

МЕТОДИ ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ З МЕТОЮ ВИДАЛЕННЯ ШУМУ

У роботі проводиться дослідження методів фільтрації, що дозволяють знижувати рівень впливу шумів на зображення. Запропоновано рекомендації щодо застосування конкретних методів для обробки зображень з різними шумовими складовими.

Ключові слова: шум, шумопригнічення, фільтрація, фільтр.

Вступ. Цифрові зображення широко використовуються в різних областях людської діяльності й при цьому їх якість повинна відповідати сучасним досягненням науки й техніки. Створення якісних зображень або перетворення існуючих є однією з найважливіших задач обробки зображень.

У будь-якій системі мультимедіа, починаючи із супутників і закінчуючи мобільними телефонами, використовується передача зображень. При передачі, оцифруванні або стисненні якість зображення може погіршитися, що може проявлятися у виникненні шуму в графічному зображенні. Найчастіше шумозаглушення служить для поліпшення візуального сприйняття, але може також використовуватися для якихось спеціалізованих цілей - наприклад, у медицині для збільшення чіткості зображення на рентгенівських знімках, у якості передобробки для наступного розпізнавання й т.п.

Джерела шуму можуть бути різними: неідеальне обладнання для захвата зображення, погані умови зйомки або недостатній розмір матриці фотоапарата. При скануванні шуми виникають при влученні сторонніх часток і пили на оригінал, а також при невірних параметрах сканування. У тому випадку, якщо зображення було отримано за допомогою оцифрування, на ньому, як правило, також присутній шум.

Будь-які спотворення, перешкоди, шуми погіршують візуальне сприйняття й аналіз зображень, ускладнюють їхню автоматичну обробку. Наявність шумів також впливає на естетичну якість зображення. Ослаблення дії перешкод досягається фільтрацією. Під фільтрацією зображень розуміють операцію, результатом якої є зображення того ж розміру, отримане з вхідного за деякими правилами.

Метою роботи є дослідження методів фільтрації зображень, що дозволяють знижувати дію шумів і перешкод, а також пошук найбільш ефективних методів фільтрації для різних моделей шуму.

Фільтрація шумів. Для розв'язку задачі зменшення шуму проводилося дослідження методів фільтрації, що дозволяють зменшити вплив спотворень на зображення. Під фільтрами розуміють правила, відповідно до яких здійснюється фільтрація.

Найпростіша ідея видалення шуму - усереднювати значення пікселів у просторовій околиці. Найпростіший варіант фільтрації полягає в присвоєнні центральному пікселю нового значення як середньоарифметичного всіх тих його сусідів, значення яких відрізняється від значення центрального не більше ніж на деякий поріг. Прикладами таких фільтрів є прямокутний усереднюючий фільтр і круговий усереднюючий фільтр.

У прямокутному усереднюючому фільтрі для кожного пікселя аналізуються сусідні для нього пікселі, які розташовуються в прямокутному вікні навколо цього пікселя. Нехай S_{xy} позначає прямокутну околицю розмірами $m \times n$ із центром у точці (x, y) . Процедура фільтрації передбачає обчислення середнього арифметичного значення спотвореного зображення $g(x, y)$ по околиці. Значення відновленого зображення в довільній точці (x, y) буде:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{(s, t) \in S_{xy}} g(s, t).$$

Круговий усереднюючий фільтр працює так само, як і прямокутний. Для аналізу сусідніх пікселів застосовується вікно форми близької до кругової.

Більш ефективно шумозаглушення можна здійснити, якщо вплив пікселів один на одного буде зменшуватися з відстанню. Цією властивістю володіє гаусовський фільтр із ядром:

$$\hat{f}(x, y) = A e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}},$$

де параметр A - забезпечує нормування.

Піксель змішується з навколишніми за певним законом, заданим функцією Гауса. Вплив пікселів один на одного при гаусовській фільтрації зворотно пропорційний квадрату відстані між ними.

