

Національний університет “Львівська політехніка”
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Возний Ярослав Васильович

УДК 004.056.523+004.93

ДИСЕРТАЦІЯ

**Методи та засоби підвищення якості попереднього опрацювання
біометричних зображень**

122 – Комп’ютерні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Я.В.Возний

Науковий керівник
Назаркевич Марія Андріївна,
доктор технічних наук, професор

Львів – 2022

Анотація

Возний Я.В. Методи та засоби підвищення якості попереднього опрацювання біометричних зображень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». – Національний університет “Львівська політехніка”, МОН України, Львів, 2022.

Дисертаційна робота присвячена розробленню методів та засобів підвищення якості попереднього опрацювання біометричних зображень.

З кожним днем біометричні дані набувають все більшого поширення у військовій справі, при паспортному контролі, у банківських системах, адміністративному управлінні, у системах кіберзахисту тощо.

Сучасні біометричні системи захисту показують хорошу продуктивність при умові надходження якісних вхідних даних. Проте розпізнавання в біометричній системі різко погіршується, коли надходять дані поганої якості, випадкові дані, існують шумові процеси. У біометричній системі захисту необхідно перевіряти цілісність інформації до її обробки, оскільки дані можуть бути змінені.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел, де виділено, що фільтрація Габор є згортовою перетворенням Фур'є гармонійної функції і функції Гауса, що є перспективним дослідженням для створення нових методів виділення контурів біометричного об'єкту.

Однією з найважливіших етапів обробки біометричної інформації є її попередня обробка, яка передбачає фільтрацію зображень, виділення країв, які служать важливими ознаками для класифікації. Фільтрація зображень стосується реконструкції зображення шляхом зміни інтенсивності пікселів.

У другому розділі вперше розроблено фільтрацію на основі Атеб-Габор перетворення, яка використовує Габор фільтрацію в біометричних зображеннях та дозволяє розширити набір фільтрацій шляхом застосування параметрів Атеб-Габору, що покращує ідентифікаційні властивості біометричного зображення.

Розроблено вейвлет-атеб-Габор фільтрацію, яка містить нові математичні залежності, які істотно впливають на форму функції і результат, що дає змогу отримати більший контроль над фільтрацією порівняно зі стандартним фільтром Габора.

Розроблено інформаційну систему ідентифікації, яка застосовує (враховує) Ateb-перетворення, вейвлет-Ateb-перетворення, що дозволяє проводити фільтрацію біометричних зображень в комплексному режимі, що дає можливість скоротити час процесу фільтрації.

Фільтрування Ateb-Габором дозволяє змінювати інтенсивність всього зображення, а також інтенсивність у певних діапазонах, і таким чином зробити певні ділянки зображення контрастнішими, здійснити вплив випадкових даних мінімальним. Ateb-функції змінюються від двох раціональних параметрів, а це, в свою чергу, дасть можливість гнучкіше керувати фільтрацією. Досліджено властивості Ateb-функції, а також можливості зміни амплітуди функції, частоти коливань на фільтр Ateb-Габора. Показано розвинення фільтрації на основі двовимірного Ateb-Габора. Ці залежності проаналізовані та зроблені відповідні експерименти. Відбитки пальців фільтрувалися за допомогою розробленого фільтра Ateb-Габора.

У третьому розділі розроблено ateb-хвильовий метод створення скелету зображення, який дозволяє розробити потоншення папіломних ліній відбитка пальця на основі хвильового методу з врахуванням Ateb-Габор фільтрації, який ефективніше зберігає фрагменти зображення та покращує ідентифікаційні властивості.

Побудовано систему розпізнавання, яка базується на нових методах фільтрації. Заскановані зображення підлягали обробці, фільтрації, та проріджуванню за допомогою алгоритму Хільдіча. Цей метод дозволив створити векторне зображення у вигляді завантажених графів. Це дозволило відокремити кінцеві точки верхньої частини графів, ліній та дуг. Орієнтацію поля проводили за методом Шерлока та Монро. Реалізовано фільтрацію на основі Ateb-Габора. Властивості Ateb-Габора були досліджені для різних раціональних параметрів та здійснено їх вплив на фільтрацію.

Запропоновано фільтрація Ateb-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.

Забезпечення відповідного рівня захищеності інформаційної системи біометричного захисту, завдяки використанню розробленого методу фільтрації, який включає комплексний підхід до синтезу біометричного відбитка, дає змогу скоротити час на розпізнавання та покращити ідентифікаційні властивості системи.

У четвертому розділі досягнуто більшого рівня безпеки інформаційної системи шляхом застосування вейвлет- Ateb-Габор перетворення, яке дозволяє додатково завантажити 2900 різних комбінацій фільтрацій. вибрати оптимальні варіанти та застосувати одноразову універсальну фільтрацію з найкращими, наперед вибраними показниками.

Отримано скелетизацію біометричного зображення на основі ateb-хвильового методу, що забезпечує кращі характеристики з можливістю одержання більшої кількості пологих форм та організації більшого спектру кривих, що підвищує якість результатів ідентифікації.

Метод потоншення було реалізовано алгоритмами Чжан-Суна, Хілдіча та Ateb-Габора з хвильовим алгоритмом, останній з яких показав найкращі результати розпізнавання.

Впровадження розробленої інформаційної системи біометричного захисту на основі фільтрації Ateb-Габора здійснено у ДБ-нейрошифр, що підтверджено відповідним актом.

Ключові слова: фільтрація, скелетизація, Габор фільтр, вейвлет-Габор-перетворення, інформаційна технологія, вейвлет- Ateb -Габор-перетворення, скрипт Python; біометричні зображення, випадкові дані, шумові процеси, захист інформації, перетворення, обробка, статистичне вирівнювання, механізм, онтологія, кібербезпека, криптокодові конструкції, алгебраїчні геометричні коди, класифікатори кіберзагроз, захист, користувач, параметр, передача, інформація, метрика, щільність, цикл, критична інфраструктура, система

безпеки, класифікатор загроз, концепція, метод моделювання, блок графічного процесора, граф блок-схеми, порівняння в парах, масив даних, шифрування, дешифрування, кодування, декодування, криптографічний захист, відбитки пальців, машинне навчання, фур'є перетворення.

ABSTRACT

Voznyi Ya.V. Methods and means of improving the quality of biometric image pre-processing. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Thesis paper for achievement of the scientific degree Doctor of Philosophy in the specialty 122 "Computer Science". – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2022.

The dissertation is devoted to the development of methods and means of improving the quality of pre-processing of biometric images.

Every day, biometric data is becoming more and more common in military affairs, passport control, banking systems, administrative management, cyber security systems, etc.

Modern biometric protection systems show good performance provided that quality input data is received. However, recognition in a biometric system deteriorates sharply when poor quality data, random data, and noise processes are present. In a biometric security system, it is necessary to check the integrity of the information before processing it, since the data can be changed.

In the first chapter, an analysis of literary sources was carried out, where it was highlighted that Gabor filtering is a convolution of Fourier transforms of a harmonic function and a Gaussian function, which is a promising research for creating new methods for extracting the contours of a biometric object.

One of the most important stages of processing biometric information is its pre-processing, which involves image filtering, selection of edges that serve as important features for classification. Image filtering refers to image reconstruction by changing pixel intensities.

In the second chapter, filtering based on the Ateb-Gabor transformation is first developed, which uses Gabor filtering in biometric images and allows to expand the

set of filters by applying Ateb-Gabor parameters, which improves the identification properties of the biometric image.

Wavelet-ateb-Gabor filtering has been developed, which contains new mathematical dependencies that significantly affect the shape of the function and the result, which allows for greater control over filtering compared to the standard Gabor filter.

An information identification system has been developed that applies (takes into account) Ateb-transformation, wavelet-Ateb-transformation, which allows filtering of biometric images in a complex mode, which makes it possible to reduce the time of the filtering process.

Ateb-Gabor filtering allows you to change the intensity of the entire image, as well as the intensity in certain ranges, and thus make certain areas of the image more contrasty. Ateb-functions change from two rational parameters, and this, in turn, will make it possible to manage filtering more flexibly. The properties of the Ateb function, as well as the possibility of changing the amplitude of the function, the frequency of oscillations on the Ateb-Gabor filter, were investigated. The development of filtering based on two-dimensional Ateb-Gabor is shown. These dependencies are analyzed and appropriate experiments are made. The fingerprints were filtered using the developed Ateb-Gabor filter.

In the third chapter, the Ateb-wave method of creating an image skeleton is developed, which allows to develop the thinning of papilloma lines of a fingerprint based on the wave method, taking into account the Ateb-Gabor filtering, which more efficiently preserves image fragments and improves identification properties.

A recognition system based on new filtering methods has been built. The scanned images were subjected to processing, filtering, and thinning using the Hilditch algorithm. This method made it possible to create a vector image in the form of loaded graphs. This made it possible to separate the endpoints of the upper part of graphs, lines and arcs. The orientation of the field was carried out according to the method of Sherlock and Monroe. Filtering based on Ateb-Gabor has been implemented. Ateb-Gabor properties were investigated for various rational parameters and their effect on filtering was realized.

Ateb-Gabor filtering is proposed, and based on filtering, thinning by a wave algorithm. This type of filtering will provide better characteristics, as it makes it possible to obtain a larger number of gentle forms, to organize a larger range of curves.

Ensuring the appropriate level of security of the information system of biometric protection, thanks to the use of the developed filtering method, which includes a comprehensive approach to the synthesis of a biometric print, makes it possible to reduce the time for recognition and improve the identification properties of the system.

In the fourth section, a higher level of security of the information system is achieved by applying the wavelet-Ateb-Gabor transformation, which allows you to additionally load 2900 different combinations of filtering. choose the optimal options and apply one-time universal filtering with the best, pre-selected indicators.

The skeletonization of the biometric image was obtained based on the ateb-wave method, which provides better characteristics with the possibility of obtaining a larger number of gentle forms and the organization of a larger spectrum of curves, which increases the quality of the identification results.

The thinning method was implemented by Zhang-Sung, Hilditch, and Ateb-Gabor wavelet algorithms, the latter of which showed the best recognition results.

The implementation of the developed biometric protection information system based on Ateb-Gabor filtering was carried out in DB-neurocipher, which was confirmed by the relevant act.

Keywords: filtering, skeletonization, Gabor filter, wavelet-Gabor transform, information technology, wavelet-Ateb-Gabor transformation, Python script, biometric images, random data, noise processes, information protection, transformation, processing, statistical alignment, mechanism, ontology, cyber security, cryptographic constructions, algebraic geometric codes, cyber threat classifiers, protection, user, parameter, transfer, information, metric, density, cycle, critical infrastructure, security system, threat classifier, concept, modeling method, GPU unit, block diagram graph, pairwise comparison, data array, encryption,

decryption, encoding, decoding, cryptographic security, fingerprints, machine learning, fourier transform

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Mariia Nazarkevych, Natalya Kryvinska, Yaroslav Voznyi “Applying Ateb–Gabor Filters to Biometric Imaging Problems”, *Symmetry*, vol. 13, iss. 4, 2021, pp. 717–734. DOI: 10.3390/sym13040717. (Особистий внесок – брав участь в розробленні експерименту, узагальненні результатів та підготовці статті).

2. Mariia Nazarkevych, Serhii Dmytruk, Volodymyr Hrytsyk, Olha Vozna, Anzhela Kuza, Oleksii Shevchuk, Vasyl Sheketa, Iryna Maslanych and Yaroslav Voznyi, “Evaluation of the effectiveness of different image skeletonization methods in biometric security systems”, *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control* (2020) 10: 1. <https://doi.org/10.2174/2210327910666201210151809> (Особистий внесок – брав участь в розробленні алгоритмів склетизації).

3. Назаркевич М. А., Возний Я. В. Метод захисту матеріальних носіїв інформації латентними елементами. Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2019. № 3 (3). С. 27–41. (Особистий внесок – розробив метод захисту).

4. Nazarkevych M., Marchuk A., Voznyi Y. Development of biometric identification methods based on new filtration methods. Електроніка та інформаційні технології. 2020. Вип. 14. С. 55–64. (Особистий внесок – брав участь в розробленні фільтрації).

5. Voznyi, Y., Nazarkevych, M., Hrytsyk, V., Lotoshynska, N., Havrysh, B. “Проектування системи автентифікації біометричного захисту на основі методу k-середніх”. Електронне фахове наукове видання “Кібербезпека: освіта, наука, техніка”, № 4 (12), 2021, с. 85-95. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.12.8595>. (Особистий внесок – брав участь при проектуванні системи автентифікації).

6. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., & Nazarkevych, H. Розроблення методу машинного навчання при біометричному захисті із новими методами фільтрації. Електронне фахове наукове видання" Кібербезпека: освіта, наука, техніка", № 3(11), 2021, с. 16-30. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.1630>. (Особистий внесок – брав участь в розробленні методів машинного навчання).

7. Nazarkevych Mariya, Yaroslav Voznyi, Oksana Troyan. “Узагальнення фільтрів Габора на основі Атеб-функцій” *Кібербезпека: освіта, наука, техніка* 4.4 (2019): с.72-84. DOI: 10.28925/2663-4023.2020.7.115130. (Особистий внесок – брав участь в оформленні статті).

8. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., Dmytryk, S. (2020). Вейвлет-перетворення Атеб-Габор фільтрації у біометричних зображеннях. *Електронне фахове наукове видання" Кібербезпека: освіта, наука, техніка"*, 3(7), 115-130. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.115130>. (Особистий внесок – брав участь в розробленні вейвлет-перетворення Атеб-Габор фільтрації).

9. Nazarkevych M., Marchuk A., Vysochan L., Voznyi Y., Nazarkevych H., Kuza A. “Ateb-Gabor filtering simulation for biometric protection systems”// *CEUR Workshop Proceedings*. – 2020. – Vol. 2746 : *Proceedings of the selected papers on "Cybersecurity providing in information and telecommunication systems" CPITS'2020* (Kyiv, Ukraine; July 7, 2020). – P. 14–22. (Особистий внесок – брав участь в розробленні біометричної системи захисту).

10. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., Mykich, O., Gregus, M., Hnativ, Y., Nazarkevych, H. Fingerprint Recognition Technology with Ateb-Gabor Filtration. *Proceedings of the 1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia (DCSMart 2019)*, Lviv, Ukraine, December 23–25, Vol-2533. 2019. – P. 129–138. EID: 2-s2.0-85078177268 urn:nbn:de:0074-2533-0. <http://ceur-ws.org/Vol-2533/paper12.pdf>. (Особистий внесок – брав участь в оформленні статті, готував вступ і висновки).

11. Nazarkevych M., Logoyda M., Dmytruk, S., Voznyi, Y., Smotr, O “Identification of Biometric images using latent elements” p. 99-108 *CEUR Workshop Proceedings 2019 conference-paper* [http:// www.scopus.com/](http://www.scopus.com/)

inward/record.url?eid=2-s2.0-85074647332&partnerID=MN8TOARS. (Особистий внесок – брав участь в обробці біометричних зображень).

12. Nazarkevych M., Logoyda M., Troyan O., Vozniy Y., Shpak Z. (2020) “The Ateb-Gabor Filter for Fingerprinting”. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1080. Springer, Cham DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_18 Print ISBN978-3-030-33694-3. (Особистий внесок – брав участь в розробленні фільтрації).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Nazarkevych, M., Kipish, M., Voznyi, Y., Sydorenko, Y., Podavalkina, M., Shevchuk, O. Fingerprint Recognition Device is Built on the Method of Filtering Ateb-Gabor. *In 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, 2019, October, pp. 179-182. IEEE. DOI: 10.1109/PICST47496.2019.9061509 <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061509>. EID: 2-s2.0-85083680416

2. M. Nazarkevych, V. Dordiak, V. Brytkovskyi, K. Pelekh, I. Pikh, Y. Voznyi, "Comparison of the Effectiveness of Fingerprint Skeletal Methods," *2019 XIth International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 19-23. doi: 10.1109/ELIT.2019.8892293
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8892293&isnumber=8892272>

3. Nazarkevych, M., Lotoshynska, N., Klyujnyk, I., Voznyi, Y., Forostyna, S., Maslanych, I. 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, pp. 961-964. IEEE. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879945 [http: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8879945](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8879945) DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879945

4. Mariya Nazarkevych, Hanna Nazarkevych, Yaroslav Voznyi, Iryna Maslanych The Development of Information Technology of Biometric Protection with an Image Filtration Based on Ateb-Gabor // *Proceedings of the Xth International*

Scientific and Practical Conference ELECTRONICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES (ELIT-2018) August 30 – September 2 2018 – C. A-175-A-177. Lviv – Karpaty village, Ukraine. <https://drive.google.com/file/d/1gyva6D6Qi7x2awvIwUHhPEuSCvdroJRe/view?usp=sharing>

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	15
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПОПЕРЕДНЬОГО	
ОПРАЦЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ	22
1.1. Синтез біометричного зображення відбитка пальців.....	24
1.2. Аналіз систем біометричного захисту.....	26
1.3. Аналіз етапів обробки біометричної інформації	32
1.4. Класифікатор кіберзагроз на біометричні системи захисту	33
1.5. Технологія ідентифікації відбитків пальців	34
1.6. Технологія розпізнавання відбитків пальців.....	39
1.7. Аналіз фільтрів для перетворення зображень у задачах біометричного захисту.....	43
1.8. Фільтр Габори	44
Висновки до розділу 1	48
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ	
БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....	49
2.1. Ateb-функції - інструментарій для розробки фільтрації.....	50
2.2. Математична модель розкладу в ряди Фур'є сигналів фільтрації.....	51
2.2. Математична модель двовимірного фільтра Ateb-Габори	54
2.3. Математична модель тривимірного фільтра Ateb-Габори.....	60
2.4. Математична модель розкладу в вейвлет-перетворення функції Ateb-Габору.	64
2.4.1. Моделювання вейвлета-Ateb-Габору із параметрами σ	67
2.4.2. Моделювання функції вейвлет-Ateb-Габору з параметрами n , $0 < n < 1$	69
2.4.3. Моделювання функції вейвлет-Ateb-Габору з параметрами m , $1 < m < 10$..	71
2.4.4. Моделювання функції вейвлет-Ateb-Габору з параметрами $n=m=3$, $1 < \sigma < 4$	73
Висновки до розділу 2	76

III РОЗДІЛ. СИСТЕМА ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	78
3.1. Структурний аналіз систем біометричного захисту з урахуванням нових методів фільтрації	78
3.2. Методи ідентифікації зображень з урахуванням фільтрації Ateb-Габора ...	81
3.3. Оцінка часових характеристик обчислення Ateb-Габора	82
3.4. Порівняльний аналіз методів скелетизації з урахування моделі вейвлет- перетворення.....	86
3.4.1. Алгоритм Zhang-Suen	86
3.4.2. Hilditch skeleton.....	87
3.4.3. Алгоритм Хілдіча	88
3.5. Алгоритм Ateb-Габора та хвильового методу потоншення.....	91
3.6. Побудова відбитку пальців з полями напрямків.....	94
3.7. Моделювання процесів для отримання скелетів біометричних зображень на основі Ateb-Габора фільтрації	99
Висновки до розділу 3	103
IV РОЗДІЛ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	105
4.1. Порівняння ефективності фільтра Вейвлета-Ateb-Габора.....	105
4.2. Експериментальні дослідження часу фільтрації.....	109
4.3. Засоби аутентифікації користувачів.....	115
4.4. Реалізація системи біометричного захисту	118
4.5. Реалізація виділення особливих точок на відбитках пальців	122
4.6. Кластеризація даних за методом k-means	127
Висновки до розділу 4	130
АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	132
ВИСНОВКИ.....	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	134
ДОДАТКИ.....	162
ДОДАТОК А. АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В НАУКОВУ РОБОТУ	162

ДОДАТОК Б . АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В. КАРПЕНКА.....	163
ДОДАТОК В . АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС	164
ДОДАТОК Д.....	165
КОД ПРОГРАМИ.....	165

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Біометрична система

Інформаційна технологія

Розпізнавання зображень

Фільтрація зображень

Фільтр Габор

Фільтр Атеб-Габор

FAR - помилка доступу стороннього користувача, яка має становити 0,01%,

FRR помилка входження користувача

Атеб-функція

Атеб-Габор

Габор

OpenCV

оператор LBP

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. На сучасному етапі розвитку суспільства, пов'язаного з масовим використанням інформаційних технологій і створенням єдиного інформаційного простору, в рамках якого відбувається накопичення, обробка, зберігання та обмін інформацією, проблеми криптографічного захисту інформації набувають першорядного значення в усіх сферах суспільної і державної діяльності.

В Україні 20 листопада 2012 р. було прийнято Закон «Про Єдиний державний демографічний реєстр та документи, що підтверджують громадянство України, посвідчують особу чи її спеціальний статус» № 5492-VI, яким передбачено введення документів з електронним носієм, на якому передбачається розміщення біометричних даних про особу. У 2017 році Уряд України затвердив Положення про національну систему біометричної верифікації та ідентифікації громадян України, іноземців та осіб без громадянства. Документом визначено, що це автоматизована система, створена в інтересах національної безпеки, економічного добробуту та прав людини, за допомогою якої забезпечується встановлення особи іноземця та особи без громадянства, які в'їжджають в Україну, виїжджають з України, здійснення контролю за додержанням ними правил перебування на території нашої держави

Розробка нових та вдосконалення існуючих методів захисту біометричних даних має велике значення для безпеки функціонування інформаційних систем.

Фільтрацією біометричних зображень присвячені праці дослідників Xu Y., Weaver J.B., Healy D., Sherlock B.

Ідентифікацією займалися Ashraf, I., Hur, S., Park, S.

Українські науковці присвятили свої дослідження в галузі розробки систем криптографічного захисту, шифруванню та дешифруванню інформації: Корченко О.Г, Бурячок В. Л., Хома В.В., Ткаченко Р.О., Цмоць І.Г., Теслюк В.М., Русин Б.П.

Їхній аналіз показує, що дослідження, які зорієнтовані у напрямках удосконалення видів фільтрації, покращення якості ідентифікації та аутентифікації в біометричних системах криптографічного захисту, а отже і зменшення вартості систем безпеки є актуальними.

Таким чином, актуальною науково-прикладною задачею є вдосконалення теорії біометричного захисту, розроблення моделей, методів та створення на їх основі спеціалізованих засобів на основі нових видів фільтрації та покращення характеристик розпізнавання шляхом вдосконалення технології ідентифікації.

Зв'язок теми дисертації з науковими програмами, планами, напрямами

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри інформаційних технологій видавничої справи Національного університету «Львівська політехніка»: «Технологія підвищення графічного рівня захищеності друкованих та електронних документів».

Дисертаційне дослідження виконане в межах держбюджетних науково-дослідних робіт:

про виконанні науково-дослідної роботи, яка виконувалася за кошти державного бюджету «Нейромережева технологія захисту та передачі даних у реальному часі з використанням шумоподібних кодів», номер державної реєстрації 0119U002256. науковий керівник д. т. н., професор Цмоць І. Г.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є розроблення методів та засобів підвищення якості попереднього опрацювання біометричних зображень, які базуються на застосуванні нових видів фільтрації.

Завдання дослідження:

Проаналізувати методи та засоби попереднього опрацювання біометричних зображень та сформулювати задачі досліджень.

Розробити метод Габор-фільтрації, який за рахунок використання Атеб-функцій забезпечуватиме розширення наборів фільтрів та покращуватиме якість біометричних зображень.

Розробити метод вейвлет-Габор-фільтрації, який внаслідок

використання вейвлет-Ateb-перетворення забезпечуватиме підвищення контрастності для формування скелета зображення.

Удосконалити методи попереднього опрацювання біометричних зображень шляхом Ateb-хвильових перетворень, які забезпечуватимуть покращення якості та дозволять провести ефективніше скелетизацію.

Розвинути Ateb-хвильовий метод створення скелету зображення, який дозволить розробити потоншення папіломних ліній відбитка пальця на основі хвильового методу з врахуванням Ateb-Габор-фільтрації, що ефективніше зберігатиме фрагменти зображення.

Розвинути методи попереднього опрацювання біометричних зображень на основі вейвлет-Ateb-Габор перетворення, який дасть можливість збільшити кількість комбінацій фільтрації, вибрати оптимальні варіанти та сформувати скелет зображення для подальшої ідентифікації.

Для підтвердження практичної цінності розроблених методів провести експериментальні дослідження і на основі аналізу отриманих результатів надати практичні рекомендації стосовно ідентифікаційних властивостей біометричного зображення.

Об'єктом дослідження є процеси попереднього опрацювання біометричних зображень в б системах захисту

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби попереднього опрацювання біометричних зображень.

Методи дослідження: методи проектування інформаційних систем, методи комп'ютерного зору, методи математичного аналізу та моделювання, теорія алгоритмів, принципи об'єктно-орієнтованого програмування та методи машинного навчання та штучного інтелекту.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблено метод Габор-фільтрації, який за рахунок використання Ateb-функцій забезпечує розширення наборів фільтрів та покращує якість біометричних зображень.

2. Вперше розроблено метод вейвлет-Габор-фільтрації, який внаслідок використання вейвлет-Ateb-перетворення забезпечує підвищення контрастності

для формування скелета зображення.

3. Удосконалено методи попереднього опрацювання біометричних зображень шляхом Ateb-хвильових перетворень, які забезпечують покращення якості та дозволяють провести ефективно скелетизацію.

4. Розвинуто Ateb-хвильовий метод створення скелету зображення, який дозволяє розробити потоншення папіломних ліній відбитка пальця на основі хвильового методу з врахуванням Ateb-Габор-фільтрації, що ефективніше зберігає фрагменти зображення.

5. Розвинуто методи попереднього опрацювання біометричних зображень на основі вейвлет-Ateb-Габор перетворення, який дає можливість збільшити кількість комбінацій фільтрації, вибрати оптимальні варіанти та сформуванню скелет зображення для подальшої ідентифікації.

Практичне значення отриманих результатів.

1. На основі розробленого методу Габор-фільтрації, що є згортою перетворень Фур'є, який сформований на Ateb-функціях забезпечується розширення набору фільтрів. Це дало змогу отримати більшу кількість пологих форм та організувати певний спектр кривих, що підвищує якість результатів фільтрації.

2. На основі методу вейвлет-Габор-фільтрації розширено функціональні можливості попереднього опрацювання біометричних зображень, що забезпечило підвищення контрастності для подальшого формування скелета зображення. Це дало можливість додатково завантажити 2900 різних комбінацій фільтрацій.

3. Забезпечення покращення якості та проведення ефективної скелетизації було досягнуто внаслідок вдосконалення методів попереднього опрацювання біометричних зображень шляхом реалізації Ateb-хвильових перетворень. Це дало можливість скоротити час на опрацювання зображень до 4 мс.

4. Збільшення кількості комбінацій фільтрації дозволило вибрати оптимальні варіанти використання та забезпечило якісне формування скелета біометричного зображення.

5. На основі хвильового методу потоншення папіломних ліній відбитка пальців розроблено Ateb-хвильовий метод перетворення, який внаслідок збільшення кількості комбінацій забезпечує покращення якості ідентифікації.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети та основних завдань досліджень, обґрунтуванні наукових положень. Автором проаналізовано літературні джерела за темою дисертації, обґрунтовано напрями досліджень завдяки використанню розробленого методу фільтрації попереднього опрацювання біометричних зображень, дає змогу скоротити час на розпізнавання та покращити ідентифікаційні властивості даних. Робота містить прикладні положення та висновки, сформульовані дисертантом особисто. Ідеї, положення чи гіпотези інших авторів, які наявні в дисертації, мають відповідні посилання і використані лише для підсилення ідей та результатів здобувача. Постановка мети та завдань, обговорення результатів проведені разом з науковим керівником Назаркевич Марією Андріївною.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційного дослідження апробовано на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях, наукових школах та воркшопах:

1. 2021, *Conference ELECTRONICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES (ELIT-2021)*. Location: Lviv, Ukraine
2. 2021, "Cybersecurity providing in information and telecommunication systems" (CPITS 2021). Location: Kiev, Ukraine
3. "Cybersecurity providing in information and telecommunication systems" (CPITS 2020). Location: Kiev, Ukraine
4. 2019, *2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2019, July, Location: Lviv, Ukraine.
5. 2019, *International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*. Location: Kiev, Ukraine
6. 2019, *1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia (DCSMart 2019)*. Location: Lviv, Ukraine.
7. 2018, *Conference ELECTRONICS AND INFORMATION*

TECHNOLOGIES (ELIT-2018). Location: Lviv, Karpaty village (Trans Carpathian region)

Публікації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження відображено у 16 наукових працях: з яких 2 статті у наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз з імпаکت-фактором (які індексуються у базі Scopus чи в Web of Science), 6 статей у наукових фахових виданнях України, 4 статті які індексуються у базі Scopus, 4 матеріалів міжнародних наукових та науково-практичних конференцій, які індексуються у базі Scopus.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 163 сторінках та складається з анотації, змісту, переліку скорочень, вступу, чотирьох основних розділів, у яких міститься 70 рисунків, 9 таблиць, списку використаних джерел із 165 найменувань (з них 76 найменувань- іноземними мовами) та чотирьох додатків; робота написана з використанням сучасної наукової термінології, стиль викладу матеріалу послідовний та логічний.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Вступ

Сьогодні розвиваються системи захисту інформації та ідентифікації дуже швидкими темпами. Висока надійність та значне здешевлення привертають увагу до біометричних систем захисту.

Щоб забезпечити добру якість вхідних даних необхідно використовувати сучасні інформаційні системи з біометричними даними. Проте, при надходженні у систему поганої якості вхідних даних, випадкових даних, виконання їх різко погіршується. Прикладами поганих даних можуть бути записані аудіодані в шумному оточенні, або частково закриті обличчя із низькою роздільною здатністю у системі відеоспостереження. Тому, щоб біометричний зміст захисту залишався перспективним, здійснюємо розроблення методів підвищення якості таких даних.

Так як біометричні дані особи можуть бути зловмисно модифіковані для хибних цілей, потрібно, щоб біометрична система перевірялася на цілісність вхідних цифрових носіїв до її обробки та передачі даних.

З кожним днем біометричні дані набувають все більшого поширення. У паспортному контролі впроваджені системи з біометричним захистом. Широке поширення набуло можливості входу людини в захищену систему Інтернету речей. За допомогою відбитків пальців людини відновлюються додатки для телефону, смарт-телебачення, системи захисту дому, автомобільні системи [1], [2].

На жаль, системи біометричної ідентифікації сьогодні не є досконалими. Під час входів в систему випадкових даних виникає багато помилок, дуже часто ці системи працюють занадто повільно. Також розглядаються технології сканування та розпізнавання в 3D просторі [3]. Тому розробка систем розпізнавання безпеки є надзвичайно актуальним завданням. Вхід до системи біометричної системи безпеки здійснюється на основі передачі великих даних, ідентифікаційних характеристик, де системи контролю доступу точніше

визначають окремі біометричні фрагменти, сучасні технології ідентифікації осіб [4].

При вході в систему розпізнавання біометричних даних за зображенням на нього впливає випадковий шум. Випадковий шум може бути очевидним у вигляді хаотичної зернистості або сторонніх точок, розташованих на зображенні, і призвести до нестабільності системи. Випадковий шум найбільш помітний на темних ділянках зображення, оскільки співвідношення сигнал/шум тут буде набагато нижчим у порівнянні зі світлими ділянками. Будь-яке отримане зображення може бути дефіцитним: відсутність різкості зображення, розмиття зображення або розмиття окремих деталей, а також накладання шумів. Залежно від типу спотворення були розроблені різноманітні методи фільтрації зображення; вони застосовуються в певних ситуаціях і забезпечують різну якість оновлення.

Використання фільтра залежить від типу шуму. Імпульсний шум є найпоширенішим. У разі ударної імпульсної інтерференції на зображенні можуть спостерігатися сірі, білі та чорні крапки, випадково розкидані по зображенню. При цьому шум може розташовуватися не в межах всього зображення, а інтерференції виглядають як ізольовані контрастні точки. В даний час розроблено велику кількість методів усунення шуму. Кожен окремий метод застосовується для усунення певного виду шуму. Складність пошуку точних рішень породжує різноманітні варіанти наближених методів і процедур.

До сучасних концепцій штучного зору належать Hunter, DigiNet [5] та ін. Важливу роль в їх ефективній роботі відіграє якість вхідного зображення, яке можна підвищити за допомогою алгоритмів, заснованих на фільтрації в частотних або просторових областях, регулювання контрастності та яскравості. В результаті обчислень з джерела [6]. було виявлено, що при обробці відбитка пальця фільтром Габора зразок містить на 3,4% більше елементів зазначеного класу, ніж середній фільтр і на 4,2% більше, ніж фільтр Гаусса.

Необхідність вирішення проблем захисту інформації також обумовлена різким зростанням комп'ютерної злочинності, результат діяльності якої

призводить до значних матеріальних втрат, незалежно від того чи це вірусна атака, чи шахрайство в електронній комерції.

1.1. Синтез біометричного зображення відбитка пальців

Однією з найперспективніших і в той же час найстарішою методикою є сканування відбитків пальців. Відомо, що кожна людина має унікальні, незмінні відбитки пальців, це доведено криміналістикою та підтверджено експертною практикою. В основу відбитка пальця входить папілярний візерунок, який умовно складається з рельєфних ліній. Останні у свою чергу утворюють складні шкірні зображення – дуги, петлі, завитки, що відповідає таким властивостям, як індивідуальність, стійкість, відновлюваність.

Особа, яка хоче отримати доступ до об'єкта, що охороняється, проходить дактилоскопічну ідентифікацію, яку проводять за допомогою телевізійної камери, що сканує папілярний візерунок одного з пальців особи і порівнює його методом кореляції з еталонним зображенням. Щоб зменшити обсяг інформації в еталонах можна здійснити класифікацію зображень залежно від типу папілярних малюнків та виділити на відбитку характерні мікрособливості, що являють собою початок чи кінець папілярних ліній або їх злиття чи розходження. Виділяються три типи папілярних малюнків (дугові, кругові та завитки) і два типи макрособливостей (дельти й центри).

Необхідно виділити ключові моменти після формування скелета біометричного зображення та порівняти їх з ключовими моментами, які існують у базі даних, щоб таким чином провести ідентифікацію. Основні характерні моменти виділимо з графічного зображення. Пропонується встановлювати їх у діапазоні від 12 до 24. У разі великої кількості точок, ймовірно, обчислювальних ресурсів не вистачить, але коли точок мало, є ймовірність допустити чужий відбиток пальця. Завдяки цьому алгоритм має два параметри: FAR - помилка доступу стороннього користувача, яка має становити 0,01%, і FRR - помилка заперечення справжнього користувача 0%. Біометричні пристрої можуть забезпечити як швидкісне розпізнавання, так і високу безпеку системи [7].

Для експериментів ми використовували онтологію класів порівняння відбитків пальців.

Алгоритм зі спеціальними точками є першим класом.

Другий – кореляційний аналіз.

Треті є гібридними методами.

Найпоширенішим, завдяки простоті та швидкості роботи, є концепція порівняння за спеціальними точками – кінцевими точками папілярних ліній і точками дублювання папілярних ліній дрібниць. Онтологія опису дрібниць було досить ретельно проведено в [7].

Класифікація мінукул наведена нижче. [7].

1. Закінчення гребеня. Це папілома, що розташована між двома майже паралельними гребенями. Закінчення гребеня – це точка, де він раптово закінчується і більше не з'являється (Рис. 1.1.a).

2. Роздвоєння або розвилка. Гребінь, який розділяє ліву сторону папілярних ліній на певні довжини і утворює дві паралельні лінії (рис. 1.1.b), які іноді можуть утворювати трифуркацію (рис. 1.1.d та 1.1.h).

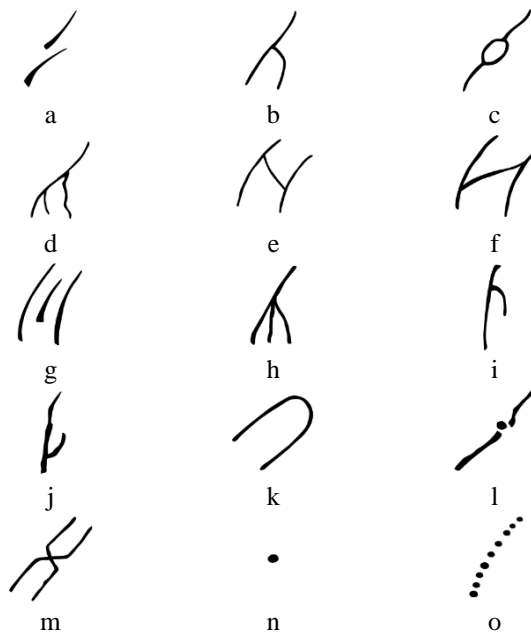


Рис. 1.1. Класифікація папілярних ліній: а - закінчення гребеня; b - роздвоєння або розвилка; c - вічко або огорожа; d – роздвоєння або вилка, які іноді можуть утворювати трифуркацію; e - конвергенція або конвергентна вилка; f – папілярна лінія з перехрестям або міст; g - короткий гребінь; h - гачок або шпора; i - гачок або шпора з правим ухилом; j - гачок або шпора з лівим ухилом; k – розворот папілярної лінії; l – переривання; m – подвійна конвергентна вилка; n – крапка, або малий гребінь; o - пунктирний гребінь

3. Вічко або огорожа. Це криві еліпсоїд, які утворені хребтом, що розгалужується для злиття або наближення до одного гребеня, залишаючи порожній простір всередині хребта. Корпус може бути маленьким або великим (рис. 1.1 в).

4. Конвергенція або конвергентна вилка. Це роздвоєння, але з взаємним або дзеркальним відображенням. Воно утворене двома паралельними хребтами. (рис. 1.1 е).

5. Папілярна лінія з перехрестям або міст. Сполучення між двома паралельними гребенями з короткою діагоналлю хребта, яка зустрічається з папіломами під дуже гострим кутом (рис. 1.1 f).

6. Короткий гребінь. Це хребет який гостро закінчується, і має різну довжину. Фрагменти бувають невеликого або великого розміру (рис. 1.1 g).

7. Гачок або шпора. Утворюється біля хребців, коли хребет ділиться на дві частини (Рис. 1.1 j). Далі продовжується один біфуркаційний гребінь, а до хребта додається ще один, як сполучення до хребта з певним кутом нахилу. Гачок може бути висхідним та спадним, правим та лівим гачком (див рис. 1.1 і і 1.1 j).

8. Розворот папілярної лінії. Один гребінь може повернутися назад і утворити закруглену петлю. (Рис. 1.1 k).

9. Переривання. Між двома гребенями утворюються раптові перериви, які утворюють прогалину (рис. 1.1 l).

10. Подвійна конвергентна вилка утворюється, коли два хребти перетинаються між собою (рис. 1.1 m).

11. Крапка, або малий гребінь – це дуже маленький гребінь, який зазвичай знаходиться в середині папіломної лінії, або між двома хребтами (рис. 1.1 n).

12. Пунктирний гребінь. Це хребет, який утворений точками (рис. 1.1 о) [8].

1.2. Аналіз систем біометричного захисту

Задача біометричної ідентифікації і методи її реалізації розглянуті в багатьох роботах вчених. Темі розробки методів статичної біометричної ідентифікації, шифрування, дешифрування, кодування, декодування і зокрема ідентифікації за портретом обличчя присвячені роботи Shelupanov Alexander [1] [9], П Бідюк, В Бондарчук [9] [10].

Технічний прогрес в галузі біометрії [11] [12] обумовлений включенням компактних біометричних давачів у малі особисті пристрої, такі як смартфони; розгортання біометричних даних у системі широкомасштабної ідентифікації, розвиток надійної відповідності методики для різних біометричних модальностей на основі Deep Learning; дослідження раніше недосліджених біометричних ознак для використання при носінні пристроїв; способи швидкого пошуку через великі біометричні бази даних; розробка контрзаходів для вирішення різних типів атак на біометричні систем [13].

Майже кожна біометрична система явно або неявно накладає певний тип обмеження на користувача або середовище під час циклу збору даних [14]. Використання смартфонів і таких пристроїв, як смарт-годинники та трекери активності, представляє безпрецедентну можливість для біометричних дослідників. По-перше, ці пристрої зберігають або передають особисту інформацію і вимагають ефективного механізму обмеження доступу. По-друге, ці пристрої оснащені давачами, що записують різні фізичні атрибути індивідуума, які можна використовувати як біометричний підпис цієї особи.

