

白内障患者眼底影像增强系统

李子南
12011517

高云舒
12010205

张霄天
12011715

I. 研究背景

白内障是由于晶状体浑浊而导致视力下降的致盲疾病，全球约有 2000 万人因白内障而失明 [1]。白内障是与年龄相关的疾病，随着我国人口老龄化趋势不断加剧，我国的白内障发病人数也呈上升的趋势 [2]。由于目前尚无药物可以治疗白内障，而手术是治疗白内障的唯一方式，因此我国防盲治盲的当务之急是提升白内障手术率 [4]。

白内障患者的健康状态是手术效果的决定性因素，因此白内障手术前对患者进行全面的健康检查是保证手术成功的关键 [2]。白内障术前眼压和角膜等检查已应用了自动化的检查设备，然而在眼底检查上仍然依赖人工进行。由于白内障患者的晶状体浑浊造成光的散射，会使得白内障患者的眼底图像质量低下，影响医生观察眼底的健康状况并做出准确的临床诊断 [6]。医生根据低质量眼底图像难以进行准确的诊断，这不仅会增加医务人员的压力，还会提高手术治疗的风险 [7]。

我国医疗资源总体不足的现状，以及白内障眼底疾病诊断的困难，是我国防盲治盲的巨大挑战 [8]。利用人工智能技术加快扩大白内障手术覆盖面，规范化白内障手术的流程，降低手术的风险，增强临床的治疗效果，对我国的防盲致盲具有重要的社会价值。针对上述情况，本项目拟结合无标签的白内障眼底图像的图像增强算法，开发白内障眼底图像增强系统，帮助医务人员进行更准确的疾病诊断。

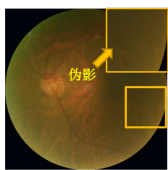


图 1. 术前

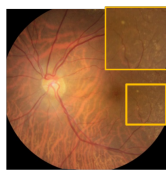


图 2. 术后

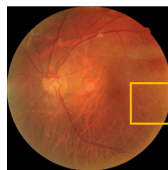


图 3. 术前算法增强

II. 项目研究内容

A. 无标签的白内障眼底图像的图像增强算法

在构建白内障增强模型时，由于配对的白内障眼底图像和术后的清晰眼底图像数据难以采集，缺乏配对的数据进行训练和评价；白内障眼底图像十分模糊，然而诊断眼底病变则需要清晰的眼底结构和病变区域；利用模型合成的数据与真实图像具有较大差异，会影响增强模型的性能。基于以上难点，拟提出如图 4 的无标签的白内障眼底图像的图像增强算法：

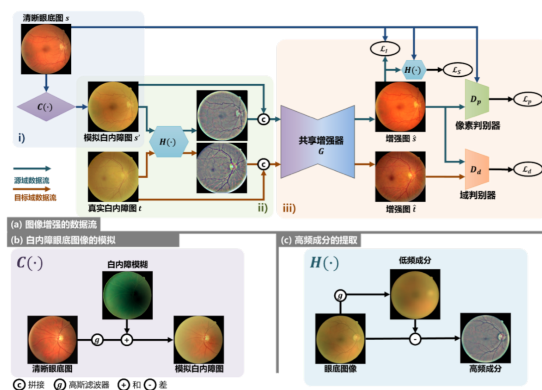


图 4. 无标签的白内障眼底图像的图像增强算法

该模型主要由三个部分组成：

- 1) 白内障眼底图像质量衰退模型 $C()$ ：由于模型的训练需要配对的白内障和清晰眼底数据对标签，因此利用白内障光学模型构建白内障眼底图像质量衰退模型，以生成模拟标签对来训练；
- 2) 高频成分提取器 $H()$ ：为了提取眼底图像中眼底结构和病变区域，构建高频提取器提取领域不变特征；
- 3) 基于领域自适应和生成对抗网络的白内障眼底图像增强模型：利用领域自适应技术减少域差异带

