

基于新颜色空间 YCgCr 的复杂背景图像下的肤色区域检测^{*}

王建国^{1,2} 华继钊^{1,3} 杨静宇¹

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)¹

(唐山学院网络教育中心 唐山 063000)² (扬州大学信息工程学院 扬州 225009)³

摘要 肤色信息在基于彩色图像的手势识别、人脸检测与跟踪和基于内容的不良图像过滤等应用中,起着非常重要的作用。为了有效地检测图像中的肤色区域,采用了类似于 YCbCr 颜色空间的新颜色空间 YCgCr。为了说明 YCgCr 颜色空间的优越性,给出了该颜色空间与 YCbCr 颜色空间和 Karhunen-Loeve (K-L) 变换颜色空间中多样实验操作的比较。实验结果表明,用同样肤色样本得到的肤色阈值对相同的测试图像集进行肤色检测时, YCgCr 颜色空间具有很好的肤色区域检测效果,漏检率和误检率均低于其它两个颜色空间的漏检率和误检率,并且对于不同的光照条件有较好的鲁棒性。

关键词 颜色空间, K-L 变换, 肤色检测, 错误率

Skin-color Region Detection in Complex Scene Images Based on Novel Color Space YCgCr

WANG Jian-Guo^{1,2} HUA Ji-Zhao^{1,3} YANG Jing-Yu¹

(School of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)¹

(Network & Education Center, Tangshan College, Tangshan 063000)²

(College of Information and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009)³

Abstract Skin-color information plays an important role in applications such as hand gesture recognition, face detection and tracking and content based malignant image filtering based on color images. To detect skin-color regions effectively in images, a novel color space YCgCr that is similar to color space YCbCr is applied. To describe the advantages of the color space YCgCr, the experiment results achieved with this novel color space are compared with those obtained in YCbCr color space and Karhunen-Loeve (K-L) transform color space, the results on the same testing image sets demonstrate that YCgCr color space has more better skin-color region detection than that of the YCbCr color space and K-L color space based on the skin-color thresholds obtained through the same skin-color samples, false dismissal rate and false detection rate are lower than those of the two other color spaces and can work well under changing illumination intensity.

Keywords Color space, K-L transform, Skin color detection, Error rates

1 引言

颜色包含了比灰度更多的信息,并且它不会因人体方向、姿势和大小的改变而变化,因此,利用肤色信息检测彩色图像中人体肤色区域是一种快速有效的方法。

利用肤色信息进行肤色区域检测的缺点是肤色会随着光照条件变化而变化,特别是在 RGB 颜色空间中,肤色对光照变化非常敏感,因为在该颜色空间中 R、G、B 各分量都包含了亮度信息,它们之间存在着很大的相关性,而这种相关性,不利于肤色的检测和分割。

肤色区域检测的目的是为了缩小后续工作的搜索空间,因此应尽可能多地检测出肤色区域(包含尽可能多的真肤色区域,而包含尽可能少的伪肤色区域),然后根据具体应用,结合其它特征信息去除伪肤色区域。

在早期的研究中,人们已经应用了多种用来进行肤色区域检测与分割的颜色空间,如: RGB^[1]、HIS^[2]、HSV^[3]、YUV^[4]、YCbCr^[3,5]等,其中 HSV、YUV、YCbCr 等颜色空间

具有亮度和色度分离的特性。在本文中,我们采用了一种新的 YCgCr 颜色空间^[6]进行肤色区域检测,并和 YCbCr 颜色空间及 K-L 颜色空间^[7]结果做了比较,通过实验结果可以看出,这个新的颜色空间有较好的肤色区域检测效果。

2 颜色空间

最常用的表现彩色图像的颜色空间是 RGB 颜色空间,在该颜色空间中,颜色被定义为由 R、G、B 三个分量组成。这三个分量都包含了亮度信息,它们之间存在着很大的相关性,而这种相关性,不利于肤色的检测和分割。研究表明,在某些颜色空间中,色度和亮度是相互独立的,在不同的光照条件下,物体的色度具有恒常性,因此改变对光照变化敏感的方法就是将 RGB 颜色空间表示的图像转换到亮度和色度分离的颜色空间。

2.1 K-L 颜色空间

K-L 变换是一种正交变换,可以消除颜色空间中各分量之间的相关性,实现色彩和亮度分离的目的。K-L 颜色空间

^{*} 基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:60072034)。王建国 博士生,副教授,主要从事模式识别、图像处理、计算机网络的研究。华继钊 博士生,讲师,主要从事模式识别、图像处理的研究。杨静宇 教授,博导,主要研究领域为计算机视觉、信息融合、模式识别、智能机器人。

