

光照自适应的人脸肤色检测方法*

赖剑煌^{1,2}, 阮邦志³, 冯 莉¹

(1. 中山大学数学与计算科学学院, 广东 广州 510275;

2. 广东省信息安全重点实验室, 广东 广州 510275;

3. 香港浸会大学计算机系, 香港 九龙塘)

摘 要: 从3个方面入手提出了一种抗光照噪声强的人脸肤色检测方法: ①从常用的颜色空间中选择出对光照因素稳健的肤色子空间; ②提出了基于该子空间的光照自适应的肤色检测方法; ③进一步采用小波边缘检测的方法精确定位人脸区域。实验结果表明, 该方法对抗灯光、太阳光、荧虹灯光, 光的阴影等的影响都有好的效果。

关键词: 人脸检测; 肤色模型; 光照条件; 自适应阈值

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) 05-0001-05

1 肤色表达和检测方法概述

众所周知, 人的肤色是人脸和手掌检测的有效特征。几乎所有的颜色空间, 包括 RGB、rgb、CIE Lab、CIE XYZ、CIE LUV、YIQ、YCrCb、YES、HSV (或 HSI)、TSL 都被用于人脸检测的尝试。Yang 等^[1]和 Terrillon 等^[2]已墩各空间使用的方法和效果给出了很好的综述。

基于像素的肤色人脸方法可以分为2类, 即: 非参数的直方图模型的方法^[3]和参数估计的高斯模型(包括单高斯模型和高斯混合模型)的方法^[2]。单高斯模型的参数估计通常采用 ML 估计或 MAP 估计^[4], 高斯混合模型的参数估计通常采用 EM 算法^[5]。使用高斯混合模型的原因在于, 不同种族人的肤色直方图或来自不同的光照条件和不同相机的图片的肤色直方图不能形成单一高斯牛型分布, 而形成多高斯模型分布。肤色特征刻画的优劣不仅与颜色空间的选用有关, 而且与肤色模型的选择有关。Terrillon 等^[2]比较了9个不同的色彩空间, 包括 TSL、r-g、CIE-xy、CIE DSH、HSV、YIQ、YES、CIE-L* u* v*、CIE-L* a* b*, 指出对于圭范化的色度空间, 当采用单高斯模型时, TSL 方法和 r-g 方法分别是最优和次优; 而如果采用高斯混合模型, TSL 方法和 HSV 方法分别是最优和次优。并且指出使用规范化的色度空间刻画肤色信息时最适合选用单高斯模型, 而非规范化的色度空间刻画肤色信息

时不适合用单高斯模型。Zarit 等^[4]在5个颜色空间上比较 ML 方法和 MAP 方法, 发现 ML 方法优于 MAP 方法。Jones 和 Rehg^[5]在大肤色数据库上比较了直方图模型和高斯模型方法的肤色检测方法, 发现无论是在精度还是在计算时间上, 直方图模型方法都比高斯模型方法要好。Jones 和 Rehg 的研究工作作为最佳肤色空间的选择明确了一个方向。

肤色特征是随着光照条件变化而变化的。在过去100多年, 人们一直在试图解决光照对颜色的影响问题^[6], 已提出颜色常量^[7]、通过肤色信息估计光照的方法^[8]、白点调整方法^[6,9]、自适应颜色模型方法^[10]和自适应阈值方法^[11]。1999年, McKenna 等^[10]提出自适应模型的方法和2001年 Cho 等^[11]提出的自适应阈值的方法, 为这个问题的解决带来了生机。自适应模型的方法是一种基于对象的颜色分布的高斯混合模型的方法, 它采用 HSV 颜色空间来描述人脸, 并采用 EM 算法方法来动态地估计参数, 以自适应光照条件的变化。自适应阈值的方法是一种基于直方图模型的方法, 该方法在 HSV 颜色空间中通过估计其颜色直方图的重心, 计算出用于刻画肤色信息的自适应阈值 BOX, 从而可以针对不同的光照条件较准确定位肤色区域。

本文的研究继承和发展了文献[5, 11]的研究成果, 首先选择出基于直方图模型的最佳肤色表达的色度空间, 然后在选定的最佳肤色表达的色度空间中, 提出新的自适应阈值方法, 从而建立光照自

* 收稿日期: 2005-06-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60373082); 教育部科学技术重点基金资助项目(105134); 广东省自然科学基金资助项目(021766)

