

УДК 681.3.01:519.67

М.В. ПОЛЯКОВА, В.Н. КРЫЛОВ, Ю.В. ЕМЕЦ

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРА ИМПУЛЬСНОГО ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

*Одесский национальный политехнический университет,
проспект Шевченко, 1, г. Одесса, Украина,
Тел.: +38 (0482) 288453*

Анотация. Запропоновано автоматизований метод оцінки параметру імпульсного шуму на зображенні за допомогою мультифрактальних показників. Проведено дослідження характеристик розробленого методу на тестових зображеннях.

Abstract. The automated method of the estimation of the parameter of the image impulse noise with the multifractal indexes help is proposed. Research of descriptions of the developed method on test images is fulfilled.

Аннотация. Предложен автоматизированный метод оценки параметра импульсного шума на изображении с помощью мультифрактальных показателей. Проведено исследование характеристик разработанного метода на тестовых изображениях.

Ключевые слова: импульсный шум, мультифрактал, оценивание параметра шума

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные системы обработки и распознавания изображений в медицинской диагностике, производственном контроле, радиолокации, астрономических и биологических исследованиях часто сталкиваются с необходимостью обработки зашумленных изображений. Основными источниками шума на цифровом изображении являются процесс передачи изображения, а также процесс его получения (оцифровка) [1]. Работа датчиков зависит от их качества и от различных внешних факторов в процессе видеосъемки. Например, при оцифровке изображения с помощью матрицы приборов с зарядовой связью основными факторами, определяющими величину шума, являются уровень освещенности и температура датчиков. При передаче изображений помехи возникают и в каналах связи.

Диапазон шумов, встречающихся при обработке изображений, достаточно широк [1]. В данной работе рассматривается импульсный шум. Он возникает, когда в процессе получения изображения имеют место быстрые переходные процессы, например, неправильная коммутация. При моделировании импульсного шума значение интенсивности каждой точки изображения с вероятностью P_a заменяется на значение a , с вероятностью P_b – на значение b и с вероятностью $1-(P_a+P_b)$, где $P_a+P_b \leq 1$, остается неизменной. Плотность вероятности импульсного шума

$$p(I) = P_a \delta(I - a) + P_b \delta(I - b) \quad (1)$$

где $\delta(\bullet)$ – дельта-функция.

Статистическая модель помеховой ситуации в данном случае имеет вид:

$$I(x, y) = I_0(x, y) + T(x, y),$$

где $I(x, y)$ – полутоновое изображение, $T(x, y)$ – импульсная помеха с плотностью распределения (1).

Для подавления импульсного шума существуют особые методы предварительной обработки изображений, однако помеховую ситуацию оценивает специалист в области распознавания изображений

в неавтоматизированном режиме. 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.

Оценка параметра импульсного шума производилась в [1, 2] путем определения вероятности появления черных и белых точек на изображении. В [1] строилась гистограмма области изображения относительно постоянных значений интенсивности, которые лежат в средней части диапазона. На этой области изображения видны белые и черные точки импульсной помехи. Высота пиков гистограммы, соответствующих белым и черным точкам, дают оценку вероятностей P_a и P_b в (1) [1].

Недостатком этого метода является его ограниченная область применения: изображения с малым динамическим диапазоном интенсивностей могут обрабатываться некорректно. Фрагмент изображения для оценки параметра импульсного шума выбирается оператором в интерактивном режиме.

В [2] яркие белые и черные точки на изображении определялись путем сравнения интенсивности центрального пикселя скользящего окна со средним значением интенсивности пикселей окна. Достоинством этого метода является низкая погрешность оценки количества сбойных пикселей импульсного шума при низком уровне шума. Однако при высоком уровне шума оценка его параметра методом работы [2] производится со значительной погрешностью.

Проведенное в [3] распознавание типа шума на изображениях по значениям мультифрактальных показателей позволило получить высокий процент правильного распознавания при низкой вероятности ложной тревоги. Поэтому представляет интерес на основе мультифрактальных показателей, характеризующих зависимость статистик значений интенсивности изображения от масштаба, оценивать параметр импульсного шума.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы являлось снижение погрешности оценивания параметра импульсного шума путем использования мультифрактальных показателей. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Получение уравнений регрессии количества сбойных пикселей импульсного шума на значения мультифрактальных показателей и оценивание качества этих уравнений;
2. Разработка метода оценивания параметра импульсного шума по мультифрактальному показателю;
3. Исследование характеристик разработанного метода на тестовых изображениях.
4. Определение мультифрактальных показателей изображения.

