

**М. А. Назаркевич**

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ БІОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА ПІДСТАВІ ФІЛЬТРАЦІЇ АТЕВ-ГАБОРОМ

Розроблено біометричні методів ідентифікації на підставі нових методів фільтрації. Встановлено, що системи біометричної ідентифікації потребують постійного вдосконалення, позаяк дуже часто працюють повільно і видають неточний результат. Для підвищення надійності розпізнавання біометричних зображень досліджено метод, який містить такі етапи: сегментацію, нормалізацію, оцінювання локальної орієнтації, локальне оцінювання, оцінювання частоти хребтів, реалізація фільтра Габора, бінаризація, потоншення. Запропоновано новий метод фільтрації, який базується на нових видах функцій – Атеб-функціях, які використовують поряд з фільтром Габора. Локальну орієнтацію обчислюють з локальних градієнтів із застосуванням функції арктангенсу. Процес нормалізації проводять для рівномірного перерозподілу значень інтенсивності зображення. При сегментації відбувається відокремлення ділянок переднього плану на зображенні від фонових ділянок. Розроблено новий метод вейвлет-перетворення фільтрації біометричних зображень на підставі Атеб-Габора. Фільтр Габора застосовують при лінійній фільтрації та дає змогу покращити якість перетвореного зображення. Також використано операції симетрії, вейвлет-перетворення для зменшення кількості необхідних операцій множення та додавання. Метод базується на загальновідомому фільтрі Габора та дає змогу перебудувати зображення із чіткішими контурами. Застосування цього методу до біометричних зображень є доцільним, адже створення чітких контурів є особливо актуальне. При фільтрації Габором відбувається реконструкція зображення шляхом множення гармонійної функції на функцію Гауса. Атеб-функції є узагальненням елементарної тригонометрії, і, відповідно, володіють більшою функціональністю. Виявлено, що фільтрування Атеб-Gabor дає змогу змінювати інтенсивність всього зображення, а також інтенсивність у певних діапазонах, і таким чином зробити певні ділянки зображення контрастнішими. Фільтрація Атеб-функціями дає можливість змінювати зображення від двох раціональних параметрів. Це дає можливість гнучкіше керувати фільтрацією та вибирати оптимальні варіанти. При виконанні потоншення, стираються пікселі переднього плану, доки не залишиться одного пікселя завширшки. Використовується стандартний алгоритм проріджування, або ж розроблені авторами проріджування в інших дослідженнях. Ця фільтрація забезпечить більш точні характеристики, оскільки дає змогу отримати більш похилі форми та дає змогу організувати ширший діапазон кривих. Численні експериментальні дослідження свідчать про ефективність запропонованого методу.

Ключові слова: фільтрація; фільтр Габора; ідентифікація; біометричні зображення; Атеб-Габор.

Вступ

З розвитком інформаційних технологій, біометрика широко проникла в наш побут. Системи біометричної ідентифікації потребують постійного вдосконалення, адже працюють ще досить повільно та часто дають неpravильний результат.

Перевірка особистості стала невід'ємною частиною повсякденного життя людей. Вхід до комп'ютерів або електронних рахунків, використання банкоматів та отримання дозволу на вхід до банку – це, як правило, тільки деякі з найпоширеніших випадків, коли необхідна перевірка особи. Існує багато способів підтвердити особу. Використання пароля є на сьогодні найпопулярніше, але це застарілий метод, оскільки біометричні показники, стають ключем для ідентифікації особи. Біометрія – це показники, пов'язані з характеристиками людини. Біометричні ідентифікатори – це вимірювані характеристики, що використовуються для маркування та опису людей. До фізіологічних ідентифікаторів належать відбитки пальців, і які вже широко використовуються. Існують розробки нових методів аналізу відбитків пальців, які сканують безконтактно. Як результат цього з'явилися професійні системи для розпізнавання, сучасні системи спостереження і контролю доступу, які

все точніше ідентифікують окремо взяті фрагменти біометрики.

За даними International Biometric Group, частка систем розпізнавання за відбитками пальців становить 52 % від всіх використовуваних у світі біометричних систем [15]. У завданнях розпізнавання питання фільтрації зображень є актуальним, оскільки не завжди розпізнавання призводить до визначених результатів та є якісним. У завданнях розпізнавання біометричних даних програма повинна видавати результат через певні проміжки часу [3].

Постановка завдання дослідження полягає у розробленні нових методів фільтрації на підставі Атеб-Габора, який дає можливість провести ідентифікацію за коротші проміжки часу завдяки більш універсальній фільтрації та обробці перед ідентифікацією.

Об'єкт дослідження – розпізнавання біометричних зображень.

Предмет дослідження – методи і засоби розпізнавання біометричних зображень, що забезпечить реконструкцію зображення шляхом множення гармонійної функції на функцію Гауса.

Мета роботи – розроблення нового методу фільтрації на підставі Атеб-Габора та реалізація ідентифікації біометричних зображень, що дасть змогу значно частіше отримувати визначені та якісні результати їх розпізнавання.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати стан проблеми;
- проаналізувати недоліки фільтрації, які існують на сьогодні;
- розробити новий метод фільтрації, показати результати фільтрації
- здійснити ідентифікацію біометричних зображень.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше розроблено новий фільтр Атеб-Габора та систему ідентифікації відбитків пальців із його застосуванням, що дає змогу здійснити реконструкцію зображення шляхом множення гармонійної функції на функцію Гауса.

