

В. Д. Адуцкевич

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ И ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ

Научный руководитель: канд. техн. наук, ст. преп. О. В. Недзьведь

Кафедра медицинской и биологической физики,

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

V. D. Adutskevich

USING OF NEURAL NETWORKS FOR FUSION IMAGES OF COMPUTER TOMOGRAPHY AND POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY

Tutor: PhD, senior lecturer O. V. Nedzvedz

Department of Medical and Biological Physics,

Belarusian State Medical University, Minsk

Резюме. Статья посвящена возможностям совмещения изображений позитронно-эмиссионной томографии (отображают области с высокой метаболической и биохимической активностью) и компьютерной томографии (позволяют получить изображения анатомических структур с высоким разрешением) с помощью нейронных сетей.

Ключевые слова: позитронно-эмиссионная томография, ПЭТ; компьютерная томография, КТ; нейронные сети; сверточная сеть; методы медицинской визуализации.

Resume. The article is focused on the possibilities of fusion images of positron emission tomography (they represent areas with high metabolic and biochemical activity) and computer tomography (they allow obtaining images of anatomical structures with high resolution) using neural networks.

Keywords: positron emission tomography, PET; computer tomography, CT; neural networks; convolutional network; medical imaging methods.

Актуальность. Методы медицинской визуализации, к которым относятся компьютерная томография (КТ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), широко применяются для планирования и оценки лечения в лучевой терапии. КТ позволяет получить изображения анатомических структур с высоким разрешением, однако не отражает происходящие в организме физиологические процессы. ПЭТ отображает области, имеющие высокую биохимическую и метаболическую активность, но не позволяет точно определить их локализацию. Наилучшие результаты дает использование комбинированных ПЭТ-КТ изображений, предоставляющих одновременно анатомическую и физиологическую информацию об опухоли, однако их слияние представляет собой сложную задачу.

Цель: изучить особенности ПЭТ и КТ изображений, а также нейросетевые методы их совмещения для улучшения визуализации опухолей.

Задачи:

1. Изучить особенности и отличия методов медицинской визуализации.
2. Изучить преимущества совместного использования ПЭТ и КТ изображений.
3. Изучить нейросетевые методы совмещения изображений для сегментации опухолей на них.
4. Научиться применять нейронную сеть для выделения опухолей на изображениях ПЭТ/КТ.

Материалы и методы. В ходе работы было проанализировано несколько нейронных сетей, представленных веб-сервисом <https://github.com>.

На основании анализа исходных программ для сегментации опухолей на изображениях ПЭТ-КТ была выбрана глубокая сверточная нейронная сеть. Исходные коды программы размещены по адресу:

https://github.com/zhongzisha/ISBI2018_PETCT_Segmentation?fbclid=IwAR1SdCKCjItu6Vz7R1mTIUxq9Tn8q637mV19go3TRrXMzj4mq000RU6tdjM.

Для тестирования использовались изображения ПЭТ и КТ, полученные в Чжэцзянском университете (Китай). Набор данных для исследования составлял 50 наборов изображений лимфатических узлов шеи, полученных при помощи сканера Biograph 128-slice mCT (PET-CT scanner; Siemens Healthineers, Hoffman Estates, IL, USA). Каждое исследование включало одно изображение КТ и одно изображение ПЭТ. Разрешение КТ составляло 512 × 512 пикселей, разрешение ПЭТ составляло 128 × 128 пикселей, с толщиной среза 3 мм.

Случайным образом изображения были разделены на три группы:

60 % – тренировочный набор;

30 % – тестовый набор;

10 % – набор для валидации.

Компьютерная томография относится к компьютерным рентгеновским методам визуализации, основанным на прохождении пучков рентгеновского излучения через исследуемый объект.

Источники рентгеновского излучения вращаются вокруг тела пациента и создают веерные пучки, которые, проходя через участок тела пациента, регистрируются датчиками и затем обрабатываются компьютером с помощью специальных алгоритмов. Ткани просвечиваются рентгеновскими лучами по всем направлениям выбранного сечения. Система источники-датчики совершает оборот на 240 - 360 градусов. Длительность получения данных с одного среза около 10 секунд.

КТ-изображения позволяют идентифицировать внутренние структуры, видеть их форму, размер, плотность и текстуру. Данные компьютерной томографии используются для построения геометрических и физических моделей, которые позволяют определить, например, структуру и объем опухоли. Кроме этого физические модели предоставляют информацию о плотности, необходимую для большинства алгоритмов расчета дозы.

