

# 基于自适应融合色度与亮度特征的彩色人脸识别算法<sup>①</sup>

崔法毅<sup>②</sup>

(燕山大学河北省测试计量技术及仪器重点实验室 秦皇岛 066004)

**摘要** 鉴于彩色人脸图像所包含的鉴别信息远多于灰度人脸图像,将色度马氏距离图引入彩色人脸识别中,提出了一种基于自适应融合色度与亮度特征的彩色人脸识别算法。该算法基于 YDbDr 颜色空间分离彩色人脸图像的色度与亮度信息,构建出基于色度信息的马氏距离图,同时分离出基于亮度信息的灰度图;通过自适应融合色度与亮度特征来构建彩色人脸识别特征;基于小波包结点能量的特征表示方法,分别在实数域和复数域中提取并融合色度与亮度分量的最佳鉴别特征向量,实现色度与亮度特征的最优化互补;使用基于方差相似度的分类器获得人脸识别结果。实验表明,该算法识别率高、鲁棒性好。

**关键词** 彩色人脸识别, 色度马氏距离图, YDbDr 颜色空间, 小波包变换, 自适应特征融合

## 0 引言

诸多人脸识别技术都是依据生物视觉系统发展起来的,而人的视觉系统恰恰利用了颜色信息。在现实世界中,人眼能够分辨的颜色至少有数千种,而鉴别绝对亮度的能力大约只有 10~15 级灰度<sup>[1]</sup>,可见彩色人脸图像所包含的鉴别信息要远多于灰度人脸图像。有文献表明,90% 的边缘在灰度图像和彩色图像中大致相同,但有 10% 的边缘可能在灰度图像中检测不到,而在彩色图像中却能够提高边缘检测的精度。Yip 等曾指出,当图像的其它特征(如分辨率)衰退时,颜色信息对于人脸识别的意义更加突显<sup>[2]</sup>。本文从人脸识别特征提取和多特征自适应融合策略两个方面展开了研究,提出了一种基于自适应融合色度与灰度特征的彩色人脸识别算法。实验证明,该算法具有较高的正确识别率和较好的鲁棒性。

## 1 相关工作

在实际环境中获取的人脸图像通常是彩色的,

这些色彩图像提供了比灰度图像更为丰富的信息。然而,彩色信息的描述方式是阻碍其用于人脸识别的重要原因之一。早期的彩色人脸识别方法多数并不是直接对彩色人脸图像进行处理,而是采取以下三种方式处理:(1)综合各个彩色分量的独立处理结果;(2)将彩色图像转换为灰度图像进行处理;(3)将各个彩色分量转换成列矢量,并将其以首尾相连的方式排列成长矢量进行处理。然而,这三种方式均在一定程度上缺乏理论依据,人为地将三个彩色分量分开处理势必会对图像本身的信息结构造成影响。

事实上,对于实际图像而言,不同彩色分量之间具有较强的相关性。1843 年,哈密顿发明了四元数。1 个四元数包含 4 个自由度,即 1 个实部和 3 个虚部,需要 4 个实数变量来定义。如果实部为零则称其为纯四元数,四元数常被用于三维或四维向量分析,近年来被用于彩色图像分析。1996 年,Pei 首次提出了彩色图像的四元数模型<sup>[3]</sup>,用四元数来表示 1 个像素。由于四元数空间中的 3 个虚轴相互正交,而且并没有实质上的不同。Pei 在 RGB 颜色

<sup>①</sup> 秦皇岛市科学技术研究与发展计划(2012021A004)资助项目。

<sup>②</sup> 男,1982 年生,博士,讲师;研究方向:计算机视觉,模式识别,嵌入式系统设计;联系人,E-mail:fayi2001@sina.com  
(收稿日期:2014-05-04)

