

В.Г. Чернікова, А.А. Астраханцев, Г.Є. Ляшенко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПО РАЙДУЖНІЙ ОБОЛОНЦІ ОКА

Метою даної роботи є порівняльний аналіз алгоритмів біометричної ідентифікації по райдужній оболонці ока на основі фільтру Габора та комбінації фільтрів Гауса та Лапласа. Дослідження алгоритмів включають розробку програмних моделей, які виконують обробку зображення ока з бази даних CASIA-Iris-Interval, застосування фільтрів, створення коду райдужної оболонки на його основі, занесення в базу та метод перевірки з еталоном. Порівняння досліджуваних алгоритмів показує, що використання в алгоритмі фільтрів Гауса та Лапласа є значно більш ефективним і безпечним і результати досліджень можуть бути використані при побудові дистанційних систем автентифікації з передачею шаблону по відкритому каналу зв'язку з завадами.

**Ключові слова:** біометричний шаблон, автентифікація за райдужною оболонкою, фільтр Гауса, фільтр Габора, стійкість.

### Вступ

У зв'язку з швидкою еволюцією загроз традиційний захист інформації за допомогою паролю вже не є досить надійним. Йому на зміну приходять біометричні системи, деякі з яких за останні роки придбали досить велику популярність серед користувачів завдяки своїй захищеності та зручності використання. Серед таких систем, як найбільш стійку до підробки та безпечну для здоров'я, можна виділити систему автентифікації по райдужній оболонці ока. Завдяки складності малюнку райдужної оболонки можливо відібрати близько 250 точок, за допомогою яких забезпечується високий ступінь надійності автентифікації. Крім того, райдужна оболонка ока не змінюється з часом та є унікальною навіть у близнюків. На сьогодні не має єдиного стандартизованого алгоритму розпізнавання по райдужній оболонці, тому питання вибору найбільш оптимального є достатньо актуальним.

Зараз розпізнавання по райдужній оболонці поступається за популярністю лише методу автентифікації за відбитком пальцю і має гарні перспективи використання для посвідчення особи у біометричних паспортах та інших документах[1; 9; 11]. На даний момент впроваджуються системи віддаленої біометричної ідентифікації у «хмарі» та на деяких сайтах державних послуг. Такі системи реалізуються за схемою, наведеною на рис.1. Використання райдужної оболонки ока у таких системах дозволило б проводити ідентифікацію користувачів за допомогою мобільних пристроїв.

**Метою даної роботи** є порівняльний аналіз алгоритмів біометричної ідентифікації по райдужній оболонці ока на основі фільтру Габора та комбінації фільтрів Гауса та Лапласа. Досліджувані алгоритми

можуть застосовуватися для віддаленої автентифікації користувачів мобільних пристроїв по відкритих каналах зв'язку з завадами (рис. 1).

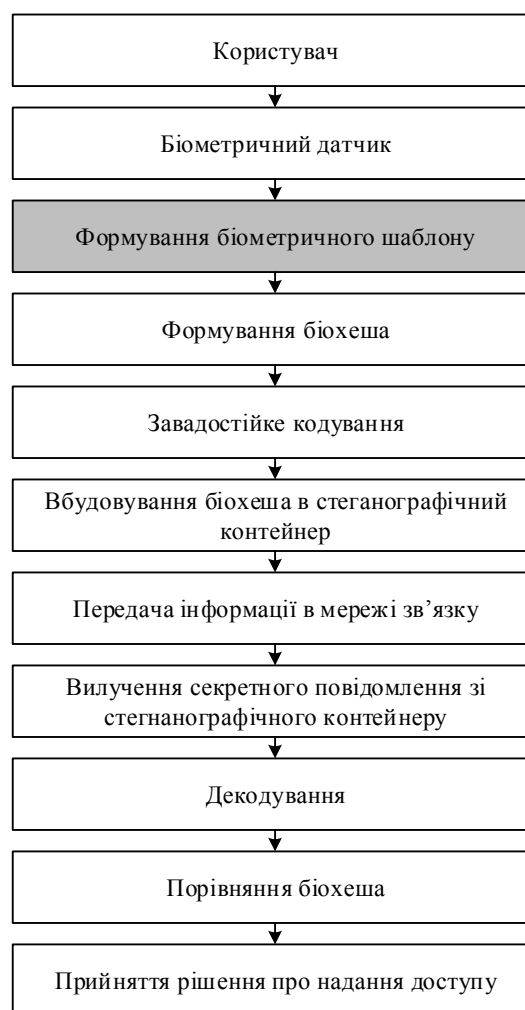


Рис. 1. Узагальнена модель віддаленої автентифікації

## I. Загальний алгоритм розпізнавання по райдужній оболонці

У якості біометричного шаблону для ідентифікації на основі райдужної оболонки виступає тканина «trabecular meshwork», яка робить видимими поділи райдужної оболонки на радіальні сектори. Інші видимі характеристики включають кільця, борозни, веснянки і область "корони". Процес розпізнавання по райдужній оболонці ока поєднує в собі декілька етапів: обробку зображення ока, застосування фільтру, генерацію коду райдужної оболонки на основі фільтру, занесення в базу та порівняння кодів райдужки з еталоном (рис. 2).

