

УДК 004.94

П. В. САХАРЕВИЧ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Украина***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКВАЛИЗАЦИИ
МОНОХРОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Рассмотрены метод улучшения качества монохромных изображений и влияние помех на результаты обработки. Исследован алгоритм повышения контрастности изображений путем эквализации гистограммы распределения яркости. Представлены результаты эквализации изображений при наличии аддитивных шумовых составляющих с различными вероятностными характеристиками. Предполагалось, что шум не зависит от пространственных координат и не коррелирует с изображением. В качестве вероятностных моделей для описания случайных значений яркости шума были выбраны распределения Гаусса, Релея и экспоненциальный закон распределения. Для генерации массивов шумовой компоненты формировались датчики случайных чисел с соответствующими распределениями.

Ключевые слова: изображение, яркость, плотность распределения вероятности, аппроксимация, эквализация, помехи.

Введение

В большом числе информационных систем применяется визуализация – представление результатов обработки данных в виде изображения, выводимого на экран для использования наблюдателем. Изображение, которое можно рассматривать как двумерный сигнал, является значительно более емким носителем информации, чем обычный одномерный, чаще всего временной, сигнал. Основными областями применения цифровой обработки изображения являются улучшение его визуального восприятия человеком, а также хранение, передача, представление и обработка информации, содержащейся в изображении, в автономных системах машинного зрения. Типичными задачами обработки изображений являются:

- восстановление изображений (процедуры компенсации искажений);
- улучшение изображений (повышение их резкости и контрастности);
- сжатие изображений (уменьшение объема данных, необходимых для представления цифрового изображения);
- сегментация изображений;
- классификация или распознавание объектов;
- анализ изображений (интерпретация распознанных объектов).

Во многих прикладных отраслях, таких как промышленность (производственный контроль, литография, лазерная техника), медицина (ультразвуковая диагностика, медицинская радиология, рентгенография и ангиография, компьютерная томография), дистанционное зондирование земной поверх-

ности, биологические и астрономические наблюдения, геологическая разведка применяют монохромные изображения (т.е. изображения в уровнях серого). После оцифровки каждый элемент (пиксель) изображения с пространственными координатами (x, y) имеет значение яркости в пределах динамического диапазона 0 ... 255. Достоверность принимаемых решений при анализе изображения во многом определяется качеством снимка. К причинам, понижающим качество изображений, можно отнести:

- низкую контрастность изображения;
- технические яркостные помехи шумового характера;
- недостаточную или излишнюю освещенность объектов съемки;
- отсутствие резкости при получении изображения или вследствие применения сглаживающих фильтров.

В этом случае требуется при помощи цифровой обработки улучшить исходное изображение – подчеркнуть, усилить некоторые характерные черты, особенности, нюансы наблюдаемой картины, что позволит в дальнейшем снизить количество ошибок при выделении и распознавании образов объектов. Т. о., одной из важных проблем, возникающих при обработке изображений, является улучшение его качества, в частности, повышение контрастности. Одним из эффективных методов, является - алгоритм эквализации. Метод эквализации рассматривался в работах улучшения цветных изображений с помощью выравнивания гистограммы [1, 2].

Целью работы является исследование влияния помех, имеющих различные вероятностные характеристики на качество изображения после проведения процедуры эквализации гистограммы яркостей.

1. Эквализация гистограммы

Изображение с низким контрастом имеет узкую гистограмму значений яркости. Если ненулевые уровни гистограммы смещены в область меньших значений диапазона яркостей, то изображение является темным; если смещение произошло в верхнюю часть диапазона, то изображение – яркое. Если гистограмма расположена вблизи центра диапазона яркостей, то изображение имеет серый вид. С другой стороны, если распределение значений элементов изображения близко к равномерному закону и занимает весь диапазон возможных значений яркостей, то такое изображение будет выглядеть высококонтрастным и содержать большое количество полутонов. Т.о., усиление контраста достигается за счет увеличения динамического диапазона яркостей путем приведения гистограммы к заданному виду. Поскольку гистограммы достаточно просты как для программных вычислений, так и для аппаратной реализации, методы эквализации (линеаризации) гистограммы широко применяются при обработке изображений в реальном масштабе времени [3].

