



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
д.т.н., проф. Іван ДЕМІДОВ

05 2024 р.

Висновок

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Методи та засоби підвищення достовірності приймання радіосигналів із використанням нейронних мереж» здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю *172 Телекомунікації та радіотехніка (галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації)* Цимбалюка Івана Ростиславовича міжкафедрального наукового семінару ННІ телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки

1. Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота направлена на вирішення науково-практичного завдання розроблення методів та засобів підвищення достовірності приймання радіосигналів із використанням нейронних мереж з мінімізацією затребуваної обчислювальної потужності.

Хоча нейронні мережі не є чимось новим – інтерес широкого загалу до них найбільше зріс саме тоді коли з'явилась можливість використовувати моделі нейронних мереж на персональних комп'ютерах. Попередня менша доступність нейронних мереж була зумовлена високими вимогами щодо обчислювальних потужностей, які до певного моменту типовий персональний ком'ютер не задовольняв. Ті самі вимоги щодо обчислювальних потужностей є перепорою до впровадження нейронних мереж у більшу кількість прикладних систем.

Таким чином розроблення методів та засобів підвищення достовірності приймання радіосигналів з використанням нейронних мереж з мінімізацією затребуваної обчислювальної потужності є актуальною науковою задачею.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційну роботу виконано відповідно до наукових напрямів кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка» «Телекомунікаційні, інфокомунікаційні та радіотехнічні системи передавання даних, сигналів керування та телеметричної інформації» та «Проектування вбудованих процесорних систем з використанням штучного інтелекту і нейронних мереж» та в межах держбюджетних науково-дослідницьких робіт, а саме:

- «Підвищення ефективності засобів бездротового зв'язку відповідального призначення та процедур моделювання і прогнозування їх характеристик» (2018-2019 рр.), держ. реєстр. № 0118U000261.
- «Розроблення криптозахищеної системи високошвидкісного передавання даних у діапазонах УВЧ і НВЧ з підвищеними завадостійкістю та відмовостійкістю» (2022-2023 рр.) держ. реєстр. № 0122U0009600.
- «Методи та алгоритми роботи завадозахищеного радіоканалу зв'язку з використанням технології програмно-визначеного радіо» (2024-2026рр.) держ. реєстр. № 0124U000777.
- «Система криптозахищеного завадозахищеного прихованого зв'язку з безпілотними літальними апаратами великого радіусу дії з використанням ретранслятора» (2024-2026 рр.) держ. реєстр. № 0124U000825.

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Пошук та аналіз літературних джерел, математичне та імітаційне моделювання, проведення експериментів виконані автором особисто. Постановка завдань, обговорення та аналіз отриманих результатів здійснено спільно з науковим керівником д.т.н. проф. Горбатим І. В. У роботах, написаних у співавторстві, авторів дисертації належить (нумерація згідно з пунктом 6): [2], [6], [8], [10] – розроблення програмної частини налаштування фазоповертачів модулятора та демодулятора, [1], [7], [9], [11] – розроблення архітектур штучних нейронних мереж для оброблення радіосигналів, [5] – розроблення методу генерування вибірок для навчання штучних нейронних мереж.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій підтверджується науковими та практичними результатами проведених досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами підтверджується використанням напрацювань у межах держбюджетних науково-дослідних робіт.

Верифікація запропонованих в дисертаційній роботі рішень та апробація її результатів підтверджується на основі імітаційного моделювання та експериментального дослідження.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

1. Вперше запропоновано та досліджено метод формування масиву радіосигналів для навчання нейронних мереж, який, на відміну від існуючих, базується на використанні комірок Вороного, що дало можливість спростити та впорядкувати процес навчання нейронних мереж для розпізнавання сигналів з амплітудною модуляцією багатьох складових (АМБС).

2. Вдосконалено метод імітаційного моделювання приймального та передавальних пристроїв АМБС, який, на відміну від існуючих, дає змогу обробляти радіосигнали в режимі реального часу, а також надає базис для імітації процесу оброблення радіосигналів з використанням моделей штучних нейронних мереж.

3. Набула подальшого розвитку математична модель нейронної мережі оброблення радіосигналів, яка на відміну від інших, обробляє недетерміновані радіосигнали і базується на використанні операції згортки одновимірних даних, що забезпечує вищу достовірність оброблення радіосигналів за рахунок інваріантності щодо зсуву та виявлення абстрактних закономірностей зміни параметрів сигналів.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

1. **Tymbaliuk I., & Horbatiy I.** Approach to processing radio signals with amplitude modulation of many components using one-dimensional convolutional neural network. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, no. 9(126), pp. 14-22, 2023, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292854>.

2. Горбатий І. В., Карп Ю. С., **Цимбалюк І. Р.** Модулятор для здійснення амплітудної модуляції багатьох складових. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, № 3/4, с. 30-35, 2021, <https://doi.org/10.15222/ТКЕА2021.3-4.30>.

3. **Цимбалюк І. Р.** Вирішення регресійної проблеми демодуляції сигналів з амплітудною модуляцією багатьох складових. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*, вип. 3, № 1, с 89-97, 2023, <https://doi.org/10.23939/ictee2023.01.089>.

4. **Цимбалюк І. Р.** Одновимірна згорткова модель нейронної мережі для оброблення сигналів з амплітудною модуляцією багатьох складових. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*, вип. 4, № 1, с 102-111, 2024, <https://doi.org/10.23939/ictee2024.01.102>.

5. Горбатий І. В., **Цимбалюк І. Р.** Метод формування вибірок сигналів з амплітудною модуляцією багатьох складових для навчання нейронних мереж. *Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології*. № 2 (02), с. 172-181, 2021.

