

# 虹膜钠环检测算法<sup>①</sup>

苑玮琦<sup>1</sup>, 张 巍<sup>1</sup>, 常 乐<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(沈阳工业大学 视觉检测技术研究所, 沈阳 110870)

<sup>2</sup>(辽宁轨道交通职业学院, 沈阳 110870)

**摘 要:** 钠环是计算机辅助虹膜诊断中十分重要的特征之一, 它与身体中胆固醇含量的高低有密切的联系. 给出了一种基于 HSI 空间的虹膜钠环检测算法, 首先将虹膜与巩膜、睫毛及眼睑进行分割, 以减少其对钠环检测造成的遮挡影响; 其次将环型虹膜图像做矩形展开处理, 以减小钠环的检测范围; 最后在 HSI 空间下, 对矩形虹膜图像的色调、饱和度进行分析, 通过将 H、S 分量进行数据融合完成对钠环的自动检测, 实验证明了该算法能够实现准确检测。

**关键词:** 虹膜诊断; 钠环检测; HSI 空间; 色调; 饱和度

## Iris Sodium Loop Detection Algorithm

YUAN Wei-Qi<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, CHANG Le<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

<sup>2</sup>(Liaoning Guidaojiaotong Polytechnic Institute, Shenyang 110870, China)

**Abstract:** Sodium loop is one of the most important characteristics in computer-aided diagnosis of iris. It is related to the discretion of the cholesterol content in the body closely. This paper presents a algorithm of iris sodium loop detection under the space of HSI, Firstly, Segmenting the iris with sclera, eyelash and eyelid to complete feature selection, in order to reduce the shade of effects on the detection of sodium. Secondly, do the rectangular expansion process on iris image, to reduce the sodium loop detection range. Finally, under the HSI space, analyzing rectangular iris image's hue and saturation. Through the data fusion of H, S component to complete the sodium loop detection automatically, Experimental results show that the algorithm can achieve accurate detection of sodium loop.

**Key words:** iridology; sodium detection; HSI color space; hue; saturation

眼睛不仅是心灵之窗, 不同时期内眼睛的变化还能够帮助人们了解自身身体的健康状况. 虹膜学主要通过研究眼睛的颜色、色斑、结构等变化现象来观察、预测分析人体体质及全身各部分的健康状况<sup>[1]</sup>. 其中钠环又称胆固醇环(Sodium Loop), 是指在虹膜的动静脉区出现像白云状的环图 1(a)所示, 当人体内脂类物质代谢异常会造成血液中胆固醇、磷脂、甘油等脂质含量过高时, 血循环中的异常物质就会形成异常沉积, 现象是虹膜外边缘处形成白色、半透明或不透明的环状改变. 这种改变容易引起动脉硬化症、高血压、脑血管硬化症等, 相关资料表明, 虹膜中出现“钠环”

表征着动脉硬化的出现<sup>[2]</sup>; 经常观察虹膜中的钠环变化, 可提示我们及早对动脉弹性产生的疾病做好早期预防和治疗<sup>[3]</sup>.

虽然计算机辅助虹膜诊断的研究已经相当深入, 但是有关钠环检测方面的研究却相对较少. 目前检索到的一篇文章, 是由马来西亚技术大学 R.A.Ramlee, 在 2009 年提出的基于虹膜识别检测血管中胆固醇含量的算法<sup>[4]</sup>, 该篇文章利用虹膜学原理, 给出了通过检测虹膜上是否存在钠环来判断被检测者的胆固醇是否过高的方法. 文中利用计算机视觉技术进行辅助诊断, 首先通过图像采集设备获取虹膜图像; 然后对虹

① 基金项目:国家自然科学基金(61271365)

收稿时间:2013-12-25;收到修改稿时间:2014-03-03

膜进行定位、归一化以及 ROI 区域的划分, 提取了归一化图像外边缘的 30%, 这部分是钠环可能存在的区域; 最后通过对直方图的分析, 利用 OTSU 阈值检测钠环是否存在, 若存在, 则说明该检测者的胆固醇有偏高的可能性. 该文章的特点是基于灰度图像上利用阈值法对钠环进行检测.

