

# 基于多尺度颜色替换的角膜老年环分割\*

苑玮琦<sup>1</sup>, 常乐<sup>1,2</sup>, 张波<sup>1</sup>

(1. 沈阳工业大学 视觉检测技术研究所 沈阳 110870; 2. 辽宁轨道交通职业学院 沈阳 110023)

**摘要:**角膜老年环是一种在角膜边缘形成的白色环状改变,主要由于人体脂类代谢异常而产生。通过图像分析的方法对角膜老年环进行检测可以方便、及时帮助人们发现身体脂类代谢异常状况。自然睁开状态下获取的彩色图像,角膜老年环经常被眼睑随机遮挡,而且被光斑、血管等因素的干扰。为了提高算法鲁棒性,减少由于眼睑的随机遮挡造成的定位失误,提出了一种基于多尺度颜色替换的角膜老年环分割方法。首先对图像进行量化;其次,在不同尺度模板下对图像按照本文定义的颜色替换策略进行处理,并最终实现目标分割。实验结果表明,在采集的1 968幅图像中该方法能够达到97.0%的分割正确率,所用算法具有较高的鲁棒性。

**关键词:** 图像处理;角膜老年环;多尺度;颜色替换

**中图分类号:** TP391.41 TH701      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 510.40

## Corneal arcus segmentation method based on multi-scale color replacement

Yuan Weiqi<sup>1</sup>, Chang Le<sup>1,2</sup>, Zhang Bo<sup>1</sup>

(1. Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China;

2. Guidaojiaotong Polytechnic Institute, Shenyang 110023, China)

**Abstract:** Corneal arcus is a white ring shape variation formed on the edge of the cornea, which is mainly caused by the abnormal lipid metabolism in human body. This corneal abnormality is significantly associated with the lipid disorder and atherosclerosis. Using image analysis method to detect corneal arcus can help people find the abnormal lipid metabolism in human body conveniently and in time. In the image acquired in natural eye open state, the corneal arcus is often occluded by the eyelid randomly, and disturbed by light spot and blood vessel. In order to improve the robustness of the algorithm and reduce the locating error caused by the random occlusion of the eyelid a corneal arcus segmentation method based on multi-scale color replacement is proposed. Firstly, the image is quantized. Secondly, the image is processed with the defined color replacement strategy under different scale templates. Finally, the object segmentation is achieved. 1 968 images in our database were used to conduct experiment. Experiment results indicate that with the proposed method the segmentation accuracy for the 1 968 images reaches to 97.0%. The proposed method has high robustness and is not sensitive to noise.

**Keywords:** image processing; corneal arcus; multi-scale; color replacement

## 1 引言

角膜老年环的产生,主要是由于人体脂类物质代谢异常,造成过量的脂类物质在角膜沉积而形成<sup>[1]</sup>。角膜老年环主要呈白色透明或者半透明状。研究表明,角膜老年环与脂类物质代谢异常具有强相关性<sup>[2]</sup>,而且与动

脉粥样硬化<sup>[3-6]</sup>等疾病有密切关系。角膜老年环还与动脉硬化有着密切关系,可以作为诊断老年人脑动脉硬化的辅助手段<sup>[7]</sup>。由于人体眼睛比较敏感好动,通过人眼观察是否具有角膜老年环容易产生误差而且需要被观察者配合。采用计算机辅助方式对角膜老年环进行检测,不仅方便、快速、准确而且用户接受程度高。

2009年,开始研究通过图像分析的手段对角膜老年

环进行检测, Ramlee R. A. 等人<sup>[8]</sup>在灰度图像中通过检测虹膜上是否存在角膜老年环来判断被检测者的胆固醇是否过高的方法,该方法首先对灰度图像进行定位并归一化处理;其次,通过选择 30% 的归一化区域利用 OSTU 阈值法进行检测。2015 年常乐等人<sup>[9]</sup>,提出了基于梯度响应最优的角膜老年环检测方法,该方法通过检测候选区域中角膜老年环的精确边界实现目标检测,但是算法中候选区域选择依赖于对虹膜的精确定位而且容易受到眼睑遮挡的影响。Yuan W. Q. 等人<sup>[10]</sup>对具有角膜老年环特征候选区域的色调、饱和度进行分析,通过将  $H/S$  分量进行融合完成对角膜老年环的自动检测。Kumar S. V. M. 等人<sup>[11]</sup>在对图像采用霍夫变换定位的基础上,采用基于统计分析与支持向量机向结合的方法完成图像中角膜老年环的检测,在训练阶段该方法取得了 100% 的分类准确率,在测试阶段分类的准确率也达到了 96%。现有算法在检测的过程中都没有分割出角膜老年环的区域,而是在对图像进行定位的基础上,选择包含角膜老年环的候选区域,并在候选区域中对角膜老年环进行检测。一方面,对于可见光且非接触条件下采集的图像,由于光斑位置的随机性以及眼睑的遮挡会影响定位的准确性<sup>[12-13]</sup>;另一方面,候选区域往往比角膜老年环实际所在的区域范围大很多,还包括复杂的虹膜纹理以及容易被光照影响的区域,这些因素影响了算法对角膜老年环检测的准确性。针对目前存在的这些问题,本文重点研究具有鲁棒性且通过利用图像中角膜老年环的颜色信息对其进行初分割的方法。对角膜老年环的初分割可以作为一种预处理方法,对于提高目前角膜老年环检测算法的准确性具有重要意义。

