

文章编号 1004-924X(2016)01-0236-09

## K-F 环自动检测系统设计

苑玮琦<sup>1</sup>, 常 乐<sup>1,2\*</sup>

(1. 沈阳工业大学 视觉检测技术研究所, 辽宁 沈阳 110870;

2. 辽宁轨道交通职业学院, 辽宁 沈阳 110023)

**摘要:**考虑 Kayser-Fleischer(K-F)环自动检测系统可以用于威尔逊氏病(wilson's disease,WD)的辅助诊断,本文针对现有的威尔逊氏病检测方法均没有考虑光照及角膜老年环的影响,通过分析彩色图像中 Kayser-Fleischer(K-F)环的分布特征,设计了 K-F 环自动检测系统。该系统通过对图像进行预处理获得目标检测候选区域,通过梯度响应最优算法精确检测 K-F 环的边界信息。为了降低光照对算法有效性影响,建立了光照检测模型来提高检测系统的鲁棒性。最后,定义宽度特征算子排除正常图像的影响,定义颜色特征算子排除角膜老年环的影响。实验分析显示,在采集的 2 234 幅图像中,本文提出的 K-F 环自动检测系统的识别率能够达到 98.4%,而且系统不受角膜老年环的影响。

**关键词:**图像处理;K-F 环检测系统;威尔逊氏病;角膜老年环

**中图分类号:**TP391.4;R816.97 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20162401.0236

## Design of automatic K-F ring measuring system

YUAN Wei-qi<sup>1</sup>, CHANG Le<sup>1,2\*</sup>

(1. *Institute of Vision Detection Technology,*

*Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China;*

2. *Guidao Jiaotong Polytechnic Institute, Shenyang 110023, China)*

*\* Corresponding author, E-mail: changle1105@163.com*

**Abstract:** Automatic Kayser-Fleischer(K-F) ring measuring systems are able to help the diagnosis of the Wilson's disease. As traditional diagnosis methods for the Wilson's disease ignore the influence of illumination and the corneal arcus on the detection precision, this paper designs an automatic K-F ring measuring system according to the (K-F) ring distribution in a color image. With the system, the Region of Interest(ROI) of an iris image was extracted by pretreatment. Then, the boundary of K-F ring was detected by the integral optimization of gradient algorithm and boundary tracking algorithm. To reduce the influence of the illumination on the validity of the algorithm, an illumination detection model was established to improve the robustness of the measuring system. Finally, the width features and color features were defined to remove the effects by normal images and corneal arcus. 2 234 iris images collected from our database were analyzed and the analyzed results indicate that the classification accuracy of the proposed K-F ring measuring system reaches 98.4%. It still has good performance if the patient has the corneal arcus.

**Key words:** image processing; K-F ring measuring system; wilson's disease; corneal arcus

收稿日期:2015-08-18;修订日期:2015-10-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.61271365)

## 1 引言

角膜组织没有血管,维持其代谢的营养主要来自角膜缘丰富的血管网和眼内房水,如果供给角膜的营养物质和水分中混有较多的异常物质,就会在角膜处形成沉积<sup>[1]</sup>。肝豆状核变性又称威尔逊氏病(Wilson's disease, WD)<sup>[2-3]</sup>,它是一种遗传性铜代谢异常的疾病。主要由于铜在肝脏内的代谢障碍导致其在脑、眼及肾等部位的沉积而产生相应的临床表现。在眼部角膜沉积出现的 Kayser-Fleischer(K-F)环可以作为诊断 WD 的重要辅助手段,K-F 环主要呈蓝色、棕色、绿色或金黄色。当患有 WD 时,患者往往表现为行为异常、行动迟缓、沮丧焦虑等症状,如果不及时进行治疗会对患者生命造成威胁<sup>[4-6]</sup>。目前医院确诊 WD 的手段包括脑部核磁共振图像、血液及尿液分析等。由于可以通过采集装置以非侵入的方式获得 K-F 环,因此通过图像分析方法检测 K-F 环,这对及时发现或确诊 WD 具有重要指导意义。

由于角膜结构及营养代谢的特殊性也会导致其它物质的沉积。例如脂类物质的沉积会形成角膜老年环(Corneal Arcus)<sup>[7-9]</sup>。角膜老年环与 K-F 环在颜色上有所差异,但是在图像中的位置相同,这给利用图像分析的方式检测 K-F 环带来困难。从 2013 年开始,国内外学者开始展开基于图像处理的 K-F 环自动检测算法的研究。Rosario Morello 等人在彩色图像中 K-F 环颜色分析的基础上,利用 JSEG 算法实现了目标的自动检测,并在 2014 年设计了基于移动应用的 K-F 环检测系统<sup>[10-12]</sup>。2013 年我国学者通过分析 K-F 环的颜色信息,给出了 HSI 色彩空间中的检测方法<sup>[13]</sup>,该方法对光照影响较为敏感。然而由于现有方法在 K-F 环的检测过程中都没有考虑到角膜老年环的影响,从而在实际使用过程中具有较高的错误识别率。

