

基于仿射变换的多姿态人脸矫正和识别*

李海彦, 徐汀荣, 张立晓, 李 杰

(苏州大学 计算机科学与技术学院, 江苏 苏州 215006)

摘要: 为了解决随着人脸姿态的变化, 人脸识别率迅速下降的问题, 提出了利用仿射变换和成像原理相结合对待识别的多姿态人脸图像进行姿态调整, 将其调整为近似于正面人脸的方法, 该方法能够有效地将 45° 范围内的多姿态人脸图像调整为正面人脸图像。同时, 使用改进的 SURF (加速鲁棒特征算法) 算法对校正后的人脸图像进行识别。在 FERET 等人脸库及拍摄的人脸图像上进行实验, 实验结果表明该方法能够在一定程度上克服姿态变化带来的影响, 使平均识别率最高可提高 7.0% 左右。

关键词: 姿态变化; 仿射变换; 人脸矫正; 人脸识别; 多姿态; SURF

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2014)04-1215-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.04.062

Multi-pose face correction and recognition based on affine transformation

LI Hai-yan, XU Ting-rong, ZHANG Li-xiao, LI Jie

(School of Computer Science & Technology, Soochow University, Suzhou Jiangsu 215006, China)

Abstract: As the changing of the face pose, the rate of the face recognition becomes small. Object to the problem, the method which based on affine transformation and image-forming principle corrected the test face images pose to virtual the corresponding front face images. The method could correct the multi-pose face images which angle were among 45° . And the face recognition based on improved SURF (speeded up robust features) got better effect. The experiment shows that the method overcomes the effect of the pose-changing to some degree and the recognition rate is increased by 7.0%.

Key words: pose-changing; affine transformation; face correction; face recognition; multi pose; SURF

0 引言

人脸识别技术^[1,2]是生物识别技术中的一种,以其直接性、唯一性、方便性等特点,在公安侦查、交通检测、门禁系统、目标追踪及其他民用安全控制系统等领域具有广阔的发展前景和很高的社会效益。近年来随着越来越多的研究工作投入人脸识别领域中,人脸识别技术得到了很大的发展,并逐渐成熟起来。但是当人脸具有复杂的变化时,如姿态变化、光照变换和遮挡等,人脸识别技术仍然存在缺陷,需要进行进一步研究与解决。其中,姿态变换也是制约人脸识别率的重要因素,即当人脸具有倾斜、旋转等较大的姿态变化时,识别率会随之急剧下降,甚至无法进行识别。按照姿态对人脸识别进行划分,它可以分为前视人脸识别和多姿态人脸识别。其中前视人脸识别研究得较为成熟,也取得了比较好的识别效果;多姿态人脸识别虽然在一些文献中有些论述,但仍然存在比较多的问题没有解决。由于将一般的前视人脸识别方法直接进行多姿态人脸识别时,人脸识别率会迅速下降,所以根据这一问题,有研究者提出采用基于多视图方法来提高多姿态人脸识别的识别率。多视图的人脸识别方法,一般是通过拍摄各个脸部的各个姿态的图像作为训练样本,来建立多姿态的人脸数据库,识别时将输入的人脸图像与训练样本库中所有图像进行比较分析,通过定位两个瞳孔点的位置加以配准,再对配准后特定姿态的人脸进行识别。Lee 等人^[3]用一定数量的训练样本,

建立不同姿态人脸相对应的特征子空间,然后分别把正面人脸图像和姿态人脸的训练样本投影到各自相对应的特征子空间之中,获取其相对应的人脸特征系数来进行人脸识别^[4]。这种方法在一定程度上提高了多姿态人脸识别的识别率,但是仍存在很大的缺陷:该方法需要对每个人的人脸进行多个视角的拍摄、采集,以形成多视图。这在很多实际场合中是办不到的,在现实生活中往往只能得到某个人的前视图或者其他姿态的单视图。

多姿态人脸识别还可以基于单视图进行识别,该方法一般把一张正面人脸图像和由该正面人脸虚拟出的多张各种姿态的人脸图像作为训练本来进行识别。这种方法虽然在识别率上比单样本识别有很大的提高,但仍然存在随着待测人脸图像数越来越多,训练人脸库的数目也会急剧增大,不利于人脸识别系统实现的问题。文献[5~7]提出 3D Morphable 人脸建立模型的方法。三维人脸模型的方法是用来解决姿态问题最有效的方法,但是由于实验中获取人的三维人脸图像比较困难,而且时间比较长,因此在此过程中给用户带来了比较大的干扰,而且三维数据计算很复杂,计算量很大,耗时非常多,因此在识别应用中并没有能得到广泛的应用。

针对由姿态变化引起的人脸识别率低的问题,本文提出了一种基于仿射变换和成像原理的方法对多姿态人脸图像进行矫正,并利用改进后的 SURF 算法对姿态校正后的人脸进行识别,改变了因使用三维模型生成多姿态产生的庞大数据信息的

收稿日期: 2013-05-14; 修回日期: 2013-06-30 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61070245)

作者简介: 李海彦(1985-),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要研究方向为模式识别、图像处理(lihaiyan3278@163.com);徐汀荣(1958-),男,教授,硕导,主要研究方向为图像处理;张立晓(1986-),女,硕士研究生,主要研究方向为社团发现;李杰(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为图像处理。

问题。这种方法不需要进行大量轮廓点参数的采集,而是将具有一定程度的姿态变化的待测样本用仿射变化的方法矫正为相似的正面人脸,然后利用改进后的 SURF 算法进行人脸识别。这种方法比较简单、有效,容易在实际人脸识别系统应用中得到推广。在 FERET 等人脸库的实验也表明,该方法对具有姿态变化的人脸图像的识别率有显著提高。

1 姿态矫正

测试样本和训练样本一致性在一定程度上影响着人脸识别系统的识别效果。在两者一致性比较高的情况下,会得到比较高的识别率;但是如果姿态变化过大,则识别率明显下降。在实际的人脸认证系统中,往往只能拍摄到少量的正面训练样本,而测试样本可能具有各种角度变化的姿态。为此,提出姿态矫正的方法,将具有一定姿态变化的测试样本调整为近似的正面人脸图像,提高其与训练样本的一致性,有利于进一步的人脸识别。

1.1 仿射变换^[8]

在几何上定义为两个向量空间之间的一个仿射变换或者仿射映射,由一个线性变换接上一个平移组成。典型的仿射变换主要有以下几种:

a) 旋转变换。目标图形围绕原点逆时针旋转 θ 弧度,变换矩阵为

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

b) 缩放变换。将每一点的横坐标放大(缩小)至 s_x 倍,纵坐标放大(缩小)至 s_y 倍,变换矩阵为

$$\begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

c) 平移变换。将每一点移动到 $(x + tx, y + ty)$, 变换矩阵为

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & tx \\ 0 & 1 & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

1.2 摄像机的成像原理

1) 透视投影 在计算机科学研究中,透视投影是最常用的成像模型,是针孔成像模型的近似表示,如图 1 所示,三维空间中点 X 的像 x 是光线 CX 上所有点的像。

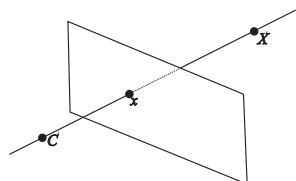


图1 成像模型

2) 透视投影的坐标表示 图 2 中, $O-xyz$ 是固定在摄像机上的直角坐标系,原点 O 位于摄像机中心, z 轴与投影轴重合并指向场景, x 轴、 y 轴与图像平面的坐标轴 x' 、 y' 平行, xy 平面与图像平面的距离为 f 。在实际的摄像机中,图像平面位于摄影中心后面距离为 f 的位置,且投影图像是倒立的。在计算机科学的理论研究中,为了避免研究倒立的图像,一般假定平面位于摄影中心的前面,如图 3 所示。空间中点 $(x, y, z)^T$ 在图

像平面的投影位置 $(x', y')^T$ 可以通过点的视线与图像平面的交点得到。

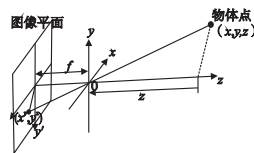


图2 倒立投影坐标

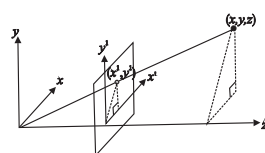


图3 假定投影坐标

2 人脸姿态矫正算法

在仔细研究透视投影基本原理的基础上,对人脸在旋转过程中的投影变换进行抽象处理并转换为几何模型。从几何模型中解析出人脸图像的具体变化情况并结合仿射变换理论对人脸在旋转情况下的投影平面图像进行分析,从而实现多姿态人脸图像的矫正。根据人脸在三维空间中的旋转所投影的平面图像,本章将人脸的姿态分为左右倾斜、水平旋转以及垂直旋转三种情形。

2.1 人脸图像倾斜

本文认为该人脸图像围绕图像的中点发生了旋转变换,且假设变换角度为 θ_1 , 则根据仿射变换中的旋转变换,利用旋转变换矩阵对倾斜的人脸图像进行调整。具体的调整方式分为两种情况:

a) 如果人脸图像向右倾斜,则调整公式为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_1) & -\sin(-\theta_1) & 0 \\ \sin(-\theta_1) & \cos(-\theta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

b) 如果人脸图像向左倾斜,则调整公式为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: x, y 分别是原图像中像素值所对应的二维坐标, x', y' 分别是调整后的像素值对应的二维坐标。由 x', y' 确定的坐标值及调整前的 x, y 坐标对应的像素值重新构成一个新的人脸图像便是调整后的人脸图像。