Медіанна фільтрація - це стандартний спосіб заглушення імпульсного шуму. Для кожного пікселя в деякому його оточенні (вікні) шукається медіанне значення й присвоюється цьому пікселю. Визначення медіанного значення: якщо масив пікселів відсортувати по їхньому значенню, медіаною буде серединний елемент цього масиву. Значення відновленого зображення при медіанній фільтрації в довільній точці (x, y) буде:

$$\hat{f}(x, y) = \text{med}_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(x, y)\}.$$

Вінеровська фільтрація - фільтрація методом мінімізації середнього квадратичного відхилення. Метод заснований на розгляді зображення й шуму як випадкових процесів, і завдання ставиться в такий спосіб: знайти таку оцінку \hat{f} для неспотвореного зображення f , щоб середньоквадратичне відхилення цих величин було мінімальним. Середньоквадратичне відхилення e задається формулою:

$$e^2 = E \left[(f - \hat{f})^2 \right],$$

де $E[\]$ - математичне очікування свого аргументу.

Якщо значення середньоквадратичного відхилення інтенсивностей пікселів у даній локальній області велике, то даний фільтр виконує невелике згладжування. Якщо ж це відхилення невелике, то область згладжування більше. Перевага цього фільтра полягає в тому, що він зберігає краї й інші високочастотні частини об'єктів зображення.

Результати моделювання. Реалізація фільтрації зображень була здійснена в середовищі Matlab. Був розроблений ряд m -функцій, які моделюють як фільтри шумозаглушення, описані вище, так і самі шуми. У роботі були промодельовані такі види шуму, як: імпульсний шум, адитивний Гаусов шум, Пуасонов шум і мультиплікативний шум. Для зменшення дії кожного із шумів на зображення застосовувалися всі фільтри описані вище.

Оцінка результатів фільтрації проводилася: 1) шляхом візуальної оцінки відфільтрованого зображення; 2) шляхом розрахунків пікового співвідношення сигнал/шум (ПОСШ):

$$\text{ПОСШ} = 20 \cdot \log_{10} \frac{L_{\max}}{\text{СКО}},$$

$$\text{СКО} = \sqrt{\frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{x}_{i,j})^2},$$

де СКО - середньоквадратичне відхилення для шуму;

L_{\max} - максимальний рівень інтенсивності пікселя;

m, n - кількість рядків і стовпців матриці зображення;

$x_{i,j}, \bar{x}_{i,j}$ - інтенсивність пікселя відфільтрованого (зашумленого) і еталонного

зображення.

На рис. 1 представлені результати моделювання шуму й фільтрів у середовищі Matlab.

Для оцінки результатів роботи різних методів фільтрації проведені розрахунки кількісних критеріїв якості. Чисельні оцінки фільтрації зображень наведено в таблиці 1.