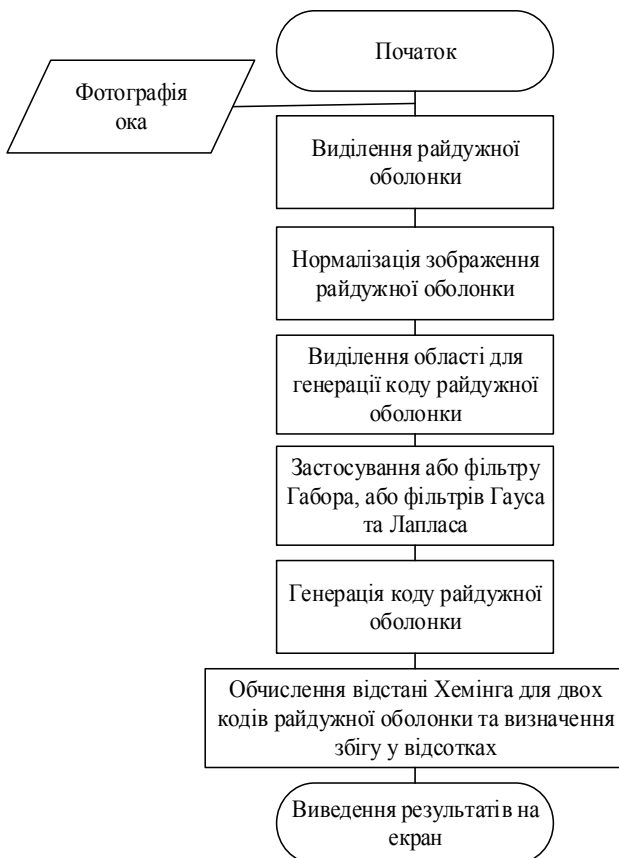


Рис. 2. Алгоритм розпізнавання по райдужній оболонці ока

Обробка зображення включає в себе перетворення зображення у градації сірого, виділення контуру знімки, виділення контуру райдужної оболонки, нормалізацію зображення та виділення правої верхньої чверті нормалізованого зображення, до якої далі буде застосовуватися один з вищеписаних фільтрів (рис. 2).

Оскільки порівнюються не зображення, а коди, то механізмом, що забезпечує надійність системи, є застосування фільтру. Далі досліджується ефективність двох механізмів – фільтру Габора та комбінації фільтрів Гауса та Лапласа – у поєднанні з іншими етапами розпізнавання по райдужній оболонці та результати їх тестувань.

## II. Огляд фільтру Габора та комбінації фільтрів Гауса та Лапласа

Фільтр Габора був запропонований Джоном Даугманом і діє наступним чином. Для вилучення фазової інформації до кожній точки обраної області застосовуються двомірні хвилі Габора [2]. На відміну від амплітудної інформації, фазова складова не залежить від контрасту зображення і освітлення, що є значною перевагою. В основу фільтру Габора покладена гармонічна функція помножена на Гаусіан [5]. Це відображено у формулі (1):

$$g(x, y, \lambda, \theta, \sigma, \psi, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right), \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі множника косинуса;  $\psi$  – зсув фаз в градусах;  $\gamma$  – коефіцієнт стиснення, що характеризує еліптичність функції Габора;  $\sigma$  – параметр, від якого залежать розміри ядра;  $x'$  та  $y'$  визначаються за формулами (2) і (3);

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta; \quad (2)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta, \quad (3)$$

де  $x$  – рядок у матриці ядра;  $y$  – стовпець у матриці ядра;  $\theta$  – орієнтація нормалі паралельних смуг функції Габора в градусах.

Наступний механізм представляє комбінацію фільтрів Гауса та Лапласа. Гаусова фільтрація виконується шляхом згортання кожної точки вхідного масиву з гаусовим ядром та їх подальшого складання для створення вихідного масиву. Фільтр Гауса застосовується для видалення шуму і базується на наступній формулі (4):

$$G_0(x, y) = A \exp\left(-\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad (4)$$

де  $x$  – рядок у матриці ядра;  $y$  – стовпець у матриці ядра;  $\mu$  – пік функції;  $\sigma$  – дисперсія.

Фільтр Лапласа базується на операторі Лапласа, дія якого полягає в наступному. В крайовій області інтенсивність пікселя показує "стрибок" або високу різницю інтенсивності. При отриманні першої похідної від інтенсивності можна спостерігати, що край характеризується максимумом. Друга похідна буде дорівнювати нулю. Таким чином за цим критерієм можна виявити краї на зображенні. В основу оператора Лапласа покладена формула (5):

$$L(f) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, \quad (5)$$

де  $x$  – рядок у матриці ядра;  $y$  – стовпець у матриці ядра.

Застосовуються ці фільтри на попередньо виділену область райдужної оболонки.