Практична значущість результатів дослідження – розроблений універсальний метод фільтрації об'єднує багаторазову фільтрацію в одну, що забезпечить більш точні характеристики розпізнавання біометричних зображень, оскільки дає змогу отримати більш похилі форми та дає змогу організувати ширший діапазон кривих.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Комп'ютерне бачення зору і передавання даних для різних предметних областей інформаційної інфраструктури у сучасному світі стрімко зростає у зв'язку із збільшенням використання інформації та потреби її захисту, а також реалізації інформаційно-аналітичних систем [5].

Відбитки пальців складають одну з найважливіших категорій індивідуального біометричного захисту інформації. Розроблено багато нових методів ідентифікації та систем з використанням відбитків пальців [1].

Перевірка відбитків пальців є одним із найнадійніших методів ідентифікації особи. Однак, ручна перевірка ідентифікації особи є трудомістка і дорога, і не здатна задовольнити зростаючі сучасні вимоги до продуктивності. Широко потрібна автоматична система ідентифікації відбитків пальців (AFIS). Це відіграє дуже важливу роль у судових процесах, таких як розслідування злочинів, доступ до контролю та перевірки карт банкомату. У цій роботі описано дизайн та реалізацію он-лайн системи перевірки відбитків пальців, яка працює у два етапи: деталі вилучення особливих точок та ідентифікація [2].

У роботі [6] показано алгоритм класифікації відбитків пальців. Відбитки пальців класифікуються на п'ять категорій: арка, тентована арка, ліва петля, права петля та виток. Алгоритм виявляє особливі точки (ядра і дельти) на зображенні відбитка пальця та виконує класифікацію на підставі кількості та розташування виявлених особливих точок. Класифікатор є незмінним щодо обертання, перекладу та невеликої кількості масштабу зміни. Класифікатор базується на правилах, де правила генеруються незалежно від заданого набору даних. Класифікатор був протестований на 4000 зображеннях у базі даних NIST-4 та на 5400 зображеннях у базі даних NIST-9. Для бази даних NIST-4, точність класифікації становить 85,4 % для п'яти категорій та 91,1 % для чотирьох категорій (з аркою та тентованою аркою, розміщеними в одній категорії). Використовуючи опцію відхилення, похибка класифікації чотирьох класів може бути зменшена до менш ніж 6 % при відхиленні 10 % зображень з відбитками пальців. Подібні результати класифікації отримані за базою даних NIST-9 алгоритм, запропонований Ratha et al., який є набагато швидшим та на-

дійнішим, реалізований для вилучення функцій із вхідного зображення відбитка пальця, зробленого в режимі онлайн. Розроблений метод здатний визначати відповідність між вхідним зображенням та збереженим шаблоном, не вдаючись до пошуку і і неточних трансформацій між відбитками пальців.

На конкурсі FVC2000 було встановлено напрям, де компаніям та науковим установам було запропоновано порівнювати ефективність та відстежувати вдосконалення алгоритмів розпізнавання відбитків пальців. Три бази даних були створені з використанням різних найсучасніших датчиків, а четверта база даних була штучно створена; 11 алгоритмів було ретельно протестовано на чотирьох наборах даних [8].

Для того, щоб забезпечити роботу автоматичної ідентифікації / перевірки відбитків пальців, система буде надійною щодо якості вхідних зображень відбитків пальців, що важливо внести алгоритм поліпшення відбитків пальців в модуль вилучення дрібниць [4].

Матеріали та методи дослідження. При скануванні біометричних даних на зображенні можуть бути присутні шуми, які спотворюють результати розпізнавання. Випадковий шум проявляється у вигляді хаотичних гранулярностей або розташованих чужорідних точок на зображенні. Найпомітніший такий шум на темних областях зображень, оскільки відношення "сигнал/шум" на них буде набагато менше, ніж на світлих ділянках. Будь-яке отримане зображення має ряд недоліків: недостатня різкість зображень, розмитість зображення або деяких деталей. Залежно від типів спотворень розроблено різні методи фільтрації зображень, які застосовуються в конкретних ситуаціях, і забезпечують різну якість відновлення. Використання фільтра в тій чи іншій ситуації залежить і від виду шуму. Найпоширеніший імпульсний шум. У разі впливу імпульсної перешкоди на зображення спостерігаються білі або чорні поміхи, що хаотично розкидані по зображенню. Шум при цьому може розташовуватися не по всьому зображенні, а перешкоди виглядають ізольованими контрастними точками. Сьогодні розроблено велику кількість методів усунення шумів. Кожен окремих метод застосовується для усунення певного типу шуму. Складність знаходження точних рішень породжує різні варіанти наближення методів.

Одним з відомих методів фільтрації є фільтр Габора. Його застосовують при лінійній фільтрації, що дає змогу значно покращити якість перетвореного зображення. Додатково можуть бути використані операції симетрії, антисиметрії та вейвлет-перетворення для зменшення кількості необхідних операцій множення та додавання [14], [9].

Проте на неопрацьованому зображенні через шуми, лінії відбитків можуть спотворюватися, що створює помилки в розпізнаванні. Окрім цього, ідентифікація має відбуватися швидко і тривати лічені хвилини. Для цього зображення покращують, застосовуючи фільтрацію. При цьому знижується зашумленість зображення.

Результати дослідження та їх обговорення

Технологія розпізнавання відбитків пальців. Запропоновано декілька методів орієнтованої фільтрації для поліпшення відбитків зображення, найпоширенішим з них було використання рівномірного симетричного фільтра Габора.

