

УДК 621.391

П.Ю. Костенко, В.И. Васишлин, В.В. Слободянюк

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## УМЕНЬШЕНИЕ АДДИТИВНОГО ШУМА НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ СУРРОГАТНЫХ ДАННЫХ

*В работе предложен нелинейный метод подавления аддитивного шума на цифровых изображениях, основанный на использовании технологии суррогатных данных. Представлены результаты имитационного моделирования предварительной обработки изображений с использованием ATS-алгоритма (attractor trajectory surrogates) формирования суррогатных изображений. Проведен сравнительный анализ предложенного метода с методом медианной фильтрации изображений.*

**Ключевые слова:** суррогатные изображения, ATS-алгоритм.

### Введение

Существует широкий круг задач, в которых радиолокационные и оптические изображения рассматриваются как источник информации, на основе которой необходимо вынести некоторое решение. Методы обработки изображений определяются целями обработки и содержанием изображений [1]. Анализ существующих автоматизированных систем обработки цифровых изображений позволяет выделить следующие базовые процедуры: предварительная обработка, сегментация и распознавание изображений.

Так как изображения в процессе формирования их различными системами (радиолокационными, фотографическими, голографическими, телевизионными) обычно подвергаются воздействию случайных помех или шумов, то фундаментальной проблемой в области обработки изображений является эффективное удаление шума при сохранении важных для последующего распознавания их деталей.

Снижение уровня шумов (помех) и улучшение качества изображений является целью предварительной обработки изображений [1 – 4]. Во многих случаях из-за низкого качества полученное изображение оказывается малопригодным для автоматизированного анализа. Снижение качества изображения может быть вызвано недостаточной четкостью, яркостью или контрастностью, зашумленностью или наличием на нем артефактов. К основным причинам появления шумов можно отнести следующее: помехи, обусловленные неравномерной освещенностью объекта; внутренние шумы датчиков систем формирования изображений; ошибки на различных этапах преобразования. Зашумленность изображения оказывает большое, а в ряде случаев определяющее влияние на качество функционирования и эффективность базовых про-

цедур и систем обработки изображений в целом. Уровень помех в изображениях может быть достаточно высоким.

При предварительной обработке изображений нашли практическое применение лишь отдельные аспекты математической статистики, основанные на применении упрощенных моделей помех. В частности, при разработке оптимальной согласованной или винеровской фильтрации полагалось, что помеха является аддитивной и флуктуационной с известным видом распределения вероятности. Сам процесс полагался эргодическим, а решение задачи фильтрации искалось в классе линейных физически реализуемых систем (фильтров) и вычислительно эффективных процедур обработки. Учитывалось, что исходя из технических характеристик датчиков, параметры аддитивной помехи на изображении могут быть известны или оценены, если изображение содержит небольшие участки примерно постоянной яркости. Тогда вид функции плотности вероятности шума можно оценить из гистограммы. Значение интенсивности на таких участках используют для вычисления параметров распределения шума.

Для подавления разнообразных видов шумов и помех на изображении обычно используют такие методы предварительной обработки изображений как линейное усреднение пикселей по соседям, медианная фильтрация, математическая морфология, гауссовское размытие, методы на основе вейвлет-преобразования, метод главных компонент, анизотропная диффузия, фильтры Винера [1 – 4].

Все линейные алгоритмы фильтрации являются оптимальными при гауссовском распределении сигналов, помех и наблюдаемых данных и приводят к сглаживанию резких перепадов яркости изображений, прошедших обработку. Реальные изображения, строго говоря, не подчиняются данному распределению вероятностей.

Поддаваясь локальному гауссовскому описанию в пределах ограниченных участков, многие реальные изображения в этой связи плохо представляются как глобально гауссовские объекты. Именно это и служит причиной плохой передачи границ и неудовлетворительного уменьшения искажений изображений помехами других типов, например, импульсной, при линейной фильтрации. Этот недостаток особенно существенный и не может быть исключен в рамках линейной обработки изображений.

Неточная оценка помеховой ситуации или параметров шума могут привести к некачественной предварительной обработке. Это обусловлено тем, что при выборе метода предварительной обработки и его параметров необходима априорная информация о процессе формирования изображений. Часто такая информация отсутствует, поэтому параметры метода предварительной обработки изображений подбираются путем настройки, которая не всегда позволяет отразить помеховую ситуацию. Это влияет на дальнейший процесс обработки изображений. Например, недооценка уровня мультипликативной помехи вызывает большие разрывы контуров объектов изображений при решении задачи контурной сегментации. Это, в свою очередь, влияет на ошибку распознавания этих объектов. Завышенная оценка уровня аддитивной гауссовской помехи ведет к размыванию контуров объектов, что также отражается на ошибке распознавания.