彩色图像分割是图像处理、模式识别和计算机视觉中的一项重要技术。然而图像中噪声的影响以及目标的复杂性,它仍然是一项复杂的任务<sup>[14]</sup>。目前已经提出了很多彩色图像分割方法,这些方法主要包括以下几类<sup>[15]</sup>:1) 基于阈值的分割方法,该方法不能够有效区分颜色相近但是却不属于同一个目标的情况;2) 基于区域的分割方法,当背景复杂或者目标很多时该方法不能取得有效的分割结果;3) 基于边缘的分割方法,该方法对噪声比较敏感;4) 基于聚类的方法<sup>[16]</sup>,该方法存在的主要问题是过度分割以及特征的选择;5) 基于图的分割方法<sup>[17]</sup>,该类方法算法复杂度大。

针对一些特定的应用领域及检测目标,学者们提出了一些新颖的彩色图像分割算法<sup>[18-19]</sup>。关于图像分割算法,借助各种理论至今已提出了成百上千种不同的方法。但由于尚无通用分割理论,因此没有一种适合于所有图像的通用分割算法<sup>[20]</sup>。针对本文分割的目标,非接触条件下以及人眼自然睁开状态采集到的彩色图像中,存在很多干扰信息,包括光照、遮挡、器官纹理细节等等,而且

图像中还包括很多其它的组织器官。为了有效地完成对角膜老年环区域的分割,提出了一种基于多尺度颜色替换的角膜老年环分割算法。

## 2 图像的获取及分割流程

目前,市场上有很多设备可以获得清晰的虹膜图像,一些设备应用于医学诊断,还有一些设备主要应用于虹膜诊断。2015 年, Nasution A 等人<sup>[21]</sup>研究设计了使用灵活、价格低廉而且图像清晰的角膜老年环图像采集系统。目前针对角膜老年环的检测并没有公开的图库。现有的虹膜图库主要应用与识别,图库主要为灰度图像,而且具有角膜老年环特征的图像个数非常少。为了获取用于算法测试的彩色虹膜图库,在国家自然科学基金的支持下通过与沈阳医学院奉天医院进行合作,在第 1 阶段采集包括 984 个个体,共计 1 968 幅彩色虹膜图像,所有图像在非接触而且人眼自然张开状态下采集,图库中部分图像如图 1 所示。图库中包括具有角膜老年环特征图像 353 幅,目前图库的规模还在进一步扩大。本文提出的基于多尺度颜色互换的角膜老年环分割算法流程如图 2 所示。

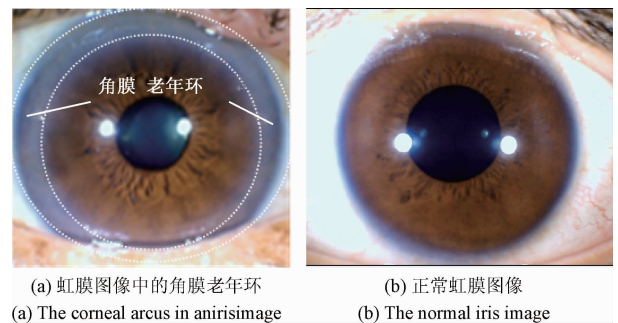


图 1 图库中的虹膜图像

Fig. 1 The iris images in the database

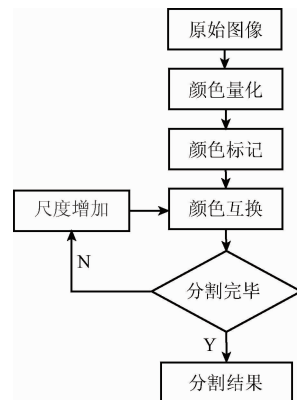


图 2 分割算法流程

Fig. 2 The flow chart of the proposed segmentation algorithm

### 3 多尺度颜色替换目标分割算法

#### 3.1 颜色量化与标记

对于24位真彩图像,其颜色有16 777 216种。颜色量化是将原有图像中的多种颜色,根据人的视觉效果归类为较少的颜色,而且还使得量化后的图像与原图像误差最小<sup>[22]</sup>。目前很多学者研究彩色图像的量化问题,也出现了很多有效的量化算法,如:基于动态规划与主分析的颜色量化算法<sup>[23]</sup>、基于自组织的分层颜色量化算法<sup>[24]</sup>、基于分裂层次聚类的颜色量化方法<sup>[25]</sup>。

为了便于对量化后的图像进行分割,首先对图像进行标记。假设量化后的图像为 $I(x, y)$ ,颜色个数为 $K$ ,经过标记后,图像中所有量化颜色可以表示为一个向量 $\tau_i = (C_i, N_i, d_i)$ ,其中 $i = 1, 2, \dots, K$ ,  $C_i$ 表示该颜色的编号,  $N_i$ 表示图像中该颜色的数量,  $d_i$ 用来描述量化后不同颜色之间的距离,该值由式(1)计算得到。

$$d_i = \sqrt{(R_i')^2 + (G_i')^2 + (B_i')^2} \quad (1)$$

式中: $R_i'$ 、 $G_i'$ 、 $B_i'$ 分别表示量化后颜色 $C_i$ 的在RGB空间中 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 分量的平均值。图3所示为将彩色图像量化为15种颜色后的结果,图4所示为量化后不同颜色分量的在RGB空间下的三维分布。

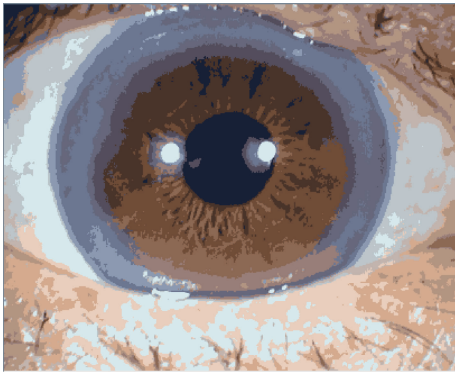


图3 量化为15种颜色后的图像颜色分布

Fig. 3 The image color distribution after the image is quantized with 15 kinds of colors

由图3和4可知,根据量化后颜色在三维空间中分布以及图库中所有图像不同目标区域之间颜色相似性,具有角膜老年环特征的彩色虹膜图像,将会被分割为如图5所示的5个区域:光斑区域 $D_1$ 、虹膜区域 $D_2$ 、瞳孔区域(含部分睫毛区域) $D_3$ 、角膜老年环区域 $D_4$ 、眼睑及巩膜区域 $D_5$ 。

光斑区域 $D_1$ 在图像中所占的面积最小而且图库中所有图像光斑区域中包含的像素个数比较稳定,对于相同光源的设备不会受到遮挡以及其他干扰因素的影响,

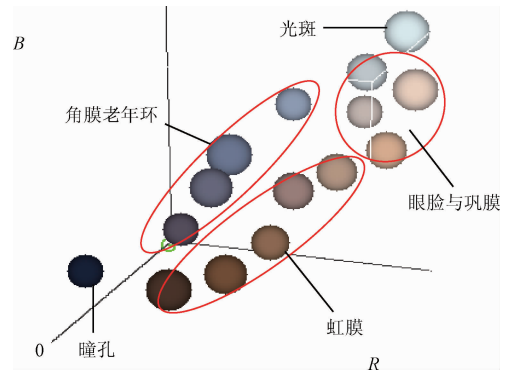


图4 量化为15种颜色后的图像三维分布

Fig. 4 The image 3D distribution after the image is quantized with 15 kinds of colors

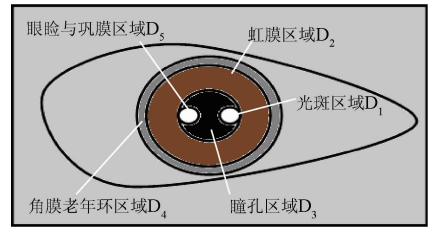


图5 图像中所有目标示意图

Fig. 5 Schematic diagram of all the objects in the image

定义光斑区域中所包含的像素平均个数为 $\delta_{\text{spot}}$ ,该值对后续算法中从分割的所有目标区域中确定角膜老年环具有重要作用。

#### 3.2 多尺度颜色替换算法

经过量化后的图像 $I(x, y)$ 颜色已经明显减少,但是图像中不同目标仍然不能有效分割,如图3中可以明显看到在巩膜区域中出现很多与角膜老年环颜色相似的区域。为了进一步完成对图像中不同目标的分割,提出了基于多尺度颜色替换的角膜环状分割算法,算法通过将量化后的颜色矢量 $\tau_i$ 在不同尺度的模板下,采用迭代的方法对区域中颜色进行替换,最终完成目标的分割,具体步骤如下。

1) 算法初始化,定义初始模版尺度为 $2 \times 2$ ,定义替换策略(见3.3节)中的初始阈值 $\delta = \delta_0$ 。

2) 统计标记图像中颜色的个数 $K$ ,如果 $K$ 小于或者等于目标个数,跳转到步骤5)。否则将图像按照模版尺度为 $M \times N$ 进行分块。

3) 读取每个分块中的标记后的像素,按照本文提出的替换策略进行处理,并根据替换结果更新向量 $\tau_i$ 。

4) 更新阈值 $\delta = \delta/2$ ,更新模版尺度, $M = M \times 2$ , $N = N \times 2$ ,如果更新后的尺度 $M$ 或者 $N$ 超过图像的尺寸那么跳转到步骤5)。

5) 在图像分割的结果中确定角膜老年环的区域(该

步骤详细过程见3.4节)。

### 3.3 替换策略

定义替换表 Exc,其中表中数据的存储形式如图6所示。

Org	Des	Weight
$G_j$	$C_i$	$W$
.	.	.
.	.	.
.	.	.

图6 替换表 Exc 的示意图

Fig.6 The schematic diagram of the replacement table Exc

替换表中列 Des 表示替换后的颜色,Org 表示将要替换的颜色, $W$  表示这两种颜色进行替换的权重,初始表中该值为0, $W$  取值为整数。

假设当前模板的尺寸为  $M_x \times M_y$ ,将模板中所包含的图像分块中不同种类颜色按照像素的个数进行由大到小排序,定义  $C'_i (i = 1, 2, \dots, K')$  表示分块中所包含的不同颜色编号,其中  $K'$  表示分块中颜色种类,  $C'_i \subseteq C_i$ , 每种颜色的个数为  $N'_i (i = 1, 2, \dots, K')$ ,  $N'_1$  值最大,  $N'_{K'}$  值最小。颜色替换策略如下所示。

if ( $K' > = 3$ )

{

情况1:查询替换表 Exc,若表中存在 Org 值为  $C'_{K'}$ , Des 值为  $C'_1$ ,将  $C'_{K'}$  替换为  $C'_1$  并更新表中对应行的权重  $W = W + 1$ 。

情况2:查询替换表 Exc,若表中存在 Des 值为  $C'_{K'}$ , Org 值为  $C'_1$ ,不进行替换,更新表中对应行的权重  $W = W - 1$ 。

情况3:如果替换表中不存在上述两种情况将  $C'_{K'}$  替换为  $C'_1$ ,并在替换表中增加一条记录,该记录中 Org 值为  $C'_{K'}$ ,Des 值为  $C'_1$ , $W$  值为1。