В данной работе был применен модифицированный алгоритм эквализации гистограммы, состоящий из таких этапов:

- построение гистограммы изображения;
- формирование эмпирической функции распределения (ФР);
- полиномиальная аппроксимация ФР;
- обработка исходного изображения с использованием аппроксимирующего полинома в качестве функции градационного преобразования.

Первый этап цифровой обработки – представление изображения в виде двумерного массива значений яркостей для каждого пикселя изображения $\{x_{i,j}\}$. Состояние пикселя задается 8 битами, таким образом, каждый пиксель имеет 256 уровней интенсивности оттенков серого, 255 – отвечает представлению белого цвета, 0 – черного цвета [4].

Далее выполняется построение гистограммы распределения яркости:

$$H_k = \frac{n_k}{\Delta I \cdot N}, \quad k = 0 \dots M-1, \quad (1)$$

где H_k – высота k -го столбика гистограммы;

n_k – количество точек k -го интервала уровней яркости $[I_{k-1}, I_k]$, имеющего ширину ΔI ;

N – общее количество пикселей изображения;

M – количество интервалов гистограммы.

Дискретные значения эмпирической ФР рассчитываются по формуле

$$F_k = \sum_{j=0}^k H_j. \quad (2)$$

Для нахождения оценок коэффициентов полинома степени m

$$P_m(x) = \sum_{i=0}^m a_i x^i, \quad (3)$$

аппроксимирующего ФР, был применен метод наименьших квадратов:

$$E = \sum_{k=0}^{M-1} (F_k - P_m(I_k))^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

при этом степень m полинома (3) определялась по условию обеспечения заданной среднеквадратичной ошибки аппроксимации $E \leq 0,05$. Для ряда исследуемых изображений приемлемым значением степени полинома являлось $m = 5$.

Далее выполнялось градационное преобразование исходного изображения с использованием аппроксимирующего полинома $P_m(I)$ в качестве функции преобразования:

$$I_{i,j}^* = I_{i,j} \cdot P_m(I_{i,j}). \quad (5)$$

На рис. 1, 2 показаны результаты эквализации исходного низко-контрастного изображения фрагмента печатной платы.

Как видно из сравнения изображений до и после обработки, в результате эквализации гистограммы (см. рис. 1, б) увеличился контраст объектов на изображении, при этом более заметными стали ранее практически неразличимые детали (например, царапина, пересекающая печатные дорожки – на рис. 2, б она показана стрелкой).

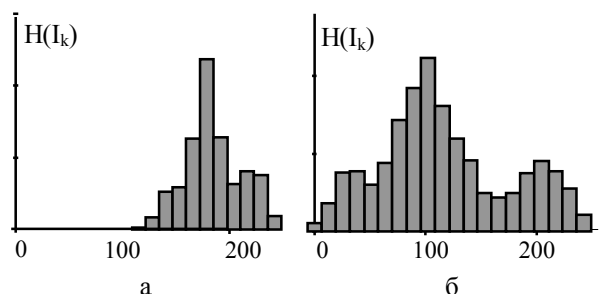


Рис. 1. Гистограммы яркости фрагмента изображения печатной платы:

- а – исходное изображение;
- б – изображение после эквализации

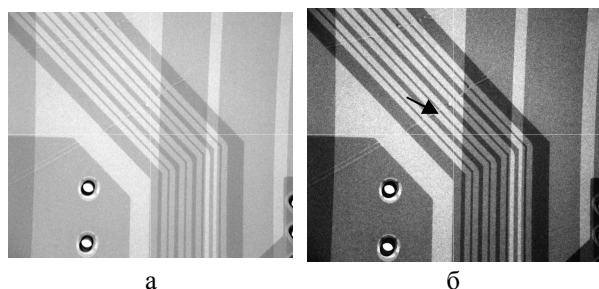


Рис. 2. Фрагмент изображения печатной платы:

- а – исходное изображение;
- б – изображение после эквализации

2. Влияние помех

Основными источниками яркостных помех или шума на цифровом изображении являются: процесс его получения (влияние внешних условий, качество регистрирующих датчиков), оцифровка (шумы квантования), а также процесс передачи (помехи в каналах связи). Значения яркости шумовой компоненты рассматривают как случайные величины с определенными статистическими свойствами.

