**国外研究现状**

Chaudhuri等提出的一种二维匹配滤波方法，该方法的实质是一种基于窗的方法，通过检测图像中每个像素邻域窗的特征，当邻域窗与指定模块匹配时，则增强该点像素。该方法主要是利用表征不同方向12个高斯血管模板作为匹配滤波器来对图像进行滤波，虽然滤波之后图像中的血管结构得到增强，但是该方法可能会丢失血管分叉点和细小的血管。[1]

Nekovei和Ying提出应用多层前馈神经网络检测血管。该方法直接应用神经网络对血管像素进行分类，不需要提前进行特征检测。血管图像滑动窗口的像素直接作为网络的输入。特征向量是以待分类像素为中心子窗口灰度尺度值。手动标记血管的真值图像被作为训练集来设置网络的权重。[2]

Hoover等基于 MFR 图像提取血管，通过采用阈值递减探索、区域特性分析等方法。由于该方法包含大量算法处理所以计算非常复杂。[3]

Klein等人运用Snake模型成功从X射线造影图像中将血管结构提取出来。[4]

Sun和Tolias分别给出了基于追踪的方法：Sun提出了一种以血管中心线、方向、直径和灰度空间连续性为依据的自适应追踪算法；Tolias和Panas提出一种基于模糊的追踪算法。因为模糊聚类方法没有直接利用血管形状和边缘信息，所以噪声对它的影响比较小，但是该方法不仅难于识别并追踪细血管和灰度对比较小的血管，而且起始点的确定也可能发生错误。基于追踪的方法往往需要通过对每段血管设定的直径、宽度、中心点等特征来进行血管追踪，需要通过手动设定起始点和结束点。[5]

Frangi等在血管放大滤波器的情景下检验图像（Hessian）二阶局部结构。测量血管通过分析Hessian矩阵的特征值。发现图像局部二阶结构在原始方向已经分解，给出了沿着血管最小曲率方向。最终的血管测量用几何比例，特征值和费罗蓓标准矩阵。二维剪影血管造影和三维腹主动脉以及脑共振血管造影用于测试。许多尺度方法都是依据血管放大滤波器。[6]

Sinthanayothin等提出运用神经网络后通过主成分分析来定位视网膜图像的血管结构。[7]

Can提出了一种快速自动的视网膜图像血管探测跟踪算法，该方法不需要对图像进行预处理操作，直接利用图像灰度信息即可较好地处理分支点的问题。[8]

Niemeijer提取RGB图像绿色平面和高斯匹配滤波响应，以及一阶和二阶倒数作为特征向量。尺度是1,2,4,8,16个像素。然后应用k近邻算法估计像素属于血管的概率。通过给概率图设置阈值从而获得二值脉管结构。[9]

Staal等人提取图像中灰度起伏变化的信息与k-NN分类器相结合设计了分割方法。由于血管的细长结构是血管本质特征。基于血管的自然指标和血管中心线相结合，提取图像脊。[10]

Paulus等提出图像形态学新的滤波方法，适合于分割高分辨图像中的大血管。[11]

Mendonca等人把检测血管的脊线和形态学处理后的图像位图结合起来检测血管。这类方法运算速度快，对一些图像噪声比较鲁椿，但是，对于血管的交叉和弯曲度比较高的区域信息利用不充分。[12]

Cai等提出血管追踪方法是利用轮廓模型追踪最终分割血管。[13]

Soares等提出利用二维小波和有监督分类相结合分割视网膜血管图像。其中的特征向量由像素的强度和多尺度小波变换组成。贝叶斯分类器对血管像素进行分类。视网膜图像中所有点都被视为视为特征向量，并将其分成血管和非血管两类。用于训练的图像是专家手工分割图像。[14]

Ricci和Perfette根据每一个像素各个方向上一定长度的线段的亮度值来提取特征与支持向量机结合来有效的分割血管。应用一个线性检测器应用于绿色RGB图像，并且获得非监督像素分类阈值。另外用两个直线交叉检测器结合支持向量机用于有监督分类。[15]

Sofka融合匹配滤波响应、置信测量以及血管边界的比例测量用于提取血管的中心线。[16]

Sum等提出用水平集的方法检测血管。[17]

Lam提出一种检测病理图像视网膜血管的方法。使用拉普拉斯运算符并根据血管中心线修剪嘈杂对象从而提取血管相似性结构，检测使用归一化梯度向量场。[18]

Espona等提出比较像素和基于蛇形模型的亚像素来检测眼底图像血管。这个模型受传统蛇模型启发，结合主要的专业知识利用视神经盘自动定位并提取血管中心线。[19]

Narasimha提出一个框架检测视网膜血管。改善处理的“中央反射”现象即血管有“空心外观”，改善血管分割方法需要提高血氧定量法。一个血管亮度横截面的双高斯模型代替高斯模型有显著改善。[20]

Aldiri等建立活动轮廓模型来提取血管。[21]

Osareh和Shadgar首先对图像进行多尺度小波滤波，然后用主成分分析提取特征。小波滤波的参数经过实验择优调试。通过高斯混合模型获取特征集合支持向量机判断是否是血管像素。[22]

Lam等通过利用血管的形状建模来检测血管。[23]

Bob等用高斯函数的一阶导数代替原始零均值高斯函数，然后阈值化高斯匹配滤波后的结果图，通过逻辑“或”操作，进行视网膜血管的提取。[24]

Lupasce等人提取了41维的特征与AdaBoost分类器结合来分割血管，41维特征向量是从不同尺度空间测量的集合，包括了通过灰度增强、多尺度的高斯滤波等处理后的特征。这些特征向量详细的描述的血管相关的图像性能。[25]

Lathen等人提出结合线性和边缘检测在多个尺度下用正交滤波器。滤波结果很好的定义血管线性结构，明显的边缘有利于分割。[26]

You使用支持向量机来进行视网膜血管分割。径向投影的方法来定位血管的中心线，监督分类的方法主要用于提取血管的主要结构，最后将血管的中心线与提取出的血管结构进行整合，得到最终的视网膜图像血管分割结构。[27]

Marin等提出基于监督的神经网络血管分割方法。用灰度级和时刻旋转不变性组成的7维特征向量。多层前馈神经网络用于训练和分类。输入层包含7个神经元，三个隐层每层包含15个神经元，输出层由一个神经元组成。[28]

Cheng提出基于学习的视网膜血管分割方法。建立一个特征池包含局部、小波以及Haar特征，用随机森林对血管像素进行分类。[29]

Nilanjan等提出模糊C均值聚类用于分割视网膜血管。用颜色归一化和局部对比度增强作为预处理。[30]

Gegundez等提出一个评估视网膜血管分割的全局性能函数。这个函数是基于血管结构特征比如可测量面积和长度的连接段。这个设计对解剖血管特征敏感。[31]

Rossant等提出一个基于形态学和拓扑分割的眼底血管分割方法。预处理步骤包括形态学滤波增强，在两个不同尺度用线性滤波器对图像进行顶帽变换，获得补充信息。然后用路线滤波器提取线性结构，最后自动阈值分割。[32]

Muhammad等提出一个有监督的视网膜血管分割方法。运用装袋和引导决策树组成的系统，应用一个特征向量，基于梯度向量场的方向分析，形态学转变，线性测量和高斯滤波响应。这些特征向量编码信息处理健康和病变的视网膜图像。[33]

Bankhead等提出一种可应用在低和高分辨率的眼底照片和荧光素血管造影且只需要调制少数直观参数的视网膜血管分割方法。首先用小波检测血管，然后计算垂直通过每个血管中心线的样条拟合更加精确的定位边缘，所以血管的局部和非局部直径可以很好的量化。[34]

Oliveeira等提出结合相关的滤波器和提取Hessian矩阵特征值有效分割血管。这个方法用一个阈值分割图像。[35]

Rouchdy等提出用测地线的路径提取视网膜血管，用最小耦合作用。这个方法包含计算分布在图像上一些点构成的测地线，在血管上有一个高的测地线密度。这个测地线密度用于估计血管的中心线和血管壁。[36]

Dai提出一种新的血管分割方法。先用一系列的线性检测器检测血管中心线，然后迭代测地线时间转换用来设计分割整个血管网络。使用中心线像素作为初始参考集，并计算获选血管像素和自适应参考集更新策略之间的测地线时间。整个血管网络是一个二进制图像。[37]

Dey等提出一种模糊C均值聚类的方法分割视网膜图像血管。[38]

Hu等人提出两种方法分割视网膜血管图像。第一种方法是用眼底相机直接分割应用k近邻像素分类器，分割的结果通过眼底相机的记录映射到SD-OCT量。第二种是多模式血管分割方法，眼底到SD-OCT记录之后，用来自两个模式的特征同时进行k近邻分类器分割。来自视网膜内层和神经管的三维结构信息通过图分割方法获得，和高斯滤波器组以及小波结合作为特征。[39]

Raja等提出平行的方法来分割高分辨率视网膜图像血管。用平行的环境、平行的算法来分割每一个高分辨率图像在合理时间内。[40]

Widjaja利用不同宽度、不同方向的双高斯函数对视网膜血管进行匹配滤波，并使用墨西哥小帽滤波来增强血管，该方法与传统的匹配滤波相比，不需要阈值处理就可以很容易地从背景中识别出血管。Hannink等提出用多尺度方向分数和血管滤波器来解决交叉和分支问题，从而提取血管。[41]