Некоторые из перечисленных проблем находят решение с использованием непараметрических методов обработки изображений. Хорошие результаты при обработке изображений были получены применением медианной фильтрации [1]. Отметим, что медианная фильтрация представляет собой эвристический метод обработки, ее алгоритм не является математическим решением строго сформулированной задачи. В последние два десятилетия в цифровой обработке изображений активно развиваются нелинейные алгоритмы на основе ранговой статистики для восстановления изображений, поврежденных различными видами шумов.

Вместе с тем, в ряде случаев вышеперечисленные методы не позволяют реализовать предварительную обработку изображений с требуемой эффективностью при различных видах шумов (помех), что стимулирует развитие новых подходов к задаче предварительной обработки.

В последнее десятилетие исследователи обращают внимание на возможность повышения эффективности обработки изображений дополнением классических асимптотических методов статистики компьютерно-ориентированными. Развитие нового класса альтернативных технологий, требующих большого объема вычислений (computer-intensive),

обосновал Б. Эфрон [5]. Данные технологии становятся востребованными в связи с экспоненциальным ростом возможностей компьютерной техники. Поэтому вычислительная эффективность постепенно отходит на второй план, выдвигая вперед качество обработки.

К таким технологиям можно отнести рандомизацию, бутстреп и методы Монте-Карло [6]. Эти технологии, объединенные общим термином "численный ресамплинг" (resampling), позволяют в случае, когда нет возможности повторно получить истинные наблюдения (увеличить объем выборки), разработать методы, которые формируют "псевдо-выборки". На их основе можно получить необходимые характеристики искомого параметра: оценки математического ожидания, дисперсии, доверительного интервала.

Развитием методов "численного ресамплинга" стала предложенная Theiler и др. технология получения суррогатных данных (surrogate data) [6 – 8]. Среди алгоритмов формирования суррогатных данных можно выделить такие группы: сохраняющие статистические свойства наблюдений и сохраняющие свойства их аттракторов. К первой группе можно отнести алгоритм со случайным перемешиванием входного массива данных (random shuffle algorithm), алгоритм с рандомизацией фаз отсчетов преобразования Фурье наблюдения [6 – 8]. Ко второй – ATS-алгоритм (attractor trajectory surrogates) [8].

Некоторые приложения технологии суррогатных данных к задачам обработки сигналов были рассмотрены в работах [9 – 13]. Анализ методической ошибки спектрального анализа, использующего технологию суррогатных данных, проведен в [14].

Применение технологии суррогатных данных (изображений) может быть использовано не только для предварительной обработки временных рядов, но и изображений с целью уменьшения влияния шума наблюдения. Известно, что уменьшить шум на изображении можно путем усреднения серии зашумленных изображений, отличающихся реализациями шума, отсчеты которого предполагаются некоррелированными, с нулевым средним [15]. При отсутствии возможности получения множества зашумленных изображений (при наличии одного изображения), а также при воздействии других видов шума представляет интерес использовать для усреднения суррогатные изображения.

**Цель данной работы** – демонстрация одного из вариантов предварительной обработки изображений для уменьшения влияния аддитивного шума с использованием технологии суррогатных данных, реализованной с помощью ATS алгоритма формирования суррогатных изображений.

## Предварительная обработка изображений с использованием ATS-алгоритма формирования суррогатных изображений

Известно применение технологии суррогатных данных для коррекции спектрального анализа одномерных сигналов, наблюдаемых на фоне шума [10 – 14]. При этом по наблюдению сигнала формировался ансамбль суррогатных наблюдений и для каждого элемента ансамбля находилась ковариационная матрица. После усреднения этих матриц получалась так называемая суррогатная матрица, которая в дальнейшем использовалась для спектрального анализа известными методами. Кроме того, рассматривалась возможность использования усреднения ансамбля суррогатных реализаций [9, 11].

Рассмотрим особенности использования технологии суррогатных данных для предварительной обработки изображений (двумерных сигналов), искаженных аддитивным шумом, с использованием ATS-алгоритма.

