



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107292877 B

(45)授权公告日 2020.07.03

(21)申请号 201710540493.1

(22)申请日 2017.07.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107292877 A

(43)申请公布日 2017.10.24

(73)专利权人 北京至真互联网技术有限公司

地址 100085 北京市海淀区安宁庄西路9号
金泰富地大厦

(72)发明人 代黎明 王利莹 杨康

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201

代理人 廖元秋

(51)Int.Cl.

G06T 7/00(2017.01)

G06T 5/30(2006.01)

(56)对比文件

CN 105243669 A,2016.01.13,

CN 106651827 A,2017.05.10,

US 2015124218 A1,2015.05.07,

US 2017112372 A1,2017.04.27,

王玉亮.眼底图像处理与分析中的关键技术
研究.《万方数据知识服务平台》.2014,全文.

马新等.彩色视网膜图像中基于主血管网的
视盘定位.《江南大学学报(自然科学版)》.2010,
第9卷(第1期),第44-47页.

Anushikha Singh等.Unique
identification code for medical fundus
images using blood vessel pattern for
tele-ophthalmology applications.《Computer
Methods and Programs in Biomedicine》
.2016,第135卷第61-75页.

Khai Sing Chin等.Automatic fovea
location in retinal images using
anatomical priors and vessel density.
《Pattern Recognition Letters》.2013,第34卷
(第10期),第1152-1158页.

审查员 谢婉婉

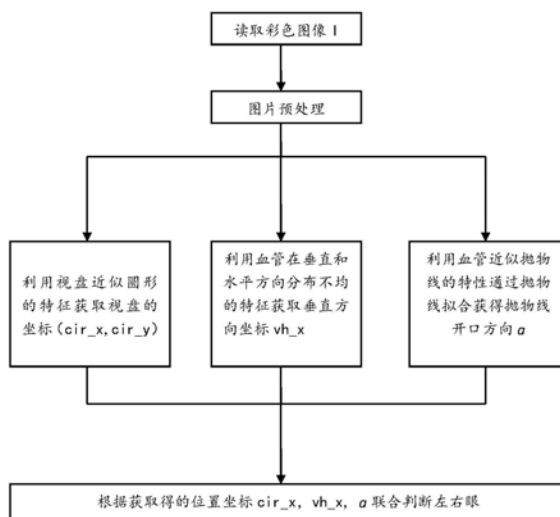
权利要求书4页 说明书11页 附图1页

(54)发明名称

一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法

(57)摘要

本发明提出一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法,属于医学数字图像处理领域。本方法首先对获取的眼底图像进行处理,然后对处理后的图像分别根据视盘和血管的不同特征通过三种不同的方法获取相应的信息,最后分别对三种方法设定相应的变量判断其是否能够进行左右眼的判别,并根据每种方法得到的识别结果对眼底图像联合进行左右眼识别并输出识别结果。本发明能够快速精确地识别给定的眼底图像是属于左眼还是右眼,识别精确度高,简单易操作,具有较高的应用价值。



1. 一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 眼底图像预处理阶段;具体步骤如下:

1-1) 拍摄一张彩色视网膜眼底图像,记为I,图像I的行数记为m,列数记为n,像素值的大小为[0,255],并以图像I的左上角为顶点建立直角坐标系;

1-2) 提取图像I的R、G、B颜色通道图像,分别记为IR、IG、IB,表达式如下:

$$IR=I(:, :, 1) \dots\dots\dots (1)$$

$$IG=I(:, :, 2) \dots\dots\dots (2)$$

$$IB=I(:, :, 3) \dots\dots\dots (3)$$

式(1)-(3)中,I(:, :, index)表示提取图像I的第index个颜色通道的图像,其中index $\in [1, 3]$;

1-3) 将步骤1-2)得到的图像IR中像素值大于设定阈值threshold_1的像素值置为1,否则置为0,将图像IR转换为二值图像BW1;

1-4) 对步骤1-3)得到的二值图像BW1进行孔洞填充,得到图像H,然后利用圆形结构元素对H进行形态学膨胀操作,得到图像D;表达式如下:

$$H=\text{imfill}(BW1) \dots\dots\dots (4)$$

$$D=\text{imdilate}(H, se) \dots\dots\dots (5)$$

式中,imfill(BW1)表示对图像BW1进行孔洞填充;imdilate(H, se)表示对图像H进行形态学膨胀操作,se表示圆形结构元素;

1-5) 将图像D与图像H对应位置的像素点的像素值相减,获得边缘图像E;

$$E=D-H \dots\dots\dots (7)$$

1-6) 将图像E的第一行像素值以及最后一行的像素值全部置为255,然后对图像E进行形态学膨胀操作,得到图像HH;

1-7) 检测图像HH中的所有轮廓,保存最大轮廓区域即为眼底图像有价值区域,然后分别查找眼底图像有价值区域最左边以及最右边的横坐标,分别记为L_X和R_X;

1-8) 对于图像I,裁剪以第1行,第L_X列为起点,水平宽度为R_X-L_X,垂直高度为m的矩形区域,裁剪所得的图像记为IC;

1-9) 提取裁剪后图像IC的R、G、B颜色通道图像,分别记为RR、GG、BB;

2) 眼底图像计算阶段;具体步骤如下:

2-1) 利用视盘近似圆形的特征定位视盘的大概位置坐标,具体步骤如下

2-1-1) 对步骤1)得到的图像IC按照设定的缩放比率ratio1 $\in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放,缩放后的图像记为SC;

$$SC=\text{resize}(IC, \text{ratio1}) \dots\dots\dots (8)$$

式中,resize表示对图像进行缩放,其中缩放比率为ratio1;

2-1-2) 将图像SC转换到HSI颜色空间,提取其亮度图像,记为图像L;

2-1-3) 重复步骤1-3),将图像L按照设定阈值threshold_2转化为二值图像BW2;

2-1-4) 将步骤2-1-3)得到的二值图像BW2利用圆形结构元素进行形态学腐蚀操作得到掩膜图像mask_1,表达式如下:

$$\text{mask}_1=\text{imerode}(BW2, se) \dots\dots\dots (9)$$

式中, $\text{imerode}(BW2, se)$ 表示对图像 $BW2$ 进行形态学腐蚀操作, se 表示圆形结构元素;

2-1-5) 对图像 L 进行形态学开运算操作, 并将开运算操作的结果与 mask_1 中相同位置的像素点的像素值进行相乘, 生成一张新的图像, 记为图像 L_M ; 表达式如下:

$$L_M = \text{imopen}(L, se) .* \text{mask}_1 \dots \dots \dots (11)$$

式中, $\text{imopen}(L, se)$ 表示对图像 L 进行形态学开运算, se 表示圆形结构元素;

2-1-6) 对于图像 L_M , 检测图像中存在的圆, 圆半径的范围设定为最小 $(m/12) - 5$, 最大为 $(m/12) + 5$, 检测到的圆心的位置即为视盘所在的位置, 视盘坐标记为 $(\text{cir}_x, \text{cir}_y)$; 2-2) 利用血管在视盘处垂直方向的分布多于水平方向分布的特征, 计算视盘的横坐标; 具体步骤如下:

