

《图像信息处理技术》专题文章导读

图像技术研究部 韩广良

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

图像信息处理技术是从光学图像中获取所需的信息、识别其中包含的语义,作为后续进一步处理的依据,该技术包含了图像获取、存储、识别、理解、数据提取等,实际上模拟了人类通过眼睛和大脑处理事物的机理,是一种机器智能处理技术。随着计算机、电子学、软件等技术的飞速发展,图像信息处理技术也已逐渐向更高机器智能水平迈进,吸引了越来越多的科研人员在这个领域中探索拼搏。

图像技术研究部是长春光机所从事图像信息处理技术研究的专项技术研究部门,成立二十余年来,专注于图像、视频、信息处理的基础理论和工程应用研究,已形成服务于国家建设需求,并不断创新发展的专业布局,其研究成果已广泛应用于军事、航天航空、工业制造、公共安全等领域。

本专栏结合了长春光机所图像技术研究部及相关合作单位的研究成果,内容包含了领域研究现状、图像识别和跟踪算法、图像处理应用策略、图像处理工程实现等,是研究人员在工程应用研究中的技术结晶。

《虹膜图像的质量评价研究》一文提出了一种虹膜图像质量评价方法,针对虹膜图像散焦模糊及睫毛遮挡问题,利用 LoG 算子提取高频能量,并计算区域水平梯度,验证了算法有效性,在实时虹膜识别算法中具有较好的应用价值。

《提高外场重频激光光斑测量距离的研究》一文从解决工程实际问题出发,研究了提高外场重频激光光斑测量距离的方法,通过设计快门及曝光策略,提高了激光光斑图像信噪比,并成倍数提高了外场激光光斑的测量距离。

《结合自适应核函数的 Mean-shift 改进算法》一文提出了一种采用自适应核函数的 Mean-shift 跟踪算法,以灰度相似度加权的视觉显著性特征确定目标区域,并结合 Epanechnikov 核函数构建自适应核函数,实现了目标的尺度自适应跟踪,在目标自动识别和跟踪设备中具有很好的应用价值。

《基于无人机的输电网故障跳线联板识别》一文论述了一种应用于输电网故障检测的图像处理算法,结合 OTSU 阈值分割、漫水法滤波、USFPF 特征提取,实现了故障跳线联板的识别,其研究成果具有良好的参考价值。

《基于 SIFT 算法的多表情人脸识别》一文在 SIFT 算法应用于多表情人脸识别方面进行了探索,并采用多种样本进行了表情识别实验,实验表明 SIFT 算法能够克服不同人脸间的整体相似性并能有效提取出人脸的局部细节特征,对人脸识别技术的研究具有很好的借鉴作用。

《一种基于 FPGA 的彩色图像实时增强方法》一文提出一种基于 FPGA 的嵌入式实时图像增强处理系统,并实现了一种适用于 FPGA 的彩色图像拉伸算法,满足工程应用中的实时图像增强要求。

《关于彩色夜视技术的综述》一文对彩色夜视技术的原理、应用意义、关键技术进行了阐述,并总结了彩色夜视技术及设备的发展现状以及未来趋势,可作为相关领域研究人员的技术参考。

文章编号:1007-2780(2016)12-1131-06

虹膜图像的质量评价研究

史春蕾^{1*},周凤文²,胡雨露³,孙海江⁴

(1. 长春师范大学 物理学院,吉林 长春 130032; 2. 长春理工大学 教务处,吉林 长春 130022;

3. 东北师范大学 物理学院,吉林 长春 130000;

4. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 图像处理技术研究部,吉林 长春 130033)

摘要:对虹膜识别系统来说,所采集虹膜图像的质量好坏直接影响识别是否成功。本文针对散焦模糊和眼睑睫毛遮挡问题提出了一种新的虹膜图像质量评价方法:判断图像是否散焦模糊采用了 LoG 算子提取瞳孔两侧局部虹膜的高频能

收稿日期:2016-11-07; 修订日期:2016-12-05.

