

М. Ю. Ромбовський*,

кандидат фізико-математичних наук,
старший судовий експерт сектору трасологічних досліджень
відділу криміналістичних видів досліджень,
Сумський науково-дослідний експертно-криміналістичний
центр МВС України

вул. Промислова, 8, м. Суми, 40007, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2296-3452>
email: rombovsky_m@ukr.net
тел.: +38(066)959-29-64

В. В. Коваль,

кандидат фізико-математичних наук,
старший викладач кафедри кібербезпеки,
Сумський державний університет
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1593-5605>
email: koval_vit@ukr.net

М. А. Майєр,

заступник завідувача відділу трасологічного та дактилоскопічного обліку
лабораторії трасологічних, дактилоскопічних досліджень та обліку,
Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний
центр МВС України
вул. Велика Кільцева, 4, с. Петропавлівська Борщагівка,
Бучанський р-н, Київська обл., 08130, Україна
email: maksimmayer@gmail.com

Історія статті

Отримано: 13.02.2026

Прийнято: 15.04.2026

Опубліковано: 28.05.2026

АВТОМАТИЗАЦІЯ КРИМІНАЛІСТИЧНОГО ТРАСОЛОГІЧНОГО ОБЛІКУ СЛІДІВ ВЗУТТЯ ПОВІДОМЛЕННЯ 2

СТВОРЕННЯ ПІДСИСТЕМИ ОКРЕМОГО ЗАСТОСУНКУ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТРАСОЛОГІЧНОГО ОБЛІКУ СЛІДІВ ВЗУТТЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПЕРЕВІРКИ ЗА ІНФОРМАЦІЙНИМ РЕСУРСОМ ЕКСПЕРТНОЇ СЛУЖБИ МВС УКРАЇНИ

Анотація. У науковому доробку, що продовжує серію публікацій із функціонування автоматизованого обліку слідів взуття, висвітлено особливості роботи спеціалізованої підсистеми окремого застосунок програмного комплексу, створеного на основі платформи програмування та числових обчислень MATLAB, що дає змогу проводити верифікацію та порівняльне аналізування слідів взуття, а також перевірки слідів взуття за інформаційним ресурсом їхніх зображень, створеного в межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття, обґрунтовано доцільність його використання. Надано форму для створення реєстраційної картки відповідно до положень нормативних документів в окремому

*Відповідальний автор

Стаття з відкритим доступом, що розповсюджується відповідно до умов ліцензії
Creative Commons Attribution 4.0 International license
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



© М. Ю. Ромбовський, В. В. Коваль, М. А. Майєр, 2026

застосунку програмного комплексу, що дає змогу формувати інформаційний ресурс зображень слідів взуття для подальших перевірок у межах функціонування автоматизованого трасологічного обліку слідів взуття Експертної служби Міністерства внутрішніх справ України. Під час дослідження застосовано різні методи, серед них: математичний – для отримання і формування даних і розрахунків їх перетворення; логічні, зокрема синтезу й аналізу; статистичний, у межах яких виявлено форми взаємодії між елементами даних; узагальнення. В основі окремого застосунку програмного комплексу лежать методи порівняння багатовимірних матриць із закодованими даними елементів рисунка зображень слідів взуття та їх одномасштабних розмірів в основному файлі інформаційного ресурсу. Як програмне середовище використовувалася платформа програмування та числових обчислень MATLAB із пакетом прикладних програм Image Processing Toolbox. Наукова новизна доробку полягає в обґрунтуванні доцільності використання підсистеми окремого застосунку оригінального програмного комплексу проведення перевірки за інформаційним ресурсом слідів взуття автоматизованого трасологічного обліку Експертної служби Міністерства внутрішніх справ України. Крім того, схарактеризовано основні ідеї та принципи, що становлять підґрунтя роботи підсистеми окремого застосунку оригінального програмного комплексу. Визначено як завдання створення зручної системи оброблення даних дослідження; алгоритму верифікації та порівняльного аналізування слідів взуття; модуля генерації реєстраційної картки для слідів взуття за попередньо введеними даними, форма якої відповідає вимогам чинного законодавства; системи виводу результатів перевірки за інформаційним ресурсом у межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Роботу програмного застосунку унаочнено на прикладі перевіряння за інформаційним ресурсом зображень слідів взуття, створених у межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Окреслено напрями подальших досліджень – удосконалення клієнтської частини окремого застосунку програмного комплексу, розширення форми подання даних для підвищення зручності сприйняття складної аналітичної інформації; розширення функціональності інструментарію для роботи з отриманими вибірками, створення мережевої версії програмного комплексу з можливістю інтеграції із сучасними промисловими системами керування масивами даних.

Ключові слова: графічне зображення; загальна ознака; кодування; MATLAB; Image Processing Toolbox; метод аналізу ієрархій; парні матриці порівнянь.

Вступ

Повідомлення 2 є продовженням запланованої серії наукових публікацій, у яких висвітлюватимуться проблеми, пов'язані із функціонуванням автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. У Повідомленні 1 обґрунтовано доцільність розроблення на основі платформи програмування та числових обчислень MATLAB¹, із застосуванням пакета прикладних програм Image Processing Toolbox², і використання застосунку програмного комплексу, за допомогою якого можна створювати й опрацьовувати зображення слідів взуття в інформаційному ресурсі Експертної служби МВС України в межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Висвітлено особливості роботи окремого застосунку програмного комплексу, що дає змогу формувати інформаційний ресурс зображень слідів взуття для подальших перевірок у межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття (Rombovskiy et al., 2025).

Отже, розвиваючи основну ідею та принципи роботи окремого застосунку оригінального програмного комплексу, розглянуто особливості роботи зі спеціалізованою підсистемою другого окремого функціонального блока, який відповідає безпосередньо за проведення перевірки та порівняльне дослідження слідів взуття за елементами

створеного за допомогою першого окремого блока програмного комплексу інформаційного ресурсу, а також для редагування зображень слідів взуття зі створенням відповідей за результатами перевірки. Зазначена спеціалізована підсистема забезпечує безпосередню верифікацію – процес підтвердження тотожності цифрових моделей слідів через їх алгоритмічне зіставлення (Zitova, & Flusser, 2003; Jain et al., 2016) – та порівняльний аналіз слідів взуття, проведення перевірки. Заналізовано механізми взаємодії з інформаційним ресурсом, сформованим засобами цього комплексу, а також методичні аспекти цифрового оброблення даних. Крім того, розкрито особливості модуля генерації реєстраційних карток, що дає змогу оптимізувати діяльність під час роботи з обліками.

Мета статті – обґрунтувати доцільність використання підсистеми окремого застосунку програмного комплексу на основі платформи програмування та числових обчислень MATLAB із пакетом прикладних програм Image Processing Toolbox, який дає змогу проводити перевірки за інформаційним ресурсом зображень слідів взуття автоматизованого трасологічного обліку Експертної служби МВС України з кодованим шаблоном назв елементарних рисунків і внесеними значеннями їхніх розмірних характеристик в єдиному масштабі, для підвищення якості та оперативності зазначених перевірок. Для досягнення

¹ MATLAB Runtime. (n.d.). MathWorks. <https://www.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html>

² Image Processing Toolbox. (n.d.). MathWorks. <https://www.mathworks.com/products/image.html>

поставленої мети необхідно виконати такі завдання: висвітлити переваги використання зазначеної підсистеми окремого застосунку програмного комплексу; визначити напрями подальшого вдосконалення розробленого програмного комплексу.