Загально визнаною методикою покращення якості зображень відбитків пальців вважається така: починаючи з нормалізації, яка має на меті визначити середнє значення та дисперсію вхідного зображення, яку потім застосовують для оцінювання локальної орієнтації з метою отримання орієнтації. Використання локальної оцінки частоти, яка має на меті вирівняти результати оцінювання маски області, яка отримується з класифікації кожного блоку в нормалізованому зображенні відбитків пальців на блоки, які можна відкорегувати або які неможливо відновити. Цей крок має на меті визначити, чи має у виконаній області значення, яке є меншим або більшим за поріг. Цей етап визначає вхідне зображення для переходу до наступного етапу або навіть відхиленого. Якщо значення площі більше, тоді вводиться етап, де проводиться фільтрація. Цей етап має на меті визначити значення, щоб воно могло фільтруватися чи ні, що згодом вплине на фільтрацію шуму. Але цей метод вимагає ще одного кроку, який полягає в підвищенні рівня точності в області маски.

Для підвищення надійності розпізнавання було запропоновано багато вдосконалень, проте найефективнішим є метод, який містить декілька етапів:

- 1) сегментація;
- 2) нормалізація;
- 2) оцінювання локальної орієнтації;
- 3) локальне оцінювання;
- 4) оцінювання частоти пагорбів;
- 5) використання фільтра Габора;
- 6) бінаризація;
- 7) потоншення.

Зображення відбитків пальців поділяється на блоки $w \times w$ (зазвичай 8×8 або 16×16) пікселів, які не перекриваються, для яких розраховується локальна орієнтація та локальна частота хребта.

Сегментація. Першим кроком алгоритму покращення відбитків пальців є сегментація зображення. Сегментація – це процес відокремлення ділянок переднього плану на зображенні від фонових його ділянок. Області переднього плану відповідають чіткій області відбитків пальців, що містить хребти та долини, що є ділянкою, яка нас цікавить. Фон відповідає областям поза межами області відбитків пальців, які не містять жодної дійсної інформації про відбитки пальців. Коли алгоритми вилучення деталей застосовуються до фонових областей зображення, це призводить до вилучення шумних і помилкових деталей. Отже, сегментацію використовують для відкидання цих фонових областей, що значно полегшує надійне вилучення дрібних деталей.

У зображенні відбитків пальців фонові області, зазвичай, мають дуже низьке значення дисперсії сірого кольору, тоді як області переднього плану мають значно більшу дисперсію. Отже, метод, заснований на межі відхилення дисперсії, можна використати для виконання сегментації. По-перше, зображення поділяється на блоки і розраховується відмінність сірого кольору для кожного блоку на зображенні. Якщо дисперсія для блоку менша за глобальний поріг, то блоку призначають область фону; в іншому випадку він призначений бути частиною переднього плану. Дисперсію рівня сірого для блоку розміром $W \times W$ визначають як:

$$V(k) = \frac{1}{W^2} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{W-1} (I(i, j) - M(k))^2, \quad (1)$$

де: $V(k)$ – дисперсія для блоку k , $I(i, j)$ – значення рівня сірого кольору в пікселі (i, j) , а $M(k)$ – середнє значення рівня сірого для блоку k .

Розрахунок локальної орієнтації. Поле орієнтації зображення відбитків пальців визначає локальну орієнтацію хребтів, що містяться у відбитку пальця. Орієнтація є основним кроком у процесі вдосконалення, оскільки наступний етап фільтрації Габора спирається на локальну орієнтацію для ефективного покращення зображення відбитків пальців. Метод оцінки найменшого середнього квадрату використовується для обчислення зображення орієнтації.

Локальну орієнтацію можна обчислити з локальних градієнтів із застосуванням функції арктангенсу. Однак, якщо ядра Габора з фіксованою орієнтацією використовуються для фільтрації, то немає потреби в обчисленні точно орієнтації. Всі 8 ядер фільтра налаштовані на такі орієнтації: -90° , $-67,5^\circ$, -45° , $-22,5^\circ$, 0° , $22,5^\circ$, 45° і $67,5^\circ$.

Нормалізація. Процес нормалізації проводять для рівномірного значення інтенсивності зображення відбитків пальців, регулюючи покриття рівня градацій сірого. Процес нормалізації не змінює ясності хребта та долинних структур. Основна мета нормалізації – зменшити розходження значень сірого кольору хребтами і долинами. При нормалізації значення рівня сірого кольору знаходять в певному діапазоні, достатньому для збільшення контрастності та яскравості зображення, що значно полегшить наступні кроки опрацювання зображення.

Такі зображення, як темні, з балансом кольорів або занадто яскраві зображення будуть згенеровані у вигляді гістограми. Метод, який часто використовується для опрацювання гістограм, – це адаптивне вирівнювання гістограми. Цей метод виробляє рівномірну гістограму і є розподілений так, що її часто називають терміном вирівнювання гістограми.

Після проходження процесу нормалізації отримане зображення має хороший контраст, тобто матимемо зображення, яке має розподіл інтенсивності всій площі. Гістограма не демонструє домінуючого піку. Так зображення виглядає краще, а об'єкт – чіткішим.

Нормалізація зображення потрібна для збільшення контрасту між хребтом і долиною на зображеннях відбитків пальців, де процес нормалізації допоможе процесу покращення зображень відбитків пальців.

Фільтрація. При фільтрації зображень намагаються досягти збільшення чіткості. Існує велика кількість фільтрів, яка дає змогу наблизити зображення з чіткими границями. Окрім цього, при оцифруванні зображень присутні шуми. Одним з найрозповсюджених видів фільтрації є фільтр Габора. Він відновлює зображення із виділенням контурів в деякій частоті. Його ядро виглядає як елементи базиса Фур'є, яка помножена на гаусіану. Широке застосування фільтрів Габора для фільтрації обумовлено тим, що він дає сильну реакцію у тих точках зображення, де є компонент із локальними особливостями частоти в просторі та орієнтації.