空间中将一个像素的 R、G、B 值赋给一个纯四元数的 3 个虚部,这样就用一个三维向量很好地表示了彩色像素,解决了如何采用数学方法同时利用灰度信息和彩色信息的问题,且充分考虑了 R、G、B 三分量之间的相关性。2003 年,Pei 又给出了对四元数矩阵奇异值分解的方法,并成功提取了彩色图像的奇异值特征向量<sup>[4]</sup>。2008 年,郎方年等针对四元数矩阵正交特征矢量系求解困难的缺点,提出了一种获取四元数矩阵正交特征矢量集的等效、便捷方法,还将定义于实数域的主成分分析方法向四元数体进行了合理的推广,通过数学推导证明了该方法的合理性及其在统计模式识别领域应用的可能性,并首次提出了基于四元数模型的彩色人脸识别方法<sup>[5]</sup>。2012 年,陈北京等基于彩色图像四元数表示和四元数代数理论定义了四元数伪 Zernike 矩,将传统的主要处理灰度图像的伪 Zernike 矩推广应用到彩色图像处理中,并基于四元数伪 Zernike 矩构造了彩色人脸图像针对旋转、缩放和平移变换的四元数值不变量,结合这些不变量特征和四元数 BP 神经网络分类器提出了一种新的基于四元数模型的彩色人脸识别算法<sup>[6]</sup>。此后,四元数模型算法不断提出并改进,算法的识别率与鲁棒性得到一定程度的提高,但对于彩色像素的四元数处理方式,并没有从统计学意义上清楚地解释组合量的物理含义,也未能从理论上证明该方法较传统方法的优越性。

如果在利用人脸图像反映其空间结构特征的灰度信息的同时充分利用其彩色信息,则可以获取更多反映不同人之间差异性的鉴别信息。本文基于 YDbDr 颜色空间,对 Essex 大学 faces94 人脸图像库中的彩色图像实现了色度与亮度信息的分离,构建出基于色度信息的马氏距离 (Mahalanobis distance) 图,同时分离出基于亮度信息的灰度图。理论上,由于色度与亮度分量具有不同的特性,包含不同的人脸信息,将二者分离能够避免两类信息的相互干扰。而且,由于色度马氏距离图在构建过程中去除了亮度分量而充分利用了色度信息,相对于灰度图而言,可减小外界光照的影响,而灰度图富含着人脸表情信息及结构特征。若合理地提取并融合色度与亮度特征,充分利用两种信息的优势,能够实现特征互

补,有利于提高算法的识别精度与鲁棒性。本文通过自适应融合色度与亮度特征来构造人脸识别特征,其中自适应特征融合分别在实数域和复数域中进行。在实数域中,对色度马氏距离图与灰度图均进行了小波包分解,分别构造基于小波包结点能量的归一化特征向量,并采用三种融合策略进行特征融合,根据融合效果自适应地选取特征融合参数,构造最佳鉴别特征向量。在复数域中,分别采用两种方式实现特征提取与融合,方式一是将色度马氏距离图和灰度图通过加权因子组合成一个复数样本,构造复数样本的小波包结点能量的归一化特征向量,方式二是将色度马氏距离图和灰度图的小波包结点能量的归一化特征向量通过加权因子融合成一个复数特征向量。实验采用基于方差相似度的分类器获得人脸识别结果。结果表明,本文算法识别率高、鲁棒性好。

## 2 色度马氏距离图

### 2.1 马氏距离

马氏距离是多元数理统计理论中的一种常用的判别分析方法,也是模式识别中的一种有效的相似性测度,具有平移不变性、旋转不变性和仿射不变性。其定义如下:

若总体  $G$  可分为  $k$  类,即  $G_1, G_2, \dots, G_k$ ,假设  $G_i$  类的均值和协方差分别为  $\mu_i$  和  $C_i$ ,设  $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  是从  $G_i$  中抽取的样本,记

$$D^2(X, \mu_i) = (X - \mu_i)^T C_i^{-1} (X - \mu_i) \quad (1)$$

若定义  $X$  与  $G_i$  类的距离  $D^2(X, G_i)$  为  $X$  与均值  $\mu_i$  的距离  $D^2(X, \mu_i)$ ,则称  $D^2(X, \mu_i)$  为马氏距离,也记为

$$D(X, \mu_i) = \sqrt{(X - \mu_i)^T C_i^{-1} (X - \mu_i)} \quad (2)$$

由定义可以看出:马氏距离是在多变量正态分布概率密度函数的假设下推导出来的。因此,如果样本的分布服从多变量正态分布,马氏距离被认为是一个合适的测度指标。与欧式距离相比,马氏距离使用了向量之间的协方差,消除了向量之间各个指标间的相互影响,其数值反映了点集分布的相关信息,常用于多属性的综合评价<sup>[7]</sup>。以下采用马氏

距离作为距离度量标准,构建色度马氏距离图。

## 2.2 色度马氏距离图的构建

不同肤色的人种,或者同一个人在不同亮度的光线下得到的彩色图像,虽然看起来肤色差别很大,但研究表明差别主要由亮度信息的不同所引起,而不是色度信息,即色度上的差异远小于亮度上的差异<sup>[8]</sup>。在不同的颜色空间中,人的皮肤可能表现出不同的特征<sup>[9,10]</sup>。肤色在某些颜色空间中具有良好的类聚性,即只聚集在整个颜色空间很小的一块空间内,满足一定的分布律,比如高斯分布。

