

彩色图像特征空间变换的新算法及其应用

王守觉, 孙 华, 莫华毅

(中科院半导体所神经网络实验室, 北京 912 信箱, 北京 100083)

摘 要: 本文提出了一种彩色图像特征空间变换算法. 该算法基于高维形象几何与仿生信息学理论, 根据人眼特性, 利用彩色图像中彩色信息的变化进行特征空间变换, 能够提取出不受光源影响的图像特征. 在彩色图像人脸检测应用中, 与常见的肤色分割方法不同, 该算法不需对肤色建模, 不对彩色图像进行非线性彩色空间变换, 而是直接将彩色原图变换到特征空间, 在特征空间中定位平均脸特征数据的最佳匹配点. 本文最后将该算法应用于复杂光源彩色图像的人脸检测中, 实验结果验证了算法的有效性和鲁棒性, 具有明显的应用价值.

关键词: 复杂光源; 彩色图像; 特征空间变换; 高维形象几何与仿生信息学; 人脸检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2007) 02-0193-04

A New Feature Space Transformation Algorithm in Color Image and Its Application

WANG Shou-jue, SUN Hua, MO Hua-yi

(Laboratory of Artificial Neural Networks, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: A new feature space transformation algorithm in color image is presented. Basing on high dimensional imaginal geometry and biomimetics informatics and taking advantage of variations in color information, this new algorithm transforms the color image into feature space and rectifies each feature value within its neighborhood. By using this method, image feature without the effect of different light conditions can be obtained. In face detection application, unlike traditional skin tune detection method, the new method directly transforms the color image into feature space and locates the face position in feature space by face template feature matching. In this paper, the application of this new method to face detection in complex light color images has also been discussed. According to experimental result, it can be seen that the proposed method is very efficient and has significant value in application.

Key words: complex light; color image; feature transformation; high dimensional imaginal geometry and biomimetics informatics; face detection

1 引言

人类对颜色进行系统深入研究的历史可以追溯至 1666 年牛顿出色圆 (color circle) 的概念. 随后的几百年来, 研究人员发展了多种不同的彩色空间. 理论上, 从颜色感知的角度来分类, 彩色空间分成如下三类: 混合 (mixture) 型空间, 按三种基色的比例合成颜色. 例如, RGB, CMY(K) 和 XYZ 等彩色空间; 非线性亮度/色度 (luma/ chroma) 型空间, 用一个分量表示非色彩的感知, 用两个独立的分量表示色彩的感知. 当需要黑白图像时, 这样的系统非常方便. 例如, L^*a^*b , L^*u^*v , YUV 和 YIQ 彩色空间; 强度/饱和度/色调 (intensity/ saturation/ hue) 型空间, 用饱和度和色度描述色彩的感知, 可使颜色的解释更直观, 而且对消除亮度的影响有一定作用. 例如, HSI, HSL, HSV 和 LCH 等彩色空间^[1].

多年来, 用于彩色图像的人脸检测的传统方法把非线性

彩色空间变换作为图像处理的第一步, 其目的是使变换后的彩色分量完全独立于亮度分量, 以消除亮度变化带来的干扰, 然后在彩色分量空间中应用肤色分割的方法检测人脸. 彩色空间变换主要有 YCbCr 空间、YUV 空间、TSL 空间等^[2], 然而有实验表明传统的彩色空间变换并不能达到所期望的目的^[3]. 在此简单举一个例子, 来说明传统彩色空间变换的过程和效果. 图 1 中彩色原图上存在来自右上方的强烈光照, 经过 YCbCr 空间变换, 原图的 Cb、Cr 分量不同程度地受到了亮度变化的影响, 尤其从 Cr 分量图中可以清楚地看到强侧光在面部留下的光斑, 而且强光影响到了头发的色调和形态, 就是说经过非线性彩色空间变换, 并没有得到两个独立于亮度分量的彩色分量, 这样的结果势必对肤色分割方法的人脸检测效果产生坏的影响.

在人脸检测实际应用中, 可能需要处理受到多种光源条

件影响的图像,例如强侧光源照射的物体表面强烈的亮度变化会改变图像本身的灰度特征;有色光源照射会彻底改变物体的色调。另外图像背景中近似肤色的墙壁、衣物等也会对检测目标造成干扰。在多种复杂光源情况下,上述传统的彩色