2.2 人脸图像水平旋转

人脸的水平旋转变化情况如图 4 所示。从图中可以看出人脸在旋转过程中的具体变化。假设待测试样本 S 是一张人脸的侧面图像,也就是说此人脸图像在某方向上有一定角度的旋转。由图示中人脸的轮廓信息可以看出,图像显示出来的效果是一边被压缩而另一边被放大;而一张人脸的正面图像,则是两边等距的效果。因此,以人脸图像中的鼻尖所在的直线为界线,左边的列坐标值取负值,右边的列坐标值取正值,这样再根据列坐标值的正负不同旋转不同的尺度,实现压缩一边扩张另一边来进行姿态矫正。



图4 人脸姿态变化轮廓

在进行矫正之前,首先需要对面脸在旋转过程中的投影图像进行分析。一般情况下,可以把头部看成一个近似的圆柱体,而面部可以近似地看做是圆柱体的一个切面,切面图如图 5 所示。

人脸的旋转过程实际上是人头部的旋转,可以从头部旋转的横切面模型来进行观察,如图6所示。为了推导水平旋转人脸图像的矫正方法,本文将横切面人脸抽象成为一个等腰三角形,其中三角形的顶点对应于鼻尖所在的中线,两腰代表两脸颊,从而将人脸的旋转抽象成等腰三角形围绕圆心的旋转,其中两脸颊夹角为 α ,人脸旋转角度为 θ 。现假设所有的人脸图像都投影在图6中 p 所代表的平面上,则等腰三角形的两腰在 p 平面的投影即为旋转后的人脸图像,而底边是正面人脸在 p 平面的投影图像。

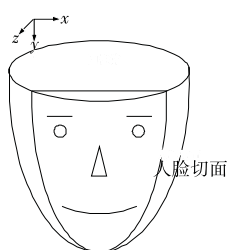


图5 人脸正视模型图

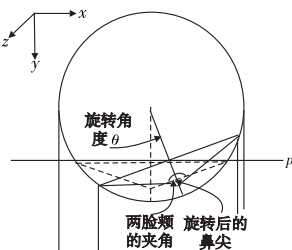


图6 头部横切面模型

为了方便描述提出的矫正方法,现设原始图像为 S ,大小为 $m \times n$,平面上的网格点为 $\{(x, y) | x = 1, 2, \dots, m; y = 1, 2, \dots, n\}$ 。将仿射变换和透视原理与上述结论相结合推导出了水平旋转人脸图像的矫正方法。由于人脸水平旋转分为左右旋转,故该方法对水平旋转的人脸图像矫正分两种情况(左旋转和右旋转)进行讨论。由于向左旋转和向右旋转情况类似,这里只讨论人脸向右旋转的情况,具体矫正方法如式(6)和(7)所示。

1) 被压缩的一边

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\delta \times \sin \alpha}{\sin(\alpha - \theta)} & \frac{n}{2 \cos \alpha} - \frac{\delta \times \text{nose} \times \sin \alpha}{\sin(\alpha - \theta)} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

2) 被扩张的一边

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\delta \times \sin \alpha}{\sin(\alpha + \theta)} & \frac{n}{2 \cos \alpha} - \frac{\delta \times \text{nose} \times \sin \alpha}{\sin(\alpha + \theta)} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(6)和(7)中: θ 为左右旋转的角度(与图6中的 θ 相对应); α 为人脸中两脸颊夹角的一半;nose代表鼻尖或者是中线所在的位置; δ 为松弛因子,主要是为了调节压缩或扩张的程度以达到更好的效果。在式(6)中 $\alpha - \theta$ 必须大于零,这里两脸颊的夹角 α 一般取值在 $70^\circ \sim 85^\circ$,所以旋转角度需要小于 70° 。

由式(6)和(7)可以得出,根据网格点在图像中的不同位置,实行不同的尺度变换,进而得到不同的缩放效果。由 $\{(x', y') | x' = 1, 2, \dots, m; y' = 1, 2, \dots, n\}$ 组成新的图像中的网格点,假定新图像 S' 在网格点 (x', y') 处的灰度值为原图像 S 在点 (x, y) 处的灰度值,由 S' 作插值就得出图像在 $\{(x', y') | x' = 1, 2, \dots, m; y' = 1, 2, \dots, n\}$ 的值,即为姿态矫正后的虚拟图像。在实际的矫正过程中,出现了矫正后的人脸图像变宽的现象。为了解决这个问题,本文对待矫正的人脸图像进行分块处理,根据实际情况对各块进行压缩或扩张处理,以达到更好的矫正效果。

