

谢泽云, 李泽滔, 王薇, 等. 基于 TransUNet 的视杯视盘分割[J]. 智能计算机与应用, 2026, 16(2): 44-48. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.24040909

## 基于 TransUNet 的视杯视盘分割

谢泽云<sup>1</sup>, 李泽滔<sup>1</sup>, 王薇<sup>2</sup>, 牟刚<sup>3</sup>

(1 贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025; 2 重庆爱尔眼科医院(总院), 重庆 400020;

3 重庆公共运输职业学院 智慧交通学院, 重庆 402260)

**摘要:** 青光眼作为全球范围内主要的致盲原因之一, 其早期诊断和治疗显得尤为重要。本文通过结合超像素分割、布谷鸟搜索优化和 TransUNet 模型, 开发了一个旨在提高视盘和视杯分割精度的综合方法。超像素分割技术在预处理阶段保留了眼底图像的重要细节和结构信息, 布谷鸟搜索优化算法则提高了视盘定位的准确性, 而 TransUNet 模型的应用实现了对视盘和视杯区域的精细分割。通过在多个公开眼底图像数据集上进行测试, 本方法展现了优于现有技术的分割性能, 特别是在分割精度和鲁棒性方面。本研究的成果不仅提升了青光眼早期诊断的效率, 也为眼科图像处理领域的自动化分析提供了新的技术支持。

**关键词:** 青光眼诊断; 视杯视盘分割; TransUNet; 超像素分割; 布谷鸟搜索优化

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2026)02-0044-05

### Optic disc and cup segmentation based on TransUNet

XIE Zeyun<sup>1</sup>, LI Zetao<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>2</sup>, MOU Gang<sup>3</sup>

(1 School of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2 Chongqing Aier Eye Hospital, Chongqing 400020, China;

3 School of Intelligent Transportation, Chongqing Vocational College of Public Transportation, Chongqing 402260, China)

**Abstract:** Glaucoma, as one of the leading causes of blindness worldwide, necessitates early diagnosis and treatment. This paper introduces a comprehensive method that combines superpixel segmentation, cuckoo search optimization, and the TransUNet model to enhance the accuracy of optic disc and cup segmentation. The superpixel segmentation technique preserves essential details and structural information of fundus images during the preprocessing stage, the cuckoo search optimization algorithm improves the accuracy of optic disc localization, and the application of the TransUNet model achieves precise segmentation of the optic disc and cup areas. Tested on multiple public fundus image datasets, this method demonstrates superior segmentation performance over existing technologies, especially in terms of segmentation accuracy and robustness. The results of this study not only improve the efficiency of early glaucoma diagnosis, but also provide new technical support for automated analysis in the field of ophthalmic image processing.

**Key words:** glaucoma diagnosis; optic disc and cup segmentation; TransUNet; superpixel segmentation; cuckoo search optimization

## 0 引言

青光眼已成为全球范围内最普遍的致盲原因<sup>[1-2]</sup>。据统计, 2020年中国青光眼患者数量约为2100万, 而因青光眼引起的双眼失明人数约为567万<sup>[3-5]</sup>, 这一数据突显了青光眼作为一个重大公共卫生挑战的紧迫性。青光眼疾病的特点是视神经受损和视野逐渐丧失, 如果不进行治疗, 最终可能导致完全失明<sup>[6]</sup>。早期诊断和及时治疗是预防青光眼进展和保护视力的

关键<sup>[7]</sup>。在青光眼的诊断过程中, 垂直杯盘比(vCDR)的准确测量对于评估视神经损伤至关重要<sup>[8-9]</sup>。

尽管有多种方法用于评估vCDR, 包括直接的眼科检查和基于成像的技术, 但手动测量过程不仅耗时, 而且容易受到操作者技能和经验的影响, 从而产生较大的主观性<sup>[10]</sup>。此外, 由于青光眼在早期阶段往往无明显症状, 许多患者在被诊断时病情已相对较重, 错过了最佳治疗时机。因此, 开发一种自

**基金项目:** 国家自然科学基金(61963009)。

**作者简介:** 谢泽云(1997—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 深度学习, 图像处理; 王薇(1988—), 女, 博士研究生, 副主任医师, 主要研究方向: 青光眼, 原发性闭角型青光眼; 牟刚(1977—), 男, 副教授, 主要研究方向: 人工智能。