Наявність алгоритму швидкого перетворення Фур'є для комп'ютерних систем дає змогу перенести оброблення зображень від маніпуляцій з числовими значеннями яскравості окремих пікселів до опрацювання сигналу, що отримується після проведення швидкого пе-

ретворення Фур'є над зображенням. Можливість представлення зображення у вигляді Фур'є-образу дає можливість застосувати фільтри, що застосовуються в обробленні сигналів. Дослідження ефективності частотних фільтрів в обробленні зображень дасть цінну інформацію про особливості їх застосування.

Фільтр Габора виходить модуляцією синусоїди з гаусіани. Для одновимірних (1D) сигналів 1D синусоїда модулюється гаусіаною. Отже, цей фільтр буде реагувати на деяку частоту, але тільки в локалізованій частині сигналу. Нехай $g(z)$ – функція, що визначає фільтр Габора, орієнтований на початок, з σ як просторова частота. Ми можемо переглядати фільтри Габора як:

$$g(z) = e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \cos(2\pi z), \quad (2)$$

де σ^2 – стандартне відхилення гаусівського ядра, яке визначає амплітуду функції, θ – частота коливачів, яка визначається як $\theta = 1/T$, де T – період функції $\cos(2\pi z)$.

Ця формула є добутком гаусіани і періодичної функції, що передбачає поліпшення монотонних областей періодичних зображень. Для застосування фільтрації необхідно знати перераховані вище параметри фільтра Габора. У випадку з відбитками пальців припускають, що періодичність ліній і стандартне відхилення узгоджуються в основному з локальними характеристиками зображення.

Однією зі складностей перетворення Фур'є є те, що значення коефіцієнта Фур'є залежать від цілого зображення. Для обчислення значення Фур'є-образу окремого вектора, використовуються усі пікселі зображення. Якщо розмірковувати в термінах просторових частот, які визначені тільки локально, то це явище можна вважати зміною зображення при переміщенні по ньому. Так, в деякому вікні навколо точки, вузькі полоси виглядають з високою просторовою частотою, а широкі полоси – навпаки, з низькою просторовою частотою. Цих недоліків не мають фільтри Габора. Їх ядра виглядають як елементи базиса Фур'є, що помножені на гаусіани. Отже, фільтри Габора дають сильну реакцію у тих точках зображення, де є компонент з локальними особливостями частоти в просторі та орієнтації.

Для фільтрації зображень використовують двовимірний фільтр Габора. Він представляє собою гармонійну функцію, помножену на функцію Гауса. Двовірний фільтр Габора має вигляд:

$$G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \varphi) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \varphi^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(\frac{2\pi x'}{\lambda + \psi}\right), \quad (3)$$

де $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$, $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$.

У цьому рівнянні λ – довжина хвилі множника косинуса, θ – в градусах, ψ – зсув фаз у градусах, та φ – коефіцієнт стиснення [7]. Формула представляє собою добуток функції Гауса та періодичної функції, що є покращенням монотонних областей періодичних зображень [11]. Для застосування фільтрації необхідно знати перераховані вище параметри фільтра Габора. Для відбитків пальців вважають, що періодичність ліній та стандартні відхилення узгоджуються з локальними характеристиками зображення.

Ширина смуги фільтра, яка визначає діапазон частоти, на який відповідає фільтр, визначається стандартними параметрами відхилення σ_x і σ_y . Оскільки пропускну здатність фільтра налаштована на відповідність локаль-

ній частоті хребта, то можна зробити висновок, що вибір параметрів σ_x і σ_y має бути пов'язаний з частотою хребта.

Недолік використання фіксованих значень полягає в тому, що він змушує пропускну здатність бути постійною, що не враховує варіанти, які можуть виникати у значеннях частоти хребта. Наприклад, якщо до зображення відбитків пальців застосовується фільтр із постійною пропускну здатністю, який демонструє значні зміни значень частоти, це може призвести до неоднорідного посилення або інших артефактів посилення. Отже, замість використання фіксованих значень, вибрано значення $\frac{3}{4}x$ та $\frac{3}{4}y$ які у функції параметра частоти хребта, визначаються як:

$$\sigma_x = k_x F(i, j), \quad \sigma_y = k_y F(i, j),$$

де: F – зображення частоти хребта, k_x є постійною змінною для σ_x , а k_y – постійною змінною для σ_y . Це дає змогу використовувати більш пристосований підхід, оскільки значення σ_x і σ_y тепер можуть бути визначені адаптивно відповідно до локальної частоти хребта зображення відбитків пальців (рис. 1).

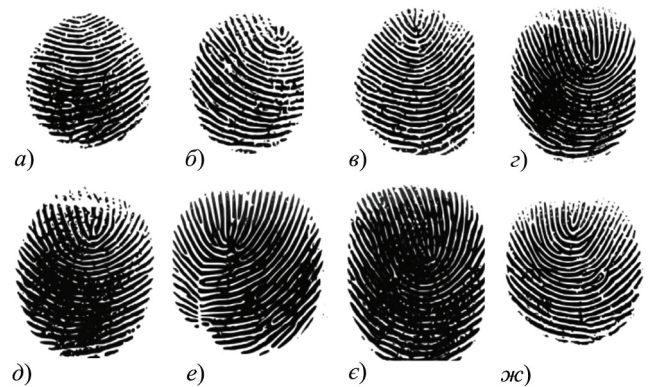


Рис. 1. Зображення відбитків пальців, зроблене за результатом фільтрації Габора

Пошук орієнтації ліній відрізка здійснюється за алгоритмом, описаним Базеном [13]. Основна ідея алгоритму полягає в тому, що градієнт зображення, який відповідає відмінностям від білого до чорного, буде перпендикулярним лініям на відбитках пальців. Щоб протилежно спрямовані вектори не компенсували один одного під час усереднення, розраховуються так звані квадратурні градієнти [12]. Їх напрями усереднюються в кожній області зображення, а потім обчислюються відповідні кути орієнтації ліній відбитків пальців.