本文为了去除老年环的影响,设计实现了基于图像分析的 K-F 环自动检测系统,该系统可在对 K-F 环分割的基础上实现目标的检测。

## 2 检测系统的构成及图像采集

本文设计实现的 K-F 环自动检测系统组成如图 1 所示。

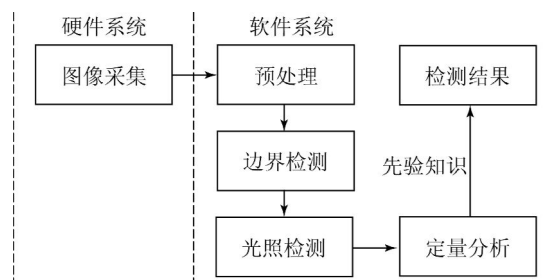


图 1 K-F 环自动检测系统组成

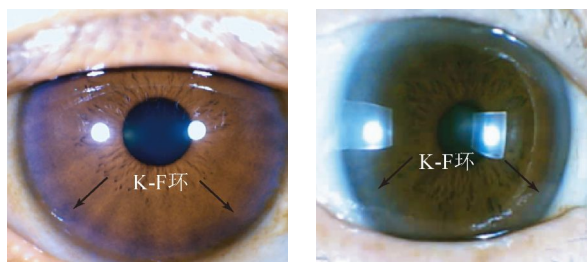
Fig. 1 Composition of K-F ring detection system

为了构建能够进行目标检测的图库,图像的采集主要在沈阳医学院奉天医院协助下共同完成。为了减少采集过程中对被采集者的干预,提高用户的可接受程度,所有图像都在人眼自然张开的状态下采集。由于 WD 患者具有不同程度的行为异常、行动迟缓、沮丧焦虑等症状。本文利用两套不同的设备先后采集了两个图库,采集到的图像相关信息如表 1 所示。从图库中可以看到具有角膜老年环的样本数远远多于具有 K-F 环的样本数,其主要原因是大多 WD 为先天疾病,大约每 40 000 个新生儿可能有 1 例<sup>[4-6]</sup>。由于本文样本是在医院特定的科室完成的,所以采集到具有 K-F 环的样本数远高于这个概率。图 2 显示了图库 II 的采集设备及图库中的部分图像。

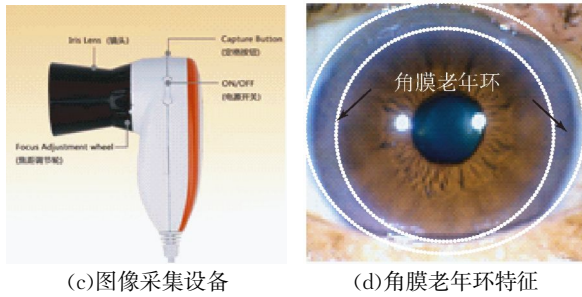
表 1 彩色虹膜图库信息

Tab. 1 Information of iris color image database

数据库	图库 I	图库 II
图片尺寸	600×800	600×800
图库规模	462	1 968
角膜老年环	52	352
K-F 环	6	34



(a) 图库 I 中的 K-F 环 (b) 图库 II 中的 K-F 环  
(a) K-F ring in database I (b) K-F ring in database II



(c) 图像采集设备 (d) 角膜老年环特征  
(c) Image acquisition equipment (d) Iris image with Corneal Arcus  
图 2 图像采集设备及所采集图像

Fig. 2 Image acquisition equipment and captured iris image

### 3 K-F 环检测算法

#### 3.1 图像的预处理

分析采集到的图像发现, K-F 环主要出现在虹膜外边界处, 为了准确地检测 K-F 环, 首先对图像进行预处理, 预处理过程主要包括虹膜的定位及区域分割。

近些年, 虹膜识别技术发展快速, 应用于虹膜识别领域的相关定位算法已经非常多, 例如, 基于 Hough 变换的圆检测算法、基于形态学的虹膜定位方法等等<sup>[14-15]</sup>。为了在采集的虹膜图像中分割出用于对 K-F 环进行边界检测的区域, 本文采用文献[16]描述的算法完成虹膜定位。假设通过算法确定的虹膜外圆的半径为  $R'$ , 虹膜区域内圆半径为  $R$ , 且定位后的圆心为  $O$ , 本文将对如图 3 矩形所包括的两个区域进行目标检测, 检测区域的高为  $2R$ , 宽为  $(R' - R)$ 。

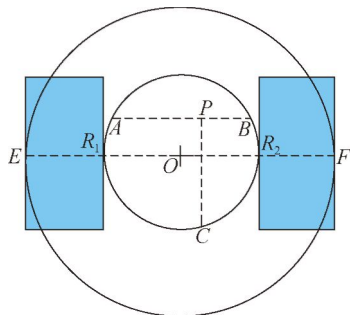


图 3 用于对 K-F 环进行检测的区域  
Fig. 3 Detection area of K-F ring

#### 3.2 基于梯度响应最优 K-F 环边界检测

##### 3.2.1 K-F 环边界梯度分析

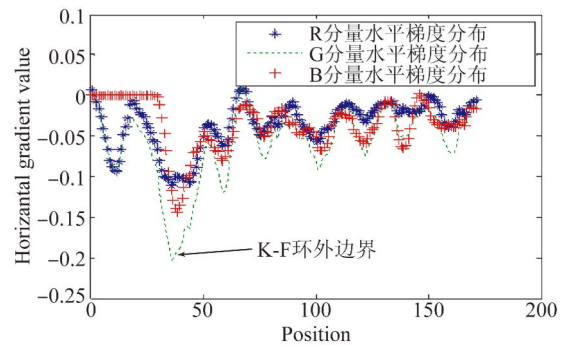
经过分析所采集的图像发现, K-F 环在整个

图像中位于虹膜的外边界并逐步向瞳孔区域延伸。K-F 环的外边界与虹膜的外边界近似重合, 由于受虹膜的影响, 内边界比较模糊, 因此, 内外边界的梯度信息在不同的色彩空间下存在差异。图 4 显示了内外边界水平梯度的分布特点。



