

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Чернодуба Артема Миколайовича

"Навчання динамічних нейронних мереж на задачах довгострокового прогнозування", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

Актуальність теми дисертації. В даний час багатосарові нейронні мережі активно розробляються такими світовими лідерами індустрії інформаційних технологій, як Google, Microsoft, Apple, Amazon, Facebook та ін., позиціонуються як основа застосувань для розпізнавання мови, зображень, машинного перекладу, виграють у інших підходах в багатьох конкурсах. Поліпшенню їх характеристик присвячено безліч робіт, проте, існує цілий ряд проблем з їх навчанням. Це ускладнює розв'язання практичних задач, пов'язаних зокрема з обробкою послідовностей, які включають задачі управління і прогнозування. Одна з відомих і широко досліджуваних проблем в багатосарових нейронних мережах, яка перешкоджає їх успішному практичному застосуванню – проблема нестійкості значень градієнта похибки ("зникнення градієнта"), який використовується для модифікації ваг зв'язків нейронних мереж, що призводить до уповільнення або навіть неможливості навчання. Тому гостро стоїть завдання доопрацювання методів навчання багатосарових динамічних нейронних мереж для поліпшення результатів розв'язання низки задач управління і прогнозування послідовностей. Це обумовлює актуальність теми даної дисертаційної роботи.

Основні нові наукові результати дисертації полягають у наступному.

На базі проведеного в дисертації аналізу поведінки величини градієнта похибки в шарах багатосарової нейронної мережі, навченою варіантами методу зворотного поширення похибки, розроблений ряд модифікацій методів навчання:

1. Запропоновано нову цільову функцію навчання, яка штрафує і балансує величини помилки навчання і градієнтів похибки (метод псевдорегуляризації градієнтів) і ефективно працює, зокрема в задачах нейроуправління, при навчанні багатосарового перцептронну з затримками на основі узагальнення фільтра Калмана для нелінійного випадку.

2. Удосконалено метод псевдорегуляризації градієнтів за рахунок відбору (семпліювання) для застосування в навчанні мережі на поточній ітерації тільки тих прикладів (пакетів) навчальної вибірки, які задовольняють сформульованим умовам на величини змін градієнтів. Це дозволило знизити похибку при використанні простих градієнтних методів навчання простих рекурентних нейромереж в задачах прогнозування довгострокових послідовностей.

3. Удосконалено метод ітеративного багатокрокового прогнозування часових рядів для нейромереж прямого поширення з лінією затримок та навчанням на основі узагальнення фільтра Калмана для нелінійного випадку за рахунок навчання окремих нейронних мереж для різних горизонтів прогнозування, на вхід яких подається результат прогнозування попереднього горизонту. Це забезпечує кращу точність багатокрокового прогнозування такими нейронними мережами.

Відзначимо незалежні закордонні розробки в напрямку регуляризації градієнтів, які з'явилися паралельно і дещо пізніше, ніж публікації автора. Це також свідчить про актуальність досліджень здобувача.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість та достовірність одержаних результатів і висновків дисертації обумовлена коректним застосуванням апарату лінійної алгебри та математичного аналізу, імітаційного моделювання, використанням відомих критеріїв, методів, та методик дослідження якості роботи нейронних мереж. Достовірність одержаних результатів підтверджується ретельною експериментальною перевіркою розроблених та використаних для порівняння методів, масовими систематичними експериментальними дослідженнями на значній кількості стандартних тестових баз синтетичних і реальних даних, даних, що використовуються в цій області, чималою кількістю прикладів в цих базах, наведеним у роботі порівняльним аналізом результатів, отриманих різними методами. Всі основні результати опубліковані в журналах і апробовані на шести міжнародних наукових конференціях.

Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає у створенні методів підвищення якості навчання багатосарових нейронних мереж за рахунок обліку і контролю величин градієнта помилки. Хоча створені методи перевірені в дисертаційній роботі в задачах прогнозування часових послідовностей та адаптивного управління нелінійними об'єктами, є підстави для подальшого вивчення ефективності їх застосування в для вирішення і інших класів задач за допомогою багатосарових нейронних мереж.

Практичне значення одержаних автором наукових результатів полягає у створенні на основі розроблених методів: програмних засобів для створення та навчання динамічних нейромереж у середовищах MATLAB та Simulink;

бібліотек класів, що реалізують основні архітектури динамічних нейронних мереж на основі багатопарового перцептрона; програмних модулів, що реалізують градієнтні методи оптимізації для навчання динамічних нейромереж; програмного макету для навчання нейроконтролерів в режимі реального часу; та ін.

Два акта впровадження та сертифікат про призове місце в міжнародному змаганні з автоматичного управління подані у додатку до дисертації.