ATS-алгоритм формирования суррогатных данных предполагает погружение скалярного ряда в фазовое пространство. Этот подход может быть применен к формированию суррогатных изображений после применения известных методов развертки - преобразования изображения в скалярные значения некоторых функционалов, определенных на нем [1]. Упорядоченные таким образом функционалы это привычные скалярные "временные" ряды, к которым применимы хорошо развитые методы вложения, основанные на использовании теоремы Такенса [8]. В простейшем случае использование этого подхода предполагает преобразование изображения из растрового представления в векторное: развертывание матрицы (изображения) в вектор.

С учетом шумовых факторов статистическую модель обрабатываемого изображения можно представить следующим образом [1 – 4]:

$$I(x, y) = I_0(x, y)R(x, y) + \eta(x, y) + T(x, y), \quad (1)$$

где  $I(x, y)$  – полутоновое изображение;  $I_0(x, y)$  – отражающая способность объекта,  $R(x, y)$  – мультипликативный логнормальный шум, моделирующий неравномерную освещенность объекта;  $\eta(x, y)$  – аддитивный гауссовский шум, моделирующий внутренние шумы датчика;  $T(x, y)$  – импульсная помеха типа «яркая точка»;  $x, y$  – пространственные координаты. Модель аддитивного шума хорошо описывает действие зернистости фотопленки, флуктуационный шум в радиотехнических системах, шум квантования в аналого-цифровых преобразователях и т.п.

Влияние аддитивного шума видно из рис. 1, а, б, на которых показаны исходное и зашумленное

изображения. Аддитивный шум с гауссовским распределением моделировался выражением  $\eta(A, \sigma) = A + \sigma\sqrt{-2\ln(\text{rnd}(1))}\cos(2\pi\text{rnd}(1))$  с параметрами  $A = 0$  и  $\sigma = 15$ , где  $\text{rnd}(1)$  возвращает случайное число с равномерным распределением в диапазоне между 0 и 1. Дробная часть полученных значений отбрасывалась.

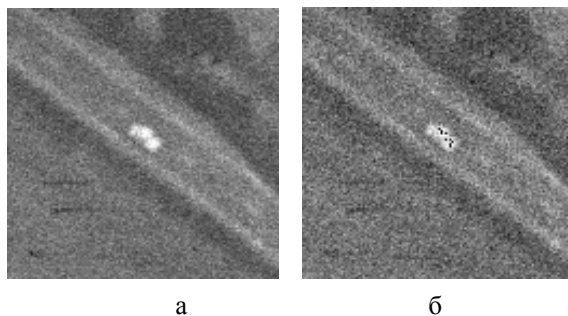


Рис. 1. Исходное и зашумленное изображения

Для простоты демонстрации предложенного подхода к уменьшению влияния шума на изображении предположим, что  $T(x, y) = 0$  и  $R(x, y) = 1$ . Тогда  $j$ -я строка изображения  $I(x_j, y)$  может быть записана в виде:

$$I(x_j, y) = I_0(x_j, y) + \eta(x_j, y). \quad (2)$$

Такое представление изображения эквивалентно простейшему варианту его телевизионной развертки. Для каждой строки изображения, погруженной в фазовое пространство, можно применить ATS алгоритм формирования суррогатных данных.

Пусть  $N_1$  – количество пикселей строки изображения,  $d_e$  – размерность фазового пространства, в которое осуществляется вложение строки изображения, и  $d_w = d_e - 1$  – окно вложения [8 – 10]. Тогда для каждой строки изображения ATS алгоритм формирования суррогатных данных будет состоять из следующих шагов:

1. Определить векторный ряд  $\{z_n\}_{n=1}^{N_1-d_w}$  с элементами  $z_n = (x_n, x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+d_e})$ , задающими вложение строки изображения (скалярного ряда)  $\{I(x_j, y)_n\}_{n=1}^{N_1}$  в псевдофазовое пространство с размерностью вложения  $d_e$ .

2. Выбрать начальное состояние  $s_1 \in \{z_n \mid n = 1, \dots, N_1 - d_w\}$ .

3. Установить значение параметра цикла  $i = 1$ .

4. Из набора векторов  $\{z_n \mid n = 1, \dots, N_1 - d_w\}$  выбрать случайным образом соседа [8 – 10] для вектора  $s_i$ , который попадает в гиперсферу радиусом  $\epsilon$ , например  $z_j$ .