基金项目:吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(No.2015359); 长春师范大学实验教学改革研究项目

Supported by “Twelfth Five-Year” Science and Technology Research Project of the Education Department of Jilin Province (No. 2015359); Experiment Teaching Reformation Research Project of Changchun Normal University

* 通信联系人, E-mail: scl_83218@163.com

量,判断虹膜是否有眼睑严重遮挡采用了计算瞳孔上方指定矩形区域的灰度均值,同时计算该区域的水平梯度来衡量虹膜受睫毛遮挡的程度。仿真实验表明,算法的平均处理速度 0.020 9 s/帧,满足实时虹膜识别系统的需求,是一种快速有效的虹膜图像质量评价算法。

关键词:虹膜图像;质量评价;高斯拉普拉斯算子;眼睑睫毛遮挡

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163112.1131

Study for iris image quality assessment

SHI Chun-lei^{1*}, ZHOU Feng-wen², HU Yu-lu³, SUN Hai-jiang⁴

(1. College of Physics, Changchun Normal University, Changchun 130032, China;

2. Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

3. College of Physics, Northeast Normal University, Changchun 130000, China;

4. Department of Image Processing Technology, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The quality of collecting iris image is vital to whether recognizing iris image is right in iris recognition system. A new algorithm is proposed for the defocused and occluded iris images. Firstly the high frequency power of the right and left part of the pupil is calculated by Laplacian of Gaussian operator to discard the defocused images. Secondly, the average gray value of the upper region of the pupil is computed to discard the occluded images by eyelid. Finally, the occluded degree by eyelash is measured through the gradient information of the upper region of the pupil. The experimental results show that, the average processing speed of the algorithm is 0.020 9 s per frame, which fully meets the requirement of real-time iris recognition system, and also shows this algorithm is fast and efficient for iris image quality evaluation.

Key words: iris image; quality evaluation; Laplacian of Gaussian; occlude of eyelids and eyelash

1 引言

生物特征识别技术主要包括指纹识别^[1]、人脸识别^[2-3]、虹膜识别^[4]等。据统计,虹膜识别的误识率在各种生物特征识别方式中是最低的^[5]。

虹膜识别系统包括虹膜图像采集、虹膜图像质量评价、虹膜边界定位、归一化以及特征提取和模式匹配。其中虹膜图像的质量好坏是影响识别效果的重要因素。

问题虹膜图像主要有 3 类:没对焦引起的散焦模糊,被鉴别者移动引起的运动模糊,被鉴别者眼睑和睫毛对虹膜区域的遮挡。剑桥大学的 Dugman^[6-7]利用 8×8 的卷积核算子计算整幅虹膜图像的傅立叶高频能量和来判断图像清晰度,其缺点是计算效率低,描述虹膜区域的离焦程度较弱;Nathan 等人^[8]将虹膜的下半部分作为感兴趣区域,直接计算下半部虹膜的 8×8 算子卷积能量来代表图像的离焦程度,缺点是容易受到定位算法的

制约;李星光等人^[9]通过频谱分析粗分类离焦虹膜图像,然后使用方向金字塔分解进行精分类来分离散焦模糊虹膜图像和清晰虹膜图像。

本文针对散焦模糊和眼睑睫毛遮挡问题提出了一种新的虹膜图像质量评价方法:判断图像是否散焦模糊采用了 LoG 算子提取瞳孔两侧局部虹膜的高频能量,判断虹膜是否有眼睑严重遮挡采用了计算瞳孔上方指定矩形区域的灰度均值,同时计算该区域的水平梯度来衡量虹膜受睫毛遮挡的程度。该方法的优点是只需要定位容易定位的瞳孔,并且只处理图像局部区域,计算量小,速度快。

