

ВІДГУК

офіційного опонента,

кандидата технічних наук, доцента,

професора кафедри програмної інженерії

та інтелектуальних технологій управління імені А. В. Дабагяна

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»,

Орловського Дмитра Леонідовича

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.

Розроблення програмного забезпечення для класифікації біометричних даних потребує не лише коректних алгоритмів, а й системного застосування методів програмної інженерії: специфікації вимог, архітектурного проєктування, забезпечення простежуваності та якості. Наявні відкриті рішення в цій галузі побудовані переважно як монолітні системи, що ускладнює їх супроводження, тестування та адаптацію до хмарних середовищ. Актуальним є створення технології розроблення програмного забезпечення, яка поєднує формальну простежуваність від математичної моделі до програмних модулів з масштабованою хмарною реалізацією. Виявлене протиріччя між потребою в такій цілісній інженерній технології та обмеженими можливостями наявних підходів підкреслює наукову і прикладну значущість обраної 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 зі 144 найменувань та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 213 сторінок, у тому числі 180 сторінок основного тексту. Робота містить 55 рисунків і 24 таблиці.

У вступі обгрунтовано актуальність теми, визначено мету, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано завдання, методи, наукову новизну та практичне значення, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію і впровадження результатів.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану предметної галузі. Розглянуто способи подання ознак дактилоскопічних зразків, методи їх зіставлення, підходи до агрегації оцінок при груповому порівнянні та архітектури автоматизованих систем ідентифікації. Виокремлено обмеження наявних рішень і сформульовано завдання дослідження.

У другому розділі розроблено математичну модель інваріантного дескриптора мінуцій на основі евклідових характеристик та відповідну модель програмного забезпечення. Систему декомпозовано на функціональні модулі з визначеними інтерфейсами, побудовано матрицю простежуваності між математичними формулами та програмними модулями і набір UML-діаграм. Наведено результати експериментальної перевірки на наборі FVC2000 set B.

У третьому розділі розроблено методи попарного (каскадного) та групового порівняння дактилоскопічних зразків, а також модель програмного забезпечення для їх реалізації з дотриманням принципів приховування інформації та відкритості-закритості. Працездатність підтверджено на наборах FVC2000 set B і FVC2004 DB1_B.

У четвертому розділі удосконалено технологію розроблення програмного забезпечення для масштабованого класифікатора. Побудовано модель оптимізації обчислень з таксономією етапів за моделями Roofline та

Universal Scalability Law, подієво-керовану безсерверну архітектуру на сервісах AWS та трирівневу модель програмного забезпечення, зіставлену з характеристиками якості ISO/IEC 25010. Наведено результати експериментальної перевірки продуктивності та масштабованості.

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 проекту «Радіоелектроніка–Ворик: партнерські дослідження і розробки» («Radio Electronics-Warwick Allied Research and Development», REWARD). Проект 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 та математичної статистики, формальним доведенням SE(2)-інваріантності дескриптора, а також результатами експериментальної перевірки на реальних дактилоскопічних наборах FVC2000 set B і FVC2004 DB1_B та впровадженням розробленого програмного забезпечення. Основні положення дисертації обговорено на двох міжнародних наукових конференціях.

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 проектувати 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 сканувань. 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 та технології його розроблення для класифікації біометричних даних без застосування моделей машинного навчання, з модульною архітектурою та формальною простежуваністю від математичної моделі до хмарної реалізації. Результати впроваджено в діяльність ІТ-фірми ПП «РІІТ», що підтверджується відповідним актом. Вони можуть бути застосовані в організаціях, які розробляють системи класифікації біометричних даних, а також у науково-дослідних роботах.

7. Дотримання вимог академічної доброчесності.

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

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

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

1. Серед сформульованих нефункціональних вимог відсутні вимоги щодо безпеки та захисту персональних даних. Водночас система обробляє і зберігає біометричні дані у публічній хмарній інфраструктурі (Amazon S3, DynamoDB), але питання шифрування, розмежування доступу та відповідності вимогам захисту персональних даних у роботі не розглянуто.

2. Незалежність обчислювального ядра від хмарного провайдера обґрунтовано контейнеризацією, проте експериментально підтверджено лише на платформі AWS (Amazon Web Services). Використання платформи іншого хмарного провайдера в роботі не продемонстровано.

3. Декомпозицію програмного забезпечення на модулі обґрунтовано лише якісно із використанням таких принципів, як приховування інформації та відкритість-закритість. Було б доцільно для цього використати такі відомі метрики об'єктно-орієнтованого проєктування як зв'язаність між класами (CBO, Coupling Between Object classes) та відсутність зв'язаності методів (LCOM, Lack of Cohesion in Methods), що також надало б можливість формального порівняння запропонованої архітектури з альтернативними.

4. У роботі визначено, що розроблене програмне забезпечення має модульну структуру, отже інтеграція та взаємодія модулів є критично важливою. Водночас у роботі не описано, як проводилося інтеграційне та системне тестування програмного забезпечення, не наведено результатів тестування, які є дуже важливими при оцінюванні, зокрема, хмарної подієво-керованої взаємодії компонентів.

5. Розроблене програмне забезпечення має клієнтську складову, орієнтовану на підтримку роботи кінцевого користувача. Це показано за допомогою діаграми послідовності (рисунок 3.5) та діаграми варіантів використання (рисунок 4.2). Але якихось інших елементів клієнтської складової, зокрема, вигляд інтерфейсів користувача, в роботі не продемонстровано.

6. У переліку джерел посилання є джерела, вік яких складає 50 та більше років, зокрема, є видання, які відносяться до першої половини минулого сторіччя та навіть до позаминулого сторіччя. Ці джерела треба було б осучаснити.

7. Опис вимог до програмного забезпечення містить певні недоліки, а саме: скорочення ФР та НФР, які використані при визначенні функціональних та нефункціональних вимог відповідно, є не дуже вдалим; україномовні назви нефункціональних вимог мають розбіжності з відповідними англійськими назвами; англійські назви першої та другої нефункціональних вимог чомусь співпадають.

Але при цьому вважаю, що зазначені зауваження не є визначальними та не знижують загальної наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

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 науково-дослідною роботою, 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.

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

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри програмної інженерії
та інтелектуальних технологій
управління імені А. В. Дабагяна
Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