5. Установить  $s_{i+1} = z_{j+1}$  и увеличить  $i$ ,  $i = i + 1$ .

6. Повторять шаги 4–5 до тех пор, пока не выполнится условие  $i = N_1$ .

7. Взять в качестве суррогатного ряда ряд

$$\{(\mathbf{s}_n)_1 : n = 1, 2, \dots, N_1\},$$

где нижний индекс 1 обозначает первую скалярную координату вектора.

Для успешной реализации этого алгоритма при обработке изображений рекомендуются следующие значения основных параметров: размерность вложения  $d_e = 5$ , радиус гиперсферы  $\varepsilon$  определяется как среднеквадратическое отклонение расстояний между всеми точками образа временного ряда в фазовом пространстве.

Для уменьшения влияния шума сформируем ансамбль  $\{\mathbf{s}_n\}_{i=1}^{N_s}$  из суррогатных данных и определим его математическое ожидание [9, 10]:

$$\langle \mathbf{s}_{sur} \rangle = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \mathbf{s}_{sur,i}. \quad (3)$$

Данная процедура повторяется для каждой строки изображения.

Таким образом, формировалось  $N_s$  суррогатных рядов (строк изображения) для каждой строки. Иными словами, формировалось  $N_s$  суррогатных изображений.

В результате получалось усредненное "суррогатное" изображение – матрица  $\mathbf{S}$ , строками которой являются усредненные суррогатные ряды  $\langle \mathbf{s}_{sur} \rangle$ .

На рис. 2, а и 2, б показаны зашумленное и усредненное суррогатное и изображения.

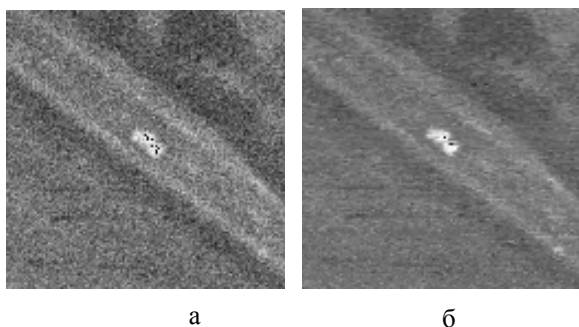


Рис. 2. Зашумленное (а) и усредненное суррогатное (б) изображения

Визуальный анализ усредненного суррогатного изображения позволяет сделать вывод об уменьшении шума наблюдения и сохранении его основных признаков (дорога, машина).

### Сравнительный анализ предложенной технологии подавления шума изображения и его медианной фильтрации

Проведем сравнительный анализ предложенного метода уменьшения шума на изображении (суррогатной фильтрации – СФ) и его медианной фильтрации (МФ), которая применяется как при наличии импульсных помех, так и шумов.

На рис. 3 приведен пример очистки зашумленного изображения суррогатным (рис. 3, а) и медианным фильтром (рис. 3, б).

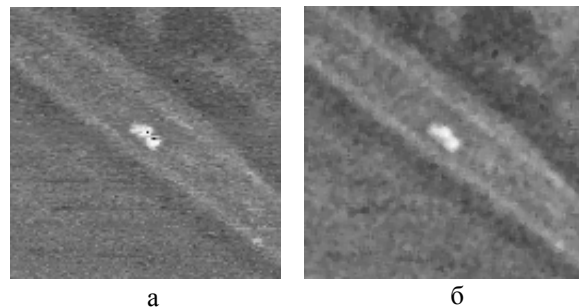


Рис. 3. Обработка зашумленного изображения суррогатным (а) и медианным (б) фильтрами

Для аналитической оценки качества подавления шума используют следующие метрики [1, 15]:

– метрику PSNR (peak signal-to-noise ratio - пиковое соотношение сигнал/шум), которая определяется формулой:

$$\text{PSNR}(x, y) = 20 \log_{10} \left( 255 / \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \right), \quad (4)$$

где  $x_i, y_i$  –  $i$ -е пиксели двух сравниваемых изображений,  $N = N_1 N_2$  – общее число пикселей на каждом изображении,  $N_2$  – число пикселей в столбце изображения. Чем ближе отфильтрованное изображение к оригинальному – тем больше значение PSNR, и тем выше считается качество работы алгоритма;

