

# Ophthalmic Imaging Method Based on Intelligent Terminal

Hongtao Li, Juanhua Li\*, Yangzi He, Ziyu Liu, Zhihao Fang

College of BMIE, Dongbei University, Shenyang Liaoning  
Email: \*15502613908@163.com

Received: Aug. 5<sup>th</sup>, 2018; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2018; published: Aug. 27<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In recent years, as the problem of global aging has become increasingly serious, the medical market has developed rapidly. The application of mobile communication technologies on diagnosis and prevention of diseases has become a new trend in medical development. The retina is one of the most important clinical observation targets. By identifying the changes in the retina, the diagnosis of retinal diseases and even cardiovascular and cerebrovascular diseases can be achieved. However, the fundus imaging systems used in clinics are generally complicated in structure, bulky, poor in portability, and relatively expensive. Therefore, the fundus imaging method based on the intelligent terminal is proposed in this study, which shows better portability and much lower cost compared with the traditional fundus imaging systems used clinically. The system combines a network of communications, information processing and family doctors to achieve a promising emerging medical solution that provides each individual user with complete healthcare. Its accuracy and reliability have been fully verified. To some extent, the system has alleviated the time-consuming, laborious, expensive and difficult problem of fundus examination for the majority of ordinary patients, proposed and realized a promising new portable medical solution, which can provide complete medical care for each individual user.

## Keywords

Retina Fundus Imaging, Smart-Phone, Internet of Things

---

# 基于智能终端的眼底成像方法

李洪涛, 李涓华\*, 何阳子, 刘子好, 方邕昊

东北大学中荷生物医学与信息工程学院, 辽宁 沈阳  
Email: \*15502613908@163.com

收稿日期: 2018年8月5日; 录用日期: 2018年8月20日; 发布日期: 2018年8月27日

---

\*通讯作者。

文章引用: 李洪涛, 李涓华, 何阳子, 刘子好, 方邕昊. 基于智能终端的眼底成像方法[J]. 计算机科学与应用, 2018, 8(8): 1224-1238. DOI: 10.12677/csa.2018.88134

## 摘要

近年来,随着全球老龄化问题日趋严重,医疗市场得到了快速发展,尤其是借助移动通信技术完成疾病的诊断及预防已成为医疗发展的新趋势。视网膜是临床上最重要的观察目标之一。通过观察视网膜的变化,可以实现视网膜疾病甚至心脑血管疾病的诊断。然而,临床上使用的眼底成像系统通常结构复杂、体积庞大、便携性差且成本较高。因此,本文提出一种基于智能终端的眼底成像方法,使其与临床使用的眼底成像方法相比,具有更好的便携性及更低的成本。该系统基于移动通信设备与云端服务系统,通过网络通信技术完成个人移动端与云端数据的传输,以保证本系统同时具有便携性以及良好的疾病分析性能。其准确性和可靠性得到了充分的验证。该系统在一定程度上,缓解了对于广大普通患者,眼底检查费时费力,且价格昂贵,难以推广的问题,提出并实现了一种具有前景的便携性新兴医疗解决方案,可为每个人用户提供完整的医疗保健。

## 关键词

视网膜成像, 智能手机, 物联网

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

### 1.1. 眼底成像技术的发展

眼底是指眼球内后部的组织,包含视网膜、脉络膜和视神经,是人眼重要的组成部分[1]。视网膜是眼睛这一感觉器官的重要组成部分,眼睛的大部分病变来自于眼底,同时眼底分布着大量的动静脉血管(如图1,图2所示)。通过观察分析眼底脉络膜和视网膜,对人体许多疾病的早期诊断和预防都有着重要意义。诸如糖尿病等疾病,都可以根据眼底的变化症状来进行早期诊断和预防。眼底成像技术的产生和发展,在眼科理论研究以及临床应用领域中都发挥着巨大作用。

19世纪中叶,德国科学家赫尔曼·冯·赫尔姆霍茨(Hermann von Helmholtz)发明了检眼镜[2]。1925年,世界上第一台眼底相机由德国 CARL ZEISS 公司研制成功。通过眼底相机,人类可以看到视网膜的血管和其他组织结构,这使得眼病的诊断有了巨大的进展。

### 1.2. 眼底成像系统介绍

医疗物联网(mIoTs)是指使用网络将医疗设备互相连接的平台[3]。该平台连接医生,病人和医疗设备,同时结合了医学大数据计算与信息挖掘,通信技术等各种工程技术[4][5][6][7]。对于我国目前面临的老龄化问题,医疗物联网将成为解决此类问题的有效手段。眼底图像可被广泛用于筛查视网膜疾病,并用于糖尿病等多种疾病的早期诊断[8]。疾病的青少年化和偏远地区落后的医疗水平,使得物联网医疗平台和疾病的早期发现和治疗变得更为重要。而由于近几年来移动通信技术的发展,智能手机的升级和医疗标准的提高,都促进了医疗信息产业的发展。本系统可以通过手机的通讯功能将医学图像和各种参数等医学信息传送给服务器,并将诊断结果反馈给用户。

本文所述的基于智能手机的眼底相机实现的理论基础为:通过观察视网膜病变,可以早期诊断和筛查各种系统性疾病[9]。本系统对糖尿病视网膜病变的患者非常友好,病人可以通过智能手机联系医生,