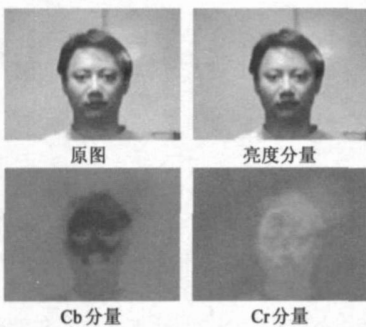


图1 彩色图像的YCbCr空间变换效果

空间变换由于与亮度相关而显现出自身的缺陷。仍以传统的彩色图像肤色分割(肤色检测)方法为例,该方法先对彩色原图进行彩色空间如YCbCr空间变换,然后采用肤色的高斯模型对图中每一点进行肤色判断,并进行肤色区域合并,最后对候选人脸区确认。肤色检测的优点是速度快,缺点是受光源影响大。例如在较强或较弱的光源尤其是强侧光源照射下,肤色模型的有效性会受到影响(如图2(a)所示);在近肤色背景下肤色分割可能会失败(如图2(b)所示);在有色光源的照射下,预先建立的肤色模型可能会完全失效,因为有色光源下人的肤色聚类将不再确定地落于白光源照射的肤色范围内,从而造成肤色检测失败(如图2(c)所示)。由于上述原因,有色光源下肤色模型失效是所有传统彩色空间变换都不能解决的问题。



图2 复杂光照条件下的肤色检测算法局限性

高维形象几何与仿生信息学理论是近年来发展起来的新理论^[4],其基本出发点是研究人类认识世界的思维方式,提出依据人类形象思维特点发展计算机算法,以高维空间矢量(即高维空间的点)来表征计算机处理的数据信息,以高维空间点分布分析方法为研究数据信息空间的方法。本文的彩色图像特征空间变换算法基于高维形象几何与仿生信息学理论,分析问题的角度从人的视觉特性出发,在复杂光照条件下不仅能够应用于人脸检测而且能够应用于其他的彩色图像特征提取。本文的第二部分将对该方法进行详细阐述。第三部分是将该方法应用于复杂光照彩色图像的人脸检测,文章最后

给出结论。

2 彩色图像的特征空间变换

首先引入符号表示图像分析中的变量。对于一幅 $N \times N$ (高宽)的彩色图像,每一个像素点都是一个三维矢量(即红、绿、蓝三色分量)。用色彩矢量 $\bar{P}_{(x,y)}$ 来表示第 x 行、 y 列的一个像素点的色彩,则一幅图像是一个由 $M \times N$ 个矢量组成的矢量场。

彩色图像中,色调多是以片状区域变化的,即一个小范围内的色调近似为不变,且色调的动态范围较窄,而亮度的变化是影响到每个像素的,尤其是在侧光情况下,亮度的动态范围很大。所以在强侧光源下拍摄一幅图像,其亮度的变化要比色调变化强烈得多。研究表明,人眼对于色调变化的敏感度远远低于对亮度变化的敏感度。基于此,本文的算法以像素的全部色彩信息变化为研究对象,以色彩矢量间的统计量变化作为测度。彩色图像特征空间变换分两步:初次特征空间变换和二次变换。

2.1 初次特征空间变换

传统图像处理中对于灰度图,为突出图像细节常用的空域处理方法是梯度法。根据场论理论,如果给定一个函数 $f(x,y)$,在坐标 (x,y) 上的梯度可以定义为一个矢量,

$$\text{grad}[f(x,y)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

灰度图上经常使用的是标量函数 $G[f(x,y)]$ 即梯度的模来代表梯度^[5],

$$G[f(x,y)] = \max\{\text{grad}[f(x,y)]\} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

数字图像处理中,采用离散形式以差分代替微分运算。

初次特征空间变换的目的是为了计算色彩矢量的梯度。在一个邻域内(本文取 3×3)以标量函数 $A[f(x,y)]$ 来计算中心点的色彩矢量梯度:

$$A[f(x,y)] = \max\{f_1(P_{(x,y)}, P_{(x+i,y+j)})\} \quad (3)$$

$i = -1, 0, 1; j = -1, 0, 1;$

式中 $P_{(x,y)}$ 是坐标 (x,y) 上的色彩矢量,函数 $f_1(P_{(x,y)}, P_{(x+i,y+j)})$ 表征了两个色彩矢量距离^[6]。用 $Bd(x,y)$ 表示彩色原图经过初次特征空间变换后在特征空间中得到的一个二维特征变量,每一个特征值都代表了坐标 (x,y) 上的色彩矢量梯度。

2.2 二次变换

在图像处理中邻域内各像素点色彩的变化往往蕴含着图形特征,所以要对前面的二维特征变量 $Bd(x,y)$ 进行进一步处理,即二次变换。以 $Bd(x,y)$ 为中心,其邻域内的 $n^2 - 1$ 个特征值呈环形分布。 r 表示环的序号,同一环内的特征值取相同的权重 w_r ,邻域范围取 $n = 5$ 。另以 $Rf(x,y)$ 表示一个新的二维特征变量,第 i 行第 j 列位置的新特征值计算公式如下:

$$Rf(i,j) = \sum_{r=1}^{n-1} \frac{\text{sum_ring}(r)_{(i,j)}}{8r} + Bd(i,j) \quad (4)$$