Fazli等提出彩色视网膜图像血管分割方法。通过增强灰度图像的直方图作为预处理，研究线性和非线性亮度变换对视网膜血管分割的影响。主要用高斯匹配滤波和高斯匹配滤波的一阶导数。[42]

Nazari等人提出新的视网膜血管分割方法。提出有效的预处理来降低照明不均匀的影响，用图像的红色和绿色通道。用二维小波滤波器组提取血管，然后灰度级阈值化并且基于标记血管候选的结构性能提取大和细血管。[43]

Odstrcilik等改善匹配滤波概念，提出一个新颖和准确的方法用于分割视网膜血管图像。目标是分割高分辨率图像中不同直径的血管。所有最近的作者对比血管分割结果应用低分辨率视网膜数据库。结果，本文提出一个高分辨率眼底图像数据库，包含健康和病变图像。[44]

Nguyen等提出基于改变一个基本线性检测器的长度的方法自动提取彩色视网膜图像中的血管。可以获得不同尺度线性检测器。为了获得每个线性检测器的优点排除缺点，不同尺度的线性反应线性的结合到一起产生每幅图像最终的分割结果。[45]

Orlando等提出基于区别训练并完全连接的条件随机场模型分割视网膜图像血管。[46]

Bakkers等提出基于多方向分析的血管追踪方法提取血管。追踪交叉口、分支、平行血管以及追踪不同宽度。[47]

Jimenez 和Carmona提出在彩色眼底图像形成视网膜血管网络。基于建立一个新的执行器SMLBP来获取图像中每个像素的特征向量。建立一个特征的数据库并且训练一个变革的神经网络。这个算法运算速度低，并且简单。[48]

Mapayi等提出基于灰度共生矩阵能量信息的一个局部自适应阈值技术用于视网膜血管分割。不同阈值通过灰度共生矩阵计算。[49]

Temitope等对比不同的基于全阈值血管分割技术的性能，全阈值是基于相位一致和自适应的直方图均衡化来处理视网膜图像。结果表明结合预处理技术，全阈值和后处理技术的选择会获得好的分割性能。[50]

Azzopardi等提出B-COSFIRE方法自动分割视网膜图像血管，B代表血管抽象结构。是基于COSFIRE（改变滤波器响应组合）方法。B-COSFIRE滤波器通过计算不同高斯滤波器输出的加权几何平均值实现取向选择性，支持的共线方式是一致的。由于滤波器的选择性是由给定的血管相似性模型决定，所以滤波器是通用的。设置两个B-COSFIRE滤波器，通过阈值化两个滤波器响应分割血管。[51]

**国内研究现状**

Liu等提出一个自动识别二维血管网络算法，在一个三级递归过程中使用一种自适应跟踪算法。首先给定一个初始位置和方向，段血管网络被识别。第二通过填补它与周围背景的像素值，检测段从血管造影删除。第三所有的分支点用沿着血管边缘的滤波检测。[52]

张恒义采用非线性化图像处理方法，对眼底图像进行去噪和分割，提取血管中心线。[53]

许雷等人在分析正常与病变状况下眼底图像特点的基础上，建立眼底血管网络模型，首先提取血管粗骨架，然后对该骨架使用算子计算过零点，加以修正后得到精确的血管边界点。[54]

林土胜介绍在自适应灰度校正的基础上，利用拆支跟踪法提取互连通型网孔的特征链码，采用最小差别准则实现视网膜血管形态识别。[55]

Gang等提出通过高斯函数估计血管剖面图以及一个振幅改进的二阶高斯滤波器用来检测和测量血管。[56]

朱宏擎[36]在二维匹配滤波预处理的基础上，利用灰度梯度共生矩阵的最大熵方法较好地提取出视网膜血管网络，但对于血管扭曲过大的地方分割较差，且分割速度较慢。[57]

汤敏采用了网格划分图像，然后对网格区域进行Otsu阈值分割，最后对其他相邻网格进行区域生长得到分割结果。[58]

仇恒志等人首先采用数学形态学算子和匹配滤波器增强两个尺度的血管图像，然后基于直方图的加权模糊C均值聚类算法和形态学细化算子提取血管的近似中心，再根据正规化图像的方向场加强其局部线性特征，最后合并基于近似中心线的二值形态学重构结果和小尺度匹配滤波后的结果得到最终的血管分割结果。[59]

姚畅提出了一种基于脉冲耦合神经网络和分布式遗传算法的视网膜自动分割方法。[60]

谢浩提出对视网膜图像在多个方向进行一系列的运算操作来进行滤波，利用血管网络的中心线和交叉点为基础，采用血管网络相似性的配准方法，基本完成图像连接。[61]