2.3 人脸图像垂直旋转

当人脸图像中的人脸发生垂直旋转时,取人脸图像的中间位置(即鼻尖所在的位置)为参照线,认为人脸的上半侧被扩张(压缩)而下半侧被压缩(扩张)。由此可以看出人脸垂直旋

转和人脸水平旋转的情况相同。本文仍采用上一节的方式实现对垂直旋转人脸图像的矫正,即将式(6)和(7)中的 y' 与 x' 交换, y 与 x 交换,实现了垂直旋转的人脸图像的调整方法。

3 人脸识别算法

3.1 SURF 特征匹配算法

SURF 算法^[9]主要包括三个步骤:感兴趣点检测、感兴趣点描述及感兴趣点匹配。其算法流程如图7所示,其中三个大线框分别对应了这三个步骤。

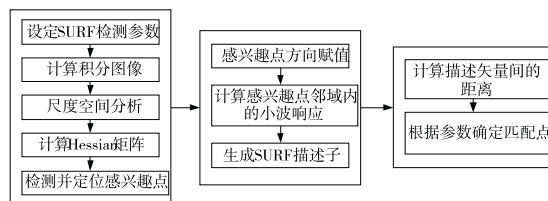


图7 SURF算法流程图

3.1.1 感兴趣点检测

SURF 对感兴趣点(也称特征点)的定义是指图像中具有独特位置的点,例如角点、斑点及T形连接。感兴趣点检测器最有价值的属性是可重复性,可重复性代表了检测器在不同视觉条件下搜索感兴趣点的可靠性。

对尺度具有不变性的检测器中最具有代表性的是SIFT^[10],其原理是首先利用高斯与图像的卷积生成高斯金字塔,利用高斯差分(DOG)与图像的卷积生成高斯差分金字塔,进而构建尺度空间,然后在尺度空间内计算 $3 \times 3 \times 3$ 立体领域内的极值点,并以此点为感兴趣点。SIFT 感兴趣点检测的缺点在于计算时间太长。为了加快速度,SURF 通过在尺度空间内计算 Hessian 矩阵行列式的值来获取极值点。对于图像 I 中的一个点 $X = (x, y)$,在尺度 σ 下的 Hessian 矩阵 $H(x, \sigma)$ 定义为

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中: $L_{xx}(x, \sigma)$ 是二维高斯函数 $g(x, y, \sigma)$ 的二阶偏导数 $L_{xx}(x, \sigma) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} g(x, y, \sigma)$ 与图像 I 在点 X 的卷积; $L_{xy}(x, \sigma)$ 与 $L_{yy}(x, \sigma)$ 亦然。为进一步加快速度,SURF 在计算过程中采用图8所示的箱式滤波器与积分图像来简化计算。

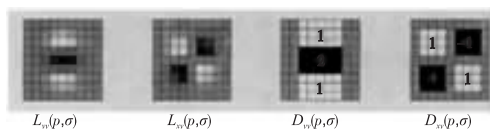


图8 箱式滤波器取代高斯二次偏导

3.1.2 感兴趣点描述

SURF 的感兴趣点描述符描述的是感兴趣点邻域内的分布密度,与SIFT中描述符用于对梯度信息进行描述类似。SIFT的描述方法是将 $20s \times 20s$ 的区域划分成小的 4×4 子区域,如图9所示,在每个子区域中计算八个方向的梯度直方图,从而得到 $4 \times 4 \times 8 = 128$ 维的描述符矢量。经学者证明,SIFT描述符的生成方法非常耗时。

与SIFT不同,SURF通过计算 Haar 小波响应来提取描述符:

a) 确定感兴趣点的主方向。首先在感兴趣点 $6s$ 圆形领域内计算 x 与 y 方向的小波响应(s 为检测感兴趣点时所使用的

尺度,小波边长为 $4s$);然后对小波响运用 $\sigma = 2s$ 的高斯进行加权,再使用 60° 的滑窗来计算窗口内 x 与 y 方向的总响应,从而得到新矢量;最后选择最长矢量的方向为主方向,如图 10 所示。

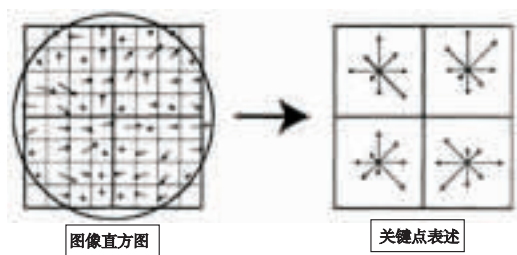


图9 关键点描述

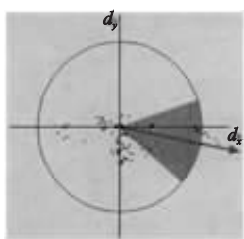


图10 兴趣点方向的确定

b)提取描述符。首先将坐标轴旋转到感兴趣点的主方向,然后以此为中心,沿主方向上选择一个 $20s \times 20s$ 的正方形区域,并将其划分成 4×4 的子区域,再在每个子区域内按 $5s \times 5s$ 采样点计算 Haar 小波响应。于是每个子区域可以得到一个四维的矢量:

$$V_{\text{sub}} = (\sum d_x, \sum |d_x|, \sum d_y, \sum |d_y|) \quad (9)$$

所以 SURF 的描述符维数是 $4 \times 4 \times 4 = 64$,如图 11 所示。因为小波响应对光照具有不变性,所以 SURF 描述符也是对光照不变的。进一步对描述符进行单位化或标准化,即可实现对对比度的不变性。

