

## АЛГОРИТМИ ВИДІЛЕННЯ ТЕКСТУРНИХ ОЗНАК РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА

*Ауθενфікація людини поза всяких сумнівів є актуальним завданням, практичним вирішенням якого зайняті тисячі і мільйони людей по всьому світу. Завдання ауθενфікації і ідентифікації людини тепер вирішуються за допомогою автоматичних біометричних систем, складаючи одну з нових областей прикладної математики, біометричну ідентифікацію. З точки зору надійності, найбільш ефективними на сьогодні методами ідентифікації та ауθενфікації є біометричні, які дозволяють вирішити проблеми втрати паролів та особистих ідентифікаторів. Серед біометричних технологій однією із найперспективніших є біометрія з використанням райдужної оболонки ока, яка має специфічну структуру і містить багато текстурної інформації. Просторові структури, які спостерігаються в райдужці, унікальні для кожного індивіда, а індивідуальні відмінності з'являються в процесі анатомічного розвитку. Обмежуючим фактором для поширення систем ідентифікації по райдужній оболонці ока завжди була їх висока вартість але постійні дослідження та розробки дозволять знизити витрати, а розширення сфери використання - дозволить технології ауθενфікації по райдужній оболонці ока зайняти помітний сегмент на ринку систем контролю доступу.*

*В роботі здійснено аналіз недоліків обробки райдужної оболонки ока математичним апаратом Габора, який використовує доктор Джон Даугман, запропоновано альтернативний метод виділення інформативних ознак з зображення райдужної оболонки людини, який заснований на використанні DoG-фільтра. Особливістю DoG-фільтра є те, що його відгук змінює знак в тих областях зображення, де присутній перепад яскравості. В однорідних областях зображення відгук фільтра дорівнює нулю, однак таких областей на зображенні райдужної оболонки практично не зустрічається.*

*Перевагою використання DoG-фільтра є те, що для обчислень використовується тільки простір декартових координат, що є природним для обробки зображень, а також отримані ознаки забезпечують кращий поділ класів, ніж ознаки на основі фільтрів Габора.*

*Ключові слова: Аутентифікація, біометрична ідентифікація, фільтр Габора, DoG-фільтр, бінарізація зображення, відстань Хеммінга.*

**Вступ та постановка проблеми.** У сучасному світі надзвичайно гостро стоїть проблема захисту інформації. Автоматизація процесу ідентифікації користувача важлива складова розвитку сучасного суспільства. На сьогоднішній день використання паролів системи ідентифікації вже не задовольняє вимогам безпеки. Завдання аутентифікації і ідентифікації людини тепер вирішуються за допомогою автоматичних біометричних систем. При біометричній ідентифікації використовуються унікальні характеристики окремо взятої людини. Це можуть бути як вроджені ознаки (відбитки пальців, райдужна оболонка ока), так і набуті характеристики (почерк, голос або хода).

Серед біометричних технологій однією із найперспективніших є біометрія з використанням райдужної оболонки людського ока, яка має специфічну структуру і містить багато текстурної інформації. Просторові структури, які спостерігаються в райдужці, унікальні для кожного індивіда, а індивідуальні відмінності з'являються в процесі анатомічного розвитку. Вважається, що підробити ідентифікаційні дані при використанні цього методу - неможливо. Зауважимо, що крім індивідуального малюнка райдужної оболонки, людське око володіє унікальними світло відбиваючими характеристиками (за рахунок стану тканин і природного зволоження), які враховуються в процесі зчитування інформації, що також може бути використано для додаткового підвищення рівня безпеки. Деякі автоматизовані системи контролю доступу також фіксують мимовільні рухи очного яблука, властиві живій людині. Дослідники з Варшавського політехнічного університету стверджують, що розроблений ними алгоритм машинного навчання, здатний відрізнити райдужні оболонки живих і мертвих людей з точністю в 99%. В своїх дослідженнях вони використовують фізіологічну особливість людського організму, а саме: після смерті зіниця розширюється, роблячи область райдужки занадто вузькою, що робить її непридатною для сканування. Ще однією перевагою методу є те, що носіння контактних лінз, навіть кольорових, не є проблемою. Це робить застосування подібних систем ідентифікації та верифікації ще більш привабливим. Крім того, у порівнянні з іншими біометричними методами, ідентифікація по райдужці є стабільнішою і надійною [1-5].