Zhang等人提出用高斯匹配滤波和高斯一阶导数组成一对滤波器组检测视网膜血管。通过一阶滤波器响应调整阈值，对高斯滤波阈值化从而检测血管。[62]

Jiang等提出一种新的基于结构方法用于评估二维和三维曲线结构检测算法。考虑两个方面的性能，叫做检测率和检测尺度。提出的性能测量提供一个更加有益精确的性能特性。[63]

Yin等提出一个概率性追踪方法检测视网膜血管。跟踪过程中，血管边缘点通过迭代局部灰度级统计和血管连续性属性来检测。统计抽样方案采用选择一些血管边缘候选点在局部学习区域。局部血管的截面强度剖面图通过高斯型曲线估计，最大后验概率贝叶斯法然后用来识别局部血管结构并从候选点中找到边缘点。[64]

Xiao等人提出空间约束的贝叶斯方法分割视网膜图像血管。假设每一个像素的后验概率是依据它邻域的后验概率，定义一个能量函数。用改进的水平集方法使提出的能量函数最小，可以识别出视网膜图像的血管。[65]

Wang等提出一个综合的方法分割视网膜血管。不需要预处理和训练并且可以被用在不同的图像集。用多小波核匹配滤波增强血管，根据亮度和局部特征区分血管。获取最有分解有一个必要条件源于相关的控制细节数量的价值尺度参数。最后，通过局部自适应阈值获得血管的二值图.[66]

罗汉源提出一种基于窗操作的灰度投票算法用于眼底图像增强。采用二维小波滤波提取视网膜的主要结构，并将其与灰度投票结果进行增强。[67]

王晓红提出一种基于特征识别的视网膜血管分割方法。首先进行特征提取，随后将得到的特征向量输入误差反向传播神经网络，对视网膜血管和背景进行分类识别。[68]

张佳提出一种基于贝叶斯判决理论的血管追踪算法，可以有效的自动检测视网膜血管网络。同时该算法在分割血管的同时可以提供血管半径变化以及血管结构信息。[69]

闵锋提出通过对视网膜血管进行形态学操作，获取精确的病变区域检测结果，然后将其从血管分割结果中去除，并将病变区域内断裂的血管根据梯度和方向相似的原则进行连接，得到最终的血管网络。[70]

王晓红提出采用不同尺度的2D小波对视网膜图像进行变换，并进行形态学重构和区域生长对变换后的图像进行分割。[71]

张春剑提出在眼底视网膜图像上进行阴影修正、双边滤波等预处理，然后在0-180度的范围内利用方向检测算则以12个方向对视网膜血管中心线进行提取，最终再讲各个方向检测到的方向线综合在一起形成完整的视网膜血管中心线。[72]

Zhao等提出基于水平集和区域生长的视网膜血管分割方法。首先，一个视网膜血管图像进行对比度受限的自适应直方图均衡化和二维小波增强血管，然后，一个各向异性扩散滤波器用来平滑图像并保护血管边界。最后区域生长方法和一个基于区域的水平集活动轮廓模型来提取血管。[73]

韩哲提出通过对每一个像素所在的局部区域提取特征，用支持向量机对图像进行处理得到最终的分割结果。[74]

翟丽红提出基于多尺度线性检测和图像局部熵阈值的视网膜血管分割算法，该算法的创新点在于不仅能够正确处理存在中央反射的血管分割问题,还能够正确处理紧邻血管分割容易出现合并的问题,同时也具备分割出更多细小的毛细血管的优点。[75]

白冰提出用二维小波变换变换方法，通过像素的多少表征血管的不同特征，设定特征参数获取最理想的眼底血管分割图像。不仅能使视网膜图像中主动脉和静脉清晰化，还能准确找到血管中心点，计算出半径差值，最终达到诊断糖尿

病的目的。[76]

尹文龙提出用马尔科夫理论来分割眼底视网膜血管，并应用到青光眼的诊断上，取得一定效果。利用马尔科夫随机场模型对视网膜纹理进行建模，在通过最小二乘法估计GMRF参数，模型参数作为纹理的特征向量用于分类健康和青光眼的眼底视网膜神经纤维。[77]

Li等人提出有监督方法分割视网膜图像，把分割看作从视网膜图像到血管图的交叉模式数据转换问题。一个很强推理能力的神经网络用于模拟转换，提出一个有效的训练方法。神经网络可以标记图像块中的所有像素。[78]

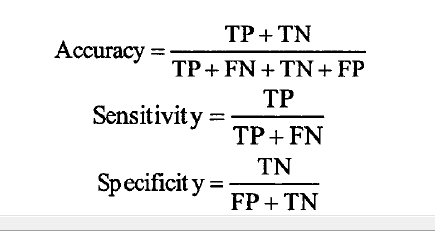
Zhao等人应用图像的混合区域信息从而提出无限活动轮廓模型来检测血管。用gamma邻域的边界的勒贝格测度，更好的检测小分支结构。运用不同区域信息的优点，比如结合亮度信息和基于增强图的局部段。基于增强图的局部段用于保护图像的边界，亮度保证正确的特征分割。[79]

