

[0000-0003-3841-7373] **Є. Є. Федоров**, д-р техн. наук, професор,
[0000-0002-6614-4133] **Т. Ю. Уткіна**, канд. техн. наук, доцент
e-mail: t.utkina@chdtu.edu.ua

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МЕТОД ОЧИЩЕННЯ ВІД ШУМУ ВІЗУАЛЬНОЇ БІОМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

У роботі запропоновано метод очищення від шуму візуальної біометричної інформації за рахунок визначення структури моделі згладжуючої фільтрації візуальної інформації про ідентифіковану особистість на основі статистичного оцінювання якості очищення від шуму двовимірною сигналу.

В результаті проведеного системного аналізу сучасних методів очищення зображення від шуму встановлено, що розглянуті методи мають один або більше з таких недоліків: не автоматизовано вибір структури та параметрів моделі фільтра та/або невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму.

Тому актуальною є розробка методу очищення від шуму візуальної біометричної інформації для проведення попередньої обробки зображення обличчя людини, що забезпечить необхідну якість зображень і не вимагатиме трудомісткої процедури визначення значень параметрів оператором на основі емпіричного досвіду.

Визначено структуру моделі згладжуючої фільтрації. Запропоновано характеристики та критерій якості очищення від шуму візуального сигналу. Для визначення параметра порядку фільтра проведено чисельні дослідження за допомогою бази даних Siblings, що дозволило встановити найефективніший метод: у випадку адитивного гаусового шуму та у випадку мультиплікативного гаусового шуму, найменшу середньоквадратичну помилку, тобто таку, що відповідає критерію якості очищення від шуму візуального сигналу, забезпечує середньо α -усічений фільтр.

Запропонований метод дозволяє ставити і вирішувати завдання попередньої обробки візуального сигналу, що використовуються для аналізу і зберігання візуальної інформації в інтелектуальних комп'ютерних системах біометричної ідентифікації особистості по зображенню обличчя.

Ключові слова: візуальний сигнал, часова фільтрація, частотна фільтрація, порогова фільтрація, вейвлет-перетворення, адитивний гаусовий шум, мультиплікативний гаусовий шум.

Вступ. Однією з найважливіших проблем, які існують сьогодні у системах безпеки, є підвищення ефективності ідентифікації особистості. Автоматизована біометрична ідентифікація людини означає прийняття рішень, яке базується на мультимодальній інформації, що підвищує якість розпізнавання досліджуваної особи. На відміну від традиційного підходу, комп'ютерна біометрична ідентифікація прискорює й підвищує точність процесу розпізнавання, що особливо критично в умовах обмеженого часу. Особливий клас біометричної ідентифікації людини утворюють методи, що ґрунтуються на аналізі візуальної інформації.

Обробка візуальної біометричної інформації з метою аналізу та подальшого розпізнавання об'єктів, таких як обличчя людини,

вирішується за допомогою виконання послідовності декількох етапів. Першим етапом, але від цього не менш важливим, є цифрова фільтрація зображення або усунення низькочастотного шуму, що з'являється завдяки внесенню спотворень у зв'язку з різноманітними пристроями формування зображень (адитивний шум) та подальшою їх передачею по різних каналах зв'язку: за наявності швидких перехідних процесів, таких як неправильна комутація (імпульсний шум), зміни характеристик ліній зв'язку при коливаннях напруги живлення (мультиплікативний шум).

Фільтрація зображень дозволяє визначати об'єкти, що цікавлять саме дослідника, від усіх інших об'єктів та фону зображення. Додавання до кожного пікселя зображення значень відповідного нормального розподілу з

нульовим середнім значенням являє собою адитивний шум, добуток ідеального сигналу і випадково розподіленого спотвореного сигналу у матриці пікселів зображення – мультиплікативний шум, а заміна частини пікселів значеннями фіксованої чи випадкової величини – імпульсний шум.

У практичних завданнях досліднику найчастіше доводиться стикатися з зображеннями, зашумленими комбінованими моделями, де наявні як адитивний, так і мультиплікативний та/або імпульсний шуми.

Відтак, розробка методу попередньої обробки зображення обличчя людини для очищення від шуму візуальної біометричної інформації є актуальною проблемою.

Аналіз останніх джерел і публікацій. Очищення від шуму візуального сигналу використовується перед аналізом і кодуванням.

Адитивні й мультиплікативні безперервні та безперервно-імпульсні шуми видаляються з сигналу за допомогою вейвлет-аналізу з пороговою обробкою, згладжуючими лінійними та нелінійними фільтрами, спектральним відніманням.

Імпульсні шуми видаляються згладжуючими нелінійними фільтрами. Адитивні неперіодичні шуми видаляються низькочастотними фільтрами. Адитивні періодичні шуми видаляються смуговими та режекторними фільтрами.

З методів згладжуючої адаптивної лінійної часової фільтрації найбільшого поширення набув алгоритм Лі, який ґрунтується на Вінерівській фільтрації і не вимагає наявності сигналу, що містить тільки шум, на відміну від інших методів.

Згладжуюча адаптивна лінійна частотна фільтрація (спектральне віднімання) вимагає наявності сигналу, що містить тільки шум, що технічно не завжди можливо.

Для очищення від шуму візуальної інформації проведено системний аналіз відповідних методів [1-6], а саме:

1. Згладжуюча адаптивна лінійна часова фільтрація:

- фільтрація на основі мінімальної середньоквадратичної помилки [7-14];
- фільтрація на основі рекурсивних найменших квадратів [8-14];
- Калманівська фільтрація [8-14];
- фільтрація на основі методу Лі [15-17].

2. Згладжуюча адаптивна лінійна частотна фільтрація, яка називається спектральним відніманням [18]:

- фільтрація за Болом [19];
- фільтрація за Беругі, Шварцем та Макхоулом [20];
- Вінерівська фільтрація [15];
- фільтрація на основі методу максимальної правдоподібності [21].

3. Вейвлет-аналіз з пороговою обробкою [22].

4. Згладжуюча неадаптивна лінійна часова фільтрація:

- середньоарифметична фільтрація [23-27];
- гаусова фільтрація [24, 27].

5. Згладжуюча нелінійна фільтрація:

- середньогометрична фільтрація [16, 28];
- середньогармонійна фільтрація [16, 28];
- контргармонійна фільтрація [16, 28];
- медіанна фільтрація [16, 17, 24, 27, 28];
- середньо α -усічена фільтрація [16];
- середньоточкова фільтрація [16];
- консервативна фільтрація [27];
- морфологічна фільтрація [16, 23, 28, 29].

Переваги та недоліки методів згладжуючої адаптивної лінійної часової фільтрації, вейвлет-аналізу з пороговою обробкою згладжуючою неадаптивною лінійною часовою фільтрацією, згладжуючою нелінійною фільтрацією візуального сигналу представлені в таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, всі зазначені методи очищення від шуму мають деякі недоліки.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки методів очищення від шуму

Метод на основі	Переваги	Недоліки
вейвлет-аналізу із пороговою обробкою	використання адаптивного порогу	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму; ▪ не автоматизовано вибір структури та параметрів моделі фільтра

Закінчення таблиці 1

Метод на основі	Переваги	Недоліки
адаптивного фільтра	адаптивне визначення параметрів фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму; ▪ не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
гаусового фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ адаптивне визначення параметрів фільтра; ▪ висока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму для візуального сигналу 	не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
середньоарифметичного фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ адаптивне визначення параметрів фільтра; ▪ висока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму для візуального сигналу 	не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
середньогометричного фільтра	адаптивне визначення параметрів фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму; ▪ не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
середньогармонійного фільтра	адаптивне визначення параметрів фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму; ▪ не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
контргармонійного фільтра	адаптивне визначення параметрів фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму; ▪ не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
медіанного фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ адаптивне визначення параметрів фільтра; ▪ висока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму 	не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
середньо α -усіченого фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ адаптивне визначення параметрів фільтра; ▪ найвища точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму 	не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
середньоточкового фільтра	адаптивне визначення параметрів фільтра	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму для візуального сигналу; ▪ не автоматизовано вибір структури моделі фільтра
консервативного фільтра	адаптивне визначення параметрів фільтра.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невисока точність очищення від адитивного та мультиплікативного шуму; ▪ не автоматизовано вибір структури моделі фільтра

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності очищення від шуму візуальної біометричної інформації на підставі згладжуючої фільтрації.

Завдання дослідження, поставлені та вирішені для досягнення мети:

- визначити модель згладжуючої фільтрації;
- визначити методіку структурної та параметричної ідентифікації моделі згладжуючої фільтрації;
- визначити характеристики та критерій якості очищення від шуму візуального сигналу;
- провести чисельні дослідження.

Опис моделі згладжуючої фільтрації.

Відповідно до таблиці 1 середньо α -усічений фільтр має найвищу точність, тому в роботі як модель згладжуючої фільтрації візуального сигналу обрано модель середньо α -усіченої фільтрації з параметром усічення, кратним 2, модель якого в цій роботі пропонується визначити в наступному вигляді:

$$s(n_1, n_2) = \frac{\sum_{m=-\frac{(2M+1)^2-1+\alpha}{2}}^{\frac{(2M+1)^2-1-\alpha}{2}} a_{n_1 n_2}(m)}{(2M+1)^2 - \alpha},$$

$$n_1 \in \overline{M+1, N_1-M}, n_2 \in \overline{M+1, N_2-M},$$

$$a_{n_1 n_2} = \text{sort}(f(n_1-M, n_2-M), \dots, f(n_1-M, n_2+M), \dots, f(n_1, n_2-M), \dots, f(n_1, n_2+M), \dots, f(n_1+M, n_2-M), \dots, f(n_1+M, n_2+M)),$$

$$\alpha = \frac{(2M+1)^2 - 1}{2},$$

де $f(n_1, n_2)$ – зображення з шумом;

$s(n_1, n_2)$ – знешумлений візуальний сигнал;

$\text{sort}(\cdot)$ – функція, що повертає вектор, упорядкований за зростанням;

α – параметр усічення;

M – порядок фільтра.

Методика структурної та параметричної ідентифікації моделі згладжуючої фільтрації візуального сигналу. Визначення структури моделі згладжуючої фільтрації візуального сигналу зводиться до визначення порядку фільтра, яке згідно з таблицею 1 не автоматизовано і виконується оператором на основі його емпіричного досвіду. Тому в роботі для визначення порядку фільтра пропонується метод на основі статистичного оці-

нювання якості очищення від шуму, який включає наступні кроки:

1. Задати 8-бітне зображення з шумом $f(n_1, n_2)$, $n_1 \in \overline{1, N_1}, n_2 \in \overline{1, N_2}$. Задати 8-бітне зображення без шуму $\tilde{f}(n_1, n_2)$, $n_1 \in \overline{1, N_1}, n_2 \in \overline{1, N_2}$.

2. Обчислити початкову середньоквадратичну помилку

$$MSE^{old} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} (\tilde{f}(n_1, n_2) - f(n_1, n_2))^2.$$

3. Встановити порядок фільтра $M = 1$. Задати параметр α кратним 2, причому $\alpha = \frac{(2M+1)^2 - 1}{2}$.

4. Створити для кожного пікселя зображення вектора у вигляді

$$a_{n_1 n_2} = (f(n_1-M, n_2-M), \dots, f(n_1-M, n_2+M), \dots, f(n_1, n_2-M), \dots, f(n_1, n_2+M), \dots, f(n_1+M, n_2-M), \dots, f(n_1+M, n_2+M)),$$

$$n_1 \in \overline{M+1, N_1-M}, n_2 \in \overline{M+1, N_2-M}.$$

5. Сортувати для кожного n -го пікселя зображення елементи його вектора $a_{n_1 n_2}$ за зростанням.

6. Виконати середньо α -усічену фільтрацію візуального сигналу у вигляді

$$y(n_1, n_2) = \frac{\sum_{m=-\frac{(2M+1)^2-1+\alpha}{2}}^{\frac{(2M+1)^2-1-\alpha}{2}} a_{n_1 n_2}(m)}{(2M+1)^2 - \alpha},$$

$$n_1 \in \overline{M+1, N_1-M}, n_2 \in \overline{M+1, N_2-M}.$$

7. Обчислити середньоквадратичну помилку

$$MSE = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} (\tilde{f}(n_1, n_2) - s(n_1, n_2))^2.$$

8. Якщо $MSE^{old} > MSE$, то $M = M + 1$, $\alpha = \frac{(2M+1)^2 - 1}{2}$, $MSE^{old} = MSE$, перехід до кроку 4.

В результаті визначається порядок середньо α -усіченого фільтра.

Характеристики та критерій якості очищення від шуму візуального сигналу. Для оцінювання методів очищення від шуму у роботі використовуються такі характеристики:

1. Середньоквадратична помилка

$$MSE = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} (\tilde{f}(n_1, n_2) - s(n_1, n_2))^2,$$

де $\tilde{f}(n_1, n_2)$ – візуальний сигнал без шуму;
 $s(n_1, n_2)$ – знешумлений візуальний сигнал.

2. Відношення сигнал/шум (в дБ)

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} \tilde{f}^2(n_1, n_2)}{\sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} v^2(n_1, n_2)} \right),$$

де $\tilde{f}(n_1, n_2)$ – візуальний сигнал без шуму;
 $v(n_1, n_2)$ – шум.

У роботі формулюється наступний критерій якості очищення від шуму, що означає вибір такого знешумленого візуального сигналу, що доставляє максимум відношення сигнал/шум:

$$F = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} \tilde{f}^2(n_1, n_2)}{MSE} \right) \rightarrow \max_{s(n_1, n_2)} .(1)$$

Результати досліджень. Експерименти проводилися на комп'ютері з процесором Intel Pentium Quad-Core з тактовою частотою 2.58 ГГц в середовищі MATLAB.

Для візуальних сигналів, що містять зображення облич, встановлювалася кількість рівнів квантування $L = 256$, розмір зображення – 1024×1024 .

Результати чисельного дослідження порога методу очищення від шуму на основі вейвлет-аналізу з пороговою обробкою у випадку вейвлета Добеші порядку $M = 8$ для візуальних сигналів людей з бази даних Siblings [30], які були зашумлені адитивним гаусовим шумом з математичним очікуванням 0 та дисперсією 0,001 (відношення сигнал/шум – приблизно 23 дБ), представлені в таблиці 2, а які були зашумлені мультиплікативним гаусовим шумом з математичним очі-

куванням 1 і дисперсією 0,01 (відношення сигнал/шум – приблизно 38 дБ), наведені в таблиці 3.

Вибір набору даних LQfaces з бази даних Siblings здійснено через наявність в ньому фотографій облич людей з різною роздільною здатністю, достатньою для проведення чисельного дослідження параметрів методів очищення від шуму. Цей набір даних містить фотографії 98 пар братів і сестер (196 особин) суб'єктів-знаменитостей, знайдених в Інтернеті. Пози напівфронтальні. На обличчях часто вираз обличчя (посмішка), а зображення зроблені за різних умов освітлення. Особи становлять 45,5 % чоловіків, і в основному європейці [30].

Таблиця 2 – Результати чисельного дослідження параметрів методу очищення від шуму на основі вейвлет-аналізу з пороговою обробкою у випадку адитивного гаусового шуму

Порогова обробка	Середньоквадратична помилка у випадку		
	універсального порогу	SURE-порогу	мінімаксного порогу
м'яка	75,8397	61,1618	62,7804
жорстка	116,6381	62,4308	97,0012

Таблиця 3 – Результати чисельного дослідження параметрів методу очищення від шуму на основі вейвлет-аналізу з граничною обробкою у випадку мультиплікативного гаусового шуму

Порогова обробка	Середньоквадратична помилка у випадку		
	універсального порогу	SURE-порогу	мінімаксного порогу
м'яка	80,2837	62,4530	69,0839
жорстка	111,5864	63,0517	94,3165

Результати чисельного дослідження параметра методу очищення від шуму на основі гаусового фільтра для візуальних сигналів людей з бази даних Siblings [30], які були зашумлені адитивним гаусовим шумом з математичним очікуванням 0 і дисперсією 0,001 (відношення сигнал/шум – приблизно 23 дБ), представлені в таблиці 4, а які були зашумлені мультиплікативним гаусовим шумом з математичним очікуванням 1 та дисперсією 0,01 (відношення сигнал/шум – приблизно 38 дБ), наведені в таблиці 5.

Таблиця 4 – Результати чисельного дослідження параметрів методу очищення від шуму на основі гаусового фільтра у випадку адитивного гаусового шуму

Середньоквадратична помилка у випадку значення параметра гаусового фільтра		
$\sigma = 0,3$	$\sigma = 0,5$	$\sigma = 0,7$
62,6479	26,8666	14,5153

Таблиця 5 – Результати чисельного дослідження параметрів методу очищення від шуму на основі гаусового фільтра у випадку мультиплікативного гаусового шуму

Середньоквадратична помилка у випадку значення параметра гаусового фільтра		
$\sigma = 0,3$	$\sigma = 0,5$	$\sigma = 0,7$
62,1002	27,1948	14,4523

Для візуальних сигналів, що містять зображення облич, встановлювалася кількість рівнів квантування $L = 256$, розмір зображення – 1024×1024 .

Результати чисельного дослідження методів очищення від шуму на основі:

– вейвлет-аналізу з пороговою обробкою у випадку вейвлета Добеші порядку $M = 8$ з м'якою пороговою обробкою з SURE-порогом;

– адаптивного фільтра порядку $M = 2$;

– гаусового фільтра порядку $M = 1$ з параметром $\sigma = 0,7$;

– середньоарифметичного фільтра порядку $M = 1$;

– середньгеометричного фільтра порядку $M = 1$;

– середньгармонійного фільтра порядку $M = 1$;

– контргармонійного фільтра порядку $M = 1$ з параметром $Q=1$;

– медіанного фільтра порядку $M = 2$;

– середньо α -усіченого фільтра порядку $M = 2$ з параметром $\alpha = 12$;

– середньоточкового фільтра порядку $M = 1$;

– консервативного фільтра порядку $M = 1$;

для візуальних сигналів людей з бази даних Siblings, які були зашумлені адитивним гаусовим шумом з математичним очікуванням 0 та дисперсією 0,001 (відношення сигнал/шум – приблизно 23 дБ), представлені в таблиці 6, а

які були зашумлені мультиплікативним гаусовим шумом з математичним очікуванням 1 та дисперсією 0,01 (відношення сигнал/шум – приблизно 38 дБ), наведені в таблиці 7.


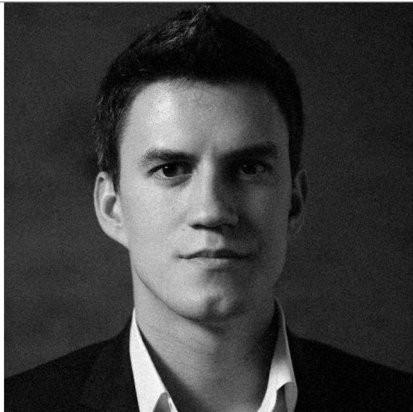

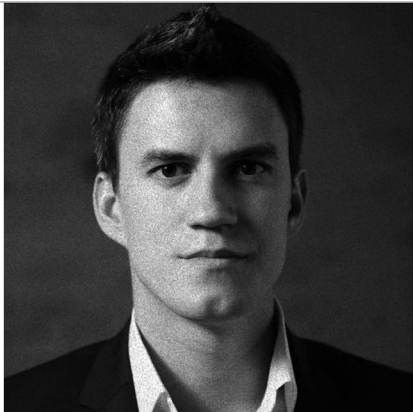

Таблиця 6 – Результати чисельного дослідження методів очищення від шуму у випадку адитивного гаусового шуму

Метод очищення від шуму на основі	Середньоквадратична помилка
вейвлет-аналізу із пороговою обробкою	61,1618
адаптивного фільтра	25,0059
гаусового фільтра	14,5153
середньоарифметичного фільтра	13,5166
середньгеометричного фільтра	21,0175
середньгармонійного фільтра	26,8280
контргармонійного фільтра	23,0710
медіанного фільтра	13,7405
середньо α -усіченого фільтра	12,4101
середньоточкового фільтра	21,5423
консервативного фільтра	43,9773

Таблиця 7 – Результати чисельного дослідження методів очищення від шуму у випадку адитивного гаусового шуму

Метод очищення від шуму на основі	Середньоквадратична помилка
вейвлет-аналізу із пороговою обробкою	62,4530
адаптивного фільтра	29,3010
гаусового фільтра	14,4523
середньоарифметичного фільтра	13,4708
середньгеометричного фільтра	19,2765
середньгармонійного фільтра	19,8429
контргармонійного фільтра	19,6940
медіанного фільтра	13,7738
середньо α -усіченого фільтра	12,7022
середньоточкового фільтра	20,9723
консервативного фільтра	44,6537

На рисунках 1-5 наведено приклад та мультиплікативного гаусового шуму середньо α -усіченим фільтром.

	
Рисунок 1 – Вихідне зображення обличчя (8-біт, розмір 1024×1024)	
	
Рисунок 2 – Зображення обличчя з адитивним гаусовим шумом із дисперсією 0,001	Рисунок 3 – Зображення обличчя після очищення від адитивного гаусового шуму середньо α-усіченим фільтром порядку $M=2$ з параметром $\alpha=2$
	
Рисунок 4 – Зображення обличчя з мультиплікативним гаусовим шумом із дисперсією 0,01	Рисунок 5 – Зображення обличчя після очищення від мультиплікативного гаусового шуму середньо α-усіченим фільтром порядку $M=2$ з параметром $\alpha=12$

Обговорення результатів. Результат, поданий у таблицях 2-3, показує, що найменшу середньоквадратичну помилку, тобто таку, що задовольняє критерію якості, забезпечує жорстка і м'яка обробка з SURE-порогом.

На основі проведених експериментів можна зробити такі висновки. Універсальний та мінімаксний порогови призводять до більш грубої порогової обробки, оскільки не враховують значення деталізуючих коефіцієнтів, але мають меншу обчислювальну складність. SURE-порог приводить до більш тонкої порогової обробки, оскільки враховує значення деталізуючих коефіцієнтів, але має більшу обчислювальну складність.

Результат, представлений у таблицях 4-5, показує, що найменшу середньоквадратичну помилку, тобто таку, що задовольняє критерію якості, забезпечує значення параметра гаусового фільтра $\sigma = 0,7$.

Результат, поданий у таблицях 6-7, показує, що найменшу середньоквадратичну помилку, тобто таку, що задовольняє критерію якості, забезпечує середньо α -усічений фільтр.

Проведено чисельне дослідження методів очищення від шуму візуального сигналу, яке дозволило визначити найбільш ефективний метод.

В результаті проведеного чисельного дослідження методів очищення від шуму візуального сигналу у випадку адитивного гаусового шуму та у випадку мультиплікативного гаусового шуму визначено, що найменшу середньоквадратичну помилку, тобто таку, що відповідає критерію якості, забезпечує середньо α -усічений фільтр.

Запропонований метод дозволяє ставити і вирішувати завдання попередньої обробки візуального сигналу, що використовуються для аналізу і зберігання біометричної інформації.

Висновки. В статті в межах створення методу очищення від шуму візуальної біометричної інформації були вирішені такі завдання:

- визначено модель згладжуючої фільтрації;
- визначено методику структурної та параметричної ідентифікації моделі згладжуючої фільтрації;
- визначено характеристики та критерій якості очищення від шуму візуального сигналу;
- проведено чисельні дослідження.

Наукова новизна проведеного дослідження полягає в наступному:

- визначено структуру моделі згладжуючої фільтрації візуального сигналу, яка, на відміну від існуючих, дозволяє встановити залежність між параметрами та порядком моделі, що підвищує якість очищення візуального сигналу від шуму;

- розроблено методику ідентифікації моделі згладжуючої фільтрації візуального сигналу, яка, на відміну від існуючих, дозволяє визначити не тільки параметри, а й структуру на основі статистичного оцінювання, що підвищує якість очищення візуального сигналу від шуму;

- визначено критерій якості очищення від шуму візуального сигналу, який, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати декілька характеристик.

Практичне значення. Запропонований метод дозволяє ставити та вирішувати завдання попередньої обробки візуального сигналу, що використовується для аналізу та зберігання біометричної інформації в інтелектуальних комп'ютерних системах.

Перспективи подальших досліджень. Надалі передбачається досліджувати питання впливу методів шумоочищення на виявлення контуру обличчя та ідентифікацію особистості.

Список використаних джерел

- [1] Є. Є. Федоров, О. В. Нечипоренко, Т. Ю. Уткіна, та Я. В. Корпань, *Моделі та методи комп'ютерних систем розпізнавання зорових образів*: монографія. Черкаси, Україна, 2021.
- [2] S. A. Broughton, and K. Bryan, *Discrete Fourier Analysis and Wavelets. Applications to Signal and Image Processing*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2018.
- [3] P. R. Hill, *Audio and Speech Processing with MATLAB*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2019.
- [4] A. K. Nandi, N. Sujatha, R. Menaka, and J. S. R. Alex, *Computational Signal Processing and Analysis*. Singapore: Springer, 2018.
- [5] W. Burger, and M. J. Burge, *Digital Image. An Algorithmic Introduction Using Java*. London, GB: Springer-Verlag, 2016.
- [6] K. S. Thyagarajan, *Introduction to Digital Signal Processing using MATLAB with Ap*

- plication to Digital Communications*. Cham, Switzerland: Springer, 2020.
- [7] Б. Уидроу, и С. Стирнз, *Адаптивная обработка сигналов*. Москва, Россия: Радио и связь, 1989.
- [8] К. Ф. Коуэн, и П. М. Грант, *Адаптивные фильтры*. Москва, Россия: Мир, 1988.
- [9] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Harlow, Essex, GB: Pearson Education, 2014.
- [10] P. S. R. Diniz, *Adaptive Filtering Algorithms and Practical Implementation*, Cham, Switzerland: Springer, 2020.
- [11] F. Gustafsson, *Adaptive Filtering and Change Detection*. Chichester, West Sussex, GB: John Wiley & Sons, 2000.
- [12] A. D. Poularikas, and Z. M. Ramadan, *Adaptive Filtering Primer with MATLAB*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006.
- [13] M. Najim, *Modeling, Estimation and Optimal Filtering in Signal Processing*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2008.
- [14] M. G. Bellanger, *Adaptive Digital Filters and Signal Analysis*. New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2001.
- [15] J. S. Lim, *Two-Dimensional Signal and Image Processing*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1990.
- [16] Р. Гонсалес, Р. Вудс, и С. Эддинс, *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*. Москва, Россия: Техносфера, 2006.
- [17] *Методы компьютерной обработки изображений*, В. А. Сойфер, Ред. Москва, Россия: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
- [18] Н. Ю. Секунов, *Обработка звука на РС*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2001.
- [19] S. F. Boll, "Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction", in *Proc. IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ASSP-27)*, 1979, vol. 2, pp. 113-120.
- [20] M. Berouti, R. Schwartz, and J. Makhoul, "Enhancement of speech corrupted by acoustic noise", in *Proc. IEEE, Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP-79)*, 1979, pp. 208-211.
- [21] R. J. McAulay, and M. L. Malpass, "Speech enhancement using a soft-decision noise suppression filter", in *Proc. IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1980, vol. 28, no. 2, pp. 137-144.
- [22] С. Малла, *Вейвлеты в обработке сигналов*. Москва, Россия: Мир, 2005.
- [23] E. Fedorov, T. Utkina, O. Nechyporenko, and Y. Korpan, "Method of speech signal structuring and transforming for biometric personality identification", *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1158, pp. 307-322, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-61656-4.
- [24] G. X. Ritter, and J. N. Wilson, *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2001.
- [25] S.-T. Bow, *Pattern Recognition and Image Preprocessing*. New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2002.
- [26] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons. 2001.
- [27] U. Qidwai, and C. H. Chen, *Digital Image Processing: An Algorithmic Approach with MATLAB*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2009.
- [28] Н. Н. Красильников, *Цифровая обработка 2D и 3D изображений*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2011.
- [29] *Mathematical Morphology and its Application to Image and Signal Processing*, J. Goutsias, L. Vincent, and D. S. Bloomberg, Eds. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [30] Siblings Database. [Online]. Available: <https://areeweb.polito.it/ricerca/cgvg/siblingsDB.html>.

References

- [1] E. E. Fedorov, O. V. Nechyporenko, T. Yu. Utkina, and Ya. V. Korpan, *Models and Methods of Computer Systems for Visual Image Recognition: a monograph*. Cherkasy, Ukraine, 2021 [in Ukrainian].
- [2] S. A. Broughton, and K. Bryan, *Discrete Fourier Analysis and Wavelets. Applications to Signal and Image Processing*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2018.
- [3] P. R. Hill, *Audio and Speech Processing with MATLAB*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2019.
- [4] A. K. Nandi, N. Sujatha, R. Menaka, and J. S. R. Alex, *Computational Signal Processing and Analysis*. Singapore: Springer, 2018.
- [5] W. Burger, and M. J. Burge, *Digital Image. An Algorithmic Introduction Using Java*. London, GB: Springer-Verlag, 2016.

- [6] K. S. Thyagarajan, *Introduction to Digital Signal Processing using MATLAB with Application to Digital Communications*. Cham, Switzerland: Springer, 2020.
- [7] B. Widrow, and S. Stearns, *Adaptive Signal Processing*. Moscow, Russia: Radio i svyaz, 1989 [in Russian].
- [8] C. F. Cowan, and P. M. Grant, *Adaptive Filters*. Moscow, Russia: Mir, 1988 [in Russian].
- [9] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Harlow, Essex, GB: Pearson Education, 2014.
- [10] P. S. R. Diniz, *Adaptive Filtering Algorithms and Practical Implementation*, Cham, Switzerland: Springer, 2020.
- [11] F. Gustafsson, *Adaptive Filtering and Change Detection*. Chichester, West Sussex, GB: John Wiley & Sons, 2000.
- [12] A. D. Poularikas, and Z. M. Ramadan, *Adaptive Filtering Primer with MATLAB*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006.
- [13] M. Najim, *Modeling, Estimation and Optimal Filtering in Signal Processing*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2008.
- [14] M. G. Bellanger, *Adaptive Digital Filters and Signal Analysis*. New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2001.
- [15] J. S. Lim, *Two-Dimensional Signal and Image Processing*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1990.
- [16] R. Gonzalez, R. Woods, and S. Eddins, *Digital Image Processing in MATLAB*. Moscow, Russia: Tekhnosfera, 2006 [in Russian].
- [17] *Methods of Computer Image Processing*, V. A. Soyfer, Ed. Moscow, Russia: FIZMATLIT, 2003 [in Russian].
- [18] N. Yu. Sekunov, *PC Sound Processing*. St. Petersburg, Russia: BHV-Petersburg, 2001 [in Russian].
- [19] S. F. Boll, "Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction", in *Proc. IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ASSP-27)*, 1979, vol. 2, pp. 113-120.
- [20] M. Berouti, R. Schwartz, and J. Makhoul, "Enhancement of speech corrupted by acoustic noise", in *Proc. IEEE, Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP-79)*, 1979, pp. 208-211.
- [21] R. J. McAulay, and M. L. Malpass, "Speech enhancement using a soft-decision noise suppression filter", in *Proc. IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1980, vol. 28, no. 2, pp. 137-144.
- [22] S. Malla, *Wavelets in Signal Processing*. Moscow, Russia: Mir, 2005 [in Russian].
- [23] E. Fedorov, T. Utkina, O. Nechyporenko, and Y. Korpan, "Method of speech signal structuring and transforming for biometric personality identification", *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1158, pp. 307-322, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-61656-4.
- [24] G. X. Ritter, and J. N. Wilson, *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2001.
- [25] S.-T. Bow, *Pattern Recognition and Image Preprocessing*. New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2002.
- [26] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2001.
- [27] U. Qidwai, and C. H. Chen, *Digital Image Processing: An Algorithmic Approach with MATLAB*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2009.
- [28] N. N. Krasilnikov, *Digital Processing of 2D and 3D Images*. St. Petersburg, Russia: BHV-Petersburg, 2011 [in Russian].
- [29] *Mathematical Morphology and its Application to Image and Signal Processing*, J. Goutsias, L. Vincent, and D. S. Bloomberg, Eds. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [30] Siblings Database. [Online]. Available: <https://areeweb.polito.it/ricerca/cgvg/siblingsDB.html>.

E. E. Fedorov, *Dr. Tech. Sc., Professor*,
T. Yu. Utkina, *Ph. D., Associate Professor*
e-mail: t.utkina@chdtu.edu.ua
Cherkasy State Technological University
Shevchenko Blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

NOISE CLEANING METHOD FOR VISUAL BIOMETRIC INFORMATION

One of the most important problems that exist in security systems today is to increase the effectiveness of identification of a person. Computer biometric identification speeds up and increases the accuracy of the recognition process, which is especially critical in a limited time. A special class of biometric identification of a person is formed by methods based on the analysis of visual information. The first step in processing the visual biometric information for analysis and subsequent recognition of objects such as a human face is digital image filtering or low-frequency noise elimination due to distortion of various imaging devices and their subsequent transmission through various communication channels.

The paper proposes the noise cleaning method for visual biometric information by determining the structure of the smoothing filtering model of visual information about the identified person based on statistical evaluation of the noise cleaning quality of two-dimensional signal.

The systematic analysis of modern noise cleaning methods for image is carried out. Smoothing adaptive linear time filtering; smoothing adaptive linear frequency filtering, called spectral subtraction; wavelet analysis with threshold processing; smoothing non-adaptive linear time filtering; smoothing non-linear filtration have been studied. It is established that the considered cleaning methods for visual biometric information have one or more of the following disadvantages: not automation of the choice of structure and parameters of the filter model and/or the low accuracy of additive and multiplicative noise cleaning. Therefore, it is important to develop the noise cleaning method of visual biometric information for pre-processing of human face images, which will ensure the necessary image quality and will not require time-consuming procedures to determine parameter values by the operator based on his empirical experience.

The structure of the smoothing filtration model, which is reduced to determining the filter order, is determined. The characteristics and quality criterion of visual signal noise cleaning are offered. Numerous studies have been performed to determine the filter order parameter using the Siblings database, which allows to establish the most effective method based on statistical evaluation of the quality of visual information noise cleaning: in the case of additive Gaussian noise and in the case of multiplicative Gaussian noise, the least standard error, that meets the criterion of quality of visual signal noise cleaning, provides a medium α -truncated filter.

The proposed method allows to set and solve the problem of the visual signal pre-processing used for analysis and storage of visual information in intelligent computer systems of biometric identification of the person on the face image.

Keywords: *visual signal, time filtering, frequency filtering, threshold processing, wavelet transform, additive Gaussian noise, multiplicative Gaussian noise.*

Стаття надійшла 29.11.2021

Прийнято 19.12.2021