

Universidade de Pernambuco Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação (PPGEC)
Proposta de Tese de Doutorado
Área: Computação Inteligente
Título: Segmentação Topológica da Microvasculatura Retiniana e Extração de Métricas Estruturais via Deep Learning e Ciência das Redes
Orientador: Carmelo José Albanez Bastos Filho (carmelo.filho@upe.br)
Coorientador: Hitalo Oliveira da Silva (hitalo.silva@belojardim.ifpe.edu.br)
Descrição: A análise da microvasculatura retiniana tem sido proposta como ferramenta auxiliar no diagnóstico e acompanhamento de doenças oftalmológicas e sistêmicas, tais como retinopatia diabética, hipertensão arterial e doenças cardiovasculares [1][2]. Alterações na densidade vascular, no padrão de bifurcações, na conectividade dos vasos e na organização estrutural da rede capilar podem atuar como biomarcadores relevantes para avaliação clínica [2][3][4]. Tradicionalmente, a inspeção dessas estruturas é realizada manualmente por especialistas a partir de imagens de fundo de olho, processo que pode apresentar variabilidade intra e interobservador. Nesse contexto, técnicas de Visão Computacional e <i>Deep Learning</i> (DL) vêm sendo empregadas para automatizar a segmentação da árvore vascular retiniana [5][6][7]. A maioria das abordagens atuais de segmentação vascular por Deep Learning ainda utiliza funções de perda baseadas apenas em sobreposição de pixels, como Binary Cross-Entropy, Dice e Intersection over Union (IoU) [5][6][7]. Embora apresentem bons resultados quantitativos globais, essas métricas não avaliam adequadamente propriedades estruturais da rede vascular – continuidade, conectividade, preservação de bifurcações e complexidade anatômica. Funções de perda orientadas à topologia, como clDice [8] e cbDice [9], têm sido propostas com o objetivo de incorporar informações estruturais e geométricas ao treinamento de redes neurais convolucionais. Essas abordagens buscam melhorar a preservação da conectividade vascular e reduzir falhas estruturais em segmentações de estruturas tubulares. Entretanto, ainda existem limitações relacionadas à preservação simultânea da conectividade, da geometria vascular e da complexidade estrutural da árvore retiniana, especialmente em regiões compostas por microvasos e bifurcações finas. Neste contexto, este projeto de doutorado propõe investigar métodos de segmentação vascular orientados à preservação topológica e estrutural da microvasculatura retiniana, utilizando técnicas de Deep Learning, funções de perda baseadas em conectividade e métricas derivadas da Ciência das Redes [10]. A proposta pretende modelar a árvore vascular segmentada como um grafo complexo, no qual vasos, bifurcações e terminações sejam representados como estruturas formais passíveis de análise quantitativa. A partir dessa modelagem, serão investigadas métricas estruturais relacionadas à conectividade, densidade, bifurcações, endpoints, complexidade vascular e organização topológica da rede. O objetivo central da pesquisa é investigar como diferentes estratégias de segmentação, funções de perda topológicas, técnicas de pré-processamento e mudanças de resolução influenciam a preservação estrutural da árvore vascular e a formação de métricas quantitativas derivadas de grafos. Busca-se avaliar em que medida estas métricas podem complementar as métricas tradicionais de segmentação, permitindo uma avaliação mais consistente da qualidade estrutural das redes vasculares segmentadas.

Referências Bibliográficas:

- [1] Zhuoting Zhu, Yifan Chen, Wei Wang, Yueye Wang, Wenyi Hu, Xian-wen Shang, Huan Liao, Danli Shi, Yu Huang, Jason Ha, Zachary Tan, Katerina V. Kiburg, Xueli Zhang, Shulin Tang, Honghua Yu, Xiaohong Yang, and Mingguang He. Association of Retinal Age Gap With Arterial Stiffness and Incident Cardiovascular Disease. *Stroke*, 53(11):3320–3328, November 2022.
- [2] Hitalo Silva, Diego Silva, Carmelo Bastos-Filho, Alexandre Rosa, Rafael Albuquerque, Arlington Rodrigues, Luigi Tahara, Luiz Roisman, and Samuel Moscovitch. A hybrid framework for quantifying and analyzing the structural properties of human retinal vessel networks. In Mariana Macedo, Alessio Cardillo, Wellington Franco, Angelo Brayner, and Ronaldo Menezes, editors, *Complex Networks XVI*, pages 41–53, Cham, 2025. Springer Nature Switzerland.
- [3] Aditi Basu Bal, Xiaoyang Guo, Tom Needham, and Anuj Srivastava. Statistical Analysis of Complex Shape Graphs. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 46(12):8788–8805, December 2024.
- [4] Hitalo Silva, Carmelo Bastos-Filho, and Diego Silva. A Hybrid Approach to Quantify the Structure and Dynamics of Vascular System. In Ana Maria Madureira, Ajith Abraham, and Anu Bajaj, editors, *Hybrid Intelligent Systems*, pages 265–275, Cham, 2025. Springer Nature Switzerland.
- [5] Mehwish Mehmood, Majed Alsharari, Shahzaib Iqbal, Ivor Spence, and Muhammad Fahim. Retinalitenet: A lightweight transformer based cnn for retinal feature segmentation. In *2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pages 2454–2463, 2024.
- [6] Ali Karaali, Rozenn Dahyot, and Donal Sexton. Dr-vnet: Retinal vessel segmentation via dense residual unet. 03 2022.
- [7] Bo Yang, Lang Qin, Hong Peng, Chenggang Guo, Xiaohui Luo, and Jun Wang. Sddc-net: A u-shaped deep spiking neural p convolutional network for retinal vessel segmentation. *Digital Signal Processing*, 136:104002, 2023.
- [8] Suprosanna Shit, Johannes C. Paetzold, Anjany Sekuboyina, Ivan Ezhov, Alexander Unger, Andrey Zhylka, Josien P. W. Pluim, Ulrich Bauer, and Bjoern H. Menze. cldice - a novel topology-preserving loss function for tubular structure segmentation. In *2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 16555–16564, 2021.
- [9] Pengcheng Shi, Jiesi Hu, Yanwu Yang, Zilve Gao, Wei Liu, and Ting Ma. Centerline Boundary Dice Loss for Vascular Segmentation . In *proceedings of Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MIC-CAI 2024*, volume LNCS 15008. Springer Nature Switzerland, October 2024.
- [10] Albert-László Barabási. *Network Science*. 2020. Disponível em: <<http://networksciencebook.com/>>