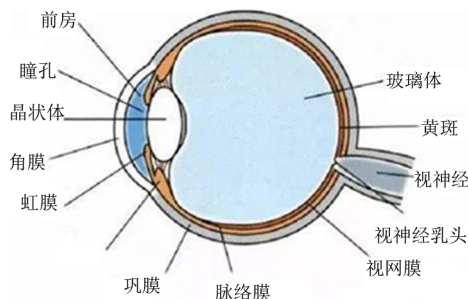


Figure 1. Eye chart  
图 1. 眼部结构图



Figure 2. Fundus image  
图 2. 眼底图像

通过互联网进行初步诊断。另外病人还可以通过云服务器使用人工智能来诊断疾病。

目前，全球其他一些研究团队已经对基于智能手机的相机进行了初步研究。Ashish Sharma 的研究小组在 2015 年开发了一种基于智能手机的眼底成像系统，并采集了糖尿病视网膜病变的样本[10]。2016 年，Maamari 团队实施了针对光学病理学优化的基于手机的广域全视网膜成像系统。收集眼底血管并与临床眼底成像装置的成像结果进行比较[11]。

本系统的眼底成像在硬件设备上对智能手机的成像功能进行了提升，并对采集到的眼底图像进行医学影像处理，并进一步将拍摄到的眼底图像上传到云端进行远程诊断以及人工智能诊断。该眼底成像系统的成本较低，具有巨大的商业潜力，有助于为糖尿病患者提供长期的医疗服务。

## 2. 工作原理

### 2.1. 眼底相机的工作原理

眼底照相机由成像系统和照明系统组成。成像系统的功能是从病人身上获取视网膜图像，照明系统用于照亮眼底，以获得清晰的图像[12] [13] [14] [15]。如图 3 所示，光线通过整个系统如下：来自 LED 的点光源通过透镜形成平行光线，然后经偏振片、分光镜改变方向后通过眼科透镜进入人眼。经视网膜反射的光通过眼科透镜、分光镜、偏振片及中继透镜，成像到智能手机的相机上。在整个光学系统中，通过两个偏振方向互相垂直的线性偏振片消除镜面反射光。

### 2.2. 移动终端系统

软件部分作为本系统完成诊断的工具，不仅提供了智能诊断功能，同时人性化的提供就近医院的医

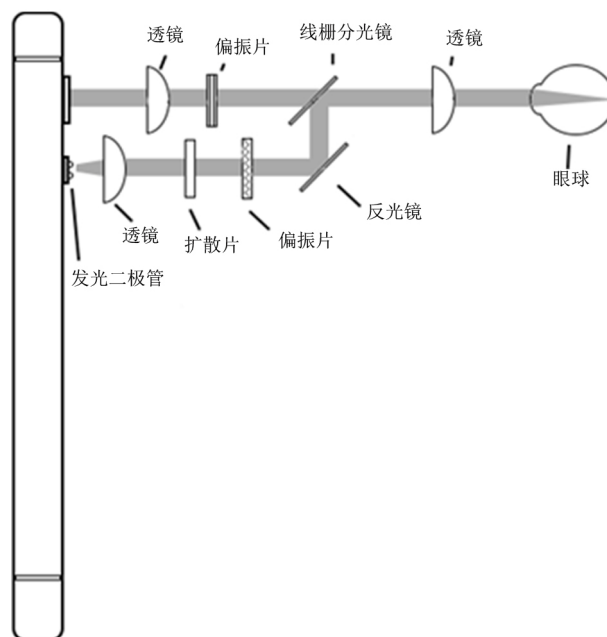


Figure 3. Fundus image  
图 3. 眼底图像

师诊治服务。患病用户可自行注册成为患者用户，并自主选择经验证后的医生进行远程诊断。

### 2.2.1. 云端服务器数据库介绍

本系统的软件和云端的服务器通过移动通讯连接，在服务器端，使用的 mybatis 支持定制化 SQL、存储过程以及高级映射的优秀持久层框架[16] [17] [18] [19]。采用 spring + spring MVC + mybatis 结构，通过 sql 数据库对医患数据存储相关信息。这样搭配的优点是：轻量、自由度高、Spring 与 Spring MVC 契合度更好，并且可以将 SQL 与代码程序解除耦合 SQL 结合 xml，方便统一管理并优化。

Spring MVC 的作用就是以 MVC 的架构形式(如图 4)去协调项目中涉及到的各个层的工作[20] [21] [22]。它协调的方式为各种注解。Mybatis 的作用是调用和执行 XML 文件中的 SQL，并返回持久层的数据。它执行的一个总体流程为：加载配置并初始化→接收调用请求→处理操作请求→返回处理结果并将最终的处理结果返回。Spring IoC 的作用是为了帮我们创建和管理需要的对象，它在项目中的实现机制是通过@Autowired 注解。

### 2.2.2. 图像预处理介绍

本系统的软件结合手机的计算功能，实现图片的预处理(图像的增强)，方便医师使用眼底图像进行诊断，同时也为服务器减少计算压力。

首先是图像的灰度化处理，即将彩色图像转化成为灰度图像的过程[22] [23]。彩色图像中的每个像素的颜色有 R、G、B 三个分量决定，而每个分量有 255 个值可取，这样一个像素点可以有超过 1600 万( $255 * 255 * 255$ )的颜色的变化范围。而灰度图像是 R、G、B 三个分量相同的一种特殊的彩色图像，其一个像素点的变化范围为 255 种，所以在数字图像处理种一般先将各种格式的图像转变成灰度图像以使后续的图像的计算量变得少一些。灰度图像的描述与彩色图像一样仍然反映了整幅图像的整体和局部的色度和亮度等级的分布和特征[24] [25]。

在本文中，我们利用的是 YUV 颜色空间，其中“Y”表示明亮度，即灰阶值；而“U”和“V”表示的则是色度，作用是描述影像色彩及饱和度，用于指定像素的颜色。YUV 主要用于优化彩色视频信号

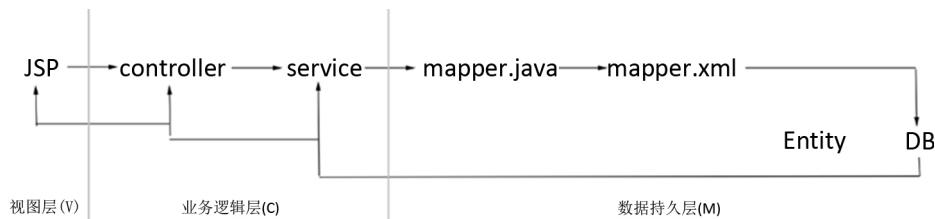


Figure 4. Server structure

图 4. 服务器结构

的传输,使其向后相容于患者其他渠道得到的黑白眼底影像。并且与 RGB 视频信号传输相比,它最大的优点在于只需占用极少的频宽。同时在人的视觉系统中,人眼对低频信号相对于高频信号有更高的敏感度。并且人眼对明亮度的改变也比对色彩的改变要敏感的多。因此对人类而言, Y 分量比 U 分量重要,根据人眼的这一特征,在不使用任何复杂算法的前提下,可以适当地抛弃 U 和 V 分量以达到压缩的目的,这就是部分取样。根据 RGB 和 YUV 颜色空间的变化关系可建立亮度 Y 与 R、G、B 三个颜色分量的对应:  $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$ , 以这个亮度值表达图像的灰度值。

针对图像增强,我们采用拉普拉斯算子方法[26] [27]。拉普拉斯算子是最简单的各向同性微分算子,具有旋转不变性。一个二维图像函数的拉普拉斯变换是各向同性的二阶导数,为了更适合于数字图像处理,将该方程表示为离散形式:

$$\nabla^2 f = [f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1)] - 4f(x,y)$$

拉普拉斯算子数学表达式

对于图像模糊的问题,可以对图像进行逆运算,如微分运算能够突出图像细节,使图像变得更为清晰[28] [29]。由于拉普拉斯是一种微分算子,它的应用可增强图像中灰度突变的区域,减弱灰度的缓慢变化区域[30]。因此,锐化处理可选择拉普拉斯算子对原图像进行处理,产生描述灰度突变的图像,再将拉普拉斯图像与原始图像叠加而产生锐化图像。

### 3. 实施过程

#### 3.1. 光学系统结构

眼底相机的光学系统主要包括成像系统和照明系统两部分:由于人眼内的组织本身无法发光,因此引入照明系统对眼底进行照明,并利用智能手机的拍照功能拍摄眼底图像。因此,充分地利用了智能手机的光源和获取图像的两个重要功能。

该光学系统的工作前提是,必须保证进入人眼的光线强度安全且适宜,在此基础上合理的设计成像光路和照明光路,合理地选择镜片,并适当调节镜片间的距离,使得到的图像质量最好[31] [32]。

##### 3.1.1. 照明系统的设计

本课题所采用的照明方式为均匀而充足的光线,由手机自带的 LED 灯提供。在初步设计的照明系统中,LED 处于透镜的焦距上进而形成平行光线,因此当入射光源距离系统 40~70 mm 之间时,经过照明系统的另一端最终将形成一个平行光束。本文中所采用的照明光源为手机自带的闪光灯,手机自带的 LED 光源的光强可以满足照亮眼底视网膜的强度,不需要引入外接的电源和电路,这将有效的降低制作难度和制作成本,避免不安全事件的发生。

由闪光灯出射的光依次通过三面反射镜进行反射,其目的是为了通过改变原本光路的走向减小光路设计的体积。点光源经透镜变为平行光束后通过偏振片,该偏振片与成像系统的偏振片相垂直,进而可

以消除镜面反射光的干扰。最终将光线利用分束器将入射的光线 50%反射至前置镜，并通过瞳孔达到人眼的视网膜，进而完成整个照明过程。

### 3.1.2. 成像系统的设计

医学上普遍认为正常人眼的黄斑的直径大小为 1~3 mm，正常人眼视网膜的直径大小为 4~6 mm 之间，有效焦距约为 35 mm，正常情况下人眼的瞳孔直径大小在 2.5~4 mm 之间[31] [32]，可以看出人眼对外界光线在视网膜处起到汇聚的作用，将该影响考虑到整个成像系统的设计中。因此设计该成像系统，主要考虑的技术指标包括以下两点：

设计波长：390~780 nm (可见光范围内)；

工作距离：20~45 mm。

## 3.2. 软件系统

### 3.2.1. 数据库与服务器搭建

云端服务器的数据库设计根据系统要求，采用 MYSQL 数据库，数据库名为 hcservice，由 7 个数据库表组成：

#### ①检查报告信息表

此表 1 包含检查 id、用户 id、组别、创建时间、标题和检查类型六个字段，且完成对创建的检查报告进行分类。

#### ②医生信息表

此表 2 包含用户 id、用户名、登录密码、真实姓名、年龄、电话、创建时间七个字段，完成医生信息的记录。

#### ③信息表

此表 3 有检查 id、区分值、存储值三个字段，使用 business 表中的 id 作区分，共同完成对医患之间影像信息的存储。

#### ④消息表

此表 4 有消息 id、消息类型、组别、用户 id、创建时间、标题、内容组成。

#### ⑤新闻表

此表 5 用于发布新闻消息，包含新闻 id、新闻标题、创建时间、已读数、新闻链接组成。

#### ⑥病人信息表

此表 6 与医生信息表类似，由病人 id、ID 卡号、登录密码、用户名、电话、真实姓名、创建时间七个字段构成。

#### ⑦关系表

此表 7 由医生 id、病人 id、关联类型构成，分别与医生用户 id、病人 id 相关联，完成医患之间从属关联信息存储。

为完成 APP 与服务器配置，云端数据库的医生个体与患者个体由全球唯一的 id 区分，通过 java 产生 UUID/GUID，利用 java.util.UUID，生成 UUID/GUID 为一串 32 位字符的 128 位数据 (\*\*\*\*\*\_\*\*\*\*\_\*\*\*\*\_\*\*\*\*\_\*\*\*\*\*形式)，并通过 id 完成两者信息的匹配和各个个体之间的区分。