3.1.3 感兴趣点匹配

SURF 感兴趣点匹配是基于矢量间距离的,即通过计算模板图像与搜索图像感兴趣点的描述符矢量间的距离(如 Mahalanobis、Euclidean、Hausdorff 等)比来确定两个感兴趣点是否匹配。

3.2 改进的 SURF 人脸识别算法

经过对 SURF 算法的研究发现,SURF 算法存在一些缺陷:

a)描述矢量的生成。SURF 算法在获取描述矢量的过程中,它只利用了特征点周围 $3/8$ 的信息量,即每个子块周围八个邻居中的三个,如图 11 所示。这直接影响了其表述能力。

b)兴趣点的匹配。SURF 算法中感兴趣点的匹配需要计算模板图像与搜索图像感兴趣点的描述符矢量两两之间的距离,大大增加了时间消耗。

3.2.1 描述符矢量的改进

基于 SURF 算法在获取描述矢量的过程中只利用了特征点周围 $3/8$ 的信息量这一缺陷,本文对 SURF 中描述符矢量的形成过程进行改进。为了充分利用每个子块周围的全部信息,本文描述符矢量进行了改进,在计算每一个 $V_{\text{sub}} = (\sum d_x, \sum |d_x|, \sum d_y, \sum |d_y|)$ 的过程中,本文对每一个子块用 3×3 的模板进行掩模,并计算每一个子块所对应模板覆盖区域的 $\sum d_x, \sum |d_x|, \sum d_y, \sum |d_y|$ 值,四个子块模板对应的 $\sum d_x, \sum |d_x|, \sum d_y, \sum |d_y|$ 值相加,最后减去在模板掩模过程中的重叠部分,如图 12 所示。最后所得到的 $\sum d_x, \sum |d_x|, \sum d_y,$

$\sum |d_y|$ 值即为所得到的新的描述符矢量。

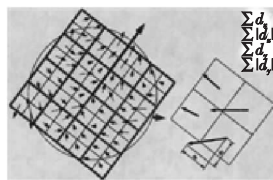


图11 使用描述子构建SURF特征

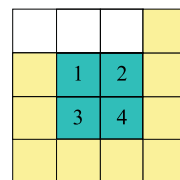


图12 经过掩模后的区域

3.2.2 感兴趣点匹配的改进

针对基于 SURF 算法中感兴趣点的匹配需要计算模板图像与搜索图像感兴趣点的描述符矢量两两之间的距离大大增加了时间消耗这一缺陷,有人采用了对人脸图像进行分块的思想^[9],即对人脸进行分块,对相应块中的特征点进行匹配。但是在分块的过程容易造成分界线上特征点的丢失。

为了更好地解决耗时和匹配错误的问题,提出了对人脸的所有的特征点进行聚类的思想。利用 SURF 算法在人脸图像上提取的感兴趣点有明显的聚类现象,本文提出了首先对感兴趣点进行聚类,然后对相应的类之间进行兴趣点之间的匹配。聚类的思想可以避免模板图形和搜索图像上兴趣点描述符矢量两两之间距离的计算,减少了兴趣点的匹配时间,使匹配效果得到提高。

4 实验结果及分析

4.1 多姿态人脸矫正

为了验证不同姿态矫正方法的可行性,实验采用的图像样本是实际拍摄的不同旋转方式和不同旋转角度的人脸图像。使用 2.1 节中提出的矫正方法对其进行矫正。

1) 倾斜人脸图像矫正

本节对不同倾斜角度的人脸图像进行矫正,并给出了倾斜角度为 25° 左右的人脸图像和矫正图像,如图 13(a) 所示。采用 2.1 节提出的倾斜人脸图像矫正方法进行调整,效果如图 13(b) 所示。

实验结果表明,本文提出的倾斜人脸图像矫正方法能够将不同倾斜角度的人脸图像有效地矫正为正面人脸图像。

2) 水平旋转的人脸图像矫正

本节对水平旋转角度的人脸图像矫正方法进行了实验,并给出了水平旋转角度在 45° 范围内的原图像和矫正结果,如图 14 所示。采用 2.2 节提出的水平旋转调整方式进行调整,并对调整后的图像进行局部区域的微调处理,效果如图 14 中第二行所示。

