

# Research on Image Enhancement Method of Fundus Angiography

Shanshan Zhang Qingyong Zhang\* Jingran Liang

Houbo College, Xinjiang Medical University, Karamay, Xinjiang, 834000, China

## Abstract

Many important diseases in the human body cause specific reactions or complications in the fundus, and clinical fundus lesions are used to assist other disciplines in making correct estimation and diagnosis through fundus lesions. A clearer image can be obtained by the image enhancement method, which is used as an auxiliary reference for the doctor's diagnosis of the condition, thus improving the correctness of the patient's condition determination. This paper uses the image enhancement experiment of the collected fundus retinal images from the airspace, frequency domain and the two combination direction, and finally compares the advantages and disadvantages through two subjective and objective methods. The experimental results show that the best effective among the several methods used in the paper is the histogram equalization method based on the Retinex algorithm.

## Keywords

image enhancement; histogram equalization; Retinex algorithm

## 眼底血管造影成像的图像增强方法的研究

张山山 章庆勇\* 梁景然

新疆医科大学厚博学院, 中国·新疆 克拉玛依 834000

## 摘要

人体很多重要的疾病会在眼底引起特定的反应或者并发症,临床上可以通过眼底病变来协助其他学科做出正确的估计以及诊断。通过图像增强方法可以获得更为清晰的图像,用来作为医生诊断病情的辅助参考,从而提高对患者病情判定的正确性。论文通过对收集到的眼底视网膜图像进行灰度化等预处理,并从空域、频域及两者结合方向,利用MATLAB平台进行图像增强实验,最后通过主观、客观两种方式对比其优劣性。实验结果表明,论文使用的几种方法中效果最佳的是基于Retinex算法的直方图均衡化方法。

## 关键词

图像增强;直方图均衡化;Retinex算法

## 1 引言

虽然人类对信息的获取方式多样,但视觉信息占据了75%~85%,证明很大程度上是依赖眼睛获取到的,而眼底是这个器官中最为重要的部分。人体眼睛病态与否,除了一小部分是玻璃体或者水晶体引起的,其余的绝大多数是因为眼底病变引起的,所以临床上对眼底是否有病变情况极为关注,对于眼部疾患,一般都会先检查眼底情况,以便于能够正确判断病因。

当前医学影像学及相关技术已广泛用于医学领域,并发展为医学临床诊疗中的客观依据,医学影像的处理与

分析技术作为辅助诊疗的关键,具有重要的临床和研究价值<sup>[1]</sup>。血管图像的处理已经成为医学图像处理领域的重要研究课题。

在课题研究中,选取了三张眼底图像,其中包含一张正常和两张病态,并对所选眼底图像使用了十余种图像增强算法,从空间域图像增强算法和频率域图像增强算法以及两者结合的增强算法中分别选择:线性变换、非线性变换、直方图均衡化、基于K-means的双直方图均衡化算法、Retinex算法、低通滤波、带通滤波和高通滤波等方式。大多数情况下,医生的诊断会借助于医学图像,将图像增强技术应用医学图像则可以提高医生诊断的准确性,提升诊断效率,这样一来就能够更加充分地发挥出医疗设备的功能,使医学影像采集设备更好地服务于医学<sup>[2]</sup>。以上所有的算法都在MATLAB中实现,完成一个基于不同算法的眼底血管图像增强过程。图1为选取的三张原始眼底图像,图2为基于不同算法的视网膜血管图像增强的流程。