Хоча біометричні дані зазвичай використовуються для розпізнавання індивідуума, можна вивести або витягти додаткову інформацію, наприклад, вік, стать, етнічна приналежність, колір волосся, колір очей, стиль одягу, татуювання і т.д., з тими ж даними. Ці атрибути іноді називають м'якими біометричними атрибутами, можуть використовуватися самостійно або при поєднанні з первинними біометричними ознаками для поліпшення точності розпізнавання біометричної системи у певних циклах [15].

У стандартах ANSI та ФБР США визначено такі вимоги до друку [16]: кожна інформація представляється у форматі стиснутого TIF або BMP; образ повинен мати роздільну здатність не нижче 300 dpi; образ має бути

напівтоновим з 256 рівнями яскравості; а максимальний кут повороту відбитка від вертикалі трохи більше 15 градусів; основні типи мінуцій - закінчення та роздвоєння [17].

З наведених вище вимог, принцип розпізнавання пальців (верифікації) виходить з наявності у відбитку спеціальних точок – локальних ознак чи, інакше кажучи, мінуцій. Кожна особлива точка умовно має свої координати, напрям і тип (закінчення, розгалуження тощо).

Під час розгортання автоматизованих систем шифрування, дешифрування, ідентифікації відбитків пальців надзвичайно важливо є покращення щільності біометричної інформації. У [18] розроблено метод аутентифікації на основі нової схеми компенсації освітлення при скануванні відбитків пальців. Запропонована схема компенсації передбачає новий спосіб розкладання світла та компенсації зовнішнього освітлення. Такий підхід дає змогу вченим суттєво покращити якість зображення. Про вищу якість зображень після застосування методу АНТWF на відміну від якості вихідних даних, свідчать результати експериментів. Слід зазначити, що метод АНТWF рекомендується застосовувати до зображень відбитків пальців, які мають ребристу і увігнуту структуру, а також, які містять багато розмитих ділянок. Оскільки результати сканування відбитків пальців часто можуть бути низької якості, АНТWF method пропонується значно підвищити точність класифікації відбитків пальців.

Мультимодальна біометрика в основному використовується для циклів сертифікації та підтвердження особи. Багато біометричних даних використовуються при циклах аутентифікації людини. Біометричне розпізнавання включає три життєво важливі фази, які входять до критичної інфраструктури і включають попередню обробку, виявлення ознак і класифікацію. Таким чином, попередня обробка включала використання фільтрів і обрізання зображення, накладання текстури та створення форми [19].

Сьогодні кібербезпека інформації дуже важлива. На серверах із закритим доступом зберігається величезна кількість персональних даних і файлів. Доступ до приватної інформації надається лише для авторизації користувачів.

Біометрія відіграє велику роль у безпеці. Нині дуже активно почали вивчати зображення вен пальців. Великою перевагою візерунків на пальцях є те, що їх неможливо скопіювати або вкрати. Використання базових пальців для автентичності широко використовується в Японії як бази даних в аеропортах, аутентифікації особи, в'язницях тощо. Основна увага приділяється порівняльному вивченню існуючих методів розпізнавання образів вен, техніки створення ознак [20].

Запроваджено метод, заснований на фільтрі Габора, щоб активно витягувати функції відбитків пальців із зображень без попередньої обробки. Запропонований метод є більш ефективним, ніж звичайні методи для системи розпізнавання невеликих відбитків пальців. Результати експериментів стверджують, що коефіцієнт розпізнавання k-найближчого класифікатора загроз за допомогою запропонованих функцій на основі фільтра Габора становить 97,2% [21].

Покращення відбитків зображень є важливим етапом попередньої обробки в програмах розпізнавання відбитків пальців критичної інфраструктури. В [9] запропонований метод проектування фільтрів для покращення зображення відбитків пальців, головним чином традиційний фільтр Габора (TGF). Схема його вибору параметрів не залежить від зображення. Переваги засновані на збереженні структури зображення відбитків пальців і досягненні послідовності покращення зображення.

У [22] розроблено метод \log -Габора. Він використовується для вирішення проблеми покращення розпізнавання відбитків пальців і розширення використання загального фільтра Габора. Представлений метод важливий для надійності ідентифікації та інших питань, пов'язаних з розпізнаванням відбитків пальців.

Фільтр Габора можна розділити на смуговий фільтр і фільтр нижніх частот. Аспект орієнтації введено для реалізації швидшої обробки фільтра Габора. Поділ на смуговий фільтр і фільтр нижніх частот дозволяє значно знизити складність обчислень, в 1:2,8 рази. Таким чином, час виконання фільтра зменшується на (1:1,46), зменшується обсяг пам'яті, а якість

біометричного зображення значно покращується в порівнянні з традиційним фільтром Габора [23].

Проблемі біометричної ідентифікації присвячені роботи Шелупанова А. [24], Бідюка П. [25], в яких особлива увага приділяється контролю та безпеці системи. Особливої уваги заслуговує робота [10], де наведено підхід до захисту інформаційних систем.

Виокремимо такі етапи розпізнавання відбитків пальців:

Інформаційна технологія ідентифікації відбитків пальців

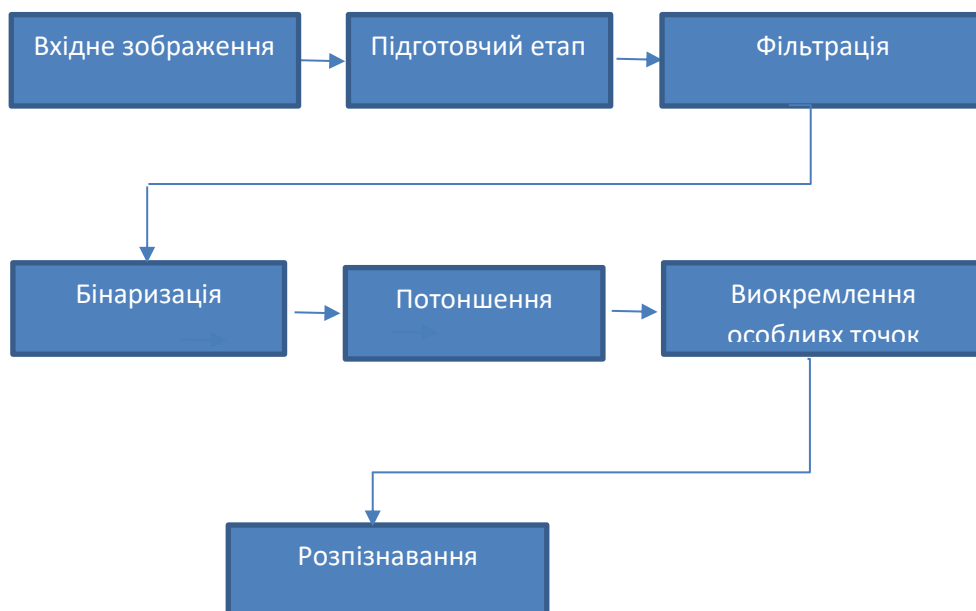


Рис.1.2. Інформаційна технологія ідентифікації відбитків пальців

Таким чином на рис. 1.2 показано етапи розпізнавання зображення: введення рисунку, підготовчий етап, фільтрація, бінаризація, потоншення, виокремлення особливих точок, розпізнавання. Розглянемо детальніше ці етапи.

Скануємо зображення оптичним давачем відбитків пальців Adafruit. Далі зображення підлягає обробці, яка полягає у повороті зображення, його нормалізації та приведення до єдиного масштабу. У результаті цього етапу отримаємо нормалізовані зображення, які у подальшому підлягають порівнянню у графі блок-схеми.

На наступному етапі відбувається фільтрація біометричного зображення.

Представимо зображення як функцію. Нехай зображення буде функцією f , від $R^2 \rightarrow R: f(x, y)$ дає інтенсивність в положенні (x, y) . Зображення буде визначено тільки над a прямокутником, з кінцевим діапазоном:

$$f: [a, b] \times [c, d] \times [0, 1].$$

Кольорове зображення - це три функції r, g, b що формують колір:

$$f(x, y) = \begin{cases} r(x, y) \\ g(x, y) \\ b(x, y) \end{cases}$$

де r, g, b – кольоровий простір системи RGB, а x, y значення кольору у координатах відповідних пікселів. $f(x, y)$ утворюється у вектор-функцію [17].

При фільтрації яскравість кожної точки вихідного зображення, спотвореного на заваді, замінюється деяким іншим значенням яскравості, яке визнається найменшою спотвореним на заваді [17].

Відомо, що для зменшення крайових спотворень застосовують різні способи фільтрації [26], [27].

Одним з найпоширеніших є анізотропний фільтр. При використанні анізотропної фільтрації автоматично перебудовуються пікселі чорно-білого зображення. При цьому кутова орієнтація матриці коефіцієнтів анізотропного фільтра визначається як вагова функція пікселів. Формування анізотропного фільтру [28] може бути проведено у вигляді дискретної апроксимації двовимірного фільтру Гауса, підданого стисканню та обертанню [29].

Інший метод фільтрації виділення меж Собеля [30] .

Оператор Собеля використовується для обробки зображень для виділення меж. Це дискретний диференціальний оператор, який визначає наближене значення градієнта або норми градієнта для яскравості зображення. Оператор Собеля будується як згортка зображення невеликими фільтрами у вертикальному і горизонтальному напрямках. Хоча апроксимація градієнта досить груба, особливо на високочастотних ділянках зображення. Оператор використовує ядро 3×3 , з якими згортає зображення для обчислення наближених значень по горизонталі та по вертикалі. Якщо A вихідне

зображення, а G_x та G_y – два зображення, де кожна точка містить похідні x і y відповідно [31].

Зазвичай від сканера отримуємо зображення. Вони можуть бути представлені у вигляді матриці цілочисельних значень.

1.3. Аналіз етапів обробки біометричної інформації

Однією з найважливіших етапів обробки біометричної інформації критичної інфраструктури є їх попередня обробка. У багатьох випадках інформативнішими є геометричні характеристики меж об'єктів цих зображень – краї, що є важливими ознаками для класифікації зображених об'єктів і сприйняття в цілому [32].

Фільтрація зображень є актуальним завданням, оскільки стосується реконструкції зображення шляхом зміни інтенсивності пікселів. Знаходження зміни інтенсивності таким способом, аби контури зображення були би чіткими з виділенням інформаційних ознак розглядається в працях [33].

Відомо, що для зменшення крайових спотворень застосовують різні способи фільтрації [32] [34].

Перший з них передбачає виділення матриці пікселів зображення і порівняння в парах параметрів кожного пікселя матриці з параметрами сусідніх пікселів. При цьому використовуються кілька компараторів за результатами роботи яких коректують параметри даного пікселя. При використанні другого способу фільтрації автоматично застосовується до пікселів чорно-білого зображення. При цьому кутова орієнтація матриці коефіцієнтів анізотропного фільтра [35] визначається як вагова функція пікселів. Актуальність цього обумовлюється недоліком приведених способів, тобто неможливістю контролю користувачем величини згладжування зображення та фіксована кількість напрямків анізотропної фільтрації, що не дозволяє у достатньому ступені поліпшити якість зображення [36].

Для виділення контурів об'єктів на зображенні розроблено багато різних методів, які класифікують їх як методи високочастотної фільтрації; методи просторового диференціювання; методи функціональної апроксимації. Проте як

правило, контури виділяються не достатньо ефективно і система біометрії не спрацьовує [37].

Після сканування зображення отримують розмиті перепади інтенсивності при дискретизації та оптичних обмеженнях та при деяких невизначеностях елементів системи. Причому ступінь розфокусування визначається якістю системи реєстрації, кроком дискретизації та умовами освітлення, при яких зображення було отримане.

На практиці, як правило, використовують прості в реалізації способи відновлення, які є наближеними при будь-яких характеристиках сигналу. Найчастіше використовують відновлення за допомогою поліноміальної інтерполяції [38], при якій вхідне зображення та відновлене збігаються у вузлах інтерполяції. При цьому вузлами є центри пікселів з відповідним значенням інтенсивності. У випадку використання простих типів інтерполяції, наприклад, несиметричної або симетричної, відновлення виконується з великою похибкою.

1.4. Класифікатор кіберзагроз на біометричні системи захисту

Традиційні системи аутентифікації не готові розрізнити самозванців, які незаконно отримали привілеї доступу до системи, і справжніх користувачів. Крім того, біометричні системи можуть бути більш зручними для користувача, оскільки користувачеві не потрібно запам'ятовувати паролі.

Здійснено синтез різних типів кібербезпеки, щоб використовувати їх як засіб протидії хакерам. Системи захисту інформації на основі біометричних даних, зокрема за відбитками пальців, стають більш популярними, ніж традиційні системи, які базуються на токенах (ключах або паролях) [39].

Незважаючи на ці переваги, біометричні системи мають деякі недоліки. Тобто біометричні системи вразливі до зовнішніх кібератак, які можуть знизити рівень їх безпеки.

У Ратхі [40] виділено і класифіковано вісім різних типів (точок) нападів. На рис. 1.3 показані ці кібератаки разом із компонентами типової біометричної системи, які можуть бути вражені.

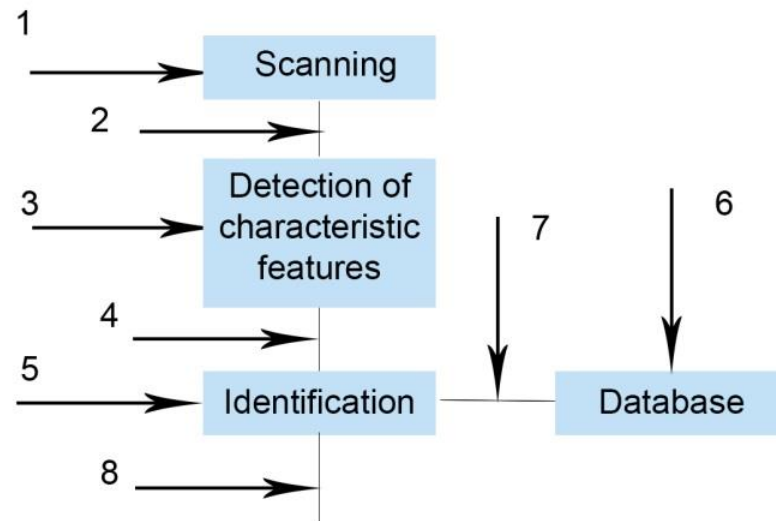


Рис.1.3. Класифікатор кіберзагроз на біометричні системи

Перший тип атаки передбачає подання підробленого біометричного зразка відбитка пальця для сканування. Хакер подає попередньо перехоплені біометричні дані.

Другий тип відомий як «кібератака відтворення». Зловмисник відтворює біометричний зразок і входить в систему.

У третьому типі атаки модуль розпізнавання надає помилкові значення ознаки, які вибрав зловмисник.

У четвертому типі атаки значення справжньої функції замінюються тими, які були обрані хакером.

Набір ознак розпізнавання може бути модифікований, щоб отримати штучно високий бал збігу у п'ятому типі атаки.

Атака на базу даних шляхом додавання нових шаблонів, зміни існуючих шаблонів і видалення існуючих шаблонів здійснюється в атаці номер шість.

Атака сьомого типу здійснюється, коли шаблон транслюється через канал зв'язку між системною базою даних і модулем відповідника, що призводить до зміни шаблонів у базі даних.

Нарешті, зловмисник може перевизначити результат збігу (прийняти або відхилити).

1.5. Технологія ідентифікації відбитків пальців

Запропоновано алгоритм сегментації та покращення зображення відбитка пальця, який використовує новий метод фільтрації на основі Ateb-функцій [41] в системі захисту інформації, і складається з наступних кроків:

Крок 1. Нормалізація зображення. На цьому етапі ми виконуємо процес масштабування відбитка до однорідного масштабу та геометричних розмірів з чітко визначеною роздільною здатністю.

Крок 2. Розрахунок локальної орієнтації. Це означає процес масштабування відбитка до початку координат і повороту відбитка із встановленням початку координат і полярної осі. Під час сканування нахиляємо палець під будь-яким кутом. Необхідно мати чітке посилання на систему координат, щоб розпізнати відбиток. Спробуємо це з'ясувати на другому кроці.

Крок 3. Оцінка локальної частоти магістралей. Розрахунок частотної матриці на основі нормованого та орієнтованого зображення, який виконувався на кроках 1 і 2.

Крок 4. Сегментація відбитку. Побудова маски відбитка шляхом розбиття нормалізованого зображення на блоки та виконання завдання класифікації кожного блоку, поділу їх на ті, що містять і не містять магістралі. Після цього розгладжуємо маску за допомогою фільтрації Габора [42].

Фільтрація нормалізованого зображення. Обриси паралельних хребтів і долин з чітко визначеною частотою і фокусом на зображенні відбитка пальця містять інформацію, яка допомагає усунути шуми. Для цього використовується смуговий фільтр [43]. Смуговий фільтр налаштовується на відповідну частоту та орієнтацію. Він може ефективно видаляти неприємний шум і підтримувати надійну структуру долин хребтів. Нами запропоновано виконувати фільтрацію Ateb-Габором, яка володіє ширшими властивостями, аніж класичний фільтр Габора. Ateb-Габор базується на Ateb-функціях, які можуть краще впливати на видозміно біометричного матеріалу, аніж класичні фільтри [44].

Крок 5. Фільтрація нормалізованого зображення. Використовуємо набір фільтрів Габора, Ateb-Gabor, які підлаштовуються під локальну орієнтацію хребтів і частоту гребенів по пікселях у нормалізованому зображенні, щоб отримати покращене зображення відбитків пальців. Частина зображення,

отриманого після фільтрації, яка потрапила до етапу маскуванню, використовується для побудови зображення.

Для кожної пари таких точок обчислюємо три значення: модуль вектора, який з'єднує пару мінусів, орієнтацію вектора відносно горизонталі, та напрямки папілярних ліній. Таким чином, шаблон містить опис відбитка у відносних одиницях, а це дозволяє довільно змінювати орієнтацію зображення.

Алгоритм оцінює відсоток співпадінь між відповідними трьома значеннями.

Швидкість реагування систем визначається виконанням кількох основних операцій – обчислення степіня, обчислення кореня, ділення, обчислення арктангенса.

Крок 6. Скелетизація.

Наступний етап передбачає потоншення пальців папілом і доведення їх до товщини кривих в один піксель. У цьому випадку вибирається контур, який виділено на рис. 1.5 темнішим кольором і побудова графічного зображення кривих. Контуром зображення є сукупність його пікселів, навколо яких відбувається стрибова зміна функції яскравості. Контури зображення будуть представлені лініями шириною в один піксель. Якщо окрім ділянок з постійною яскравістю є ділянки з яскравістю, яка плавно змінюється на вихідному зображенні, контурні лінії можуть бути не суцільні, і тоді будуть спостерігатися розриви в тих місцях, де змінюється яскравість [45]. З іншого боку, шумові процеси, чи випадкові дані присутні на постійному зображенні, тоді розпізнано непотрібні контури, які є небажаними. У майбутньому заплановано розробляти додаткові алгоритми виділення контурів та врахувати поведінку контурних ліній. Спеціальні додаткові алгоритми можуть усунути прогалини та усунути зайві контурні лінії.

Для виділення контурів, тобто зміни яскравості, проводять хвильовий метод [45].

Розглянемо фрагмент зображення, який сканується формою сигналу і охоплює кілька пікселів одночасно. При цьому вікно містить невеликий

фрагмент. При переміщенні вікна фрагмент змінюється. Обробка зображення хвильовим методом показана на рис. 1.4

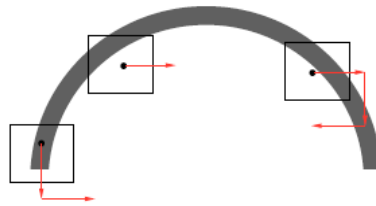


Рис.1.4. Хвильовий метод скелетизації

Зображення розбивається на певні фіксовані блоки. На кривій знаходимо точки максимуму або мінімуму. Створюється зображення скелета.

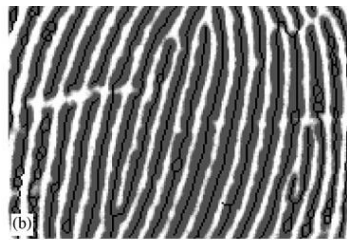


Рис.1.5. Створення зображення скелета

За скелетом зображення оцінюємо характерні точки, які наведені на рис. 1.4 і 1.5.

Криптокодові конструкції є рушійною силою розвитку сучасного штучного інтелекту – це певні математичні моделі, які використовуються в інформатиці [46]. Інший момент – накопичення великих даних завдяки потужності сучасних комп'ютерів. Компанії і кожен з нас почали накопичувати багато даних, які дозволяють отримувати певні практичні рішення та результати на основі цих даних. Проте всі ці дослідження можливі лише при хороших обчислювальних потужностях. Більш дешеві процесори та наявність комп'ютерів як таких, по суті, дозволяють кожному робити певні дії для аналізу або роботи з даними.

В області штучного інтелекту домінують такі сфери, як робота з великими даними [47], машинне навчання, глибоке навчання, пов'язане з розвитком нейронних мереж, навчання з підкріпленням.

Розвиваючись від досліджень до теорії розпізнавання крипто кодових конструкцій і обчислювального навчання в області штучного інтелекту, алгебраїчних та геометричних кодів, машинне навчання досліджує вивчення та

конструювання алгоритмів, які можуть навчатися та робити прогнози на основі даних - такі алгоритми долають суворо статичні інструкції програми, роблячи передбачення або рішення на основі даних. шляхом побудови моделей з вибірковими входами [48].

Штучний інтелект у розпізнаванні біометричних зображень має великі переваги використання, оскільки він працює з великими даними і забезпечує високу швидкодію. Одним із поширених завдань сучасного штучного інтелекту є розпізнавання зображень, включаючи біометричне розпізнавання зображень та виявлення об'єктів. Проаналізовано, що основними підходами до розпізнавання відбитків пальців є порівняння в парах за спеціальними точками; кореляційне порівняння; статистичне вирівнювання; відповідність рисункам; порівняння шаблонів, порівняння на основі графіків. Були проведені експерименти з виділенням спеціальних точок кореляційних методів порівняння. Результати фільтрації базуються на PSNR і MSE. Візуальна фільтрація відображається як результати дослідження. Фільтри Атеб-Габора дають сильну реакцію в тих точках зображення, де є компонент з локальними особливостями частоти в просторі та орієнтації. Проведено експеримент із фільтрацією відбитків пальців Атеб-Габора і Габора на основі вільно доступної NIST Special Database 302. Результати експериментів показали, що в результаті кореляції зображення істотно змінюються, якщо закладено зміну параметрів m , n , σ . При створенні системи біометричного захисту результати фільтрації Атеб-Габора показали хороші характеристики і властивості розпізнавання [49].

Головним двигуном сучасного штучного інтелекту є також глибоке навчання та машинне навчання, які засновані на двох основних принципах – розпізнаванні образів (pattern recognition) і багатоітераційному навчанні, тобто створенні математичної моделі, яка програмується і вивчається з даних [50]. яку вона отримує. Основним завданням цього принципу є пошук кореляцій, тобто зв'язків між різними даними.

Сучасний штучний інтелект часто працює з візуальними вимірюваннями та зображеннями. Це пояснюється, по-перше, когнітивно-психологічними факторами, оскільки візуальний канал для людей є найважливішим у

сприйнятті дійсності. Крім того, маємо біологічну площину – область неокортексу, яка відповідає за обробку зорової інформації, найбільш вивчену вченими. Створення сучасних штучних нейронних мереж по суті відтворює роботу цих візуальних частин. Когнітивні науки суттєво вплинули на створення штучних нейронних мереж, а отже, і на розвиток штучного інтелекту. Тепер ми бачимо протилежний ефект - знання того, як працюють штучні нейронні мережі, дозволяє нам поглибити наше розуміння функціонування людського мозку.

Однією з типових завдань сучасного штучного інтелекту є розпізнавання зображень – наприклад, виявлення обличчя на фотографіях або пози (розпізнавання пози). Інший момент – відкриття об'єктів, які необхідно розпізнавати в режимі реального часу [51].

Перенесення стилю-кіляця є дуже популярним підходом, коли ми застосовуємо стиль і візерунки картин відомих художників до певних зображень. Створення штучного образу – це здатність штучних нейронних мереж створювати зображення за вашим бажанням, у тому числі зображення людей, яких ніколи не існувало [52].

1.6. Технологія розпізнавання відбитків пальців

Було запропоновано багато методів орієнтованої фільтрації для поліпшення відбитків зображення, найпоширенішим з них було використання рівномірного симетричного фільтра Габора.

Загальновизнаною методикою покращення якості зображень відбитків пальців вважається така: починаючи з етапу нормалізації, яка має на меті визначити середнє значення між дисперсію вхідного зображення, яке потім застосовується для оцінки локальної орієнтації. Використання локальної оцінки частоти, яка має на меті вирівняти результати оцінки локальної орієнтації. Також здійснюється оцінка маски області, яка отримується з класифікації кожного блоку в нормалізованому зображенні відбитків пальців на блоки, які можна відкорегувати або які неможливо відновити. Завдяки цьому кроку визначаємо, чи має у виконаній області значення, яке є меншим або більшим за порогове значення. Що визначає вхідне зображення для переходу до

наступного етапу. 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 шумових процесів. Проте 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 формується з декількох етапів:

- 1) Сегментація
- 2) Нормалізація
- 2) Оцінка локальної орієнтації
- 3) Локальна оцінка
- 4) Оцінка частоти пагорбів
- 5) Використання фільтра Габора
- 6) Бінаризація
- 7) Потоншення

Біометричні зображення поділяються на площини виду $w \times w$ (це 8×8 або 16×16) пікселів, що не перекриваються. Локальна орієнтація та локальна частота хребта обчислюється для них.

Сегментація

Для покращення відбитків пальців першим кроком алгоритму є механізм сегментації зображення. Коли алгоритми вилучення деталей застосовуються до фонових областей біометричного відбитка, це призводить до вилучення шумових процесів і помилкових деталей. Сегментація - етап виокремлення ділянок на зображенні від ділянок тла. Ділянки переднього плану знаходяться на області відбитків пальців, що містить хребти та впадини. Тло відповідає областям поза межами області відбитків пальців, які не містять жодної достовірної інформації. Відповідно, для відкидання цих фонових областей, що полегшує надійне вилучення дрібних деталей використовується сегментація.

Метод для виконання сегментації, заснований на порозі відхилення дисперсії, так як, у зображенні відбитків пальців фонові області зазвичай мають

дуже низьке значення дисперсії сірого кольору, тоді як області переднього плану мають дуже велику дисперсію. Отже, зображення поділяється на області і розраховується відмінність сірого кольору для кожної області на зображенні. Дисперсія рівня сірого для блоку розміром $W \times W$ визначається як:

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

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 . [53].

Розрахунок локальної орієнтації

Локальну орієнтацію хребтів, що містяться у відбитку пальця (див. рис. 1.6) визначає поле орієнтації зображення відбитків пальців визначає. Орієнтація є основним кроком, так як наступний етап фільтрації Габора опирається на локальну орієнтацію для ефективного покращення зображення відбитків пальців. Для обчислення зображення орієнтації використовується метод оцінки найменшого середнього квадрату.

Обчислити локальну орієнтацію можна з локальних градієнтів із застосуванням функції арктангенсу.

Нормалізація

Для рівномірного значення інтенсивності зображення відбитків пальців проводиться процес нормалізації, регулюючи покриття рівня сірого так, щоб воно було в межах очікуваного значення. Крім того, процес нормалізації не змінює ясності хребта та впадин. В основу нормалізації входить зменшити розходження значень сірого кольору по хребтах і впадинах. При здійсненні етапу нормалізації рівень сірого кольору знаходиться в певному діапазоні, для збільшення контрастності та яскравості зображення.

Завдяки проходженню механізму нормалізації зображення має хороший контраст, тобто є розподіл інтенсивності всієї площі (рис.1.6). У такий спосіб зображення виглядає краще, а об'єкт - чіткішим.



(a) Оригінальне зображення (b) Зображення після нормалізації

Рис 1.6. Нормалізація зображення відбитку пальця

Отже, нормалізація зображення необхідна для збільшення контрасту між хребтом і впадиною, де відбувається процес нормалізації.

Бінаризація

Бінарне перетворення – це етап перетворення зображень сірого рівня в бінарні зображення.

У бінарних зображеннях є лише два рівні - чорні та білі пікселі, де на пікселях зображено хребти та долини. Значення пікселя 0 встановлюється в чорну ділянку зображення, яка представляє лінію хребтів, а значення пікселя 1 ідентифікує білу область, що представляє долини [54]. Саме для збереження характеристик відбитків структури хребтів та для усунення деякої згуртованості між візерунками використовується підхід до бінарної трансформації.

Під час процесу бінаризації проходить вивчення значення рівня сірого кольору кожного пікселя в поліпшеному зображенні, і, якщо значення перевищує загальний поріг, то значення пікселя встановлюється на бінарне значення; в іншому випадку він встановлюється в нуль. Відповідно, результатом є двійкове зображення, що містить два рівні інформації, хребти переднього плану та долину фону.

Потоншення

На останньому етапі відбувається виокремлення дрібних деталей - потоншення. При виконанні цієї операції відбувається стирання пікселів, поки лінія не досягне товщини одного пікселя. У даному дослідженні реалізовано три алгоритми потоншення.

1.7. Аналіз фільтрів для перетворення зображень у задачах біометричного захисту

В процесі сканування біометричних даних на зображенні можуть бути присутні шуми, які спотворюють результати розпізнавання. Утворення хаотичних гранулярностей або розташування чужорідних точок на зображенні – це прояв випадкового шумових процесів. Найбільш виразний такий шум на темних областях зображень, тому що співвідношення “сигнал/шум” на них буде набагато менше, ніж на світлих ділянках. Також будь-яке отримане зображення має ряд недоліків: недостатня різкість зображень, розмитість зображення або деяких деталей. Залежно від типів спотворень розроблено різні методи фільтрації зображень, що використовуються в конкретних ситуаціях, і забезпечують різну якість відновлення. В залежності від виду шуму здійснюється використання фільтра в тій чи іншій ситуації. Найбільш поширеним є імпульсний шум. В такому випадку на зображенні спостерігаються білі або чорні поміхи, які хаотично розкидані по зображенню. Слід зауважити, що шум може розташовуватися не по всьому зображенню, а перешкоди виглядають ізольованими контрастними точками. На сьогодні розроблена велика кількість методів усунення шумів, кожен з яких, використовується для усунення певного типу шуму. Через складність знаходження точних рішень з'являються різні варіанти наближених методів.

Найпоширенішим статичним методом біометричної ідентифікації є порівняння відбитків пальців [55].

Важливо при фільтрації зображень досягти збільшення чіткості. Тому є велика кількість фільтрів, що дозволяє наблизити зображення з чіткими границями. Фільтрація дозволяє відновити зображення із виділенням контурів в деякій частоті. Ядро згортки виглядає як елементи базиса Фур'є, яка помножена на гауссіану. Для комп'ютерних систем алгоритм швидкого перетворення

Фур'є дозволяє перенести оброблення зображень від маніпуляцій з числовими значеннями яскравості окремих пікселів до опрацювання сигналу, який отримується після проведення швидкого перетворення Фур'є над зображенням. Представлення зображення у вигляді Фур'є-образу дає можливість застосувати фільтри, які застосовуються в обробленні сигналів. Розповсюдження фільтрів Габора обумовлено тим, що він дає сильну дію у тих точках зображення, де є компонента із локальними особливостями частоти.

В основі фільтрації Габора лежить центральна частина алгоритму. Це етап вдосконалення, що супроводжує фактичне поліпшення зображення відбитків пальців. Мета фільтрації - підвищення чіткості хребтових структур при одночасному зниженні шуму в зображенні. Щоб довести ефективність фільтрації Габора, проведено експерименти на синтетичних тестових зображеннях та на реальних зображеннях відбитків пальців.

З метою розв'язку задачі зменшення шуму проводяться дослідження методів фільтрації, кодування та декодування інформації. Це дозволяє зменшити вплив спотворень на зображення. Здійснення фільтрації відбувається згідно правил, що є в основі фільтрів. Один із найпростіших варіантів фільтрації лежить у присвоєнні центральному пікселю нового значення, яке є середньоарифметичним усіх його сусідніх пікселів. До таких фільтрів належать круговий усереднюючий фільтр, гаусовський фільтр, гаусовська фільтрація, медіанна фільтрація, вінерівська фільтрація і т.п. [56]

1.8. Фільтр Габора

Фільтр Габора виходить модуляцією синусоїди з гауссіаною. Для одновимірних (1D) сигналів 1D синусоїда модулюється гауссіаною. Це означає, що цей фільтр буде реагувати на деяку частоту, і тільки в локалізованій частині сигналу. Нехай $g(z)$ - функція, що визначає фільтр Габора, орієнтований на початок, з θ як просторова частота:

$$g(z) = e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \cos(2\pi\theta z), \quad (1.1)$$

де σ^2 - стандартне відхилення гаусівського ядра, яке визначає амплітуду функції, θ - частота коливань, яка визначається як $\theta = \frac{1}{T}$, де T – період функції

$\cos(2\pi\theta z)$.

Відповідно, ця формула є добутком гауссіани і періодичної функції, і передбачає поліпшення монотонних областей періодичних зображень. Є припущення, що у випадку з відбитками пальців, періодичність ліній і стандартне відхилення узгоджуються в основному з локальними характеристиками зображення.

Значення коефіцієнта Фур'є залежать від цілого зображення, що є складністю перетворення, тому для обчислення значення Фур'є-образу окремого вектора, використовуються усі пікселі зображення. Якщо розмірковувати в термінах просторових частот, то це явище можна вважати зміною вмістимого зображення при переміщенні по ньому. Цих недоліків не мають фільтри Габора. Їх ядра виглядають як елементи базиса Фур'є, що помножені на гауссіани. Отже, фільтри Габора дають сильну реакцію у тих точках зображення, де є компонент із локальними особливостями частоти в просторі та орієнтації [57].

Для фільтрації зображень використовують двовимірний фільтр Габора. Це гармонійна функція, помножена на функцію Гауса. Двовірний фільтр Габора має вигляд

$$G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \varphi) = \exp\left(\frac{-x'^2 + \varphi^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(\frac{2\pi x'}{\lambda + \psi}\right) \quad (1.2)$$

де

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned}$$

У цьому рівнянні λ – довжина хвилі множника косинуса, θ – в градусах, ψ – зсув фаз у градусах, та φ – коефіцієнт стиснення [58]. Добуток функції Гауса та періодичної функції, що є в основі формули, полягає в покращенні монотонних областей періодичних зображень. При застосуванні даної фільтрації необхідно знати перераховані вище параметри фільтра Габора. Для відбитків пальців вважають, що періодичність ліній та стандартні відхилення узгоджуються з локальними характеристиками зображення.

Для визначення ширини смуги фільтра, що визначає діапазон частоти,

на який відповідає фільтр, використовуються стандартні параметри відхилення σ_x і σ_y . Вибір яких, повинен бути пов'язаний з частотою хребта, тому що пропускна здатність фільтра налаштована на відповідність локальній частоті хребта. Пропускна здатність може бути постійною, що є недоліком використання фіксованих значень. Наприклад, якщо до зображення відбитків пальців застосовується фільтр із постійною пропускною здатністю, який показує зміни величини частоти, це може призвести до неоднорідного посилення. Тому, окрім використання фіксованих значень, вибрано значення $\frac{3}{4}x$ та $\frac{3}{4}y$ як функції параметра частоти хребта:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= k_x F(i, j) \\ \sigma_y &= k_y F(i, j)\end{aligned}\quad (1.3)$$

де F – зображення частоти хребта, k_x є постійною змінною для σ_x , а k_y – постійною змінною для σ_y . Це дозволяє використовувати більш пристосований підхід, отже значення σ_x та σ_y тепер можуть бути визначені адаптивно відповідно до локальної частоти хребта зображення відбитків пальців.

Також необхідно знайти орієнтацію ліній всередині кожного оброблюваного сегмента, так як лінії відбитків можуть мати різну орієнтацію на різних ділянках зображення. Таким чином, модифікований фільтр буде функцією від трьох параметрів $G(x, y, \theta)$.

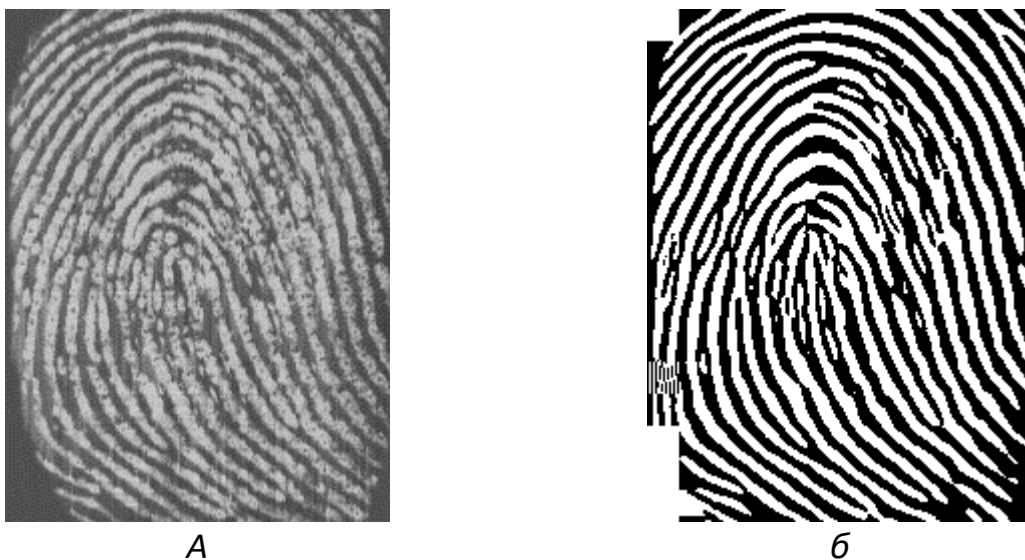


Рис. 1.7. а - Зображення відбитків пальців, зроблене за допомогою сенсора; б - Результат фільтрації Габора

Алгоритм, описаний Базеном [59] є в основі пошуку орієнтації ліній сегмента. Основна ідея якого полягає в тому, що градієнт зображення має бути перпендикулярним лініям на відбитках пальців. Аби протилежно направлені вектори не компенсували один одного, розраховуються квадратурні градієнти [59]. Їх напрямки усереднюються в кожній області зображення.

Слід обережно вибирати параметри фільтра Габора σ_x і σ_y , що контролюють пропускну здатність фільтра, тому що вони суттєво впливають на результати розширення. Потрібно враховувати, що значення σ_x визначає ступінь посилення контрасту між хребтами та долинами, а σ_y визначає кількість згладжування, що застосовується до хребтів через локальну орієнтацію.

Фільтрація Габора була винайдена Габором у 1946 році як інструмент маніпуляції зображенням у комп'ютерному баченні завдяки його оптимальним властивостям локалізації в просторовій та частотній областях. Тоді була запропонована одновимірна функція Габора. Згодом у 1980 р. були використані 2-D фільтри Габора. Фільтри були запропоновані Дауманом Даугманом як основа для розуміння орієнтаційно-селективних і просторово-частотно-селективних рецепторних властивостей поля нейронів [21].

Використання фільтра Габора покращує зображення. На зображенні чітко виділяються лінії відбитків і прибираються шуми. Бінаризоване зображення зручне для подальших трансформацій: скелетизації та пошуку окремих точок на відбитках. Завдяки когерентності можна вибрати область інтересу, в якій виконуються додаткові обчислення. Недоліком алгоритму є відображення кривої лінії у вигляді набору напрямків у кожному відрізку, що може викликати розмиття фільтра в окремих сегментах і кривизну. З іншого боку, збільшення дискретизації пов'язане зі зменшенням розміру відрізка, що може призвести до великої похибки у визначенні середньої орієнтації ліній кожного відрізка. Фільтр Габора за своїми частотними та орієнтаційними характеристиками схожий на зорову систему людини [60].

Значення орієнтації хребта при обробці зображень відбитків пальців добре розроблено. Для відбитків пальців було реалізовано багато алгоритмів,

які відповідають за обробку в загальному вигляді. Програмне забезпечення, яке вимагає знання орієнтації хребта, виявлення особливих точок, виявлення гребінця під час попередньої обробки, постобробку для зменшення кількості помилкових деталей та класифікацію зразків відбитків пальців [61].

Деформація набуває різних форм або викликає різні ефекти під час порівняння відсканованого зображення з візерунком, який є шаблоном, включаючи погану роздільну здатність, зміщення, шум, зміну інтенсивності тощо. Сканування сканером є хорошим прикладом можливої деформації зображень. Таким чином, ідентифікація та відбитки пальців є одним із напрямків досліджень у розпізнаванні зображень, які піддаються деформації. Добре відомими методами вилучення текстур зображень є метод Local Binary Pattern (LBP). Однак метод LBP показує ряд недоліків у виборі текстур зображення, і два з них нехтують деякою інформацією про текстуру зображень. Вони не виділяють текстуру деяким зображенням через їх локальну орієнтацію. У роботі [62] була використана комбінація фільтрів Габора і було запропоновано використовувати оператор LBP для зменшення недоліків біометричних відбитків. Поєднання результатів покращує точність ідентифікації паперових зображень. Застосування фільтрів Габора до методу LBP покращує опис оператора LBP і точність відбитків пальців [62] [63].

Одним із найпопулярніших методів виділення країв на зображенні є використання фільтрів Габора [64] та побудова реальної частини ядра фільтра.

Висновки до розділу 1

1. Здійснено огляд літературних джерел щодо біометричного захисту на основі нових видів фільтрації
2. Проаналізовано вразливості системи захисту інформації щодо видів кібератак, які діють на біометричну систему, і зроблено спробу протидіяти цим кібератакам.
3. Проаналізовано види фільтрації зображень, які діють у біометричних системах.
4. Проаналізовано етап скелетинізації біометричної інформації, де виявлено, що застосування хвильового алгоритму є найбільш оптимальне.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Інформаційні технології біометричних систем ідентифікації вдосконалюються дуже швидко і динамічно. Особливу увагу вони привертають завдяки своїй високій надійності та недавньому значному зниженню ціни. Ці системи часто використовуються для завдань розпізнавання в реальному часі [65].

Біометричні системи безпеки поступово витісняють традиційні системи безпеки, засновані на введенні паролів, PIN-кодів, які є персональними ідентифікаційними номерами, та друкованих ідентифікаторів. Системи такого роду є технологією ідентифікації з різними засобами захисту і використовуються для порівняння отриманих фізіологічних чи поведінкових характеристик конкретної людини.

Розвиток біометрики є результатом широкого використання вбудованих мініатюрних датчиків у невеликих персональних пристроях, таких як смартфони, розгортання біометричних даних у різних системах даних та широкомасштабної ідентифікації, вивчення використання біометричних функцій у пристроях, які можна носити [66].

Загальновідомо, що майже кожна біометрична система безпеки неявно накладає певний тип обмежень на своїх користувачів. Такі системи вимагають створення певного типу середовища під час збору даних. Також важливо виділити достатньо пам'яті для зберігання зібраної інформації. Проте дешевші біометричні датчики, стрімкий розвиток смартфонів, розумних годинників, різноманітних пристроїв надають дослідникам ширші можливості. Таким чином, сьогодні ми спостерігаємо революцію в пристроях з біометричними логінами.

Такі пристрої зберігають особисту інформацію власника пристрою або особи, яка має право використовувати цей пристрій. Пристрої, що забезпечують біометричну аутентифікацію, оснащені біометричними датчиками і здатні

постійно перевіряти власника певних біометричних даних. Таким чином, ці атрибути осіб можуть бути використані як біометричний підпис особи.

У [67] біометричні зображення розглядаються під різними кутами та різною орієнтацією. Вони фільтруються функцією Габора. Система є інваріантною для повороту грані профілю в одній або різних смугах руху. Виходячи з цього, можна стверджувати, що фільтрація Габора є перспективною.

У [68] встановлено безпечний і надійний алгоритм для відрізнення відбитків пальців від підробок, використовуючи круговий вейвлет Габора для сегментації текстур знятих зображень. Зразки піддають функції вилучення за допомогою кругового вейвлет-алгоритму Габора, призначеного для сегментації.

У роботах [69, 70] розглядаються атаки на системи біометричного захисту. Дослідження [69] присвячується аналізу моделей захисту інформації. Серед зарубіжних дослідників варто відзначити роботи Джона Р. Вакки [71], Марка Ніксона [72], Самира Нанаваті [73].

Симетрія функцій Ateb-Габора дозволяє створити велику різноманітність і кількість фільтрів, що відрізняються за формою і розміром. Всі вони доповнюють функцію Габора.

Основа функцій вейвлет-Ateb-Габора дозволяє створити велику кількість різноманітних фільтрів, які ефективно перетворюють зображення в скелет і забезпечать швидку та надійну ідентифікацію зображення, в тому числі зображення відбитків пальців.

Цей метод фільтрації може забезпечити універсальну фільтрацію, зменшуючи таким чином час, витрачений на попередню обробку зображень. Це зменшить час попередньої обробки зображень, застосувавши форму фільтра, яка буде найбільш бажаною.

2.1. Ateb-функції - інструментарій для розробки фільтрації

У 1960-х роках Р. Розенберг вперше визначив Ateb-функції як інверсію неповних бета-функцій [74] Зокрема, запис Ateb є зворотною перестановкою літер слова Beta. Р. Розенберг, використовуючи Ateb-функції, написав

аналітичне рішення диференціальних рівнянь зі степеневою нелінійністю для опису коливального руху.

Дещо пізніше П. М. Сенік [75] узагальнив і дослідив функціональні властивості Атеб-функцій. Введені періодичні та гіперболічні Атеб-функції використовуються для побудови розв'язків систем нелінійних диференціальних рівнянь.

Розв'язок цих рівнянь побудовано за допомогою періодичних симетричних Атеб-функцій. П.М. Сенік використовував рішення Атеб-функцій при дослідженні стаціонарних коливань у по суті нелінійних системах, які взаємодіють з джерелом енергії. Зокрема, для побудови резонансних мод використовувалися періодичні Атеб-функції.

У 70-х роках студент П.М. Сенік А.М. Возний [76] вперше розклав гіперболічні та періодичні Атеб-функції в ряди Тейлора в околиці початкового значення аргументу $\omega=0$ при $n = 1$. А.М. Возний за допомогою Атеб-функцій досліджував рух об'єкта з постійною масою під дією фронтальних сил опору, пропорційних нелінійній швидкості, розв'язано динамічну частину задачі, яка зводиться до мінімізації інтеграла.

2.2. Математична модель розкладу в ряди Фур'є сигналів фільтрації

Функцію $f(x)$ називають періодичною з періодом T , якщо $f(x)$ визначена на всій числовій осі і для будь-якого $x \in (-\infty, +\infty)$ $f(x + T) = f(x)$.

Тригонометричним рядом Фур'є називають функціональний ряд виду

$$\frac{a_0}{2} + \left(a_1 \cos \frac{\pi x}{l} + b_1 \sin \frac{\pi x}{l} \right) + \left(a_2 \cos \frac{2\pi x}{l} + b_2 \sin \frac{2\pi x}{l} \right) + \dots \quad (2.1)$$

де l, a, a_1, a_2, b_1, b_2 – дійсні числа, $l \in (0, +\infty)$.

Або в скороченому виді записують

$$\frac{a_0}{2} + \left(a_k \cos \frac{k\pi x}{l} + b_k \sin \frac{k\pi x}{l} \right) \quad (2.2)$$

де l, a, a_1, a_2, b_1, b_2 – коефіцієнти тригонометричного ряду. Члени ряду (2.1) є неперервними функціями періоду $2l$, отже, якщо цей ряд є збіжний, то сума його також є періодичною функцією з періодом $2l$.

Нехай n, m — параметри, що визначаються співвідношеннями:

$$n = \frac{2\dot{Q}_1+1}{2\ddot{Q}_1+1}, m = \frac{2\dot{Q}_2+1}{2\ddot{Q}_2+1}, (\dot{Q}_1, \ddot{Q}_1, \dot{Q}_2, \ddot{Q}_2 = 0,1,2, \dots) \quad (2.3)$$

Розглянемо вираз

$$\omega = \frac{1}{2} \int_1^{-1 \leq u \leq 1} t^{-\frac{n}{n+1}} (1-t)^{-\frac{m}{m+1}} dt \quad (2.4)$$

Підстановка змінних виду $t = 1 - \bar{u}^{m+1}$ з формули (2.4) отримуємо співвідношення

$$\omega = -\frac{m+1}{2} \int_1^{-1 \leq u \leq 1} (1 - \bar{u}^{m+1})^{-\frac{n}{n+1}} d\bar{u} \quad (2.5)$$

Залежність u від ω для інтеграла (4) є функцією n і m і називається $\text{Cos}(\omega)$ функції Ateb і позначається:

$$u = ca(m, n, \omega) \quad (2.6)$$

Якщо $n = m = 1$, тоді отримуємо $u = \text{Cos}(\omega)$.

У [77] також було доведено, що введені таким чином функції Ateb є періодичними з періодом $\Pi(m, n)$, де

$$\Pi(m, n) = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{n+1}\right)\Gamma\left(\frac{1}{m+1}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{n+1} + \frac{1}{m+1}\right)}. \quad (2.7)$$

In (6) $\Gamma(1/(n+1))$, $\Gamma(1/(m+1))$ є гамма-функцією.

Тому, якщо необхідно, обчислення функцій достатньо для аргументу, який змінюється на відрізьку:

$$0 \leq \omega \leq \frac{1}{2} \Pi(m, n)$$

Використовуючи властивості періодичності, можна продовжити серію обчислень. Таким чином, легко отримати значення всього періоду Ateb-функції.

Новий метод моделювання класифікації зображень відбитків пальців за типами папілярних папілом на основі використання фільтра Ateb-Габора реалізується за допомогою вейвлет-перетворень. Функціональна схема ідентифікації показана на рис.2.1.

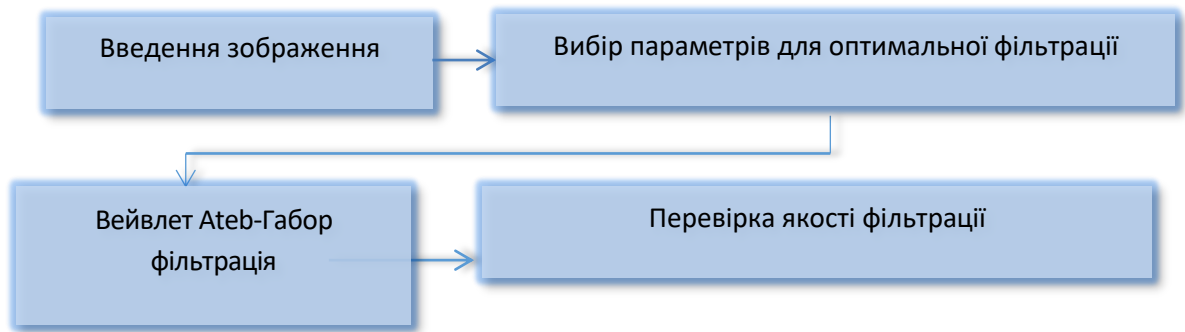


Рис. 2.1. Основні етапи фільтрації Вейвлет- Ateb -Габор

Схема функціональної ідентифікації методу моделювання дозволяє скоротити час, витрачений на обчислення функцій Атеб-Габора і на фільтрацію зображень, а також зменшити витрати на обчислення. Ми можемо впливати на рішення результатів за часом і частотою. Це використовується в перетвореннях Фур'є [78]. Фільтрація цифрових зображень заснована на здійсненні фізичного процесу поглинання і відбиття світла. Суть методу полягає в наступному. Вихідне зображення представляється у вигляді поверхні, кожна точка якої відповідає пікселю на зображенні. У цих точках коефіцієнти відбиття розраховуються на основі їх близькості до точок, які є чорними на двійковому зображенні відбитка. Для всіх точок поверхні визначають цей коефіцієнт і значення інтенсивності відбитого світла.

Біометричні системи мають хорошу продуктивність з гарною якістю введення. Однак їх продуктивність різко погіршується, коли в систему надходить неякісний вхід [79]. Приклади поганих даних можна сканувати із шумом із відбитками пальців з низькою роздільною здатністю. Тому перспективним буде розробка методів підвищення якості таких даних, щоб біометричний вміст захисту міг працювати швидше та з меншою кількістю помилок [80].

Однак на необробленому зображенні через шум лінії друку можуть спотворюватися, створюючи помилки розпізнавання [81]. Щоб реалізувати це, зображення буде покращено шляхом застосування фільтрації для зменшення шуму. Існуючий фільтр Габора на основі Атеб-функцій ефективний для фільтрації [82].

2.2. Математична модель двовимірного фільтра Атеб-Габора

Для комп'ютерних систем алгоритм швидкого перетворення Фур'є дозволяє перенести оброблення зображень від маніпуляцій з числовими значеннями яскравості окремих пікселів до оброблення сигналу, що отримується внаслідок швидкого перетворення Фур'є над зображенням. Застосування фільтрів, які застосовуються в обробленні сигналів, дає можливість представлення зображення у вигляді Фур'є-образу. В подальшому дослідження ефективності частотних фільтрів в обробленні зображень дасть цінну інформацію про особливості їх застосування.

Величини коефіцієнта Фур'є залежать від цілого зображення, що є одним зі складностей перетворення Фур'є.

Якщо думати у системі просторових частот, які визначені лише локально, то це зміна вмістимого зображення. Так, в деякому вікні околу точки, вузькі полоси виглядають з високою просторовою частотою, а широкі полоси – навпаки [83]. Таких неточностей не мають фільтри Габора. Ядра фільтрів Габора є вмістимим елементів базиса Фур'є, що помножено на гауссіану [84].

Для побудови одномірного фільтра Габора використовується формула:

$$g(z) = e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \cos(2\pi\theta z), \quad (2.8)$$

де σ - стандартне відхилення гаусівського ядра, яке визначає амплітуду функції, ω - частота коливань, яка визначається як $\omega = \frac{1}{T}$, де T – період функції $\cos(2\pi\omega z)$.

Чи більше σ – тим форма функції стає пологішою, чим менше σ – тим форма функції

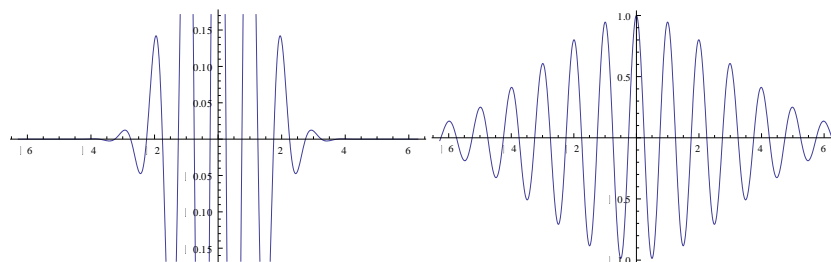
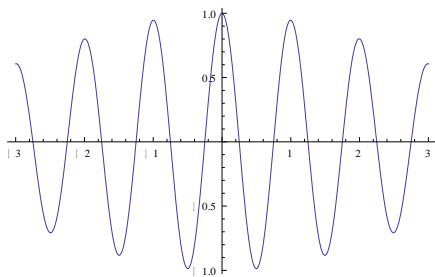


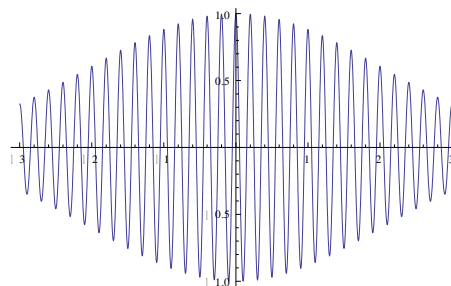
Рис.2.2. Одномірний фільтр Габора з параметрами $\sigma = 1, \theta = 1$;

Одномірний фільтр Габора з параметрами $\sigma = 1, \theta = 5$

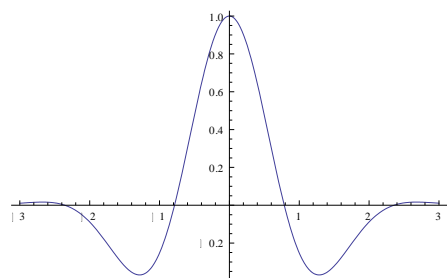
буде матиме гострий пік, див. рис. 2.2. Чим більше значення σ , тим пологіший вигляд прийме функція. Чим менше значення σ , тим більш гострий пік отримає графік функції. Зображена функція експоненти має властивості нормального розподілу випадкової величини [85]. За правилом трьох σ , всі значення експоненти лежать в інтервалі $\{-3\sigma; 3\sigma\}$. Для аналізу сигналів, значення функції обчислюються у вказаному проміжку. Щодо частоти коливань θ , то чим більше значення приймає θ тим більше коротких гребенів матиме функція.



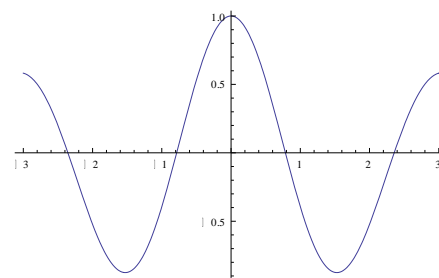
а) Одномірний фільтр Габора з параметрами $\sigma = -3, \theta = 1$



б) Одномірний фільтр Габора з параметрами $\sigma = 2, \theta = 5$



с) Одномірний фільтр Габора з параметрами $\sigma = 1, \theta = 1/\pi$



д) Одномірний фільтр Габора з параметрами $\sigma = 5, \theta = 1/\pi$

Рис.2.3. Графічне представлення одномірного фільтру Габора з певними параметрами

Фільтр Габора — лінійний електронний фільтр, імпульсна перехідна характеристика якого формується у вигляді гармонічної функції, помноженої на

функцію Гаусса [86]. Для фільтрації зображень, зокрема біометричних зображень, необхідно застосовувати двовимірний фільтр Габора, який може фільтрувати у двовимірному просторі [87].

Визначення висоти та ширини фільтра здійснюється шляхом обчислення ширини та висоти гаусової складової. Визначення правильної ширини, а також висоти для фільтра Gabor є важливим при розробці нових фільтрів. Експериментально встановлено [88], що якщо фільтр має добрий механізм пропускну здатності, що детектує вузькі краї на певній частоті, він повинен мати межі в площині $z = 0$, а також мати два негативних і один позитивний піки.

Двовірний фільтр Ateb-Габора. Фільтр Ateb-Габора - це фільтр, характеристика імпульсного переходу якого визначається у вигляді гармонічної функції у вигляді функції Ateb, помноженої на функцію Гаусса. Таке застосування значно підвищить результати фільтрації. Це дасть більше результатів фільтрації, оскільки є два нових параметра m, n , які можна змінити [89].

$$g(m, n, \omega) = e^{-\frac{\omega^2}{2\sigma^2}} \text{ca}(m, n, 2\Pi, \theta, \omega) \quad (2.9)$$

де σ - стандартне відхилення ядра Гаусса, що визначає максимальне значення функції, ω - частота коливань, яка обчислюється як $\omega=1/T$, де $T(m, n)$ – період Ateb-функція $\text{ca}[\dots](m, n, 2, 2\Pi, \theta)$, 2Π - період Ateb-функції.

Визначено оптимальне співвідношення між частотою та шириною фільтра Габора, що дозволило автоматично виконувати фільтри з метою знаходження країв об'єктів з різними частотами, розмірами та напрямками [90]. Оптимальна кореляція в кожному окремому образі. Запропоновано спосіб видалення середньої складової фільтра Габора, що дозволяє звести значення середнього фільтра до нуля без деформації фільтра. Результати численних експериментів демонструють вдалий вибір країв на зображенні на основі результатів, отриманих при роботі параметрів фільтра Габора.

Фільтр двовимірної функції Ateb-Габора описується формулою:

$$\text{AtebG}(x, y, \lambda, \theta, \varphi, \sigma, \zeta) = \exp\left(\frac{-x'^2 + \varphi^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \text{ca}\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \zeta\right), \quad (2.10)$$

where

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

де, θ - паралельна смуга пропускання нормальної орієнтації, λ довжина хвилі гармонічної функції, ζ - відставання (фазові переходи; зсув фази), σ - стандартне відхилення ядра Гаусса, φ - параметр стиснення та масштабування даних.

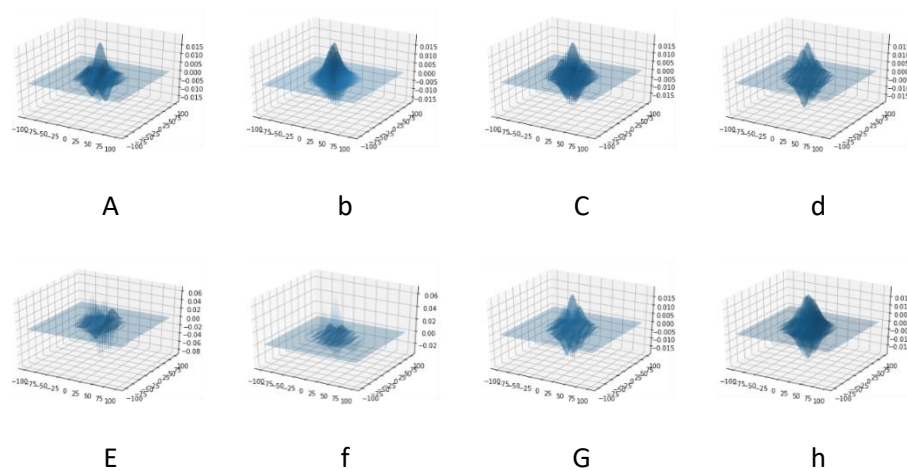


Рис.2.4. Виведення графіки двовимірного Ateb-Габора а) $m=0,1, n=1$; б) $m=0,5, n=1$; в) $m=1, n=1$; г) $m=3, n=1$; е) $m=2, n=1$; е) $m=4, n=1$; ж) $m=5, n=1$; з) $m=1, n=5$.

На рис. 2.4 показано графічне зображення двовимірної фільтрації Ateb-Габора для різних значень раціональних параметрів у функції Ateb. Наведені вище малюнки показують, що можна вибрати значення таких параметрів Ateb-функції, які б фільтрували біометричні зображення з частотою, близькою до папілярної частоти біометричного зображення. Експериментальні дослідження (крім рис. 2.4з) проводилися з параметром $n = 1$. Інший раціональний параметр m ми змінювали в більшій мірі (збільшуючи його значення). Важливо зазначити, що при рівності параметрів ми отримуємо класичне представлення знаменитого фільтра Габора [91].

Розпізнавання відбитків пальців відбувається за локальними та глобальними ознаками. Глобальні характеристики включають ті, які добре видно і можуть спостерігатися будь-ким без використання спеціальних приладів. Ті характеристики, які вимагають використання давачів або сканерів спеціального типу і дають більш точну інформацію під час розпізнавання – називаються локальними характеристиками. Їх вибирають тому, що лінії відбитків пальців не прямі. Саме ці характеристики надають біометричному відбитку унікальну інформацію про особу під час ідентифікації [92]. У традиційній дактилоскопії папілярні візерунки пальців поділяються на три основні класи: дугові (близько 5% усіх відбитків), петлеві (65%) і закручені (30%). Більш детальна класифікація підкласів проводиться для кожного класу. Завдання вибору шаблону для перевірки наведено в [93 94].

Для використання фільтра Атеб-Габора нам потрібно знати значення таких значень з формули (2.10): вибрати напрям фільтра; обґрунтувати частоту синусоїдальної хвилі θ ; вибрати значення σ - відхилення гаусівського ядра. Фільтр виправдовується частотними характеристиками, які виводяться з локальної частоти ω і визначаються локальною орієнтацією.

Значення σ наведено при реалізації алгоритму. Якщо застосувати більше таких значень, то введений фільтр стане більш стійким до шуму. Однак буде внесено більше спотворення, створюючи неіснуючі частини зображення. Якщо σ набуває малих значень, то фільтр буде менше змінювати зображення, а результат фільтрації буде значно меншим, що призведе до незначних значень шуму. Тому ми вибираємо значення σ , які змінюють зображення шляхом ефективною фільтрації і не призводять до спотворення. Це завдання вирішується емпірично, коли параметри фільтра підбираються експериментально [95].

Описано та реалізовано фільтрацію на основі фільтра Атеб-Габора. Частотні характеристики фільтрації Атеб-Габора представлені на рис. 2.3, 2.4, 2.5. На рис. 2.3 можна побачити класичний фільтр Габора, відображений з параметрами функції Атеб - $m=n=1$. Зміна ω від 0,1 до 1,0 представлена певними десятима значеннями. Як видно з рис. 2.4, зміна значення ω призводить до зміни масштабу площі фільтрації. Графічне зображення

частотних характеристик фільтра *Ateb* -Габора, коли параметри фільтра (m, n) дорівнюють 3. На рис.2.5 показані частотні характеристики фільтра *Ateb* -Габора для m, n , що дорівнює 5.

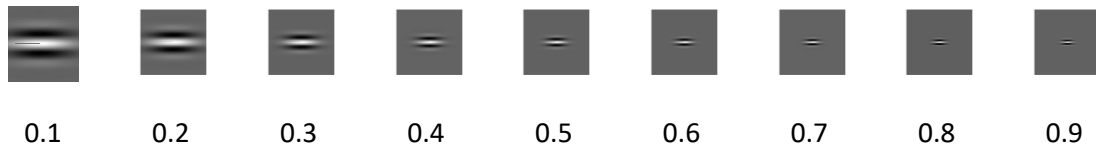


Рис.2.3. Графічне зображення фільтра *AtebG* ($m=1, n=1$).

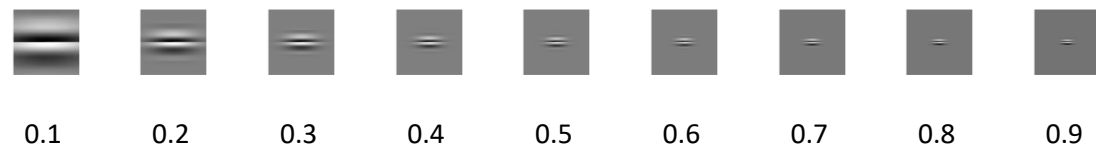


Рис.2.4. Графічне зображення фільтра *AtebG* ($m=3, n=3$)

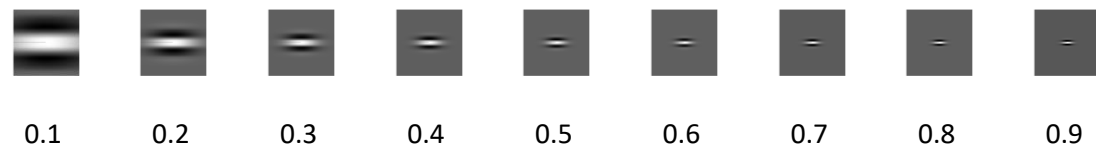


Рис.2.5. Графічне зображення фільтра *AtebG* ($m=5, n=5$)

Вперше розроблена частотна фільтрація *Ateb*-Габора, що значно розширює можливості класичного фільтра Габора. Це досягається введенням математичної теорії *Ateb*-функцій, що збільшує кількість варіантів використання фільтрації за рахунок завантаження двох раціональних параметрів m і n , частотні характеристики яких показані на рисунках 2.3, 2.4, 2.5. Вперше в цьому дослідженні створено основу частотних характеристик фільтра *Ateb*-Габора.

У біометричній системі ідентифікації розроблено набір даних для фільтрації. Для цього сформовано банк частотних характеристик фільтра *Ateb* -Габора. Класичний фільтр Габора має 10 частотних характеристик. Введення *Ateb*-функцій дозволяє додатково завантажувати частотні характеристики цілими значеннями параметрів, завдяки яким $m = n$. Це дозволяє завантажити десять додаткових 90 частотних характеристик. Якщо розглядати параметри раціональних чисел, то можна додатково залучити 900 частотних характеристик. Таким чином ми можемо додатково провести 900 варіантів

фільтрації. Якщо вибрано значення параметрів, які містять раціональні числа і не дорівнюють один одному, то варіантів фільтрації може бути 2900. Таким чином, використання даного апарату з правильно підібраними параметрами для фільтрації дає змогу досягти одноразового ефективною універсальною фільтрацією біометричних зображень.

2.3. Математична модель тривимірного фільтра Атеб-Габор

Фільтри Габор 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 даних, зазвичай це двовимірний масив даних, оскільки в них залучені 2D зображення, пікселів, яким кожному пікселю присвоюється "вагове" значення. Цей масив даних ковзає по кожному пікселю зображення і виконується операція згортання [96].

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 [49].

Метод, заснований на застосуванні фільтра Габор, 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 Мінущій різних типів.

Часто не враховують взаємне розміщення пікселів, що є ознаками яскравості і лежить в основі методів розпізнавання зображень. Тому перспективним виявився метод, який заснований на використанні фільтру Атеб-Габор [97].

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

Одним з найпопулярніших методів вибору ребер на зображенні є використання фільтрів Габора. Побудова реальної частини ядра фільтра Габора 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:

$$G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \varphi, m, n) = \exp\left(\frac{-x'^2 + \varphi^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \text{ca}\left(m, n, 2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right), \quad (2.11)$$

де

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

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

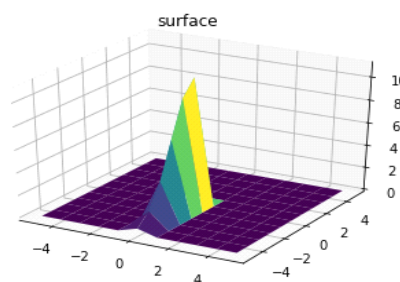


Рис. 2.6. Побудова тривимірного фільтра Атеб-Габора з параметрами $m = 9, n = 0,5, \psi = 1, \sigma = 1$

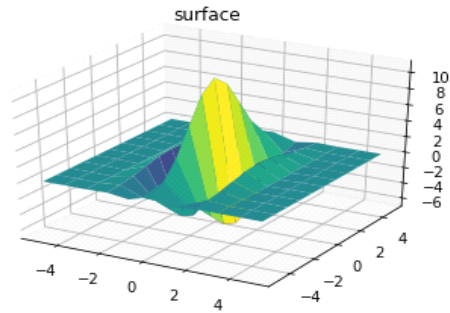


Рис. 2.7. Побудова тривимірного фільтра Атеб-Габора з параметрами $m = 3, n = 5, \sigma = 1$

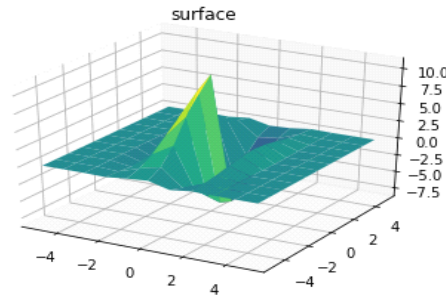


Рис. 2.8. Побудова тривимірного фільтра Атеб-Габора з параметрами $m = 3, n = 7, \sigma = 1$

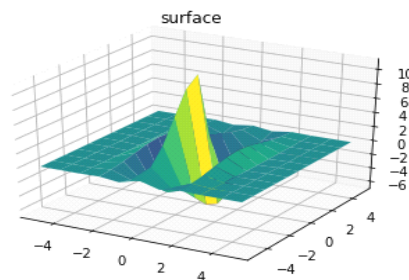


Рис. 2.9. Побудова тривимірного фільтра Атеб-Габора з параметрами $m = 3, n = 11, \sigma = 1$

Існує різниця між вивченням папілом пальців та іншими типами зображень [98].

Ідентифікація відбитків пальців – це процес порівняння двох відбитків пальців папілярних ліній людини, щоб визначити, чи належать вони одній людині. Поверхневі лінії шкіри гнучкі, що унеможливорює повне збігання відбитків пальців. Тому навіть два відбитки однієї руки, зібрані відразу по одному, можуть відрізнятись. До факторів, що впливають на якість відбитка,

можна віднести [99]: силу тиску, пластичність шкіри, слизькість, матеріал поверхні, її жорсткість і жорсткість речовини, яка наноситься на шкіру тощо [99].

Папілярні лінії шкіри унікальні серед усіх можливих відбитків. Вони часто ламаються, розгалужуються, змінюють напрямок і мають розриви. Точки, в яких лінії закінчуються, або вони розгалужуються, а також змінюють напрямок, є мінускулами. Ці точки містять унікальну інформацію відбитків пальців під час ідентифікації особи.

Біометричний відбиток може містити до 70 мінускул, що забезпечує його унікальні характеристики [100].

Визначено співвідношення між частотою та шириною фільтра Атеб-Габора, що дозволило фільтрам автоматично знаходити краї об'єктів з різними частотами, розмірами та напрямками. Цей спосіб видалення середньої складової фільтра Атеб-Габора знижує середнє значення фільтра до нуля без деформації фільтра. Результати численних експериментів демонструють вдале виділення країв зображення на основі параметрів фільтра Атеб-Габора. Результати застосування фільтра Атеб-Габора до відбитків пальців показано на рис.2.10. На малюнку 6 показано фільтрацію Атеб-Габора з різними параметрами m і n . Проводячи дослідження, можна з'ясувати, що $m = n = 3$ і $m = n = 7$ дає найкращі результати фільтрації.

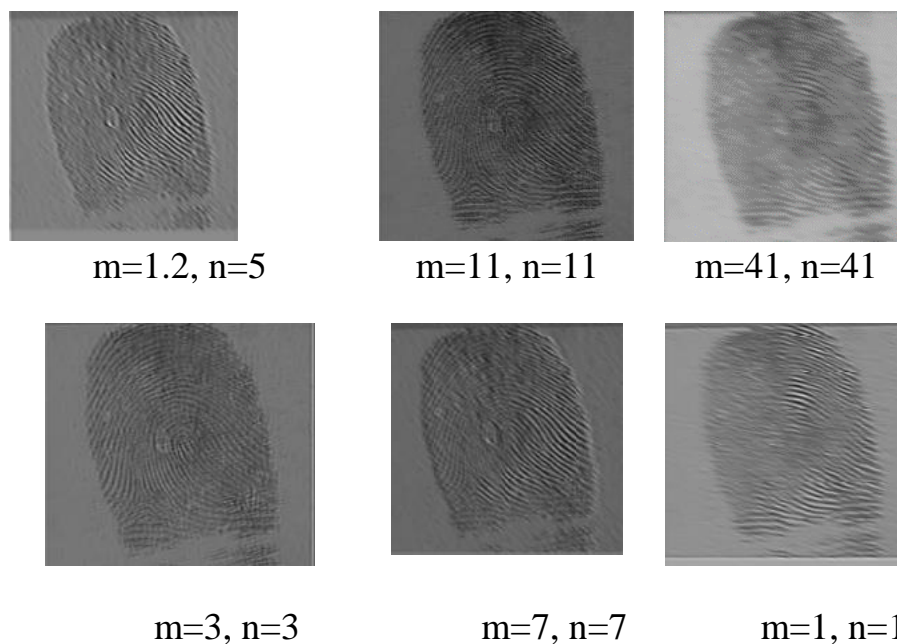


Рис.2.10. Результати обробки зображення фільтром Атеб-Габора при різних частотних значеннях

2.4. Математична модель розкладу в вейвлет-перетворення функції Атеб-Габору.

Розглянемо перетворення Фур'є спрощеного комплексного фільтра:

$$\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma\beta}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{((\zeta-\zeta_0)\cos\theta + (\nu-\nu_0)\sin\theta)^2 \sigma^2}{2\sigma^2} + \frac{(-(\zeta-\zeta_0)\sin\theta + (\nu-\nu_0)\cos\theta)^2 \beta^2}{2\beta^2} \right]}, \quad (2.12)$$

де ζ, ν — просторові частоти вздовж осей x та y , σ — стандартне відхилення ядра Гаусса, θ — кут орієнтації фільтра, β — фаза фільтра. Центр фільтра розташований у точці $([\xi=\zeta]_0, [\nu=\nu]_0)$ частотної площини растра. σ та β — параметри масштабу еліптичних гауссів уздовж осей x та y [101].

Оскільки ці розрахунки мають велику обчислювальну складність, виконується кілька спрощень. Параметри σ, β можна довільно обмежити $\beta / \sigma = 2$. Також:

$$\zeta_0 = \omega_0 \cos \theta,$$

$$\nu_0 = \omega_0 \sin \theta,$$

$$\text{де частота } \omega_0 = \sqrt{\zeta_0^2 + \nu_0^2}$$

На рис.2.11 показана поверхня функції Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ для різних значень σ . При збільшенні параметра σ функція стає більш опуклою. Тому, коли ми застосовуємо цю функцію для фільтрації, більша σ означає значну зміну яскравості кольорів на зображенні. Поверхні функції Габора з більшими параметрами σ , зокрема $\sigma = 6, 7, 8, 9, 10$, наведено на рис. 2.12.

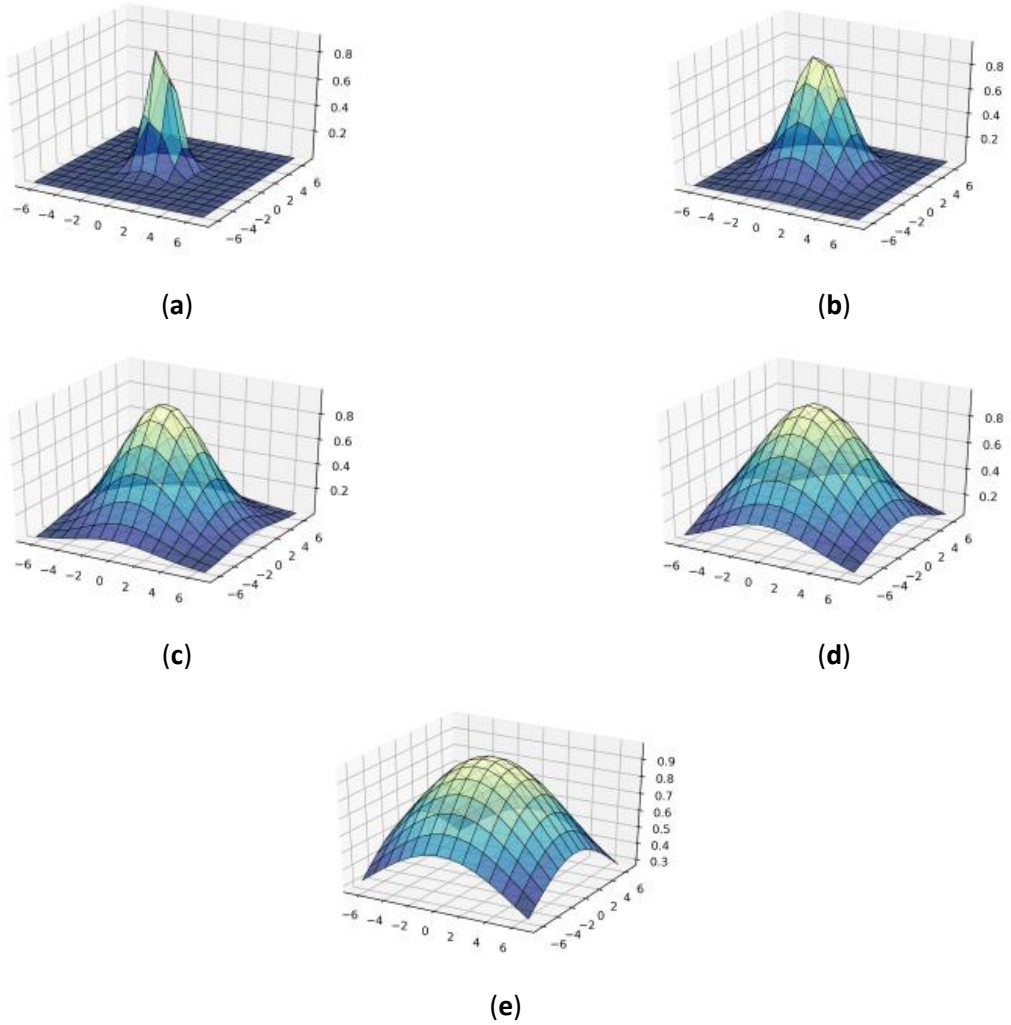


Рис.2.11. Побудова фільтра Вейвлет-Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ in $OX - \zeta$,
in $OY - \nu$: (a) $\sigma=1$; (b) $\sigma=2$; (c) $\sigma=3$; (d) $\sigma=4$; (e) $\sigma=5$.