2-2-1) 对步骤1) 得到的图像 GG 按照设定的缩放比率 $\text{ratio}_2 \in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放, 缩放后的图像记为 SG , 同时保存两份图像 GG 的原图像副本, 分别记为 GG_1 和 GG_2 ;

2-2-2) 重复步骤1-3), 将图像 SG 按照设定阈值 threshold_3 转化为二值图像 BW_3 ;

2-2-3) 将步骤2-2-2) 得到的二值图像 BW_3 利用圆形结构元素进行形态学腐蚀操作得到掩膜图像 mask_2 ;

2-2-4) 利用圆形结构元素对图像 GG_1 进行形态学膨胀操作, 获取图像 G_0 ;

2-2-5) 利用十字形交叉结构元素对图像 GG_2 进行形态学腐蚀操作, 获得血管增强图像 G_E ;

2-2-6) 利用图像 G_0 减去图像 G_E 得到血管的轮廓图像 G_S ;

2-2-7) 重复步骤1-3), 将图像 G_S 按照设定阈值 threshold_4 转换为二值图像 G_B ;

2-2-8) 利用线性水平结构元素对图像 G_B 进行开运算操作, 获得血管在水平方向的分布的新图像, 记为图像 G_H ;

2-2-9) 利用线性垂直结构元素对图像 G_B 进行形态学开运算操作, 获得血管在垂直方向的分布的新图像, 记为 G_V ;

2-2-10) 利用图像 G_V 减去图像 G_H 获得血管在垂直方向和水平方向的差的血管集图像, 并将血管集图像每一个像素点的像素值与 mask_2 中对应的像素点的像素值相乘, 获得最终的血管集图像 G_C ;

2-2-11) 以图像 G_C 的最左边为起点, 选用宽度为10, 高度为 m 的矩形以步长为1依次滑过图像 G_C 直到移动至图像 G_C 的最右边, 计算每一次滑动后矩形与图像 G_C 重合区域内所有像素点的像素平均值, 选取所有平均值中的最大值并记录该最大值对应的矩形在图像 G_C 水平方向的位置, 此时, 矩形中心点的横坐标即为视盘的横坐标, 记为 vh_x ;

2-3) 利用血管的走向近似抛物线的特征, 对血管进行抛物线拟合, 计算抛物线开口方向; 具体步骤如下:

2-3-1) 对图像 GG 按照缩放比率 $\text{ratio}_3 \in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放, 缩放后的图像记为 R_G ;

2-3-2) 对图像 R_G 进行中值滤波处理, 消除噪声干扰;

2-3-3) 对中值滤波处理完毕后的图像 R_G 进行归一化处理, 并对归一化后的图像进行取反操作, 得到图像 inv_G ;

2-3-4) 对图像 inv_G 进行多尺度多方向滤波, 并进行标准差标准化处理, 获得 inv_G 图像的平均滤波响应, 所得图像记为 G_F ; 具体步骤如下

2-3-4-1) 对图像inv_G按照式(13)进行数据标准化操作,获得的图像记为norm_ima;标准差标准化表达式如下:

$$y_i = \frac{x_i - x}{s} (1 \leq i \leq t) \dots \dots \dots (13)$$

式中,每一个样本为待处理图像被mask_2所限定的区域的像素点的像素值,x为所有样本的均值,s为所有样本的标准差, x_i 为第i个样本, y_i 为 x_i 经过标准化之后的值,t为样本的总个数;

2-3-4-2) 对于图像inv_G, $k=v+1$,v初始值为0,利用圆形结构元素se(k)分别在 $\theta(1)$ 方向上对图像inv_G进行滤波,滤波的结果图像记为 $pic_0^{se(k)}$, $pic_{15}^{se(k)}$, $pic_{30}^{se(k)}$, $pic_{45}^{se(k)}$, ..., $pic_{165}^{se(k)}$;

2-3-4-3) 将滤波后的图像 $pic_0^{se(k)}$, $pic_{15}^{se(k)}$, $pic_{30}^{se(k)}$, $pic_{45}^{se(k)}$, ..., $pic_{165}^{se(k)}$ 分别与图像inv_G对应位置像素点的像素值相减,对于每一个位置,保留经过分别相减之后的最大值,最终保留的像素值组成的图像记为M(k);

2-3-4-4) 重复步骤2-3-4-1),对图像M(k)进行数据标准化操作,经过标准化之后的图像记为norm_M(k),然后令norm_ima=norm_M(k)+norm_ima;

2-3-4-5) 对k进行判定:如果k大于8,则令G_F=norm_ima/9,G_F表示inv_G图像的平均滤波响应;否则重新返回步骤2-3-4-2);

2-3-5) 设定一个高阈值t_h和一个低阈值t_d,重复步骤1-3),将图像G_F分别按照高低阈值转换为二值图像H_G和B_G;

2-3-6) 分别对二值图像H_G和B_G进行形态学重建操作,得最终血管图像V_G;

2-3-7) 对图像V_G利用矩形结构元素进行形态学腐蚀操作,去除细小血管;

2-3-8) 对经过步骤2-3-7)处理后的图像V_G的血管进行抛物线拟合,计算抛物线开口方向a;定义抛物线开口方向朝左,则 $a > 0$;抛物线开口方向朝右,则 $a < 0$;

3) 左右眼识别阶段;

根据步骤2-1)获取的视盘横坐标cir_x、步骤2-2)获取的视盘横坐标vh_x以及步骤2-3)获取的抛物线开口方向a,联合识别眼底图像I属于左眼还是右眼;具体步骤如下:

3-1) 记图像V_G水平方向的中线横坐标为midline,设定视盘半径 $s_r = m/12$,容许误差为 s_r ,a的绝对值大于0.001,即 $abs(a) > 0.001$;

3-2) 定义三个变量:valid_1,valid_2,valid_3,其取值均为0或1,分别表示步骤2-1)得到的视盘横坐标、步骤2-2)得到的视盘横坐标、步骤2-3)得到的抛物线的开口方向是否能够进行左右眼识别,0表示无法识别,1表示可以识别;

3-3) 采用步骤2)的三种计算方法,分别对眼底图像I进行左右眼识别,并记录识别结果;具体步骤如下:

3-3-1) 计算 $dst1 = cir_x - midline$,如果 $abs(dst1) < s_r$,则 $valid_1 = 0$;否则 $valid_1 = 1$;

如果 $valid_1 = 1$ 且 $cir_x > midline$,则识别眼底图像I为右眼;

如果 $valid_1 = 1$ 且 $cir_x < midline$,则识别眼底图像I为左眼;

3-3-2) 计算 $dst2 = vh_x - midline$,如果 $abs(dst2) < s_r$,则 $valid_2 = 0$;否则 $valid_2 =$

1;

如果 $\text{valid_2}=1$ 且 $\text{vh_x} > \text{midline}$,则识别眼底图像I为右眼;

如果 $\text{valid_2}=1$ 且 $\text{vh_x} < \text{midline}$,则识别眼底图像I为左眼;

3-3-3) 如果 $\text{abs}(a) \leq 0.001$,则 $\text{valid_3}=0$,否则 $\text{valid_3}=1$;

如果 $\text{valid}=1$ 且 $a > 0.001$,则识别眼底图像I为左眼;

如果 $\text{valid}=1$ 且 $a < -0.001$,则识别眼底图像I为右眼;