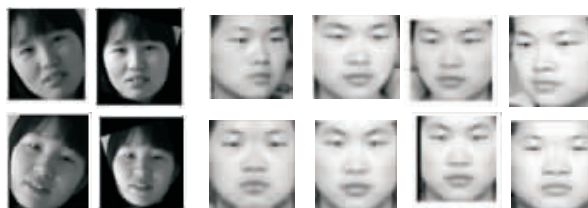


图13 拍摄人脸图像及矫正结果

图14 拍摄的人脸图像及矫正结果

实验表明,本文提出的水平旋转矫正方法能够将小角度发生左右旋转的图像调整为近似正面的人脸图像,但是随着旋转角度的增大,矫正后的人脸图像与正面人脸图像之间会有较大偏差。这主要是因为矫正的过程中,需要对扩张的一边人脸进行压缩,但是随着旋转角度的增大,压缩的程度也就越大,这

样就会导致人脸被压缩的一边出现变形,使矫正结果出现偏差。经过多次实验,该方法能够对左右旋转角度在 $\pm 45^\circ$ 范围之内的人脸图像进行有效的矫正,比通过三维建模虚拟出正面人脸图像的方法更简单、快速。本文提出的基于仿射变换的矫正方法只通过单张人脸图像实现了多姿态矫正,为进一步研究多姿态人脸图像的矫正方法奠定了基础。

3) 垂直旋转的人脸图像矫正

本节对垂直旋转角度的人脸图像矫正方法进行了实验,给出了垂直旋转角度大约在 30° 左右的原人脸图像和矫正结果,如图15所示。采用2.3节提出的垂直旋转方式的调整方法对图15(a)进行了矫正,效果如图15(b)所示。



(a)矫正前 (b)矫正后
图15 拍摄的人脸图像及矫正结果

实验表明,通过本文方法将发生上下旋转的图像进行调整后,图像中各器官的相对位置与正面人脸图像比较接近,近似于正面人脸图像。但是,由于眼睛部位其眼球可以自由转动,所以无法确定眼睛中的眼球与其他部位的相对位置,在矫正的过程中无法对眼睛部分的局部区域进行调整,因此矫正后会出现图15所示的眼睛没有变化的结果。

4) 复杂情况下的人脸图像矫正

本文还对具有复合旋转情况的人脸图像进行了矫正,并给出水平旋转角度在 45° 范围内的矫正结果,如图16所示。对于这些图像的矫正,本文分步进行处理,假设人脸包含有倾斜、水平旋转和垂直旋转三种情况,首先需要人脸进行倾斜方向的矫正使两只眼睛所在的直线与水平方向平行,这样可以减少由于倾斜对后续人脸矫正所带来的干扰。剩下两种情况的矫正顺序不分先后,因为两者在不同方向上对人脸进行矫正都需要对人脸的灰度值进行调整,导致对整体效果都有一定程度的影响。实验结果如图16中第二行所示。



图16 复杂情况的人脸图像及矫正结果

综合实验结果可以得出,本文提出的人脸矫正算法能够较好地小角度复合姿态的人脸图像矫正为正面人脸图像,对于复合旋转角度较大的人脸图像的矫正效果并不理想,需要进一步地研究解决方法。效果不理想的原因除了压缩或扩张造成的影响外,另一个主要原因是在对图像进行分步矫正的过程都会产生一定程度的误差,最终导致整体效果下降。

4.2 人脸识别

首先基于常用的 FERET 人脸库进行实验,本文采用3.2.1节中提到的改进的 SURF 算法对人脸进行识别,识别结果如表1所示。表1是原来 SURF 算法和描述符矢量改进后的 SURF 算法的识别率比较。

根据表1可以看出,本文提出的 SURF 算法的人脸识别率提高了7.0%,充分说明了改进后的描述符矢量对人脸信息具

有较强的描述能力。

根据3.2.2节中提到的方法,在实验中,本文分别计算了原来 SURF 算法和特征点匹配改进后的 SURF 算法的识别率及识别每幅图像所用的时间,如表2所示。

表1 SURF 算法和改进的 SURF 算法比较1

方法	样本总数	识别的样本数	识别率/%
原 SURF	200	163	81.5
本文方法	200	177	88.5

表2 SURF 算法和改进的 SURF 算法比较2

方法	样本总数	识别出的样本数	图像处理时间/幅秒
原 SURF	200	163	6.02
本文方法	200	171	4.62

从表2中可以看出,本文提出的聚类兴趣点匹配算法大大减少了匹配时间,匹配时间降低了23%左右,但是识别率有所降低。主要原因是在聚类过程中有可能造成聚类后的点不能够正确匹配,因此有待于进一步研究。