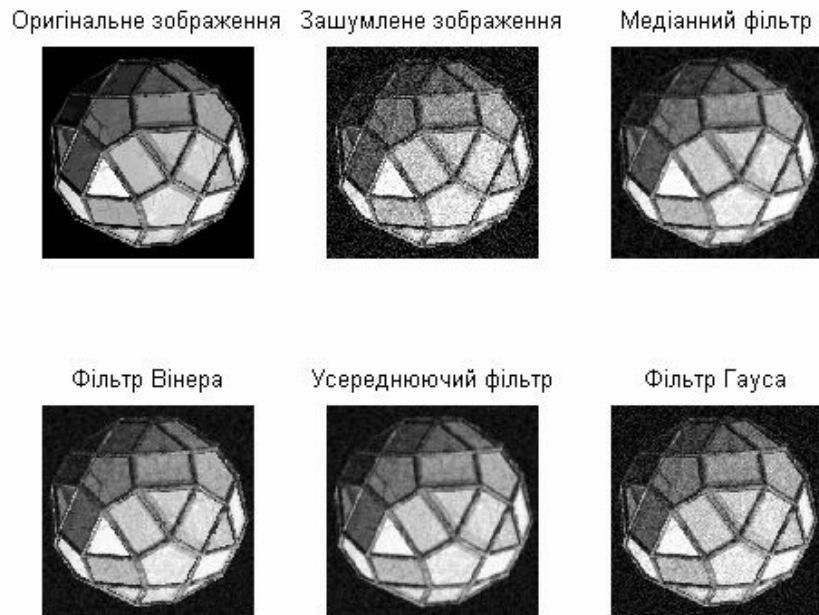


Рис. 1. Видалення адитивного Гаусовського шуму

Результати фільтрації зашумлених зображень

Таблиця 1

Тип фільтра	Пікове співвідношення сигнал/шум, дБ			
	Імпульсний шум	Гаусов шум	Пуасонов шум	Мультиплікативний шум
Зачумлене зображення	25,18	26,11	18,74	30,84
Прямокутний усереднюючий фільтр	30,08	30,42	19,26	31,31
Круговий усереднюючий фільтр	30,36	30,91	19,30	32,05
Гаусов фільтр	30,65	31,15	19,34	32,81
Медіанна фільтрація	37,11	31,54	19,04	33,53
Фільтр Вінера	27,54	35,36	19,33	37,97

Результати показують, що:

- на імпульсному шумі кращий результат показав медіанний фільтр, гірший - фільтр Вінера;
- на Гаусовому шумі кращий результат показав фільтр Вінера, гірший - прямокутний усереднюючий фільтр;
- на Пуасоновому шумі кращий результат показав Гаусовський фільтр і практично рівний йому фільтр Вінера. За чисельними показниками можна сказати, що фільтри досить погано справляються з таким видом шуму;
- на мультиплікативному шумі кращий результат показав фільтр Вінера, гірший - прямокутний усереднюючий фільтр.

Удосконалення алгоритму видалення шуму на основі комбінації фільтрів. Існує величезна кількість алгоритмів видалення шуму, які були розглянуті вище, але вони мають деякі недоліки перед перспективним вейвлет-перетворенням, яке отримало великий розвиток в останній час.

Таким чином, в даній роботі була поставлена задача синтезувати алгоритм фільтрації зображення від шуму на основі вейвлет-перетворення.

У даній роботі запропоновано алгоритм ефективної фільтрації для видалення шумів з зображення на основі комбінації декількох фільтрів. На рис. 2. наведена схема роботи запропонованого алгоритму.