本文利用 OTSU 阈值法对实验室所采集的图库进行了测试, 实验的正确率只有 77%, 通过分析发现在灰度图像中, 钠环的边界与巩膜较为模糊, 而且光斑对钠环的检测影响较大如图 1(a)所示, 所以仅仅在灰度图像中对钠环进行检测会造成检测的失误. 实验室所采集的虹膜图像上钠环与虹膜其他部分的灰度值差异性较小, 而钠环的色度与其他部分的色度差异性较大, 针对上述情况本文给出了一种基于 HSI 空间的虹膜钠环检测算法, 实现了虹膜钠环的自动检测. 克服了钠环灰度差异性小给检测准确率带来的问题, 克服了以往人工检测钠环带来了主观性强, 难以准确标定等问题, 具有较高的实用价值. 目前没有检索到近几年应用彩色空间进行钠环检测的相关文献.

## 1 虹膜图像获取及预处理

### 1.1 图像的获取

目前市场上用于虹膜诊断的图像采集设备种类繁多, 大多数设备能够达到采集清晰虹膜图像的标准, 但是光源强度比较大, 给被采集者带来不同程度的不适. 为方便获取大量虹膜图像, 本文采用遮挡的方式对设备的光源进行了处理, 并且通过与沈阳医学院奉天医院合作先期采集了包括 442 个个体共计 884 张虹膜图像, 每张图像尺寸为 600\*800 像素, 所采集的图库中包含不同程度钠环特征的虹膜图像 41 副.

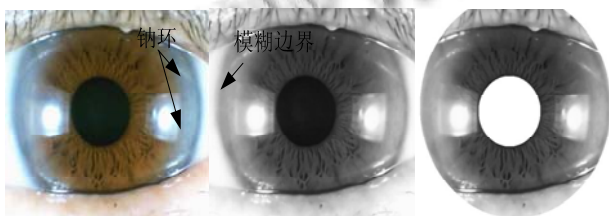


图 1 (a)虹膜钠环原图及灰度图像 (b)虹膜定位结果

### 1.2 人眼图像提取虹膜区域

虹膜定位的方法有很多, 大概分为这三类, 第一类是基于 Daugman 的虹膜定位算法<sup>[5]</sup>; 第二类是基于

Hough 变换的虹膜定位算法<sup>[6]</sup>; 第三类是基于边缘检测的虹膜定位算法<sup>[7]</sup>. 前两类算法都是通过搜索参数实现虹膜定位, 对图片的清晰度要求较高, 且对于大分辨率的图像定位速度过慢, 利用第三类算法只需要定位虹膜上不共线的三点, 避免了定位虹膜速度过慢的问题, 因此本文采用基于边缘检测的方法实现虹膜定位, 又由于虹膜的外边界是一条具有一定宽度的模糊边界如图 1(a)中所示, 这样对虹膜的边界定位造成困难, 实验发现 RGB 图像中的 R 分量在虹膜边界处的灰度级差异性最大, 所以本实验采用 R 分量完成虹膜的外边界定位. 首先利用灰度投影法找到瞳孔内一点, 以该点为起始点沿水平和垂直方向上找到瞳孔边界上不共线三点, 利用这三点确定虹膜中心 O; 其次以三点为起始点沿平向和垂直方向向虹膜外边界方向收索, 寻找到虹膜外边界上不共线的三点, 利用三点到中心 O 的平均距离作为虹膜的半径. 虹膜定位结果如图 1 中(b)所示.

### 1.3 虹膜图像展开成矩形

由于钠环主要存在距虹膜外边界三分之一位置处, 在矩形展开后的虹膜图像中, 钠环存在于矩形虹膜底部如图 3 所示, 为方便检测, 本文将近似圆形虹膜图像做矩形展开处理, 减小了检测范围, 避免更多的时间开销.

本实验根据直角坐标与极坐标间的对应关系将圆形虹膜图像归一化展开成大小为 150\*512 的矩形区域. 下面给出具体展开方式: 根据示意图图 2 所示, 首先以虹膜中心 O 为圆心, 找到虹膜外环零点方向 B 点; 然后以 B 点为起始点沿着顺时针方向将虹膜图像展开成 150\*512 的矩形区域. 其中在虹膜零点位置开始展开的原因是这样可以使展开后的钠环集中在矩形图像中间部位, 便于后续检测工作. 近似圆形虹膜图像中第 AB 列对于矩形虹膜中的第一列像素点, 虹膜图像中的最外层像素点对应矩形虹膜区域中的最后一行像素点. 将 HSI 模型中三个分量按照上述方法展开, 以 I 分量为例展开后的矩形虹膜图像如图 3 所示.