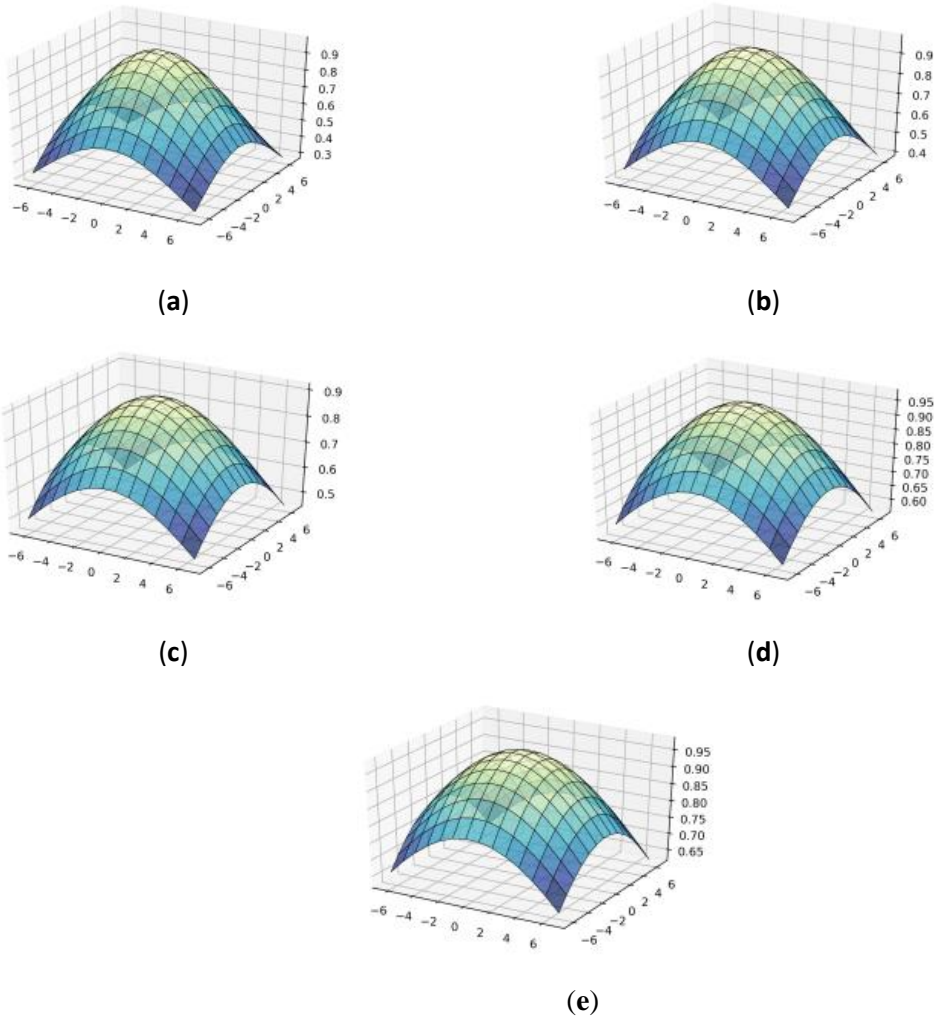


Рис.2.12. Побудова фільтра Вейвлет-Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ на ОХ – ζ , на ОУ – ν : (a) $\sigma=6$; (b) $\sigma=7$; (c) $\sigma=8$; (d) $\sigma=9$; (e) $\sigma=10$.

3.2. Математична модель вейвлет-перетворення Ateb-Gabor функцій

Вейвлет-перетворення функції $f(t)$ буде виглядати:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (2.13)$$

де $\psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right)$ - є комплексним спряженням функції $\psi(t)$ параметр $b \in \mathbb{R}$ відповідає зсуву в часі і називається параметром зсуву, а параметр a визначає масштабування і є параметром розтягування.

$$\psi(t) = (1 - t^2) e^{-t^2/2}, \quad (2.14)$$

Вейвлет-функції характеризуються незалежними значеннями частоти та часу. Тому за їх допомогою можна моделювати процеси в часовій і частотній областях. Найкращими фільтрами для попередньої обробки зображень є вейвлети Хаара, Добеші, WAVE, МНАТ, які описані в [102]. При вирішенні завдань класифікації можна змінити форму вейвлет-перетворення, ввівши дискретне вейвлет-перетворення [103].

$$W_{\psi}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \sum_{i=0}^{N-1} f(t) \psi^* \left(\frac{i-b}{a} \right),$$

Використовуючи (2.13) і (2.14), визначимо $\psi_{a,b}(t)$ as:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) = \frac{(1 - \frac{(t-b)^2}{a^2}) \cdot e^{-\frac{(t-b)^2}{2a^2}}}{\sqrt{a}}, \quad (2.15)$$

Функція $f(m, n, t)$, яка є Ateb-Габором, має вигляд:

$$f(m, n, t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} Ca(m, n, 2\Pi, \theta, t), \quad (2.16)$$

де $Ca(m, n, 2\Pi, \theta, t)$ — функція Ateb, $e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$ — відхилення гауссового ядра, що визначає амплітуду функції, σ — стандартне відхилення зовнішньої функції Гауса.

Інтегральне перетворення вейвлет-функції Ateb-Габора АТЕВГ(a,b,m,n,θ,σ,t) згідно (2.16) та (2.15) можна обчислити як:

$$ATEVG(a, b, m, n, \theta, \sigma, t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} Ca(m, n, 2\Pi, \theta, t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt. \quad (2.17)$$

Після деяких перетворень отримуємо

$$ATEVG(a, b, m, n, \theta, \sigma, t) = \frac{4\sigma^2}{t} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} Ca(m, n, 2\Pi, \theta, t) + \frac{2}{m+1} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} Sa^n(n, m, 2\Pi, \theta, t) dt. \quad (2.18)$$

2.4.1. Моделювання вейвлета-Ateb-Габора із параметрами σ

В результаті візуалізації формул (2.15) і (2.16) побудовано поверхні вейвлет-перетворення функції Ateb-Габора АТЕВГ(a,b,m,n,θ,σ,t) з різними

параметрами (рис. 2.13 та рис.2.14), що допомогло в майбутньому провести кращу фільтрацію [104].

На рис. 2.13 показана поверхня функції Вейвлета-Атеб-Габора *АТЕВГ* ($a, b, m, n, \theta, \sigma, t$) з параметрами $m = 1, n = 1$. Коли збільшується параметр σ , функція стає більше опуклою, тому ефект фільтрації буде застосований до більшої площі зображення. Чим більше σ (як видно на рис.2.13), тим більше, тим значнішу зміну яскравості на зображенні можна спостерігати. Графіки для $\sigma = 6, 7, 8, 9, 10$ наведені на рис. 2.14.

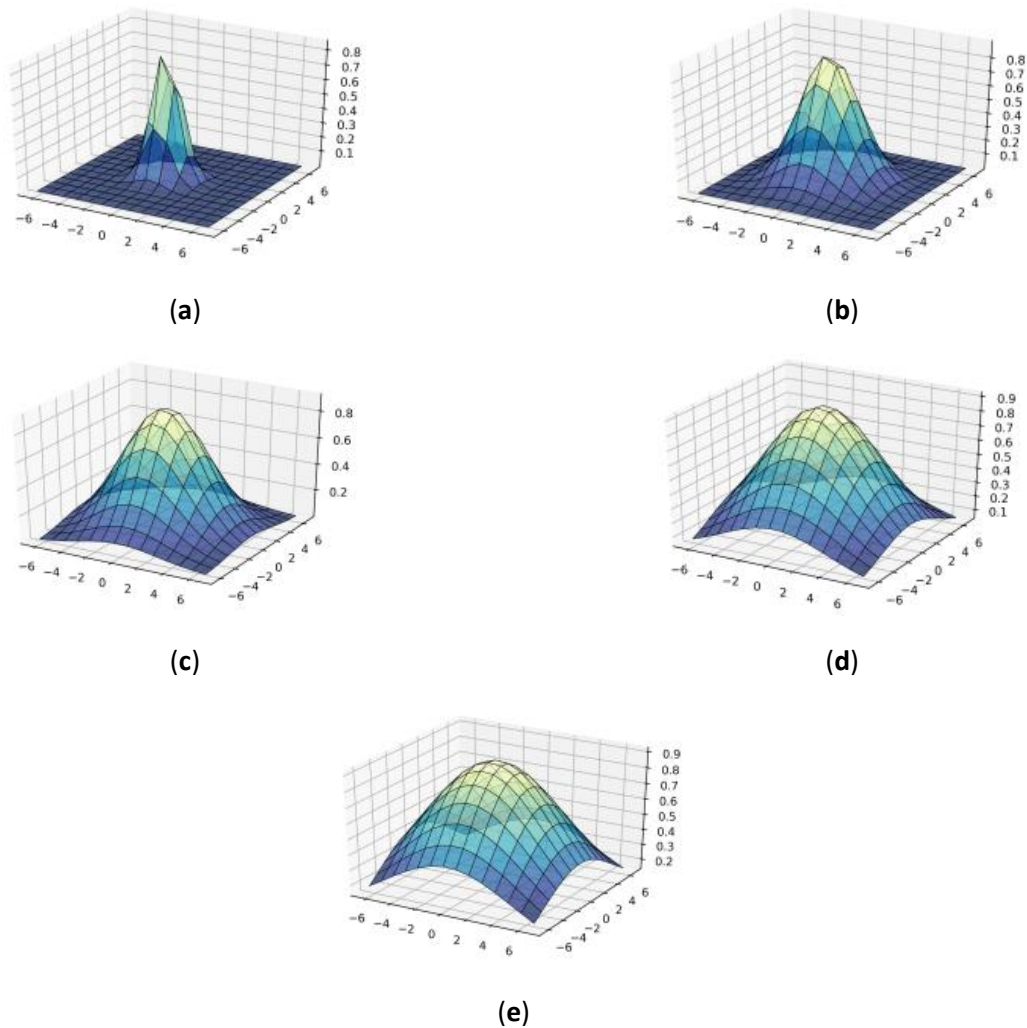


Рис.2.13. Побудова фільтра Вейвлет-Габора *АТЕВГ*($a, b, m, n, \theta, \sigma, t$) на ОХ – a , на ОУ – b : (a) $\sigma = 1$; (b) $\sigma = 2$; (c) $\sigma = 3$; (d) $\sigma = 4$; (e) $\sigma = 5$.

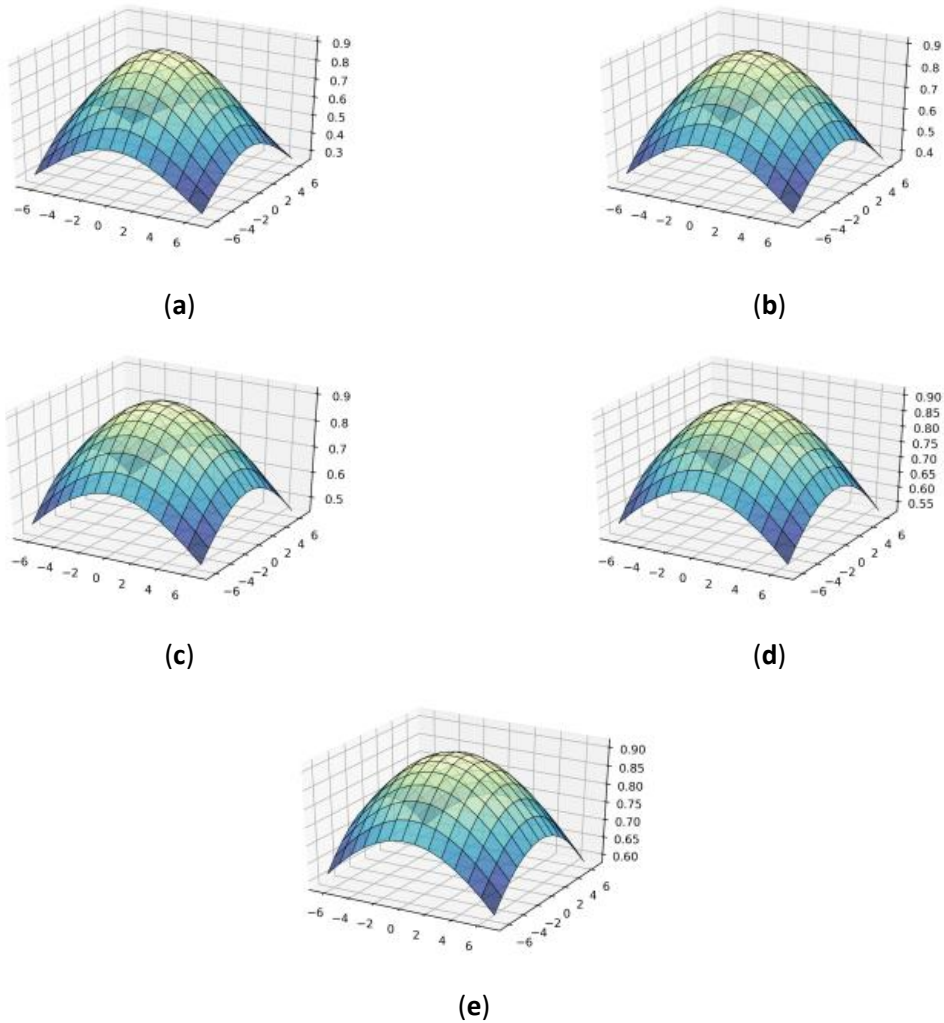


Рис.2.14. Побудова фільтра Вейвлета-Атеб-Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ з параметрами $m=1$, $n=1$ в ОХ – а, в ОУ – б: (а) $\sigma=6$; (б) $\sigma=7$; (в) $\sigma=8$; (г) $\sigma=9$; (д) $\sigma=10$.

2.4.2. Моделювання функції вейвлет-Атеб-Габора з параметрами n , $0 < n < 1$

Розраховано числові значення періоду вейвлета функції Атеб-Габора (табл. 2.1). Для обчислення періоду були взяті значення $m = 1$, а n змінено з 0,1 до 1.

Таблиця 2.1.

Період вейвлет-функції Атеб-Габора, який розраховується за (2.18), коли n змінюється від 0,1 до 1, а $m = 1$.

m	n	The period of the wavelet function Ateb-Gabor
1	0.1	2.12142061299
1	0.2	2.24050260067
1	0.3	2.35762298776
1	0.4	2.47307918393
1	0.5	2.58710955923
1	0.6	2.6999077953
1	0.7	2.81163314784
1	0.8	2.92241794389
1	0.9	3.03237316197
1	1	3.14159265359

Для випадку, коли $m = 1$, $\sigma = 1$ і параметр n набуває чисел менше одиниці, отримуємо такі графіки АТЕВГ ($a, b, m, n, \theta, \sigma, t$): як показано на рис. 2.15 та рис. 2.16.

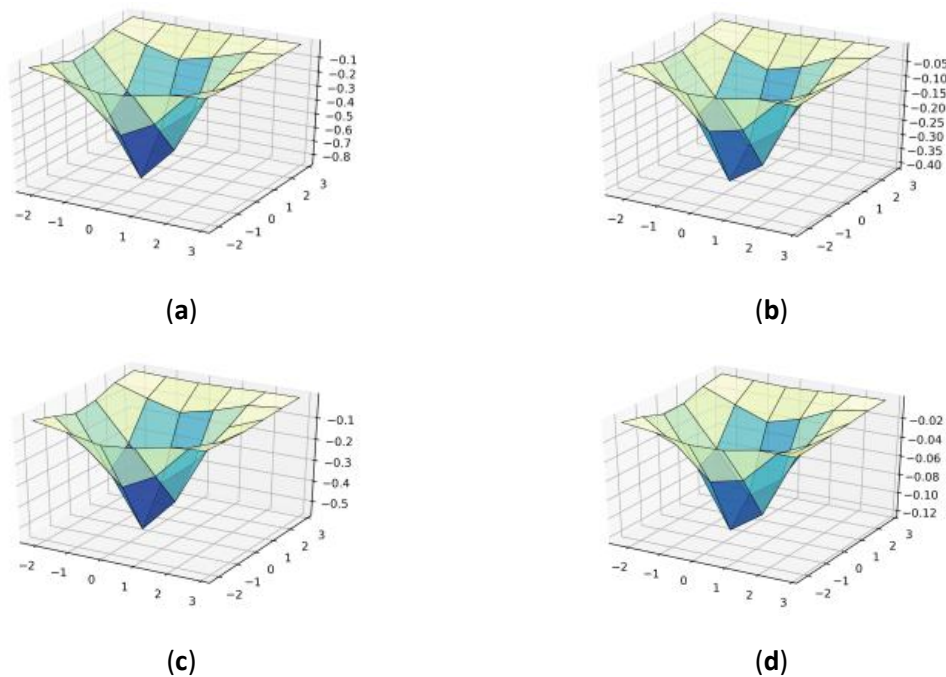


Рис.2.15. Побудова фільтра Вейвлет-Габора $\psi(\zeta, v, \zeta_0, v_0, \theta, \sigma, \beta)$ з параметрами $m=1, \sigma =1$; in OX – a , in OY – b : (a) $n=0.1$; (b) $n = 0.2$; (c) $n = 0.3$; (d) $n = 0.4$.

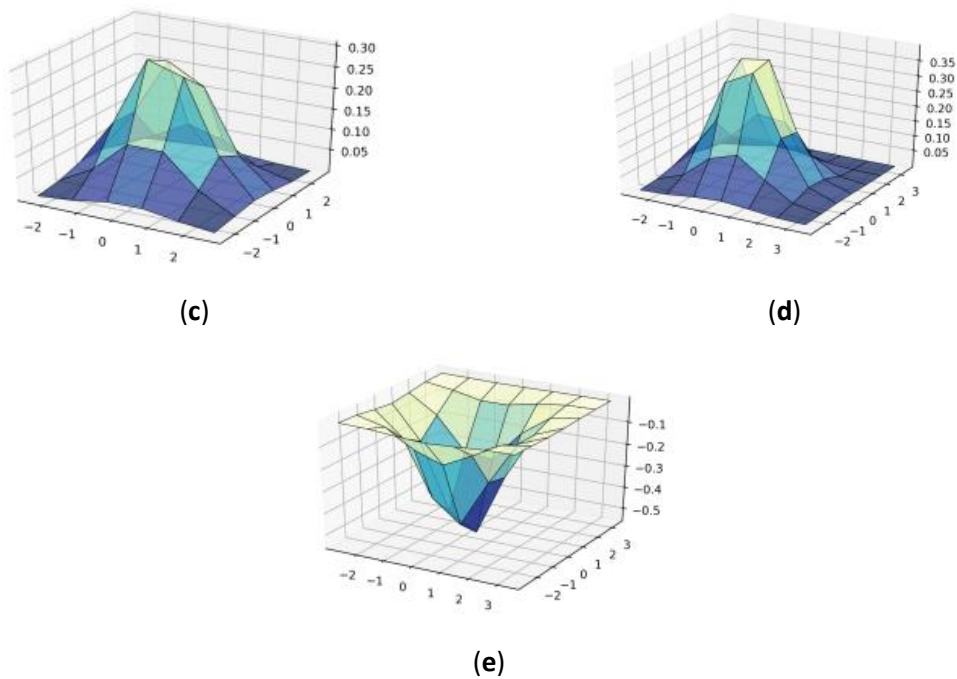


Рис.2.16. Побудова фільтра Вейвлет-Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ з параметрами $m=1, \sigma=1$; in OX – a , in OY – b : (a) $n=0.5$; (b) $n=0.6$; (c) $n=0.7$; (d) $n=0.8$; (e) $n=0.9$.

Коли n більше одиниці, ми отримуємо такі графіки АТЕВГ ($a, b, m, n, \theta, \sigma, t$), як показано на рис.2.17 та рис. 2.18.

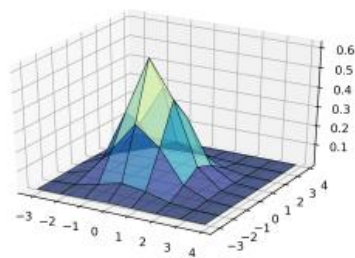
2.4.3. Моделювання функції вейвлет-Атеб-Габора з параметрами $m, 1 < m < 10$

Обчислено числові значення періоду вейвлета функції Атеб-Габора, коли m змінюється від 1 до 10, а $n=1$ (табл. 2.2).

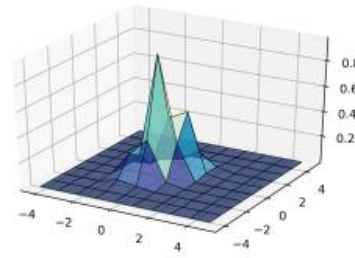
Таблиця 2.2

Період вейвлет-функції Атеб-Габора, коли m змінюється від 1 до 10, а $n = 1$.

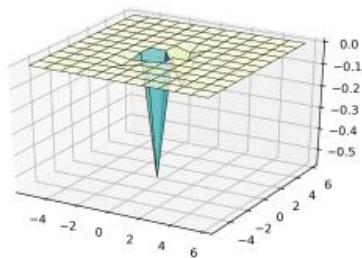
m	n	The period of the wavelet function Ateb-Gabor
1	1	3.14159265359
2	1	4.20654631598
3	1	5.24411510858
4	1	6.26865312409
5	1	7.28595194366
6	1	8.29880821421
7	1	9.30874056975
8	1	10.3166455868
9	1	11.3230869752
10	1	12.3284370431



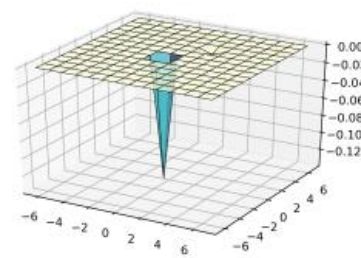
(a)



(b)



(c)



(d)

Рис.2.17. Побудова фільтра Вейвлета-Атеб-Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ з параметрами $n=1$; $\sigma=1$; в ОХ – а, в ОУ – b: (a) $m=1$; (b) $m=2$; (c) $m=3$; (d) $m=4$.

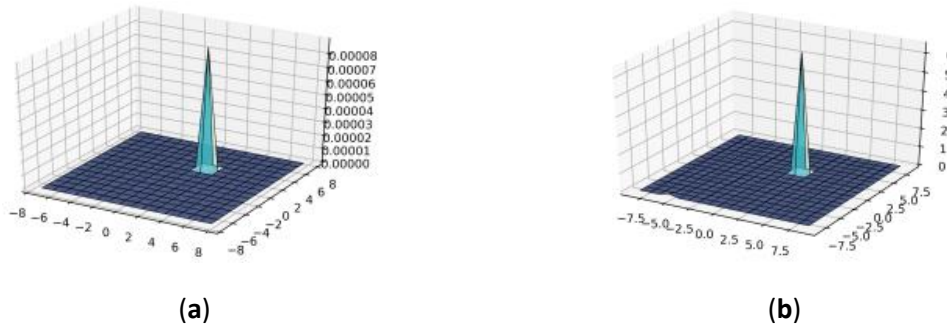


Рис.2.18. Побудова фільтра Вейвлета-Ateb-Габоора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ з параметрами $n=1, \sigma=1$; в ОХ – а, в ОУ – б: (а) $m=5$; (б) $m=6$.

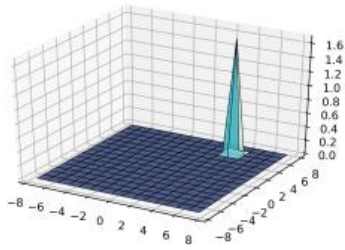
З рис. 2.18 випливає, що поверхня функції Вейвлета-Ateb-Габоора АТЕВГ (а, б, m, n, θ , σ , t) з параметрами $n=1, \sigma=1$; коли ми збільшуємо параметр m, ми спостерігаємо різну форму та значення. При $m=1$ і $m=2$ є поверхня з додатними значеннями, але при $m=3$ і $m=4$ зображення буде висвітлюватися в тих ділянках, де розташована поверхня. Дослідження функції Вейвлет-Ateb-Габоора АТЕВГ (а, б, m, n, θ , σ , t) з параметрами $n=1, \sigma=1$ і $m=5, 6$ наведено в додатку А на рисунку А4.

2.4.4. Моделивання функції вейвлет-Ateb-Габоора з параметрами $n=m=3, 1<\sigma<4$

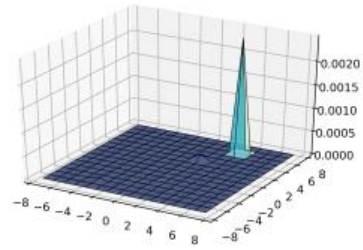
Експерименти функції Вейвлет-Ateb-Габоора АТЕВГ (а, б, m, n, θ , σ , t) проводили окремо з рівними параметрами m і n. Для цього було розраховано період, представлений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Період вейвлет-функції Ateb-Габоора з рівними параметрами $m=n$.

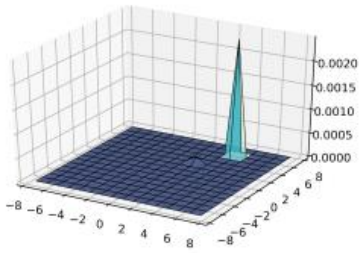
m	n	Період вейвлет-функції Ateb-Gabor
3	3	7.41629870921



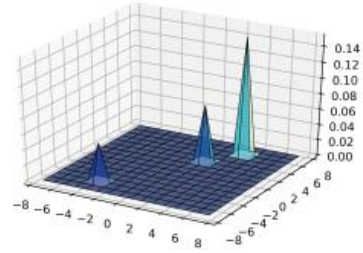
(a)



(b)



(c)



(d)

Рис.2.19. Побудова фільтра Вейвлета-Атеб-Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ з параметрами $n=3, m=3$; в ОХ – а, в ОУ – б: (a) $\sigma=1$; (b) $\sigma=2$; (c) $\sigma=3$; (d) $\sigma=4$.

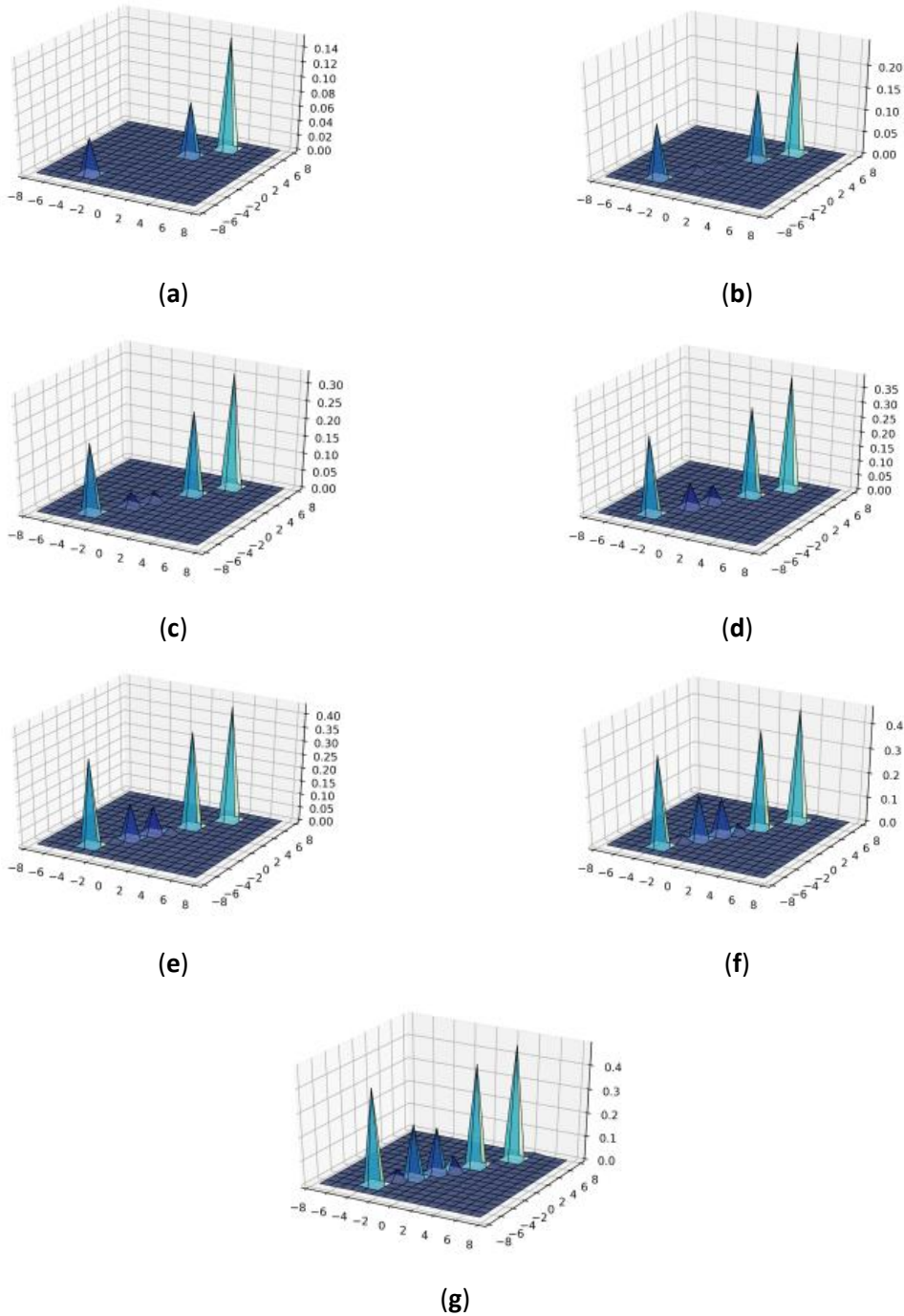


Рис. 2.20. Побудова фільтра Вейвлета-Атеб-Габора $\psi(\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta)$ з параметрами $n=3, m=3$; в ОХ – а, в ОУ – b: (a) $\sigma=4$; (b) $\sigma=5$; (c) $\sigma=6$; (d) $\sigma=7$; (e) $\sigma=8$; (f) $\sigma=9$; (g) $\sigma=10$.

З рис. 2.20 видно, що для великих і рівних значень параметра $n = m = 3$ поверхня функції Вейвлета-Атеб-Габора АТЕВГ (a, b, m, n, θ , σ , t) змінюється з піками з піками. із збільшенням відхилення гауссового ядра $\sigma = 1; 2; 3; 4$. Як видно з малюнка б, чим більше σ , тим більше спостерігається піків.

Дослідження функції Вейвлет-Ateb-Габора АТЕВГ ($a, b, m, n, \theta, \sigma, t$) з параметрами $m = n = 3, \sigma = 5; 6; 7; 8; 9; 10$ наведено в рис. 2.20.

З наступних рисунків випливає, що зміна параметрів фільтра дозволяє вибрати різні варіанти фільтрації, які відрізняються формою та числовими значеннями. Як видно з вищенаведених залежностей, впровадження фільтра Ateb-Габора дає змогу отримати більший контроль над ефектом фільтрації порівняно з традиційним фільтром Габора. Таким чином, фільтр Габора залежить від параметрів $\zeta, \nu, \zeta_0, \nu_0, \theta, \sigma, \beta$. Значення фільтра Габора залежить від координат центру фільтра $[[x=x]]_0, [[y=y]]_0$ і точок $[[\xi=\xi]]_0, [[\nu=\nu]]_0$ частотної площини растру, а також, він залежить від σ і β - параметрів масштабу еліптичних гауссів вздовж осей x і y , θ - кута орієнтації фільтра, σ - фази фільтра. Отже, функція Габора має шість режимів свободи: $\zeta_0, \nu_0, \theta, \rho, \sigma, \beta$.

Введення фільтра Ateb-Габора залежить від параметрів АТЕВГ ($a, b, m, n, \theta, \sigma, t$), де крім основних параметрів додаються раціональні параметри m і n , які істотно впливають на форму функції та результату фільтрації [105].

Висновки до розділу 2

Фільтрування Ateb-Габором дозволяє змінювати інтенсивність всього зображення, а також інтенсивність у певних діапазонах, і таким чином зробити певні ділянки зображення контрастнішими. Ateb-функції змінюються від двох раціональних параметрів, а це, в свою чергу, дасть можливість гнучкіше керувати фільтрацією. Досліджено властивості Ateb-функції, а також можливості зміни амплітуди функції, частоти коливань на фільтр Ateb-Габора. Показано розвинення фільтрації на основі двовимірного Ateb-Габору. Ці залежності проаналізовані та зроблені відповідні експерименти. Відбитки пальців фільтрувалися за допомогою розробленого фільтра Ateb-Габора.

Зображення, які містять біометричні дані та входять до безпечної біометричної системи Інтернету речей, зазвичай мають низьку якість і містять шум. Проведено аналіз біометричних зображень безпеки. Встановлено

особливості такого класу образів.

Розроблено новий фільтр Атеб-Габора, який може значно зменшити шумовий ефект.

Новий метод фільтрації має набагато ширший діапазон фільтрів. Кількість варіантів використання можна збільшити до 2900, бо він заснований на теорії Атеб-функцій. Це дозволяє нам розробити новий спосіб обробки зображень.

ІІІ РОЗДІЛ. СИСТЕМА ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Побудовано систему біометричного захисту інформації, яка працює на основі порівняння біометричних відбитків та виявляє схожість із певним шаблоном, який зберігається в біометричній базі даних. Детально проаналізовано один з етапів розпізнавання, етап скелетизації. Проаналізовано можливості алгоритмів скелетизації Чжан-Суна, Хілдіча та Атеб-Габора фільтрації з хвильовим потоншенням мінускул. Запропоновано свій метод фільтрації Атеб-Габора з хвильовим способом потоншення мінускул.

Актуальним завданням в наш час залишається розробка системи захисту людини в інформаційно-управляючій системі з використанням біометричних параметрів. Це є однією із задач, вирішення якої дозволить збільшити ефективність виявлення спроб несанкціонованого доступу до інформації. Ці засоби реалізуються в офісних інформаційних системах, та для перевірки ідентичності особи.

3.1. Структурний аналіз систем біометричного захисту з урахуванням нових методів фільтрації

Алгоритми скелетизації бінарних зображень часто називають алгоритмами потоншення, а дискретні скелети називають також остовами.

Скелет можна математично строго визначити наступним чином. Якщо точка PP має більше одного ближнього сусіда, то PP називають множин Остова RR [106].

Об'єднання всіх остовних точок називається остовомостом. З цього слід зазначити, що остовні точки є центрами кола та остови остови надзвичайно чутливі до шуму, оскільки будь-яке мале збурення на границі остова не тільки призводить до збурення одного з ребер, але, і породжує нові ребра. Якщо вихідний об'єкт є тонким, то він містить суттєву інформацію про його форму. Для випадку широких об'єктів це не спостерігається.

При перенесенні на дискретну площину поняття серединної осі не тільки не очевидне, але, і неможливе через ускладнення, які виникають при визначенні відстані між пікселями на дискретній сітці.

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 [107].

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.

Сучасні біометричні системи автентифікації за відбитками мають один недолік — не володіють інформацією про скан цілого пальця. Їм потрібен лише невеличкий фрагмент, який вони порівнюють із тим фрагментом, що є у базі. Тому відбиток має відповідати одному параметру, замість десятих або сотень.

У роботі [108] розглядається вилучення деяких характеристик при біометричній автентифікації та розпізнавання. У цій роботі представлено алгоритм, заснований на CNN для автентифікації. Він застосовується для розмежування раніше отриманих відтінків сірого та різних зразків зображень з шумом, а також для вивчення особливостей даних для подолання фонових неоднозначностей. У запропонованому методі швидкість виявлення відбитків пальців складе 0,45 сек. Така швидкодія обумовлена через застосування ефективних алгоритмів потоншення, зберігаючи інформацію про мінучі відбитків пальців.

Програма The DeepMasterPrints [109] досліджує фрагменти відбитків пальців реальних людей. Працюючи з найнижчим рівнем захисту та цифровими відбитками, програма показала результат успішного розпізнавання у 77% успішних спроб. Проте, для смартфонів успішне розпізнавання сягає 23% [109].

Успішна робота неймережі DeepMasterPrints обумовлена тим, що системи біометричної аутентифікації лише частково сканують палець людини. Програмі достатньо мати у розпорядженні лише частину відбитка, а решта відбитка система відтворює сама, тому що всюди є типові повторювальні елементи.

У роботі [110] забезпечується стійкість розпізнавання сингулярних точкових областей на різних рівнях роздільної здатності. Процедура є аналогічна масштабуванню, переміщенню та повороту. Так забезпечується виявлення сингулярних точок.

Оскільки автоматичний аналіз зображень значною мірою залежить від сегментації зображення, запропоновано алгоритм відстеження ліній хребта. Метод каркасних ліній краю, заснований на точковій категоризації. Основна точка зображення відбитків пальців виявляється за допомогою адаптивного методу [111], 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 [112] 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. Фон витягується з послідовних зображень, знятих давачем відбитків, а фон видаляється за допомогою різниці кадрів.

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 боці графічного процесора. У [113] 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 замкнених кривих, яка розглядається як межа між областю зображення відбитків пальців і областю фонового зображення, типу марківського ланцюга, 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 [114, 115]. Із цих досліджень бралися дані щодо побудови систем, розпаралелення процесів у біометричній системі ідентифікації відбитків пальців у блоці графічного процесора.

3.2. Методи ідентифікації зображень з урахуванням фільтрації Атеб-Габора

Перетворення та визначення ефективності запропонованого методу фільтрації на основі фільтрації відбитків пальців Вейвлет-Атеб-Габора виконано на основі вільно доступної бази даних NIST Special Database 302. Приклади зображень відображені на рис.3.1.

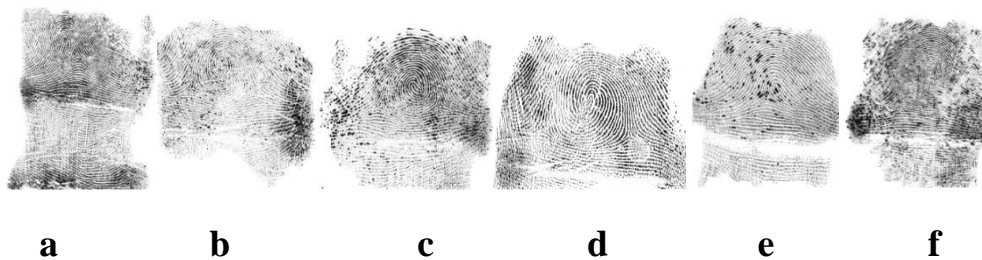


Рис. 3.1. Приклади зображень з доступної бази даних NIST Special Database 302

Перетворення вейвлет-Габора використовується при фільтрації біометричних зображень, оскільки ця функція дозволяє покращити контури хребтів біометричних даних. Розроблений метод фільтра вейвлета-Атеб-Габора дозволяє вибрати параметри, оскільки він містить більше змінних, і здійснити якісну фільтрацію за один прохід. У подальших дослідженнях необхідно розробити методику підбору параметрів фільтра Атеб-Габора [116]. Розроблений метод працює трохи довше, ніж звичайний фільтр вейвлет-Габора, оскільки математичні розрахунки складніші. Проте можна вибрати такі раціональні параметри, які дозволять якісно фільтрувати та ідентифікувати за один прохід. Визначено співвідношення між частотою та шириною фільтра

вейвлета-Ateb-Габора, що дозволило автоматично виконувати фільтрацію для пошуку країв об'єктів з різними частотами, розмірами та напрямками.

Результати експериментів демонструють задовільні краї біометричних зображень, отриманих після застосування обраних параметрів фільтра Ateb-Габора. Результати експериментів представлені в табл. 3.1.

Виконано попередню обробку зображень та фільтрацію вейвлет-Ateb-Габора. Порівняння було зроблено на основі співвідношення сигнал/шум зображення, відфільтрованого вейвлетом-Ateb -Габором, і вхідного зображення.

При фільтрації застосовується фільтр Габора, обчислювальну складність якого оцінимо. Фільтрація Габором може бути представлена трьома послідовними кроками обробки зображень.

- 1) множення раціональних вхідного зображення на $e^{-i(an_1+an_2)}$.
- 2) згладжування отриманого комплексного сигналу за допомогою двомірного фільтра з раціональними імпульсними характеристиками, які достатньо повно описані в [117].
- 3) множення сигналу поліноміальної форми на експотенціальний множник $e^{-i(an_1+an_2)}$.

