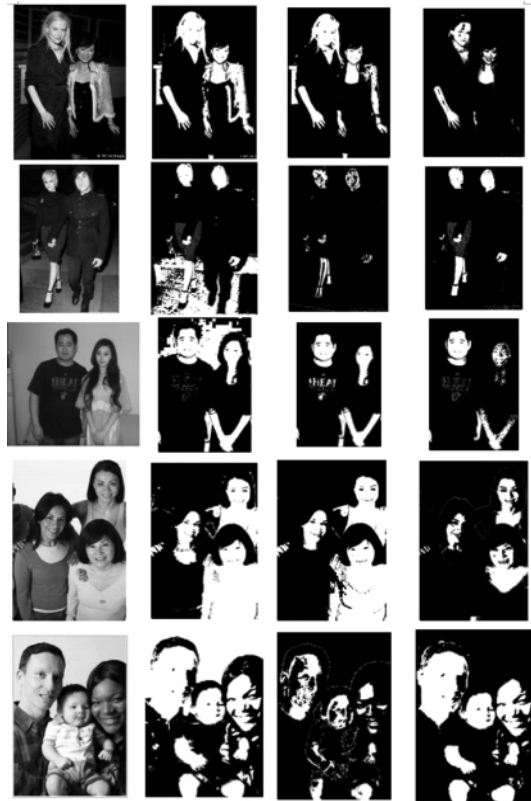
2 实验结果与分析

考虑到各种影响因素, 如光照条、种族以及颜色如肤色的背景和衣服等等, 笔者从网上收集大量图像用于试验, 每张都包含至少一个正面人脸。为了达到评估的目的, 将本文提出方法与 Tan(2012)等人提出的融合平滑二维直方图和高斯混合模型两种肤色模型的方法^[7]以及 Ibrahim(2012)等人提到基于人脸

色调探测的方法^[8]作比较。从单人图像比较结果(见图二)和多人图像比较结果(见图三)中,本文所提出的方法明显比其他两种检测结果准确。正如图二的第六到第十行以及图三的第一到第五行图像样本中看到的那样,文献[7]方法的检测结果中很多非皮肤像素被误认为皮肤,而文献[8]方法的检测结果中很多皮肤像素作为非皮肤。而皮肤检测的干扰因素,如高亮度(图二的第十行)、颜色像皮肤的背景(图三的第二行)和衣服(图三的第二行)以及不同种族(图三的第二行),对本文所提出的方法的检测结果影响是最小的。此外,该方法的检测结果不仅准确稳定,而且还因没有训练阶段而只需要很少的计算成本和数据量。



图二 从左至右每列分别表示原始图像、文献[7]的方法、文献[8]的方法和笔者所提出的方法



图三 从左至右每列分别表示原始图像、文献[7]的方法、文献[8]的方法和笔者所提出的方法

图四展示了二维直方图、高斯混合模型和动态阈值三种单一肤色模型各自的检测结果,与上述三个特征融合方法的结果的比较。从图四一些样本图像中,将四种不同方法的检测结果相比较,本文提出的融合方法明显更准确。此外,基于网络图像数据集的定量分析结果如表一所示。很显然,与单一肤色模型的方法相比,融合策略具有最低的假阳性率(FPR),较高的精度以及准确率和召回率的调和平均(F-score)。例如,平滑的二维直方图方法受噪声干扰几乎不能检测正确的皮肤区域,而高斯混合模型



图四 a)原始图像 (b) 二维直方图结果 (c) 高斯模型结果 (d) 动态阈值结果 (e) 融合方法结果

表一 基于网上的图像集,融合与非融合的方法在 HSV 颜色空间的检测结果的比较分析

分类	准确率	F-score	TPR	FPR
融合方法	0.9019	0.6457	0.6597	0.0671
二维直方图	0.8920	0.6250	0.6672	0.0824
高斯混合模型	0.8575	0.6153	0.7921	0.1456
动态阈值	0.8923	0.6234	0.8077	0.1339

