

·数字中医药·

本文引用:穆 珺,王 勇,晏峻峰,彭清华.面向中医目诊的虹膜斑块定位算法[J].湖南中医药大学学报,2018,38(10):1149-1153.

## 面向中医目诊的虹膜斑块定位算法

穆 珺,王 勇,晏峻峰\*,彭清华\*  
(湖南中医药大学,湖南 长沙 410208)

**[摘要]** **目的** 研究和实现面向中医目诊的虹膜斑块定位,以利于深入研究虹膜及其图像特征与疾病、体质等因素间的对应关系。**方法** 以虹膜仪采集图像为对象,研究并提出了一种基于中医目诊的虹膜斑块定位算法。该算法首先对虹膜图像预处理;再进行虹膜图像的区域对比特征计算;最后基于区域对比特征,通过阈值化和联通区域几何特征,进行虹膜斑块定位。**结果** 本文算法在自行采集的虹膜仪图像数据集上进行测试,定位的精度(precision)为 74.3%,召回率(recall)为 83.9%。本文所提算法的运行时间,约为 0.312 min 每张虹膜图像。**结论** 本文方法能有效定位虹膜斑块,定位准确度和运行速度优于现有方法。

**[关键词]** 中医目诊;虹膜斑块定位;区域对比特征;积分图

**[中图分类号]**R241 **[文献标志码]**A **[文章编号]**doi:10.3969/j.issn.1674-070X.2018.10.014

### An Iris Plaque Localization Algorithm for Traditional Chinese Medicine Eye Diagnosis

MU Jun, WANG Yong, YAN Junfeng\*, PENG Qinghua\*  
(Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China)

**[Abstract]** **Objective** To present an iris plaque localization algorithm for traditional Chinese medicine (TCM) eye diagnosis, and to further study the relationship of iris image characteristics with disease and constitution. **Methods** An iris plaque localization algorithm was proposed for TCM eye diagnosis based on iris images. The algorithm computed the regional contrast characteristics of iris images after preprocessing. Finally, according to the regional contrast characteristics, iris plaque was located by thresholding and linking regional geometric features. **Results** The proposed algorithm was tested in an independent iris image dataset, yielding a localization precision of 74.3% and a recall rate of 83.9%. The proposed algorithm took around 0.312 minute to process one iris image. **Conclusion** The proposed algorithm can effectively locate the iris plaque, which has superior accuracy and speed to existing algorithms.

**[Keywords]** traditional Chinese medicine eye diagnosis; iris plaque localization; regional contrast characteristics; integral map

目诊在中医及民族医学中具有悠久历史和重要作用;而虹膜诊断则是发源于西方的目诊法<sup>[1-2]</sup>。大量研究工作从实验结果、临床数据的角度,证实了虹膜与疾病之间显著相关<sup>[2]</sup>。为此,有必要进行基于中医目诊的虹膜特征及其相关因素的研究,以及

进行虹膜特征的提取和分析。

其中,虹膜斑块是一种重要的虹膜特征。如何在虹膜仪采集的虹膜图像中,准确自动地定位出斑块,是一个很有挑战性的任务,并且对于虹膜特征及其相关因素的研究具有重要意义。

**[收稿日期]**2018-01-04

**[基金项目]**“十三五”国家重点研发计划课题资助(2017YFC1703306);中医药防治五官科疾病湖南省重点实验室建设项目(2017TP1018);长沙市科技计划项目(kc1704005);中央财政支持地方高校建设项目;国家中医药管理局中医药信息学重点学科建设项目;国家中医药管理局中医眼科学重点学科建设项目;2013年湖南省高校创新平台开放基金(13K076);国家重点学科中医诊断学开放基金(2013ZYZD08);2016年校级大学生研究性学习和创新性实验计划课题;湖南中医药大学校级青年教师科研基金课题。