} else if ( $K' = = 2$ )

{

将  $N'_1 / (N'_1 + N'_2)$  值与设定阈值  $\delta$  进行判断,如果该值大于或者等于该阈值  $\delta$  则将  $C'_2$  替换为  $C'_1$ ,如果替换表中存在该记录则更新权重,否则增加一条记录。该记录中 Org 值为  $C'_2$ ,Des 值为  $C'_1$ , $W$  值为1。

} else

{ 不进行任何替换操作。}

### 3.4 角膜老年环提取

通过3.1节分析,基于多尺度颜色替换算法对角膜老年环进行分割时,定义的目标个数为5,这种目标区域

的划分对于具有角膜老年环的图像能够取得准确的分割结果,但是对于正常的虹膜图像,会形成两类分割结果:1)图像被分割为5个区域,其中包括一个区域面积比较小而且分散的干扰区域;2)图像被分割为小于或者等于4个区域。

通过图3以及图5可以明显看出图像中区域  $D_5$  在整个图像中所占的比例最大,角膜老年环所占的比例在不同的图像中存在差异,但是与其他区域相比在颜色上和区域  $D_5$  最为接近。针对不同情况,通过如下方法从分割结果中确定角膜老年环。

1)当分割后  $K \leq 4$ ,这种情况下,该图像中并不包括角膜老年环,算法结束。

2)当分割后  $K = 5$  时,如果  $|N_4 - \delta_{\text{spot}}| < |N_5 - \delta_{\text{spot}}|$  则图像中没有角膜老年环;否则计算向量  $\tau_i$  中除  $d_1$  外与  $d_1$  误差最小的区域,并将其标记为角膜老年环。图7为对图3进行多尺度颜色替换后的分割结果以及最终确定的角膜老年环区域。

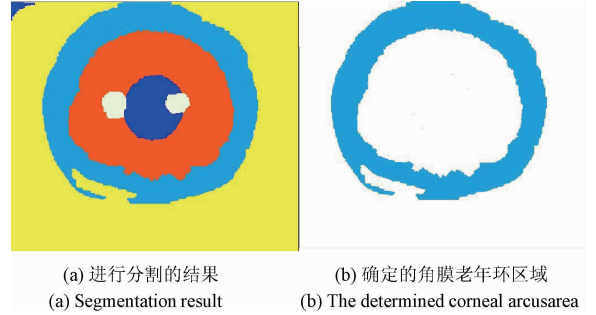


图7 分割结果及确定的角膜老年环区域

Fig.7 The segmentation result and determined corneal arcus area

## 4 算法鲁棒性分析及评价指标

### 4.1 边缘误差分析

分割模板的初始大小能够直接影响目标分割边界的精确程度。初始尺度为  $2 \times 2$  和  $8 \times 8$ ,初始阈值  $\delta = 0.75$ ,对图像中具有两个目标  $T_1$  与  $T_2$  的分块进行分割的结果如图8所示。其中  $T_1$  为图像中白色背景部分, $T_2$  为图像中阴影背景部分。

对于  $2 \times 2$  的模板,在图像中根据分块中两种不同标记的颜色在分块中所占颜色比例不同分为 A、B、C、D 4 种情况。对于情况 A 与情况 B,在执行替换策略是由于  $K' = 1$ ,因此不进行替换;对于情况 C,  $K' = 2, N'_1 / (N'_1 + N'_2) = 0.75$  等于初始设定的阈值  $\delta$ ,因此需要进行替换;对于情况 D,  $K' = 2$ ,但是  $N'_1 / (N'_1 + N'_2) = 0.5$  小于初始设定的阈值  $\delta$ ,因此不进行替换。对于  $8 \times 8$  的模板  $K' = 2, N'_1 / (N'_1 + N'_2) = 0.781$  大于初始设定的阈值  $\delta$ ,



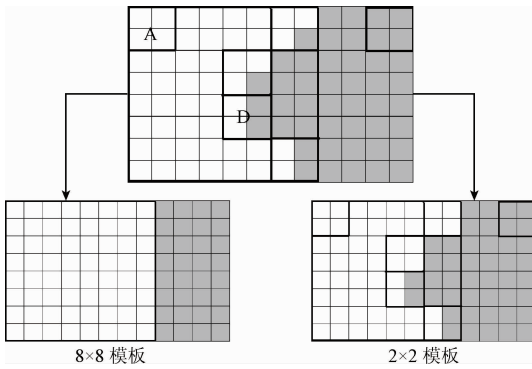


图8 不同尺度模板颜色替换结果

Fig. 8 The color replacement result with different scale templates

因此需要进行替换;替换结果如图8所示,从图8中可以看到初始尺度选择越小,目标分割后边缘更加精确。

替换算法中阈值的更新  $\delta = \delta/2$ , 主要目的是为了减少随着迭代尺度模板增加,对目标边界的过度裁剪。通过上述分析,每次迭代过程模板的尺度都会增加,如果阈值  $\delta$  保持不变仍会造成如图8所示  $8 \times 8$  模板替换后的结果。

对于分区内  $K' = 3$  的情况,根据替换策略在分区内仅仅在  $C'_K$  与  $C'_1$  之间可能发生替换,而且替换过程还需要参考替换表,因此这种情况下目标边界分割的准确性要明显高于  $K' = 2$  时。

#### 4.2 干扰去除原理分析

在对图像进行分割的过程中,每个目标区域都可能存在与该区域颜色差异较大的一些干扰,如图9所示。包括色素斑块、毛细血管、虹膜纹理、光照产生的影响等等。这些干扰主要表现为所占面积与分割的目标的面积相比比较小。