的方法混淆肤色像素和颜色像皮肤的背景,如衣服、树木、建筑物和头发等等,并且高斯混合模型的方法具有非常高的假阳性率(FPR)。基于人脸肤色调的动态阈值的方法丢掉一部分皮肤颜色的像素,误将其探测为非皮肤部分像素。然而,无论在不同的光照条件下,具有与皮肤颜色相似的背景的图像中,还是含有不同种类颜色皮肤的人的图像中,都可以定性地观察到,笔者提出的方法能够实现肤色像素和非肤色像素区域之间的最佳判别。

3 结束语

融合策略的动态皮肤检测方法是將二维直方图肤色模型方法、高斯混合模型方法和基于人脸肤色调的动态阈值方法结合起来。从上述大量的定性和定量的实验中可以总结出,无论在不同的光照条件下,具有与皮肤颜色相似的背景的图像中,还是含有不同种类颜色皮肤的人的图像中,这种算法都要比目前国家先进水平的检测方法效果更佳。这种融合方法以较高的精确度降低了假阳性率(FPR),并且有广泛的应用领域,例如检测和跟踪人体部位、人脸检测、面部识别、手势分析、图像检索、计算机视觉和可视化,以及种人机交互等等。

参考文献

- [1]Kakumanu P ,Makrogiannis S ,Bourbakis N. A survey of skin-color modeling and detection methods [J].Pattern Recognition ,2007(40) :1106-1122.

- [2] Gonzalez R C ,Woods R E.Digital Image Processing[M].Upper Saddle River :Prentice Hall ,2001.
- [3]Khan R ,Makrogiannis S ,Bourbakis N ,et al. Color based skin classification [J].Pattern Recognition , 2012 (33) :157-163.
- [4]AlbiolA ,Torres L ,Delp E.J.Optimum color spaces for skin detection [J].International Conference on Image Processing ,2001 (01) :122-124.
- [5]Terillon JC ,Shirazi MN ,Fukamachi H ,et al. Comparative performance of different skin chrominance models and chrominance spaces for the automatic detection of human faces in color images [J]. AutomaticFace & Gesture Recognition ,2000 ,(04) : 54-61.
- [6]Fu Z ,Hu W ,Tan T.Mixture clustering using multidimensional histograms for skin detection [J].International Conference on Pattern Recognition , 2004 , (17) :549-552.
- [7]Tan W R ,Chan C S.A fusion approach for efficient human skin detection [J].IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012 ,8(01) :138-147.
- [8]IbrahimNB ,Selim M M ,Zayed H H.A dynamic skin detector based on face skin tone color [J].International conference on Informatics and System , 2012 , (08) :14-16.
- [9]Yogarajah P ,Cheddad A ,Condell J ,et al.A dynamic threshold approach for skin segmentation in color images [J].IEEE International Conference on Image Processing , 2010 (17) :2225-2228.
- [10]Zhu Y ,Huang C ,Chen J.Face detection based on multi-feature fusion in YCbCr color space [J].International Congress on Image & Signal Processing , 2012 (05) :1249-1252.
- [11]Chaves-Gonzalez JM ,Vega-Rodriguez M A , Pulido J A G ,et al.Detecting skin in face recognition system: A color spaces study [J].Elsevier Journal of Digital Signal Processing ,2010 (20) :806-823.
- [12]王东.基于 HSV 颜色空间的皮肤检测[J].电脑与电信 , 2012 (05) :31-33.
- [13]徐战武 ,朱森良.基于颜色的皮肤检测综述 [J].中国图像图形学报 , 2007 ,12(03) :377-388.

作者简介

陈丽(1990—),女,汉族,河南信阳人,硕士在读,主要研究方向:图像处理;

刘艳华(1965—),男,汉族,山东诸城人,博士,助理教授,主要研究方向:移动通信、图像处理、社交网络中的信息传播。