2 瞳孔定位

因为环形虹膜的内外边界都近似为圆形,目前的虹膜定位算法都是用圆形来拟合。

分析虹膜图像的灰度分布,虹膜部分的像素灰度明显大于瞳孔小于巩膜,且瞳孔和虹膜的分界较明显,可以利用圆的几何原理定位瞳孔。具

体步骤如下:

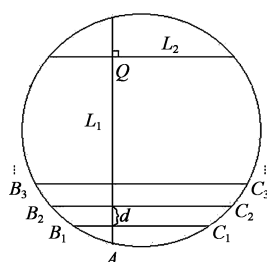
(1) 根据灰度直方图选定一个合理阈值二值化图像;

(2) 采用灰度投影原理对二值图像进行投影,累加和最大的点 Q 一定位于瞳孔内部。由先验知识的瞳孔半径值可以大致估计出瞳孔所在范围,瞳孔定位就在此局部图像上进行;

(3) 形态学运算对局部图像去噪,用 sobel 算子提取图像边缘点;

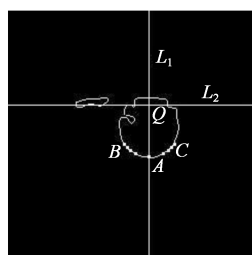
(4) 因为任意不在同一直线上的三点确定一个圆。过点 Q 任意作两条互相垂直的直线 $L_1 \perp L_2$, L_1 与圆交于点 A , 过点 A 沿直线 L_1 方向向上以等间隔 d 画 n 条平行线, 得到两组交点 B_i 和 C_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 由三点 (A, B_i, C_i) 计算圆心坐标 (x_i, y_i) 和半径 r_i , 取平均值得到瞳孔圆心坐标 $x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, 半径 $r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$ 。

(6) 计算虹膜图像的瞳孔圆心坐标。



(a) 几何原理

(a) Geometry principle



(b) 瞳孔定位

(b) Pupil location

图 1 瞳孔定位

Fig.1 Pupil localization

3 虹膜图像质量评价算法

取瞳孔两侧局部虹膜图像 R_1 、 R_2 和瞳孔上

方子图像 R_3 评价虹膜图像的质量。

3.1 LoG 算子提取 R_1 、 R_2 的高频能量

离焦成像系统具有低通滤波特性^[10], 对焦图像则含有丰富的纹理细节信息, 高频能量大, 所以我们通过计算虹膜图像的高频能量来判断图像的聚焦程度, 高频能量值越大则图像越清晰。为了避免所采集图像可能存在的眼睑睫毛遮挡对环形虹膜区域高频能量的干扰, 本文采用高斯拉普拉斯(LoG)算子提取瞳孔两侧局部虹膜图像的高频能量, 因为瞳孔两侧虹膜区域几乎不受眼睑或睫毛遮挡。

一个二维的中心过零点的 LoG 函数如下:

$$\text{LoG}(x, y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right] \exp[-(x^2 + y^2)/2\sigma^2], \quad (1)$$

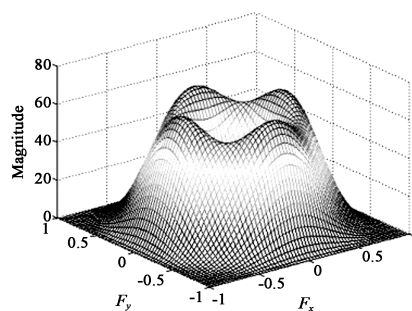
其中: 参数 σ 是高斯标准方差。

考虑到图像是离散的像素集合, 本文采用 5×5 的高斯拉普拉斯卷积核(如图 2), 该卷积核是一个带通滤波器, 中心频率为 0.5, 带宽为 0.3750。

-2	-4	-4	-4	-2
-4	0	8	0	-4
-4	8	24	8	-4
-4	0	8	0	-4
-2	-4	-4	-4	-2

(a) 高斯拉普拉斯算子

(a) Guass-Laplacian operator



(b) 傅里叶频谱图

(b) Fourier spectrum

图 2 LoG 卷积核及其频谱

Fig.2 LoG operator and frequency spectrum

将 LoG 算子分别与 R_1 、 R_2 卷积并按式(2)计算高频能量均值。

$$f(R_i) = \frac{1}{W \times H} \sum_x \sum_y |C_i(x, y)| \quad (i = 1, 2), \quad (2)$$