3-4) 采用联合识别方法对眼底图像I进行左右眼识别;具体步骤如下:

3-4-1) 若 $\text{valid_1}=1, \text{valid_2}=1, \text{valid_3}=1$,且输出的三个左右眼识别结果一致时,则将该识别结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;

3-4-2) 若 $\text{valid_1}=1, \text{valid_2}=1, \text{valid_3}=1$,但输出的三个左右眼识别结果不一致时,则以两种情况识别一致的结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;

3-4-3) 若 $\text{valid_1}=0, \text{valid_2}=0, \text{valid_3}=0$,则眼底图像I无法进行左右眼识别,识别结束;

3-4-4) 若 $\text{valid_1}, \text{valid_2}, \text{valid_3}$ 中任意两个变量的值为1,一个变量的值为0时:若变量值为1的两个识别结果一致,则将该识别结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;若变量值为1的两个识别结果不一致,则眼底图像I无法进行左右眼识别,识别结束;

3-4-5) 若 $\text{valid_1}, \text{valid_2}, \text{valid_3}$ 中任意两个变量的值为0,一个变量的值为1时,则输出取值为1的变量所对应的左右眼识别结果,左右眼识别完毕。

一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法

技术领域

[0001] 本发明属于医学数字图像处理领域,特别是涉及一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法。

背景技术

[0002] 当今,随着人们生活水平的不断提高,人口老龄化的日益加重以及智能硬件设备的快速普及,糖尿病视网膜病变、青光眼、高度近视等疾病的患病率明显增加,这不但影响了人们的正常生活,也给家庭和社会带来了沉重的负担。如果能够做到早期发现、早期治疗,这无疑对延缓疾病的发展具有至关重要的意义,甚至可使绝大多数患者保留现有的视力,从而减轻患者及家庭的负担。

[0003] 眼底图像包含了丰富的非结构化参数,这是包括白内障、青光眼、老年性黄斑变性、糖尿病视网膜病变在内的常见眼科疾病的重要诊断依据,并且眼底图像中的血管是人体内唯一能够在无创条件下直视的血管结构,它是监测全身多种疾病以及预估疾病风险的主要信息窗口,因此对眼底图像的采集存储以及分析就显现的尤为重要。

[0004] 目前在眼科临床上的常规眼底数码照相以及远程眼科筛查时传输的眼底图像多数是采用每眼一张后极部45度的眼底图像,该图像可以很好地显示视盘及其周围视网膜包括黄斑区的普通形态改变,对眼科疾病的筛查及诊断起着及其重要的作用。常规的医院采集得到的眼底图像示意图如图1所示,其中①为静脉,②为动脉,③为黄斑,④为黄斑中心凹,⑤表示视神经乳头(视盘)。

[0005] 传统的左右眼识别方法的关键在于对眼底图像中视盘所在位置的判定;目前视盘定位主要有三种方法,第一种方法是直接利用视盘呈现淡红色并近似于圆盘状的特征来定位视盘,该方法容易受到视盘形变、图像本身的亮度、对比度以及其它病变区域的影响;第二种方法是利用血管在视盘处水平方向血管和垂直方向血管密度分布不均的特征来定位视盘,该方法易受非视盘区域垂直方向血管的干扰;第三种方法利用血管近似抛物线走向的特征来定位视盘,该方法与图像本身血管的清晰度和丰富度直接相关;血管分割主要有四种方法,第一种方法为血管跟踪方法,该方法容易受到血管分支或交叉点的影响;第二种方法为基于匹配滤波的方法,该方法容易受到深色病灶的影响;第三种方法为基于形态学处理的方法,该方法对结构元素的选取很关键;第四种方法是基于监督学习的方法,该方法需要大量的标注样本集。

[0006] 当医生在对病人进行诊断时,如果数据库中有病人的历史眼底照片,医生往往需要挑选左(右)眼眼底图片与当前拍摄的左(右)眼眼底图片进行对比,观察眼底的细微变化,目前,医生在进行眼底图像对比时,往往还是手动的从库里面选取左(右)眼眼底图片,眼底图片在入库之前并没有做左右眼的归类整理。

[0007] 这造成了以下两个弊端:

[0008] (1)当医生在对病人进行诊断时,往往需要利用当前眼底图像与病人上一次或者前若干次拍摄的眼底图像进行对比分析,但病人经过多次诊断后会产生多幅眼底图像,医

生在观察左眼(右眼)眼底图像时,需要人工从多幅眼底图像中查找左眼(右眼)眼底图像,存在工作量大、工作效率低下、易疲劳、费时费力等缺点;

[0009] (2)医生在诊断病情时,往往会利用图像配准技术来观察血管、视盘、近视弧以及病灶的微小变化,图像配准同样需要病人不同时期的两次眼底图像,这仍然存在需要人工从多幅眼底图像中手动选取左眼(右眼)眼底图像进行配准的弊端。而且当病人眼部存在病变时,由于患处产生了病理变化,很有可能对医生的人工左右眼识别判断产生影响,延误诊治。

[0010] 目前,尚没有形成一套行之有效的方法通过眼底图像对左右眼进行识别。

发明内容

[0011] 本发明的目的是为克服已有技术的不足之处,提出一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法。本发明通过联合方法能够快速精确地识别给定的眼底图像是属于左眼眼底图像还是右眼眼底图像,识别精确度高,简单易操作,具有较高的应用价值。

[0012] 本发明提出的一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0013] 1)眼底图像预处理阶段;具体步骤如下:

[0014] 1-1)拍摄一张彩色视网膜眼底图像,记为I,图像I的行数记为m,列数记为n,像素值的大小为[0,255],并以图像I的左上角为顶点建立直角坐标系;

[0015] 1-2)提取图像I的R、G、B颜色通道图像,分别记为IR、IG、IB,表达式如下:

[0016] $IR = I(:, :, 1)$ (1)

[0017] $IG = I(:, :, 2)$ (2)

[0018] $IB = I(:, :, 3)$ (3)

[0019] 式(1)-(3)中,I(:, :, index)表示提取图像I的第index个颜色通道的图像,其中 $index \in [1, 3]$;

[0020] 1-3)将步骤1-2)得到的图像IR中像素值大于设定阈值threshold_1的像素值置为1,否则置为0,将图像IR转换为二值图像BW1;

[0021] 1-4)对步骤1-3)得到的二值图像BW1进行孔洞填充,得到图像H,然后利用圆形结构元素对H进行形态学膨胀操作,得到图像D;表达式如下:

[0022] $H = \text{imfill}(BW1)$ (4)

[0023] $D = \text{imdilate}(H, se)$ (5)

[0024] 式中,imfill(BW1)表示对图像BW1进行孔洞填充;imdilate(H, se)表示对图像H进行形态学膨胀操作,se表示圆形结构元素;

[0025] 1-5)将图像D与图像H对应位置的像素点的像素值相减,获得边缘图像E;

[0026] $E = D - H$ (7)

[0027] 1-6)将图像E的第一行像素值以及最后一行的像素值全部置为255,然后对图像E进行形态学膨胀操作,得到图像HH;

[0028] 1-7)检测图像HH中的所有轮廓,保存最大轮廓区域即为眼底图像有价值区域,然后分别查找眼底图像有价值区域最左边以及最右边的横坐标,分别记为L_X和R_X;