吴奎提出一种特征提取和基于监督学习的视网膜血管分割方法。对处理后的图像感兴趣区域(ROI)做了膨胀处理并设计了基于YIQ颜色空间模型的眼底视场提取(FOV)方法，研究了一种基于COSFIRE滤波模型的特征提取方法,与绿色通道共同构建了一个三维特征向量库。[80]

**三．性能指标**

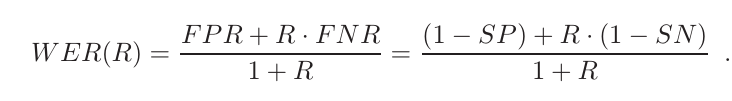
视网膜血管分割的结果是基于像素的分类结果。无论是血管还是周围的像素都需要分类。结果有四种可能：两种正确的，两种错误的分类。真阳性（TP）表示分割正确的血管点，假阳性（FP）表示分割错误的血管点，真阴性（TN）表示分割正确的背景点，假阴性（FN）表示分割错误的背景点。

通过像素点分割结果可以计算出准确度（accuracy,Acc）、灵敏度（sensitivity,Sn）和特异性（specificity,Sp）3个衡量方法性能的指标。Acc表示分割正确的像素点占整个图像像素点总和的比例，Sn表示分割正确的血管点像素占金标准血管点像素总和的比例；Sp是表示分割正确的背景点像素占金标准背景点像素总和的比例。【42】



ROC曲线（receiver operating characteristic curve）是衡量二分类问题，也是衡量血管分割准确度的重要曲线。以假阳性率（特异度）为横坐标，真阳性率（灵敏度）为纵坐标绘制的曲线。该曲线越接近左上角，表示分割结果越精确。AUC（Area under the curve）是ROC曲线下方的面积大小，也是用来度量血管分割方法性能的一个重要标准，AUC值越接近1，表示该对应血管分割方法性能越好。

用一个更加通用的方法，两种测量，灵敏度和特异度结合一个权重错误率定义为：



C:\Users\000\AppData\Roaming\Tencent\Users\1574293590\QQ\WinTemp\RichOle\L2HUVT[RP$%C)YCZHCNICCR.png是FPR和FNR之间的成本率（R=1表示相等的惩罚）。在DIARETDBD1中拟定下面测量：WER（10-1）（FPR是一个小伤害的数量级），WER（1）（FPR和FNR同样有害），WER（10）（FNR是一个更有害的数量级）。这些测量从最近的正确的点计算在ROC曲线上没有插值。【52】

**四、分割血管难点**

（1）视网膜血管的弯曲度分析，特别是多个视网膜血管交叉到一起的情况。在该种条件下视网膜在进行特征提取时，与交叉区域临近的视网膜血管会出现融合现象。这是由于视网膜血管在交叉区域的视网膜背景部分范围较窄，在进行特征变换时，该类视网膜背景得到的数值会比其本身数值要大，甚至接近于视网膜血管的变换值。

（2）视网膜血管的宽度分析，现有的算法中对视网膜宽度分析比较粗糙。而且由于视网膜血管网络比较复杂，在不同位置的视网膜血管的宽度大小不一致，很难用较为准确的视网膜宽度计算方法进行统计。而视网膜血管的宽度变化情况对视网膜疾病的诊断又具有重要意义。

（3）此外，还有对视网膜图像病变区域的分析，如何准确识别这类组织，更加精确分割视网膜血管，是视网膜血管分割技术需要改进的关键。特别是如何将视网膜病变区域信息与相应的视网膜疾病进行对应，也是该类问题研宄的主要方面。【42】

（4）目前只能检测硬性渗出，还没有考虑微血管瘤，软性渗出等其他病变类型，需要根据不同病变类型的特征寻找相应的病变检测方法，避免不同病变特征之间可能的相互影响，这将是下一步致力解决的问题．【44】

（5）由于在拍摄视网膜图像的过程中存在一些问题，例如，光照条件的不理想会导致图像的质量差、对比度弱等，这些问题均会影响血管网络的提取。因此，对视网膜图像进行预处理是必不可少的操作。

（6）视网膜图像中，有些血管管径的大小为单个像素，也有些血管的管径达到十几个像素。目前提出的众多算法中，管径较大的血管大部分算法都能够准确提取，其准确度也在不断改善和提高。但是在提取血管的过程中，细小的血管却很容易丢失，从而影响血管提取结果的精度。因此，细小血管的提取需要进行更深入地研究来不断完善血管的整体分割结果。【48】