### 3.2.2. 终端系统界面设计

根据用户需求，本系统需要提供两套预诊方案：

1、与用户所在地匹配，就近大型医院医师进行网络诊断。

**Table 1. Business**  
**表 1. 检查报告信息表**

名	类型	长度	小数点	不是 null
id	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
user_id	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
pid	varchar	40	0	<input type="checkbox"/>
create_time	timestamp	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>
title	varchar	50	0	<input type="checkbox"/>
type	varchar	50	0	<input checked="" type="checkbox"/>

**Table 2. Docuser**  
**表 2. 医生信息表**

名	类型	长度	小数点	不是 null
user_id	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
user_name	varchar	60	0	<input checked="" type="checkbox"/>
password	varchar	60	0	<input type="checkbox"/>
real_name	varchar	60	0	<input type="checkbox"/>
age	int	11	0	<input type="checkbox"/>
telephone	varchar	15	0	<input type="checkbox"/>
create_time	timestamp	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>

**Table 3. Information**  
**表 3. 信息表**

名	类型	长度	小数点	不是 null
id	varchar	255	0	<input checked="" type="checkbox"/>
key	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>
value	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>

**Table 4. Message**  
**表 4. 消息表**

名	类型	长度	小数点	不是 null
id	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
type	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
group_id	varchar	60	0	<input type="checkbox"/>
user_id	varchar	40	0	<input type="checkbox"/>
create_time	timestamp	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>
title	varchar	200	0	<input type="checkbox"/>
content	varchar	9999	0	<input type="checkbox"/>

**Table 5. News**  
**表 5. 新闻表**

名	类型	长度	小数点	不是 null
id	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
title	varchar	255	0	<input checked="" type="checkbox"/>
create_time	timestamp	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>
read_count	int	11	0	<input checked="" type="checkbox"/>
url	varchar	255	0	<input checked="" type="checkbox"/>

**Table 6. Patient user**  
**表 6. 病人信息表**

名	类型	长度	小数点	不是 null
patient_id	varchar	255	0	<input checked="" type="checkbox"/>
id_card	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>
password	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>
user_name	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>
telephone	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>
real_name	varchar	255	0	<input type="checkbox"/>
create_time	timestamp	0	0	<input type="checkbox"/>

**Table 7. Relationship**  
**表 7. 关系表**

名	类型	长度	小数点	不是 null
doctor_id	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
patient_id	varchar	40	0	<input checked="" type="checkbox"/>
type	varchar	60	0	<input type="checkbox"/>

2、用户使用本系统的诊断机制，得到诊断意见。

设计出本系统界面如图 5 所示。a 图为登录的界面，在用户使用本系统时，将识别用户，获取个人信息，在图 b 个人信息处显示，登录后将进入主页面(图 c)，点击进入拍照界面，获取眼底信息，同时可编辑图片备注病情(图 d)。创建后的记录可在列表中查看(图 e)，选取后可看到眼底信息图像并且寻求附近的医生(图 f、g)，在选到适合的医师之后进行支付完成在线诊断(图 h)。同时，本系统提供与一时的沟通机制、附近的医生列表以及医师的个人信息，并导航附近的医院等一系列的人性化功能。

对于医师来说，可以通过个人登录，获取病人用户的申请进而进行网络诊断，医生可以查看自己的病人列表并进入查看其信息(图 6)。

#### 4. 结果与讨论

本系统光学系统结构最终设计的大小为 79 \* 88 \* 42 mm，在一定限度内将体积缩小，并可与智能手机的大小相匹配，符合最初设计的集成化且便携的想法。为保证镜片安装的稳定性，设计了卡槽结构，使所有镜片的中心均保证在同一高度，并且添加一些必要的“墙壁”和“圆柱”形结构，以防止杂散光



线对整个成像系统的影响,进而提高成像质量。通过建模软件设计后的结构如图 7,图 8 所示。该成像系统通过与移动终端客户端软件相结合,可实现眼底的初步诊断。

图 9 为通过所设计的基于智能手机的眼底相机所采集到的眼底图像。

本系统开发通过两个模块完成所有功能:软件功能模块和网络模块。在软件功能模块,完成 UI 设计

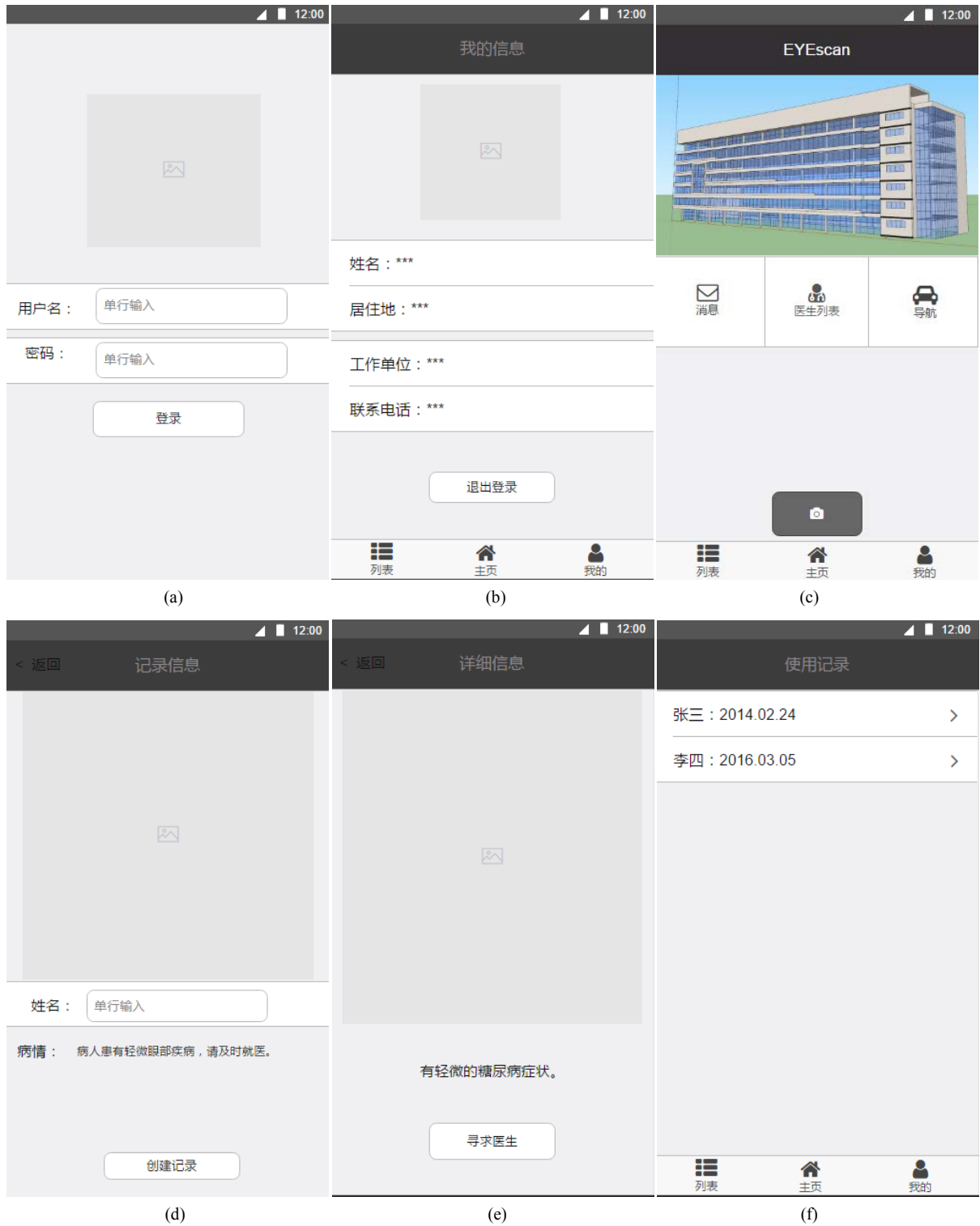




Figure 5. Patient terminal system interface  
图 5. 患者终端系统界面

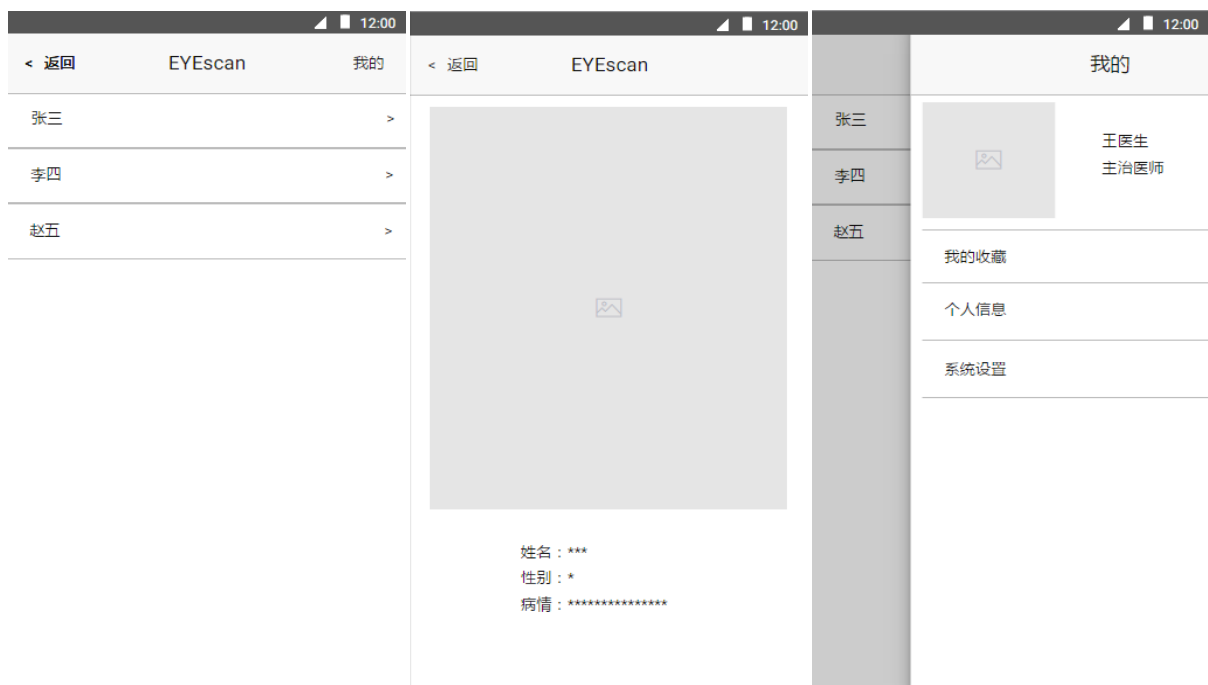
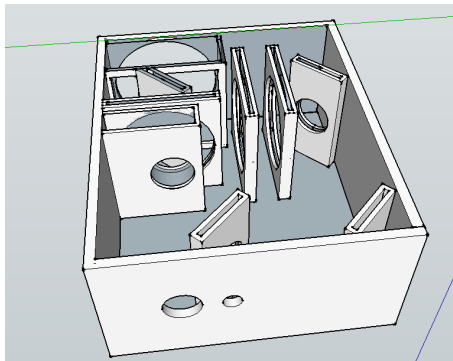