【作者简介】张山山(1996-),女,中国山东济宁人,本科,从事医学图像处理研究。

【通讯作者】章庆勇(1989-),男,中国辽宁盖州人,硕士,讲师,从事图像处理研究。

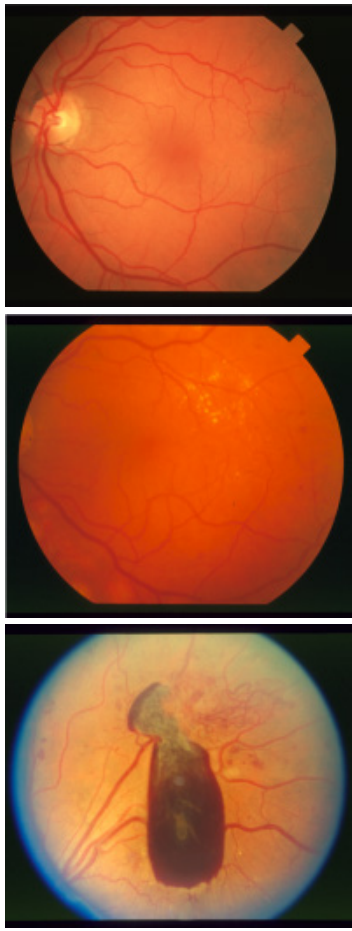


图1 原始眼底图像

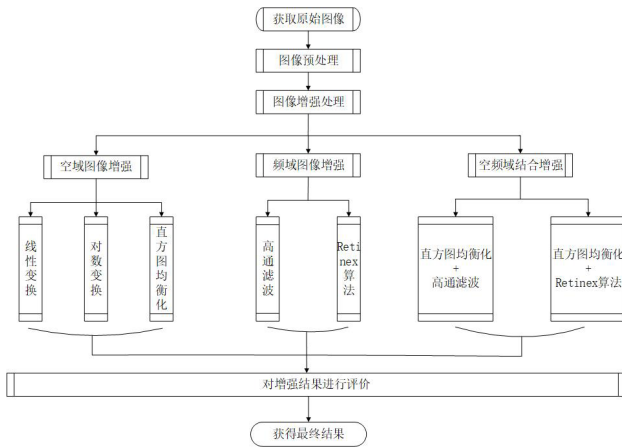


图2 图像分割算法技术路线图

## 2 增强算法概述

### 2.1 线性变换

当图像的曝光度过高或者过低时，图像的灰度范围可能就会比较小。这个时候得到的图像就会模糊不清，并且看不出明显灰度层次的变换。对图像进行线性变换的方法对像素的灰度做线性拉伸，这可以改善图像的视觉效果<sup>[1]</sup>。

线性转化函数就是： $kx+b$ 。其中  $k$  为比例变量， $b$  为偏

移变量。为了找到线性变换增强方法中的最优参数，采用控制变量法进行实验。通过实验获得最优解为  $k$  为 1.5,  $b$  为 -10。

### 2.2 对数变换

对数变换主要用于将图像的低灰度值部分扩展，将其高灰度值部分压缩，以达到强调图像低灰度部分的目的。变换方法由下式给出：

$$s = c \cdot \log_{v+1}(1 + v \cdot r) \quad r \in [0,1] \quad (1)$$

这里的对数变换，底数为  $v+1$ ，实际计算的时候，需要用换底公式，其输入为  $[0,1]$ ，输出也为  $[0,1]$ 。对于不同的底数，其对应的变换曲线也不同。底数越大，对低灰度部分的强调就越强，对高灰度部分的压缩也就越强。相反的，如果想强调高灰度部分，则用反对数函数就可以了。为了找到对数变换增强方法中的最优参数，同样的采用控制变量法进行实验。通过实验获得最优解为  $v$  为 1,  $c$  为 1.1。

### 2.3 直方图均衡化

直方图均衡化主要用于增强动态范围比较小的图像，它的主要思想是利用图像的直方图统计数据对其进行直方图的修改，能够有效处理原始图像的直方图的分布情况，将各个灰度级都能够均匀分布出来，同时调整该图像灰度值的范围，从而增加整个图像的对比度，使得图像具有较大的反差，并且使大部分细节更加清晰<sup>[4]</sup>。传统的算法是要根据直方图增强处理技术的理论而实现的：首先设定原始图像在  $(x, y)$  处的灰度值为  $f$ ，而经过直方图均衡化后的图像其灰度值为  $g$ ，当遇到离散图像的直方图均衡化处理时，所选择的图像增强方法为： $g=EH(f)$ ,  $EH(f)$  为映射函数，前提是满足两个条件（其中图像的像素总数为  $n$ ，分为  $L$  个灰度等级）：  
①  $EH(f)$  在  $0 \leq f \leq L - 1$  范围内是一个单值单增函数；  
② 对于  $0 \leq f \leq L - 1$  有  $0 \leq g \leq L - 1$ ，则直方图均衡化法的映射函数为<sup>[5]</sup>：

$$g_k = EH(f_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k Pr(f_i) \quad (2)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots, L - 1)(0 \leq f_k \leq 1)$$

