ВІДГУК

офіційного опонента Цмоця Івана Григоровича на дисертаційну роботу Куцмана Владислава Вікторовича «Динамічна ідентифікація підпису на основі спайкінгової нейронної мережі», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 - комп’ютерні науки

Актуальність теми. Ідентифікація підпису за його динамічними параметрами є одним з найпоширеніших методів визначення особи та часто використовується для запобігання шахрайству у фінансових операціях. Верифікація підпису людиною-оператором за статичним зображенням підпису має багато «слабких сторін», оскільки добре натренований зловмисник може дуже схоже підробити підпис особи, тобто зображення підпису. Широке поширення комп’ютерної техніки та інформаційних технологій обробки даних дозволяє застосувати не тільки аналіз статичного зображення підпису, а також динамічних характеристик його написання (динаміку зміни координат пера, тиску пера та кута нахилу пера). Ці динамічні параметри дають додаткову інформацію про підпис і можуть бути використані для більш точної верифікації та ідентифікації підпису.

Тому тема дисертаційної роботи Куцмана Владислава Вікторовича «Динамічна ідентифікація підпису на основі спайкінгової нейронної мережі» є актуальною та відповідає практичним вимогам сьогодення.

Дисертаційне дослідження проводилось згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету. Отримані дисертантом результати використані у таких науково-дослідних роботах: "Моделі, методи, технології та пристрої інтелектуальних інформаційних систем управління, економіки, навчання та комунікацій" (2016-2018 р.) та "Розробка спеціалізованих засобів штучного інтелекту на основі інтелектуального аналізу даних та машинного навчання" (2019 р.).

Наукова новизна отриманих результатів

У дисертаційній роботі Куцмана В.В отримано такі основні наукові результати:

1. Вперше розроблено метод динамічної ідентифікації підписів, у якому завдяки використанню спайкінгової нейронної мережі відсутнє перетворення динамічних параметрів підпису у вектор статичних ознак, що забезпечило збільшення достовірності та швидкодії ідентифікації підпису.
2. Удосконалено структурну організацію спайкінгової нейронної мережі шляхом введення по два вихідних нейрона на кожен еталонний підпис, що забезпечило навчання нейронної мережі не тільки на справжніх підписах, а і на

майстерно підроблених і тим самим збільшило достовірність ідентифікації підпису.

3. Удосконалено якісний склад використовуваного набору динамічних параметрів підпису, які є інваріантними до масштабу, зсуву та повороту підпису відносно планшету, що забезпечило збільшення достовірності ідентифікації підпису.

Практична цінність одержаних результатів

Розроблений метод та засоби динамічної ідентифікації підпису на основі спайкінгової нейронної мережі дають змогу підвищити достовірність ідентифікації підпису. Практичну цінність наукових результатів, які отримані в дисертації, підтверджено їх впровадженням і використанням в ТОВ «Джемікл» при розробці систем авторизації та ідентифікації за підписом особи, а також при розробці систем доступу за написанням парольного слова, та у навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях

Основні наукові положення та практичні результати дисертаційного дослідження були викладені у 8 опублікованих працях, у тому числі 3 статті у наукових фахових виданнях (з них 2 у виданнях України, 1 у виданні іноземних держав; що включено до міжнародних науко-метричних баз), одна стаття у збірнику праць конференції (входить до міжнародної науко-метричної бази Scopus) і 4 тезах доповідей в збірниках матеріалів конференцій. Обсяг друкованих робіт та їх кількість і науковий рівень відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Наукові положення та висновки, що містяться в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими і підтверджуються практичною реалізацією під час виконання науково-дослідних робіт, апробацією на наукових міжнародних конференціях і наукових семінарах кафедри. Адекватність розроблених методів і алгоритмів підтверджується результатами експериментальних досліджень.

Оцінка змісту дисертації

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань, 3 додатків. Робота викладена на 112 сторінках, ілюстрована 17 таблицями та 34 рисунками. Перелік посилань містить 110 найменувань. Загальний обсяг роботи з додатками – 161 сторінка.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено зв’язок з науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, об’єкт та

предмет дослідження, викладені наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведені дані про особистий внесок здобувача, публікації та апробацію наукових результатів.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд і класифікацію методів та засобів динамічної ідентифікації підпису. Сформовано вимоги до визначення оптимального набору динамічних ознак підпису та здійснено постановку задач дослідження.

У **другому розділі** проведено обґрунтування перспективності використання та розроблено спайкінгову нейронну мережу для динамічної ідентифікації підписів. Розроблено метод навчання спайкінгової нейронної мережі та вибрано принципи кодування вихідної інформації в процесі класифікації динамічних параметрів підписів. Розроблено метод динамічної ідентифікації підписів на основі спайкінгової нейронної мережі. Показано, що спайкінгова нейронна мережа має спрощену процедуру навчання та підвищену завадостійкість.