Таким образом, к преимуществам изображений КТ относятся: отображение анатомических структур организма с высоким разрешением (до нескольких мм); распознавание близко расположенных объектов при разнице их относительных показателей ослабления до 0.1%. К недостаткам относится невозможность отображения физиологических и метаболических процессов, протекающих в организме.

ПЭТ представляет собой метод медицинской визуализации, основанный на применении позитронного распада радиофармпрепаратов. Испускаемый позитрон проходит в ткани 1-3 мм и сталкивается с электроном, в результате чего происходит реакция аннигиляции, сопровождаемая образованием двух гамма-квантов. Гамма-кванты обнаруживаются как вспышка света, когда они достигают

сцинтиллятора в сканирующем устройстве. На основе регистрации этих вспышек компьютер создает изображение участков с активным метаболизмом.

Полученное в результате реконструкции ПЭТ-изображение представляет собой распределение пикселей различной интенсивности, отображающих участки с повышенным поглощением фармпрепарата, характеризующиеся наибольшей метаболической активностью. ПЭТ изображения позволяют визуализировать физиологические процессы, происходящие в опухоли, а также определить отличия между злокачественными и доброкачественными новообразованиями.

К основным недостаткам метода относятся низкое разрешение, нечеткое выделение границ опухоли, сложности с определением точного положения опухоли в организме, а также эффект частичного объема.

Таким образом, КТ хорошо отображает анатомические структуры, но может пропустить опухоли небольшого размера на ранней стадии и не предоставляет никакой функциональной информации об опухолях.

ПЭТ предоставляет информацию о метаболической активности в опухоли, но не позволяет определить размер и местоположение опухолей с точностью, необходимой для оптимальной диагностики и планирования лечения.

ПЭТ и КТ, очевидно, дополняют друг друга в обеспечении важной диагностической информацией.

Результаты и их обсуждение. Полученные по отдельности ПЭТ и КТ изображения трудно совмещать из-за различий в расположении пациента. В настоящее время созданы сканеры, объединяющие две данные технологии. Совмещение изображений ПЭТ и КТ, даже полученных параллельно, является сложным процессом. Это связано с различиями в разрешении и контрастности ПЭТ и КТ изображений, физиологическими движениями пациента (например, дыханием), артефактами на изображениях. Различия в координатах ПЭТ и КТ, обусловленные дыханием пациента, могут достигать 15 мм.

Для объединения данных ПЭТ-КТ может быть использована сверточная нейронная сеть, объединяющая информацию для мультимодального анализа медицинских изображений. Название архитектура сети получила из-за наличия операции свёртки, при которой каждый фрагмент изображения умножается на матрицу (ядро) свёртки поэлементно, а результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Изображения ПЭТ и КТ имеют разную размерность, поэтому необходимы две параллельные сети, обрабатывающие изображения параллельно (такая сеть называется U-Net). При этом между изображениями ПЭТ и КТ существует геометрическая связь, поддерживается объединением отдельно взятых слоев сети, обеспечивая их взаимодействие, что приводит к более точному результату при выделении опухолей. Используемая в работе сверточная сеть U-Net с кодер-декодерной архитектурой состоит из нескольких модулей понижающей дискретизации (кодер) и повышающей дискретизации (декодер).

Поскольку ПЭТ и КТ отображают одни и те же области, между ними существует геометрическая взаимосвязь, которую необходимо определить (рисунок 1).