**通信作者:** 李泽滔(1960—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 智能电网, 计算机控制技术。Email: 1462312250@qq.com。

收稿日期: 2024-04-09

动、准确和可靠的视盘与视杯分割方法,以提高vCDR的测量效率和精度,成为了当前视觉计算领域的一个重要研究方向。

近年来,深度学习技术的迅速发展为自动分割技术的进步提供了强大的动力。尽管基于深度学习的方法在多个医学图像分析任务中表现出色,但在视盘和视杯的精确分割方面,由于眼底图像的复杂性及个体间的差异,仍然存在一定的挑战。特别是,现有的自动分割算法往往忽略了图像中的局部细节和全局上下文信息的平衡,这对于提高分割准确性至关重要。

针对上述问题,本研究提出了一种结合超像素分割<sup>[11]</sup>、布谷鸟搜索优化<sup>[12]</sup>和TransUNet模型<sup>[13]</sup>的新型视盘和视杯自动分割方法。首先,通过超像素技术对眼底图像进行初步分割,以保留更多的局部结构信息。随后,利用布谷鸟搜索算法对初步分割结果进行优化,以提高视盘定位的准确性。最后,采用TransUNet模型对优化后的区域进行精细分割,从而实现高精度的视盘和视杯分割。本次研究期望通过这种方法,不仅能提升分割性能,同时也能为青光眼的早期诊断和治疗提供更为有效的技术支持。

本文接下来的部分将详细介绍所提方法的理论基础、实验设计以及在公开眼底图像数据集上的性能评估结果,并与当前最先进的方法进行比较分析,以证明本研究的有效性和创新性。

## 1 相关工作

青光眼的诊断与评估是眼科学和医学图像处理领域中的一项重要研究任务,尤其是视盘(OD)和视杯(OC)的精确分割对于计算视杯到视盘比率(CDR)并进一步评估青光眼风险至关重要。过去几十年里,研究者们开展了大量工作以提高分割的准确性和效率。

(1)传统图像处理方法:在深度学习广泛应用于医学图像分析之前,许多研究依赖于传统的图像处理技术来分割视盘和视杯。这些方法包括基于阈值的分割、区域生长、边缘检测和形态学操作等<sup>[14-17]</sup>。虽然这些方法在一定程度上是有效的,但通常都需要精心设计的特征提取和后处理步骤,且对图像质量和光照变化敏感。

(2)基于深度学习的方法:近年来,深度学习、特别是卷积神经网络(CNN)在视盘和视杯分割任务上取得了显著进展。从最初的分类网络到后来的

全卷积网络(FCN)和U-Net架构,深度学习方法能够自动从数据中学习复杂的特征表示,提供了更高的分割准确性和鲁棒性<sup>[18]</sup>。特别是,U-Net及其变体因其有效的特征提取和上下文信息整合能力而被广泛用于医学图像的分割任务<sup>[19]</sup>。

(3)超像素分割技术:超像素分割技术通过将图像分割成具有相似特征的小区域(即超像素),来减少图像处理的复杂度,同时保留重要的边缘信息。在视盘和视杯的分割任务中,超像素技术被用来预处理图像或作为深度学习模型输入的一部分,以改进模型对局部细节的捕捉能力。

(4)布谷鸟搜索优化算法:布谷鸟搜索是一种基于种群的优化算法,受布谷鸟寄生繁殖行为的启发。在图像分割领域,布谷鸟搜索算法被用于优化分割任务中的参数选择,如阈值设置或形态学操作的结构元素选择。尽管直接应用于分割的案例较少,但布谷鸟搜索优化算法在提高分割算法性能方面、特别是结合深度学习模型进行细粒度调优时显示出优势和应用潜力。

## 2 方法

本研究提出了一种结合超像素分割、布谷鸟搜索优化和TransUNet的深度学习方法,旨在提高眼底图像中视盘(OD)和视杯(OC)分割的准确性。该方法分为3个主要步骤,这里将展开研究分述如下。

### 2.1 超像素分割预处理

在图像分割的第一步,采用超像素分割技术来预处理眼底图像。超像素分割通过将图像分割成数百到数千个小区域(即超像素),这些小区域内部具有较为一致的颜色和纹理特征,而区域间则表现出较大的差异。这一步骤的目的是减少后续处理的计算复杂度,同时保留图像的重要边缘信息和结构细节。研究使用SLIC(Simple Linear Iterative Clustering)算法进行超像素分割,因其高效且能够生成紧凑、近似均匀大小的超像素,适合后续分析。图1展示了超像素分割示意图。