其中: $C(x, y)$ 是像素点 (x, y) 与 Log 算子的卷积结果, W 、 H 分别是 R_1 和 R_2 的宽度和高度。

那么虹膜图像的清晰度评价指标为:

$$f(I) = (f(R_1) + f(R_2)) / 2. \quad (3)$$

经过训练发现, 清晰图像的高频能量远大于散焦图像, 定义阈值 T 为训练集中所有清晰图像的能量最小值和所有散焦模糊图像的能量最大值的均值, 即:

$$T = \frac{\max(f(I_1)) + \min(f(I_2))}{2}, \quad (4)$$

其中: I_1 为散焦图像训练集, I_2 为清晰图像训练集。

3.2 判断眼睑严重遮挡

采集的虹膜图像可能存在两种遮挡: 眼睑严重遮挡和睫毛遮挡, 两者都会影响识别结果。为了保证特征提取的有效性我们认定严重眼睑遮挡是指眼睑遮挡了环形虹膜 1/3 以上的部分。

分析图像发现眼睑的灰度值远大于环形虹膜, 选定瞳孔上方的矩形区域 R_3 并计算它的灰度均值来判断图像是否存在严重眼睑遮挡问题。

3.3 判断睫毛遮挡程度

存在睫毛遮挡的虹膜图像, R_3 的水平高频能量变大, 采用梯度算子计算 R_3 的水平高频能量来衡量图像受睫毛遮挡的程度, 水平能量值越小, 受睫毛的遮挡越少。

设 R_3 的水平梯度为 G_x , 计算如下:

$$G_x(x, y) = I(x-1, y) - 2I(x, y) + I(x+1, y), \quad (5)$$

并取均值作为评价指标:

$$G = \frac{1}{W \times H} \sum_x \sum_y |G_x(x, y)|. \quad (6)$$

4 实验结果与分析

4.1 实验数据

实验用虹膜库是中科院自动化研究所提供的 CASIA 1.0 和 CASIA 2.0ver1。CASIA 1.0 共 756 幅虹膜图像, 采自 108 人, 每人 7 幅, 分辨率为 320×280 , 灰度级为 256。

4.2 判断图像是否散焦模糊

根据虹膜库环形虹膜的大小取 R_1 、 R_2 大小为 64×64 。

CASIA 1.0 虹膜库的图像清晰, 需要人为引入散焦模糊, 散焦函数的数学模型如下:

$$h(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2} & \sqrt{i^2 + j^2} \leq r \\ 0 & \text{其它} \end{cases}, \quad (7)$$

其中: r 是散焦斑半径。图 3 是散焦程度不同的虹膜图像及其高频能量, 足见图像越模糊, 高频能量越小。

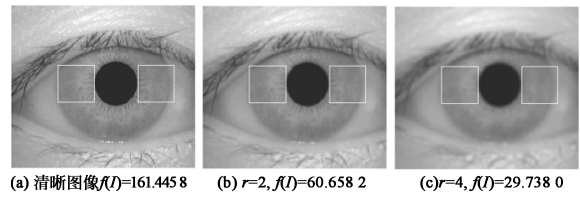


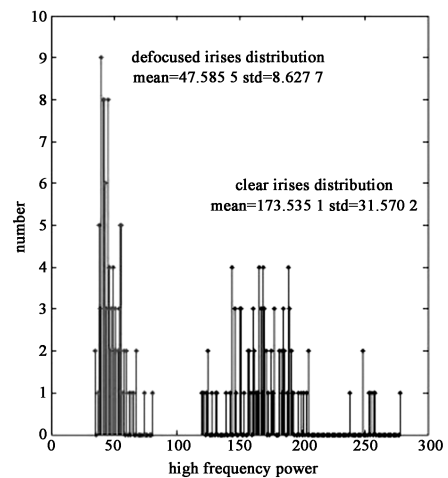
图 3 散焦程度不同的虹膜图像及其高频能量

Fig.3 Images and their high frequency energy under different defocusing levels

对 CASIA 1.0 虹膜库中的 350 幅图像进行 $r=3$ 的模糊处理, 并取 200 幅清晰图像和 200 幅模糊图像进行训练, 余下的图像测试用, 高频能量分布情况如图 4 所示。

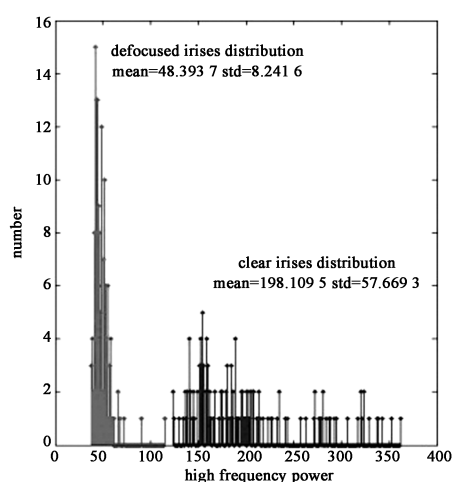
根据训练集的高频能量数据由公式(4)可得 $T = (81.3105 + 120.1179) / 2 = 100.7142$, 即能量值大于 100.7142 的图像是清晰图像, 小于 100.7142 的是模糊图像。

在训练集和测试集上采用本文提出的 5×5



(a) 训练集能量分布

(a) Training set energy distribution



(b)测试集能量分布

(b) Testing set energy distribution

图 4 瞳孔两侧局部虹膜的能量分布

Fig.4 Energy distribution of the iris area at two sides of pupil

的 LoG 卷积核提取瞳孔两侧局部虹膜图像的高频能量,并与 Daugman 的经典 8×8 卷积核提取整幅原始虹膜图像高频能量来判断图像清晰度的方法相比较,比较结果见表 1。可见,使用 LoG 算子提取瞳孔两侧虹膜局部区域高频能量进行清晰度判断取得了较好的效果。

表 1 不同算法下虹膜图像清晰度判断结果比较

Tab.1 Comparing results under different iris image clearing algorithms

	时间(s/100 帧)	FAR	FRR
本文	0.157 0	0.13%	0.98%
Daugman	1.639 4	1.07%	2.01%

4.3 判断眼睑严重遮挡

取 R3 大小为 32×64 。

在 CASIA 2.0 ver1 库中挑选出 26 幅严重眼睑遮挡图像和 23 幅少遮挡图像,计算 R3 的灰度

均值,如图 5,26 幅严重眼睑遮挡图像 R3 的灰度均值是 163~197,23 幅少遮挡图像 R3 的灰度均值是 49~93。

4.4 判断睫毛遮挡程度

图 6 是睫毛遮挡程度不同的虹膜图像 R3 水平高频能量的对比。

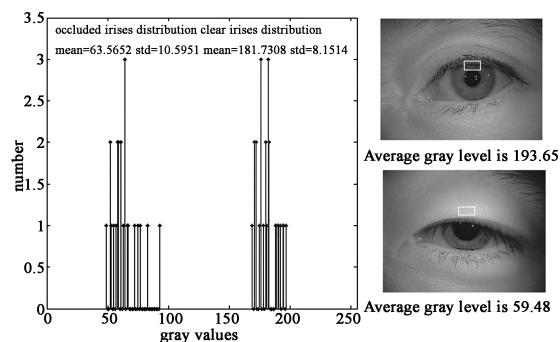


图 5 瞳孔上方矩形区域灰度均值分布及例图

Fig.5 Average grey distribution of the rectangular region above pupil and example

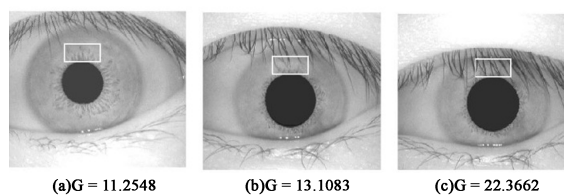


图 6 睫毛遮挡程度不同的矩形区域水平梯度

Fig.6 Horizontal gradient of the rectangular region under different occludings

5 结 论

本文采用几何方法定位瞳孔,采用分析环形虹膜局部区域的方式来判断图像是否存在散焦模糊和眼睑睫毛遮挡问题。算法简单易行,计算量小,速度快,平均处理时间 0.020 9 s/帧,即具备 33 帧/s 的处理能力,能够满足实时虹膜识别系统的需求。

参 考 文 献

- [1] 刘燕平,田金鹏,陈泳. 特征融合的射频指纹识别方法[J]. 上海大学学报:自然科学版, 2016, 22(12): 57-61.
LIU Y P, TIAN J P, CHEN Y. RF fingerprinting method of feature fusion [J]. *Journal of Shanghai University: natural science*, 2016, 22(12): 57-61. (in Chinese)
- [2] 盖健,刘晓华,李锐杰,等. 基于 LBP 的图像集人脸识别算法[J]. 东北师大学报:自然科学版, 2015, 47(4): 84-87.
GAI J, LIU X H, LI R J, et al. Face recognition method based on LBP images [J]. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition*, 2015, 47(4): 84-87. (in Chinese)

- [3] 康梦博, 秦贵和. 车载 MOST 摄像头和人脸识别接口的设计与实现[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2015, 47(4): 74-78.
KANG M B, QIN G H. Design and implementation of vehicle-mounted MOST camera and face recognition interface [J]. *Journal of Northeast Normal University : Natural Science Edition*, 2015, 47(4): 74-78. (in Chinese)
- [4] 陈文静, 金华. 基于人脸与虹膜的多生物特征融合识别算法研究[J]. 中国人民公安大学学报: 自然科学版, 2015, (1): 77-79.
CHEN W J, JIN H. Multiple biometric fusion method study based on face and iris [J]. *Journal of People's Public Security University of China : Science and Technology*, 2015, 1(1): 77-79. (in Chinese)
- [5] MANSFIELD T, KELLY G, CHANDLER D, et al.. Biometric Product Testing Final Report[R]. *National Physical Laboratory of UK*, 2001.
- [6] DAUGMAN J. How iris recognition works[C]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004: 21-30.
- [7] DAUGMAN J. Statistical richness of visual phase information: Update on recognizing persons by iris patterns[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2001, 45(1): 25-38.
- [8] NATHAN D K, ZUO J Y, NATALIA A S, et al. Estimating and fusing quality factors for iris biometric images [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 2010, 40(3): 509-524.
- [9] 李星光, 孙哲南, 谭铁牛. 由粗到精的虹膜图像离焦模糊评价方法[J]. 计算机科学与探索, 2014, 8(1): 81-89.
LI X G, SUN Z N, TAN T N. Coarse to fine defocus assessment of iris images [J]. *Journal of Frontiers of Computer Science and Technology*, 2014, 8(1): 81-89. (in Chinese)
- [10] 张强, 郭宝龙. 基于非采样 Contourlet 变换多传感器图像融合算法[J]. 自动化学报, 2008, 34(2): 135-141.
ZHANG Q, GUO B L. Fusion of multi-sensor images based on the nonsubsampling Contourlet transform [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2008, 34(2): 135-141. (in Chinese)

作者简介: 史春蕾(1983—), 女, 吉林长春人, 博士, 讲师, 2011 年于中科院长春光机所获得博士学位, 现为长春师范大学教师, 主要从事图像处理方面的研究。E-mail: scl-83218@163.com.