6. Horbatiy I. V., **Tymbaliuk I. R.**, Demodulator for processing signals with amplitude modulation of many components. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», Івано-Франківськ, 1-3 квітня, 2020, с. 85-86.

7. Horbatiy I., **Tymbaliuk I.** Neural network based approach for demodulation of signals with amplitude modulation of many components. Proceedings of 16th International conference «Advanced trends in radioelectronics, telecommunications and computer engineering», Lviv-Slavske, Ukraine, February 22-26, 2022, pp. 114-117.

8. Horbatiy I., **Tymbaliuk I.**, Kiselychnyk M., Diachenko N. Digitally controlled RF phase shifter. Proceedings of 15th International conference «Advanced trends in radioelectronics, telecommunications and computer engineering», Lviv, Slavske, Ukraine, February 25-29, 2020, pp. 749-752.

9. Ivan Horbatiy, **Ivan Tymbaliuk.** Neural network demodulation of signals with amplitude modulation of many components. proceedings of 2021 IEEE 8th International scientific-practical conference «Problems of infocommunications». Kharkiv, Ukraine, October 5-7, 2021, pp 449-452.

10. Горбатий І. В., Бондарев А. П., **Цимбалюк І. Р.** Модулятор для генерування сигналів з амплітудною модуляцією багатьох складових. Труди XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології», Одеса, 25-29 травня, 2020, с. 9-10.

11. Горбатий І. В., **Цимбалюк І. Р.** Нейромережевий спосіб обробки радіосигналів для систем дистанційного зондування землі. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2023», Львів, Брюховичі, 19-21 квітня, 2023, с. 143-145.

12. І. В. Горбатий, Ю. С. Карп, **І. Р. Цимбалюк.** Розробка модулятора для здійснення амплітудної модуляції багатьох складових. Труди XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології», Одеса, 24-28 травня, 2021, с. 9-10.

13. **І. Цимбалюк.** Розробка графічного інтерфейсу програми управління фазоповертачем // Збірник тез доповідей 77-ї Студентської науково-технічної конференції, Львів, жовтень, 2019, с. 283-285.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні результати дисертаційної роботи були представлені на міжнародних та всеукраїнських конференціях, а саме: IEEE TCSET 2020: 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (Львів-Славське, 2020), IEEE TCSET 2022: 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (Львів-Славське, 2022), 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications,

Science and Technology (PIC S&T 2021) (Харків, 2021), XXI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та електронні технології» (Одеса, 2020), XXII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та електронні технології» (Одеса, 2021), XXVI Міжнародна науково-технічна конференція «Геофорум-2023» (Львів-Брюховичі, 2023).

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково-практичного завдання підвищення достовірності приймання радіосигналів з використанням нейронних мереж.

Наукові та практичні результати проведених досліджень використані в навчальному процесі кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка», зокрема в ході модернізації:

- лабораторного курсу дисципліни «Основи проектування програмно-апаратних засобів» для студентів 4-го курсу спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»;
- практичного курсу з дисципліни «Проектування радіочастотних пристроїв дистанційного контролю» для студентів 1-го курсу спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» та спеціалізації 172/0416 «Програмно-апаратні засоби радіотехнічних систем».

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Реалізовано програмно-апаратний приймач АМБС на базі системи з модифікованим для ПВР приймачем телевізійного стандарту DVB-T RTL-SDR v4 та мікрокомп'ютером PINE A64 для програмного оброблення прийнятих сигналів з допомогою середовища GNU Radio та одновимірної згорткової нейронної мережі, створеної інструментами бібліотеки TensorFlow. Реалізований програмно-апаратний засіб може бути застосовано для завадозахищеного приймання радіосигналів.

Створено імітаційні моделі приймача та передавача АМБС з допомогою інструментів мови програмування Python та середовища GNU Radio. Розроблені імітаційні моделі можуть бути застосовані при проектуванні систем Інтернету речей.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел і додатків. Основний зміст роботи викладено на 115 сторінках. Робота містить 69 рисунків, 11 таблиць і 88 бібліографічних найменувань. Її загальний обсяг становить 147 сторінок.

За структурою, мовою та стилем викладення дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Загалом дисертаційна робота написана грамотно, технічною мовою. Матеріали досліджень подано логічно, послідовно та доказово.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11. З урахуванням зазначеного, на міжкафедральному науковому семінарі ННІ телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки ухвалили:

11.1. Дисертація Цимбалюка Івана Ростиславовича «Методи та засоби підвищення достовірності приймання радіосигналів із використанням нейронних мереж» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне науково-практичне завдання розроблення методів та засобів підвищення достовірності приймання радіосигналів із використанням нейронних мереж, що передбачає формування таких архітектур штучної нейронної мережі, що дає змогу досягнути необхідного балансу між достовірністю та затребуваною обчислювальною потужністю.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. У 13 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 4 статей у наукових фахових виданнях України та 0 статей у наукових періодичних виданнях інших держав; 1 статей у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей *Цимбалюка І. Р.* дисертація «Методи та засоби підвищення достовірності приймання радіосигналів із використанням нейронних мереж» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	22	(Двадцять два)
проти	-	(немає)
утримались	-	(немає)


Головуючий на міжкафедральному науковому семінарі ННІ телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки д.т.н., професор, професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань



Андрій БОНДАРЄВ

Рецензенти:

д.т.н. професор, професор кафедри телекомунікацій



Мар'ян КИРИК

д.т.н., професор, професор кафедри систем штучного інтелекту



Віталій ЯКОВИНА

Відповідальний у ННІ ІТРЕ за атестацію PhD д.т.н., доцент, доцент кафедри телекомунікацій



Микола БЕШЛЕЙ

"16" травня 2024р.