

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD626155>

Одноэтапная генерация сетки поверхности просвета аневризмы брюшной аорты гибридной нейронной сетью на основе снимка компьютерной томографии

Р.Ю. Епифанов¹, Р.И. Мулладжанов^{1,2}, А.А. Карпенко^{1,3}¹ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия;² Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе, Новосибирск, Россия;³ Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина, Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Современные алгоритмы извлечения поверхности кровотока для гемомоделирования аневризм брюшной аорты в основном извлекают не напрямую из компьютерной томографии, а через этап сегментации [1]. Это осложняет извлечение, потому что при обучении нейросети сегментации игнорируется тот факт, что кровоток представляет собой односвязную область, и для выполнения критерия односвязности может требоваться постобработка. Во-вторых, поверхность кровотока, полученная из маски сегментации с помощью *marching cubes*, слишком грубая и требует применения сглаживания. Для обеспечения одноэтапного извлечения поверхности первым был предложен Voxel2Mesh [2]. Voxel2Mesh показывает неплохую производительность в извлечении относительно простых геометрий, в то время как для более сложных в литературе предложены его модификации [3, 4].

Цель — разработка алгоритма одноэтапного извлечения поверхности просвета аневризмы брюшной аорты.

Материалы и методы. Было подготовлено 90 снимков компьютерной томографии с контрастированием и масок сегментации к ним с разметкой области кровотока, разделённых на группы в 40, 20 и 30 снимков для обучения, валидации и тестирования. Для увеличения эффективного размера обучающей выборки применялись аффинные и нелинейные аугментации. Для одноэтапного извлечения поверхности была предложена гибридная нейронная сеть, состоящая из воксельного кодера, воксельного декодера и сеточного декодера. Архитектура кодера наследует архитектуру ConvNeXtV2 размера Atto. Воксельный декодер является композицией пяти блоков, из интерполяционного слоя, двух сверточных слоев со слоями пакетной нормализации и ReLU. Воксельный декодер и кодер соединены связями аналогично Unet. Сеточный декодер состоит из четырех свёрток GraphSAGE, разделённых GeLU, и соединён с воксельным декодером. На вход кодера поступает снимок компьютерной томографии, на вход сеточного декодера поступает первоначальное приближение поверхности в виде шара. На выходе воксельного декодера получается маска сегментации, на выходе сеточного декодера — извлечённая поверхность. Для обучения использовалась комбинация воксельной и сеточной функции потерь. В качестве истинной поверхности использовали поверхность, сгенерированную из сегментационной маски алгоритмом *marching cubes*. Для задания необходимых параметров генерируемой сетки использовали регуляризирующие слагаемые в сеточной функции потерь. Качество генерации оценивали метрикой *dice*, сравнивая истинную сегментационную маску с растеризированной сгенерированной поверхностью.

Результаты. Мы предложили первую гибридную нейронную сеть с кодером, основанным на современной архитектуре ConvNeXtV2 для прямого создания сетки кровотока аневризмы брюшной аорты. Мы добились улучшения генерации по метрике *dice* на 14,01%, набрав 85,32%, по сравнению с Voxel2Mesh.

Заключение. Показаны многообещающие результаты для точной генерации геометрии просвета с показателями, близкими к задаче сегментации, устраняя необходимость в этапах постобработки, необходимых для последней.

Ключевые слова: гибридные нейронные сети; аневризма брюшной аорты; генерация поверхностной сетки.

Как цитировать:

Епифанов Р.Ю., Мулладжанов Р.И., Карпенко А.А. Одноэтапная генерация сетки поверхности просвета аневризмы брюшной аорты гибридной нейронной сетью на основе снимка компьютерной томографии // Digital Diagnostics. Т. 5, № S1. С. 83–85. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD626155>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brutti F., Fantazzini A., Finotello A., et al. Deep learning to automatically segment and analyze abdominal aortic aneurysm from computed tomography angiography // *Cardiovascular Engineering and Technology*. 2022. Vol. 13, N 4. P. 535–547. doi: 10.1007/s13239-021-00594-z
2. Wickramasinghe U., Remelli E., Knott G., Fua P. Voxel2Mesh: 3D mesh model generation from volumetric data // *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention—MICCAI 2020: 23rd International Conference; 2020 October 4–8; Lima, Peru*. doi: 10.1007/978-3-030-59719-1_30
3. Kong F., Wilson N., Shadden S. A deep-learning approach for direct whole-heart mesh reconstruction // *Medical image analysis*. 2021. Vol. 74. doi: 10.1016/j.media.2021.102222
4. Bongratz F., Rickmann A.-M., Polsterl S., Wachinger C. Vox2cortex: fast explicit reconstruction of cortical surfaces from 3D MRI scans with geometric deep neural networks // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition; 2022; New Orleans, LA, USA*. doi: 10.1109/CVPR52688.2022.02011

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD626155>

One shot lumen mesh generation of abdominal aortic aneurysm by hybrid neural network

Rostislav Yu. Epifanov¹, Rustam I. Mullyadzhanov^{1,2}, Andrey A. Karpenko^{1,3}

¹ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia;

² Kutateladze Institute of Thermophysics, Novosibirsk, Russia;

³ National Medical Research Center named after academician E.N. Meshalkin, Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The majority of current algorithms for blood flow surface extraction in the context of hemomodeling of abdominal aortic aneurysms are derived through a segmentation step, rather than directly from CT scans [1]. This approach introduces a degree of complexity, as the segmentation neural network is trained without consideration of the fact that the blood flow is a simply-connected region. Consequently, post-processing may be required to fulfill the simple connectivity criterion. In addition, the blood flow surface obtained from the segmentation mask using marching cubes is too coarse and requires smoothing. To provide one-stage surface extraction, Voxel2Mesh [2] was the first to be proposed. Voxel2Mesh shows good performance in extracting relatively simple geometries, while for more complex ones, its modifications have been proposed in the literature [3, 4].

