

УДК 004.932

Терещенко Т.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ямненко Ю.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мельниченко О.Л.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Панченко М.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВІДЕОКАМЕР СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Проведено порівняння відомих та нового засобів фільтрації зображень із відеокамер спостереження за допомогою вейвлет-перетворень. Отримано залежності середьоквадратичної помилки фільтрації від величини порогового рівня для жорсткого і м'якого варіантів завдання порогової функції за рівня білого шуму 20% для фільтрації на базі таких вейвлетів: Хаара, дуального, дуально-комплексного та вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі (ОБ).

***Ключові слова:** фільтрація зображень, вейвлет-перетворення, відеокамери спостереження.*

Постановка проблеми. Останнім часом одним із важливих застосувань методів вейвлет-аналізу є фільтрація зашумлених зображень із камер відеоспостереження. Для підвищення яскравості зображення, наприклад, під час знімання вночі, зазвичай підвищують параметр чутливості ISO. Цей параметр, який використовувався ще в плівковій фотографії, визначає чутливість до світла, виражається в одиницях ISO і був перенесений у цифрову фотографію для зручності [1]. Для цифрових відеокамер і передавальних телекамер, що працюють на аналогічних матрицях, одиниці ISO не застосовуються, а світлочутливість визначається мінімальною освітленістю об'єкта знімання в люксах, що дозволяє отримувати зображення з допустимим рівнем шумів. Іноді чутливість відеокамер виражається мінімальною освітленістю за певного рівня посилення сигналу в децибелах [1].

Технічно підвищення світлочутливості здійснюється шляхом попереднього підсилення електричних сигналів світлочутливої матриці й алго-

ритмів їхнього подальшого аналогово-цифрового перетворення на колірний простір фотоапарата, в основному RGB. Тобто насправді в разі підвищення значення ISO світлочутливість фотоелементів не збільшується, а посилюється електричний струм, що в них виникає. Як наслідок, у разі підвищення світлочутливості з'являються шуми, які треба відфільтрувати, щоб отримати якісне зображення.

Крім цих завад, у зображеннях із вуличних камер відеоспостереження, зокрема, за рухом автомобілів, наявні недоліки, пов'язані з погодними умовами, забрудненням номерних знаків тощо.

Проблема, яка вирішується в цій статті, – поліпшення якості фільтрації зображень із камер відеоспостереження в умовах завад.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам застосування вейвлетів для фільтрації зображень присвячені роботи [2–4]. Серед наявних вейвлетів розглянемо дискретні вейвлет-перетворення (далі – ДВП) через поширення циф-

рових методів оброблення даних, а саме вейвлети Хаара, дуальний, дуально-комплексний і вейвлет в орієнтованому базисі (далі – ОБ) [6].

Двовимірне вейвлет-перетворення Хаара є результатом застосування одновимірного перетворення послідовно по рядках і колонках зображення [2].

Рис. 1 ілюструє процес обчислення двовимірного перетворення. Вихідний сигнал (зображення) представлений матрицею S.



Рис. 1. Схема прямого двовимірного вейвлет-перетворення

Елементи матриць W_L та W_H обчислюються так:

$$a_{j,k} = \frac{s_{j,2k} + s_{j,2k+1}}{2}, \quad (1)$$

$$d_{j,k} = \frac{s_{j,2k} - s_{j,2k+1}}{2}, \quad (2)$$

згідно з формулами прямого одновимірного вейвлет-перетворення. До кожної колонки обох матриць W_L та W_H також застосовують крок одновимірного перетворення. У результаті, отримують чотири матриці (див. рис. 1). Матриця W_{LL} характеризує апроксимуючий складник, W_{HL} , W_{LH} , W_{HH} містять деталізуючу інформацію – вертикальну, горизонтальну і діагональну відповідно.

Зворотне перетворення або реконструкція зображення s здійснюється за формулами:

$$s'_{j,k} = a_j + d_j, \quad s'_{j,2k+1} = a_j - d_j. \quad (3)$$

Дуальне вейвлет-перетворення зображення реалізується паралельним використанням двох двовимірних дискретних вейвлет-перетворень. Потім для кожної пари субсмуг береться сума і різниця [3].

Двовимірне комплексне ДВП складається із двох паралельно застосованих дійсних ДВП, одне з яких аналогічно одновимірному випадку інтерпретується як уявна частина комплексного вейвлета, а інше – як дійсна. У дуально-комплексному вейвлет-перетворенні придушуються не самі коефіцієнти, а їх модулі [5].

