

УДК 621.391

В.В. Слободянюк, О.В. Висоцький, О.В. Шаповалов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ВПЛИВ ВИДУ РОЗГОРТКИ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ МЕТОДУ ФІЛЬТРАЦІЇ ШУМУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ ТЕХНОЛОГІЮ СУРОГАТНИХ ДАНИХ

У статті проводиться порівняльний аналіз впливу різних розгортки цифрових зображень на якість подавлення шуму й роздільну здатність методу, що використовує технологію сурогатних даних.

**Ключові слова:** сурогатні дані, розгортка, цифрове зображення, PSNR, роздільна здатність.

### Вступ

Подавлення шуму є одним із самих затребуваних напрямків обробки цифрових зображень у радіотехнічних системах, геоінформатиці, медицині, комп'ютерній безпеці і т.д. Однією з найважливіших проблем при подавленні шуму на цифрових зображеннях, відомими локальними методами [1 – 4], є одночасне зниження просторової роздільної здатності (втраті дрібних деталей зображення). В останні роки дослідники виявляють інтерес до нетрадиційного підходу для подавлення шуму, заснованому на технології сурогатних даних (SDT- *surrogate data technology*). Застосування цієї технології до задач спектрального аналізу й обробки зображень для зменшення впливу шуму в спостереженні розглядалося в роботах [2 – 4]. У роботі [5], відзначається, що при однакових значеннях відношень сигнал/шум застосування цієї технології дозволяє більшою мірою зберегти просторову роздільну здатність, чим відомі алгоритми локальної фільтрації. В основі цього підходу лежить ідея формування псевдоансамбля сурогатних реалізацій вихідного зображення, отриманих з використанням АТS-алгоритму, і їх усереднення. Методи реалізації цього підходу одержали назву методів SDT-фільтрації. Специфіка цього алгоритму – розгортка зображення у вектор даних з наступним зануренням його в псевдофазовий простір [6].

Існує багато методів розгортки, але як відомо [7], різні види розгортки (впорядкування двовимірного масиву даних в одновимірний) мають різну ступінь збереження властивостей околиць окремих елементів зображення. Порівняння різних видів розгортки при використанні SDT-фільтрації зображень проводилося в роботах [8, 9], де вплив розгортки на відфільтроване зображення визначалося візуально, а також видом автокореляційної функції розгорнутого зображення і їх впливом на роздільну здатність аналізованого методу фільтрації шуму.

Однак, вплив виду розгортки на якість подавлення шуму й фазові портрети розгортки зображен-

ня, які можуть бути досить інформативні, не аналізувалися. Дослідження цих показників якості виду розгортки при реалізації SDT-фільтрації зображень проводиться в даній роботі.

Двовимірною розгорткою виконується відображення дискретного простору  $D^2$  на  $D^1$ . При переході від простору вищої розмірності до простору з меншою розмірністю відображення, що встановлює взаємну однозначну відповідність між елементами просторів, не є безперервним, тобто не зберігає околиці елементів простору вищої розмірності. В упорядкованій одновимірній множині будуть перебувати підмножини, що полягають тільки з розглянутого елемента й елементів його двовимірної околиці. Числом елементів цієї підмножини називається окрестностним індексом елемента (ОІЕ) [10]. Ця локальна характеристика є функцією виду розгортки й місцем розташування елемента в масиві даних. Величина ОІЕ для різних видів розгортки приймає значення з множини  $\{1, 2, \dots, 8\}$ . У загальному випадку, якість тої або іншої виду розгортки цифрового зображення повинно визначатися мірою збереження його ознак. Наприклад, у роботі [11] якість збереження фрактальних ознак зображення для різних видів розгортки визначалося величиною BDS-статистики.

Розглянемо вплив виду розгортки зображення при його SDT-фільтрації на подавлення шуму, у якості міри якого приймемо пікове відношення сигнал/шум (PSNR) до й після SDT-фільтрації:

$$\text{PSNR} = 20 \times \log_{10} \left( 255 / \sqrt{\frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} [f_{i,j} - g_{i,j}]^2} \right), \quad (1)$$

де  $f_{i,j}$  – значення пікселів оригінального зображення в координатах  $i, j$ ;  $g_{i,j}$  – значення пікселів порівнюваного зображення в координатах  $i, j$ ;  $N_1, N_2$  – кількість пікселів у рядках і стовпцях порівнюваних зображень.

Оскільки подавлення шуму, обумовлює зниження просторової роздільної здатності методів фільтрації зображень, становить інтерес аналіз зв'язків обох характеристик якості досліджуваного методу фільтрації для різних видів розгортки зображень.