Перетворення двійкового зображення. Бінарне перетворення – це процес перетворення зображень рівня сірого в двійкові зображення. У двійкових зображеннях є тільки два рівні, а саме чорні пікселі та білі пікселі, де пікселі відображають рифи та долини на зображенні відбитка пальця. Значення пікселя 0 встановлюється в чорній області зображення відбитка пальця, що представляє лінію хребтів, а значення пікселя 1 визначає білу область на зображенні, що представляє долини. Підхід бінарного перетворення використовується для збереження характеристик відбитків конструкції та для усунення деякої згуртованості між візерунками.

Процес бінаризації містить вивчення значення рівня сірого кожного пікселя в покращеному зображенні, і якщо значення перевищує загальний поріг, значення пікселя встановлюється як двійкове значення; в іншому

випадку він встановлюється на нуль. Результат – бінарне зображення, що містить два рівні інформації, передній план хребтів та прогалін.

Потоншення. Завершальний етап перетворення зображення, зазвичай, виконують перед видаленням дрібних деталей – потоншенням. Потоншення – це морфологічна операція, яка послідовно стирає пікселі переднього плану, доки вони не становлять один піксель завширшки. Використовується стандартний алгоритм проріджування.

Обговорення результатів дослідження. Центральна частина алгоритму вдосконалення лежить на стадії фільтрації Габора. На цьому етапі відбувається фактичне вдосконалення зображення відбитків пальців. Метою

етапу фільтрації є підвищення чіткості структур хребців при одночасному зменшенні шуму на зображенні. Для оцінки ефективності фільтрації Габора були проведені експерименти як на синтетичних тестових зображеннях, так і на реальних відбитках пальців.

Вибір параметрів. Налаштування фільтра Габора σ_x і σ_y контролюють пропускну здатність фільтра (рис. 2), вони істотно впливають на результати розширення. Значення σ_x визначає ступінь контрасту між хребтами та долинами, а σ_y визначає величину згладжування, що застосовується до хребтів. На рис. 2 показані результати використання різних значень σ_x і σ_y для застосування фільтра Габора до зображення відбитка пальця.