图1 超像素分割示意图

Fig. 1 Diagram of superpixel segmentation

## 2.2 布谷鸟搜索优化

在获得超像素分割的基础上,进一步使用布谷鸟搜索(Cuckoo Search, CS)算法来优化分割结果。布谷鸟搜索是一种基于种群的优化策略,其灵感来自布谷鸟的寄生繁殖行为。在这一步,利用 CS 算法对每个超像素区域的特征进行分析,包括颜色、纹理和形状等,以确定哪些超像素最有可能属于视盘区域。该步骤旨在粗略定位视盘的位置,为精确分割提供初始区域和边界估计。

## 2.3 TransUNet 精细分割

最后,使用 TransUNet 模型对粗略定位的视盘区域进行精细化处理。TransUNet 结合了

Transformer 的自注意力机制和 U-Net 的卷积特征提取能力,能够有效地捕捉图像中的长距离依赖关系和局部细节信息。通过在粗略定位的基础上应用 TransUNet,能够获得视盘和视杯的高精度分割结果。在这一阶段,研究特别关注模型的损失函数设计,以确保对视盘和视杯边界的精确识别,并通过交叉验证方法优化模型参数,以实现最佳分割性能。图 2 展示了 TransUNet 的网络框架。

通过以上 3 个步骤的综合方法,本研究不仅能够有效地处理眼底图像中的视盘和视杯分割任务,而且还提高了分割的准确性和鲁棒性,为青光眼的早期诊断和评估提供了有力的技术支持。

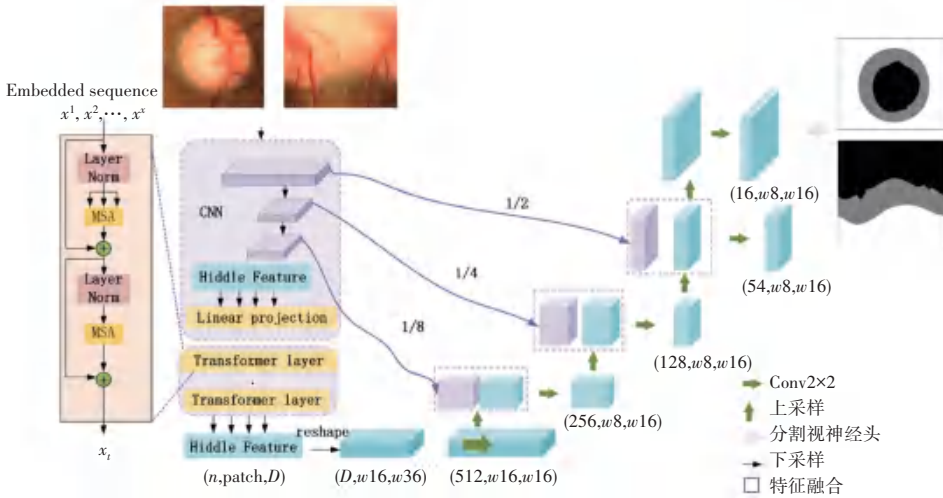


图 2 TransUNet 分割网络架构

Fig. 2 TransUNet segmentation network architecture

## 3 实验结果

### 3.1 实验数据集

为了验证所提出方法的有效性,在多个公开的眼底图像数据集上进行了广泛的实验。这些数据集包括 DRISHTI-DB<sup>[20]</sup>、ORIGA<sup>[21]</sup>和 REFUGE<sup>[22]</sup>,分别具有不同的图像质量、分辨率和青光眼患病程度的标注,能够全面评估本文提出方法的性能。

### 3.2 实验设置

本研究所提出的方法是用 Pycharm 软件配备在 32 GB DDR4 RAM 和 NVIDIA GeForce GTX3060 12 GB 显卡的 i7-11700K 处理器上实现的。使用了 Adam 优化器,学习率设置为 0.001,批量大小为 16。为了防止过拟合,引入了早停机制,即如果验证集上的 Dice 系数在连续 10 个 epoch 内没有改善,则停止训练。此外,还使用了数据增强技术,包括随机旋转、缩放和水平翻转,以提高模型的泛化能力。

