

Система обробки відбитків пальців

Желудков^f В. Д., ORCID [0000-0002-1268-5305](https://orcid.org/0000-0002-1268-5305)

Терещенко Т. О., д.т.н. проф., ORCID [0000-0003-4009-2854](https://orcid.org/0000-0003-4009-2854)

Ямненко Ю. С., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-9796-6420](https://orcid.org/0000-0002-9796-6420)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)

Київ, Україна

Анотація—Досліджено особливості обробки зображень відбитків пальців (дактилоскопічних зображень). Наведено критерії вибору діапазонів дискретизації та квантування зображень. Вирішені питання зменшення розміру зображення відбитку пальця при збільшенні контрастності зображення. Зменшення обсягу зображення базується на використанні інтерполяції. Показано, що серед розглянутих методів інтерполяції - лінійної, білінійної та бікубічної - остання має найбільшу точність. Однак, при значенні роздільної здатності (dpi) менше 150 спостерігається наявність значної кількості артефактів на зображенні. Підвищення різкості можливо досягти в результаті застосування оператора Лапласа (обчислення Лапласіану) та додавання результату до початкового зображення. Виконання цієї операції дозволяє отримати прийнятний баланс між швидкістю та обчислювальною складністю алгоритму розпізнавання відбитків пальців. Наведена технічна реалізація пристрою та ілюстрація його роботи.

Ключові слова — зображення відбитків пальців; інтерполяція; оператор Лапласа.

I. ВСТУП

Обробка сигналів є одним з найважливіших застосунків сьогодишньої електроніки, що передбачає отримання, передавання, аналіз, обробку та збереження інформації. Одним із практичних застосувань обробки сигналів є розпізнавання зображень відбитків пальців. Система ідентифікації особи за відбитками пальців є загально розповсюдженою у правоохоронних органах та прикордонній службі [1]. Це також важливо у сфері систем контролю та управління доступом (СКУД), комерційних пристроях, де безпека даних є не менш важливою, ніж надійність роботи та швидкість виконання алгоритмів обробки [2]. Дедалі більшого розповсюдження набуває інтеграція системи зчитування й обробки біометричних даних в смартфонах та ідентифікаційних застосуваннях різноманітного призначення, в тому числі індивідуальних. Існує можливість проведення дерматогліфічних досліджень на базі відбитків пальців людини.

Як зазначено в [3], існуючі на даний час системи обробки дактилоскопічних зображень (ДЗ) характеризуються низьким ступенем готовності до вирішення задач автоматичного розпізнавання відбитків пальців та неможливістю провести оновлення існуючого обладнання. Тому задача розвитку теорії обробки ДЗ та розробка систем ідентифікації осіб за відбитками пальців залишається актуальною [4].

Дослідженню та аналізу методів розпізнавання та алгоритмів зняття відбитків пальців присвячені праці [5, 6].

Обробка та розпізнавання цифрових зображень відбитків пов'язані з певною неоднозначністю, якщо

порівнюватися між собою будуть цифрові зображення [7,8,9]. На правильність ідентифікації у випадку цифрового представлення зображення будуть негативно впливати нечіткі або «змазані» ділянки, що можна розглядати як шуми [10]. Через це в більшості практичних застосувань для розпізнавання дактилоскопічних зображень розглядаються не цифрові зображення відбитків, а дактилоскопічні шаблони, що отримуються внаслідок певної математичної обробки зображень. Шаблони можуть зберігати загальні та особисті ознаки зображення, дані про щільність, товщину й напрямок папілярних ліній, розмір і розташування пор, тощо. Існують два основних методи обробки шаблонів - виявлення мутацій [11] та використання нейронних мереж [12]. Для порівняння шаблонів використовують методи циліндричного коду [13], способи порівняння по кількості гребнів між контрольними точками [14], ідентифікації за розміром і розташуванням пор [15] та використовують метод порівняння на основі триангуляції Делоне [16].

Для поліпшення якості ДЗ можуть бути використані спектральні методи обробки біотелеметричної інформації, зокрема використання узгоджених фільтрів [17] та вейвлет-перетворення для фільтрації зображень [18]. Покращення якості зображень відбитків пальців досягається за допомогою розрідженого подання на основі багатомасштабних патчів [19] або змін в прихованій розмітці між аналізом і порівнянням [20]. Для зменшення шумів використовують медіанну фільтрацію зображень [21-24], ітеративні фільтри [25], методи частотної фільтрації [26].

Для збільшення ефективності роботи ідентифікаційних систем, поліпшення швидкісних і якісних ха-



характеристик порівняння в роботі запропоновано ввести етап обробки вихідного зображення відбитку. Представлена стаття присвячена розробці теорії та практичній реалізації першого етапу формування шаблонів — обробки зображення відбитку пальців з метою зменшення обсягу зображення і підвищення його контрастності.

Метою роботи є визначення перспективних методів покращення якості та контрастності зображень і створення на цій основі системи обробки зображень відбитків пальців на базі мікроконтролера stm32f407 з ядром CortexM.

II. ОБРОБКА ДАКТИЛОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

A. Визначення максимального обсягу пам'яті для ДЗ

З метою визначення кількості біт зображення необхідно провести дискретизацію та квантування зображень.

Дискретизація та квантування являють собою загальні методи отримання цифрового зображення з аналогового, яке зчитується з сенсору напряму або опосередковано. Ці процеси відбуваються незалежно один від одного. Цифрове зображення відбитка розглядається у вигляді матриці значень яскравості:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1, N-1) \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де M, N – граничні координати по вертикальній та горизонтальній осі. Значення кожного елемента матриці (1) визначається яскравістю відповідного пікселя. Такий підхід дозволяє оперувати цифровим представленням зображення та зберігати або модифікувати його при цифровій обробці [27]. Для оцифрування потрібно визначити значення M та N , а також значення максимальної яскравості L з урахуванням вимог щодо роздільної здатності (чіткості зображення), з одного боку, та обмежень щодо обчислювальних ресурсів — з іншого боку.

Максимальне значення яскравості для зручності обирають у вигляді ступеня числа два, тобто:

$$L = 2^k. \quad (2)$$

де параметр k визначає діапазон дискретних значень яскравості: $f(x, y) \in [0, 2^k]$ і визначається особливостями задачі аналізу графічного зображення.

У залежності від обраного параметра k загальна кількість біт, необхідна для зберігання зображення, становить:

$$b = M \cdot N \cdot k, \quad (3)$$

Таким чином, обсяг пам'яті, який необхідно відвести для запам'ятовування ДЗ, становить $b/8$ байт.

B. Зменшення обсягу файлу ДЗ

Зменшення обсягу файлу дактилоскопічного зображення здійснюється за допомогою інтерполяції,

в результаті якої скорочується кількість дискретних значень функції – інтерпольована функція описується меншою кількістю значень. Проміжні значення за необхідності визначаються відповідно до обраного методу інтерполяції.

Розрізняють декілька методів інтерполяції.

- Лінійна інтерполяція (за найближчим сусідом). Цей метод передбачає, що лінійні розміри початкового та перетвореного зображення співпадають. Для будь-якого пікселя копії береться найближчий піксель оригіналу, і значення його яскравості (в деяких застосуваннях – кольору) переноситься до пікселя копії. Таким чином формується масштабоване зображення. Недоліком цього методу є висока ймовірність появи на зображенні артефактів, що погіршує його якість та заважає правильній ідентифікації.
- Білінійна інтерполяція. Цей метод передбачає, що функція яскравості для кожного пікселя перетвореного зображення з координатами x та y залежить від параметрів чотирьох найближчих пікселів у початковому зображенні:

$$f(x, y) = ax + by + cx + d. \quad (4)$$

У (4) числові коефіцієнти a, b, c, d , отримані в результаті розв'язання системи рівнянь для чотирьох пікселів оригінального зображення.

Метод білінійної інтерполяції забезпечує більшу точність порівняно з методом інтерполяції за найближчим сусідом.

- Бікубична інтерполяція. Цей метод передбачає, що функція яскравості для кожного пікселя перетвореного зображення визначається з урахуванням параметрів найближчих 16 пікселів у початковому зображенні:

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j, \quad (5)$$

де a_{ij} – коефіцієнти, що визначаються з системи рівнянь для шістнадцяти найближчих пікселів.

Метод бікубичної інтерполяції потребує більше апаратних ресурсів, але при цьому здатний забезпечити більшу чіткість зображення.

