

# 一种基于椭圆投影的非理想虹膜定位算法

苑玮琦, 王 浩

(沈阳工业大学视觉检测技术研究所, 辽宁沈阳 110870)

**摘 要:** 人以正常步行速度通过采集装置会出现非理想的虹膜图像. 本文针对非理想虹膜中的角度偏离图像, 提出了一种基于椭圆投影的虹膜定位算法. 该算法首先计算双眼相对位置来决定头部的旋转角度, 之后找到瞳孔内一点, 从该点出发根据梯度变化搜索到虹膜的内边界点, 采用最小二乘法拟合椭圆形内边界. 然后依据椭圆与圆形的近似度检测人眼凝视方向, 使用投影变换将角度偏离的虹膜图像转换成正视角度. 最后在已经校正到正视角度的虹膜图像上, 使用边界点优选方法搜索到虹膜的外边界点, 并利用三点确定圆的方法定位外边界. 实验结果表明本算法可以在较短的时间内对角度偏离的非理想虹膜有效地定位.

**关键词:** 生物特征; 虹膜定位; 非理想虹膜; 椭圆; 投影变换

**中图分类号:** TP391.41      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2011) 04-0958-05

## A Non-ideal Iris Localization Algorithm Based on Elliptical Projection

YUAN Wei-qi, WANG Hao

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning 110870, China)

**Abstract:** There will be non-ideal iris images when the person is moving at a normal walking pace through an iris capture device. An iris localization method based on elliptical projection is proposed, which solved the localization problem of non-ideal off-angle iris images. Firstly, relative position between two eyes is calculated to determine the rotation angle of the head. Then a point within pupil is easily found. Starting from that point, iris inner boundary points are searched according to gradient variation. An elliptical inner boundary is fit using the least squares. Secondly, eye gaze direction is detected by the circularity of ellipse, and an off-angle iris image is converted into a frontal view iris image adopting projection transform. Thirdly, iris outer boundary points are searched using the boundary point optimal selection method in the frontal view iris images, and outer boundary is located by the means of three points fitting a circle. Experimental results show that the proposed algorithm can effectively locate off-angle iris in a very short time.

**Key words:** biometrics; iris localization; non-ideal iris; ellipse; projection transform

## 1 引言

理想条件下的虹膜识别已经成为识别率最高的生物特征识别方法, 英国剑桥大学 Daugman 博士的基于 2D-Gabor 的虹膜识别方法的识别率高达 99.99%<sup>[1]</sup>, 但是在这种条件下的虹膜识别系统需要被采集者高度配合, 这不仅带来了采集的被动性而且也会增加很多等待的时间. 一个实用高效的虹膜识别系统不仅可以在比较远的距离捕捉到人眼图像并获取到虹膜图像, 而且被采集者不需要停留而是以正常的步行速度通过, 更人性化的过程则是被采集者也不用知道采集设备具体的位置, 这样会大大减轻人们凝视摄像头所带来的疲劳感. 然而想要在上述条件下仍然获得理想的虹膜图像, 就不得不增加摄像头的数量和提高摄像头的分辨率, 这无疑大幅

度地提高了设备的成本. 伦斯勒理工学院的远离式虹膜识别系统的采集距离可以达到 1.5m<sup>[2]</sup>, Iridian Technologies 公司的 IOM 系统是第一个能够捕捉到人以正常步行速度通过安全门时的虹膜图像<sup>[3]</sup>, 这些方式采集到的虹膜图像很可能是非理想的虹膜图像, 包括角度偏离图像, 离焦模糊图像或运动模糊图像. 目前, 许多研究机构都致力于研究非理想虹膜图像的识别问题<sup>[4-6]</sup>, 其中模糊的虹膜图像一般是由于在离焦的状态下采集的, 可以在摄像头前加一个波阵面来扩大焦距范围以达到消除模糊图像的目的<sup>[7]</sup>.