Обмежуючим фактором для поширення систем ідентифікації по райдужній оболонці ока завжди була їх висока вартість. Але згідно з дослідженнями агентства MarketsandMarkets розмір ринку розпізнавання райдужної оболонки досягне \$ 3,6 млрд до 2020 року[6]. Також стрімкий розвиток даної технології підтверджують дослідження компанії Frost&Sullivan та TechNavio.

Біометрична система може бути розділена на дві підсистеми: модуль реєстрації та модуль ідентифікації (рис. 1) [7].

Модуль реєстрації відповідає за навчання системи ідентифікації пропонованої особистості. У процесі реєстрації біометричний сенсор сканує ознаки користувача, щоб отримати їх цифрове представлення. Детектор ознак виконує цю процедуру, щоб отримати компактне і інформативне уявлення, зване шаблоном. Шаблон для кожного з користувачів зберігається в базі даних біометричної системи.

Модуль ідентифікації відповідає за розпізнавання людини. У процесі ідентифікації, біометричний сенсор отримує характеристику людини, що підлягає ідентифікації і перетворює в формат шаблону. Отриманий шаблон передається в блок зіставлення, який порівнює його з шаблонами, збереженими в базі даних, щоб визначити чи збігаються шаблони.

Загальна схема роботи біометричних систем ідентифікації представлено на рис. 1:



Рисунок 1 – Загальна схема роботи біометричних систем ідентифікації

Отже, актуальні є дослідження в області розробки нових методів аналізу і розпізнавання зображення райдужної оболонки, що будуть стійкі до різних видів перешкод які виникають при зйомці і які дозволили б поліпшити характеристики системи, а також знизити вимоги до апаратури, зменшивши її вартість.

У представленій роботі не будуть розглядатися методи реєстрації зображень, виділення області інтересу, оцінки якості зображення, а тільки напрямок по обчисленню інформативних ознак райдужної оболонки ока.

**Аналіз останніх досліджень.** Розвиток біометричної ідентифікації по райдужній оболонці ока розпочався в середині 1980-их років. Перші алгоритми розпізнавання людей по райдужній оболонці з'явилися в 1987 у доктора Джона Даугмана. Тому впершу чергу розглянемо саме цей алгоритм розпізнавання для чорно-білого зображення ока, він складається з двох частин - сегментація і порівняння.

Сегментація - це виділення самого ока на зображенні. Алгоритм сегментації сильно залежить від використовуваного обладнання і оптичної конфігурації. На відміну від порівняння, яке є математично строгим завданням, сегментація це завдання із занадто більшою кількістю змінних. Даугман в своєму патенті пропонував при сегментації шукати очі як окружність для якої градієнт максимальний (1) [8, 9, 11]:

$$grad = \max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{d}{dx} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|, \quad (1)$$

де  $G$  - оператор гаусового розмиття зображення, а  $I(x, y)$  - саме зображення,  $x_0, y_0$  - координати центру зображення,  $r$  - радіус,  $ds$  - елементарна дуга. При цьому кількість гіпотез, які потрібно перебирати приблизно дорівнює  $WH \cdot (R_{max} - R_{min})$ , де  $W$  - ширина зображення,  $H$  - його висота,  $R_{max}$  і  $R_{min}$  максимальні і мінімальні радіуси відповідно. Алгоритм Даугмана це вивернуті навиворіт перетворення Хафа для кіл. У чистому вигляді його не можна застосувати. Перетворення Хафа саме по собі не стабільно до того ж на сучасних процесорах Intel CORE™ i3 (використовувався комп'ютер Lenovo X131e і MatLab 2015) ця операція для HD зображення без попередньої оптимізації складає близько 450 - 750 мілісекунд.

