

文章编号 1004-924X(2019)06-1270-07

皮肤反射式共聚焦显微成像自适应图像亮度调节

缪 新^{1,2}, 张运海^{1,2*}, 黄 维²

(1. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026;

2. 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所 江苏省医用光学重点实验室, 江苏 苏州 215163)

摘要:在皮肤反射式共聚焦显微成像过程中,为了实现图像亮度的快速调节,提出了一种图像亮度自适应调节方法。通过实验建立光强控制电压与图像亮度之间的关系模型,划分图像极端亮度区间与适度亮度区间,采用分段调节策略,将初始图像从极端亮度区间快速调整至适度亮度区间,在适度亮度区间内通过线性补偿调节至目标灰度均值。对不同深度、不同位置的皮肤组织进行实时成像,图像初始亮度存在着过亮、过暗和适中等各种情况,上述亮度自适应调节方法均能实现快速亮度调节,调节迭代次数为 2~3,调节后图像灰度均值达到最优值 70 左右。实验结果表明,这种自适应图像亮度调节方法快速、有效,能够满足皮肤共聚焦成像检测的需要。

关键词:显微成像;反射式共聚焦;皮肤;亮度区间;线性补偿;图像灰度均值

中图分类号:TH742.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20192706.1270

Image brightness adaptive adjustment during skin imaging by reflectance confocal microscopy

MIAO Xin^{1,2}, ZHANG Yun-hai^{1,2*}, HUANG Wei²

(1. *University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;*

2. Jiangsu Key Laboratory of Medical Optics,

Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology,

Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215163, China)

** Corresponding author, E-mail: zhangyh@sibet.ac.cn*

Abstract: For quick adjustment of image brightness during skin imaging with reflectance confocal microscopy, an adaptive brightness adjustment method was proposed. The association between laser power control voltage and image brightness was established by experiments. Images can have two types of brightness: extreme and moderate. Using segmental adjustment, brightness of the initial image could be quickly changed from extreme to moderate. Finally, the optimal brightness was obtained using linear compensation. Real-time imaging of skin tissues at different depths and locations can show if the initial image is too bright, too dark, or of moderate brightness. Subsequently, quick adjustment of the brightness can be achieved. The number of iterations is 2-3, and the optimal image

收稿日期:2019-01-21;**修订日期:**2019-03-10.

基金项目:国家重点研发计划资助项目(No. 2017YFC0110303);江苏省青年基金资助项目(No. BK20160363, No. BK20170390);国家自然科学基金资助项目(No. 11804371, No. 31870112);苏州市民生科技项目(No. SS201643)

brightness is approximately 70. The results show that this method is fast and can effectively meet the needs of skin imaging with reflectance confocal microscopy.

Key words: microscopy; reflectance confocal microscopy; skin; brightness section; linear compensation; image pixels mean value

1 引言

皮肤反射式共聚焦显微镜是一款新型皮肤影像学诊断仪器^[1-2],主要应用于感染性、色素减退性、色素增加性、炎症性皮肤病及良、恶性皮肤肿瘤的诊断^[3-4]。该系统以近红外激光作为光源,照明光点、物点、探测针孔相共轭^[5-6],通过针孔设置抑制非焦面杂散光,利用皮肤中黑色素和角蛋白等不同细胞结构的折射率差异,实现皮肤组织结构的无创在体三维层析成像。在系统成像过程中,由于光束到达不同层次、不同位置皮肤组织的光强不同,呈现出的图像整体亮暗程度不同,在一定程度上直接影响医生对患者皮损组织成像观察、微结构特征辨识、边界界定,甚至诊断结果的准确性,而频繁手动控制激光光源不仅操作繁琐,还分散医生精力,因此,需要在系统实时成像的同时实现快速自适应图像亮度调节,维持图像整体亮度在一定阈值范围内。