来的模型性能下降，利用对抗训练以提升增强后图像的真实性。

B. 白内障眼底图像增强系统



图 5. 系统界面示意图

基于上述模型，本项目计划将其进行整合优化并建立一个简单易用的白内障眼底图像增强系统，其用户界面如图 5 所示。通过无标签增强算法达成对白内障患者眼底图片的实时增强，用户可以根据需要调整模型及下载图片。系统包含实现图片批量增强，多层次对照等功能，同时在系统中提供医生反馈功能，医生可以根据自己的临床经验对眼底图片增强效果进行反馈，以便进一步优化系统。同时该系统可以在经过医生同意后采集眼底图像并上传，用于进一步的科研需求。

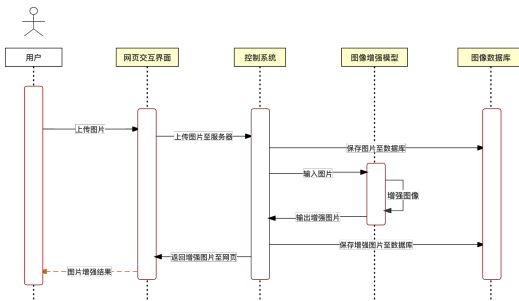


图 6. 系统功能流程图

III. 项目进展

A. 论文阅读

在前期准备工作中，我们广泛阅读了图像增强，图像去噪等领域的优秀论文，并在组内进行了论文分享交流，对图像增强领域目前的主流方法有了基本了解。

B. 模型实验

1) *Restoration-of-Cataract-Images-via-Domain-Adaptation*: 该模型主要由图像生成和领域自适应两个模块组成，其具体结构如图 7 所示。模型通过在清晰眼底图像上叠加模拟白内障噪声生成配对的图像，解决了现有手术前后配对图像稀缺的问题。为了使模型在真实数据集上也能有良好表现，模型加入了领域自适应模块。将真实白内障图片输入共享生成器 G ，得到增强图像 \hat{t} ，将真实白内障增强图 \hat{t} 和模拟白内障增强图 \hat{s} 输入判别器 D_d ，通过训练使原域逐渐向目标域靠近。此模型的性能超越了以往的增强模型，并在真实场景下也有良好的表现。

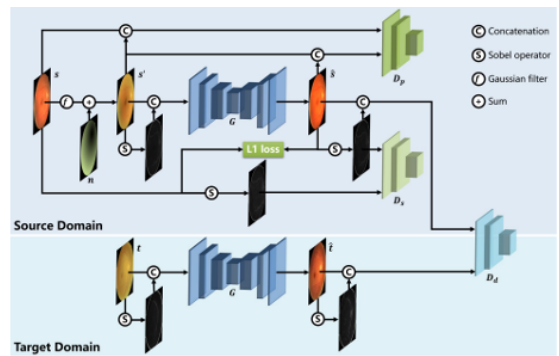


图 7. 模型 1 结构

2) *An Annotation-free Restoration Network for Cataractous Fundus Images*: 此模型为项目使用模型，其结构如图 4 所示。该模型在上一模型的基础上改进了高频提取算法，将模型中的 sobel 算子替换为高斯滤波器。Sobel 算子会着重强调图片中的一些高频成分，抹去了一些病灶区域，不利于诊断。改进后，模型实验表现有较为明显的提升。

3) *Domain Generalization in Restoration of Cataract Fundus images via high-frequency components*: 该模型通过从清晰的眼底图像模拟白内障患者的眼底图像来构建训练的源域，并通过随机调整模拟图像的参数生成不同风格的模拟图像来覆盖潜在的目标域，实现领域泛化。同时将图像的高频成分作为域不变特征，减小域偏移，对齐源域中的各个域，提高模型泛化性能。模型的基本结构如图 9 所示。先在清晰图像 s 上曾加模拟白内障噪声生成模拟图像，在提取模拟图像的高频成分。通过生成器 G_H 重建高频成分，最后通过生成器 G_R 得到恢复后的图像。

