

УДК 621.391

В.В. Слободянюк

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ВЛИЯНИЕ ВИДА РАЗВЕРТКИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЮ СУРРОГАТНЫХ ДАННЫХ

*В статье сравниваются различные методы развертки реальных цифровых изображений и их влияние на качество метода подавления шума, использующего технологию суррогатных данных.*

**Ключевые слова:** суррогатные данные, развертка, цифровое изображение.

### Введение

Подавление шума является одним из самых востребованных направлений обработки цифровых изображений в радиотехнических системах, геоинформатике, медицине, компьютерной безопасности и в других приложениях. Одной из важнейших проблем обработки цифровых изображений является потеря или искажение данных при подавлении шума. Известно много методов фильтрации шума на изображении. К сожалению, многие из них приводят к потере разрешающей способности (потере мелких деталей изображения). В последние годы исследователи проявляют интерес к нетрадиционному подходу к подавлению шума, основанному на технологии суррогатных данных. Этот подход позволяет формировать ансамбль суррогатных изображений с использованием ATS-алгоритма и находить усредненное изображение, которое, как отмечают авторы работ [2 – 4], при одинаковых отношениях сигнал/шум сохраняют большую пространственную разрешающую способность, чем известные алгоритмы оконной фильтрации. В то же время специфика алгоритма получения усредненного суррогатного цифрового изображения предполагает его развертку в вектор данных с последующим погружением в псевдофазовое пространство.

Существует много методов развертки и, как известно [1], различные виды разверток (упорядочивание двумерного массива данных в одномерный) обладают разной степенью сохранения свойств окрестностей отдельных элементов изображения. Поэтому представляет интерес исследование влияния законов развертки на качество подавления шума алгоритмом, основанным на использовании технологии суррогатных данных.

Двумерной разверткой осуществляется, по существу, отображение дискретного пространства  $D^2$  на  $D^1$ . При переходе от пространства высшей размерности к пространству с низшей размерностью отображение, устанавливающее взаимно однозначное соответствие между элементами пространств, не

является непрерывным, т.е. не сохраняет окрестности элементов пространства высшей размерности. В упорядоченном одномерном множестве будут найдены подмножества, состоящие только из рассматриваемого элемента и элементов его двумерной окрестности. Число элементов этого подмножества называется окрестностным индексом элемента (ОИЭ) [1]. Эта локальная характеристика является функцией закона развертки и местоположением элемента в массиве данных. Величина ОИЭ для различных видов разверток принимает значение из множества  $\{1, 2, \dots, 8\}$ .

Еще одним полезным показателем качества развертки цифрового изображения является распределение BDS-статистик его фрактальных признаков [6].

В данной статье для анализа эффективности развертки изображения рассматриваются два критерия качества. Первый критерий основан на визуальном сравнении восстановленных изображений. Вторым критерий основан на анализе автокорреляционных функций (АКФ) развернутых изображений, полученных для исследуемых законов развертки.

Применение технологии суррогатных данных к задачам спектрального анализа и обработки изображений для уменьшения влияния шума в наблюдении рассматривалось в работах [2 – 4]. Сравнение различных законов развертки проводилось в работе [5], где качество разверток характеризовалось их влиянием на разрешающую способность метода подавления шума, на тестовом изображении, использующем технологию суррогатных данных.

### Исследование влияния вида развертки изображения на эффективность подавления шума с использованием технологии суррогатных данных

Исследование проводилось моделированием ATS-алгоритма формирования суррогатных изображений для трех законов развертки. С целью анализа сохранения связей элементов изображения в соответствующей ему развертке (одномерном векторе)

были построены АКФ для следующих законов развертки: телевизионной, которая, как видно из рис. 1, имеет периодический характер. Здесь интервалы между уменьшающимися максимумами характеризуют снижение корреляции между значениями интенсивностей в соответствующих строках матрицы цифрового изображения. Снижение уровней последовательности максимумов АКФ обусловлено уменьшением корреляции между значениями интенсивности в ее столбцах. В тоже время АКФ векторов данных, полученных для развертки Гильберта и спиральной развертки, не демонстрируют периодичность.

Легко заметить, что АКФ для развертки Гильберта спадает медленнее, чем для спиральной развертки. Это обстоятельство позволяет предположить, что развертка Гильберта сохраняет больше связей между элементами изображения в соответствующем одномерном векторе.

В табл. 1 показаны примеры восстановления с применением ATS-алгоритма трех реальных изображений с использованием исследуемых законов развертки. В первой строке рис. 1 показаны оригиналы изображений. Во второй строке – зашумленные аддитивным белым гауссовым шумом оригиналы изображений, в третьей строке – восстановленные изображения с использованием телевизионной развертки, в четвертой строке – с использованием развертки Гильберта, а в пятой – с применением спиральной развертки.

Для применения ATS-алгоритма формирования суррогатных данных развертка изображения (вектор

данных) должна быть погружена в псевдофазовое пространство.

Для простоты изложения будем полагать, что размер изображения  $N \times N$ , где  $N$  – количество пикселей строки изображения,  $d$  – размерность псевдофазового пространства, в которое осуществляется вложение изображения [7]. Тогда ATS-алгоритм формирования суррогатных данных (изображений) будет состоять из следующих шагов:

1. Вектор  $\mathbf{z} = (I_n, I_{n+1}, I_{n+2}, \dots, I_{N^2})$ , полученный с использованием выбранного метода развертки цифрового растрового изображения с элементами  $\{I(k, n)\}_{k=1, n=1}^N$ , и выполняем его вложение в псевдофазовое пространство размерности  $d$ , элементами которого будут вектора вида:  $\mathbf{y}_1 = (I_1, I_2, \dots, I_d)$ ,  $\mathbf{y}_2 = (I_2, I_3, \dots, I_{d+1})$ ,  $\mathbf{y}_{N^2-d} = (I_{N^2-d}, I_{N^2-d+1}, \dots, I_{N^2})$ .
2. Выбираем начальное состояние  $\mathbf{s}_1 \in \{\mathbf{y}_n \mid n = 1, \dots, N^2 - d\}$ .
3. Устанавливаем значение счетчика  $i = 0$ .
4. Выбираем случайным образом точку  $\mathbf{s}_1$  из множества  $\{\mathbf{y}_n\}_{n=1}^{N^2-d}$ , которая попадает в окрестность (гиперсферу) радиуса  $\varepsilon$  точки, например точки  $\mathbf{y}_j$ .

5. Установим  $\mathbf{s}_{i+1} = \mathbf{y}_{j+1}$  и увеличим  $i$  на единицу.

6. Повторяем шаги 4 – 5 до тех пор, пока не выполнится условие  $i = N^2 - d$ .

7. Возвращаем значения  $m$ -х компонент векторов  $\{(\mathbf{s}_n)_m : n = 1, 2, \dots, N^2 - d\}$ , которые представляют элементы одной суррогатной реализации ряда данных  $\mathbf{s}_{\text{sur}} = \{\mathbf{s}_{\text{sur}, i}\}_{i=1}^{N^2-d}$ .

Для моделирования этого алгоритма обработки изображений выбирались следующие значения основных параметров:  $m = 1$ , размерность вложения  $d = 3$ , радиус гиперсферы  $\varepsilon$  определялся, как математическое ожидание всех расстояний между точкой  $\mathbf{y}_j$  и оставшимися точками в псевдофазовом пространстве.

С целью уменьшения влияния шума сформируем ансамбль  $\{\mathbf{s}_{\text{sur}, n}\}_{n=1}^{N_s}$  из суррогатных реализаций и определим его математическое ожидание:

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

Данная процедура повторяется для каждого вида развертки. Затем вектору  $\langle \mathbf{s}_{\text{sur}} \rangle$  ставится в соответствие суррогатное изображение.

При визуальном анализе заметно, что на восстановленных изображениях с применением раз-

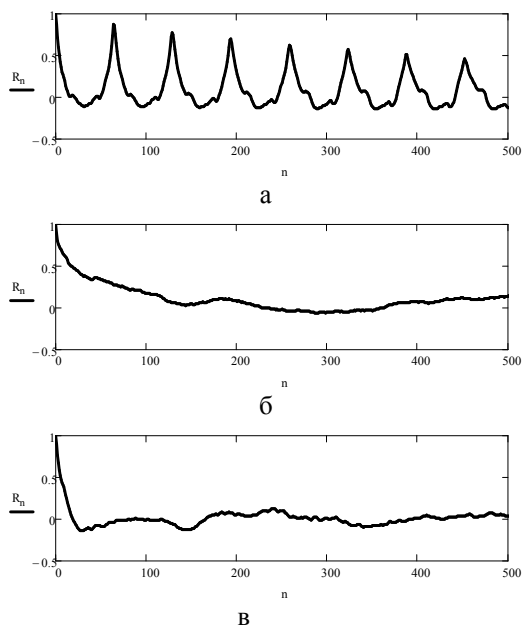


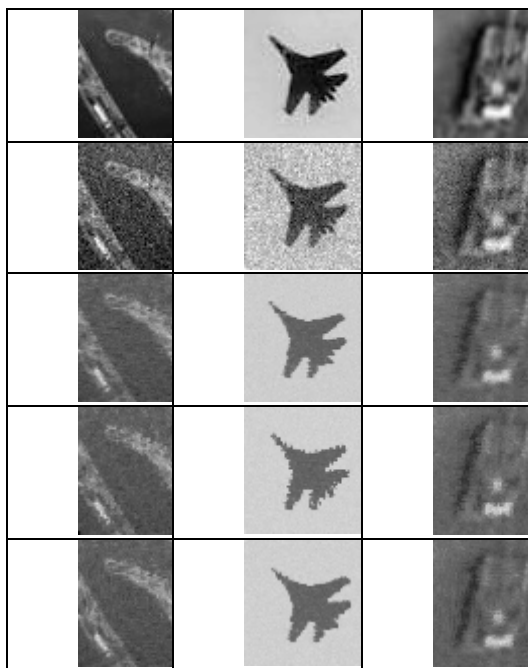
Рис. 1. Автокорреляционные функции рассматриваемых законов разверток реального изображения: а – телевизионная развертка, б –рекурсивная развертка Гильберта, в – спиральная развертка

вертки Гильберта наблюдаются артефакты, которые приводят к изрезанности границ однородных областей на изображении (река-суша) и контуров объектов (танк-поле, самолет-небо). В то же время применение телевизионной и спиральной разверток визуально эффективней подавляет шум на однородных участках изображений и меньше искажает границы этих областей.

Для реализации ATS алгоритма при обработке изображений использовались следующие значения основных параметров: размерность вложения  $d_e = 3$ , радиус гиперсферы  $\epsilon$  определяется как математическое ожидание расстояний между всеми точками образа развертки изображения в фазовом пространстве.

Таблица 1

Примеры восстановления с применением ATS-алгоритма трех реальных изображений



Отметим, что для лучшего восприятия полученных изображений в них можно внести некоторые искажения, например изменением контраста изображения. Это необходимо делать с учетом психофизических свойств зрения человека. Суть рас-

сматриваемого способа улучшения визуального восприятия изображения: стремление выделить границы как область резкого перепада функции яркости изображения. Обычно для подчеркивания границ применяют метод высокочастотной пространственной фильтрации.

## Список литературы

1. Александров Р.В. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход / Р.В. Александров, И.Д. Горский. – Л.: Наука, 1985. – 102 с.
2. Костенко П.Ю. Уменьшение аддитивного шума на цифровых изображениях с использованием технологии суррогатных данных / П.Ю. Костенко, В.И. Василюшин, В.В. Слободянюк // Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС, 2014. – Вип. 8(124). – С. 33-38.
3. Костенко П.Ю. Использование суррогатных сигналов для повышения качества оценки параметров регулярных и хаотических сигналов, наблюдаемых на фоне аддитивного шума / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, В.В. Слободянюк, Д.С. Яковенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НІУ», 2010. – Вип. 4(16). – С. 28-32.
4. 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.
5. 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.: XV ПС, 2015. – Вип. 5(130). – С. 43-47.
6. 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. К.: ДП «ЦНДІ НІУ», 2012. – № 3 (23). – С. 116-121. – ISSN 2073-7394.
7. Small M. Applied Nonlinear Time Series Analysis Applications in Physics, Physiology and Finance / M. Small // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2005. – 245 p

Поступила в редколлегию 21.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ВПЛИВ ТИПУ РОЗГОРТКИ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДУ ПОДАВЛЕННЯ ШУМУ, ВИКОРИСТОВУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЮ СУРРОГАТНИХ ДАНИХ

В.В. Слободянюк

*В статті порівнюються впливи різних видів розгортки реальних цифрових зображень на якість метода подавлення шуму, який використовує технологію суррогатних даних.*

**Ключові слова:** розгортка, суррогатні дані, цифрове зображення.

## THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE KIND OF SCANNING DIGITAL IMAGE ON EFFICIENCY OF THE SUPPRESSION NOISE METHOD USING SURROGATE DATA TECHNOLOGY

V.V. Slobodyanuk

*In article compares several known kinds of scanning the real digital image used at the realisation of reduction noise method, using surrogate data technology.*

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