Оценку количества сбойных пикселей импульсного шума на изображениях целесообразно проводить на основе зависимости статистических характеристик изображения от масштаба данных.

При анализе зависимости статистической информации от масштаба данных используется два подхода: структурные функции и сингулярные меры [4]. Под структурными функциями понимают статистические моменты абсолютных разностей, зависящие от масштаба на некотором интервале его значений. Приведем определение структурной функции для одномерных данных, представляющих значения интенсивности i -го столбца изображения $I(x, y_i)$, $x=1, \dots, N$, где N – число пикселей в столбце изображения.

Разностью r -го порядка функции $I(x, y_i)$ называется

$$\Delta I(r, x, y_i) = I(x + r, y_i) - I(x, y_i), \quad x = 1, \dots, N - r.$$

Определим степенную зависимость $\zeta(\tau)$ момента порядка τ $|\Delta I(r, x, y_i)|^\tau$ от масштаба r как

$$\langle |\Delta I(r, x, y_i)|^\tau \rangle \propto \left(\frac{r}{N} \right)^{\zeta(\tau)}, \quad \tau \geq 0, \quad (2)$$

где $\langle \cdot \rangle$ – означают усреднение по переменной x .

На основании (2) в работе [4] введен мультифрактальный показатель

$$H_1 = \zeta(1).$$

Наибольшее возможное значение $H_1 = 1$ достигается для почти всюду дифференцируемых функций. Если $H_1 = 0$, $I(x, y_i)$ – стационарный процесс, график которого заполняет пространство.

Для вычисления H_1 в результате логарифмирования (2) получаем

$$\ln \left\langle |\Delta I(r, x, y_i)|^\tau \right\rangle = \zeta(\tau) \ln \left(\frac{r}{N} \right) + C,$$

где C – некоторая константа. Значение $H_1 = \zeta(1)$ находим путем определения параметров линейной

регрессионной зависимости $\ln \left\langle |\Delta I(r, x, y_i)|^\tau \right\rangle$ от $\ln \left(\frac{r}{N} \right)$.

Другим подходом к мультифрактальному анализу данных являются сингулярные меры, представляющие собой локально усредненный модуль градиента изображения.

В основе определения сингулярной меры лежит понятие нормализованной разности 1-го порядка. Ее значения вычисляются в каждой точке столбца изображения по формуле

$$\varepsilon(1, x, y_i) = \frac{|\Delta I(1, x, y_i)|}{\langle |\Delta I(1, x, y_i)| \rangle}, \quad x = 1, \dots, N-1,$$

где $\langle |\Delta I(r, x, y_i)| \rangle = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N |\Delta I(1, x, y_i)|$.

Пусть масштаб r принимает значения $1, 2, 4, \dots, N$. Тогда сингулярная мера $\varepsilon(r, x, y_i)$ определяется как

$$\varepsilon(r, x, y_i) = \frac{1}{r} \sum_{x'=x}^{x+r-1} \varepsilon(1, x', y_i), \quad x = 1, \dots, N-r.$$

Определим функцию $K(\tau)$, выражающую степенную зависимость сингулярной меры от масштаба по формуле

$$\langle \varepsilon(r, x, y_i)^\tau \rangle \propto \left(\frac{r}{N} \right)^{-K(\tau)}, \quad \tau \geq 0. \quad (3)$$

В смысле сингулярных мер значения интенсивности изображения характеризуются мультифрактальным показателем

$$C_1 = K'(1) \geq 0.$$

Наибольшее значение C_1 , равное 1, достигается для случайно расположенных δ – функций, вся энергия которых сконцентрирована в отдельных точках. Случай $C_1 \rightarrow 0$ (наименьшему значению) достигается для случайно расположенных функций Хевисайда. То есть мультифрактальный показатель C_1 характеризует уровень импульсного шума на изображении.

На рис. 1 показан характер зависимости мультифрактального показателя C_1 от вида помехи для столбца тестового изображения, содержащего один объект. C_1 в этих случаях равно 1,062 и 0,72959 соответственно.