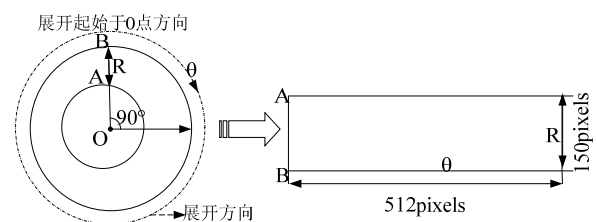


图 2 虹膜矩形展开示意图

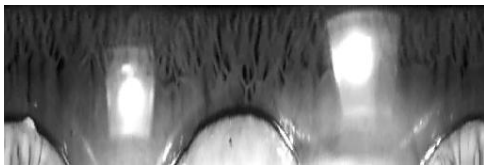


图 3 展开后矩形虹膜图像

### 2 虹膜钠环检测

钠环的彩色信息十分明显, 在彩色空间进行钠环检测更能够保证检测结果的准确率, 但是众所周知彩色空间的模型有很多, 例如 RGB 模型、HSI 模型、CMY 模型、YUV 模型等等, 如何选择合适的彩色空间是确保钠环成功检测的关键。

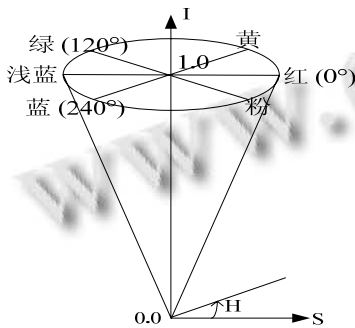


图 4 HSI 空间模型

#### 2.1 彩色空间选择

本文选择在 HSI 空间上对采集的虹膜图像进行图像处理, HSI 空间反映了人的视觉系统感知彩色的方式, 用色调 (Hue)、饱和度 (Saturation) 和亮度 (Intensity) 来描述色彩<sup>[8-10]</sup>, 空间模型如图 4 所示. 其中, 色调是彩色最重要的属性, 决定颜色的本质, 由物体反射光线中占优势的波长来决定, 平常我们所说的红、黄、橙就是不同范围的色调变化; 饱和度是指颜色的深浅和浓淡程度, 它的深浅程度和白光的比例有关, 白光所占比例越高, 饱和度越低, 在色彩学中将色调与饱和度统称为色度; 亮度是指眼感觉光的明暗程度, 光的能量越大, 亮度越大. 采用 HSI 空间进行钠环检测基于两个非常重要的事实: ①I 分量与图像的彩色信息无关; ②H 和 S 分量与人感受颜色的方式是紧密相联的; 这些特点决定了 HSI 空间很适合进行彩色特征检测与分析。

#### 2.2 钠环彩色信息提取

首先根据文献[8]提到的色彩空间转换方法将 RGB 空间下的彩色图像转换到 HSI 空间下, 得到色

度、饱和度、亮度三个分量的特征图. 为了分析不同分量的变化与钠环彩色信息变化之间的关系, 本文选取了一条钠环区域, 该区域从巩膜渐变过渡到钠环再由钠环渐变过渡到非钠环虹膜区域, 并对该区域内三分量的变化规律进行分析, 如图 5 所示, 图中横坐标表示像素点的位置, 纵坐标表示分量对应的灰度值. 通过观察图 5 中钠环过渡区域各分量变化曲线发现虹膜钠环区域的色调 H 与非钠环虹膜区域的色调 H 具有明显的差异性, 这样使得色调 H 分量可以很好的将钠环与非钠环虹膜区域分割开, 但是由于虹膜模糊边界的影响导致虹膜钠环区域与巩膜区域的色调值非常接近, 单纯利用色度 H 分量无法准确的将巩膜与钠环分隔开, 进一步观察发现巩膜与虹膜钠环区域的饱和度 S 具有明显的差异性, 并且在钠环与巩膜的交界处、钠环与非钠环虹膜的交界处 S 分量呈现出如高到低再由低到高的变化, 这样采用阈值分割的方法<sup>[11-13]</sup>可以确定钠环的饱和度分布范围( $S_{min}, S_{max}$ ), 可以有效地将巩膜与虹膜钠环进行分割. 钠环区域在不同程度的变化过程中 H 分量的灰度值均分布在 0.5 左右; S 分量的变化趋势与该区域彩色浓度的变化趋势一致; I 分量在巩膜与瞳孔位置处变化明显在其他位置变化不大, I 分量主要表示图像灰度的变化特征, 易受光照强度的影响, 本文在钠环的检测算法中未使用该分量. 对图库中其他具有钠环的虹膜图像进行彩色分量分析也具有上述变化规律。