直方图均衡化的优点在于能够完全自动化，不需要人工参与，但其缺点是只能产生一种近似均衡的直方图，并不能非常好的平衡灰度级数据。通过分析实验结果，论文决定采用自适应直方图均衡化方法来做增强处理，和普通的直方图均衡算法不同，自适应直方图均衡化算法通过计算图像的局部直方图，然后重新分布亮度来改变图像对比度。因此即使在比大多数图像更暗或更亮的区域，也可以增强局部细节。

### 2.4 高通滤波

图像的细节和边缘在频域中相当于高频分量，所以运用频域高通滤波器可以使得图像的细节被强调、边缘被锐化以及图像中的高频分量强调，低频分量被抑制，从而达到锐化图像的目的<sup>[6]</sup>。理想的高通滤波器在频域平面中衰减离源距离小的频域分量，而距离大的频域分量则完全通过，使用

理想的高通滤波器的图像同样会出现振铃现象。巴特沃斯高通滤波器也在其通带与阻带之间存在一个平缓的过渡带，只是它们允许通过和抑制的频率成分不同。

### 2.5 Retinex 算法

Retinex 是一个合成词，它的构成是 retina（视网膜）和 cortex（皮层），是 Edwin·H·Land 于 1963 年提出的建立在科学实验与分析基础上的图像增强方法，其算法是建立在人眼看到的图像是由光线在物体上反射的理论上，将图像分解为入射图像与反射图像，即：

$$S(x, y) = R(x, y) \times L(x, y) \quad (3)$$

其中，L 表示入射分量，R 表示物体的反射性质，S 是反射光被观察者或照相机接收到构成人类视觉观察到的图像。实际上，入射光 L 直接决定了一幅图像中像素所能达到的动态范围，而反射物体 R 则决定了一幅图像的内在性质。故 Retinex 理论的实质就是从图像 S 中获得物体的反射性质 R，即抛开入射光 L 的性质来获取物体本来的面貌。

人眼接收的亮度信息具有非线性特征，所以这里把式（3）转换到对数域中进行处理，从而式中的乘法运算即被转换为加法运算，有

$$\ln I(x, y) = \ln L(x, y) + \ln R(x, y) \quad (4)$$

Retinex 算法最早是为了去雾以及消除阴影，对于图像能够进行视觉感官特征增强，在一定程度上增强了图像的特征，降低了图像的光反射影响因素<sup>[7]</sup>。具体实现步骤如下：首先利用取对数的方法将照射光分量和反射光分量分离；其次用高斯模板对原图像做卷积，并在对数域中，用原图像减去上面得到的图像，得到高频增强的图像，对其取反对数，即可得到增强后的图像；最后，对上图做对比度增强，得到最终的结果图像。

### 2.6 基于 Retinex 算法的直方图均衡化

为了实现对数字图像的增强处理，采用时域直方图均衡和频域高频加强滤波相结合的方法对图像进行了增强处理。两种技术的结合可以使图像的细部特征更加明显，图像更加锐化，其图像增强效果要好于单独采用其中任意一种技术的处理结果<sup>[8]</sup>。

## 3 实验结果与分析

对医学图像处理技术的效果需要合理的评估，即需要对处理后的图像质量进行评价。图像质量评价方法从原则上分为主观评价方法和客观评价方法两大类。论文对于增强效果通过主客观两方面进行评价，客观评价指标主要用到了方差、信息熵、峰值信噪比和模糊系数。