**文献**

1. Chaudhuri S, Chatterjee S, Katz N, et al. Detection of blood vessels in retinal images using two-dimensional matched filters[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1989, 8(3):263-269.
2. Nekovei R, Sun Y. Back-propagation network and its configuration for blood vessel detection in angiograms[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1995, 6(1):64-72.
3. Hoover A, Kouznetsova V, Goldbaum M. Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1997, 19(3):203-210.
4. Klein A K, Lee F, Amini A A. Quantitative coronary angiography with deformable spline models.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1997, 16(5):468-82.
5. Tolias Y A, Panas S M. A fuzzy vessel tracking algorithm for retinal images based on fuzzy clustering[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1998, 17(2):263-27
6. Alejandro F. Frangi, Wiro J. Niessen, Koen L. Vincken and Max A. Viergever. Multiscale Vessel Enhancement Filtering[C]// International Conference on Medical Image Computing & Computer-Assisted Intervention. Springer-Verlag, 1998:130-137.
7. Sinthanayothin C, Boyce J F, Cook H L, et al. Automated localisation of the optic disc, fovea, and retinal blood vessels from digital colour fundus images.[J]. British Journal of Ophthalmology, 1999, 83(8):902-910.
8. Can A, Shen H, Turner J N, et al. Rapid automated tracing and feature extraction from retinal fundus images using direct exploratory algorithms[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 1999, 3(2):125-38.
9. Niemeijer M, Ginneken B V, Loog M. Comparative study of retinal vessel segmentation methods on a new publicly available database[J]. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2004, 5370:648-656.
10. Staal J, Abràmoff M D, Niemeijer M, et al. Ridge-based vessel segmentation in color images of the retina.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2004, 23(4):501-9.
11. Paulus D, Chastel S, Feldmann T. Vessel segmentation in retinal images[J]. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2005, 5746(2):117-124.
12. Mendonça, A.M, Campilho A. Segmentation of retinal blood vessels by combining the detection of centerlines and morphological reconstruction.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2006, 25(9):1200-13.
13. Cai W, Chung A C S. Multi-resolution Vessel Segmentation Using Normalized Cuts in Retinal Images[C]// Medical Image Computing & Computer-assisted Intervention: Miccai International Conference on Medical Image Computing & Computer-assisted Intervention. Med Image Comput Comput Assist Interv, 2006:928--936.
14. Soares J V, Leandro J J, Cesar Júnior R M, et al. Retinal vessel segmentation using the 2-D Gabor wavelet and supervised classification.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2006, 25(9):1214 - 1222.
15. Ricci E, Perfetti R. Retinal Blood Vessel Segmentation Using Line Operators and Support Vector Classification[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2007, 26(10):1357-65.
16. Sofka M, Stewart C V. Erratum to “Retinal vessel centerline extraction using multiscale matched filters, confidence and edge measures”[J]. Medical Imaging IEEE Transactions on, 2007, 26:133-133.
17. Sum K W, Cheung P Y. Vessel extraction under non-uniform illumination: a level set approach.[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2008, 55(1):358-360.
18. Lam B Y, Yan H. A novel vessel segmentation algorithm for pathological retina images based on the divergence of vector fields.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2008, 27(2):237-46.
19. Espona L, Carreira M J, Penedo M G, et al. Comparison of Pixel and Subpixel Retinal Vessel Tree Segmentation Using a Deformable Contour Model[C]// Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications, Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, Ciarp 2008, Havana, Cuba, September 9-12, 2008. Proceedings. 2008:683-690.
20. Narasimha-Iyer H, Mahadevan V, Beach J M, et al. Improved Detection of the Central Reflex in Retinal Vessels Using a Generalized Dual-Gaussian Model and Robust Hypothesis Testing[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2008, 12(3):406-10.
21. Aldiri B, Hunter A, Steel D. An active contour model for segmenting and measuring retinal vessels.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2009, 28(9):1488-97.
22. Osareh A, Shadgar B. Automatic blood vessel segmentation in color images of retina[J]. Iranian Journal of Science & Technology Transaction B Engineering, 2009, 33(2):191-206.