Особливістю вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі є використання трьох різних фільтрів, тому розкладання функції-оригіналу буде виконуватися за трьома видами коефіцієнтів (табл. 1).

Розрахунок являє собою ітераційну процедуру, за якої аналіз функції проводиться на різних рівнях розкладання з поступовим розширенням інтервалу розгляду від мінімального, який включає три відліки, до максимального, рівного інтервалу визначення функції [6].

Таблиця 1

ОБ вейвлет-перетворення

Пряме ОБ вейвлет-перетворення	Зворотне ОБ вейвлет-перетворення
$s_{j-1,k} = \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j,3k} + s_{j,3k+1} + s_{j,3k+2}];$ $d^{(1)}_{j-1,k} = \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j,3k} - s_{j,3k+1}];$ $d^{(2)}_{j-1,k} = \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j,3k} - s_{j,3k+2}].$	$s_{j,3k} = \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j-1,k} + d^{(1)}_{j-1,k} + d^{(2)}_{j-1,k}];$ $s_{j,3k+1} = \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j-1,k} - 2d^{(1)}_{j-1,k} + d^{(2)}_{j-1,k}];$ $s_{j,3k+2} = \frac{1}{\sqrt{3}} [s_{j-1,k} + d^{(1)}_{j-1,k} - 2d^{(2)}_{j-1,k}].$

Постановка завдання. Мета статті – порівняння методів фільтрації зображень на базі різних типів вейвлет-перетворень, зокрема і перетворення ОБ із різними варіантами задання порогової функції, та надання рекомендацій щодо їх використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідимо процес фільтрації зображення за допомогою дискретних вейвлет-перетворень. Алгоритм вейвлет-оброблення зображення можна звести до побудови фільтрів вейвлетної декомпозиції та реконструкції (рис. 2).

Декомпозиція здійснюється шляхом обчислення вейвлет-коефіцієнтів за формулами прямого ДВП, наприклад, за формулами (1), (2) або табл. 1. Далі зменшуються або обнуляються значення вейвлет-коефіцієнтів невеликої амплітуди, завдяки чому відбувається шумозаглушення. Потім за новими значеннями коефіцієнтів реконструюється (синтезується) сигнал за формулою зворотного ДВП.

Зменшення значень вейвлет-коефіцієнтів здійснюється їх порівнянням із деякою пороговою

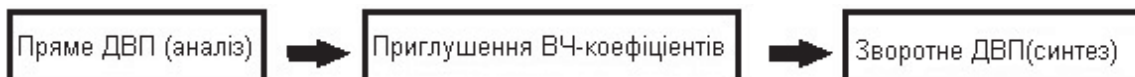


Рис. 2. Загальна схема зменшення шуму на основі вейвлет-перетворення

функцією. Розглянемо два варіанти завдання порогової функції:

1. Жорсткий:
$$v(u) = \begin{cases} u, & |u| \geq C, \\ 0, & |u| < C. \end{cases}$$

2. М'який:
$$v(u) = \begin{cases} u - C, & u \geq C, \\ u + C, & u \leq -C, \\ 0, & |u| \leq C. \end{cases}$$

Залишаються незмінними великі за модулем (найбільш значущі) вейвлет-коефіцієнти, обнуляються малі.

Порівняння методів фільтрації. Під час модулювання способів фільтрації, як-от ДВП Хаара, ОБ, дуальний та дуально-комплексний, до вихідного



Рис. 3. Зашумлене вихідне зображення

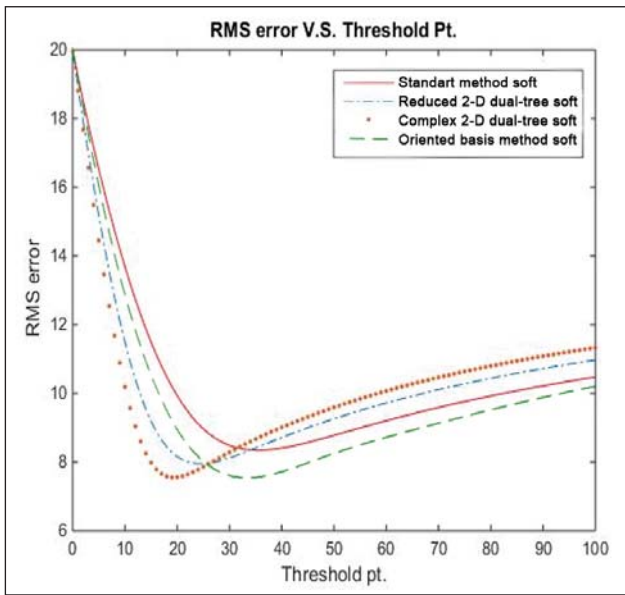


Рис. 4. Залежності середньоквадратичної помилки від рівня порога для м'якого способу задання порогової функції