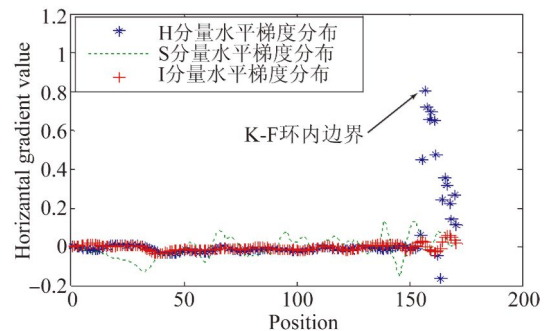
(a) 具有 K-F 环的部分图像

(a) Partial image with K-F ring



(b) 图(a) RGB 空间水平梯度分布特点

(b) Horizontal gradient distribution of fig. (a) in RGB space



(c) 图(a) HSI 空间水平梯度分布特点

(c) Horizontal gradient distribution of fig. (a) in HSI space

图 4 RGB 与 HSI 空间下 K-F 环梯度分布

Fig. 4 Distributions of K-F ring in RGB and HIS spaces

由图 4 (b) 可以明显看出, 在 RGB 空间中与其他区域相比, K-F 环外边界的梯度分布具有明显差异, G 分量在 K-F 环的外边界达到最小。由图 4(c) 可以看出, 在 HSI 色彩空间中 K-F 环内边界的梯度分布与其他区域相比, 具有明显差异, H 分量在 K-F 环的内边界位置达到最大。对于图

库中存在角膜老年环的图像以及其它 K-F 环的图像,环状特征的边界都呈现这种分布规律,只是不同图像的环状特征均在内外边界处,梯度最值(最大值或者最小值)所在的色彩通道存在差异。这种差异性会对图像中环状特征(K-F 环以及角膜老年环)的分割造成影响,为了消除这种影响,本文采用梯度响应最优的方法完成目标内外边界的检测。

### 3.2.2 梯度响应最优算法

由于彩色图像中包括了亮度信息、色彩信息以及饱和度信息,这些信息在目标的边界处都存在一定程度的差异,因此利用彩色图像对目标的边界进行检测比直接在灰度图像中进行检测难度更大。近些年来,很多学者都开始研究彩色图像的边缘检测方法,并取得了一定的成果。例如文献[17-18]提出的基于四元数以及如差分、矢量点乘等矢量彩色边缘检测方法。预处理后确定的目标检测区域中除了环状特征还包括一些复杂的虹膜纹理边缘信息,以及由光照影响而产生的其它噪声信息。这些因素将严重影响检测方法的有效性。本文在分析环状特征边界梯度分布规律的基础上,利用梯度响应最优的算法实现目标边界检测。该算法主要包括梯度响应最优映射、虹膜纹理边缘抑制以及边界跟踪 3 个步骤。

#### (1) 梯度响应最优映射

定义投影向量  $\boldsymbol{\mu} = n_1 i + n_2 j + n_3 k$  为一个单位向量,即  $|\boldsymbol{\mu}| = 1$ 。通过上节分析可知,在 HSI 空间下可以利用梯度响应的最值点提取 K-F 环的内边界。对于彩色图像  $F(x, y)$ ,图像中任何像素都可以在 HSI 空间下表示为向量  $(H(x, y), S(x, y), I(x, y))$ 。 $F(x, y)$  在向量  $\boldsymbol{\mu}$  下的投影为函数  $W(x, y)$ ,其定义如下:

$$W(x, y) = \boldsymbol{\mu} \cdot F(x, y) = n_1 H(x, y) + n_2 S(x, y) + n_3 I(x, y). \quad (1)$$

当投影向量  $\boldsymbol{\mu}$  取不同值时,投影函数  $W(x, y)$  的边缘响应明显不同。在预处理算法确定的区域中,边界主要表现为垂直分布,为了选择最佳的投影向量  $\boldsymbol{\mu}$ ,定义如公式(2)所示的梯度响应最优函数  $M(x, y)$ :

$$M(x, y) = \iint_S |\text{grad}(W(x, y))|^2 dx dy = \iint_S \left[ \frac{\partial (n_1 H(x, y) + n_2 S(x, y) + n_3 I(x, y))}{\partial x} \right]^2 dx dy. \quad (2)$$

边界处梯度最值在颜色空间中不同通道有随机性,为了避免这一情况,需要计算函数  $M(x, y)$  最大值时所对应的向量  $\boldsymbol{\mu}$ ,由于函数  $M(x, y)$  为二次型,向量  $\boldsymbol{\mu}$  的计算可以通过计算系数矩阵  $\mathbf{A}$  最大特征值所对应的特征向量的方法近似得到。

