

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри комп'ютерної інженерії
Західноукраїнського національного університету

Березького Олега Миколайовича

на дисертаційну роботу Смородіна Андрія В'ячеславовича на тему
«МЕТОДИ НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ
НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки
галузь знань 12 – Інформаційні технології

Актуальність обраної теми.

Завдяки розвитку засобів комп'ютерної інженерії – графічних процесорів, програмованих логічних інтегральних схем, програмованих логічних матриць стало можливим розпаралелювати обробку інформації на апаратному рівні. Як наслідок почали розвиватися області, в яких критичним є час обробки вхідних даних. Основними проблемами у використанні штучних нейронних мереж були і є такі: підбір вхідних даних для навчання, вибір архітектури нейронної мережі, навчання нейронної мережі для досягнення заданих параметрів якості навчання. Отже, однією із основних проблем є навчання нейронних мереж, на яке йде лівова частка часу.

Поява глибоких нейронних мереж тільки посилила ці проблеми. Широке використання таких глибоких нейронних мереж (ГНМ) як згорткові нейронні мережі, генеративно-змагальні мережі в комп'ютерному зорі роблять актуальною проблему навчання ГНМ.

Однак, незважаючи на ефективність проєктів, побудованих на глибоких нейронних мережах складної архітектури, їх розробники та дослідники зіткнулися із закономірною проблемою – збільшення кількості обчислювальних ресурсів, що витрачаються на їхнє навчання.



Ефективним шляхом її вирішення є зменшення часових витрат на навчання нейронних мереж, що може бути досягнуто за рахунок пошуку нових та удосконалення існуючих методів оптимізації, які застосовуються при навчанні нейронних мереж.

Тому розробка нових методів навчання ГНМ для аналізу даних є актуальною науково-практичною задачею.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

При розв'язанні поставлених у дисертаційній роботі задач, створенні наукових положень, висновків та рекомендацій здобувачем застосовані дані, які одержані з літературних джерел, з результатів аналізу сучасного стану та перспектив розвитку теорії оптимізації, методів навчання глибоких нейронних мереж та власних досліджень. Тому наукові положення, висновки та рекомендації є обґрунтованими.

При розв'язанні поставлених у дисертаційній роботі задач обґрунтованість використання методів нелінійної динаміки для навчання нейронних мереж підтверджується наявністю відповідної математичної теорії та її узгодженістю з наявними роботами в області теорії оптимізації, теорії нелінійної динаміки та навчанні нейронних мереж.

Крім того, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій узгоджуються з даними експериментальних досліджень і практичними результатами, які підтверджуються актами практичних випробувань та результатами впровадження із позитивним ефектом.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації, підтверджена результатами теоретичних та експериментальних досліджень, коректним застосуванням математичного апарату, сучасних методів наукового моделювання, а також впровадженням розроблених методів навчання глибоких нейронних мереж.

**Наукова новизна наукових положень, висновків і рекомендацій,
сформульованих у дисертації**

Дисертаційна робота розв'язує актуальну науково-практичну задачу – навчання нейронних мереж.

Наукова новизна дисертаційного дослідження така:

– *удосконалено* методи градієнтного спуску на основі положень нелінійної динаміки, що дозволило збільшити швидкість збіжності градієнтних алгоритмів оптимізації під час навчання нейронних мереж;

– *вперше розроблено* метод пошуку параметрів удосконалених методів градієнтного спуску на основі положень нелінійної динаміки на основі розв'язання оптимізаційних завдань на класі комплексних поліномів, що дозволило забезпечити ефективну реалізацію розроблених методів;

– *набули подальшого розвитку* методи навчання нейронних мереж на основі удосконалених методів градієнтного спуску, що дозволило зменшити час навчання нейронних мереж при вирішенні задач сегментації та класифікації.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності

Основні положення і практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали схвалення на таких конференціях: Міжнародній науковій онлайн конференції «Algebraic and geometric methods of analysis» (м. Одеса, 2020), Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Актуальні питання фізико-математичних та технічних наук: теоретичні та прикладні дослідження» (2021), III Всеукраїнській науково-практичній онлайн-конференції «Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів та комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті та науці» (2021).

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 7-ми публікаціях, з них: 3 статті у наукових фахових періодичних виданнях України з технічних наук, 4 статті у зарубіжному науковому періодичному виданні з напрямку, з

якого підготовлено дисертацію, що індексується наукометричною базою SCOPUS, 4 публікації у працях і матеріалах наукових конференцій.

Таким чином, вимоги Постанови КМУ від 06.03.2019 № 167 «Про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами згідно Постанови КМУ №979 від 21.10.2020 та від 09.06.2021 №608 до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

Аналіз змісту та форми дисертаційної роботи

У вступі обґрунтовано актуальність удосконалення методів навчання нейронних мереж при розв'язанні задач класифікації та сегментації об'єктів. Показано можливість скорочення часу навчання нейронних мереж на основі застосування положень нелінійної динаміки при навчанні з використанням методів градієнтного спуску. Вказані новизна і практичне значення отриманих результатів, сформульовані основні положення, що виносяться на захист, наведені відомості про апробацію, публікації та реалізацію результатів дослідження.