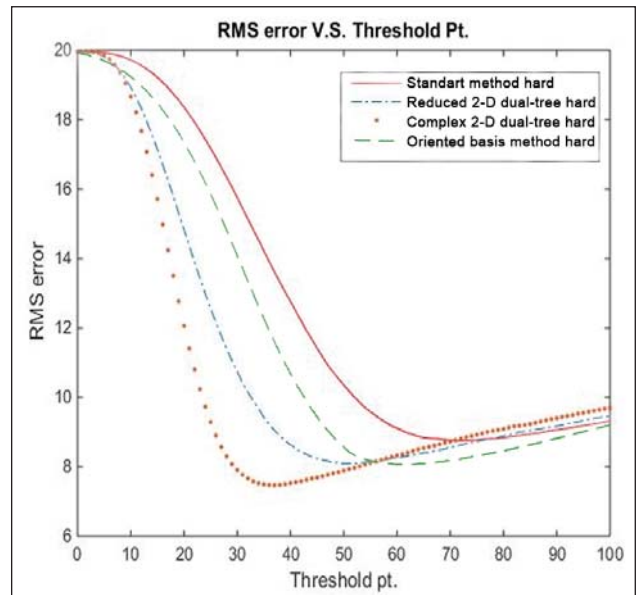


Рис. 5. Залежності середньоквадратичної помилки від рівня порога для жорсткого способу задавання порогової функції

Таблиця 2

Відфільтровані зображення

Задання порога	ДВП Хаара	ОБ	Дуальне ДВП	Дуально-комплексне ДВП
м'який				
жорсткий				

Порівняння методів фільтрації

Методи	Параметри	М'який спосіб задавання порога		Жорсткий спосіб задавання порога	
		Значення порога	RMSE, %	Значення порога	RMSE, %
ДВП Хаара		35	8	70	9
ДВП ОБ		30	7	55	8
Дуальне ДВП		25	8	50	8,5
Дуально-комплексне ДВП		20	7,5	35	7,5

зображення додаємо нормально розподілений випадковий процес (білий шум). На рис. 3 наведено вихідне зашумлене зображення. Далі проводиться фільтрація внесених завад за різних методів введення порогового рівня і варіюванні величини порога.

У табл. 2 наведено зображення, відфільтровані за допомогою різних варіантів задавання порогової функції для різних вейвлет-перетворень.

Оцінювати ефективність фільтрації будемо за значенням RMSE – середньоквадратичної помилки фільтрації:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=0}^M \sum_{n=0}^N [s_{j,n} - s'_{j,n}]^2}, \quad (6)$$

де $s_{j,n}$ – це початкове значення сигналу, $s'_{j,n}$ – значення реконструйованого сигналу після фільтрації.

На рис. 4. представлені результати моделювання даних методів для м'якого способу задання порогової функції.

На рис. 4 суцільною лінією позначена помилка фільтрації для вейвлет-перетворення Хаара, пунктирною – для вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі; штрихпунктирною – для дуального вейвлет-перетворення, крапковою – для дуально-комплексного вейвлет-перетворення.

З отриманих залежностей видно, що методи дуального та дуально-комплексного вейвлет-перетворень забезпечують менше значення середньоквадратичної помилки за значень порога приблизно до 25. За більших значень порога вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі дає кращий результат.

Отримані результати пояснюються тим, що метод дуально-комплексного вейвлет-перетворення розрізняє, на відміну від ДВП Хаара та ОБ, напрямки 45о і 135о, що сприяє більш якісному обробленню діагональних меж деталей на зображенні. Дуальне вейвлет-перетворення краще адаптується до локальних особливостей зображення. Для обох перетворень характерне більше відфільтровування корисного сигналу разом із шумом у разі збільшення значення порога. ОБ

вейвлет-перетворення має переваги за великих значень порога.

На рис. 5 представлено результати моделювання даних методів для жорсткого способу задання порогової функції. Позначення на рис. 5 такі самі, як і на рис. 4.

З рис. 5 видно, що методи дуального та дуально-комплексного вейвлет-перетворень загалом мають кращу якість фільтрації порівняно з вейвлет-перетворенням Хаара й ОБ, і лише в разі збільшення порога до 55 переваги має вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі.