Після знаходження області зіниці і райдужної оболонки [11-13], необхідно провести порівняння с іншими, для цього райдужка розгортається з полярних координат в Декартові і представляється як прямокутник для подальшої фільтрації. В якості фільтра Даугман пропонував використати фільтр Габора, який дозволяє підкреслити характеристичні області та знизити високочастотні шуми [8, 9, 11]. Фільтр Габора залежить від частоти і напрямки квазіперіодичної структури зображення. Тому перед застосуванням фільтра, необхідно побудувати частотне поле для поточного зображення в полярній системі координат. Зазвичай, для спрощення завдання розраховується середня частота зображення, яка вважається незмінною в кожній точці.

Визначивши частоту і 4 напрямки, попередньо будуються 4 фільтра Габора по одному на кожен напрямок. Далі в кожній точці зображення відбувається згортка фільтра із зображенням по визначеній області, що дає вихідне значення нового зображення.

Після фільтрації зображення райдужної оболонки ока - кодують і отримують двійковий код - *IrisCode*.

Методи отримання *IrisCode* можуть бути наступні: бінарзація по яскравості пікселя (необхідно обчислювати оптимальний поріг бінарзації), або бінарзація з використанням 2D-вейвлетів Габора [11-15].

Щоб порівняти дві райдужки для отриманих *IrisCode* використовують відстань Хеммінга, яка є мірою кореляції об'єктів. Чим менше відстань Хеммінга між двома кодами, тим подібніші коди [11-14].

**Виклад основного матеріалу.** Фільтри Габора мають недолік, що полягає в недостатній обчислювальній ефективності. Існує альтернатива фільтрам Габора – це один з найбільш обчислювально ефективних смугових фільтрів - DoG-фільтр (Difference of Gaussian) [12, 13], для якого на відміну від фільтра Габора існує рекурсивний алгоритм. Пропонується система ознак на основі DoG-фільтра. DoG-фільтр описується наступним виразом:

$$DoG(x, y) = g(x, y, \sigma) - g(x, y, k * \sigma), \quad (2)$$

$$\text{де } g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}\right). \quad (3)$$

Однією з особливостей DoG-фільтра є те, що його відгук змінює знак в тих областях зображення, де присутній перепад яскравості. Структура райдужки може бути закодована знаками відгуку DoG-фільтра:

$$Ir(x, y) = \begin{cases} 1, & D(x, y) \geq 0 \\ 0, & D(x, y) < 0 \end{cases}, \quad (4)$$

де  $D(x, y) = I(x, y) * DoG(x, y, \sigma)$ ,  $(x, y)$  – позиція, в якій визначається біт коду райдужки.

Для кодування райдужної оболонки ока застосовувати значення фаз відгуків фільтра. Але ці відгуки повинні мати постійний стрибок для їх відмінності. Виходячи з обробки сигналів [14,15] ми знаємо, що якщо АЧХ проходить через 0 осі частот то фази гармонік отримують постійний стрибок на  $\pi$ . Щоб фази вищих гармонік не стрибали при декількох переходах АЧХ через 0, потрібно щоб АЧХ мала всього один перехід через 0, а потім поступово наближалась по своєму значенню до 0. Таким чином гармоніки фільтрованого зображення будуть мати значення які знаходяться в межах від 0 до  $\pi$  і від  $\pi$  до  $2\pi$ . Якщо АЧХ фільтра представити кривою яка отримується різницею двох гаусіанів рис. 2.

Імпульсну характеристику фільтра отримуємо як двовимірне дискретне перетворення Фур'є

$$\dot{h}(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{n=1}^{n_{max}} \{DoG\} e^{+j\frac{2\pi nk}{N}}, \quad (5)$$

Д

є  $n, k$  – довжина маски фільтра в частотній області, маска квадратна  $m_{max} = k_{max}$ ,  $x, y$  – просторові координати, цілі числа.

