

УДК 004.852

**Экономические аспекты обнаружения неисправных
узлов томографа при артефактах на изображении
для машинного обучения**

Торосян Марлен Саакович

Аспирант,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, Российская Федерация, Москва, Каширское шоссе, 31;
e-mail: torosyan.marlen@yandex.ru

Чернышев Илья Сергеевич

Магистр,
Воронежский государственный университет,
394018, Российская Федерация, Воронеж, Университетская пл., 1;
e-mail: torosyan.marlen@yandex.ru

Отченашенко Александр Иванович

Аспирант,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, Российская Федерация, Москва, Каширское шоссе, 31;
e-mail: torosyan.marlen@yandex.ru

Алексеев Ульяна Викторовна

Магистр,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5;
e-mail: torosyan.marlen@yandex.ru

Аннотация

В работе представлен инновационный метод диагностики неисправностей томографического оборудования на основе анализа артефактов изображения с применением машинного обучения. Разработанный подход позволяет идентифицировать вышедшие из строя узлы MR-томографов по характерным искажениям на получаемых изображениях, что значительно сокращает время и стоимость технического обслуживания. Исследование включает классификацию артефактов для различных типов томографов (МРТ, КТ, ПЭТ), связанных с конкретными аппаратными и программными неисправностями. Предложенная модель демонстрирует точность диагностики до 92% для наиболее распространенных типов отказов. Экономический анализ метода показывает

потенциальное снижение затрат на обслуживание томографического оборудования на 25-30% за счет сокращения времени простоя и оптимизации ремонтных процедур.

Для цитирования в научных исследованиях

Торосян М.С., Чернышев И.С., Отченашенко А.И., Алексеенко У.В. Экономические аспекты обнаружения неисправных узлов томографа при артефактах на изображении для машинного обучения // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 2А. С. 715-721.

Ключевые слова

Машинное обучение, медицинская томография, диагностика оборудования, артефакты изображений, экономика здравоохранения, техническое обслуживание.

Введение

В последние годы томография стала популярным и широко используемым методом визуализации живого организма на основе ПЭТ-МРТ томографии, включающий в себя обе методики диагностической визуализации. Сегодня патологоанатомические больницы и клиники оснащены одним или несколькими томографами для получения более информативных изображений органов человека. Данная технология исследования продолжает активно развиваться. Большинство из них можно определить по выходным данным изображения. Задача состоит в том, чтобы научить машины автоматически выявлять неисправности в аппаратных и программных системах томографа. Эта задача может быть решена анализом изображений, поиска артефактов; задача обработки МРТ-изображений на машинном уровне является актуальной, и ее решение позволит минимизировать потери диагностического времени и повысить точность диагностики.

Артефакты изображения - это объекты, ошибки в формировании итогового изображения.

Материалы и методы

Интерпретация интенсивности сигнала – ключевая задача магнитно-резонансной томографии. Интенсивность сигнала зависит от таких характеристик ткани, как плотность протонов и релаксация T1 и T2, а также от параметров TR и TE системы визуализации. Одним из основных критериев качества изображения является отношение сигнал/шум SNR, является отношением реального сигнала к фоновому шуму и зависит от множества факторов (формула 1):

$$SNR = I * V * \frac{\sqrt{NEX}}{\sqrt{BW}} * f_{RF} * f_{BO} * f_{gap} * f_{rec}, \quad (1)$$

где I – интенсивность сигнала; NEX – число усреднений; V – объем вокселя; BW – ширина полосы пропускания.

