

## **Рецензія на дисертаційну роботу**

### **Олексія А. О. "Методи та програмні засоби аналізу акустичних сигналів на основі нейромережевих моделей"**

Представлена дисертаційна робота Олексія А. О. присвячена надзвичайно актуальній темі розробки науково-методичного апарату та програмних засобів для аналізу акустичних сигналів водного середовища з використанням нейронних мереж. Актуальність теми обґрунтовується складністю обробки підводних акустичних даних через численні джерела шумів, низьке співвідношення сигнал/шум та великий обсяг інформації, що робить традиційні методи часто неефективними. Нейронні мережі, завдяки своїй здатності до адаптації, обробки нечітких даних, паралельних обчислень та стійкості до збоїв, розглядаються як перспективна альтернатива.

#### **Позитивні аспекти та ключові результати роботи:**

Робота має чітко сформульовану мету – підвищення точності класифікації та продуктивності обробки акустичних сигналів. Дослідження охоплює важливі аспекти, такі як аналіз акустичних шумів у морському середовищі, моделей випромінювальних шумів, стану сучасного програмного забезпечення для гідроакустичних систем, та детальний огляд методів машинного навчання, що можуть бути застосовані для аналізу акустичних сигналів.

Автором запропоновано та вдосконалено метод класифікації акустичних сигналів на основі нейромережі CNN-SOP шляхом застосування багатомасштабної згортки та середнього пулінгу, що дозволило підвищити точність класифікації на 3% для датасетів з низьким вмістом фонових шумів та на 9% для датасетів з високим вмістом фонових шумів (розділ 1.9, стор. 81). Отримав подальший розвиток метод придушення шумів акустичних сигналів на основі нейромережі UWAR GAN, завдяки зменшенню кількості шарів та розміру

вхідного тензора, що, як стверджується, дозволило зберегти якість придушення шумів та зменшити тривалість тренування в 10 разів (розділ 1.9, стор. 84).

Вперше запропоновано архітектуру програмного забезпечення аналізу акустичних сигналів водного середовища, характерною особливістю якої є застосування адаптивного створення нейромережових моделей, залежно від характеристик вхідних даних. Це, за даними автора, дозволило підвищити точність класифікації сигналів з фоновими шумами на 2% (розділ 1.9, стор. 81). Зазначені наукова новизна та практична цінність отриманих результатів підтверджені актами впровадження в конструкторському бюро «Шторм» та в навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

#### **Зауваження та рекомендації:**

Попри вагомі позитивні аспекти, у роботі присутні деякі недоліки та моменти, які потребують додаткового уточнення або розширення:

1. **Недостатнє обґрунтування вибору архітектури нейромереж.** Хоча автор детально описує різні нейромережові архітектури (ELM, CNN, RNN, LSTM, Boltzmann Machine, DBN, Autoencoder) у розділі 1.6 та їх застосування у розділі 1.7, вибір саме CNN-SOP для класифікації та UWAR-GAN для шумозаглушення міг би бути обґрунтований більш глибоко. Таблиця 1.4 надає порівняння за критеріями, але не завжди достатньо розкрито, чому інші моделі, які також мають позначку "+", виявилися гіршими у контексті специфічних вимог даного дослідження, або які їхні принципові обмеження.

2. **Обмежений аналіз статистичної значущості результатів.** Результати представлені у відсотках точності та покращеннях SNR/RMSE, проте відсутній аналіз статистичної значущості цих покращень. Не застосовуються статистичні тести (наприклад, t-критерій або ANOVA), що ускладнює визначення, чи є отримані відмінності випадковими, чи вони дійсно свідчать про суттєве поліпшення продуктивності моделей.



3. **Відсутність порівняння з сучасними методами на основі трансформерів.** У роботі згадуються та описуються передові архітектури на основі трансформерів для шумозаглушення (наприклад, RANN у розділі 1.8, стор. 71-75, та DPTN, стор. 78-80), які демонструють високу ефективність у обробці послідовних даних та аудіосигналів. Однак, у порівняльному аналізі та експериментальних результатах (розділ 3.5.2, стор. 133 та розділ 1.9) відсутнє пряме зіставлення продуктивності запропонованих методів з цими трансформер-орієнтованими моделями. Це є значним недоліком, враховуючи провідну роль трансформерів у сучасній обробці сигналів.

4. **Не розкрито питання масштабованості системи.** Хоча робота заявляє про здатність обробляти великі обсяги даних, детальний розгляд питань масштабованості розробленої системи, особливо у контексті її практичного впровадження, недостатній. Не висвітлено, як система поводитиметься при ще більших обсягах даних, чи є можливості для розподілених обчислень, використання хмарних ресурсів або оптимізації для апаратного прискорення в реальному часі.

5. **Недостатньо висвітлено аспекти оптимізації обчислювальної складності.** У розділі 3.3 (Таблиця 3.5, стор. 124) представлені параметри та FLOPs для CNN SOP, а також вказано зменшення часу тренування UWAR GAN в 10 разів. Однак, бракує більш глибокого аналізу та порівняння обчислювальної складності *всіх* запропонованих та порівнюваних методів. Детальніше пояснення, яким чином конкретні архітектурні зміни чи стратегії реалізації сприяли підвищенню обчислювальної ефективності, були б корисними.

6. **Відсутній детальний опис процесу валідації результатів.** У розділі 3.3 надано таблицю 3.4 з результатами перевірки метрик якості, але детальний опис методології валідації (наприклад, використання крос-валідації, конкретні параметри для поділу даних на тренувальні/валідаційні/тестові набори) є досить загальним. Згадка про співвідношення 7:1:2 для RANN у розділі 1.8.3 (стор. 73)

не поширюється на власні експерименти автора, що впливає на відтворюваність та надійність заявлених результатів.

### **Оформлення:**

1. **Деякі графічні матеріали потребують додаткових пояснень.** На рисунках 3.4, 3.6, 3.7 візуалізації спектрограм є якісними, але могли б бути доповнені чіткішими числовими позначками осей, легендою для кольорових шкал або детальнішим описом змін у спектрі після шумозаглушення. Крім того, текст на деяких діаграмах (наприклад, рис. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6) є занадто дрібним та важкочитабельним, що ускладнює сприйняття інформації.

2. **Наявні незначні стилістичні неточності.** У тексті зустрічаються деякі повтори фраз та невеликі граматичні або стилістичні неточності, наприклад, "нейрорережі" замість "нейромережі" у розділі 2.1.1 (стор. 88). Це не впливає на загальне розуміння, але може бути виправлене для підвищення якості викладу.

### **Висновок:**

Незважаючи на вищезазначені зауваження, дисертаційна робота Олексія А. О. є значним внеском у розвиток методів та програмних засобів аналізу акустичних сигналів водного середовища. Вона містить низку важливих наукових та практичних результатів, що підтверджуються експериментами та актами впровадження. Продemonстровано ефективність запропонованих підходів у підвищенні точності класифікації та якості шумозаглушення акустичних сигналів у складних умовах. Дисертація заслуговує на позитивну оцінку, а її автор – на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.



К.т.н., доцент кафедри ІПЗЕ