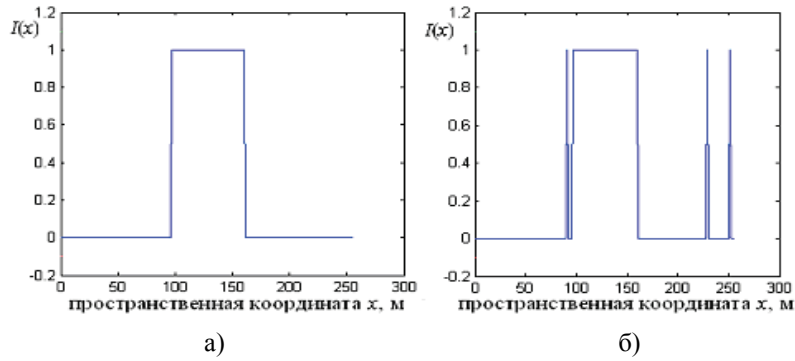


Рис. 1. Значения интенсивности столбца тестового изображения (а) и они же для изображения, пораженного импульсной помехой (б)

Для вычисления C_1 в результате логарифмирования (3) имеем

$$\ln \left\langle \varepsilon(r, x, y_i)^\tau \right\rangle = -K(\tau) \ln \left(\frac{r}{N} \right) + C',$$

где C' – некоторая константа. Значение C_1 определяем как аппроксимацию производной функции $K(\tau)$ в точке $\tau = 1$.

Приведенные определения структурной функции и сингулярной меры позволяют вычислять мультифрактальные показатели H_1 и C_1 для одномерных данных. Для обработки изображений, представленных матрицами дискретных отсчетов интенсивности введены показатели H_1 , C_1 по направлениям x , y : H_x , H_y , H_{xy} , C_x , C_y , C_{xy} соответственно. При определении H_x , C_x разности r -го порядка вычисляются и усредняются по строкам изображения. При вычислении H_y , C_y обработка производится по столбцам изображения. В процессе определения H_{xy} , C_{xy} разности r -го порядка вычисляются и усредняются по двумерным окрестностям пикселей изображения.

МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРА ИМПУЛЬСНОГО ШУМА ПО МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ

В работе [3] получены графики зависимостей значений мультифрактальных показателей от количества сбойных пикселей Q для импульсного шума на тестовом изображении (рис. 2).

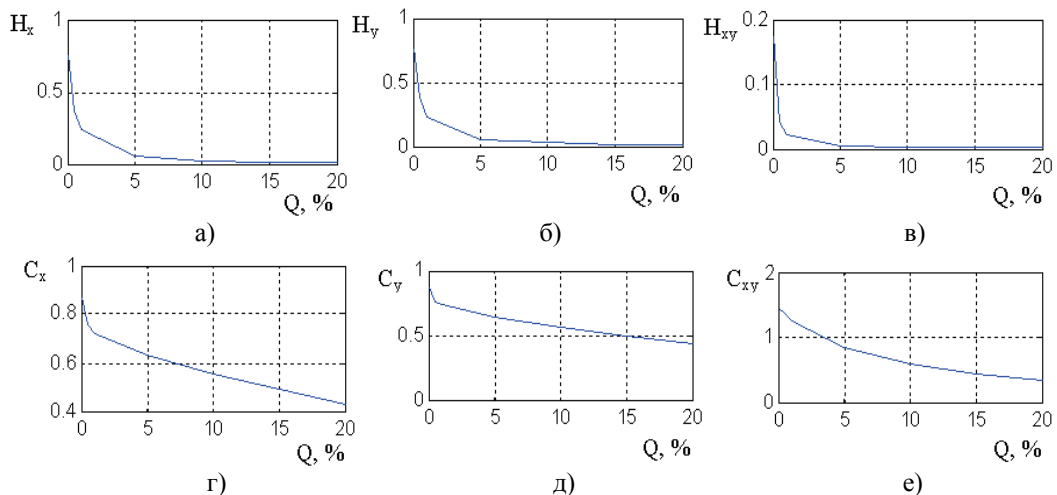


Рис. 2. Графики зависимостей мультифрактальных показателей H_x (а), H_y (б), H_{xy} (в), C_x (г), C_y (д), C_{xy} (е) от количества сбойных пикселей Q для импульсного шума

На основе этих зависимостей в данной работе осуществляется оценивание параметра импульсного шума. Получены уравнения регрессии, описывающие зависимость количества сбойных пикселей импульсного шума Q от значений показателей H_x , H_y , H_{xy} , C_x , C_y , C_{xy} (рис. 3). В качестве регрессионной зависимости выбрана полиномиальная. Степень полинома n является параметром метода оценивания.

Коэффициенты полинома регрессии оценивались методом наименьших квадратов, который используется для приближения функций, заданных числовым массивом [5].

