

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
доктору фізико-математичних наук,
професору, завідувачу кафедри
математики та теоретичної радіофізики
факультету радіофізики, електроніки та
комп'ютерних систем
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
Володимиру ВИСОЦЬКОМУ

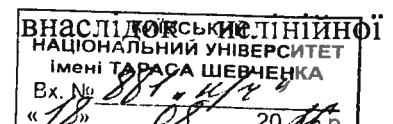
ВІДГУК

Офіційного опонента **Максимюка Олександра Петровича**
на дисертаційну роботу **Мамотенка Сергія Петровича**
**«Непараметричний аналіз спектрів сигналів відгуку для відновлення
даних магнітно-резонансної томографії»,**
що подана до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань
10 – Природничі науки за спеціальністю
105 – Прикладна фізика та наноматеріали

1. Актуальність теми дослідження.

В дисертаційній роботі досліджується актуальна тема спектрального аналізу для обробки даних магнітно-резонансної томографії з метою зменшення шуму. Комплексний МРТ-сигнал подається через амплітудну і фазову складові. Тому робота лише з візуальним (амплітудним) поданням не завжди є достатньою для аналізу шуму. Після формування амплітудного зображення статистика шуму ускладнюється через нелінійну операцію обчислення модуля комплексного сигналу. У зв'язку з цим спектральний аналіз МРТ-даних є актуальним напрямом для обробки комплексного сигналу у k -просторі та просторово-частотній області, тобто до переходу до амплітудного подання.

Комплексний МРТ-сигнал подається через амплітудну і фазову складові, тому робота лише з візуальним поданням (з амплітудним зображенням) не є достатньою для аналізу шуму. Після переходу до амплітудного зображення статистичні характеристики шуму ускладнюються



операції обчислення модуля комплексного сигналу. Спектральний аналіз МРТ-даних є актуальним підходом до обробки комплексного сигналу у k -просторі та просторово-частотній області.

В дисертаційній роботі Мамотенка С. П. були поставлені наступні завдання дослідження:

- проаналізувати теоретичні засади формування та обробки МРТ-сигналу, природу шуму та особливості його прояву в амплітудних і комплексних зображеннях;
- дослідити застосування непараметричного спектрального аналізу на основі періодограм для зменшення шуму на амплітудних МРТ-зображеннях та порівняти періодограмний підхід з іншими поширеними методами фільтрації;
- визначити доцільність використання періодограмного аналізу, зокрема методу Денієлла, за основними кількісними метриками, встановити його недоліки та розглянути можливі шляхи їх подолання;
- розробити комбінований підхід реконструкції МРТ-зображень, який включає непараметричну спектральну попередню обробку на основі періодограми Денієлла та нейронну мережу згорткового автокодувальника;
- розробити метод обробки МРТ-зображень у k -просторі на основі двовимірного багатовіконного спектрального оцінювання;
- провести порівняльний аналіз ефективності запропонованого багатовіконного підходу з іншими методами та окреслити перспективні напрями його подальшого розвитку.

Приведені здобувачем завдання є **актуальними**, а їх розв'язання має науково-практичне значення для обробки даних магнітно-резонансної томографії за наявності шумових артефактів.

Науково-обґрунтований вибір об'єкта та предмета досліджень, а також використання запропонованих методів дали змогу здобувачу отримати практичні результати щодо відновлення МРТ-даних та зменшення шумових артефактів у магнітно-резонансних зображеннях. Застосовані методи

дослідження та проведений кількісний аналіз забезпечують належний рівень достовірності отриманих результатів. Тому дисертація Мамотенка С. П. повністю відповідає спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки.

2. Структура дисертації, основні наукові результати, їх новизна, ступінь обґрунтованості та достовірності.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Рукопис викладено на 121 сторінці та включає 36 рисунків, 7 таблиць. Список використаних джерел налічує 101 найменування. Робота повністю відповідає вимогам щодо оформлення дисертації.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, показана наукова та практична цінність отриманих результатів.

У *першому розділі* наведені теоретичні основи магнітно-резонансної томографії та специфіки обробки сигналів. Описана концепція k-простору, перетворення Фур'є та форматів представлення медичних даних. Виконано аналіз існуючих методів фільтрації МРТ-зображень. Розглянуто особливості кількісного оцінювання якості відновлених МРТ-зображень.

У *другому розділі* було розглянуто непараметричний спектральний аналіз на основі періодограми Деніелла для зменшення шуму на амплітудних МРТ-зображеннях. Продемонстровано, що згладжування періодограми зменшує варіативність спектральної оцінки, однак через вплив розміру вікна згладжування знижується частотна роздільна здатність.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи розроблено та досліджено підхід, що використовує результат періодограмної фільтрації як додатковий канал вхідних даних для нейронної мережі. Підхід дозволяє сформулювати більш інформативне подання сигналу в умовах обмеженого обсягу навчальної вибірки. Експериментальна частина проводилась на T2-зважених МРТ-зображеннях пацієнта з розсіяним склерозом. Встановлено, що зі збільшенням обсягу навчальної вибірки внесок періодограмної фільтрації зменшується.

Таким чином, розроблений гібридний підхід орієнтований на застосування в умовах обмеженої доступності навчальних даних, зокрема при аналізі невеликих серій МРТ-зображень або даних, отриманих за спеціалізованими протоколами сканування.