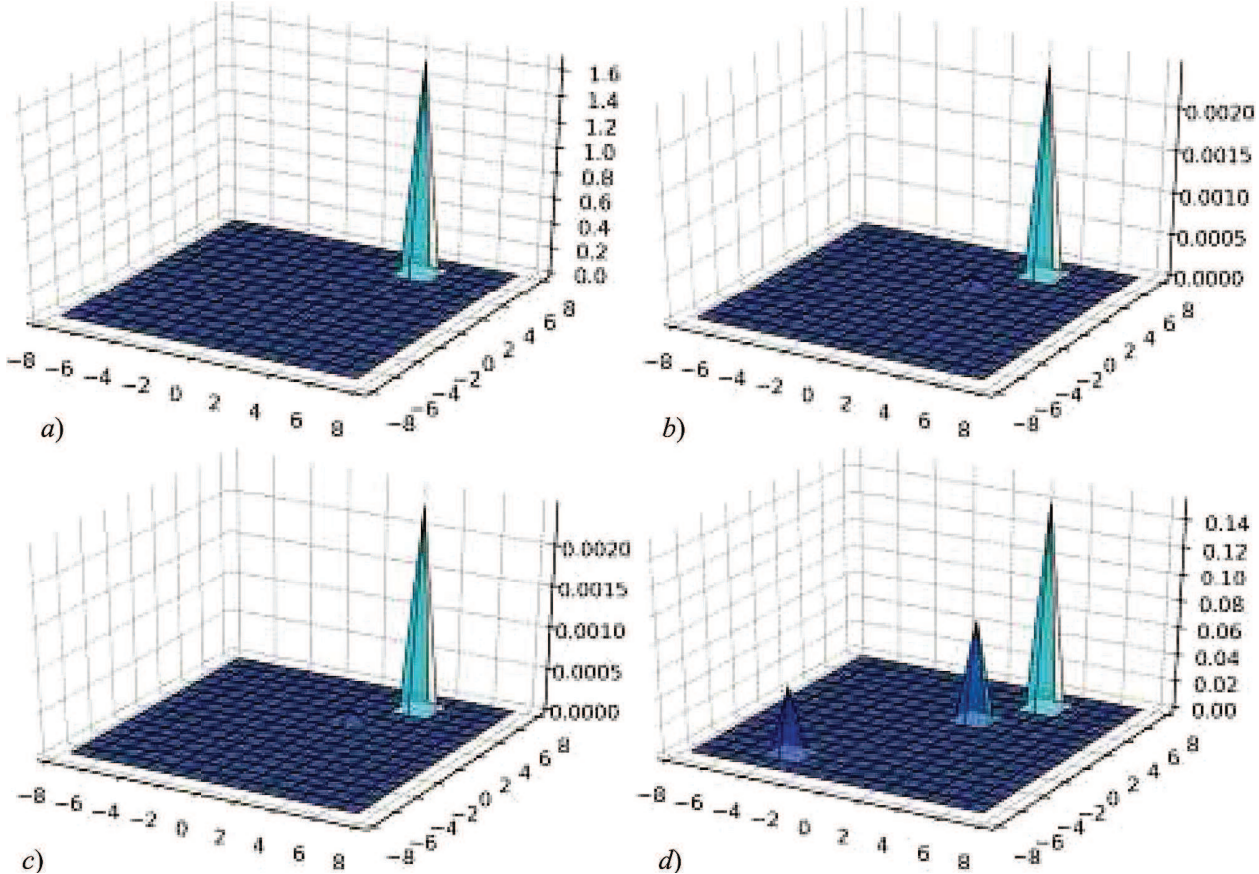


Рис. 2. Побудова фільтра Атеб Габора з параметрами: $n = 3, m = 3; \lambda = 2, \psi = 1$; $Ox - x, Oy - y$;
 а - $\sigma = 1$, б - $\sigma = 2$; в - $\sigma = 3$, г - $\sigma = 4$

Фільтрація двовимірного Атеб-Габора реалізується за формулою [10]:

$$A_{teb-G}(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \xi) = \text{Exp}\left(\frac{-(x^2 + \psi \cdot y^2)}{2\sigma^2}\right) A_{teb-ca}\left(\frac{2\pi \cdot x'}{\lambda} + \xi\right), \quad (4)$$

$$x' = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta), \quad y' = -x \cdot \sin(\theta) + y \cdot \cos(\theta),$$

де: λ довжина хвилі косинуса – множник, θ – паралельна смуга пропускання нормальної орієнтації, ξ – відставання (фазова передача; фазовий зсув), ψ – ступінь стиснення даних.

Результати тестування. Результати застосування фільтра Габора до синтетичних шумних зображень проілюстровані на рис. 3, наведено графічне зображення частоти двовимірного Атеб-Габора для а) $m = 0,1, n = 1$; б) $m = 0,5, n = 1$; в) $m = 1, n = 1$; г) $m = 3, n = 1$; е) $m = 2,$

$n = 1$; ф) $m = 4, n = 1$; г) $m = 5, n = 1$; х) $m = 1, n = 5$. Це ефективно усунення шуму частково зумовлене точною оцінкою орієнтації та частоти для менш шумних зображень. З іншого боку, коли фільтр застосовується до зображень з високою інтенсивністю шуму (рис. 2), результати показують, що фільтр не здатний ефективно видаляти шум і виробляє значну кількість помилкових функцій. Це незначне покращення зображення зумовлене неточною оцінкою орієнтації та частоти хребта, що виникає при високих рівнях шуму, як показано в попередніх розділах.

Результати фільтрації реальних зображень відбитків пальців. На рис. 4 показано застосування фільтра Атеб-Габора до зображення відбитків пальців середньої якості. Результати вдосконалення показують, що фільтр підтримує безперервність конькової структури і підви-

ще чіткість структури долини. На додаток до зменшення шуму на зображенні, фільтр здатний заповнити невеликі прогалини, що виникають у межах хребтів, як показано збільшеними ділянками зображення.

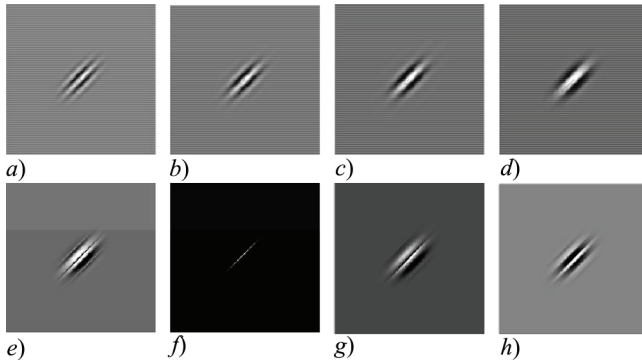


Рис. 3. Графічне зображення частоти двовимірного Атеб-Габора для а) $m=0.1, n=1$; б) $m=0.5, n=1$; в) $m=1, n=1$; д) $m=3, n=1$; е) $m=2, n=1$; ф) $m=4, n=1$; г) $m=5, n=1$; з) $m=1, n=5$

На відміну від цього, ефективність алгоритму вдосконалення погіршується при застосуванні до неякісних зображень, як показано на рис. 4. Видно, що фільтр має проблеми з ділянками зображення, які сильно пошкоджені, що призводить до неефективного покращення зображення. Тому на практиці зображення низької якості, зазвичай, відкидаються в системах ідентифікації відбитків пальців.



Рис. 4. Фільтр Атеб-Габора для зображення відбитків пальців середньої якості

Результати на рис. 4 також показують, що, хоча чіткість хребтів добре посилена, коефіцієнт посилення в точках деталей трохи розмитий. Форма фільтра Габора призначена для посилення вздовж лінії хребтів, паралельно один одному і має послідовну орієнтацію. Однак, точки деталізації виникають як локальні прогалини в потоці схеми відбитків пальців, що може призвести до неправильної оцінки місцевої орієнтації та частоти. Тому, порівняно з нескінченними областями, результати застосування фільтра до областей, що містять дрібні точки, менш ефективні для покращення зображення. Порівняння фільтрованих зображень фільтром Габора і Атеб-Габора PSNR та MSE показано у табл. 1. Графічне відображення відфільтрованих даним методом відбитків пальців показано у табл. 2.