Результати порівняння методів зведено в табл. 1.

ТАБЛИЦЯ 1 Порівняння методів інтерполяції

Метод інтерполяції	Показник порівняння		
	Час обробки при 160 МГц	Якість ДЗ після обробки	Обсяг пам'яті для ДЗ
Лінійна	12 нс/піксель*	Найнижча, ДЗ містить багато артефактів	Однаковий для трьох методів
Білінійна	48 нс/піксель*	Середня	
Бікубична	172 нс/піксель*	Найкраща	

*Дані наведені для ДЗ розміром 278x288 пікселів.



Як видно з табл. 1, найбільшим часом обробки характеризується метод бікубічної інтерполяції. Це пов'язано з тим, що для визначення яскравості пікселя необхідно вирішувати систему з 16 рівнянь. Для порівняння — при білінійній інтерполяції складається система з 4 рівнянь.

Якість ДЗ після обробки залежить від методу інтерполяції та ступеня стиснення зображення. Порівняння вихідних та інтерпольованих зображень при різних методах інтерполяції показало, що лінійна інтерполяція за найближчим сусідом дає досить значні артефакти, які значно зменшуються у двох наступних методах [28].

Для оцінки впливу ступеня стиснення на якість зображення скористуємось прикладами тестових зображень, які наведені в [28], для щільності зображення від 1250 dpi (Dots Per Inch) до 72 dpi. При зміні нижнього порогу масштабування до 150 dpi чіткість зображення для всіх трьох методів інтерполяції задовільна. Однак при падінні параметра dpi нижче за 150 відбувається стрімке збільшення кількості артефактів на зображенні [28].

Для ДЗ, що досліджувалися, при ширині зображення в 1 дюйм становить 288 dpi. При стисненні зображення в два рази щільність становить 144 dpi, що близько до рекомендованої величини в 150 dpi. Таким чином, обираємо стиснення ДЗ при інтерполяції в 2 рази.

Обсяг внутрішньої пам'яті для ДЗ практично однаковий для всіх трьох методів інтерполяції. При обсязі ДЗ у кілька кілобайтів різниця для різних методів інтерполяції складає кілька байт.

С. Збільшення контрастності

Підвищення різкості ДЗ необхідно для підкреслення яскравості переходів, а отже — для збільшення частки вірних розпізнавань зображень. В основі алгоритму підвищення різкості лежить операція диференціювання зображення. Керуючись міркуваннями, що:

- 1) підвищення різкості є протилежним до розфокусування;
- 2) розфокусування пов'язано з операцією інтегрування;
- 3) зворотною до інтегрування є операція диференціювання, можна припустити, що застосування до зображення операції просторового диференціювання дозволить підвищити його різкість.

Величина похідної у кожній точці зображення знаходиться у прямій пропорційній залежності від рівня розривності у цій точці. Отже, це дає можливість відокремити ділянки, що містять різкі зміни та розриви на ділянках «змазаних» фрагментів зображення від ділянок, де яскравість є незмінною або змінюється повільно.

Похідна для двовимірної функції $f(x, y)$ визначається оператором Лапласа, [29].

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{d^2 f}{dy^2}, \quad (6)$$

де у випадку дискретної функції $f(x, y)$ часткові похідні дорівнюють:

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = f(x+1, y) - f(x-1, y) - 2f(x, y), \quad (7)$$

$$\frac{d^2 f}{dy^2} = f(x, y+1) - f(x, y-1) - 2f(x, y). \quad (8)$$

Двовимірний Лапласіан дискретної функції двох змінних визначається наступним чином:

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x, y+1) + f(x, y-1) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y). \quad (9)$$

Результат другої похідної суттєво відрізняється для ділянок зображення з різкими змінами яскравості — він значно більший, ніж для ділянок з повільно змінною яскравістю. Зображення, перетворене в результаті застосування оператора Лапласа, містить сірі області на місці чітких контурів, геометричних завад та ділянок з розривами яскравості. Ділянки з незмінною або повільно змінною яскравістю набувають однакового темного кольору.