[0029] 1-8)对于图像I,裁剪以第1行,第L_X列为起点,水平宽度为R_X-L_X,垂直高度为m

的矩形区域,裁剪所得的图像记为IC;

[0030] 1-9) 提取裁剪后图像IC的R、G、B颜色通道图像,分别记为RR、GG、BB;

[0031] 2) 眼底图像计算阶段;具体步骤如下:

[0032] 2-1) 利用视盘近似圆形的特征定位视盘的大概位置坐标,具体步骤如下

[0033] 2-1-1) 对步骤1) 得到的图像IC按照设定的缩放比率 $ratio1 \in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放,缩放后的图像记为SC;

[0034] $SC = \text{resize}(IC, ratio1) \dots\dots\dots (8)$

[0035] 式中,resize表示对图像进行缩放,其中缩放比率为ratio1;

[0036] 2-1-2) 将图像SC转换到HSI颜色空间,提取其亮度图像,记为图像L;

[0037] 2-1-3) 重复步骤1-3),将图像L按照设定阈值threshold_2转化为二值图像BW2;

[0038] 2-1-4) 将步骤2-1-3) 得到的二值图像BW2利用圆形结构元素进行形态学腐蚀操作得到掩膜图像mask_1,表达式如下:

[0039] $mask_1 = \text{imerode}(BW2, se) \dots\dots\dots (9)$

[0040] 式中,imerode(BW2, se) 表示对图像BW2进行形态学腐蚀操作,se表示圆形结构元素;2-1-5) 对图像L进行形态学开运算操作,并将开运算操作的结果与mask_1中相同位置的像素点的像素值进行相乘,生成一张新的图像,记为图像L_M;表达式如下:

[0041] $L_M = \text{imopen}(L, se) .* mask_1 \dots\dots\dots (11)$

[0042] 式中,imopen(L, se) 表示对图像L进行形态学开运算,se表示圆形结构元素;

[0043] 2-1-6) 对于图像L_M,检测图像中存在的圆,圆半径的范围设定为最小 $(m/12) - 5$,最大为 $(m/12) + 5$,检测到的圆心的位置即为视盘所在的位置,视盘坐标记为(cir_x, cir_y);

[0044] 2-2) 利用血管在视盘处垂直方向的分布多于水平方向分布的特征,计算视盘的横坐标;具体步骤如下:

[0045] 2-2-1) 对步骤1) 得到的图像GG按照设定的缩放比率 $ratio2 \in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放,缩放后的图像记为SG,同时保存两份图像GG的原图像副本,分别记为GG1和GG2;

[0046] 2-2-2) 重复步骤1-3),将图像SG按照设定阈值threshold_3转化为二值图像BW3;

[0047] 2-2-3) 将步骤2-2-2) 得到的二值图像BW3利用圆形结构元素进行形态学腐蚀操作得到掩膜图像mask_2;

[0048] 2-2-4) 利用圆形结构元素对图像GG1进行形态学膨胀操作,获取图像G_0;

[0049] 2-2-5) 利用十字形交叉结构元素对图像GG2进行形态学腐蚀操作,获得血管增强图像G_E;

[0050] 2-2-6) 利用图像G_0减去图像G_E得到血管的轮廓图像G_S;

[0051] 2-2-7) 重复步骤1-3),将图像G_S按照设定阈值threshold_4转换为二值图像G_B;

[0052] 2-2-8) 利用线性水平结构元素对图像G_B进行开运算操作,获得血管在水平方向的分布的新图像,记为图像G_H;

[0053] 2-2-9) 利用线性垂直结构元素对图像G_B进行形态学开运算操作,获得血管在垂直方向的分布的新图像,记为G_V;

[0054] 2-2-10) 利用图像G_V减去图像G_H获得血管在垂直方向和水平方向的差的血管集图像,并将血管集图像每一个像素点的像素值与mask_2中对应的像素点的像素值相乘,获

得最终的血管集图像G_C;

[0055] 2-2-11) 以图像G_C的最左边为起点, 选用宽度为10, 高度为m的矩形以步长为1依次滑过图像G_C直到移动至图像G_C的最右边, 计算每一次滑动后矩形与图像G_C重合区域内所有像素点的像素平均值, 选取所有平均值中的最大值并记录该最大值对应的矩形在图像G_C水平方向的位置, 此时, 矩形中心点的横坐标即为视盘的横坐标, 记为 vh_x ;

[0056] 2-3) 利用血管的走向近似抛物线的特征, 对血管进行抛物线拟合, 计算抛物线开口方向; 具体步骤如下:

[0057] 2-3-1) 对图像GG按照缩放比率 $ratio3 \in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放, 缩放后的图像记为R_G;

[0058] 2-3-2) 对图像R_G进行中值滤波处理, 消除噪声干扰;

[0059] 2-3-3) 对中值滤波处理完毕后的图像R_G进行归一化处理, 并对归一化后的图像进行取反操作, 得到图像inv_G;

[0060] 2-3-4) 对图像inv_G进行多尺度多方向滤波, 并进行标准差标准化处理, 获得inv_G图像的平均滤波响应, 所得图像记为G_F; 具体步骤如下

[0061] 2-3-4-1) 对图像inv_G按照式(13)进行数据标准化操作, 获得的图像记为norm_ima; 标准差标准化表达式如下:

$$[0062] \quad y_i = \frac{x_i - x}{s} \quad (1 \leq i \leq t) \dots \dots \dots (13)$$

[0063] 式中, 每一个样本为待处理图像被mask_2所限定的区域的像素点的像素值, x为所有样本的均值, s为所有样本的标准差, x_i 为第i个样本, y_i 为 x_i 经过标准化之后的值, t为样本的总个数;

[0064] 2-3-4-2) 对于图像inv_G, $k=v+1$, v初始值为0, 利用圆形结构元素se(k)分别在 $\theta(1)$ 方向上对图像inv_G进行滤波, 滤波的结果图像记为 $pic_0^{se(k)}$, $pic_{15}^{se(k)}$, $pic_{30}^{se(k)}$, $pic_{45}^{se(k)}$, ..., $pic_{165}^{se(k)}$;

[0065] 2-3-4-3) 将滤波后的图像 $pic_0^{se(k)}$, $pic_{15}^{se(k)}$, $pic_{30}^{se(k)}$, $pic_{45}^{se(k)}$, ..., $pic_{165}^{se(k)}$ 分别与图像inv_G对应位置像素点的像素值相减, 对于每一个位置, 保留经过分别相减之后的最大值, 最终保留的像素值组成的图像记为M(k);

[0066] 2-3-4-4) 重复步骤2-3-4-1), 对图像M(k)进行数据标准化操作, 经过标准化之后的图像记为norm_M(k), 然后令 $norm_ima = norm_M(k) + norm_ima$;

[0067] 2-3-4-5) 对k进行判定: 如果k大于8, 则令 $G_F = norm_ima/9$, G_F表示inv_G图像的平均滤波响应; 否则重新返回步骤2-3-4-2);

[0068] 2-3-5) 设定一个高阈值 t_h 和一个低阈值 t_d , 重复步骤1-3), 将图像G_F分别按照高低阈值转换为二值图像H_G和B_G;