是经过 K-L 变换后的表示颜色的空间,其转换矩阵生成方法见文[7]。本文所用的 RGB 颜色空间到 K-L 颜色空间转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} K1 \\ K2 \\ K3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6981 & 0.6666 & 0.2615 \\ 0.5413 & -0.2522 & -0.8021 \\ 0.4687 & -0.7015 & 0.5368 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

该转换矩阵是由肤色样本组 5(见 3.2)计算得到的,当选用的肤色样本差别较大时,转换矩阵也会发生变化,因此,对于差别较大的肤色样本组,其转换矩阵应重新计算。

2.2 YCbCr 颜色空间

YCbCr 是离散的颜色空间,来源于国家电视标准委员会制彩色电视信号的传输,其中 Y 代表图像的亮度信息, $Y \in [16, 235]$; Cb 和 Cr 分量代表颜色信息, $Cb, Cr \in [16, 240]$ 。该颜色空间将 RGB 分解成亮度信息和色度信息,分别进行处理。其转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0046 & 0 & 0.0063 \\ 0.0046 & -0.0015 & -0.0032 \\ 0.0046 & 0.0079 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y-16 \\ Cb-128 \\ Cr-128 \end{bmatrix} \quad (3)$$

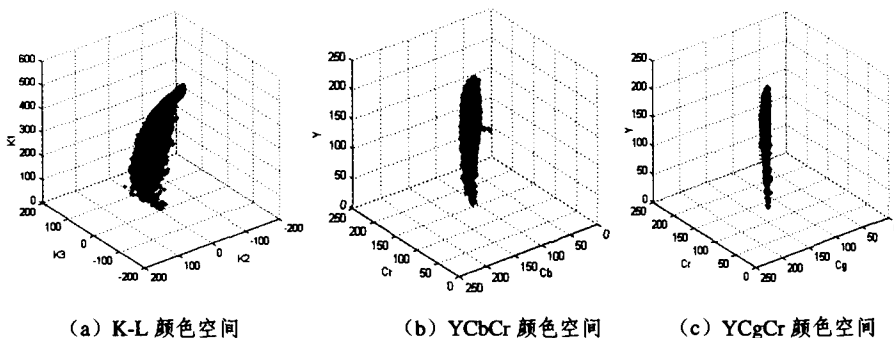


图 1 三个样色空间中的肤色区域分布

3.2 肤色检测阈值的确定

本文为了说明 YCgCr 颜色空间在肤色检测中的优越性,与 YCbCr 颜色空间和 K-L 颜色空间在相同的实验条件下作了比较。针对三个颜色空间,选用了 5 组有不同差别的肤色样本进行了实验研究,用在不同的肤色样本下得到的肤色阈值进行肤色区域检测,对漏检率和误检率进行比较。5 组肤色样本组见表 1。

表 1 实验用的肤色样本组

肤色样本组	1	2	3	4	5
肤色图片数	5	15	35	51	56
肤色点数	4570	25815	53351	112383	117571

表中肤色样本组 1 选取了 5 幅光照均匀的亚洲人肤色图片;肤色样本组 5 包含了 56 幅光照变化的亚洲、欧美人肤色图片;肤色样本组 2、3、4 是肤色样本组 1 和 5 之间的肤色样本种类。这些肤色样本是从互联网中下载的亚洲及欧美人种的包含有光照强度变化(考虑了高光和阴影)的图片。每个肤色样本组中的肤色样本都是经过手工裁剪得到的。

下面的三个颜色空间的肤色阈值是利用公式(1)、(2)、

2.3 YCgCr 颜色空间

YCgCr 颜色空间类似于 YCbCr 颜色空间,区别仅在于 Cg 和 Cb 分量。因此,该颜色空间具有 YCbCr 颜色空间所具有的特点。其转换公式可以从 YCbCr 颜色空间转换公式导出^[6],转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cg \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2568 & 0.5041 & 0.0979 \\ -0.318 & 0.4392 & -0.1212 \\ 0.4392 & -0.3677 & -0.0714 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.1643 & -0 & 1.5960 \\ 1.1644 & 0.9403 & 0 \\ 1.1647 & -4.8415 & -4.1861 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y-16 \\ Cg-128 \\ Cr-128 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3 肤色模型的建立