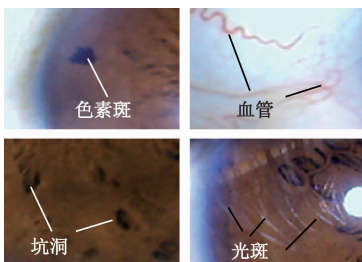


图9 图像中存在的各种干扰因素

Fig. 9 All kinds of interference factors in the image

对干扰进行去除的过程如图10所示,为了便于分析说明,定义的干扰为图中阴影区域。虽然实际干扰所占像素区域要大于图10所示,但是由于采用多尺度颜色替

换,随着迭代,模板尺度逐渐增加,干扰噪声在分块中相互比例关系可以通过这种简化模式进行分析。

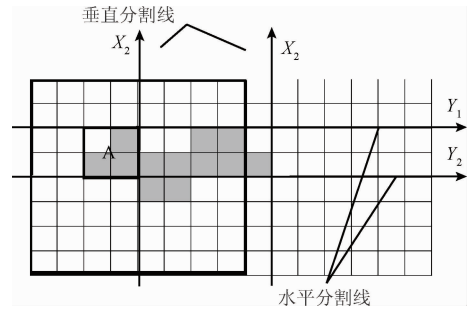


图10 噪声去除分析过程

Fig. 10 The process of noise removing

从图10中可以看出,在模板尺度为  $2 \times 2$  时,例如图10中区域A所示的部分,根据算法分析不满足替换条件,干扰区域不能够有效去除。随着不断的迭代,当模板尺度变为  $8 \times 8$  时,如图中黑框所包含的区域,干扰噪声将会根据颜色替换算法被目标区域所替换。由于采用本文的替换算法对图像进行迭代时,图像相邻的分区没有重叠,因此,相邻两个分区之间的分界线可能处在干扰噪声的不同位置处。例如对于垂直分界线,既可以处在图中的  $X_1$  位置,也可以处在图中  $X_2$  的位置,在水平方向上,分界线既可以处在  $Y_1$  的位置上也可以处在  $Y_2$  的位置上。随着算法的迭代,干扰噪声的大小不会变化,但模板的尺度将会逐渐增加,如果不同分区之间的分割线处在干扰区域中间,那么分割后在干扰在每个分区中所包含的像素个数都非常少,这种情况下根据算法更容易被目标颜色替换;当某个分区包含的干扰点非常多时,将会随着算法的迭代也会在某个尺度下被去除。

#### 4.3 算法评价指标

本文算法所用到图像在人眼自然睁开状态下获取,图像中角膜老年环所处的位置不固定,而且不同个体之间角膜老年环颜色、大小表现存在差异。由于无法对图像中理想状况下目标区域进行客观标定,一些常规的图像分割算法评价指标,如绝对误差率、正确分割率等<sup>[21-22]</sup>无法采用。针对本文研究的目标,采用的评价指标有错误识别率 (false accept rate, FAR)、错误拒绝率 (false rejection rate, FRR)、平均错误率  $E$ 、识别率  $P$ 。FAR = 将正常的图像错误分割的样本个数/总样本个数;FRR = 将具有环状特征的图像错误分割样本个数/总样本个数;平均错误率  $E = (\text{将正常的图像错误分割的样本个数} + \text{将具有环状特征的图像错误分割样本个数}) / \text{总样本个数}$ 。分割正确率  $P = 1 - E$ 。

### 5 实验与结果分析

#### 5.1 分割算法实验

为了验证本文提出的角膜老年环分割算法的有效性,图库中 1 968 幅彩色虹膜图像全部用于实验测试。为了进一步分析量化后颜色的个数与本文分割算法迭代次数之间相互关系以及验证不同的量化算法对本文角膜老年环分割有效性的影响,从图库中选择 10 幅具有角膜老年环图像构成测试样本进行了分析。对具有角膜老年环特征的彩色图像进行分割过程中,量化后颜色的数量与本文算法平均迭代次数之间的关系如图 11 所示。

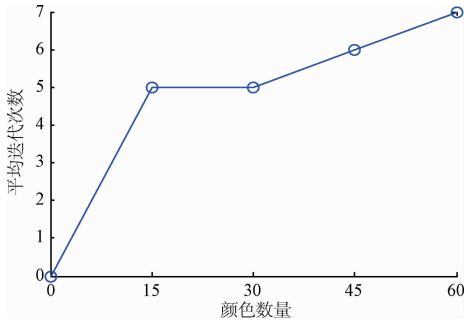


图 11 量化后颜色数量与平均迭代次数之间关系  
Fig. 11 The relationship between the number of colors and the average number of iterations after quantization

通过图 11 分析可以看出,当量化后的颜色种类为 60 种时,算法平均通过 7 次迭代即可完成目标分割,而当颜色种类为 15 与 30 种时需要迭代 5 次完成目标分割,而当量化的颜色过多时,少数图像会造成最终的迭代模板尺度超过图像尺寸,因此造成分割错误。例如迭代 7 次时,最后的模板尺度宽度已经为 128,为了保证模板的尺度不超过图像的大小,通过对图库中的图像进行实验分析,量化的颜色应该小于 60 中。量化颜色为 15 种、30 种时,本文算法在对具有角膜老年环图像分割过程中,平均每次迭代颜色种类的变化情况如图 12、13 所示。