Такі ділянки можна відновити до оригінального зображення зі збереженням досягнутого ефекту збільшення різкості. Цього можна досягти шляхом додавання перетвореного та початкового зображень:

$$g(x, y) = f(x, y) + \nabla^2 f(x, y), \quad (10)$$

де $f(x, y)$ — початкове зображення, $g(x, y)$ — перетворене зображення, що має підвищену різкість як результат застосування Лапласіана.

III. Технічна реалізація системи обробки відбитків пальців

Система обробки відбитків пальців виконана на базі мікроконтролера STM32F407 з ядром CortexM, рис. 1. Саме в блоці мікроконтролера реалізовано розглянуті вище спосіб зменшення обсягу ДЗ та підвищення різкості за допомогою застосування Лапласіана.

Система обробки містить сканер FPM10A, мікроконтролер STM32F407, дисплей 240x320 TFT LCD та лабораторний блок живлення ВАКУ ВК-1502DD.

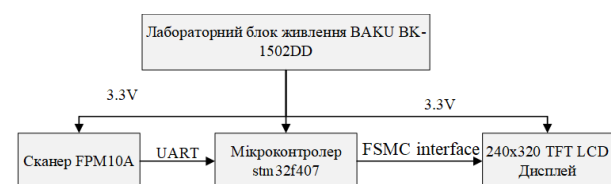


Рис. 1. Структурна схема системи обробки відбитків пальців

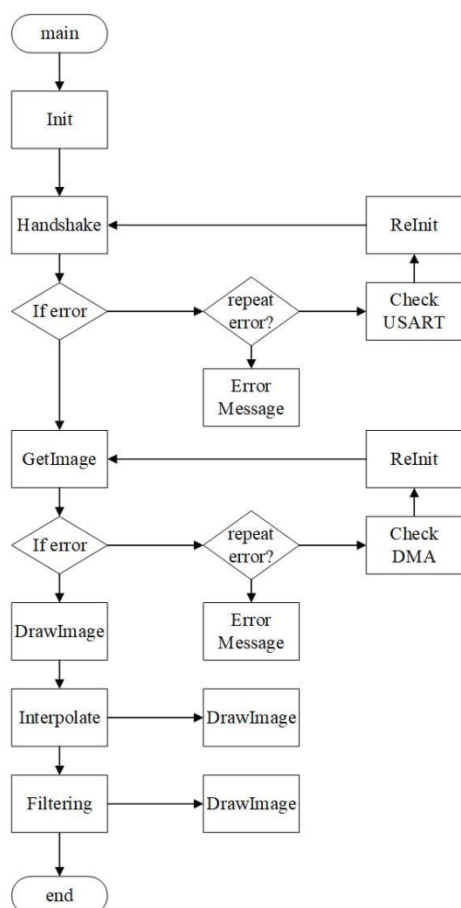


Рис. 2. Алгоритм роботи пристрою

Сканер відбитків пальців емісійного типу порівняно з оптичним забезпечує більшу продуктивність та частку вірних розпізнавань, однак з огляду на ціну для розробки демонстраційного екземпляру пристрою розглядався сканер оптичного типу [30].

Зображення зі сканера являє собою двовимірний масив, в якому кожен два сусідні пікселі кодуються одним байтом даних. Нехай початкове зображення має розмірність 277x288. Розмір такого зображення становить 40032 байти. Далі зображення передається по інтерфейсу UART на мікропроцесор STM32F407, де і відбувається обробка зображення (інтерполяція та підвищення контрастності). Зменшене у 2 рази зображення з підвищеною контрастністю подається для візуалізації на дисплей 240x320 TFT LCD.

Розробка програмного забезпечення базується на функціях обробки зображення, отриманого від сканера відбитку пальця:

- інтерполяція зображення для його стиснення;
- підвищення різкості зображення (виділення контрасту переходів) шляхом застосування оператора Лапласа.

Алгоритм програми наведено на рис. 2, де позначено:

- main – головна точка входу у програму;

- Init – ініціалізація периферійних систем та системи переривань;
- Handshake – функція перевірки стану сканера;
- GetImage – видача запиту на отримання зображення відбитку пальця від сканера;
- DrawImage – функція виводу зображення на LCD дисплей;
- Interpolate – функція інтерполяції зображення;
- Filtering – фільтрація зображення фільтром Лапласа;
- ReInit – функція повторної ініціалізації системи у разі помилки у роботі;
- CheckUSART – функція повторної ініціалізації блока USART (Universal synchronous/asynchronous receiver transmitter);
- CheckDMA – функція повторної ініціалізації блока DMA (Direct Memory Access);
- ErrorMessage – функція відправки повідомлення про аварійне завершення роботи системи;
- end – кінець роботи програми.

