

DOI [10.28925/2663-4023.2021.11.1630](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.1630)

УДК 004.056.5: 655.25

Назаркевич Марія Андріївна

доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій видавничої справи
Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна
ORCID ID: 0000-0002-6528-9867
mariia.a.nazarkevych@lpnu.ua

Возний Ярослав Васильович

аспірант кафедри інформаційних технологій видавничої справи
Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна
ORCID ID: 0000-0002-5481-9973
voznyuy@outlook.com

Назаркевич Ганна Ярославівна

магістр
Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна
ORCID ID: 0000-0002-1413-630X
h.nazarkevych@gmail.com

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ПРИ БІОМЕТРИЧНОМУ ЗАХИСТІ ІЗ НОВИМИ МЕТОДАМИ ФІЛЬТРАЦІЇ

Анотація. Здійснено обробку біометричних зображень і проведено фільтрацію новим розробленим фільтром вейвлет Ateb-Габор. Ідентифікацію біометричних зображень проведено методами машинного навчання. Фільтр Габор на основі Ateb-функцій є ефективним для проведення фільтрації, оскільки містить узагальнення тригонометричних функцій. Розроблено вейвлет-перетворення Ateb-Gabor функції. Показано, що функція залежить від семи параметрів, кожен з яких вносить суттєві зміни у результати фільтрації біометричних зображень. Проведено дослідження вейвлет Ateb-Габор функції. Побудовано графічні залежності вейвлет Габор фільтра та вейвлет Ateb-Габор фільтра. Введення вейвлет перетворень дає змогу зменшити складність обчислень Ateb-Gabor фільтра, спростивши обчислення функції та зменшивши час фільтрації. Проведено оцінку складності алгоритмів обчислення вейвлет Габор фільтра та вейвлет Ateb-Габор фільтра. Фільтрування Ateb-Габором дозволяє змінювати інтенсивність всього зображення, та забезпечити зміну певних діапазонів, і таким чином змінити певні ділянки зображення. Якраз цю властивість мають мати біометричні зображення, на яких мінущі бути контрастними і чіткими. Ateb-функції мають властивість зміни двох раціональних параметрів, а це, в свою чергу, дасть можливість гнучкіше керувати фільтрацією. Досліджено властивості Ateb-функції, а також можливості зміни амплітуди функції, частоти коливальних на чисельні значення фільтра Ateb-Габор. Завдяки використанню параметрів Ateb-функції можна отримати значно більший діапазон форм і величин, що розширює кількість можливих варіантів фільтрації. Також можна реалізувати один раз фільтрацію, врахувавши напрям мінущій і надійно визначити чіткість країв, а не проводити фільтрацію батократно. Результати достовірності протестовано на базі NIST Special Database 302, та показано добрі результати фільтрації. Це підтверджено експериментом порівняння між фільтрацією вейвлет-Габором та вейвлет Ateb-Габор функції на основі вимірювання співвідношення сигнал-шум PSNR.

Ключові слова: вейвлет Ateb-Габор перетворення; вейвлет Габор перетворення; біометричні зображення; машинне навчання



ВСТУП

У сфері штучного інтелекту, переважають такі напрями, як робота з великими даними, машинне навчання, глибоке навчання, пов'язане із розвитком нейронних мереж. Інший спосіб розвитку – це накопичення великих даних завдяки потужностям сучасних комп'ютерів. Компанії і кожен з нас почали накопичувати багато даних, які дозволяють на базі цих даних отримувати певні практичні рішення та результати. Здешевлення процесорів та доступність комп'ютерів як таких по суті дає можливість кожному робити певні дії з аналізу чи роботи з даними.

Основним двигуном сучасного штучного інтелекту є також глибоке навчання та машинне навчання, в основі яких лежать два основні принципи – це розпізнавання шаблонів (pattern recognition) та багатоітераційне навчання, тобто створення певної математичної моделі, яка запрограмується і, вчиться на даних, які вона отримує. Основним завданням цього принципу є знаходження кореляцій, тобто взаємозв'язків між різними даними.

Сучасний штучний інтелект найчастіше працює з візуальними вимірами та зображеннями. Створення сучасних штучних нейронних мереж по суті відтворює роботу цих візуальних частин. Когнітивні науки значно вплинули на створення штучних нейронних мереж, а отже і розвиток штучного інтелекту.

Відбитки пальців людини є унікальними, складними до зміни та стійкими впродовж життя людини, що робить їх придатними для ролі довгосторкових маркерів ідентифікації людини.

Алгоритми скелетизації бінарних зображень часто називають алгоритмами потоншення, а дискретні скелети називають також остовами [1]. Остови надзвичайно чутливі до шуму, тому що найменше збурення не тільки призводить до зміни одного з ребер, але, через те, породить нові ребра. Якщо вихідний об'єкт є тонким, то остов містить суттєву інформацію про форму.

Постановка проблеми. У даному дослідженні здійснено розроблення методу машинного навчання для розпізнавання біометричних зображень, які відфільтровані новими розробленими авторами фільтрами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Перетворення об'єктів на основі інформації про контур обмежені афінними перетвореннями: масштабуванням, переносом, поворотом, відображенням. Проте апарату афінних перетворень не завжди достатньо для виконання складних перетворень, наприклад, зменшення (збільшення) окремих фрагментів об'єкта [2].

Тому для складних перетворень доцільніше використовувати скелети, оскільки вони дають змогу перетворювати окремі гілки скелета, що відповідають за різні фрагменти об'єкта, не порушуючи при цьому його цілісності. Похибка перетворення при цьому є мінімальною.

Отримав подальший розвиток метод визначення контуру на основі проходження кривої та функції фільтрації контурної лінії. Розроблено метод автоматичного вибору алгоритму сегментації на основі аналізу характеристик вхідного зображення, що дозволило автоматизувати процес сегментації зображень.

Біометричні системи автентифікації за відбитками мають такий недолік, що вони не бачать скан цілого пальця. Їм потрібен лише невеличкий фрагмент, який вони порівнюють із тим фрагментом, що є у базі.

У роботі [3] розглядається вилучення деяких характеристик при біометричній автентифікації та розпізнаванні, також представлено алгоритм, який застосовується для



розмежування відбитків пальців, які раніше отримані у режимі градацій сірого. У цьому методі представлено різні комбінації перетворення зображень з шумом. У запропонованому методі швидкість виявлення відбитків пальців складає 0,45 с. Така швидкодія обумовлена через застосування ефективних алгоритмів потоншення, зберігаючи інформацію про хребти від прихованих відбитків пальців.

Програма TheDeepMasterPrints [4] створює зображення, які давачі розцінюють як фрагменти відбитків пальців реальних людей. Працюючи з найнижчим рівнем захисту та цифровими відбитками, програма показала результат у майже 77% успішних спроб. Проте, як зазначає видання, значно частіше зараз використовують середній рівень захисту зокрема у смартфонах. Там успішний результат склав близько 23% [5].

Успішна робота нейромережі DeepMasterPrints обумовлена тим, що системи біометричної аутентифікації лише частково сканують палець людини. Програмі достатньо мати у розпорядженні лише частину відбитка, тому що всюди є типові повторювані елементи.

У роботі [6] представлений новий підхід до розпізнавання відбитків пальців. Окремі, особливі, до яких належать coresanddeltas використовуються для здійснення класифікації відбитків пальців. Такий підхід дозволяє забезпечити стійкість розпізнавання з сингулярних точкових областей на різних рівнях роздільної здатності. Процедура є аналогічна масштабуванню, переміщенню та невеликим поворотам. Процедура підкласифікації відбитків пальців була побудована на основі запропонованого способу виявлення сингулярних точок.

Метод каркасних ліній краю, заснований на точковій категоризації запропонований у [7]. Основна точка зображення відбитків пальців виявляється за допомогою адаптивного методу, запропонованого в цій роботі. Ядро, засноване на розрізанні реберних ліній на чотири групи, що представляють чотири можливі напрямки (тобто вертикальна, горизонтальна та дві діагоналі). Для розпізнавання та ідентифікації зображень відбитків пальців пропонується набір 34-мірних функцій.

Робота [8] присвячена питанню сегментації відбитків. У роботі запропоновано онлайн-метод сегментації відбитків пальців на основі різниці кадрів. Сегментація виконується в онлайн-процесі захоплення зображення, не використовуючи інформацію орієнтації або сірого відхилення. Фон витягується з послідовних зображень, знятих датчиком відбитків, а фон видаляється за допомогою різниці кадрів. Фон з залишками пальців і плямами можна ефективно видалити розробленим методом.

Сегментація зображення відбитків пальців - один із ключових кроків у системі автоматичної ідентифікації відбитків пальців (AFIS), і як це зробити швидше, точніше та ефективніше, важливо для AFIS. У [9] представлено метод Марковського ланцюга Монте-Карло (MCMC) та генетичний алгоритм (GA) у сегментацію зображення відбитків пальців та запропоновано метод сегментації зображення відбитків пальців на основі Марковського ланцюга Монте-Карло та генетичного алгоритму (MCMC&GA). Такий підхід дозволив генерувати випадкову послідовність замкнутих кривих, яка розглядається як межа між областю зображення відбитків пальців і областю фонового зображення, як Марківський ланцюг, який використовує функцію щільності ймовірності граничної кривої (BCPDF) як показник конвергенції. Потім він моделюється методом Монте-Карло з BCPDF як параметр, який максимально сходиться. Нарешті, для прискорення конвергентної швидкості вводиться генетичний алгоритм. На закінчення закрита крива з максимальним значенням BCPDF є ідеальною граничною кривою. Результати експериментів свідчать про те, що метод є надійним для неякісних зображень пальців.



Підхід до організації систем керування описаний в працях [10, 11]. Із цих досліджень бралися дані щодо побудови систем, розпаралелювальне процесів у біометричній системі ідентифікації відбитків пальців.

Одним з підходів щодо покращення якості зображення є збільшення роздільної здатності, що описано в [12].

У дослідженні запропоновано метод створення суперроздільного зображення на основі сингулярного розкладання матричного оператора матричного оператора квадратної конвергенції. У [13], [14] розширено метод суперроздільного зображення та запропоновано новий підхід до створення високоефективних зображень.

Мета статті. Порівняння методів скелетизації біометричних зображень із застосуванням методів машинного навчання. Розроблення методики визначення ефективності запропонованого методу фільтрації на основі фільтрації відбитків пальців проведено на основі бази NIST Special Database 302

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи виділення особливих точок на відбитках пальців

Серед розмаїття існуючих підходів для розпізнавання відбитків пальців можна виділити кілька, найбільш вживаних:

- порівняння по особливих точках;
- кореляційне порівняння;
- зіставлення по шаблону;
- порівняння по візерунку;
- порівняння на основі графів.

При порівнянні по особливих точках формується шаблон, на якому виділяються кінцеві точки та точки розгалуження. На відсканованому зображенні відбитка також виділяються особливі точки, які порівнюються з шаблонними. Головною перевагою даного алгоритму є швидкість його роботи і простота реалізації. До недоліків алгоритму порівняння по особливих точках слід віднести високі вимоги до якості зображення і розмірів давача.

Суть методу кореляційного порівняння полягає в тому, що отриманий відбиток пальця накладається на кожен еталон з бази даних по черзі, після чого по пікселях здійснюється розрахунок різниці між ними. Процес порівняння має включати безліч ітерацій, на кожній з яких зображення повертається під невеликим кутом чи трохи зміщується. Тому цей метод є найповільнішим і потребує високої обчислювальної потужності.

В алгоритмі зіставлення по шаблону до уваги беруться не тільки окремо взяті точки, але і загальні характеристики відбитка пальця, такі як товщина смуг, їх кривизна або щільність. Перевагами даного методу є те, що він може працювати з відбитком гіршої якості. Проте, даний метод не пристосований для безлічі пошуків в базі даних.