– среднеквадратический критерий, где мерой соответствия реального и идеального изображения служит квадрат их разности. Для стационарных полей считается выполненным условие эргодичности, при котором усреднение по ансамблю может быть заменено на усреднение по одной реализации. Тогда для дискретных изображений  $f(n_1, n_2)$  и  $g(n_1, n_2)$ , где  $0 \leq n_1 \leq (N_1 - 1)$ ,  $0 \leq n_2 \leq (N_2 - 1)$ , имеем:

$$\varepsilon^2 \approx \frac{1}{N_1 N_2} \times \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} [f(n_1, n_2) - g(n_1, n_2)]^2. \quad (5)$$

Следует отметить, что показатель  $\varepsilon^2$  показывает среднее качество изображения, в то время как на различных этапах ошибки могут отличаться;

– критерий максимальной ошибки. Для дискретного случая он равен

$$\varepsilon^2 = \max(f(n_1, n_2) - g(n_1, n_2)). \quad (6)$$

Однако, эти метрики позволяют оценивать лишь среднеквадратическую разность между изображениями. Поэтому лучшие результаты с точки зрения метрики не всегда соответствуют наилучшему визуальному восприятию. К примеру, более размытое изображение, в котором вместе с шумом удалены мелкие детали, может иметь значение PSNR выше, чем изображение с более аккуратно подавленным шумом. Визуальные оценки при этом покажут предпочтительность второго изображения.

Усредненное суррогатное изображение получалось по 50 "суррогатным" реализациям (изображениям). Эксперименты показывают, что дальнейшее увеличение ансамбля суррогатных изображений практически не влияет на качество предложенного метода уменьшения аддитивного шума на изображении.

При использовании вышеприведенных метрик были получены следующие значения:

– пиковое отношение сигнал/шум для медианного фильтра равно 17,04, а для предложенного метода (суррогатного фильтра) -16,823;

– среднеквадратическая ошибка (квадрат разности очищенного и исходного изображения) для медианного фильтра равна 18,32, а для предложенного метода (суррогатного фильтра) - 26,18;

– значение меры близости (б) для медианного фильтра равно 119, а для предложенного метода (суррогатного фильтра) – 125.

Таким образом, для выбранных параметров  $d_e$  и  $\varepsilon$  АТС-алгоритма полученные меры близки, за исключением меры среднеквадратической ошибки. Однако, выбором этих параметров можно изменить их соотношение. В то же время, визуальный анализ демонстрирует заметное различие качества полученных изображений, которое достаточно субъективно.

### Анализ суррогатного шума

Следует отметить, что предложенная технология уменьшения влияния шума на изображении, связанная с формированием суррогатных изображений, характеризуется наличием суррогатного шума (который можно отнести к методической ошибке) [14]. Ее влияние проявляется даже в отсутствие шума наблюдения и ограничивает качество предварительной обработки изображения.

На рис. 4, а и рис. 4, б показана разность между исходным изображением и изображением, полученным в результате применения суррогатного фильтра

(считалась разность между исходным изображением и усредненным по 50 "суррогатным" изображениям) - рис. 4, а и медианного фильтра (рис. 4, б). Уровни интенсивности этих изображений масштабированы к диапазону 0-255.

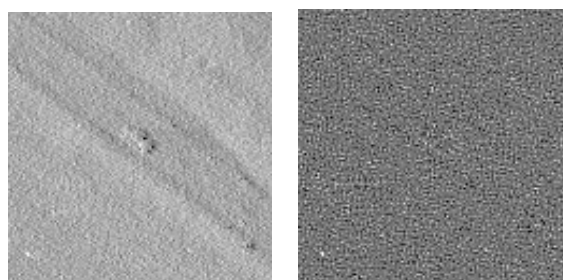


Рис. 4. Суррогатный (а) и медианный (б) шумы изображения

Легко заметить, что суррогатный шум сигналоподобный (сохраняется структура изображения), в то время как "медианный" шум близок к белому шуму с равномерным распределением.

Недостаток предложенного метода – присутствие краевых эффектов, т.е. обработанное изображение за счет вложения в псевдофазовое пространство имеет на  $d_e$  (размерность вложения) меньше столбцов. Это эффект немного ограничивает его применение, например, для распознавания образов, так как возможно именно с этим участком изображения будет связана необходимая потребителю информация. В этом случае к обработке изображения предложенным методом можно добавить второй этап. Он повторяет предложенную обработку исходного изображения, повернутого на  $180^\circ$ . После поворота обработанного изображения на  $180^\circ$ , его первые  $d_e$  столбцы используются для дополнения изображения, полученного на первом этапе обработки, до размерности обрабатываемого изображения.