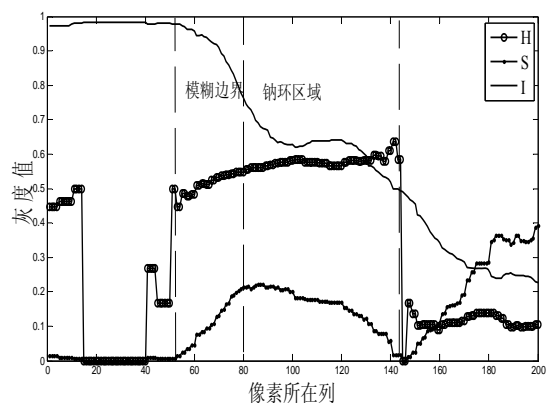


图 5 钠环过渡区域 H,S,I 分量随灰度变化曲线

由于钠环主要存在距虹膜外边界三分之一位置处如图 1(a)所示, 在归一化展开后, 截取矩形虹膜图像底部的 30%作为钠环的备检测区域如图 6 所示. 为了

避免图像中光源的影响, 结合钠环在虹膜中所处的位置信息选择灰色备选区域  $\Omega$ , 统计钠环目标点数,  $\Omega$  的定义方法: 将矩形虹膜 10 等份, 选取前 5 等分中间的三份; 选取后五等分中间的三份. 上述分法是根据图库中钠环在矩形虹膜图像中的分布所得. 假设截取的截取的矩形区域内包含  $K$  个像素点. 那么该区域内钠环定量检测的结果  $R$  为:

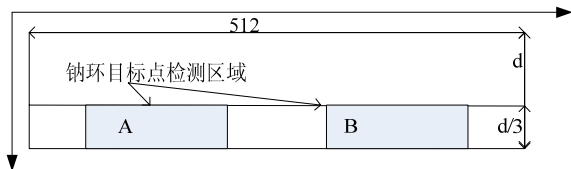


图 6 钠环检测备选区域

$$R = \frac{\sum_{x,y \in \Omega} (a * H(x,y) * f_1(x,y) + b * S(x,y) * f_2(x,y))}{K} \times 100\% \quad (1)$$

$$f_1(x,y) = \begin{cases} 1 & h_{\min} < H(x,y) < h_{\max} \\ 0 & other \end{cases}; f_2(x,y) = \begin{cases} 1 & s_{\min} < I(x,y) < s_{\max} \\ 0 & other \end{cases} \quad (2)$$

上述公式中,  $H(x,y)$  表示待检测图像区域中色度分量,  $S(x,y)$  表示待检测图像区域饱和度分量. 函数  $f_1(x,y)$ ,  $f_2(x,y)$  分别为色彩选择函数, 主要用于将彩色图像中钠环的颜色信息进行分割. 由于钠环的色调具有一致性, 其色调值主要分布在 0.5 左右, 对图库中其他虹膜图像分析发现钠环的色调值总是在 (0.48, 0.58) 内, 所以此时  $h_{\min}$  取值为 0.48,  $h_{\max}$  取值为 0.58; 根据图 5 中饱和度在钠环与巩膜的交界处呈现出由低到高再到低的变化、在钠环与非钠环虹膜区域的交界处呈现出如高到低再到高的变化, 测试图库确定出钠环饱和度的变化分布在 (0.03, 0.330) 范围内, 此时  $s_{\min}$  取值为 0.03,  $s_{\max}$  取值为 0.330.  $a, b$  分别表示钠环量化检测过程中  $H$  分量、 $S$  分量的权重,  $a+b=1$ .