### Дослідження впливу виду розгортки зображення на його образ у псевдофазовому просторі

Дослідження проведемо для лінійної і рекурсивної розгортки зображення:

1. Найпростіші лінійні розгортки отримують впорядкуванням елементів двовимірного масиву по рядках (стовпцям) (рис. 1., а). До цих розгортки можна віднести й спіральну (рис. 1., б), яка впорядковує елементи растрового зображення по послідовно з'являючих рядках, що чергуються, і стовпцям.

2. Як приклад рекурсивної розгортки розглянемо розгортку Гільберта (рис. 1., в), яка будується послідовним наближенням до деякої кривої, що заповнює простір, [9]. Ступінь наближення регулюється цілим числом  $m > 0$ . Для побудови  $m$ -го наближення кривої, що заповнює простір, використовується її  $(m-1)$ -наближення. У якості початкового наближення використовується породжуюча комірка.

В першому випадку впорядкування елементів зображення виконується по рядках (стовпцям) (рис. 1, а) або по спіралі (рис. 1., б) починаючи із центрального елемента. У другому випадку, у якості рекурсивного розгортання було застосовано розгортання Гільберта (рис. 1., в).

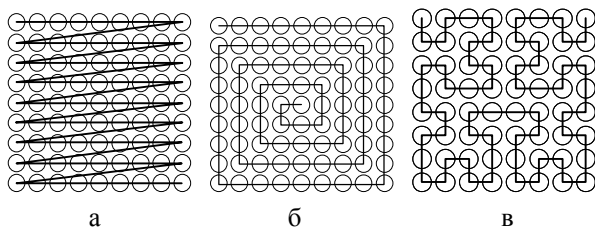


Рис. 1. Типи розгортки

### ATS-алгоритм формування сурогатних даних

Для простоти будемо вважати, що розмір зображення  $N \times N$ , де  $N$  – кількість пікселів рядка зображення,  $d$  – розмірність псевдофазового простору, у який здійснюється вкладення зображення [12]. Тоді ATS-алгоритм формування сурогатних даних (зображень) буде складатися з таких кроків:

1. Вектор  $\mathbf{z} = (I_n, I_{n+1}, I_{n+2}, \dots, I_{N^2})$ , отриманий з використанням обраного методу розгортки цифрового растрового зображення з елементами  $\{I(k, n)\}_{k=1, n=1}^N$ , і виконуємо його вкладення в псевдофазовий простір розмірності  $d$ , елементами якого будуть вектора виду:

$$\mathbf{y}_1 = (I_1, I_2, \dots, I_d), \quad \mathbf{y}_2 = (I_2, I_3, \dots, I_{d+1}),$$

$$\mathbf{y}_{N^2-d} = (I_{N^2-d}, I_{N^2-d+1}, \dots, I_{N^2}).$$

2. Вибираємо початковий стан

$$s_1 \in \{y_n | n = 1, \dots, N^2 - d\}.$$

3. Установлюємо значення лічильника  $i = 0$ .

4. Вибираємо випадковим чином точку  $s_1$  з

множини  $\{y_n\}_{n=1}^{N^2-d}$ , яка попадає в околицю (гіперсферу) радіуса  $\varepsilon$  точки, наприклад точки  $y_j$ .

5. Установимо  $s_{i+1} = y_{j+1}$  й збільшуємо  $i$  на одиницю.

6. Повторюємо кроки 4-5 доти, поки не виконається умова  $i = N^2 - d$ .

7. Повертаємо значення  $m$ -х компонент векторів  $\{(s_n)_m | n = 1, 2, \dots, N^2 - d\}$ , які представляють елементи однієї сурогатної реалізації ряду даних

$$\mathbf{s}_{\text{sur}} = \{s_{\text{sur}, i}\}_{i=1}^{N^2-d}.$$

Для моделювання (рис. 2) цього алгоритму обробки зображень вибиралися такі значення основних параметрів:  $m = 1$ , розмірність вкладення  $d = 3$ , радіус гіперсфери  $\varepsilon$  визначався, як математичне очікування всіх відстаней між точкою  $y_j$  та рештою точок в псевдофазовому просторі.