Ілюстрація роботи пристрою наведена на рис. 3, а-в. Зі сканера макету пристрою знято зображення відбитку пальця (рис. 3,а) На рис. 3,б показано інтерпольоване зображення. Для наочності інтерпольоване зображення суміщене з вхідним – на рис. 3, б інтерпольоване зображення виділене другим кольором. Розмір зображення після інтерполяції зменшено в 2 рази. На рис.3,б стрілка вказує на інтерпольоване зображення в більшому масштабі. На рис. 2,в наведено ДЗ після обробки двовимірної функції після застосування оператора Лапласа та обробки інтерпольованого зображення за (10). Так само, як і для рис. 3,б, на рис. 3,в також приведено зображення в більшому масштабі. На рис.3,в чіткіше видно переходи між впадинами і виступами папілярного візерунка, ніж на рис.3,б.

Розроблена система обробки відбитків пальців є модульно-сумісною. За необхідності її можна замінити на набір сканувальних модулів, які взаємодіють із центральним блоком керування (комп'ютером, мікроконтролером або мікрокомп'ютером). Сфера призначення даного пристрою – системи контролю та управління доступом.

Порівнюючи дану систему з аналогами, можна відмітити наступні риси:

- 1) Загальне енергоспоживання системи становить близько 370 мВт. Зменшення споживання можливо досягти шляхом оптимізації програмної частини, а також за рахунок використання сканера емісійного типу.

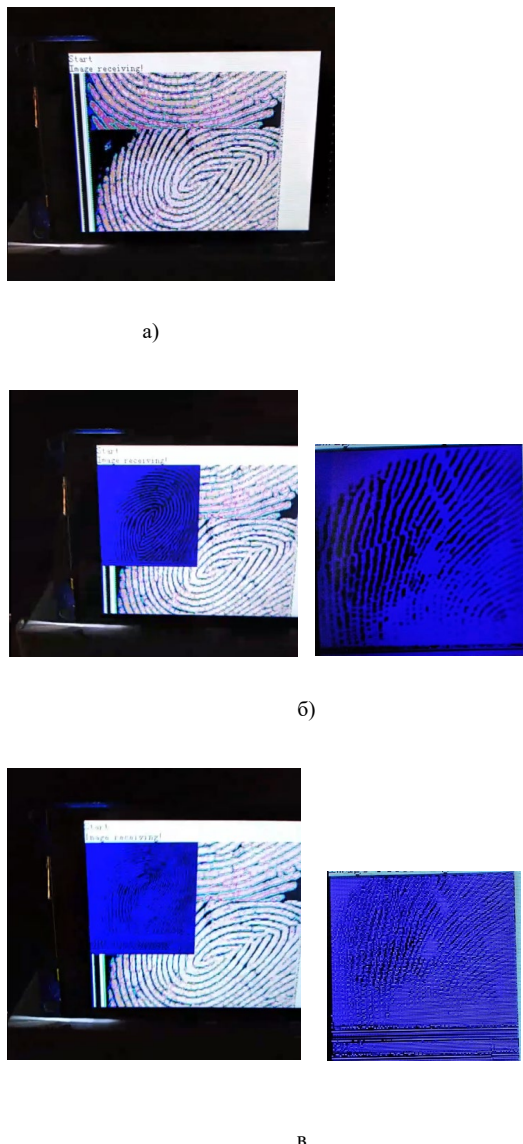


Рис. 3: а – вихідне ДЗ, б – масштабоване, в – з підвищеною контрастністю

- 2) Швидкодія системи не є дуже високою: близько 3 с відбувається отримання зображення від сканера. Щоб підвищити швидкодію, планується змінити обчислювальне ядро пристрою з метою підвищення тактової частоти.
- 3) Вартість системи є досить низькою — у середньому в 3-4 рази менше порівняно з аналогами.