В методі порівняння по візерунку використовується особливості будови папілярного узору. Отримане зображення, розбивається на безліч дрібних осередків, в кожному з яких розташування ліній описується параметрами синусоїдальної хвилі. Отриманий для порівняння відбиток вирівнюється і приводиться до того ж виду, що й шаблон. Головними плюсами розглянутого алгоритму є досить висока швидкість і низькі вимоги до якості зображення.

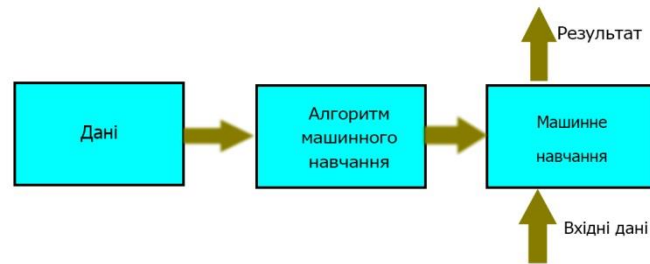


Рис.2. Схема алгоритму машинного навчання для ідентифікації відбитків пальців

Метод фільтрації біометричних зображень

Під час збереження біометрична інформація від фізичної особи фіксується на певному носії. При подальшому використанні біометрична інформація виявляється і порівнюється з інформацією, що зберігається на момент збереження. Першим блоком, який приймає інформацію є сенсор. У більшості випадків це система отримання зображень, але вона може змінюватися відповідно до бажаних характеристик. Другий блок виконує всю необхідну попередню обробку: він повинен видалити шуми з сенсора. У третьому блоці завантажуються необхідні функції. Цей крок є важливим кроком, оскільки правильні функції потрібно завантажити оптимально. Вектор чисел або зображення з певними властивостями використовується для створення шаблону. Елементи біометричного вимірювання, які не використовуються в алгоритмі порівняння, відкидаються в шаблон для зменшення розміру файлів та захисту ідентичності учасника.

Під час запису шаблон зберігається. Під час етапу порівняння шаблон передається на функцію порівняння, який порівнює його з іншими існуючими шаблонами, оцінюючи відстань між хребтами за допомогою алгоритму PSNR [15]. Програма, що порівнює, проаналізує шаблон із вхідним зображенням. Вибір біометричних даних залежить від характерних вимірювань та вимог користувача.

Один з етапів автентифікації відбитка є етап потоншення, а потім, на основі потоншення відбувається скелетизація. Опишемо три методи потоншення: Алгоритм Zhang-Suen, Алгоритм Хілдіча та нами запропонований алгоритм Атеб-Габора, який виконується разом з хвильовим алгоритмом.

Розроблення методу порівняння відбитків пальців

Порівняння відбитків пальців здійснюється на пошуку особливих точок на зображеннях, пошуку відповідних опорних точок на зображеннях, визначенні значень атрибутів особливих точок на зображеннях. У результаті ми приймаємо рішення, що зображення ідентичні, якщо ці зображення мають певну спільну множину M однакових відповідних особливих точок.

Побудоване правило має працювати на нових даних, які будуть вноситися в систему, а кількість відповідних пар точок дорівнює меншій з двох загальних кількостей особливих точок на зображеннях. Тому виконують пошук відповідних особливих точок шляхом виділення з множини M найбільшої підмножини M_0 і M просторово сумісних пар особливих точок, виконують суміщення особливих точок першого зображення з особливими точками другого зображення. Згодом шляхом збігу їх опорних точок та

відповідного повороту особливих точок одного з зображень навколо опорної точки на цьому зображенні, обчислюють загальні кількості особливих точок двох порівнюваних зображень в області перекриття цих зображень і приймають рішення що два порівнювані зображення є ідентичні, на основі кількості знайдених відповідних точок, а також загальних кількостей особливих точок в області перекриття цих двох зображень. Існує спосіб, що що два зображення, які порівнюються, є відбитками одного пальця шляхом обчислення міри близькості цих зображень за формулою:

$$sim = \frac{identical}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}} \quad (1)$$

де *identical*, $k_1 \cdot k_2$ - відповідно кількість знайдених відповідних точок і загальні кількості особливих точок двох зображень в області їх перекриття, та порівняння обчисленої міри близькості з попередньо заданим граничним значенням.

Можна казати, що зображення ідентичні, якщо їх опорні точки на двох порівнюваних зображеннях є з числа особливих точок, які відповідають кінцям або розгалуженням папілярних ліній.

Пошук особливих точок ще можна здійснювати пошуком множини M пар відповідних точок шляхом побудови повного дводольного графа, лівими та правими вершинами якого відповідають особливі точки відповідно першого та другого порівнюваних зображень, а дугами графа - сума зважених різниць атрибутів вершин, які з'єднує ця дуга, та знаходження оптимальної розмітки вершин цього дводольного графа.

Порівняння існуючих методів скелетизації

Алгоритми потоншення реалізують бітове зображення з максимальним дотриманням форми та перетворенням зображення на кістяк стосовно структури повного зображення [16].

Етапу побудови скелета фігури, як правило, передують кілька допоміжних етапів. Це попередня обробка - усунення дрібних шумів та бінаризація зображення. Бінаризацією є процес перетворення кольорових і напівтонових зображень в двоколірні. Для бінаризації використовуються порогова обробка, методи точкових перетворень, згортки, посилення країв, виділення низькочастотних і високочастотних компонент зображення [17].

Алгоритм Zhang-Suen. Одним з найбільш відомим є алгоритм потоншення Zhang-Suen [18]. Він належить до найбільш використовуваних алгоритмів потоншення.