Одними из наиболее распространенных вероятностных моделей шума при обработке изображений являются нормальный закон распределения (ЗР), ЗР Релея, экспоненциальный ЗР, а также импульсный шум. При этом различные виды распределений соответствуют различной физической природе шума. Так, например, нормальный (гауссов) шум возникает на изображениях в результате воздействия таких факторов как шум в электронных цепях (флуктуационный шум, обусловленный недостатком освещения и / или высокой температурой). ЗР Релея хорошо описывает шум на снимках, полученных с больших расстояний. Экспоненциальный ЗР характерен для шума на изображениях, получаемых с использованием лазеров. Импульсный шум возникает в ситуациях, когда в процессе получения изображения имеют место быстрые переходные процессы. Импульсный шум представляет собой последовательность импульсов, для которых помимо параметров, характерных для импульсов, (длительность, время установления, амплитуда), рассматривается характер распределения во времени, а также различие уровней импульс - фон. В данной работе для исследования влияния уровня шумовой компоненты изображения на результаты усиления контраста путем эквализации были выбраны три вероятностные модели – нормальный ЗР, экспоненциальный ЗР и ЗР Релея. При этом предполагалось, что шум является аддитивным, не зависит от пространственных координат и не коррелирует с изображением.

Для моделирования нормального шума с плотностью распределения вероятностей (ПРВ) вида

$$f(x) \equiv N(x; m, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}},$$

где m – математическое ожидание (МО);

σ – среднеквадратичное отклонение (СКО), использовался алгоритм, основанный на центральной предельной теореме теории вероятностей:

$$x = m + \frac{\sigma}{2} \cdot \left[\sum_{i=1}^{48} r_i - 24 \right], \quad (6)$$

где x – реализация случайной величины с нормальным ЗР;

r_i – значение стандартной случайной величины, равномерно распределенной в интервале $[0, 1]$ [5].

Имитация случайных значений шума, характеризующегося экспоненциальной ПРВ:

$$f(x) \equiv E(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases}$$

где λ – интенсивность или обратный коэффициент масштаба, выполнялась по алгоритму

$$x = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(r_1), \quad (7)$$

где x – реализация случайной величины с экспоненциальным ЗР [5].

Для формирования яркостных флуктуаций по распределению Рэлея, ПРВ которого имеет вид:

$$f(x) \equiv Re(x; s) = \begin{cases} \frac{x}{s^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2s^2}\right), & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases}$$

где s – мода распределения, был использован алгоритм:

$$x = s \cdot \sqrt{-2 \ln(r_1)}, \quad (8)$$

где x – реализация случайной величины с ЗР Рэлея.

Гистограммы (эмпирические оценки распределений) и теоретические плотности распределения вероятности для моделируемых случайных величин показаны на рис. 3 – 5.