Качество уравнений регрессии количества сбойных пикселей импульсного шума на значения H_x , H_y , H_{xy} , C_x , C_y , C_{xy} определялось с помощью дисперсии остаточных данных.

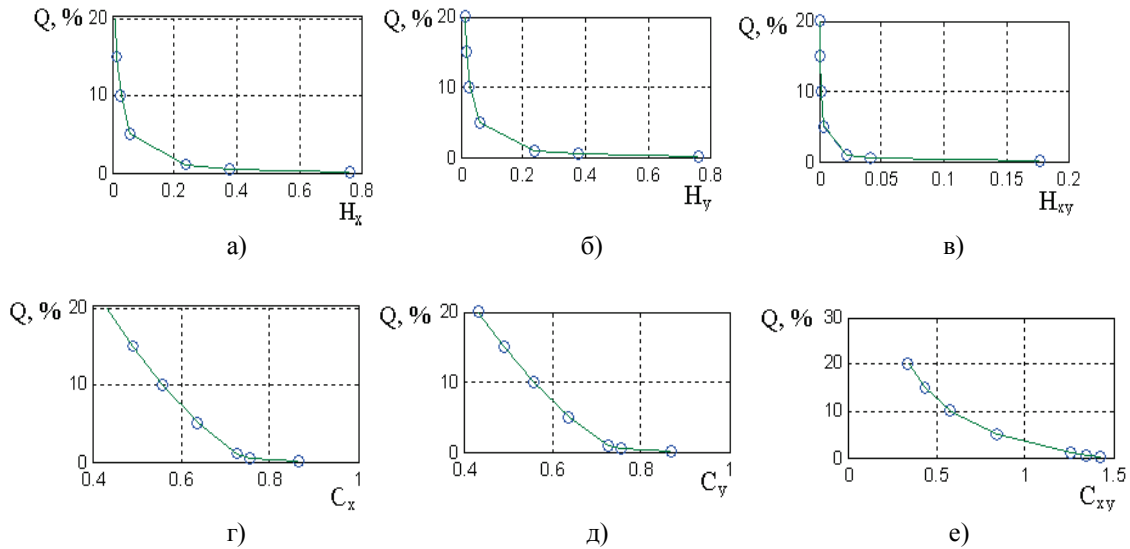


Рис. 3. Регрессионная зависимость Q от H_x (а), H_y (б), H_{xy} (в), C_x (г), C_y (д), C_{xy} (е)

Значения дисперсии остаточных данных для определения качества аппроксимации полиномом 8-й степени зависимостей количества сбойных пикселей импульсного шума от значений H_x , H_y , H_{xy} , C_x , C_y , C_{xy} приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Значения дисперсии остаточных данных при аппроксимации полиномом зависимости количества сбойных пикселей импульсного шума от значений мультифрактальных показателей

Показатель	Дисперсия остаточных данных	Дисперсия исходных данных
H_x	6.0876e-020	61.8157
H_y	2.7115e-020	61.8157
H_{xy}	1.0707e-012	61.8157
C_x	2.3437e-023	61.8157
C_y	1.1607e-024	61.8157
C_{xy}	8.0560e-027	61.8157

Из шести исследованных зависимостей выбрана та, для которой значение дисперсии остаточных данных минимально. Для нашего случая – это зависимость Q от C_{xy} . Она аппроксимируется полиномом 8-й степени:

$$Q = a_0 + a_1 C_{xy} + a_2 C_{xy}^2 + \dots + a_8 C_{xy}^8, \quad (4)$$

где a_0, a_1, \dots, a_8 – коэффициенты полинома регрессии.

С учетом этой формулы метод оценивания количества сбойных пикселей импульсного шума сформулируем следующим образом:

- для исходного изображения оценить C_{xy} ;
- с использованием формулы (4) вычислить оценку количества сбойных пикселей импульсного шума.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования предложенного метода оценки параметров импульсного шума

проведены на изображении размером 256x256 пикселей, в центре которого – белый квадрат 64x64 пикселя на черном фоне. На это изображение накладывался импульсный шум с количеством сбойных пикселей 20%, 15%, 10%, 5%, 1%, 0,5%, 0,1%, причем незашумленное изображение предварительно переводилось на интервал интенсивностей [0,4; 0,5]. Для полученных изображений вычислялся мультифрактальный показатель C_{xy} и оценивался параметр импульсного шума по формуле (4). Оценка качества полученных результатов выполнялась с помощью относительной и абсолютной погрешностей (табл. 2).