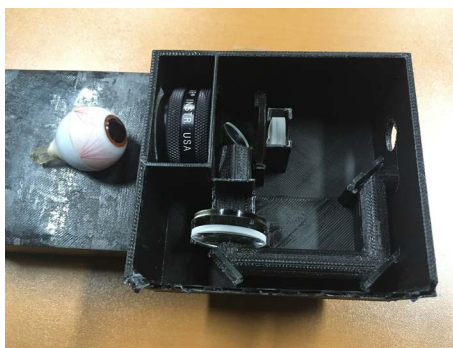
Figure 6. Doctor terminal system interface  
图 6. 医生终端系统界面

的同时，将结合网络模块实现用户个人资料的维护。

为了更高效的利用计算资源，将使用本地设备进行图像处理，首先将图像进行尺寸压缩，调节成为



**Figure 7.** Sketchup modeling diagram  
**图 7.** Sketchup 建模示意图



**Figure 8.** The internal structure of the object  
**图 8.** 实物内部构造图



**Figure 9.** Image of the fundus of the eye  
**图 9.** 拍摄到的眼底图像

适当的大小后,可减小计算难度,同时提升网络传递效率,且能得到理想的预诊结果。之后完成灰度化、使用拉普拉斯算子等完成图像的增强(图 10)。

网络模块由 8 个部分(图 11)构成, 其中 BaseService 完成对网络 IP、响应方式等的配置, 剩余 7 部分与服务器各自的数据表对应, 负责完成各自功能。

网络模块中, 与数据库相结合完成云端功能。其中 BaseService 完成对网络的配置, 使得网络通信模块能够正常工作。BusinessService 模块完成对检查报告信息表的创建。DBusinessService 完成对检查报告信息表的分类以及存储。DoctorService 与 PatientService 分别完成对医生和病人的相关信息的维护, ImageService 模块负责图像的处理, NewService 模块完成对医院信息的维护, 将医院的信息及时通知给用户, 以免延误病情。而 ServiceNew 模块则结合上述各个模块完成云端服务的功能。

同时, 在软件处使用 Hierarchy Viewer 工具和 StrictMode 开发模式, 对于其 CPU 和内存进行了优化, 使用 Nexus 5 模拟使用情况如图 12, 图 13 所示。在软件运行过程中, 占用的资料较少, 可用于低端机

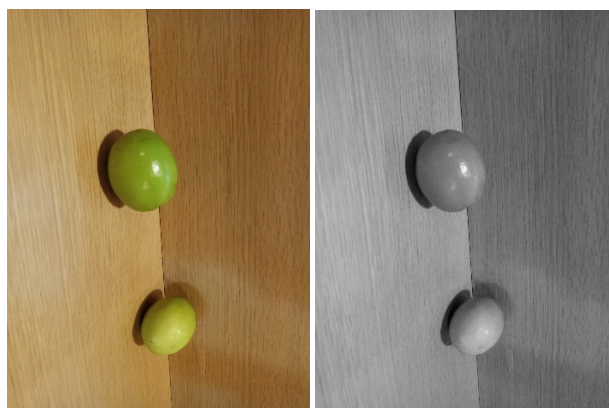


Figure 10. Image processing algorithm of the system

图 10. 本系统的图片处理算法处理图

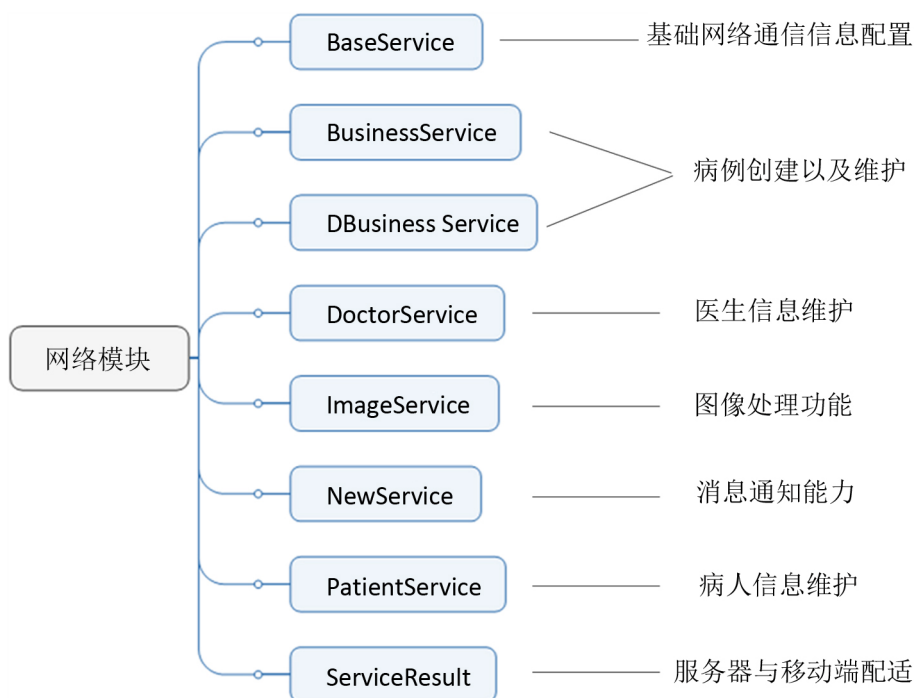


Figure 11. Network module composition diagram

图 11. 网络模块组成图

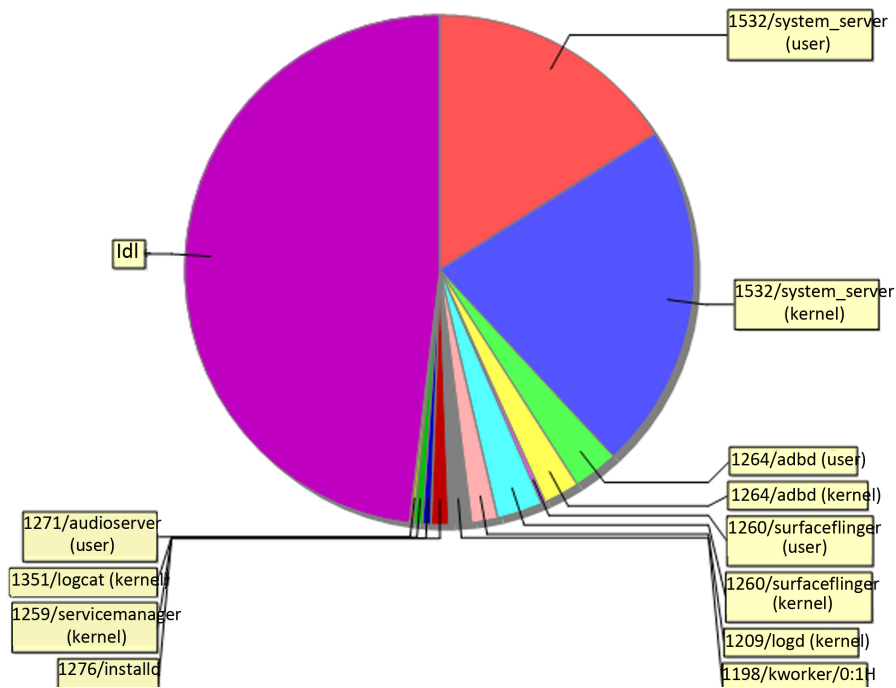


Figure 12. CPU usage during software operation

图 12. 软件运行中 CPU 占用情况

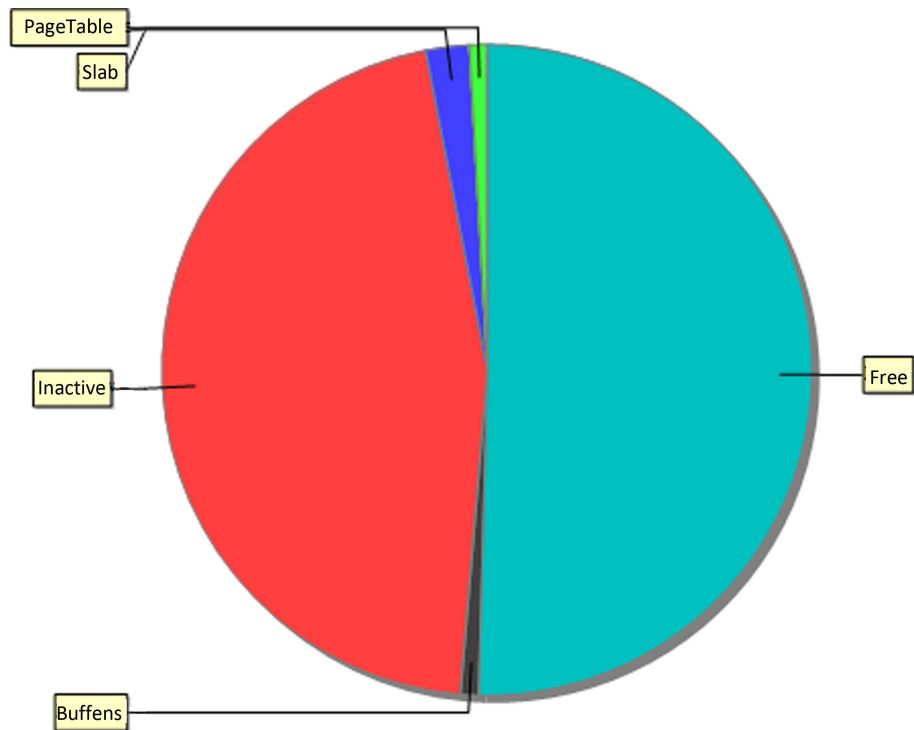


Figure 13. Memory footprint in software running

图 13. 软件运行中的内存占用情况

型的适配，极大提升了平台的实用性。

本软件选用红米 note4 以及 vivo A37 测试，运行过程与图 12，图 13 中所占用的资源类似，本系统

可以流畅运行，且获得了良好的用户体验。

## 5. 总结

本文对眼底相机的工作原理进行了详细的分析和介绍，并且引入互联网医疗方式，通过移动设备连接了医疗和日常生活。作为硬件部分，使用 Sketchup 建模设计一款小巧便携的手机外设，并与移动设备相结合实现了较为理想的眼底图像采集，大大降低了眼底成像设备的成本。另外，本系统通过互联网将图像传入云端进行分析运算，可满足用户对眼底疾病初步诊断的目的。

