

МОДЕЛЮВАННЯ СУДИННИХ МЕРЕЖ У 3D-ДРУКОВАНИХ ОРГАНАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

UDC 004.386.6

A. Ivanyuk

MODELING OF VASCULAR NETWORKS IN 3D-PRINTED ORGANS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

В регенеративній медицині активно розвиваються технології 3D-друку органів, однак створення функціональних судинних мереж залишається актуальним викликом для науковців. З огляду на те, що судинна система забезпечує транспортування поживних речовин та кисню, і є життєво необхідним для функціонування органів. Особливо складний 3D-друк нирок, через їхню розгалужену судинну архітектуру, яка включає артерії, вени та капіляри.

Для аналізу судинної системи у дослідженні використовуються дані, отримані за допомогою **HiP-CT** (Hierarchical Phase-Contrast Tomography). HiP-CT – це метод візуалізації, що дозволяє отримувати тривимірні зображення реальних органів людини із високою роздільною здатністю. Він базується на фазовому контрасті, що забезпечує візуалізацію дрібних судин без застосування контрастних речовин. Зображення отримуються із зразків органів, наданих донорами або пацієнтами у межах відповідних біомедичних досліджень [1], [2].

Дані HiP-CT забезпечують деталізацію судинної системи на рівні капілярів, що робить їх ідеальними для дослідження судинної архітектури нирок. Перед обробкою дані проходять етап нормалізації, що усуває вплив шуму та варіацій інтенсивності у сканах:

$$I_{norm} = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}},$$

де I – інтенсивність пікселів, I_{min} і I_{max} – мінімальне та максимальне значення інтенсивності [2].

Для сегментації судин використовується адаптована модель **U-Net**, яка має симетричну структуру для витягування ознак (contracting path) та відновлення просторової інформації (expanding path). Впроваджено мультикласову сегментацію, яка дозволяє розрізняти артерії, вени та фон. Розрахунок ймовірностей для кожного пікселя здійснюється за допомогою функції Softmax:

$$P(c|x) = \frac{e^{z_c}}{\sum_{i=1}^C e^{z_i}},$$

де c – клас (артерії, вени, фон), z_c – логіти, $C=3$ – кількість класів. Для мінімізації похибок використовується функція втрат крос-ентропії:

$$L = - \sum_{c=1}^C y_c \log(P(c|x)),$$

що дозволяє точно сегментувати зображення [3], [4].

Зображення HiP-CT подаються на вхід моделі U-Net, яка на виході генерує сегментовані дані у вигляді карти ймовірностей для кожного класу. Це дозволяє виділяти артерії, вени та виключати фонові області. Якість сегментації оцінюється за допомогою метрики Dice Score [4], [5].

Запропонований підхід забезпечує автоматизацію процесів аналізу та моделювання судинної архітектури, що є важливим кроком для створення функціональних 3D-друкованих нирок. У подальших дослідженнях передбачається вдосконалення підходу для роботи з іншими органами та інтеграція у системи біодруку, що відкриває нові перспективи для трансплантології [6].

Література

1. Wang, X., Li, Y., Zhao, H., et al. Kidney Blood Vessel Computed Tomography Image Segmentation. ResearchGate, 2023. Available at: https://www.researchgate.net/publication/376645882_Kidney_Blood_Vessel_Computed_Tomography_Image_Segmentation
2. Rahmani, S., Smith, T. J., Johnson, M., et al. Mapping the blood vasculature in an intact human kidney using hierarchical phase-contrast tomography. bioRxiv, 2023. Available at: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.03.28.534566v2.full>
4. Ronneberger O., et al. "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation". MICCAI, 2015. URL: <https://arxiv.org/abs/1505.04597>
5. Hague, J. P. Simultaneous determination of interlocking arterial and venous network configurations for any tissue shape by global power optimization. ResearchGate, 2023. Available at: https://www.researchgate.net/publication/372962584_Simultaneous_determination_of_interlocking_arterial_and_venous_network_configurations_for_any_tissue_shape_by_global_power_optimization
6. Deep learning techniques for medical image segmentation: A survey. URL: <https://arxiv.org/pdf/1703.00130>
7. Murphy, D. J., Aghayev, A., & Steigner, M. L. Vascular CT and MRI: a practical guide to imaging protocols. Insights into Imaging, 2018. Available at: <https://insightsimaging.springeropen.com/articles/10.1007/s13244-018-0597-2>