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$a_{11} = \iint \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 ds, a_{12} = a_{21} = 2 \iint \left( \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial S}{\partial x} \right) ds, \quad (4)$$

$$a_{22} = \iint \left( \frac{\partial S}{\partial x} \right)^2 ds, a_{13} = a_{31} = 2 \iint \left( \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial x} \right) ds, \quad (5)$$

$$a_{33} = \iint \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 ds, a_{32} = a_{23} = 2 \iint \left( \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial S}{\partial x} \right) ds. \quad (6)$$

在确定投影向量  $\boldsymbol{\mu}$  后,通过分析  $W(x, y)$  的最值点分布,检测 K-F 环的内边界。按照该方法同样可以在 RGB 色彩空间中完成 K-F 环外边界的检测。

#### (2) 虹膜纹理边缘抑制

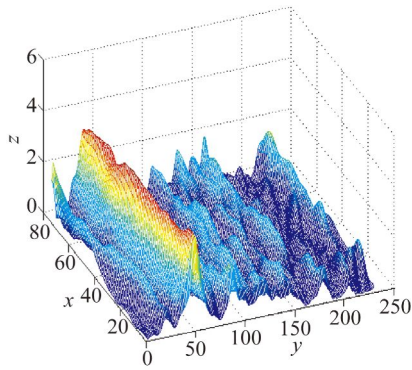
在梯度响应最优映射的过程中,虹膜自身纹理的梯度分布会导致  $W(x, y)$  图像中除了角膜老年环边界处的最值点外还包括一些纹理局部极值点,如图 4(b), 4(c) 所示。当这些局部极值点与最值点距离相近时会对边界的检测产生影响。通过对  $W(x, y)$  进行二维高斯平滑滤波操作,可以有效解决该问题。

$$w'(x, y) = W(x, y) * G(x, y), \quad (7)$$

其中:

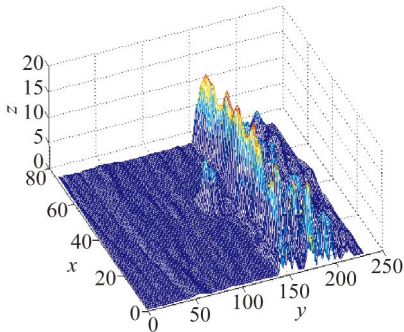
$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left\{ -\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right\}. \quad (8)$$

图 5 显示了二维高斯平滑滤波后角膜老年环内外边界梯度响应的分布特点。



(a) 内边界滤波图像

(a) Filtered results of inner edge



(b) 外边界滤波图像

(b) Filtered results of outer edge

图 5 K-F 环滤波结果

Fig. 5 Filtered results of K-F ring boundaries

通过图 5 可以发现, K-F 环的内外边界在图像中都取得了最大值, 而且纹理边缘的细节被平滑处理。

### (3) 边界跟踪

根据在不同色彩空间下由梯度响应最优算法处理过的 K-F 环的内外边界都具有最大值的分布特点, 可确定环状特征的每个边界点, 本文采用单方向邻域跟踪算法实现上述过程。算法跟踪的起始点及跟踪模板选择如图 6 所示。

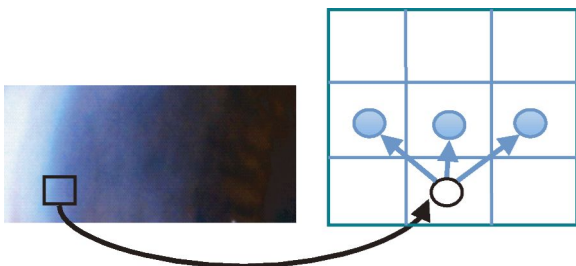


图 6 跟踪模板及起点位置

Fig. 6 Tracking template and starting point

边界跟踪的详细步骤为: 首先选择  $w'(x, y)$  分布中如图 6 所示的起始点; 其次, 在与当前像素相邻的其他 3 个候选像素中, 计算梯度最大值点, 并将该点作为下一个确定的边界点; 反复重复上述步骤, 直到处理完  $w'(x, y)$  的每一行像素结束。图 7 显示了 K-F 环边界跟踪的结果。



图 7 跟踪后 K-F 环内外边界信息

Fig. 7 K-F ring boundaries tracked by proposed method

### 3.3 光照对检测算法的影响分析

为了提高 K-F 环检测系统的用户接受程度, 本文所有图像均非接触条件下采集, 但由于图像镜头与眼睛之间的角度差异, 会导致小部分图像会受光照影响。图 8(彩图见期刊电子版) 显示了光照影响所导致采集图像中出现的各种噪声点。在具有 K-F 环或者角膜老年环时, 这种由光照产生的噪声点的  $w'(x, y)$  分布会出现一些局部极值点, 但这些局部极值点在  $G(x, y)$  的作用下被显著平滑, 因此这种情况下对 K-F 环的边界检测不产生影响。对于不具有 K-F 环或者角膜老年环的图像, 当图像中存在光照影响时, 虽然噪声  $w'(x, y)$  的分布仍然可能被  $G(x, y)$  平滑, 但是平滑后  $w'(x, y)$  的极值点在水平方向上仍然以最大值点的形式存在。此时本文边界跟踪算法, 确定的起点位置将会发生错误, 最终导致算法对正常图像进行分割时, 出现环状区域。图 9 显示了在检测区域中光照影响产生的噪声  $w'(x, y)$  的分布情况。