式(2)中的 $sum_ring(r)(i,j)$ 表示第 r 个环形区域特征值加权和,用式(5)计算:

$$sum_ring(r)(i,j) = \sum_{k=i-r+1}^{i+r} \sum_{l=j-r+1}^{j+r} (w_r \cdot Bd(k,l)^{1.2}) \quad (5)$$

2.3 彩色图像特征空间变换的效果

为了对特征空间变换中经过两次变换得到的两个二维特征变量有一些感性认识,我们把 $Bd(x,y)$, $Rf(x,y)$ 的所代表的特征值赋以灰度意义,并进行线性运算,使之在可视灰度范围内,得到图 3.

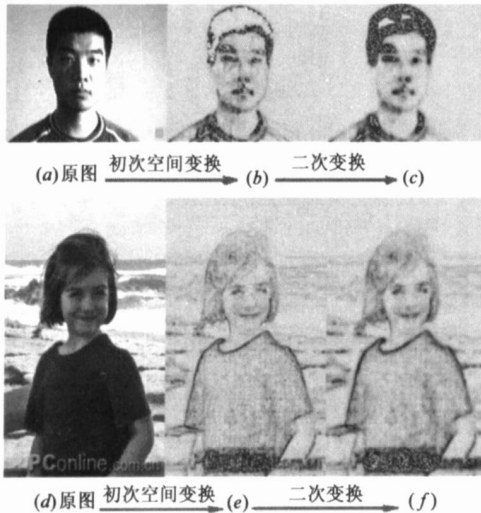


图 3 彩色原图的初次特征空间变换、二次变换效果

由图 3 第一组图可见,强侧光的影响在修正后的特征图像中已经完全看不到了.第二组的原图是一张被 Photoshop 色彩修正过的图像,相当于加入了有色光源,其有色光源的影响在特征空间变换后完全消失.

3 特征空间变换在彩色图像人脸检测中的应用

将本文提出的新的特征空间变换算法应用于彩色图像中的人脸检测,其流程图如图 4:

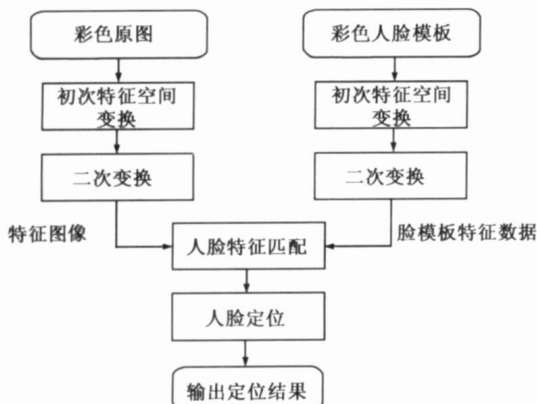


图 4 彩色人脸检测流程图

对于一幅彩色图像首先进行两次特征空间变换,得到特征空间中全图像的特征数据,同样对彩色人脸平均模板进行特征空间变换,以提取脸模板特征数据,在特征空间中以匹配方法求得与人脸特征数据距离小于阈值的区域即为人脸位置.

图 5 中是应用本文算法在本文作者实验室自拍和从互联网下载的一些彩色图片中人脸定位的结果,这些图片中有强侧光、有色光源等复杂光照和图像背景接近肤色的特点,用传统的肤色分割方法或是灰度图上的模板匹配方法不能很好解决这些图片中人脸定位问题.

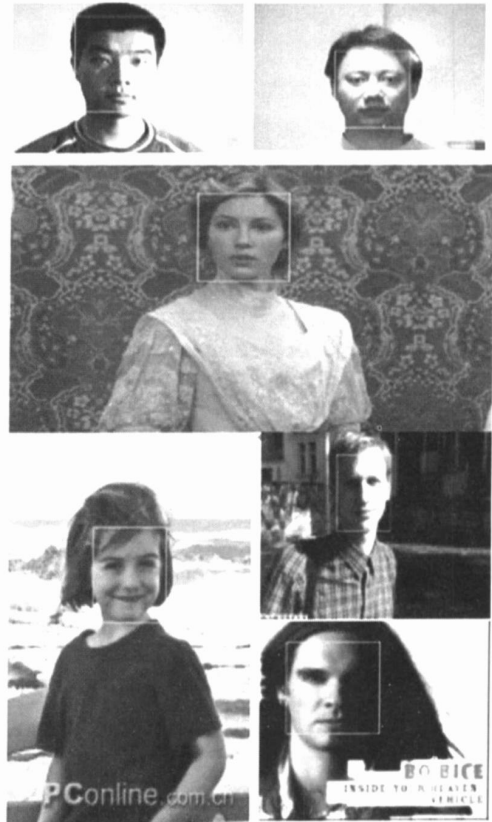


图 5 复杂光照和复杂背景下的人脸检测实验结果

4 结论

本文提出了一种在彩色图像特征空间变换算法.该算法基于高维形象几何与仿生信息学理论,依据人眼对彩色细节的分辨力远比对亮度细节的分辨力低这一特性,以彩色图像中彩色信息变化为研究对象,进行特征空间变换,提取出不受光源影响的图像特征.在详细阐述了本算法的理论计算方法后,通过复杂光照的彩色图像人脸检测中的应用,实验结果清楚地显示了本算法对光源的强弱、方向性及是否为有色光源等方面具有良好的鲁棒性.