作者简介: 赖剑煌(1964年生), 男, 教授, 博士生导师; E-mail: staljh@zsu.edu.cn

适应的肤色区域检测的新方法。

2 肤色色度空间的选择

刻画肤色特征的 2D 的色度空间通常有正则化的 r-g 空间、HSV 空间中的 H-S 空间、在 YIQ 空间构造的 H-S 空间和 TSL 空间中的 T-S 空间。在这些 2D 的色度空间中,都存在相应的基于直方图模型的刻画肤色特征的方法。这些子空间大多数已出现在文献[2]中,但 YIQ 空间的 H-S 空间除外,它可定义为:

$$H = \arctan\left(\frac{Q}{I}\right)$$

$$S = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

为了从这些子空间选择一个最佳肤色特征刻画的色度空间,我们采用日本 Omron 公司提供的非均匀光照人像数据库中的人脸肤色像素进行实验。该人像库的基本情况可参见第 5 节。

当比较各色度空间刻画肤色特征的好坏时,最重要的是需要选定一个(或一组)度量的标准。本文采用文献[5]采用的 C、SE、NSE、S 标准,其中 C 代表皮肤和非皮肤像素点被正确判断的百分比;SE 代表把皮肤像素点辨认为非皮肤像素点的个数除以整幅图像的像素点所得到的百分比;NSE 代表把非皮肤像素点辨认为皮肤像素点的个数除以整幅图像的像素点所得到的百分比;S 代表所有皮肤像素点正确判断的百分比。

在实验中,选择了约 250 万个皮肤像素进行训练,建立各颜色子空间的肤色特征直方图模型,表 1 列出了约 $S = 80\%$ 的情况下,各颜色子空间刻画肤色信息时所采用的阈值参数。

表 1 在 $S = 80\%$ 的条件下各颜色子空间刻画肤色特征的参数范围¹⁾

Tab.1 Estimated skin color region in different color space with 80% detection accuracy

r-g		H-S		YIQ 中 H-S		T-S	
r	g	H	S	H	S	T	S
36-43	30-35	49-61	17-43	46-57	4-18	48-59	5-14

1) 表中的各项数据已被归一化到 100,其中第 3 行分别为 4 个阈值 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 的参数。

在测试时采用了 100 幅人像进行测试,获得如表 2 所示的结果(百分比)。

从实验数据可以看出,在这 4 个颜色空间中,用皮肤像素点的分布来做人脸分割,效果相差都不大,但 YIQ 空间中的 H-S 空间达到了将人脸和背景分开最好的效果。其次是 H-S 空间。

表 2 在 $S = 80\%$ 的条件下各颜色子空间刻画肤色特征的结果

Tab.2 Experimental results characterizing skin color in different color space with 80% detection accuracy

	C	SE	NSE
r-g	82.9809	9.8178	7.2013
HSV	84.3261	9.9731	5.7008
YIQ	86.1214	8.6304	5.2482
TSL	83.3653	11.5292	5.1054

3 自适应光照的肤色检测算法

Cho 等^[11]提出的自适应阈值的方法采用 HSV 颜色空间来描述人脸,是一种基于直方图模型的方法,该方法固定色度 H 的阈值,并根据每幅图具体光照条件,通过估计其在 SV 空间的颜色直方图的重心,自适应地确定亮度 V 和饱和度 S 的阈值,从而可以针对不同的光照条件较准确定位类似肤色区域。Cho 等还进一步通过聚类分析的方法从类似肤色区域剔除背景区域,保留肤色区域。

Cho 等提出的方法实际上给出了一个实用肤色检测方法的研究方向,但它仍然存在许多问题有待完善。主要问题在于:

1) 没有考虑哪个颜色空间抗光照好,仅随机地使用了 HSV 空间。本文中第 2 节的结果,实际上是对这个问题是一个很好的补充;

2) 在自适应算法中,Cho 等的方法是固定色度 H 的阈值不变,让亮度 V 和饱和度 S 的阈值变化,这种想法不足取。原因在于:其一,Albiol 等^[12]认为完全采用 HSV 空间检测肤色区域,理论上效果等同于使用 RGB 空间;其二,在非均匀光照条件下或荧虹灯光的照射下,肤色的色度 H 会产生偏移(如图 1 所示),若固定色度 H 的取值范围,将会误判许多肤色区域。并且在光斑光线照射下,亮度是发散的,它们通常不产生聚类。

