

自适应肤色检测算法的研究*

曾飞, 蔡灿辉

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361000)

摘要: 针对 Hsu 提出的椭圆肤色检测模型的局限性, 提出了一种自适应肤色检测模型。在 Hsu 的统计模型基础上, 根据光照条件自适应改变其椭圆模型的长短轴, 以取得最好的肤色检测效果。实验结果表明, 本文算法有较强的光照适应性, 所提出的自适应肤色检测模型效果优于 Hsu 的椭圆模型。

关键词: YCbCr 颜色空间; 肤色检测; 肤色模型; 光照自适应

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)04-0037-04

Study on adaptive skin color detection algorithm

Zeng Fei¹, Cai Canhui²

(Institute of Information Science & Technology, Huaqiao University, Xiamen 361000, China)

Abstract: In this paper, an adaptive skin color detection model is propose to improve complexion detection ability of the elliptic model proposed by Hsu et al. Better complexion detection effect is obtained by adapting the sizes of the major and minor axes according to the illumination. Experimental results have demonstrated that the proposed model can adapt the changing of illuminating condition and its complexion detection ability is better than the elliptic model suggested by Hsu et al.

Key words: YCbCr color space; skin color detection; skin color model; illumination adaptation

肤色信息是人体表面的重要特征之一, 肤色检测是基于彩色图像的智能监控、表情分析、身份识别、人机交互等研究领域的重要环节。在复杂背景下进行人脸检测时, 利用肤色检测可有效减小搜索范围, 提高检测速度。但是, 肤色受光源的强弱、光源的颜色、光照角度等众多因素的影响会发生变化, 在不同光照条件下进行准确的肤色检测一直是一个难题。因此, 研究光照自适应的肤色模型对肤色检测有着重要的意义。

Huynh-Thu 等人结合混合高斯模型和自适应图像分割技术, 通过形态学操作, 提出了一种对每个子模型自动找到最佳阈值的方法^[1]。Phung 等人根据贝叶斯决策理论并使用大量肤色点训练得到人类肤色模型, 用人类肌肤的纹理特征帮助确定肤色模型的阈值^[2]。但是以上两种算法计算量和存储量太大, 影响了人脸检测的速度, 限制了其在实时系统中的应用。Hsu 等人提出了一种针对变化光照的椭圆模型肤色检测算法, 在人脸检测中取得了较好的效果^[3]。但是其椭圆模型的大小和位置都固定不变, 因此不能捕捉不同光照情况下的肤色聚类的变化情况。徐艳等人在 Hsu 基础上提出首先对亮度信息进行分段判断, 对不同亮度段的像素点采用不同的肤

色判定法则, 克服其在高亮度区域和低亮度区域的不足^[4]。但此算法在光线较暗情况下, 硬性将所有像素判定为非肤色点, 降低了它的适用性。夏思宇等人在 Hsu 的统计模型的基础上, 根据肤色值在非线形变换后的色度空间的二维直方图分布, 提出了一种自适应检测算法, 对彩色视频图像进行人脸检测得到了更好的效果^[5]。但它只考虑在不同光照情况下肤色聚类的位置偏移而没有考虑肤色聚类的散度变化。

本文针对 Hsu 等人提出的椭圆模型大小固定的局限性, 提出一种可根据照明条件自适应改变长短轴的尺寸的椭圆模型, 并给出了具体的算法实现。实验证明, 相比 Hsu 的原算法和夏思宇的改进算法, 本算法具有更高的人脸检测速度、准确率和鲁棒性。

1 肤色模型

1.1 颜色空间

常用的线性彩色空间有 RGB、归一化 RGB (rgb)^[6]、HSV、YCbCr、YIQ、YES、CIE 颜色系统的 XYZ 空间和 LUV 等。由 CCD 相机拍摄的彩色照片是具有 R、G、B 三个颜色分量的图像。RGB 颜色空间的三个颜色分量与亮度成正比, 各个颜色分量之间存在很强的相关性, 不适于作为肤色检测空间。通常把图像从 RGB 空间变换到

*基金项目: 国家自然科学基金项目(60772164)

图形、图像与多媒体

YCbCr 空间, 以减小亮度对肤色检测的影响。YCbCr 颜色空间具有亮度-色度分离的优点, 具有较好的肤色的聚类特性, 且受光照的影响较小, 较容易建立光照强度自适应的肤色模型。RGB 空间与 YCbCr 空间的变换式如下:

$$\begin{bmatrix} r \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \frac{1}{255} \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112 \\ 112 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (1)$$