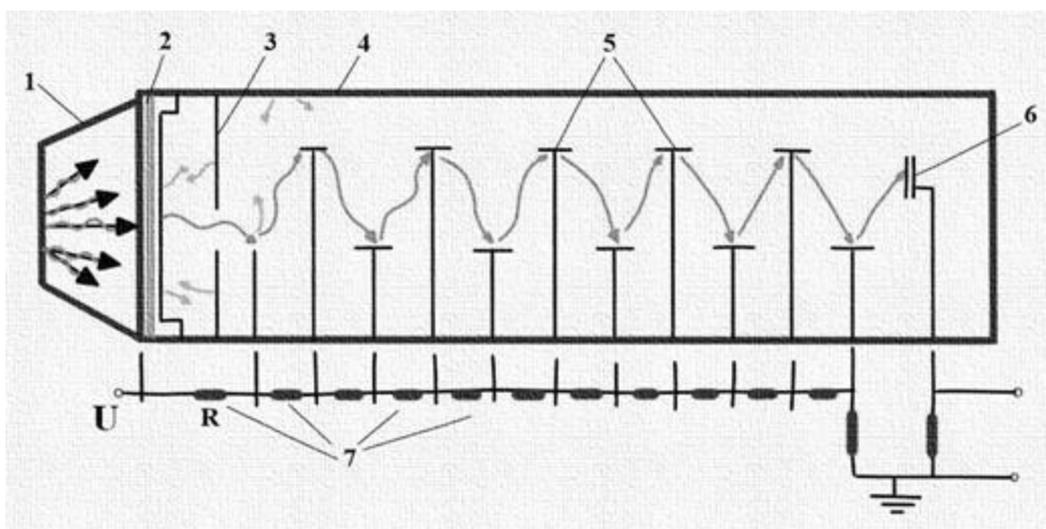
Анализ характеристик томографа и методы тестирования проводятся с помощью устройства контроля качества изображения – это фундамент, изображение которого используется для оценки качества работы и формирования параметров МР-томографа. Соотношение I через сигнал/шум определяется по T2-взвешенному изображению, где рассчитывается усредненный

сигнал раствора в центре тестовой области (S_p) и сигнала фона за пределами области (S_f). Стандартное отклонение этих значений отражает помехи системы (формула 2):

$$I = \frac{S_p - S_f}{S_f}, \quad (2)$$

Толщина среза в томографии зависит от равномерности магнитного поля, линейности градиента и используемой последовательности импульсов.

Сцинтиллятор – это материал, который флуоресцирует при воздействии высокоэнергетического излучения (рис. 1). Основные свойства сцинтилляторов определяются механизмами возбуждения и испускания. Взаимодействие веществ в кристаллической решетке нарушает положение внешних электронов на энергетических уровнях. В тех условиях, которых низкоэнергетическая область кристалла полностью занята. Кислородно-активированные сурьмяно-казеиновые фотокатоды широко используются в фотоэлектронных умножителях. Фотоны, падающие на фотокатод, вызывают фотонный эффект.



1) – сцинтиллятор; 2) – фотокатод; 3) – диафрагма; 4) – корпус; 5) – диноды; 6) – анод; 7) – делитель напряжения

Рисунок 1 – Схема сцинтилляционного детектора

Сцинтилляционный детектор преобразует свет от сцинтиллятора в сотни фотоэлектронов, фиксируя токовые импульсы, и может регистрировать все виды радиоактивного излучения.

Результаты и обсуждение

Что касается артефактов изображений пир томографии, то здесь речь идет о многих программных и аппаратных компонентах, включая компоненты детектора, системы сбора данных и неправильную реконструкцию изображения. Эти полосы или кольцевые искажения могут быть несущественными, но могут сделать изображение неразборчивым. В рабочем состоянии каждый узел выполняет и распознает задачи уникальным образом. Отказ каждого узла напрямую приводит к сбою его входной или выходной системы и изменениям/искажениям в изображении.

Артефакты от вихревых токов. Они уменьшаются за счет компенсации и экранирования градиентной катушки, что снижает их влияние на магнитное поле и искажения изображений.

Аудиоартефакты возникают из-за:

а) прозрачности изображения, возникающая в копиях, зависящих от отношения периода звуковой модуляции к времени TR;

б) линий или крапинок в частотном кодировании, которые связаны между периодом речи и TR. Их можно уменьшить с помощью линейного триггера. Также артефакты могут возникать из-за повреждения градиентной катушки или неправильного тока через неё.

Высокочастотный шум на изображении возникает из-за ослабленной интерференции и согласования в частотном кодировании, что может быть вызвано медицинским оборудованием или электромагнитным излучением.

