

ВІДГУК

офіційного опонента,
доктора технічних наук, професора,
начальника кафедри тактики радіотехнічних військ
факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Худова Геннадія Володимировича
на дисертаційну роботу Погуляєва Юрія Сергійовича
**«Моделі та методи розроблення програмного забезпечення для
класифікації біометричних даних на основі параметрів мінуцій»**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 – «Інформаційні технології»
за спеціальністю 121 – «Інженерія програмного забезпечення».

1. Актуальність та обґрунтування вибору теми дослідження.

Біометрична ідентифікація за відбитками пальців є одним з основних засобів встановлення особи в системах інформаційної безпеки, прикордонного контролю та криміналістики. Ефективність таких систем визначається якістю розпізнавання, рівнем помилок першого і другого роду та продуктивністю обробки за умов зростання обсягів біометричних баз. Наявні методи класифікації за мінуціями значною мірою залежать від локалізації особливих точок і моделей машинного навчання, чутливі до геометричних спотворень при скануванні та не завжди забезпечують прозору інтерпретацію групового порівняння. Виявлене протиріччя між обмеженими можливостями наявних методів та практичною потребою в інваріантному, інтерпретованому та масштабованому розробленні відповідного програмного забезпечення зумовлює наукову і прикладну актуальність теми. Отже, тема дисертаційної роботи Погуляєва Ю.С. є актуальною та своєчасною.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 213 сторінок, у тому числі 180 сторінок основного тексту. Робота містить 55 рисунків, 24 таблиці та перелік джерел посилання зі 144 найменувань на 15 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано вісім завдань та методи дослідження,

викладено наукову новизну і практичне значення, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію та впровадження результатів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану досліджень у предметній галузі біометричної класифікації за відбитками пальців. Розглянуто способи подання ознак дактилоскопічних зразків, зокрема глобальні та локальні дескриптори на основі мінуцій, методи їх зіставлення, підходи до агрегації оцінок при груповому порівнянні та архітектури автоматизованих систем ідентифікації. Виявлено недоліки наявних рішень: залежність від машинного навчання, чутливість до геометричних спотворень, непрозорість групового висновку та обмежену масштабованість монолітних архітектур. Сформульовано вимоги до розроблюваних моделей і методів та завдання дослідження.

У другому розділі розроблено математичну модель інваріантного дескриптора мінуцій на основі евклідових характеристик. Обґрунтовано вибір центру мас множини мінуцій як опорної точки просторової фільтрації та доведено його коваріантність до зсувів. Уведено оператор фільтрації в параметризованій кільцевій області, описано структуру дескриптора на основі матриць попарних евклідових відстаней і полярних кутів відносно центру мас, а також метод зіставлення дескрипторів різної розмірності. Наведено результати експериментальної перевірки моделі на наборі FVC2000 set B.

У третьому розділі розроблено методи попарного та групового порівняння дактилоскопічних зразків на основі запропонованого дескриптора. Викладено каскадну схему попарного порівняння з компенсацією трансляції окремим етапом та метод оцінки якості групового порівняння на основі інтегральної булевої метрики, яка враховує якість виявлених збігів і покриття групи еталонних сканів. Вибір індивідуального порога обґрунтовано лемою Неймана–Пірсона, а підсумкове рішення ухвалюється кон'юнктивним правилом. Працездатність каскадної схеми підтверджено на наборах FVC2000 set B та FVC2004 DB1_B.

У четвертому розділі подано технологію розроблення програмного забезпечення для масштабованого біометричного класифікатора на хмарній інфраструктурі AWS. Обґрунтовано подієво-керовану безсерверну архітектуру з персистентним кешуванням дескрипторів, що забезпечує автоматичне масштабування, а також стратегію селективної SIMD-векторизації, обґрунтовану таксономією обчислювальних етапів за моделями Roofline та Universal Scalability Law. Наведено результати експериментальної перевірки продуктивності.

У підсумку, дисертація є завершеною науковою працею, що оформлена відповідно до вимог «Порядку присудження ступеня доктора філософії та

скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, та «Вимог до оформлення дисертації», затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалося відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки та за підтримки міжнародного наукового проєкту «Радіоелектроніка–Ворик: партнерські дослідження і розробки» («Radio Electronics-Warwick Allied Research and Development», REWARD). Проєкт реалізовувався Харківським національним університетом радіоелектроніки спільно з Університетом Ворики (The University of Warwick, м. Ковентрі, Велика Британія) у період з березня 2023 р. по січень 2024 р. в рамках Ініціативи побратимства університетів Великої Британії та України (UK–Ukraine University Twinning Initiative), запровадженої за фінансової підтримки Research England (UK Research and Innovation) та адміністрованої Universities UK International (UUKi).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, наведених у дисертаційній роботі, забезпечено коректним застосуванням апарату теорії груп перетворень, евклідової геометрії, теорії множин, теорії графів, математичної статистики та теорії ймовірностей, а також формальним доведенням $SE(2)$ -інваріантності запропонованого дескриптора. Наукові результати підтверджено експериментальною перевіркою на реальних дактилоскопічних наборах FVC2000 set B і FVC2004 DB1_V та впровадженням розробленого програмного забезпечення. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на двох міжнародних наукових конференціях. Наведеного достатньо для висновку про належну обґрунтованість отриманих наукових результатів.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Матеріали дисертації достатньо повно представлені у шести наукових працях за темою дисертаційного дослідження, у тому числі чотирьох статтях у наукових виданнях, включених до Переліку фахових видань України, та двох

доповідях у матеріалах міжнародних наукових конференцій. Три з цих публікацій індексуються у наукометричній базі Scopus.