### 3.1 正常眼底图像

由图 3 及表 1 可知，每种增强方式各有优劣，下面进行逐个分析。

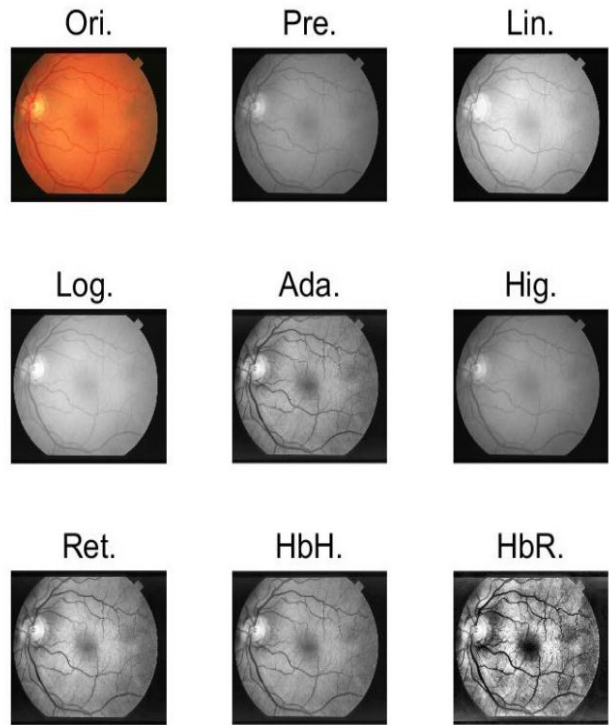


图 3 正常眼底图像与算法增强图

表 1 图 3 中各增强方法结果对比

算法	方差	信息熵	峰值信噪比	模糊系数
原始图像	2838.20	7.2829	Inf	1.0000
线性变换	6321.40	6.9541	42.9931	1.4914
对数变换	5265.10	6.7442	71.3030	1.2467
直方图均衡化	3108.00	7.1882	35.4632	2.9118
高通滤波	2838.50	6.4200	63.1808	0.9995
Retinex 算法	3856.90	7.3994		
基于高通滤波的直方图均衡化	3108.00	7.1882	35.4632	2.9118
基于 Retinex 算法的直方图均衡化	4095.10	7.8105	31.3141	6.8896

先结合视觉效果分析，高通滤波算法无论在亮度还是对比度方面均无明显改善；线性变换及对数变换主要提升了原始图像的亮度，但在对比度方面贡献较小；直方图均衡化和基于高通滤波的直方图均衡化方法增强了原图的对比度，使得血管较原始图像更加分明，但是亮度较低，整体效果有待加强；Retinex 算法和基于 Retinex 算法的直方图均衡化方法使得预处理之后的图像在亮度和对比度方面都有所改善，但是同样也带来了不可避免的噪点问题，但是整体来看，并不影响对于血管的判别。

从评价参数入手，可以发现结果基本和主观判断一致。从整体来讲七种增强算法均起到了不同程度的增强效果，不过高通滤波算法相较于原始图像各项数值变化都非常小；线性变换、对数变换以及基于 Retinex 算法的直方图均衡化方法中方差值变化很大，这也体现了前文提到的亮度增强；



其中基于 Retinex 算法的直方图均衡化方法的信息熵最大，证明了其在提升对比度方面的优越性，不过该方法的峰值信噪比较小和模糊系数较大等特点也说明了其产生了更多的噪点。