### 3.3 评价指标

为了全面评估所提方法的性能,采用了 Dice 系数、精确度(Precision)、召回率(Recall)和 F1 分数作为主要评价指标。其中,Dice 系数用于衡量分割结果与真实标注之间的重叠程度;精确度和召回率分别评估了分割结果的准确性和完整性;F1 分数则是精确度和召回率的调和平均,提供了一个综合性的性能度量。定义公式如下:

$$\text{Dice} = \frac{2 \times |X \cap Y|}{|X| + |Y|} \quad (1)$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad (2)$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (3)$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (4)$$

### 3.4 分割效果

本文提出的方法在 DRISHTI-DB、ORIGA 和

REFUGE数据集上展现出卓越的图像分割性能,分别达到了0.94、0.93和0.95的Dice系数。同时,精确度、召回率和F1分数的结果也证明了其精确性和泛化能力。表1对比了本文所提方法与基准方法在实验数据集上的分割性能。

图3直观展示了本文方法和U-Net的视杯视盘分割结果。结果显示,TransUNet方法的分割结果更接近于真实标签,其中更难区分的视杯区域也被精准分割出来,而U-Net分割结果的边界出现了一些不规则变形。

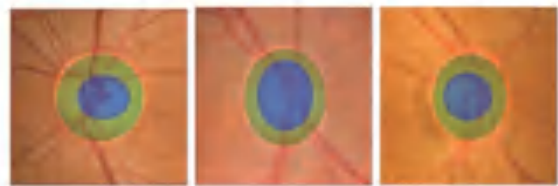
表1 分割性能

Table 1 Segmentation performance

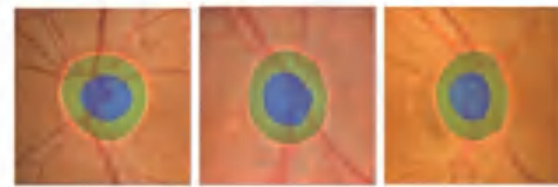
指标	Dice 系数	精确度	召回率	F1 分数
DRISHTI-DB	0.94	0.93	0.92	0.92
ORIGA	0.93	0.92	0.91	0.91
REFUGE	0.95	0.94	0.93	0.94



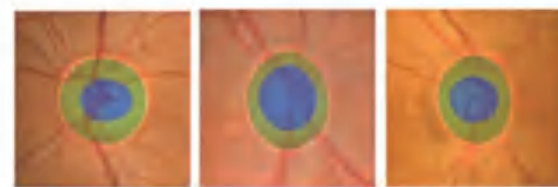
(a) 原始图像



(b) 真实标签



(c) U-Net分割



(d) TransUNet分割

图3 视杯视盘分割示意图

图像中视盘和视杯的分割准确性。这得益于超像素分割技术在预处理阶段保留了丰富的图像细节,布谷鸟搜索优化算法精确定位了视盘区域,而TransUNet则利用其强大的特征提取能力进行了精细分割。此外,所提方法的优越性也体现在其对不同数据集的广泛适应性和高分割性能上,为青光眼的自动化诊断和评估提供了有益的技术支持。

## 4 结束语

本研究成功开发了一种新颖的基于超像素分割、布谷鸟搜索优化和TransUNet的视盘和视杯自动分割方法。实验结果证明,该方法在不同的眼底图像数据集上均取得了优异的性能,特别是在分割精度和鲁棒性方面。通过对分割过程的每个步骤进行优化,本方法不仅能够有效地处理图像中的视盘和视杯,还能够适应图像质量的变化,为青光眼的早期诊断和评估提供了强有力的技术支持。