Повнота викладу основних результатів в публікаціях. Основні результати дисертації достатньо повно викладені в 14 публікаціях, зокрема в 5 статтях у наукових фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, та в 2 статтях в журналі, що входить до міжнародних науково-метричних баз. П'ять публікацій англійською мовою. Визначено особистий внесок здобувача в 3 статтях з співавторами.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку джерел та додатків і відповідає встановленим вимогам щодо оформлення.

Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, що відповідає формулі та напрямкам досліджень, вказаних у паспорті спеціальності 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.

Рекомендації щодо використання результатів. Отримані автором результати можуть бути використані при розробці нових і модифікації існуючих нейромережевих систем, які призначені для прогнозування часових рядів, що містять довгострокові залежності, та управління нелінійними динамічними об'єктами. Результати роботи також доцільно використовувати в навчальному процесі при викладанні курсів зі штучного інтелекту та нейронних мереж.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. Автореферат дисертації достатньо повно відображає основні положення дисертаційної роботи.

Зауваження щодо змісту та оформлення роботи.

1. Хоча у вступі до дисертаційної роботи стисло сформульовані недоліки існуючих методів вирішення затребуваних практичних завдань, з яких випливає актуальність наукової задачі, мета і завдання досліджень, в тексті основних розділів дисертації відсутні пояснення того, що саме буде розроблено здобувачем в конкретному розділі. Вступна частина розділів і багатьох підрозділів відсутня. Це суттєво ускладнює сприйняття суті роботи.

2. Символьні позначення в тексті, рисунках, таблицях часто використовуються до їх пояснення.

3. Опис ряду відомих методів, який приведено в розділах дисертації, варто було б дати в оглядовому розділі 1.

4. Відсутній компактний опис ефекту "зникнення градієнта" – ключової причини для розробки і вдосконалення методів у дисертаційній роботі.

5. Хоча експериментальні дослідження проведені на базах достатньо великого обсягу, що передбачає досить малу похибку оцінок, отриманих в експериментах, доцільно було б привести їх довірчі ймовірності і інтервали.

6. Похибка управління $e(k)$ (с. 37) має бути у вигляді $r(k+1) - y_{\sim}(k+1)$.

7. У (1.9) значення похідної має обчислюватися при $a(k)$.

8. З (2.26) не впливає запропонована здобувачем архітектура набору нейронних мереж для кожного кроку ітеративного багатокрокового прогнозування.

9. Складність багатьох алгоритмів дається без пояснення. Наприклад, $O((K + P)^4)$ для RTRL, с. 25.

10. Не вказано, звідки взяті евристики для вибору параметрів архітектур мереж DMLP, SRN и NARX, с. 56.

11. Незрозуміло, чому час навчання SGD не залежить від кількості вагових коефіцієнтів (рис. 2.3).

12. Цікавий характер еволюції динаміки нейромережі SRN під час навчання з псевдорегуляризацією градієнтів методом семпліювання (рис. 3.7) заслуговує подальшого дослідження та пояснення.

13. Деякі посилання і їх опис зміщені (наприклад, [21], [36], [37]). Деякі сторінки посилань на переклад 2-го видання книги Хайкіна насправді дані на англомовний оригінал.

14. С. 19. На рис. 1.3. розмірності у на виході і на вході не збігаються. С. 33. У фразі «управління за зворотним зв'язком» (рис. 1.9, а) у і ц повинні бути поміняні місцями. С. 37. Фраза після (1.36) немає початку. С. 52. Фразу "можлива апроксимація істинного апостеріорного розподілу з як завгодно малою точністю" слід читати "...з як завгодно малою похибкою".

15. Слід замінити: С. 65 "з використанням (2.22)–(2.24)" на "з використанням (2.23)–(2.25)"; С. 79 (посилання на) (3.9) – на (3.8); С. 91 (посилання на) (3.31) – на (3.34); С. 113 (посилання на) (4.3) – на (4.2); С. 130. (посилання на) рис. 4.10 – на 4.11.

16. С. 123. Слід привести явний вигляд матриці посилення Калмана \tilde{K} .

17. С. 105. Слід читати "для послідовностей довжини $T = 150$ не вдалося навчити успішну модель".

Наведені зауваження хоча і дещо знижують враження від цієї безумовно цікавої роботи, але не скасовують загальної позитивної оцінки дисертації.

Висновок. Дисертаційна робота Чернодуба Артема Миколайовича містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати в галузі нейронних мереж та штучного інтелекту, які забезпечують розв'язання актуальної наукової задачі розробки та удосконалення методів навчання багатошарових перцептронно-подібних нейронних мереж для підвищення якості розв'язання задач прогнозування часових рядів та управління нелінійними динамічними об'єктами.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11-14 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами), а її автор Чернодуб А.М. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту.

Офіційний опонент
провідний науковий співробітник
Міжнародного науково-навчального
центру інформаційних технологій та систем
НАН і МОН України,
доктор технічних наук



Д.А. Рачковський