3.1 肤色在颜色空间的分布

颜色由三个分量组成,图 1 是肤色在不同颜色空间中三个分量的三维分布示意图。从图 1 中可以看出 YCgCr 颜色空间中肤色聚类区域最小,而 K-L 颜色空间中肤色聚类区域最大。对于建立一个好的肤色模型的颜色空间的选择要求是肤色在该颜色空间中聚集程度高,使得在此肤色阈值范围内的肤色越多越好,同时非肤色越少越好。

(4) 分别对肤色样本组 5 中的肤色样本点进行颜色空间转换,进行统计得到的三个颜色空间的肤色检测阈值。

$$\begin{cases} K1 \in [80.1, 413.0] \\ K2 \in [-130.1, 41.9] \\ K3 \in [16.5, 89.8] \end{cases} \quad \begin{cases} Y \in [60, 235] \\ Cb \in [96, 127] \\ Cr \in [129, 176] \end{cases}$$

$$\begin{cases} Y \in [60, 235] \\ Cg \in [90, 127] \\ Cr \in [129, 173] \end{cases}$$

对于待检测图像经过空间转换后,利用相应空间的阈值进行判断,得到肤色区域检测的二值图像。

4 肤色检测结果及分析

为了验证 YCgCr 颜色空间在肤色区域检测中的有效性,针对相同的测试集(40 幅图片)和 YCbCr 颜色空间及 K-L 颜色空间作了比较。通过表 2 和图 2 可以看出,无论在哪个肤色样本建立肤色模型中,YCgCr 颜色空间的漏检率和误检率都较低, YCbCr 颜色空间的漏检率和误检率稍高,而 K-L 颜色空间的漏检率和误检率都比较高,该结果和上述肤色的三维分布聚集图的分布情况一致。

表2 3种颜色空间两种肤色样本建立的肤色模型的错误率的比较

颜色空间	误检率(%)		漏检率(%)	
	肤色样本组1	肤色样本组5	肤色样本组1	肤色样本组5
YCgCr	7.38	21.95	18.54	3.74
YCbCr	7.62	25.7	19.23	4.66
K-L	12.77	59.96	30.26	4.04

表2仅给出了部分实验数据。从表2中可以看出,当建立肤色模型的肤色样本包含较宽广的光照范围和较多的人种肤色范围时,每种颜色空间的漏检率都降低了很多,同时误检率也增加了很多,漏检率和误检率变化的多少与建立肤色模型时所采用的肤色样本有很大关系。

由于K-L颜色空间的变换矩阵是依据肤色样本生成的,因此肤色样本的质量直接影响肤色在K-L空间的分布。当样本足够时,肤色的检测可以取得较好的效果(漏检率低),但同时误检率也很高,综合漏检率和误检率来考虑,K-L颜色空间肤色检测效果并不是太好。由于K-L变换是一个线性变换,新的“颜色”是原来三种颜色亮度值的线性组合,实现了原有颜色信息的重新分配,重新分配后,肤色聚类效果不是很好,因此会出现较高的误检率。

图2是使用5组肤色样本得到的肤色阈值对相同的测试集进行肤色区域检测得到的曲线图。错误率由漏检率和误检率组成,计算公式如下:

$Error(l_j) = \frac{N_1}{\#Skin} Error(w_j) = \frac{N_2}{\#NonSkin}$ 其中: N_1 为检测时肤色点被认为是非肤色点的像素总数, N_2 为非肤色点被检为肤色点的像素总数, $\#Skin$ 为肤色像素总数, $\#NonSkin$ 为非肤色像素总数。

图2中横坐标表示当建立肤色模型时所采用的肤色样本的类别,横坐标从左向右表示肤色样本的组成由单一的肤色样本到多样化的肤色样本的变化。从图2中可以看出,当采

用单一的肤色样本进行统计得到的肤色模型对测试图像集进行肤色区域检测时,无论哪种颜色空间漏检率都很高,误检率都很低;当采用多样化的肤色样本进行统计得到的肤色模型对测试集进行肤色区域检测时,漏检率都很低,误检率都变高。这也说明漏检率和误检率是一对矛盾的事物,在这种颜色空间中,当样本数达到一定数量时,漏检率相差不大,但是K-L颜色空间的误检率却相对很高,YCgCr颜色空间的误检率稍低于YCbCr颜色空间的误检率;并且也可以看出,即使再增加肤色样本,漏检率也很少发生变化,但是误检率却变化较大,见图2中横坐标的4、5位置处曲线。