За результатами виконаних досліджень отримано наступні нові наукові результати.

1. Уперше запропоновано метод розроблення програмного забезпечення для попарного порівняння дактилоскопічних зразків, який структурує зіставлення як каскад окремих етапів із розподілом ролей між ними, де усунення повороту реалізовано через глобальний дескриптор конфігурації мінуцій, а компенсацію трансляції винесено в окремий етап. На відміну від відомих рішень, де логіку вирівнювання реалізують єдиним модулем, метод дає можливість проєктувати програмну систему без окремого модуля попереднього вирівнювання та зберігати простежуваність від формул математичної моделі до програмних модулів на кожному етапі без застосування моделей машинного навчання.

2. Уперше запропоновано метод розроблення програмного забезпечення для групового порівняння дактилоскопічних зразків у режимі «один проти групи», який структурує ухвалення рішення як прозору для інтерпретації декомпозицію, де підсумкове рішення ухвалюється кон'юнктивним правилом на основі роздільно обчислених оцінок якості виявлених збігів та покриття групи еталонних сканів. На відміну від відомих рішень, що реалізують скалярну згортку оцінок, кожна складова рішення є окремо специфікованою та простежуваною, що дає можливість розрізняти ситуації з однаковим середнім, але різною структурою збігів.

3. Набула подальшого розвитку технологія розроблення програмного забезпечення для масштабованого класифікатора біометричних даних, яка, на відміну від існуючих, поєднує в межах єдиної відтворюваної схеми специфікацію вимог за SWEBOOK Guide v4.0, оцінювання якості за ISO/IEC 25010:2023, селективну SIMD-векторизацію, обґрунтовану таксономією обчислювальних етапів за моделями Roofline та Universal Scalability Law, та подієво-керовану архітектуру з персистентним кешуванням дескрипторів, що дає можливість забезпечити високу пропускну здатність на великих обсягах даних.

6. Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні програмного забезпечення для класифікації біометричних даних, яке не потребує моделей машинного навчання, забезпечує незалежність від моделі сканера за рахунок SE(2)-інваріантності дескриптора та горизонтальне масштабування у хмарній архітектурі. Результати дисертаційної роботи

впроваджено в діяльність ІТ-фірми ПП «РІІТ», що підтверджується відповідним актом. Запропоновані рішення можуть бути використані в автоматизованих системах ідентифікації відбитків пальців та у науково-дослідних роботах з біометричної ідентифікації.

7. Дотримання вимог академічної доброчесності.

За результатами аналізу тексту дисертації та публікацій автора за темою дисертації встановлено відсутність плагіату та запозичень. Таким чином, порушення академічної доброчесності в дисертаційній роботі відсутні.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

Дисертація містить нові теоретичні та практичні результати, але не позбавлена деяких недоліків. До недоліків дисертації слід віднести наступні.

1. На базі DB2_B, що характеризується високою щільністю мінуцій, перевага запропонованої кільцевої фільтрації нівелюється, а нижня межа 95 % довірчого інтервалу AUC становить 0,487. Це означає, що на рівні дескриптора результат не відрізняється від випадкового. Залежність якості від типу сенсора потребує докладнішого аналізу.

2. Дескриптор виконує роль попереднього фільтра каскаду. Відсікаючи 22–62 % самозваних пар, він водночас відкидає 20–46 % справжніх, а за ізолюваного використання його рівень рівних помилок (EER) становить 29–46 %. Втрата повноти на першому етапі обмежує граничну чутливість системи, що як обмеження розкрито недостатньо.

3. Наближення, за яким залишкова поворотна компонента на другому етапі каскаду поглинається координатним допуском, обґрунтовано оцінкою порядку величини лише для типових кутів повороту пальця 3–7° (залишкове відхилення периферійних мінуцій 8–18 пікселів, підрозділ 3.1). Збереження коректності цього наближення за значно більших кутових відхилень окремо не досліджено.

4. Механізми пом'якшення холодного старту безсерверних функцій (попереднє прогрівання, повторне використання середовища виконання) згадано серед відомих підходів, проте в запропонованій архітектурі їх не реалізовано та не оцінено експериментально. Тому придатність архітектури до режимів, чутливих до затримки, підтверджено лише частково.

5. ROC-криві ізолюваного дескриптора мають ступінчасту форму (рисунок 3.8) через дискретність його оцінки при малій кількості мінуцій після фільтрації, що обмежує точність налаштування порогу на етапі попередньої фільтрації.

Наведені зауваження мають характер рекомендацій і не знижують загальної наукової та прикладної цінності дисертаційного дослідження.

9. Загальні висновки щодо дисертації.

Дисертаційна робота Погуляєва Юрія Сергійовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення для класифікації біометричних даних на основі параметрів мінуцій» за своїм змістом відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення». Дисертація є завершеною науковою працею, у якій вирішено актуальне науково-прикладне завдання створення моделей і методів та удосконалення технології розроблення програмного забезпечення для класифікації біометричних даних на основі параметрів мінуцій.

Дисертаційна робота Погуляєва Юрія Сергійовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення для класифікації біометричних даних на основі параметрів мінуцій» повністю відповідає пунктам 6, 7, 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами).

Здобувач Погуляєв Юрій Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

начальник кафедри тактики
радіотехнічних військ
факультету радіотехнічних військ
протиповітряної оборони
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
доктор технічних наук, професор

Геннадій ХУДОВ