Таким чином, розроблена система забезпечує надійне розпізнавання дактилоскопічних зображень, при цьому її швидкодія, енергоспоживання та вартість є конкурентоздатними параметрами на ринку.

ВИСНОВКИ

Серед розглянутих методів інтерполяції (лінійна, білінійна та бікубічна) найбільшу точність забезпечує метод бікубічної інтерполяції, хоча він і потребує

більше апаратних ресурсів. При зменшенні роздільної здатності нижче 150 відбувається стрімке збільшення кількості артефактів на зображенні. Тому було обрано стиснення зображення в два рази. Таким чином при перетворенні зображення не отримуються значні артефакти.

Підвищення різкості зображення забезпечується застосуванням оператора Лапласа. Це дозволяє виділити на зображенні ділянки з розривами, шумами та різкими перепадами яскравості.

Важливою вимогою є економічність системи — реалізація на базі мікроконтролера stm32f407. Об'єм коду становить не більш 100 кБ, підвищення якості (контрастності) зображення на менш як 20%, зменшення обсягу зображення – приблизно вдвічі. Розбіжність між результатами, отриманими для експериментального зразка системи та теоретичними розрахунками не перевищує 20%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Lepihova D. N., Gudkov V. Ju., Kirsanova A. A. "Obzor sovremennyh modelej predstavlenija daktiloskopicheskikh izobrazhenij" *Vestnik JuUrGU. Serija: Vychislitel'naja matematika i informatika*. vol. 7, no. 1. pp. 40-59, 2018. DOI: [10.14529/cmse180104](https://doi.org/10.14529/cmse180104)
- [2] Bolle R. M., Connel J. Y., Pankanti S., Ratha N. K., "Guide to biometrics", *Springer-Verlag, New York*, 2004, 368 pp. DOI: [10.1007/978-1-4757-4036-3](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4036-3)
- [3] Roz'jasnennja schodo sistemi avtomatichnogo rozpoznavannja vidbitkiv pal'tsiv. Gruden', 2020 URL: <https://www.euam-ukraine.eu/ua/news/opinion/explanation-on-automated-fingerprints-identification-system/>
- [4] N. M. Egli Anthonioz and C. Champod "Evidence evaluation in fingerprint comparison and automated fingerprint identification systems – modeling between finger variability" *Forensic Science International* vol. 235 pp. 86-101 2014. DOI: [10.1016/j.forsciint.2013.12.003](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.12.003)
- [5] Kai Cao and Anil K. Jain "Learning fingerprint recognition: from minutiae to image" *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* vol. 10 no. 1 pp. 104-117 2015. DOI: [10.1109/TIFS.2014.2363951](https://doi.org/10.1109/TIFS.2014.2363951)
- [6] Yue Nan Li "Robust content fingerprinting algorithm based on sparse coding" *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 22 no. 9 pp. 1254-1258, 2015. DOI: [10.1109/LSP.2015.2395726](https://doi.org/10.1109/LSP.2015.2395726)
- [7] A. Jain Y. Chen and S. Dass "Fingerprint quality indices for predicting authentication performance " in *5th International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication Rye Brook NY July 20-22 2005*. DOI: [10.1007/11527923_17](https://doi.org/10.1007/11527923_17)
- [8] S. J. Elliott and N. C. Sickler "An evaluation of fingerprint image quality across an elderly population vis-a-vis an 18-25-year-old population " paper presented at the International Carnahan Conference on Security Technology Las Palmas Gran Canaria October 12-14 2005. DOI: [10.1109/CCST.2005.1594817](https://doi.org/10.1109/CCST.2005.1594817)
- [9] D. Maltoni D. Maio A. Jain and S. Prabhakar *Handbook of Fingerprint Recognition* New York NY USA:Springer 2009. ISBN 978-1-84882-254-2
- [10] Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S., *Handbook of fingerprint recognition*, Springer-Verlag, New York, 2009, 494 p. DOI: [10.1007/978-1-84882-254-2](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-254-2)



