

# 基于参数查找表的肤色检测算法

易轶虎<sup>1,2</sup> 曲道奎<sup>1,3</sup> 徐方<sup>1,3</sup>

(中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016)<sup>1</sup> (中国科学院研究生院 北京 100049)<sup>2</sup>  
(新松机器人与自动化有限公司 沈阳 110168)<sup>3</sup>

**摘要** 针对现有模型对肤色空间刻画的不足,提出了一种基于参数查找表的肤色检测算法。该方法将肤色和非肤色看作两类模式,通过在 YCbCr 颜色空间统计,计算样本在不同色度下沿亮度的概率分布,分类采用贝叶斯判别规则,查找表用于存储模型参数,实现了快速查找和计算。实验中,从像素样本分类和彩色图片分割两个方面对算法的检测性能进行对比,说明其具有较高的检测率和较强的鲁棒性。

**关键词** 肤色建模,查找表,色度,亮度,贝叶斯分类

**中图分类号** TP391.41 **文献标识码** A

## Algorithm of Skin-tone Detection Based on Parameter Look-up Table

YI Yi-hu<sup>1,2</sup> QU Dao-kui<sup>1,3</sup> XU Fang<sup>1,3</sup>

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)<sup>1</sup>  
(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)<sup>2</sup>  
(SIASUN Robot & Automation Co., Ltd, Shenyang 110168, China)<sup>3</sup>

**Abstract** Because of the lack of adequate characterization in existing models for the distribution of skin-tone, algorithm was proposed to detect skin-tone based on a look-up table storing parameters. This method takes skin-tone and non skin-tone as two types of mode. By means of statistics in YCbCr color space, we can obtain the probability distribution of different samples with same chroma along lum coordinate, then make classification using Bayesian discriminant rules, among which look-up table is used to store the model parameters to achieve rapid search and calculation. During experiment, we evaluated the detection performance of algorithm from two aspects of the pixel samples classification and image segmentation, result shows our method has high detection rate and strong robustness.

**Keywords** Skin modeling, Look-up table, Chroma, Luminance, Bayes classification

由于肤色在不同种族的人群中具有显著的聚类性,常常作为人脸检测的鉴别特征。它具有处理速度快、不受姿态和表情变化的影响、对仿射或旋转变换保持不变等优点。在背景简单的图像中,可以利用肤色分割直接定位人脸;在复杂背景的彩色图像中,可以借助肤色信息进行人脸粗定位,为进一步的检测缩小范围。肤色差别主要来自于个体差异、光源颜色、光照强度和姿态变化以及阴影遮挡等因素。而图像中类肤色背景的存在,进一步增加了对肤色检测鲁棒性的要求。肤色检测的关键技术在于颜色空间的选择、肤色空间建模、肤色分割方案。当前肤色检测研究中,首先通过线性或非线形变换构造色度和亮度分离的颜色空间,以减少光照的影响,然后将肤色样本表示为新空间下的描述;在 2 维色度空间对变换后的肤色样本进行统计建模,建模的方法有域值定界法、直方图查找表以及基于参数的椭圆边界法、单高斯模型、混合高斯模型等<sup>[1-4]</sup>;肤色分割方案多采用阈值判别。上述检测方案存在以下几个问题:(1)由于对计算复杂性和存储成本的考虑,肤色建模时忽略了亮度信息,实际上色度和亮度信息并不

能完全独立分布;(2)在肤色建模中没有考虑类肤色样本的干扰,影响了检测的准确性;(3)区间法和椭圆边界法检测速度最快,但其认为不同肤色值以同等概率出现,主观性较强;直方图查找表方法虽然检测速度快,但需要大量存储空间来存储每一种肤色的直方图信息,而混合高斯模型则需要大量的迭代运算进行拟合来获得合适的参数。这些不足限制了肤色检测在实际应用中的性能。

针对上述不足,我们提出了基于参数查找表的肤色检测算法,该算法提出了一种新的肤色模型,模型综合考虑了正反样本、色度与亮度对检测的影响,设计了肤色检测的算法流程,实验结果表明该算法改进了肤色检测的性能和速度。