目前,自适应图像的亮度调节方法有脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)、小波变换与能量比结合、梯度域自动调整和直方图均衡化^[7-9]等。王日明等^[10]提出的基于FPGA的PWM控制方法需要构建控制电路,FPGA模块需要实现图像灰度累加、均值求解及PWM控制,计算量较大,电路设计较为复杂。宋佳、王鹏等^[11]提出小波变换与能量比相结合作为光强自适应评价算法,调节过程中控制电压从最低值逐步提升,效率较慢,且此方法通用性较差。王想等^[12]提出的梯度域自动调整法是将图像分割成许多不同亮度的区域,然后分别计算不同区域亮度调整算子,其缺点是区域划分并不唯一,计算量大,实时性差。直方图均衡化等^[13-14]图像处理只适用于静态图像后处理,无法实现图像实时调节,且容易引起局部细节信息丢失或原有特征改变。

本文提出了一种自适应图像亮度快速调节方

法,通过确定光源控制电压与物镜出口功率的映射关系,建立图像亮度评价指标,然后实验研究了物镜出口功率与图像灰度均值的相对关系,划分极端亮度区间与适度亮度区间,将初始图像从极端亮度区间快速调整至适度亮度区间,再通过线性补偿调节至目标灰度均值,最终实现自适应图像的亮度调节。

2 自适应图像亮度调节方法

2.1 皮肤反射式共聚焦显微成像系统

皮肤反射式共聚焦显微成像系统如图1所示。该系统采用反射式共聚焦成像原理,通过微型扫描振镜将激光点在皮肤组织上进行逐点逐行扫描,获取皮肤不同位置的共聚焦图像。激光光源输入控制电压而产生入射光束,依次经过PBS分光棱镜、微型扫描镜、扫描透镜、筒镜、λ/4波片、反射镜1及物镜,到达待检测皮肤组织样本,形成的反射光束沿原路返回,透射经过PBS分光棱镜,再依次经过反射镜2、针孔透镜后聚焦于探测器前端面小孔处,探测信号经过上位机软件处理形成实时图像。

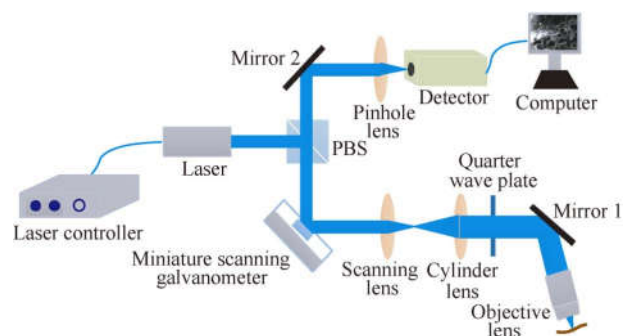


图1 皮肤反射式共聚焦显微成像系统

Fig. 1 Reflectance confocal microscope for skin imaging

2.2 光源功率控制

通过实验测得光源出口功率 P_{out} 与控制电压 U 满足如下函数关系式:

$$P_{out} = 7.76U^3 - 3.45U^2 - 0.20U + 0.05. \quad (1)$$

系统中,由于元器件存在一定的后向反射及吸收,光束沿着传播方向能量呈线性衰减,通过实验测得物镜出口功率 P_{obj} 与光源出口功率 P_{out} 满足如下函数关系:

$$P_{obj} = 0.31P_{out}. \quad (2)$$

通过式(1)和式(2),得出物镜出口功率 P_{obj} 与光源控制电压 U 的函数关系如下:

$$P_{obj} = 2.41U^3 - 1.07U^2 - 0.06U + 0.02. \quad (3)$$

如图 2 所示,物镜出口功率 P_{obj} 与光源控制电压 U 近似满足三次方函数关系,当光源控制电压 P_{obj} 在 0~0.6 V 之间时,物镜出口功率 P_{obj} 基本为零,变化较为缓慢;当光源控制电压 P_{obj} 在 0.6~0.9 V 之间时,物镜出口功率 P_{obj} 的变化较为明显;当光源控制电压 P_{obj} 在 0.9~1.3 V 之间时,物镜出口功率 P_{obj} 变化更加剧烈。