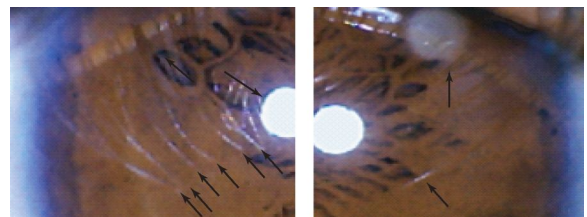


图 8 光照影响产生的噪声点

Fig. 8 Noise points produced by illumination

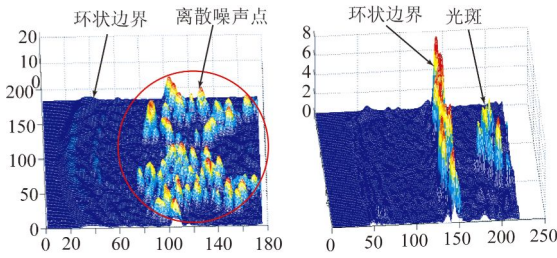


图 9 光照影响(左)及正常情况(右)  $w'(x, y)$  的分布  
Fig. 9 Distributions of  $w'(x, y)$  by effect of illumination (left) and normal image (right)

从图 9(彩图见期刊电子版)中可以看出,噪声影响区域(图中圆圈标注的部分),其分散极值点的  $w'(x, y)$  值在水平方向上明显大于环状特征边界点,从而影响边界跟踪算法的有效性。不受光照影响的图像的  $w'(x, y)$  在环状特征边界位置的分布表现为:对于正常的图像,  $w'(x, y)$  每行像素最值点在水平方向上的投影比较集中,而受到光照影响的图像,  $w'(x, y)$  每行像素最值点在水平方向上的投影比较分散。利用该特点,为了提高 K-F 环检测系统的检测准确性,本文定义了光照检测模型。该模型的主要功能是判断给定的彩色图像是否受到光照影响。模型的具体步骤为:

Step. 1: 由公式(8)计算检测区域中  $w'(x, y)$  的极值点分布函数  $e_r(x, y)$ ;

$$e_r(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (w'(x, y) = \max(w'(x, y) (x=1, \dots, \text{width}))) \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (8)$$

Step. 2: 根据公式(9)将  $e_r(x, y)$  在水平方向上进行投影,计算投影函数的分布  $pre(x)$ ;

$$pre(x) = \sum_{y=1}^{\text{Height}} (e_r(x, y)). \quad (9)$$

Step. 3: 根据公式(10)计算最终的量化判别指标  $W$ ,并将该指标与给定的阈值进行比较,并给出最终结果

$$W = \sum_{x=1}^{\text{width}} \delta(x), \quad (10)$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } (pre(x) > 1) \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (11)$$

由式(10)可知,最终的量化判断指标为整数,因此最终的阈值选择也为整数,  $W$  的取值越大,表示图像  $w'(x, y)$  每行像素最值点的分布相对越

离散。最终的阈值需要由实验给出。

### 3.4 量化指标及算法评价指标

为了对采集的图像进行 K-F 环进行检测,本文要判断采集的图像中是否具有环状特征(K-F 环或者角膜老年环),为此,本文定义了宽度特征算子;为了进一步从具有环状特征的图像中去除角膜老年环的影响,本文又定义了颜色特征算子。

#### 3.4.1 宽度特征算子

假设通过本文算法确定的环状特征的外边界为  $E_{\text{out}}(x, y)$ ,内边界为  $E_{\text{in}}(x, y)$ ,单个边界点的个数为  $n$ ,则本文定义的宽度特征算子如下式所示:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{x=1}^n (|E_{\text{out}}(x, y) - E_{\text{in}}(x, y)|)}{n}. \quad (12)$$

#### 3.4.2 颜色特征算子

由于具有环状特征的彩色图像即可以是角膜老年环,也可以是 K-F 环。为了能够排除角膜老年环的干扰,本文利用两种环状特征在色彩表现上的差异,定义了颜色特征算子  $J$ ,如下所示。

$$J = \frac{2\sqrt{3}}{3} \times \sqrt{p \times (p-D) \times (p-l') \times (p-\sqrt{3})}, \quad (13)$$

其中:

$$l = \sqrt{M_r^2 + M_g^2 + M_b^2}, \quad (14)$$

$$l' = \sqrt{(M_r-1)^2 + (M_g-1)^2 + (M_b-1)^2}, \quad (15)$$

$$p = \frac{1}{2}(l + l' + \sqrt{3}). \quad (16)$$

式中:  $S'$  表示分割的环状区域,  $n$  表示边界包含的像素个数,  $\bar{M}_r$ 、 $\bar{M}_g$ 、 $\bar{M}_b$  表示分割后环状区域  $S'$  在 RGB 色彩空间中,不同色彩通道像素的平均值。