[0069] 2-3-6) 分别对二值图像H_G和B_G进行形态学重建操作, 得最终血管图像V_G;

[0070] 2-3-7) 对图像V_G利用矩形结构元素进行形态学腐蚀操作, 去除细小血管;

[0071] 2-3-8) 对经过步骤2-3-7)处理后的图像V_G的血管进行抛物线拟合, 计算抛物线开口方向a; 定义抛物线开口方向朝左, 则 $a > 0$; 抛物线开口方向朝右, 则 $a < 0$;

[0072] 3) 左右眼识别阶段;

[0073] 根据步骤2-1)获取的视盘横坐标 cir_x 、步骤2-2)获取的视盘横坐标 vh_x 以及步骤2-3)获取的抛物线开口方向 a ,联合识别眼底图像I属于左眼还是右眼;具体步骤如下:

[0074] 3-1)记图像V_G水平方向的中线横坐标为 $midline$,设定视盘半径 $s_r=m/12$,容许误差为 s_r , a 的绝对值大于0.001,即 $abs(a) > 0.001$;

[0075] 3-2)定义三个变量: $valid_1, valid_2, valid_3$,其取值均为0或1,分别表示步骤2-1)得到的视盘横坐标、步骤2-2)得到的视盘横坐标、步骤2-3)得到的抛物线的开口方向是否能够进行左右眼识别,0表示无法识别,1表示可以识别;

[0076] 3-3)采用步骤2)的三种计算方法,分别对眼底图像I进行左右眼识别,并记录识别结果;具体步骤如下:

[0077] 3-3-1)计算 $dst1=cir_x-midline$,如果 $abs(dst1) < s_r$,则 $valid_1=0$;否则 $valid_1=1$;

[0078] 如果 $valid_1=1$ 且 $cir_x > midline$,则识别眼底图像I为右眼;

[0079] 如果 $valid_1=1$ 且 $cir_x < midline$,则识别眼底图像I为左眼;

[0080] 3-3-2)计算 $dst2=vh_x-midline$,如果 $abs(dst2) < s_r$,则 $valid_2=0$;否则 $valid_2=1$;

[0081] 如果 $valid_2=1$ 且 $vh_x > midline$,则识别眼底图像I为右眼;

[0082] 如果 $valid_2=1$ 且 $vh_x < midline$,则识别眼底图像I为左眼;

[0083] 3-3-3)如果 $abs(a) \leq 0.001$,则 $valid_3=0$,否则 $valid_3=1$;

[0084] 如果 $valid=1$ 且 $a > 0.001$,则识别眼底图像I为左眼;

[0085] 如果 $valid=1$ 且 $a < -0.001$,则识别眼底图像I为右眼;

[0086] 3-4)采用联合识别方法对眼底图像I进行左右眼识别;具体步骤如下:

[0087] 3-4-1)若 $valid_1=1, valid_2=1, valid_3=1$,且输出的三个左右眼识别结果一致时,则将该识别结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;

[0088] 3-4-2)若 $valid_1=1, valid_2=1, valid_3=1$,但输出的三个左右眼识别结果不一致时,则以两种情况识别一致的结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;

[0089] 3-4-3)若 $valid_1=0, valid_2=0, valid_3=0$,则眼底图像I无法进行左右眼识别,识别结束;

[0090] 3-4-4)若 $valid_1, valid_2, valid_3$ 中任意两个变量的值为1,一个变量的值为0时:若变量值为1的两个识别结果一致,则将该识别结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;若变量值为1的两个识别结果不一致,则眼底图像I无法进行左右眼识别,识别结束。

[0091] 3-4-5)若 $valid_1, valid_2, valid_3$ 中任意两个变量的值为0,一个变量的值为1时,则输出取值为1的变量所对应的左右眼识别结果,左右眼识别完毕。

[0092] 本发明的特点及有益效果在于:

[0093] (1)本发明根据视盘和血管的特征对左右眼进行联合判定,克服了以往通过单一判定视盘位置方法可能存在判定错误的不足,具有高的精确性和强的鲁棒性,该方法受图像的亮度、对比度等变化影响较小,并且根据血管特征来判别左右眼对血管提取的精度要求不是太高,血管主轮廓检测出来就可以,因此大大降低了血管提取的复杂度。

[0094] (2)本发明将图像处理技术运用到对眼底图像的处理上,对眼底图像的各种特征

进行了量化,方便后续对于眼底图像信息的处理以及记录。

[0095] (3) 本发明方法可通过计算机编程实现,解决了医生在看病过程中需要手动选取左(右)眼眼底图像的弊端,在提高判定准确度的同时减少了医生的工作量及判定的人为因素的影响,不但提高了识别效率且可实现重复性。

附图说明

[0096] 图1为常规眼底图像的示意图。

[0097] 图2为本发明提出的左右眼识别方法流程框图。

具体实施方式

[0098] 本发明提出的一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法,下面结合附图和具体实施例进一步详细说明如下。为了使本技术领域的人员更好地理解本发明中的技术方案,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都应该属于本发明保护的范围。

[0099] 本发明提出的一种基于眼底图像特征的左右眼识别方法,整体流程如图2所示,包括以下步骤:

[0100] 1) 眼底图像预处理阶段;

[0101] 此阶段拍摄一张彩色视网膜眼底图像,记为I,然后对该图像I进行裁剪操作,去除眼底图像中黑色非眼底图像干扰区域,同时提取裁剪后图像的R、G、B颜色通道图像,分别记为RR,GG,BB;具体步骤如下

[0102] 1-1) 拍摄一张彩色视网膜眼底图像,记为I,图像I的行数记为m,列数记为n,像素值的大小为[0-255];以图像I的左上角为顶点建立直角坐标系;

[0103] 常规的眼底图像拍摄方式有两种,即一种以视盘中央为中心,另一种以黄斑中心凹为中心,本发明所采用的眼底图像可为其中任意一种拍摄方式所获得的眼底图像。

[0104] 1-2) 提取图像I的R、G、B颜色通道图像,分别记为IR、IG、IB;表达式如下:

[0105] $IR = I(:, :, 1)$ (1)

[0106] $IG = I(:, :, 2)$ (2)

[0107] $IB = I(:, :, 3)$ (3)

[0108] 式(1)-(3)中, $I(:, :, index)$ 表示提取图像I的第index个颜色通道的图像,其中 $index \in [1, 3]$ 。

[0109] 1-3) 由于图像I的R颜色通道非眼底区域与眼底区域对比度明显,因此将步骤1-2)得到的图像IR转换为二值图像BW1,即将图像IR中像素值大于threshold_1的像素值置为1,否则置为0,threshold_1为设定的阈值;根据大量样本测试,阈值设定在[20-30]之间较为合适,本实施例中threshold_1的值取25。

[0110] 1-4) 对步骤1-3)得到的二值图像BW1进行孔洞填充,得到图像H,然后利用圆形结构元素对H进行形态学膨胀操作,得到图像D;表达式如下:

[0111] $H = \text{imfill}(BW1)$ (4)

[0112] $D = \text{imdilate}(H, se) \dots \dots \dots (5)$

[0113] 式中, $\text{imfill}(BW1)$ 表示对图像 $BW1$ 进行孔洞填充; $\text{imdilate}(H, se)$ 表示对图像 H 进行形态学膨胀操作, se 表示膨胀运算用到的结构元素, 本发明采用圆形结构元素;