Зазначимо, що всі отримані графіки (рис. 5 і 6) починаються з однієї точки на осі середньоквадратичної помилки – це штучно створений білий шум, який забезпечує середньоквадратичну помилку 20%; далі зі збільшенням порогового рівня середньоквадратична помилка спадає до деякого мінімуму (для кожного методу він різний) – це означає, що для цього методу досягається оптимальний поріг фільтрації; потім середньоквадратична помилка знову збільшується, пояснюється це тим, що зі збільшенням порога відфільтровуються більш значущі вейвлет-коефіцієнти, які містять важливі деталі зображення.

У табл. 3 наведено мінімальне значення середньоквадратичної помилки досліджуваних методів і значення порога, за яких воно досягається для двох варіантів задавання порогової функції.

З отриманої таблиці видно, що методи вейвлет-фільтрації, які досліджувалися в даній роботі, мають майже однакове значення мінімальної середньоквадратичної помилки, але для дуального та дуально-комплексного методів вони досягаються за менших значень порога.

З отриманої таблиці видно, що методи вейвлет-фільтрації, які досліджувалися в даній роботі, мають майже однакове значення мінімальної середньоквадратичної помилки, але для дуального та дуально-комплексного методів вони досягаються за менших значень порога.

Порівняння трудомісткості методів. Найменшу кількість операцій під час обчислення вейвлет-коефіцієнтів має ОБ перетворення, що поясню-

ється наявністю $2/9 = 22\%$ нулів у матриці прямого ОБ [6]. Під час реконструкції сигналу кращі показники у ДВП Хаара. Однак загалом перетворення ОБ має невелику перевагу над перетворенням Хаара. Дуальне і дуально-комплексні ДВП найбільш трудомісткі.

Висновки. Дуальне і дуально-комплексне вейвлет-перетворення продемонстрували кращі результати фільтрації за невеликих значень порога: для м'якого способу задання порогової функції – до 25, а для жорсткого – до 55. У разі перевищення вказаних значень порогів кращий результат дає фільтрація за

допомогою вейвлет-перетворення в орієнтованому базисі. Отже, ОБ вейвлет-перетворення краще підходить для зображень із високою роздільною здатністю та високим рівнем шуму. Крім того, цей метод потребує меншого обсягу обчислень.

Методи дуального та дуально-комплексного вейвлет-перетворення ефективніші за невеликих значень порога і краще підходять для зображень із відносно низькою роздільною здатністю та низьким рівнем шуму. Однак ці методи потребують більшої кількості обчислень, ніж ОБ і вейвлет-перетворення Хаара.

Список літератури:

1. Майоров В.П., Овчинников Л.Ф., Сємин М.С. Рассуждения о телевизионных камерах. Компьютера. 1998. № 14.
2. Ясин А.С., Павлов А.Н., Павлова О.Н. Вейвлет-фильтрация зашумленных изображений. Листы в ЖТФ. 2016. 50–56 с.
3. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. Успехи физических наук. 1996. № 11. С. 1145–1170.
4. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: ВУС, 1999. 204 с.
5. Selesnick I.W. The double-density dual-tree DWT. IEEE Trans. Signal Proces. 2004. V. 52. P. 1304. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1284828/> (дата звернення: 04.03.2018).
6. Жуйков В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Дискретные спектральные преобразования на конечных интервалах. Киев: КПИ, 2010. 244 с. ISBN 978–966–622–362–6.

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВИДЕОКАМЕР НАБЛЮДЕНИЯ

Проведено сравнение известных и нового способов фильтрации изображений с видеокамер наблюдения с помощью вейвлет-преобразований. Получены зависимости среднеквадратической ошибки фильтрации от величины порогового уровня для жесткого и мягкого вариантов задания пороговой функции при уровне белого шума 20% для фильтрации на базе следующих вейвлетов: Хаара, дуального, дуально-комплексного и вейвлет-преобразования в ориентированном базисе (ОБ).

Ключевые слова: *фильтрация изображений, вейвлет-преобразования, видеокамеры наблюдения.*

WAVELET TRANSFORM FOR IMAGE FILTERING FROM SURVEILLANCE CAMERAS

Comparison of known and new method of filtering images from surveillance cameras using wavelet transforms. Dependences of the root-mean-square filter error on the threshold level for hard and soft variants of threshold function assignment with a white noise level of 20% for filtering on the basis of such wavelets are obtained: Haar, dual, dual-complex and wavelet transform at oriented basis (OB).

Key words: *image filtering, wavelet transform, surveillance cameras.*