### Результати моделювання

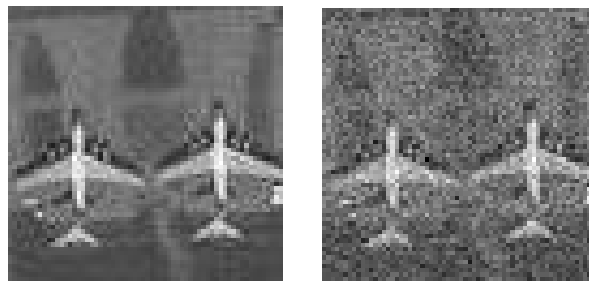


Рис. 2. Оригінальне зображення (а) та зображення, спотворене білим адитивним гауссівським шумом з PSNR=22 дБ (б)

З метою зменшення впливу шуму сформуємо ансамбль  $\{s_{\text{sur}, n}\}_{n=1}^{N_s}$  із сурогатних реалізацій і визначимо його математичне сподівання:

$$\langle \mathbf{s}_{\text{sur}} \rangle = \frac{1}{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} \mathbf{s}_{\text{sur}, n}.$$

Дана процедура повторюється для кожного виду розгортки. Потім вектору  $\langle \mathbf{s}_{\text{sur}} \rangle$  ставиться у відповідність сурогатне зображення.

З візуального аналізу рис. 3 видно що шум розмиває фазовий портрет оригінального зображення. Легко помітити що розмиття фазових портретів су-

рогатних зображень, після застосування SDT-фільтрації частково усувається. У той же час, на сурогатних зображеннях, отриманих для різних видів розгортки, помітні різні артефакти. Наприклад у вигляді розривів границь на переходах (фон - літак.)

Для чисельної оцінки якості фільтрації шуму на зображенні були розраховані значення PSNR для трьох видів розгортки зображення, які представлені

на рис. 4. Із графіків рис. 4 видно, що застосування спіральної розгортки при реалізації методу SDT-фільтрації значно гірше подавляє шум на зображенні чим телевізійна й спіральна розгорнення. Однак використання значень PSNR не достатньо для оцінки якості фільтрації зображення, так, як не робить відмінностей між невеликим шумом і дрібними деталями зображення.

	Фазовий портрет оригінального зображення	Фазовий портрет зашумленого зображення	Фазовий портрет сурогатного зображення	Сурогатне зображення
Телевізійна розгортка				
Спіральна розгортка				
Розгортка Гільберта				

Рис. 3. Фазові портрети розгортки досліджуваного зображення

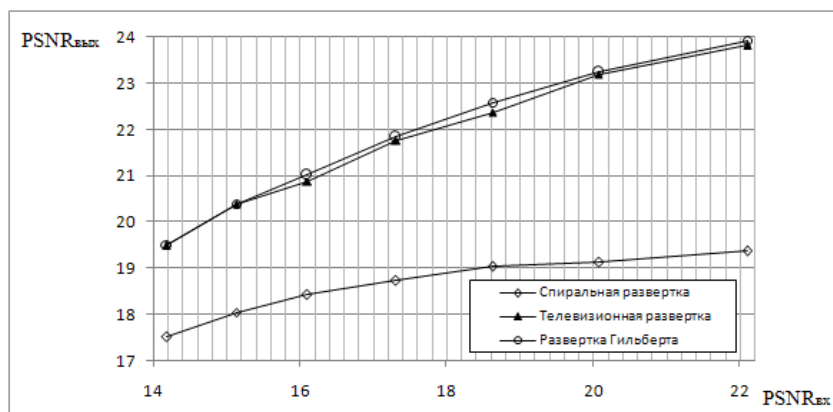


Рис. 4. Залежність пікового відношення сигнал/шум на виході SDT-фільтра від пікового відношення сигнал/шум на його вході

Можливість розрізняти дрібні деталі на зображенні характеризують просторовою роздільною здатністю фільтра, яка залежить і від виду розгортки зображення. Оцінка роздільної здатності SDT-фільтра для трьох видів розгортки проводилася на тестовому зображенні, яке було представлено двома об'єктами рознесеними в просторі, що мають гаусівський розподіл інтенсивності (яскравості).

На рис. 5 показані залежності ймовірності розділення двох гаусіан від пікового відношення

сигнал/шум для трьох видів розгортки. У якості критерію просторового розділення був обраний критерій розділення-виміру [12, 13].

### Висновки

У роботі проведений аналіз впливу виду розгортки зашумленого цифрового зображення на ефективність методу подавлення шуму, що використовує технологію сурогатних даних і його роздільну здатність.