日常生活中采集的数码照片多为 RGB 格式,RGB 颜色空间中三基色 R、G、B 不仅代表颜色还表示亮度,由于彩色人脸图像中皮肤的色彩表现对亮度较为敏感,因此,RGB 颜色空间不适合作为肤色模型。在 YDbDr 颜色空间中,明确区分了色度与亮度信息,皮肤颜色具有良好的类聚性,肤色分布受亮度变化影响小,能够较好地区分肤色区域<sup>[10]</sup>。

RGB 空间到 YDbDr 空间的转换公式<sup>[10]</sup>为

$$\begin{pmatrix} Y \\ Db \\ Dr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.450 & -0.883 & 1.333 \\ -1.333 & 1.116 & 0.217 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中,  $Y$  表示亮度分量,  $Db$ 、 $Dr$  分别为表示蓝色与红色的色度分量;  $Db$ 、 $Dr \in [-1.333, 1.333]$ 、 $Y$ 、 $R$ 、 $G$ 、 $B \in [0, 1]$ 。

YDbDr 颜色空间中,由色度分量  $Db$  与  $Dr$  构成的二维平面上,肤色分布相对比较集中,可用高斯分布函数来描述。设  $C = [Db \ Dr]^T$  为输入像素的色度向量,则肤色的概率分布为

$$P(C | skin) = \frac{e^{-Z}}{2\pi | C_s |^{1/2}} \quad (4)$$

式中,  $Z = -\frac{1}{2}(C - \mu_s)^T C_s^{-1} (C - \mu_s)$ ;  $\mu_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i$ ,  $\mu_s$  为均值向量;  $C_s = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (C_i - \mu_s)(C_i - \mu_s)^T$ ,  $C_s$  为协方差矩阵;  $N$  为输入像素的总数。

概率值  $P(C | skin)$  可直接作为皮肤色度的可能性度量,也可将从色度向量  $C$  到均值向量  $\mu_s$  的马氏距离作为皮肤色度的可能性度量,即

$$D(C, \mu_s) = (C - \mu_s)^T C_s^{-1} (C - \mu_s) \quad (5)$$

由式(5)得到的图像各像素点的马氏距离  $D(C, \mu_s)$  构成的图像称为该图像的马氏距离图。

## 3 实数域中的人脸识别特征提取与融合

### 3.1 小波包结点能量特征提取

将一幅彩色人脸图像分别转化为基于色度信息的马氏距离图  $D$  与基于亮度信息的灰度图  $Y$ 。若直接使用  $D$  或  $Y$  作为特征矩阵用于模式分类,由于矩阵规模过大使得算法耗时很长。

本文采用基于小波包结点能量的特征向量构造方法<sup>[11]</sup>,对  $D$ 、 $Y$  分别进行实数域小波包分解,以各尺度下的不同频率分量子结点的能量作为各个频率分量子结点的特征,构造归一化的特征向量。假设色度马氏距离图的归一化特征向量为  $N(T_D)$ , 灰度图的归一化特征向量为  $N(T_Y)$ 。

### 3.2 色度与亮度特征的自适应融合策略

自适应融合色度与亮度特征的关键在于提出合理的融合策略。本文采用三种特征融合策略对  $N(T_D)$  与  $N(T_Y)$  (均为列向量) 进行融合,如式

$$T_{\text{fuse}} = \alpha \cdot N(T_D) + (1 - \alpha) \cdot N(T_Y) \quad (6)$$

$$T_{\text{fuse}} = \frac{N(T_D)}{\text{norm}(\alpha \cdot N(T_D) + (1 - \alpha) \cdot N(T_Y))} \quad (7)$$

$$T_{\text{fuse}} = \frac{N(T_D)}{\text{norm}(\alpha \cdot N(T_D) \cdot (N(T_D))^T + (1 - \alpha) \cdot N(T_Y) \cdot (N(T_Y))^T)} \quad (8)$$

所示,根据后续实验对每种策略进行验证与分析。式中,  $\alpha$  为权值参数,  $0 \leq \alpha \leq 1$ ;  $N(\cdot)$  表示归一化算子;  $\text{norm}(\cdot)$  表示求解范数。