Алгоритм є 2-прохідним алгоритмом, тому для кожної ітерації він виконує два набори перевірок. При цих перевірках видаляються пікселі із зображення. Суть методу полягає у наступному. Перевірки розроблені так, що перша перевірка починається з нижнього правого кута зображення, а друга перевірка починається з верхнього лівого кута. Алгоритм Чжан-Суна працює на ділянці чорних пікселів з вісьмома сусідами. Це означає, що пікселі, знайдені по краях зображення, не аналізуються. Для тих пікселів, які аналізуються, порядок показаний нижче (Рис. 1), p_1 - це чорний піксель, який аналізується.

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

Рис. 1. Схема блоку пікселів

Алгоритм Ateb-Габора та хвильового методу потоншення. Нами запропоновано фільтрація Ateb-Габора, і на основі фільтрації, потоншення хвильовим алгоритмом. На основі фільтра Ateb-Габора можна здійснити фільтрацію біометричних зображень. Така фільтрація забезпечить кращі характеристики, аніж відомий фільтр Габора [19]. Одномірний фільтр Габора на основі Ateb-функцій дає можливість отримати більшу кількість пологих форм, таким чином можна реалізувати фільтрацію з більшим спектром кривих та більшим набором керуючих параметрів. Зокрема чотири параметри для фільтра Ateb-Габора – m, n, σ, θ на противагу двом для відомого раніше фільтра Габора – σ, θ .

Фільтрація двомірного Ateb-Габора виконується за формулою:

$$ATEB - G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \xi) = e^{-\frac{x'^2 + \psi xy'^2}{2\sigma^2} Ateb - ca\left(\frac{2\pi x'}{\lambda} + \xi\right)}$$

де λ – довжина хвилі множника-косинуса, θ – орієнтація нормалі паралельних смуг, ξ – зсув фаз, ψ – коефіцієнт стиснення.

Реалізація такого фільтру показана [20]. Можна помітити, що при наявності параметрів m, n менше одиниці, фільтр буде мати форму з багатьма “штрихами”. При m, n більше одиниці, чорних штрихів як правило є два. Фільтр виконаний з параметром $\sigma=1$, стандартного відхилення гаусівського ядра.

Таким чином уникаємо шумів у низькочастотній та середньочастотній областях [21]. Далі застосовуємо хвильовий алгоритм [22] відфільтрованого Ateb-Габором.

Хвильовий алгоритм умовно можна розбити на два етапи: етап побудови первинного графа. Він включає в себе запуск хвилі, відстеження пройденого шляху, місць поділу і загасання хвилі. Наступний за ним етап оптимізація графа.

На першому етапі всередині об'єкта запускається сферична хвиля. Точки, що належать окремим генераціям хвилі, відслідковуються центральними пікселями кожної непарної генерації, та поміщаються в первинний граф. Первинний граф зазвичай містить велику кількість надлишкової інформації, тому на етапі оптимізації графа зайві точки видаляються.

На другому етапі виконується побудова первинного графа. Вона здійснюється шляхом відстеження шляху проходження сферичної хвилі по зображенню.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

База даних

Для встановлення достовірності результатів, було проведено експериментальні дослідження на підмножині, що складається з 955 зображень відбитків пальців NIST-14. Спеціальна база даних NIST 24 [23] - це стандартна і доступна база даних. У цій базі відбитки розміщуються під різними кутами. Набір включає в себе пальці 10 людей, по 300 зображень (від нуля до 512x512 пікселів) на кожен палець.

В системі біометричної безпеки був розроблений набір даних для фільтрації. Для цього сформовано банк частотних характеристик фільтра Ateb-Габор. Класичний фільтр Gabog має 10 частотних характеристик.

Дослідження полягало у порівнянні результатів існуючих методів скелетизації з розробленим авторами публікації алгоритмом. Для дослідження порівняння результатів взято алгоритм Чжан-Суна та алгоритм Хілдіча та розроблено власний метод.

На першому етапі імпортуємо заскановане зображення та перетворити його у двовимірний двійковий масив. Програмне забезпечення реалізовано у Python, тому застосовуємо бібліотеки OpenCV та NumPy [24].

Спочатку імпортуємо зображення у форматі відтінків сірого. Після цього виконуємо бінаризацію порогового значення для перетворення зображення в режим bitmap; будь-який піксель зі значенням більше 0 буде змінено на 255.

На даний момент зображення можна представити у вигляді двовимірного масиву, що містить 0 для чорних пікселів і 255 для білих пікселів. Для побудови програми для проріджування цього масиву, перетворимо масив з чорний = 0 і білий = 255. Будь-який 0 у вихідному пороговому масиві буде перетворений на 1 (True), а ненульові значення - 0 (False). Після створення функцій умов алгоритму, можна вже перебирати пікселі зображення, перевіряючи кожен піксель на умови Перебираємо до тих пір, поки не буде досягнуто конвергенції.

У даному дослідженні реалізовано скелетизація на основі фільтрації Ateb-Габора, та потоншення хвильовим алгоритмом. Найбільш поширеними засобами оцінки якості зображень є співвідношення пікового рівня сигналу до шуму (PSNR). Особливістю цього методу, від PSNR, є те, що він враховує «сприйняття помилки» завдяки обліку структурної зміни інформації. Пікселі мають сильний взаємозв'язок, особливо коли вони близькі просторово. Дані залежності несуть важливу інформацію про структуру об'єктів і про сцену в цілому [25].

Результати достовірності виявились протестованими на базі NIST Special Database 302. Набір даних для оцінювання параметрів, які перевіряють пальці та її тестування, отримані з 162 перевірених різної якості.

Було проведено експеримент з фільтрацією Ateb-Габора та Габором відбитків пальців на основі вільнодоступної бази NIST Special Database 302. Результати експериментів показали, що в результаті кореляції, зображення видозмінюються суттєвіше, чим більші значення параметрів m , n , σ є закладені.