Таблица 2.

Результаты оценивания количества сбойных пикселей импульсного шума предложенным методом

Истинное значение параметра шума, %	Оценка параметра шума	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
20	19.9069	0.0931	0.0047
15	14.9012	0.0988	0.0066
10	10.0615	0.0615	0.0062
5	5.0583	0.0583	0.0117
1	1.0521	0.0521	0.0521
0.5	0.4530	0.0470	0.0940
0.1	0.0822	0.0178	0.1780

Эти погрешности определяются следующим образом [6].

Пусть a – точное значение, a^* – приближенное значение некоторой величины. Абсолютной погрешностью приближенного значения a^* называется величина $\Delta(a^*) = |a - a^*|$. Относительной погрешностью значения a^* (при $a \neq 0$) называется величина $\delta(a^*) = \frac{\Delta(a^*)}{|a|}$. Относительная и

абсолютная погрешность характеризуют смещенность оценки параметра шума, эффективность этой оценки определяется с помощью ее стандартного отклонения.

Сравнение полученных результатов оценивания параметра импульсного шума предложенным методом (табл. 2) проводилось с результатами оценивания этого же параметра методом работы [2] (табл. 3). Для реализации метода работы [2] описанное выше тестовое изображение обрабатывалось скользящим окном, например, размером 3x3. Для значений интенсивности пикселей окна вычислялись среднее значение \bar{x} , стандартное отклонение s и определялась интенсивность центрального элемента окна x_0 . Если $|x_0 - \bar{x}| > s$, то центральный пиксель окна отмечался как сбойный. Далее скользящее окно сдвигалось и обработка повторялась. Количество сбойных пикселей определялось как процент от общего числа пикселей на изображении.

Таблица 3.

Результаты оценивания количества сбойных пикселей импульсного шума методом работы [2]

Истинное значение параметра шума, %	Оценка параметра шума	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
20	19.8416	0.1584	0.0079
15	14.8459	0.1541	0.0103
10	9.9324	0.0676	0.0068
5	4.9368	0.0632	0.0126
1	1.0416	0.0416	0.0416
0.5	0.4743	0.0257	0.0514
0.1	0.0961	0.0039	0.0390