1.2 肤色聚类

所谓肤色模型, 就是判定一个像素点是否为肤色点的运算法则。参考文献[7]的实验结果表明, 不同人种的肤色在 CbCr 色度空间中具有良好的聚类特性, 在正常照明条件下, 多数人的肤色在 CrCb 色度空间中的分布范围为 $77 < Cb < 127, 133 < Cr < 173$, 因此可以在 CrCb 色度空间中建立肤色模型。但大量的肤色统计结果也证实肤色的聚类随着 Y 的不同呈现出非线性变化的趋势, 如图 1 所示。由图 1 可以看出, 随着 Y 的不同, 肤色在 CrCb 色度空间的聚类呈中间宽、两头窄。因为肤色聚类随着光照情况发生变化, 所以用固定不变的肤色模型来判定不同光照情况下的肤色聚类所得到的结果显然是不准确的。

1.3 Hsu 椭圆肤色模型

为了使肤色模型更具有普遍性, Hsu 等人在参考文献[3]中提出了一种在 YCbCr 空间下的非线性分段变换肤色模型。在 YCbCr 空间中, 将色度分量 Cb 和 Cr 作为亮度分量 Y 的函数 $Cb(Y)$ 和 $Cr(Y)$ 。 $Cb'(Y)$ 和 $Cr'(Y)$ 表示变换后的色度分量, $\overline{Cb}(Y)$ 和 $\overline{Cr}(Y)$ 表示图 1 的肤色区域中轴线, 分段函数 $W_{Cb}(Y)$ 和 $W_{Cr}(Y)$ 表示肤色区域的宽度。则可得非线性变换的表达式如下:

$$C'i(Y) = \begin{cases} (Ci(Y) - \overline{Ci}(Y)) \frac{W_{Ci}(Y)}{W_{Ci}(Y)} + \overline{Ci}(Y) & \text{if } (Y < k_l) \text{ or } (Y > k_h) \\ Ci(Y) & \text{if } (Y \in [k_l, k_h]) \end{cases} \quad (2)$$

$$W_{Ci}(Y) = \begin{cases} WL_{Ci} + \frac{(Y - Y_{min})(W_{Ci} - WL_{Ci})}{k_l - Y_{min}} & \text{if } (Y < k_l) \\ WH_{Ci} + \frac{(Y_{max} - Y)(W_{Ci} - WH_{Ci})}{Y_{max} - k_h} & \text{if } (k_h < Y) \end{cases} \quad (3)$$

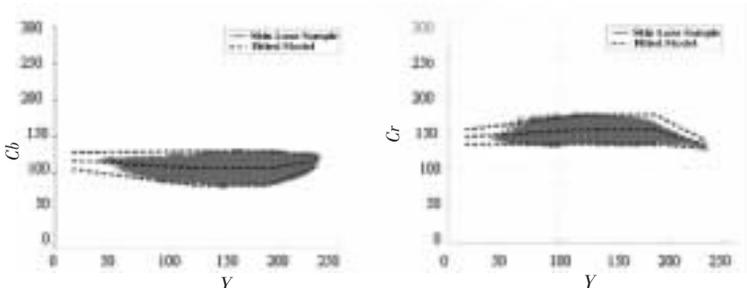


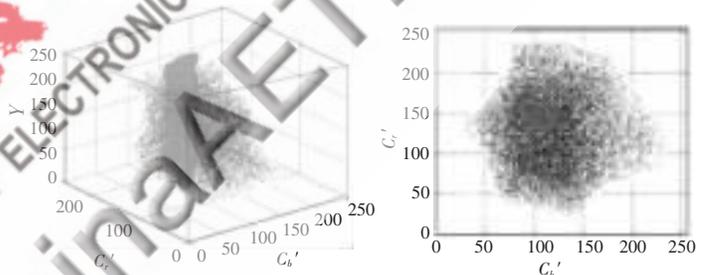
图 1 Hsu 等的肤色统计实验

$$\overline{Cb}(Y) = \begin{cases} 108 + \frac{(k_h - Y)(118 - 108)}{k_l - Y_{min}} & \text{if } (Y < k_l) \\ 108 + \frac{(Y - k_h)(118 - 108)}{Y_{max} - k_h} & \text{if } (k_h < Y) \end{cases} \quad (4)$$

$$\overline{Cr}(Y) = \begin{cases} 154 + \frac{(k_l - Y)(154 - 144)}{k_l - Y_{min}} & \text{if } (Y < k_l) \\ 154 + \frac{(Y - k_h)(154 - 132)}{Y_{max} - k_h} & \text{if } (k_h < Y) \end{cases} \quad (5)$$

其中, C_i 代表 Cb 与 Cr, $W_{Cb}=46.97, WL_{Cb}=23, WH_{Cb}=14, W_{Cr}=38.76, WL_{Cr}=20, WH_{Cr}=10, K_l=125, K_h=188$ 。在 YCbCr 彩色空间中, $Y_{min}=16, Y_{max}=235$ 。