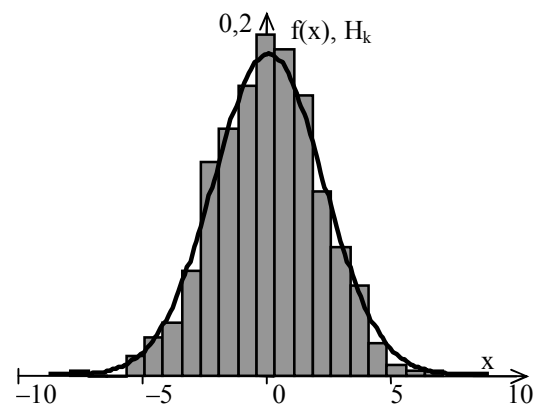


Рис. 3. Гистограмма H_k и ПРВ $f(x)$ шума с нормальным ЗР

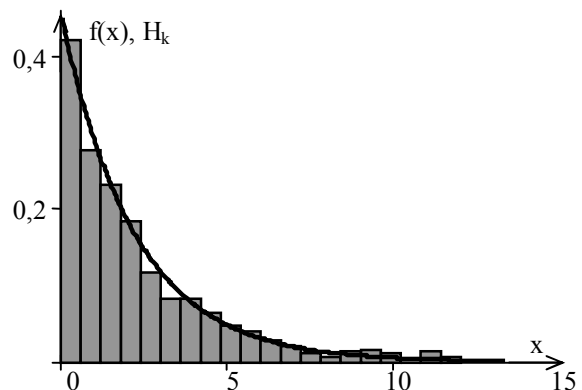


Рис. 4. Гистограмма H_k и ПРВ $f(x)$ шума с экспоненциальным ЗР

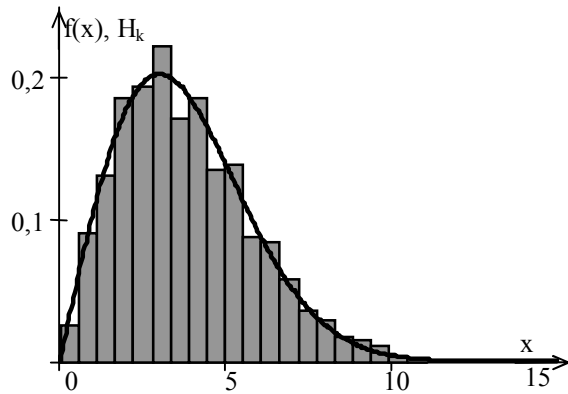
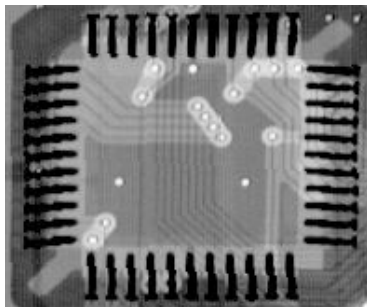
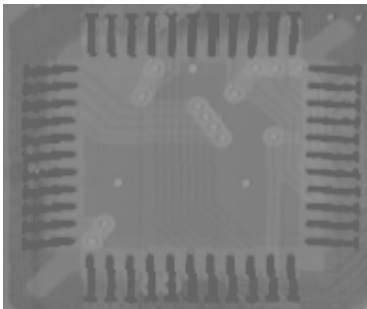


Рис. 5. Гистограмма H_k и ПРВ $f(x)$ шума с ЗР Рэлея

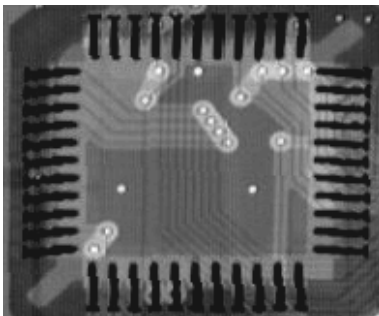
Для обработки был взят фрагмент изображения рентгеноскопического контроля микросхемных сборок (рис. 6, а). Контраст исходного изображения был существенно снижен (рис. 6, б), после чего была выполнена эквализация гистограммы (рис. 6, в).



а



б



в

Рис. 6. Фрагмент изображения микросборки:
а – исходное изображение;
б – неконтрастное изображение;
в – изображение после эквализации

Исследование влияния помех на результаты эквализации проводилось при различных отношениях сигнал-шум (ОСШ), дБ (см. табл. 1):

$$\text{ОСШ} = 20 \log \left(\frac{A_{\text{сигн}}}{A_{\text{шум}}} \right), \quad (9)$$

где $A_{\text{сигн}}$ – среднее значение яркости изображения;

$A_{\text{шум}}$ – амплитуда шума.

Значения амплитуды шума для принятых значений ОСШ в соответствии с (9) находились как

$$A_{\text{шум}} = A_{\text{сигн}} \cdot 10^{-\text{ОСШ}/20}.$$

Значения СКО, характеризующие разброс случайной величины (СВ) и связанные с параметрами ее распределения, определялись по правилу «трех сигм». Так, для СВ x с нормальным ЗР вероятность нахождения в интервале $m \pm 3\sigma$ равна 0,9973; для экспоненциального ЗР и ЗР Рэлея вероятности того, что случайное значение $x \in [0, 6\sigma]$ составляют, соответственно, 0,9975 и 0,9996.

Т. о., для нормального ЗР σ определялось как

$$\sigma = A_{\text{шум}}/6,$$

значение МО было принято $m = 0$.

Для экспоненциального ЗР параметр λ вычислялся по соотношению

$$\lambda = 1/\sigma = 6/A_{\text{шум}},$$

а параметр s ЗР Рэлея – по формуле

$$s = \sigma \sqrt{\frac{2}{4-\pi}} = \frac{A_{\text{шум}}}{6} \sqrt{\frac{2}{4-\pi}}.$$

Результаты расчета значений параметров ЗР моделируемых СВ для обеспечения требуемых величин ОСШ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения ОСШ и параметры ЗР шумов

ОСШ (дБ)	$A_{\text{сигн}}$	$A_{\text{шум}}$	Параметры ЗР		
			$N(0, \sigma)$	$E(\lambda)$	$Re(s)$
			σ	λ	S
40	123,6	1,24	0,206	4,854	0,314
30		3,91	0,651	1,535	0,994
20		12,36	2,060	0,485	3,144
10		39,09	6,514	0,154	9,943

В результате моделирования шумов (6) – (8) были сгенерированы выборочные значения СВ с заданными ЗР. Для получения зашумленных неконтрастных изображений с требуемыми величинами ОСШ формировались аддитивные смеси изображения (см. рис. 6, б) и реализаций шумов (см. табл. 1), после чего выполнялось нормирование массивов данных на диапазон значений $0 \dots 255$.

На рис. 7 представлены полученные смеси исходного изображения и результатов моделирования шумов с различными вероятностными характеристиками до выполнения эквализации гистограммы.

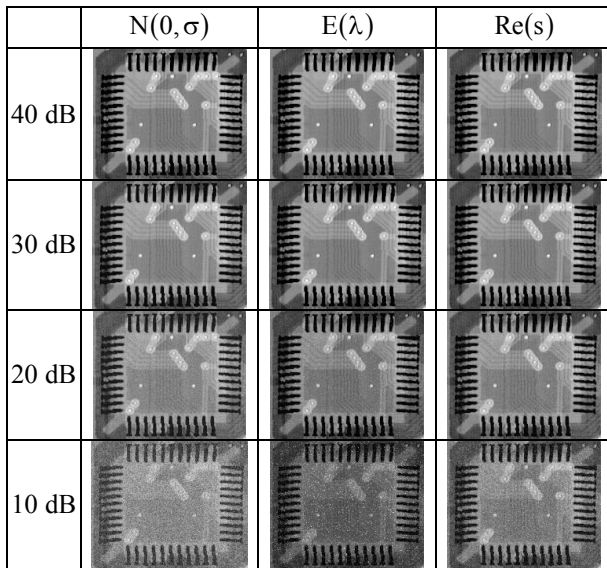


Рис. 7. Смеси изображения и шумов с заданными ЗР и заданными величинами ОСШ

При исследовании влияния вероятностных характеристик шумов на результаты эквализации преобразование (5) выполнялось для двух случаев: в первом случае в качестве функции преобразования использовался полином $P_m(x)$, аппроксимирующий ФР изображения без шума, а во втором – полином, описывающий ФР смеси изображения и шума. Т. о., в первом случае степень m и оценки коэффициентов полинома $\{a_i\}$, $i = 0 \dots m$ определялись один раз (по гистограмме яркостей незашумленного изображения) и затем использовались как постоянные параметры преобразования (5) для всех зашумленных изображений. Во втором случае эти величины рассчитывались для каждого из изображений, содержащих шумовую компоненту: $\{a_i\}^{(k)}$, $i = 0 \dots m^{(k)}$, $k = 1 \dots 12$ (для трех вероятностных моделей шума и четырех градаций ОСШ для каждой модели). На рис. 8, 9 представлены смеси изображения и шума, соответствующие показанным на рис. 7, после выполнения эквализации (5) для рассмотренных выше двух случаев. Как видно, преобразование эквализации при ОСШ не хуже 30 дБ отфильтровывает аддитивные шумы и повышает контрастность зашумленных изображений. Однако, если оценка параметров преобразования (5) выполняется без учета шумовой компоненты, при ОСШ ниже 30 дБ качество изображения после эквализации ухудшается: изображения становятся темными. Это объясняется существенным различием форм кривых ФР яркостей для изображения без шума и смеси изображения и шума при ОСШ ниже 30 дБ (см. рис. 10). При адаптивном пересчете коэффициентов полинома зашумленное изображение после эквализации выглядит более контрастным даже при ОСШ 10 дБ.

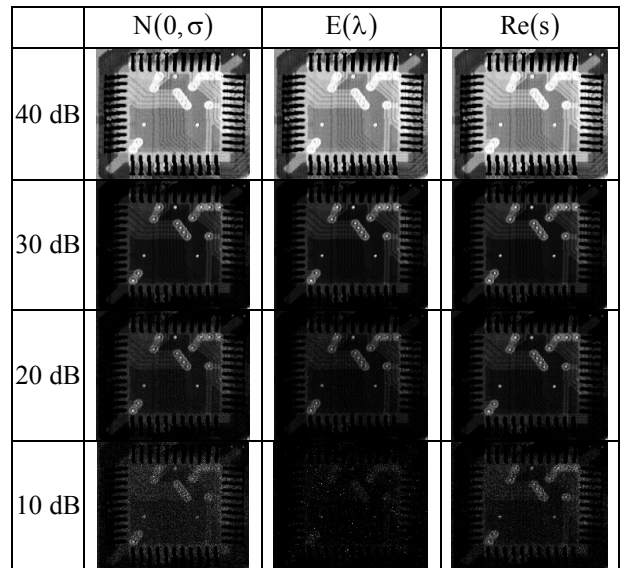


Рис. 8. Результаты эквализации изображений при постоянных параметрах преобразования

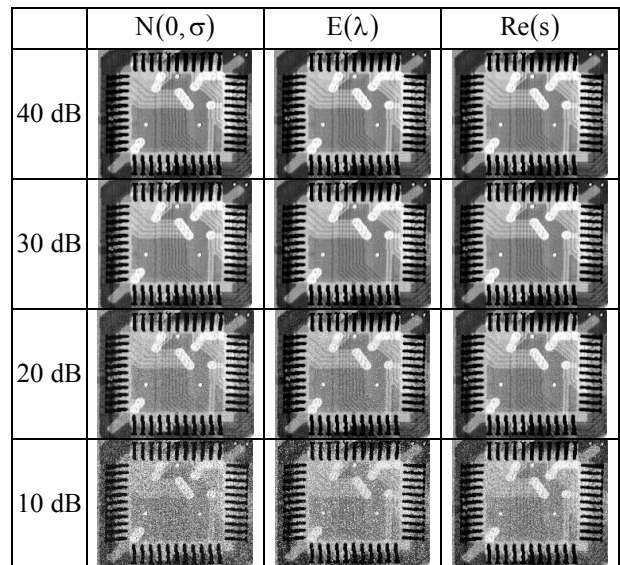


Рис. 9. Результаты эквализации изображений при адаптивном пересчете параметров преобразования

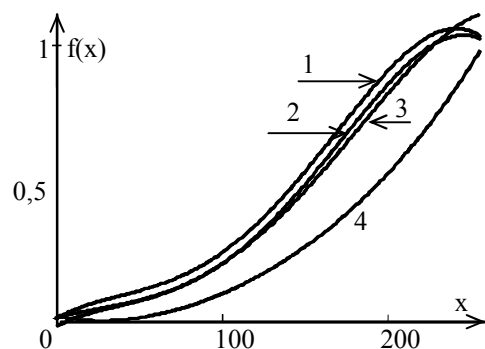


Рис. 10. Аппроксимирующие полиномы для ФР яркостей изображений с гауссовскими шумами: 1 – 40 дБ; 2 – 30 дБ; 3 – 20 дБ; 4 – 10 дБ

