

ВІДГУК

офіційного опонента Литвиненка Володимира Івановича
на дисертаційну роботу Куцмана Владислава Вікторовича
«Динамічна ідентифікація підпису на основі спайкінгової нейронної мережі»,
яка подана на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми.

Проблема підвищення достовірності ідентифікації підпису особи є дуже важливою і актуальною на сьогоднішній день. Останнім часом для підвищення достовірності процесу ідентифікації підпису спостерігається перехід від простого аналізу зображення підпису (оф-лайн ідентифікація) до аналізу динаміки процесу формування підпису (он-лайн ідентифікація). Під динамікою процесу формування підпису розуміють залежність від часу таких характеристик підпису як координати X та Y пера, тиск пера на планшет та кут нахилу пера. Реалізувати такий динамічний аналіз дозволяє широке поширення комп'ютерної техніки та інтелектуальних інформаційних технологій обробки даних. Динамічні параметри дають додаткову інформацію про підпис і можуть бути використані для більш точної верифікації та ідентифікації підпису. Однак ідентифікація підпису за його динамічними параметрами має на сьогодні низку невирішених проблем та викликів. Суттєві труднощі пов'язані з тим, що підпис однієї особи не є завжди однаковим. Цей факт пояснюється внутрішньоперсональною варіабельністю, що вносить неоднозначність при побудові високодостовірних програмних засобів ідентифікації підпису. Тобто, з одного боку, потрібно досліджувати які динамічні параметри підпису та їх набори мають бути обрані або синтезовані для зменшення внутрішньоперсональної варіабельності та просторово-часової варіативності підпису. А з іншого боку, потрібно досліджувати високодостовірні методи класифікації (ідентифікації) цих динамічних параметрів підпису. Саме вирішенню даних наукових проблем і присвячене це дослідження, тому воно є актуальним.

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки в Україні. Робота виконувалась відповідно до плану наукових досліджень Вінницького національного технічного університету за держбюджетними темами, які виконувались на кафедрі комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету протягом тривалого часу і у яких здобувач брав участь.

Наукова новизна отриманих результатів пов'язана з вирішенням актуальної науково-практичної задачі – підвищення достовірності динамічної ідентифікації підпису завдяки застосуванню запропонованого набору динамічних параметрів підпису, стійких до внутрішньоперсональної

варіабельності та чутливих до міжперсональної варіабельності підпису, та розробці методу їх розпізнавання на основі спайкінгової нейронної мережі.

Отримано такі основні наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод динамічної ідентифікації підписів, у якому завдяки використанню спайкінгової нейронної мережі відсутнє перетворення динамічних параметрів підпису у вектор статичних ознак, що дозволило збільшити достовірність та швидкодію ідентифікації підпису.

2. Удосконалено структурну організацію спайкінгової нейронної мережі для використання у задачі ідентифікації підпису за рахунок введення по два вихідних нейрона на кожен еталонний підпис, що дозволило навчати нейронну мережу 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 дозволило збільшити достовірність ідентифікації підпису.

4. Визначено ступінь внутрішньоперсональної та міжперсональної варіабельності динамічних параметрів підпису, що дозволило зробити висновок про кращу робастність запропонованого набору динамічних параметрів підпису до внутрішньоперсональної варіабельності та їх кращу чутливість до міжперсональної варіабельності підпису, що в підсумку покращує їх представимість та роздільність і тим самим збільшує достовірність процесу ідентифікації підпису.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Відсутність порушень академічної доброчесності.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та висновків і рекомендацій забезпечується аргументованою постановкою мети й задач дослідження, використанням сучасних та правильних методів дослідження, коректним використанням методів системного аналізу; теорії інформації та кодування; методів математичного моделювання; теорії штучних нейронних мереж; теорії планування експерименту; теорії ймовірностей і математичної статистика.

Представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи. Також достовірність підтверджує рекомендації до впровадження результатів дисертаційного дослідження у ТОВ «Джемікл» та у навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

Представлена робота відповідає принципам академічної доброчесності, а саме: відтворення в тексті наукової роботи результатів дослідження інших науковців наведено з посиланнями, що не порушує Закон України «Про авторське право і суміжні права»; адекватність та точність наведеної інформації (без спотворення) з цитуванням із іноземних джерел.

Практична цінність отриманих результатів полягає у підвищенні достовірності методів та програмних засобів динамічної ідентифікації підпису завдяки запропонованій інформаційній технології та алгоритму ідентифікації підписів на основі спайкінгової нейронної мережі.

1. Розроблено структурно-функціональну схему спайкінгової нейронної мережі для використання у задачі ідентифікації підпису, яка містить по два вихідних нейрона на кожен еталонний підпис;
2. Кількісно оцінено робастність запропонованих динамічних параметрів підпису до внутрішньоперсональної варіабельності підпису та чутливість запропонованих динамічних параметрів підпису до міжперсональної варіабельності підпису;
3. Розроблено програмні засоби динамічної ідентифікації підпису.
4. Отримано результати комп'ютерного моделювання динамічної ідентифікації підпису;
5. Отримано результати експериментальних досліджень програмних засобів динамічної ідентифікації підпису, визначено числові значення достовірності їх роботи та порівняно із кращими відомими методами динамічної ідентифікації підпису.

Повнота викладу в наукових публікаціях

Результати наукових досліджень за тематикою роботи опубліковано у 8 наукових працях, зокрема в 3 виданнях з переліку фахових видань (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 наукових конференцій, що є достатнім для дисертаційної роботи доктора філософії.

Структура та зміст дисертації.

Структура дисертації побудована відповідно до мети та задач дослідження. Викладення основного матеріалу дисертації, наукових положень, результатів та висновків логічне та аргументоване. Дисертація написана в науковому стилі та оформлена відповідно до чинних вимог.

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань із 110 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 161 сторінку, основний зміст якої викладений на 112 сторінках. Робота містить 34 рисунки та 17 таблиць.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дослідження, показано зв'язок із науковими програмами, темами, планами, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, вказано застосовані методи дослідження, висвітлено наукову новизну та практичну цінність роботи, наведено інформацію про публікації та особистий внесок здобувача в публікаціях зі співавторами.

У *першому розділі* проведено аналітичний огляд існуючих методів та

засобів динамічної верифікації та ідентифікації підписів, засновані як на традиційних класифікаторах, так і на нейромережових. Сформульовано перспективи їх вдосконалення, проведено аналіз баз даних підписів та показників достовірності, які використовуються для оцінки якості систем динамічної ідентифікації підписів, виділено недоліки існуючих систем динамічної ідентифікації підписів та сформульовано задачі досліджень.

У *другому розділі* висвітлено моделі спайкінгових нейронів, розроблено структуру та архітектуру спайкінгової нейронної мережі для застосування у процесі динамічної ідентифікації підписів, розроблено метод навчання спайкінгової нейронної мережі та принципи кодування вихідної інформації в процесі класифікації динамічних параметрів підписів. Розроблено метод динамічної ідентифікації підписів на основі спайкінгової нейронної мережі, який має низку переваг перед відомими методами. Застосована нейронна мережа має спрощену процедуру навчання, відсутність потреби перенавчання всієї мережі при необхідності додавання нових підписів; має підвищену завадостійкість.

Третій розділ присвячено обґрунтуванню вибору таких динамічних параметрів підпису, які були б робастні до геометричної варіабельності, тобто зміни просторового масштабу, зсуву та повороту підпису відносно 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 обґрунтовано вибір параметрів $l(t)$ та $XU(t)$. Досліджено чутливість динамічних параметрів підпису до міжперсональної варіабельності та обґрунтовано вибір параметрів $l(t)$ та $XU(t)$ для використання у запропонованому методі динамічної ідентифікації підписів на основі спайкінгових нейронних мереж, що має підвищену достовірність.

У *четвертому розділі* відображено результати комп'ютерного моделювання та оцінки достовірності запропонованого методу динамічної ідентифікації підпису на основі спайкінгової нейронної мережі. Описано програмну реалізацію цього методу, розглянуто методіку оцінки достовірності динамічної ідентифікації підпису з використанням бази даних підписів DeepSignDB, проаналізовано показники якості систем ідентифікації підписів. На основі розробленого протоколу проведено експериментальні дослідження достовірності методу динамічної ідентифікації підпису на основі спайкінгової нейронної мережі, які показали, що розроблена система має достовірність 96,1%, влучність 93,1%, повноту 99,65%, оцінку F1 96,26% при тестуванні тільки на майстерно підроблених підписах. Уцілому, 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.

У *висновках* наведено основні результати роботи

Недоліки та зауваження до роботи:

1. Метою дисертаційної роботи є «підвищення достовірності ідентифікації підпису ...». На мою думку, до мети також можна було б додати «спрощення процесу ідентифікації підпису», оскільки по-перше, у запропонованому методі немає потреби перетворювати динамічні параметри підпису у набір статичних ознак (наприклад, за допомогою Фур'є-перетворення), що застосовується у багатьох відомих методах ідентифікації підпису. По-друге, у використовуваній нейронній мережі навчаються не всі нейрони мережі, а тільки вихідні; а при необхідності додавання нових підписів не потрібно перенавчати всю мережу повністю, а достатньо додати кілька вихідних нейронів і навчити тільки їхні зв'язки;

2. У роботі обґрунтовано набір із 3 динамічних параметрів підпису – 1) $l(t)$ (відстань між сусідніми дискретними точками підпису), 2) $XU(t)$ (добуток координат X та U пера), 3) $Z(t)$ (тиск пера на графічний планшет), які використовуються для подальшої ідентифікації підписів. Досліджено їх внутрішньоперсональну та міжперсональну варіабельність. Але немає відомостей про їх інформативність і вплив на достовірність процесу ідентифікації. Було б доцільно розглянути таку їх характеристику як інформативність.

3. У п.2.4 викладено метод навчання спайкінгової нейронної мережі. Але вимоги до зміни кроку навчання та максимальних значень вагових коефіцієнтів нейронів описано поверхнево. Бажано було б виразити ці обмеження в аналітичній формі.

4. Результати дисертації впроваджено в ТОВ «Джемікл», а також у навчальний процес Вінницького національного технічного університету. Але у висновках до дисертації про це не сказано. Доцільно було б навести інформацію про підтвердження практичної значимості роботи отриманими актами впровадження у висновках до дисертації.

5. Автором розроблено спеціальне програмне забезпечення, але відсутня інформація про авторські свідоцтва на твір по розробленому ПЗ.

Проте, незважаючи на зроблені зауваження, слід відзначити, що вони не зменшують наукової цінності роботи та отриманих практичних результатів.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

1. Тема дисертаційного дослідження, основні теоретичні та експериментальні положення, що виносяться на захист, дозволяють зробити висновок про відповідність дисертаційної роботи Куцмана Владислава Вікторовича «Динамічна ідентифікація підпису на основі спайкінгової нейронної мережі» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

2. Дисертаційна робота Куцмана В. В. є завершеною науковою працею, виконаною автором самостійно, містить нові науково-обґрунтовані результати, що дозволило вдосконалити сучасні інтелектуальні нейромережеві методи та засоби динамічної ідентифікації підпису.

3. Основні результати дисертації з вичерпною повнотою викладені в

опублікованих наукових працях автора, пройшли широку апробацію та практичну перевірку на конференціях різного рівня.

4. Матеріал, що наведений в дисертації, за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, об'ємом і глибиною експериментальних та теоретичних досліджень задовольняє вимогам пп. 9, 10, 11, 12 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Кабінетом Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167.

5. Вважаю, що автор дисертації Куцман Владислав Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри інформатики і
комп'ютерних наук Херсонського
національного технічного
університету



В.І. Литвиненко

Підпис Литвиненка В.І. заверяю,
Начальник відділу кадрів ХНТУ

М.В.Танська