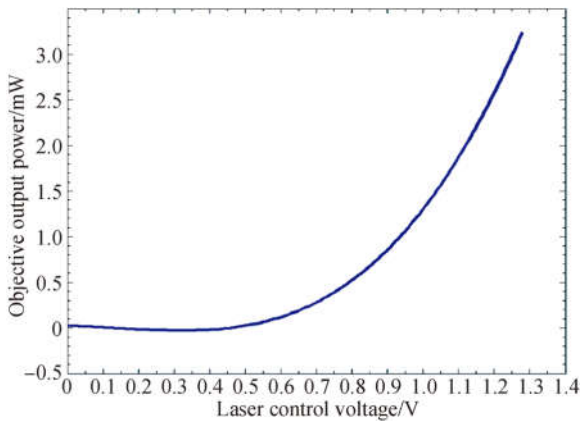


图 2 物镜出口功率与光源控制电压的函数关系

Fig. 2 Relationship between output power from objective lens and control voltage of laser power

光源功率控制逻辑如图 3 所示:上位机将控制电压数据(十六进制数 00~FF)放置于字符串指令中,通过串口发送给下位机,ARM 控制芯片接收指令,并解析出对应位置的电压数据信息,通过数字电位器转换成模拟电压值,再次经过内部电路放大并滤波后,将电压值传送给光源内部的控制芯片,使得内部晶体激发光子,形成一定的发光强度,产生对应的出口功率,最终通过光纤输出。

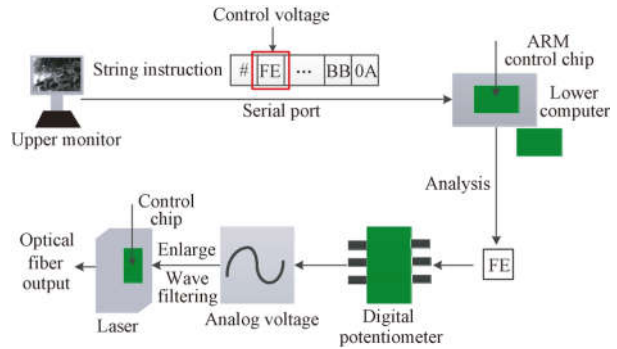


图 3 光源功率控制逻辑

Fig. 3 Method for laser power control

2.3 图像亮度评价指标

图像灰度均值为—帧图像所有像素灰度值的平均值,是评价图像整体亮暗程度的参数指标^[15 16]。通过皮肤成像实验,采集相同组织样本、不同灰度均值的图像,寻找最佳灰度均值的阈值范围,具体结果如图 4 所示。