权重参数  $\alpha$  根据实验自适应地选取。 $\alpha$  将从 0 开始,以  $h$  为步长一直增加到 1,每一个  $\alpha$  值对应一组融合特征向量  $T_{\text{fuse}}$ 。根据实验结果自适应地选取峰值识别率所对应的  $\alpha$  值或  $\alpha$  值区间。

## 4 复数域中的人脸识别特征提取与融合

### 4.1 复数样本的特征提取

将色度马氏距离图  $D$  和灰度图  $Y$  通过加权因

子组合成一个复数人脸样本

$$C = \alpha \cdot D + i \cdot (1 - \alpha) \cdot Y \quad (9)$$

式中,  $i$  为虚数单位;  $\alpha$  为加权因子,  $0 \leq \alpha \leq 1$ ; 实部与虚部可对调位置。

采用基于小波包结点能量的特征向量构造方法<sup>[11]</sup>, 对复数样本  $C$  进行复数域小波包分解, 以各尺度下的不同频率分量子结点的能量作为各个频率分量子结点的特征, 构造归一化特征向量  $N(T_c)$ 。

## 4.2 复数域中的特征融合

采用基于小波包结点能量的特征向量构造方法<sup>[11]</sup>, 对色度马氏距离图  $D$  与灰度图  $Y$  分别进行实数域小波包分解, 以各尺度下的不同频率分量子结点的能量作为各个频率分量子结点的特征, 构造归一化特征向量  $N(T_D)$  和  $N(T_Y)$ 。

将  $N(T_D)$  和  $N(T_Y)$  通过加权因子融合成一个复数人脸识别特征

$$C = \alpha \cdot N(T'_D) + i \cdot (1 - \alpha) \cdot N(T'_Y) \quad (10)$$

式中,  $i$  为虚数单位;  $\alpha$  为加权因子,  $0 \leq \alpha \leq 1$ ; 实部与虚部可对调位置。

## 5 实验结果与分析

实验中有几点说明:(1)采用 Essex 大学彩色人脸图像库的 faces94 子库用于验证算法性能, 共 3060 幅图像, 由 153 个人, 每人 20 幅  $200 \times 180$  的正

面彩色人脸图像构成;图像库中的人脸图像在人脸位置、光照和表情方面有一定的变化, 其中一些人戴着眼镜或留有胡须。(2)采用交叉选取的方式确定样本/测试图像集, 即对于每个人, 以偶数幅图像作为训练样本图像而奇数幅图像作为测试图像(简称方案 1), 或者以奇数幅图像作为训练样本图像而偶数幅图像作为测试图像(简称方案 2)。(3)小波包变换特征提取中均采用尺度 1 下的 4 个小波包结点能量值按顺序构造特征向量, 即基于小波包结点能量的归一化特征向量维数为 4 维。(4)使用基于方差相似度的模式分类器<sup>[11]</sup>获得人脸正确识别率, 将某测试人脸图像归类于与其方差相似度值最大且超过某一设定阈值的人脸类中。(5)人脸正确识别率是以 1530 幅测试图像中正确识别的测试样本数除以总的测试样本数 1530 而计算得到。

### 5.1 色度马氏距离图的构建实验

由式(5)构建色度马氏距离图时, 均值向量  $\mu$ , 与协方差矩阵  $C$ , 有三种计算方式:(1)根据一幅人脸图像自身像素色度向量进行全局式计算;(2)根据训练样本集中一类人脸所有图像像素色度向量进行全局式计算;(3)根据训练样本集中一类人脸所有图像相应像素点色度向量进行逐点计算。

图 1 给出了 faces94 人脸库中的部分原始图像及其色度马氏距离图。第 1 行为原始图像, 第 2、3、4 行分别为由方式 1、方式 2、方式 3 获得的色度马



图 1 faces94 人脸库中的部分原始图像及其色度马氏距离图

氏距离图。由图 1 可以看出:(1)由方式 1 和方式 2 构建的色度马氏距离图有效去除了背景无用信息,突显了面部区域,不依赖于面部细节特征,对光照、姿态、表情等变化具有相对的稳定性,不受眼镜、头发、胡须等人脸局部遮挡的影响;(2)由方式 1 和方式 2 计算得到的  $\mu_s$  与  $C_s$  虽然有所差别,但由此构建的两种色度马氏距离图从视觉上基本分辨不出差异,而对于人脸识别结果的影响由后续实验进行分析;(3)由方式 3 构建的色度马氏距离图效果不理想。