## 参考文献

- [1] CASSON R J. Medical therapy for glaucoma: A review [J]. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 2022, 50(2): 198–212.
- [2] LIM R. The surgical management of glaucoma: A review [EB/OL]. (2023-12-29). <https://doi.org/10.1111/ceo.14028>.
- [3] SUN Y, CHEN A, ZOU M, et al. Disease burden of glaucoma in China: Findings from the global burden of disease 2019 study [J]. *Clinical Epidemiology*, 2022, 14: 827–834.
- [4] CHOU R, SELPH S, BLAZINA I, et al. Screening for glaucoma in adults: Updated evidence report and systematic review for the US Preventive Services Task Force [J]. *JAMA*, 2022, 327(20): 1998–2012.
- [5] KNIGHT L S W, RIDGE B, STAFFIERI S E, et al. Quality of life in adults with childhood glaucoma: An interview study [J]. *Ophthalmology Glaucoma*, 2022, 5(3): 325–336.
- [6] HAN F F, FU X X. Vitamin intake and glaucoma risk: A systematic review and meta-analysis [J]. *Journal Français D'ophtalmologie*, 2022, 45(5): 519–528.
- [7] HEIJL A, PETERS D, BENGTTSSON B. Long-term impact of immediate versus delayed treatment of early glaucoma: Results from the Early Manifest Glaucoma Trial [J]. *American Journal of Ophthalmology*, 2023, 252: 286–294.
- [8] TRAN J H, STUART K V, COUSINS C, et al. Genetic correlations between smoking- and glaucoma-related traits [J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2022, 63(7): 2.
- [9] IKEDA Y, MORI K, MARUYAMA Y, et al. Novel vertical cup-to-disc classification to identify normal eyes that maintain non-glaucoma status: A 10-year longitudinal study [J]. *Journal of Glaucoma*, 2023, 32(2): 127–132.
- [10] IDRIS B R, TRAN T M, ATWINE D, et al. Smartphone-based ophthalmic imaging compared with spectral-domain optical coherence tomography assessment of vertical cup-to-disc ratio among adults in southwestern Uganda [J]. *Journal of Glaucoma*,

Fig. 3 Schematic diagram of cup-to-disc segmentation

## 3.5 讨论

实验结果表明,所提方法能够有效地提高眼底

- 2021, 30(3): e90–e98.
- [11] NASEER A, ALZAHIRANI H A, ALMUJALLY N A, et al. Efficient multi-object recognition using GMM segmentation feature fusion approach [J]. IEEE Access, 2024, 12: 37165–37178.
- [12] PAWAR R V, SARAF S, DIXIT U, et al. Diagnosis of mammographic images for breast cancer detection using FF-CSO algorithm [C]//Proceedings of 2023 Advanced Computing and Communication Technologies for High Performance Applications (ACCTHPA). Piscataway, NJ: IEEE, 2023: 1–5.
- [13] CHEN Jieneng, LU Yongyi, YU Qihang, et al. TransUNet: Transformers make strong encoders for medical image segmentation[J]. arXiv preprint arXiv,2102.04306, 2021.
- [14] ALMUSTOFA A N, HANDAYANI A, MENGKO T, et al. Optic disc and optic cup segmentation on retinal image based on multimap localization and U-Net convolutional neural network [J]. Journal of Image and Graphics, 2022, 10(3): 109–115.
- [15] YI Junyan, RAN Ya, YANG Gang. Particle swarm optimization-based approach for optic disc segmentation [J]. Entropy, 2022, 24(6): 796.
- [16] NETO A, CAMERA J, OLIVEIRA S, et al. Optic disc and cup segmentations for glaucoma assessment using cup-to-disc ratio [J]. Procedia Computer Science, 2022, 196: 485–492.
- [17] BioMed research international. Retracted; Segmentation of optic disc and cup using modified recurrent neural network [EB/OL]. (2023-12-29). <https://doi.org/10.1155/2023/9871834>.
- [18] THIÉRY A H, FABIAN B, TIN A T, et al. Medical application of geometric deep learning for the diagnosis of glaucoma [J]. arXiv preprint arXiv,2204.07004,2022.
- [19] YIN Xiaoxia, SUN Le, FU Yudan, et al. U-Net-based medical image segmentation [J]. Journal of Healthcare Engineering, 2022, 2022: 4189781.
- [20] MRAD Y, ELLOUMI Y, AKIL M, et al. A fast and accurate method for glaucoma screening from smartphone-captured fundus images [J]. IRBM, 2022, 43(4): 279–289.
- [21] ZHAO Bo, BILEN H. Dataset condensation with distribution matching [C]//Proceedings of 2023 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). Piscataway, NJ: IEEE, 2023: 6514–6523.
- [22] MORRISON M, JOHNSON-AGBAKWU C E, BAILEY C, et al. Classifying refugee status using common features in EMR [J]. Chemistry & Biodiversity, 2022, 19(10): e202200651.