Hsu 从 HHI(Heinrich Hertz Institute) 图像库中选了 137 张图像, 共计 853 571 个肤色点进行统计。图 2 显示了肤色点非线性变换后的 $YCb'Cr'$ 空间的分布。椭圆区域为 Hsu 建立的肤色模型。在变换后的 $Cb'Cr'$ 区域中采用椭圆模型来检测肤色分布。椭圆公式如式(6)所示, x, y 取值如式(7)所示。椭圆内部的点判定为肤色点, 椭圆外部的点判定为非肤色点。其中各参数由大量统计得到: $c_x=109.38, c_y=152.02, \theta=2.53, ec_x=1.60, ec_y=2.41, a=25.39, b=14.03$ 。



(a) 变换后的 $YCb'Cr'$ 空间 (b) 变换后的空间中肤色聚类拟合
图 2 变换后的 $YCb'Cr'$ 空间

$$\frac{(x - ec_x)^2}{a^2} + \frac{(y - ec_y)^2}{b^2} = 1 \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Cb' - cx \\ Cr' - cy \end{bmatrix} \quad (7)$$

1.4 椭圆模型的局限性

虽然 Hsu 椭圆模型是由大量统计样本训练出来的统计肤色模型, 但由于训练样本的局限性, 在较恶劣的光照条件下存在一定的偏差, 而各人种的差异等原因也会导致偏差。作者通过大量实验发现, 在逆光的情况下, 椭圆模型很难准确分割出肤色区域, 很容易将非肤色点包含进来, 造成误检。

为了提高椭圆模型的准确度, 夏思宇等提出一种自适应确定椭圆模型中心的方法。其核心思想是改变 Hsu 椭圆模型的中心点位置以应对光照等引起肤色聚类的变化。因此, 该算法比 Hsu 的算法能更准确地描述肤色在图像中的分布情况。但由图 1 可以看出, 由光照引起的色彩偏移

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

使肤色在颜色空间中的变化并不是简单的聚类位移,其聚类的散度、位置和大小都发生了改变。因此,自适应改变椭圆的中心点对于应对肤色聚类的变化效果有限。为进一步提高椭圆模型的准确度,本文在 Hsu 肤色模型的基础上,提出一种椭圆模型参数可自适应变化的肤色聚类模型。

2 自适应肤色检测

2.1 自适应肤色模型

由图 1、图 2 可知,在亮度变化的情况下,肤色聚类的大小会发生明显的改变,但形状基本不变。因此,本文提出一种根据光照情况自适应改变椭圆模型的大小的方法,根据光照条件把椭圆公式中的长短轴扩大 k 倍或缩小为 $1/k$ 以适应肤色聚类随光照条件的变化,从而更准确地分割出肤色区域。修正后的椭圆模型如下:

$$\frac{(x-ec_x)^2}{(ka)^2} + \frac{(y-ec_y)^2}{(kb)^2} = 1 \quad (8)$$

由式(8)可知,关键在于如何根据场景自适应地求出比例系数 k 。不失一般性,假设肤色在 CbCr 色度空间上与其他物体的颜色是可分的,这时,若肤色聚类区大于 ka, kb 所确定的椭圆时,增大比例系数 k 将增大(检测的)肤色区域面积,而当肤色聚类区等于或略小于 ka, kb 所确定的椭圆时,再加大 k 不会增大肤色区域面积。因此,对一幅输入图像,可先为 k 设定一个较小的初值 k_0 ,然后逐渐加大 k ,一直到用相应的椭圆模型检测到肤色区域达到最大,这时椭圆模型即为当前输入图像的最佳肤色模型,对应的 k 值为最佳的比例系数 k_{opt} 。 k_0 的选择对算法的性能有举足轻重的作用, k_0 太小会增加迭代时间, k_0 太大则找不到最佳的比例系数。对大量不同亮度的图片进行统计的结果表明,肤色聚类随着亮度 Y 的不同而不同,肤色模型的最佳比例系数 k_{opt} 落在区间 $(0.71, 1.67)$ 内。因此,本文把亮度范围分成 3 段,根据当前输入图像的平均亮度设定 k 的初值 k_0 ,如表 1 所示。

表 1 根据亮度 Y 选择 k_0

亮度 Y	$Y \leq 120$	$120 < Y < 190$	$Y \geq 190$
k_0	1.67	1.25	1

2.2 自适应肤色检测算法

综上所述,本文提出的肤色自适应检测算法如下:

(1)读入图片,将图片由 RGB 颜色空间转换为 YCbCr 颜色空间;