#### 3.4.3 算法评价指标

本文利用错误识别率 FAR,错误拒绝率 FRR,平均错误率  $E$  以及检测准确率  $P$  4 个评价指标评价本文提出的 K-F 环检测系统的有效性。

不同评价指标的量化计算方法为:

FAR = 错误识别的样本个数 / 总样本个数;

FRR = 错误拒绝的样本个数 / 总样本个数;

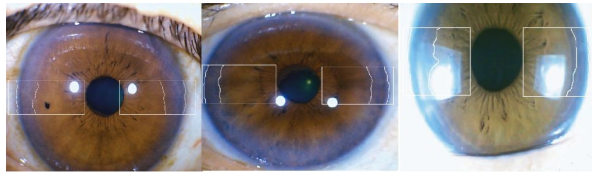
$E = (\text{错误识别样本个数} + \text{错误拒绝样本个数}) / \text{总样本个数}$ ;

$P = 1 - E$ 。

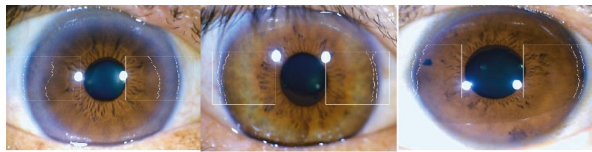
## 4 实验与结果分析

### 4.1 环状特征边缘检测算法实验

为了在所采集的彩色图库中对本文所提出的 K-F 环边缘检测算法进行了实验分析。对具有 K-F 环与角膜老年环特征图像的部分边界检测结果如图 10 所示。实验结果显示:在具有 2 234 幅图像的图库中,本文的环状特征检测算法的最终正确检测率为 98.6%。影响检测准确率的主要原因有:定位失败、眼睑的严重遮挡以及光斑的干扰。



(a)不同图库中具有 K-F 环图像的检测结果  
(a)Detection results of iris image with K-F ring



(b)角膜老年环及正常虹膜的检测结果  
(b)Detection results of normal iris image with/without Corneal Arcus

图 10 梯度响应最优算法检测边界结果

Fig. 10 Boundaries detection results of proposed method

### 4.2 光照对检测实验的影响分析

为了保证本文光照检测模型的检测准确性,并确定判别阈值  $\theta$ ,本文设计了两个实验,第一个实验主要用于分析本文检测模型是否能够区分受光照影响的图像与正常图像;第二个实验主要用于确定阈值  $\theta$ 。第一个实验选择 4 组图像,每组包括 1 张正常图像  $\alpha_i$ ,1 张具有 K-F 环的图像  $\beta_i$ ,该实验分析结果如图 11 所示。第二个实验选择图库中受光照影响的 40 张图像进行分析,实验结果如图 12 所示。

由图 11 的分析可知,正常的图像与具有 K-F 环的图像的  $W$  值存在明显差异,而同类图像的  $W$  值分布较为相近。因此, $W$  值可以作为一个有效的判别指标用于分析光照的影响。由图 12 可知,当判别阈值  $\theta$  在 6~11 之间时,能够达到最佳的检测性能,此时的检测正确率为 97.5%。

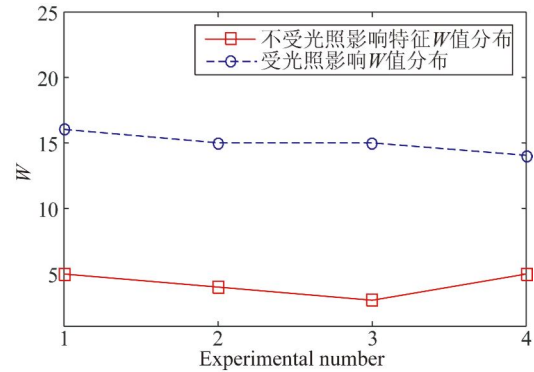


图 11 模型有效性验证试验

Fig. 11 Validity verification experiment

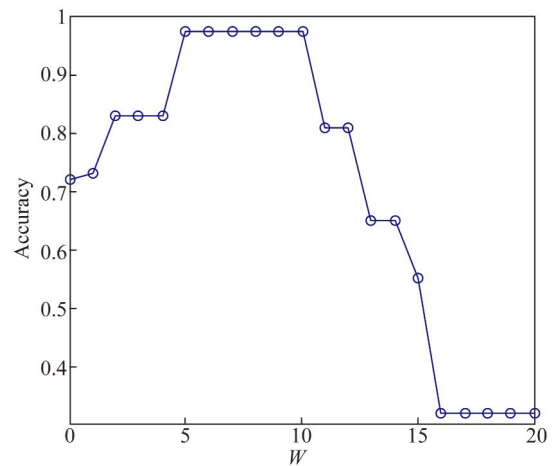


图 12 检测阈值选择实验

Fig. 12 Experiment of threshold selection

### 4.3 有效性验证实验

为了进一步验证本文所定义的量化指标  $\bar{W}$  及  $J$  的有效性,利用宽度特征  $\bar{W}$  检测图像中是否具有环状特征,其距离分布曲线如图 13 所示;利用  $J$  区别 K-F 环与角膜老年环,所得的距离曲线如图 14 所示。

从图 13 中可以明显看出,正常虹膜的曲线与具有环状特征的曲线能够明显分开,即通过本文方法所提取的宽度特征能够作为度量环状特征  $\bar{W}$  是否存在的标准。