Методи та матеріали

Методологічну основу дослідження становить комплексний інтегративний підхід, що поєднує загальнонаукові методи пізнання зі спеціальними методами оброблення цифрових даних. Така методологія дає змогу охопити повний цикл роботи з даними: від систематизації слідів до алгоритмічного опрацювання й організації надійного зберігання їхніх зображень у межах архітектури створюваного інформаційного ресурсу.

Праці (He et al., 2005; Wang et al., 2021), у яких теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність конвертації графічних даних у формат багатовимірних матриць зображень, що є цифровим базисом інформаційного ресурсу, постали основою вирішення прикладних завдань. Зокрема, математичний інструментарій у цьому дослідженні переорієнтовано на розроблення та імплементацію механізмів верифікації та порівняльного аналізування слідів взуття.

Для реалізації цих завдань застосовано методи матричного числення (Nguyen et al., 2016; Krämer et al., 2024; Torabi et al., 2024), що забезпечують швидке оперування великими масивами числових даних, на які перетворено зображення. Алгоритми порівняння матриць охоплюють широкий спектр методів – від класичних оптимізацій до сучасних евристик. Вибір підходу залежить від типу матриці, цілей аналізу та вимог до точності й обчислювальної складності. Основна мета – оцінити схожість, узгодженість або відмінності між матрицями, що становлять порівняння альтернатив, критеріїв чи статистичних характеристик. Ключовим інструментом у методі аналізу ієрархій (MAI) (Basak, & Saaty, 1993; Li et al., 2019), що використовується для прийняття рішень, є парні матриці порівнянь (Pairwise Comparison Matrices, PCM), з-поміж яких вирізняють мультиплікативні, адитивні та нечіткі (fuzzy). Вибір типу впливає на точність і когерентність оцінок: мультиплікативні матриці зазвичай забезпечують найвищу точність, адитивні – найнижчу (Cavallo, & D'Apuzzo, 2009; Cavallo et al., 2019; Cavallo et al., 2023). Сучасний інструментарій методів матриць порівняння базується на застосуванні складних обчислювальних підходів, серед яких ключове місце належить оптимізаційним алгоритмам, спрямованим на мінімізацію рівня неузгодженості експертних оцінок. Найпоширенішими вважа-

ють евристичні моделі та генетичні алгоритми, що дають змогу знаходити субоптимальні рішення в умовах високої невизначеності та великої розмірності задач (Srdjevic, B., & Srdjevic, Z., 2023; Tekile et al., 2023; Sayadi et al., 2025).

Для кількісного оцінювання матриць і визначення міри відхилення від ідеальної транзитивності використовують широкий спектр спеціалізованих метрик. До найпоширеніших належать класичні індекси узгодженості (CI) за Саати та індекс Кочкодая, а також геометричні міри близькості, що базуються на розрахунку відстаней у метричних просторах, зокрема відстаней Евкліда, Манхеттена та Чебишова (Bozóki et al., 2010; Kułakowski et al., 2021; Magnot et al., 2023).

Логічні методи (аналіз, синтез, моделювання) застосовано для побудови алгоритмів прийняття рішень системою, коли визначалися тотожності об'єктів. Це дало змогу формалізувати критерії оцінки «схожості» та розробити уніфіковані протоколи зіставлення ознак слідів взуття. Статистичні методи – для верифікації надійності отриманих результатів порівняння. На основі аналізу репрезентативних вибірок встановлено кореляційні зв'язки між розмірними характеристиками елементів і визначено допустимі діапазони похибок (граничні розміри). Ці параметри слугують валідними фільтрами в процесі пошуку, даючи змогу відсіювати помилкові збіги, що узгоджуються із сучасними світовими практиками (Dua et al., 2020; Babu, & Rao, 2022).

Програмну реалізацію розроблених алгоритмів здійснено в середовищі високорівневої мови технічних обчислень MATLAB із залученням спеціалізованого пакета Image Processing Toolbox. Вибір цього інструментарію зумовлений його ефективністю в роботі (Reddy et al., 2017; Ni et al., 2023; Nazari, & Samandari, 2025) з матричними операціями й обробленням зображень.

Реалізований підхід забезпечує створення єдиного, цілісного електронного ресурсу, адаптованого для високоточного автоматизованого трасологічного дослідження, що сприяє оптимізації експертної діяльності установ Експертної служби МВС України.

Результати й обговорення

Окремий застосунок програмного комплексу функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття з робочою назвою «CompareShoePrints» складається з двох спеціалізованих підсистем, одна з яких відповідає за верифікацію та порівняльний аналіз слідів взуття, що надає змогу проводити автоматизовані перевірки, а друга – за редагування зображень слідів взуття із формуванням відповіді. У науковій

статті представлено підсистему окремого програмного комплексу, яка відповідає за проведення перевірок. Специфіка цієї підсистеми зумовлена розробленням алгоритму проведення перевірок за інформаційним ресурсом слідів взуття автоматизованого трасологічного обліку Експертної служби МВС України. Як основу розрахункової підсистеми окремого застосунку програмного комплексу, для порівняння багатовимірних матриць із закодованими даними елементів рисунку зображень слідів взуття та їх одномасштабних розмірів в основному файлі інформаційного ресурсу, використовують методи аналізу ієрархій.

Дистрибутив другого окремого програмного застосунку, як і окремого застосунку програмного комплексу, роботу якого висвітлено в Повідомленні 1 зазначеної серії статей, містить дві модифікації – .exe-файли розміром 1,7 Мб і 1,4 Гб. У першому випадку програмний застосунок представлений у вигляді виконуваного коду авторського алгоритму, без підключення бібліотек пакета Runtime MATLAB, необхідних для роботи основного програмного блоку. У другій конфігурації всі бібліотеки, потрібні для коректної роботи програмного застосунку, інсталиватимуться автоматично.

Інсталиють програмний застосунок на комп'ютер стандартним способом (Rombovskiy, & Koval, 2023).

Для унаочнення процесів верифікації та аналітичного оброблення даних детально розглянуто

роботу спеціалізованої підсистеми другого ключового компонента комплексу – застосунку з робочою назвою «CompareShoePrints». Цей програмний модуль відповідає за реалізацію процедур порівняльного дослідження слідів взуття в межах сформованого інформаційного ресурсу. Функціонал «CompareShoePrints» не обмежується лише пошуком відповідності; він також забезпечує автоматизацію процесуального оформлення результатів, зокрема створення реєстраційної картки об'єкта обліку.

Технічна організація даних у цьому процесі базується на чіткій файловій структурі, яка передбачає взаємодію двох основних компонентів: основного виконуваного файлу, що містить логіку оброблення запитів, та масиву файлів зображень, що слугують візуальними складниками інтегрованої інформації. Така архітектура дає змогу оптимізувати швидкодію системи під час роботи з великими обсягами графічної інформації.

Для коректної роботи окремого програмного застосунку програмного комплексу функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття «CompareShoePrints» необхідно зберігати структуру каталогів, за якої передбачатимуться допоміжні каталоги «Base» та «Docs» в основному каталозі разом із виконуваним файлом застосунку. Водночас у каталозі «Docs» розміщуватимуться файли у форматі .docx, необхідні для формування вихідних документів (рис. 1).

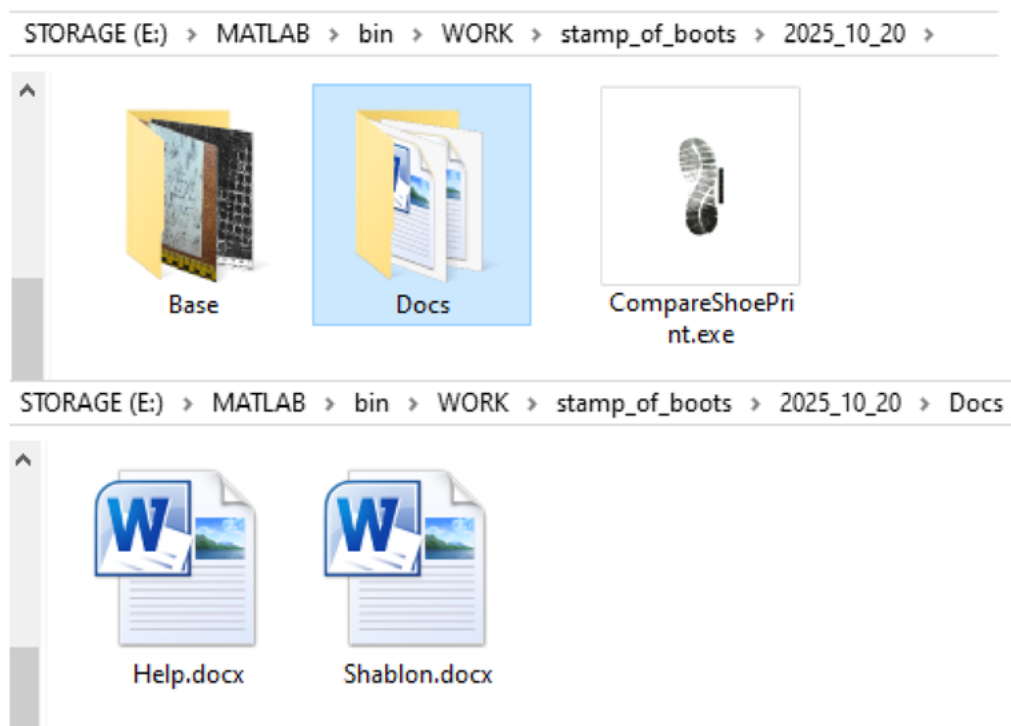


Рис. 1

Структура основного каталогу роботи програмного застосунку «CompareShoePrints» і каталогу «Docs» (скріншот надали розробники застосунку)

У клієнтській частині програмного застосунку реалізовано такі функції: виклик інформаційного вікна відображення даних про програмний застосунок; завантаження та огляд інструкції з роботи програмного застосунку у форматі .docx; завантаження та відображення даних інформаційного ресурсу; формування та можливість ог-

ляду реєстраційної картки за даними інформаційного ресурсу; проведення перевірки слідів взуття за кодуванням сліду за допомогою шаблону назв елементів рисунка сліду взуття та єдиного масштабу для зображень слідів взуття; відображення результатів перевірки за інформаційним ресурсом (рис. 2).

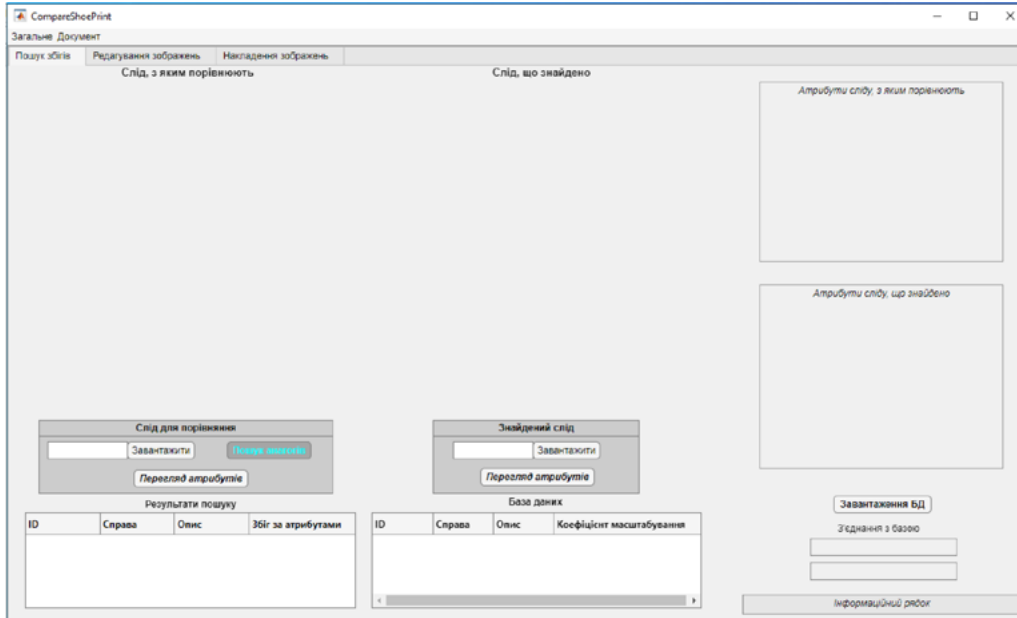


Рис. 2

Інтерфейс окремого застосунку програмного комплексу (скріншот надали розробники застосунку)

Виклик інформаційного вікна відображення даних про програмний застосунок, завантаження та огляд інструкції з роботи програмного застосунку у форматі .docx здійснюється за допомогою команд панелі меню «Загальне» (рис. 3).

Для завантаження основного файлу інформаційного ресурсу необхідно натиснути кнопку «Завантаження БД», результат відобразиться у вигляді таблиці (див. рис. 4, область «База даних»). Далі в користувача є можливість за допомогою клавіатури або маніпулятора «миша» обрати справу з інформаційного ресурсу, виділивши відповідну

комірку таблиці, після чого номер справи відобразиться в полі для редагування (див. рис. 4, область «Слід для порівняння»), а відповідне зображення в певній області інтерфейсу (див. рис. 4, область «Слід, з яким порівнюють»). Якщо каталогу «Base» або основного файлу myBase немає, відобразиться інформація про відсутність таких даних (рис. 2, область «Інформаційний рядок»). Кнопку «Завантажити» використовують для завантаження справи після набору шляху вручну в полі для редагування (див. рис. 4, область «Слід для порівняння»).

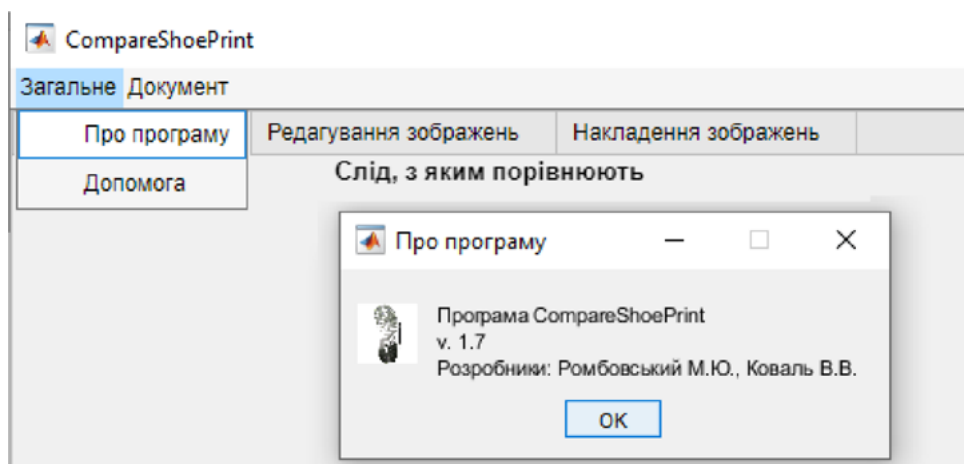


Рис. 3

Приклад роботи панелі меню «Загальне» (скріншот надали розробники застосунку)

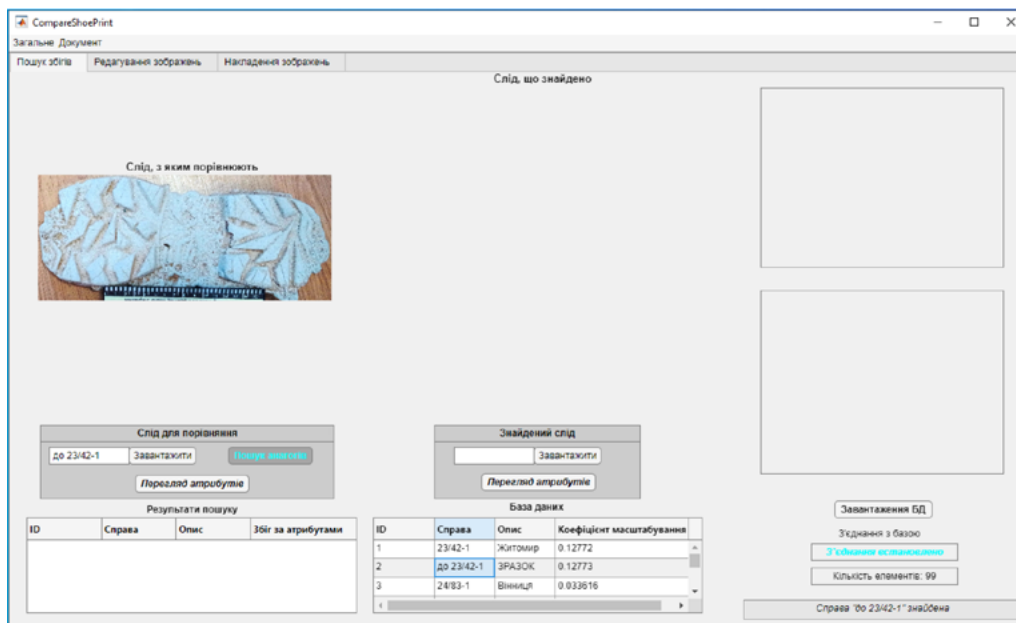


Рис. 4

Результати завантаження основного файлу даних інформаційного ресурсу та відображення зображення сліду взуття, що обрав користувач за цими даними (скріншот надали розробники застосунку)

За необхідності модулем генерації створюють реєстраційну картку сліду взуття: за допомогою панелі меню «Документ» вкладки команди додатка «Сформувати документ» та вкладки «Реєстраційна картка». Проглянути створені реєстраційні картки можна через вкладку команди додатка «Проглянути документ» панелі меню «Документ» (рис. 5).

Форму для створення реєстраційної картки відповідно до вимог Інструкції з організації функ-

ціонування криміналістичних обліків експертної служби МВС України³ реалізовано в окремому застосунку програмного комплексу, який дає змогу формувати інформаційний ресурс зображень слідів взуття для подальших перевірок у межах функціонування автоматизованого трасологічного обліку слідів взуття Експертної служби МВС України, про який ідеться в Повідомленні 1 (Rombovskiy et al., 2025) запропонованої серії публікацій (рис. 6).

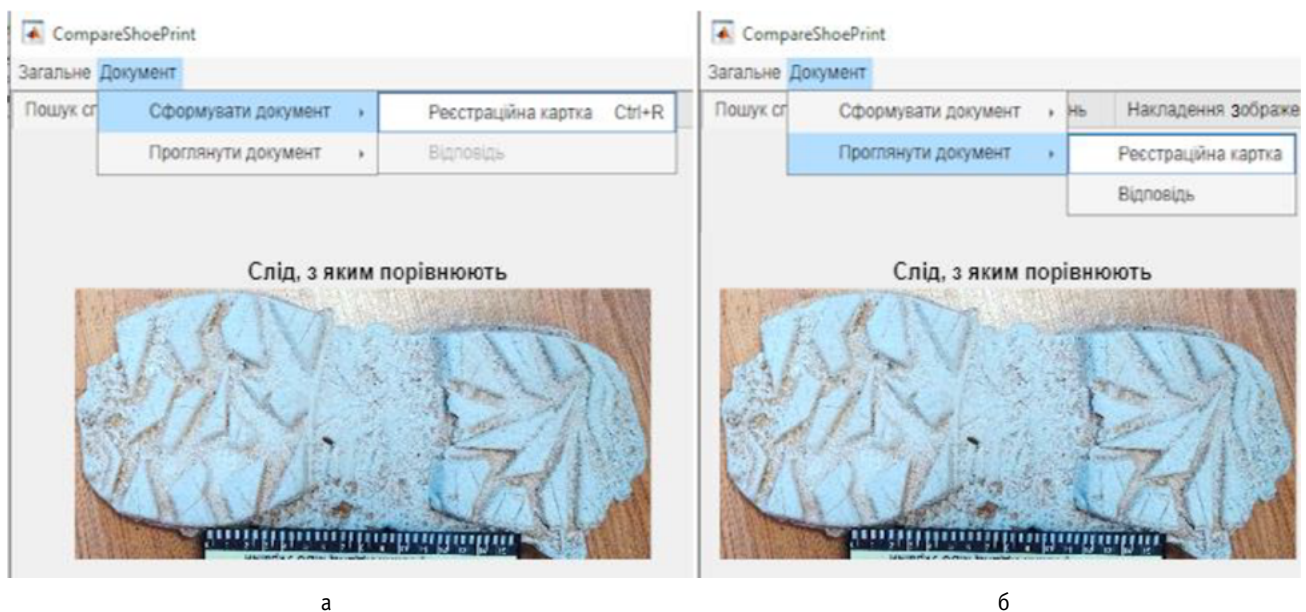


Рис. 5

Команди додатка панелі меню «Документ»: а – «Сформувати документ»; б – «Проглянути документ» (скріншот надали розробники застосунку)