在人脸检测应用中,有基于彩色图像的方法和基于纯灰度图像的两类方法.彩色图像中常见的肤色分割算法对有色光源可能完全失效;纯灰度图像的人脸检测方法注重图像纹理而忽略了肤色信息,并且灰度特征对光线变化极为敏感,在强侧光条件下针对灰度图的人脸检测算法容易产生人脸的误检、漏检.本文算法以彩色信息变化作为研究对象,既利用了色彩信息,避免了有色光源和侧光的影响又充分利用了图像纹理特征,故在复杂光照下其人脸定位效果良好.

由于本文提出的算法是基于彩色信息变化的特征变换,可以理解为算法本身只与彩色信息的动态属性有关而与彩色

信息本身的静态属性无关,所以该算法不仅可以应用于彩色图像的人脸检测,还可以用于其他任何类型的彩色图像的特征提取,模式识别等领域.尤其在提取有色光源和强光、侧光的复杂光源彩色图像的纹理特征应用上能够起到其他彩色空间变换方法无法企及的作用.

参考文献:

- [1] 林福宗. 多媒体技术基础[M]. 北京:清华大学出版社, 2002. 9.
- [2] 曲延锋. 复杂背景下人脸检测与仿生模式人脸识别的神经网络方法研究[D]. 北京:中国科学院研究生院博士学位论文, 2003. 6.
QU Yanfeng. Face detection in complex background and face recognition based on biomimetic neural network pattern recognition, doctoral dissertation[D]. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2003. 6. (in Chinese)
- [3] R L Hsu, M Abdel-Mottaleb, A K Jain. Face detection in color images[J]. IEEE Trans Patt Anal Mach Intell, 2002, 24(5): 696 - 706.
- [4] 王守觉, 王柏南. 人工神经网络的多维空间几何分析及其理论[J]. 电子学报, 2002, 30(1): 1 - 4.
WANG Shou-jue, WANG Bai-nan. Analysis and theory of high dimensional space geometry for artificial neural networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(1): 1 - 4. (in Chinese)
- [5] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京:电子工业出版社, 2001. 1.
- [6] 王守觉, 孙华. 一种基于矢量关系运算的人脸检测算法[J]. 微计算机信息, 2006, 10(1): 294 - 296.
- [7] 王守觉, 曲延峰, 李卫军, 覃鸿. 基于仿生模式识别与传统模式识别的人脸识别效果比较研究[J], 电子学报, 2004, 32(7): 1057 - 1061.
WANG Shou-jue, QU Yan-feng, et al. Face recognition: Biomimetic pattern recognition vs. traditional pattern recognition

[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(7): 1057 - 1061. (in Chinese)

作者简介:



王守觉 历任中国科学院半导体研究所室主任、副所长、所长等职, 1980年当选中国科学院院士, 现为半导体神经网络实验室负责人. 是我国半导体器件与微电子奠基人之一, 为研究解决我国发展两弹一星所需高速计算机的半导体器件与集成电路作出过重要贡献. 在国家“八五”、“九五”科技攻关中, 承担了半导体神经网络的实现和应用技术的攻关工作, 研制了我国最早可商品化的神经计算机 CASSANN-I, CASSANN-II 等, 提出了新的“仿生模式识别”理论和“高维形象几何仿生信息学”方法, 取得优越的效果, 为模式识别和信息处理等开辟了一个崭新的理论与实现的新途径. 任中国神经网络委员会主席, 北京电子学会副理事长, 《电子学报》和《CE》主编, 中国计算机学会 CAD 与图形学专业委员会名誉主任.



孙 华 女, 1973年出生于北京, 1993年进入中国科学院半导体研究所工作, 现为中国科学院半导体研究所工程师, 在职硕士研究生. 主要从事图像处理, 智能信息处理, 机器形象思维等研究. E-mail: shua @semi. ac. cn



莫华毅 男, 1978年生于广西, 2000年毕业于清华大学电子工程系, 现为中科院半导体所神经网络实验室博士研究生. 主要从事彩色图像处理, 人脸识别等研究.
E-mail: mohuayi @semi. ac. cn