

СЕГМЕНТАЦИЯ И ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ МОДЕЛЕЙ ПО СНИМКАМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

А.С. Кузьмик

Белорусский государственный университет, г. Минск;

alexander.kuzmik99@gmail.com

науч. рук. – В. В. Горячкин, канд. физ.-мат. наук, доц.

В данной статье рассматривается подход для сегментации изображений со снимков компьютерной томографии с дальнейшей трехмерной реконструкцией сегментированных структур. Статья содержит описание методов для сегментации участков скелета, внутренних органов на примере печени, а также сегментацию участка тела с фильтрацией от гипса и металлических структур на снимке. Приведены метрики, подтверждающие эффективность построенных моделей. Рассмотрен подход для получения полигональной модели на основе результатов сегментации, а также для её дальнейшей постобработки с целью выполнения ставящихся к модели технических и качественных требований. Выбрана архитектура, позволяющая эффективно выполнять задачи, соответствующие всем этапам работы. В результате комбинирования классических инструментов для реконструкции моделей по снимкам компьютерной томографии с современными методами сегментации, основанными на глубоких нейронных сетях, спроектирован программный модуль, позволяющий генерировать трехмерные модели органов и тканей. Преимущество полученного решения перед уже существующими в том, что генерация моделей требует от пользователя лишь спецификации требований к ним, что освобождает его от трудоемкой ручной работы с данными.

Ключевые слова: компьютерная графика, сегментация, компьютерная томография, трехмерная реконструкция, Marching cubes, нейронные сети, U-net, компьютерное зрение, каналы и фильтры.

ВВЕДЕНИЕ

Задача улучшения качества медицинской диагностики и планирования операций будет актуальной всегда, и программное обеспечение, позволяющее проводить трехмерную реконструкцию по снимкам компьютерной томографии, существует уже не первый год. Как правило, большинство программ в данной области уже многие годы предоставляют возможность просматривать медицинские снимки, вручную сегментировать на них нужные структуры и проводить последующую трехмерную реконструкцию.

Однако в последние годы для возможности изменения привычных инструментов появлялось всё больше предпосылок. Искусственные нейронные сети позволили экономить время путём автоматизации сегментирования сложных структур – задачи, которая ранее не решалась качественно

без участия человека. Технологии смешанной реальности перенесли полученные модели с экрана монитора прямо в операционную. В конце концов, быстрый и доступный интернет вместе с облачными технологиями дали возможность выполнять все трудоёмкие операции удаленно, снижая требования к устройствам пользователей. В результате появилась возможность вдохнуть в данную область новую жизнь, сделав для врачей процесс получения трехмерных моделей органов гораздо проще, а их использование – эффективнее.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данной работы – это описание методов для автоматической сегментации и трёхмерной реконструкции моделей по снимкам компьютерной томографии, создание программного модуля, реализующего описанный функционал, и внедрение данного модуля в специальное веб-приложение для врачей.

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАРИЯ

- Для хранения снимков компьютерной томографии и их метаданных использовался формат файлов DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)
- Для построения и постобработки полигональной модели на основе срезов тела использовалась библиотека VTK (Visualization Toolkit)
- В качестве инструмента для обработки изображений выбрана библиотека компьютерного зрения OpenCV (Open source computer vision)
- Для обучения искусственных нейронных сетей использовались библиотека Keras, набор данных SLIVER07, а также собственный, синтетически созданный набор данных для сегментации гипса и металлических структур, окружающих участок тела на снимках

АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ БАЗОВОЙ ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

В качестве метода для сегментации на данном этапе был выбран простейший фильтр бинаризации изображений. Для сегментирования костных тканей на снимках были оставлены только те пиксели, чья яркость (плотность) не меньше табличного значения плотности костей [1].

С помощью алгоритма «Marching cubes» [2] на основе сегментированных снимков строится полигональная модель участка скелета, попавшего на серию снимков. Так создаётся базовая модель, которую можно дорабатывать различными модификациями.