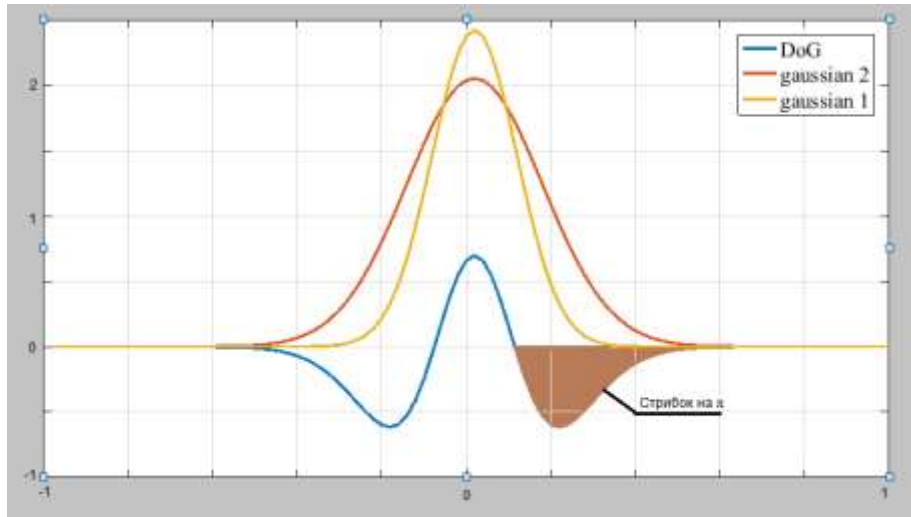


Рисунок 2 – АЧХ модифікованого DoG-фільтра

АЧХ фільтра описується наступною формулою

$$DoG = [g(n, k\sigma_1) - g(n, k\sigma_2)], \quad (6)$$

де  $\sigma_2 > \sigma_1$ ,  $\sigma_2 = s\sigma_1$ ,  $s$ - коефіцієнт розширення.  $\sigma = \frac{\Delta\omega}{|\hat{\omega}|}$  де  $\hat{\omega} = \pm 1$ - нормована частота,  $\Delta\omega \leq |\hat{\omega}|$ .

Фазовий відгук зображення райдужки отримується з виразу

$$\phi_{Ir} = -\arctan \frac{Im [I(x,y) \cdot \dot{h}(x,y)]}{Re [I(x,y) \cdot \dot{h}(x,y)]}. \quad (7)$$

Операція в квадратних дужках – це згортка зображення райдужної оболонки ока з імпульсною характеристикою удосконаленого DoG-фільтра.

$$Iris = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0 \leq \phi_{Ir} < \pi \\ 0, & \text{якщо } \pi \leq \phi_{Ir} < 2\pi \end{cases}. \quad (8)$$

Провівши кодування понад 200 зображень зафіксовано, що гістограма розподілу матриці коду зображення райдужної оболонки наближується до рівномірної (рис. 3).

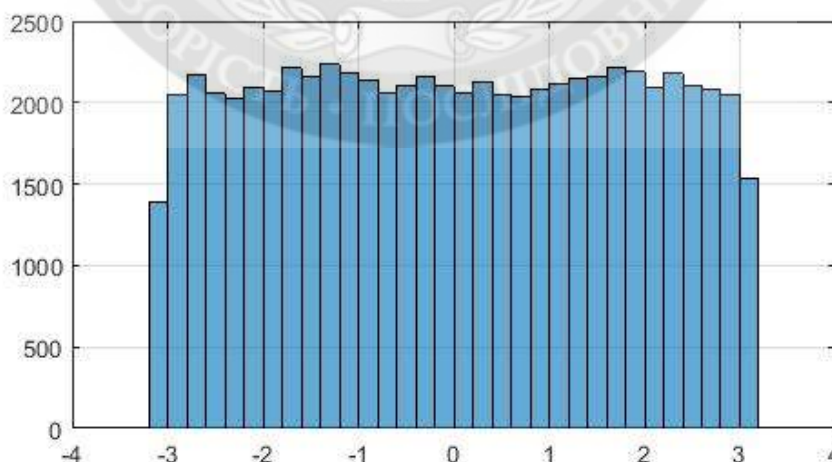


Рисунок 3 – Гістограма відгуків POO після модифікованого DoG-фільтра

Запропоновані ознаки, також як і ознаки на основі фаз вейвлетів Габора, що не залежать від зміни яскравості і контрасту зображення, а визначаються тільки його структурою. У той же час, вони мають більшу обчислювальну ефективність.

Використання DoG-фільтра в запропонованому методі не тільки дає змогу чітко біналізувати зображення райдужки за допомогою АЧХ-апроксимації даного фільтра, а і дає вигреш в часі. Провівши експериментальне порівняння швидкодії фільтра Габора і АЧХ-апроксимації DoG-фільтра можемо констатувати, що використання запропонованого фільтра дає вигреш в часі трішки більше ніж 20 разів, ілюстрація даного факту приведена на рис 4, зазначимо що порівняння проводилося в середовищі Matlab 2016, на Lenovo X131e RAM 4 Gb.

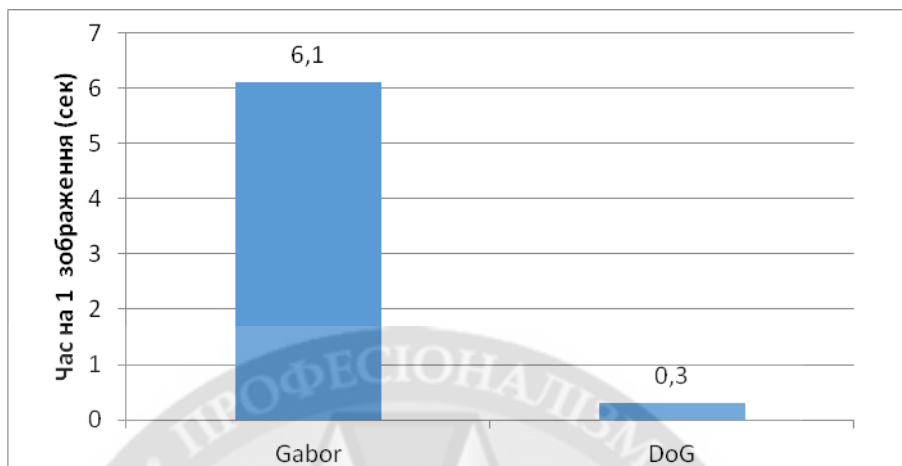


Рисунок 4 – Порівняння швидкодії фільтрів

**Висновки.** В роботі розглянуто основи та алгоритми попередньої обробки зображення райдужної оболонки ока. Для виділення текстурних ознак зображення райдужної оболонки ставляться такі вимоги 1) нечутливість до змін яскравості і контрасту; 2) нечутливість до зсуву зображення (до повороту в полярній системі координат); 3) хороша розділяюча здатність.

Фільтр Габора поступається в обчислювальній ефективності DoG-фільтру. Тому система ознак на основі DoG-фільтра може виявитися більш ефективною.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Мороз А. О. Біометричні технології ідентифікації людини. Огляд систем. / Мат. машини і системи. 2011. №1. С. 39–45.
2. Фесенко А. О. Швець В.А. Основні біометричні характеристики, сучасні системи та технології біометричної аутентифікації. / Безпека інформації. 2013. №2. С. 99–111.
3. Фенюк М. В. Аналіз недоліків систем автоматизованого захисту інформації та методів біометричної автентифікації, які в них використовуються / Мат. машини і системи. 2012. №3. С. 116–123.
4. Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека / Г.А. Кухарев. СПб:Изд. Политехника, 2001. 240 с
5. Біометрична автентифікація та криптографічний захист: монографія / Б.П. Русин, Я.Ю. Варещкий. Л. : Вид. Коло. 2007. 287 с.
6. marketsandmarkets.com Iris Recognition Market by Component (Hardware & Software), Product (Scanner & Others), Application (Access Control & Others), Industry (Travel & Immigration, Military & Defense, & Others) & Geography Global - Forecast to 2020 [Електронний ресурс] marketsandmarkets.com, 2019. Режим доступу до ресурсу: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iris-recognition-market-141994093.html>
7. Фесенко А.О. Цифрові фільтри зображень / Фесенко А.О., Оксіюк О.Г., Фесенко В.О.// ITSEC: матеріали VII міжнародної науково- технічної конференції. – 16-18 трав. 2017р.: тези доп. – К.: НАУ, 2017. – С. 36.
8. Daugman J. Downing C. Epigenetic randomness, complexity, and singularity of human iris patterns [Електронний ресурс] Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences, 2001. pp. 1737-1740. Режим доступу до журн.: <https://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/roysoc.pdf>.

9. Daugman J. Biometric decision landscapes [Електронний ресурс] Technical Report No. TR482, University of Cambridge Computer Laboratory, 2000. Proc. Roy. Soc. 268, pp 1-13. Режим доступу до ресурсу: <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-482.pdf>.
10. Hao F., Anderson R. and Daugman J. Combining crypto with biometrics effectively [Електронний ресурс] IEEE Transactions on Computers, 2006, pp. 1081-1088. Режим доступу до журн.: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1668036>.
11. C. Rathgeb, A. Uhl, P. Wild. Iris-biometrics: from segmentation to template security. Advances in Information Security, Springer. – 2013.
12. L. Wu, X. Liu, S. Yuan, P. Xiao. A novel key generation cryptosystem based on face features. In Signal Processing (ICSP), 2010 IEEE
13. M.R. Ogiela, L. Ogiela. Image based crypto-biometric key generation. 2011 Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, Fukuoka, Japan. – 2011. – pp. 673–678.
14. Sunil Chawla, Aashish Oberoi. A Robust Algorithm for Iris Segmentation and Normalization using Hough Transform. Global Journal of Business Management and Information Technology. – 2011. – Vol. 1, No. 2. – pp.69–76
15. Daugman J. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence [Електронний ресурс] IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993 pp. 1148-1161. Режим доступу до журн.: <https://ieeexplore.ieee.org/document/244676>.
16. biometrics.idealtest.org CASIA Iris Subject Ageing Version, [Електронний ресурс] biometrics.idealtest.org, 2019. Режим доступу до ресурсу: <http://biometrics.idealtest.org/findDownloadDbByMode.do?mode=Iris>.
17. Цифровая обработка изображений в среде МАТЛАВ: підручник / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. М.: Техносфера, 2006. — 616 с.
18. Комп'ютерні методи обробки сигналів і зображень : підручник / К. Х. Зеленський, В. В. Поліновський, Н. В. Ігнатенко. – Київ: Університет " Україна ", 2013. – 350 с.
19. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах : підручник / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак. – В: Вид. ВНТУ, 2014. – 232 с.
20. Цифрова обробка сигналів : підручник / А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. Л.: Вид. Видавництва Львівської політехніки, 2010. 368 с.

#### REFERENCES:

1. Moroz A. O. (2011) «Biometrychni tekhnologhiji identyfikaciji ljudy» [Biometric person identification technology. Overview], *Mat. mashyny i systemy*, The institute of mathematical machines and systems problems National academy of science of Ukraine Publ., Kyiv, vol1, pp 39-45.
2. Fesenko A.O. and Shvets V.A. (2013) «Osnovni biometrychni kharakterystyky, suchasni systemy ta tekhnologhiji biometrychnoji avtentyfikaciji» [Basic biometric characteristics, modern systems and technologies of biometric authentication], *Bezpeka informaciji*, National aviation university Publ., Kyiv, vol.2, pp. 99–111.
3. Fenjuk M. V. (2012) «Analiz nedolikhiv system avtomatyzovanogho zakhystu informaciji ta metodiv biometrychnoji avtentyfikaciji, jaki v nykh vykorystovujutsja» [Analysis of disadvantages of automated data protection systems and biometric authentication methods that are used], *Mat. mashyny i systemy*, The institute of mathematical machines and systems problems National academy of science of Ukraine Publ., Kyiv, vol.3, pp 116-123.
4. Kukharev G.A. (2001) «Byometrycheskye systems: Metody y sredstva ydentyfikacyy lychnosty cheloveka» [*Biometric systems: Methods and means of identifying a person*], Polytekhnika, Sankt-Peterburgh, 240 p.
5. Rusyn B. P. and Vareckyj Ja. Ju. (2007) «Biometrychna avtentyfikacija ta kryptografichnyj zakhyst: monoghrafija» [Biometric authentication and cryptographic protection], Kolo, Lviv, 287 p.
6. marketsandmarkets.com, (2019), Iris Recognition Market by Component (Hardware & Software), Product (Scanner & Others), Application (Access Control & Others), Industry (Travel & Immigration, Military & Defense, & Others) & Geography Global - Forecast to 2020, marketsandmarkets.com, [www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iris-recognition-market-141994093.html](http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iris-recognition-market-141994093.html) (accessed 13 October 2019).
7. Fesenko A.O., Oksiiuk O.Gh. and Fesenko V.O. (2017) « Cyfrovi filtry zobrazenij » [Digital image filters], *ITSEC: materialy VII mizhnarodnoji naukovo- tekhnichnoji konferenciji. – 16-18 trav. 2017*, National aviation university Publ., Kyiv, pp 36.
8. Daugman J. and Downing C., (2001), «Epigenetic randomness, complexity, and singularity of human iris patterns» [Epigenetic randomness, complexity, and singularity of human iris patterns],

*Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences*, Proc. Roy. Soc. 268, pp. 1737-1740, [www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/roysoc.pdf](http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/roysoc.pdf) (accessed 13 October 2019).

9. Daugman J., (2000), «Biometric decision landscapes» [Biometric decision landscapes], *University of Cambridge Computer Laboratory*, Technical Report No. TR482, pp 1-13, [www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-482.pdf](http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-482.pdf).

10. Hao F., Anderson R. and Daugman J., (2006), «Combining crypto with biometrics effectively» [Combining crypto with biometrics effectively], *IEEE Transactions on Computers*, VOL 55, pp. 1081-1088, [ieeexplore.ieee.org/document/1668036](http://ieeexplore.ieee.org/document/1668036).

11. C. Rathgeb, A. Uhl, P. Wild. Iris-biometrics: from segmentation to template security. *Advances in Information Security*, Springer. – 2013.

12. L. Wu, X. Liu, S. Yuan, P. Xiao. A novel key generation cryptosystem based on face features. In *Signal Processing (ICSP)*, 2010 IEEE

13. M.R. Ogiela, L. Ogiela. Image based crypto-biometric key generation. 2011 Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, Fukuoka, Japan. – 2011. – pp. 673–678.

14. Sunil Chawla, Aashish Oberoi. A Robust Algorithm for Iris Segmentation and Normalization using Hough Transform. *Global Journal of Business Management and Information Technology*. – 2011. – Vol. 1, No. 2. – pp.69–76

15. Daugman J., (1993), «High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence» [High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence], *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Volume: 15, Issue: 11, Nov 1993, pp 1148 – 1161, <https://ieeexplore.ieee.org/document/244676>.

16. [biometrics.idealtest.org](http://biometrics.idealtest.org), (2019), «CASIA Iris Subject Ageing Version» [CASIA Iris Subject Ageing Version], [biometrics.idealtest.org](http://biometrics.idealtest.org), <http://biometrics.idealtest.org/findDownloadDbByMode.do?mode=Iris>.

17. Gonsales R., Vuds R. and Eddyns S., (2006), «Cyfrovaja obrabotka yzobrazhenyj v srede MATLAB: pidruchnyk» [Digital image processing in MATLAB], Tekhnosfera, Moscow, 616 p.

18. Zelenskyj K.Kh., Polinovs'kyj V.V, Ighnatenko N. V., (2013), «Komp'juterni metody obrobky syghnaliv i zobrazhenj : pidruchnyk » [Computer Signal and Image Processing Techniques], University «Ukraine», Kyiv, pp 350.

19. Bortnyk Gh.Gh. and Kychak V.M., (2014), « Cyfrova obrobka syghnaliv v telekomunikacijnykh systemakh : pidruchnyk » [Digital signal processing in telecommunication systems], VNTU, Vinnytsia, pp 232.

20. Nakonechnyj A.J., Nakonechnyj R.A. and Pavlysh V.A., (2010), «Cyfrova obrobka syghnaliv : pidruchnyk» [Digital signal processing], Vydavnytvo Ljvivs'koji politekhniki, Lviv, pp368.

д.т.н., проф. Окснюк А.Г., к.т.н. Фесенко А.А.,  
к.т.н., доц. Вялкова В.И., к.т.н., доц. Швец В.А.

## АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕКСТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА

*Аутентификация человека вне всяких сомнений является актуальной задачей, практическим решением которой заняты тысячи и миллионы людей по всему миру. Задачи аутентификации и идентификации человека сейчас решаются с помощью автоматических биометрических систем, образуя одну из новых областей прикладной математики, биометрическую идентификацию. С точки зрения надежности, наиболее эффективными на сегодня методами идентификации и аутентификации является биометрические, которые позволяют решить проблемы потери паролей и личных идентификаторов. Среди биометрических технологий одной из самых перспективных является биометрия с использованием радужной оболочки глаза, которая имеет специфическую структуру и содержит много текстурной информации. Пространственные структуры, наблюдаемые в радужке, уникальные для каждого индивида, а индивидуальные различия появляются в процессе анатомического развития. Ограничивающим фактором для распространения систем идентификации по радужной оболочке глаза всегда была их высокая стоимость, но постоянные исследования и разработки позволяют снизить расходы, а расширение сферы использования - позволит технологии аутентификации по радужной оболочке глаза занять значительный сегмент на рынке систем контроля доступа.*

*В работе проведен анализ недостатков обработки радужной оболочки глаза математическим аппаратом Габора, который использует доктор Джон Даугман, предложен альтернативный метод выделения информативных признаков с изображения радужной оболочки человека,*

который основан на использовании DoG-фильтра. Особенности DoG-фильтра является то, что его отклик меняет знак в тех областях изображения, где присутствует перепад яркости. В однородных областях изображения отклик фильтра равен нулю, однако таких областей на изображении радужной оболочки практически не встречается.

Преимуществом использования DoG-фильтра является то, что для вычисления используется только пространство декартовых координат, что является естественным для обработки изображений, а также полученные признаки обеспечивают лучшее разделение классов, чем признаки на основе фильтров Габора.

Ключевые слова: Аутентификация, биометрическая идентификация, фильтр Габора, DoG-фильтр, бинаризации изображения, расстояние Хемминга.

prof. Oksiyuk O.G., Ph.D. Fesenko A.O., Ph.D. Assoc. Vyelkova V.I., Ph.D. Assoc. Shvets V.A.  
ALGORITHMS OF SEPARATION OF TEXTURAL MARKS OF THE IRRITANT EYE

*Undoubtedly, human authentication is an urgent task, a practical solution that employs thousands and millions of people around the world. The tasks of authentication and human identification are now solved with the help of automatic biometric systems, constituting one of the new fields of applied mathematics, biometric identification. From the point of view of reliability, the most effective methods of identification and authentication today are biometrics, which allow to solve the problems of losing passwords and personal identifiers. Among biometric technologies, one of the most promising is biometrics with the use of the iris, which has a specific structure and contains a lot of textural information. Spatial structures observed in the iris are unique to each individual, and individual differences appear in the process of anatomical development. The limiting factor for the proliferation of Iris systems has always been their high cost, but ongoing research and development will reduce costs, and expanding the scope will allow authentication technology for Iris to occupy a prominent segment in the access control market.*

*The paper analyzes the disadvantages of iris processing using the Gabor mathematical apparatus used by Dr. John Daugman and offers an alternative method of extracting informative features from the image of the iris, based on the use of a DoG filter. A feature of the DoG filter is that its response changes the mark in areas of the image where there is a difference in brightness. In homogeneous areas of the image, the response of the filter is zero, but there are almost no such areas in the image of the iris.*

*The advantage of using a DoG filter is that only the Cartesian coordinate space, which is natural for image processing, is used to calculate it, and the features obtained provide better class separation than features based on Gabor filters.*

Keywords: Biometric identification authentication, Gabor filter, DoG filter, image binarization, Hamming distance.