综合3.2.1和3.2.2节中提到的方法,本文集两种改进的地方为一体即 IM-SURF 和 SURF 算法进行了实验对比,结果如表3所示。

表3 IM-SURF 算法和 SURF 算法比较3

方法	样本总数	识别出的样本数	图像处理时间/幅秒	识别率/%
原 SURF	200	163	6.02	81.5
IM-SURF	200	171	4.62	85.5

通过表3的对比发现,本文提出的 IM-SURF 算法的识别率比传统 SURF 算法的识别率提高了4.0%,并且每幅图像的处理时间明显降低,降低了23%左右。实验表明,本文提出的 IM-SURF 算法比传统的 SURF 算法具有更强描述性能且识别效率更高。

按照第2章提到的人脸姿态校正方式对具有一定旋转角度的人脸图像进行校正后,并结合第3章中提出的改进的 SURF 算法对校正后的人脸图像进行识别,识别结果如图17所示。从图17中可以看出,对于倾斜的人脸矫正前后的识别率基本一致,而左右旋转的人脸和上下旋转的人脸图像矫正后的识别率比矫正前的识别率都有了一定的提高。这说明 SURF 算法的旋转不变性针对平面内的旋转,而深度的非平面的旋转却没有此特性。通过实验,本文通过对人脸姿态进行矫正,然后进行识别,识别率提高了4.0%左右。

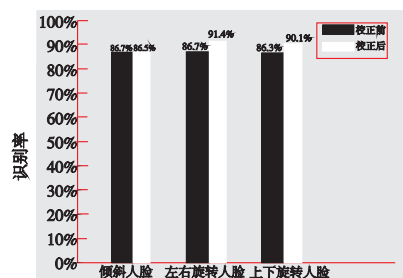


图17 校正人脸识别结果

5 结束语

本文提出的人脸矫正方法在小角度范围内能够将偏转人脸图像近似校正为正面人脸图像,并在实验中得到了比较好的识别效果,识别率大约提高了4.0%。但是随着旋转角度的增大,矫正效果不是很理想,还需要进一步研究,使该方法能将大角度范围偏转的人脸图像进行准确矫正。

(下转第1228页)

表4 胸径起点坐标值

树号	胸径起点坐标						
	X_{11}	Y_{11}	X_{12}	Y_{12}	x_1	y_1	z_1
1	1 172	595	174	576	3 166.5	1 607.5	0.4
2	192	491	1 236	561	519.8	1 329.3	0.6
3	1 223	571	245	528	3 299.0	1 540.3	0.3
4	778	478	1 310	488	2 087.8	1 282.7	0.1
5	247	592	1 225	550	667.3	1 599.3	0.4
6	192	489	1 177	498	520.0	1 324.3	0.6
7	178	563	712	589	485.1	1 534.2	1.1
8	1 146	584	333	530	3 089.0	1 574.2	0.3

表5 胸径终点坐标值

树号	胸径终点坐标						
	X_{21}	Y_{21}	X_{22}	Y_{22}	x_2	y_2	z_2
1	1 255	595	268	575	3 383.9	1 604.3	0.3
2	268	491	1 312	561	723.4	1 325.3	0.4
3	1 309	571	329	528	3 527.0	1 538.5	0.2
4	845	478	1 379	488	2 267.9	1 282.9	0.0
5	331	592	1 308	550	892.5	1 434.5	0.3
6	268	489	1 251	498	723.6	1 320.2	0.4
7	267	563	792	589	722.8	1 524.2	0.6
8	1 385	584	582	530	3 726.7	1 571.4	0.1

表6 实际测量胸径与计算胸径数据比较

树号	实测胸径/ mm	胸径计算 尺寸/mm	绝对误差 /mm	相对误差率/ %
1	219.0	217.6	1.4	0.6
2	211.4	203.6	7.8	3.7
3	233.3	227.9	5.4	2.3
4	186.5	180.1	6.4	3.4
5	275.7	279.1	3.4	1.2
6	208.2	203.6	4.6	2.2
7	244.5	238.0	6.5	2.7
8	661.1	637.7	23.4	3.5
平均值			7.4	2.5

最后计算结果显示如表6所示,胸径平均绝对误差为7.4 mm,平均相对误差率为2.5%,完全满足低于5%的精度要求,验证了将单 CCD 相机与经纬仪应用于树木胸径测量的方法是可行的。树木胸径的横截面可能是非规则的圆形和 CCD 相机非线性畸变时造成误差的主要因素,可再优化数学模型和图像处理算法,提高计算精度。

6 结束语

本文研究一种基于单 CCD 相机与经纬仪的树木胸径测量方法,通过建立数学模型、采集经纬仪数据和对 CCD 相机采集的图像进行处理,计算树木胸径尺寸,并利用北京林业大学校园内树木采集数据进行胸径测量实验,验证了结果。这种方法

利用单 CCD 相机结合经纬仪测角功能代替双 CCD,减少了在基距上的测量要求和计算,并且不需使用标定尺,对图像的提取效率和精度有一定的提高。使用 VC++ 编写软件界面,运算速度快,可进行实地实时性测量,也可实地测量保存原始数据后再计算结果。本软件的测量部分目前只涉及胸径计算,后续可扩展到对树木其他因子的测量或对其他物体的尺寸测量。测量范围主要取决于 CCD 相机的性能,可依据测量范围要求选择合适的 CCD 型号。

参考文献:

- [1] 南京林业大学. 中国林业辞典[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1994:227.
- [2] 冯仲科,赵春江,聂玉藻,等. 精准林业[M]. 北京:中国林业出版社,2002:10-30.
- [3] 阙江明,李文彬,孙仁山. 基于计算机视觉的立木枝干直径自动测量方法[J]. 北京林业大学学报,2007,29(4):5-9.
- [4] CLARK N. Applications of an automated stem measurer for precision forestry [C]//Proc of the 1st International Precision Forestry Cooperative Symposium. 2001:93-98.
- [5] BROWNLIE R K, CARSON W W, FIRTH J G, et al. Image-based dendrometry system for standing trees [J]. New Zealand Journal of Forestry Science,2007,37(2):153-168.
- [6] IZUMI T,UEKI Y. Improvement of precision by introducing vitality degree to the height measurement system using stereo vision [C]//Proc of SICE Annual Conference. Japan:Hokkaido Institute of Technology,2004.
- [7] 杨华,孟宪宇,刘燕,等. 单株立木图像信息的提取与解算[J]. 北京林业大学学报,2005,27(1):51-54.
- [8] 吴晓兰,高林,阙江明,等. 基于区域增长与边缘检测的立木图像信息提取[J]. 科技导报,2009,27(22):44-47.
- [9] 陶司光. 基于数码相机单木图像分割及测树因子提取方法的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011:12-29.
- [10] AL-AMEI S S, KALYANKAR N V, KHAMITKAR S D A. Comparative study of removal noise from remote sensing image [J]. IJCSI International Journal of Computer Science Issues,2010,7(1):32-36.
- [11] 阙江明. 基于计算机视觉的活立木三维重建方法[D]. 北京:北京林业大学,2008:23-27.
- [12] 孙仁山. 立木枝干机器视觉识别技术研究[D]. 北京:北京林业大学,2006:57-74.
- [13] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦,阮宇智,译. 2版. 北京:电子工业出版社,2007:423-431.
- [14] 康牧. 图像处理中几个关键算法的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2009:55-72.
- [15] 龙辉,何坤,黎思敏,等. 方向邻域全变分图像去噪[J]. 计算机应用研究,2013,30(7):2219-2222.
- [16] 熊志. 基于双目立体视觉的大尺寸测量系统的研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2006:41-45.
- [17] 张广军. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2005:99-102.
- [18] 孙仁山,李文彬,田勇臣,等. 基于整枝抚育目的的立木枝干自动识别研究[J]. 北京林业大学学报,2005,27(4):86-89.

(上接第1219页)针对本文提出的对 SURF 算法的改进也能够一定程度上提高人脸识别率。通过实验表明,改进的 SURF 算法中的描述矢量具有更强的描述性,而且匹配时间减少了23%左右,在一定程度上降低了时间消耗。

参考文献:

- [1] 龚卫国,黄潇莹,李伟红. 基于正弦变换的人脸姿态矫正及识别研究[J]. 计算机工程与应用,2010,46(22):213-216.
- [2] 周激流,张晔. 人脸识别理论研究进展[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,1999,11(2):180-184.
- [3] LEE H S, KIM D J. Generating frontal view face image for pose invariant face recognition[J]. Pattern Recognition, 2006,27(7):747-754.
- [4] 孙忠远,吴小俊,王士同,等. 基于多姿态人脸图像合成的识别方法研究[J]. 计算机工程与应用,2008,44(23):197-200.
- [5] GONZALEZ-JIMENEZ D, ALBA-CASTRO J L. Toward pose invariant 2-D face recognition through point distribution models and facial symmetry [J]. IEEE Trans on Information Forensics and Security, 2007,2(3):413-429.
- [6] 王跃明,潘刚,吴朝晖. 三维人脸识别研究综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2008,20(7):819-829.
- [7] BLANZ V. Face recognition based on a 3D morphable model [C]//Proc of the 7th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. 2006:617-624.
- [8] 胡茂林. 空间和变换[M]. 北京:科学出版社,2007:145-180.
- [9] 乔勇军,谢晓方,李德栋,等. SURF 特征匹配中的分块加速方法研究[J]. 激光与红外,2011,41(6):691-696.
- [10] 周志铭,余松煜,张瑞,等. 一种基于 SIFT 算子的人脸识别方法[J]. 中国图象图形学报,2008,13(10):1882-1885.