Таблиця 1

Порівняння фільтрованих зображень фільтром Габора і Ateb-Габора PSNR та MSE

Ateb-фільтрація	Порівняння 3	Час 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 σ=pi	m1n1 σ=pi	1min 55s	20.83	5.77
m0.1n1 σ=pi	m1n1 σ=pi	2min 11s	19.35	5.35
m1n1σ=pi/4	m1n1σ=pi	2min 18s	12.77	3.14
m1n1σ=pi/3	m1n1σ=pi	2min 3s	3.61	3.54
m1n1σ=pi/2	m1n1σ=pi	2min 15s	4.03	14.55
m1n1σ=2*pi	m1n1σ=pi	2min 15s	4.724	17.07
m1n1σ=3*pi	m1n1σ=pi	1min 58s	4.25	15.35
m1n1σ=4*pi	m1n1σ=pi	2min 3s	3.94	14.25
Зразок 2				
m0.9n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 56s	37.33	10.34
m0.8n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 56s	31.71	8.78
m0.7n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 56s	28.75	7.96
m0.6n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 49s	26.60	7.36
m0.5n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 47s	24.98	6.92
m0.4n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 52s	23.84	6.60
m0.3n1 σ=pi	m1n1σ=pi	-	-	--
m1n1σ=pi/4	m1n1σ=pi	1min 40s	2.65	9.58
m1n1σ=pi/3	m1n1σ=pi	1min 46s	2.73	9.86
m1n1σ=pi/2	m1n1σ=pi	1min 30s	3.27	11.83
m1n1σ=2*pi	m1n1σ=pi	1min 40s	4.76	17.21
m1n1σ=3*pi	m1n1σ=pi	1min 43s	4.28	15.49
m1n1σ=4*pi	m1n1σ=pi	1min 36s	4.50	16.26
m1n1σ=4.4*pi	m1n1σ=pi	1min 36s	4.61	16.67
m1n1σ=4.5*pi	m1n1σ=pi	1min 36s	4.63	16.72
Зразок 3				
m0.9n1 σ=pi	m1n1 σ=pi	1min 36s	31.49	8.72
m0.8n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 55s	31.49	8.72
m0.7n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 34s	28.43	7.87
m0.6n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 34s	26.37	7.87
m0.5n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 40s	24.86	6.88
m1n1σ=pi/4	m1n1σ=pi	1min 34s	12.51	3.46
m1n1σ=pi/3	m1n1σ=pi	1min 34s	12.52	3.47
m1n1σ=pi/2	m1n1σ=pi	2min 2s	12.70	3.52
m1n1σ=2pi	m1n1σ=pi	1min 25s	22.28	6.17
m1n1σ=3pi	m1n1σ=pi	1min 24s	19.54	5.41
m1n1σ=4pi	m1n1σ=pi	1min 24s	17.59	4.87
m1n1σ=4.1pi	m1n1σ=pi	1min 25s	17.40	4.82
m1n1σ=4.2pi	m1n1σ=pi	1min 24s	17.22	4.76
m1n1σ=4.3pi	m1n1σ=pi	1min 30s	17.04	4.72
Зразок 4				
m0.9n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 31s	38.99	10.79
m0.8n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 34s	33.20	9.19
m0.7n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 33s	30.63	8.48
m0.6n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 42s	28.34	7.84
m0.5n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 42s	26.42	7.31
m0.4n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 48s	25.12	6.95
m0.3n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 38s	24.02	6.65
m0.2n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 48s	23.04	6.37
m0.1n1 σ=pi	m1n1σ=pi	1min 38s	22.09	6.11

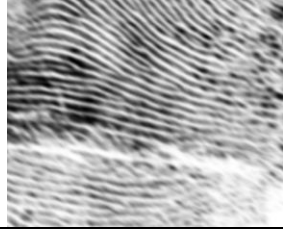
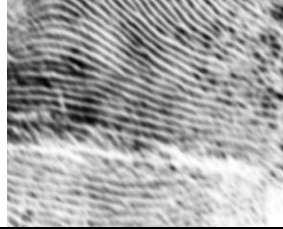
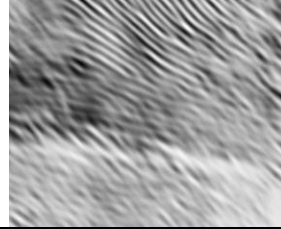
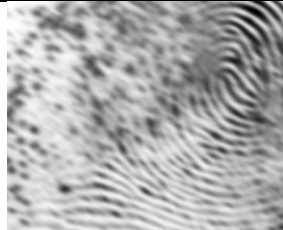
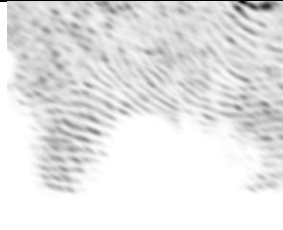
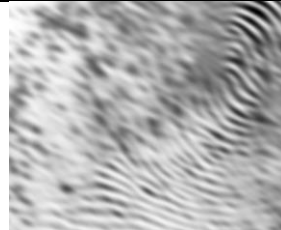

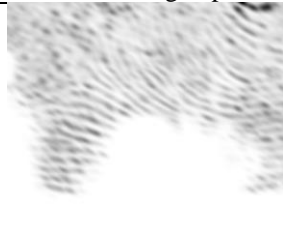
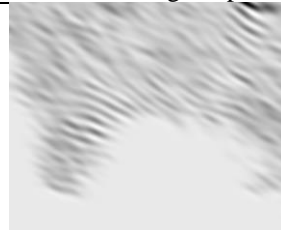
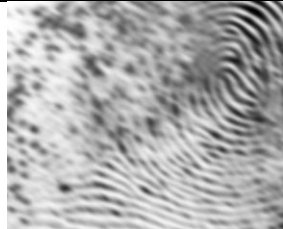
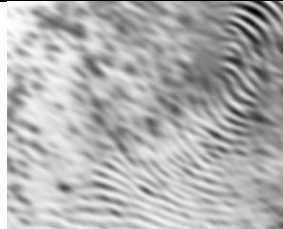
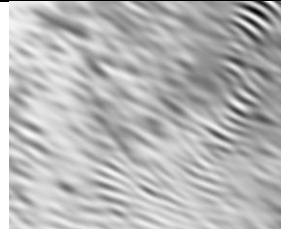