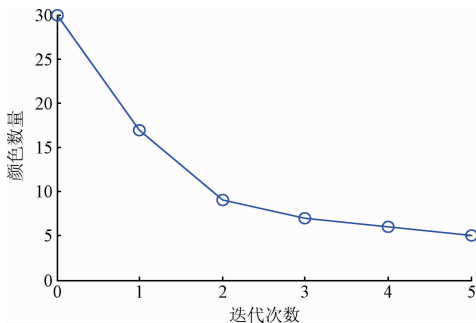


图 12 量化 30 种颜色平均每次迭代颜色种类的变化

Fig. 12 Change of the number of colors for each iteration after quantization with 30 colors

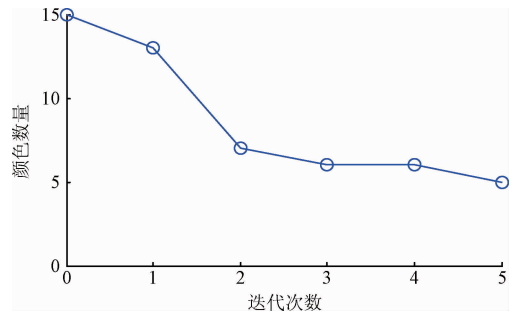


图 13 量化 15 种颜色平均每次迭代颜色种类的变化  
Fig. 13 Change of the number of colors for each iteration after quantization with 15 colors

通过图 12、13 分析可以明显看出,在对图像进行第 2 次迭代时图像颜色合并的效果最为明显,即颜色个数向目标数收敛的速度最快。而后续的迭代过程,颜色种类已经逐渐与目标个数趋于相同。为了进一步分析不同量化算法对角膜老年环分割准确性的影响,在 10 幅选择的测试图像中将基于自组织的分层颜色量化算法(算法 1)、基于分裂层次聚类的颜色量化方法(算法 2)以及基于动态规划与主分析的颜色量化算法(算法 3)进行对比实验,不同量化算法对角膜老年环分割准确性的影响如图 14 所示。

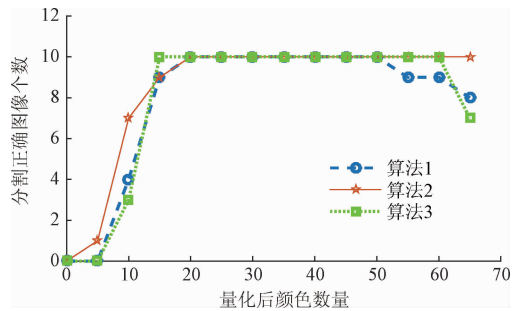
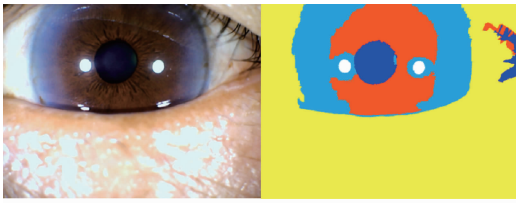


图 14 不同量化算法分割有效性分析  
Fig. 14 The segmentation effectiveness analysis for different quantization algorithms

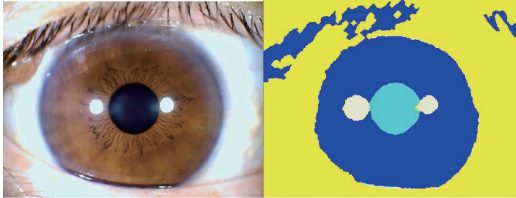
通过上述实验可以看出,当量化后的颜色低于 15 种时,角膜老年环的分割准确性明显降低,当量化颜色大于 60 种时角膜老年环的检测准确率受到影响,其主要原因是量化的颜色种类过多造成个别图像在后续的迭代过程中模板超过图像本身尺度。而颜色量化种类在 15 ~ 60 的 3 种不同的算法对角膜老年环分割准确性的影响上并不明显,即所提出的角膜老年环分割算法在颜色量化算法的选择上并不唯一。

采用本文的算法对具有角膜老年环以及正常虹膜进行分割的结果如图 15 所示。



(a) 具有角膜老年环图像分割结果

(a) The segmentation result for the image with corneal arcus



(b) 正常图像分割结果

(b) The segmentation result for normal image

图 15 本文算法分割结果

Fig. 15 The segmentation results for the proposed method

通过对图库中图像检测结果可以看出,本文算法在对图像进行分割过程中能够去除很多干扰,但是仍有少量图像的检测结果仍然会受到睫毛的影响。主要原因是部分图像睫毛区域相互粘连而且所占面积较大,因此对最终角膜老年环区域的提取不产生影响。

### 5.2 有效性验证实验

由于本文的算法在对目标进行分割过程中利用同一个目标颜色之间的相似性,以及分区内相邻像素之间的关系,该方法属于基于聚类的图像分割算法。传统的聚类方法有 K-means 算法<sup>[26-27]</sup>以及分水岭分割算法等<sup>[28-29]</sup>。分别与这两种传统的聚类方法进行了比较。此外,由于本文的分割方法中应用了颜色的量化<sup>[30]</sup>,与基于颜色量化的图像分割算法也进行了比较。不同方法的分割准确性以及对图像进行分割过程中不同类型噪声对分割算法有效性的影响如表 1、2 所示。

表 1 不同算法对比分析实验

Table 1 The comparison analysis experiment for different algorithms

检测算法	不具有角膜	具有角膜	误识	误拒	分割正确率 P/%	耗时/ ms
	老年环	老年环				
本文方法	1 615	353	48	11	97.0	129
K-means	1 615	353	268	105	81.0	502
分水岭	1 615	353	197	142	82.8	227
颜色量化	1 615	353	92	25	-	316