## 5.2 实数域人脸识别实验

重点考察实数域融合特征相对于仅使用基于色度信息的色度马氏距离图特征(简称色度特征)或基于亮度信息的灰度图特征(简称亮度特征)在正确识别人脸图像方面的优势。由表 1 可得以下结论:(1)当相似度阈值  $door$  较高( $>0.97$ )时,样本/测试图像集的两种选取方案以及色度马氏距离图的两种构建方式对识别率有一定的影响。(2)识别率普遍较高,当相似度阈值极高( $door > 0.99$ )时识别率明显下降。(3)根据样本/测试图像集选取方案与色度马氏距离图构建方式的不同,仅使用色度特征或亮度特征时识别性能有差异;当选择方案 1 构成图像集时,若  $door = 0.97$ ,仅使用亮度特征获得的识别率不高于仅使用色度特征的识别率;若  $door \geq 0.99$ ,仅使用亮度特征获得的识别率高于仅使用色

度特征的识别率;当选择方案 2 构成图像集时,若  $door = 0.99$ ,仅使用亮度特征获得的识别率高于仅使用由方式 1 构建的色度特征的识别率,但低于仅使用由方式 2 构建的色度特征的识别率; $door = 0.999$  时,仅使用亮度特征获得的识别率明显高于仅使用由两种方式构建的色度特征的识别率。(4)当使用实数域融合特征时识别率总体上得到提高,尤其当  $door \geq 0.99$  时识别率明显高于仅使用色度特征或亮度特征获得的识别率。(5)对比三种特征融合策略,当  $door = 0.97$  时,使用由三种融合策略得到的融合特征均获得了 100% 的识别率,略高于仅使用亮度特征或由方式 2 构建的色度特征的识别率;当  $door = 0.99$  时,使用由第一种融合策略(见公式(6))得到的融合特征的识别率略高于仅使用色度特征或亮度特征的识别率;使用由第二种融合策略(见公式(7))得到的融合特征的识别率,略高于仅使用由方式 1 构建的色度特征的识别率,但低于仅使用亮度特征或由方式 2 构建的色度特征的识别率,使用由第三种融合策略(见公式(8))得到的融合特征的识别率,高于仅使用由两种方式构建的色度特征的识别率,但与仅使用亮度特征的识别率相同;当  $door = 0.999$  时,使用由三种融合策略得到的融合特征的识别率,均高于仅使用色度特征或亮度特征的识别率,其中第三种融合策略的特征融合效果最优,识别率大幅得以提高。

表 1 实数域人脸识别实验结果

样本/测试图像集的选择	方案 1				方案 2			
	所有的偶数幅图像作为训练样本图像		所有的奇数幅图像作为测试图像		所有的奇数幅图像作为训练样本图像		所有的偶数幅图像作为测试图像	
相似度阈值 $door$	0.95	0.97	0.99	0.999	0.95	0.97	0.99	0.999
仅色度特征(方式 1),识别率	100%	99%	92%	71%	100%	100%	93%	66%
仅色度特征(方式 2),识别率	100%	100%	96%	64%	100%	100%	99%	54%
仅亮度特征,识别率	100%	99%	97%	75%	100%	100%	95%	72%
融合特征 1,峰值识别率/ $\alpha$ 权值区间	100%	100%	98%	78%	—	—	—	—
	[0,1]	[0.17,0.71]	[0.04,0.12]	0.04	—	—	—	—
融合特征 2,峰值识别率/ $\alpha$ 权值区间	100%	100%	93%	76%	—	—	—	—
	[0,1]	[0.06,0.94]	[0.43,0.57]	[0.24,0.76]	—	—	—	—
融合特征 3,峰值识别率/ $\alpha$ 权值区间	100%	100%	97%	86%	—	—	—	—
	[0,1]	[0.03,0.97]	[0.43,0.57]	[0.37,0.63]	—	—	—	—

注:(1)“方式 1”、“方式 2”分别表示构建色度马氏距离图时采用方式 1 或方式 2 计算均值向量与协方差矩阵;(2)融合算法验证实验中采用方式 1 构建色度马氏距离图,采用方案 1 选取样本/测试图像集