3) 同样在非均匀光照条件下和荧虹灯光的照射下,采用聚类分析方法来区分肤色和类似肤色背景的方法有局限性(见第 4 节)。

在表 1 中,已对 YIQ 构造的色度 H 和饱和度 S 粗略地给定了阈值,但在光照因素的影响下,无法保证基于该阈值能检测到大多数肤色块,因此有必要调整阈值以适应光照条件、光照方向、光的阴影和荧虹灯光等因素的影响。

由于 H 和 S 是 2 个相对独立的量,因此根据每幅图像在 H 和 S 上的颜色直方图的形状,可以采用迭代的算法更新 H 和 S 的阈值,以确定肤色的特征。具体算法如下:

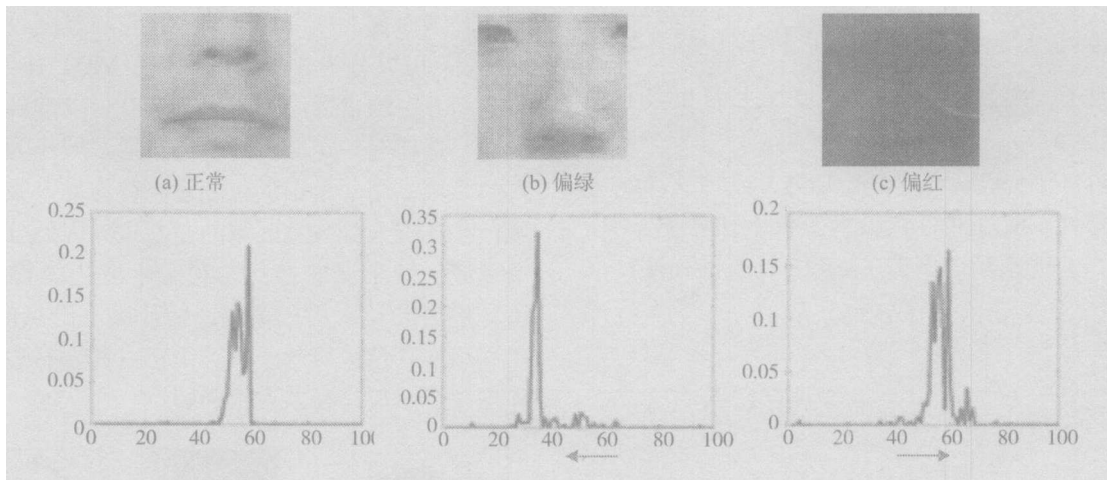


图1 非均匀光照条件下的肤色及对应的色度直方图

Fig.1 Changes of skin color and its H-value histogram in HSV color space under different illuminations

(1) 在本文的实验中, H 和 S 被重新量化成 100 个等级。首先给定 $H \times S$ 的阈值为 $(46, 57) \times (4, 18)$, 对满足给定阈值的颜色块, 构造 H 和 S 空间上的二维颜色直方图 $f(u, v)$ 。

(2) 根据表 1 给定的 H 和 S 阈值的上界和下界, 构造阈值矩形 $(46, 57) \times (4, 18)$ 。

(3) 计算直方图的最大值, 记为 $V_{\max}$, 并将直方图频数值小于 $0.1 \times V_{\max}$ 的单元置为 0。即结果为

$$f_{\chi}(u, v) = f(u, v) \chi(u, v) \quad (1)$$

其中, 二值函数 $\chi(u, v)$ 取值为:

$$\chi(u, v) = \begin{cases} 1 & f(u, v) \geq 0.1 \times V_{\max} \\ 0 & f(u, v) < 0.1 \times V_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

(4) 对直方图频数值大于 $0.1 \times V_{\max}$ 的单元, 即函数 $f_{\chi}(u, v)$, 计算其重心坐标 (h, s) 。计算公式为:

$$h = \frac{m_{10}}{m_{00}}, s = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (3)$$

其中, m_{pq} 为 $f_{\chi}(u, v)$ 的 $(p+q)$ 阶矩, 即

$$m_{pq} = \sum_u \sum_v u^p v^q f_{\chi}(u, v) \quad (4)$$

(5) 移动阈值矩形, 使矩形的中心处于上一步的重心, 矩形的尺寸重新定为 $(h-20, h+20) \times (s-8, s+8)$;

(6) 重复步骤(4)和(5), 直到依次计算的 2 个重心的距离变化不超出预先给定的阈值为止。

(7) 在最终的直方图中, 由那些频数值大于 $0.1 \times V_{\max}$ 的单元确定阈值矩形, 并且由阈值矩形的 4 个边确定最终的阈值。通常最终的阈值矩形比迭代计算中所用的阈值矩形要小。

图 2 显示了一个迭代计算过程的结果。

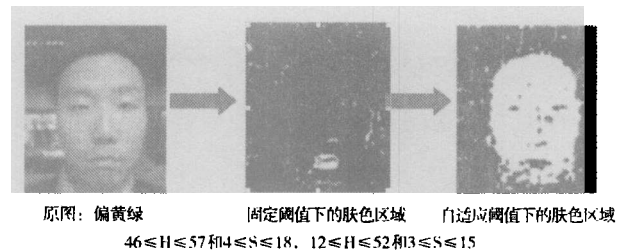


图2 自适应阈值算法的肤色检测示例

Fig.2 Demonstration of the skin detection using the adaptive threshold algorithm

4 人脸的进一步精确定位

自适应光照的肤色检测仅粗略地给出可能是肤色区域, 要进行人脸检测, 还需要进一步精确地确定人脸的区域。这里需要做 2 个方面的工作: ①挽回由于受光照的影响被误判为非肤色的肤色区域; ②剔除类似肤色背景造成的伪肤色区域。

当人脸区域被粗略确定的情况下, 由于人脸的轮廓可以采用两条直线和一条弧线近似地表示, 因此采用小波分析边缘检测方法确定人脸轮廓, 能有效地剔除类似肤色背景造成的伪肤色区域, 并且能挽回被误判的肤色区域。

采用小波分析的方法进行人脸轮廓检测可分为 2 步: 首先 Mallat 提出的小波分析的方法使边缘信息增强^[13], 然后采用边界跟踪在肤色区域边缘附近的一个区域内搜索人脸轮廓边缘, 并用直线拟合左右轮廓和弧线拟合下巴轮廓。

设 $\theta(x, y) > 0$, 且满足条件

$$\iint_{\mathbf{R}^2} \theta(x, y) dx dy = C, (C \neq 0)$$

定义小波为 $\Psi^1(x, y)$ 和 $\Psi^2(x, y)$ 使得

$$\Psi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \text{ 和 } \Psi^2(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y}$$

构造 $\Psi_s^i(x, y) = \frac{1}{s} \Psi^i(\frac{x}{s}, \frac{y}{s})$, 其中 $i = 1, 2$ 。 s 是尺度因子, 图像 $f(x, y)$ 在尺度 s 上的 2 维小波变换为:

$$W_s^1 f(x, y) = f * \Psi_s^1(x, y) \text{ 和 } W_s^2 f(x, y) = f * \Psi_s^2(x, y)$$

图像 $f(x, y)$ 上的小波变换等价于计算 $f(x, y)$ 经 $\theta_s(x, y)$ 平滑后的图像 $f * \theta_s(x, y)$ 的梯度:

$$\begin{bmatrix} W_s^1 f(x, y) \\ W_s^2 f(x, y) \end{bmatrix} = \frac{1}{s} \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta_s)(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta_s)(x, y) \end{bmatrix} = \frac{1}{s} \nabla (f * \theta_s)(x, y)$$

这时, 尺度 s 下的梯度向量的模和幅角分别为

$$M_s f(x, y) = \sqrt{|W_s^1 f(x, y)|^2 + |W_s^2 f(x, y)|^2}$$

$$A_s f(x, y) = \arctan \frac{W_s^2 f(x, y)}{W_s^1 f(x, y)}$$

在本文中取低通平滑函数为高斯函数, 即

$\theta(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$, 其中可取 $\sigma = 1$, 因为尺度 s 已起到了平滑窗口的作用。

沿 $A_s f(x, y)$ 方向的模 $M_s f(x, y)$ 的局部极大值点对应经过高斯函数平滑后的奇点, 人脸的轮廓存在于这些奇点中。由于人脸轮廓边缘的尺度基本一致, 因此可以在一个特定的尺度 s 的范围进行人脸轮廓边缘的检测。即首先在一个大的尺度下抑制噪声, 定位出人脸轮廓的大致位置, 然后在一个较小的尺度下精确地定位人脸的轮廓。

归纳而言, 一个完整的人脸轮廓检测过程如图 3 所示, 可以分为 4 步: ①采用 (YIQ) H-S 和 rg 双空间方法的自适应阈值的方法获得较准确的肤色区域, 选择有一定面积的肤色连通区域作为可能的人脸区域, 用一个矩形包围它, 称为准人脸肤色区域; ②在准人脸肤色区域的左右边界附近分别取一个邻域, 做小波变换; ③利用小波边缘检测的方法, 检测出人脸左右轮廓, 估计出下巴点的位置; ④利用准肤色区域的上界、下巴点和左右边缘的最外点 4 个参数, 画出人脸椭圆。

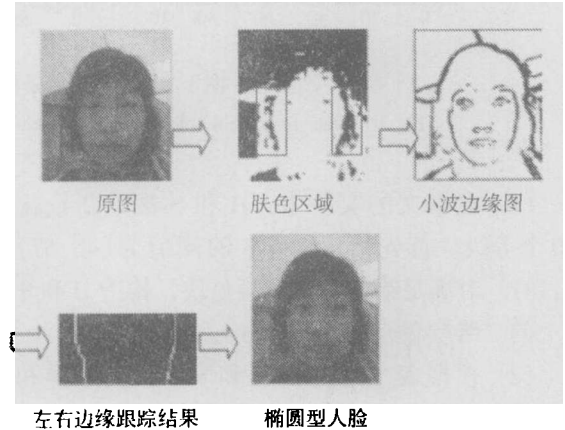


图 3 人脸轮廓检测的过程图示

Fig. 3 Demonstration of a face contour detection

在精确定位人脸轮廓的前提下, 利用 Lai 等^[14]提出的查找眼睛和嘴巴的方法, 可以用于验证所确定的肤色区域是否为人脸区域。

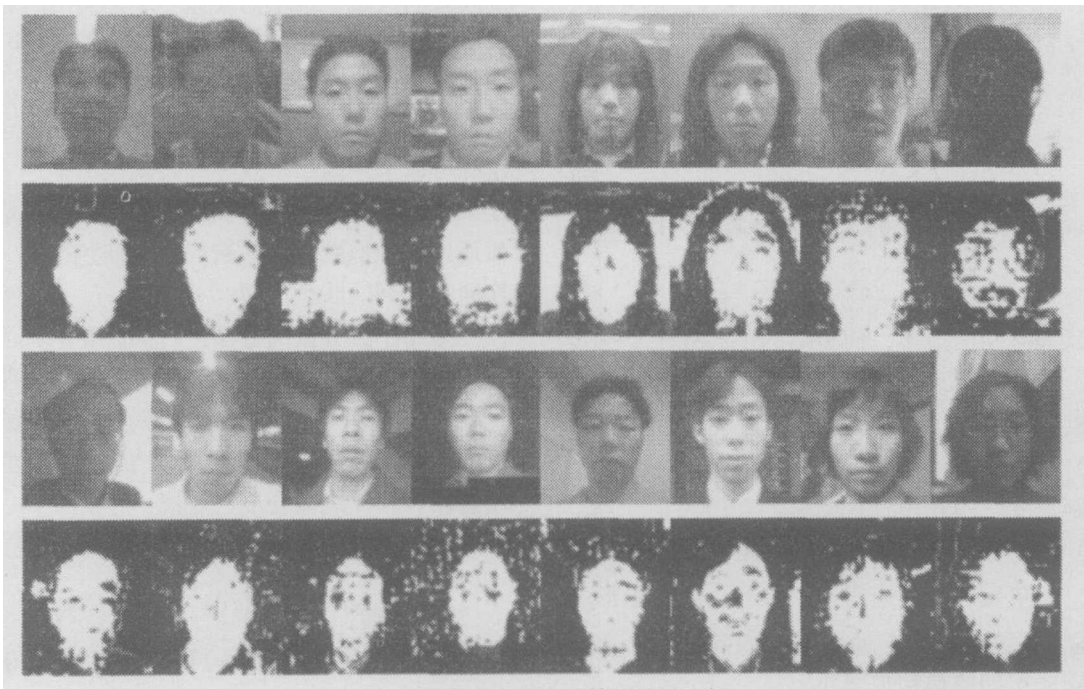


图 4 肤色分离和人脸检测结果示例

Fig. 4 Demonstration of skin segmentation and face detection results

5 实验与结果

利用日本 Omron 公司提供的非均匀光照人像数据库评估本文提出的算法,该数据库有 2158 幅具有复杂背景和光照条件的单人像,其特点是图像分辨率低,并且有包括室内和室外的各种光照条件下获得的人脸图像,如太阳光、霓虹灯光、强白光、斑点光和光的阴影等条件下获得的人脸图像(光照条件如图 4 所示)。本文提出新算法的检测的准确率达 98.32%。图 4 列出部分检测结果。

6 结论

肤色的检测在人脸检测和手姿识别方法具有重要的应用价值,在人脸检测方面,肤色信息可以用于预处理,也可以用于后期验证。但是,基于肤色检测算法实用化的前提是必须排除光照对肤色特征的影响。本文提出的算法从 3 个方面考虑了抗光照问题:①从常用的色度空间,如 $r-g$ 空间、HSV(H-S)空间、YIQ(H-S)和 TSL(T-S)空间中选出对光照因素稳健的肤色子空间 YIQ(H-S);②基于肤色子空间 YIQ(H-S)和直方图模型,提出了其阈值能随光照条件自适应确定的肤色检测方法;③对于人脸检测而言,肤色特征仅为低级特征,单纯采用肤色特征还不能决定所检测的区域是否为人脸,另一方面,类似肤色背景的物体,也产生了伪肤色区域,需要从可能的人脸区域中剔除伪肤色区域。本文进一步提出了通过基于肤色特征和小波边缘检测的人脸精确定位方法。

致谢:感谢日本 Omron 公司提供了非均匀光照人像数据库!

参考文献:

[1] YANG M H, KRIEGMAN D, AHUJA N. Detecting Face in Images: A survey[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1): 34 - 58.

[2] TERRILLON J C, SHIRAZI M N, FUKAMACHI H, et al. Comparative Performance of Different Skin Chrominance Models and Chrominance Space for the Automatic Detection of Human Faces in Color Images[C]. Proc IEEE Int'l Conf on Face and Gesture Recognition, 2000: 54 - 61.

[3] KJELDSEN R, KENDER J. Finding Skin in Color Images [C]. 2nd Int'l Conf Face and Gesture Recognition. Killington, Vermont, 1996: 312 - 317.

[4] ZARIT B D, SUPER B J, QUEK F K H. Comparison of Five Color Models in Skin Pixel Classification[C]. Proc. IEEE Int'l conf Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems. Corfu, Greece, 1999: 58 - 63.

[5] JONES M J, REHG J M. Statistical Color models with application to skin detection[C]. Proc Computer Vision and Pattern Recognition, 1999: 274 - 280.

[6] MACDONALD L W, LUO M R. Color Image Vision and Technology[M]. New York: JOHN WILEY & SONS LTD, 1999: 73 - 98.

[7] FUNT B V, FINLAYSON G D. Color Constant Color Indexing [J]. IEEE Pattern Anal Mach Intell, 1995, 17(5): 522 - 529.

[8] STÖRRING M, ANDERSEN H J, GRANUM E. Estimation of the Illuminant Colour from Human Skin Colour[C]. 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2000: 64 - 69.

[9] FINLAYSON G D, HORDLEY S D, HUBEL P M. Color by correlation: a simple, unifying framework for color constancy [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(11): 1209 - 1221.

[10] MCKENNA S J, RAJA Y, GONG S G. Tracking Colour Object Using Adaptive Mixture Model [J]. Image and Vision Computing, 1999, 17: 225 - 231.

[11] CHO K M, JANG J H, HONG K S. Adaptive Skin-color filter[J]. Pattern Recognition, 2001, 34: 1067 - 1073.

[12] ALBIOL A, TORRES L, DELP E J. Optimum Color Spaces for Skin Detection[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, 2001: 122 - 124.

[13] MALLAT S. Characterization of Signals from Multiscale Edges [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(7): 710 - 732.

[14] LAI J H, YUEN P C, CHEN W S, et al. Robust facial feature point detection under nonlinear illuminations [C]. Proceedings of Second International Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real-time Systems (RATFG-RTS 2001), Canada, 2001: 168 - 174.

Adaptive Human Face Skin-color Detector

LAI Jian-huang^{1,2}, YUEN Pong-chi³, FENG Li¹

(1. School of Mathematics and Computational Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Information Security, Guangzhou 510275, China;

3. Department of Computer Science, Hong Kong Baptist University, HongKong, China)

Abstract: A skin detecting method is presented from three aspects. This method can counteract the illuminating noise very robustly: ①from the common color space, the skin subspace is selected which doesn't influenced by illumination; ②propose a illuminating adaptive detecting skin method based on the suitable subspace; ③accurately locate the face region by using more the wavelet edge detection method. Experimental results show that this method has good effects on opposing the influences of lighting, shine, neon lighting, shadow of light.

Key words: face detection; skin color model; illumination condition; adaptive threshold