对于角度偏离虹膜的识别问题, 最重要的是要解决这种虹膜的定位问题. 因为角度偏离虹膜的内外边界已经不是圆形, 所以传统的虹膜定位算法<sup>[8]</sup>在处理这类非圆形的内外边界时已不再适用. Schuckers 等<sup>[9]</sup>改进了

Daugman 的算法使之应用在处理角度偏离的非理想虹膜图像上, Schuckers 等首先应用圆周差分算子作为目标函数来检测人眼的凝视方向, 然后根据检测到的角度对角度偏离的虹膜图像进行几何变换, 使之变换成一个正视的虹膜图像. 这个算法处理的对象是在假设头部不能移动的条件下采集到的虹膜图像, 并且由于采用圆周差分算子对整幅图像进行积分, 目标函数需要对整个圆周梯度求和, 使该算法的计算量非常大. 本文提出的定位算法解决了头部与眼睛的转动带来的虹膜偏转问题, 由于瞳孔内基准点的确定和较少边界点的搜索以及简单的圆形度计算方法, 使整个定位时间明显减少.

## 2 头部旋转对眼睛凝视角度的影响

由于被拍摄目标与摄像头的距离比较远, 并且目标是在移动的过程中被拍摄的, 这就造成头部的运动有很大的自由度. 人头部的运动可以简化成三个自由度的旋转, 即 yaw, pitch 和 roll. 由于虹膜附着在眼球上, 头部的旋转对于人眼的位置有很大的影响. 其中人眼相对于头部的 roll 方向旋转角度非常小, 所以头部的 roll 方向的旋转可以完全决定人眼的 roll 方向的旋转. 而人眼的 yaw 方向和 pitch 方向的两个旋转角度相对于头部的运动非常大, 它们的变化是头部和人眼共同作用的结果. 头部在 roll 方向的旋转角度可以由两只眼睛的位置来确定. 首先应用人眼检测模板搜索到两只眼睛的位置, 连接两眼中心成一条直线, 然后计算这条直线与水平方向的偏角. 本文通过 Haar 特征与 Adaboost 算法检测人眼<sup>[10]</sup>, 检测到的人眼中心坐标分别是  $(E1x, E1y)$ ,  $(E2x, E2y)$ , 则 roll 旋转方向的角度  $\theta_x$  为:

$$\theta_x = \arctan \frac{E1y - E2y}{E1x - E2x} \quad (1)$$

## 3 椭圆形定位角度偏转虹膜的内边界

### 3.1 搜索虹膜内边界

为避免盲目地在图像中大范围地搜索虹膜内外边界, 本文方法首先要确定瞳孔内的基准点  $P_0$ , 根据瞳孔内的像素具有灰度值接近于零、分布均匀等特点, 采用分块统计灰度值的方法来定位瞳孔内一点. 首先对整幅人眼图像逐一计算像素块的灰度平均值, 然后将灰度平均值最小的像素块的中心点作为瞳孔内的一点.

人眼在正视情况下拍摄到的虹膜内边界近似为一个圆形, 因此可以采用传统的圆检测方法检测到虹膜的内边界, 但是在角度偏离的虹膜图像中, 内边界则是一个近似的椭圆形. 如果仍然应用传统的圆检测方法必然导致非常大的误差, 所以本文采用的是基于椭圆形检测的方法. 考虑到边界点的检测可能会受到噪声

点的影响, 因此设计一个灰度梯度模板, 中心梯度值是周围像素点共同贡献的结果, 灰度梯度模板与图像作用平均值的最大值作为虹膜的内边界点. 可以从  $P_0$  点出发, 应用灰度梯度模板在水平方向分别向左右搜索两个边界点, 在瞳孔附近, 梯度平均值最大的地方就是边界点所在的位置; 再从  $P_0$  点出发, 沿垂直方向向下搜索到一个边界点; 找到第三个边界点和  $P_0$  点的中心点. 沿中心点的水平方向, 分别向左右搜索到最后两个边界点. 通过此方法找到了瞳孔下方的 5 个虹膜内边界点. 在上述的搜索过程中只考虑了瞳孔的下半部分, 这是因为在拍摄到的人眼图像中, 瞳孔以上的部分经常被睫毛覆盖, 所以为了避免对定位的准确性产生影响, 人为地绕开被干扰的区域.