## 参考文献

- [1] 吕帆,“眼视光器械学”[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 87-89.
- [2] 赵培泉, 彭清. 重视自发荧光检测技术在眼底疾病诊断中的应用[J]. 中华眼科杂志, 2008, 44(9): 772-775.
- [3] Metcalf, David, *et al.* (2016) Wearables and the Internet of Things for Health: Wearable, Interconnected Devices Promise More Efficient and Comprehensive Health Care. *IEEE Pulse*, **7**, 35-39. <https://doi.org/10.1109/MPUL.2016.2592260>
- [4] Lo, B.P.L., Ip, H. and Yang, G.Z. (2016) Transforming Health Care: Body Sensor Networks Wearables and the Internet of Things. *IEEE Pulse*, **7**, 4-8. <https://doi.org/10.1109/MPUL.2015.2498474>
- [5] Santagati, G.E. and Melodia, T. (2017) Experimental Evaluation of Impulsive Ultrasonic Intra-Body Communications for Implantable Biomedical Devices. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **16**, 367-380. <https://doi.org/10.1109/TMC.2016.2561277>
- [6] Abawajy, J.H. and Hassan, M.M. (2017) Federated Internet of Things and Cloud Computing Pervasive Patient Health Monitoring System. *IEEE Communications Magazine*, **55**, 48-53. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600374CM>
- [7] Chang, S.H., Chiang, R.D., Wu, S.J. and Chang, W.T. (2016) A Context-Aware, Interactive M-Health System for Diabetics. *IT Professional*, **18**, 14-22. <https://doi.org/10.1109/MITP.2016.48>
- [8] Fan, D.C.K. (2006) Bayesian Inference of Vascular Structure from Retinal Images. Doctoral dissertation, University of Warwick.
- [9] Bastawrous, A., Giardini, M.E., Bolster, N.M., Peto, T., Shah, N., Livingstone, I.A., *et al.* (2016) Clinical Validation of a Smartphone-Based Adapter for Optic Disc Imaging in Kenya. *JAMA ophthalmology*, **134**, 151-158. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.4625>
- [10] Sharma, A., Subramaniam, S.D., Ramachandran, K.I., Lakshmikanthan, C., Krishna, S. and Sundaramoorthy, S.K. (2016) Smartphone-Based Fundus Camera Device (MII Ret Cam) and Technique with Ability to Image Peripheral Retina. *European Journal of Ophthalmology*, **26**, 142-144. <https://doi.org/10.5301/ejo.5000663>
- [11] Maamari, R.N., Keenan, J.D., Fletcher, D.A. and Margolis, T.P. (2013) A Mobile Phone-Based Retinal Camera for Portable Wide Field Imaging. *British Journal of Ophthalmology*, bjophthalmol-2013.
- [12] Tomasi, Carlo, and Manduchi, R. (1998) Bilateral Filtering for Gray and Color Images. 1998 *6th IEEE International Conference on Computer Vision*, Bombay, 4-7 January 1998, 8.
- [13] Larichev, Viktorovich, A., *et al.* (2002) Adaptive System for Eye-Fundus Imaging. *Quantum Electronics*, **32**, 902. <https://doi.org/10.1070/QE2002v032n10ABEH002314>
- [14] Ayyakkannu, M. and Sharp, P.F. (1993) Digital Fundus Imaging Using a Scanning Laser Ophthalmoscope. *Physiological Measurement*, **14**, 43. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/14/1/006>
- [15] Ran, Z. (1999) System for Imaging an Ocular Fundus Semi-Automatically at High Resolution and Wide Field. U.S. Patent No. 5,943,116. 24 Aug. 1999.
- [16] Zhang, D., Wei, Z. and Yang, Y. (2013) Research on Lightweight MVC Framework Based on Spring MVC and Mybatis. *6th International Symposium on Computational Intelligence and Design*, Vol. 1, Hangzhou, 28-29 October 2013, 350-353.
- [17] Wen, X. and Gao, J. (2012) Research of Web Application Framework Based on Spring MVC and MyBatis. *Micro-computer Applications*, **7**, 1-4.
- [18] 徐雯, 高建华. 基于 Spring MVC 及 MyBatis 的 Web 应用框架研究[J]. 微型电脑应用, 2012, 28(7): 1-4.
- [19] Ho, C. (2012) Using MyBatis in Spring. In: Schaefer, C., Ho, C. and Harrop, R., Eds., *Pro Spring*, Apress, New York, 3rd Edition, 397-435.

- [20] Mela, M., Sakowicz, B. and Chlapinski, J. (2008) Advertising Service Based on Spring Framework. *Proceedings of International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, Lviv-Slavsko, 19-23 February 2008, 406-408.
- [21] Cao, J. and Geng, X. (2007) An Application Investigation Based on Integrated Architecture of JSF, Spring and Ibatis. *Computer Knowledge and Technology (Academic Exchange)*, 13, 036.
- [22] Schaefer, C., Ho, C. and Harrop, R. (2014) Pro Spring. Apress, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6152-0>
- [23] Starck, J.L., Murtagh, F., Candès, E.J. and Donoho, D.L. (2003) Gray and Color Image Contrast Enhancement by the Curvelet Transform. *IEEE Transactions on Image Processing*, 12, 706-717. <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.813140>
- [24] Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F. and Leon, J. (2006) Color Measurement in L\*a\*b\* Units from RGB Digital Images. *Food Research International*, 39, 1084-1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
- [25] Mühlmann, K., Maier, D., Hesser, J. and Männer, R. (2002) Calculating Dense Disparity Maps from Color Stereo Images, an Efficient Implementation. *International Journal of Computer Vision*, 47, 79-88. <https://doi.org/10.1023/A:1014581421794>
- [26] Burt, P.J. and Adelson, E.H. (1987) The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code. In: Firschein, O. and Fischler, M.A., Eds., *Readings in Computer Vision*, M. Kaufmann Publishers, Los Altos, 671-679. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-051581-6.50065-9>
- [27] Field, D.A. (1988) Laplacian Smoothing and Delaunay Triangulations. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 4, 709-712. <https://doi.org/10.1002/cnm.1630040603>
- [28] Caffarelli, L. and Luis, S. (2007) An Extension Problem Related to the Fractional Laplacian. *Communications in Partial Differential Equations*, 32, 1245-1260. <https://doi.org/10.1080/03605300600987306>
- [29] Sorkine, O., et al. (2004) Laplacian Surface Editing. In: Scopigno, R. and Zorin, D., Eds., *Eurographics Symposium on Geometry Processing*, ACM, New York, 175-184. <https://doi.org/10.1145/1057432.1057456>
- [30] Mohar, B., et al. (1991) The Laplacian Spectrum of a Graph. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 11, 218-238.
- [31] Fischer, R.E., et al. (2000) Optical System Design. McGraw Hill, New York.
- [32] Volk, D. (1987) Accommodating Intraocular Lens and Lens Series and Method of Lens Selection. U.S. Patent No. 4,710,193.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [csa@hanspub.org](mailto:csa@hanspub.org)