### III. Моделювання алгоритму розпізнавання по райдужній оболонці

Розглянемо алгоритм (рис. 2) більш детально. В якості тестових зображень були обрані фотографії ока розміром 320x280 пікселів з бази даних CASIA-Iris-Interval. Ці зображення вже представлені в градаціях сірого. На прикладі одного з них (рис. 3) буде продемонстровано роботу досліджуваної програмної моделі процесу обробки райдужної оболонки ока.

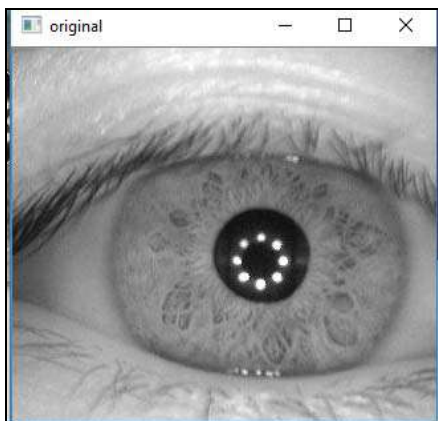


Рис. 3. Приклад досліджуваного зображення

Для отримання окремого зображення райдужної оболонки необхідно виділити її зовнішні та внутрішні кордони. Виділення внутрішніх кордонів здійснюється за допомогою виділення контуру зіниці. Для уникнення виділення зайвих контурів потрібно зробити очищення зображення. Під очищенням зображення мається на увазі розширення всіх знайдених кордонів. Збільшення розміру ліній навколо знайдених компонентів допомагає об'єднати їх у великі лінійні сегменти. Таким чином, лінії, які були в повному обсязі визначені під час детектування кордонів, придбають форму. Завдяки цьому, ймовірність, що периметр зіниці прийме форму замкнутого кола, збільшується. Для цього використовується фільтр розмиття по Гаусу (рис. 4).

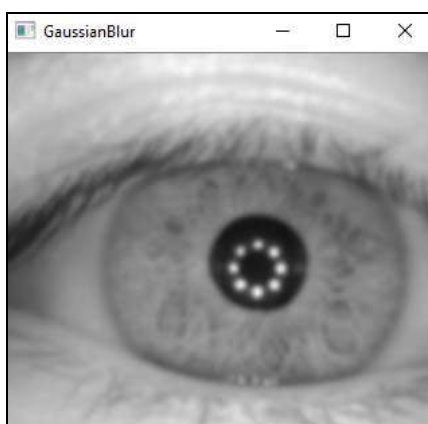


Рис. 4. Зображення після застосування фільтра Гауса

Для виділення контуру зіниці використовується детектор Canny. Детектор використовує фільтр на

основі першої похідної від Гаусіана. Так як він сприйнятливий до шумів, краще не застосовувати даний метод на необроблених фотографіях, тому було виконане очищення зображення.

Детектор Canny здійснює виділення пікселів, що знаходяться на кордонах, оператором Собеля на матриці з розмірами 3x3. Оператор виділяє в якості пікселів ті з них, на яких дискретний аналог градієнта досягає локального максимуму. Після цього детектор робить зв'язку окремих пікселів, виділених оператором Собеля, в нерозривні фрагменти кордону. З цієї метою здійснюється простежування виділених фрагментів з обробкою двопороговою процедурою. Піксель відноситься до граничних, якщо зафіксований на ньому локальний максимум градієнта перевищує встановлений верхній поріг, що забезпечує подальше зниження чутливості до шумів. Крім того оператор простеження володіє консервативністю, формує зв'язкові ділянки кордону. Консервативність полягає в тому, що після виявлення граничного пікселя до фрагменту кордону відносяться сусідні з ним до тих пір, поки значення градієнта не опиниться нижче нижнього порога. Застосування детектора Canny зображене на рис. 5.

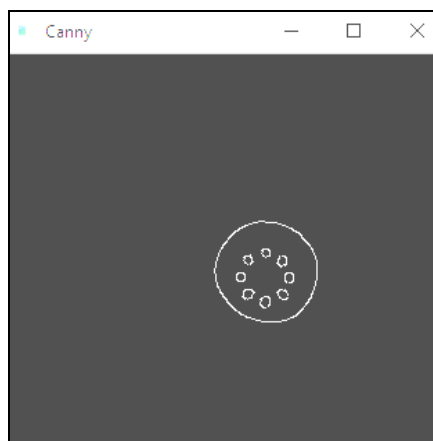


Рис. 5. Зображення після застосування детектора Canny

Детектувати кола можна за допомогою перетворення Хафа. Суть роботи перетворення Хафа полягає в наступному. У зображенні, що містить пікселі, віднесені до кордону за результатами роботи детектора Canny, послідовно аналізуються всі точки кордонів на приналежність до шуканого об'єкту. Для випробуваної точки розраховуються параметри кола і в параметричному просторі Хафа фіксується факт отримання цих значень.

Після випробування всіх точок зображення в цьому просторі реалізується процедура голосування: виділяються і фіксуються в якості справжніх значення параметрів, отримані в результаті найбільшої кількості випробувань. Завдяки перетворенню Хафа можна виявити радіус та координати центру окружності зіниці (рис. 6).

```
radius = 37
center x = 187 center y = 157
```

Рис. 6. Радіуси центру окружності після перетворення Хафа

Райдужна оболонка має діаметр приблизно 10-13 мм. Відповідно до цієї інформації було виділено зовнішній контур райдужної оболонки. Для зображень з бази даних CASIA-Iris-Interval радіус райдужної оболонки становить приблизно 100 пікселів. Таким чином, було виділено її зовнішні та внутрішні межі (рис. 7).