### 1 颜色空间选择

彩色图像通常使用 RGB 颜色空间来描述,其中的 R, G, B 值不仅代表色彩信息,同时也包含亮度信息。RGB 彩色空间的不足表现为 RGB 颜色值之间的高相关性,相关系数分别为 B-R: 0.78, R-G: 0.98, G-B: 0.94<sup>[5]</sup>。由于 RGB 彩色空间

到稿日期:2009-05-22 返修日期:2009-08-11 本文受 863 国家重点基金项目(2007AA01701)资助。

易轶虎(1973-),男,博士生,主要研究方向为机器视觉、模式识别,E-mail:yyihu@sia.cn;曲道奎(1961-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为智能控制、机器人学;徐方(1962-),男,研究员,主要研究方向为智能控制、机器人学。

有很高的相关性以及与人的视觉感知不一致的缺点,因此实际检测中往往采用其他的彩色空间来描述肤色特征,图 1,图 2 显示了肤色样本分别在 RGB 和 YCbCr 空间的分布。本文选用 YCbCr 空间作为肤色分布统计的颜色空间,该空间的优点是色度受亮度变化的影响较小,而且色度彼此独立,能较好地限制肤色分布区域<sup>[6]</sup>,与其他颜色空间相比具有以下优点:

- 1) YCbCr 颜色空间具有与人类视觉感知过程相类似的构成原理;
- 2) YCbCr 颜色空间被广泛用于电视广播和视频编码压缩中,如 MPEG, JPEG 等标准普遍采用此颜色表示;
- 3) YCbCr 颜色空间与 HSI, HSL, HSV 等相类似,独立表示亮度和色度分量;
- 4) 与 HSI 等相比,自 RGB 空间到 YCbCr 空间的转换和坐标表示形式比较简单;
- 5) 前人的实验表明在 YCbCr 颜色空间肤色的聚类性比较好。

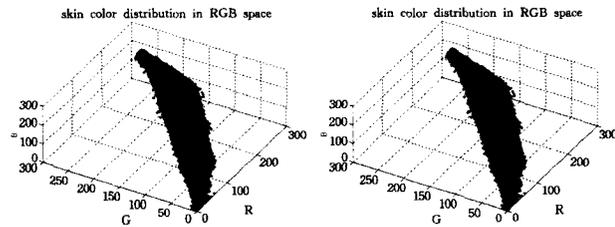
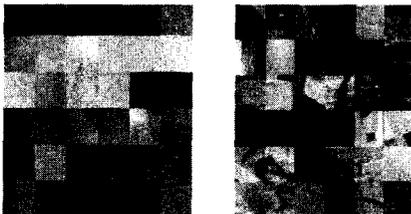


图 1 肤色在 RGB 空间的分布 图 2 肤色在 YCbCr 空间的分布

## 2 参数查找表的肤色模型

肤色模型用于肤色与非肤色样本的分类,传统的肤色模型大多基于统计理论构建参数或非参数模型,模型建立在色度的 2 维空间,没有涉及亮度因素。实际上除了肤色本身的色度外,人眼对肤色区域的感知与光照强度有关,如图 2 所示。研究表明,人类视觉在中等亮度时,较易察觉颜色的细微变化;而在低亮度和高亮度,则变得不敏感,可分辨的颜色大为减少;在低亮度下,近乎于灰黑色而在高亮度下往往是一片白亮。因此在 YCbCr 空间将不同 CbCr 值的样本像素在 Y 分量进行分类,可以检测不同亮度的肤色像素,从而提高肤色检测在不同光照下的鲁棒性。另一方面,传统的肤色模型只是针对肤色样本进行统计,实际上,自然界中大量存在着类肤色的非肤色环境背景,如图 3(a),图 3(b),这些非肤色背景对正确肤色判别带来了干扰,因此在分类时应当考虑非肤色样本对分类的影响。



(a) 肤色样本图片 (b) 类肤色的非肤色样本图片

图 3

构建参数查找表肤色模型的具体步骤:

设 Skin\_Set 为肤色像素集,  $Skin\_Set = \{S_1, S_1, \dots, S_i\}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$

NonSkin\_Set 为非肤色像素集,  $NonSkin\_Set = \{E_1, E_2, \dots, E_j\}$ ,  $j=1, 2, \dots, m$