Таким чином складність фільтрації оцінюємо як $O(N^3)$. Подвоєння розміру задачі збільшує необхідний час у вісім разів, яким є множення матриць.

3.3. Оцінка часових характеристик обчислення Ateb-Габора

Експериментальні дослідження обчислення часу спрацювання системи розробленим фільтром Ateb-Габора приведено у таблиці 3.1. Було обрано чисельні значення однакових раціональних параметрів Ateb-Габора m та n та $\sigma=3$. Як видно з таблиці 3.1 час спрацювання системи при непарних параметрах є дещо більшим, аніж при парних. Це можна пояснити розкладом Ateb-функції в ряд Фур'є, яке описано в [117].

Таблиця 3.1.

Час фільтрації фільтром Атеб-Габора

m	N	Час спрацювання, мс
1	1	4.47
0.5	0.5	4.44
4	4	4.51
5	5	4.41
6	6	4.71
7	7	4.58

Таким чином отримуємо діапазон часових характеристик спрацювання розробленої системи [118].

Результати достовірності протестували на базі NIST Special Database 302. Набір даних для оцінювання параметрів, які перевіряють пальці та її тестування, отримані з 162 зразків зображень.

Було здійснено попередню обробку та проведено фільтрацію двома способами: вейвлет-Габором та вейвлет Атеб-Габором. Після цього здійснено порівняння на основі співвідношення сигнал-шум, див. Табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Результати фільтрації вейвлет Атеб-Габором

m	PSNR
1	45.57
1	31.04
1	30.94
1	33.23
1	36.66
1	29.36
1	32.92
7	35.00

Цифрова форма зображення отримується шляхом сканування давачем пальця. Далі йде етап preprocessing, на якому знижується дія шумів. Для порівняння збереженої вибірки для будь-якої відповідності використовується новий зразок від користувача. Зразки відбитків пальців, отримані від людини у різні часи, ніколи не є абсолютно подібними через те, що користувач взаємодіє з біометричною системою при різних обставинах, є наявність різної вологості, жиру, пилу, різного ступеню притискання пальців, та зміна відбитків пальців через травми та вік. Поріг визначає, чи збігаються два шаблони. Якщо дані, отримані при порівнянні цифрового зображення та зображення з шаблону є вищими від порогу, то поріг називається збігом. Приймаємо за поріг 0,40 [119] на основі статистичного вирівнювання, що є стандартом для системи розпізнавання. Детальне вивчення відповідності між класом та між класом допомагає визначити частоту помилкового відхилення та показник помилкового прийняття.

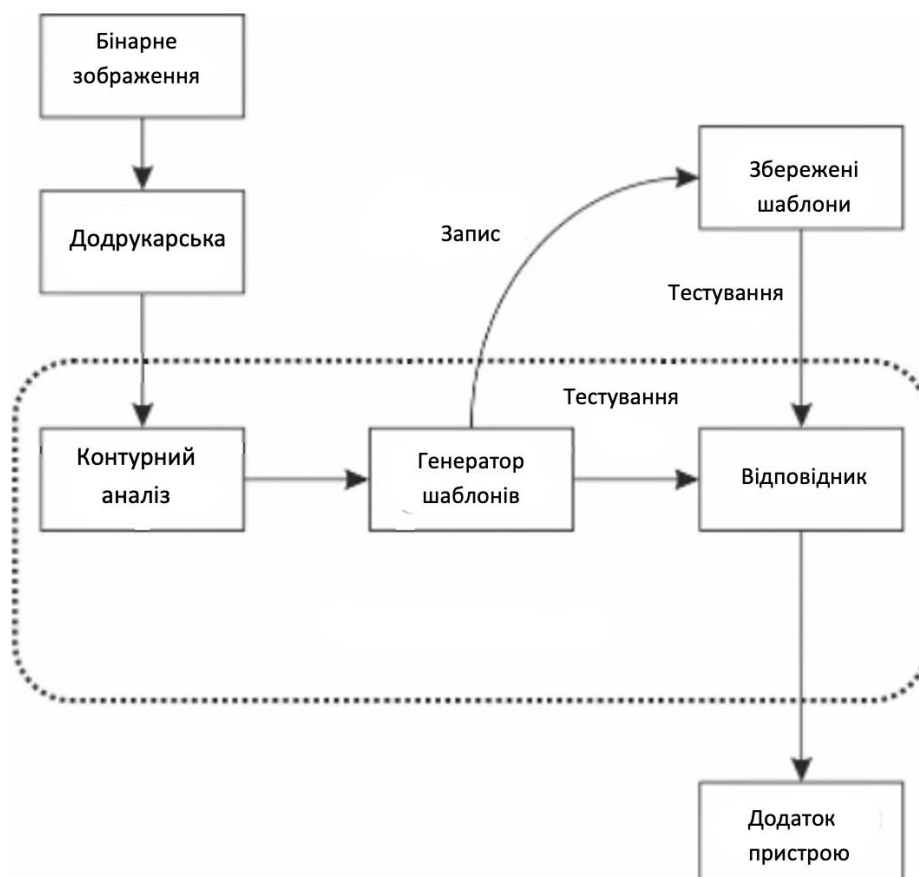


Рис. 3.1. Структурна схема біометричного аналізу

Структурна схема, (див. рис. 3.1) ілюструє два основні режими біометричної системи [120]. У режимі автентифікації система проводить порівняння один з одним та виявлення подібності із шаблоном, що завантажений в біометричну базу даних, щоб перевірити, чи є особа тою, хто має право на вхід.

Перевірка особи відбувається у три етапи. На першому етапі еталонні моделі для всіх користувачів формуються та зберігаються в базі даних моделей. На другому етапі деякі зразки узгоджуються з еталонними моделями, щоб генерувати реальну оцінку безпеки та обчислювати поріг входження у систему. Третій етап це тестування. Цей процес може використовувати смарт-карту, ім'я користувача або ідентифікаційний номер, зокрема, PIN-код, вказати, який шаблон слід використовувати для порівняння. У систему вводяться так звані “позитивне розпізнавання” та “негативне розпізнавання”. “Позитивне розпізнавання” - це звичайне використання режиму перевірки, коли потрібно не допустити використання кількох людей для автентифікації.

Система проводить порівняння «один до багатьох» в режимі ідентифікації з біометричною базою даних. Біометрична система ідентифікації визначає особу, якщо порівняння біометричного зразка з шаблоном буде в межах раніше встановленого порогу. Для першого входження в біометричну систему, це є зарахування. Упродовж зарахування біометрична інформація записується та зберігається. Далі вона виявляється і порівнюється з даними, що зберігаються. Для завантаження біометричної системи важливо, щоб зберігання були безпечними. Елементи біометричного вимірювання, відкидаються з шаблону для зменшення розміру файлів та захисту ідентичності учасника [121].

Під час запису шаблон зберігається. Під час етапу порівняння шаблон передається на функцію порівняння, який порівнює його з іншими відомими шаблонами, оцінюючи відстань між хребтами за допомогою алгоритму PSNR [122]. 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 на

основі статистичного вирівнювання, а потім, на основі потоншення, скелетизація.

Опишемо три методи потоншення: Алгоритм Zhang-Suen, Алгоритм Хілдіча та нами запропонований алгоритм Атеб-Габора, який виконується разом з хвильовим алгоритмом.

3.4. Порівняльний аналіз методів скелетизації з урахування моделі вейвлет-перетворення

Алгоритми потоншення реалізує бітове зображення з максимальним дотриманням форми та перетворенням зображення на кістяк стосовно структури повного зображення [123].

Попередня обробка зображення - усунення дрібних шумів та бінаризація зображення, що є перетворенням кольорових і напівтонових зображень в двоколірні. Для бінаризації використовуються порогова обробка, методи точкових перетворень, згортки, посилення країв, виділення низькочастотних і високочастотних компонентів зображення [124]. Етапу побудови скелета фігури, як правило, передують допоміжні етапи.

3.4.1. Алгоритм Zhang-Suen

Одним з найбільш відомим є алгоритм потоншення Zhang-Suen [125]. Він належить до найбільш використовуваним алгоритмом 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: 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, порядок показаний нижче (Рис.3.2). P1 - чорний піксель.

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

Рис.3.2. Схема блоку пікселів

де $A(i, j)$ дорівнює кількості переходів від білого до чорного в послідовності восьми сусідів навколо центру. Послідовність пікселів можна визначити як утворення повного кола $P_2 \geq P_3 \geq P_4 \geq P_5 \geq P_6 \geq P_7 \geq P_8 \geq P_9 \geq P_2$). З рис. 3.2 можна відслідкувати, що рухаючись за годинниковою стрілкою навколо P_1 , і в результаті P_2 повинні з'являтися двічі переходи ($P_2 \geq P_3$ і $P_9 \geq P_2$).

$V(i, j)$ дорівнює кількості чорних пікселів серед восьми сусідів навколо центрального пікселя. Позначення пікселя для видалення, якщо він задовольняє всім наведеним нижче умовам:

Прохід 1

Піксель чорний і має вісім сусідів

$$2 \leq V(i, j) \leq 6$$

$$A(i, j) = 1$$

Принаймні один із північних, східних та південних сусідів є білим

Принаймні один із східних, південних та західних сусідів є білим

Прохід 2

Піксель чорний і має вісім сусідів

$$2 \leq V(i, j) \leq 6$$

$$A(i, j) = 1$$

Принаймні один із північних, східних та західних сусідів є білим

Принаймні один із північних, південних та західних сусідів є білим

Окремі кроки 4 та 5 змінюються між проходами. Якщо піксель вибрано для видалення через прохід 1 або прохід 2, він видаляється. Ці проходи обидва повторюються, поки не буде вибрано піксель для видалення.

3.4.2. Hilditch skeleton

Розглянемо групу пікселів 3×3 (Рис. 3.3). Центральний піксель позначимо P_1 , а усі його сусіди відповідно $P_2 - P_9$.

P_9	P_2	P_3
P_8	P_1	P_4
P_7	P_6	P_5

Рис.3.3. Група пікселів 3×3

Заміна кольору відбувається щодо пікселя P_1 [126]. Для отримання відповіді на питання, чи піксель P_1 темного кольору залишати в скелетоні, чи його колір поміняти на білий, необхідно обчислити дві функції:

$V(p_1)$ = кількість ненульових сусідів для p_1 .

$A(p_1)$ = кількість пар $\{0,1\}$ у послідовності $p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}$.

Приклади різних конфігурацій сусідів пікселя p_1 та функцій для нього наведено на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Конфігурації сусідів пікселя

a) $V(p_1) = 2, A(p_1) = 1$

b) $V(p_1) = 2, A(p_1) = 2$

3.4.3. Алгоритм Хілдіча

Алгоритм Хілдіча використовує блок пікселів 3×3 .

Він виконується декількома проходками, де перевіряються поточні пікселі та вирішується чи потрібно замінювати піксель з чорного на білий, якщо він задовольняє таким чотирьом умовам:

$$2 \leq V(p_1) \leq 6$$

$$A(p_1) = 1$$

$$p_2 \times p_4 \times p_8 = 0 \text{ або } A(p_2) = 1$$

$$p_2 \times p_4 \times p_6 = 0 \text{ або } A(p_4) = 1$$

Далі відбувається зупинка, коли нічого не змінюється. Розглянемо кожну з перерахованих вище умов окремо.

Умова 1: $2 \leq V(p_1) \leq 6$

Ця умова поєднує дві підумови, по-перше, якщо число ненульових сусідів p_1 більше або дорівнює 2, а друге, що воно менше або дорівнює 6. Перша умова гарантує, що жоден піксель кінцевої точки та ізольованої точки не

буде видалений, тобто будь-який піксель із одним чорним сусідом є пікселем кінцевої точки. Друга умова гарантує, що піксель є граничним пікселем, див. рис. 3.5.

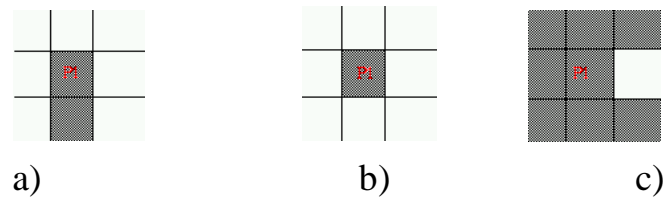


Рис 3.5. Конфігурації сусідів пікселя

a) $V(p_i)=1$

b) $V(p_i)=0$

c) $V(p_i)=7$

На рис. 3.5 видно, що якщо $V(p_i) = 1$, то p_i є кінцевою точкою скелета та її не слід видаляти. Якщо $V(p_i) = 0$, то p_i є ізольованою точкою, та її також потрібно зберегти, якщо це шум, видалення пікселя не є завданням скелетизації. Якщо $V(p_i) = 7$, то p_i більше не знаходиться на межі малюнку, і тому він не повинен бути кандидатом на видалення.

Це тест на зв'язність. Насправді, якщо розглянути нижчезазначені зображення, де $A(p_i) > 1$, можна спостерігати, що, змінивши p_i на 0, візерунок роз'єднається (Рис. 3.6).

Умова 2: $A(p_i) = 1$

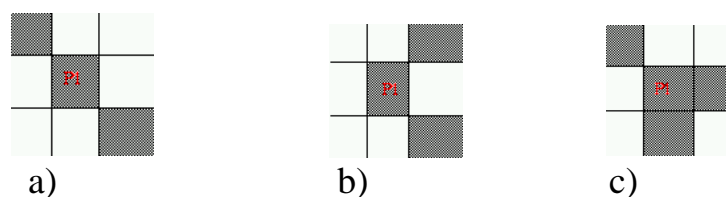


Рис 3.6. Результати виконання другої умови

a) $A(p_i)=2$

b) $A(p_i)=2$

c) $A(p_i)=3$

Умова 3: $p_2.p_4.p_8 = 0$ або $A(p_2)! = 1$

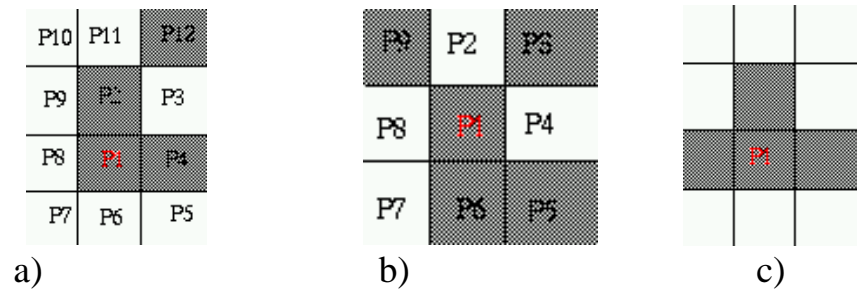


Рис 3.7. Результати виконання третьої умови

- a) $A(p_2)$ не дорівнює 1.
 b) $p_2 \times p_4 \times p_8 = 0$
 c) $p_2 \times p_4 \times p_8 \neq 0$ and $A(p_2)=1$

При виконанні цієї умови 2-піксельні широкі вертикальні лінії не будуть розмиті алгоритмом (Рис. 3.8).

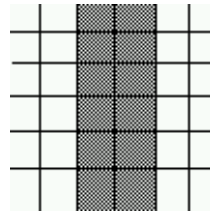


Рис.3.8. Формування піксельних широкіх вертикальних ліній

Умова 4: $p_2 \times p_4 \times p_6 = 0$ або $A(p_4) \neq 1$

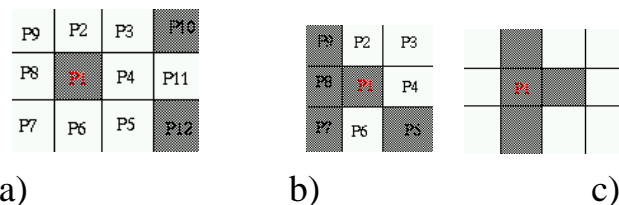


Рис. 3.9. Результати виконання четвертої умови

- a) $A(p_4) \neq 1$
 b) $p_2 \times p_4 \times p_6 = 0$
 в) $p_2 \times p_4 \times p_6 \neq 0$ and $A(p_4)=1$

Ця умова забезпечує, що 2-піксельні горизонтальні лінії не будуть повністю розмиті алгоритмом.

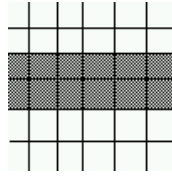


Рис. 3.10. Формування піксельних широких горизонтальних ліній

За один прохід перевіряються всі пікселі видаляються кожен із перевірених пікселів.

Алгоритм Хілдіча виявився не завжди універсальним алгоритмом скелетизації, оскільки він працює не для всіх випадків.

Алгоритм є послідовним, бо даний крок повторюється доти, поки не буде пікселів для заміни.

3.5. Алгоритм Ateb-Габора та хвильового методу потоншення

Запропонована фільтрація Ateb-Габора, і на основі фільтрації, метод потоншення хвильовим алгоритмом. На основі фільтра Ateb-Габора можна здійснити фільтрацію біометричних зображень. Така фільтрація забезпечить кращі характеристики, аніж відомий фільтр Габора [117]. 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 .

Реалізація такого фільтру показана [127]. 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.

Отже можна уникнути шумів у низькочастотній та середньочастотній областях [128]. Далі застосовуємо хвильовий алгоритм [129] попередньо відфільтрованого Атеб-Габором алгоритмом.

Хвильовий алгоритм умовно можна розбити на два етапи: етап побудови первинного графа. Він включає в себе запуск хвилі, відстеження пройденого шляху, поділ хвилі і загасання хвилі. Потім іде етап оптимізації графа.

На першому етапі всередині об'єкта запускається сферична хвиля. Точки, що належать окремим генераціям хвилі, відслідковуються центральними пікселями кожної непарної генерації та поміщаються у 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.

Сферична хвиля запускається з будь-якого пікселя всередині об'єкта. Для отримання генерації сферичної хвилі застосовується почергово 4-х і 8-ми зв'язане поширення. Можливості підключення характеризує кількість сусідніх пікселів для поточного пікселя. Для 4-х зв'язаного поширення хвилі сусідніми вважаються верхній, нижній, правий і лівий пікселі поточного пікселя (див. рис. 3.11 (а)). Для 8-ми зв'язаного поширення, відповідно, сусідніми вважаються всі 8 пікселів навколо поточного (див. рис. 3.11 (b)).

На рис. 3.11 літерою Р позначений поточний піксель, а пронумеровані його сусіди для 4-х і 8-ми зв'язаних представлень, відповідно.



Рис. 3.11. Сусідні пікселі і порядок їх обходу для 4-х зв'язаного (а) і 8-ми зв'язаного (b) представлень

Для сферичної хвилі характерні деякі особливості:

- не більше ніж через $2N$ кроків поширення хвилі набуває стійкого характеру, незалежно від початкової точки поширення хвилі, де N - ширина лінії в пікселях;
- така хвиля добре огинає різні перешкоди. Невеликі перешкоди в 1-2 пікселі мало впливають на поширення хвилі. Однак такі перешкоди краще видаляти на етапі отримання бінарного зображення для стійкості хвилі.

Нульова генерація складається з одного початкового пікселя. Він позначається на зображенні першим.

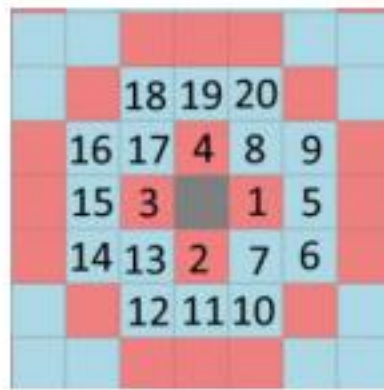


Рис. 3.12. Нумерація пікселів першої та другої генерації

Перша генерація хвилі складається з непомічених сусідів початкового пікселя при 4-х зв'язному поширенні. Пікселі першої генерації позначаються на зображенні червоним кольором. На рис. 3.11 вони мають номери 1, 2, 3, 4. Друга генерація - це непомічені сусіди пікселів першої генерації при 8-ми зв'язному поширенні.

Для кожної точки з координатами (i, j) здійснюється перевірка чи позначені сусідні пікселі. Це стається завжди, починаючи з правого середнього пікселя за годинниковою стрілкою. Тоді при 4-х зв'язному поширенні перевірка відбувається в порядку, зображеному на рис. 3.11(a), а при 8-ми зв'язному поширенні так, як на рис. 3.11 (b). На рис. 3.12 можна зауважити, що порядок обходу пікселів другої генерації на прикладі не є логічним. Оскільки такий порядок позначення сусідніх пікселів, проте це спрощує даний алгоритм.

4. Метод потоншення мінуцій для біометричних зображень

Алгоритми скелетизації базуються на послідовному видаленні контурних точок. Цих точок позбуваються, а лінія стає "прорідженою". Алгоритм проріджування є, як правило, 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 методу полягає в *ітераційному скануванні матриці пікселів зображення вікном позицій та поступовій заміні чорних пікселів на білі*. Алгоритм був описаний в [41].



Рис. 3.13. Застосування алгоритму Hilditch до відбитків з бази Nist

3.6. Побудова відбитку пальців з полями напрямків

Для створення поля напрямлень, скористаємося методом, запропонованим Шерлоком та Монро при формуванні поля напрямлень папілярних ліній. На рис. 3.14 показано побудову поля напрямків. 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 [130] 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 тому, що вихідне зображення містить ізольовані сингулярності та поступово збільшується через використання фільтра Атеб-Габора, який налаштований на певний рівень щільності.

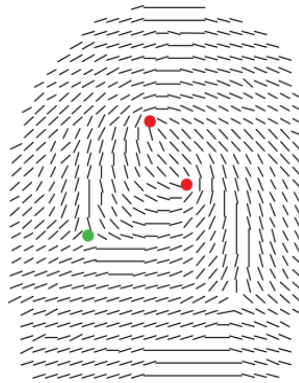


Рис. 3.14. Побудова поля напрямків методом Шерлока і Монро

Модельна орієнтація, представлена Шерлоком і Монро [131] дозволяє отримати зображення орієнтації папілярних ліній із участю особливостей ядра та дельти відбитка пальців. У цій моделі кожен елемент поля має напрямок і величину. Орієнтація папілярних ліній визначає, як фаза модуля раціональної функції, ядер і дельти відбитка пальця. Орієнтація для кожного пункту визначається за формулою:

$$O(z) = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^{n_d} g_{dsi}(\arg(z - d_{si})) - \sum_{j=1}^{n_c} g_{csj}(\arg(z - l_{sj})) \right] \quad (3.1)$$

де α - функції визначені для різних дельт і ядер... $k \in l_{s1}, l_{s2}, l_{snc}, \dots$
 $d_{s1}, d_{s2}, d_{snc}, l_{sj}$ - j-е ядро, а dsi - i-я дельта в комплексній площині.

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

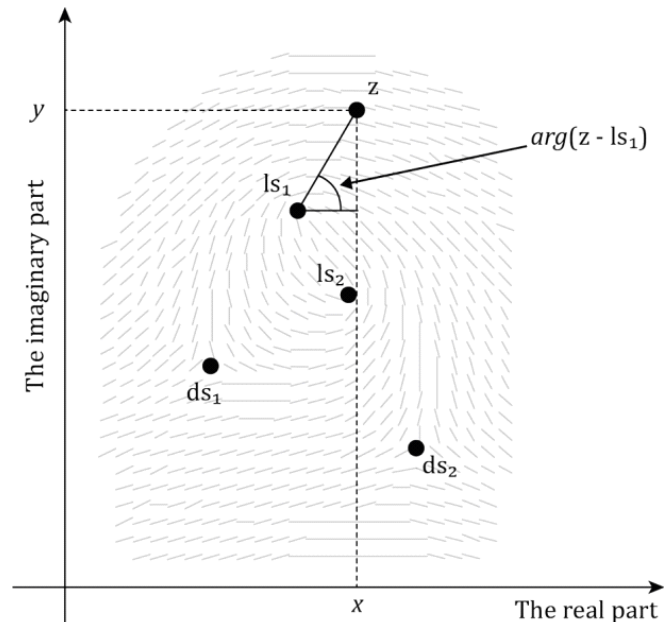


Рис. 3.15. Побудова поля напрямків орієнтації папілярних ліній

Модель Шерлока і Монро використовується наступним чином. Відбиток пальця фільтрується *Ateb*-Габором. Далі здійснюється операція потоншення. Задаються позиції ядер і дельт. Після цього будується поле напрямків.

Скелетизація 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. Метод скелетизації здійснюється при послідовних проходах зображення, видаляючи пікселі на межі об'єкта. Це триває доти, поки зайвих пікселів не можна буде видалити. Зображення співвідноситься з маскою, яка присвоює кожному пікселю число в діапазоні $[0 \dots 255]$, для кожного з його 8 сусідів. Тоді пікселям признаються значення 0, 1, 2 або 3, які видаляються під час ітерацій.

Алгоритми потоншення розглядаються у праці Rutovitz [132], хто запропонував алгоритм проріджування. Метод поширюється на всю площину зображення.

Відомий підхід до скелетизації - алгоритм Hilditch [133].

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 [134], які були ускладнені латентними елементами, які не продруковуються.

Вирівнювання гістограми не є лінійним процесом. Вирівнювання включає в себе значення інтенсивності зображення, а не колірні значення. Це слід застосовувати, щоб значення інтенсивності були вирівняні, не порушуючи баланс кольорів зображення. 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 3.16. Початкове зображення у відтінках сірого 3.16 а. На рис. 3.16 б показано збільшення контрасту, на рис. 3.16 с – сегментація, яка полягає у розділенні цифрового зображення на декілька сегментів. Це робиться для спрощення та зміни представлення зображення для полегшення його аналізу. На рис. 3.16 d показана локальна нормалізація, яка полягає у приведенні зображення до початку координат, яке є прийнятним для розпізнавання. На Рис. 3.16e показана фільтрація Габором. На Рис. 3.16 показана фільтрація зображень: а - додавання обробленого зображення, б-бінаризація; с - серединна фільтрація; d- сегментація, е - відфільтроване зображення.

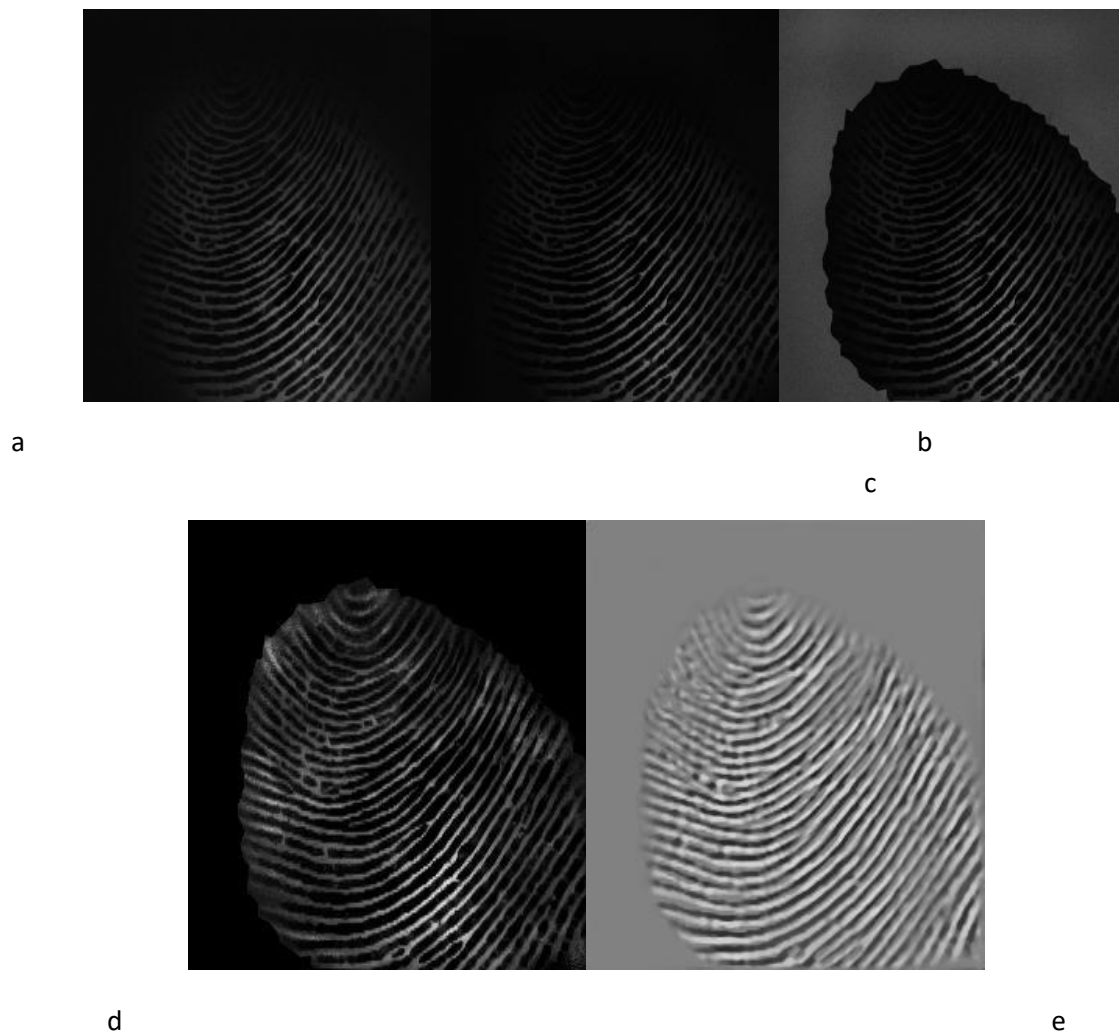


Рис. 3.16. Вирівнювання відбитків пальців гістограми: а вхідне зображення, б - контрастність; в - сегментація; г - локальна нормалізація; е – фільтрація Габором

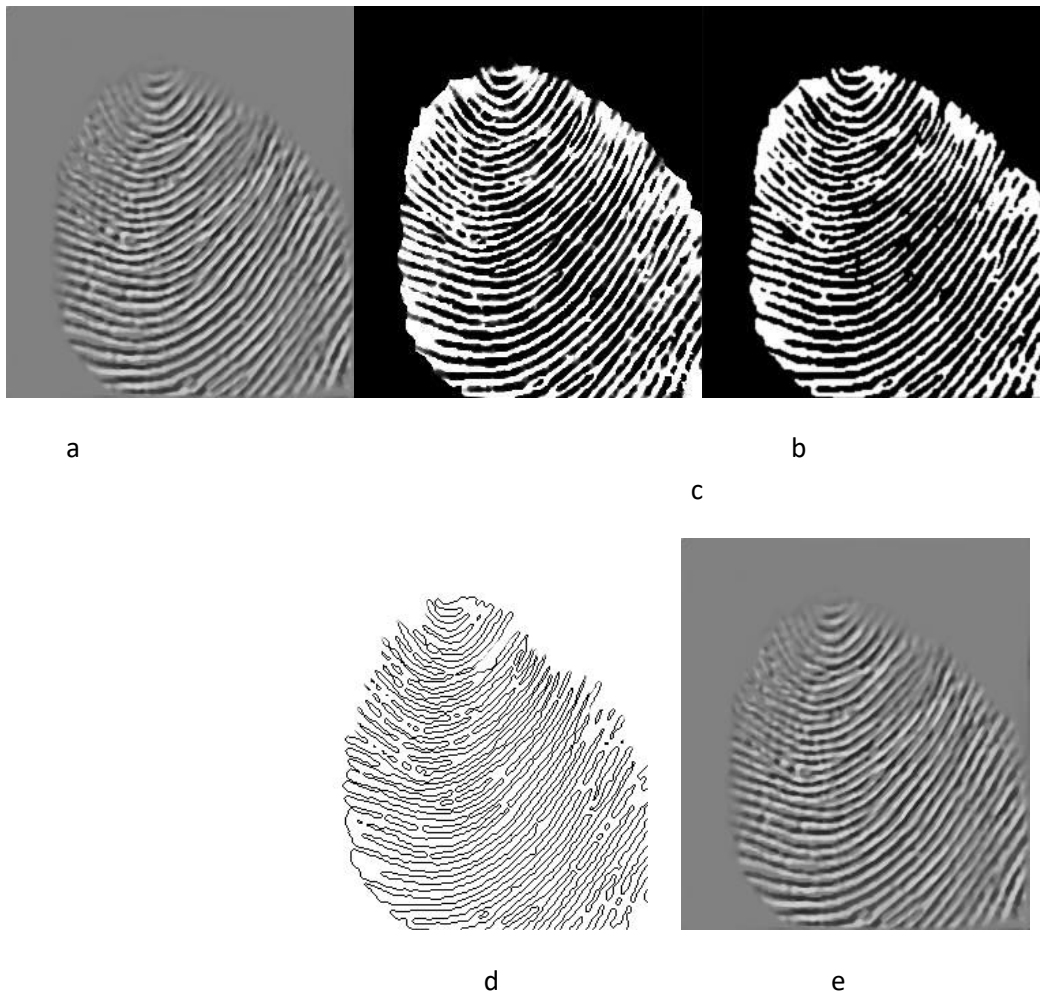


Рис. 3.17. Фільтрація зображень: а - додавання обробленого зображення, б-бінаризація; с - серединна фільтрація; д- функція сегментація, е - фільтроване зображення

3.7. Моделювання процесів для отримання скелетів біометричних зображень на основі Атеб-Габор фільтрації

Програмне забезпечення покращення якості для отримання скелетизації на основі Атеб-Габор фільтрації показано на рис. 3.18. Програмне забезпечення складається з таких модулів *frequency*, *ridge-freq*, *ridge-segment*, *ridge-orient*, *ridge-filter*, *image-enhance*, *main-enhancement*.

Схему взаємодії модулів показано на рис. 3.18.

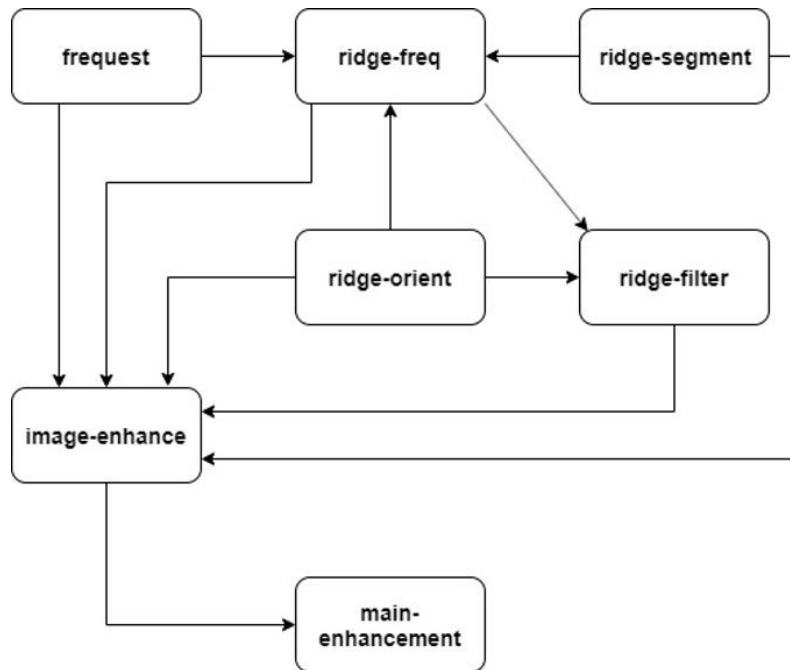


Рис.3.18. Схема взаємодії модулів програмного забезпечення отримання потоншення

Нормалізація зображення

Ця функція розбиває зображення на блоки розміром $blksze \times blksze$ і оцінює стандартне відхилення у кожній області. Якщо стандартне відхилення перевищує поріг, воно вважається частиною відбитка пальця. Зображення нормалізується таким, що має нульове значення, одиничне стандартне відхилення перед виконанням цього процесу, щоб позначений поріг був відносно одиничного стандартного відхилення.

Спочатку потрібно знайти середню орієнтацію в блоці. Це здійснюється шляхом знаходження середнього значення синусу і косинусу подвійних кутів. Поворот блоку зображення здійснюється таким чином, щоб виступи були розташовані вертикально.

Необхідно обрізати зображення, щоб обернене зображення не містило недійсних областей.

Здійснюється підсумовування стовпчиків для отримання проекції сірих значень по хребтах біометричного зображення. Визначення просторової частоти хребтів, відокремивши відстань між першою та останньою вершинами, якщо піків не виявлено та довжина хвилі знаходиться за межами дозволених меж, зображення частоти встановлюється 0.

Покращення зображення за допомогою орієнтаційних фільтрів

Модуль **ridge_filter** покращує зображення відбитків пальців за допомогою орієнтованих фільтрів.

Аргументи функції – *im* блок зображення, який підлягає обробці; *orientim* - зображення орієнтації піків, отримане від **ridge_orient**; *freqim* - зображення частоти піків, отримане від **ridge_freq**; *kx*, *ky* – коефіцієнти масштабу, що визначають сигму фільтра щодо довжини хвилі фільтра. Це здійснюється, щоб форми фільтрів були чутливими до масштабу. Параметром *kx* здійснюється масштабування по *x*. Параметром *ky* здійснюється керування по *y*.

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 [135] - це стандартна і повністю доступна база даних, що містить зображення відбитків пальців. У наборі витків 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 Атеб-Габор. Класичний фільтр Gabor має 10 частотних характеристик.

Дослідження полягало у порівнянні результатів існуючих методів скелетизації. Для дослідження порівняння результатів взято алгоритм Чжан-Суна та алгоритм Хілдіча та розроблено власний метод. Блок-схема алгоритму показана на рис. 3.19.

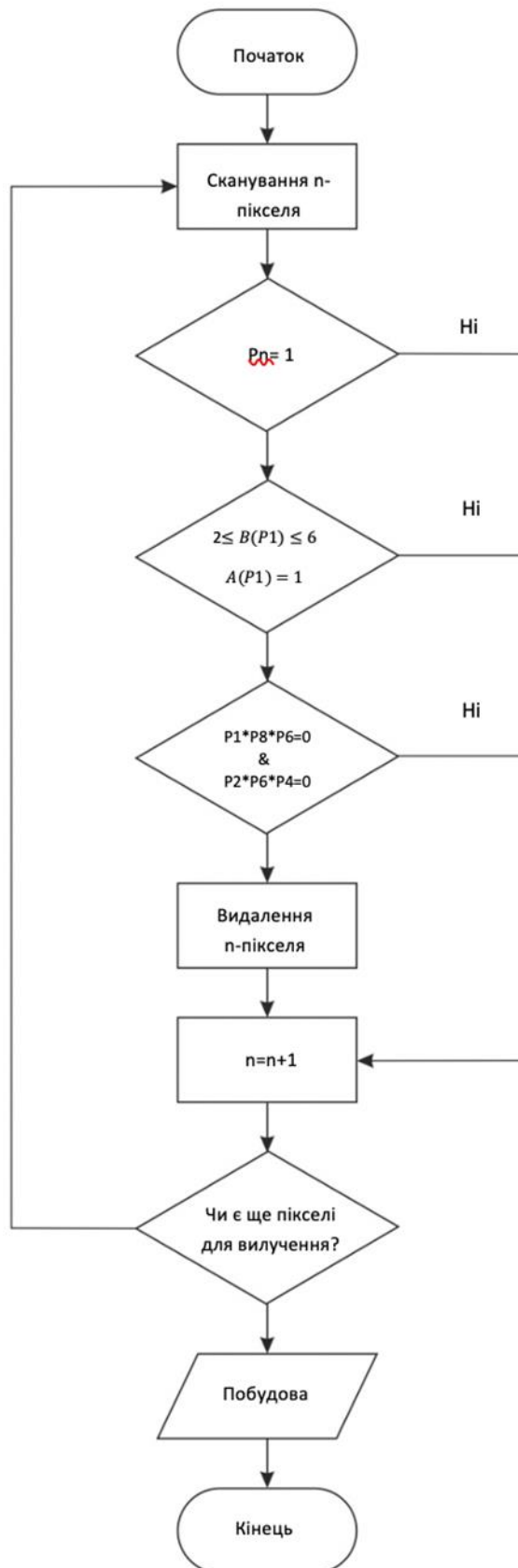


Рис. 3.19. Блок схема алгоритму Чжан-Суна

Спочатку потрібно імпортувати заскановане зображення та перетворити його у двовимірний двійковий масив даних. Програмне забезпечення

реалізовано у Python, тому застосовуємо бібліотеки OpenCV[136] та NumPy [137].

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 двовимірному 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 та перебираючи його до тих пір, поки не буде досягнуто конвергенції.