³ Наказ Міністерства внутрішніх справ України № 390 «Про затвердження Інструкції з організації функціонування криміналістичних обліків експертної служби МВС». (2009, Вересень). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0963-09#Text>

Реєстраційна картка

Введіть номер справи: Кількість слідів, придатних для порівняння:

Організація, у якій проведено дослідження: Залишилося слідів:

МРЛО, на території якого здійснено злочин: Відомості про умови слідоутворення:

Дата вчинення злочину: Реквізити висновку експерта, П. І. Б. експерта:

Фабула: П. І. Б. працівника, який проводив перевірку:

Кримінальне провадження: Посада працівника, який заповнив картку:

П. І. Б. спеціаліста: П. І. Б. працівника, який заповнив картку:

Виявлено слідів: Дата заповнення:

OK Cancel

Рис. 6
Форма для створення реєстраційної картки (скріншот надали розробники застосунку)

CompareShoePrint

Загальне Документ

Пошук збігів Редагування зображень Накладення зображень

Слід, з яким порівнюють Слід, що знайдено

Слід для порівняння: до 23/42-1 Завантажити Переглянути атрибути

Знайдений слід: 24/83-1 Завантажити

Результати пошуку

ID	Справа	Опис	Збіг за атрибутами
2	до 23/42-1	ЗРАЗОК	true
1	23/42-1	Житомир	=
2	до 23/42-1	ЗРАЗОК	=
3	24/83-1	Вінниця	<

База даних

ID	Справа	Опис	Коефіцієнт масштабування
1	23/42-1	Житомир	0.12772
2	до 23/42-1	ЗРАЗОК	0.12773
3	24/83-1	Вінниця	0.033616

Завантаження БД Кількість елементів: 99

Справу "24/83-1" знайдено

Рис. 7
Результати завантаження даних інформаційного ресурсу за результатами перевірки та відображення зображення сліду взуття, обраного користувачем за цими результатами (скріншот надали розробники застосунку)

Перевіряють обраний слід за інформаційним ресурсом, натискаючи кнопку «Пошук аналогів» (див. рис. 7, область «Слід для порівняння»). Результат перевірки відобразатиметься у вигляді таблиці (див. рис. 7, область «Результати пошуку»).

У розробленому алгоритмі верифікації та порівняльного аналізування слідів взуття ключову роль відіграє аналізування взаємозв'язків між об'єктом (запит), що досліджується, та об'єктом, збереженим в інформаційному ресурсі (еталон).

Результат зіставлення фаз перекриття – областей, де наявні спільні ознаки, – візуалізується в інтерфейсі програми через систему логічних операторів рівності та нерівності ($=$, $<$, $>$). Слід зазначити, що ці символи використовують як умовні способи відображення результатів у стовпчику (див. рис. 7, область «Результати пошуку», стовпчик «Збіг за атрибутами»). Ці оператори визначають характер розміщення та метричного співвідношення множин точок двох зображень:

логічний вираз « \Rightarrow » застосовують, коли фази перекриття досліджуваного сліду й об'єкта з інформаційного ресурсу характеризуються абсолютною тотожністю. Тобто множина ознак запиту та множина ознак еталона повністю збігаються як за морфологічними, так і за розмірними характеристиками. Такий результат свідчить про повний збіг ознак слідів взуття, що є підставою для висновку про їхнє спільне походження від одного слідоутворювального об'єкта без необхідності зважати на втрачені фрагменти;

оператор « \ll » описує ситуацію фрагментарного збігу, коли досліджуваний об'єкт є лише частиною (підмножиною) більш повного об'єкта, що міститься в інформаційному ресурсі. Математично це інтерпретується як відношення включення, де площа та інформаційна насиченість досліджуваного сліду менші за відповідні параметри еталона, але водночас усі наявні ознаки сліду відображаються в еталоні. Такий сценарій найбільш типовий для практики, оскільки на місці події нерідко виявляють неповний (фрагментарний) слід взуття;

оператор « \gg » характеризує стан, за якого досліджуваний об'єкт повністю покриває (поглинає) об'єкт з інформаційного ресурсу, виходячи за його межі. У цьому випадку множина ознак еталона є підмножиною ознак досліджуваного сліду. Це

означає, що наданий на дослідження слід містить більший обсяг інформації (більшу площу, додаткові елементи), ніж збережений у системі еталон. Така ситуація можлива, наприклад, якщо в інформаційному ресурсі зберігався раніше вилучений фрагментарний слід, а нове дослідження проводиться за більш «повним» слідом.

Користувач за допомогою клавіатури або миші обирає справу зі знайдених під час перевірки, підсвічуючи відповідну комірку таблиці, після чого номер справи відображатиметься в полі для редагування (див. рис. 7, область «Знайдений слід»), а відповідне зображення в певній області інтерфейсу (див. рис. 7, область «Слід, що знайдено»). Кнопку «Завантажити» використовують для завантаження справи після набору шляху вручну в полі для редагування (див. рис. 7, область «Знайдений слід»).

Перегляд кодування, здійсненого за допомогою шаблону назв елементарних рисунків і внесених значень їхніх розмірних характеристик в єдиному масштабі, для зображень об'єктів, що порівнюються, здійснюють кнопками «Перегляд атрибутів» (див. рис. 8, область «Слід для порівняння») та «Знайдений слід»). Результати відображені у двох прямокутних областях, що праворуч у вікні програми (див. рис. 8, позиція 1 і 2).

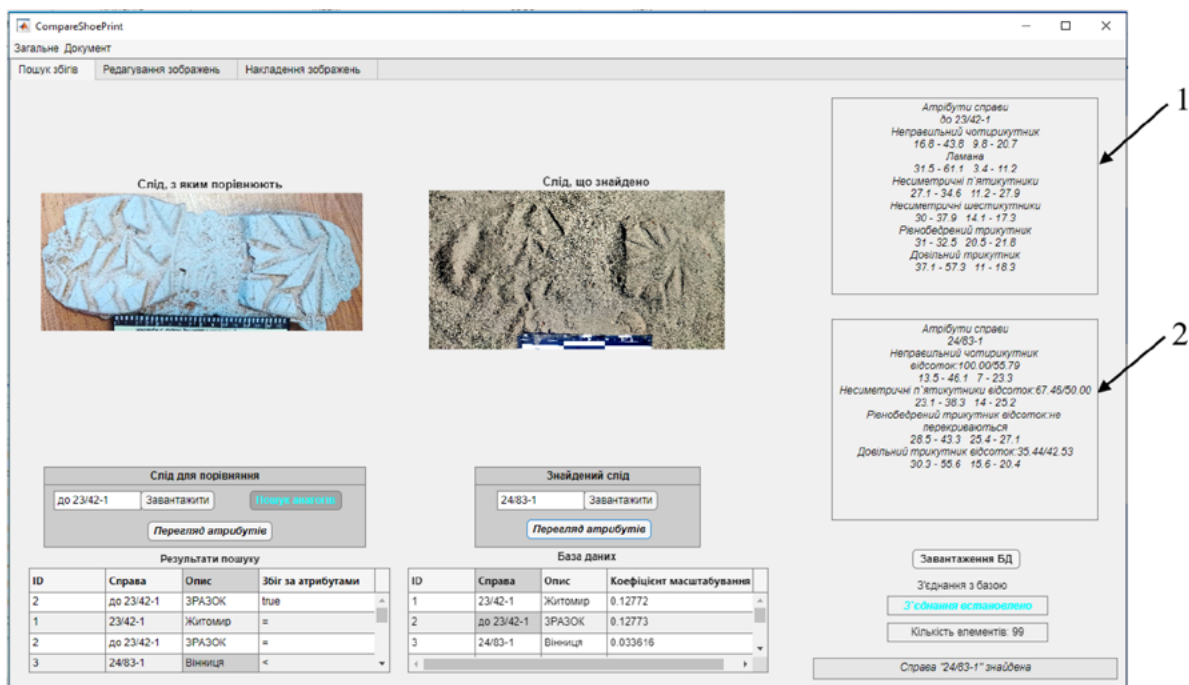


Рис. 8

Результати завантаження даних інформаційного ресурсу за підсумками перевірки:

- 1 – область відображення кодування і внесених значень розмірних характеристик сліду, для якого здійснюють пошук;
- 2 – область відображення кодування, унесених значень розмірних характеристик і відсоток перекриття фазового простору розмірних характеристик сліду, обраного за результатами пошуку (скріншот надали розробники застосунку)

Ключовим аналітичним показником, що генерується системою, є відсоток перекриття фазового простору розмірних характеристик (див. рис. 8, по-

зиція 2). Цей кількісний критерій відображає ступінь кореляції між множиною ознак запиту та множиною ознак еталона з інформаційного ресурсу.

Розрахунок відсоткового значення базується на обчисленні площі перетину фаз (спільних областей) та їхнього відношення до загальної площі інформативних ділянок досліджуваного об'єкта.

Здобутий числовий коефіцієнт (індекс подібності) слугує об'єктивним критерієм для ранжування результатів пошуку. Високий відсоток перекриття сигналізує про значну ймовірність тотожності об'єктів, надаючи фахівцю математично обґрунтовану підставу для формулювання висновку (результату) про наявність або відсутність тотожності.

Щоб вийти з програмного застосунку, натискають «X» угорі праворуч.

Запропонована спеціалізована підсистема окремого застосунку програмного комплексу дає змогу проводити верифікацію та порівняльне аналізування слідів взуття, здійснювати перевірки слідів взуття в межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Аналізуванню спеціалізованої підсистеми окремого застосунку програмного комплексу, який відповідає за редагування зображень слідів взуття та формування відповіді, присвячуватиметься наступна публікація (Повідомлення 3) із серії запланованих за порушеною проблематикою.

Поряд з окресленими функціональними перевагами спеціалізованої підсистеми окремого застосунку програмного комплексу є й недоліки, що потребують усунення в процесі подальшого її розроблення, а саме: великий розмір одного з видів дистрибутивних файлів, що пов'язано зі значною кількістю додаткових бібліотек, необхідних для роботи програмного застосунку, зумовлюючи підвищені вимоги до дискового простору та ускладнюючи процес передавання й оновлення програмного забезпечення; індикація відсоткових показників збігу (кореляції) не повною мірою відповідає вимогам до зручності сприйняття складної аналітичної інформації; недостатня функціональність інструментарію для роботи з отриманими вибірками – бракує гнучких механізмів багатофакторної фільтрації та систематизації результатів пошуку, що ускладнює роботу фахівця під час оброблення великих масивів потенційних збігів; локальний характер функціонування системи, що унеможлиблює одночасну роботу кількох користувачів з єдиною актуальною базою даних у режимі реального часу; відсутність моду-

лів інтеграції із сучасними промисловими системами керування базами даних, як-от PostgreSQL⁴ або Oracle⁵, що обмежує можливості масштабування ресурсу, забезпечення цілісності даних та їх захисту на рівні корпоративних стандартів (e.g., ДСТУ 27037:2017)⁶, необхідних для побудови повноцінної інформаційної системи.

Висновки

Схарактеризовано основні ідеї та принципи, що становлять підґрунтя роботи спеціалізованої підсистеми окремого застосунку оригінального програмного комплексу, визначено завдання, зокрема, створення: зручної системи оброблення даних дослідження; алгоритму верифікації та порівняльного аналізування слідів взуття, проведення перевірки; модуля генерації реєстраційної картки для зображень слідів взуття за попередньо введеними даними, форма якої відповідає вимогам чинного законодавства; системи виводу результатів перевірки за інформаційним ресурсом у межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Роботу програмного застосунку унаочнено на прикладі проведення перевірки за інформаційним ресурсом зображень слідів взуття, створеного в межах функціонування автоматизованого криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Окреслено напрями подальших досліджень – удосконалення клієнтської частини окремого застосунку програмного комплексу, розширення форми подання даних для підвищення зручності сприйняття складної аналітичної інформації; розширення функціональності інструментарію для роботи з отриманими вибірками, створення мережевої версії програмного комплексу з можливістю інтеграції із сучасними промисловими системами керування масивами даних.

Подяки

Немає.

Фінансування

Дослідження не отримувало фінансування.

Конфлікт інтересів

Члени авторського колективу (М. Ю. Ромбовський та М. А. Майер) є працівниками установ Експертної служби МВС України.

⁴ PostgreSQL PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database. (n.d.). <https://www.postgresql.org/>

⁵ Oracle. (n.d.). <https://www.oracle.com/ua/>

⁶ ТК «Банківські та фінансові системи і технології» (ТК 105). (2019). *Інформаційні технології. Методи захисту. Настанови для ідентифікації, збирання, здобуття та збереження цифрових доказів (ISO/IEC 27037:2012, IDT)*. ДП «УкрНДНЦ». https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74978

References

- [1] Babu, S. B. G. T., & Rao, C. S. (2022). An optimized technique for copy-move forgery localization using statistical features. *ICT Express*, 8(2), 244–249.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ict.2021.08.016>
- [2] Basak, I., & Saaty, T. (1993) Group decision making using the analytic hierarchy process. *Mathematical and Computer Modelling*, 17(4–5), 101–109.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90179-3](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90179-3)
- [3] Bozókı, S., Fülöp, J., & Rónyai, L. (2010). On optimal completion of incomplete pairwise comparison matrices. *Mathematical and Computer Modelling*, 52(1–2), 318–333.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.02.047>
- [4] Cavallo, B., & D'Apuzzo, L. (2009). A general unified framework for pairwise comparison matrices in multicriterial methods. *International Journal of Intelligent Systems*, 24(4), 377–398.
DOI: <https://doi.org/10.1002/int.20329>
- [5] Cavallo, B., Ishizaka, A., Olivieri, M. G., & Squillante, M. (2019). Comparing inconsistency of pairwise comparison matrices depending on entries. *Journal of the Operational Research Society*, 70(5), 842–850.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1464427>
- [6] Cavallo, B., Mazurek, J., & Ramík, J. (2023). A comparative study on precision of pairwise comparison matrices. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 23(2), 179–198.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10700-023-09416-4>
- [7] Dua, S., Singh, J., & Parthasarathy, H. (2020). Detection and localization of forgery using statistics of DCT and Fourier components. *Signal processing: Image Communication*, (82), 115778.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.image.2020.115778>
- [8] Jain, A. K., Nandakumar, K., & Ross, A. (2016). 50 years of biometric research: Accomplishments, challenges, and opportunities. *Pattern Recognition Letters*, (79), 80–105.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.12.013>
- [9] He, X., Cai, D., Liu, H., & Han, J. (2005). Image clustering with tensor representation. *Proceedings of the 13th ACM International Conference on Multimedia*, 132–140.
DOI: <https://doi.org/10.1145/1101149.1101169>
- [10] Krämer, N., Moreno-Muñoz, P., Roy, H., & Hauberg, S. (2024). *Gradients of functions of large matrices*. arXiv: 2405.17277.
DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2405.17277>
- [11] Kułakowski, K., Mazurek, J., & Strada, M. (2021). On the similarity between ranking vectors in the pairwise comparison method. *Journal of the Operational Research Society*, 73(9), 2080–2089.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1947754>
- [12] Li, R. Y. M., Chau, K. W., & Zeng, F. F. (2019). Ranking of Risks for Existing and New Building Works. *Sustainability*, 11(10), 2863.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su11102863>
- [13] Magnot, J., Mazurek, J., & Cernanová, V. (2023). A gradient method for inconsistency reduction of pairwise comparisons matrices. *International Journal of Approximate Reasoning*, (152), 46–58.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2022.10.005>
- [14] Nazari, N. M., & Samandari, N. (2025). Practical applications of homogeneous coordinates in image transformations using MATLAB. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 16(1), 63–80.
DOI: <https://doi.org/10.61841/turcomat.v16i1.15087>
- [15] Nguyen, V.-D., Abed-Meraim, K., & Linh-Trung, N. (2016). Fast tensor decompositions for big data processing. *2016 IEEE 13th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing, 13th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, 13th International Conference on Scalable Computing and Communications and Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom-CBDCom-IoP-SmartWorld)*, 215–221.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ATC.2016.7764776>
- [16] Ni, T., Zaccariotto, M., Zhu, Q., & Galvanetto, U. (2023). *Matrix-based implementation and GPU acceleration of linearized ordinary state-based peridynamic models in MATLAB*. arXiv:2309.11273.
DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2309.11273>
- [17] Reddy, R., Kompala, N., & Ravi, N. (2017). Digital image processing through parallel computing in single-core and multi-core systems using MATLAB. *2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 462–465.
DOI: <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256639>
- [18] Rombovskiy, M. Yu., & Koval, V. V. (2023). Avtomatyzatsiia vyznachennia hustyny ploskykh ob'ektiv zi skladnym konturom poverkhni yak zahalnoi oznaky u kryminalistychnykh doslidzhenniakh [Automation of determining density of flat objects with complex surface contours as a general feature in forensic investigations]. *Kryminalistychnyi visnyk*, 40(2), 88–97 [in Ukrainian].
DOI: <https://doi.org/10.37025/1992-4437/2023-40-2-88>
- [19] Rombovskiy, M. Yu., Koval, V. V., & Maiier M. A. (2025). Avtomatyzatsiia kryminalistychnoho trasolohichnoho obliku slidiv vzuttia. Povidomlennia 1. Stvorennia okremoho zastosunku prohramnoho kompleksu avtomatyzovanoho trasolohichnoho obliku slidiv vzuttia dlia formuvannia informatsiinoho resursu ekspertnoi sluzhby MVS Ukrainy [Automation of criminalistic footwear trace registration in the forensic service. Report 1. Creation a dedicated application of the software suite for automated footwear trace registration for form an information resource of the ministry of internal affairs of Ukraine]. *Kryminalistychnyi visnyk*, 44(2), 100–110 [in Ukrainian].
DOI: <https://doi.org/10.37025/1992-4437/2025-44-2-100>

- [20] Sayadi, A., Shajari, B., & Janicki, R. (2025). Minimizing Inconsistency in Pairwise Comparison Matrices Using Genetic Algorithm. In *59th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)* (pp. 1–6). IEEE.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ciss64860.2025.10944754>
- [21] Srdjevic, B., & Srdjevic, Z. (2023). Prioritisation in the analytic hierarchy process for real and generated comparison matrices. *Expert Systems with Applications*, (225), 120015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120015>
- [22] Tekile, H., Brunelli, M., & Fedrizzi, M. (2023). A numerical comparative study of completion methods for pairwise comparison matrices. *Operations Research Perspectives*, (10), 100272.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2023.100272>
- [23] Torabi, T., Gutleb, T. S., & Ortner, C. (2024). *Fast automatically differentiable matrix functions and applications in molecular simulations*. arXiv: 2412.12598.
DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2412.12598>
- [24] Wang, J.-L., Huang, T.-Z., Zhao, X.-L., Jiang, T.-X., & Ng, M. K. (2021). Multi-dimensional visual data completion via low-rank tensor representation under coupled transform. *IEEE Transactions on Image Processing*, (30), 3581–3596.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2021.3062995>
- [25] Zitova, B., & Flusser, J. (2003). Image registration methods: a survey. *Image and Vision Computing*, 21(11), 977–1000.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(03\)00137-9](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(03)00137-9)

Список використаних джерел

- [1] Babu S. B. G. T., Rao C. S. An optimized technique for copy-move forgery localization using statistical features. *ICT Express*. 2022. Vol. 8(2). P. 244–249.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.08.016>
- [2] Basak I., Saaty T. Group decision making using the analytic hierarchy process. *Mathematical and Computer Modelling*. 1993. No 17(4–5). P. 101–109.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90179-3](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90179-3)
- [3] Bozóki S., Fülöp J., Rónyai L. On optimal completion of incomplete pairwise comparison matrices. *Mathematical and Computer Modelling*. 2010. No 52(1–2). P. 318–333.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.02.047>
- [4] Cavallo B., D'Apuzzo L. A general unified framework for pairwise comparison matrices in multicriterial methods. *International Journal of Intelligent Systems*. 2009. No 24(4). P. 377–398.
DOI: <https://doi.org/10.1002/int.20329>
- [5] Cavallo B., Ishizaka A., Olivieri M. G., Squillante M. Comparing inconsistency of pairwise comparison matrices depending on entries. *Journal of the Operational Research Society*. 2019. No 70(5). P. 842–850.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1464427>
- [6] Cavallo B., Mazurek J., Ramík J. A comparative study on precision of pairwise comparison matrices. *Fuzzy Optimization and Decision Making*. 2023. No 23(2). P. 179–198.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10700-023-09416-4>
- [7] Dua S., Singh J., Parthasarathy H. Detection and localization of forgery using statistics of DCT and Fourier components. *Signal processing: Image Communication*. 2020. No 82. Art. 115778.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.image.2020.115778>
- [8] Jain A. K., Nandakumar K., Ross A. 50 years of biometric research: Accomplishments, challenges, and opportunities. *Pattern Recognition Letters*. 2016. No 79. P. 80–105.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.12.013>
- [9] He X., Cai D., Liu H., Han, J. (2005). Image clustering with tensor representation. *Proceedings of the 13th ACM International Conference on Multimedia*. 2005. P. 132–140.
DOI: <https://doi.org/10.1145/1101149.1101169>
- [10] Krämer N., Moreno-Muñoz P., Roy H., Hauberg, S. (2024). *Gradients of functions of large matrices*. arXiv:2405.17277. 2024.
DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2405.17277>
- [11] Kułakowski K., Mazurek J., Strada M. On the similarity between ranking vectors in the pairwise comparison method. *Journal of the Operational Research Society*. 2021. No 73(9). P. 2080–2089.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1947754>
- [12] Li R. Y. M., Chau K. W., Zeng F. F. Ranking of Risks for Existing and New Building Works. *Sustainability*. 2019. No 11(10). Art. 2863.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su11102863>
- [13] Magnot J., Mazurek J., Cernanová V. A gradient method for inconsistency reduction of pairwise comparisons matrices. *International Journal of Approximate Reasoning*. 2023. No 152. P. 46–58.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2022.10.005>
- [14] Nazari N. M., Samandari N. Practical applications of homogeneous coordinates in image transformations using MATLAB. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*. 2025. No 16(1). P. 63–80.
DOI: <https://doi.org/10.61841/turcomat.v16i1.15087>
- [15] Nguyen V.-D., Abed-Meraim K., Linh-Trung N. Fast tensor decompositions for big data processing. *2016 IEEE 13th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing, 13th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, 13th International Conference on Scalable Computing and Communications and Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom-CBDCom-IoP-SmartWorld)*. 2016. P. 215–221.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ATC.2016.7764776>

- [16] Ni T., Zaccariotto M., Zhu Q., Galvanetto U. *Matrix-based implementation and GPU acceleration of linearized ordinary state-based peridynamic models in MATLAB*. *arXiv:2309.11273*. 2023.
DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2309.11273>
- [17] Reddy R., Kompala N., Ravi N. Digital image processing through parallel computing in single-core and multi-core systems using MATLAB. *2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*. 2017. P. 462–465.
DOI: <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256639>
- [18] Ромбовський М. Ю., Коваль В. В. Автоматизація визначення густини плоских об'єктів зі складним контуром поверхні як загальної ознаки у криміналістичних дослідженнях. *Криміналістичний вісник*. 2023. № 40(2). С. 88–97.
DOI: <https://doi.org/10.37025/1992-4437/2023-40-2-88>
- [19] Ромбовський М. Ю., Коваль В. В., Майер М. А. Автоматизація криміналістичного трасологічного обліку слідів взуття. Повідомлення 1. Створення окремого застосунку програмного комплексу автоматизованого трасологічного обліку слідів взуття для формування інформаційного ресурсу експертної служби МВС України. *Криміналістичний вісник*. 2025. № 44(2). С. 100–110.
DOI: <https://doi.org/10.37025/1992-4437/2025-44-2-100>
- [20] Sayadi A., Shajari B., Janicki R. Minimizing Inconsistency in Pairwise Comparison Matrices Using Genetic Algorithm. *59th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)*, Baltimore, MD, USA, 19–21 March 2025. IEEE. 2025. P. 1–6.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ciss64860.2025.10944754>
- [21] Srdjevic B., Srdjevic Z. Prioritisation in the analytic hierarchy process for real and generated comparison matrices. *Expert Systems with Applications*. 2023. No 225. Art. 120015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120015>
- [22] Tekile H., Brunelli M., Fedrizzi M. A numerical comparative study of completion methods for pairwise comparison matrices. *Operations Research Perspectives*. 2023. No 10. Art. 100272.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2023.100272>
- [23] Torabi T., Gutleb T. S., Ortner C. Fast automatically differentiable matrix functions and applications in molecular simulations. *arXiv:2412.12598*. 2024.
DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2412.12598>
- [24] Wang J.-L., Huang T.-Z., Zhao X.-L., Jiang T.-X., Ng M. K. Multi-dimensional visual data completion via low-rank tensor representation under coupled transform. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2021. No 30. P. 3581–3596.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2021.3062995>
- [25] Zitova B., Flusser J. Image registration methods: a survey. *Image and Vision Computing*. 2003. No 21(11). P. 977–1000.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(03\)00137-9](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(03)00137-9)

M. Rombovsky,

*Cand. Sc. (Physics and Mathematics),
Senior Forensic Expert at Trasological Sector
Research of the forensic research department,
Sumy Scientific Research Forensic Center, MIA of Ukraine
8 Promyslova St., Sumy, 40007, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2296-3452>
email: rombovsky_m@ukr.net
phone: +38(066)959-29-64*

V. Koval,

*Cand. Sc. (Physics and Mathematics),
Senior Lecturer, Department of Cyber Security,
Sumy State University
116 Kharkivska St., Sumy, 40000, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1593-5605>
email: koval_vit@ukr.net*

M. Mayer,

*Deputy Head of the Trace and Fingerprint Accounting Department,
Laboratory of Traceology, Fingerprinting and Accounting,
State Scientific Research Forensic
Center, MIA of Ukraine
4 Velyka Kiltseva St., Petropavlivska Borshchahivka Vlg,
Buchanskyi Dist., Kiev Region, 08130, Ukraine
email: maksimmayer@gmail.com*

**AUTOMATION OF CRIMINALISTIC FOOTWEAR TRACE
REGISTRATION IN THE FORENSIC SERVICE
REPORT 2
CREATION OF A SUBSYSTEM OF A DEDICATED APPLICATION
OF THE SOFTWARE SUITE FOR AUTOMATED FOOTWEAR TRACE
REGISTRATION FOR CONDUCTING A CHECK
ON THE INFORMATION RESOURCE OF THE EXPERT SERVICE
OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF UKRAINE**

Abstract. This research, which continues a series of publications on the functioning of automated footwear trace registration, outlines the operational features of a specialized subsystem within a standalone application. Developed on the MATLAB programming and numerical computing platform, this software complex enables the verification, comparative analysis, and searching of footwear trace images within a dedicated information resource. The study justifies the feasibility of this system for forensic applications. A registration card form is presented, designed in accordance with regulatory requirements to facilitate the systematic formation of an image database for the Expert Service of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine. The research utilizes a multifaceted methodology, including mathematical methods for data acquisition and transformation, logical analysis and synthesis, statistical methods to identify interactions between data elements, and generalization. The core of the application is based on the comparison of multidimensional matrices containing encoded data of footwear pattern elements and their single-scale dimensions. The software environment incorporates the MATLAB platform and the Image Processing Toolbox. The scientific novelty lies in the justification of a specialized subsystem of an original software complex for conducting searches within the automated traceology database of the MIA Expert Service. The study defines key objectives: developing a user-friendly data processing system, a verification algorithm, a module for generating registration cards that comply with current legislation, and a results output system. The application's operation is demonstrated through a practical example of image searching. Future research directions include enhancing the client interface, expanding data presentation formats for complex analytical information, and developing a network version with integration capabilities for modern industrial database management systems.

Keywords: graphic image; general characteristic; coding; MATLAB; Image Processing Toolbox; analytic hierarchy process; pairwise comparison matrices.