从图 14 中可以看出,利用颜色特征  $J$  能够有效区分 K-F 环以及角膜老年环。将图 13 与图 14 曲线之间的交点对应的检测值作为分类阈值,即  $\bar{W}=0.33, J=0.156$ ,本文方法与目前主流方法之间的对比结果如表 2 所示。

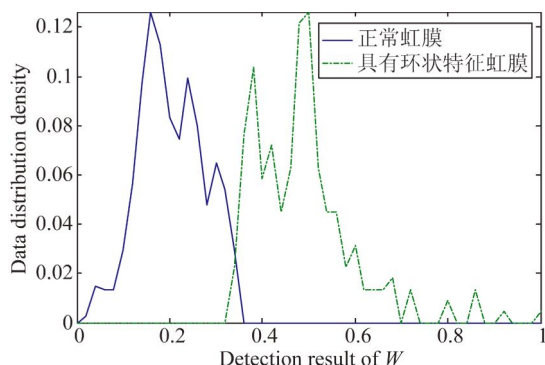


图 13 通过  $\bar{W}$  对图像进行检测所得距离分布曲线

Fig. 13 Distance distribution curve by using  $\bar{W}$  to detect image

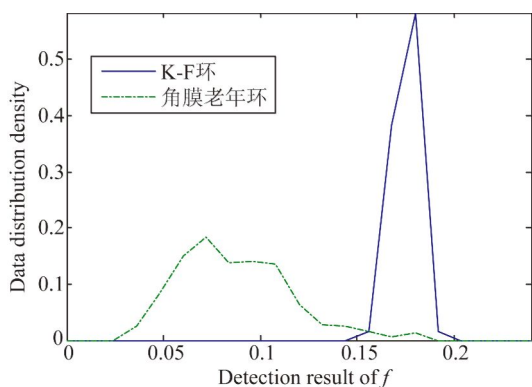


图 14 通过  $J$  对图像进行检测所得距离分布曲线

Fig. 14 Distance distribution curve by using  $J$  to detect image

表 2 不同算法对比分析实验

Tab. 2 Comparison of different algorithms

检测算法	图库规模	K-F 环	角膜老年环	误识	误拒	识别率 /%	耗时 /ms
本文方法	2 234	40	353	36	0	98.4	298
文献[13]	2 234	40	353	188	2	91.5	107
文献[11]	2 234	40	353	164	0	92.7	455

通过表 2 可以看出,本文方法的 K-F 环的识别率能够达到 98.4%,此时对应的 FAR 为 1.6%,FRR 为零。上述实验验证了在保证较高识别率的基础上相比其他算法,本文算法具有较低的误识率。导致其他方法检测 K-F 发生错误的主要原因包括两个方面:一方面,本文采集的图像都是在非接触而且被采集者眼睛自然睁开的状态下完成的,这种情况下采集的图像受到的干扰因素比较多。另一方面,其他方法在对 K-F 环进行检测的过程中没有去除角膜老年环的干扰。

本文设计的 K-F 环检测系统如图 15 所示,图中圆圈内标注的内容是通过系统进行角膜老年环量化检测的结果及给定的正常参考范围。

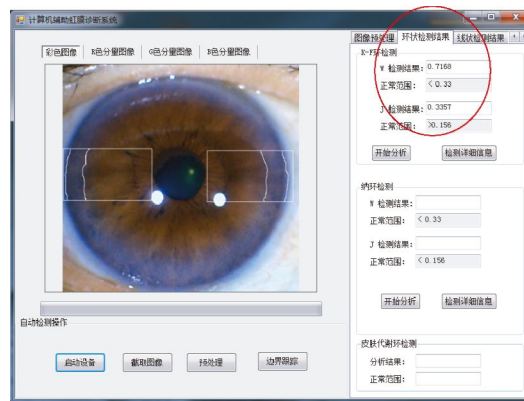


图 15 K-F 环自动检测系统界面

Fig. 15 Interface of K-F ring detection system

用户在使用 K-F 环检测系统时,首先需要启动设备,并通过系统提供的相关功能截取图像,接着,利用本文算法给出最终的检测结果。若采集到的图像受光照的影响,为了保证检测的准确性,系统会提示用户重新采集图像。系统中所用到的量化参考范围主要由实验分析给出,并由相关医务工作者在使用中不断完善。

## 5 结 论

针对现有方法在虹膜 K-F 检测过程中没有考虑光照及角膜老年环的影响,本文设计了 K-F 环检测系统,并通过引入光照检测模型提高了检测系统的鲁棒性,当图像中具有角膜老年环时,系统仍具有较高的检测准确率。通过实验分析发现,在采集的 2 234 幅图像中该方法的识别率能够达到 98.4%。

本文设计的 K-F 环自动检测系统可以作为威尔逊氏病的辅助诊断方法,其对该病的筛查以及确诊具有重要意义。但是本文设计的 K-F 环自动检测系统也存在一定的不足:首先,由于该病发病率较低,采集的图库中 K-F 环图像规模不足;另一方面,当图像发生定位错误、眼睑遮挡严重时,将无法有效检测 K-F 环。这些问题将是作者今后研究的主要内容。