[0114] 结构元素: 设有两幅图像 B, A 。若 A 是被处理的图像, 而 B 是用来处理 A 的, 则称 B 为结构元素, 又被形象地称为刷子。结构元素通常都是一些比较小的图像, 常见的有矩形结构元素、圆形结构元素、菱形结构元素等。

[0115] 形态学膨胀操作: 使用结构元素 b 对图像 f 的灰度膨胀操作记为 $f \oplus b$, 定义为:

[0116] $(f \oplus b)(x, y) = \max \{f(x-x', y-y') + b(x', y') \mid (x', y') \in D_b\} \dots \dots \dots (6)$

[0117] 其中, D_b 是 b 的定义域, $f(x, y)$ 在 f 的定义域外假设为 $-\infty$ 。

[0118] 1-5) 将图像 D 与图像 H 对应位置的像素点的像素值相减, 获得边缘图像 E ;

[0119] $E = D - H \dots \dots \dots (7)$

[0120] 1-6) 将图像 E 的第一行像素值以及最后一行的像素值全部置为 255, 然后利用公式 (6) 再对图像 E 进行形态学膨胀操作, 得到图像 HH 。

[0121] 1-7) 检测图像 HH 中的所有轮廓, 保存其中最大轮廓区域即为眼底图像有价值区域, 然后分别查找眼底图像有价值区域最左边以及最右边的横坐标, 分别记为 L_X 和 R_X 。

[0122] 1-8) 对于图像 I , 裁剪以第 1 行, 第 L_X 列为起点, 水平宽度为 $R_X - L_X$, 垂直高度为 m 的矩形区域, 裁剪所得的图像记为 IC ;

[0123] 1-9) 提取裁剪后图像 IC 的 R, G, B 颜色通道图像, 分别记为 RR, GG, BB ;

[0124] 2) 眼底图像计算阶段;

[0125] 本发明在眼底图像计算阶段分别采用三种不同的方法对眼底图像的信息进行提取并计算相应的视盘坐标或拟合后的血管抛物线开口方向; 具体步骤如下:

[0126] 2-1) 利用视盘近似圆形的特征定位视盘的大概位置坐标, 具体步骤如下

[0127] 2-1-1) 对步骤 1) 得到的图像 IC 按照设定的缩放比率 $ratio1 \in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放, 缩放后的图像记为 SC ;

[0128] $SC = \text{resize}(IC, ratio1) \dots \dots \dots (8)$

[0129] 式中, resize 表示对图像进行缩放, 其中缩放比率为 $ratio1$;

[0130] 2-1-2) 将图像 SC 转换到 HSI 颜色空间, 提取其亮度图像, 记为图像 L ;

[0131] 2-1-3) 重复步骤 1-3), 将图像 L 转化为二值图像 $BW2$, 阈值 $threshold_2$ 设定区间为 $[12, 18]$, 本发明 $threshold_2$ 的值取 15;

[0132] 2-1-4) 将步骤 2-1-3) 得到的二值图像 $BW2$ 利用圆形结构元素进行形态学腐蚀操作得到掩膜图像 $mask_1$, 表达式如下:

[0133] $mask_1 = \text{imerode}(BW2, se) \dots \dots \dots (9)$

[0134] 式中, $\text{imerode}(BW2, se)$ 表示对图像 $BW2$ 进行形态学腐蚀操作, se 为腐蚀操作所利用的结构元素, 本发明采用圆形结构元素。

[0135] 形态学腐蚀: 使用结构元素 b 对图像 f 的灰度腐蚀操作记为 $f \ominus b$, 定义为:

[0136] $(f \ominus b)(x, y) = \max \{f(x-x', y-y') - b(x', y') \mid (x', y') \in D_b\} \dots (10)$

[0137] 其中, D_b 是 b 的定义域, $f(x, y)$ 在 f 的定义域外假设为 $+\infty$ 。

[0138] 2-1-5) 为了减少血管对提取视盘造成的影响, 对图像 L 进行形态学开运算操作, 并将开运算操作的结果与 $mask_1$ 中相同位置的像素点的像素值进行相乘, 生成一张新的图

像,记为图像L_M;表达式如下:

[0139] $L_M = \text{imopen}(L, \text{se}) .* \text{mask}_1 \dots \dots \dots (11)$

[0140] 式中, $\text{imopen}(L, \text{se})$ 表示对图像L进行形态学开运算, se 表示形态学开运算所使用的结构元素;

[0141] 形态学开运算:使用结构元素b对图像f的开运算操作记为fob,定义为:

[0142] $fob = (f \ominus b) \oplus b \dots \dots \dots (12)$

[0143] fob表示利用结构元素b对图像f先进行形态学腐蚀操作,再进行形态学膨胀操作;

[0144] 2-1-6) 对于图像L_M,利用霍夫圆检测方法检测图像中存在的圆,圆半径的范围设定为最小 $(m/12) - 5$,最大为 $(m/12) + 5$,其检测到的圆心的位置即为视盘所在的位置,视盘坐标标记为 $(\text{cir}_x, \text{cir}_y)$;

[0145] 由于眼底在视盘处可能发生病变,视盘可能不再以近似圆形的形状呈现出来,因此单纯地利用霍夫圆检测的方法来确认视盘的位置,其定位的准确率还不是太高,由此可以根据血管在视盘处垂直方向的密度大于水平方向密度的特征,进一步确定视盘在水平方向的位置,可对左右眼判断做进一步的补充。

[0146] 2-2) 利用血管在视盘处垂直方向的分布多于水平方向分布的特征,计算视盘的横坐标;具体步骤如下:

[0147] 2-2-1) 重复步骤2-1-1),对步骤1)得到的图像GG按照设定的缩放比率 $\text{ratio}_2 \in [0.15, 0.2]$ 进行等比缩放,缩放后的图像记为SG,同时保存两份图像GG的原图像副本,分别记为GG1和GG2;

[0148] 2-2-2) 重复步骤1-3),将图像SG转化为二值图像BW3,阈值 threshold_3 的设定区间为 $[8, 12]$,本发明 threshold_3 的值取10;

[0149] 2-2-3) 重复步骤2-1-4),将步骤2-2-2)得到的二值图像BW3利用圆形结构元素进行形态学腐蚀操作得到掩膜图像 mask_2 ;

[0150] 2-2-4) 利用圆形结构元素对图像GG1根据公式(6)进行形态学膨胀操作,获取图像 G_0 ,该操作目的是擦除血管,获取图像GG1的背景图像;

[0151] 2-2-5) 为了使血管更清楚,利用十字形交叉结构元素对图像GG2根据公式(10)进行形态学腐蚀操作,获得血管增强图像 G_E ;

[0152] 2-2-6) 利用图像 G_0 减去图像 G_E 得到血管的轮廓图像 G_S ;图像相减的含义即为两张图像上相同位置像素点的像素值进行相减;

[0153] 2-2-7) 重复步骤1-3),将图像 G_S 转换为二值图像 G_B ,阈值 threshold_4 设定在 $[0.001, 0.005]$ 之间较为合适,本发明阈值取0.001;