(2)计算平均亮度 Y ,根据表 1 选择 k_0 并令 $k=k_0$;

(3)初始化肤色区域面积 $S=S_0=0$ 。设定最大迭代次数 $K_{max}=8$,迭代步长 $t=0.12$,最小迭代误差 $\varepsilon=4\%$;

(4)按式(2)~式(5)将当前像素点由 YCbCr 调

整到 $YCb'Cr'$ 颜色空间;

(5)根据式(8)计算肤色区域存入 S ;

(6)计算迭代肤色面积差 $\Delta S=(S-S_0)/S$;

(7)若 $\Delta S < \varepsilon$ 或达到最大迭代次数,迭代结束;否则,令 $S_0=S, k=k+t$,转至步骤(5)进行下一次迭代。

为了缩短肤色检测时间,可在自适应肤色检测之前对图像进行预处理,只对 $70 < Cb < 130, 130 < Cr < 180$ 的可能肤色区域进行自适应肤色检测。

3 实验结果与分析

本实验分为静态图片检测和视频图像检测两部分,在静态图片实验中与 Hsu 椭圆模型相比较,在视频图像实验中与参考文献[5]提出的改进算法相比较。

从 Internet 上下载不同光照、不同复杂背景情况、不同年龄性别的 200 幅人脸图像进行试验,试验结果如表 2 所示。其中正确率=检测出人脸数/人脸总数,漏检率=漏检人脸数/人脸总数,误检率=误检人脸数/人脸总数。

表 2 两种方法实验结果对比

	正确率/%	漏检率/%	误检率/%
Hsu 椭圆模型	91	9	8.5
本文模型	94.5	5.5	3.5

图 3 给出了部分检测效果图,其中图 3(a)为原始图像,图 3(b)为采用 Hsu 方法的检测结果,图 3(c)为采用本文方法的检测结果;白色为肤色点,黑色为非肤色点。从图 3 可看出,由于图片各部分光线强弱的不同,采用 Hsu 方法会把众多背景中的非肤色点误检为肤色点,而采用本文提出的算法更准确地检测到肤色区域。

图 4 给出了本文算法与参考文献[5]提出的改进椭圆模型算法对视频序列进行肤色检测的实验结果。其中室内各部分的光照条件不同,并存在衣服类肤色干扰。在实验中首先对视频序列进行运动检测得出运动区域,然后分别用本文算法和参考文献[5]提出的算法在运动区域中检测出肤色区域,最后采用基于 AdaBoost 的



图 3 肤色检测实验结果

(a) 原图 (b) Hsu 椭圆模型检测结果 (c) 本文方法检测结果



(a) 参考文献[5]提出的算法的检测结果



(b) 本文提出的方法的检测结果

图4 视频流人脸检测实验结果

快速人脸检测算法^[8]检测出人脸。从图4可看出,参考文献[5]提出的算法会将条纹衣服检测为人脸,而本文提出的方法鲁棒强,具有更好的肤色检测效果。

肤色检测是人脸检测、人脸识别的重要步骤,但是肤色检测易受光照强弱等因素影响,造成肤色检测准确率降低。本文提出一个可根据光照自适应的肤色椭圆模型,实验结果表明,本文方法较Hsu方法和参考文献[5]提出的改进算法有更好的肤色检测效果。

参考文献

- [1] HUYNH T Q, MEGURO M, KANEKO M. Skin-color extraction in images with complex background and varying illumination[C]. Applications of Computer Vision, 2002. Proceedings. Sixth IEEE Workshop on, Orlando, Florida, 2002:280-285.
- [2] PHUNG S L, CHAI D, BOUZERDOUM A. Adaptive skin segmentation in color images[C]. IEEE Interna-

tional Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Hong Kong, 2003:353-356.

- [3] HSU R L, ABDEL M M, JAIN A K. Face detection in color images [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002,24(5):696-706.
- [4] 徐艳,陈孝威.人脸检测中肤色提取模型研究[J].计算机仿真,2006,23(10):194-198.
- [5] 夏思宇,李久贤,袁晓辉,等.一种改进的自适应肤色检测算法[J].数据采集与处理,2006,21(2):174-178.
- [6] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing (2nd ed)[M]. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002:180-190.
- [7] CHAI D, NGAN K N. Locating facial region of a head-and-shoulders color image[C]. Proceedings of the 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Nara, Japan, 1998:124-129.
- [8] VIOLA P, JONES M. Robust real-time object detection[C]. IEEE ICCV Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision, Vancouver, Canada, 2001:137-154.

(收稿日期:2010-12-09)

作者简介:

曾飞,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:图像处理,模式识别。

蔡灿辉,男,1954年生,博士,教授,主要研究方向:图像处理、数字视频、模式识别、多媒体通信。