

基于迁移学习与 Attention U-Net 的同步辐射非人灵长类脑血管图像分割算法研究

Monday, 25 August 2025 17:00 (20 minutes)

大脑是人体最重要的器官，在脑疾病的诊疗、探索高级脑功能机制以及理解意识本源具有重大意义，是理解自然和人类本身的“最终疆域”。随着同步辐射光源装置的不断升级与 X 射线成像前沿技术的不断突破，非人灵长类脑血管的三维精细结构观测突破了高分辨率、高信噪比与大视场并存的瓶颈。然而，获取海量的原始影像数据，仅仅是万里长征的第一步，如何处理和分析由此产生的 TB 级规模海量影像数据是更为艰巨的挑战，海量复杂图像数据的精准高效分割成为后续量化分析的关键瓶颈。传统的基于监督学习的分割方法往往需要大量的手工标记数据，且难以保持在微小血管拓扑结构完整性和抑制图像噪声之间取得平衡。

为应对此挑战，本研究提出一种结合迁移学习 (Transfer Learning) 与注意力机制 U-Net (Attention U-Net) 的自动化血管分割框架。通过引入注意力门 (Attention Gates) 机制，自适应学习并聚焦于不同形态的目标血管区域，从而有效抑制背景区域的无关噪声。为了解决同步辐射脑成像数据集标注样本有限且训练成本高的问题，采用迁移学习策略，首先在大型公开医学图像数据集上对模型进行预训练，使其学习广泛而鲁棒的图像底层特征。随后，将预训练模型在极少量手工标注的高分辨同步辐射脑血管数据集上进行微调 (fine tune)，使其快速适应新数据域的独特特征分布。

实验结果表明，本研究构建的基于 Attention U-Net 的模型在公开数据集上的分割精度可达 99.5%。与从零开始训练的模型相比，本研究提出的基于迁移学习策略的模型在收敛速度和最终分割精度上均有显著提升。在同步辐射脑成像数据集上，该方法在 Dice 系数等关键评估指标上均表现出色，能够精确分割出微血管结构，同时有效克服了图像伪影的干扰，且分割结果在三维拓扑结构的连通性和细节上与手工标注高度一致。

本研究证实了基于迁移学习的 Attention U-Net 框架是解决同步辐射脑血管图像分割任务的一种高效、精准且鲁棒的自动化方案。该方法不仅显著降低了对大规模标注数据的依赖，也为处理同步辐射脑成像神经图像分割问题提供了一个极具潜力的解决方案，为后续的血管形态学量化分析、血管与神经的关联分析奠定了坚实的技术基础。

Summary

本研究提出一种基于迁移学习和 Attention U-Net 的同步辐射脑成像血管图像自动化高效分割框架，显著降低了对大规模标注数据的依赖，同时也为处理同步辐射脑成像神经数据和后续的量化分析奠定了坚实的数据及技术基础。

Primary authors: 叶, 静 (中国科学院上海高等研究院); 陈, 卓 (中国科学院上海高等研究院); 李, 沁桐 (中国科学院上海高等研究院); 李, 宗泽 (中国科学院上海高等研究院); 张, 家如 (中国科学院上海高等研究院); 王, 春鹏 (中国科学院上海高等研究院); 胡, 宇光 (中国科学院上海高等研究院); 郇, 仁忠 (中国科学院上海高等研究院)

Presenter: 叶, 静 (中国科学院上海高等研究院)

Session Classification: 人工智能与应用

Track Classification: 人工智能与应用