Реалізація алгоритму Хілдіча

Схема роботи алгоритму показана на рис.3.20

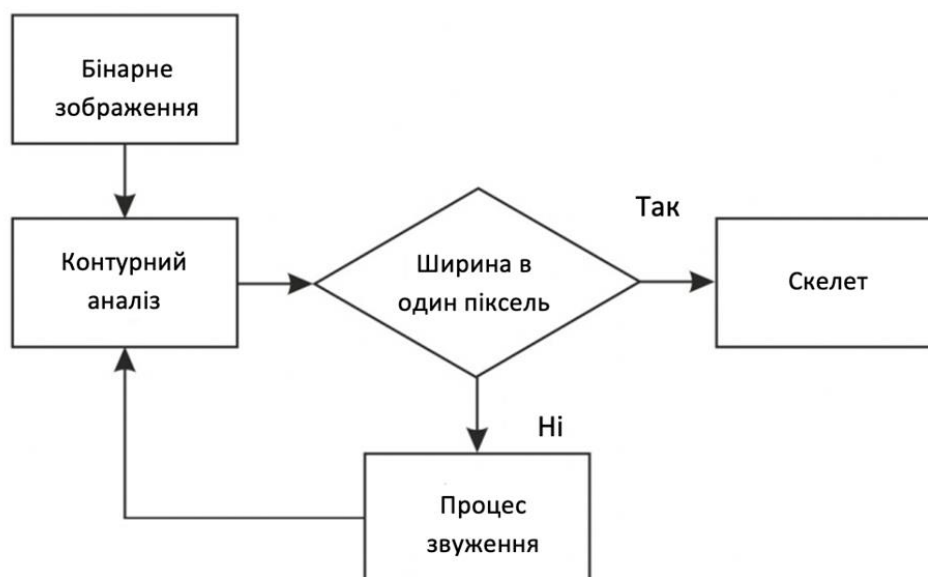


Рис. 3.20. Схема роботи алгоритму Хілдіча

Висновки до розділу 3

Проведено аналіз роботи біометричних систем безпеки 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 Хільдіча та алгоритм Атеб-Габора, який виконується у парі з хвильовим алгоритмом.

Алгоритм Zhang-Suen є 2-прохідним алгоритмом, тому *для кожної ітерації він виконує два набори перевірок під час яких видаляються пікселі із зображення. Алгоритм Чжан-Суна працює на ділянці чорних пікселів з вісьмома сусідами. Це означає, що пікселі, знайдені по краях зображення, не аналізуються.*

Побудовано систему а розпізнавання, яка базувалася на нових методах фільтрації. Заскановані зображення підлягали обробці, фільтрації, та проріджуванню за допомогою алгоритму Хільдіча. Цей метод дозволив створити векторне зображення у вигляді завантажених графів. Це дозволило відокремити кінцеві точки верхньої частини графів, ліній та дуг. Орієнтацію поля проводили за методом Шерлока та Монро. Реалізовано фільтрацію на основі Атеб-Габора. Властивості Атеб-Габора були досліджені для різних раціональних параметрів та здійснено їх вплив на фільтрацію.

Запропоновано метод фільтрації 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.

IV РОЗДІЛ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

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 Габора для представлення та розпізнавання відбитків пальців.

В [117] були прийняті особливості фільтрів Габора для задач класифікації. Основним недоліком методів, заснованих на фільтрі Габора, є велика розмірність функції Габора. Для подолання цієї проблеми дослідниками реалізують генетичні алгоритми (GA) [138], які використовуються для вибору найбільш вагомих ознак Габора. Однак цей є дуже трудомісткий [44].

Крім того, вилучення функцій Gabor є обчислювально складний, тому в даний час ці функції не використовуються для програм у режимі реального часу [139].

Спрощена версія вейвлетів Gabor введена в [140]. Спрощені моделі 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 стереозорі) тощо. Фільтри Габора - це спеціальні класи смугових фільтрів, тобто вони дозволяють певну «смугу» частот.

4.1. Порівняння ефективності фільтра Вейвлета-Ateb-Габора

Оригінальний фільтр Габора визначається десятьма частотними характеристиками. Перетворення Вейвлета-Ateb-Габора може значно збільшити кількість частотних характеристик. Можна додатково збільшити кількість до

900. Таким чином, можна було б провести 900 фільтраційних проб. При виборі параметрів функцій Ateb, які не є, їх максимальна кількість становить 2900. Розроблений метод можна вважати універсальним методом фільтрації, оскільки його можна застосувати до будь-якого біометричного зображення. Фільтрацію можна виконати одноразово й ефективно, вибравши правильні параметри Вейвлет-Атеб-Габора. Таким чином, використання запропонованого методу з обраними параметрами фільтрації дозволяє досягти єдиної ефективної універсальної фільтрації біометричних зображень.

Для експерименту було відібрано шість зразків, показаних на рис. 4.1. Усіх їх було відфільтровано Вейвлет- Атеб-Габор. Результати порівняння відображені в таблиці 4.

Порівняння зображень з різними параметрами m , $n=1$, $\sigma=ri$ та фільтром Габора представлено як кореляційні міри збігу цих зображень за PSNR [141] та MSE [142].

Таблиця. 4.1

Порівняння відфільтрованих зображень за допомогою фільтрів Габора та Вейвлет-Атеб-Габора PSNR та MSE

Ateb filtering, m	Comparison, m	Filtration time	Sample 1		Sample 2		Sample 3		Sample 4		Sample 5		Sample 6	
			PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE
1	1	1min 54s	39.20	10.5	40.05	12.03	37.33	10.34	40.38	11.18	31.49	8.72	37.93	10.50
0.9	1	1min 55s	38.77	10	39.59	10.96	31.71	8.78	34.43	9.53	31.49	8.72	31.86	8.82
0.8	1	1min 54s	33.06	9.15	34.03	9.42	28.75	7.96	30.18	8.36	28.43	7.87	28.43	7.87
0.7	1	1min 54s	29.66	8.21	30.82	8.53	26.60	7.36	26.06	7.21	26.37	7.87	25.37	7.02
0.6	1	2min 3s	27.08	7.49	28.59	7.91	24.98	6.92	22.39	6.20	24.86	6.88	23.02	6.37
0.5	1	1min 57s	24.95	6.91	26.91	7.45	23.84	6.60	20.34	5.63	12.51	3.46	21.23	5.88
0.4	1	2min 1s	23.35	6.46	25.47	7.05	15.0	7.75	19.96	5.52	12.52	3.47	19.70	5.45
0.3	1	1min 53s	22.20	6.14	24.79	6.86	2.65	9.58	19.75	5.47	12.70	3.52	19.09	5.28
0.2	1	1min 55s	20.83	5.77	24.07	6.66	2.73	9.86	19.41	5.37	22.28	6.17	18.51	5.13
0.1	1	2min 11s	19.35	5.35	23.10	6.39	3.27	11.83	2.65	9.58	19.54	5.41	2.65	9.58

За результатами експериментів, чим менший параметр m , тим більшою є розбіжність між зображенням та перетвореним зображенням, відфільтрованим фільтром Габора. Таку залежність можна помітити і на рис. 4.2. Показано залежність зміни спотворення фільтра Вейвлета-Атеб-Габора з фільтром Габора

за PSNR залежно від зміни параметрів m і n . Порівняння за MSE в залежності від зміни параметра σ показано на рис. 4.2.

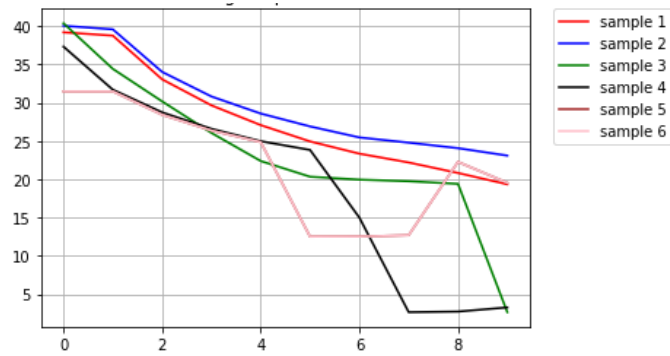


Рис. 4.1. Залежність зміни рівня спотворення фільтра Вейвлета-Атеба-Габора з фільтром Габора за PSNR залежно від зміни параметрів m і n .

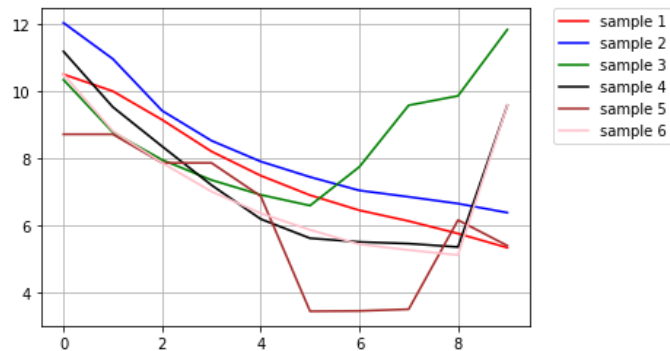


Рис. 4.2. Залежність зміни рівня спотворення фільтра Вейвлет-Атеб-Габора з фільтром Габора за MSE залежно від зміни параметрів m і n .

Порівняння зображень, відфільтрованих фільтром Wavelet-Ateb-Gabor з використанням різних параметрів σ і фільтра Габора, відображається як кореляційні міри збігу цих зображень за PSNR і MSE в таблиці 4.2. Порівняння за PSNR між Wavelet- Фільтр Ateb-Габора з фільтром Габора залежно від зміни параметра σ показано на рис. 4.3. Порівняння за MSE в залежності від зміни параметра σ показано на рис. 4.4.

Таблиця. 4.2.

Порівняння відфільтрованих зображень Gabor і Wavelet-Ateb-Gabor PSNR і MSE.

Ateb filtering $m=1,$ $n=1, \sigma$	Comparison $m=1, n=1, \sigma$	Filtration time	Sample 1		Sample 2		Sample 3		Sample 4	
			PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE
$\pi/4$	π	2min 18s	12.77	3.14	4.56	17.01	4.76	17.21	17.59	4.87
$\pi/3$	π	2min 3s	3.61	3.54	4.18	15.09	4.28	15.49	17.40	4.82
$\pi/2$	π	2min 15s	4.03	14.55	4.00	16.06	4.50	16.26	17.22	4.76
$2^* \pi$	π	2min 15s	4.724	17.07	4.61	16.67	4.61	16.67	17.04	4.72
$3^* \pi$	π	1min 58s	4.25	15.35	4.63	16.72	4.63	16.72	17.00	4.71
$4^* \pi$	π	2min 3s	3.94	14.25	4.55	16.70	4.55	16.70	17.00	4.71

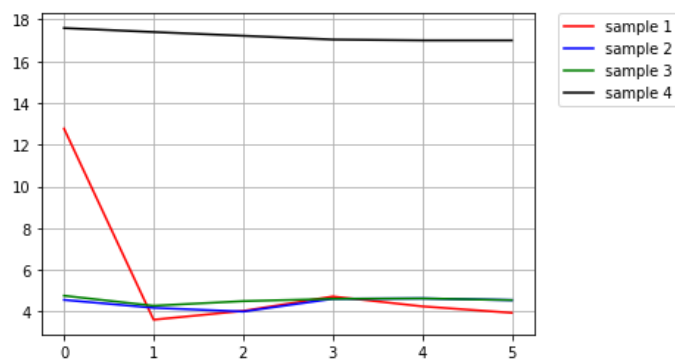


Рис. 4.3. Залежність PSNR між фільтром Вейвлет-Атеб-Габора з фільтром Габора від зміни параметра σ .

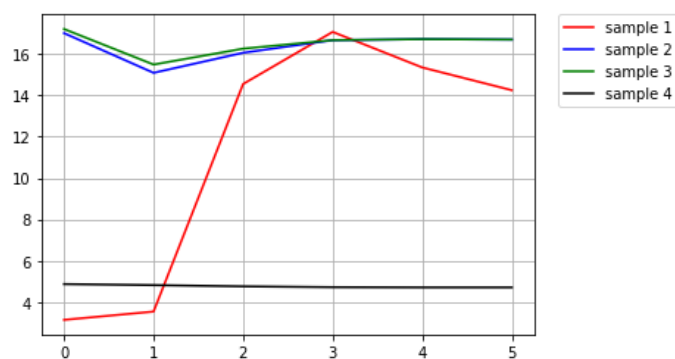


Рис. 4.4. Залежність MSE між фільтром Вейвлет-Атеб-Габора з фільтром Габора від зміни параметра σ .

Вейвлет-фільтрація Атеб-Габора показує хороші результати і значно розширює метод фільтрації Габора. Досліджено характеристики вейвлет-

фільтрації Ateb Габора, що показано на численних графіках. Відфільтровано новим вейвлет-фільтром, фільтрацією Ateb Gabor. Результати фільтрації порівнюються з фільтрацією Габора на основі оцінок PSNR та MSE. Оцінено часові характеристики фільтрації.

4.2. Експериментальні дослідження часу фільтрації

Для введення відбитків пальців використовувався механізм мікроконтролера Arduino Uno (рис. 4.5.). Сама плата складається з двох компонентів: оптичного зчитувача відбитків пальців Adafruit і wxFormBuilder, який служить інструментом для візуалізації графіки додатків технології wxWidgets. Компонент генерує код для використання, який можна використовувати в мовах програмування Python. Програмування виконувалося на Python в середовищі Python [143]. Python надає інструменти аналізу коду, графічний інтерфейс користувача та інструменти тестування, а також є інтегрованим середовищем розробки для мови програмування Python.



Рис. 4.5. Сканування відбитка пальця розробленою системою

Також модуль має FLASH-пам'ять для відбитків пальців і може працювати з будь-яким мікроконтролером. Після сканування відбитка пальця ви можете зберегти його для подальшої обробки.

Відскановане вхідне зображення показано на рис. 4.6.



Рис. 4.6. Відскановане вхідне зображення за допомогою оптичного приймача відбитків пальців Adafruit

Реалізація скелету відбитків пальців за алгоритмом Хілдича показано на рис. 4.7. Програма ескізів зображень була розроблена в середовищі Matlab, мови високого рівня та середовища програмування, чисельних розрахунків, щільності даних та обчислень візуалізації.

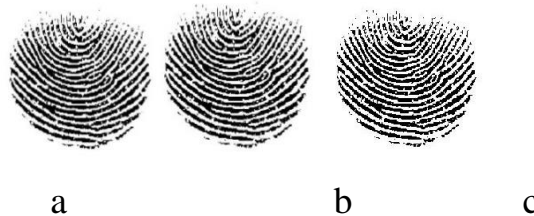


Рис. 4.7. Застосування алгоритму Хільдича а) один раз, б) двічі, в) тричі

Застосування алгоритму хвильового відбитка показано на рис. 4.8.

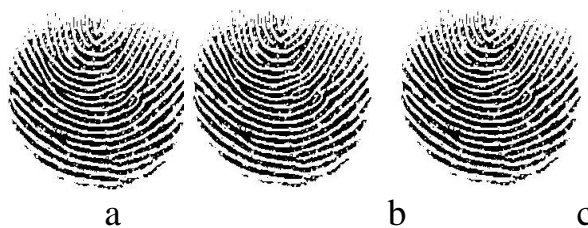


Рис. 4.8. Застосування хвильового алгоритму а) один раз, б) двічі, в) тричі

Якщо візуально спостерігати за рис. 4.7 і 4.8 то хвильовий алгоритм працює ефективніше, оскільки лінії є більш гладшими і не видаляються, аніж при реалізації Hilditch. Хвильовий алгоритм вдвічі довший ніж алгоритм Hilditch. Це пояснюється тим, що хвильовий алгоритм заснований на теорії графів і

виконується довше. Вважаємо доцільним використання алгоритму Хільдіча, оскільки ефективність розпізнавання відіграє важливу роль у біометричній системі ідентифікації відбитків пальців.

Таблиця 4.3.

Час виконання алгоритму фільтрації

Алгоритм	Час виконання операції	Час операції при виконанні двічі	Час операції при виконанні тричі
Hilditch algorithm	2,03 ms	1,76 ms	1,74 ms
Wave algorithm	4,5 ms	4,01 ms	3,97 ms

Експериментальні дослідження проводилися з DB4_V, який є у вільному доступі. Файли відбитків пальців мали розширення tif 100-200 КБ і приблизно 300X400 пікселів. Вони також сканували відбитки пальців авторів дослідження та ідентифікували їх на основі відповідних метрик.

Проведено експеримент із фільтрацією відбитків пальців Атеб-Габора і Габора на основі вільно доступної NIST Special Database 302. Результати експериментів показали, що в результаті кореляції зображення істотно змінюються, чим вищі значення параметрів m , n , σ вбудовані.

Таблиця 4.4.

Порівняння відфільтрованих зображень за допомогою фільтрів Габора та Атеб-Габора PSNR та MSE

Ateb filtering	Порівняння	Час фільтрації	PSNR	MSE
Sample 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
Sample 3				
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 $\sigma=\pi$	-	-	--

Ateb filtering	Порівняння	Час фільтрації	PSNR	MSE
Sample 4				
$m1n1\sigma=\pi/4$	$m1n1\sigma=\pi$	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
Sample 5				
$m0.9n1\sigma=\pi$	$m1n1\sigma=\pi$	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
Sample 6				
$m1n1\sigma=3*\pi$	$m1n1\sigma=\pi$	1min 31s	38.99	10.79
$m1n1\sigma=4*\pi$	$m1n1\sigma=\pi$	1min 34s	33.20	9.19
$m1n1\sigma=4.4*\pi$	$m1n1\sigma=\pi$	1min 33s	30.63	8.48
$m1n1\sigma=4.5*\pi$	$m1n1\sigma=\pi$	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

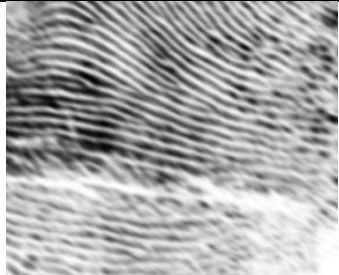
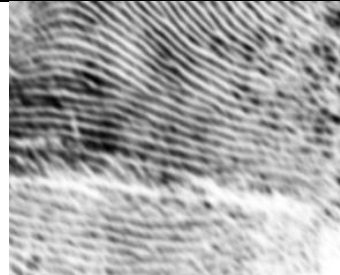
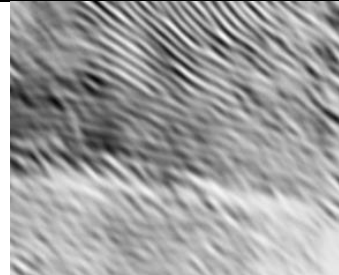
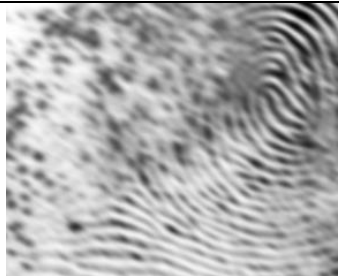
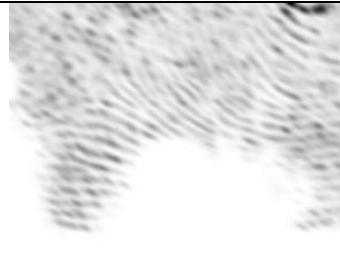
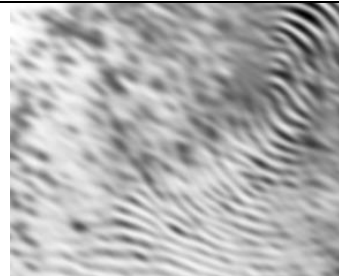
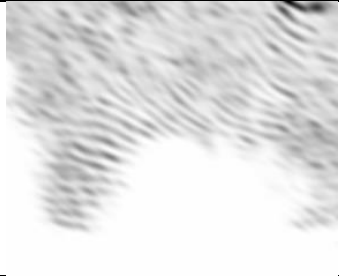
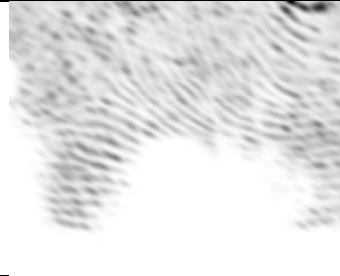
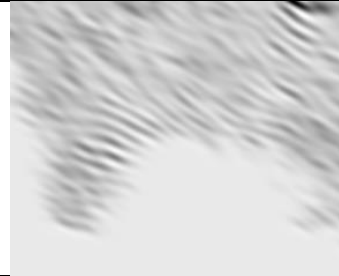
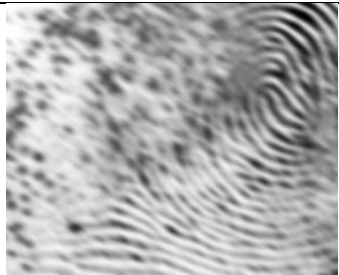
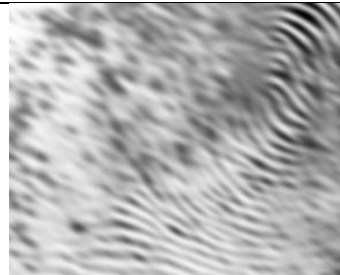
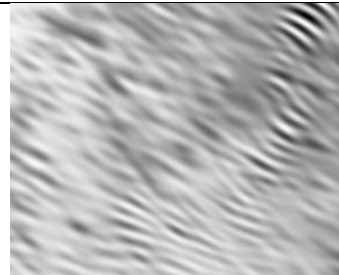



Sample 1		
		
Atebm1n1sigmap1_3	Atebm1n1sigmap0_25	Atebm1n1sigmap0_5
Sample 3		
		
3_Atebm1n1sigma4pi	3_Atebm1n1sigmapi_3	3_Atebm1n1sigma4pi
		
3_Atebm1n1sigmapi_3	3_Atebm1n1sigmapi_4	3_Atebm1n1sigmapi_2
Sample 5		
		
5_Atebm1n1sigmapi_4	5_Atebm1n1sigmapi_3	5_Atebm1n1sigmapi_2
Sample 6		
		
6_Atebm1n1sigma_6	6_Atebm1n1sigma_4	6_Atebm1n1sigma_2

Рис. 4.9. Результати експериментів

4.3. Засоби аутентифікації користувачів

Типова біометрична система аутентифікації складається з двох етапів (рис.4.10). Під час аутентифікації користувач (скажімо, Аліса) сканує свої біометричні дані, включаючи відбитки пальців, з яких зчитуються дані та створюється шаблон (метрика), який зберігається або в центральній базі даних, або на мобільному пристрої.



Рис. 4.10. Біометрична система аутентифікації

На етапі аутентифікації користувач, який стверджує, що користувач знову сканує її біометричні дані, і для вилучення функцій використовується та сама метрика. Тоді фігура двійкова [144].

Потім результат порівнюється із збереженим шаблоном. Якщо дані достатньо близькі, то програма відображає інформацію про те, що користувач є автентичним або користувач не є автентичним. Оскільки замінити або відкликати біометричні дані важко, важливо забезпечити безпеку біометричних даних користувачів [145] під час використання в цих системах аутентифікації.

Найважливішим ключем до процесу аутентифікації є щільність заходів безпеки.

Відбитки пальців складаються з етапів навчання та локалізації. Проводиться етап навчання для створення бази даних [146], що складається з набору опорних точок (РП) з відомими координатами та RSS з доступних точок доступу. Таким чином, крок локалізації знаходить найближчу відповідність між вимірним RSS і тим, що зберігаються в базі даних. Тому використовується навчання розпізнавання відбитків пальців без нагляду.

Завдяки машинному навчанню було досягнуто багато успіхів у розпізнаванні відбитків пальців.

Відомими є: а) напівконтрольоване навчання, коли комп'ютер отримує неповний навчальний набір, у якому відсутні чисельні результати. б) машинне навчання без вчителя може отримувати навчальні мітки лише для обмеженого набору екземплярів і повинно оптимізувати свій вибір об'єктів в) навчання з вчителем - навчальні дані надаються у якості зворотнього зв'язку.

У неконтрольованому навчанні алгоритми навчання не позначені тегамі, тому необхідно знайти структуру вхідних даних. Неконтрольоване навчання використовується при створенні відео, моделюванні мов, творчому письмі, синтезі мовлення.

Кероване навчання використовується для розпізнавання образів, аналізу настроїв, розпізнавання мовлення [147].

Виготовлення моделі пальця або навіть сітківки ока за допомогою спеціальних голограм є можливим. Оскільки ідентифікація на основі руху очей використовує інформацію, яка виробляється переважно людиною, проте підробити цю інформацію набагато складніше [148].

Біометричне зіставлення є «нечітким порівнянням». Біометричні ознаки, виявлені вдруге, ніколи не будуть точно такими ж, як у перший раз. Ця характеристика біометричної відповідності призвела до використання таких методів машинного навчання, як нейронні мережі, нечіткої логіки, еволюційних обчислень тощо, в біометричних алгоритмах та захисті інформації [149].

Машинне навчання має ключові властивості шумостійкості і може ефективно вирішувати складні проблеми розпізнавання образів. Крім того,

машинне навчання є впорядкованою адаптацією і зазвичай має архітектуру паралельних обчислень. Він адаптивно моделює складні біометричні характеристики, не створюючи припущень та використовуючи точні математичні моделі [150].

Структура та модель визначені в [114].

Вхідний відбиток пальця, показаний на рис.4.11.



Рис. 4.11. Відбиток пальця з бази даних NIST Special Database 302

На відбитку можна виділити спеціальні орієнтири для отримання рис. 4.12



Рис. 4.12. Відбиток пальця з виділенням спеціальних орієнтирів

Розмір зображення 800x750 пікселів і ємність 585,9 Кб.

Під неконтрольованим навчанням розуміємо процес побудови моделі машинного навчання, який не вимагає позначених навчальних даних. Експеримент навчання без вчителя при вирішенні задачі розпізнавання образів можна сформулювати як задачу кластерного аналізу. Вибірка об'єктів

поділяється на непересікаючі підмножини, які називаються кластерами, так що кожен кластер складається з подібних об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізняються. Вихідна інформація представлена у вигляді матриці відстаней [151].

Алгоритми навчання без нагляду намагаються побудувати моделі, які можуть знаходити підгрупи в заданому наборі даних, використовуючи різні показники подібності.

Розглянемо, як формулюється завдання, якщо воно виконується без вчителя. Якщо у нас є набір даних, який не пов'язаний з жодними мітками, то припускаємо, що ці дані генеруються під впливом прихованих змінних, які контролюють їх розподіл. У цьому випадку процес навчання може йти за певною ієрархічною схемою, використовуючи окремі точки даних на початковому етапі. Крім того, можна створити більш глибокі рівні представлення даних.

4.4. Реалізація системи біометричного захисту

Додаток розроблено об'єктно-орієнтованою мовою програмування Python 3 з використанням бібліотек зображень: NumPy, SciPy і OpenCV.

Його головне призначення – вирішити реалізацію математичних операцій. Він розширює базову функціональність, зокрема забезпечує підтримку багатовимірних масивів, матриць і великого набору математичних функцій високого рівня.

Було використано SciPy – відкрита бібліотека високоякісних наукових інструментів, яка доповнює NumPy схожою функціональністю. Зокрема, він містить модулі для обробки зображень, оптимізації, інтеграції спеціальних функцій тощо.

OpenCV — це бібліотека з відкритим вихідним кодом, розроблена компанією Intel і написана на C++, яка наразі підтримується Willow Garage. Він забезпечує функціональність комп'ютерного зору, числові алгоритми та алгоритми обробки зображень тощо. Його можна використовувати в Python.

Пристрій складається з двох компонентів: wxFormBuilder, який є інструментом для швидкої розробки графічних додатків і читання відбитків пальців Adafruit. WxFormBuilder генерує код для мов програмування Python є інтегрованим середовищем розробки мови програмування Python. Він містить інструменти аналізу коду, графічний інтерфейс користувача та засоби тестування [22]. У цьому середовищі встановлюємо модуль ідентифікації відбитків пальців. Його реалізація заснована на оптичному давачі відбитків пальців Adafruit. На основі адаптивного оптичного давача відбитків пальців.

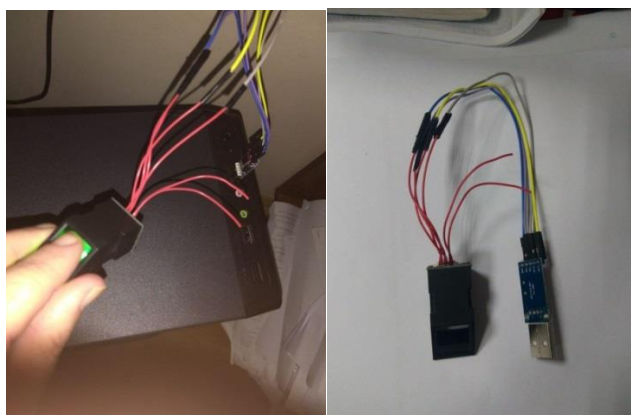


Рис. 4.13. Пристрій для забезпечення біометричної системи захисту.

Пристрій складається з двох компонентів: wxFormBuilder і зчитувач відбитків пальців Adafruit

Було обрано типове сканування 466X311 пікселів. Після цього відбулася нормалізація відбитка пальця і приведення його в єдину систему координат. А потім використано фільтрацію Атеб-Габора. Після цього були отримані індикатори, які визначали, належить відбиток особі, яка має дозвіл на вхід до системи, чи ні. Пороговим значенням вважається 80% порівняно зі шаблоном.

Зазначений вище модуль дозволив розпізнаванню відбитків пальців бути доступним і простим у використанні. Це означає, що можна збирати, реєструвати, порівнювати та шукати відбитки пальців. Цей модуль може зберігати до 127 різних відбитків пальців. Система має третій рівень захисту. Час розпізнавання відбитків пальців менше 1 секунди. Характерний коефіцієнт

помилкового прийняття: $< 0,001\%$, що дозволяє побудувати точну систему безпеки.

Також реалізовано скелетизацію на основі фільтрації Атеб-Габором, та потоншення хвильовим алгоритмом. Найбільш поширеними засобами оцінки якості зображень є співвідношення пікового рівня сигналу до шуму (PSNR). Відмінною особливістю цього методу, від PSNR, є те, що він враховує «сприйняття помилки» завдяки обліку структурного зміни інформації. Ідея полягає в тому, що пікселі мають сильний взаємозв'язок, особливо коли вони близькі просторово. Дані залежності несуть важливу інформацію про структуру об'єктів. [140].

Аналіз бінаризованих відбитків, які пропущені у системі біометричної ідентифікації і розпізнані нею показані на рис. 4.14 без фільтрації та з трасуванням розробленим методом Атеб-Габором. Як бачимо з рис.4.15 після трасування Атеб-Габором отримуємо менші значення кореляції. Таким чином у зображенні є зменшені шуми.

Результатом виконання розглянутих алгоритмів, є скелети зображень відбитків пальців. Їхні порівняння представлені на рис. 4.16 та 4.17.



Рис.4.14. Вхідні зображення з бази NIST 24



Рис.4.15. Скелетизовані зображення з бази NIST 24 алгоритмом Чжан-Суна



Рис.4.16. Скелетизовані зображення з бази NIST 24 алгоритмом Хілдіча



Рис.4.17. Скелетизовані зображення з бази NIST 24 фільтром Атеб-Габора та хвильового методу потоншення

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 [152, 153].

Обчислено час виконання фільтрації Hilditch algorithm, Алгоритм Чжан-Суна, Атеб-Габор з хвильовим алгоритмом. Показано, що час виконання Атеб-Габор з хвильовим алгоритмом хоч і більший (див. табл. 4.5), але якість значно краща, див. рис. 4.17.

Таблиця 4.5

Обчислено час виконання фільтрації Nilditch algorithm

Назва алгоритму	Час експлуатації при виконанні один раз	Час експлуатації при виконанні двічі	Час експлуатації при виконанні тричі
Алгоритм Хільдіча	2,03 мс	1,76 мс	1,74 мс
Алгоритм Чжан-Суна	3,42 мс	2,56 мс	2,95 мс
Ateb-Габор з хвильовим алгоритмом	4,5 мс	4,01 мс	3,97 мс

4.5. Реалізація виділення особливих точок на відбитках пальців

Серед розмаїття існуючих підходів до розпізнавання відбитків пальців є кілька, найбільш часто використовуваних [154]:

- порівняння за особливими точками;
- кореляційне порівняння;
- відповідність шаблону;
- порівняння зразків;
- порівняння на основі графіків.

При порівнянні за спеціальними точками утворюється скелет зображення, на якому виділяються кінцеві точки і точки розгалуження. На сканованому зображенні відбитка також виділяються спеціальні точки, які порівнюються з шаблоном [155]. Основна перевага цього алгоритму – швидкість його роботи та простота реалізації. До недоліків алгоритму порівняння в спеціальних точках можна віднести високі вимоги до якості зображення та розміру давача.

Суть методу кореляційного порівняння полягає в тому, що отриманий відбиток пальця накладається на кожен еталон з бази по черзі, після чого різниця між ними обчислюється по пікселях [156]. Процес порівняння повинен включати багато ітерацій, на кожній з яких зображення повертається на

невеликий кут або трохи зміщується. Тому цей метод є найповільнішим і вимагає високої обчислювальної потужності у кібербезпеці.

Алгоритм зіставлення малюнка враховує не тільки окремі точки, а й загальні характеристики відбитка пальця, такі як товщина смужок, їх кривизна або щільність. Переваги цього методу в тому, що він може працювати з більш низькою якістю друку. Однак цей метод не підходить для багатьох запитів у базі даних.

Метод порівняння за рисунком використовує структуру папілярного малюнка. Отримане зображення розбивається на безліч невеликих осей-рядів, в кожній з яких розташування ліній описується параметрами хвилі. Отриманий для порівняння відбиток вирівнюється та зводиться до того ж типу, що й шаблон. Основними перевагами цього алгоритму є досить висока швидкість і низькі вимоги до якості зображення [157]. Робота виконувалася на скриптах Python.

Порівняння відбитків пальців здійснюється при пошуку спеціальних точок на зображеннях, пошуку відповідних опорних точок на зображеннях, визначення значень атрибутів спеціальних точок на зображеннях [158].

У результаті є висновок, що зображення є ідентичними, якщо ці зображення мають певну загальну множину M однакових особливих точок [159].

Це правило повинно працювати над новими даними, які будуть введені в систему, і кількість відповідних пар точок дорівнює меншому з двох загальних чисел спеціальних точок. Отже, пошук відповідних особливих точок здійснюється при виборі множини M найбільшої множини M_0 і M просторово сумісні пари особливих точок. Виконується вирівнювання особливих точок першого зображення зі спеціальними точками другого зображення. Згодом, збігаючи їх опорні точки та обертаючи спеціальні точки одного із зображень навколо контрольної точки на цьому зображенні, обчислюємо загальну кількість спеціальних точок двох порівнюваних зображень у перекритті цих зображень, робиться висновок про ідентичність двох порівнюваних

зображень за кількістю знайдених точок, а також загальною кількістю спеціальних точок у зоні перекриття.

Існує спосіб, що два зображення, які порівнюються, є відбитками одного пальця, обчислюючи ступінь близькості цих зображень за формулою:

$$sim = \frac{identical}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}} \quad (3.3)$$

де однакові, $k_1, \cdot k_2$ - відповідно кількість знайдених точок і загальна кількість точок двох зображень у зоні їх перекриття, а також порівняння обчисленого ступеня близькості із заздалегідь заданим граничним значенням.

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

Можна шукати особливі точки, шукаючи множину M пар відповідних точок шляхом побудови повного дводольного графа, ліва і права вершин якого відповідають особливим точкам першого і другого порівнюваних зображень, а дуги графа - сумі зважених різниць атрибутів вершин, з'єднаних цією дугою. і знаходження оптимальної розмітки вершин цього дводольного графа.

Можна визначити область перекриття двох зображень, які порівнюються, як одну, яка є перекриттям опуклих оболонок множин особливих точок у цих зображеннях.



Рис. 4.18. Приклад позначення спеціальних точок відбитка пальця

З точок, отриманих на попередніх етапах, формується масив об'єктів з такими параметрами: координати точки; тип лінії; утворений ними кут. Набір

спеціальних точкових параметрів, отриманих із відсканованого відбитка пальця, порівнюється з набором еталонних параметрів відбитків пальців зареєстрованих користувачів. Наступним кроком є визначення відхилень у значеннях цих параметрів. Великий поріг відхилення збільшить ймовірність помилкового збігу між біометричними характеристиками двох користувачів – FAR (False Acceptance Rate). З іншого боку, невелике значення допуску є причиною підвищеної ймовірності збою легітимного користувача FRR (False Rejection Rate) [160]. Проблема вибору порога допуску пов'язана з деформацією та зміщенням пальця під час сканування, що призводить до отримання різних параметрів вилучених точок [161]. У результаті дослідження було виявлено, що доцільно зберігати інформацію про поєднання трьох спеціальних пунктів. Така структура називається триплетом, показана на рис. 4.19.

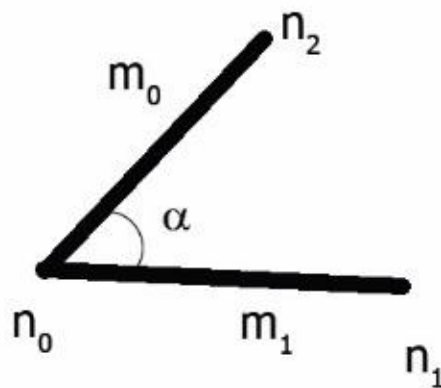


Рис. 4.19. Побудова трійки триплета

Для кожної центральної точки $n_0 (xn_0, yn_0)$ і двох сусідніх $n_1 (xn_1, yn_1)$ і $n_2 (xn_2, yn_2)$ формується вектор параметрів, див. рис. 4.20.



Рис. 4.20. Формування векторних параметрів

Алгоритм показує процедуру навчання маски для кожної пари браузерів. Проводиться приблизний пошук: що є найефективнішим, але найефективнішим і повним. Через невеликий розмір навчальної вибірки робимо висновок, що груба сила є можливою і дає найкращий результат. Зокрема спочатку обчислюється кожна пара браузерів, а потім усі можливі маски. Для кожної маски переглядаються навчальні дані та переконуємося, що вибирається маска, яка розгортає стабільність між браузерами.

Формується відбиток пальця на стороні сервера на основі хешів та на стороні клієнта завдання. Відбиток пальця — це хеш, який обчислюється на основі операції «і» хеш-списку всіх завдань і маски. Маска є відбитком пальця для одного браузера і розраховується з двох масок відбитків пальців між браузерами [162].

Порівняння вибраних спеціальних точок за допомогою машинного навчання

На рис. 4.20 показано кінцеву кількість даних – навчальну вибірку. Кожен елемент описується набором ознак x («вектор ознак»). Для кожного вектора параметрів x відповідь y відома.

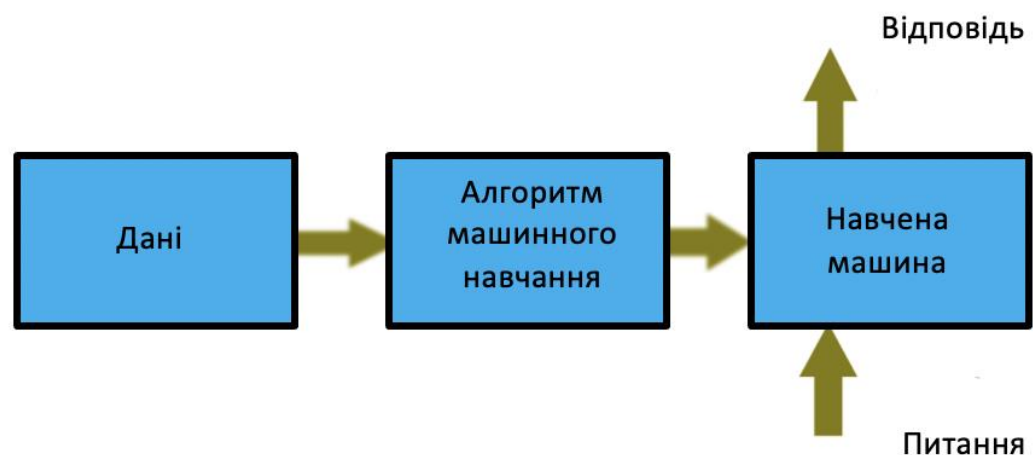


Рисунок 4.21. Схема машинного навчання для ідентифікації людини за біометричними даними

Проблема машинного навчання полягає в тому, що потрібно побудувати функцію $y = f(x)$ з вектора ознак x , яка дає відповідь y для будь-якого можливого спостереження x .

4.6. Кластеризація даних за методом k-means

Кластеризація використовується для аналізу даних і виділення кластерів. Використовуються різні заходи подібності для знаходження кластерів, наприклад, евклідова відстань для розпізнавання підгруп даних. Використовуючи міру подібності, можна оцінити зв'язність кластера. Таким чином, кластеризація — процес організації даних у підгрупи, елементи яких за деякими критеріями подібні один до одного. Необхідно виявити приховані властивості точок даних, які визначають їх належність до однієї підгрупи. Немає універсальних метричних характеристик подібності, які б працювали у всіх випадках. Все визначається специфікою завдання. Наприклад, можна бути зацікавленим в пошуку репрезентативної точки даних для кожної підгрупи. Залежно від ситуації вибирається та чи інша метрика, яка є найбільш повною.

Використання метод k-середніх передбачає, що кількість кластерів відома заздалегідь. Потім дані сегментують на K підгруп із застосуванням різних атрибутів даних. Аналіз починається із запису кількості кластерів і класифікації даних. У цьому алгоритмі вибір початкового розташування центроїдів відіграє дуже важливу роль, оскільки безпосередньо впливає на кінцеві результати. Одна зі стратегій полягає в тому, щоб розмістити центроїди якомога далі один від одного. Базовий метод k-середніх відповідає випадковому розташуванню центроїдів, тоді як у вдосконаленій версії it (метод k-середніх ++)) ці точки вибираються алгоритмічно із вхідного списку точок даних. На початку процесу робиться спроба розмістити центри кластерів на великій відстані один від одного, щоб забезпечити швидку конвергенцію. Потім відбувається повторення навчального набору даних і покращення початкової кластеризації шляхом призначення кожної точки найближчому центру кластера [163].

Як правило, системи машинного навчання будуються на модульній основі.

Конкретна кінцева мета досягається шляхом формування відповідних комбінацій окремих модулів. Бібліотека `scikit-learn` містить функції, які дозволяють об'єднувати різні модулі в єдині конвеєри. Конвеєр може бути сформований з модулів, які виконують різноманітні функції, такі як вибір функцій, попередня обробка даних, побудова випадкових лісів, кластеризація тощо.

Згенеруємо позначені зразки даних для процесів навчання та тестування. `Scikit-learn` містить для цього вбудовану функцію. Наступний рядок коду створює 22 точки даних, кожна з яких є 4D-вектором. Кожна точка даних містить шість інформаційних функцій і не містить зайвих функцій. Для формування ефективних порад у рекомендаційних системах використовується поняття найближчих сусідів, суть якого полягає у знаходженні тих точок даної множини, які розташовані на найближчій відстані від даної. Цей підхід часто використовується для створення систем, які класифікують точку даних на основі її близькості до різних класів. Розглянемо приклад пошуку найближчих сусідів даної точки даних.

Визначимо зразок двовимірних точок даних:

```
[480, 333], [511, 354], [504, 367], [360, 422], [344, 432], [600, 432], [583,
391], [698, 462], [556, 308],
[551, 284], [603, 273], [267, 472], [710, 223],
[668, 180], [512, 183], [517, 219], [482, 213], [473, 236], [377, 362], [371, 281],
[310, 450], [321, 483]
```

Визначимо кількість найближчих сусідів, яких ми хочемо завантажити.

У процесі повторення описаних кроків центри кластерів поступово зміщуються в свої стійкі положення. Після виконання певної кількості ітерацій центри кластерів перестануть зміщуватися. Це буде свідчити про те, що досягнуто стабільного розташування центрів кластерів. Отримані K центроїди являють собою остаточною модель k -середніх, які будуть використовуватися для висновків. Використовуємо дані, виділені як спеціальні опорні точки. У цьому файлі кожен рядок містить два числа, розділені комою.

На другому знімку екрана показано межі k -середніх (рис.4.22).

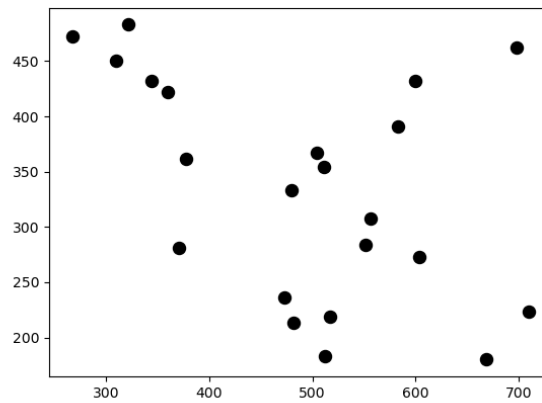


Рис. 4.22. Вхідні дані спеціальних опорних точок біометричного зображення

Перерахування всіх точок набору даних означає кінець першої ітерації. На цьому етапі точки групуються на основі вихідних положень центрів кластерів [164]. Далі потрібно перерахувати положення центроїдів, починаючи з нових кластерів, отриманих в кінці першої ітерації. Отримавши новий набір К-центрів, повторюємо весь (рис.4.23).

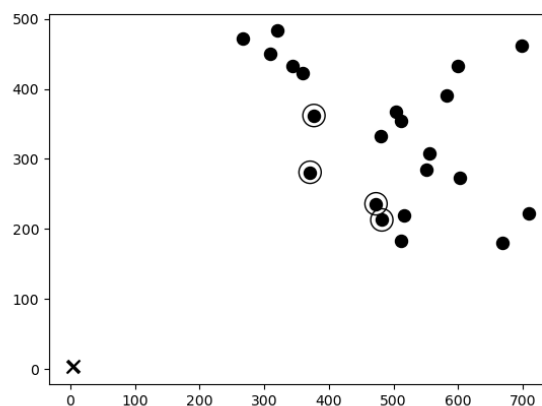


Рис.4.23. Візуалізація центрів кластерів на біометричному зображенні

Суцільні чорні кола позначають центри скупчень.

К-найближчі сусіди:

1==> [371 281]

2==> [377 362]

3==> [482 213]

4==> [473 236]

Загалом, кластеризація має на меті групувати дані опорних точок у біометричні зображення, якими обмінюється.

Мінімізуємо дисперсію всередині кластера та максимізуємо внутрішню дисперсію кластера.

Метод передбачає спочатку визначення кількості кластерів і випадкове призначення кластеру центроїдів кожному кластеру наборів даних. Цей крок — ініціалізація центроїдів кластера. Відстань між кожною точкою в цілих наборах даних і кожним кластером визначається k -середнім. Потім центроїд обчислюється за допомогою метрики відстані, наприклад, евклідова відстань [165].

Потім для кожної точки даних визначається мінімальна відстань, і ця точка належить найближчому кластеру. Цей крок називається цільовим кластером і повторюється, поки всі точки даних не будуть призначені одному з кластерів. Середнє значення для кожного кластера розраховується на основі накопичених балів у кожному кластері та кількості балів у цьому кластері. Потім ці інструменти призначаються як новий кластер центроїдів, і процес знаходження відстані між кожною точкою та новим центроїдом повторюється, де бали перепризначаються новим найближчим кластерам. Процес повторюється фіксовану кількість разів або поки точки в кожному кластері не перестануть переміщатися в різні кластери.

Ці експериментальні результати показують в середньому 40 кластерів з 800 порожніх кластерів після першої ітерації традиційного алгоритму K -середнього з випадковими вихідними точками. Подальший аналіз показує, що більшість початкових моментів, створених їхніми 40 кластерами, походять від викидів кластерів. Випадки кластерів належать до відрізків послідовності, віддалених від центрів.

Висновки до розділу 4

Проаналізовано системи штучного інтелекту для біометричних зображень із глибоким навчанням та машинним навчанням, засновані на основних принципах розпізнавання образів та багатоітераційного навчання, тобто

створення математичної моделі, яка програмується та вивчається з отриманих даних.

Порівняння відбитків пальців здійснюється на пошук спеціальних точок на біометричних зображеннях, пошук відповідних референтних точок на зображеннях, визначення значень атрибутів спеціальних точок на зображеннях.

Результати експериментів були перевірені у вільно доступній базі даних NIST Special Database 302. Результати фільтрації базуються на PSNR і MSE. Показники впізнаваності показали хороші результати.

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Проаналізовано інформаційні системи біометричного захисту, де показано, що при надходженні поганої якості вхідних даних, якість розпізнавання та аутентифікації різко погіршується. Важливим є питання цілісності вхідних даних до її опрацювання, так як зловмисниками цифрові дані можуть бути спотворені.
2. Якість розпізнавання біометричних даних дуже великою мірою залежить від якості вхідних даних в інформаційній системі захисту.
3. Застосування нового фільтра Атеб-Габора розширює сферу застосування додрукарської обробки в біометричній системі розпізнавання. Це дозволяє додатково завантажити 2900 різних комбінацій фільтрацій.
4. Розроблено метод вейвлет-атеб-Габор перетворення, яке дозволяє комплексно провести фільтрацію з подальшим успішним розпізнаванням відбитка пальця.
5. Реалізовано скелетизацію біометричного зображення алгоритмами Чжан-Суна, Хілдіча та Атеб-Габора з хвильовим алгоритмом, останній з яких показав найкращі результати розпізнавання.
6. Результати експериментів були перевірені та апробовані у вільно доступній базі даних NIST Special Database 302. Результати фільтрації отримані чисельним методом на основі кореляційних залежностей між вхідним зображенням та шаблоном PSNR і MSE.
7. Реалізовано машинне навчання для розпізнавання біометричного зображення методом k-means.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу літературних джерел виділено, що фільтрація Габора є згорткою перетворень Фур'є гармонійної функції і функції Гауса, що є перспективним дослідженням для створення нових методів виділення контурів біометричного об'єкту.

Забезпечення відповідного рівня захищеності інформаційної системи біометричного захисту, завдяки використанню розробленого методу фільтрації, який включає комплексний підхід до синтезу біометричного відбитка, що дає змогу скоротити час на розпізнавання та покращити ідентифікаційні властивості системи.

Розроблено метод біометричної ідентифікації, яка враховує атеб-перетворення, дозволяє проводити фільтрацію та дає можливість скоротити час на обробку зображень від 4 до 5 мс.

Досягнуто більшого рівня безпеки інформаційної системи шляхом застосування вейвлет-атеб-Габор перетворення, яке дозволяє додатково завантажити 2900 різних комбінацій фільтрацій. Вибрати оптимальні варіанти та застосувати одноразову універсальну фільтрацію з найкращими, наперед вибраними показниками.

Отримано скелетизацію біометричного зображення на основі атеб-хвильового методу, що забезпечує кращі характеристики ніж алгоритми потоншення Чжан-Суна та Хілдіча.

Впровадження розробленої інформаційної системи біометричного захисту на основі фільтрації Атеб-Габора здійснено у ДБ-нейрошифр, що підтверджено відповідним актом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Расс С., Шартнер П. Безпека на основі спільноти для Інтернету речей. У розумних містах Кібербезпека та конфіденційність. Elsevier. 2019. с 11-19
2. Дворжак М., Драганський М. 3D розпізнавання геометрії рук. У біометричних системах фізичної та кібербезпеки. 2019. с. 103-123. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-98734-7>
3. Wang Q, Wang W, Zhang W, Zhao T, Jin G. Дослідження та реалізація методів контролю якості даних десяти відбитків для автоматизованої системи ідентифікації відбитків пальців імперського масштабу. За ред. J Forensic Sci Med. 2018. 3:90-6. URL: <http://www.jfsmonline.com/text.asp?2017/3/2/90/209287>
4. Ямпольський Л.С., Роман В., і Вену Говіндараю. Біометрія поведінки: опитування та класифікація. Міжнародний журнал біометрики № 1.1. 2008. с. 81-113. URL: <https://cubs.buffalo.edu/images/pdf/pub/Behavioral-Biometrics-A-Survey-and-Classification.pdf>
5. Рассел, Стюарт Дж., Пітер Норвіг. Штучний інтелект. Сучасний підхід. Pearson Education Limited. Малайзія. 2016.
6. Ендрю, А. «Довідник з розпізнавання відбитків пальця». За ред. Давіде Мальтоні, Даріо Майо, Аніл К. Джейн, Саліл Пробхакар, Springer, Нью-Йорк, 2003. URL: ambridge.org/core/journals/robotica/article/abs/handbook-of-fingerprint-recognition-by-davide-maltoni-dario-maio-anil-k-jain-and-salil-probhakar-springer-new-york-2003-hardback-xii-348-pp-with-dvdrom-isbn-0387954317-4600/737AEA3B726AED9F1B1DE3A8ABEEAA57
7. Штюкер М., Гейл М., Кіек С., Гофман К., Рьохлінг А., Меммель У., Альтмайер П. Міжсоскові лінії — змінна частина відбитка пальця людини. Журнал судової експертизи № 46. 2001 с. 857-861.

8. Штюкер М., Гейл М., Кієк С., Гофман К., Рьохлінг А., Меммель У., Альтмайер П. Міжсоскові лінії — змінна частина відбитка пальця людини. Журнал судової експертизи № 46. 2001. с. 857-861.
9. Shelupanov A., Evsyutin O., Konev A., Kostyuchenko E., Kruchinin D., Nikiforov D. Information Security Methods—Modern Research Directions. Symmetry, 11(2). 2019 URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/11/2/150>
10. Бідюк П., Бондарчук В. Сучасні методи біометричної ідентифікації. 2009. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/9839/1/26.pdf>
11. Bolle R. M., Connell, J. H., Pankanti S., Ratha N. K., Senior A. W. Guide to biometrics. Springer Science Business Media. 2013. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=DLLbBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Bolle+R.+M.,+Connell,+J.+H.,+Pankanti+S.,+Ratha+N.+K.,+Senior+A.+W.+Guide+to+biometrics.+Springer+Science+%26+Business+Media.+2013.&ots=K6sRdILLdV&sig=a-BQA_TfrXFOMw7epCmGYJzL6ak&redir_esc=y#v=onepage&q=Bolle%20R.%20M.%2C%20Connell%2C%20J.%20H.%2C%20Pankanti%20S.%2C%20Ratha%20N.%20K.%2C%20Senior%20A.%20W.%20Guide%20to%20biometrics.%20Springer%20Science%20%26%20Business%20Media.%202013.&f=false
12. Uludag, U., & Jain, A. K. Attacks on biometric systems: a case study in fingerprints. Security, steganography, and watermarking of multimedia contents VI. SPIE, 2004. p. 622-633. URL: <https://www.spiedigitallibrary.org/proceedings/Download?fullDOI=10.1117/12.530907>
13. Sundararajan K., Woodard D. L. Deep learning for biometrics: A survey. ACM Computing Surveys (CSUR), 51(3). 1-34. 2018. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3190618>
14. Jain A. K., Ross A., Prabhakar S. An introduction to biometric recognition. IEEE Transactions on circuits and systems for video technology. 2004. 14(1), 4-20.

URL:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.449.6678&rep=rep1&type=pdf>

15. Ivanovas E., Navakauskas D. Development of biometric systems for person recognition: Biometric feature systems, traits and acquisition. *Elektronika ir elektrotechnika*, 2010, 101.5: 87-90. URL: <https://www.eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/9440/4662>

16. Ninghui Li, Ji-Won Byun, Elisa Bertino. A critique of the ANSI standard on role-based access control. *IEEE Security & Privacy*, 2007, 5.6: 41-49. URL: <http://www.cs.purdue.edu/homes/ninghui/courses/Spring06/lectures/aboutRBACStandard.pdf>

17. Podio F. L. Biometrics—technologies for highly secure personal authentication. National Institute of Standards and Technology. 2001. URL: http://femto-second.com/Documents/ITL_Bulletins/05-01.pdf

18. Chanukya, P. S., Thivakaran, T. K. Мультимодальна біометрична криптосистема для аутентифікації людини за допомогою відбитків пальців і вуха. *Мультимедійні інструменти та програми*. 2020. 79 (1-2). с. 659-673. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-019-08123-w>

19. Wagh D. P., Fadewar H. S., Shinde G. N. Biometric finger vein recognition methods for authentication. In *Computing in engineering and technology*. 2020. с. 45-53. Springer, Singapore. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-32-9515-5_5

20. Lee C. J., Wang S. D. Fingerprint feature extraction using Gabor filters. *Electronics Letters*. 1999. 35(4). URL: <https://scholars.lib.ntu.edu.tw/bitstream/123456789/352569/1/00756656.pdf>

21. Ян Дж., Лю Л., Цзян Т., Фан Ю. Модифікований метод проектування фільтра Габора для покращення зображення відбитків пальців. *Листи для розпізнавання образів*. 2003. 24(12), 1805-1817. URL:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/27398207/prl_yang-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1650917607&Signature=F3FhY6IkG6wm2GKdiYpvrjNBVhGtN9kgd3bN61LEubLez5xR5jbWRIKua0w14Ifg-7OIEX3H0FzUzvxnhomJog1VoCOBz0I7vqG9zFBQM7-AHGEzX0T6qTJQUIxZB4trsouLquIAAtUk4uXUcReqzkaBmf6FG-AOjay2d-k57NbcX6MO9UwhAyV4UU9FB8anbIczANXOgJClwCLHd-GcfRKGTXu4WhSxNs~p1TxPnWdJolUZxOPIRPhmyo1p3-8cn-AerX2BaUXIfvUNH~zhvhQEjQKp9UPbhakGFHs9ZIdJUJbqQH7YbH70EQERH~H8Lj1FW6PzcawK5kEgnOpToOw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

22. Wang W., Li J., Huang F., Feng H. Genome-wide association study of esophageal squamous cell carcinoma in Chinese subjects identifies a susceptibility locus at PLCE1. *Nature genetics*. 2010. 42.9: 759-763. URL: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/46024314/Genome-wide_association_study_identifies20160528-11901-12t3gn6-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1650917710&Signature=VoI2hLV0Bi1xiCdeIydyFSy3W2exMuAcREYbugGv-HxigPjgLTGfjSO7SD2R6jgdn7cyqxZRMKkYRuyrgtPNyUww~4GFEjiajKRuiqYmQu49WxhMtF8KdphjJek03g19e2TN2WZGiccGv-7l0Lpgv~7n0EfQeMST62RN54EFC1574d8~CT1a49cBFIEFIOyZ2dOYo2qRIcX5Xjqm4hLpUudAxtBC1Z6RmucStbjffvgD~nI3GpTraHDdcSt2IdiSg6VeEqHc4JRezHSbJKB53Yz812CrZyzT3tjDv5H2f5gz28AP2A-BjuDPfGOMAc5KGcN0~Bp94v5FXfQLsA63Q_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
URL: <https://www.researchwithrutgers.com/en/publications/genome-wide-association-study-of-esophageal-squamous-cell-carcino>

23. Areekul V., Watchareeruetai U., Suppasriwasuseth K., Tantaratana S. Separable Gabor filter realization for fast fingerprint enhancement. In: *IEEE International Conference on Image Processing 2005*. IEEE, 2005. p. III-253. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.108.5243&rep=rep1&type=pdf>

24. Усмонов Б., Євсутін О., Ісхаков А., Шелупанов А., Ісхакова А., Мещеряков Р. Кібербезпека в розвитку вбудованих технологій ІоТ. Міжнародна конференція з інформаційних наук і комунікаційних технологій (ICISCT). 2017. с. 1-4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8188589>
25. Бідюк, П. І., Кузнєцова, Н. В., & Терентьєв, О. М. Система підтримки прийняття рішень для аналізу фінансових даних. 2011. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36513/1/2011-1-7.pdf>
26. Arbab-Zavar, B., & Nixon, M. S. Robust log-gabor filter for ear biometrics. In 2008 19th International Conference on Pattern Recognition. IEEE. 2008. 1-4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4761843>
27. Zhang J., Yang J. Finger-vein image enhancement based on combination of gray-level grouping and circular gabor filter. In: 2009 International Conference on Information Engineering and Computer Science. IEEE. 2009. 1-4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5363431>
28. Greenberg S., Kogan D. Improved structure-adaptive anisotropic filter. Pattern Recognition Letters. 2006. 27.1: 59-65. URL: <https://www.academia.edu/download/66672183/j.patrec.2005.07.00120210425-14418-zpiq2n.pdf>
29. Bell B. M., Cathey F. W. The iterated Kalman filter update as a Gauss-Newton method. IEEE Transactions on Automatic Control. 1993. 38.2: 294-297. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/250476>
30. Kanopoulos N., Vasanthavada N., Baker R. L. Design of an image edge detection filter using the Sobel operator. IEEE Journal of solid-state circuits. 1988. 23.2: 358-367. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/996>
31. Мещанінов С. К., Співак В. М., Орлов А. Т. Електронні методи і засоби біомедичних вимірювань. 2016. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/18295/1/Biomed_vymir.pdf

32. Xu Y., Weaver J. B., Healy D. M., Lu J. Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique. *IEEE transactions on image processing*. 1994. 3(6), 747-758. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/336245>
33. Dey T. K., Shi D., Wang Y. SimBa: An efficient tool for approximating rips-filtration persistence via simplicial batch collapse. *Journal of Experimental Algorithmics (JEA)*, 2019, 24: 1-16. URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3284360>
34. Lalitha Y. S., Latte M. V. A novel approach noise filtration for MRI image sample in medical image processing. *International Journal of Computer Science and Communication*. 2011. 2(2), 359-363. URL: <http://www.csjournals.com/IJCSC/PDF2-2/Article%2015.pdf>
35. Yamanaka A., Maeda Y., Sasaki K. Ensemble Kalman filter-based data assimilation for three-dimensional multi-phase-field model: Estimation of anisotropic grain boundary properties. *Materials & Design*. 2019. URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0264127518309419?token=2E01F35DA0A5946281CEA56F1AA508AAC98C08D2CFD62D4ACA661E8132659B038018D2A97D241FE1DD37AF80F3CF66B7&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220424225957>
36. Schilling A., Knittel G., Strasser W. Texram: A smart memory for texturing. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 1996. 16(3), 32-41. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/491183>
37. Caselles V., Kimmel R., Sapiro G. Geodesic active contours. In *Proceedings of IEEE international conference on computer vision*. IEEE. 1995.
38. Liu Y. X., Yang C. N., Wu C. M., Sun Q. D., Bi W. Threshold changeable secret image sharing scheme based on interpolation polynomial. *Multimedia Tools and Applications*. 2019. 78.13: 18653-18667. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-019-7205-4>

39. Гаутам А. П. С. Інформаційна технологія екстракції бізнес знань з текстового контенту інтегрованої корпоративної системи. 2016. PhD Thesis. НТУ" ХПІ". [URL:http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/23554/1/avtoreferat_2016_Gautam_Informatsiina_tekhnolohiia.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/23554/1/avtoreferat_2016_Gautam_Informatsiina_tekhnolohiia.pdf)
40. Н.К. Рата, Дж.Х. Коннелл, Р.М. Болле. Аналіз сили збігу дрібниць. Третя міжнародна конференція з біометричної аутентифікації особи на основі аудіо та відео. 2001. с. 223-228.
41. Назаркевич М., Олярник Р., Дмитрук С. Фільтрація зображень за методом Атеба-Габора. 12-а Міжнародна науково-технічна конференція з комп'ютерних наук та інформаційних технологій (CSIT). 2017. (том 1, с. 208-211). IEEE. URL: https://www.researchgate.net/profile/Mariya_Nazarkevych2/publication/338171788_GENERATION_OF_GABOR_FILTERS_BASED_ON_ATEB_FUNCTIONS/links/5ff762c6a6fdccdc83b449b/GENERATION-OF-GABOR-FILTERS-BASED-ON-ATEB-FUNCTIONS.pdf
42. Хорас Р. С. Мультимодальна біометрія для аутентифікації особи. У цифровій ідентифікації. IntechOpen. 2019. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=FmwtEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA177&dq=+Multimodal+biometrics+for+face+authentication.+In+digital+identification.+IntechOpen&ots=1Eau4jiWFn&sig=nZ6TXmcBYM836uRGuiuIvcvP6LY&redir_esc=y#v=onepage&q=Multimodal%20biometrics%20for%20face%20authentication.%20In%20digital%20identification.%20IntechOpen&f=false
43. Тапіа Дж. Е., Перес К. А. Класифікація за статтю із зображень NIR за допомогою фільтрів квадратурного кодування найбільш релевантних функцій. IEEE. 2019. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8656515>
44. Dronyuk I., Nazarkevych M., Poplavska Z. Gabor filters generalization based on ateb-functions for information security. In: International Conference on Man–Machine Interactions. Springer, Cham. 2017. 195-206. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-67792-7_20

45. Кістлер П. М., Робертс-Томсон К. К., Хаккані Х. М., Фінн С. П., Сінгараяр С., Вохра Дж. К., ... і Калман Дж. М. Морфологія зубця Р при фокальній передсердній тахікардії: розробка алгоритму для прогнозування анатомічного місця походження. *Journal of the American College of Cardiology*. 2006. URL:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/46335357/j.hrthm.2005.02.16420160608-32103-frkav2-libre.pdf?1465381717=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DP_wave_morphology_in_focal_atrial_tachyc.pdf&Expires=1650918257&Signature=EKjI07XtFgT3kaJOcza7UfWtAVTUg9w1LxmhraPGDYvjmVP9SrEz1vd2NSMKrn8iVdbc2o9jPh7xTEHAtdr4H0w8MYoDO28fxsVkwYtQH8tY3WD~hA2ucryinysuTKFp~Jn5xt630pnzVJeW1dRkkzsV8FekxLftTX8H6Zi-lnMQDSQpCCL3ZDeTFz5FrLpyDIHTOfJRLzggqP9KLQxRqy2ZQekG7SJiUOGhSC2Ni5RvY9MpRiAOnqK2Vrow1PKMLqRF2RaaKFHN4Xgn9zLZ78cAnO8JSCC~Wsa7SSIXF9QfMEiaE5S8RTBEEUw7mt-5D0bG79-XpJX5OtG7oKj9MRw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

46. Гомес-Перес А., Бенджамінс В. Р. Застосування онтологій та методів вирішення проблем. *Журнал АІ*. 1999. 20(1), 119-119. URL: <https://ojs.aaai.org/index.php/aimagazine/article/view/1445>

47. Шаховська Н. Б., Болюбаш Ю. Я. РОБОТА З ВЕЛИКИМИ ДАНИМИ ПОКАЗНИКАМИ СОЦІО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. 5.2 (65). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/robota-z-velikimi-danimi-pokaznikami-sotsio-ekologo-ekonomichnogo-rozvitku-regionu/viewer>

48. Тоорайпур R., Сохрабпур V., Назарпур A., Оггазі P., Фішл M. Штучний інтелект в управлінні ланцюгом поставок: систематичний огляд літератури. *Журнал бізнес-досліджень*. 2021. 122, 502-517. URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S014829632030583X?token=BF4BC5011906F7F5D4C6296B31DB318340438E4B9C0F6C435886067D661BFD8E891E6908E>

[0D9C5F9F6C5F96387F234D&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220424234513](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_18)

49. Nazarkevych M., Logoyda M., Troyan O., Vozniy Y., Shpak Z. The ateb-gabor filter for fingerprinting. In: Conference on Computer Science and Information Technologies. Springer, Cham. 2019. p. 247-255. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-33695-0_18

50. Clocksin W. F. Artificial intelligence and the future. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2003. URL: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/82266174/1721.full-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1650847890&Signature=VBCY6veOePMyRDmChvXUs21H-JRtkEZkyI8xU3~MNWw2Cg8opw--yOxFadO0qD-zp1LdewCIJkLkM7NfSAMmCfVG8G~Z4QO51TP5qkMYMBqgh5OsX3b0j56rYqZvr9Yn0GOkXAmPkyUwCXsYWV61jjei3RrxRjjJSwqT5UZP6eP~DNTInZSmMJ eWb3TPP74jSs009V0zbEiKbzH6ih2gwrsLJ2IoK12etTxpfOeNkBzNp~F64jorpFjdV3CKH36e~TEyFFGnuzJILFneTKiV2D~JQG1KLgmPxaorI6w2pw2KBC5I7mZZXEPjavFj5csNuxCd1S5zU0ZYH3EjCumg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

51. Avouris N. M., Gasser L. Розподілений штучний інтелект: теорія і практика. Springer Science & Business Media. 1992. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=uBn6At5xzOoC&oi=fnd&pg=PP7&dq=Distributed+artificial+intelligence:+theory+and+practice.+Springer+Science+%26+Business+Media&ots=dJXSghyNTL&sig=KBbzSQT7xAhd6sYlYnHL3XuAMhc&redir_esc=y#v=onepage&q=Distributed%20artificial%20intelligence%3A%20theory%20and%20practice.%20Springer%20Science%20%26%20Business%20Media&f=false

52. Хавалко В., Цмоць І. Класифікація та розпізнавання зображень на основі використання аутоасоціативної нейронної мережі. 2019 IEEE 2nd Ukraine

- Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). 2019. с. 1118-1121.
53. Ніксон М., Агуадо А. Вилучення ознак та обробка зображень для комп'ютерного зору. Академічна преса. 2019. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=KcW-DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Removing+features+and+processing+images+for+computer+vision.+Academic+press&ots=10mx_1OC0T&sig=wBTWk1iO51F0ESenTWP6RQH5QvA&redir_esc=y#v=onepage&q=Removing%20features%20and%20processing%20images%20for%20computer%20vision.%20Academic%20press&f=false
54. Bhattacharyya D., Ranjan R., Alisherov F., Choi M. Biometric authentication: A review. International Journal of u-and e-Service, Science and Technology. 2009. 2.3: 13-28. URL: <https://www.biometrie-online.net/images/stories/dossiers/generalites/International-Journal-of-u-and-e-Service-Science-and-Technology.pdf>
55. Сан С., Гу Ю., Ван Л., Гу П., Лі Ю. Ключові технологічні дослідження для збору відбитків пальців мобільного поліцейського терміналу для швидкого порівняння за допомогою автоматизованої системи ідентифікації відбитків пальців. Журнал судової експертизи та медицини. 2019. 5(1), 57. URL: <https://www.jfsmonline.com/article.asp?issn=2349-5014;year=2019;volume=5;issue=1;spage=57;epage=60;aulast=Sun>
56. Tomasi, C., & Manduchi, R. Bilateral filtering for gray and color images. In null IEEE. 1998. P. 839. URL: <http://www.super.tka4.org/materials/lib/Articles-Books/Filters/Bilateral/tomasi98bilateral.pdf>
57. Nazarkevych Mariya, Yaroslav Voznyi, Oksana Troyan. «Узагальнення фільтрів Габора на основі Ateb-функцій» Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка». Том 2 №6. 2019. С.72-84. URL: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.6.142153>

58. Andrysiak, T., & Choraś, M. "Image retrieval based on hierarchical Gabor filters". International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. 2005. Vol. 15. P. 471-480. URL: <http://zbc.uz.zgora.pl/Content/46808/5choros.pdf>
59. Bazen, A. M., & Gerez, S. H. "Systematic methods for the computation of the directional fields and singular points of fingerprints." IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol.24. No.7. P. 905-919. URL: <https://scholar.archive.org/work/7vake6wgfvc4jm5u56zmcgl7sq/access/wayback/http://ai.pku.edu.cn/aiwebsite/research.files/collected%20papers%20-%20fingerprint/Systematic%20methods%20for%20the%20computation%20of%20the%20directional%20fields%20and%20singular%20points%20of%20fingerprints.pdf>
60. Дронюк І., Назаркевич М., Поплавська З. «Узагальнення фільтрів Габора на основі ateb-функцій для інформаційної безпеки». In International Conference on Man-Machine Interactions. Publisher: Cham : Springer. 2017. С. 195-206. URL: https://www.researchgate.net/profile/Mariya_Nazarkevych2/publication/338171788_GENERATION_OF_GABOR_FILTERS_BASED_ON_ATEB_FUNCTIONS/links/5ff762c6a6fdccdb83b449b/GENERATION-OF-GABOR-FILTERS-BASED-ON-ATEB-FUNCTIONS.pdf
61. Шерлок Б. Г., Монро Д. М. і Міллард К. «Поліпшення відбитків пальців за допомогою спрямованої фільтрації Фур'є». IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing, 1994. Vol.141. Is.2 P.87-94. URL: https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-vis_19949924
62. Халіфа Шихаб Хамад і Мохаммад Файдзул Насредін. «Ідентифікація друкарного паперу на основі текстури за використанням фільтрів габора та локальних бінарних матерів». Журнал теоретичних та прикладних інформаційних технологій. 2016. Vol.86. No.2. URL: <http://www.jatit.org/volumes/Vol86No2/12Vol86No2.pdf>
63. Tan X., & Triggs, B. Fusing Gabor and LBP feature sets for kernel-based face recognition. Springer, Berlin, Heidelberg In International workshop on analysis and

modeling of faces and gestures. 2007. P. 235-249. URL: <https://hal.inria.fr/inria-00548672/document>

64. Goyal, H., Verma, G., & Arora, C. "Fingerprint Detection and Authentication using feature extraction based on Minutiae". IEEE In International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks. 2016. P. 284-289. URL: <https://doi.org/10.1109/CICN.2016.62>

65. Аль Соламі, Е .; Камран М.; Саїд Алкатеїрі, М .; Рафік, Ф.; Альгамді, А.С. «Відбитки пальців реляційних баз даних для припинення крадіжки даних». Електроніка. 2020. С.1093. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/7/1093/pdf>

66. Kirchgasser, S., & Uhl, A.. "Template ageing in non-minutiae fingerprint recognition". IEEE. In International Workshop on Biometrics and Forensics. 2017. P. 1-6. URL: <https://wavelab.at/papers/Kirchgasser17b.pdf>

67. Валеча Л., Валеча Х., Ахуджа В., Чавла Т., Сенгупта С. «Орієнтація Біометрія вуха на льоту з використанням фільтра Габора». In Advances in Data Sciences, Security and Applications. 2020. С. 457-466. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0372-6_37

68. Le, N. T., Wang, J. W., Le, D. H., Wang, C. C., Nguyen, T. N. «Поліпшення відбитків пальців на основі тензора піддіапазонів вейвлетів для класифікації». IEEE Access. 2020. С. 6602-6615. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/8948470/08950141.pdf>

69. Богачук І., Соколов В., Бурячок В. «Підсистема моніторингу бездротових систем на основі мініатюрних аналізаторів спектру». Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми інфокомунікацій". Наука і технології. 2018. С. 581-585. URL: <https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/09/aref1.pdf>

70. Пахар, О. В. «Захист потоків даних в інформаційно-комунікаційній мережі відділення Хмельницької філії АТ КБ «ПриватБанк». 2021. URL: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/10426/1/%D0%94%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%20%D0%9F%D0%B0%D>

[1%85%D0%B0%D1%80%20%D0%B7%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20%D1%96%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B3%D1%96%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC.pdf](https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=zb916YOr16wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Computer+and+Information+Security+Guide&ots=PTeCjLv02z&sig=wW8tHKE9y9DuF4Nla0n28lVmmM)

71. Вакка, Дж. Р. «Посібник з комп'ютерної та інформаційної безпеки». 2012. URL:<https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=zb916YOr16wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Computer+and+Information+Security+Guide&ots=PTeCjLv02z&sig=wW8tHKE9y9DuF4Nla0n28lVmmM>

72. Ніксон М., Агуадо А. «Вилучення ознак та обробка зображень для комп'ютерного зору». Академічна преса. 2019. URL:<https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=KcW-DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Nixon+M.,+Aguado+A.+Removal+of+features+and+image+processing+for+computer+vision&ots=10mw7nUy4U&sig=MIDJ4AWRVlJqW1aVk0HyTXoOj9I>

73. Нанаваті, С., Стейнхардт, Б. «Очікування: чи є використання біометричних даних порушенням приватності». Мережевий світ. 2000 Том 17. №19. С. 143-143.

74. Розенберг, Р. М. *Ateb* (h)-функції та їх властивості. Квартальник прикладної математики. 1963. Том. 21. №1. С. 37-47.

75. Сенік П. М. «Про *Ateb*-функції. Респ». АС УРСР, сер. А, (1), 1963; С. 23-27.

76. Возний А.М. Застосування *Ateb*-функцій для побудови розв'язку одного класу суттєво нелінійних диференціальних рівнянь. Респ. АН УРСР. сер. А, 1970. № 9. С. 971 - 974.

77. Senyk P. M. "Inversion of the incomplete beta function". Ukrainian Mathematical Journal. Vol.21 No.3. 1969. P. 271-278.

78. Nazarkevych M., Kryvinska N., Voznyi Y. “Applying Ateb–Gabor Filters to Biometric Imaging Problems”, *Symmetry*, vol. 13, iss. 4. 2021. P. 717–734. URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/4/717>
79. Bihl, T.J., Paciencia, T.J., Bauer, K.W., Temple, M.A. “Кібер-фізична безпека з радіочастотною класифікацією відбитків пальців за допомогою розширень вимірювання відстані узагальненої релевантності. Навчання векторного квантування”. *Безпека та мережі зв'язку*. 2020. URL: <https://www.hindawi.com/journals/scn/2020/3909763/>
80. Okokpuije, K., Etinosa, N. O., John, S., Joy, E. “Порівняльний аналіз алгоритмів попередньої обробки відбитків пальців для процесів електронного голосування”. In *IT Convergence and Security 2017*. 2018. С. 212-219. URL: <http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/9911/1/PROPOSED%20FINAL%28Finger%20preprocessing%29.docx>
81. Lv, X., Ding, L., & Zhang, G. “Дослідження щодо розпізнавання відбитків пальців функцій контролю доступу на основі глибокого навчання”. *Міжнародний журнал біометрики*.13(1). 2021. С. 80-95.
82. Nazarkevych, M., Logoyda, M., Troyan, O., Vozniy, Y., Shpak, Z. “The Ateb-Gabor Filter for Fingerprinting”. Eds: Shakhovska, N., Medykovskyy, M.O. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing IV*. CSIT 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1080. Springer, Cham. 2020. URL:https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_18
83. Sherlock, B. G., Monro, D. M., & Millard, K. “Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering”. *IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 141(2). 1994. P.87-94. URL: https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-vis_19949924
84. Andrysiak, T., & Choraś, M. “Image retrieval based on hierarchical Gabor filters”. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 15. 2005. P.471-480. URL: <http://zbc.uz.zgora.pl/Content/46808/5choros.pdf>

85. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., Mykich, O., Gregus, M., Hnativ, Y., Nazarkevych, H. "Fingerprint Recognition Technology with Ateb-Gabor Filtration". Proceedings of the 1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia (DCSMart 2019). Vol-2533. Lviv. 2019. – P. 129–138. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2533/paper12.pdf>
86. Ель-Сісі, А. "Розробка та впровадження біометричної системи контролю доступу з використанням відбитків пальців для обмеженої зони на основі фільтра Габора". The International Arab Journal of Information Technology. Vol. 8. No. 4. 2011. С. 355-363. URL: <http://ccis2k.org/iajit/PDF/vol.8,no.4/3-808.pdf>
87. Аль-Каді, Омар С. «Підхід аналізу текстури фільтра Габора для гістопатологічної дискримінації підтипів пухлини мозку». Computer Vision and Pattern Recognition arXiv:1704.05122. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1704.05122>
88. Він, Лін та ін. «Дискримінаційна фільтрація Габора низького рангу для спектрально-просторової гіперспектральної класифікації зображень». IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 55.3. 2017: 1381-1395.
89. А. Рамачандран, «Перевірка транспортних засобів на основі модифікованого фільтра Габора». Міжнародний журнал комп'ютерних додатків (IJCA) на Національній конференції з семінаром з біоінформатики та обчислювальної біології (NCWBCB) №. 2. 2014. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.857.4132&rep=rep1&type=pdf>
90. Чжоу, С., Цзян, Ю., Сі, Дж., Гун, Дж., Сюн, Г., і Чен, Х. «Нове визначення смуги на основі геометричної моделі та фільтра Габора». На симпозиумі Intelligent vehicles (IV), 2010 IEEE С. 59-64. IEEE. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5548087/>
91. Назаркевич М., Возний Я. "Узагальнення фільтрів Габора на основі Ateb-функцій" Кібербезпека: освіта, наука, техніка №2 (6). 2019. С. 72-84. URL: <https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/83/92>

92. Сан Дж., Ван Х., Цянь К., Ву Х. і Чен Ю. «Ефективний алгоритм ідентифікації відбитків пальців на основі дрібниць та інваріантного моменту». Персональні та повсюдні комп'ютери, 22. 2018. С.71-80. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00779-017-1094-1>
93. Улудаг, У., Росс, А., і Джейн, А. «Вибір і оновлення біометричного шаблону: приклад відбитків пальців». Розпізнавання образів. Том 37. №7. 2004. С.1533-1542. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031320304000081?via%3Dihub>
94. Чжан Х., Сінгх Д. і Лі Х. Розширення аутентифікації за допомогою поведінкової біометрії, що залежить від контексту. In Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. 2019
95. Джейн А., Росс А. і Прабхакар С. «Зіставлення відбитків пальців за допомогою деталей і текстур». In Image Processing. Праці. Міжнародна конференція з IEEE Т. 3. 2001. С. 282-285.
96. Nazarkevych M., Hrytsyk V., Voznyi Y., Marchuk A., Vozna O. "Method of detecting special points on biometric images based on new filtering methods". CEUR Workshop Proceedings : Proceedings of the selected papers on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems 2021 CPITS'2021 Kyiv. 2021 P. 243–251. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2923/paper26.pdf>
97. Nazarkevych, M., & Voznyi, Y. «Метод захисту матеріальних носіїв інформації латентними елементами». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. Том 3. № 3. 2019. URL: <https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/61>
98. Мак ГРЕЙ-молодший, Дж. Д., ГРІР, Ч. Е., та МАНОС, М. М. «Множина хвороба Боуена пальців рук, пов'язана з вірусом папіломи людини 16 типу». Міжнародний журнал дерматології. Том 32. №2. 1993. С. 104-107. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-4362.1993.tb01446.x>

99. Бергер Б. Г. та МакІнман А. «Вправи і якість життя». Довідник досліджень з психології спорту. 1993.С. 729-760. URL: [https://www.academia.edu/download/55702958/2011- Berger Tobar - Exercise and Quality of Life.pdf](https://www.academia.edu/download/55702958/2011-Berger_Tobar_-_Exercise_and_Quality_of_Life.pdf)
100. Лін, Ч. Х., і Лай, Ю. Ю. «Гнучка біометрична схема віддаленої аутентифікації користувачів. Комп'ютерні стандарти та інтерфейси». Elsevier. 2004. Том 27. №1. С. 19-23. URL: [http://isrc.ccs.asia.edu.tw/yourslides/files/59/2004\(SDOS\)A%20flexible%20biometrics%20remote%20user%20authentication%20scheme.pdf](http://isrc.ccs.asia.edu.tw/yourslides/files/59/2004(SDOS)A%20flexible%20biometrics%20remote%20user%20authentication%20scheme.pdf)
101. Баріна Д. Габор «Вейвлети в обробці зображень.» Препринт. arXiv arXiv:1602.03308, 2016. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40096-019-00312-w>
102. Mouley, J., Panja, M. M., Mandal, B. N. “Numerical solution of an integral equation arising in the problem of cruciform crack using Daubechies scale function”. Mathematical Sciences. 2020. Vol.14 No.1. P.21-27. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40096-019-00312-w>
103. Shensa, M. J. “The discrete wavelet transform: wedding the a trous and Mallat algorithms”. IEEE Transactions on signal processing 1992. Vol. 40. No.10. P. 2464-2482. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/ca7a/7b68935c38e52749cb4028ad941d068635da.pdf>
104. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., Dmytryk, S. «Вейвлет-перетворення Атеб-Габор фільтрації у біометричних зображеннях. Електронне фахове наукове видання». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2020. Том 3. №7. С. 115-130. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/327690887.pdf>
105. Nazarkevych M., Logoyda M., Dmytruk, S., Voznyi, Y., Smotr, O “Identification of Biometric images using latent elements”. CEUR Workshop Proceedings. 2019. P.99-108 URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/5995/1/IDDM_2019-

[%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0-%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82.pdf](#)

106. Хромов, Д. В. «Модели и алгоритмы построения криволинейных скелетов пространственных форм». Doctoral dissertation М.: МГУ. 2013. С. 23 URL: <https://static.freereferats.ru/avtoreferats/01006575029.pdf>

107. Hrytsyk, V., Grondzal, A., & Bilenkyj, A. “Augmented reality for people with disabilities”. In 2015: Xth International Scientific and Technical Conference. “Computer Sciences and Information Technologies”. IEEE. 2015. P.188-191. URL: https://www.researchgate.net/profile/Volodymyr_Hrytsyk/publication/314935714_Augmented_reality_for_people_with_disabilities/links/619cd158d7d1af224b1a5f03/Augmented-reality-for-people-with-disabilities.pdf

108. Prasad, M. V. D., Krishna, N. S., Ahammad, S. H., & Kumar, G. N. S. “Security Systems For Identification And Detection Fingerprint Based On Cnn And Fcn.” URL: https://www.researchgate.net/profile/Gurram-Santosh-Kumar/publication/339325036_Security_Systems_For_Identification_And_Detection_Fingerprint_Based_On_Cnn_And_Fcn/links/5e4b8b34458515072da6fad3/Security-Systems-For-Identification-And-Detection-Fingerprint-Based-On-Cnn-And-Fcn.pdf

109. Bontrager, P., Togelius, J., & Memon, N. “Deepmasterprint: Generating fingerprints for presentation attacks”. arXiv preprint arXiv:1705.07386. 2017. URL: https://www.researchgate.net/profile/Nasir-Memon/publication/317061803_DeepMasterPrint_Generating_Fingerprints_for_Presentation_Attacks/links/59622694a6fdccc9b139dc6e/DeepMasterPrint-Generating-Fingerprints-for-Presentation-Attacks.pdf

110. Drets, G., & Liljenström, H. “Fingerprint sub-classification and singular point detection”. International journal of pattern recognition and artificial intelligence. (1998). Vol.12 No.04 P.407-422. URL: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218001498000269>

- Ali, S. M., & Al-Zewary, M. S. "A new fast automatic technique for fingerprints recognition and identification". Journal of Islamic Academy of Sciences, (1997). Vol.10. No.2. P.55-60. URL: https://jag.journalagent.com/ias/pdfs/IAS_10_2_55_60.pdf
112. J. Cao and Q. Dai, "A novel online fingerprint segmentation method based on frame-difference." International Conference on Image Analysis and Signal Processing, Taizhou. (2009). P. 57-60. URL: <https://researchr.org/publication/icassp-2011>
113. Zhan, X., Sun, Z., Yin, Y., & Chen, Y. "Fingerprint image segmentation method based on MCMC&GA." In International Conference on Image Analysis and Processing. Springer, Berlin, Heidelberg. (2005). P. 391-398. URL: https://doi.org/10.1007/11553595_48
114. Tsmots, I., Skorokhoda, O. "Methods and VLSI-structures for Neural Element Implementation." Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, "MEMSTECH'2010" - Processing of the 6th International Conference. Polyana. (2005). P.135. URL: <https://www.proceedings.com/content/008/008468webtoc.pdf>
115. Tsmots, I., Skorokhoda, O., Rabyk, V. "Structure Software Model of a Parallel" Vertical Multi-input Adder for FPGA Implementation. "Computer Sciences and Information Technologies" Proceedings of 11th International Scientific and Technical Conference CSIT 2016. Lviv. P.158-160. URL: <https://books.google.pl/>
116. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., Hrytsyk, V., Klyujnyk, I., Havrysh, B., Lotoshynska, N. "Identification of Biometric Images by Machine Learning." In 2021 IEEE 12th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT). (2021). P. 95-98. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3101/Paper11.pdf>
117. Nazarkevych, M., Riznyk, O., Samoty, V., & Dzelendzyak, U. "Detection of regularities in the parameters of the ateb-gabor method for biometric image filtratio." Восточно-Европейский журнал передовых технологий. (2019). С.57-65. URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Vejpte_2019_1%282%29_6

118. Mariia Nazarkevych, Serhii Dmytruk, Volodymyr Hrytsyk, Olha Vozna, Anzhela Kuza, Oleksii Shevchuk, Vasyl Sheketa, Iryna Maslanych and Yaroslav Voznyi, "Evaluation of the effectiveness of different image skeletonization methods in biometric security systems", *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control*. (2020). Vol.10. No.1. URL: <https://doi.org/10.2174/2210327910666201210151809>.
119. Ding, Y., Zhuang, D., & Wang, K. A study of hand vein recognition method. In *IEEE International Conference Mechatronics and Automation*. (2005). Vol. No.4. P. 2106-2110. URL: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201014435574940.jsp-k1ff8j=SSMHB4&py=2012&vnc=v27n6&sp=588>
120. Rathgeb, C., & Uhl, A. "Two-factor authentication or how to potentially counterfeit experimental results in biometric systems." In *International Conference Image Analysis and Recognition*. (2010). P. 296-305. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-13775-4_30
121. M. Nazarkevych, V. Dordiak, V. Brytkovskyi, K. Pelekh, I. Pikh, Y. Voznyi. "Comparison of the Effectiveness of Fingerprint Skeletal Methods." 2019 XIth International Scientific and Practical Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT). Lviv, (2019). P. 19-23. doi: 10.1109/ELIT.2019.8892293 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8892293&isnumber=8892272>.
122. Hore, A., & Ziou, D. "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM". In 2010 20th International Conference on Pattern Recognition. (2010). P. 2366-2369. URL: https://www.researchgate.net/publication/220931731_Image_quality_metrics_PSNR_vs_SSIM
123. Ashraf, I., Hur, S., Park, S., & Park, Y. "DeepLocate: Smartphone Based Indoor Localization with a Deep Neural Network Ensemble Classifier. *Sensors*." (2020). Vol.20. No.1. P.133. URL: <https://www.techscience.com/cmc/v68n2/42170/html>
124. Tkachenko R., Tkachenko P., Izonin I., Tsymbal Y. "Learning Based Image Scaling Using Neural Like Structure of Geometric Transformation Paradigm." In:

Hassanien A., Oliva D. “Advances in Soft Computing and Machine Learning in Image Processing.” *Studies in Computational Intelligence*. (2018). Vol.730. P. 537-565. DOI: 10.1007/978-3-319-63754-9_25#citeas. URL:

<http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-c52e2881-2542-407f-bbcb-814f65ebc15a>

125. Okokpuije, K., Etinosa, N. O., John, S., & Joy, E. “Comparative analysis of fingerprint preprocessing algorithms for electronic voting processes.” In *IT Convergence and Security 2017*. Singapore. (2018). P. 212-219. URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/4/717/htm>

126. Bateman, C. J., Fourie, J., Hsiao, J., Irie, K., Heslop, A., Hilditch, A., ... & Ghamkhar, K. “Assessment of Mixed Sward Using Context Sensitive Convolutional Neural Networks.” *Frontiers in Plant Science*. (2020). P.11. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00159/full>

127. Nazarkevych, M., Lotoshynska, N., Klyujnyk, I., Voznyi, Y., Forostyna, S., & Maslanych, I. “Complexity Evaluation of the Ateb-Gabor Filtration Algorithm in Biometric Security Systems.” *2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*. (2019). P. 961-964. URL:

[https://books.google.pl/books?id=zMI5EAAAQBAJ&pg=PA585&lpg=PA585&dq=Nazarkevych,+M.,+Lotoshynska,+N.,+Klyujnyk,+I.,+Voznyi,+Y.,+Forostyna,+S.,+%26+Maslanych,+I.+%E2%80%9CComplexity+Evaluation+of+the+Ateb-Gabor+Filtration+Algorithm+in+Biometric+Security+Systems.%E2%80%9D+2nd+Ukraine+Conference+on+Electrical+and+Computer+Engineering.+\(2019\).+P.+961-964.&source=bl&ots=9-OgcKZx3E&sig=ACfU3U3PfJGIJSYqyxN0Qc7GycdXT8k5Vg&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwi585_0xbb3AhVMmIsKHbxWBgkQ6AF6BAgOEAM](https://books.google.pl/books?id=zMI5EAAAQBAJ&pg=PA585&lpg=PA585&dq=Nazarkevych,+M.,+Lotoshynska,+N.,+Klyujnyk,+I.,+Voznyi,+Y.,+Forostyna,+S.,+%26+Maslanych,+I.+%E2%80%9CComplexity+Evaluation+of+the+Ateb-Gabor+Filtration+Algorithm+in+Biometric+Security+Systems.%E2%80%9D+2nd+Ukraine+Conference+on+Electrical+and+Computer+Engineering.+(2019).+P.+961-964.&source=bl&ots=9-OgcKZx3E&sig=ACfU3U3PfJGIJSYqyxN0Qc7GycdXT8k5Vg&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwi585_0xbb3AhVMmIsKHbxWBgkQ6AF6BAgOEAM)

128. Kovalchuk, A., Lotoshynska, N., Izonin, I., & Berezko, L. “An Approach towards an Efficient Encryption-Decryption of Grayscale and Color Images.” *Procedia Computer Science*. (2019). Vol.155. P.630-635. URL: <https://in.booksc.eu/book/76969341/c4f39a>

129. Saggese, Steven, et al. "Biometric identification of newborns and infants by non-contact fingerprinting: lessons learned." *Gates Open Research* 3 (2019). URL: <https://gatesopenresearch.org/articles/3-1477>
130. Huckemann, S., Hotz, T., & Munk, A. "Global models for the orientation field of fingerprints: an approach based on quadratic differentials." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. (2008). Vol.30. No.9. P.1507-1519. URL: https://www.academia.edu/14726249/Global_Models_for_the_Orientation_Field_of_Fingerprints_An_Approach_Based_on_Quadratic_Differentials
131. Vizcaya, P. R., & Gerhardt, L. A. "A nonlinear orientation model for global description of fingerprints." *Pattern Recognition*. (1996). Vol.29. No.7. P.1221-1231. URL: <https://arxiv.org/pdf/1907.11449>
132. Chen, Chi-hau. "Handbook of pattern recognition and computer vision." World Scientific. (2015). URL: <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/9503>
133. Naccache, N. J., & Shinghal, R. "An investigation into the skeletonization approach of Hilditch." *Pattern Recognition*. (1984). Vol.17. No.3. P.279-284. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0031320384900773>
134. Radhu Krishna, R. "Enhanced skeletonization algorithm for fingerprint images.» (2019). URL: https://www.researchgate.net/publication/340553719_Fingerprint_Recognition_Device_is_Built_on_the_Method_of_Filtering_Ateb-Gabor
135. Magagna, F., Valverde-Som, L., Ruíz-Samblás, C., Cuadros-Rodríguez, L., Reichenbach, S. E., Bicchi, C., & Cordero, C. "Combined untargeted and targeted fingerprinting with comprehensive two-dimensional chromatography for volatiles and ripening indicators in olive oil." *Analytica chimica acta*. (2016). Vol.936. P.245-258. URL: <http://cse.unl.edu/~reich/publications/aca2016.pdf>
136. Howse, J. "OpenCV computer vision with python." Packt Publishing Ltd. (2013). URL:

<https://aiidecoe.com/images/Learning%20openCV3%20computer%20vision%20with%20Python.pdf>

137. Gollapudi, S. "OpenCV with Python." In Learn Computer Vision Using OpenCV. (2019). P.31-50. URL: <https://dokumen.pub/learn-computer-vision-using-opencv-with-deep-learning-cnns-and-rnns-1st-ed-978-1-4842-4260-5978-1-4842-4261-2.html>
138. Shakeel, P. M., Tolba, A., Al-Makhadmeh, Z., & Jaber, M. M. "Automatic detection of lung cancer from biomedical data set using discrete AdaBoost optimized ensemble learning generalized neural networks." Neural Computing and Applications. (2019). P.1-14. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1007/s00521-018-03972-2>
139. Mishra, A., & Dehuri, S. "A Novel Hybrid FLANN-PsO Technique for real Time Fingerprint Classification." Medico-Legal Update, (2019). Vol.19. No.2. P.740-746. URL: <https://silicon.ac.in/research-publications/page/12/>
140. Nazarkevych, M., Klyujnyk, I., Maslanych, I., Havrysh, B., & Nazarkevych, H. "Image filtration using the Ateb-Gabor filter in the biometric security systems." XIV-th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design. (2018). P. 276-279. URL: <https://in.booksc.eu/book/70581537/6c4525>
141. Hore, A., & Ziou, D. "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM." 20th international conference on pattern recognition. (2010). P. 2366-2369. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Image-Quality-Metrics%3A-PSNR-vs.-SSIM-Hor%C3%A9-Ziou/4a9a98cc86b1e07e548b7edee045275a793f6698>
142. Wang, J., Chen, P., Zheng, N., Chen, B., Principe, J. C., & Wang, F. Y. "Associations between MSE and SSIM as cost functions in linear decomposition with application to bit allocation for sparse coding." Neurocomputing. (2021). Vol.422. P.139-149. URL: https://primo.qatar-weill.cornell.edu/discovery/fulldisplay/cdi_gale_infotraccademiconefile_A648520359/974WCMCIQ_INST:VU1

143. Garcia, L. J., Timmermans, M., Pozuelos, F. J., Ducrot, E., Gillon, M., Delrez, L., ... & Jehin, E. "A Python framework for modular astronomical images processing." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. (2022). Vol.509. No.4. P. 4817-4828. URL: https://www.researchgate.net/publication/358763080_TESS_discovery_of_a_sub-Neptune_orbiting_a_mid-M_dwarf_TOI-2136
144. Kovalsky, B., Dubnevyh, M., Holubnyk, T., Pysanchyn, N., & Havrysh, B. "Development of a technology for eliminating color rendering imperfections in digital photographic images." *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. (2019). Vol.1. No.2. P.40-47. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6693297/>
145. Nazarkevych, M., Oliiarnyk, R., Nazarkevych, H., Kramarenko, O., & Onyshchenko, I. "The method of encryption based on Ateb-functions." In *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing*. (2016). P.129-133. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919310051>
146. Nazarkevych, M., Logoyda, M., Troyan, O., Vozniy, Y., & Shpak, Z. "The Ateb-Gabor Filter for Fingerprinting." In *International Conference on Computer Science and Information Technology*. (2019). P.247-255. URL: https://www.researchgate.net/publication/336989109_The_Ateb-Gabor_Filter_for_Fingerprinting
147. Zhang, Q., Zhou, D., & Zeng, X. "Machine learning-empowered biometric methods for biomedicine applications." *AIMS Medical Science*. (2017). Vol.4. No.3. P.274-290. URL: https://www.researchgate.net/publication/318564666_Machine_Learning-Empowered_Biometric_Methods_for_Biomedicine_Applications
148. Kasproski, P., & Ober, J. "Eye movements in biometrics." In *International Workshop on Biometric Authentication*. Berlin (2017). P.248-258. URL: https://www.researchgate.net/publication/354466090_Biometric_Identification_Based_on_Eye_Movement_Dynamic_Features

149. Medykovsky, M., Lipinski, P., Troyan, O., & Nazarkevych, M. "Methods of protection document formed from latent element located by fractals." Xth International Scientific and Technical Conference" Computer Sciences and Information Technologies". (2015). P.70-72. URL: <https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/61>
150. Syazana-Itqan, K., Syafeeza, A. R., Saad, N. M., Hamid, N. A., & Saad, W. H. B. M. (2016). A review of finger-vein biometrics identification approaches. Indian J. Sci. Technol, (2016). Vol.9. No.32. P.1-9. URL: <https://sciresol.s3.us-east-2.amazonaws.com/IJST/Articles/2016/Issue-32/Article33.pdf>
151. Nazarkevych, M., Voznyi, Y., & Nazarkevych, H. "Розроблення методу машинного навчання при біометричному захисті із новими методами фільтрації." Електронне фахове наукове видання" Кібербезпека: освіта, наука, техніка".(2021). № 3(11), с. 16-30. URL: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.1630> .
152. Nazarkevych, M., Kynash, Y., Oliarnyk, R., Klyujnyk, I., & Nazarkevych, H. "Application perfected wave tracing algorithm." First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. (2017). P. 1011-1014. URL: https://www.researchgate.net/publication/336989109_The_Ateb-Gabor_Filter_for_Fingerprinting
153. Nazarkevych, M., Yavourivskiy, B., & Klyuynyk, I. "Editing raster images and digital rating with software." In The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. (2015). P. 439-441. URL: [https://books.google.pl/books?id=tc6kDwAAQBAJ&pg=PA213&lpg=PA213&dq=Nazarkevych,+M.,+Yavourivskiy,+B.,+%26+Klyuynyk,+I.+%E2%80%9CEditing+raster+images+and+digital+rating+with+software.%E2%80%9D+In+The+Experience+of+Designing+and+Application+of+CAD+Systems+in+Microelectronics.+\(2015\).+P.+439-441.&source=bl&ots=v6wk4zwoR8&sig=ACfU3U0DUIBsQTMxSew2Xn-_T0YzrpvNOg&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjAvbXtybb3AhUhAxAIHWhJAu0Q6AF6BAgCEAM#v=onepage&q=Nazarkevych%2C%20M.%2C%20Yavourivskiy%2C%20B.%2C%20%26%20Klyuynyk%2C%20I.%20%E2%80%9CEditing%20raster%20images%20and%20digital%20rating%20with%20software.%E2%80%9D%20In%20The%20](https://books.google.pl/books?id=tc6kDwAAQBAJ&pg=PA213&lpg=PA213&dq=Nazarkevych,+M.,+Yavourivskiy,+B.,+%26+Klyuynyk,+I.+%E2%80%9CEditing+raster+images+and+digital+rating+with+software.%E2%80%9D+In+The+Experience+of+Designing+and+Application+of+CAD+Systems+in+Microelectronics.+(2015).+P.+439-441.&source=bl&ots=v6wk4zwoR8&sig=ACfU3U0DUIBsQTMxSew2Xn-_T0YzrpvNOg&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjAvbXtybb3AhUhAxAIHWhJAu0Q6AF6BAgCEAM#v=onepage&q=Nazarkevych%2C%20M.%2C%20Yavourivskiy%2C%20B.%2C%20%26%20Klyuynyk%2C%20I.%20%E2%80%9CEditing%20raster%20images%20and%20digital%20rating%20with%20software.%E2%80%9D%20In%20The%20)

[Experience%20of%20Designing%20and%20Application%20of%20CAD%20Systems%20in%20Microelectronics.%20\(2015\).%20P.%20439-441.&f=false](http://www.researchgate.net/publication/310458441)

154. Vegas, S. P. “Fingerprint image classification and retrieval using statistical methods.” Gujarat Technological University, Ahmedabad. (2018). URL: http://gtusitecirculars.s3.amazonaws.com/uploads/Thesis_119997107012_Sudhir%20P%20Vegad_827358.pdf

155. Чжу Е., Гуо Х. та Инь Дж. “Ходьба до окремих точок відбитків пальців.” Розпізнавання образів. (2016). Том.56. С. 116-128. URL: https://www.wszia.opole.pl/ebook/TSE_2016.pdf

156. Чжоу Дж., Чен Ф. і Гу Дж. “Новий алгоритм для виявлення окремих точок із зображень відбитків пальців.” Транзакції IEEE щодо аналізу шаблонів та машинного інтелекту. (2008). Том.31. №7. С.1239-1250. URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/conf-2022-akov/telecom_2022_volume_2.pdf

157. Peralta, D., Triguero, I., García, S., Saeys, Y., Benitez, J. M., & Herrera, F. “Distributed incremental fingerprint identification with reduced database penetration rate using a hierarchical classification based on feature fusion and selection.” Knowledge-Based Systems. (2017). Vol.126. P.91-103. URL: <https://biblio.ugent.be/publication/8524049>

158. Росс А., Шах Дж. та Джейн А. К. “Від шаблону до зображення: відновлення відбитків пальців з дрібниць.” Транзакції IEEE щодо аналізу шаблонів та машинного інтелекту. (2007). Том.29. №.4. С.544-560. URL: http://biometrics.cse.msu.edu/Publications/Fingerprint/FengJain_FpReconstruct_PAMI10.pdf

159. Джейкоб А. Дж., Бхуван Н. Т. та Тампі С. М. “З’єднання на рівні функцій за допомогою кількох відбитків пальців.” Міжнародний журнал з комп’ютерних додатків, спеціальний випуск з обчислювальної науки – нові виміри та перспективи. (2011). URL: <https://www.amcs.uz.zgora.pl/?action=online>

160. Нандакумар К., Джайн А.К. та Панканті С. (2007). “Нечітке сховище на основі відбитків пальців: реалізація та продуктивність.” Трансакції ІЕЕЕ щодо інформаційної криміналістичної експертизи та безпеки. (2007). Том.2. №.4. С.744-757. URL: <https://pdfcoffee.com/biometricsecurity-pdf-free.html>
161. Ватса, М., Сінгх, Р., і Нур, А. “Зменшення частоти помилкових відхилень розпізнавання райдужної оболонки за допомогою текстурних і топологічних особливостей.” Журнал обробки сигналів. (2005). URL: <http://zbum.ia.pw.edu.pl/PL/node/22>
162. Mariya Nazarkevych, Hanna Nazarkevych, Yaroslav Voznyi, Iryna Maslanych. “The Development of Information Technology of Biometric Protection with an Image Filtration Based on Ateb-Gabor.” Proceedigs of the Xth International Scientific and Practical Conference Electronics and Information Technologies (2018). Lviv. URL: <https://drive.google.com/file/d/1gyva6D6Qi7x2awvIwUHhPEuSCvdroJRe/view?usp=sharing> .
163. Nazarkevych, M., Kipish, M., Voznyi, Y., Sydorenko, Y., Podavalkina, M., Shevchuk, O. “Fingerprint Recognition Device is Built on the Method of Filtering Ateb-Gabor” IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology. (2019). P.179-182. DOI: 10.1109/PICST47496.2019.9061509 URL:<https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061509> . EID: 2-s2.0-85083680416.
164. Voznyi, Y., Nazarkevych, M., Hrytsyk, V., Lotoshynska, N., Havrysh, B. “Проектування системи автентифікації біометричного захисту на основі методу к-середніх”. Електронне фахове наукове видання “Кібербезпека: освіта, наука, техніка”. (2021). № 4 (12). С. 85-95. URL: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.12.8595> .
165. Ahmed, S., Lee, Y., Hyun, S. H., & Koo, I. “Covert cyber assault detection in smart grid networks utilizing feature selection and euclidean distance-based machine learning.” Applied Sciences. (2018). Vol.8. No.5. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/5/772>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В НАУКОВУ РОБОТУ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор
з наукової роботи

нашого університету

«Київська політехніка»

І. В. Демидов

06 2022 р.

АКТ

про використання результатів дисертації роботи
Возного Ярослава Васильовича «Методи та засоби підвищення якості
попереднього опрацювання біометричних зображень»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії при виконанні
науково-дослідної роботи

Комісія у складі начальника науково-дослідної частини д.т.н., ст.досл. Р.В. Небесного, завідувача кафедри інформаційних технологій видавничої справи д.т.н., проф. Р.О.Ткаченка, завідувачки відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень к.т.н. Г. В. Лазько та начальниці планово-фінансової групи Т. М. Чулой підтверджують цим актом, що результати дисертації Я. В. Возного «Методи та засоби підвищення якості попереднього опрацювання біометричних зображень» використано при виконанні науково-дослідної роботи, яка виконувалася за кошти державного бюджету «Нейромережева технологія захисту та передачі даних у реальному часі з використанням шумоподібних кодів», номер державної реєстрації 0119U002256.

Використано такі результати:

Побудова математичної моделі вейвлет-Атеб-Габора для розпізнавання та ідентифікації біометричної інформації

Розроблення інформаційної системи та програмних засобів системи передачі даних.

Голова комісії

Начальник НДЧ, д.т.н. ст.досл.

Члени комісії:

Завідувачка відділу науково-організаційного

супроводу наукових досліджень

Начальниця планово-фінансової групи

Завідувач кафедри інформаційних

технологій видавничої справи

Р.В.Небесний

Г.В. Лазько

Т.М. Чулой

Р.О.Ткаченко

ДОДАТОК Б . АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В. КАРПЕНКА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора
з наукової роботи
Фізико-механічного інституту
ІМ. Г.В. Карпенка
НАН України
Д.М. Андрейко

«__» _____ 2022 р.

АКТ

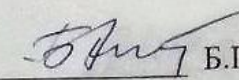
про впровадження результатів дисертації роботи
Возного Ярослава Васильовича
«Методи та засоби підвищення якості попереднього опрацювання
біометричних зображень»

Даним актом засвідчується, що наукові результати, отримані Я.В. Возним в дисертаційній роботі «Методи та засоби підвищення якості попереднього опрацювання біометричних зображень», впроваджені в процесі розробки перспективних систем розпізнавання та захисту інформації, а саме:


- метод Габор-фільтрації, який за рахунок використання Атеб-функцій забезпечує розширення наборів фільтрів та покращує якість зображень.
- метод вейвлет-Габор-фільтрації, який внаслідок використання вейвлет-Атеб-перетворення забезпечує підвищення контрастності для формування скелета зображення.

Отримані в дисертаційній роботі результати представляють практичну цінність при розробленні програмно-апаратних засобів систем обробки, розпізнавання та захисту інформації.

Завідувач відділу інформаційних технологій
дистанційного зондування Фізико-механічного
інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України,
д.т.н., проф.

 Б.П. Русин

ДОДАТОК В . АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС


 "ЗАТВЕРЖУЮ"
 Проректор з науково-педагогічної роботи
 Національного університету
 "Львівська політехніка"
 Давидчук О.Р.
 "___" _____ 2022 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційних досліджень
 аспіранта Возного Ярослава Васильовича на тему
**«МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОПЕРЕДНЬОГО
 ОПРАЦЮВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ»**,
 представленої до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Комісія у складі Медиковського Миколи Олександровича, директора інституту комп'ютерних наук і інформаційних технологій, проф., д.т.н.;
 Різника Олега Яремовича, к.т.н., доц.;
 Логойди Миколи Михайловича, к.т.н., доц.

Склали даний акт у тому, що в навчальному процесі кафедри інформаційних технологій видавничої справи Національного університету "Львівська політехніка" для студентів першого (бакалаврського) рівня базової освіти спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" галузі знань 18 "Виробництво і технології" використовуються результати дисертаційних досліджень аспіранта кафедри ІТВС Возного Ярослава Васильовича на тему «Методи та засоби підвищення якості попереднього опрацювання біометричних зображень».


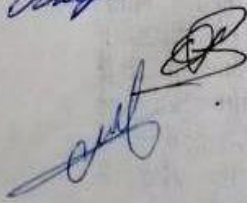
Зокрема у дисциплінах:

- "Проектування систем видавничо-поліграфічних виробництв" (у темі 2 "Інформаційні системи та їх характеристики", лекція 1, пункт 4 "Методи проектування інформаційних систем") використовуються інформаційні технології біометричного захисту які базуються на використанні структурного підходу зверху вниз.
- "Технології друкарства" (у лекція 1 - "Історичний огляд розвитку комп'ютерних видавничих систем", п.5 "Програмне забезпечення КВС", лекція 2 - "Операції кольороподілу") - використовуються методи ідентифікації зображень із врахуванням різних технологічних умов, на етапі розпізнавання.
- "Типографіка та редагування" (у модулі 1, лекція 13 "Комп'ютерні шрифти. Мова Adobe PostScript", пункт 13.4 - "Кодування шрифту", лекція 15 "Формати комп'ютерних шрифтів", пункт 15.5 - "Підтримка ліцензійних обмежень")- використовуються методи захисту та побудова інформаційної технології захисту на основі біометричних характеристик.

Ефект від використання результатів дисертаційної роботи Возного Ярослава Васильовича полягає у вивченні майбутніми фахівцями сучасних методів та засобів захисту біометричних зображень на етапі попередньої опрацювання.

Голова комісії:
 Директор ІКНІ,
 проф., д.т.н.

Члени комісії:
 заст. зав. каф. ІТВС
 к.т.н., доц.
 к.т.н., доц.


 Медиковський Микола Олександрович

 Різник Олег Яремович
 Логойда Микола Михайлович.

ДОДАТОК Д. КОД ПРОГРАМИ

```

from scipy.special import gamma
import matplotlib.pyplot as plt
def period(m, n):
    a = 1/(m+1);
    b = 1/(n+1);
    return (gamma(a)*gamma(b))/gamma(a+b)
import numpy as np
from scipy.integrate import odeint
import matplotlib.pyplot as plt

# function that returns dz/dt
alpha = -1
betha = 1

n = 1
m = 0.1
P = period(m, n)
num = 100000;
def model(z,t):
    dxdt = -alpha* z[1]**n #pow(z[1],n)
    dydt = -betha*z[0]**m
    dzdt = [dxdt,dydt]
    return dzdt

# initial condition
z0 = [0,1]

# time points
t = np.linspace(0,P, num)

```

```

# solve ODE
z = odeint(model,z0,t)

# plot results
plt.plot(t,z[:,0],'b-',label=r'$\frac{dx}{dt}=3 \cdot \exp(-t)$')
plt.plot(t,z[:,1],'r--',label=r'$\frac{dy}{dt}=-y+3$')
plt.ylabel('response')
plt.xlabel('time')
plt.legend(loc='best')
plt.show()
def ca(t):
    return z[t,0]
def cat(x):
    res = 0;
    while(x>2*P):
        x = x - 2*P;
    while(x<0):
        x = x + 2*P;
    if (x == 2*P):
        res = z[0, 0]; return res;
    if (x<P):
        res = z[int(x/P*num), 1];
    else:
        res = -z[int((x-P)/P*num), 1];
    return res
t = np.linspace(0,5*P, 100);
r = np.zeros(101)
for i in t:
    #print(i)
    #print(int(num*i/(5*P)))
    r[int(100*i/(5*P))] = cat(i)

```

```

r = np.cos(t)
print(r);

import pylab as p
p.plot(t,r)

# Import python library for this notebook
import numpy as np # fundamental package for scientific computing
import matplotlib.pyplot as plt # package for plot function

# show figures inline
%matplotlib inline

def myimshow(I, **kwargs):
    # utility function to show image
    plt.figure();
    plt.axis('off')
    plt.imshow(I, cmap=plt.gray(), **kwargs)
def genSinusoid(sz, A, omega, rho):
    # Generate Sinusoid grating
    # sz: size of generated image (width, height)
    radius = (int(sz[0]/2.0), int(sz[1]/2.0))
    [x, y] = np.meshgrid(range(-radius[0], radius[0]+1), range(-radius[1],
radius[1]+1)) # a BUG is fixed in this line

    stimuli = A * np.cos(omega[0] * x + omega[1] * y + rho)
    return stimuli

theta = np.pi/4
omega = [np.cos(theta), np.sin(theta)]
sinusoidParam = {'A':1, 'omega':omega, 'rho':np.pi/16, 'sz':(512,512)}

```

```

myimshow(genSinusoid(**sinusoidParam))
# ** is a special syntax in python, which enables passing a key-value
dictionary as parameter
def ca(x):
    result = np.zeros((np.size(x, 0), np.size(x, 1)))
    for i in range(np.size(x, 0)):
        for j in range(np.size(x, 1)):
            result[i][j] = cat(x[i][j])
    return result;
def genGabor(sz, omega, theta, func=np.cos, K=np.pi): # K=np.pi/4):
    radius = (int(sz[0]/2.0), int(sz[1]/2.0))
    [x, y] = np.meshgrid(range(-radius[0], radius[0]+1), range(-radius[1],
radius[1]+1))

    x1 = x * np.cos(theta) + y * np.sin(theta)
    y1 = -x * np.sin(theta) + y * np.cos(theta)

    gauss = omega**2 / (4*np.pi * K**2) * np.exp(- omega**2 / (8*K**2) * ( 4
* x1**2 + y1**2))
    # myimshow(gauss)
    sinusoid = func(omega * x1) * np.exp(K**2 / 2)
    # myimshow(sinusoid)
    gabor = gauss * sinusoid
    return gabor

g = genGabor((512,512), 0.3, np.pi/4, func=ca, K=4.5)
# change func to "cos", "sin" can generate sin gabor or cos gabor, here we pass
a function name as a parameter
myimshow(g)
np.mean(g)
myimshow(g)

```



```
np.mean(g)
```

```
from IPython.html.widgets import interact, interactive, fixed
def demoGabor(theta, omega):
    myimshow(genGabor((512,512), omega, theta, func = ca))
interact(demoGabor, theta=(0,np.pi,np.pi/8), omega=(0.1,1,0.1))
```

```
theta = np.arange(0, np.pi, np.pi/3) # range of theta
```

```
omega = np.arange(0.2, 0.6, 0.1) # range of omega
```

```
params = [(t,o) for o in omega for t in theta]
```

```
sinFilterBank = []
```

```
cosFilterBank = []
```

```
gaborParams = []
```

```
for (theta, omega) in params:
```

```
    gaborParam = {'omega':omega, 'theta':theta, 'sz':(512, 512)}
```

```
    sinGabor = genGabor(func=np.sin, **gaborParam)
```

```
    cosGabor = genGabor(func=ca, **gaborParam)
```

```
    sinFilterBank.append(sinGabor)
```

```
    cosFilterBank.append(cosGabor)
```

```
    gaborParams.append(gaborParam)
```

```
plt.figure()
```

```
n = len(sinFilterBank)
```

```
for i in range(n):
```

```
    plt.subplot(4,4,i+1)
```

```
    # title(r'$\theta$={theta:.2f}$\omega$={omega}'.format(**gaborParams[i]))
```

```
    plt.axis('off'); plt.imshow(sinFilterBank[i])
```

```
plt.figure()
```

```
for i in range(n):
```

```
    plt.subplot(4,4,i+1)
```

```
# title(r'\theta$={theta:.2f}\omega$={omega}'.format(**gaborParams[i]))
plt.axis('off'); plt.imshow(cosFilterBank[i])
```

```
print(P)
```

```
from skimage.color import rgb2gray
```

```
from scipy.signal import convolve2d
```

```
zebra
```

```
=
```

```
rgb2gray(plt.imread('G:/_Public2020/_biometr/ekspirement_finger/input/7.png' ))
```

```
plt.figure(); myimshow(zebra)
```

```
cosGabor = cosFilterBank[8]
```

```
plt.figure(); myimshow(cosGabor)
```

```
plt.figure(); myimshow(cosGabor)
```

```
%time res = convolve2d(zebra, cosGabor, boundary='wrap', mode='valid') #
```

Will take about one minute

```
plt.figure(); myimshow(cosGabor)
```

```
myimshow(res)
```

```
plt.imsave("G:/_Public2020/_biometr/ekspirement_finger/Ateb/7_Atebm0_1n1
sigmapi_1.png", res)
```

```
print("Image written to file-system : ", "yes")
```

```
from scipy import signal
```

```
from scipy import misc
```

```
ascent= rgb2gray(plt.imread('D:/Temp/messi5.bmp')) #ascent = misc.ascent()
```

```
scharr = np.array([[ -3-3j, 0-10j,  +3 -3j],
```

```
[-10+0j, 0+ 0j, +10 +0j],
```

```
[ -3+3j, 0+10j,  +3 +3j]]) # Gx + j*Gy
```

```
grad = signal.convolve2d(ascent, scharr, boundary='symm', mode='valid')
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```

fig, (ax_orig, ax_mag, ax_ang) = plt.subplots(3, 1, figsize=(6, 15))
ax_orig.imshow(ascent, cmap='gray')
ax_orig.set_title('Original')
ax_orig.set_axis_off()
ax_mag.imshow(np.absolute(grad), cmap='gray')
ax_mag.set_title('Gradient magnitude')
ax_mag.set_axis_off()
ax_ang.imshow(np.angle(grad), cmap='hsv') # hsv is cyclic, like angles
ax_ang.set_title('Gradient orientation')
ax_ang.set_axis_off()
fig.show()

import cv2
img1 =
cv2.imread('G:/_Public2020/_biometr/ekspirement_finger/Ateb/7_Atebm0_1n1sigma
pi_1.png')
img2 =
cv2.imread('G:/_Public2020/_biometr/ekspirement_finger/Ateb/7_Atebm1n1sigmapi
_1.png')
cv2.PSNR(img1, img2)

import numpy as np
import math

img1 = img1.astype(np.float64) / 255.
img2 = img2.astype(np.float64) / 255.
mse = np.mean((img1 - img2) ** 2)
np.mean(mse)
10 * math.log10(1. / mse)*100/361.20199909921956

```