**[作者简介]**穆珺,女,硕士,讲师,研究方向:图像处理。

**[通讯作者]**\*晏峻峰,女,博士,教授,E-mail:teacheryan@qq.com;\*彭清华,男,博士,教授,E-mail:pqh410007@126.com。

现有具代表性的虹膜斑块定位算法主要包括<sup>[3-7]</sup>:文献[3]基于虹膜斑块的一个明显特点,即“色素斑的像素灰度值一定小于它周围的像素灰度值”。基于此思想,先采用矩形窗口搜索,通过判断窗口内部的灰度均值是否小于窗口四周像素最小灰度值,判断该窗口内是否存在色素斑,然后再通过水平集方法得到准确的色素斑轮廓。该方法只适用于简单背景而对于具有复杂背景的虹膜图像并不太适用。文献[4]先采用组合窗口来定位块状纹理的位置,然后聚类方法得到块状纹理的具体形状。该方法可以实现对坑洞或色素斑等块状纹理的检测,但却无法对两者进行区分,且时间复杂度比较高。

此外还有一大类虹膜斑块定位工作<sup>[5-7]</sup>,它们基于 SVM 或 BP 神经网络等分类器进行定位。这一类方法的共同点是需要先训练数据集中训练分类器,然后再对新的虹膜图像进行斑块检测。其工作流程中需要使用训练集,因此可能存在训练集规模和代表性不够以及过度拟合问题,且由于本课题组目前并不具备大规模虹膜图像数据集,故不适用于该类方法。

分析常见的虹膜图像斑块定位算法,可以总结出:虹膜斑块的特点是大小、形状等属性没有固定的规律可循。现有的许多斑块定位算法都是基于“斑块内部亮度低,斑块边界亮度次之,斑块周围亮度高”的这一规律,构造许多大小不等的搜索窗口或者组合窗口,进行暴力搜索。这种方法在准确率方面比较高,但是算法执行速度往往很慢。尤其是在面向中医目诊的应用中,使用虹膜仪近距离采集的虹膜图像中,普遍存在比较严重的畸变、图像亮度分布不均匀的情况,这给已有的虹膜斑块定位算法在面向中医目诊中的应用带来了一定的难度。

因此,本文针对虹膜仪采集图像的特点,研究并提出了一种面向中医目诊的虹膜斑块定位算法。

## 1 方法

本文所提出的虹膜斑块定位算法的总体流程如下:第一步,虹膜图像预处理。其中包括:虹膜内外边界定位、虹膜图像归一化、虹膜图像中的高亮度区域检测与填补。第二步,虹膜图像的区域对比特征的计算。第三步,基于区域对比特征的斑块定位。其中包括:基于动态阈值的斑块初步定位、基于联通区域几何特征的斑块区域筛选。

### 1.1 虹膜图像预处理

#### 1.1.1 虹膜边界定位

在虹膜内外边界定位中<sup>[8-11]</sup>,

本文采用改进的霍夫变换算法<sup>[8]</sup>。传统的霍夫变换算法对圆形轮廓的检测,是通过对于所有可能的圆参数组(圆心的  $x,y$  坐标和半径  $r$ )进行投票的机制实现。在本文中,将文献[8]的方法应用于内外边界的定位,以解决虹膜仪图像的边界畸变问题。

具体方法是,在得到投票数组之后,将所有参数组的圆心  $x$  坐标、圆心  $y$  坐标、半径  $r$ ,以及对应的投票值分别存储于四个一维数组中,并将投票值按从大到小的顺序进行排序,对应  $x$  坐标、 $y$  坐标、半径  $r$  也随之进行顺序调整;以投票值最大的参数组为中心点,将  $x$  坐标、 $y$  坐标、半径  $r$  差异在给定极小范围内的参数组进行合并,取其均值作为合并得到的参数组;如此反复得到投票值最大的前  $C$  类参数组。最后按照投票数除以半径的比值作为标准,选择投票数除以半径的比值最高的参数组作为最终的圆参数。见图 1。