Возникшие проблемы в схеме регистрации при наличии радиочастотного сигнала могут привести к радиочастотным артефактам на изображении. Например, смещение постоянного тока на выходе одного усилителя вызовет яркое пятно в центре, а неодинаковый коэффициент усиления каналов приведет к появлению призрака объекта.

Артефакты дискретизации (рис. 5) проявляются как сдвиги сигнала в фазовом кодировании и возникают из-за искажений траектории k-пространства или узкой полосы пропускания, при этом даже небольшой частотный сдвиг может существенно сместить сигнал. Артефакты, вызванные сбоями в работе детекторов или систем постсортировки (рис. 6), часто связаны с неисправностями фотоэлектронных умножителей, что приводит к веерообразной ряби на изображении, соответствующей расходящимся пучкам перекрывающихся линий. Интенсивность артефакта зависит от количества детекторов в контуре системы.

В случае, когда вышел из строя фотоумножитель, на изображении возникают пульсации, охватывающие каналы детектора, и они заметнее, чем при неисправности одного детектора. На синусоидальном графике это проявляется как широкая диагональная полоса. Отказ одного модуля детекторов может привести к появлению артефактов на нескольких дисплеях. Сбои в контроллере могут затрагивать несколько детекторов, создавая синусоидальный артефакт в виде широкополосного сигнала, который может быть менее заметен из-за наложения искажений нескольких секторов.

Ошибки возникают, когда одна или несколько ячеек памяти неправильно обнулены и заполнены неверным количеством событий, а сканер регистрирует совпадающие события.

На синусоидальной кривой артефакты ошибок хранения проявляются в виде одной или нескольких горячих точек.

Артефакты цифровой обработки возникают при выходе из строя детекторов, что приводит к секторным артефактам и вертикальным полосам на графике синусоиды. Артефакты от гентри проявляются в виде полос, похожих на артефакты от вентилятора, но обусловлены высокой интенсивностью в поле зрения, возможно, из-за остатка радиофармпрепарата в катетере. Увеличение изображения показывает, что полосы исходят из области с высокой интенсивностью.

Артефакты, возникшие во время обработки данных (рис. 8) появляются тогда, когда отсутствует параметр релаксационной коррекции или неправильный фильтр реконструкции. Они возникают реже, так как обработка обычно требует минимального взаимодействия с оператором. Этап обработки при использовании поправок на затухание - это определение эллипса, что должно выполняться тщательно, чтобы избежать артефактов. Одним из таких

артефактов является диаметр эллипса, который может сохранить равномерность, но указывает на неровности при коррекции границ. Неправильный коэффициент ослабления в эллипсе может привести к недооценке или переоценке активности.

Заключение

В рамках сформированного подхода, разрабатываемый метод поиска артефактов MR-изображений основан на автоматическом машинном обнаружении аппаратного или программного нарушения в построении изображения. Выведен ряд основных неисправностей томографа, с определением вышедших узлов, влияющих на возникновение артефактов. Представлены изображения с артефактами, и поясняющие описание о том, какой узел вышел из строя. Дальнейшая задача является обучение машины и внедрение комплекса в программное обеспечение, для вывода сообщений неисправностей.

Библиография

1. Галайдин П.А., Замятин А.И., Иванов В.А. Основы магниторезонансной томографии. Учебное пособие. - СПб: СПбГИТМО (ТУ), 1998. – 24 с.
2. Claesson T. A medical imaging demonstrator of computed tomography and bone mineral densitometry. Universitetservice US AB, Stockholm, 2001.
3. Тарутин, И.Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И.Г. Тарутин, Е.В. Титович. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 175 с.
4. Mijnheer, B. Monitor Unit Calculation for High Energy Photon Beams – Practical Examples / B. Mijnheer, A. Bridier, Cr. Garibaldi // Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology. – 2001. – № 6. – P. 109.
5. Eclipse Treatment Planning Примечание к выпуску для пользователей / Varian Medical Systems, Inc. – CA: Palo Alto, 2018. – 55 с.
6. Von Schulthess G. Clinical molecular anatomic imaging. Lippincot Williams & Wilkins 2003.
7. Казначеева А.О. Артефакты ЯМР-изображений - Сборник "Современные технологии" /под. ред. С.А. Козлова. - СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001, с. 115-120.
8. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Устройства для контроля качества изображений в ЯМР-томографии. Вестник конференции молодых ученых СПбГУ ИТМО. Сборник научных трудов / Под ред. В.Л. Ткалич. Том 2. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004, с. 243-246.