图 2~图 4 能够更加清晰地表现出三种特征融合策略的效果。如图 2~图 4 所示,无论使用哪种融合策略,总体上识别率随着  $door$  值的增大而降低,同时随着  $\alpha$ (权值参数)值的变化而高低起伏;当  $door \leq 0.95$  时,识别率均恒定为 100%, $\alpha$  值的变化无意义,说明此时不需要特征融合,仅使用色度特征或亮度特征即可实现测试样本的全识别;当  $door \geq 0.97$  时,总体上识别率均随着  $\alpha$  值的变化而改变,特别当  $door \geq 0.99$  之后,这种变化更为明显,不同的是,使用第一种特征融合策略(如图 2)时识别率随  $\alpha$  值的变化曲线无规律可言,而使用第二种特征融合策略(如图 2)和第三种特征融合策略(如图 3)时识别率随  $\alpha$  值的变化曲线均呈现出对称性,对称性带来的好处是只要选定权重参数为对称中心  $\alpha = 0.5$  即可获得峰值识别率;对于三种特征融合策略,在不同的  $door$  值条件下能够获得的峰值识别

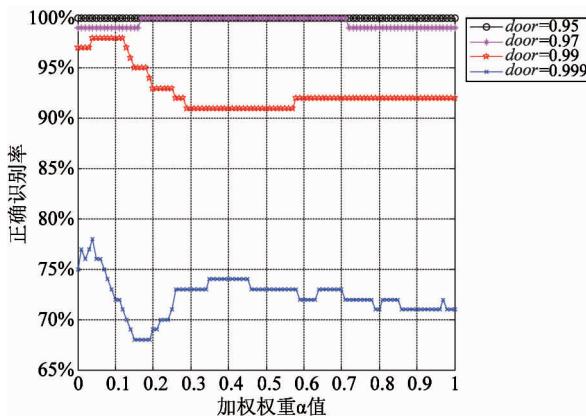


图 2 实数域第一种特征融合策略(见公式(6))实验曲线

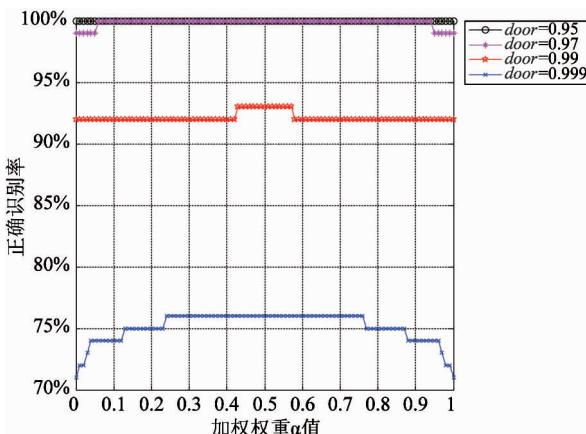


图 3 实数域第二种特征融合策略(见公式(7))实验曲线

率及其对应的  $\alpha$  值区间或  $\alpha$  值如表 1 所示,综合表 1 中的相关数据与图 2~图 4 中的曲线特性,可见使用第三种特征融合策略(见式(8))对于提高正确识别率最为有效。

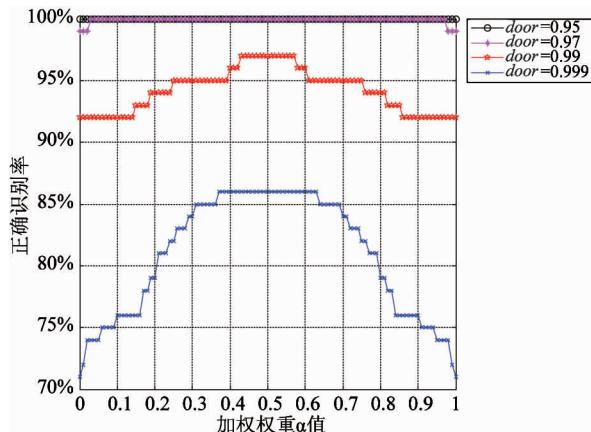


图 4 实数域第三种特征融合策略(见公式(8))实验曲线

### 5.3 复数域人脸识别实验

重点考察复数域特征的获取方式及表示形式对于人脸识别率的影响。由表 2 可得以下结论:(1)识别率普遍较高,当相似度阈值极高( $door > 0.99$ )时识别率明显下降。(2)在不同的相似度阈值条件下,对比复数域特征的两种获取方式,总体上采用复数样本的特征提取方式获得的峰值识别率略优于复数域中的特征融合方式。(3)对比复数域特征的两种表示形式,采用复数样本的特征提取方式时,无论色度与亮度分量作为实部还是虚部实验数据均相同;采用复数域中的特征融合方式时,当色度与亮度分量作为实部还是虚部有差异时,峰值识别率仅当  $door = 0.999$  时略有差别,而峰值识别率对应权值或权值区间却有较大差异。

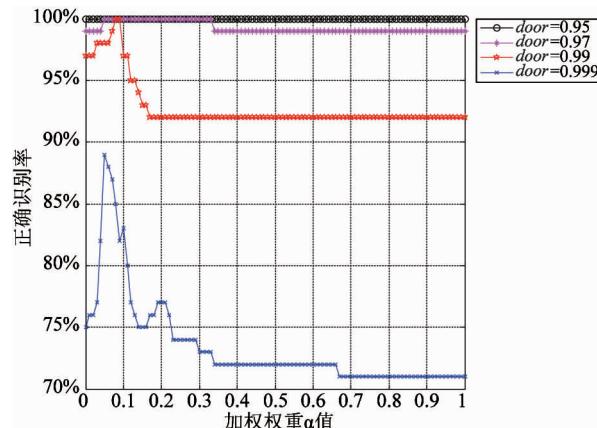
图 5、图 6 能够更加清晰地表现出复数域特征的获取方式及表示形式对于人脸识别率的影响。如图 5 所示,采用复数样本的特征提取方式时,无论色度分量、亮度分量作为实部还是虚部,实验曲线均相同,原因有待进一步研究。如图 6 所示,采用复数域中的特征融合方式时,当色度分量、亮度分量作为实部还是虚部有差异时,实验曲线明显不同。

用本文算法,复数域特征获得了比实数域特征更加稳定的高识别率。

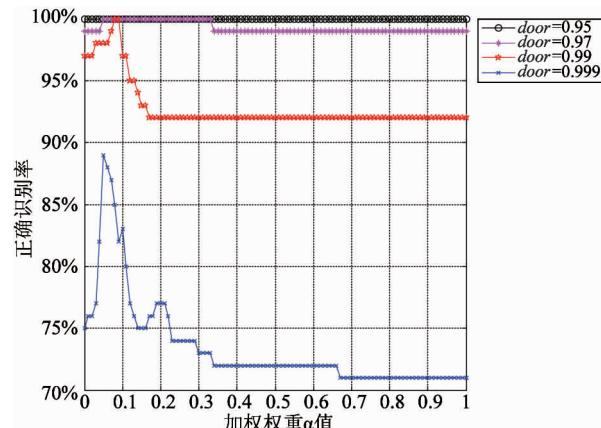
表2 复数域人脸识别实验结果

复数域特征的获取方式	复数样本的特征提取				复数域中的特征融合			
相似度阈值 door	0.95	0.97	0.99	0.999	0.95	0.97	0.99	0.999
亮度分量为实部/色度分量为虚部峰值识别率/α权值区间	100% [0,1]	100% [0.05,0.33]	100% [0.08,0.09]	89% 0.05	100% [0,1] $\cup$ [0.28,1]	100% [0.11,0.21]	99% [0.16,0.17]	87% [0.87,0.99]
色度分量为实部/亮度分量为虚部峰值识别率/α权值区间	100% [0,1]	100% [0.05,0.33]	100% [0.08,0.09]	89% 0.05	100% [0,1]	100% [0,0.19]	99% [0.01,0.15]	85% [0.01,0.02]