- [11] Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital image processing. 2006. 1072 p.
- [12] Cao K., Jain A. K. "Latent Orientation Field Estimation via Convolutional Neural Network". *Proceedings of the 2015 International Conference on Biometrics ICB, Phuket, Thailand*, May 2015. pp. 349–356. DOI: [10.1109/ICB.2015.7139060](https://doi.org/10.1109/ICB.2015.7139060)
- [13] Capelli R., Ferrara M., Maltoni D. "Fingerprint Indexing Based on Minutia Cylinder-Code". *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2011. vol. 33, no. 5, pp. 1051–1057. DOI: [10.1109/TPAMI.2010.228](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2010.228)
- [14] Choi H., Choi K., Kim J. "Fingerprint Matching Incorporating Ridge Features With Minutiae". *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 2011. vol. 6, no. 2, pp. 338–345. DOI: [10.1109/TIFS.2010.2103940](https://doi.org/10.1109/TIFS.2010.2103940)
- [15] Segundo M. P., Lemes R. "Pore-based Ridge Reconstruction for Fingerprint Recognition". In *Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW 2015)*. 7-12 June 2015, Boston, Massachusetts, USA. 2015. pp. 128–133. DOI: [10.1109/CVPRW.2015.7301328](https://doi.org/10.1109/CVPRW.2015.7301328)
- [16] Bebis G., Deaconu T., Georgiopoulos M. "Fingerprint Identification Using Delaunay Triangulation". *Proceedings of the International Conference on Information Intelligence and Systems* (Bethesda, MD, USA, 31 Oct.–3 Nov., 1999). 1999. pp. 452–459. DOI: [10.1109/ICIIS.1999.810315](https://doi.org/10.1109/ICIIS.1999.810315)
- [17] Tereshchenko T. O., Jamnenko Ju. S. "Spektral'ni metodi obrobki biotelemetričnoї informatsii" *Jelektronika ta zv'jazok*. vol. 21 no. 4. pp. 38, 2016. DOI: [10.20535/2312-1807.2016.21.4.81904](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2016.21.4.81904)
- [18] T. O. Tereshchenko, Ju. S. Jamnenko, O. L. Mel'nichenko, M. V. Panchenko "Veĵvlet-peretvorennya dlja fil'tratsii zobrazhen' iz videokamer sposterezhenja" *Vcheni zapiski Tavrijs'kogo natsional'nogo universitetu imeni V. I. Vernads'kogo*. Serija : Tehnichni nauki. vol. 29(68), no. 3(2). pp. 14-18, 2018.
URL http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/3_2018/part_2/5.pdf
- [19] Manhua Liu Xiaoying Chen and Xiaoduan Wang "Latent fingerprint enhancement via multi-scale patch based sparse representation" *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* vol. 10 no. 1 pp. 6-15 2015. DOI: [10.1109/TIFS.2014.2360582](https://doi.org/10.1109/TIFS.2014.2360582)
- [20] Bradford T. Ulery R. Austin Hicklin Maria Antonia Roberts and JoAnn Buscaglia "Changes in latent fingerprint examiners' markup between analysis and comparison" *Forensic Science International* vol. 247 pp. 54-61 2015. DOI: [10.1016/j.forsciint.2014.11.021](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.11.021)
- [21] Kwame Osei Boateng, Benjamin Weyori Asubam and David Sanka Laar "Improving the Effectiveness of the Median Filter" *International Journal of Electronics and Communication Engineering*. ISSN 0974-2166 vol. 5, no. 1, pp. 85-97, 2018. © International Research Publication House
URL: <http://www.irphouse.com>
- [22] Liu Pengyu Ha Rui and Jia Kebin "Improved adaptive median filter and its' application" *Journal of Beijing University of Technology* vol. 43 no. 4 pp. 581-586 2017. DOI: [10.11936/bjtxb2016060006](https://doi.org/10.11936/bjtxb2016060006)
- [23] Hongming Zhang, Yongping Wang, and Chuang Peng "Ameliorated mean adaptive median filtering algorithm" *E3S Web of Conferences* 118, 02069 (2019), pp. 1-4
DOI: [10.1051/e3sconf/201911802069](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911802069)
- [24] Chen Xiao and Tang Shihua "Application of improved median filtering in the image denoising" *Geospatial Information* vol. 13, no. 6, pp. 77-78, 2015. Corpus ID: 123277359
- [25] Uğur Erkan, Dang Ngoc Hoang Thanh, Le Minh Hieu and Serdar Enginoğlu "An Iterative Mean Filter for Image Denoising" November 2019, *IEEE Access* 7:167847 - 167859
DOI: [10.1109/ACCESS.2019.2953924](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953924)
- [26] Jacqueline A. Speir and Jack Hietpas "Frequency filtering to suppress background noise in fingerprint evidence: quantifying the fidelity of digitally enhanced fingerprint images" *Forensic Science International* vol. 242 no. 9 pp. 94-102 2014. DOI: [10.1016/j.forsciint.2014.06.026](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.06.026) Corpus ID: 64431
- [27] Solomon C. J., Breckon T. P. *Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in Matlab*. Wiley-Blackwell, 2010. ISBN: 0470844736, DOI: [10.1002/9780470689776](https://doi.org/10.1002/9780470689776)
- [28] Wilhelm Burger, Mark J. Burge. *Digital Image Processing: An Algorithmic Approach Using Java* Springer, 2007. ISBN 978-1-4471-6684-9
- [29] Arnol'd V.I. Lektsii ob uravnenijah s chastnymi proizvodnymi M.: MTsNMO. 2017. 182 p. ISBN 978-5-4439-3174-6
- [30] "Skaner otpechatkov pal'tsev: kak eto rabotajet? Kakoj luchshe - jemkostnyj, opticheskij ili ul'trazvukovoj?"
URL https://krc.ua/blog/skaner_vidbitkiv_palciv_yak_ce_pracyuye_ua_kij_krashhe_yemmisnij_optichnij_chi_ultrazvukovij_htm

Надійшла до редакції 30 червня 2021 р.

Прийнята до друку 30 липня 2021 р.



Dactylogram Processing System

V. D. Zheludkov^f, ORCID [0000-0002-1268-5305](https://orcid.org/0000-0002-1268-5305)

T. O. Tereshchenko, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0003-4009-2854](https://orcid.org/0000-0003-4009-2854)

Yu. S. Yamnenko, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0002-9796-6420](https://orcid.org/0000-0002-9796-6420)

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)
Kyiv, Ukraine

Abstract—Recognition of fingerprints (dactyloscopic images) is one of the practical application of signal processing. System of person identification by fingerprints is commonly-used by law enforcement bodies and Border services. This is also important in the field of access control systems and commercial devices where data security is not less important as reliability and data rate of processing algorithms. Existing systems of fingerprints processing are not fully ready for automatic recognition. Also, full modernization of existing equipment is not possible. The paper is devoted to the method of image processing. In particular, the preliminary processing of dactyloscopic images is considered as well as development of theoretical approach and practical realization of first stage of patterns forming — pre-processing of image for decreasing of its size and contrast increasing. The criteria for selecting ranges for sampling and quantization of images are given. Tasks of reducing the fingerprint image while increasing the contrast of the image were considered, analyzed and solved. Image reduction is based on the use of interpolation. It is shown that among the considered interpolation methods — linear, bilinear and bicubic - the latter one could provide the highest accuracy although it needs more hardware resources. However, when the dpi parameter (dots-per-inch) falls below 150, a rapid increase in the number of artifacts in the image is observed.

Increasing of image sharpness is necessary for highlighting of colour transitions and consequently — for increasing the percentage of correct recognitions. Such increasing of image sharpness is proposed to achieve by using the Laplace operator (Laplacian calculation) and adding the result to the original image. The value of derivative at each pixel of the image depends linearly on sharpness level. Thus, it allows separating the areas with abrupt colour changes and gaps from the areas where the brightness is constant or changes slowly. The result of second derivative is much more for the areas with sharp changes than for the areas without them. The areas with constant or slowly-changing brightness after the second derivative calculation become almost the same dark colour. These areas could be restored to original image with retention of sharpness increasing effect. For this, transformed by Laplacian image should be added to the original one. Use of Laplacian allows to get an acceptable balance between the speed and computational complexity of the fingerprint recognition algorithm.

The technical implementation of the device and illustration of its operation are given. Fingerprints image processing system is executed on the base of STM32f407 microcontroller with CortexM core. The system includes capacitive scanner, TFT LCD display and lab power source. The microcontroller software realizes, in particular, interpolation and contrast increasing. The system is module-compatible and able for scaling.

Keywords — *fingerprint image; interpolation; Laplace operator.*