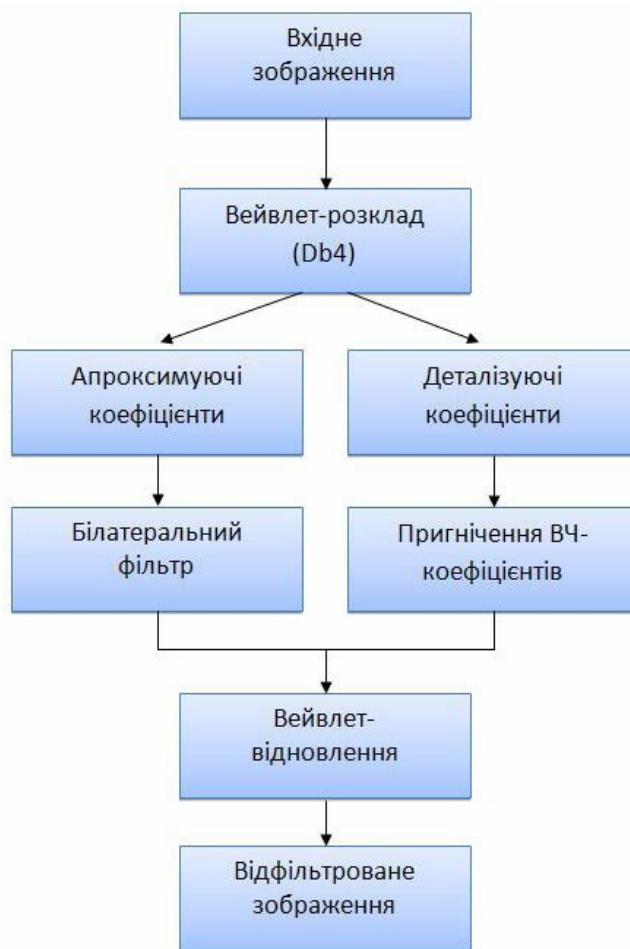


Рис. 2. Структурна схема роботи запропонованого алгоритму фільтрації

Видалення шуму в зображенні пропонується проводити в середовищі MatLab в такій послідовності:

Декомпозиція. Вибираються вейвлет і рівень розкладання N . Проводиться вейвлет-розкладання досліджуваного сигналу до рівня N . Вибір використовуваного вейвлета і глибини розкладання, в загальному випадку залежить від властивостей конкретного сигналу. Більш гладкі вейвлети створюють більш гладку апроксимацію сигналу і навпаки - “короткі” вейвлети краще відстежують піки аппроксимируючої функції. Глибина розкладання впливає на величину відфільтрованих деталей.

У процесі експериментальних досліджень для розкладання сигналу застосовувалися вейвлети Хаара, вейвлети Добеши, сімлети і койфлети при рівнях розкладання $N = 1 \div 3$.

Таким чином перший крок алгоритму полягає в застосуванні дискретного вейвлет-перетворення до вихідного зображення з шумом. Ми використовували пряме дискретне вейвлетного перетворення на прикладі фільтра Добеши 4-го порядку, що позначається Db4. На даному етапі виділили одну низькочастотну і три високочастотних компоненти вхідного зображення.

Другим кроком алгоритму було застосування білатерального фільтра до низькочастотної складової. Результатом роботи білатерального фільтра є обчислення інтенсивності кожного пікселя, як зваженого середнього інтенсивностей сусідніх пікселів [2]. Вага, пов'язана з кожним сусіднім пікселем, змінюється відповідно до значень відстаней на площині

зображення (просторова вага) і на осі інтенсивності (рангова вага), що дозволяє зберігати чіткі межі елементів зображення.

Наступним етапом було проведення порогової обробки деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів. Для кожного рівня від 1 до N вибирається поріг і проводиться жорстка порогова обробка деталізуючих коефіцієнтів.

Від вибору порогового рівня залежить якість шумозаглушення сигналу, що оцінюється в вигляді відношення сигнал/шум. Завдання малих значень порога зберігає фон в коефіцієнтах деталізації і тому призводить лише до незначного збільшення відношення сигнал/шум. При великих значеннях порога можна втратити коефіцієнти, які несуть істотну інформацію. Пошук оптимального значення означає відшукання такого порогу, який при найменшому зсуві відновленого сигналу забезпечує найбільше значення відносини сигнал/шум.

Для вибору оптимального порогового значення в процесі експериментального аналізу використовувалися адаптивний (rigrsure) і евристичний (heursure) критерії Штейна незміщеної оцінки ризику, універсальний (sqrtwolog) і мінімаксий (minimaxi) критерії [4].

Останній етап алгоритму - відновлення зображення. Для цього застосовуємо зворотне перетворення Добеші 4-го порядку. Проводиться вейвлет-реконструкція, заснована на відфільтрованих апроксимуючих коефіцієнтах рівня N і модифікованих деталізують коефіцієнтах рівнів від 1 до N .

Практична реалізація та результати дослідження. Для реалізації запропонованого алгоритму був обраний пакет Matlab. По-перше, в Matlab є безліч вбудованих функцій та фільтрів і написаний алгоритм легко порівняти з вбудованими за швидкістю та якістю. По-друге, код з Matlab можна транслювати в різні мови програмування (наприклад, C++ і C#).