23. Lam B S, Gao Y, Liew A W. General retinal vessel segmentation using regularization-based multiconcavity modeling.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2010, 29(7):1369-1381.
24. Zhang B, Zhang L, Zhang L, et al. Retinal vessel extraction by matched filter with first-order derivative of Gaussian.[J]. Computers in Biology & Medicine, 2010, 40(4):438-45.
25. Lupaşcu C A, Tegolo D, Trucco E. FABC: retinal vessel segmentation using AdaBoost.[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine A Publication of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society, 2010, 14(5):1267-74.
26. Läthén G, Jonasson J, Borga M. Blood vessel segmentation using multi-scale quadrature filtering[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(8):762-767.
27. You X, Peng Q, Yuan Y, et al. Segmentation of retinal blood vessels using the radial projection and semi-supervised approach[J]. Pattern Recognition, 2011, 44(10):2314-2324.
28. Marin D, Aquino A, Gegundez-Arias M E, et al. A new supervised method for blood vessel segmentation in retinal images by using gray-level and moment invariants-based features.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2011, 30(1):146-58.
29. Cheng, E., McLaughlin, S., Megalooikonomou, V., Bakic, P.,Maidment, A., Ling, H.: Learning-based vessel segmentation inmammographic images. In: Proc. of the IEEE Int’l Conf. on Healthcare Informatics, Imaging and Systems Biology (2011)
30. Dey N, Roy A B, Pal M, et al. FCM Based Blood Vessel Segmentation Method for Retinal Images[J]. International Journal of Computer Science and Network(IJCSN),Volume 1, Issue 3, June 2012,ISSN 2277-, 2012, 1(3).
31. Gegúndez-Arias M E, Aquino A, Bravo J M, et al. A function for quality evaluation of retinal vessel segmentations.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2011, 31(2):231-9.
32. Rossant F, Badellino M, Chavillon A, et al. A Morphological Approach for Vessel Segmentation in Eye Fundus Images, with Quantitative Evaluation[J]. Journal of Medical Imaging & Health Informatics, 2011, 1(1):42-49.
33. Muhammad Moazam F, Paolo R, Andreas H, et al. An ensemble classification-based approach applied to retinal blood vessel segmentation.[J]. IEEE transactions on bio-medical engineering, 2012, 59(9):2538-48.
34. Bankhead P, Scholfield C N, Mcgeown J G, et al. Fast Retinal Vessel Detection and Measurement Using Wavelets and Edge Location Refinement[J]. Plos One, 2012, 7(3):: e32435.
35. Oliveira W S, Ren T I, Cavalcanti G D C. Retinal vessel segmentation using Average of Synthetic Exact Filters and Hessian matrix[C]// 2012:2017-2020.
36. Rouchdy Y, Cohen L D. Retinal blood vessel segmentation using geodesic voting methods[J]. Proceedings, 2012, 74(1):744-747.
37. Dai B, Bu W, Wu X, et al. Retinal vessel segmentation via Iterative Geodesic Time Transform[C]// Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on. IEEE, 2012:561-564.
38. Dey N, Roy A B, Pal M, et al. FCM Based Blood Vessel Segmentation Method for Retinal Images[J]. International Journal of Computer Science and Network(IJCSN),Volume 1, Issue 3, June 2012,ISSN 2277-, 2012, 1(3).
39. Hu Z, Niemeijer M, Abràmoff MD, et al. Multimodal retinal vessel segmentation from spectral-domain optical coherence tomography and fundus photography.[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2012, 31(10):1900-11
40. Raja J B, Ravichandran C G. Blood Vessel Segmentation For High Resolution Retinal Images[J]. International Journal of Computer Science Issues, 2013, 8(6).
41. Widjaja J, Suripon U. Retinal blood vessel detection using wavelet-matched filter[J]. Optical Engineering, 2013, 52(3):254-260.
42. Fazli S, Samadi S, Nadirkhanlou P. A novel retinal vessel segmentation based on local adaptive histogram equalization[C]// Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing. 2013:131-135.
43. Nazari P, Pourghassem H. An automated vessel segmentation algorithm in retinal images using 2D Gabor wavelet[C]// Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing. 2013:145-149
44. Odstrcilik J, Kolar R, Budai A, et al. Retinal vessel segmentation by improved matched filtering: evaluation on a new high-resolution fundus image database[J]. Iet Image Processing, 2013, 7(4):373-383.
45. Nguyen U T V, Bhuiyan A, Park L A F, et al. An effective retinal blood vessel segmentation method using multi-scale line detection[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(3):703-715.
