

基于方差滤波和 ICA 算法的人眼定位^①

李政仪^{1,2}, 冯贵玉³

¹(长沙民政学院 软件学院, 长沙 410004)

²(国防科技大学 计算机学院, 长沙 410073)

³(北京图形研究所, 北京 100029)

摘要: 采用方差滤波器确定人眼候选区域, 结合独立成分分析(ICA)方法对人眼进行快速定位, 能够有效地提取训练图像的高阶统计特征, 很好地去掉基向量的相关性. 与主成分分析(PCA)和传统 ICA 方法相比具有更好的鉴别能力. 实验表明, 该方法的识别率可达 97.3%, 并对光照和姿态变化也具有很好的鲁棒性.

关键词: 人眼定位; 独立成分分析(ICA); 主成分分析(PCA)

Eye Location Based on Variance Filter and Independent Component Analysis

LI Zheng-Yi^{1,2}, FENG Gui-Yu³

¹(Department of Computer Science, Changsha Social Work College, Changsha 410004, China)

²(College of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

³(Beijing Graphics Research Institute, Beijing 100029, China)

Abstract: A new algorithm for eye location is presented. In this method, the probable eyes candidate regions are localized rapidly by using the combination of the variance filter and the independent analysis (ICA) method. The method depends on higher-order statistics of the training images decorrelated by basis vectors. Compared with principal component analysis (PCA) and traditional method of independent component analysis, the method does better in the eye identification. The results of experiments show that the proposed method has the detection rate of 97.3%, and is more efficient and robust to the variable postures and illuminations.

Key words: eye location; independent component analysis (ICA); principal component analysis (PCA)

眼睛定位是计算机视觉与模式识别^[1]领域的主要课题之一. 目前, 人眼定位已经被广泛地应用于公安刑侦、司法鉴定、金融支付、疲劳驾驶等众多领域. 近 20 年来, 国内外的研究学者提出了很多用于人眼定位的方法, 常用的方法总体上可分为可变形模板法、灰度投影法、模板匹配法等^[2]. 这些方法各有特色, 推动了这一领域的发展进步. 其中, 可变形模板法能够得到眼睛的精确位置和尺寸, 但存在模板初始参数确定困难、处理速度慢等问题; 灰度投影法是对脸部图像进行水平和垂直的灰度投影, 然后通过波峰波谷信息来定位人眼, 但定位精度较低, 对不同人脸和姿态变化非常敏感; 模板匹配^[2]是一种有效地模式识别技术,

它能利用图像信息和有关识别模式的先验知识, 更加直接地反映图像之间的相似度, 这种方法比较简单, 但计算量较大, 定位准确率较低. 为此, 本文设计一种新的人眼定位算法, 采用方差滤波器获得人眼候选区域, 结合 ICA 算法对人眼候选区域进行特征提取, 实验表明, 此方法能减少运算数据量并去除干扰信息, 对人眼有很好的识别效果, 同时也能满足疲劳驾驶系统的实时人眼定位.

1 独立成分分析(ICA)

独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)^[3]是基于信号高阶统计特征的分析方法, 不仅可

① 基金项目: 国家自然科学基金(61005084); 教育部高等教育博士点基金(20114307120032); 湖南省教育厅科技项目(11C0076)

收稿时间: 2012-09-19; 收到修改稿时间: 2012-11-12

以分割混合的信号,还可以有效地提取信号中的低级特征.假设观察到了 m 个随机变量 x_1, x_2, \dots, x_m , 它们可以表示为 n 个随机变量 s_1, s_2, \dots, s_n 的线性组合:

$$x_i = a_{i1}s_1 + a_{i2}s_2 + \dots + a_{in}s_n, \quad i=1, \dots, m \quad (1)$$

其中 $a_{ij}, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$ 是实系数. 在这个定义中, 假设 $s_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是统计独立的. 这是基本的 ICA 模型或称经典 ICA 模型, 描述了独立源信号 $s_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是如何组合成观测信号的.

方程(1)的矩阵形式是:

$$X=AS \quad (2)$$

式(2)中, S 是假定的要分离出来的独立的源信号, X 是观察到的样本集, 即混合信号, A 是未知的混合矩阵. ICA 需要从重建模型 $Y=WX$ 中计算出, W 是分离矩阵, Y 是源信号 S 的一个近似估计, 且 Y 的各分量尽可能独立.