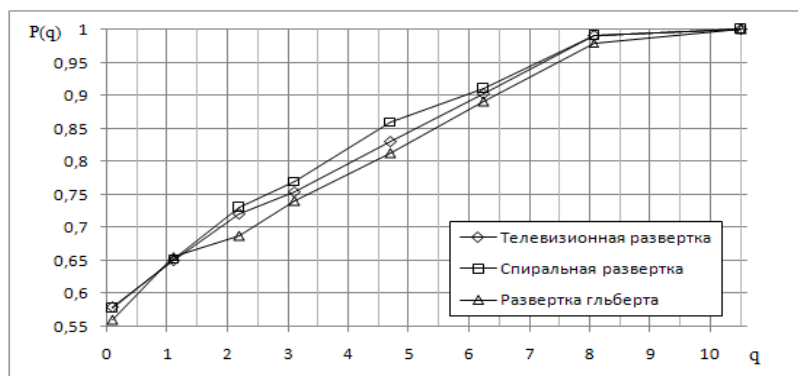


Рис. 5. Залежність ймовірності розділення на зображенні двох гауссіан від пікового відношення сигнал/шум для трьох видів розгортки

Результати імітаційного моделювання показують, що телевізійна розгортка й розгортка Гільберта мають близькі значення PSNR. У той же час розгортка Гільберта уступає в роздільній здатності іншим, досліджуваним видам розгортки. Однак, незважаючи на низькі значення PSNR, спіральна розгортка забезпечує більшу роздільну здатність SDT-фільтра. Телевізійна розгортка не сильно уступає спіральній в роздільній здатності, що дозволяє віддати їй перевагу з точки зору простоти реалізації.

### Список літератури

1. Хуанг Т. Обработка изображений и цифровая фильтрация / Т. Хуанг. – М.: Мир, 1979. – 315 с.
2. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
3. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 352 с.
4. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Т.С. Хуанг и др. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
5. Снижение уровня шума на цифровом изображении с использованием технологии суррогатных данных и его сингулярного разложения / П.Ю. Костенко, В.И. Василюшин, В.В. Слободянюк, А.В. Плахотенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 9(125). – С. 22-27.
6. Kantz H. Nonlinear time series analysis / H. Kantz, T. Schreiber // University Press, Cambridge. – 2004. – 369 p.
7. Sagan H. Space-Filling Curves / H. Sagan. – New York: Springer-Verlag. – 1994. – 208 p. – ISBN 0-387-94265-3.

8. Слободянюк В.В. Анализ влияния вида развертки зашумленного цифрового изображения на эффективность метода подавления шума, использующего технологию суррогатных данных / В.В. Слободянюк, О.В. Шаповалов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 5(130). – С. 43-47.

9. Слободянюк В.В. Влияние вида развертки цифрового изображения на эффективность метода подавления шума, использующего технологию суррогатных данных // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 7(132). – С. 62-64.

10. Александров Р.В. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход / Р.В. Александров, И.Д. Горский. – Л.: Наука, 1985. – 102 с.

11. Шаповалов А.В. Выбор метода развертки цифровых изображений при анализе их фрактальных признаков в фазовом пространстве с использованием BDS-теста / А.В. Шаповалов // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2012. – Вип. 3 (23). – С. 116-121. – ISSN 2073-7394.

12. Костенко П.Ю. Коррекция обработки сигналов при их спектральном анализе с использованием суррогатных автоковариационных функций наблюдения, полученных ATS-алгоритмом / П.Ю. Костенко, В.И. Василюшин // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2014. – Т. 57, № 6. – С. 3-12. – ISSN 0021-3470.

13. Gershman A.B. Improved DOA estimation via pseudorandom resampling of spatial spectrum / A.B. Gershman, Johann F. Bohme // IEEE Signal Process. Lett. – Feb. 1997. – Vol. 4, No. 2. – P. 54-57.

Надійшла до редколегії 27.01.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ВЛИЯНИЕ ВИДА РАЗВЕРТКИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ ШУМА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЮ СУРРОГАТНЫХ ДАННЫХ

В.В. Слободянюк, О.В. Висоцький, А.В. Шаповалов

В статье проводится сравнительный анализ влияния различных разверток цифровых изображений на качество подавления шума и разрешающую способность методом, использующим технологию суррогатных данных.

**Ключевые слова:** суррогатные данные, развертка, цифровое изображения, PSNR, разрешающая способность.

### THE INFLUENCE OF THE KIND OF SCANNING DIGITAL IMAGE ON QUALITY CHARACTERISTICS OF FILTERING METHOD USING SURROGATE DATA TECHNOLOGY

V.V. Slobodyanuk, O.V. Vysotskyuy, O.V. Shapovalov

The article presents a comparative analysis of various digital imaging scans on the quality of noise reduction and resolution by using the surrogate data technology.

**Keywords:** surrogate data, image scanning, digital image, PSNR, resolution.