其中  $n, m$  代表各类像素总数,  $S_i, E_j$  都为  $(Y, C_b, C_r)$  形式的 3 元组。

(1) 按色度  $(C_b, C_r)$  分别计算各类的色度权值:

$$\omega_{(C_b, C_r)}^{skin} = \frac{count(S_i^{(C_b, C_r)})}{n}$$

$$\omega_{(C_b, C_r)}^{nmskin} = \frac{count(E_j^{(C_b, C_r)})}{m}$$

其中,  $S_i^{(C_b, C_r)}, E_j^{(C_b, C_r)}$  代表色度为  $(C_b, C_r)$  的各类样本,  $count()$  为计数函数。

(2) 在肤色样本色度覆盖范围内,按色度  $(C_b, C_r)$  分别计算各类的 Y 分量的均值和方差  $\mu_{(C_b, C_r)}^{skin}, \mu_{(C_b, C_r)}^{nmskin}, \sum_{(C_b, C_r)}^{skin}, \sum_{(C_b, C_r)}^{nmskin}$ :

$$\mu_{(C_b, C_r)}^{skin} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

$$\mu_{(C_b, C_r)}^{nmskin} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m E_j$$

$$\sum_{(C_b, C_r)}^{skin} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - \mu_{(C_b, C_r)}^{skin})(S_i - \mu_{(C_b, C_r)}^{skin})'$$

$$\sum_{(C_b, C_r)}^{nmskin} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (E_j - \mu_{(C_b, C_r)}^{nmskin})(E_j - \mu_{(C_b, C_r)}^{nmskin})'$$

(3) 在肤色样本色度覆盖范围内,将每个色度下的权值、均值、方差保存在查找表 LUT 内,生成查找表的伪代码如下:

```
for  $C_b = \min(C_b)$  to  $\max(C_b)$ 
  for  $C_r = \min(C_r)$  to  $\max(C_r)$ 
    LUT( $C_b, C_r$ ) = ( $\omega_{(C_b, C_r)}^{skin}, \omega_{(C_b, C_r)}^{nmskin}, \mu_{(C_b, C_r)}^{skin}, \mu_{(C_b, C_r)}^{nmskin}, \sum_{(C_b, C_r)}^{skin}, \sum_{(C_b, C_r)}^{nmskin}$ )
  end
end
```

通过样本统计,最后生成  $119 \times 95$  大小的 2 维查找表,查找表的作用在于通过增加存储空间来减少计算时间,在检测过程中直接查找相应参数,无需重复计算,这样可以提高检测速度。

## 3 分类策略和实验对比

### 3.1 分类策略

肤色检测是两类分类问题,检测结果与分类策略选择有关。通过观察统计数据,肤色与非肤色样本在不同色度取值下沿亮度分量的出现频率近似服从高斯分布,图 4 显示了某一色度网格区间内样本沿亮度的分布,其中样本色度区间为  $C_b = 122 \sim 123, C_r = 137 \sim 138$ ,横坐标代表亮度,纵坐标代表该亮度区间的像素总数,蓝色代表肤色,红色代表非肤色,亮度划分间隔为 4,从形态上看近似服从正态分布,说明上述假设的合理性。按以上思路,假设如下:给定色度的肤色与非肤色样本在亮度分量上条件概率密度分布服从高斯分布,分布参数的均值  $\mu$  和方差  $\delta$  采用上述计算的均值和方差,概率计算公式如下:

$$P(S(Y, C_b, C_r) | Skin) = \frac{1}{2\pi \left| \sum_{(C_b, C_r)}^{skin} \right|^{\frac{1}{2}}} \times \exp\left(-\frac{(S(Y) - \mu_{(C_b, C_r)}^{skin})^2}{2 \left| \sum_{(C_b, C_r)}^{skin} \right|}\right) \quad (1)$$

$$P(E(Y, C_b, C_r) | NonSkin) = \frac{1}{2\pi \left| \sum_{(C_b, C_r)}^{nmskin} \right|^{\frac{1}{2}}} \times \exp\left(-\frac{(E(Y) - \mu_{(C_b, C_r)}^{nmskin})^2}{2 \left| \sum_{(C_b, C_r)}^{nmskin} \right|}\right) \quad (2)$$

