

# YUV-KL 变换在人脸肤色检测中的应用

钱俊<sup>1</sup> 魏锴<sup>1</sup>

(1 武汉大学新闻与传播学院, 武汉市珞珈山, 430072)

**摘要:** 将常用于人脸肤色检测的 YUV 色彩空间与 KL 变换相结合, 提出了一种基于 YUV-KL 变换的肤色检测算法, 并将它和其他常用的色彩空间检测效果进行对比, 指出了这种变换的优势, 并分析了原因。

**关键词:** 肤色检测; YUV; 色彩空间; KL 变换

**中图分类号:** TP751.1; TS801.3

基于内容的人脸图像检索首先要做的是人脸检测。另外, 在高保真、高压缩比的人脸图像压缩中, 由于普通压缩算法的压缩比有限, 因此, 人们常采用混合压缩算法, 其核心是定位人脸区域, 这同样要求有较为精确的人脸检测。从上面的分析可以看出, 人脸检测技术已广泛应用于模式识别、计算机视觉和图像编码等领域, 越来越受到人们的关注。

本文从分析色彩空间即色彩坐标系入手, 对常用于人脸肤色检测的色彩空间(简称肤色检测空间)进行介绍, 指出每一个肤色检测空间在实际使用时的效果; 同时给出人脸肤色的分布特点, 指出一个好的肤色检测空间所必须具备的条件。通过将 YUV 色彩空间与 KL 变换相结合, 给出一种新的肤色检测空间。

## 1 常用的肤色检测空间

笔者从 40 幅彩色登记照片、20 幅彩色生活照片中选取了有代表性的人脸区域 60 块, 大小为 10 像素×10 像素, 共 6 000 个样本点。

### 1.1 RGB 色彩空间

人脸的肤色在 RGB 色彩空间上一般分布于  $R[151, 255]$ 、 $G[97, 239]$ 、 $B[84, 233]$  的区间。可以看出, 人脸的肤色信息较为均匀地分布在 RGB 三个分量上。RGB 色彩空间的每个分量的范围是  $[0, 255]$ , 人脸肤色无论哪个分量都占据着整个色彩范围的 40%~60%, 即 RGB 色彩空间难以被直接用于人脸肤色检测的原因在于肤色信息的过

度分散, 很难找到一个较小的阈值范围作为人脸检测的标准。

### 1.2 归一化 RGB 色彩空间

图像中如果存在两点满足  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{G_1}{G_2} = \frac{B_1}{B_2}$ , 则这两点只有亮度上的差异, 不存在色彩上的不同。经过如下变换:

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/(R+G+B) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(R+G+B) & 0 \\ 0 & 0 & 1/(R+G+B) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

两个像素会得到相同的结果, 从而使得整个图像的色彩信息得到压缩, 缩小了阈值范围, 降低了误检率, 如表 1 所示。

表 1 试验结果统计表/(%)

Tab. 1 Results of Experiments

	样本集内		样本集外	
	误检率	漏检率	误检率	漏检率
RGB	13.56	2.09	20.75	1.44
归一化 RGB	6.19	2.27	5.04	5.41
YUV	6.54	1.61	6.15	5.95
$Y_c, C_r$	5.62	2.10	5.42	4.78
KL	8.63	2.34	6.70	4.47
YUV-KL	1.68	0.48	6.45	4.07

归一化 RGB 色彩空间虽然可以在一定程度上缩小阈值范围, 但是它的弱点是一旦给定某两个分量, 剩下的一个分量可以通过用 1 减去这两

个分量得到。也就是说,使用归一化 RGB 色彩空间,有一个分量必然成为冗余分量,这样会使整个图像的颜色信息集中于某两个分量上,这两个分量上的非肤色信息依然大量存在,因此,用这种方法也难以获得令人满意的人脸肤色检测结果。从表 1 可看出,归一化 RGB 色彩空间的检测效果与其他变换相比还是有很大差距。

### 1.3 YUV 和 YCbCr 色彩空间

YUV 和 YCbCr 色彩空间的特点与归一化 RGB 色彩空间不同,它们不是单纯地依靠压缩色彩信息来降低误检率,而是通过将人脸的肤色信息集中于某两个分量上,将亮度信息集中于第三个分量上,这样既实现了色彩信息的压缩,也实现了亮度色度的分离。根据美国国家电视制式委员会 NTSC 制式的标准,当白光的亮度用  $Y$  来表示时,它和红、绿、蓝三色光的关系可描述为: $Y=0.3R+0.59G+0.11B$ ,这就是常用的亮度公式,色差  $U、V$  是由  $B-Y、R-Y$  按不同比例压缩而成的。

数字域中的色彩空间变换与模拟域中的色彩空间变换不同,前者其分量使用  $Y、C_r$  和  $C_b$  来表示,与 RGB 空间的转换关系如下:

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_r \\ C_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.59 & 0.11 \\ 0.5 & -0.42 & -0.08 \\ -0.17 & -0.33 & 0.5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} \quad (2)$$

无论是 YUV 还是 YCbCr,都不是为人脸的肤色检测所专门设计的色彩空间,因此,不能获得令人满意的检测结果(表 1)。但是它们的设计思路是正确的,即将色彩信息集中于某两个分量中,而将亮度信息集中于第三个分量中。

## 2 YUV-KL 色彩空间

一个好的肤色检测空间必须满足如下条件:

- ① 图像中的肤色信息被集中于某两个分量;
- ② 这两个分量的非肤色信息(如亮度信息)应该足够少;
- ③ 这两个分量的均方差应足够小。

KL(Karhuner-Loeve)变换是一种与傅立叶变换、沃尔什变换等相似的线性变换,用矩阵表示为:

$$Y = TX$$

式中,  $X$  是要变换的矢量,  $T$  是变换矩阵,  $Y$  是变换后的矢量。与一般线性变换不同的是,在 KL 变换中,  $T$  是根据变换的矢量  $X$  推算出来的,其元素由矢量  $X$  的协方差矩阵的特征矢量构成。