通过实验分析,本文的方法在识别率上明显高于其他 3 种方法,其主要原因是本文的算法具有较高的鲁棒

性,而且由于算法在进行分割的过程中利用相邻像素量化后的相似性进行分割,对边界模糊的角膜老年环仍然具有较高的分割准确率。算法在不同尺度且相互不重叠分区之间进行处理,明显降低了算法运算时间。影响 K-means 算法的主要原因是种子点的选择容易发生偏差,而且聚类的过程中所花费的时间代价也比较大;影响分水岭算法的主要原因是噪声的影响,尤其图像中睫毛对算法分割准确性影响比较大。影响基于颜色量化分割算法的主要原因是睫毛眼睑的遮挡。

表 2 噪声对不同算法识别准确率的影响

Table 2 Influence of noise on the recognition accuracy for different algorithms

检测算法	纹理影响	光照影响	睫毛眼睑影响	色素斑块	其他因素
					(%)
本文方法	0.81	1.17	0.20	0.00	0.81
K-means	2.13	8.79	4.27	0.66	3.10
分水岭	1.07	5.28	8.28	0.30	2.29
颜色量化	0.20	0.61	3.25	0.86	1.01

为了进一步验证本文算法在实际应用中分割的准确性,本文将文献[9]中系统在医院现场采集的图像应用到本系统中。这些实际采集的图像包括了现实环境应用的各种情况,如眼睑遮挡、光照影响、离焦模糊等多种情况,这些因素对算法检测效果如表 3 所示。

表 3 实际应用采集图像对准确率的影响

Table 3 Influence of noise on the recognition accuracy for the images acquired in practical application (%)

检测算法	纹理影响	光照影响	遮挡影响	色素斑块	坑洞影响	离焦模糊	其他因素
							(%)
本文方法	0.81	1.17	0.31	0.00	0.00	1.01	2.81

通过上述分析,对比表 2 与 3,实际采集图像中一些新的因素对本文的分割算法产生了一定程度的影响,如表 3 中,离焦模糊的图像造成量化过程目标与其他区域的差异性降低从而最终影响分割效果,此外,对于一些角膜老年环程度轻微的患者也对本文算法的分割准确性产生影响(对比表 2 与 3 中的“其他因素”),其主要原因是轻微的角膜老年环与光斑影响产生的色彩信息比较近似。已将本文算法嵌入到研究所开发的计算机辅助虹膜诊断系统,系统界面如图 16 所示,该系统已经初步完成了应用与健康诊断的虹膜图像异常特征检测,能够检测的异常特征除了角膜老年环外,还包括坑洞、色素斑、放射线等。



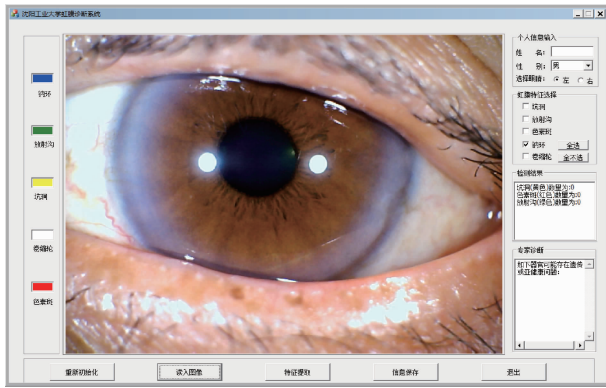


图16 角膜老年环检测系统界面

Fig.16 The interface of the corneal arcus detection system

## 6 结 论

基于多尺度颜色替换的角膜环状特征分割算法能够有效地完成角膜老年环的初步分割,而且能够有效地去除图像中的干扰。本文算法的分割结果可以作为一种角膜老年环检测的预处理手段对于进一步研究定量检测角膜老年环具有重要意义。由于算法在分割的过程中运用到像素之间的位置信息,因此所提算法对于不同目标之间边界较为模糊的情况仍然能够表现出很好的分割效果。当图像中目标区域相对比较小而且分散(不连续)时本文方法并不适用,这个问题也是今后研究的重点内容。

### 参考文献

- [1] 李凤鸣. 眼科全书[M]. 北京:人民卫生出版社,2007. LI F M. Complete collection in ophthalmology [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2007.
- [2] RAJ K M, REDDY P A S, KUMAR V C. Significance of corneal arcus [J]. Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences, 2015,7(1):14-15.
- [3] ANG M, WONG W L, PARK J, et al. Corneal arcus is a sign of cardiovascular disease even in low-risk persons[J]. American Journal of Ophthalmology, 2011: 152-155.
- [4] JR Z L A, HOEG J M. Correlating corneal arcus with atherosclerosis in familial hypercholesterolemia [J]. Lipids in Health and Disease, 2012,33(9):889-891.
- [5] CHAMBLESS L E, FUCHS F D, LINN S, et al. The association of corneal arcus with coronary heart disease and cardiovascular disease mortality in the Lipid Research Clinics Mortality Follow-up Study[J]. American Journal of Public Health, 1990,80(10):1200-1204.

- [6] ELLER A W, GOROVOY I R, MAYERCIK V A. Yellow corneal ring associated with vitamin supplementation for age-related macular degeneration[J]. Ophthalmology, 2012, 119(5): 1011-1016.
- [7] 张林. 老年环与动脉硬化[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.
- [8] RAMLEE R A, RANJIT S. Using iris recognition algorithm, detecting cholesterol presence [C]. International Conference on Information Management and Engineering, 2009,121(1):714-717.
- [9] 常乐, 苑玮琦. 角膜老年环检测方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2015,36(10):2312-2320.  
CHANG L, YUAN W Q. Research on corneal arcus detection method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015,36(10):2312-2320.
- [10] YUAN W Q, ZHANG W, CHANG L. Iris sodium loop detection algorithm [J]. Computer Systems & Applications, 2014,23(9):78-80.
- [11] KUMAR SVM, GUNASUNDARI R. Diagnosis of corneal arcus using statistical feature extraction and support vector machine [J]. Artificial Intelligence and Evolutionary Computations in Engineering Systems, 2016, 394(2): 481-492
- [12] 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.
- [13] 苑玮琦, 王浩. 一种基于椭圆投影的非理想虹膜定位算法[J]. 电子学报, 2011,39(4):958-962.  
YUAN W Q, WANG H. A non-ideal Iris location algorithm based on elliptical projection [J]. Acta Electronica Sinica, 2011,39(4):958-962.
- [14] GUO Y H, SENGUR A. A novel color image segmentation approach based on neutrosophic set and modified fuzzy C-means[J]. Circuits Systems and Signal Processing, 2013,32(4):1699-1723.
- [15] YANG H Y, ZHANG X J, WANG X Y. LS-SVM-based image segmentation using pixel color-texture descriptors[J]. Pattern Analysis and Applications, 2014,17(2):341-359.
- [16] KHAN A, JAFFAR M A, SHAO L. A modified adaptive differential evolution algorithm for color image segmentation [J]. Knowledge and Information Systems,



- 2015,43(3):583-597.
- [17] LI X, JIN L H, SONG E, et al. An integrated similarity metric for graph-based color image segmentation [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2016, 75 (6): 2969-2987.
- [18] Caraiman S, Manta V I. Image segmentation on a quantum computer[J]. *Quantum Information Processing*, 2015, 14(5):1693-1715.
- [19] 赵齐月,毛征,张庆龙,等. 基于局域熵值分布图的目标分割及质心计算[J]. *国外电子测量技术*, 2014, 33(2):33-36.
- ZHAO Q Y, MAO ZH, ZHANG Q L, et al. Target segmentation and centroid calculation based on local entropy distribution[J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2014,33(2):33-36.
- [20] 郭昕. 统计区域合并的彩色图像分割算法[J]. *西安科技大学学报*, 2015,35(3):392-396.
- GUO X. Color image segmentation method of statistical region merging[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2015,35(3):392-396.
- [21] NASUTION A, CAHYA D I. Development of simple digital image acquisition system for an accurate quantification of corneal arcus formation [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2015,771(6):112-115.
- [22] YUE X D, MIAO D Q, CAO L B, et al. An efficient color quantization based on generic roughness measure[J]. *Pattern Recognition*, 2014, 47 (4): 1777-1779.
- [23] WU X L. Color quantization by dynamic programming and principal analysis [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 1992,11(4):348-372.
- [24] ESTEBAN J P, DOMINGUEZ E. Hierarchical color quantization based on self-organization[J]. *Math Imaging Vision*, 2014,49(1):1-19.
- [25] CELEBI M E, WEN Q, HWANG S. An effective real-time color quantization method based on divisive hierarchical clustering[J]. *Journal of Real-Time Image Processing*, 2015,10(2): 329-344.
- [26] AHMED M N, YAMANY S M, MOHAMED N, et al. A modified fuzzy C-means algorithm for bias field estimation and segmentation of MRI data[J]. *IEEE Transaction on Medical Imaging*, 2002,21(3):193-199.
- [27] 高强,李倩. 基于清晰度的彩色图像分割改进算法[J]. *激光与红外*, 2014,44(9):1045-1049.
- GAO Q, LI Q. Improved color image segmentation algorithm based on sharpness [J]. *Laser & Infrared*, 2014,44(9):1045-1049.
- [28] 谢颖. 结合 Mean Shift 和聚类算法的服装图像分割[J]. *电子测量技术*, 2013, 36(8):53-55.
- XIE Y. Segmentation method combined with mean shift and K-mean clustering algorithm for clothing image[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2013, 36 (8): 53-55.
- [29] 李小红,武敬飞,张国富,等. 结合分水岭和区域合并的彩色图像分割[J]. *电子测量与仪器学报*, 2013, 27(3): 247-252.
- LI X H, WU J F, ZHANG G F, et al. New color image segmentation based on watershed and region merging [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*, 2013,27(3): 247-252.
- [30] AN N Y, PUN C M. Color image segmentation using adaptive color quantization and multi-resolution texture characterization[J]. *Signal Image and Video Processing*, 2014,8(5):943-954.

### 作者简介



E-mail:yuan60@126.com

**Yuan Weiqi** received his B. Sc. degree from Hunan University in 1982, and received his M. Sc. and Ph. D. degrees both from Northeastern University in 1988 and 1997, respectively. Now, he is a professor and doctoral supervisor in Shenyang University of Technology. His main research interest includes machine vision detection and biometric identification.



**常乐** (通讯作者), 分别在 2007 年和 2010 年于沈阳工业大学获得学士和硕士学位, 现为沈阳工业大学博士研究生, 主要研究方向为机器视觉检测和图像识别。

E-mail:changle1105@163.com

**Chang Le** (Corresponding author) received his B. Sc. and M. Sc. degrees both from Shenyang University of Technology in 2007 and 2010, respectively. Now, he is a Ph. D. candidate in Computer Vision Group, Shenyang University of Technology. His main research interest includes machine vision detection and image recognition.