В рамках даної роботи був розроблений ряд m -функцій, моделюючих як фільтри шумозниження, описані вище, так і самі шуми. В роботі проведено моделювання таких видів шуму, як: імпульсний шум, адитивний Гаусів шум і мультиплікативний шум. Для зниження впливу кожного з шумів на зображення застосовувався весь набір фільтрів. Параметри фільтрів взяті з урахуванням оптимального співвідношення ступеня видалення шуму і розмитості зображення.

В якості тестового зображення було взято напівтонове зображення розміром 232×205 tire в форматі TIF. Цей формат дозволяє зберігати растрові графічні зображення, використовуючи алгоритм стиснення без втрати якості. Потім воно було оброблено наступним способом:

До вихідного зображення за допомогою функції imnoise був доданий гаусів білий шум з дисперсією 0.05. Результат представлений на рис. 3.

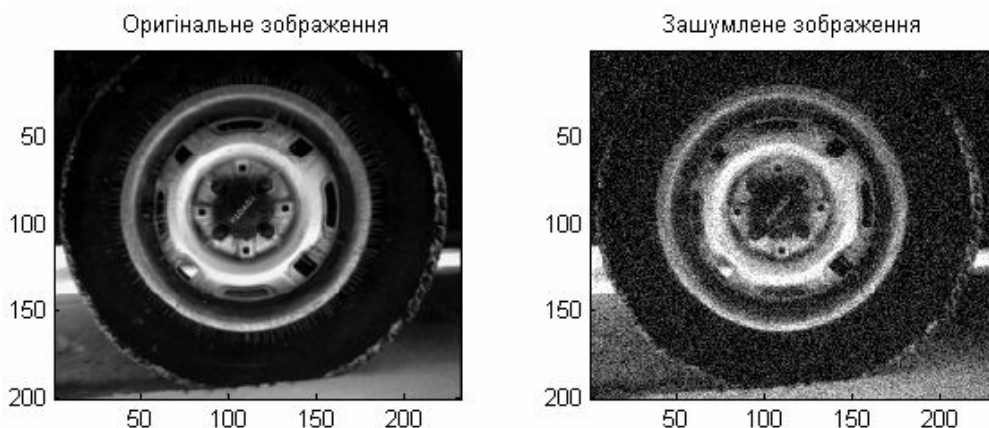


Рис. 3. Початкове зображення (ліворуч), зашумлене зображення (справа)

```
>> load tire; nbc = size(map,1);  
subplot(331), image(wcodemat(X,nbc)); title('Оригінальне зображення');  
X= X / max(X(:));
```

```

Y = imnoise(X, 'gaussian',0.05);
colormap(gray(nbc));
subplot(332), image(wcodemat(Y,nbc)); title('Зашумлене зображення');

```

Потім робимо однорівневе розкладання з використанням прямого дискретного вейвлетного перетворення Добеші 4-го порядку, що позначається Db4. На даному етапі виділили одну низькочастотну і три високочастотних компоненти вхідного зображення. Результат представлений на рис. 4.

```

>>[cA1,cH1,cV1,cD1] = dwt2(Y,'db4'); colormap(pink(nbc));
cod_X = wcodemat(Y,nbc); cod_cA1 = wcodemat(cA1,nbc);
cod_cH1 = wcodemat(cH1,nbc); cod_cV1 = wcodemat(cV1,nbc);
cod_cD1 = wcodemat(cD1,nbc); dec2d =
[cod_cA1,cod_cH1;cod_cV1,cod_cD1];
I= mat2gray(dec2d); imshow(I); %image(dec2d).

```

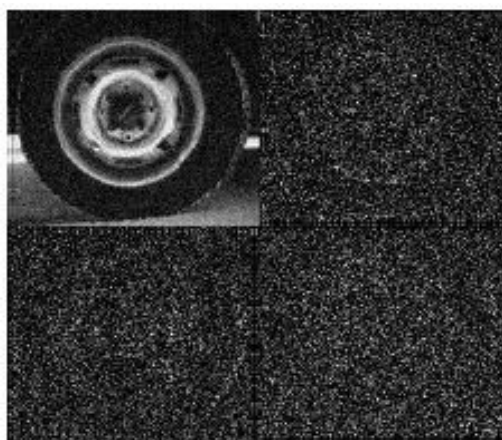


Рис. 4. Зображення після застосування вейвлет-перетворення

Наступний крок застосування білатерального фільтра до низькочастотної складової (рис. 5):

```

P= mat2gray(cod_cA1); imshow(P);
imbi = bilateralfilter(P, [103 119], 6, 0.2);
figure();% вивод результатів
subplot(1,3,1); imshow(P,[]); title('Низькочастотна складова');
subplot(1,3,2); imshow(imbi,[]); title('Білатеральний фільтр');

```

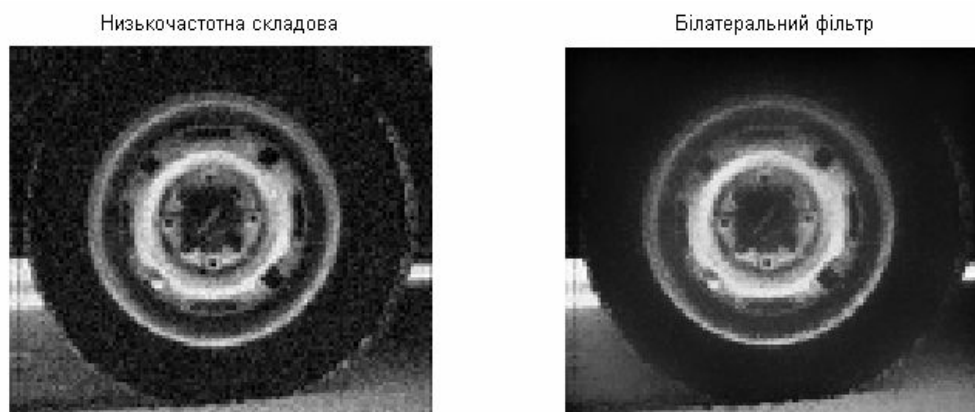


Рис. 5. Результат застосування білатерального фільтра до низькочастотної складової

Наступний етап - це проведення порогової обробки деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів. Вибір порога для видалення шуму знаходимо за допомогою функції $th = thselect(x, 'criteria')$. Функція повертає значення порога th , розрахованого для вихідних даних, що містяться в векторі або матриці x , з використанням одного з критеріїв $criteria$. При цьому критеріями, реалізованими в даній функції, є наступні:

- критерій незміщеної оцінки ризику Штайна 'rigrsure',
- модифікований критерій Штайна 'heursure',
- універсальний критерій Донохью-Джонстона 'sqtwolog',
- мінімакський критерій 'minimaxi'.

В даному випадку використаний модифікований критерій Штайна:

```
THR1 = thselect (cH1, 'heursure')
THR2 = thselect (cV1, 'heursure')
THR3 = thselect (cD1, 'heursure')
cH1 = wthresh (cH1, 'h', THR1)
cV1 = wthresh (cV1, 'h', THR2)
cD1 = wthresh (cD1, 'h', THR3)
```

І останній крок - це реконструкція зображення заснована на відфільтрованих білатеральним фільтром апроксимуючих коефіцієнтах і модифікованих деталізуючих коефіцієнтах. Проводиться відновлення за допомогою функції $idwt2$. За відомими апроксимуючими коефіцієнтами cA і деталізуючими коефіцієнтами cH , cV , cD команда $idwt2$ обчислює значення сигналу X , використовуючи вейвлет. Алгоритм відновлення - зворотний до розкладання.

```
X = idwt2 (imbi, cH1, cV1, cD1, 'db4')
figure ();
imshow (X)
```