从表 1 可以看出,单纯使用 KL 变换进行人脸

肤色检测,虽然可以取得较好的效果,但还显得不够理想。主要原因有:① 简单 KL 变换的结果矢量  $Y$  受输入矢量  $X$  的影响很大,因为变换矩阵本身就是依据输入矢量  $X$  构造的;② 从本质上说,KL 变换完成的主要工作是将原本线性相关的 3 个分量转换成线性无关的 3 个分量,从而实现颜色信息的重新分配。如变换

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

把人脸的肤色信息重新分配到  $V_1、V_2、V_3$  三个分量中,这样,3 个分量中都包含人脸的肤色信息,这给后续的阈值分割带来相当大的困难。尽管每个分量的均方差都已经足够小,但是应用于阈值分割时还是显得过大。

基于这种传统 KL 变换的不足,笔者将它与 YUV 色彩空间相结合,提出 YUV-KL 色彩空间。构造变换矩阵的步骤如下。

1) 对 6 000 个样本点进行 RGB 到 YUV 的变换,得到一系列新的样本矢量  $X_i (i = 1, \dots, 6\ 000)$ ;

2) 计算  $X_i$  的协方差矩阵的特征矢量,构造变换矩阵  $T$ :

$$T = \begin{pmatrix} 0.988\ 4 & 0.007\ 2 & 0.151\ 9 \\ 0.151\ 8 & 0.012\ 4 & -0.988\ 3 \\ 0.009\ 0 & -0.999\ 9 & -0.011\ 2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

通过新的变换矩阵  $T$  来检测图像中的人脸,得到了令人满意的结果(表 1)。

通过 RGB 到 YUV 变换,成功地将亮度信息与色彩信息分离;通过 KL 变换,成功地减小了每个分量的均方差,压缩了阈值范围;将 YUV 色彩空间与 KL 变换相结合,进一步缩小了单纯使用 KL 变换的阈值范围。单纯使用 KL 变换的阈值范围为:

$$\begin{aligned} V_1: & (196.820\ 8, 415.581\ 0) \\ V_2: & (-63.661\ 8, 36.958\ 1) \\ V_3: & (-18.194\ 5, 15.602\ 6) \end{aligned} \quad (4)$$

经过 RGB 到 YUV 变换后,再使用 KL 变换的阈值范围为:

$$\begin{aligned} V_1: & (116.065\ 6, 241.576\ 3) \\ V_2: & (-45.902\ 8, 25.712\ 2) \\ V_3: & (-11.458\ 3, 9.483\ 6) \end{aligned} \quad (5)$$

平均缩减了 40%。这样,人脸的肤色分布范围在每一个分量中都更为集中,确保了最后人脸肤色阈值分割的成功。

### 3 试验结果

图像中每一个像素经过 YUV-KL 变换后进行判断,如果在式(5)所规定的范围之内,则被认为是人脸,否则就是非人脸区域,如图 1 所示。



图 1 人脸检测的结果  
Fig. 1 Result of Face Detection

笔者选择样本集内的人脸图像 10 幅以及非样本集内的图像 40 幅进行试验。由于人脸的肤色检测结果通常用于人脸的初定位,因此,对误检率的要求不高,但要求较低的漏检率。经过将各种常用的肤色检测空间检测效果的对比发现, YUV-KL 变换是比较优秀的。

### 参 考 文 献

- 1 彭振云,陶霖密,徐光佑,等. 基于颜色分割和 KL 变换的人脸特征检测. 清华大学学报·自然科学版, 2001, 41: 218~221
- 2 艾海舟,梁路宏,徐光佑,等. 基于肤色和模板的人脸检测. 软件学报, 2001, 12(12): 1784~1792
- 3 姚鸿勋,刘明宝,高文. 基于彩色图像的色系坐标变换的面部定位与跟踪法. 计算机学报, 2000, 23(2): 158~165
- 4 YUV (IAB) 色彩空间. <http://www.videostar.com/wen/article/word/yuv.html>, 2003
- 5 彩色空间的线性变换标准. <http://mti.xidian.edu.cn/multimedia/multi/course/1-5\3.html>, 2003
- 6 常见颜色模式介绍. <http://www.lyinfo.net.cn/software/99333803.html>, 2003
- 7 周宗恒,韩懿,高艳芳. 基于 KL 肤色的人脸初定位. 计算机工程, 2000, 27(4): 109~111

第一作者简介:钱俊,副教授,博士生. 主要从事计算机视觉、雷达测图原理与方法的研究。代表成果:基于区域分割和编码的相位解缠方法。

E-mail: qianjungreat@sohu.com

## Application of YUV-KL Transformation to Face Skin Color Detection

QIAN Jun<sup>1</sup> WEI Kai<sup>1</sup>

(1 School of Journalism and Communication, Wuhan University, Luoia Hill, Wuhan, China, 430072)

**Abstract:** This paper combines the YUV color space with the KL transformation, and presents a face skin detection algorithm based on YUC-KL transformation. Then this method is contrasted with the common ways of face detection. The advantages of the algorithm as well as the reasons are described.

**Key words:** skin-color detection; YUV; color space; KL transformation

**About the first author:** QIAN Jun, associate professor, Ph. D candidate. His major researches are computer vision and radarclinometry. His typical achievement is a method for phase unwrapping based on region-segmentation and encoding.

E-mail: qianjungreat@sohu.com

(责任编辑: 晓晨)