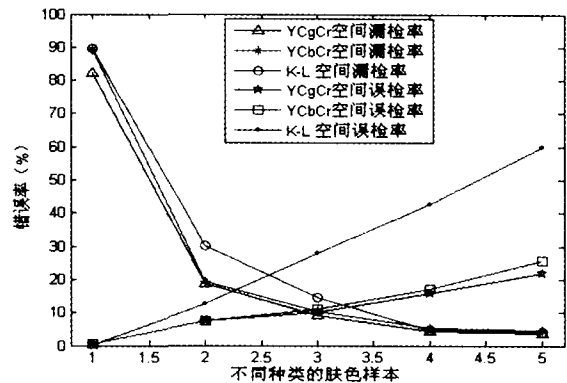


图2 三个颜色空间中错误率随样本的变化曲线

肤色区域检测的目的就是在保证检测尽可能多的肤色区域的同时,使检测到的伪肤色区域尽可能少,即漏检率没什么差别时,误检率越低越好。通过表2中数据和图2可以看出,YCgCr颜色空间较YCbCr颜色空间好。图3为三种颜色空间中采用较通用的肤色样本得到的阈值矩形进行肤色检测的效果图。其中白色表示检测到的肤色区域,黑色表示被检测为非肤色区域部分。检测结果表明,YCgCr颜色空间有较好的肤色区域检测效果。

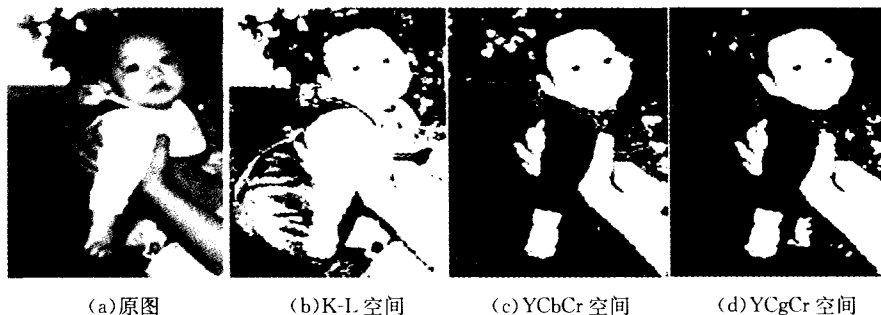


图3 三个颜色空间中通用肤色样本阈值肤色检测二值图

结束语 肤色常被用于检测人脸和手等肤色区域,这是因为肤色有以下优点:较低的计算量,适合于实时应用;对于部分遮挡和几何变形,有较强的鲁棒性。由于类肤色背景物体的存在,产生伪肤色区域,这是任何一种基于颜色信息的肤色模型中都无法避免的。我们所要做的就是尽可能多地检测出真肤色区域(漏检率低),而包含尽可能少的伪肤色区域(误检率低),然后根据具体应用,结合其它特征信息去除伪肤色区域,缩小后续工作的搜索空间。实验结果表明,本文采用的新的YCgCr颜色空间可以有效地从复杂背景图像中检测出肤色区域,具有较低的误检率和漏检率。

参考文献

- 1 Jebara T S, Russell K, Pentland A. Mixtures of Eigenfeatures for Real-Time Structure from Texture. In: Sixth International

- Conference on Computer Vision, 1998. 128~135
- 2 Terrillon J-C, David M, Akamatsu S. Automatic detection of human faces in natural scene images by use of a skin color model and of invariant moments. In: Proceedings of Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 1998. 112~117
- 3 Garcia C, Tziritis G. Face detection using quantized skin color regions, merging and wavelet packet analysis. IEEE Transactions on Multimedia, 1999, 1: 264~277
- 4 Marques F, Vilaplana V. A morphological approach for segmentation and tracking of human faces. In: Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition, 2000, 1: 1064~1067
- 5 Tsapatsoulis N, Avrithis Y, Kollias S. Efficient face detection for multimedia applications. In: Proceedings of the International Conference on Image Processing, 2000, 2: 247~250
- 6 de Dios J J, Garcia N. face detection based on a new color space YCgCr. In: Proceedings of International Conference on Image Processing, 2003, 3: 909~912
- 7 高艳芳,倪重匡,周美明.一种基于颜色和形状的人脸检测方法[J].计算机工程,2000,29(3):113~114,191