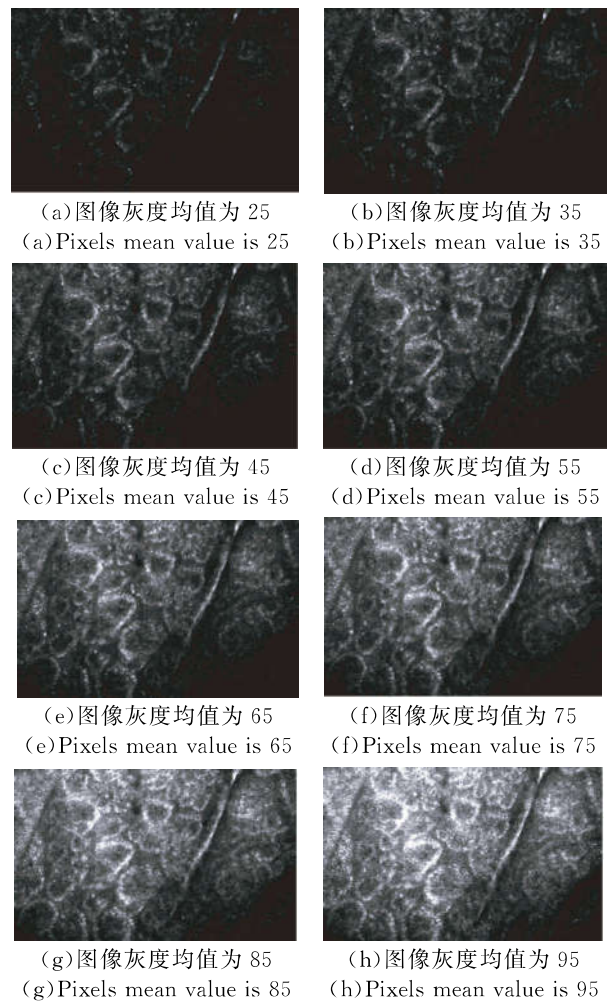


图 4 图像灰度均值对比分析

Fig. 4 Analysis of several different brightness images

结果显示,当图像灰度均值在[25,35]时,图像整体亮度偏低,皮肤组织大量特征结构未充分凸显,细节及信息获取不全面;当图像灰度均值在[45,55]时,皮肤组织仍有少量特征结构未充分凸显;当图像灰度均值在[65,75]时,图像整体亮度较为适宜,皮肤组织特征结构较充分凸显;当图像灰度均值在[85,95]时,图像整体亮度偏高,部分折光性较高的物质出现“抱团”现象,影响特征观察、辨识及诊断,因此,将图像灰度均值[65,75]作为最佳阈值范围,70 为最优目标灰度均值。

2.4 自适应图像亮度调节算法

皮肤由多层组织组成,分为角质层、透明层、颗粒层、棘层、基底层、真皮乳头层和真皮网状层等。共聚焦成像检查时常要观察真皮乳头层,因此,将该层作为典型皮肤组织,在该深度层取多个不同位置进行实时成像实验,得出不同物镜出口功率对应的图像灰度均值。通过数据求均值,拟合出具有代表性的最佳曲线分布,如图 5 所示(彩图见期刊电子版),蓝色曲线代表 5 个不同位置处物镜出口功率与图像灰度均值的关系,红色曲线由各均值数据拟合而成。

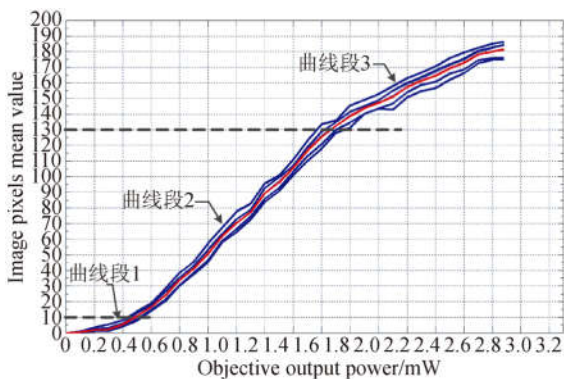


图 5 物镜出口功率与图像灰度均值的曲线关系
Fig. 5 Relationship between output power from objective lens and image brightness value

由于图像灰度均值在不同区间内的变化关系不同,将整段曲线分成 3 段,如图 6 所示,对应区间分别为[0,10],[10,130]和(130,255],其中[0,10)和(130,255]为极端亮度区间,[10,130]为适度亮度区间。在不同区间内,都近似满足线性变化关系,但斜率不同,需要找出各区间段内最优斜率 $C_i (i=1,2,3)$ 。

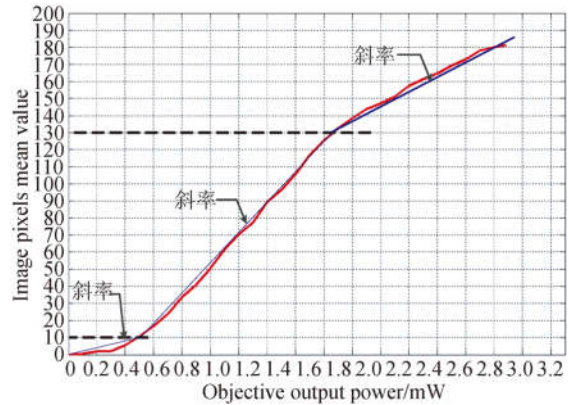


图 6 物镜出口功率与图像灰度均值最佳的曲线关系
Fig. 6 Optimum curve between output power from objective lens and image brightness value

通过不同区间内数据拟合,找寻出了最优斜率 $C_i (i=1,2,3)$,具体如下所示:

$$\begin{cases} C_1 = 20 \\ C_2 = 90. \\ C_3 = 43 \end{cases} \quad (4)$$

具体图像亮度调节过程如图 7 所示,当前光源控制电压 U ,计算得出当前对应的物镜出口功率 P_{obj} ,从实时采集到的当前图像 I 中计算出图像灰度均值 V_{mean} ,通过调节算法计算得出物镜出口功率调节量 ΔP_{obj} ,与当前功率值相加后得出新的物镜出口功率值 P'_{obj} ,计算得出新的光源控制电压 U' ,实现实时闭环反馈控制,最终完成图像亮度的调节。