### 3.2 背景型糖尿病视网膜病变图像

由图 4 增强效果图及其表 2 可知，这几种增强方式的效果整体大同小异，所以接下来仅分析不同之处。

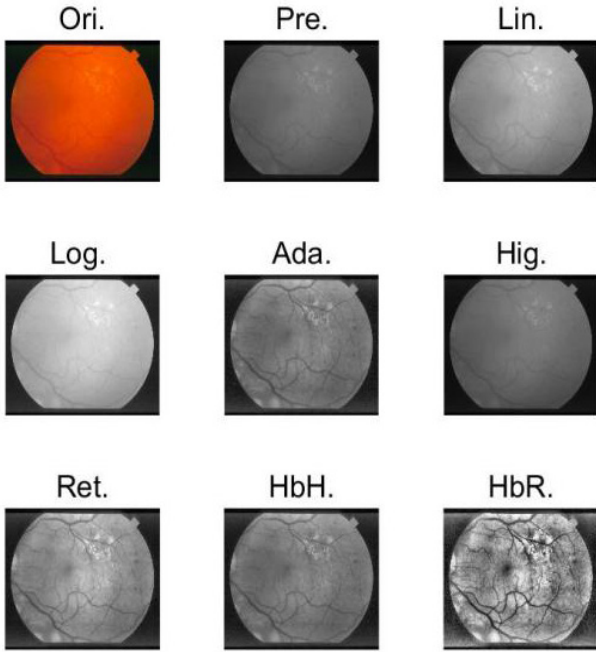


图 4 糖尿病眼底图与算法增强图

表 2 图 4 中各增强方法结果对比

算法	方差	信息熵	峰值信噪比	模糊系数
原始图像	1623.50	6.9937	Inf	1.0000
线性变换	3624.20	6.9417	46.4839	2.0854
对数变换	4723.30	7.1163	81.0148	1.6911
直方图均衡化	1601.10	6.8772	44.0109	4.0954
高通滤波	1622.40	6.4296	61.7953	0.9983
Retinex 算法	2655.30	7.2718		
基于高通滤波的直方图均衡化	1601.10	6.8772	44.0109	4.0954
基于 Retinex 算法的直方图均衡化	2887.60	7.7028	35.7876	9.0900

观察背景型糖尿病视网膜病变图像可知，其血管和背景颜色十分相近，预处理后的图像对比度依然很差，所以要想达到好的增强效果，提高对比度是必不可少的，于是更加体现了基于 Retinex 算法的直方图均衡化这一方法的优越性，所以做了如图 5 所示的对比实验。

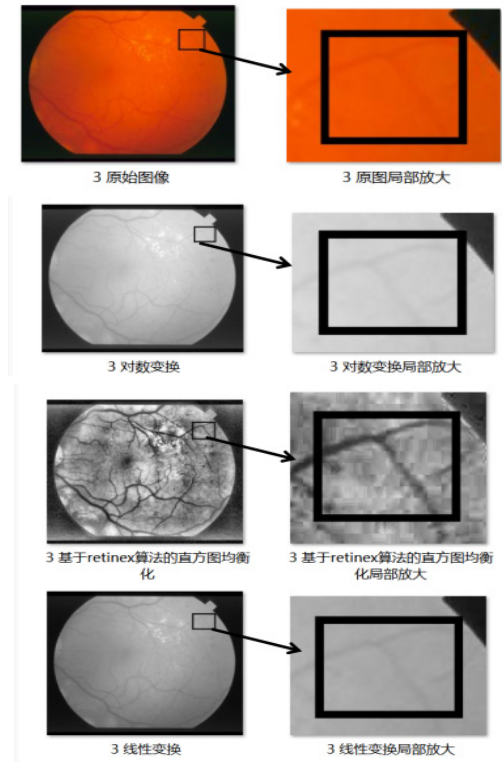


图 5 图 4 中部分图像局部放大图

由图 5 可以明显看出，在其他几张图像中难以发现的血管，在经过基于 Retinex 算法的直方图均衡化的方法处理后变得清晰可见。

### 3.3 增生型糖尿病视网膜病变图像

如图 6 及表 3 所示，原始图像中其他血管比较清晰，仅增生部位异常，经由基于 Retinex 算法的直方图均衡化方法处理过的图像无论是直接用肉眼观察还是查看客观评价数据，都能够证明其优越性。

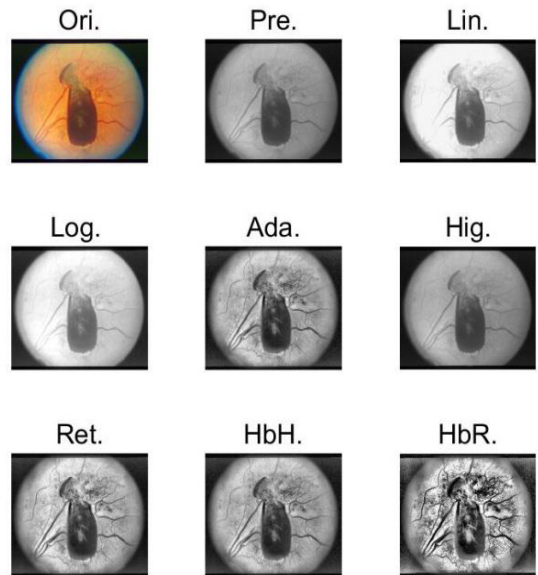


图 6 含痣眼底图像与算法增强图

表3 图6中各增强方法结果对比

算法	方差	信息熵	峰值信噪比	模糊系数
原始图像	3500.10	7.7968	Inf	1.0000
线性变换	7294.20	6.9397	47.7497	1.3046
对数变换	6223.50	7.5169	79.9278	1.3420
直方图均衡化	3707.00	7.6481	32.4195	3.7948
高通滤波	3501.20	7.2734	64.9585	0.9996
Retinex 算法	4408.00	7.8040		
基于高通滤波的直方图均衡化	3707.00	7.6481	32.4195	3.7948
基于 Retinex 算法的直方图均衡化	4096.00	7.9236	29.8711	6.6771

#### 4 结语

20世纪70年代,眼科学领域的研究开始使用图像处理技术。在使用计算机图像分析辅助眼科疾病诊断的过程中,眼底视网膜血管图像起到了重要作用<sup>[9]</sup>。故在课题研究中选择了眼底视网膜图像作为研究对象,分别采用了七种方法进行图像增强,并通过从主、客观评价共同比较处理后的图像,得出了可信度较高的结果。

①对于某种具体的图像增强方式、参数不同,效果也会有差别,所以应该通过大量做实验来找出最优参数。

②不同的实验方法可能得到相似甚至相同的增强效果,所以考虑图像增强方式的优劣时,不能只通过主观意识进行评价,还需要通过客观评价标准将其量化,辅助主观指标进行评价。

③不同的医生对于增强效果的要求不同,有时候对于

增强效果的评价会因人而异。

④部分增强方法会有局限性,不是所有的图像增强方式都适用于眼底图像,过程中除了提到的七种增强方式以外,还做了其他实验,如双直方图均衡化、低通滤波等。通过实验结果发现,双直方图均衡化虽然可以大大增强局部图像,但是也会使得周围部分损失大量像素点,极其影响医生的判断,低通滤波会导致眼底图像更加模糊,不易辨别。

#### 参考文献

- [1] 王玉亮.眼底图像处理与分析中的关键技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [2] 赵麒然.基于改进参数核图割的OCT眼底图像分割方法研究[D].长春:吉林大学,2016.
- [3] 王鑫,孔航,崔雨航,等.基于MATLAB的图像增强算法研究[J].电脑与信息技术,2018,26(2):31-36.
- [4] 朱其刚,朱志强.基于自适应邻域灰度直方图均衡的超声内窥镜图像增强[J].山东科技大学学报(自然科学版),2004,23(3):120.
- [5] 袁丽婷,邱力军.基于MATLAB的X线医学图像增强与直方图处理方法[J].第四军医大学学报,2007(7):12-14.
- [6] 唐思源.高通滤波-直方图均衡化相结合实现图像增强[J].科技传播,2015(7):123+189.
- [7] 刘海龙,马波.肺炎X光图像增强分类识别技术:基于改进Retinex算法[J].分子影像学杂志,2021,44(5):739-743.
- [8] 徐炜君,刘国忠.空间域和频域结合的图像增强技术及实现[J].中国测试,2009,35(4):52-54.
- [9] Kirbas C, Quek F. A review of vessel extraction techniques and algorithms[J].ACM Computing Surveys (CSUR), 2004(2):1136-1138.