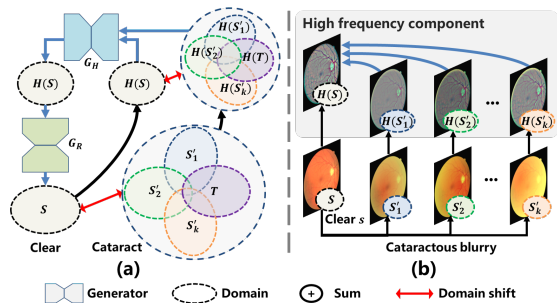


图 8. 模型 3 简介

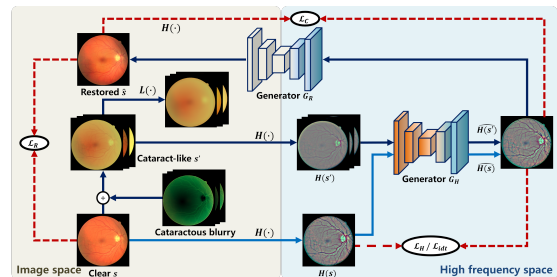


图 9. 模型 3 结构

C. 系统开发

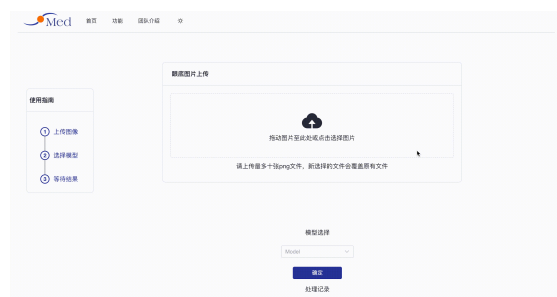


图 10. 系统前端界面

目前系统开发工作已大致完成，系统界面如图 10 所示，用户可以通过拖拽或选择图片上传，服务器会将增强图像实时返回至前端并进行显示。系统采用 Flask+MongoDB+Vue3，具有结构简单，可扩展性好，快速部署等特点。目前系统 API 及后端业务逻辑已经完成并经过测试，后续将对前后端交互进行进一步测试。

IV. 项目后续计划

预计于 12 月中旬开始准备申请软件著作权。

2022.12 第一周: 系统后端数据库调试

2022.12 第二周: 前端界面优化

2022.12 第三周: 系统整体调试

2022.12 第四周: 软件著作权申请资料撰写

参考文献

- [1] Lee C M, Afshari N A. The Global State of Cataract Blindness[J]. Current Opinion in Ophthalmology, 2017, 28(1): 98–103.
- [2] 何鲜桂, 张睿, 李亚, 等我国消除白内障盲的回顾和方向 [J]. 中华医学杂志, 2018, 098(022): 1731–1733.
- [3] Quoc T, Wang J J, Rochtchina E, et al. Systemic and Ocular Comorbidity of Cataract Surgical Patients in a Western Sydney Public Hospital[J]. Clinical and Experimental Ophthalmology, 2004, 32(4): 383–387.
- [4] 赵家良. 提高白内障手术率是我国防治盲的当务之急 [J]. 中华医学杂志, 2013, 93(047): 3729–3730.
- [5] Kumar B V, Phillips R P, Prasad S. Multifocal Intraocular Lenses in the Setting of Glaucoma[J]. Current Opinion in Ophthalmology, 2007, 18(1): 62–66.
- [6] Peli E, Peli T. Restoration of Retinal Images Obtained Through Cataracts[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1989, 8(4): 401–406.
- [7] 赵连凯. 中老年白内障合并眼底病临床分析 [J]. 当代医学, 2015, 21(19): 2.
- [8] 赵家良. 我国眼健康事业的回顾与展望 [J]. 中华眼科杂志, 2018, 54(008): 561–564.
- [9] Li T, Bo W, Hu C, et al. Applications of Deep Learning in Fundus Images: A Review[J/OL]. Medical Image Analysis, 2021, 69: 101971.
- [10] Shen Z, Fu H, Shen J, et al. Modeling and Enhancing Low-Quality Retinal Fundus Images[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2021, 40(3): 996–1006.
- [11] Li H, Liu H, Hu Y. liamheng/Restoration-of-Cataract-Images-via-Domain-Adaptation Restoration-of-Cataract-Images-via-Domain-Adaptation.
- [12] Li H, Liu H, Hu Y, Fu H, Zhao Y, Miao H, Liu J. An annotation-free restoration network for cataractous fundus images. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2022 Jan 31.
- [13] Liu H, Li H, Ou M, Zhao Y, Qi H, Hu Y, Liu J. Domain Generalization in Restoration of Cataract Fundus Images Via High-Frequency Components. In2022 IEEE 19th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI) 2022 Mar 28 (pp. 1-5). IEEE.