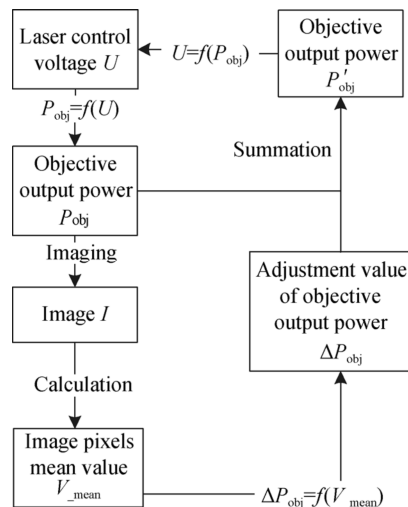


图 7 图像亮度调节过程示意图
Fig. 7 Adjustment of image brightness

当图像灰度均值处于不同曲线段时,为保证图像亮度调节效率最高,迭代次数最少,对应的调节算法及调节量不同,具体如下:

在皮肤组织实时成像过程中,若当前图像的整体亮度过暗或过亮,为避免自适应图像亮度调节出现迭代收敛大幅度振荡的现象,应先将图像灰度均值从极端亮度区间调整到适度亮度区间,再进行精确的光强控制。

当前图像亮度过暗时,其灰度均值处于曲线段 1,即区间 $[0,10)$,物镜出口光功率调节量为:

$$\Delta P_{obj} = (1/C_1) \times (10 - V_{mean}). \quad (5)$$

当前图像亮度过亮时,其灰度均值处于曲线段 3,即区间 $(130,255]$,调节量为:

$$\Delta P_{obj} = (1/C_3) \times (130 - V_{mean}). \quad (6)$$

当图像亮度适中时,其灰度均值落入到上述曲线段 2 中,即区间 $[10,130]$ 时,此时图像各像素点基本未达到饱和状态,图像各像素点灰度值随物镜出口功率呈线性变化。由于曲线 2 是在真皮乳头层标定的,若当前成像深度位于皮肤其它层次,物镜出口功率与图像灰度均值之间依旧呈现近似线性的映射关系,但线性斜率值不一定和上述曲线段 2 一致,因此为实现此区间段内的精确光强控制,不能使用固定斜率 C_2 调节,需要根据当前图像灰度均值与物镜出口功率快速计算实时斜率,将 C_2 更改为实时图像灰度均值 V_{mean} 与实时物镜出口功率 P_{obj} 的比值:

$$\Delta P_{obj} = (1/C_2) \times (70 - V_{mean}), \quad (7)$$

其中 $C_2 = V_{mean} / P_{obj}$ 。

3 实 验

对不同层次和不同位置处的皮肤组织进行实时成像,图像初始亮度呈现出各种不同情况,记录各种代表性情况下亮度调节的迭代次数,验证自适应图像亮度调节算法的效果。

不同层次、不同位置皮肤成像自适应图像的亮度调节结果如图 8 所示。图 8(a)呈现皮肤角质层图像,属于表皮层最外层组织,初始图像灰度均值过高,为 200,迭代次数为 3 次,调节后图像灰度均值为 68.8;图 8(b)呈现皮肤真皮乳头层图像,属于表皮层较内层组织,初始图像灰度均值适中,为 90,迭代次数为 2 次,调节后图像灰度均值为 70.5;图 8(c)呈现皮肤真皮网状层图像,属于

表皮层最内层组织,初始图像灰度均值极低,为 5,迭代次数为 3,调节后图像灰度均值为 69.8。通过实验验证得出:当皮肤组织位于不同层次不同位置时,迭代次数均在 2~3,迭代效率较高,且最终图像的灰度均值均为 70 左右。