Табл. 1. Порівняння фільтрованих зображень фільтром Габора і Атеб-Габора PSNR та MSE

Атеб-фільтрація	Порівняння 3	Тривалість фільтрації	PSNR	MSE
Зразок 1				
$m1n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 54s	361.20	
$m0.9n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 55s	38.77	24
$m0.8n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 54s	33.06	9.15
$m0.7n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 54s	29.66	8.21
$m0.6n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 3s	27.08	7.49
$m0.5n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 57s	24.95	6.91

$m0.4n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 1s	23.35	6.46
$m0.3n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 53s	22.20	6.14
$m0.2n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 55s	20.83	5.77
$m0.1n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 11s	19.35	5.35
$m1n1 \sigma=pi/4$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 18s	12.77	3.14
$m1n1 \sigma=pi/3$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 3s	3.61	3.54
$m1n1 \sigma=pi/2$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 15s	4.03	14.55
$m1n1 \sigma=2*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 15s	4.724	17.07
$m1n1 \sigma=3*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 58s	4.25	15.35
$m1n1 \sigma=4*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 3s	3.94	14.25
Зразок 2				
$m0.9n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 56s	37.33	10.34
$m0.8n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 56s	31.71	8.78
$m0.7n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 56s	28.75	7.96
$m0.6n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 49s	26.60	7.36
$m0.5n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 47s	24.98	6.92
$m0.4n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 52s	23.84	6.60
$m0.3n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 52s	23.84	6.60
$m1n1 \sigma=pi/4$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 40s	2.65	9.58
$m1n1 \sigma=pi/3$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 46s	2.73	9.86
$m1n1 \sigma=pi/2$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 30s	3.27	11.83
$m1n1 \sigma=2*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 40s	4.76	17.21
$m1n1 \sigma=3*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 43s	4.28	15.49
$m1n1 \sigma=4*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 36s	4.50	16.26
$m1n1 \sigma=4.4*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 36s	4.61	16.67
$m1n1 \sigma=4.5*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 36s	4.63	16.72
Зразок 3				
$m0.9n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 36s	31.49	8.72
$m0.8n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 55s	31.49	8.72
$m0.7n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 34s	28.43	7.87
$m0.6n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 34s	26.37	7.87
$m0.5n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 40s	24.86	6.88
$m1n1 \sigma=pi/4$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 34s	12.51	3.46
$m1n1 \sigma=pi/3$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 34s	12.52	3.47
$m1n1 \sigma=pi/2$	$m1n1 \sigma=pi$	2min 2s	12.70	3.52
$m1n1 \sigma=2*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 25s	22.28	6.17
$m1n1 \sigma=3*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 24s	19.54	5.41
$m1n1 \sigma=4*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 24s	17.59	4.87
$m1n1 \sigma=4.1*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 25s	17.40	4.82
$m1n1 \sigma=4.2*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 24s	17.22	4.76
$m1n1 \sigma=4.3*pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 30s	17.04	4.72
Зразок 4				
$m0.9n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 31s	38.99	10.79
$m0.8n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 34s	33.20	9.19
$m0.7n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 33s	30.63	8.48
$m0.6n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 42s	28.34	7.84
$m0.5n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 42s	26.42	7.31
$m0.4n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 48s	25.12	6.95
$m0.3n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 38s	24.02	6.65
$m0.2n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 48s	23.04	6.37
$m0.1n1 \sigma=pi$	$m1n1 \sigma=pi$	1min 38s	22.09	6.11

Висновки

Проведено аналіз біометричних систем захисту інформації, який показав, що багато задач із ідентифікації відбитків пальців є невіршеними і потребують розроблення ефективних програмних засобів.

Встановлено, що доцільніше використовувати скелети для складних перетворень, оскільки вони дають змогу перетворювати окремі гілки, що відповідають за фрагменти об'єкта, не порушуючи його цілісності. Помилка перетворення мінімальна.

Запропоновано застосовувати фільтрацію Атеб-Габора на підставі фільтрації та потоншення за допомогою хвильового алгоритму. Цей тип фільтрації забезпечить кращі характеристики, оскільки дає змогу отрима-

ти більш похилі форми, організувати більш широкий діапазон кривих.

Численні експериментальні дослідження свідчать про ефективність запропонованого методу.

Табл. 2. Відфільтровані Атеб-Габор відбитки пальців

Взорець 1		
Atebm1n1sigma π 1_3	Atebm1n1sigma π 0_25	Atebm1n1sigma π 0_5
Взорець 3		
3_Atebm1n1sigma4 π i	3_Atebm1n1sigma π i_3	3_Atebm1n1sigma4 π i
3_Atebm1n1sigma π i_3	3_Atebm1n1sigma π i_4	3_Atebm1n1sigma π i_2
Взорець 5		
5_Atebm1n1sigma π i_4	5_Atebm1n1sigma π i_3	5_Atebm1n1sigma π i_2
Взорець 6		
6_Atebm1n1sigma_6	6_Atebm1n1sigma_4	6_Atebm1n1sigma_2