Математическое ожидание разности между исходным и усредненным суррогатным изображением равно 0,198, а между изображением, обработанным медианным фильтром, и исходным равно 0,203. Среднеквадратическая ошибка разности исходного и обработанного изображений равна 14,003 и 14,563, соответственно. Видно, что методические ошибки для обоих методов отличаются несущественно.

### Выводы

В работе предложен вариант предварительной обработки изображений для уменьшения влияния аддитивного шума с использованием технологии суррогатных данных, реализованной с помощью АТС-алгоритма формирования суррогатных изобра-

жений. Результаты имитационного моделирования показывают, что предложенный метод имеет близкие с методом медианной фильтрации изображений численные меры качества обработки, но разное визуальное восприятие. К достоинству предложенного метода подавления шума на изображении следует отнести, во-первых, возможность сохранения размера исходного изображения. Во-вторых, в отличие от традиционных методов фильтрации изображений, его разрешающая способность не ограничивается размером окна (маски) сканирования изображения, которое также уменьшает размер обработанного изображения. Однако, предложенный метод обуславливает появление суррогатного шума. Сравнение суррогатного шума и шума, обусловленного медианной фильтрацией изображений, представляет самостоятельную задачу, которая будет исследоваться в дальнейшем.

### Список литературы

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. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа / Б. Эфрон. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 263 с.
6. Theiler J. Testing for nonlinearity in time series: The method of surrogate data / J.S. Theiler, S. Eubank, A. Longtin, B. Galdrikian, J. D. Farmer // *Physica D* 58. 1992. – P. 77-94.
7. Kantz H. Nonlinear time series analysis / H. Kantz, T. Schreiber // University Press, Cambridge. – 2004. – 369 p.
8. Small M. Applied Nonlinear Time Series Analysis Applications in Physics, Physiology and Finance / M. Small // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2005. – 245 p.
9. 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.
10. 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 // Радиозлектроника. – 2014. – Том 57, №6. – С.3-12.– (Изв. Вузов).
11. Костенко П.Ю. Повышение эффективности спектрального анализа сигналов методом Root-MUSIC с использованием суррогатных данных / П.Ю. Костенко, В.И. Василюшин // Радиозлектроника. – 2014. – Том 57, №1. – С. 31-39.– (Изв. Вузов).
12. Василюшин В.И. Адаптивная коррекция предварительной обработки сигналов с использованием технологии суррогатных данных в задачах спектрального анализа / В.И. Василюшин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2(109). – С. 15-20.
13. Василюшин В.И. Повышение эффективности спектрального анализа собственными структурными методами с использованием технологии суррогатных данных для собственных векторов ковариационной матрицы наблюдения / В.И. Василюшин // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2013. – Вып. 174. – С. 66-72.
14. Василюшин В.И. Анализ методической ошибки спектрального анализа, использующего технологию суррогатных данных / В.И. Василюшин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 1(117). – С. 5-9.
15. Гонзалес Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / Р. Гонзалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

Поступила в редколлегию 28.08.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент М.А. Павленко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ЗМЕНШЕННЯ АДТИВНОГО ШУМУ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ СУРОГАТНИХ ДАНИХ

П.Ю. Костенко, В.І. Василюшин, В.В. Слободянюк

В роботі запропоновано нелінійний метод подавлення адитивного шуму на цифрових зображеннях, оснований на використанні технології сурогатних даних. Представлені результати імітаційного моделювання попередньої обробки зображень з використанням ATS-алгоритму (attractor trajectory surrogates) формування сурогатних зображень. Проведено порівняльний аналіз запропонованого методу з методом медіанної фільтрації зображень.

**Ключові слова:** сурогатні зображення, ATS- алгоритм.

### REDUCTION OF ADDITIVE NOISE ON DIGITAL IMAGES USING SURROGATE DATA TECHNOLOGY

P.Yu. Kostenko, V.I. Vasylyshyn, V.V. Slobodyanyuk

The nonlinear method of suppression of an additive noise on digital images based on the use of the surrogate data technology is proposed in the paper. The simulation results of preliminary image processing with using of the ATS (attractor trajectory surrogates) algorithm of surrogate image generation are presented. The comparative analysis of the proposed method with the method of image median filtering.

**Keywords:** surrogate images, ATS algorithm.