46. Orlando J I, Blaschko M. Learning Fully-Connected CRFs for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images[C]// Miccai. 2014:634-41.
47. Bekkers E, Duits R, Romeny B T H, et al. A New Retinal Vessel Tracking Method Based on Orientation Scores[J]. Journal of Mathematical Imaging & Vision, 2014, 49(3):583-561.
48. Rodríguez-Jiménez A, Carmona E J. Blood Vessel Segmentation in Retinal Images based on Local Binary Patterns and Evolutionary Neural Networks[C]// International Work-Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. 2014.
49. Mapayi T, Viriri S, Tapamo J R. Adaptive Thresholding Technique for Retinal Vessel Segmentation Based on GLCM-Energy Information[J]. Computational & Mathematical Methods in Medicine, 2014, 2015.
50. Temitope Mapayi, Serestina Viriri, and Jules-Raymond Tapamo, “Comparative Study of Retinal Vessel Segmentation Based on Global Thresholding Techniques,” Computational and Mathematical Methods in Medicine, vol. 2015, Article ID 895267, 15 pages, 2015. doi:10.1155/2015/895267
51. Azzopardi G, Strisciuglio N, Vento M, et al. Trainable COSFIRE filters for vessel delineation with application to retinal images[J]. Medical Image Analysis, 2015, 19(1):46-57.
52. Liu I, Sun Y. Recursive tracking of vascular networks in angiograms based on the detection-deletion scheme[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1993, 12(2):334-341.
53. 张恒义, 蒋黔麟. 基于视网膜血管模型的图像分割与血管提取[J]. 电子学报, 1999, 27(6):65-67.
54. 许雷, 郑筱祥, 俞锋,等. 基于眼底视网膜血管网络模型的血管提取方法[J]. 浙江大学学报:工学版, 1999(4):386-392.
55. 林土胜, 秦华标. 基于拆支跟踪法提取特征的视网膜血管形态识别[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2000(5):54-58.
56. Gang L, Chutatape O, Krishnan S M. Detection and measurement of retinal vessels in fundus images using amplitude modified second-order Gaussian filter[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2002, 49(2):168-172.
57. 朱宏擎. 基于灰度-梯度共生矩阵的视网膜血管分割方法[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(9):1485-1488.
58. 汤敏, 王惠南. 彩色视网膜血管图像的自动分割算法[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(7):1281-1285.
59. 仇恒志, 钟鼎苏. 一种视网膜血管的分割方法[J]. 南昌大学学报:医学版, 2009, 49(1):129-133.
60. 姚畅, 陈后金. 一种新的视网膜血管网络自动分割方法[J]. 光电子:激光, 2009(2).
61. 谢浩. 视网膜血管图像分割及其应用研究[D]. 武汉科技大学, 2010.
62. Zhang B, Zhang L, Zhang L, et al. Retinal vessel extraction by matched filter with first-order derivative of Gaussian.[J]. Computers in Biology & Medicine, 2010, 40(4):438-45.
63. Jiang X, Lambers M, Bunke H. Structural performance evaluation of curvilinear structure detection algorithms with application to retinal vessel segmentation[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(15):2048-2056.
64. Yin Y, Adel M, Bourennane S. Retinal vessel segmentation using a probabilistic tracking method[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(4):1235-1244.
65. Xiao Z, Adel M, Bourennane S. Bayesian method with spatial constraint for retinal vessel segmentation.[J]. Computational & Mathematical Methods in Medicine, 2012, 2013(9):401413-401413.
66. Wang Y, Ji G, Lin P, et al. Retinal vessel segmentation using multiwavelet kernels and multiscale hierarchical decomposition[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(8):2117-2133.
67. 罗汉源. 基于灰度投票和高斯混合模型的眼底视网膜血管图像深度分割[D]. 中南大学, 2014.
68. 王晓红. 基于特征识别的视网膜血管分割方法研究[D]. 中南大学, 2014.
69. 张佳. 一种基于贝叶斯检测理论的视网膜图像血管跟踪算法[D]. 北京理工大学, 2015.
70. 闵锋, 单玲玉, 张彦铎. 糖尿病视网膜病变图像的血管分割方法研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015(S1):376-380.
71. 王晓红, 赵于前, 廖苗,等. 基于多尺度2D Gab or小波的视网膜血管自动分割[J]. 自动化学报, 2015, 41(05):970-980.
72. 张春剑. 面向彩色眼底图像的血管分割方法研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2014.
73. Zhao Y Q, Wang X H, Wang X F, et al. Retinal vessels segmentation based on level set and region growing[J]. Pattern Recognition, 2014, 47(7):2437-2446.
74. 韩哲. 基于SVM的病理性视网膜血管分割[D]. 山东大学, 2015.
75. 翟丽红. 视网膜图像血管分割技术的研究[D]. 重庆大学, 2015.
76. 白冰. 基于数字图像的Ⅱ型糖尿病眼底血管病变检测研究[D]. 沈阳工业大学, 2015.
77. 殷文龙. 马尔可夫随机场在视网膜血管分割中的应用[D]. 云南大学, 2015.
78. Li Q, Feng B, Xie L P, et al. A Cross-Modality Learning Approach for Vessel Segmentation in Retinal Images[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2015, 35(1):109-118.
79. Zhao Y, Rada L, Chen K, et al. Automated Vessel Segmentation Using Infinite Perimeter Active Contour Model with Hybrid Region Information with Application to Retinal Images[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2015, 34(9):1797-1807.
80. 吴奎.基于特征提取和监督学习的视网膜血管分割技术研究[D].太原理工大学.2016.