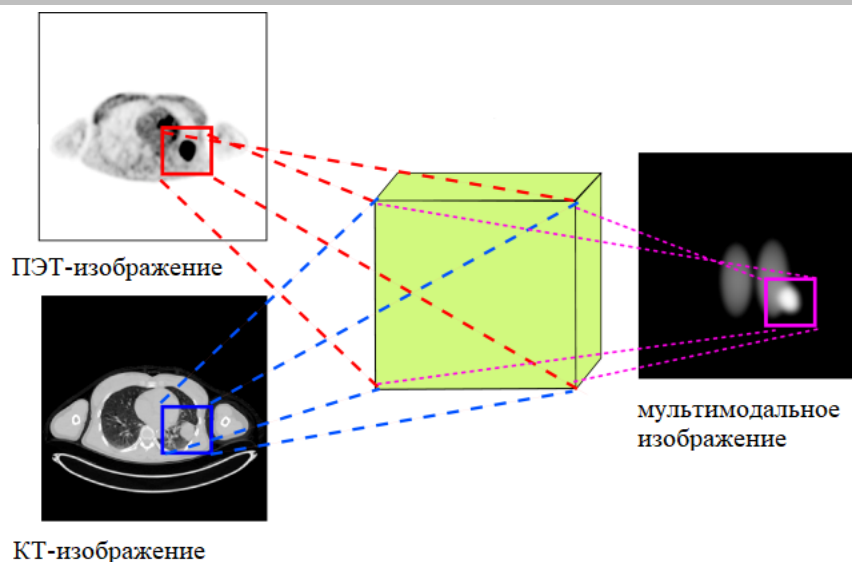


Рис. 1 – Мультимодальное ПЭТ-КТ изображение

После выделения опухолей проводится сравнение результатов автоматической сегментации, выполненной с помощью нейронной сети (зеленый цвет) с интерактивной обводкой тестового набора, выполненной специалистом (красный) (рисунок 2).

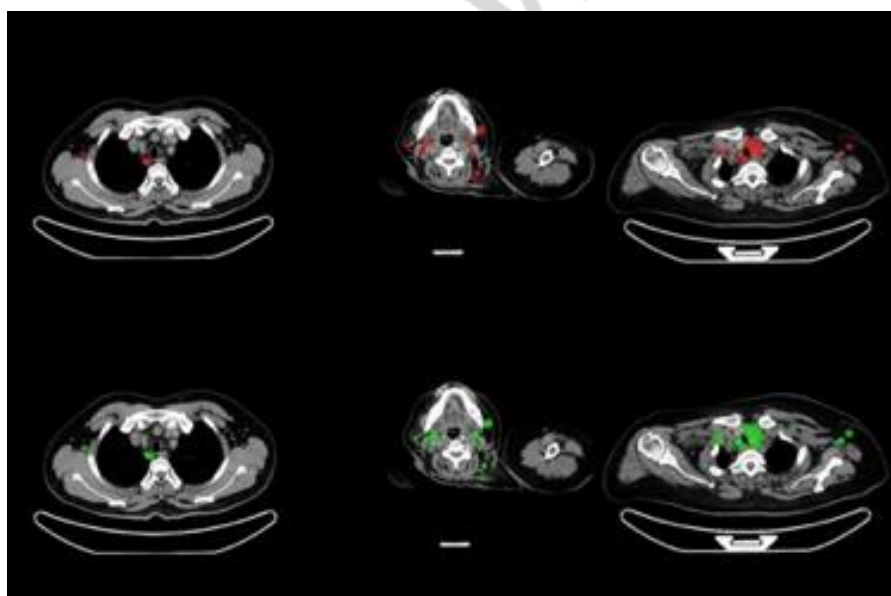


Рис. 2 – Сравнение результатов ручной и автоматической сегментации

Для оценки точности сегментации предложенного метода и других алгоритмов сравнения был использован коэффициент подобия:

$$S(V_A, V_B) = \frac{2|V_A \cap V_B|}{|V_A| + |V_B|}$$

где V_A – результат автоматической сегментации, V_B – результат выделения в тестовой выборке.

Оценка точности работы нейронной сети показана в таблице (таблица 1).

Табл. 1. Оценка точности работы нейронной сети

Алгоритм выделения нейронной сетью	Коэффициент подобия
------------------------------------	---------------------

Выделение только на КТ	0.74
Выделение только на ПЭТ	0.80
Выделение на ПЭТ и КТ	0.87

Выводы:

1. Отдельное выделение опухолей на КТ изображениях обладает низкой точностью, так как опухоли нечетко выражены.

2. Изображения ПЭТ обладают более высокой точностью, но отсутствие четких границ дает ошибку выделения.

3. Благодаря объединению ПЭТ и КТ возможно более точное определение границ опухоли.

4. Это позволяет повысить качество диагностики и мониторинга изменения опухоли.

Литература

1. Хофер, М. Компьютерная томография / М. Хофер // Медицинская литература. – 2011. – 232 с.

2. Введение в свёрточные нейронные сети [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/454986/>. Дата доступа: 15.05.20.

3. Kirienko M. Convolutional Neural Networks Promising in Lung Cancer T-Parameter Assessment on Baseline FDG-PET/CT / M. Kirienko [at all] // Contrast Media & Molecular Imaging. – Vol. 2018. – 2018. – p. 1-6.

4. The Physics of PET/CT Scanners [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://radiologykey.com/the-physics-of-petct-scanners/>. Дата доступа: 15.05.20.