Economic Aspects of Faulty Tomograph Components Detection via Image Artifacts for Machine Learning Applications

Marlen S. Torosyan

PhD Student,
National Research Nuclear University "MEPhI",
115409, 31, Kashirskoe hgw., Moscow, Russian Federation;
e-mail: torosyan.marlen@yandex.ru

Ilya S. Chernyshev

Master's Graduate,
Voronezh State University,
394018, 1, Universitetskaya hgw., Voronezh, Russian Federation;
e-mail: chernyshev.ilya@example.ru

Aleksandr I. Otchenashenko

PhD Student,
National Research Nuclear University "MEPhI",
115409, 31, Kashirskoe hgw., Moscow, Russian Federation;
e-mail: otchenashenko@example.ru

Ul'yana V. Alekseenko

Master's Graduate,
Bauman Moscow State Technical University,
105005, 5, 2-ya Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: alexeenko@example.ru

Abstract

This paper presents an innovative method for diagnosing malfunctions in tomographic equipment through analysis of image artifacts using machine learning. The developed approach enables identification of failed components in MR tomographs based on characteristic distortions in obtained images, significantly reducing maintenance time and costs. The study includes artifact classification for various tomograph types (MRI, CT, PET) associated with specific hardware and software failures. The proposed model demonstrates up to 92% diagnostic accuracy for the most common failure types. Economic analysis shows the method's potential to reduce tomographic equipment maintenance costs by 25-30% through minimized downtime and optimized repair procedures.

For citation

Torosyan M.S., Chernyshev I.S., Otchenashenko A.I., Alekseenko U.V. (2025) Ekonomicheskie aspekty obnaruzheniya neispravnykh uzlov tomografa pri artefaktakh na izobrazhenii dlya mashinnogo obucheniya [Economic Aspects of Faulty Tomograph Components Detection via Image Artifacts for Machine Learning Applications]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 15 (2A), pp. 715-721.

Keywords

Machine learning, medical tomography, equipment diagnostics, image artifacts, healthcare economics, technical maintenance.

References

1. Galaydin, P. A., Zamyatin, A. I., & Ivanov, V. A. (1998). Osnovy magnitorezonansnoy tomografii [Fundamentals of magnetic resonance imaging]. SPbGITMO (TU).
2. Claesson, T. (2001). A medical imaging demonstrator of computed tomography and bone mineral densitometry. Universitetsservice US AB.
3. Tarutin, I. G., & Titovich, E. V. (2014). Primenenie lineynykh uskoriteley elektronov v vysokotekhnologichnoy luchevooy terapii [Application of linear electron accelerators in high-tech radiation therapy]. Belaruskaya navuka.
4. Mijnheer, B., Bridier, A., & Garibaldi, C. (2001). Monitor Unit Calculation for High Energy Photon Beams – Practical Examples. *Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, 6, 109.
5. Varian Medical Systems, Inc. (2018). Eclipse Treatment Planning: Primechanie k vypusku dlya polzovateley [Eclipse Treatment Planning: Release notes for users].
6. Von Schulthess, G. (2003). Clinical molecular anatomic imaging. Lippincott Williams & Wilkins.

-
7. Kaznacheeva, A. O. (2001). Artefakty YaMR-izobrazheniy [NMR image artifacts]. In S. A. Kozlov (Ed.), *Sovremennyye tekhnologii* [Modern technologies] (pp. 115-120). SPbGITMO (TU).
 8. Marusina, M. Ya., & Kaznacheeva, A. O. (2004). Ustroystva dlya kontrolya kachestva izobrazheniy v YaMR-tomografii [Devices for image quality control in NMR tomography]. In V. L. Tkalich (Ed.), *Vestnik konferentsii molodykh uchenykh SPbGU ITMO* [Bulletin of the conference of young scientists of SPbSU ITMO] (Vol. 2, pp. 243-246). SPbGU ITMO.