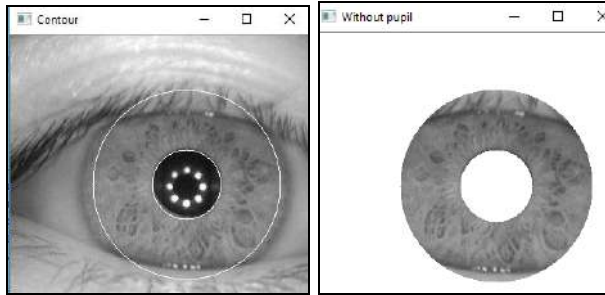


Рис. 7. Виділення зовнішнього контуру райдужної оболонки

Оскільки необхідно врахувати здатність зіниці зменшуватися та збільшуватися і зміну зображення ока за рахунок зміни фізичного положення людини стосовно камери, слід привести кільцеподібний малюнок райдужки до стандартизованого виду. Це виконується за допомогою перетворення зображення в полярну систему координат. Для знаходження координат  $x$  та  $y$  полярної системи координат використовуються формули (6) та (7) відповідно:

$$x = r \cdot (x_0 + R \cdot \cos(\alpha)); \quad (6)$$

$$y = r \cdot (y_0 + R \cdot \sin(\alpha)), \quad (7)$$

де  $x_0$  та  $y_0$  – координати центру райдужної оболонки;  $R$  – радіус райдужної оболонки;  $r$  – розраховується за формулою (8):

$$r = \sum_{j=0}^n \frac{j}{n}, \quad (8)$$

$n$  – висота нормалізованого зображення;  $j$  – значення координати ординати  $y$  у пікселях нормалізованого зображення  $\alpha$  – кутова координата, що розраховується за формулою (9);

$$\sum_{i=0}^{\theta} \alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{\theta}, \quad (9)$$

де  $\theta$  – ширина нормалізованого зображення;  $i$  – значення координати абсциси  $x$  у пікселях нормалізованого зображення.

При перетворенні зображення у полярну систему координат слід врахувати виключення зіниці із перетворення за вище названими формулами. За допомогою вказаних цих формул було перетворено у

полярну систему координат райдужну оболонку (рис. 8).



Рис. 8. Контур райдужної оболонки у полярних координатах

Попередні дослідження [1-6] показали, що найбільша частина важливої інформації райдужної оболонки знаходиться у правій верхній чверті райдужної оболонки, тому для подальшої обробки необхідно вирізати цю ділянку з нормалізованого зображення. У деяких випадках верхня або нижня повіки можуть потрапити в нормалізоване зображення. Оскільки, вони не несуть інформації для ідентифікації, їх також необхідно видалити. На рис. 9 продемонстроване зображення ділянки райдужної оболонки із урахуванням вище зазначених критеріїв.

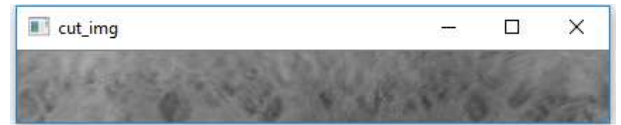


Рис. 9. Досліджувана частина контуру райдужної оболонки

Після цього зображення вважається готовим для того, щоб з нього можна було вилучити важливі дані. Для вилучення важливих даних до зображення на рисунку 9 застосовується або фільтр Габора (рис. 10), або комбінація фільтрів Гауса та Лапласа (рис. 11), які були описані в першому пункті.

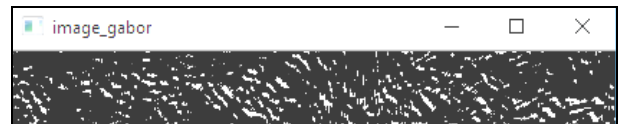


Рис. 10. Застосування фільтру Габора

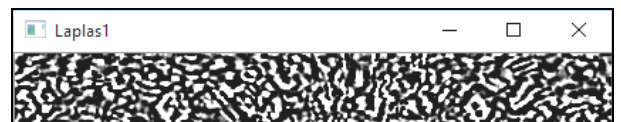


Рис. 11. Застосування комбінації фільтрів Гауса та Лапласа

Після застосування одного з фільтрів виконується створення коду райдужної оболонки. Для кодування використовуються 0 та 1, які встановлюються в залежності від значення пікселю зображення, до якого був застосований фільтр Габора. Оскільки, значення пікселів може бути, в даному випадку, лише 0 – для чорного та 255 – для білого, то відповідно 0 та 1 будуть записуватися IrisCode. Таким чином, підсумкова довжина опису райдужної оболонки залежить від кількості точок, в яких знаходять фазову інформацію, тобто кількості пікселів зображення.

Перш ніж занести користувача до бази даних, виконується перевірка на наявність цього користувача в базі. У разі позитивної відповіді занесення не виконується. Під час пошуку виконується підрахунок користувачів, необхідний в протилежному випадку. Для занесення нового користувача йому присвоюється ідентифікатор рівний кількості користувачів в базі (перший ідентифікатор дорівнює нулю). Далі відбувається занесення коду у базу.

Для розпізнавання користувача виконуються такі дії. На вхід поступає щойно зроблене зображення ока. Виконується його обробка (виділення контуру райдужної оболонки, нормалізація та виділення необхідної ділянки), накладається фільтр та проводиться генерація коду райдужної оболонки. Після цього виконується перебір усіх кодів та їхнє порівняння зі щойно зробленим за допомогою відстані Хемінга. Відстань Хемінга дорівнює числу позицій, в якій відповідні елементи двох послідовностей однакової довжини різні, і обчислюється як

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|, \quad (10)$$

де  $d_{ij}$  – відстань Хемінга для послідовностей  $i$  та  $j$ ;  $p$  – довжина послідовностей;  $k$  – номер елементу;  $x$  – елемент.

При знайденні шаблону, який відповідає щойно згенерованому коду, пошук припиняється і виводиться ідентифікатор користувача та дозвіл на допуск або заборона.

#### IV. Результати досліджень

Для перевірки ефективності та стійкості алгоритмів з різними фільтрами було виконано накладання шуму Перліна на тестові зображення. Результати виявлення порогу шуму для обох фільтрів наведено у гістограмі на рис. 12.

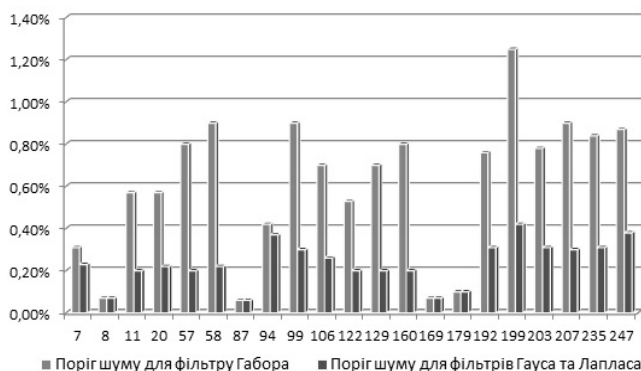


Рис. 12. Гістограма значень порогів шуму для досліджуваних фільтрів

Для аналізу рівня завад, що був внесений пороговим значенням шуму для кожного із зображень, було підраховано значення «сигнал/шум» (SNR) за формулою (11):

$$SNR = \sum_{x,y} (C_{x,y})^2 / \sum_{x,y} (C_{x,y} - S_{x,y})^2, \quad (11)$$

де  $x$  – номер рядка у зображенні;  $y$  – номер стовпця у зображенні;  $C_{x,y}$  – значення пікселя оригінального зображення;  $S_{x,y}$  – значення пікселя зображення, на яке був накладений шум.

Результати значень SNR для кожного із зображень, що тестуються, при використанні різних фільтрів занесені у табл. 1. В результаті розрахунків було виявлено досить велике значення SNR для більшості зображень, що характеризує низьку кількість завад на зображеннях, що були зашумлені. На основі цього можна зробити висновок, що обидва фільтри є чутливими до накладання шуму, що свідчить про їх стійкість. Як видно з таблиці 1 результати порогів шуму у фільтрах Гауса та Лапласа для зображень менші ніж для порогів шуму у фільтрі Габора, а показники SNR навпаки більші. З цього можна зробити висновок, що комбінація фільтрів Гауса та Лапласа є більш стійкою.

Таблиця 1  
Значення SNR при певному порозі шуму

Назва зображення	Поріг шуму для:		SNR для:	
	фільтра Габора	фільтрів Гауса та Лапласа	фільтра Габора	фільтрів Гауса та Лапласа
007	0,31 %	0,23 %	903,554	1002,56
008	0,07 %	0,07 %	5693,88	5693,88
011	0,57 %	0,2 %	701,555	1279,66
020	0,57 %	0,22 %	637,09	1364,99
057	0,8 %	0,2 %	493,31	1373,18
058	0,9 %	0,22 %	315,263	1243,95
087	0,06 %	0,06 %	4484,2	4484,2
094	0,42 %	0,37 %	1719,13	2085,07
099	0,9 %	0,3 %	348,905	910,96
106	0,7 %	0,26 %	450,362	1347,67
122	0,53 %	0,2 %	539,07	1282,39
129	0,7 %	0,2 %	453,353	883,443
160	0,8 %	0,2 %	390,077	1455,69
169	0,07 %	0,07 %	3173,49	3173,43
179	0,1 %	0,1 %	5538,27	5538,27
192	0,76 %	0,31 %	426,166	1019,82
199	1,25 %	0,42 %	346,255	1293,74
203	0,78 %	0,31 %	364,068	1205,53
207	0,9 %	0,3 %	349,177	1012,94
235	0,84 %	0,31 %	332,023	1277,22
247	0,87 %	0,38 %	507,539	107,309

Також для кількісної оцінки величини спотворень оригінального зображення було підраховане середньоквадратичне відхилення (MSE), що представляє відносний показник розсіювання значень. MSE було розраховано за формулою 12:

$$\text{MSE} = \frac{1}{XY} \cdot \sum_{x,y} (C_{x,y} - S_{x,y})^2, \quad (12)$$

де  $X$  – кількість рядків пікселів;  $Y$  – кількість стовпців пікселів;  $x$  – номер рядка у зображенні;  $y$  – номер стовпця у зображенні;  $C_{x,y}$  – значення пікселя оригінального зображення;  $S_{x,y}$  – значення пікселя зображення, на яке був накладений шум.

Результати значень MSE для кожного із зображень, що тестуються, при використанні різних фільтрів занесені у табл. 2. Враховуючі результати табл. 1 та 2 можна зазначити, що кореляція між значеннями SNR та MSE полягає у наступному: чим більше відношення сигнал / шум, тим менше різниця MSE.

Таблиця 2  
Значення MSE при певному порозі шуму

Назва зображення	Поріг шуму для фільтру Габор	Поріг шуму для фільтрів Гауса та Лапласа	MSE для фільтру Габор	MSE для фільтрів Гауса та Лапласа
007	0,31 %	0,23 %	0,7534	0,6223
008	0,07 %	0,07 %	0,1019	0,1019
011	0,57 %	0,2 %	1,0883	0,5201
020	0,57 %	0,22 %	1,1933	0,5825
057	0,8 %	0,2 %	1,5636	0,5170
058	0,9 %	0,22 %	1,9502	0,5637
087	0,06 %	0,06 %	0,1490	0,1490
094	0,42 %	0,37 %	0,6809	0,5691
099	0,9 %	0,3 %	1,9371	0,7212
106	0,7 %	0,26 %	1,4835	0,5123
122	0,53 %	0,2 %	1,1144	0,5058
129	0,7 %	0,2 %	1,4313	0,6069
160	0,8 %	0,2 %	1,8531	0,5592
169	0,07 %	0,07 %	0,2199	0,2198
179	0,1 %	0,1 %	0,1334	0,1334
192	0,76 %	0,31 %	1,6139	0,7377
199	1,25 %	0,42 %	1,8381	0,6528
203	0,78 %	0,31 %	1,8408	0,6798
207	0,9 %	0,3 %	1,9990	0,6989
235	0,84 %	0,31 %	2,0334	0,6553
247	0,87 %	0,38 %	1,7362	4,3738

Також спостерігається інша залежність: максимальні значення порога шуму чітко відповідають найбільшим значенням SNR і найменшим MSE (зображення 008, 087, 179), при цьому для найменших значень такий висновок не працює. Така залежність може використовуватися в якості одного з критеріїв для вибору зображення для вбудовування.

Для оцінки ймовірності виникнення помилок при роботі алгоритмів розраховуються показники

FAR (False Acceptance Rate – коефіцієнт помилкового пропуску) та FRR (False Rejection Rate – коефіцієнт помилкової відмови в доступі).

Зашумлення зображення може призводити до неспрацьовуванні сканера (FRR), а не до прийняття зображення за інше з бази (FAR), оскільки мінімальні значення відмінностей (MSE) між оригінальними зображеннями складають 7,766, а максимальне значення MSE при впливі шумів при використанні фільтру Габор досягає 2,03 (для зображення 235). Також було виявлено, що ступіть відмінності деяких зображень (007, 008, 011 та ін.) від інших становить більш ніж кратну різницю від шумового MSE. Враховуючи максимальне значення MSE при впливі шумів при використанні фільтру Габор було визначено, що майже 90 % зображень мають ймовірність FAR близьку до нуля. Також була підрахована кількість зображень різних очей, MSE яких має менш ніж десятикратну відмінність від порогу шуму. В результаті цього було визначено FRR всіх досліджуваних зображень. Воно дорівнює 0,295 при використанні фільтру Габор та 0,047 при використанні комбінації фільтрів Гауса та Лапласа.

Таким чином, показники ймовірності виникнення помилок свідчать про те, що використання в алгоритмі фільтрів Гауса та Лапласа є більш ефективним та безпечним.

## Висновки

В даній роботі вирішена актуальна задача вибору методу віддаленої біометричної автентифікації особи по райдужній оболонці. Для вирішення задачі, було запропоновано алгоритм обробки зображення, проведено програмне та математичне моделювання створення коду райдужної оболонки та порівняння з еталоном. Також було досліджено ефективність використання фільтру Габор та комбінації фільтрів Гауса та Лапласа в умовах поєднання вище зазначених з однаковими методами обробки зображення райдужної оболонки ока з бази даних CASIA-Iris-Interval.

В результаті тестувань була виявлена стійкість кожного з фільтрів до зашумлення та визначена ймовірність виникнення помилок. Обидва фільтри виявилися достатньо чутливими до шуму, але кращі показники на тлі завад забезпечує використання комбінації фільтрів Гауса та Лапласа.

Наукова новизна роботи полягає в подальшій модернізації методів віддаленої автентифікації особи за райдужною оболонкою та дослідженні ефективності використання методів на тлі завад.

Практична значущість роботи полягає в можливості використання досліджуваних методів в системах біометричної автентифікації осіб із застосуванням мобільних пристроїв та передачею інформації по відкритих каналах зв'язку з завадами.

## Список літератури

1. Dipti S. Iris and Fingerprint Fusion for Biometric Identification / S. Dipti // *International Journal of Computer Applications*. – 2013. – Vol. 77, No. 11. – P. 975-988.
2. Dunn D. Optimal Gabor Filters for Texture Segmentation / D. Dunn, W. Higgins // *International Journal of Computer Vision*. – 2009. – Vol. 6. – P. 947-964.
3. Gite H.R. Iris code generation and recognition / H.R. Gite, C.N. Mahender // *International Journal of Machine Intelligence*. – 2011. – Vol. 3, No. 3. – P. 103-107.
4. Gonzalez R.C. Digital image processing / R.C. Gonzalez, R.E. Woods // *World Applied Sciences Journal*. – Vol. 7, No. 5. – P. 647-653.
5. Gui F. Iris localization scheme based on morphology and Gaussian filtering / F. Gui, L. Qiwei // *International Journal of Signal and Imaging Systems Engineering*. – Vol. 27. – P. 798-803.
6. Jain A.K. 50 Years of Biometric Research: Accomplishments, Challenges and Opportunities / A.K. Jain, K. Nandakumar, A. Ross // *Pattern Recognition Letters*. – 2016. – Vol. 79. – P. 80-105.
7. Kaur G. Comparative Analysis of Biometric Modalities [Electronic resource] / G. Kaur, Ch. K. Verma // *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* – 2014. – Vol. 4, P.404–407. Mode of access : [https://www.ijarcsse.com/docs/papers/Volume\\_4/4\\_April2014/V4I4-0407.pdf](https://www.ijarcsse.com/docs/papers/Volume_4/4_April2014/V4I4-0407.pdf).
8. Традиційні методи біометричної аутентифікації і ідентифікації / В.М. Колешко, Е. А. Воробей, П. М. Азізов. – М. : БНТУ, 2009. – 107 с.
9. Ляшенко Г. Дослідження ефективності методів біометричної автентифікації [Електронний ресурс] / Г.Є. Ляшенко, А. А. Астраханцев // *Системи обробки інформації*. – 2017. – № 2. – С. 111-114.
10. Shamsi M. A New Accurate Technique for Iris Boundary Detection / M. Shamsi, P. Saad, S. Ibrahim, A. Rasouli, N. Abdulrahim // *International journal of computers applications in technology*. – 2011. – Vol. 9, No. 6. – P. 654-663.
11. Tisse C. Person identification technique using human iris recognition / C. Tisse, L. Martin, L. Torres, M. Robert // *International Journal of Web Science*. – 2011. – Vol. 2. – P. 949-952.
12. Yu L. Coarse Iris Classification Based on Box-Counting Method / L. Yu, K. Wang, D. Zang // *International Journal of Image Processing*. – 2009. – Vol. 10. – P. 301-304.

## References

1. Dipti, S. (2013), "Iris and Fingerprint Fusion for Biometric Identification", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 77 No. 11, pp. 975-988.
2. Dunn, D. and Higgins, W. (1995), "Optimal Gabor Filters for Texture Segmentation", *International Journal of Computers Vision*, Vol. 4, pp. 947-964.
3. Gite, H.R. and Mahender, C.N. (2011), "Iris code generation and recognition", *International Journal of Machine Intelligence*, Vol. 3 No. 3, pp. 103-107.
4. Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (2001), "Digital image processing", *World Applied Sciences Journal*, Vol.7, No.5. pp. 647-653.
5. Gui, F. and Qiwei, L. (2007), "Iris localization scheme based on morphology and Gaussian filtering", *International Journal of Signal and Imaging Systems Engineering*, Vol. 27, pp. 798-803.
6. Jain, A.K., Nandakumar, K. and Ross, A. (2016), "50 Years of Biometric Research: Accomplishments, Challenges and Opportunities", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 79, pp. 80-105.
7. Kaur, G. and Verma, Ch. K. (2014), "Comparative Analysis of Biometric Modalities" *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol. 4, available at: [https://www.ijarcsse.com/docs/papers/Volume\\_4/4\\_April2014/V4I4-0407.pdf](https://www.ijarcsse.com/docs/papers/Volume_4/4_April2014/V4I4-0407.pdf).
8. Koleshko, M., Vorobei, E.A. and Azizov, P.M. (2009), "Traditsiyni metody biometrychnoi avtentyfikatsii i identyfikatsii" [Traditional methods of biometric authentication and identification], BNTU, Moscow, M, pp. 107.
9. Liashenko, G. and Astrakhantsev, A. (2017), "Doslidzhennia efektyvnosti metodiv biometrychnoi avtentyfikatsii" [Analysis of biometric authentication techniques], *Information Processing Systems*, vol. 2 (148), pp. 111-114, <https://doi.org/10.30748/soi.2017.148.20>.
10. Shamsi, M., Saad, P., Ibrahim, S., Rasouli, A. and Abdulrahim, N. (2010), "A New Accurate Technique for Iris Boundary Detection", *International Journal Of Computers Applications In Technology*, Vol. 9, No. 6, pp. 654-663.
11. Tisse, C., Martin, L., Torres, L. and Robert, M. (2011), "Person identification technique using human iris recognition", *International Journal of Web Science*, Vol. 2, pp. 949-952.
12. Yu, L., Wang, K. and Zhang, D. (2005), "Coarse Iris Classification Based on Box-Counting Method", *International Journal of Image Processing*, Vol. 10, pp. 301-304.

Надійшла до редколегії 19.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

### Відомості про авторів:

#### Чернікова Валерія Георгіївна

бакалавр Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9961-2792>  
e-mail: [valeriia.chernikova@nure.ua](mailto:valeriia.chernikova@nure.ua)

### Information about the authors:

#### Valeriia Chernikova

Bachelor of Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9961-2792>  
e-mail: [valeriia.chernikova@nure.ua](mailto:valeriia.chernikova@nure.ua)

**Астраханцев Андрій Анатолійович**  
кандидат технічних наук доцент  
доцент Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6664-3653>  
e-mail: andrii.astrakhantsev@nure.ua

**Andrii Astrakhantsev**  
Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Senior Lecturer of Kharkiv National University  
of Radioelectronics,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6664-3653>  
e-mail: andrii.astrakhantsev@nure.ua

**Ляшенко Галина Євгенівна**  
аспірант  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1741-9161>  
e-mail: halyna.liashenko@nure.ua

**Galyna Liashenko**  
Postgraduate Student  
of Department of National University  
of Kharkiv National University of Radioelectronics,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1741-9161>  
e-mail: halyna.liashenko@nure.ua

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА

В.Г. Черникова, А.А. Астраханцев, Г.Е. Ляшенко

*За последнее время системы биометрической аутентификации приобрели значительную популярность, поскольку пользователям в этом случае не нужно помнить пароль. Также развитие мобильных устройств позволило быструю и удобную аутентификацию благодаря встроенным сенсорам. Системы биометрической аутентификации по радужной оболочке только получают развитие, поэтому алгоритм обработки изображения может иметь различный вид и не стандартизирован.*

*В данной работе решена актуальная задача выбора метода удаленной биометрической аутентификации личности по радужной оболочке на основе фильтра Габора и комбинации фильтров Гаусса и Лапласа. Для решения задачи был предложен алгоритм обработки изображения, проведено программное и математическое моделирование создания кода радужной оболочки и сравнения с эталоном. Также были исследованы эффективность использования фильтра Габора и комбинации фильтров Гаусса и Лапласа в условиях сочетания вышеуказанных с одинаковыми методами обработки изображения радужной оболочки глаза из базы данных CASIA-Iris-Interval. В результате тестирования была определена устойчивость каждого из фильтров к зашумлению и определена вероятность возникновения ошибок. Оба фильтра достаточно чувствительны к шуму, но лучшие показатели на фоне помех обеспечивает использование комбинации фильтров Гаусса и Лапласа.*

*Научная новизна работы заключается в дальнейшем усовершенствовании методов удаленной аутентификации личности по радужной оболочке и исследовании эффективности использования методов на фоне помех.*

*Практическая значимость работы заключается в возможности использования исследуемых методов в системах биометрической аутентификации с применением мобильных устройств и передачей информации по открытым каналам связи с помехами.*

**Ключевые слова:** биометрический шаблон, аутентификация по радужной оболочке, фильтр Гаусса, фильтр Габора, устойчивость.

### INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF THE BIOMETRIC IDENTIFICATION SYSTEM BASED ON IRIS CODE

V. Chernikova, A. Astrakhantsev, G. Liashenko

*Recently, biometric authentication systems have gained considerable popularity, since users in this case do not need to remember the password. Also, the development of mobile devices allowed fast and easy authentication thanks to built-in sensors. Iris biometric authentication systems are only being developed, so the image processing algorithm can have a different form and it is not standardized.*

*In this paper, the actual problem of choosing a method for remote biometric authentication of an individual based on the Gabor filter and a combination of Gaussian and Laplace filters is solved. To solve the problem, an algorithm for image processing was proposed, software and mathematical modeling of the creation of the iris code and comparison with the standard were carried out. The effectiveness of using the Gabor filter and the combination of Gaussian and Laplace filters was also investigated under the conditions of a combination of the above-mentioned with the same methods of processing the iris image from the CASIA-Iris-Interval database. As a result of testing, the stability of each filter was determined to noise and the probability of errors was determined. Both filters are sensitive enough to noise, but the best performance against noise is provided by the use of a combination of Gaussian and Laplace filters.*

*The scientific novelty of the work is to further improve the methods of remote authentication of the individual by the iris and to investigate the effectiveness of using methods against background noise.*

*The practical importance of the work lies in the possibility of using the methods under investigation in biometric authentication systems using mobile devices and transmitting information over open communication channels with interference.*

**Keywords:** biometric template, hedge authentication, Gaussian filter, Gabor filter, stability.