Заключення

Задача улучшения качества изображения актуальна в настоящее время. Основными проблемами, осложняющими как визуальный, так и автоматизированный анализ и интерпретацию изображений, является наличие помех и низкого контраста, что связано с процессами приема, передачи и обработки изображений, в частности, его оцифровкой и сжатием. Для повышения контраста изображений предложен метод эквализации его гистограммы распределения яркости, основанный на полиномиальной аппроксимации кумулятивной функции распределения и использования полученного полинома в качестве функции градиентного преобразования. Данный метод универсален, что позволяет применять его к монохромным изображениям, независимо от способа их формирования. Исследование влияния на результаты эквализации шумов с различными вероятностными характеристиками показало, что при ОСШ ниже 30 дБ (до 10 дБ) для получения контрастных изображений необходим адаптивный пересчет коэффициентов аппроксимирующего полинома по результатам цифровой обработки гисто-

граммы зашумленного изображения. Для изображений с ОСШ хуже 10 дБ перед проведением эквализации требуется предварительная фильтрация.

Литература

1. Han, J. A Novel 3-D Color Histogram Equalization Method with Uniform 1-D Gray Scale Histogram [Text] / J. Han, S. Yang, B. Lee // *IEEE Trans. on Image Processing*. – Changsha (China), 2011. – Vol. 20, No. 2. – P. 506-512.
2. Acharya, T. *Image Processing Principles and Application* [Text] / T. Acharya, A. K. Ray // John Wiley & Sons, Inc. – Hoboken (USA), 2005. – 428 p.
3. Гонсалес, Р. *Цифровая обработка изображений (Digital Image Processing)* [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
4. Соловьев, Н. В. *Улучшение качества растровых изображений* [Текст] / Н. В. Соловьев, А. М. Сергеев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 158 с.
5. Очков, В. Ф. *MathCAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов* [Текст] / В. Ф. Очков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.
6. *Рентгеноскопический контроль* [Электронный ресурс] : TOREX, сайт. – Режим доступа: <http://torex.spb.ru/pcad/xray>. – 21.11.2014.

Поступила в редакцию 16.02.2015, рассмотрена на редколлегии 20.03.2015

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШУМІВ НА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКВАЛІЗАЦІЇ МОНОХРОМНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

П. В. Сахаревич

Розглянуто метод поліпшення якості монохромних зображень та вплив перешкод на результати обробки. Досліджено алгоритм підвищення контрастності зображень шляхом еквализації гистограми розподілу яскравості. Представлено результати впливу еквализації зображень за наявності шумових складових. Передбачалося, що шум не залежить від просторових координат і не корелює з зображенням. В якості імовірнісних моделей для опису випадкових значень яскравості шуму було обрано нормальний та експоненціальний закони розподілу, а також розподіл Релея. Для генерації масивів шумової компоненти формувалися датчики випадкових чисел з відповідними розподілами.

Ключові слова: зображення, яскравість, щільність розподілу ймовірності, апроксимація, еквализація, перешкоди.

STUDY OF NOISE AFFECT ON THE RESULTS OF MONOCHROME IMAGES EQUALIZATION

P. V. Sakharevich

A method for improving image quality as well as noise affect on the results of their processing has been considered. The algorithm of image contrast enhancement by equalization of the histogram of the brightness distribution has been researched. The results of equalizing images with the additional noise component having various probability characteristics are presented. It was assumed that the noise doesn't depend on the spatial coordinates as well as not correlated with the image. Such distributions as normal, exponential and the Relays' one were chosen as probabilistic models for description of random values of noise brightness. To obtain arrays of the noise component generators of random numbers having corresponding distributions were formed.

Key words: image, brightness, probability density function, approximation, equalization, noise.

Сахаревич Павел Владимирович – магистрант кафедри виробництва радіоелектронних систем летательних апаратів, Национальний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: goer90@mail.ru.