### 3.2 最小二乘法拟合椭圆形虹膜内边界

角度偏离的虹膜内边界的形状与椭圆形非常近似, 因此可以采用拟合椭圆的方法确定虹膜内边界. 本文依据梯度模板检测到的五个虹膜内边界点, 应用最小二乘法拟合椭圆形的虹膜内边界<sup>[11]</sup>. 椭圆可以用一个二阶多项式方程和一个限制条件表示:

$$F(x, y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0 \quad (2)$$

其中,  $a, b, c, d, e, f$  是椭圆方程的系数,  $(x, y)$  是被拟合点的坐标值. 多项式  $F(x, y)$  还被称为被拟合点到椭圆间的代数距离. 将椭圆方程的系数和被拟合点的坐标值记作:

$$\mathbf{a} = [a, b, c, d, e, f]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{x} = [x^2, xy, y^2, x, y, 1] \quad (4)$$

椭圆多项式也可以记作:

$$F_a(\mathbf{x}) = \mathbf{x} \cdot \mathbf{a} = 0 \quad (5)$$

对于给定的虹膜内边界点  $(x_i, y_i)$ , 应用最小化代数距离平方和的方法拟合椭圆曲线.

$$\min_a \sum_{i=1}^5 F(x_i, y_i)^2 = \min_a \sum_{i=1}^5 (F_a(\mathbf{x}_i))^2 = \min_a \sum_{i=1}^5 (\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{a})^2 \quad (6)$$

椭圆形虹膜内边界的定位过程如图 1 所示. 通常, 由于此椭圆形的对称轴并非图像的水平与垂直坐标轴, 因此拟合出的内边界一般是倾斜的椭圆形.

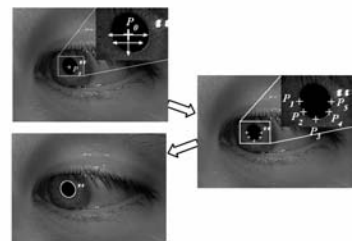


图1 椭圆形内边界的定位过程

## 4 角度检测与投影变换

本文的人眼凝视角度检测分为粗检测与精确检测两步, 进行粗检测的目的是为了快速地确定检测方向与检测的大致范围. 粗检测是基于判断瞳孔在人眼图

像中的大致位置实现的,由于拍摄到的每幅人眼图像位置并不固定,所以粗检测存在一定误差,但在大多数情况下可以明显地提高整体检测速度.通常,由于人眼在 yaw 旋转方向的偏转角度比较大,可以准确地检测到旋转的方向;而人眼在 pitch 旋转方向的偏转角度比较小,由于存在一定的检测误差,并不能准确地检测到旋转的方向,因此在 pitch 旋转方向上并不进行粗检测.粗检测的步骤是:在 yaw 旋转方向上,以瞳孔内一点与图像中心位置的距离  $L$  作为人眼凝视方向基准  $\Psi$ .其中,距离  $L$  与凝视方向基准  $\Psi$  的近似关系为:  $\Psi = L/10$  ( $L$  的单位是像素点长度,  $\Psi$  的单位是角度).  $\Psi$  就是 yaw 旋转方向的检测粗值,作为下一步的精确检测的基准.根据  $\Psi$  的值就可以确定人眼是凝视左方还是右方.人眼凝视左方时,  $\Psi$  为负;人眼凝视右方时,  $\Psi$  为正.在 yaw 旋转方向的精确搜索范围是在  $\Psi$  两侧的  $[\Psi - 5, \Psi + 5]$ ,步长为 1.在 pitch 旋转方向上,以 0 度为中心,精确搜索范围为  $[-6, 6]$ ,步长为 2.之所以把步长选为 2,是因为人眼在 pitch 方向上变化角度比较小,对精确检测的结果影响不是很明显,并且能够提高检索速度.精确的角度检测是在粗检测的基础上,以椭圆形虹膜内边界与圆形的接近程度为标准,准确地计算出人眼在 yaw 旋转方向和 pitch 旋转方向的偏转角度.本文采用椭圆长短轴的差作为目标函数(图 2),搜索设定范围内的所有可能取值以达到最小化该目标函数的目的.  $\theta_y$  和  $\theta_z$  分别为 yaw 角度和 pitch 角度,  $L(\theta_y, \theta_z)$  为目标函数,在以  $\theta_y$  和  $\theta_z$  为变化量的每一步搜索中,人眼图像都经过投影变换旋转成一个新的图像(图 3),投影变换中用的是双线性插值.输入的人眼图像为  $I$ ,投影变换矩阵为:

$$R_x(\theta_x) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_x & \sin\theta_x \\ 0 & -\sin\theta_x & \cos\theta_x \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$R_y(\theta_y) = \begin{pmatrix} \cos\theta_y & 0 & -\sin\theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta_y & 0 & \cos\theta_y \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$R_z(\theta_z) = \begin{pmatrix} \cos\theta_z & \sin\theta_z & 0 \\ -\sin\theta_z & \cos\theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$R = R_z(\theta_z)R_y(\theta_y)R_x(\theta_x) \quad (10)$$

其中  $\theta_x$  是 roll 旋转,  $\theta_y$  是 pitch 旋转,  $\theta_z$  是 yaw 旋转.角度偏离的虹膜图像经过投影变换后得到的新图像为:

$$I' = IR \quad (11)$$

然后解决下式的最优化问题来确定最后的人眼凝视角度的 yaw 旋转和 pitch 旋转:

$$(\hat{\theta}_y, \hat{\theta}_z) = \underset{\theta_y, \theta_z}{\operatorname{argmin}} S(\theta_y, \theta_z) \quad (12)$$

其中的目标函数  $S$  为椭圆与圆形的相似度.  $S$  取到最小值时,椭圆形内边界最接近圆形,这时的角度偏离虹膜已经完全转变成正视的虹膜.  $S$  值的大小是椭圆长短轴的长度差:

$$S = |A - B| \quad (13)$$

其中  $A$  为椭圆长轴的长度,  $B$  为椭圆短轴的长度.

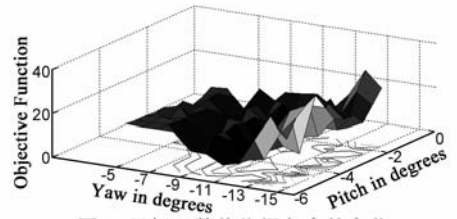
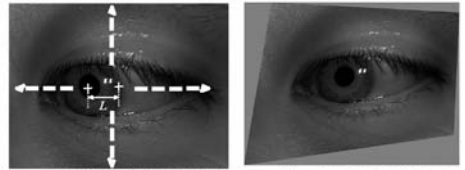


图2 目标函数值依据角度的变化



(a) 角度偏离虹膜图像 (b) 校正后的虹膜图像  
图3 根据凝视方向校正虹膜图像

## 5 圆形定位虹膜外边界

人眼图像经过投影变换校正成正视图图像后,已经非常近似于人眼凝视摄像头时所采集到的图像.此时,虹膜外边界也由椭圆形变换成圆形,采用传统的圆检测方法已经可以准确地定位虹膜外边界.可是虹膜外边界的搜索难度远远大于虹膜内边界,这是因为虹膜外边界不仅受到上眼皮睫毛的干扰,还会受到上下眼睑的干扰,并且虹膜外边界的灰度值变化也小于内边界的灰度值变化.本文提出了一种边界点优选方法结合三点确定圆的方法定位虹膜外边界.利用梯度模板在虹膜外边界左右各搜索三个点,分别选择左右梯度较大的两个边界点作为候选点,这样得到四个候选点,再舍弃四个候选点中的最小梯度点,保留最后三个点作为定位圆的三个基准点.根据三个基准点应用三点确定圆的方法定位虹膜外边界.首先将三个基准点的坐标值代入圆方程,求解出圆心和半径,然后根据圆心和半径确定圆形的虹膜外边界.

## 6 实验果与分析

在实验室自采的角度偏离虹膜图库中,有 20 个类,每个类 6 幅不同偏转角度的虹膜图像.在西弗吉尼亚大学的角度偏离虹膜库 (West Virginia University off-angle iris dataset) 中,有 100 个类,每个类 4 幅图像,其中包括两个偏转  $0^\circ$  的图像,一个偏转  $15^\circ$  的图像和一个偏转  $30^\circ$  的图像.

对于自采图库中的所有图像,分别应用了 Schuck-

ers 的算法和本文提出的算法进行了虹膜定位实验.从实验结果(表 1)看出,两种定位算法得到的定位准确率相差不大,而本文提出的算法在定位的平均时间上却小于 Schuckers 的算法.在西弗吉尼亚大学的角度偏离虹膜库中,本文选取了受噪声(睫毛等)影响较小的 96 个类的虹膜图像进行定位实验.从表 2 看出,当虹膜偏转角度较小时,本文定位算法的准确率与 Schuckers 的定位算法接近.本文对虹膜内边界的定位依据的是一定区域范围的梯度大小,合适范围的选择已经排除了噪声点的影响,而对噪声影响更大的虹膜外边界,不仅采用了与内边界一样的梯度模板方法,并且在最后的定位结果中采用的是备选点(6 点)中优选的 3 点,这样便进一步排除了虚假边界点的影响.当虹膜偏转角度较大时,本文定位算法的准确率低于与 Schuckers 的定位算法.这是因为虹膜偏转到眼角的地方后,靠近眼角的虹膜外边界变得比较模糊,导致虚假边界点增多,局部范围的梯度变化不再具有边界的典型特征.当虹膜角度偏转过大时,两种算法的定位结果都已经不再适于后续识别过程,应该舍弃.在整个定位的过程中,首先找到了瞳孔内的基准点,其次采用了数量较少的边界点搜索技术,再次应用了简单的圆弧度计算方法.这使得算法的运行时间远小于 Schuckers 的定位算法,可以应用在实时的系统中.

表 1 自采图库中不同定位算法的定位效果比较

| 定位算法          | 准确率(%) | 平均时间(s) |
|---------------|--------|---------|
| Schuckers 的算法 | 94.17  | 5.427   |
| 本文算法          | 93.33  | 1.253   |

表 2 WVU 图库中不同定位算法的定位效果比较

| 定位算法          | 0°准确率(%) | 15°准确率(%) | 30°准确率(%) | 平均时间(s) |
|---------------|----------|-----------|-----------|---------|
| Schuckers 的算法 | 98.97    | 97.92     | 95.83     | 6.735   |
| 本文算法          | 100      | 97.92     | 94.79     | 1.346   |

图 4 是在图库中采用本文定位算法得到的一些虹膜定位结果.根据人眼凝视角度的大小,定位时间有所不同.凝视角度大的虹膜定位时间明显高于角度小的虹膜.实际的虹膜采集系统中,大角度的角度偏转虹膜是不多见的,所以大部分的虹膜都可以在较短的时间内准确地定位.

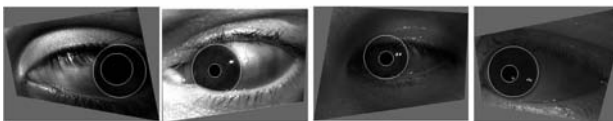


图 4 本文算法的非理想虹膜定位结果

## 7 结论

放宽采集条件是虹膜识别技术大范围应用的前提,这种情况下采集到的虹膜图像必然会出现非理想

的虹膜图像.本文解决了非理想虹膜图像中的角度偏离虹膜的定位问题.该算法首先算出人眼的 roll 旋转角度,并采用梯度模板方法搜索虹膜内边界点,根据最小二乘法拟合虹膜内边界;然后按照虹膜内边界的椭圆形与圆形的相似度确定最终的人眼凝视方向,将角度偏离的虹膜图像投影到正视方向;最后采用边界点优选方法搜索到三个虹膜外边界点,并使用三点定位圆的方法定位虹膜外边界.实验结果表明,本文算法不仅可以准确地定位角度偏离虹膜,并且定位时间明显减少,可以在实时的虹膜识别系统中应用.

## 参考文献:

- [1] John Daugman. How iris recognition works[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 21 - 30.
- [2] Frederick W Wheeler, A G Amitha Perera, et al. Stand-off iris recognition system[A]. Proc. of IEEE Second International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems[C]. Washington DC, 2008. 1 - 7.
- [3] James R Matey, Keith Hanna, et al. Iris on the move: Acquisition of images for iris recognition in less constrained environments[J]. Proceedings of the IEEE, 2006, 94(11): 1936 - 1947.
- [4] S J Pundlik, D L Woodard, S T Birchfield. Non-ideal iris segmentation using graph cuts[A]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops[C]. Alaska, 2008. 1 - 6.
- [5] 张文聪, 叶学义, 李斌, 等. 一种非理想采集条件下的虹膜定位算法[J]. 模式识别与人工智能, 2007, 20(5): 765 - 680.  
Wencong Zhang, Xueyi Ye, Bin Li, et al. A robust iris localization algorithm for non-ideal capturing conditions[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2007, 20(5): 765 - 680. (in Chinese)
- [6] Z Zhou, Y Du, C Belcher. Transforming traditional iris recognition systems to work on non-ideal situations[J]. IEEE Trans on Industry Electronics, 2009, 56(8): 3203 - 3213.
- [7] K N Smith, V P Pauca, A Ross, T Torgersen, et al. Extended evaluation of simulated wavefront coding technology in iris recognition[A]. IEEE Conference on Biometrics: Theory, Application and Systems[C]. Washington DC, 2007. 1 - 7.
- [8] 胡正平. 基于多尺度-局部方向轮廓综合的鲁棒虹膜定位算法[J]. 电子学报, 2007, 35(1): 131 - 134.  
Hu Zhengping. Robust iris location based on multi-scale local-direction contour detection[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(1): 131 - 134. (in Chinese)
- [9] S A C Schuckers, N A Schmid, A Abhyankar, et al. On techniques for angle compensation in nonideal iris recognition[J].

IEEE Trans on System, Man, and Cybernetics, 2007, 37(5): 1176 – 1190.

- [10] Z Niu, S Shan, S Yan, X Chen, et al. 2D cascaded adaBoost for eye localization[A]. IEEE Int. Conf. on Pattern Recognition[C]. Hong Kong, 2006. 1216 – 1219.

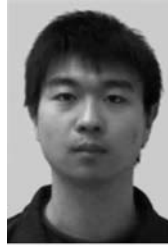
#### 作者简介:



**苑玮琦** 男, 1960年生, 博士后, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉检测、图像处理与模式识别、生物特征识别、基于数字信号处理的图像采集与处理系统等的研究. 在国内外重要学术刊物上发表论文 140 余篇, 50 余篇被 SCI、EI 或 ISTP 收录.

E-mail: yuan60@126.com

- [11] R Halif, J Flusser. Numerically stable direct least squares fitting of ellipses[A]. Proceedings of the 6th International Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualization[C]. WSCG, 1998. 125 – 132.



**王浩** 男, 1984年生, 硕士, 主要研究方向为生物特征识别、图像处理与模式识别.

E-mail: wanghao8401@126.com

(上接 945 页)

- [9] 姜守达, 陆哲明, 裴慧. 哈德码变换域等均值等方差最近邻矢量量化码字搜索算法[J]. 电子学报. 2004, 32(9): 1543 – 1545.

JIANG Shou-da, LU Zhe-ming, PEI Hui. Equal-average equal-variance nearest neighbor search algorithm based on Hadamard transform[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(9): 1543 – 1545. (in Chinese)

- [10] S C Chu, Z M Lu, J S Pan. Hadamard transform based fast codeword search algorithm for high-dimensional VQ encoding [J]. Information Sciences. 2007, 177(3): 734 – 746.

- [11] S H Chen, J S Pan, Fast search algorithm for VQ-based recognition of isolated word[J]. IEE Proceedings-I 136(6), 1989: 391 – 396.

- [12] J Z C Lai, Y C Liaw. Fast searching algorithm for vector quantization using projection and triangular inequality [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(12): 1554 – 1558.

- [13] Cui Jiangtao, Zhou Shuisheng, Sun Junding. Efficient high-dimensional indexing by sorting principal component[J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(12): 2412 – 2418.