注:采用方式1构建色度马氏距离图,采用方案1选取样本/测试图像集

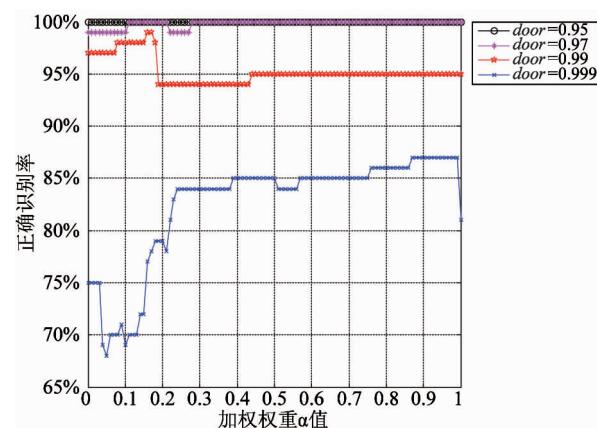


(a) 灰度分量为实部/色度分量为虚部

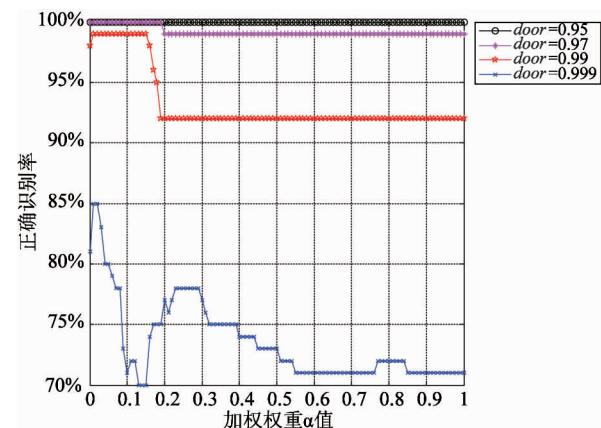


(b) 色度分量为实部/灰度分量为虚部

图5 复数样本特征的实验曲线



(a) 灰度分量为实部/色度分量为虚部



(b) 色度分量为实部/灰度分量为虚部

图6 复数域特征融合的实验曲线

## 6 结论

本文提出并分析了基于彩色人脸图像色度信息的色度马氏距离图的构建方法。深入研究了基于自适应融合色度与亮度特征的彩色人脸识别算法。基

于小波包结点能量的特征表示方法,分别在实数域和复数域中提取并融合了色度分量与亮度分量的最佳鉴别特征向量,实现了色度特征与亮度特征的最优化互补。使用基于方差相似度的模式分类器得到了人脸识别结果。实验结果表明,本文算法能够获得较高的正确识别率,且鲁棒性较好。

## 参考文献

- [ 1 ] 欧珊瑚, 王倩丽, 朱哲瑜. 数字图像处理技术与应用. 北京: 清华大学出版社, 2004. 25-48
- [ 2 ] Yip A W, Sinha P. Contribution of color to face recognition. *Perception*, 2002, 31(8):995-1003
- [ 3 ] Pei S C, Cheng C M. A novel block truncation coding of color images by using quaternion-moment-preserving principle. In: Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Atlanta, USA, 1996. 684-687
- [ 4 ] Pei S C, Chang J H, Ding J J. Quaternion matrix singular value decomposition and its applications for color image processing. In: Proceedings of International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain, 2003. 14-17
- [ 5 ] 郎方年, 周激流, 闫斌等. 四元数矩阵正交特征向量系的求解方法及其在彩色人脸识别中的应用. 自动化学报, 2008, 34(2):122-129
- [ 6 ] 陈北京, 孙星明, 王定成等. 基于彩色图像四元数表示的彩色人脸识别. 自动化学报, 2012, 38(11): 1815-1823
- [ 7 ] Maesschalek R D, Rimbaud D J, Massart D L. The mahalanobis distance. *Chemometrics and Intelligent Laboratory System*, 2000, 50(1):1-18
- [ 8 ] Angelopoulou E. Understanding the color of human skin. In: Proceedings of Conference on Human Vision and Electronic Imaging VI, 2001. 243-251
- [ 9 ] Kakumanu P, Makrogiannis S, Bourbakis N. A survey of skin-color modeling and detection methods. *Pattern Recognition*, 2007, 40(3):1106-1122
- [ 10 ] Chaves-González J M, Vega-Rodríguez M A, Gómez-Pulido J A, et al. Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study. *Digital Signal Processing*, 2010, 20(3): 806-823
- [ 11 ] 郑德忠, 崔法毅. 小波包特征提取及方差相似度的人脸识别. 光学技术, 2010, 36(2): 217-224

## A color face recognition algorithm based on adaptive fusion of chroma and luminosity features

Cui Fayi

(Hebei Province Key Laboratory of Measurement Technology and Instrumentation,  
Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

### Abstract

Considering that color face images contain much more identification information than gray face images, the chroma Mahalanobis distance map was introduced into color face recognition, and a color face recognition algorithm based on the adaptive fusion of chroma and luminosity features was proposed. The algorithm separates the chroma and luminosity information of color face images based on the YDbDr color space to construct Mahalanobis distance maps based on chroma information, and extracts the luminosity information based gray maps from original color facial images by separation; constructs the recognition features of color face images through the adaptive fusion of chroma and luminosity features; constructs and fuses the optimum feature discrimination vectors of chroma and luminosity maps in the real domain and the complex domain respectively by using the feature representation method based on the energy of wavelet packet sub-nodes to achieve the optimal chroma feature-luminosity feature complementation; and uses the classifier based on the variance similarity degree to obtain the face recognition results. The experimental results show that the proposed algorithm has the higher recognition rate and the better robustness.

**Key words:** color face recognition, chroma mahalanobis distance map, YDbDr color space, wavelet packet transform, adaptive feature fusion