References

- [1] Datta, A. K., Henry, C., Lee, H. C., Ramotowski, R., & Gaensslen, R. E. (2001). *Advances in fingerprint technology*. CRC press, 456. <https://doi.org/10.1201/9781420041347>
- [2] Fiamegos, Y., Dumitrascu, C., Papoci, S., & de la Calle, M. B. (2021). Authentication of PDO paprika powder (Pimentón de la Vera) by multivariate analysis of the elemental fingerprint determined by ED-XRF. A feasibility study. *Food Control*, 120, 107496.
- [3] Guo, Q., Li, Z., An, B., Hui, P., Huang, J., Zhang, L., & Zhao, M. (2019, May). Securing the deep fraud detector in large-scale e-commerce platform via adversarial machine learning approach. *The World Wide Web Conference*, 616–626. <https://doi.org/10.1145/3308558.3313533>
- [4] Hong, L., Wan, Y., & Jain, A. (1998). Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 20(8), 777–789. <https://doi.org/10.1109/34.709565>
- [5] Hrytsyk, V. V. (2008). Evaluation of transmission quality and computer processing of image data. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 9, 44–48. [In Ukrainian]
- [6] Ibrahim, A. M., Eese, A. K., & Omar Al-Nima, R. R. (2021). Deep fingerprint classification network. *Telkommika*, 19(3).
- [7] Jones, J. P., & Palmer, L. A. (1987). An evaluation of the two-dimensional Gabor filter model of simple receptive fields in cat striate cortex. *Journal of neurophysiology*, 58(6), 1233–1258. <https://doi.org/10.1152/jn.1987.58.6.1233>
- [8] Maio, D., Maltoni, D., Cappelli, R., Wayman, J. L., & Jain, A. K. (2002). FVC2000: Fingerprint verification competition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 24(3), 402–412. <https://doi.org/10.1109/34.990140>

- [9] Mazumdar, D., Mitra, S., Ghosh, K., & Bhaumik, K. (2021). Analysing the patterns of spatial contrast discontinuities in natural images for robust edge detection. *Pattern Analysis and Applications*, 1–23.
- [10] Nazarkevych, M., Kynash, Y., Oliarnyk, R., Klyujnyk, I., & Nazarkevych, H. (2017). *Application perfected wave tracing algorithm*. In 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017, May. IEEE. <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100403>
- [11] Nazarkevych, M., Lotoshynska, N., Klyujnyk, I., Voznyi, Y., Forostyna, S., & Maslanych, I. (2019). *Complexity Evaluation of the Ateb-Gabor Filtration Algorithm in Biometric Security Systems*. In 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2019, July. IEEE. <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879945>
- [12] Nazarkevych, M., Riznyk, O., Samoty, V., & Dzelendzyak, U. (2020). Detection of regularities in the parameters of the ateb-gabor method for biometric image filtration. *Vostochno-Evropeyskyi Zhurnal Peredovykh Tekhnolohyi*, 1(2), 57–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154862>
- [13] Nazarkevych, M., Yavourivskiy, B., & Klyuynyk, I. (2015). *Editing raster images and digital rating with software*. In The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, 2015, February. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230897>
- [14] Piciucco, E., Di Lascio, E., Maiorana, E., Santini, S., & Campisi, P. (2021). Biometric recognition using wearable devices in real-life settings. *Pattern Recognition Letters*, 146, 260–266.
- [15] Tang, Z., Miller, A. S., Zhou, Z., & Warkentin, M. (2021). Does government social media promote users information security behavior towards COVID-19 scams? Cultivation effects and protective motivations. *Government Information Quarterly*, 38(2), 101572.

M. A. Nazarkevych

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

DEVELOPMENT OF BIOMETRIC IDENTIFICATION METHODS BASED ON NEW FILTRATION METHODS

The article is devoted to the development of biometric identification methods based on new filtration methods. Biometric identification systems need constant improvement, because they often work slowly and give the wrong result. To increase the reliability of biometric image recognition, the method is formed, which is formed from the stages: segmentation, normalization, local orientation estimation, local estimation, spine frequency estimation, Gabor filter implementation, binarization, thinning. A new filtering method is proposed, which is based on a new type of function – Ateb-functions, which are used next to the Gabor filter. The local orientation can be calculated from local gradients using the arctangent function. The normalization process is performed to evenly redistribute the values of image intensity. When segmenting, the foreground areas in the image are separated from the background areas. A new method of wavelet conversion of biometric image filtering based on Ateb-Gabor has been developed. The Gabor filter is used for linear filtering and improves the quality of the converted image. Symmetry and wavelet transform operations are also used to reduce the number of required multiplication and addition operations. The method is based on the well-known Gabor filter and allows you to rearrange the image with clearer contours. Therefore, this method is applicable to biometric images, where the creation of clear contours is particularly relevant. When Gabor filtering, the image is reconstructed by multiplying the harmonic function by the Gaussian function. Ateb functions are a generalization of elementary trigonometry, and, accordingly, have greater functionality. Ateb-Gabor filtering allows you to change the intensity of the whole image, as well as the intensity in certain ranges, and thus make certain areas of the image more contrasting. Filtering with Ateb functions allows you to change the image from two rational parameters. This allows you to more flexibly manage filtering and choose the best options. When you perform a thinning, the foreground pixels are erased until there is one pixel wide. A standard thinning algorithm is used, or the thinning developed by the authors in other studies. This filtering will provide more accurate characteristics, as it allows you to get more sloping shapes and allows you to organize a wider range of curves. Numerous experimental studies indicate the effectiveness of the proposed method.

Keywords: filtering; Gabor filter; identification; biometric images, Ateb-Gabor.

Інформація про автора:

Назаркевич Марія Андріївна, д-р техн. наук, професор, кафедра інформаційних технологій видавничої справи.

Email: mariia.a.nazarkevych@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-6528-9867>

Цитування за ДСТУ: Назаркевич М. А. Розроблення біометричних методів ідентифікації на підставі фільтрації Атеб-Габором.

Український журнал інформаційних технологій. 2021, т. 3, № 1. С. 106–113.

Citation APA: Nazarkevych, M. A. (2021). Development of biometric identification methods based on new filtration methods. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 3(1), 106–113. <https://doi.org/10.23939/ujit2021.03.106>