### 2.3 实验对比结果

为验证本文算法有效性, 利用本文所述算法与文献[4]所述 OTSU 阈值法对图库 101 张图像其中具有钠环的虹膜图像 41 张和 60 张正常虹膜图像进行对比测试实验, 对比测试结果见表 1.

表 1 测试结果

检测方案	钠环样本数		$K_{co}$	正常样本数		$K_{er}$	总样本数	$K_{tco}$
	正确检测	错误检测		正确检测	错误检测			
OTSU 阈值法	29	41	70.7%	11	60	18.3%	101	77%
本文方案	37	41	90.2%	4	60	6.7%	101	92%

其中  $K_{co} = \frac{\text{正确检测虹膜钠环的数量}}{\text{图库中有虹膜钠环的数量}} \times 100\% \quad (3)$

$K_{er} = \frac{\text{错误检测出虹膜钠环的数量}}{\text{图库中正常虹膜图像的数量}} \times 100\% \quad (4)$

$K_{tco} = \frac{\text{正确检测虹膜图像数量}}{\text{被测试虹膜图库图像的数量}} \times 100\% \quad (5)$

本算法对 101 副具有钠环和不具有钠环的虹膜图像进行测试, 其中有 8 副图像不能正确检测, 产生原因包括以下两种情况, (1)眼睑等对备件区域造成遮挡影响, 使其无法准确对备选区域进行选择图 7(a)所示; (2)由于图片拍摄原因, 使得光斑落在整个备选区域内, 造成无法正确对钠环检测图 7(b)所示. 本文算法的准确检测率为 92% 明显高于 OTSU 阈值法; 在正常图像中检测出钠环的错误检测率仅为 6.7%, 明显低于 OTSU 阈值法的错误检测率. 说明本文方法具有很高检测准确率, 验证了方法的可行性和有效性;



(a)眼睑对钠环区域遮挡影响 (b)正常虹膜图像中光斑对检测结果的影响

图 7 虹膜图像测试结果

### 3 结语

本文给出的基于 HSI 彩色空间的钠环检测方法,



通过实验验证该方法具有较高的正确检测率的同时,弥补了传统灰度图像上受光源亮度位置影响较大的弊端,回避了在灰度图像中钠环信息不明显给检测准确率带来的问题,实现了虹膜钠环的自动检测,克服了以往人工检测钠环带来了主观性强,难以准确标定等问题。下一步将继续完善本文算法,解决不同光源条件下对钠环检测产生影响的问题。

#### 参考文献

- 1 王龄. 观虹膜知健康. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2010: 2-12.
- 2 Csekey A. The advantages of using iridology in health care. Iridologys' Association of Canada, 2008: 53-55.
- 3 丛峰. 易虹膜生命健康学. 北京: 北京交通大学出版社, 2009.
- 4 Ramlee RA, Ranjit S. Using iris recognition algorithm, detecting cholesterol presence. 2009 Int. Conf. on Information Management and Enginee-loop. 2009. 714-717.
- 5 Daugman. Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis. US: Patent, 1994.
- 6 王成儒, 胡正平, 练秋生. 一种虹膜定位算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(10): 951-953.
- 7 苑玮琦, 林忠华, 徐露. 一种基于人眼结构特征的新型虹膜定位算法. 光电工程, 2007, 34(1): 112-116.
- 8 丁海波, 薛质, 李生红. 基于 HSI 空间的肤色检测方法计算机应用, 2004, 24(2): 210-212.
- 9 王宁, 张颖. 基于 HSI 空间的柔性形态学的彩色图像边缘检测. 计算机应用, 2008, 27(9): 95-96.
- 10 陈财明. 基于 HSI 空间和边缘检测的一种高性能的车牌定位方法. 科学技术与工程, 2009, 9(15): 4342-4346.
- 11 苑玮琦, 王楠. 基于局部灰度极小值的掌脉图像分割方法. 光电子激光, 2011, 22(7): 1091-1092.
- 12 磨少清, 刘正光, 张军, 等. 基于图像自身信息的图像边缘检测阈值自动设定方法. 光电子激光, 2011, (8): 1246-1250.
- 13 谭艳, 王宇俊, 李飞龙, 等. 几种典型的图像边缘检测算法的分析比较. 电脑知识与技术, 2010, 8(7): 1604-1608.