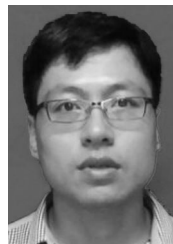
## 参考文献:

- [1] 李凤鸣. 眼科全书[M]. 人民卫生出版社, 2007: 3417.  
LI F M. *Department of Ophthalmology* [M]. People's Medical Publishing House, 2007: 3417. (in Chinese)
- [2] GUSTAVO G, FRAUENS B J. Corneal copper deposition secondary to oral contraceptives [J]. *Optometry and Vision Science*, 2008, 9(85): 802-807.
- [3] LIM MM, MD, ELISABETH J C, *et al.*. Kayser-Fleischer ring as the presenting sign of Wilson disease [J]. *American Journal of Ophthalmology*, 2002, 133(6): 832-836.
- [4] SRINIVAS K, SINHA S, TALY A B, *et al.*. Dominant psychiatric manifestations in Wilson's disease: A diagnostic and therapeutic challenge [J]. *Journal of The Neurological Sciences*, 2008, 26(1-2): 104-108, 200.
- [5] BENHAMLA T, TIROUCHE Y D, ABAOUB-GERMAIN A, *et al.*. The onset of psychiatric disorders and Wilson's disease [J]. *Encephale Revue de Psychia Trie Clinique Biologique et therapeutique*, 2007, 33(6): 924-932.
- [6] CHAKOR R T, SANTHOSH N S. Severe neuropsychiatric presentation of Wilson's disease [J]. *Indian J. Psychiatry*, 2011, 53(2): 170-171.
- [7] ANG M, WONG WL, PARK J, *et al.*. Corneal arcus is a sign of cardiovascular disease, even in low-risk persons [J]. *American Journal of Ophthalmology*, nov, 2011, 152(5): 864-871.
- [8] ELLER A W, GOROVYO I R, MAYERCIK V A, *et al.*. Yellow corneal ring associated with vitamin supplementation for age-related macular degeneration [J]. *Ophthalmology*, may, 2012, 119(5), 1011-1016.
- [9] 张林. 老年环与脑动脉硬化[J]. *医药与保健*, 2005, 13(5): 37.  
ZHANG L. The corneal arcus and cerebral arteriosclerosis [J]. *Medicine and health care*, 2005, 13(5): 37. (in Chinese)
- [10] ROSARIO M, de CÁPUA C, FABBIANO L, *et al.*. Image-based detection of kayser-fleischer ring in patient with wilson disease [J]. 2013 *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings*, 2013: 101-106.
- [11] MORELLOR, de CAPUAC, FABBIANO L, *et al.*. Ocular biometric measurements to diagnose neurological disorders due to wilson disease [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2013, 13(9): 3203-3210.
- [12] de CAPUA C, FABBIANO L, LIPARI G, *et al.*. A web service-based mobile application for detecting Kayser-Fleischer ring in eye corneal [J]. *Instrumentation Science and Technology*, 2014, 42(1): 95-108.
- [13] WEI Q Y, CHANG L, *et al.*. Venous congestion detection method based on HSI color space [C]. *China Conference on Biometric Recognition*, 2013, 88-89.
- [14] 吴建华, 邹德旋, 李静辉. 基于小范围搜索的虹膜定位方法 [J]. *仪器仪表学报*, 2008, 29(8): 1704-1706.  
WU J H, ZOU D X, LI J H. Iris location algorithm based on small-scale searching [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2008, 29(8): 1704-1706. (in Chinese)
- [15] 胡正平, 王成儒, 于莉娜. 基于改进随机 Hough 变换的虹膜定位算法 [J]. *仪器仪表学报*, 2003, 24(5): 477-479.  
HU ZH P, WANG CH R, YU L N. Iris location using improved randomized Hough transform [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2003, 24(5): 477-479. (in Chinese)
- [16] 苑玮琦, 林忠华, 徐露. 一种基于人眼结构特征的新颖虹膜定位算法 [J]. *光电工程*, 2007, 34(1): 112-116.  
YUAN W Q, LIN ZH H, XU L. Novel iris location algorithm based on the structure of human eyes [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, 34(1): 112-116. (in Chinese)
- [17] 朗方年, 周激流, 闫斌, 等. 四元数与彩色图像边缘检测 [J]. *计算机科学*, 2007, 34(11): 212-216.  
LANG F N, ZHOU J L, YAN B, *et al.*. Quaternion and color image edge detection [J]. *Computer Science*, 2007, 34(11): 212-216. (in Chinese)
- [18] 邢燕. 四元数及其在图形图像处理中的应用研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.  
XING Y. *Research on Quaternion and Its Applications in Graphics and Image Processing* [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2009. (in Chinese)

## 作者简介:



苑玮琦 (1960—), 教授, 博士生导师, 1982 年于湖南大学获得学士学位, 1988 年、1997 年于东北大学分别获得硕士、博士学位, 主要研究方向为机器视觉检测和生物特征识别。E-mail: yuan60@126.com



常乐 (1985—), 博士研究生, 2007 年、2010 年于沈阳工业大学分别获得学士、硕士学位, 主要研究方向为机器视觉检测和图像识别。E-mail: changle1105@163.com

(本栏目编辑: 李自乐)