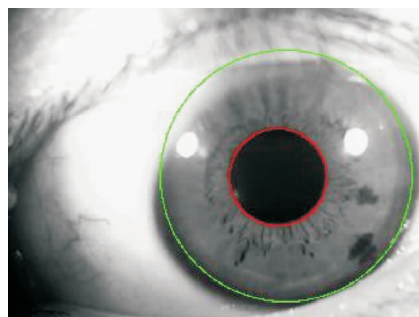


图 1 虹膜内外边界的定位结果

1.1.2 归一化与高亮度区域填补 在进行完虹膜内外边界定位后,可以通过归一化操作将虹膜区域变换成一个 120 行 720 列的矩形区域<sup>[12]</sup>。得到归一化后的虹膜图像,如图 2 所示。



图 2 归一化后的虹膜图像

通过观察可知,在虹膜区域中,有许多亮度很高的区域,它们主要是虹膜定位结果中包括的高光区域、部分白睛或眼睑区域。

由于这些高亮度区域的存在,在后续步骤中,区域对比特征的计算将会受到影响,因此,本算法需要将高亮度全部检测出来,并以整个虹膜区域的像素均值对其进行填补。得到的高亮度区域填补后的虹膜图像,如图 3 所示。

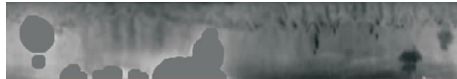


图 3 高亮度区域填补后的虹膜图像

### 1.2 区域对比特征的计算

为了解决传统的斑块定位算法的暴力搜索及其时间复杂度高的问题,本文设计和实现了基于积分图的区域对比特征,能在极大程度地优化搜索时间的同时,较好的保证斑块初步定位的正确率。

1.2.1 区域对比特征 本文通过分析得到,斑块的内部特征可以概括为:斑块内部的像素亮度值应当明显低于斑块周围区域的像素亮度值。而如何定义并高效地表示“斑块周围区域”则是一个很关键的问题。为此,本文提出了区域对比特征:

如图 4 所示,在虹膜图像中,可以给出两个正方形 ABCD 和 EFGH,它们有共同的中心点 O,它们的边长是已知的,其中,正方形 ABCD 的边长为  $2m+1$ ,正方形 EFGH 的边长为  $2n+1$  ( $m,n$  都是已知参数)。正方形 EFGH 内部有个斑块,正方形 EFGH 的中心点 O 位于斑块的内部。

所以,可以将两个正方形 ABCD 和 EFGH 之间所夹的区域,视为斑块的周围区域;而斑块的周围区域亮度均值必然明显高于正方形 EFGH 中心点 O 也即斑块内部的像素亮度值。

而对于一个不存在斑块的平坦区域,如图 5 所示,则中心点 O 的像素亮度值和周围区域的像素亮度值基本一致。

由此可见,使用区域对比特征,可以有效高效地表示“周围区域”,并且从数值上显著区分出“斑块”和“非斑块”。

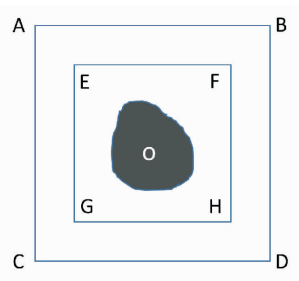


图 4 斑块与周围区域亮度对比示意图

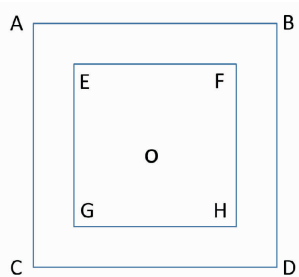


图 5 平坦区域与周围区域亮度对比示意图

基于上述分析,虹膜图像中任意一点 O 处的区域对比特征,定义为:以点 O 为中心的大小两个正方形 ABCD 与 EFGH 所夹区域内所有像素亮度均值减去点 O 处的像素亮度值的差值。

以完成预处理后的虹膜图像为输入,依次将图像中的每一点 O 当作中心点,计算以点 O 为中心的正方形 ABCD 与 EFGH 所夹区域内所有像素亮度均值减去点 O 处的像素亮度值的差值,所得即为该点 O 处的区域对比特征值。

如图 6 所示,即为虹膜的区域对比特征图矩形可视化的结果。从图上可以看出,虹膜中斑块对应的位置,其区域对比值都很高,其数值也都是比较大的正数;而较为平坦的区域,则区域对比度比较低,数值较小或者为负数。



图 6 区域对比特征图

1.2.2 基于积分图的区域对比特征计算 利用区域对比特征虽然可以相对高效地描述斑块与周围区域的对比值,能在一定程度上提高斑块搜索效率。但是由于需要计算每一点的区域对比特征,所以,对于  $120 \times 720$  的归一化虹膜图像,当区域对比特征的正方形边长参数为  $2m+1, 2n+1$  时,计算整个图像的区域对比度的时间约为:

$120 \times 720 \times [(2m+1) \times (2m+1) - (2n+1) \times (2n+1)]$ 。以  $m$  取 30,  $n$  取 25 时为例,时间复杂度约为  $120 \times 720 \times 1120$  次加法运算时间。

可见,直接计算区域对比特征的方法在时间复杂度方面有待优化。

为此,本文借鉴文献[13]的方法,利用积分图技术来加速区域对比特征的计算。积分图的含义与积分值的计算及其工作原理如下:对于图像  $i(x, y)$ ,定义该图像在点  $(x, y)$  处的积分值就是该位置处左上方所有的像素值之和,记为  $ii(x, y)$ 。若给定图像  $i(x, y)$ ,则可以计算与此幅图像对应的唯一的积分图  $ii(x, y)$ ;并且更进一步地,对于图像中任意一个矩形区域 ABCD,计算出该矩形框覆盖的所有像素值之和。

如图 7 所示,假设矩形区域 ABCD 的边长参数为  $2m+1, 2m+1$ ,该矩形的中心点是点 O,坐标为  $x, y$ 。则矩形区域 ABCD 覆盖的所有像素值之和,可以直接由矩形 ABCD 的四个顶点处的积分值计算得到。若矩形区域 ABCD 覆盖的所有像素值之和,

记为  $\text{Sum}(ABCD)$ , 则有:

$$\text{Sum}(ABCD) = \sum_{ii} (x_D, y_D) - \sum_{ii} (x_B, y_B) - \sum_{ii} (x_C, y_C) + \sum_{ii} (x_A, y_A)$$

其中,  $\sum_{ii} (x_D, y_D)$  表示矩形  $ABCD$  的顶点  $D$  处的积分值,  $x_D$ 、 $y_D$  分别为点  $D$  的  $x$ 、 $y$  坐标。由于矩形  $ABCD$  的边长是已知的, 因此, 还可以计算出矩形  $ABCD$  的亮度均值, 记为  $\text{Mean}(ABCD)$ , 易得:

$$\text{Mean}(ABCD) = (\sum_{ii} (x_D, y_D) - \sum_{ii} (x_B, y_B) - \sum_{ii} (x_C, y_C) + \sum_{ii} (x_A, y_A)) / ((2m+1) \times (2n+1))$$

可见, 由于积分图的方法, 可以方便地计算给定矩形区域内的像素均值。

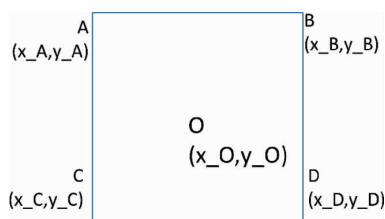


图 7 矩形区域  $ABCD$

类似地, 也可以很方便地计算出虹膜图像中任意一点  $O$  处的区域对比特征。

例如如图 8 所示, 可以借助积分图方法, 快速地计算以点  $O$  为中心的正方形  $ABCD$  与  $EFGH$  所夹区域内所有像素亮度均值减去点  $O$  处的像素亮度值的差值, 即  $O$  处的区域对比特征, 记为  $\text{RegionalContrast}(x_O, y_O)$ 。

$$\text{Regional Contrast}(x_O, y_O) = (\text{Sum}(ABCD) - \text{Sum}(EFGH)) / ((2m+1) \times (2n+1) - (2n+1) \times (2n+1)) - i(O)$$