У першому розділі проведено аналіз задач сегментації та класифікації об'єктів на зображеннях із застосуванням нейронних мереж. Показано, що, незважаючи на ефективність існуючих підходів їх вирішення, як правило, побудованих на ГНМ складної архітектури, існуючі тенденції великих даних (великі обсяги, різноманітність, мінливість) призводять до закономірної проблеми – збільшення обчислювальних ресурсів, які витрачаються на їх навчання та перенавчання. На основі аналізу існуючих методів навчання ГНМ, які входять в сучасні бібліотеки розробки нейронних мереж, виявлено, що більшість із них засновані на методі градієнтного спуску. Представлено метод градієнтного спуску у вигляді дискретної динамічної системи (ДДС), до якої можна

застосувати положення нелінійної динаміки. ДДС модифікована з урахуванням зворотного зв'язку з запізненням та прогнозуючого зворотного зв'язку в ДДС.

В другому розділі розроблено метод пошуку параметрів для розроблених модифікацій методу градієнтного спуску з урахуванням зворотного зв'язку з запізненням та прогнозуючого зворотного зв'язку в ДДС.

Розроблено метод пошуку параметрів для запропонованих модифікацій методу градієнтного спуску з урахуванням зворотного зв'язку з запізненням та прогнозуючого зворотного зв'язку в ДДС на основі розв'язання оптимізаційних задач на класі комплексних поліномів, який дозволив забезпечити їх реалізацію для широкого кола оптимізаційних задач.

У третьому розділі набули подальшого розвитку методи навчання нейронних мереж шляхом розроблених модифікацій методу градієнтного спуску. Проведено їх дослідження для різних архітектур нейронних мереж.

Розроблено метод навчання нейронних мереж шляхом модифікації методу градієнтного спуску з урахуванням зворотного зв'язку з запізненням в ДДС при заданих параметрах.

У четвертому розділі розроблена програмна реалізація методів навчання нейронних мереж на основі нелінійної динаміки та проведено їх апробацію при побудові підсистеми сегментації та класифікації ортопантомограм для стоматологічної інтелектуальної інформаційної системи.

Проведений аналіз показав, що розроблений метод за помилкою навчання має аналогічні результати на навчальній вибірці, а на тестовій спостерігається її зменшення.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

У додатках представлено акти, довідки впровадження опис розроблених інструментальних засобів.

Анотація дисертації відображає її основні положення.

Зауваження до дисертаційної роботи.

В цілому дисертація і анотація до неї оформлені з дотриманням нормативних документів на оформлення результатів науково-дослідних робіт.

Зауваження до дисертації такі:

1. У першому розділі виділено основні задачі, які виконують ГНМ в комп'ютерному зорі, а саме класифікацію та сегментування зображень. Проте, нічого не сказано про задачу генерування на основі ГНМ.

2. У першому розділі приведені архітектури ГНМ і показана актуальність зменшення часу навчання НМ. Але тестування проводиться на багатосаровому персептроні, а не на архітектурах ГНМ.

3. У дисертації вичерпно обґрунтовано та досліджено модифікацію методу градієнтного спуску з урахуванням зворотного зв'язку з запізненням та прогнозуючого зворотного зв'язку в ДДС. Проте не приведено детальний алгоритм модифікованого методу градієнтного спуску з метою порівняння з найкращими на даний час конкурентами.

4. У роботі теоретично не досліджено обчислювальну складність відомих алгоритмів навчання НМ та розробленого алгоритму автора.

5. У дисертації не обґрунтовано вибір тестових функцій та прикладів (розділ 3). Не достатньо розкрито важливість сідлових точок у цільових функціях.

6. У роботі задекларована нова архітектура нейронної мережі. Автор вказує, що поєднав Unet та ResNet. Однак не приведена архітектура нової мережі і вона не достатньо описана.

7. У четвертому розділі не приведено діаграму або структуру розробленої програмної системи. Доцільно було б описати розроблені модулі чи класи або UML діаграму.

8. Для збільшення навчальної вибірки автором використано тільки афінні спотворення. Але цього не достатньо. Ефективним методом збільшення навчальної вибірки є використання генеративно-змагальних мереж, які є представниками ГНМ.

9. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються термінологічні, стилістичні та граматичні помилки.

Загальні висновки та оцінка дисертації

Перелічені зауваження не є принциповими та не зменшують наукову і практичну цінність роботи.

Дисертаційна робота є закінченою кваліфікаційною науковою працею, яка містить раніше не захищені наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати в області навчання нейронних мереж на основі положень нелінійної динаміки.

В підсумку з огляду на актуальність проблеми, внесок автора в методи навчання нейронних мереж, високий рівень виконаних досліджень та результати практичного впровадження вважаю, що дисертаційна робота Смородіна Андрія В'ячеславовича на тему «Методи навчання нейронних мереж на основі нелінійної динаміки», відповідає вимогам Постанови КМУ від 06.03.2019 № 167 «Про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами згідно Постанови КМУ №979 від 21.10.2020 та від 09.06.2021 №608 та чинним вимогам МОН України, а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю – 122 Комп'ютерні науки, галузь знань – 12 Інформаційні технології.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри

комп'ютерної інженерії

Західноукраїнського

національного університету



Олег БЕРЕЗЬКИЙ

Підпис	<i>Олег Березький</i>
Завіряю:	<i>Анна Сеник</i>
НАЧАЛЬНИК ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ	