



DOI:10.28925/2663-4023.2019.6.142153

УДК 004.056.5: 655.25

Назаркевич Марія Андріївна

д.т.н., проф., проф. 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
Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна
ORCID ID 0000-0002-5481-9973
voznuyy@outlook.com

УЗАГАЛЬНЕННЯ ФІЛЬТРІВ ГАБОРА НА ОСНОВІ АТЕВ-ФУНКЦІЙ

Анотація. Досліджується ідентифікація відбитків пальців в інформаційній системі безпеки. Здійснювали відбитки пальців, проводили проріджування сосочків, орієнтували поля Шерлока та Монро, проводили фільтрацію Атеба-Габора, досліджували тривимірні властивості Атеба-Габора для різних раціональних параметрів. Виявлено їх вплив на фільтрацію та згодом на ідентифікацію. Застосовується фільтрування Ateb-Nabor для біометричних відбитків, що значно розширює класичну фільтрацію шляхом впровадження більш широкого набору фільтрів і надання комплексного підходу до ідентифікації. Скелет був виконаний за допомогою алгоритму Hilditch. Наступним кроком є створення напрямних полів, використовуючи метод, запропонований Шерлоком та Монро при формуванні поля напрямку папілярних ліній. Використовується середній рівень хребта / дев'ять пікселів. Це імітує датчик з роздільною здатністю 500 dpi. Частота в областях зменшується в залежності від положення. Алгоритм Hilditch генерує векторне зображення. Це зображення у вигляді завантаженого графіка - тобто знайдених кінцевих точок, точок перетину верхньої частини графіка та ліній та дуг

Ключові слова: protective element; latent element; printing; graphic protection

1. ВСТУП

Існують дві основні категорії методів порівняння відбитків пальців - це порівняння визначених точок і співставлення цілого малюнку відбитка - шаблону. Метод шаблонної ідентифікації порівнює два зображення, яке дозволяє побачити його схожість. Такий метод, як правило, використовується в системах ідентифікації відбитків пальців. Технологією, яка більш широко використовується є розпізнавання на основі порівняння визначених точок.

Для отримання цифрових зображень відбитків поверхні пальця використовується різноманіття типів датчиків - оптичні, емнісні, ультразвукові та теплові. На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими датчиками отримання зображень відбитків пальців є оптичні датчики.



• *Рис. 1. Заскановані відбитки пальців у форматі bmp*

Вейвлети Габора широко використовуються для фільтрації відбитків пальців, а характеристики Габора визнаються кращим представленням для розпізнавання відбитків з точки зору коефіцієнта розпізнавання. Більше того, це демонструється зі стійкими до змін освітлення та зашумлення. Коли доступно лише одне еталонне зображення на засканований відбиток, пропонують адаптивно зважений масив суб-Габора для представлення та розпізнавання відбитків пальців.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В [1] були прийняті особливості фільтрів Габора для класифікації класифікованого представлення. Основним недоліком методів, заснованих на фільтрі Габора, є розмірність функції Габора простір яких значно більший, оскільки зображення зібрані банком фільтрів Габора. Для подолання цієї проблеми алгоритм Adaboost та ентропія та генетичні алгоритми (GA) [2] використовуються для вибору найбільш значимих ознак Габора. Однак вибір найбільш корисний метод з такої кількості функцій Габора дуже трудомісткий [3]. Крім того, вилучення функцій Gabor обчислювально інтенсивно, тому в даний час ці функції не використовуються для програм у режимі реального часу [4]. Спрощена версія вейвлетів Gabor введена в [5]. На жаль, спрощені функції Gabor є більш чутливими до змін освітлення по відношенню до оригінальних функцій Gabor.

Фільтри Габора, як правило, використовуються для аналізу текстур, виявлення країв, вилучення особливостей, оцінка нерівномірності (у стерео зорі) тощо. Фільтри Габора - це спеціальні класи смугових фільтрів, тобто вони дозволяють певну «смугу» частот і відхиляють інші.

Фільтри Габора застосовуються до зображень приблизно так само, як і звичайні фільтри. У нас є маска, більш точний термін для неї буде "ядро згортки", яка представляє фільтр. За допомогою маски, ми маємо на увазі сказати, що у нас є масив, зазвичай це двовимірний масив, оскільки в них залучені 2D зображення, пікселів, яким кожному пікселю присвоюється "вагове" значення. Цей масив ковзає по кожному пікселю зображення і виконується операція згортання.

Коли фільтр Gabor застосовується до зображення, він дає найбільшу відповідь на краях і в місцях, де змінюється текстура. Наступні зображення показують тестове зображення та його перетворення після застосування фільтра.

Фільтр Gabor реагує на зміни ребер та текстур. Фільтр добре реагує на просторове розташуванні функції. Це відбувається, коли застосовуються ядра згортання в просторовій області, в частотних доменах.

Метод, заснований на застосуванні фільтра Габора, досить простий і ефективний при побудові зображень папілярних ліній. При ітераційне зміні початкового зображення, що містить один або більше ізольованих джерел, відбувається зростання зображення з

урахуванням локальної орієнтації. В результаті поступово з'являється несуперечлива і дуже реалістична картина папілярних ліній. При цьому в випадкових позиціях відбитка пальця з'являються Мінучій різних типів.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Методи розпізнавання зображень, в яких ознаками є яскравості окремих пікселів, часто не враховують взаємне розміщення цих пікселів. Перспективним виявився метод, який заснований на використанні фільтру Атеб-Габор.

Відомо одномірний та двомірний фільтр Габор. Запропоновано узагальнений фільтр Габор на основі Атеб-функцій, який розширить можливості фільтрації. За допомогою фільтру Атеб-Габор можна здійснювати фільтрацію зі змінною площею та контрастністю та методом зміни.

ТРИВИМІРНІ ФІЛЬТРИ АТЕБ-ГАБОРА

Одним з найпопулярніших методів вибору ребер на зображенні є використання фільтрів Габор. Побудова реальної частини ядра фільтра Габор здійснюється за допомогою джерела. Уявна частина фільтра побудована таким чином, щоб замінити функцію косинуса на розрахунок синуса у наведеній вище формулі.

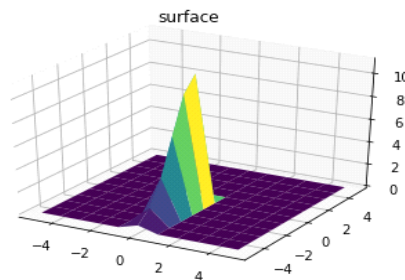
Запропоновано застосовувати фільтрацію Атеб-Габором для фільтрації біометричних відбитків, який значно розширює класичну фільтрацію, реалізуючи ширший набір фільтрів та забезпечуючи комплексний підхід. Фільтрація описується формулою:

$$G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \varphi, m, n) = \exp\left(\frac{-x'^2 + \varphi^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \text{ca}\left(m, n, 2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right), \quad (1)$$

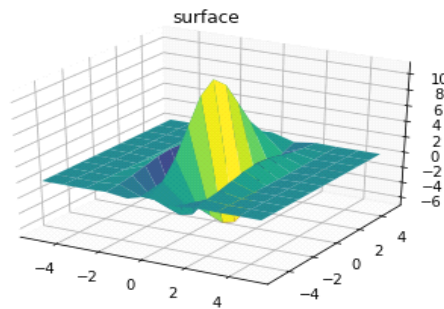
де

$$\begin{cases} x' = x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' = -x \sin \theta + y \cos \theta. \end{cases}$$

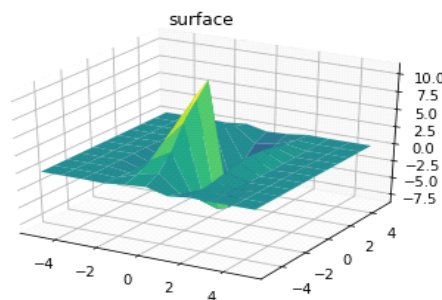
φ - параметр стиснення та масштабування даних, m, n - параметр періодичної атеб-функції θ - паралельна пропускна здатність нормальної орієнтації, λ - довжина хвилі гармонічної функції, ψ - відставання, σ - гауссова ядра стандартного відхилення.



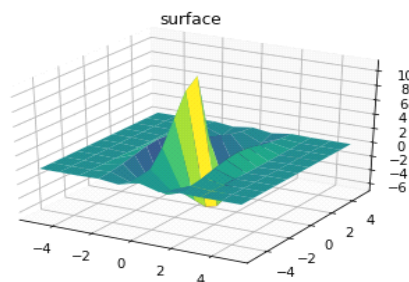
- *Рис. 2. Побудова тривимірного фільтра Атеба-Габор з параметрами $m = 9, n = 0,5, \psi = 1, \sigma = 1 \pi$*



- *Рис. 3. Побудова тривимірного фільтра Атеба-Габора з параметрами $m = 3, n = 5, \sigma = 1\pi$*



- *Рис. 4. Побудова тривимірного фільтра Атеба-Габора з параметрами $m = 3, n = 7, \sigma = 1\pi$*



- *Рис. 5. Побудова тривимірного фільтра Атеба-Габора з параметрами $m = 3, n = 11, \sigma = 1\pi$*

4. МЕТОД ПОТОНШАННЯ МІНУЦІЙ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Алгоритми скелетизації базуються на послідовному видаленні контурних точок. Цих точок позбуваються, а лінія стає "прорідженою". Алгоритм проріджування є зазвичай виключенням крайових точок, де вікно 3×3 переміщується по всьому зображенню. Набір описаних правил застосовується до вмісту вікна. Розглянемо побудову скелетона за допомогою алгоритму Hilditch. Алгоритм працює із бінарними зображеннями. Суть алгоритму полягає в ітераційному скануванні матриці пікселів зображення вікном позицій та поступовій заміні чорних пікселів на білі. Алгоритм був описаний в.

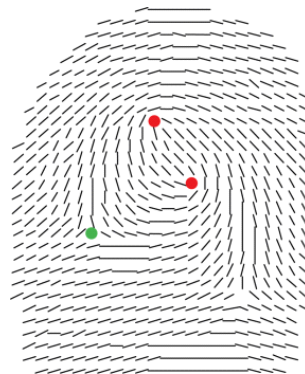


- *Рис. 6. Застосування алгоритму Hilditch до відбитків, показаних на рис.1*

ПОБУДОВА ВІДБИТКУ ПАЛЬЦІВ З ПОЛЯМИ НАПРЯМКІВ

Для створення поля напрямків, скористаємося методом, запропонованим Шерлоком та Монро при формуванні поля напрямків папілярних ліній. Як було сказано в рис.1 опис мінуцій класифікують як завершення хребта, біфуркація або розбіжна вилка, додаток, конвергенційна вилка, взаємозв'язок або міст, фрагмент або короткий хребет, гачок або шпора, повернення, відхилені переривання, перехрестя, точка, пунктирний хребет.

Метод Шерлока і Монро був запропонований в [9] для формування поля спрямованості папілярних ліній. Модель, запропонована Шерлоком і Монро, дозволяє створювати поле напрямків на базі інформації про стан Мінуцій. Створення папілярних ліній на базі поля напрямків і поля щільності полягає в наступному: вихідна картинка, яка містить деякі ізольовані сингулярності, поступово збільшується за рахунок використання фільтра Атеб-Габора, налаштованого на певний рівень щільності.



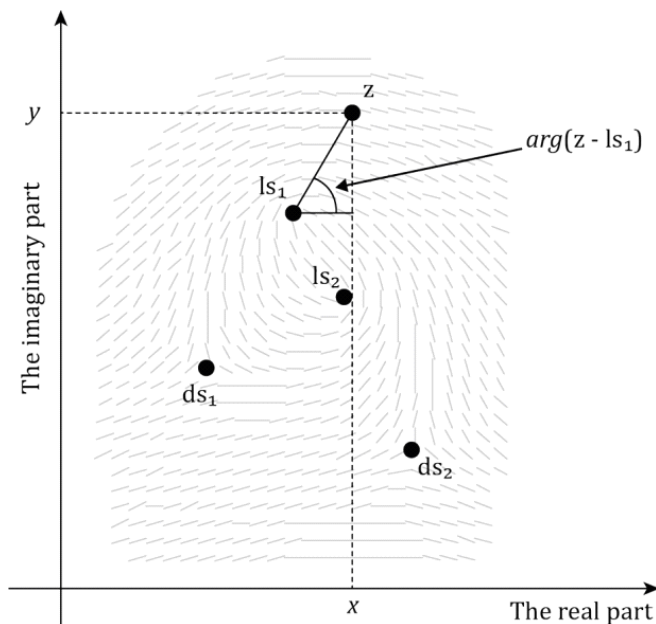
- *Рис. 7. Побудова поля напрямків*

Модельна орієнтація, представлена Шерлоком і Монро [10], дозволяє отримати зображення орієнтації папілярних ліній із участю особливостей ядра та дельти відпечатки пальця. У цій моделі кожен елемент поля направляється вимірює своє значення. Местна орієнтація папілярної лінії визначає, як фаза модуля раціональної функції, яка знаходиться там, де і ядра і дельти відпечатка пальця. Орієнтація для кожного пункту визначається за формулою:

$$O(z) = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^{n_d} g_{d_{si}}(\arg(z - d_{si})) - \sum_{j=1}^{n_c} g_{c_{sj}}(\arg(z - l_{sj})) \right]$$

$gk \alpha$ - функції визначені для різних дельт і ядер... $k \in l_{s1}, l_{s2}, l_{snc}, \dots, d_{s1}, d_{s2}, d_{snd}, l_{sj}$ - j -е ядро, а d_{si} - i -я дельта в комплексній площині [11].

Загальна частота вибирається відповідно до розподілу частоти ліній гребеня в реальних відбитках пальців; Використовується середній період хребта / западини в дев'ять пікселів. Це імітує датчик з роздільною здатністю 500 точок на дюйм. Частота в областях зменшується в залежності від положення.



• Рис. 8. Побудова поля напрямків орієнтації папілярних ліній

Модель Шерлока и Монро використовується наступним чином. Відбиток пальця фільтрується Атеб-Габором. Далі здійснюється потоншення. Задаються позиції ядер і дельт. Після цього будується поле напрямлень.

СКЕЛЕТИЗАЦІЯ

Скелетонізація перетворює об'єкти в зображеннях до виду типу "скелет". Це використовують для представлення топології об'єкта, здійснюючи послідовні проходи зображення. Щоразу, межі пікселів ідентифікуються та видаляються за умови, що вони не порушують зв'язок відповідного об'єкта. Багато розроблених алгоритмів скелетизації базуються на послідовному видаленні контурних точок. Алгоритм проріджування як правило працює над виключенням крайових точок, а вікно 3×3 переміщується по всьому зображенню, і правила застосовуються до вмісту вікна. Скелетонізація працює, роблячи послідовні проходи зображення, видаляючи пікселі на межі об'єкта. Це триває, поки більше пікселів не можна буде видалити. Зображення співвідноситься з маскою, яка присвоює кожному пікселю число в діапазоні $[0 \dots 255]$, що відповідає кожному можливому малюнку з його 8 сусідніх пікселів. Тоді оглядова таблиця використовується для призначення пікселів значення 0, 1, 2 або 3, які вибірково видаляються під час ітерацій.

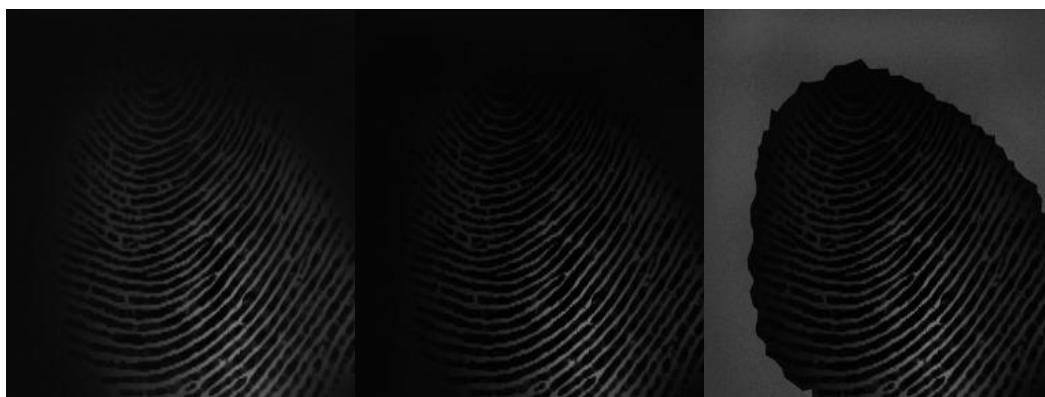
Алгоритми потоншення розглядаються у праці Rutovitz [12], який вперше запропонував алгоритм проріджування, що визначається номером перетину, і дозволяє паралельні операції Алгоритм може реалізувати весь шар контуру.

Відомий підхід до скелетизації - алгоритм Hilditch [13]. Hilditch детально описав критерії, які повинні бути виконані до того, що чорний піксель шаблону був видалений. Відомий також хвильовий алгоритм. Він формує векторне представлення зображення у вигляді навантаженого графа - тобто визначення кінцевих точок, точок перетину вершини графа, та ліній і дуг, що складають ребра графа. А робота з тонкими векторними елементами була розроблена в [14], які були ускладнені латентними елементами, що слабо підлягали друкуванню. Застосуванню методів машинного навчання присвячена робота [15], в основі якої є навчання нейромережами даних, та попередньої фільтрації зображень. А в роботі [16] описано розпізнавання у відеопотоці, що є актуальним і стосується даного дослідження на предмет зміни ключових зображень.

ВИРІВНЮВАННЯ ГІСТОГРАМИ ВІДБИТКА ПАЛЬЦЯ

Вирівнювання гістограми є нелінійним процесом. Поділ каналів і вирівнювання кожного каналу окремо не є добрим способом вирівнювання контрасту. Вирівнювання включає в себе значення інтенсивності зображення, а не колірні компоненти. Це слід застосовувати таким чином, щоб значення інтенсивності були вирівняні, не порушуючи баланс кольорів зображення. Отже, першим кроком є перетворення колірного простору зображення з RGB в одне з колірних просторів, яке відокремлює значення інтенсивності від колірних компонентів.

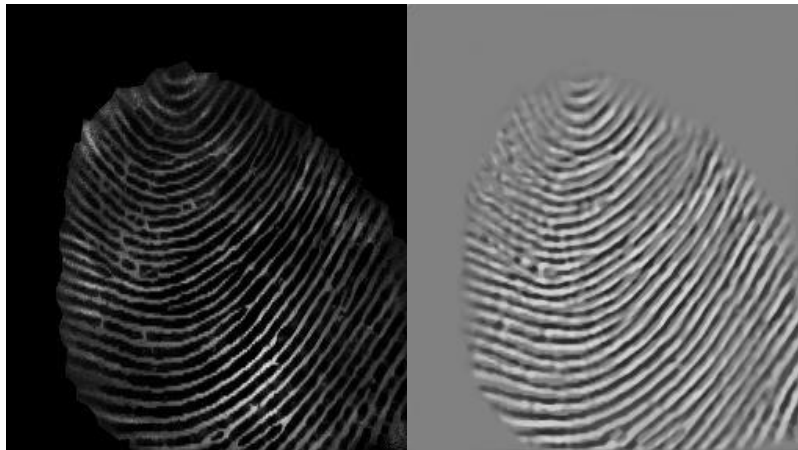
Результати бінаризації показані на рисунку 9. Початкове зображення у відтінках сірого знаходиться зліва Fig. 9a. На Fig. 9b показано збільшення контрасту, на 9c – сегментація, яка полягає у розділенні цифрового [зображення](#) на декілька сегментів Це робиться для спрощення та зміни представлення зображення для полегшення його аналізу. На Fig. 9d показана локальна нормалізація, яка полягає у приведенні зображення до початку координат, яке є прийнятним для розпізнавання. На Fig. 9e показана фільтрація Габором. На фіг. 10 показана фільтрація зображень: a - додавання обробленого зображення, b-бінаризація; c - серединна фільтрація; d- функція витяжки, e -фільтроване зображення.



a

b

c



d

e

Рис. 9. Вирівнювання відбитків пальців гістограми: а Вхідне зображення, б - Контрастність; в - сегментація; г - Локальна нормалізація; е - Габор



a

b

c



d



e

Рис. 10. Фільтрація зображень: а - додавання обробленого зображення, б- бінаризація; с - серединна фільтрація; д- функція витяжки, е -фільтроване зображення

ВИСНОВКИ



Біометричні відбитки пальців були скановані оптичними сканерами та побудовано систему а розпізнавання, яка базувалася на нових методах фільтрації. Заскановані зображення підлягали обробці, фільтрації, та проріджуванню за допомогою алгоритму Хільдіча. Цей метод створює векторне зображення у вигляді завантажених графів. Це дозволить відокремити кінцеві точки, тобто точки перетину верхньої частини графіка та ліній та дуг, які містять краях графіка. Орієнтацію поля проводили за методом Шерлока та Монро. Реалізовано фільтрацію на основі Ateb-Gabor. Властивості Атеба-Габора були досліджені для різних раціональних параметрів та здійснено їх вплив на фільтрацію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Nazarkevych M., Riznyk O., Samotyy V., Dzelendzyak U. Detection of regularities in the parameters of the ateb-gabor method for biometric image filtration. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. № 1(2). pp. 57–65. (2019).
- [2] Shakeel, P. M., Tolba, A., Al-Makhadmeh, Z., & Jaber, M. M. (2019). Automatic detection of lung cancer from biomedical data set using discrete AdaBoost optimized ensemble learning generalized neural networks. *Neural Computing and Applications*, 1-14.
- [3] Dronyuk I., Nazarkevych M., Poplavska Z. Gabor Filters Generalization Based on Ateb-Functions for Information Security. In: Gruca A., Czachórski T., Harezlak K., Kozielski S., Piotrowska A. (eds) *Man-Machine Interactions 5. ICMMI 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 659. Springer, Cham (2018).
- [4] Mishra, A., & Dehuri, S. (2019). A Novel Hybrid FLANN-PsO Technique for real Time Fingerprint Classification. *Medico-Legal Update*, 19(2), 740-746.
- [5] M. Nazarkevych, I. Klyujnyk, I. Maslanych, B. Havrysh and H. Nazarkevych, "Image filtration using the Ateb-Gabor filter in the biometric security systems," 2018 XIV-th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, 2018, pp. 276-279. doi: 10.1109/MEMSTECH.2018.8365749
- [6] M. Nazarkevych, Y. Kynash, R. Oliarnyk, I. Klyujnyk and H. Nazarkevych, "Application perfected wave tracing algorithm," 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, pp. 1011-1014. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100403
- [7] Manickam, A., Devarasan, E., Manogaran, G., Chilamkurti, N., Vijayan, V., Saraff, S., ... & Krishnamoorthy, R. (2019). Bio-medical and latent fingerprint enhancement and matching using advanced scalable soft computing models. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(10), 3983-3995.
- [8] Stücker, M., Geil, M., Kyeck, S., Hoffman, K., Röchling, A., Memmel, U., & Altmeyer, P. (2001). Interpapillary lines—the variable part of the human fingerprint
- [9] Huckemann, S., Hotz, T., & Munk, A. (2008). Global models for the orientation field of fingerprints: an approach based on quadratic differentials. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(9), 1507-1519.
- [10] Vizcaya, P. R., & Gerhardt, L. A. (1996). A nonlinear orientation model for global description of fingerprints. *Pattern Recognition*, 29(7), 1221-1231.
- [11] Kücken, M., & Newell, A. C. (2004). A model for fingerprint formation. *EPL (Europhysics Letters)*, 68(1), 141.
- [12] Chen, Chi-hau. *Handbook of pattern recognition and computer vision*. World Scientific, 2015.
- [13] Radhu Krishna, R. (2019). Enhanced skeletonization algorithm for fingerprint images.
- [14] Medykovsky, M., Lipinski, P., Troyan, O., Nazarkevych, M. Methods of protection document formed from latent element located by fractals. In 2015 Xth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies"(CSIT). pp. 70-72. IEEE. (2015, September).
- [15] Vasyl Lytvyn, Victoria Vysotska, Viktor Shatskykh, Ihor Kohut, Oksana Petruchenko, Lyudmyla Dzyubyk, Vitaliy Bobrivets, Valentyna Panasyuk, Svitlana Sachenko, Myroslav Komar [DESIGN OF A Design of a recommendation system based on collaborative filtering and machine learning considering personal needs of the](#)



[user](#). Eastern-European journal of enterprise technologies. Vol 4, No 2 (100). pp. 8–28. (2019).
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175507>

- [16] Lytvyn V., Vysotska V., Mykhailyshyn V., Rzheuskyi A., Semianchuk S. (2020) System Development for Video Stream Data Analyzing. In: Lytvynenko V., Babichev S., Wójcik W., Vynokurova O., Vysheymyrskaya S., Radetskaya S. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1020. Springer, Cham

**Maria A. Nazarkevich**

Ph.D., prof. Department of Information Technology Publishing
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-6528-9867
maria.a.nazarkevych@lpnu.ua

Yaroslav V. Vozny

postgraduate
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-5481-9973
voznyyy@outlook.com

GENERATION OF GABOR FILTERS BASED ON ATEB FUNCTIONS

Abstract. The identification of fingerprints in the security information system is investigated. Fingerprints were performed, papillae thinning was performed, Sherlock and Monroe fields were oriented, Ateb-Gabor filtration was performed, and three-dimensional Ateb-Gabor properties were investigated for different rational parameters. Their effect on filtering and subsequently on identification has been identified. Ateb-Habor filtering for biometric prints is applied, which greatly expands classic filtering by introducing a wider set of filters and providing a holistic approach to identification. The skeleton was made using the Hilditch algorithm. The next step is to create guide fields using the method suggested by Sherlock and Monroe in forming the direction of the papillary lines. Uses a spine / nine pixel average. It simulates a sensor with a resolution of 500 dpi. Frequency in areas decreases depending on position. The Hilditch algorithm generates a vector image. This is an image of a loaded graph - that is, found endpoints, intersections of the top of the graph, and lines and arcs

Keywords: protective element; latent element; printing; graphic protection

REFERENCES

- [1] Nazarkevych M., Riznyk O., Samoty V., Dzelendzyak U. Detection of regularities in the parameters of the ateb-gabor method for biometric image filtration. Eastern-European journal of enterprise technologies. № 1(2). pp. 57–65. (2019).
- [2] Shakeel, P. M., Tolba, A., Al-Makhadmeh, Z., & Jaber, M. M. (2019). Automatic detection of lung cancer from biomedical data set using discrete AdaBoost optimized ensemble learning generalized neural networks. Neural Computing and Applications, 1-14.
- [3] Dronyuk I., Nazarkevych M., Poplavska Z. Gabor Filters Generalization Based on Ateb-Functions for Information Security. In: Gruca A., Czachórski T., Harezlak K., Kozielski S., Piotrowska A. (eds) Man-Machine Interactions 5. ICMMI 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 659. Springer, Cham (2018).
- [4] Mishra, A., & Dehuri, S. (2019). A Novel Hybrid FLANN-PsO Technique for real Time Fingerprint Classification. Medico-Legal Update, 19(2), 740-746.
- [5] M. Nazarkevych, I. Klyujnyk, I. Maslanych, B. Havrysh and H. Nazarkevych, "Image filtration using the Ateb-Gabor filter in the biometric security systems," 2018 XIV-th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, 2018, pp. 276-279. doi: 10.1109/MEMSTECH.2018.8365749
- [6] M. Nazarkevych, Y. Kynash, R. Oliarnyk, I. Klyujnyk and H. Nazarkevych, "Application perfected wave tracing algorithm," 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, pp. 1011-1014. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100403
- [7] Manickam, A., Devarasan, E., Manogaran, G., Chilamkurti, N., Vijayan, V., Saraff, S., ... & Krishnamoorthy, R. (2019). Bio-medical and latent fingerprint enhancement and matching using advanced scalable soft computing models. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 10(10), 3983-3995.
- [8] Stücker, M., Geil, M., Kyeck, S., Hoffman, K., Röchling, A., Memmel, U., & Altmeyer, P. (2001). Interpapillary lines—the variable part of the human fingerprint



- [9] Huckemann, S., Hotz, T., & Munk, A. (2008). Global models for the orientation field of fingerprints: an approach based on quadratic differentials. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(9), 1507-1519.
- [10] Vizcaya, P. R., & Gerhardt, L. A. (1996). A nonlinear orientation model for global description of fingerprints. *Pattern Recognition*, 29(7), 1221-1231.
- [11] Kücken, M., & Newell, A. C. (2004). A model for fingerprint formation. *EPL (Europhysics Letters)*, 68(1), 141.
- [12] Chen, Chi-hau. *Handbook of pattern recognition and computer vision*. World Scientific, 2015.
- [13] Radhu Krishna, R. (2019). Enhanced skeletonization algorithm for fingerprint images.
- [14] Medykovskyy, M., Lipinski, P., Troyan, O., Nazarkevych, M. Methods of protection document formed from latent element located by fractals. In 2015 Xth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies"(CSIT). pp. 70-72. IEEE. (2015, September).
- [15] Vasyl Lytvyn, Victoria Vysotska, Viktor Shatskykh, Ihor Kohut, Oksana Petruchenko, Lyudmyla Dzyubyk, Vitaliy Bobrivetc, Valentyna Panasyuk, Svitlana Sachenko, Myroslav Komar DESIGN OF A [Design of a recommendation system based on collaborative filtering and machine learning considering personal needs of the user](#). *Eastern-European journal of enterprise technologies*. Vol 4, No 2 (100). pp. 8–28. (2019). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175507>
- [16] Lytvyn V., Vysotska V., Mykhailyshyn V., Rzheuskyi A., Semianchuk S. (2020) System Development for Video Stream Data Analyzing. In: Lytvynenko V., Babichev S., Wójcik W., Vynokurova O., Vysheymyrskaya S., Radetskaya S. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1020. Springer, Cham