2 基于方差滤波和ICA算法的人眼定位

人脸的拓扑结构相对是固定的, 而眼睛是由眼球和眼皮构成的活动对象, 所以眼睛区域的边缘特征非常丰富, 灰度变化也比人脸其他部分更加明显. 在人脸的灰度图像中, 由于眼睛虹膜、瞳孔和上眼眶部位的灰度值明显比其邻近区域(眼部周围皮肤)灰度值要低. 因此在人脸图像中找出与实际眼睛大小相似且比其相邻区域灰度值低的区域作为可能的眼睛块, 即人眼候选区域. 本算法主要分两个阶段, 首先构建人眼方差滤波器确定候选人眼区域, 然后结合 ICA 算法进行特征提取, 利用设计好的分类器进行训练和识别.

2.1 人眼方差滤波器的构建

前面已提到过, 构建人眼方差滤波器可以确定候选人眼区域, 根据文献[5]可知, 人眼图像 $I(x,y)$ 在区域 Ω 的方差可以定义为:

$$V_{\Omega} = \frac{1}{A_{\Omega}} \sum_{(x,y) \in \Omega} [I(x,y) - \bar{I}_{\Omega}]^2 \quad (3)$$

此处 A_{Ω} 表示人眼区域面积, \bar{I}_{Ω} 表示人眼区域 Ω 的平均灰度.

为了构建人眼方差滤波器, 选择 30 幅不同人、不同方向大小为 60×30 的人眼图像 $I_i(x,y), i=1, 2, \dots, N$. 将每幅人眼图像 I_i 分成 3×3 的小块, 计算每一个小块的方差, 用这些方差值构成大小为 20×10 的方差图像. 则人眼方差滤波由式(4)构成:

$$F_e = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N V_{\sigma}^j \quad (4)$$

此处 V_{σ}^j 表示小块人眼图像的第 j 个方差滤波, N 表示使用人眼图像的数目.

从人眼图像中分割出大小为 20×10 的矩形窗, 可以记为 I_{σ} , 按照式(5)计算 I_{σ} 通过 F_e 后的响应^[6].

$$R(I_{\sigma}, F_e) = \frac{E[(\xi_{I_{\sigma}} - E(\xi_{I_{\sigma}}))(\xi_{F_e} - E(\xi_{F_e}))]}{\sqrt{D(\xi_{I_{\sigma}})D(\xi_{F_e})}} \quad (5)$$

其中 I_{σ}^i 为 I_{σ} 对应的方差图像, $\xi_{I_{\sigma}}$ 和 ξ_{F_e} 是按行展开后得到的向量, $E(\cdot)$ 和 $D(\cdot)$ 分别表示数学期望和方差.

2.2 人眼定位

人眼方差滤波器可以确定人眼候选区域, 为了快速定位准确的人眼位置, 本文结合独立成分分析(ICA)算法进行特征提取, 具体实现步骤如下:

Step1: 选取一定数量的人脸图像作为样本, 采用文献[7]中面部检测器对图像进行预处理, 首先将人脸图像归一化为固定的大小(如 92×92 像素), 由于人眼在人脸的上半部分, 为了减少计算量, 将扫描区域限制在所检测人脸的上半部分, 然后对左右眼分别进行搜索, 将人脸的上半部分分离为多个重叠的大小为 $w \times h$ 的区域, 最后通过人眼滤波器获得一系列包含人眼的候选区域;

Step2: 将第 1 步中的人眼候选区域图像样本集作 ICA 分析, 采用 FastICA 算法, 求取分离矩阵 W . 获得独立基图像 S 的估计 $Y, Y=WX$. 设

$$S = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_n \end{bmatrix}$$

其中, s_1, s_2, \dots, s_n 是独立源信号即独立基图像. 由 $X=AS$ 可知, 每一帧人眼候选图像是 S_1, S_2, \dots, S_n 的线性组合.

Step3: 由第 2 步可知 S 可以构成一个映射空间, 将待识人眼候选区域图像投影到这个映射空间, 最后利用设计好的分类器进行训练和识别. 实现流程如图 2 所示.