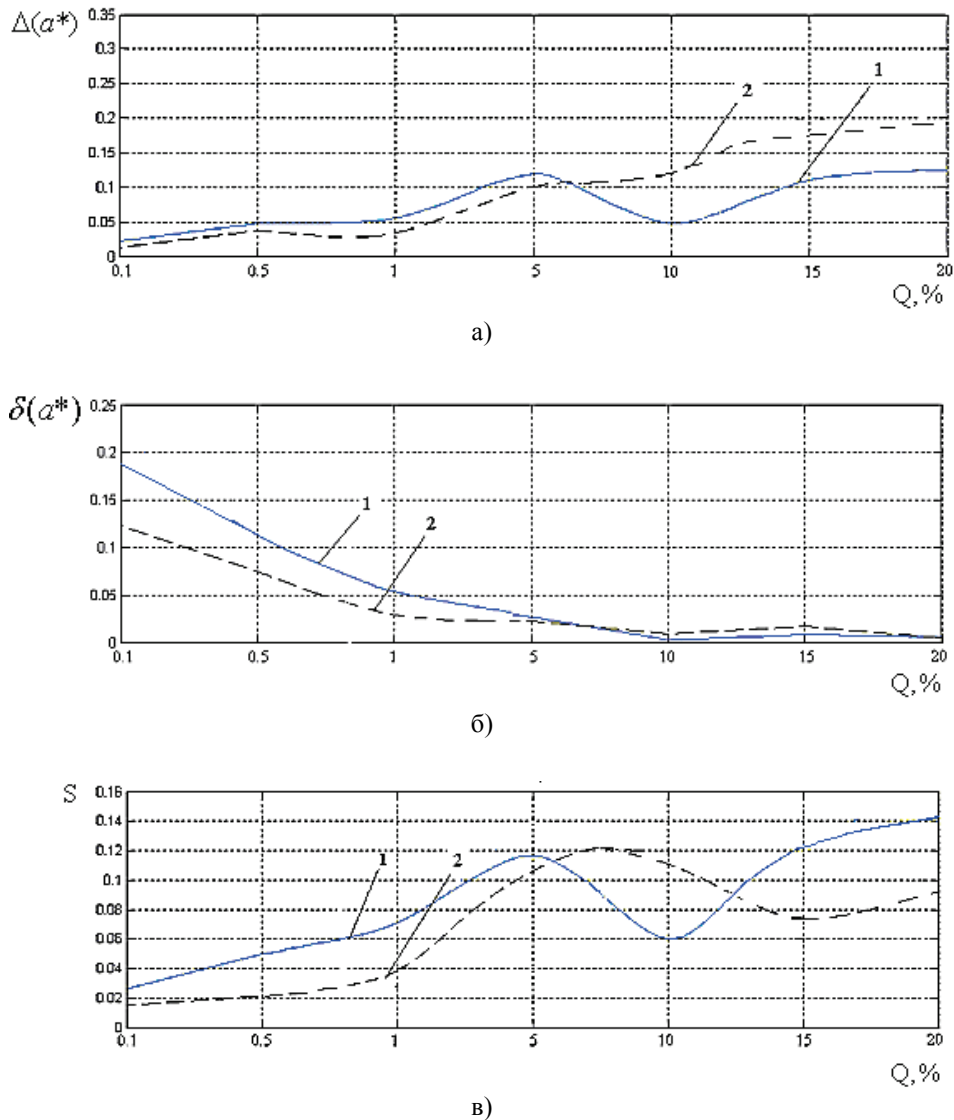


Рис. 4. Зависимость от количества сбойных пикселей абсолютной погрешности (а), относительной погрешности (б) и стандартного отклонения (в) оценки параметра импульсного шума:
1 – предложенным методом; 2 – методом работы [2]

Анализируя полученные результаты, заметим, что абсолютная и относительная погрешность оценки количества сбойных пикселей импульсного шума предложенным методом меньше, чем методом работы [6] в 1,4 – 2,1 раз при значениях этого параметра более 5%. При количестве сбойных пикселей на тестовом изображении менее 5% значения абсолютной погрешности оценивания обоими методами сравнимы, а относительная погрешность оценки предложенным методом превышает погрешность оценки методом работы [6] до 1,7 раз. Стандартное отклонение оценки параметра импульсного шума обоими методами сравнима за исключением интервала свыше 13% сбойных пикселей. В этом случае стандартное отклонение оценки параметра предложенным методом выше до 1,7 раз.

ВЫВОДЫ

Получены уравнения регрессии, которые позволяют оценить зависимости оценки параметра импульсного шума на значения мультифрактальных показателей. Разработан метод оценивания параметра импульсного шума по мультифрактальному показателю. Результаты исследований показали, что предложенный в работе метод оценки параметра импульсного шума по значению мультифрактального показателя рекомендуется применять при значениях количества сбойных пикселей импульсного шума 5% и выше. В этих случаях относительная погрешность оценки параметра шума составляет до 0,07 %, абсолютная погрешность – до 0,7 – 1,14 % , а стандартное отклонение оценки

составляет 0,6 – 0,8 %. Направлением дальнейшей работы является разработка методов оценки параметра гауссовского и мультипликативного шумов по значениям мультифрактальных показателей на изображениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. R. Lukas, B. Smolka, K.N. Plataniotis, A.N. Venetsanopoulos. Vector sigma filters for noise detection and removal in color images // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2006. – V. 17. – P. 1 – 26.
3. М.В. Полякова, В.Н. Крылов. Мультифрактальный метод автоматизированного распознавания помех на изображении // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Межвузовский журнал. – Херсон, 2006. - № 1 (17). – С. 60 – 69.
4. Davis, A. Marshak, W. Wiscombe, R. Cahalan. Multifractal characterizations of nonstationary and intermittency in geophysical fields: Observed, retrieved or simulated // Journal of Geophysical Research. – 1994. – V. 99, № D4. – P. 8055 – 8072.
5. С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика. – 1985. – 524 С.
6. Математический энциклопедический словарь /Гл. ред. Ю. В. Прохоров; ред. кол.: С. И. Адян, Н. С. Бахвалов, В. И. Битюцков, А. П. Ермов, Л. Д. Кудрявцев, А. Л. Онишук, А. П. Юшкевич. – М.: Советская энциклопедия. – 1988. – 847 С.

Надійшла до редакції 21.04.2010р.

ПОЛЯКОВА М. В. — к.т.н., доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина.

КРЫЛОВ В. Н. — д.т.н., профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина.

ЕМЕЦ Ю. В. — магистр, аспирант кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина.