

Лабораторна робота №3

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ДЛЯ СТИСНЕННЯ КОЛЬОРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ- ПЕРЕТВОРЕНЬ

Мета роботи: оволодіння навичками розробки та використання інструментального забезпечення для стиснення кольорового зображення з використанням вейвлет-перетворень.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Застосування вейвлет-перетворень для обробки зображень ґрунтується на тих же принципах, які використовуються для аналізу дискретних сигналів [3, 13]. Вейвлети, спочатку розроблені для аналізу одновимірних сигналів, надають потужний інструмент для виявлення та локалізації частотних компонентів у сигналі, що особливо корисно при роботі з сигналами, що містять різкі зміни або шум. Ці властивості вейвлетів відкрили широкі можливості для їх застосування в різних областях обробки даних, включаючи аналіз та стиснення зображень. Тому викладення матеріалів по означеній темі даного розділі доцільно почати з розгляду базових положень використання вейвлетів для аналізу дискретних сигналів, щоб потім перейти до застосування в контексті обробки двовимірних сигналів, таких як зображення [9, 13].

Розглянемо дискретний сигнал виду:

$$s = s(t, \Theta), \quad (3.1)$$

де Θ – вектор випадкових параметрів.

По причині того, що реєстрація даних відбувається через відповідні інтервали часу, то на кінцевому відрізку їх відносять до фінітних дискретних сигналів. З точки зору вейвлет-аналізу, такий сигнал характеризується енергією та моментами. Енергія сигналу на заданому інтервалі визначення $t \in [t_1, t_2]$ розраховується так:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} s(t)^2 dt. \quad (3.2)$$

Початковим моментом ν -го порядку функції $s(t)$ називається вираз виду

$$m_\nu = m_0^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} t^\nu s(t) dt, \quad (3.3)$$

де m_0 – нульовий момент, який розраховується так:

$$m_0 = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) dt. \quad (3.4)$$

Центральним моментом ν -го порядку функції $s(t)$ називається вираз виду

$$m_\nu^0 = m_0^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} (t - m_1)^\nu s(t) dt, \quad (3.5)$$

де m_1 – перший початковий момент.

Як правило, сигнал можна представити у вигляді суми простих коливань, сукупність інтенсивностей яких називається спектром. Іншими словами спектр – це набір чисел, що визначає долю кожного коливання у сигналі. Теорія вейвлет-перетворень дозволяє не тільки визначити спектр сигналу, але й локалізувати частотні характеристики спектру у часі.

Формально інтегральне вейвлет-перетворення функції $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ записується наступним чином:

$$W(a, b) = |a|^{-0,5} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t - b}{a} \right) dt, \quad (3.6)$$

де ψ – базовий вейвлет (базисна функція); * – процедура комплексного спряження; a – масштаб вейвлету; b – зсув вейвлету.

Базисна функція вейвлету повинна відповідати загальним вимогам:

– Повинен дорівнювати нулю нульовий момент функції s , що розраховується відповідно (3.4).

– Енергія функції (3.2) повинна бути кінцевою, концентруватися всередині деякого фінітного інтервалу $\Delta t = [t_1, t_2]$ та швидко спадати до нуля поза цим інтервалом. Крім цього для аналізу рядів з поліноміальним трендом в базисних вейвлетах повинні рівнятись нулю центральні моменти ν -го порядку. В інженерних задачах широке розповсюдження отримали вейвлет-функції, що побудовані на основі похідних функцій Гауса виду

$$\psi(t) = \frac{(-1)^k}{\sqrt{2\pi}} \frac{\partial^k}{\partial t^k} e^{-0.5t^2}, \quad (3.7)$$

де k – ціле число, $k \geq 1$.

Збільшення k збільшує кількість центральних моментів, що дорівнюють 0, це дозволяє визначити із сигналу інформацію про особливості більш високого порядку. З позицій обробки зареєстрованих даних це представляє можливість більш детально аналізувати високочастотні складові сигналу. Зазначимо, що підвищена деталізація може негативно вплинути на узагальнюючу сторону аналізу, а також значно підвищити об'єм обчислювальних операцій. В той же час деталізація параметрів вейвлет-моделі повинна відповідати значимим періодам зміни піддослідного сигналу. Особливістю дискретного вейвлет-перетворення дискретної функції є використання дискретних значень масштабу та зсуву вейвлету. Вказані величини задаються у вигляді степеневих функцій виду

$$a = a_0^{-m}, \quad (3.8)$$

$$b = k \times a_0^{-m}, \quad (3.9)$$

де m – параметр масштабу; k – параметр зсуву; a_0 – початковий масштаб.

З врахуванням (3.8, 3.9) вираз (3.6) запишемо так:

$$W(m,k) = |a_0|^{0,5m} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^*(a_0^m \times t - k) dt, \quad (3.10)$$

Доволі часто a_0 приймають рівним 2. Таке дискретне вейвлет-перетворення називають діадним. Для діадного вейвлет-перетворення вирази (3.6-3.10) трансформуються так:

$$a = 2^{-m}, \quad (3.11)$$

$$b = k \times 2^{-m}, \quad (3.12)$$

$$W(m,k) = 2^{0,5m} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^*(2^m \times t - k) dt. \quad (3.13)$$

На початку аналізу вейвлет розміщується в початок сигналу ($t=0$), перемножується з сигналом, інтегрується на інтервалі свого визначення та нормалізується на $|a_0|^{0,5m}$. Результат обчислення $W(a,b)$ розміщується в точці ($a = a_0^{-m}, b = 0$) масштабного-часового спектру перетворення. Далі вейвлет масштабу a_0^{-m} зсувається вправо на значення

$$b = k \times a_0^{-m}. \quad (3.14)$$

Після цього процедура перемноження з сигналом, інтегрування на інтервалі свого визначення та нормалізації повторюється. На частотно-часовій площині отримуємо значення, що відповідає $t = b$ і $a = a_0^{-m}$. Процедура повторюється до тих пір, поки вейвлет не досягне кінця сигналу. Для обчислення наступного масштабного рядка значення a дискретно збільшується на деяке значення, що визначається параметром m . Тим самим здійснюється дискретизація масштабного-часової площини. Максимальне значення масштабу a відповідає тривалості всього ряду даних, що аналізується. Для деталізації самих високих частот сигналу мінімальний розмір вікна вейвлету не повинен перевищувати період найбільш високочастотної гармоніки.

На практиці при проведенні дискретного вейвлет-аналізу необхідно

враховувати наступні особливості:

- Область визначення сигналу обмежена інтервалом $t \in [t_{min}, t_{max}]$.
- Реєстрація даних відбувається з визначеною дискретністю Δt .
- Для діадного перетворення кількість точок ряду N , що описує цифровий сигнал повинна дорівнювати

$$N = 2^z, \quad (3.15)$$

де z – ціле число.

З врахуванням цих особливостей (3.10, 3.13) трансформуються так:

$$W(m, k) = a_0^{0,5m} \sum_{i=1}^N (f(t_i) \Psi^*(a_0^m \times t_i - k)), \quad (3.16)$$

$$W(m, k) = 2^{0,5m} \sum_{i=1}^N (f(t_i) \Psi^*(2^m \times t_i - k)), \quad (3.17)$$

де N – кількість точок ряду; $f(t_i)$ – значення ряду даних у момент часу t_i ; t_i – i -ий момент реєстрації.

Зазначимо, що в (3.17) при фіксованому масштабі зсув змінюється в інтервалі від 0 до 2^{z-m} , а максимальний масштаб дорівнює $z - 1$.

Результатом вейвлет-перетворення одномірного ряду динаміки, якому відповідає цифровий сигнал, являється множина значень коефіцієнтів W , що визначені у просторі a (масштаб вейвлету) та b (зсув вейвлету). Таким чином, вейвлет-модель цифрового сигналу може бути представлена виразами (3.16) та (3.17).

Обернене дискретне вейвлет-перетворення, яке являється відновленням дискретної функції по набору вейвлет-коефіцієнтів, визначається виразом:

$$f(t) = \frac{\pi}{\ln a_0} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{L-1} \Psi(t)^* W(m, k), \quad (3.18)$$

де L – кількість масштабів.

Розглянемо метод застосування вейвлет-перетворень для фільтрації цифрового зображення, що по суті є дискретним двовимірним сигналом [3, 8]. Зазначимо, що вказані цифрові напівтонові або кольорові зображення, які пристосовані до відображення за допомогою сучасних розповсюджених комп'ютерних засобів описуються за допомогою двовимірної прямокутної або квадратної матриці. Тому для аналізу таких сигналів прийнято використовувати двовимірне дискретне вейвлет-перетворення, яке є композицією одновимірних дискретних вейвлет-перетворень.

На кожному етапі деталізації спочатку одновимірні дискретні вейвлет-перетворення застосовуються для кожного рядка двовимірної матриці вхідних даних. Після цього виконуються одновимірні вейвлет-перетворення для кожного стовпця отриманої матриці.

Математичний апарат для розрахунку матриці вейвлет-коефіцієнтів одного рядка пікселів кольорового зображення визначається виразами виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{m,k} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n) \varphi^*(a_0^m x_n - k)), \\ 1 \leq m, k \leq N \end{array} \right. \quad (3.19)$$

$$q = 0,299R + 0,587G + 0,114B, \quad (3.20)$$

де a_0 – початковий масштаб; k – параметр зсуву; m – параметр масштабу; x_n – координата n -ої точки зображення; $*$ – операція комплексного спряження; N – розмір зображення; $q(x_n)$ – величина закодованого кольору зображення в точці x_n ; φ – базисний вейвлет; R, G, B – компоненти кожного із каналів кольору в форматі RGB для окремого пікселя.

Зазначимо, що вирази (3.19, 3.20) використовуються у випадку, коли при обробці зображення його кольором можливо знехтувати. У випадку, коли це реалізувати недоцільно, вейвлет-коефіцієнти розраховуються окремо для кожного із кольорових каналів. Відповідний математичний апарат можливо записати так:

$$\left\{ \begin{aligned} W_{m,k}(i) &= \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n, i) \varphi^*(a_0^m x_n - k)), \\ 1 \leq m, k &\leq N \end{aligned} \right. \quad (3.21)$$

де $q(x_n, i)$ – інтенсивність i -го каналу кольору в точці x_n .

При використанні RGB-моделі канали співвідносяться з червоним, зеленим та блакитним кольором.

Власне процедура фільтрації полягає у вилученні визначених компонент матриці $W_{m,k}$. В більшості випадків вилучаються ті компоненти матриці $W_{m,k}$, для яких параметр зсуву та/або параметр масштабу виходять за межі наперед визначеного діапазону.

Після цього компоненти відфільтрованої матриці $W_{m,k}$ використовуються в процедурі оберненого вейвлет-перетворення для відновлення очищеного зображення.

Для напівтонового зображення використовується вираз (3.22), для багатокольорового зображення – вираз (3.23).

$$q(x_n) = \frac{\pi}{\ln(a_0)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) W_{m,k}), \quad (3.22)$$

$$q(x_n, i) = \frac{\pi}{\ln(a_0)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) W_{m,k}(i)), \quad (3.23)$$

де i – номер кольорового каналу.

Базуючись на загальноприйнятих вимогах, які забезпечують ефективність вейвлет-перетворень, визначено доцільність використання діадного дискретного вейвлет-перетворення, що за рахунок зменшення кількості копій базисного вейвлету дозволяє зменшити обчислювальну складність процедури обчислення вейвлет-коефіцієнтів.

Застосування діадного дискретного вейвлет-перетворення призводить до модифікації виразів (3.19, 3.21-3.23):

$$\left\{ \begin{aligned} \mathbf{W}_{m,k} &= \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n) \varphi^*(2^m x_n - k)), \\ 1 &\leq m, k \leq N \end{aligned} \right. \quad (3.24)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \mathbf{W}_{m,k}(i) &= \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_{n=0}^{N-1} (q(x_n, i) \varphi^*(2^m x_n - k)), \\ 1 &\leq m, k \leq N \end{aligned} \right. \quad (3.25)$$

$$q(x_n) = \frac{\pi}{\ln(2)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) \mathbf{W}_{m,k}), \quad (3.26)$$

$$q(x_n, i) = \frac{\pi}{\ln(2)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\varphi^*(x_n) \mathbf{W}_{m,k}(i)). \quad (3.27)$$

Труднощі створення ефективних фільтрів багато в чому пов'язані зі складністю розрахунку меж діапазонів, які визначають перелік компонентів матриці $\mathbf{W}_{m,k}$, котрі підлягають вилученню. Тому розробка ефективних методів фільтрації обов'язково передбачає врахування особливостей прикладної області застосування.

Розглянемо можливість застосування вейвлет-перетворень для фільтрації типових завад, які є характерними для зображень асоційованих з біометричними параметрами людини, зареєстрованими за допомогою відеокамер систем дистанційного навчання.

В системах дистанційного навчання типові завади, що виникають на зареєстрованих зображеннях, в основному викликані:

- наявністю предметів, що закривають частину зображення;
- нерівномірністю освітлення, що призводить до відблисків на зображенні.

При цьому в багатьох випадках локалізація та інші параметри типових завад мають нестационарний динамічний характер.

Для прикладу, на рис. 3.1 показано спотворені під впливом типових завад зображення обличчя та зображення райдужної оболонки ока.

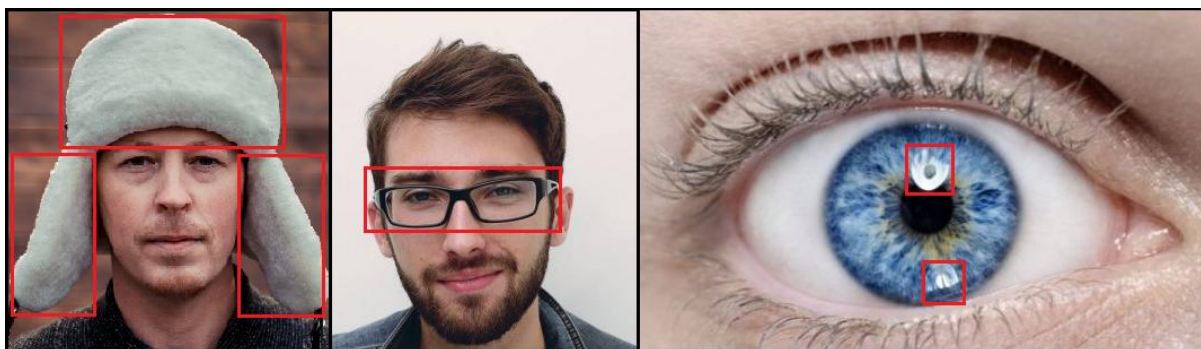


Рис. 3.1. Спотворені під впливом типових завад зображення обличчя та зображення райдужної оболонки ока

На рис. 3.1 показані типові завади, до яких відносяться шапка, окуляри та відблиски світла. Зазначимо, що не зважаючи на природу завад, їх негативний вплив полягає у тому, що на зображенні з'являються ділянки, котрі власне і спотворюють зображення. При цьому в умовах системи дистанційного навчання характер та локалізація спотворень можуть змінюватись в часі. Це пояснюється динамічним характером завад для одного і того ж об'єкту в різні моменти часу реєстрації біометричних параметрів.

Наприклад, як це показано на рис. 3.2, в момент часу t_1 в лівому нижньому куті райдужної оболонки ока виникає завада типу «відблиск», пов'язана з нерівномірністю освітлення. В момент часу t_2 через зміну освітлення подібна завада виникає вже у правому верхньому куті райдужної оболонки ока. Тому координати місцеположення завад змінюється з плином часу.



Рис. 3.2. Ілюстрація динамічного характеру локалізації завад

Разом з тим, динамічний характер локалізації однієї або декількох

завад дозволяє стверджувати, що в кожен окремий момент часу на зареєстрованому зображенні можуть бути як викривлені, так і невикривлені частини зображення, котре асоційоване з біометричним параметром. При цьому місцеположення цих частин змінюється. Це дозволяє стверджувати, що за рахунок порівняння зображень, зареєстрованих у різні моменти часу, можливо відтворити незашумлене зображення.

Вказаний постулат дозволяє запропонувати підхід до розробки методу фільтрації біометричних параметрів. В базовому варіанті підхід передбачає:

- Розрахунок значень вейвлет-коефіцієнтів кожного із зареєстрованих зображень.

- Попарну інтеграцію розрахованих значень вейвлет-коефіцієнтів між собою.

- Реалізацію зворотнього вейвлет-перетворення, що призводить до отримання відфільтрованого невикривленого зображення.

Зазначимо, що попарна інтеграція вейвлет-коефіцієнтів, здійснена з урахуванням необхідності нівелювання завад, може бути реалізована за допомогою одного із принципів:

- 'max' - вибір максимального з двох коефіцієнтів;
- 'min' - вибір мінімального з двох коефіцієнтів;
- 'mean' - вибір середнього значення з двох коефіцієнтів;
- 'img1' - вибір коефіцієнта першого зображення;
- 'img2' - вибір коефіцієнта другого зображення;
- 'rand' - випадковий вибір з двох коефіцієнтів.

Також при створенні методу фільтрації використано результати роботи [9], в якій наведено метод вибору найбільш ефективного базисного вейвлету, що відповідає необхідності досягнення достатньої точності спектрального аналізу при мінімальних обчислювальних витратах.

Приклад фільтрації зображення обличчя з нестационарними завадами, викликаними нерівномірністю освітлення, реалізований відповідно наведеного підходу за допомогою засобів програмного комплексу MATLAB, показано на рис. 3.3.

Базуючись на запропонованому в [8] підході розроблено метод фільтрації біометричних параметрів, що асоціюються з двовимірними кольоровими або напівтоновими зображеннями. В базовому випадку реалізація методу полягає у виконанні наступних етапів:

1. Провести реєстрацію відеоряду, що відповідає послідовному відображенню зображень, котрі асоціюються з певним біометричним параметром.

2. Визначити тип зображення, що підлягає фільтрації. Мається на увазі необхідність аналізу кольорового, напівтонового (з одним кольоровим каналом) або чорно-білого (монохромного) зображення.

3. Визначити перелік підконтрольних зображень відеоряду, що відповідають зображенням, у яких викривлення локалізовані у різних частинах.

4. Визначити перелік типових завад, що притаманні певному біометричному параметру, асоційованому з зображенням.

5. Реалізувати вибір найбільш ефективного базисного вейвлету.

6. Визначити необхідний рівень деталізації вейвлет-перетворень.

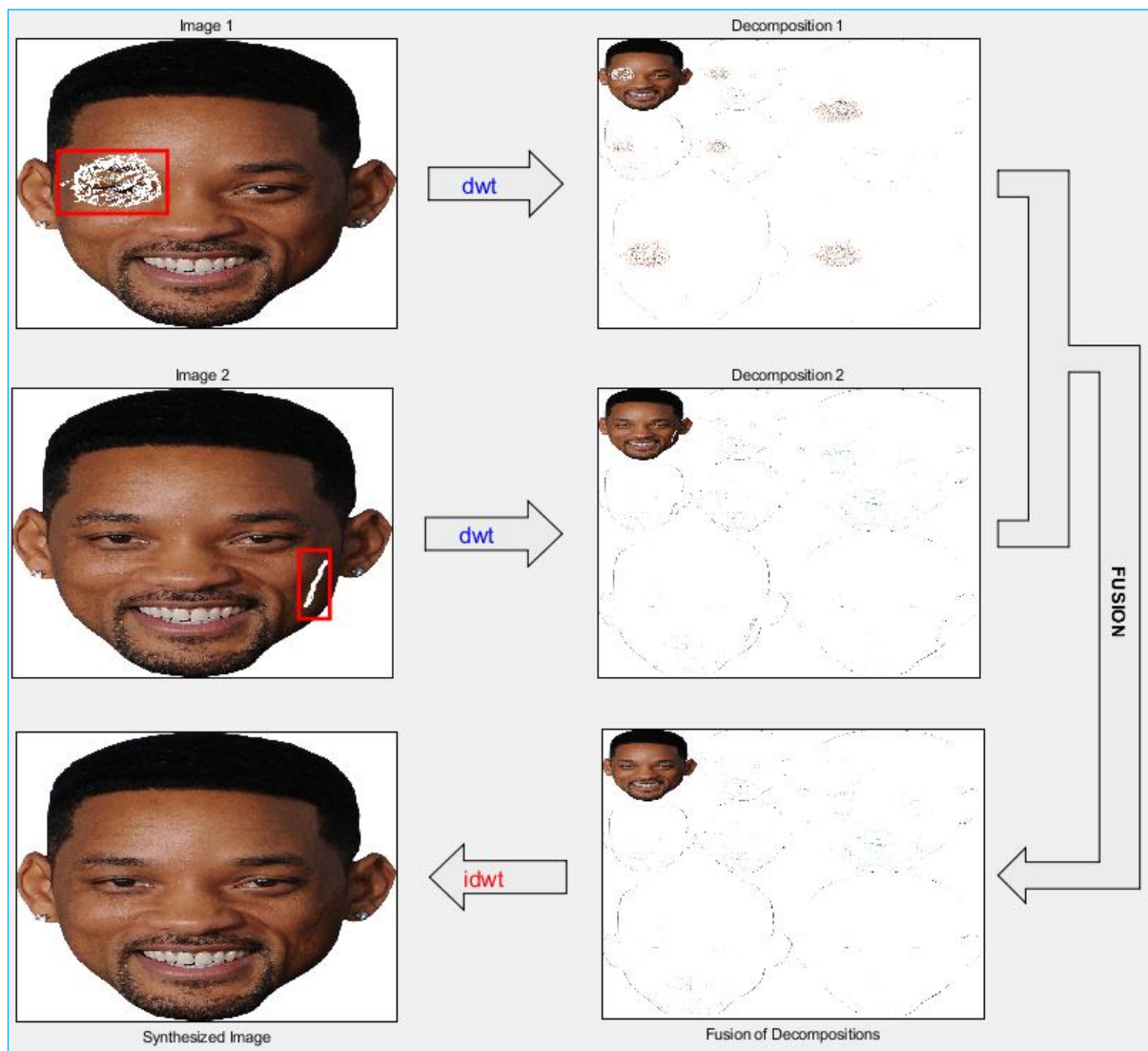


Рис. 3.3. Приклад фільтрації зображення обличчя засобами MATLAB

7. Розрахувати значення вейвлет-коефіцієнтів кожного із підконтрольних зображень.

8. Обрати принцип інтеграції вейвлет-коефіцієнтів.

9. Попарно інтегрувати розраховані значення вейвлет-коефіцієнтів між собою.

10. Використовуючи отримані значення вейвлет-коефіцієнтів провести реалізацію зворотнього вейвлет-перетворення, що призводить до отримання незашумленого зображення.

Особливості наведеного методу пов'язані з тим, що:

- При реалізації сьомого та десятого етапів використовуються вирази (3.24, 3.25) та (3.26, 3.27).

- Для визначення найбільш ефективного типу базисного вейвлету можливо застосувати наведений в роботі [8] підхід, в якому обґрунтовано доцільність використання базисного вейвлету, геометрична форма якого найбільш подібна до геометрії процесу, що аналізується. При цьому забезпечується мінімізація обсягу обчислень при вейвлет-перетвореннях та досягається максимальна точність відтворення зображення після зворотнього вейвлет-перетворення.

За аналогією з відомими методами розробки засобів прогнозування параметрів комп'ютерних систем, запропонований п'ятий етап методу фільтрації біометричних параметрів на основі вейвлет-перетворень базується на наступних положеннях:

- Критерії вибору найбільш ефективного типу базисного вейвлету повинні відображати міру его пристосованості до поставленої задачі фільтрації.

- Під k -им критерієм визначення найбільш ефективного типу базисного вейвлету будемо розуміти міру забезпечення в даному типі вейвлету k -ої вимоги задачі фільтрації;

- Розрахунок ефективності i -го типу базисного вейвлету можливо представити у вигляді:

$$R_i = \sum_{k=1}^K \alpha_k r_k(i), \quad (3.28)$$

де R_i - показник інтегральної ефективності i -го типу базисного

вейвлету; $r_k(i)$ - k -ий критерій ефективності i -го типу материнського вейвлету; k - ваговий коефіцієнт k -го критерію ефективності; K - кількість критеріїв ефективності.

- Найбільш ефективний тип базисного вейвлету визначається виразом вигляду:

$$R_{eff} = \max\{R\}_I, \quad (3.29)$$

де $\{R\}_I$ - множина показників інтегральної ефективності типів базисних вейвлетів; I - потужність множини.

Використовуючи аналогію з загальноприйнятою методологією обробки зображень, для звуження номенклатури варіантів пошуку найбільш ефективного типу базисного вейвлету запропоновано обмежитись дослідженням вейвлетів HAAR, MHAT, WAVE, FHAT, LP, Daubechies wavelet, Morlet. Для опису вказаних вейвлетів як правило використовуються вирази виду:

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, x \in [0; 0,5] \\ -1, x \in [0,5; 1], \\ 0, x \in [0; 1] \end{cases} \quad (3.30)$$

$$\varphi(x) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-0,25} (1 - x^2) e^{-0,5x^2} \quad (3.31)$$

$$\varphi(x) = x e^{-0,5x^2}, \quad (3.32)$$

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, x \in]-\infty, \frac{1}{3}] \\ -0,5, x \in]\frac{1}{3}, 1], \\ 0, x \in]1, \infty[\end{cases} \quad (3.33)$$

$$\varphi(x) = (\pi x)^{-1} (\sin(2\pi x) - \sin(\pi x)), \quad (3.34)$$

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_k g_k \phi(2x - k), \quad (3.35)$$

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_k h_k \phi(2x - k), \quad (3.36)$$

$$\varphi(x) = e^{ik_0x} e^{-0,5x^2}, \quad (3.37)$$

де φ – функція, що визначає базисний вейвлет; ϕ – рівняння, що визначає розтягування Daubechies wavelet; g_k, h_k – коефіцієнти, що використовуються при побудові Daubechies wavelet; k_0 – коефіцієнт, що використовується при побудові Morlet-вейвлету.

Зазначимо, що для визначення Daubechies wavelet використовуються вирази (3.35, 3.36). В [8] сформовано множину критеріїв ефективності базисного вейвлету. Перелік цих критеріїв наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Критерії ефективності типу базового вейвлету

Критерій	Опис
r_1	Наявність у вейвлет-коефіцієнтах надлишкової інформації
r_2	Відсутність у вейвлет-коефіцієнтах надлишкової інформації
r_3	Можливість реалізації швидкого вейвлет-перетворення
r_4	Наявність нескінченної регулярності
r_5	Наявність випадкової регулярності
r_6	Симетричність базисної функції
r_7	Асиметричність базисної функції
r_8	Ортогональність базисної функції
r_9	Наявність функції масштабування
r_{10}	Можливість повного відновлення сигналу
r_{11}	Компактність базисної функції
r_{12}	Подібність геометрії базисної функції з геометрією процесу, що підлягає аналізу

За аналогією з [9, 13], прийнято, що значення запропонованих критеріїв від r_1 до r_{11} можуть бути оцінені по двобальній дискретній шкалі. При цьому для i -го типу базисного вейвлету значення k -го критерію дорівнює 1, якщо відповідна k -та вимога повністю забезпечується, та дорівнює 0, якщо не забезпечується. Розраховані значення критеріїв для

апробованих типів базисних вейвлетів наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Значення критеріїв ефективності для апробованих типів базисних вейвлетів

Тип базисного вейвлету	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}
WAVE-вейвлет	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
MHAT	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
LP-вейвлет	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Daubechies wavelet	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
HAAR	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
FHAT	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Morlet	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0

Слід зазначити, що апріорно визначити значення критерію ефективності r_{12} , який визначає подібність геометрії базисної функції з геометрією процесу, що підлягає аналізу, досить важко. Тому в табл. 3.2 його значення відсутнє.

Використання описаних базових положень визначення найбільш ефективного виду базисного вейвлету дозволили розділити п'ятий етап методу фільтрації біометричних параметрів, асоційованих з напівтоновим або кольоровим зображенням, на наступні кроки:

1. Формалізація умов завдання з метою визначення виду і значень параметрів, що визначають завади на піддослідному зображенні. При цьому слід реалізувати подання кожного рядка/стовпця пікселів зображення у вигляді графіка у декартовій системі координат.

2. Визначення значення критерію r_{12} для кожного з апробованих типів базисних вейвлетів, заданих виразами (3.30-3.37). Визначення полягає в оцінці близькості геометрії форми базисного вейвлету і геометрії графіків, асоційованих з рядками пікселів піддослідного зображення.

3. Визначення значущості кожного із критеріїв ефективності, представлених в табл. 3.1. Визначення можливо реалізувати шляхом експертного оцінювання.

4. Розрахунок ефективності кожного типу базисного вейвлету. Для цього слід використати вираз (3.28).

5. Визначення за допомогою виразу (3.29), найбільш ефективного типу базисного вейвлету.

Загальна схема методу фільтрації напівтонових та кольорових зображень, що відповідають біометричним параметрам, наведена на рис. 3.4.

Стиснення зображення з застосуванням вейвлет-перетворень базується на можливості видалення із зображення незначимих компонентів за рахунок видалення певних коефіцієнтів отриманих в результаті прямого вейвлет-перетворення, що в більшості випадків призводить до зменшення обсягу пам'яті потрібної для зберігання файлу зображення.

В дещо спрощеному вигляді *метод стиснення зображення* на основі вейвлет-перетворень передбачає виконання наступних етапів:

1. З використанням обраного материнського вейвлету до початкового зображення застосовується процедура вейвлет-перетворень, що призводить до виділення із зображення окремих частотних компонент.

2. До отриманих на попередньому етапі вейвлет-коефіцієнтів застосовується процедура обробки до складу якої можуть входити операції квантування, селекції (видалення малозначимих) та кодування.

3. Відновлення стисненого зображення за рахунок реалізації процедури оберненого вейвлет-перетворення з використанням набору вейвлет-коефіцієнтів отриманих при виконанні попереднього етапу.

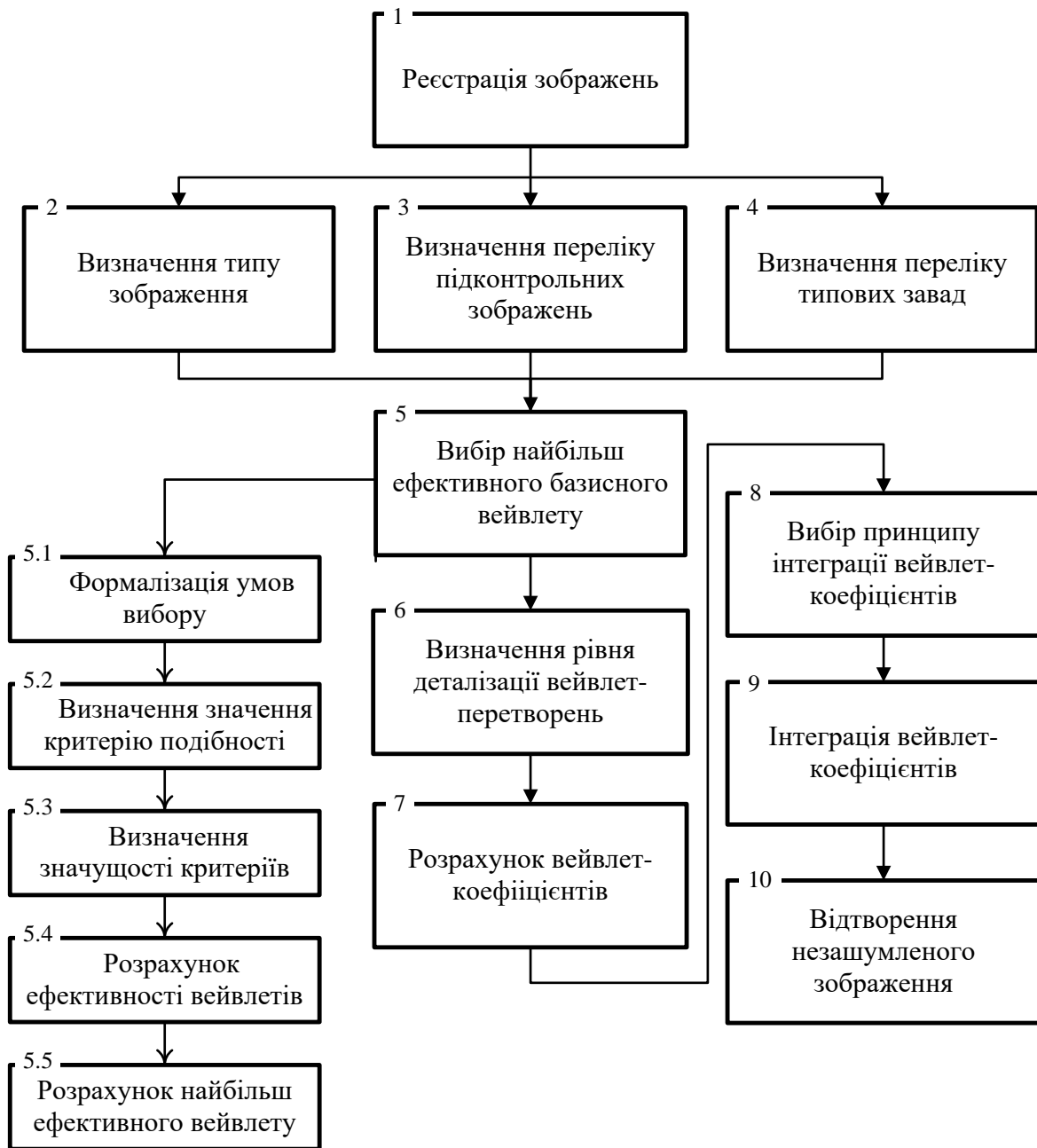


Рис. 3.4. Структурна схема методу фільтрації зображень

Розглянемо процедуру стиснення зображення з використанням діадного вейвлет-перетворення на основі вейвлету Хаара (3.30), який можна вважати одним із найбільш простих типів вейвлет-перетворень.

В цьому випадку перша ітерація прямого вейвлет-перетворення одновимірного дискретного сигналу може бути описана за допомогою виразів виду:

$$w_a = \frac{x_{2n-1} + x_{2n}}{\sqrt{2}} \quad n = 1, 2, \dots, \frac{N}{2}, \quad (3.38)$$

$$w_d = \frac{x_{2n-1} - x_{2n}}{\sqrt{2}} \quad n = 1, 2, \dots, \frac{N}{2}, \quad (3.39)$$

де w_a – апроксимуюча компонента; w_d – деталізуюча компонента; x_n – значення n -ого відліку дискретного сигналу виду $X(x(1), x(2), \dots, x(N))$; N – кількість відліків.

Зазначимо, що в виразах (3.38, 3.39) кількість відліків має бути парним числом.

В результаті здійснення першої ітерації прямого вейвлет-перетворення одновимірного дискретного сигналу формуються два сигнали: $W_a(w_a(1), w_a(2), \dots, w_a(N/2))$ та $W_d(w_d(1), w_d(2), \dots, w_d(N/2))$. Сигнал W_a являється апроксимованою версією початкового сигналу, що співвідноситься з низькочастотною складовою цього сигналу. Сигнал W_d співвідноситься з високочастотною складовою початкового сигналу, що описує дрібні деталі та різкі переходи в цьому сигналі.

Відзначимо, що W_a та W_d можуть бути використані в процедурі оберненого вейвлет-перетворення для відновлення початкового сигналу X . Для відновлення значення сигналу відлік якого є парним числом використовується вираз (3.40), а для непарних відліків – вираз (3.41).

$$x(2n - 1) = \frac{1}{\sqrt{2}}(w_a(n) + w_d(n)), \quad (3.40)$$

$$x(2n) = \frac{1}{\sqrt{2}}(w_a(n) - w_d(n)), \quad (3.41)$$

Двовимірне дискретне вейвлет-перетворення, що застосовується для стиснення зображення асоційованого з двовимірною матрицею полягає у почерговому вейвлет-перетворенні рядків та стовбців вказаної матриці.

Розглянемо приклад застосування процедури прямого вейвлет-перетворення з використанням вейвлету Хаара до зображення (двовимірного сигналу) X , заданого за допомогою наступного виразу:

$$X = \begin{vmatrix} 4 & 5 & 6 & 7 \\ 7 & 8 & 9 & 10 \\ 11 & 12 & 4 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 9 \end{vmatrix}. \quad (3.42)$$

Процес розрахунку w_a та w_d для значень відліків початкового сигналу, що відповідають першому рядку матриці (3.42), можливо проілюструвати за допомогою наступних виразів:

$$w_a(1) = \frac{1}{\sqrt{2}}(4 + 5), \quad (3.43)$$

$$w_a(2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(6 + 7), \quad (3.44)$$

$$w_d(1) = \frac{1}{\sqrt{2}}(4 - 5), \quad (3.45)$$

$$w_d(2) = \frac{1}{\sqrt{2}}(6 - 7). \quad (3.46)$$

Зазначимо, що розрахунки (3.43, 3.44) базуються на виразі (3.38), а розрахунки (3.45, 3.46) – на виразі (3.39).

Результати розрахунку w_a та w_d по всім рядкам матриці (3.42) як правило ілюструють за допомогою виразів виду (3.47) відділяючи стовпці, що містять значення w_a від стовпців, що містять значення w_d , за допомогою символу ":".

$$\begin{vmatrix} 4 & 5 & 6 & 7 \\ 7 & 8 & 9 & 10 \\ 11 & 12 & 4 & 5 \\ 6 & 7 & 8 & 9 \end{vmatrix} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 9 & 13 & : & -1 & -1 \\ 15 & 19 & : & -1 & -1 \\ 23 & 9 & : & -1 & -1 \\ 13 & 17 & : & -1 & -1 \end{vmatrix}. \quad (3.47)$$

Надалі здійснення процедури прямого вейвлет-перетворення полягає у розрахунку w_a та w_d шляхом застосування виразів (3.38, 3.39) до стовпців матриці (3.47). Отриманий результат проілюстровано за допомогою виразу (3.48).

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 9 & 13 & : & -1 & -1 \\ 15 & 19 & : & -1 & -1 \\ 23 & 9 & : & -1 & -1 \\ 13 & 17 & : & -1 & -1 \end{vmatrix} \rightarrow \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 24 & 32 & : & -2 & -2 \\ 36 & 26 & : & -2 & -2 \\ \ddots & \ddots & : & \ddots & \ddots \\ -6 & -6 & : & 0 & 0 \\ 10 & -8 & : & 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (3.48)$$

Аналіз матриці вейвлет-коефіцієнтів, наведеної в правій частині виразу (3.48), вказує на можливість виділення в ній областей (матриці) A , H , V , D опис яких наведено за допомогою виразів (3.49-3.52).

$$A = \begin{vmatrix} 24 & 32 \\ 36 & 26 \end{vmatrix}, \quad (3.49)$$

$$H = \begin{vmatrix} -2 & -2 \\ -2 & -2 \end{vmatrix}, \quad (3.50)$$

$$V = \begin{vmatrix} -6 & -6 \\ 10 & -8 \end{vmatrix}, \quad (3.51)$$

$$D = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (3.52)$$

У виразі (3.48) вказані області вейвлет-коефіцієнтів відділені одна від другої за допомогою крапок, а їх розмірність визначається за допомогою виразу виду:

$$m \times n = \frac{M}{2} \times \frac{N}{2}, \quad (3.53)$$

де m, n – кількість рядків та стовбців в кожній із матриць A , H , V , D ; M, N – кількість рядків та стовбців матриці, що відповідає початковому двовимірному сигналу.

Область A називають апроксимуючою областю або областю наближення, область H – горизонтальною областю, область V – вертикальною областю, а область D – діагональною областю.

В контексті інтерпретації результатів прямого вейвлет-перетворення зображень для акцентування уваги на описі частотних характеристик в різних напрямках області A , H , V , D називають LL, LH, HL, HH відповідно.

Зазначимо, що описана процедура двовимірного вейвлет-перетворення може бути застосована до зображення багатократно. При цьому кожна наступна процедура застосовується до області LL, отриманої в результаті виконання попередньої процедури.

Ілюстрацією застосування двократного двовимірного прямого вейвлет-перетворення являється рис. 3.5, на якому візуалізовані значення вейвлет-коефіцієнтів, що відповідають областям LL2, LH2, HL2, HH2, LH1, HL1 та HH1.

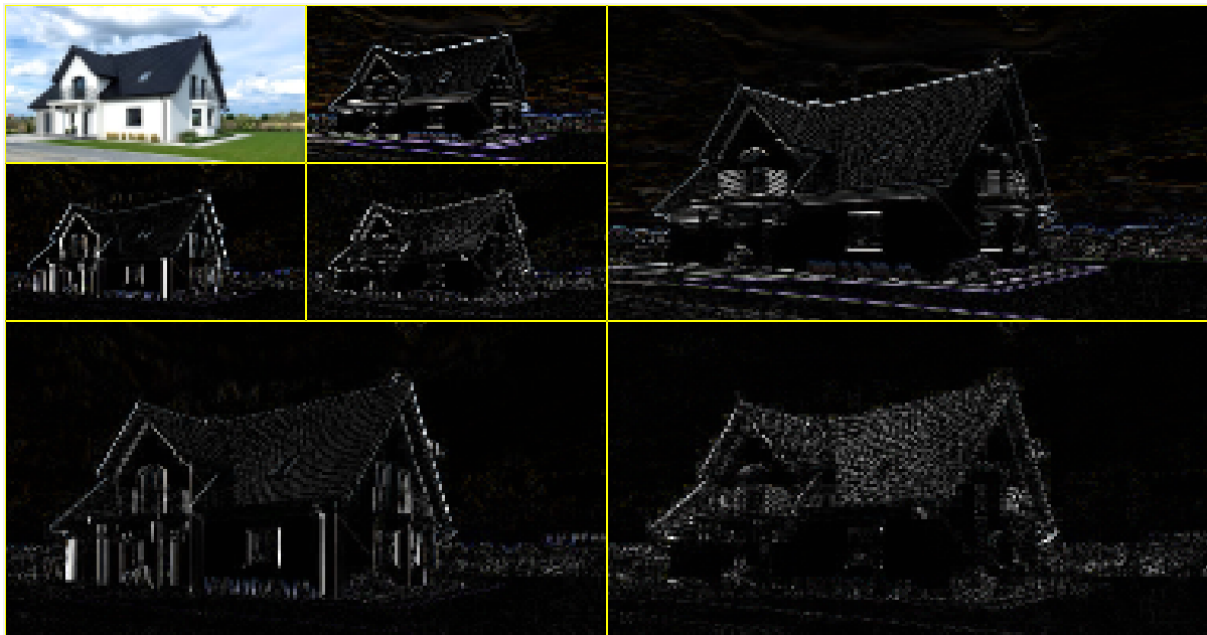


Рис. 3.5. Ілюстрація застосування прямого вейвлет-перетворення

Застосування обернених двовимірних вейвлет-перетворень для відновлення зображення передбачає рекурсивне відновлення області LL_{k-1} на основі LL_k, LH_k, HL_k, HH_k . Рекурсія закінчується при отриманні LL_0 , що відповідає відновленому зображенню.

При цьому застосування до вейвлет-коефіцієнтів, отриманих в результаті прямого вейвлет-перетворення, операцій квантування, селекції та кодування призводить до зменшення обсягу пам'яті необхідної для збереження відновленого зображення.

Хід виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями.

2. Обрати та узгодити з викладачем зображення, що підлягає стисненню.

3. З використанням програмного забезпечення, розробленого при виконанні лабораторної роботи №1, реалізувати оцінювання яскравості та контрастності зображень, що підлягають стисненню.

4. Розробити програмне забезпечення призначене для стиснення кольорового зображення, що базується на заданому виразами (3.30, 3.40-3.53) діадному вейвлет-перетворенні на основі вейвлету Хаара.

5. За допомогою розробленого програмного забезпечення здійснити стиснення обраного кольорового зображення.

6. Реалізувати оцінювання яскравості та контрастності стисненого зображення.

7. Порівняти розмір файлу та показники якості початкового та стисненого зображення.

8. Відповідно до діючих стандартів та правил, оформити звіт з лабораторної роботи, в якому відобразити:

- назву та мету лабораторної роботи;
- значення параметрів оцінювання яскравості та контрастності, отримані в результаті виконання п. 3 та п. 6;
- розмір файлу з зображенням до та після стиснення;
- рисунки, на яких показано початкове та стиснене зображення;
- висновки щодо можливостей програмного забезпечення для стиснення зображення;
- код розробленого програмного забезпечення.

Питання для самоперевірки

1. Що означає діадне вейвлет-перетворення?
2. Як проходить процедура прямого вейвлет-перетворення напівтонового зображення?
3. Яка процедура передбачена для прямого діадного вейвлет-перетворення кольорового зображення?
4. Як виконується пряме діадне вейвлет-перетворення напівтонового зображення?
5. Який результат отримується внаслідок прямого вейвлет-перетворення дискретного сигналу?
6. Яким чином можна представити інтегральне вейвлет-перетворення функції?

7. Які вимоги повинна задовольняти базисна функція вейвлету?
8. Які характерні особливості дискретного вейвлет-перетворення?
9. Що представляє собою обернене вейвлет-перетворення?
10. Який результат дає обернене вейвлет-перетворення?
11. Що таке двовимірне вейвлет-перетворення?
12. Як відбувається процедура прямого вейвлет-перетворення кольорового зображення?
13. Охарактеризуйте основні сфери застосування вейвлет-перетворення при обробці цифрових зображень.
14. Який вираз використовується для визначення вейвлету Хаара?
15. Назвіть переваги використання діадного вейвлет-перетворення для стиснення зображення.
16. Як змінюється яскравість зображення при стисненні?
17. Як змінюється контрастність зображення при стисненні?
18. Які переваги має вейвлет-перетворення у порівнянні з іншими методами обробки сигналів?