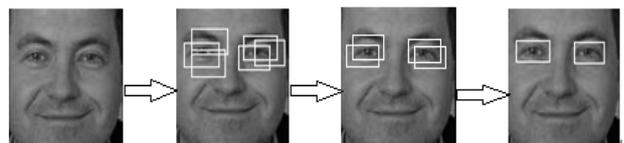


图 2 算法实现流程图

3 实验结果

本文采用的算法在 FERET 人脸库和摄像头采集到的图像库进行了测试, 每人有 6 幅图像, 分别具有不同的表情、不同的光照和不同的姿态. 在人眼识别实验中, 训练集和测试集中都采用 200 幅人脸图像, 图像大小为 92×112 . 首先, 分析 ICA 的基向量选取与识别率之间的关系, 如图 3 所示; 接着对已有的 PCA、传统 ICA、本文算法作特征提取, 采用 RBF 分类器比较它们的识别率, 结果如表 1 所示.

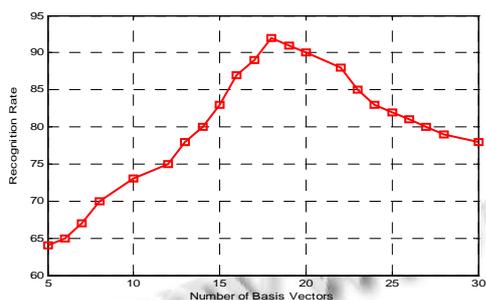


图 3 ICA 基向量与识别率的关系

由图 3 可知, ICA 基向量数目过多或者过少都会使识别率降低, 因为当基向量数目过多时会包含大量的干扰信号, 而基向量数目过少时则会丢失较多的人眼特征信息. 实验结果表明, 基数量数目为 18 时, 识别效果最佳.

表 1 不同方法的性能比较

方法	训练时间 (s)	识别时间(秒)	识别率
PCA	0.179	0.126	88.40%
ICA	0.086	0.095	91.70%
本文算法	0.151	0.079	97.30%

由表 1 可以看出, PCA 算法的识别率为 88.4%, 传统 ICA 算法的识别率是 91.7%, 本文结合人眼方差滤波器和 ICA 的算法识别率是 97.3%. 从上述结果可以看出, 由于本文算法引入了方差滤波器, 只对候选区域采用 FastICA 算法, 大大减少了计算量, 所以取得了比其他 2 种算法更高的识别率, 同时也提高了识别时间.



图 4 人眼定位部分结果

5 结论

本文通过构建人眼方差滤波器确定包含眼睛特征的人眼候选区域, 结合 ICA 算法对若干分区域进行人眼定位, 能够有效地提取训练图像的高阶统计特征, 很好地去除基向量的相关性, 减少了计算量和复杂度, 通过对比试验本文方法明显优于常用的 ICA 方法, 对人眼定位准确率高、运算速度快, 并对不同背景、头部偏转角度等细节具有很好的适应性, 因而在疲劳驾驶监控等领域有较好的潜在应用价值. 但是, 疲劳驾驶监控系统的实时性和准确性要求都很高, 因此, 该算法在识别效率和实时性方面仍有提升的空间, 这也是我们下一步的研究方向.

参考文献

- 1 Gao Y, Wang Y. Precise eye location using Dempster-Shafer theory. *Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 2007,5(1):129-143.
- 2 Valenti R, Gevers T. Accurate eye center location through invariant isocentric patterns. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012,34(9):1785-1798.
- 3 Hyvarinen A, Oja E. Independent component analysis: algorithm and applications. *Neural Networks*, 2000,13(4-5):411-430.
- 4 Hyvarinen A. Fast and robust fixed-point algorithm for independent component analysis. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1999,10(3):626-634.
- 5 Feng GC, Yuen PC. Multi-cues eye detection on gray intensity image. *Pattern Recognition*, 2001,34(5):1033-1046.
- 6 朱玉莲. 基于加权特征脸法的人脸识别. *计算机应用*, 2005, 25(11):2584-2585.
- 7 Viola P, Jones MJ. Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, 2004,57(2):137-154.
- 8 Moghaddam B, Yang MH. Learning gender with support faces. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002,24(5):707-711.