Четвертий розділ демонструє розроблений здобувачем двовимірний багатовіконний спектральний метод для зменшення шумових артефактів у комплексних МРТ-даних у k -просторі. Метод випробувано на власному МРТ-зображенні головного мозку, що було надане здобувачем, зі штучно доданим комплексним гауссівським шумом. Підхід передбачає формування комплексного зображення з амплітудної та фазової складових, перехід до k -простору та багатовіконну фільтрацію на основі модифікації фільтра Вінера.

Результати показали, що якість зображень після обробки є близькою до результатів поширеного методу NLM. Запропонований підхід є перспективним для зменшення шумових артефактів у комплексних МРТ-даних, а подальший розвиток може бути пов'язаний із застосуванням до областей інтересу (ROI) та інтеграцією в гібридні схеми реконструкції.

Висновки містять основні результати роботи.

Дисертація Мамотенка С. П. «Непараметричний аналіз спектрів сигналів відгуку для відновлення даних магнітно-резонансної томографії», є завершеною науковою роботою.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна і практична доцільність розроблених в дисертаційній роботі підходів полягає в наступному:

- Запропоновано непараметричний спектральний аналіз на основі періодограм для зменшення шуму на амплітудних МРТ-зображеннях. Була використана модифікація стандартної періодограми – періодограма Денієлла. Під час обробки повнорозмірного МРТ-зрізу виявлено додаткові обмеження, пов'язані з неоднорідністю зображення та наявністю чорного фону.
- Розроблено комбінований метод реконструкції МРТ-зображень, який поєднує непараметричну спектральну попередню обробку на основі

періодограми Денієлла зі згортковим автокодувальником. Встановлено, що зі збільшенням обсягу навчальної вибірки додатковий внесок періодограмної попередньої обробки поступово зменшується. Основна наукова та практична цінність методу полягає в можливості його застосування до обмежених за обсягом медичних вибірок даних.

- Запропоновано та досліджено метод зменшення шуму МРТ-зображень у k-просторі, що ґрунтується на двовимірному багатовіконному спектральному оцінюванні. Результати експериментальних досліджень свідчать, що двовимірний багатовіконний спектральний аналіз є ефективним для зменшення шумових артефактів у комплексних МРТ-даних у просторово-частотній області. Перспективними напрямками подальшого його адаптацію для роботи з областями інтересу (ROI) та інтеграцію в гібридні схеми реконструкції для підвищення діагностичної цінності медичних зображень..

Практична значимість отриманих результатів

Отримані в дисертаційній роботі результати можуть бути використані як наукова і технічна база для попередньої обробки МРТ-даних як з метою зменшення шумових артефактів. Також розроблені методи можуть бути використані для суміжних задач спектрального аналізу – в задачах цифрової реконструкції та аналізу медичних зображень, зокрема в ЯМР-спектроскопії.

Розроблений багатовіконний метод є ефективною основою для зменшення шумових артефактів у комплексних МРТ-даних у просторово-частотній області без переходу до амплітудного подання на етапі спектральної обробки.

Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях.

Результати дисертаційної роботи висвітлені у 8 наукових працях, із них: 3 статті у періодичних наукових журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus; 5 тез доповідей у збірниках праць наукових конференцій.

Всі основні результати дисертаційної роботи є **новими** та вчасно опубліковані у наукових виданнях. **Особистий внесок здобувача** полягає в

аналізі літературних джерел, виконанні основного обсягу експериментальних досліджень, обробці та аналізі експериментальних даних та написанні статей і дисертації.

Зроблені автором висновки цілком обґрунтовані та відповідають поставленій меті роботи та її змісту. Результати дисертаційної роботи відповідають змісту статей, що надруковані у фахових журналах

3. Зауваження та побажання.

- У роботі пояснюються передумови вибору проблеми усунення шумових артефактів як ключової проблеми обробки даних у магнітно-резонансній томографії. Однак назва дисертаційного дослідження є занадто загальною для такої цілі, тому було б доцільніше її конкретизувати.
- Особливістю роботи визначено роботу з комплексним МРТ-сигналом, однак перші два практичні розділи працюють саме зі звичайними растровими зображеннями. Варто зазначити, що здобувач аргументує необхідність такого підходу, але в такому випадку акцентування саме на “комплексному сигналі” є дещо перебільшеним.
- Щодо розмірів навчальних вибірок для навчання нейронної мережі є сумнів у доцільності використання таких малих вибірок, як вибірка з 10 зображень. Якщо умови не дозволяють отримати більшу навчальну вибірку, більш логічним виглядає використання інших підходів до обробки зображень, відмінних від нейронних мереж.
- Незначним недоліком є розмір позначень на деяких зображеннях (рис. 1.5, 1.14, 4.3). Краще було б використовувати однаковий і читабельний розмір шрифту для всіх зображень.

4. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Мамотенка Сергія Петровича «Непараметричний аналіз спектрів сигналів відгуку для відновлення даних магнітно-резонансної томографії» є завершеним і самостійним науковим дослідженням. За актуальністю теми, її новизною та обґрунтованістю наукових результатів,

теоретичним і практичним значенням дисертаційна робота відповідає вимогам до наукової кваліфікації ступеня доктора філософії, що встановлені «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року, а Мамотенко Сергій Петрович **заслуговує присудження** наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник

Відділу ФХБКМ

Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця

кандидат біологічних наук,

старший дослідник

Олександр МАКСИМЮК



Засвідчено
Засвідчено
Засвідчено