Взірець 1		
		
Atebm1n1sigma π 1_3	Atebm1n1sigma π 0_25	Atebm1n1sigma π 0_5
Взірець 3		
		
3_Atebm1n1sigma π 4 π	3_Atebm1n1sigma π 3	3_Atebm1n1sigma π 4 π
		
3_Atebm1n1sigma π 3	3_Atebm1n1sigma π 4	3_Atebm1n1sigma π 2
Взірець 5		
		
5_Atebm1n1sigma π 4	5_Atebm1n1sigma π 3	5_Atebm1n1sigma π 2
Взірець 6		
		
6_Atebm1n1sigma_6	6_Atebm1n1sigma_4	6_Atebm1n1sigma_2

Рис.2. Результати експериментів

Розклад по функціям Атеб-Габора є розкладом по модульованих фрагментах синусоїд. Довжина фрагментів для всіх частот є постійна, що дає різну кількість осциляцій для різних гармонік. Звідси слідує, що достатньо добре локалізована в t та k – просторі функція Габора не може бути базисною вейвлет–перетворення, оскільки побудований на її основі базис не має властивості самоподібності [26, 27].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведено аналіз роботи біометричних систем захисту інформації. Проведено аналіз систем, де використовується скелетизація. Досліджено, що для складних перетворень доцільніше використовувати скелети, оскільки вони дають змогу перетворювати окремі гілки, які відповідають за фрагменти об’єкта, не порушуючи при цьому його цілісності. Похибка перетворення при цьому є мінімальною.

Скелетизація використовується в біометричних зображеннях на одному з етапів розпізнавання. Найбільш відомими є три методи потоншення. До них належить алгоритм Zhang-Suen, алгоритм Хілдіча та алгоритм Атеб-Габора, який виконується у парі з хвильовим алгоритмом.

Запропонована фільтрація Атеб-Габора, і на основі фільтрації, потоншення хвильовим алгоритмом. Такий вид фільтрації забезпечить кращі характеристики, оскільки дає можливість отримати більшу кількість пологих форм, організувати більший спектр кривих.

Численні експериментальні дослідження дозволяють стверджувати про ефективність запропонованого методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Valechha, L., Valecha, H., Ahuja, V., Chawla, T., & Sengupta, S. (2020). Orisyncrasy—An Ear Biometrics on the Fly Using Gabor Filter. *Advances in Data Sciences, Security and Applications*, 457–466. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0372-6_37
- 2 Onifade, O., Akinde, P., & Isinkaye, F. (2020). Circular Gabor wavelet algorithm for fingerprint liveness detection. *Journal of Advanced Computer Science & Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.14419/jacst.v9i1.29908>
- 3 Le, N. T., Wang, J.-W., Le, D. H., Wang, C.-C., & Nguyen, T. N. (2020). Fingerprint Enhancement Based on Tensor of Wavelet Subbands for Classification. *IEEE Access*, 8, 6602–6615. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2964035>
- 4 Chanukya, P. S. V. V. N., & Thivakaran, T. K. (2019). Multimodal biometric cryptosystem for human authentication using fingerprint and ear. *Multimedia Tools and Applications*, 79(1-2), 659–673. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08123-w>
- 5 Wagh, D., Fadewar, H., & Shinde, G. (2020). Biometric Finger Vein Recognition Methods for Authentication. *Computing in Engineering and Technology*, 45–53. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9515-5_5.
- 6 Lee, C.-J., & Wang, S.-D. (1999). Fingerprint feature extraction using Gabor filters. *Electronics Letters*, 35(4), 288–290. <https://doi.org/10.1049/el:19990213>.
- 7 Yang, J., Liu, L., Jiang, T., & Fan, Y. (2003). A modified Gabor filter design method for fingerprint image enhancement. *Pattern Recognition Letters*, 24(12), 1805–1817. [https://doi.org/10.1016/s0167-8655\(03\)00005-9](https://doi.org/10.1016/s0167-8655(03)00005-9)
- 8 Wang, W., Li, J., Huang, F., & Feng, H. (2008). Design and implementation of Log-Gabor filter in fingerprint image enhancement. *Pattern Recognition Letters*, 29(3), 301–308. [https://doi.org/10.1016/s0167-8655\(03\)00005-9](https://doi.org/10.1016/s0167-8655(03)00005-9).
- 9 Areekul, V., Watchareeruetai, U., Suppasriwasuseth, K., & Tantaratana, S. (2005, September). Separable Gabor filter realization for fast fingerprint enhancement. In *IEEE International Conference on Image Processing 2005*, Vol. 3, pp. III-253. IEEE. DOI: [10.1109/ICIP.2005.1530376](https://doi.org/10.1109/ICIP.2005.1530376).
- 10 Usmonov, B., Evsutin, O., Iskhakov, A., Shelupanov, A., Iskhakova, A., & Meshcheryakov, R. (2017, November). The cybersecurity in development of IoT embedded technologies. In *2017 International*



- Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) IEEE, pp. 1-4. DOI: [10.1109/ICISCT.2017.8188589](https://doi.org/10.1109/ICISCT.2017.8188589).
- 11 Hryshchuk, R., & Molodetska, K. (2016, May). Synergetic control of social networking services actors' interactions. In International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016, pp. 34-42. DOI: [10.1007/978-3-319-48923-0_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_5).
 - 12 Bogachuk, I., Sokolov, V., & Buriachok, V. (2018, October). Monitoring subsystem for wireless systems based on miniature spectrum analyzers. In 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T) pp. 581-585. DOI: [10.1109/INFOCOMMST.2018.8632151](https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632151)
 - 13 Korchenko, O., Vasiliu, Y., & Gnatyuk, S. (2010). MODERN QUANTUM TECHNOLOGIES OF INFORMATION SECURITY AGAINST CYBER-TERRORIST ATTACKS. *Aviation*, 14(2), 58–69. <https://doi.org/10.3846/aviation.2010.10>
 - 14 V. Dudykevych, O. Bakay and Y. Lakh, "Investigation of Payment Cards systems information security control," *2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, Berlin, 2013, pp. 651-654. DOI: [10.1109/IDAACS.2013.6663005](https://doi.org/10.1109/IDAACS.2013.6663005)
 - 15 Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019). Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*, 7(3), 8-18.
 - 16 Naidu, P. A., Prasad, C. H. G. V. N., Prasad, B., & Bodla, B. (2017). Fingerprint and Palmprint Multi-Modal Biometric Security System. *International Journal of Engineering and Applied Computer Science*, 2(05).
 - 17 Ramos A.L.A., Dadiz B.G., Santos A.B.G. (2020) Classifying Emotion based on Facial Expression Analysis using Gabor Filter: A Basis for Adaptive Effective Teaching Strategy. In: Alfred R., Lim Y., Haviluddin H., On C. (eds) Computational Science and Technology. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 603. Springer, Singapore. DOI: [10.1007/978-981-15-0058-9_45](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0058-9_45).
 - 18 Chen, W., Sui, L., Xu, Z., & Lang, Y. (2012, May). Improved Zhang-Suen thinning algorithm in binary line drawing applications. In *2012 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2012)* (pp. 1947-1950). IEEE.
 - 19 19. Nazarkevych, M., Lotoshynska, N., Klyujnyk, I., Voznyi, Y., Forostyna, S., & Maslanych, I. (2019, July). Complexity Evaluation of the Ateb-Gabor Filtration Algorithm in Biometric Security Systems. In 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 961-964. DOI: [10.1109/UKRCON.2019.8879945](https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879945).
 - 20 20. 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), 1011-1014. IEEE. DOI: [10.1109/UKRCON.2017.8100403](https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100403).
 - 21 21. Nazarkevych, M., Riznyk, O., Samoty, V., & Dzelendzyak, U. (2019). Detection of regularities in the parameters of the atebgabor method for biometric image filtration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(97), 57–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154862>
 - 22 22. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., & Dmytryk, S. (2020). WAVELET TRANSFORMATION ATEB-GABOR FILTERS TO BIOMETRIC IMAGES. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(7), 115–130. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.115130>
 - 23 23. Founds, A. P., Orleans, N., Genevieve, W., & Watson, C. I. (2011). Nist special database 32-multiple encounter dataset ii (meds-ii).
 - 24 24. Van der Walt, S., Schönberger, J. L., Nunez-Iglesias, J., Boulogne, F., Warner, J. D., Yager, N., & Yu, T. (2014). scikit-image: image processing in Python. *PeerJ*, 2, e453.
 - 25 25. Nazarkevych, M., Klyujnyk, I., Maslanych, I., Havrysh, B., & Nazarkevych, H. (2018). Image filtration using the Ateb-Gabor filter in the biometric security systems. (c. 276–279). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2018.8365749>

**Nazarkevych Mariya**

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Information Technologies of Publishing
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-6528-9867
mariia.a.nazarkevych@lpnu.ua

Voznyi Yaroslav

graduate student of the Department of Information Technologies of Publishing
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-5481-9973
voznyyy@outlook.com

Nazarkevych Hanna

Master
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-1413-630X
h.nazarkevych@gmail.com

DEVELOPMENT OF MACHINE LEARNING METHOD WITH BIOMETRIC PROTECTION WITH NEW FILTRATION METHODS

Abstract. Biometric images were processed and filtered by a newly developed Ateb-Gabor wavelet filter. Identification of biometric images was performed by machine learning methods. The Gabor filter based on Ateb functions is effective for filtering because it contains generalizations of trigonometric functions. Developed wavelet transform of Ateb-Gabor function. It is shown that the function depends on seven parameters, each of which makes significant changes in the results of filtering biometric images. A study of the wavelet Ateb-Gabor function was performed. The graphical dependences of the Gabor filter wavelet and the Ateb-Gabor filter wavelet are constructed. The introduction of wavelet transforms reduces the complexity of Ateb-Gabor filter calculations by simplifying function calculations and reducing filtering time. The complexity of the algorithms for calculating the Gabor filter wavelet and the Ateb-Gabor filter wavelet is evaluated. Ateb-Gabor filtering allows you to change the intensity of the entire image, and to change certain ranges, and thus change certain areas of the image. It is this property that biometric images should have, in which the minions should be contrasting and clear. Ateb functions have the ability to change two rational parameters, which, in turn, will allow more flexible control of filtering. The properties of the Ateb function are investigated, as well as the possibility of changing the amplitude of the function, the oscillation frequency to the numerical values of the Ateb-Gabor filter. By using the parameters of the Ateb function, you can get a much wider range of shapes and sizes, which expands the number of possible filtering options. You can also implement once filtering, taking into account the direction of the minutes and reliably determine the sharpness of the edges, rather than filtering batocrates. The reliability results were tested on the basis of NIST Special Database 302, and good filtration results were shown. This was confirmed by a comparison experiment between the Wavelet-Gabor filtering and the Ateb-Gabor wavelet function based on the measurement of the PSNR signal-to-noise ratio.