У **третьому розділі** вибрано динамічні параметри підпису, які стійкі до геометричної варіабельності, тобто зміни просторового масштабу, зсуву та повороту підпису відносно сторін планшету. Розроблено формули та описано процес нормалізації динамічних параметрів підпису як по амплітуді, так і по часу. Досліджено стійкість динамічних параметрів підпису до внутрішньоперсональної варіабельності та доведено обґрунтованість вибору параметрів $l(t)$ та $XY(t)$ і необґрунтованість вибору параметру $\Delta\alpha(t)$ для використання у високодостовірному методі динамічної ідентифікації підписів на основі спайкінгових нейронних мереж. Досліджено чутливість динамічних параметрів підпису до міжперсональної варіабельності та доведено обґрунтованість вибору параметрів $l(t)$ та $XY(t)$ та необґрунтованість вибору параметру $\Delta\alpha(t)$ для використання у високодостовірному методі динамічної ідентифікації підписів на основі спайкінгових нейронних мереж.

У **четвертому розділі** проведено комп’ютерне моделювання та оцінювання достовірності запропонованого методу динамічної ідентифікації підпису на основі спайкінгової нейронної мережі. Розроблено програмні засоби для динамічної ідентифікації підпису, проведено оцінювання достовірності динамічної ідентифікації підпису з використанням бази даних підписів DeepSignDB. Проаналізовано показники якості систем ідентифікації підписів, розроблено протокол та проведено експериментальні дослідження достовірності методу динамічної ідентифікації підпису на основі спайкінгової нейронної мережі. Визначено, що розроблена система має достовірність 96,1%, влучність 93,1%, повноту 99,65%, оцінку F1 96,26%. Показано, що у відносних показниках, запропонована система за достовірністю краща за референсну на 9% при тестуванні на майстерних підробках і на 15% при тестуванні на випадкових

підробках. Визначено перспективи подальших досліджень.

Висновки по дисертаційній роботі підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень. Список використаних джерел і посилань на них у тексті дисертації свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень провідних учених світу. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи достатньо висвітлені в публікаціях у наукових фахових виданнях та апробовані на міжнародних і науково-технічних конференціях.

Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України

Матеріал дисертації викладено досить логічно і обґрунтовано. Кожен з чотирьох розділів має свою специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи.

Таким чином, представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яка написана науковою мовою. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв’язаних задач цілком відповідають темі роботи.

Недоліки та зауваження до роботи:

1. У першому розділі роботи не достатньо уваги приділено аналізу архітектури штучних нейронних мереж, засобам їх реалізації та існуючим базам даних підписів, які використовуються для тестування систем ідентифікації.

2. У другому розділі у підрозділі 2.3 не вказано частотний діапазон імпульсів на виході нейрона, який перетворює динамічний параметр підпису у послідовність імпульсів (див. рис. 2.7).

3. Недостатньо обґрунтовано вибір кількості динамічних параметрів підпису та не досліджено вплив кількості динамічних параметрів підпису на загальну достовірність процесу ідентифікації підпису.

4. Практичне значення отриманих результатів доцільно було б сформулювати так, щоб було видно як використання результатів дисертаційної роботи покращує процес та засоби ідентифікації підпису.

5. Програмні засоби для реалізації методу динамічної ідентифікації підпису на основі спайкінгової нейронної мережі доцільно було б доповнити користувацьким інтерфейсом.

6. Недостатньо уваги приділено висвітленню результатів експериментальних досліджень. Зокрема, наведено дані про достовірність на тестовій вибірці, але не наведено дані про достовірність на навчальній вибірці, також немає відомостей про критерії зупинки процесу навчання.

7. При викладені змісту дисертації дисертант допускає окремі неточності термінологічного і стилістичного плану, у тексті є помилки.

Вважаю, що вказані недоліки та зауваження не впливають суттєво на новизну та практичну значущість отриманих результатів, загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та її значення для комп'ютерних наук.

Висновки

1. Дисертаційна робота Куцмана Владислава Вікторовича «Динамічна ідентифікація підпису на основі спайкінгової нейронної мережі», що подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» є завершеною науковою працею, в якій вирішено наукову задачу підвищення достовірності динамічної ідентифікації підпису шляхом використання спайкінгової нейронної мережі.

2. За темою та змістом дисертаційна робота відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

3. Вважаю, що дисертаційна робота «Динамічна ідентифікація підпису на основі спайкінгової нейронної мережі» відповідає вимогам, що ставляться до дисертації на здобуття ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 9, 10, 11, 12 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», що затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167, а здобувач, Куцман Владислав Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматизованих систем управління
Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Національного університету «Львівська політехніка» Цмоць І.Г.

Підпис проф. Цмоця І.Г. засвідчую
Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка», к.т.н., доцент Брилинський Р. Б.