通过引入积分图的方法, 可以将计算整个图像的区域对比度的时间极大降低, 具体为: 计算每一点  $O$  处的  $\text{Sum}(ABCD)$  值, 即构造积分图, 需要  $127 \times 270 \times 2$  次加法运算; 在此基础上, 每一点  $O$ , 计算  $\text{Sum}(ABCD) - \text{Sum}(EFGH)$  的值, 需要  $4+4+1=9$  次加(减)法运算。因此, 利用积分图的方法计算虹膜图像所有点处的区域对比特征, 所需的时间复杂度为  $127 \times 270 \times 9$  次加法运算。相对于不使用积分图情形下所耗费的  $120 \times 720 \times 1120$  次加法运算, 运行速度有了显著提高。

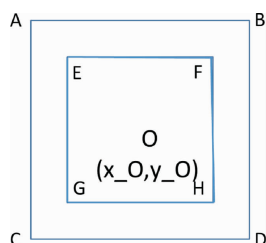


图 8 矩形区域  $ABCD$

### 1.3 基于区域对比特征的斑块定位

1.3.1 基于阈值的斑块初步定位 在得到区域对比特征图(如图 6 所示)的基础上, 取数据集中所有虹膜图像的区域对比特征图, 进行直方图分析可知, 斑块区域和平坦区域对应的区域对比特征数值之间, 有比较大的落差。因此, 可以通过一个固定阈值, 将区域对比特征图进行二值化, 即可得到斑块的初步定位结果。如图 9 所示。



图 9 斑块的初步定位结果

1.3.2 基于联通区域特征的斑块区域筛选 在得到斑块的初步定位结果(如图 9 所示)的基础上, 分析初步定位结果可知, 虹膜中存在的裂缝或大坑洞区域对应的阴影部分、卷缩轮区域附近的小坑洞, 都可能在区域对比特征图上具有较高的数值, 从而在初步定位时, 被错误地定位为斑块。

为此, 本文再通过基于联通区域特征的方法, 对斑块的初步定位结果进行筛选。具体方法如下: 一方面, 考虑到大坑洞区域对应的阴影部分, 相对于真正的斑块, 其形状的饱满度一般会低很多。因此, 对于斑块的初步定位结果中每一个联通区域, 考察其几何形状属性中反映形状饱满程度的参数“等价直径”<sup>[14]</sup>, “等价直径”小于给定阈值, 可以认为该连通区域对应的图像内容形状不够饱满, 或者比较狭长, 可以作为坑洞剔除掉。另一方面, 由于卷缩轮区域附近的小坑洞, 也可能在区域对比特征图上具有较高的数值, 而被错误地识别为斑块。所以, 针对卷缩轮区域附近的斑块初步定位结果中每一个联通区域, 都要再进行“面积”的删选, 将面积小于给定阈值的初步定位结果剔除掉。

基于联通区域特征的斑块区域筛选结果如图 10 所示。斑块定位最终结果如图 11 所示。



图 10 基于联通区域特征的斑块区域筛选



图 11 斑块定位最终结果

## 2 结果

本文算法在 MATLAB2010 环境下编程实现, 并

在课题组自行采集的虹膜仪图像数据集上测试。图 11 所示为本算法得到的虹膜图像定位结果的部分示例。从图 12 中可见,本文算法可以较准确地定位虹膜斑块。本文算法在自行采集的虹膜仪图像数据集上进行测试,定位的精度(precision)为 74.3%,召回率(recall)为 83.9%;文献[4]所提出的定位算法,精度为 66.2%,召回率为 79.7%。由此可见,本文方法的定位准确度优于文献[4]的方法。

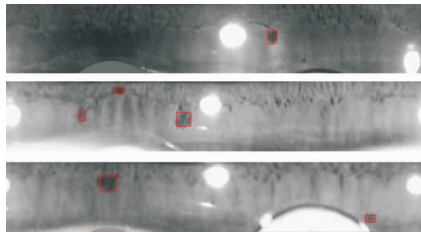


图 12 更多虹膜斑块定位结果

本文算法的运行速度比现有的算法也有较大程度提高。为进行比较,以虹膜边界定位与归一化后的图像作为输入,计算和比较斑块定位的时间。对于文献[4]所提出的定位算法,同样经过积分图优化后的定位算法,其运行时间约为 18 min 每张虹膜图像。而本文所提算法,其运行时间约为 0.312 min 每张虹膜图像。

### 3 结论

本文以基于中医目诊的虹膜斑块定位为出发点,研究并提出了一种基于中医目诊的虹膜斑块定位算法。该算法首先对虹膜图像预处理;再基于积分图的区域对比特征;最后基于区域对比特征,通过阈值化和联通区域几何特征,进行虹膜斑块定位。

实验结果表明,本文算法对于各类不同条件下的虹膜斑块能较为准确地定位。尤其对于部分畸变、高光干扰较为严重的虹膜图像,对其中的斑块定位,也能有较好的效果。但不足之处在于,当高光干扰出现在斑块附近时,斑块定位可能会受到一定干扰。表明本文算法鲁棒性还有待进一步加强。

正如文献[2]所指出,虹膜与疾病、体质、中医辨证分型等因素之间具有相关性,值得深入研究和发掘;虹膜特征与中医辨证的证候要素间的关系也有待深入研究。为实现该目标,在未来的工作中,包括虹膜斑块在内的虹膜特征的自动定位与提取方法,其自动化、准确率、鲁棒性等性能指标都有待进一步发展和提高。

### 参考文献:

- [1] 黄惠勇,胡淑娟,彭清华.中医目诊的研究进展与评述[J].中华中医药学刊,2013,31(6):147-1483.
- [2] 穆 珺,晏峻峰,彭清华.基于中医目诊的虹膜图像特征表示方法研究[J].湖南中医药大学学报,2015,35(11):65-69.
- [3] LIU X N, YUAN W Q. Iris plaque detection method based on level set [C]. The 6th Chinese Conference Biometric Recognition (CCBR), 2011: 100-107
- [4] 刘笑楠,苑玮琦,张 波.基于组合窗口搜索的虹膜块状纹理检测[J].仪器仪表学报,2014,35(8):1900-1906.
- [5] 朱立军,苑玮琦.基于双线性模板和分块策略的虹膜色素斑检测[J].仪器仪表学报,2015,36(12):2714-2721.
- [6] 刘笑楠,苑玮琦,张 波.一种虹膜色素块检测与分类方法[J].沈阳工业大学学报,2014,36(6):688-693.
- [7] 朱立军,苑玮琦.基于 BAB 策略与 SVM 的虹膜块状纹理检测[J].仪器仪表学报,2016,37(11):2438-2444.
- [8] 穆 珺,晏峻峰,彭清华.一种面向中医目诊的虹膜定位算法[J].湖南中医药大学学报,2017,37(4):436-440.
- [9] 邹德旋,王 鑫,陈传虎,等.基于改进粒子群的虹膜定位算法[J].光学精密工程,2014,22(4):1056-1063.
- [10] 朱立军,苑玮琦.基于并查集和边缘检测模板的非理想虹膜定位[J/OL].[2017-05-25].<http://www.aocmag.com/article/02-2018-05-051.html>.
- [11] 刘 帅,刘元宁,朱晓冬,等.基于分块搜索的虹膜定位算法[J].计算机工程与应用,2018,54(18):212-217.
- [12] SR GANORKAR, AA GHATOL Iris recognition: an emerging biometric technology[J]. Wseas International Conference on Signal Processi,2007,85(9):91-96.
- [13] VIOLA P, JONES M. Robust Real-time Face Detection[J]. International Journal of Computer Vision,2004, 57(2):137-154.
- [14] ANONYM. Measure properties of image regions [EB/OL].[2018-01-01]. <http://cn.mathworks.com/help/images/ref/regionprops.html>.

(本文编辑 李 杰)