АРХИТЕКТУРА «КАНАЛЫ И ФИЛЬТРЫ»

Построенная трехмерная модель может не отвечать техническим или качественным требованиям. Например, на ней могут иметься лишние артефакты, оставшиеся после сегментации, или же объём занимаемой ею памяти слишком велик из-за большого числа полигонов. Для обеспечения возможности постобработки построенной модели был применен шаблон «Каналы и фильтры» [3] с кэшированием промежуточных результатов для возможности пересоздать модель с другими модификациями, начиная с её последнего неизменного состояния.

Были созданы следующие фильтры:

- Фильтр чистки от изолированных артефактов
- Редуцирующий фильтр для уменьшения числа полигонов в модели
- Сглаживающий фильтр

СЕГМЕНТАЦИЯ СНИМКОВ

Ранее был описан процесс сегментации участков скелета с помощью фильтра бинаризации. Данный метод подходит для сегментации костей, т.к. из-за высокой плотности они легко отличимы на снимках от мягких тканей как минимум по распределению значений яркости пикселей.

Для сегментации более сложных структур, которые невозможно качественно выявить исключительно по их плотности, были использованы искусственные нейронные сети [4] архитектуры U-net [5] с использованием кодировщика изображения архитектуры ResNet [6].

В рамках работы были обучены модели для сегментации двух видов структур. Для измерения качества использовалась метрика IoU (Intersection over union).

Первая сеть (модель) предназначена для сегментации печени, использовался открытый набор данных SLIVER07, достигнутый показатель IoU равен 0.91.

Вторая модель обучена для сегментации всех структур, не являющихся гипсом или металлической структурой, находящейся снаружи тела. Эта задача решалась по той причине, что яркость гипса или металла на снимках зачастую совпадают с яркостью костей, из-за чего оба материала могут попасть на трехмерную модель, «загородив» обзор. Набор данных для данной задачи был сгенерирован вручную с помощью методов для работы с изображениями библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Полученный показатель IoU – 0.97.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были доработаны методы сегментации и трёхмерной реконструкции по снимкам компьютерной томографии. Был спроектирован программный модуль, реализующий описанный функционал. Интерфейс данного модуля предоставляет возможность получения необходимых трехмерных моделей исключительно путём спецификации требований того, какая именно модель необходима, освобождая пользователей от ручной работы с данными.

Искусственные нейронные сети показали высокое качество решения задач по сегментации сложных структур на изображениях, а комбинирование такого подхода с традиционными алгоритмами дало возможность быстро получать трёхмерные модели, соответствующие поставленным требованиям, практически без вмешательства человека.

Созданный программный модуль встроен в серверную часть веб-приложения, используемого хирургами Республиканского Научно-Практического Центра травматологии и ортопедии для планирования операций в очках смешанной реальности.

Библиографические ссылки

1. "Computed Tomography (CT) Scanning" [Electronic resource]. — Mode of Access: <https://teachmeanatomy.info/the-basics/imaging/computed-tomography-ct-scans/>
2. *Lorensen, William E., Harvey E. Cline*, "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm" [Electronic resource]. — Mode of Access:
3. https://www.researchgate.net/publication/202232897_Marching_Cubes_A_High_Resolution_3D_Surface_Construction_Algorithm
4. "Образцы проектирования: Каналы и фильтры" [Электронный ресурс].
5. Режим доступа — <https://www.intuit.ru/studies/courses/64/64/lecture/1878?page=4>
6. *Mehlig B.* "Artificial Neural Networks" [Electronic resource]. — Mode of Access: <https://arxiv.org/pdf/1901.05639.pdf>
7. *Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox*, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation" [Electronic resource]. — Mode of Access:
8. <https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf>
9. *Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun*, "Deep Residual Learning for Image Recognition" [Electronic resource]. — Mode of Access: <https://arxiv.org/pdf/1512.03385.pdf>