Keywords: Ateb-Gabor wavelet transform; Gabor wavelet transform; biometric images; machine learning

REFERENCES

- 1 Valechha, L., Valecha, H., Ahuja, V., Chawla, T., & Sengupta, S. (2020). Orisyncrasy—An Ear Biometrics on the Fly Using Gabor Filter. *Advances in Data Sciences, Security and Applications*, 457-466. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0372-6_37



- 2 Onifade, O., Akinde, P., & Isinkaye, F. (2020). Circular Gabor wavelet algorithm for fingerprint liveness detection. *Journal of Advanced Computer Science & Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.14419/jacst.v9i1.29908>
- 3 Le, N. T., Wang, J.-W., Le, D. H., Wang, C.-C., & Nguyen, T. N. (2020). Fingerprint Enhancement Based on Tensor of Wavelet Subbands for Classification. *IEEE Access*, 8, 6602–6615. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2964035>
- 4 Chanukya, P. S. V. N., & Thivakaran, T. K. (2019). Multimodal biometric cryptosystem for human authentication using fingerprint and ear. *Multimedia Tools and Applications*, 79(1-2), 659–673. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08123-w>
- 5 Wagh, D., Fadewar, H., & Shinde, G. (2020). Biometric Finger Vein Recognition Methods for Authentication. *Computing in Engineering and Technology*, 45–53. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9515-5_5.
- 6 Lee, C.-J., & Wang, S.-D. (1999). Fingerprint feature extraction using Gabor filters. *Electronics Letters*, 35(4), 288-290. <https://doi.org/10.1049/el:19990213>.
- 7 Yang, J., Liu, L., Jiang, T., & Fan, Y. (2003). A modified Gabor filter design method for fingerprint image enhancement. *Pattern Recognition Letters*, 24(12), 1805–1817. [https://doi.org/10.1016/s0167-8655\(03\)00005-9](https://doi.org/10.1016/s0167-8655(03)00005-9)
- 8 Wang, W., Li, J., Huang, F., & Feng, H. (2008). Design and implementation of Log-Gabor filter in fingerprint image enhancement. *Pattern Recognition Letters*, 29(3), 301-308. [https://doi.org/10.1016/s0167-8655\(03\)00005-9](https://doi.org/10.1016/s0167-8655(03)00005-9).
- 9 Areekul, V., Watchareeruetai, U., Suppasriwasuseth, K., & Tantaratana, S. (2005, September). Separable Gabor filter realization for fast fingerprint enhancement. In *IEEE International Conference on Image Processing 2005*, Vol. 3, pp. III-253. IEEE. DOI: [10.1109/ICIP.2005.1530376](https://doi.org/10.1109/ICIP.2005.1530376).
- 10 Usmonov, B., Evsutin, O., Iskhakov, A., Shelupanov, A., Iskhakova, A., & Meshcheryakov, R. (2017, November). The cybersecurity in development of IoT embedded technologies. In *2017 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)* IEEE, pp. 1-4. DOI: [10.1109/ICISCT.2017.8188589](https://doi.org/10.1109/ICISCT.2017.8188589).
- 11 Hryshchuk, R., & Molodetska, K. (2016, May). Synergetic control of social networking services actors' interactions. In *International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016*, pp. 34-42. DOI: [10.1007/978-3-319-48923-0_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_5).
- 12 Bogachuk, I., Sokolov, V., & Buriachok, V. (2018, October). Monitoring subsystem for wireless systems based on miniature spectrum analyzers. In *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)* pp. 581-585. DOI: [10.1109/INFOCOMMST.2018.8632151](https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632151)
- 13 Korchenko, O., Vasiliu, Y., & Gnatyuk, S. (2010). MODERN QUANTUM TECHNOLOGIES OF INFORMATION SECURITY AGAINST CYBER-TERRORIST ATTACKS. *Aviation*, 14(2), 58–69. <https://doi.org/10.3846/aviation.2010.10>
- 14 V. Dudykevych, O. Bakay and Y. Lakh, "Investigation of Payment Cards systems information security control," *2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, Berlin, 2013, pp. 651-654. DOI: [10.1109/IDAACS.2013.6663005](https://doi.org/10.1109/IDAACS.2013.6663005)
- 15 Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019). Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*, 7(3), 8-18.
- 16 Naidu, P. A., Prasad, C. H. G. V. N., Prasad, B., & Bodla, B. (2017). Fingerprint and Palmprint Multi-Modal Biometric Security System. *International Journal of Engineering and Applied Computer Science*, 2(05).
- 17 Ramos A.L.A., Dadiz B.G., Santos A.B.G. (2020) Classifying Emotion based on Facial Expression Analysis using Gabor Filter: A Basis for Adaptive Effective Teaching Strategy. In: Alfred R., Lim Y., Havaluddin H., On C. (eds) *Computational Science and Technology. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 603. Springer, Singapore. DOI: [10.1007/978-981-15-0058-9_45](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0058-9_45).
- 18 Chen, W., Sui, L., Xu, Z., & Lang, Y. (2012, May). Improved Zhang-Suen thinning algorithm in binary line drawing applications. In *2012 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2012)* (pp. 1947-1950). IEEE.
- 19 19. Nazarkevych, M., Lotoshynska, N., Klyujnyk, I., Voznyi, Y., Forostyna, S., & Maslanych, I. (2019, July). Complexity Evaluation of the Ateb-Gabor Filtration Algorithm in Biometric Security Systems. In *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 961-964. DOI: [10.1109/UKRCON.2019.8879945](https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879945).



- 20 20. 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), 1011-1014. IEEE. DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100403.
- 21 21. Nazarkevych, M., Riznyk, O., Samotyy, V., & Dzelendzyak, U. (2019). Detection of regularities in the parameters of the atebgabor method for biometric image filtration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(97), 57–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154862>
- 22 22. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., & Dmytryk, S. (2020). WAVELET TRANSFORMATION ATEB-GABOR FILTERS TO BIOMETRIC IMAGES. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(7), 115–130. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.115130>
- 23 23. Founds, A. P., Orlans, N., Genevieve, W., & Watson, C. I. (2011). Nist special database 32-multiple encounter dataset ii (meds-ii).
- 24 24. Van der Walt, S., Schönberger, J. L., Nunez-Iglesias, J., Boulogne, F., Warner, J. D., Yager, N., & Yu, T. (2014). scikit-image: image processing in Python. *PeerJ*, 2, e453.
- 25 25. Nazarkevych, M., Klyujnyk, I., Maslanych, I., Havrysh, B., & Nazarkevych, H. (2018). Image filtration using the Ateb-Gabor filter in the biometric security systems. (c. 276–279). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2018.8365749>