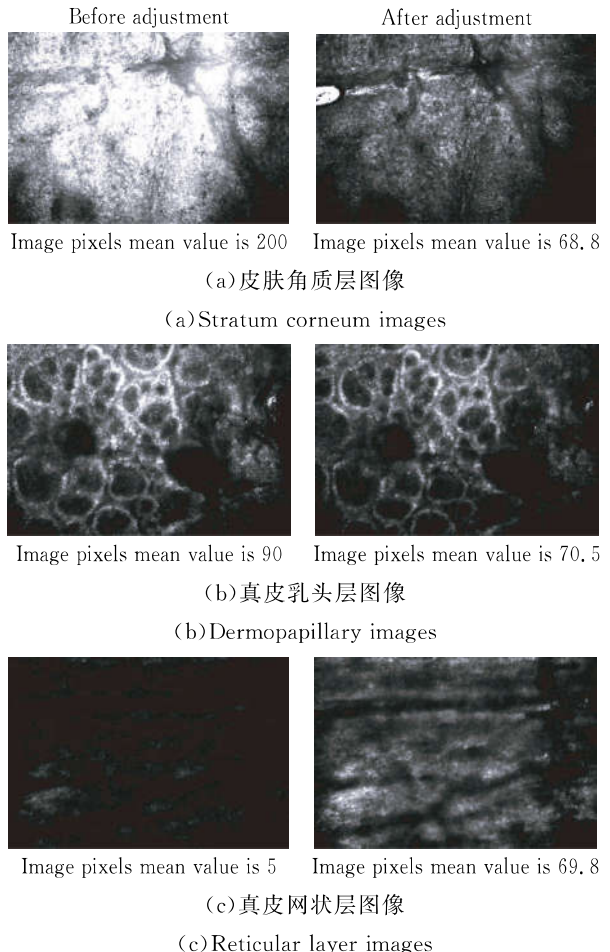


图 8 不同层次不同位置皮肤成像自适应图像亮度的调节结果

Fig. 8 Adjustment results of adaptive brightness at different depths and locations

4 结 论

本文提出了一种自适应图像亮度快速调节方法,在皮肤反射式共聚焦显微成像过程中,对于不同层次、不同位置皮肤组织的各种不同亮度图像进行快速亮度调节。首先确定光源控制电压与物镜出口功率的映射关系,建立图像亮度评价指标,然后通过实验探究物镜出口功率与图像灰度均值的相对关系,划分极端亮度区间和适度亮度区间,将初始图像从极端亮度区间快速调整至适度亮度

区间,再通过线性补偿调节至目标灰度均值。实验结果表明,调节迭代次数为2~3次,调节后图

像亮度达到平均灰度最优值70左右,该方法快速、有效,能够满足皮肤共聚焦成像检测要求。

参考文献:

- [1] 刘剑,张运海,黄维,等. 皮肤反射式共聚焦显微成像扫描畸变校正[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(10):154-159.
LIU CH, ZHANG Y H, HUANG W, *et al.*. Correction of reflectance confocal microscopy for skin imaging distortion due to scan [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2018, 47(10):154-159. (in Chinese)
- [2] 肖昀,张运海,王真,等. 入射激光对激光扫描共聚焦显微镜分辨率的影响[J]. 光学精密工程, 2014, 22(1):31-38.
XIAO Y, ZHANG Y H, WANG ZH, *et al.*. Effect of incident laser on resolution of LSCM [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(1):31-38. (in Chinese)
- [3] 朱宜彬. 反射式共聚焦激光扫描显微镜在皮肤科的应用研究[J]. 名医, 2018(9):136.
ZHU Y B. Application of reflective confocal laser scanning microscope in dermatology [J]. *Renowned Doctor*, 2018(9):136. (in Chinese)
- [4] 郑亚杰,沈雪,崔勇. 皮肤镜联合反射式共聚焦显微镜对色素痣良恶性、脂溢性角化病的诊断价值[J]. 中日友好医院学报, 2018, 32(2):79-82, 64.
ZHENG Y J, SHEN X, CUI Y. Diagnostic value of reflectance confocal microscopy combined with dermoscopy on benign and malignant melanocytic nevus and seborrheic keratosis [J]. *Journal of China-Japan Friendship Hospital*, 2018, 32(2):79-82, 64. (in Chinese)
- [5] 昌剑,张运海,张欣,等. 激光扫描共聚焦技术在近红外荧光成像中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(11):190-195.
CHANG J, ZHANG Y H, ZHANG X, *et al.*. Application of laser scanning confocal technology in near infrared fluorescence imaging [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2014, 51(11):190-195. (in Chinese)
- [6] 刘勇,陈家璧. 用于生物组织层析成像的共聚焦内窥镜[J]. 光学精密工程, 2008, 16(4):579-584.
LIU Y, CHEN J B. A confocal endoscope for tomographic imaging of tissue [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4):579-584. (in Chinese)
- [7] 王永鑫,刁鸣,韩闯. 基于迭代直方图均衡化的常规光源水下成像增强算法[J]. 光子学报, 2018, 47(11):97-107.
WANG Y X, DIAO M, HAN CH. Underwater image enhancement algorithm based on iterative histogram equalization with conventional light source [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2018, 47(11):97-107. (in Chinese)
- [8] ZHUANG L Y, GUAN Y P. Adaptive image enhancement using entropy-based subhistogram equalization [J]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, 2018:1-13.
- [9] MAGUDEESWARAN V, RAVICHANDRAN C G, THIRUMURUGAN P. Brightness preserving bi-level fuzzy histogram equalization for MRI brain image contrast enhancement [J]. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 2017, 27(2):153-161.
- [10] 王日明,徐杜,董晓庆,等. 基于CCD图像反馈的光强调节技术的FPGA实现[J]. 光学与光电技术, 2007, 5(4):36-39.
WANG R M, XU D, DONG X Q, *et al.*. Implementation of optical emphasis section technology based on CCD image feedback on FPGA [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2007, 5(4):36-39. (in Chinese)
- [11] 宋佳,孙长库,王鹏. 锡膏激光扫描三维测量系统光强自适应调节技术[J]. 传感技术学报, 2012, 25(8):1166-1171.
SONG J, SUN CH K, WANG P. Techniques of light intensity adaptive adjusting for the 3D measurement system of the solder paste [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2012, 25(8):1166-1171. (in Chinese)
- [12] 王想,郭延文,杜振龙,等. 图像和视频亮度的自动调整[J]. 电子学报, 2009, 37(S1):79-86.
WANG X, GUO Y W, DU ZH L, *et al.*. Automatic brightness adjustment for image and video [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2009, 37(S1):79-86. (in Chinese)
- [13] 行长印. 基于图像信息的自动视频调光调焦[D]. 长春:长春理工大学, 2009.
XING CH Y. *Automatic Video Dimming and Focusing Based on Image Information* [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2009. (in Chinese)
- [14] 李玉,杨蕴,王岱良,等. 自适应量子遗传算法的遥

感图像自动增强[J]. 光学 精密工程, 2018, 26(11):2838-2853.

LI Y, YANG Y, WANG D L, *et al.*. Automatic enhancement of remote sensing images based on adaptive quantum genetic algorithm [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2018, 26(11):2838-2853. (in Chinese)

[15] 刘珍珍, 刘云清, 颜飞. 指纹图像干湿湿度评价及亮度自动调节方法研究[J]. 长春理工大学学报:自然科学版, 2018, 41(5):83-87.

LIU ZH ZH, LIU Y Q, YAN F. Research on fingerprint image dryness humidity evaluation and

brightness automatic adjustment [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2018, 41(5):83-87. (in Chinese)

[16] 林志贤, 林珊玲, 单升起, 等. 基于亮度均值的动态直方图均衡算法[J]. 电视技术, 2018, 42(1):13-18.

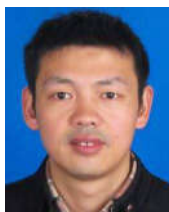
LIN ZH X, LIN SH L, SHAN SH Q, *et al.*. Mean-brightness-based dynamic histogram equalization algorithm [J]. *Digital Video*, 2018, 42(1):13-18. (in Chinese)

作者简介:



缪 新(1989—), 男, 江苏无锡人, 硕士, 助理研究员, 2012年、2015年于南京航空航天大学分别获得学士、硕士学位, 主要从事激光共聚焦显微成像方面的研究。E-mail: miaox@sibet.ac.cn

通讯作者:



张运海(1975—), 男, 湖北襄阳人, 研究员, 博士生导师, 1998年、2006年于南京航空航天大学分别获得学士、博士学位, 主要从事激光扫描共聚焦成像、超分辨显微光学方面的研究。E-mail: zhangyh@sibet.ac.cn