[0154] 2-2-8) 利用线性水平结构元素对图像 G_B 进行开运算操作,获得血管在水平方向的分布的新图像,记为图像 G_H ;

[0155] 2-2-9) 利用线性垂直结构元素对图像 G_B 利用公式(12)进行形态学开运算操作,获得血管在垂直方向的分布的新图像,记为 G_V ;

[0156] 2-2-10) 利用图像 G_V 减去图像 G_H 获得血管在垂直方向和水平方向的差的血管集图像,并将血管集图像每一个像素点的像素值与 mask_2 中对应的像素点的像素值相乘,获得最终的血管集图像 G_C ;

[0157] 2-2-11) 以图像 G_C 的最左边为起点,选用宽度为10,高度为m的矩形以步长为1依

次滑过图像G_C直到移动至图像G_C的最右边,计算每一次滑动后矩形与图像G_C重合区域内所有像素点的像素平均值,选取所有平均值中的最大值并记录该最大值对应的矩形在图像G_C水平方向的位置,此时,矩形中心点的横坐标即为视盘的横坐标,记为vh_x;

[0158] 步骤2-1)和步骤2-2)所述方法对于以黄斑中心凹为中心的45度眼底图像效果较好,但是对于以视盘为中心的45度眼底图像左右眼识别效果就不是很理想,因此通过采用抛物线开口方向来识别左右眼的方式来克服视盘在眼底图像中间的情况。

[0159] 2-3)利用血管的走向近似抛物线的特征,对血管进行抛物线拟合,计算抛物线开口方向;具体步骤如下:

[0160] 2-3-1)对图像GG按照缩放比率ratio3∈[0.15,0.2]进行等比缩放,缩放后的图像记为R_G;

[0161] 2-3-2)对图像R_G进行中值滤波处理,消除噪声干扰;

[0162] 2-3-3)对图像R_G进行中值滤波处理完毕后的图像R_G进行归一化处理,并对归一化后的图像进行取反操作,得到图像inv_G;

[0163] 2-3-4)对图像inv_G进行多尺度多方向滤波,并且做标准差标准化处理,获得inv_G图像的平均滤波响应,所得图像记为G_F;具体步骤如下

[0164] 2-3-4-1)对图像inv_G按照公式(13)进行数据标准化操作,获得的图像记为norm_ima;

[0165] 数据的标准化:目的是将数据按照一定规则缩放,使之落入一个小的特定区间,这样可以消除单位限制对数据的影响,将数据转换为无量纲的纯数值,便于不同单位或量级的指标能够进行比较和加权,其中最典型的的就是Z标准化,也叫标准差标准化,经过处理的数据符合标准正态分布,即均值为0,标准差为1,其转换的函数表达式为:

$$[0166] \quad y_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (1 \leq i \leq t) \dots \dots \dots (13)$$

[0167] 其中x为所有样本的均值,s为所有样本的标准差,x_i为第i个样本,y_i为x_i经过标准化之后的值,t为样本的总个数。在本发明中,样本集的每一个样本为待处理图像被mask_2所限定的区域的像素点的像素值。

[0168] 2-3-4-2)对于图像inv_G,k=v+1,v初始值为0,利用结构元素se(k)分别在θ(1)方向上对图像inv_G进行滤波,滤波的结果图像记为pic₀^{se(k)}, pic₁₅^{se(k)}, pic₃₀^{se(k)}, pic₄₅^{se(k)}, ..., pic₁₆₅^{se(k)};

[0169] 多尺度多方向滤波:即采用不同大小的核在不同的方向对数据进行滤波,在该发明中,核采用平坦的线性结构元素,核的大小从1开始,并以步长为2的距离一直到增加到15,即se={1,3,5,7,9,11,13,15},然后对于任意的se(k)分别在0度,15度,30度,45度, ..., 以每15度为间隔,一直到165度方向上对图像进行滤波,每次滤波的结果记为pic_{θ(t)}^{se(k)} = filter(inv_G, se(k), θ(t)),表示图像inv_G利用结构元素se(k)在θ(t)方向上的滤波结果,其中se(k)表示se的第k个元素,θ=(0,15,30,45, ..., 165),θ(t)表示θ中第t个元素;

[0170] 2-3-4-3)将滤波后的图像pic₀^{se(k)}, pic₁₅^{se(k)}, pic₃₀^{se(k)}, pic₄₅^{se(k)}, ..., pic₁₆₅^{se(k)}分别与图像inv_G对应位置像素点的像素值相减,对于每一个位置,保留经过分别相减之后的

最大值,其最终保留的像素值组成的图像记为 $M(k)$;

[0171] 2-3-4-4) 重复步骤2-3-4-1),对图像 $M(k)$ 按照公式(13)进行数据标准化操作,经过标准化之后的图像记为 $\text{norm_M}(k)$,然后令 $\text{norm_ima}=\text{norm_M}(k)+\text{norm_ima}$;

[0172] 2-3-4-5) 对 k 进行判定:如果 k 大于8,则令 $G_F=\text{norm_ima}/9$, G_F 表示 inv_G 图像的平均滤波响应;否则重新返回步骤2-3-4-2);

[0173] 2-3-5) 设定一个高阈值 $t_h \in [0.93, 0.97]$ 和一个低阈值 $t_d \in [0.78, 0.83]$,重复步骤1-3),将图像 G_F 分别按照高低阈值转换为二值图像 H_G 和 B_G ;本发明 t_h 取值0.95, t_d 取值0.80;(不用介绍形态学重建操作,本领域人员可以理解)

[0174] 2-3-6) 分别对二值图像 H_G 和 B_G 进行形态学重建操作,得最终血管图像 V_G ;

[0175] 2-3-7) 对图像 V_G 利用矩形结构元素通过公式(10)进行形态学腐蚀操作,去除细小血管;

[0176] 2-3-8) 对经过步骤2-3-7)处理后的图像 V_G 的血管进行抛物线拟合,计算抛物线开口方向 a ;定义抛物线开口朝左,则 $a > 0$;抛物线开口方向朝右,则 $a < 0$;

[0177] 3) 左右眼识别阶段;

[0178] 根据步骤2-1)获取的视盘横坐标 cir_x 、步骤2-2)获取的视盘横坐标 vh_x 以及步骤2-3)获取的抛物线开口方向 a ,联合识别眼底图像 I 属于左眼还是右眼;具体步骤如下:

[0179] 3-1) 记图像 V_G 水平方向的中线横坐标为 midline ,视盘半径一般约为图像高度的 $1/12$,因此记视盘半径 $s_r=m/12$,考虑医生在拍照过程中不可能完全保证视盘或者黄斑就在图像的中心,因此设定一个容许误差,该误差设定为半个视盘的距离,即 s_r ,同时考虑一些病变比较严重的患者,其拍摄的眼底像中,血管难以辨认,这种情况可能导致决定抛物线开口方向的系数 a 的值非常小,因此也有必要对 a 的值做一限定,本发明要求 a 的绝对值大于0.001,即 $\text{abs}(a) > 0.001$;

[0180] 3-2) 定义三个变量: valid_1 , valid_2 , valid_3 ,其值为0或1,分别表示步骤2-1)求取的视盘横坐标、步骤2-2)求取的视盘横坐标、步骤2-3)求取的抛物线的开口方向是否能够进行左右眼识别,0表示无法识别,1表示可以识别。