分类策略采用 Bayes 决策理论,考虑到不同色度下的样

本权重,判别方法:

$$comp = \frac{\omega_{(C_b, C_r)}^{skin} \cdot P(S(Y, C_b, C_r) | Skin)}{\omega_{(C_b, C_r)}^{nonskin} \cdot P(E(Y, C_b, C_r) | NonSkin)} \quad (3)$$

$$Pixel(Y, C_b, C_r) = \begin{cases} skin, & \text{if } comp > threshold \\ nonskin, & \text{if } comp \leq threshold \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $Pixel(Y, C_b, C_r)$ ,  $threshold$  分别代表待分类的像素样本和阈值, 阈值可以通过实验确定, 为了进一步简化分类计算, 可以把阈值保存在查找表内, 并且采用马氏距离判决。

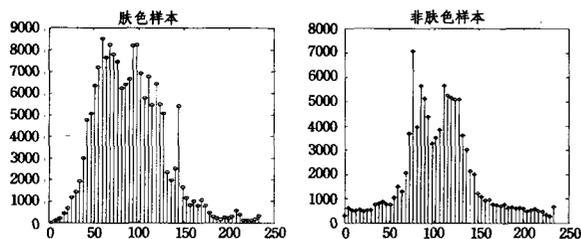


图4 某色度区间肤色/非肤色样本沿亮度分布

### 3.2 实验对比

为全面验证提出的模型, 分别从颜色空间、建模方法、决策策略方面进行对比, 对比结果通过统计数据 and 实际彩色图片的肤色分割效果来说明。利用互联网、视频、图片库等资源收集肤色样本图片 1012 幅, 非肤色样本图片 1538 幅, 肤色图片主要来自黄种人和白种人, 具有日光、室内光、夕阳光等光照条件, 以及偏红、偏蓝、偏绿等偏色存在; 既有曝光不足的偏暗环境, 也有局部高亮成分; 非肤色图片主要选择存在大量类肤色背景的图片, 以便强化分类器训练。对肤色图片手工标记, 获得  $8.027 \times 10^7$  个肤色样本点, 经程序统计获得  $1.439 \times 10^8$  个非肤色样本点, 将样本点按 7:3 的比例随机划分为训练集和测试集。针对测试集, 分别在颜色空间 XYZ, nxyz, CIE-xyY, YUV, YCbCr, CIE-L\* a\* b\*, CIE-u'v'L, HSV 等空间采用本文方法与文献[1-4, 10]中的建模方法评价分类效果, XYZ 和 nxyz 空间没有明显的亮度分量, 随后 3 种的 Y 和最后 3 种的 L 及 V 代表亮度信息。评价指标采用检测率以及通用的肤色样本的识别率(True Positive Rate, TPR) 和误警率(False Negative Rate, FNR), 表示成 ROC 曲线形式(Receiver Operating Characteristics)。曲线是以 FNR 为自变量的 TPR 变化曲线, 它是衡量分类整体性能的有效手段, 曲线下面积 AUC(Area Under Curve) 越接近 1, 分类效果越佳。其中 EBM, SPM, SGM 分别是文献[1-4, 10]中提到的椭圆边界模型, 肤色直方图, 单高斯模型, SD 代表肤色检测率, NSD 代表非肤色检测率。表 1 是在不同颜色空间下对不同肤色建模方法检测率的比较, 对比试验同时考察了不同方法对肤色样本和非肤色样本的分类能力。图 5(a), 图 5(b) 分别为在 HSV 和 YCBCr 空间对 EBM, SGM 和本文方法的 ROC 性能比较曲线。

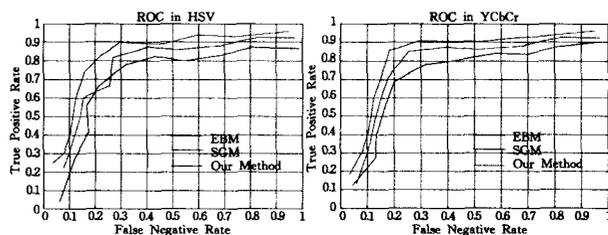
表 1 不同颜色空间下建模方法检测率(%)对比

Method	EBM		SPM		SGM		Our method (Skin only)		Our method (Bayes)	
	SD	NSD	SD	NSD	SD	NSD	SD	NSD	SD	NSD
HSV	81.83	60.71	84.59	63.11	86.99	71.23	88.47	77.66	90.17	83.55
CIE-L* a* b*	75.38	64.98	80.40	66.42	81.90	70.95	82.54	77.95	83.85	82.76
CIE-u'v' L	80.30	71.68	84.85	73.12	83.59	73.17	84.14	71.87	84.57	83.80