Для порівняння візуальних результатів проведемо медіанну і адаптивну вінеровську фільтрацію для того ж вхідного зображення.

```
M = medfilt2 (Y);
figure, imshow (M);
W = wiener2 (Y)
figure, imshow (W);
```

Запропонований алгоритм дозволяє отримати ефективну фільтрацію в порівнянні з лінійною і медіанною. Як видно з малюнків, візуальна кількість шуму у медіанного і вінеровського фільтра практично однакова, в той час як запропонований алгоритм ефективніше видалив шум, що дає йому більш високу візуальну оцінку. До недоліків методу слід віднести більш високі обчислювальні витрати, однак при сучасних комп'ютерних потужностях відтворення ряду відеокадрів із застосуванням розробленого алгоритму можливо в реальному часі.

Оцінка якості на основі пікового співвідношення сигнал/шум дуже зручна у використанні, але, тим не менш, вона не завжди дозволяє об'єктивно оцінити якість зображення, особливо з точки зору його візуального сприйняття.

За результатами проведеного аналізу в якості оптимальних були обрані наступні характеристики алгоритму очищення шуму:

1. Тип вейвлета - вейвлет Добеши 4 при 1-му рівні розкладання.
2. Критерій розрахунку оптимального рівня порогової обробки - адаптивний критерій Штейна незміщеної оцінки ризику.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що запропонована схема фільтрації зображень на основі вейвлет-перетворення видаляє перераховані шуми ефективніше існуючих систем. Крім того, ця система універсальна і може видаляти різні види шуму та їх комбінації.

Висновки. У роботі було проведено дослідження методів фільтрації зображень, що дозволяють знижувати дію шумів і перешкод. У середовищі Matlab був розроблений ряд m-функцій для моделювання впливу шумів на зображення й моделювання фільтрів, що дозволяють знижувати цей вплив. Було проведено порівняльний аналіз роботи існуючих систем і розробленої системи та встановлено, що майже у всіх випадках розроблена система працює ефективніше існуючих. На це вказують об'єктивні дані - підрахунок пікового співвідношення сигнал/шум, і суб'єктивні - візуальна оцінка результатів роботи користувачем. Також використання розробленої системи для попередньої обробки зображень перед розпізнаванням дає більш кращі результати, на відміну від застосування існуючих фільтрів.

Перспективними напрямками можна вважати поширення цієї схеми фільтрації на зображення інших форматів, відеозображення та інші типи шумів, збільшення розмірності, використання інших типів вейвлетів в якості базису. Ці висновки ще раз підкреслюють можливість і необхідність використання в задачах фільтрації різних алгоритмів. Вибір конкретного алгоритму залежить від моделі сигналу та обсягу існуючої апріорної інформації, а також від конкретних вирішуваних задач.

Проведений аналіз результатів фільтрації шляхом візуальної й чисельної оцінки, на основі якого розроблені рекомендації із застосування конкретних методів для обробки зображень із різними шумовими складовими. Для видалення імпульсного шуму найбільш ефективним є медіанний фільтр, для видалення Гаусового й мультиплікативного шуму - фільтр Вінера, для видалення Пуасонового шуму ефективним буде застосування й Гаусовського фільтра, і фільтра Вінера.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений [Текст]: пер. с англ. / Гонсалес Р., Вудс Р. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. Москва: Техносфера, 2006. - 616 с.
3. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах [Текст]: учеб. пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук и др. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. - 352 с.
4. Приоров, А.Л. Цифровая обработка изображений: учебное пособие / А.Л. Приоров, И.В. Апальков, В.В. Хрящев; Яросл. гос. ун-т. - Ярославль: ЯрГУ, 2007. - 235 с.

Надійшла: 10.02.2012

Рецензент: д.т.н., проф. Дивізіюк М.М.