[0181] 3-3) 采用步骤2)的三种方法,分别对眼底图像 I 进行左右眼识别,并记录识别结果;具体步骤如下:

[0182] 3-3-1) 计算 $\text{dst1}=\text{cir_x}-\text{midline}$,如果 $\text{abs}(\text{dst1}) < s_r$,则 $\text{valid_1}=0$;否则 $\text{valid_1}=1$;

[0183] 如果 $\text{valid_1}=1$ 且 $\text{cir_x} > \text{midline}$,则识别眼底图像 I 为右眼;

[0184] 如果 $\text{valid_1}=1$ 且 $\text{cir_x} < \text{midline}$,则识别眼底图像 I 为左眼;

[0185] 3-3-2) 计算 $\text{dst2}=\text{vh_x}-\text{midline}$,如果 $\text{abs}(\text{dst2}) < s_r$,则 $\text{valid_2}=0$;否则 $\text{valid_2}=1$;

[0186] 如果 $\text{valid_2}=1$ 且 $\text{vh_x} > \text{midline}$,则识别眼底图像 I 识别为右眼;

[0187] 如果 $\text{valid_2}=1$ 且 $\text{vh_x} < \text{midline}$,则识别眼底图像 I 识别为左眼;

[0188] 3-3-3) 如果 $\text{abs}(a) \leq 0.001$,则 $\text{valid_3}=0$,否则 $\text{valid_3}=1$;

[0189] 如果 $\text{valid}=1$ 且 $a > 0.001$,则识别眼底图像 I 识别为左眼;

[0190] 如果 $\text{valid}=1$ 且 $a < -0.001$,则识别眼底图像 I 识别为右眼;

[0191] 3-4) 通常情况下,步骤3-3)得到的三个识别结果应保持一致;但也存在若干特殊

情况使得三个识别结果不一致,或者其中一个或两个判断方法无法产生识别结果或者产生矛盾的识别结果;在这种情况下,本发明设计了一套联合识别方法对眼底图像进行左右眼识别。具体步骤如下:

[0192] 3-4-1) 如果 $valid_1=1, valid_2=1, valid_3=1$,且输出的三个左右眼识别结果一致时,则将该识别结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;

[0193] 3-4-2) 如果 $valid_1=1, valid_2=1, valid_3=1$,但输出的三个左右眼识别结果不一致时,则以两种情况识别一致的结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;

[0194] 3-4-3) 如果 $valid_1=0, valid_2=0, valid_3=0$,则眼底图像I无法进行左右眼识别,识别结束;

[0195] 3-4-4) 若 $valid_1, valid_2, valid_3$ 中任意两个变量的值为1,一个变量的值为0时,若变量值为1的两个识别结果一致,则将该识别结果作为左右眼识别的最终结果,左右眼识别完毕;若变量值为1的两个识别结果不一致,则眼底图像I无法进行左右眼识别,识别结束。

[0196] 3-4-5) 若 $valid_1, valid_2, valid_3$ 中任意两个变量的值为0,一个变量的值为1时,则输出取值为1的变量所对应的左右眼识别结果,左右眼识别完毕;

[0197] 例如:当眼底图像存在特殊情况(例如:视盘在图像中心),则只能通过抛物线开口方向来识别左右眼):

[0198] 如果 $valid_1=0; valid_2=0; valid_3=1$ 且 $a>0.001$;则识别眼底图像I为左眼;

[0199] 如果 $valid_1=0; valid_2=0; valid_3=1$ 且 $a<-0.001$;识别为右眼。

[0200] 本发明的方法通过本领域技术人员编程即可实现。

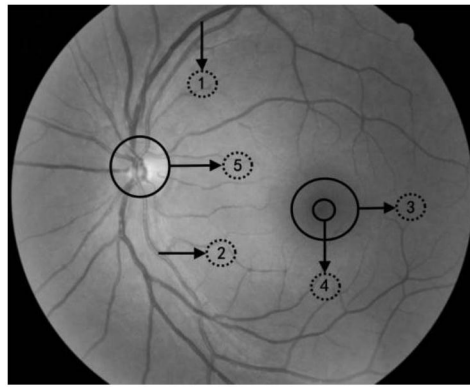


图1

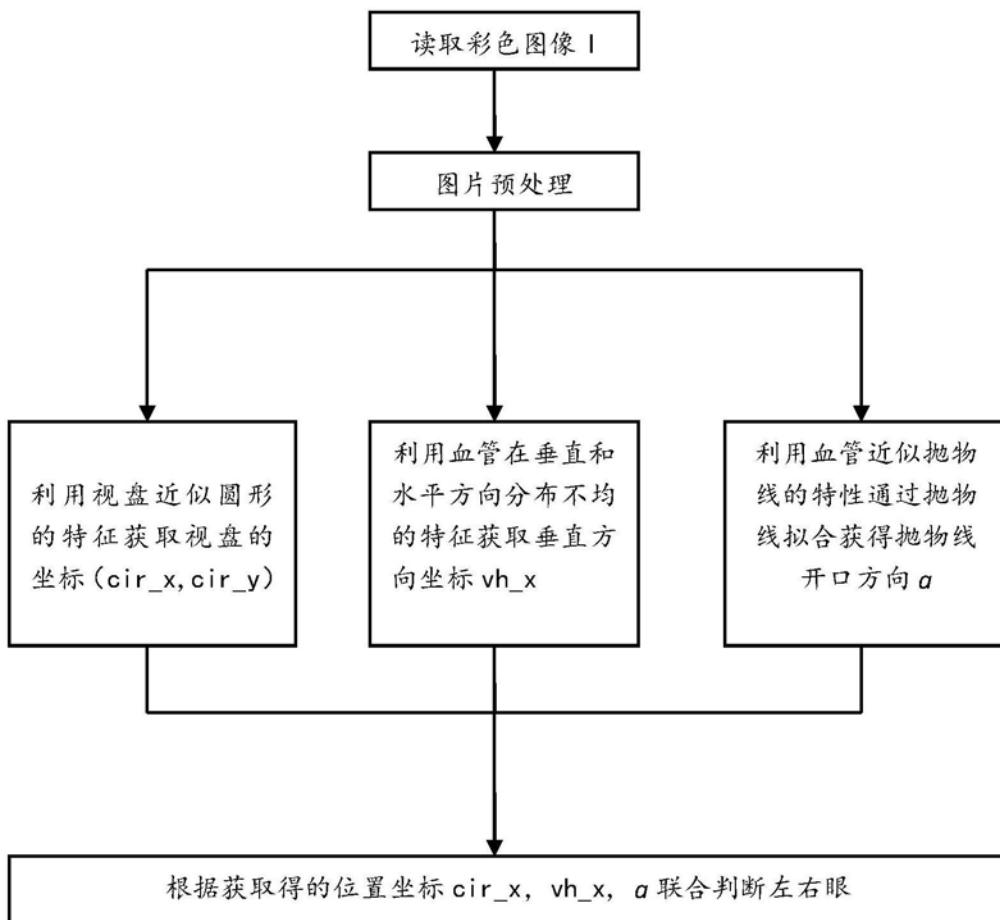


图2