AIM: The study aimed to develop an algorithm for single-stage extraction of the lumen surface of an abdominal aortic aneurysm.

MATERIALS AND METHODS: A total of 90 contrast-enhanced CT images and segmentation masks with blood flow region labeling were prepared and divided into three groups: 40, 20, and 30 images for training, validation, and testing, respectively. Affine and non-linear augmentations were applied to increase the effective training sample size. A hybrid neural network consisting of a voxel encoder, a voxel decoder, and a grid decoder was proposed for single-stage surface extraction. The architectural design of the encoder is based on the Atto-sized ConvNeXtV2 architecture. The voxel decoder is comprised of five blocks, beginning with an interpolation layer and concluding with two super-precision words with packet normalization layers and ReLU. The voxel decoder and encoder are linked by means of analogous connections to those observed in the Unet architecture. The grid decoder comprises four GraphSAGE convolutions, with GeLU intervening between each pair. It is connected to the voxel decoder. The input to the encoder is a computed tomography image, while the input to the grid decoder is an initial approximation of the surface in the form of a ball. The output of the voxel decorrelation is a segmentation mask, while the output of the mesh decorrelation is the extracted surface. A combination of voxel and mesh loss functions was employed for the purposes of training. The surface generated from the segmentation mask by the Marching Cubes algorithm was employed as the reference surface. The mesh loss function was regularized to set the necessary parameters for the generated mesh. The quality of the generated mesh was evaluated using the Dice coefficient, which compares the true segmentation mask with the rasterized generated surface.

RESULTS: We proposed the first hybrid neural network with an encoder based on the state-of-the-art ConvNeXtV2 architecture for the direct generation of abdominal aortic aneurysm blood flow meshes. A 14.01% improvement in generation was achieved by the Dice metric, with a score of 85.32%, in comparison to Voxel2Mesh. The results demonstrate the potential for accurate lumen geometry generation, with metrics approaching those of the segmentation task. This eliminates the necessity for post-processing steps typically required for the latter.

Received: 28.01.2024

Accepted: 13.03.2024

Published online: 30.06.2024

CONCLUSION: Shows promising results for accurately generating lumen geometry with performance similar to the segmentation task, eliminating the need for post-processing steps required for the latter

Keywords: hybrid neural networks; abdominal aortic aneurysm; surface mesh generation.

To cite this article:

Epifanov RYu, Mullyadzhano R, Karpenko AA. One shot lumen mesh generation of abdominal aortic aneurysm by hybrid neural network. *Digital Diagnostics*. 2024;5(S1):83–85. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD626155>

REFERENCES

1. Brutti F, Fantazzini A, Finotello A, et al. Deep learning to automatically segment and analyze abdominal aortic aneurysm from computed tomography angiography. *Cardiovascular Engineering and Technology*. 2022;13(4):535–547. doi: 10.1007/s13239-021-00594-z
2. Wickramasinghe U, Remelli E, Knott G, Fua P. Vox2Mesh: 3D mesh model generation from volumetric data. Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention–MICCAI 2020: 23rd International Conference; 2020 October 4–8; Lima, Peru. doi: 10.1007/978-3-030-59719-1_30
3. Kong F, Wilson N, Shadden S. A deep-learning approach for direct whole-heart mesh reconstruction. *Medical image analysis*. 2021;74. doi: 10.1016/j.media.2021.102222
4. Bongratz F, Rickmann A-M, Polsterl S, Wachinger C. Vox2cortex: fast explicit reconstruction of cortical surfaces from 3D MRI scans with geometric deep neural networks. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition; 2022; New Orleans, LA, USA. doi: 10.1109/CVPR52688.2022.02011

ОБ АВТОРАХ

*** Епифанов Ростислав Юрьевич;**

ORCID: 0009-0005-1348-2699;

eLibrary SPIN: 9972-6042;

e-mail: rostepifanov@gmail.com

Мулладжанов Рустам Илхамович;

ORCID: 0000-0001-7506-1914;

eLibrary SPIN: 8501-5301;

e-mail: rustammul@gmail.com

Карпенко Андрей Анатольевич;

ORCID: 0000-0002-8064-1857;

e-mail: andreikarpenko@rambler.ru

AUTHORS' INFO

*** Rostislav Yu. Epifanov;**

ORCID: 0009-0005-1348-2699;

eLibrary SPIN: 9972-6042;

e-mail: rostepifanov@gmail.com

Rustam I. Mullyadzhano;

ORCID: 0000-0001-7506-1914;

eLibrary SPIN: 8501-5301;

e-mail: rustammul@gmail.com

Andrey A. Karpenko;

ORCID: 0000-0002-8064-1857;

e-mail: andreikarpenko@rambler.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author