XYZ	72.69	68.57	79.23	71.64	80.47	71.50	80.43	71.90	80.53	75.51
YCbCr	79.01	71.15	86.51	75.54	86.38	74.34	89.29	74.46	91.80	86.63
YUV	75.72	72.86	82.55	73.92	81.49	74.39	83.49	76.46	85.67	81.19
nxyz	71.88	67.84	76.05	69.94	77.57	71.82	79.96	70.09	80.75	74.98

从表 1 可以看出, 本文的方法在亮度和色度分离的颜色空间对正负样本具有较高的检测率, 而且本文方法在各个颜色空间的检测率普遍较高, 特别在 HSV 和 YCbCr 空间, 说明本模型对肤色的分布描述优于其他模型。从表 1 右侧本文方法两种分类策略对比可知, 采用基于正负样本的 Bayes 判决普遍好于仅仅依赖肤色样本建模的检测策略, 说明综合考虑正负样本的影响有助于提高检测性能。从图 4 可以看出, 在相同误检率下本文方法的检测率优于其他两种, 说明本文方法在不同检测条件下整体性能较优, 具有较好的泛化推广能力。

通过彩色图片的肤色检测结果比较可以看出, 本文方法检测出的肤色区域, 对背景中包含的类肤色背景区域排除能力较好, 如图 6 所示。观察图 7 面部皮肤检测结果可以发现, 本文对光照不均匀的情况具有较好的鲁棒性, 这得益于建模过程中加入了亮度信息。



(a) HSV 空间 ROC (b) YCbCr 空间 ROC

图 5

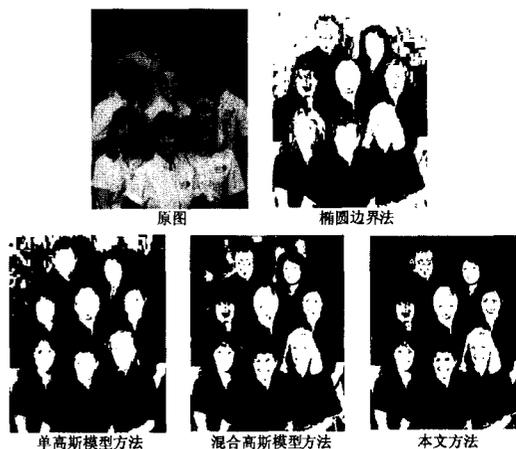


图 6 复杂背景下的肤色检测结果



图 7 复杂光照下的肤色检测结果

(下转第 274 页)

**结束语** 本文针对复杂场景中非刚体运动目标的检测跟踪问题,提出了一种新的方法。先用粒子滤波方法跟踪人体运动目标的外接矩形区域,在跟踪结果的基础上用水平集方法通过演化提取运动人体轮廓,同时用提取的结果动态更新粒子滤波器的似然函数。本文方法的优点在于:将运动人体目标状态的不确定性交给粒子滤波器来解决,从而有效地进行人体运动跟踪;同时利用曲线演化理论中的水平集方法进行运动人体轮廓的精确提取,其较强的拓扑自适应性较好地解决了参数化主动轮廓模型中弱边缘的问题,提取结果达到了轮廓级,同时反馈到跟踪模型中,实现了检测与跟踪的交互,构成了有效跟踪的稳定体系。

### 参 考 文 献

[1] Foresti G L, Mähönen P, Regazzoni C S, et al. Multimedia Video-Based Surveillance Systems; Requirements, Issues and Solutions [M]. Norwell, MA; Kluwer Academic Publishers, 2000

[2] Romano R, Lee L, Stein G. Monitoring activities from multiple video streams: Establishing a common coordinate frame [J]. IEEE Trans. on PAMI, 2000, 22(8): 758-768

[3] Spirito M, Regazzoni C S, Marcenaro L. Automatic detection of dangerous events for underground surveillance[C]//IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. 2005: 195-200

[4] Hu W, Tan T, Wang L, et al. A survey on visual surveillance of object motion and behaviors[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-PART C: Applications and Reviews,

2004, 34(3): 334-351

[5] Osher S, Sethian J A. Fronts propagating with curvature dependent speed; algorithms based on Hamilton-Jacobi formulation [J]. Journal of Computer Physics, 1988, 79(1): 12-49

[6] Li Chunming, Xu C Y, Gui C F, et al. Level Set Evolution Without Re-initialization: A New Variational Formulation[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005

[7] Joshi N, Brady M. Non-parametric mixture model based evolution of level sets[C]//International Conference on Computing: Theory and Applications, ICCTA. 2007

[8] Silveira M, Marques J S. Level Set Segmentation of Dermoscopy Images[C]//IEEE international symposium on biomedical image, ISBI. 2008: 173-176

[9] Flenner A. Finding Edge Features Using the Fast Level Set Transform and the Helmholtz Principle[C]//Southwest Symposium on Image Analysis & Interpretation, SSIAI. 2008: 9-12

[10] Isard M, Blake A. Condensation-conditional density propagation for visual tracking[J]. International Journal of Computer Vision, 1996, 28(1): 5-28

[11] Pan P, Schonfeld D. Dynamic Proposal Variance and Optimal Particle Allocation in Particle Filtering for Video Tracking[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(9): 1268-1279

[12] Angelova D, Mihaylova L. Extended Object Tracking Using Monte Carlo Methods[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 2008, 56(2): 825-832

(上接第 264 页)

**结束语** 本文算法综合了肤色样本和非肤色样本在颜色空间的分布,利用高斯模型进行概率分布拟合,查找表记录了不同色度坐标位置上正负样本沿亮度分量的概率密度分布的参数;检测策略采用 Bayes 决策理论。算法考虑了来自正负样本对肤色检测的不同影响,通过建立亮度方向高斯分布模型,将亮度信息引入,改进仅仅依赖色度信息划分的不足,尽可能多地保留样本在色度和亮度上的分布信息,使得对样本分布的刻画更细致,减少了正负样本的重叠程度;计算上,利用了查找表的速度优势,为减少查找表的存储成本,查找表是 2 维的,每个元素存储高斯模型的权值、均值和方差等参数而不是 SPM 模型中存储归一化的肤色点频率的 3 维查找表,而且通过概率分布可以轻易进行内插和数据归纳。实验对比显示,提出的基于参数的查找表有很强的鲁棒性和较高的检测率。

### 参 考 文 献

[1] Kakumanu P, Makrogiannis S, Bourbakis N. A survey of skin-color modeling and detection methods[J]. IEEE Trans. Pattern Recognition, 2007, 40(3): 1106-1122

[2] Ihab Zaqout Roziati Zainuddin Sopian Baba. A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques[J]. IEEE Trans. Machine Graphics & Vision International Journal, 2005, 14(1)

[3] 陈锻生,刘政凯. 肤色检测技术综述[J]. 计算机学报, 2006, 29(2)

[4] Zarit B D, Super B J, Quek F K H. Comparison of Five Color Models in Skin Pixel Classification[C]//RATFG-RTS '99

[5] Terrillon J C, Shirazi M N, Fukamachi H, et al. Comparative performance of different skin chrominance models and chrominance spaces for the automatic detection of human faces in color images[C]//Proc. of the International Conference on Face and Gesture Recognition. 2000: 54-61

[6] Phung S L, Bouzerdoum A, Chai D. A novel skin color model in ycbcr color space and its application to human face detection[C]//IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '2002). vol. 1, 2002: 289-292

[7] Brand J, Mason J. A comparative assessment of three approaches to pixel-level human skin-detection[C]//Proc. of the International Conference on Pattern Recognition. vol. 1: 1056-1059

[8] Phung S L, Bouzerdoum A, Chai D. Skin segmentation using color pixel classification: Analysis and comparison[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(1): 149-154

[9] Stërring M. Computer vision and human skin colour [D]. Computer Vision and Media Technology Laboratory, Aalborg University, Denmark, 2004. <http://www.cvm.t.dk/~mst>

[10] Lee J Y, Yoo S I. An elliptical boundary model for skin color detection[C]//Proc. of the International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology. Las Vegas, USA, 2002: 579-584