

- management*, 2014, no. 16, pp. 148-170. (Rus.)
10. Britik V.I. Issledovanie vozmozhnostej razlichnyx filtrov i ix primenenie v zadachax raspoznavaniya obrazov [Investigation possibilities of various filters which used in pattern recognition problems]. *Bionika intellekta – Bionics of Intelligence*, 2014, no. 2 (83), pp. 88-95. (Rus.)
  11. Shevchenko E.A. Zadacha raspoznavaniya kontura ladoni na slozhnyx izobrazheniyax [The Task at Hand Contour Recognition Complex Images]. *Iskusstvennyj intellekt – Artificial intelligence*, 2013, no. 4, pp. 244-251. (Rus.)
  12. Bondina N.N. Ispolzovanie statisticheskix xarakteristik dlya vydeleniya granic v medicinskix izobrazheniyax [The use of statistical characteristics for the selection of boundaries in medical images]. *Vestnik NTU «KhPI». Seriya: Informatika i modelirovanie – Vestnik Bulletin of the National Technical University «KhPI». A series of «Information and Modeling»*, 2013, no. 39 (1012), pp. 22-27. (Rus.)
  13. Kostyukova N.S. Vidilennia konturiv ob'ektiv pri vikonanni poshuku zobrazhen' za ikh vmistom. Anotatsii dopovidei Mizhn. nauk.-prakt. int.-konf. «Komp'uterna grafika ta rozpoznavannia zobrazhen'» [Allocation of contours of objects when performing a search the images based on their content. Abstracts of Int. Sci.-Pract. Int.-Conf. «Computer graphics and image recognition»] Available at: <http://conf.vntu.edu.ua/kgrz/2012/pdf/Костюкова.pdf> (accessed 15 April 2012). (Ukr.)
  14. Bilinskii I.I. Metod vidilennya konturu na slabokontrasnix rozmitix zobrazheniyax. [Extraction method of the contour on subcontrasted blurred images]. *Visnik Vinnickogo politekhnichnogo institutu – Bulletin of Vinnitsa Polytechnic Institute*, 2012, no. 3, pp. 164-169. (Ukr.)
  15. *Algoritmy vydeleniya konturov izobrazhenij* (Algorithms for detecting contours of images) Available at: <http://habrahabr.ru/post/114452/> (accessed 13 April 2012).

Рецензент: В.П. Гранкин  
д-р физ.-мат. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.10.2016

УДК 004.896:004932.72

© Бурса А.Г.<sup>1</sup>, Молчанова В.С.<sup>2</sup>

### КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ СКАНИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГРАФИКОВ ФУНКЦИЙ

*Рассмотрен теоретический аспект очистки растровых изображений сканированных графиков функций от цифрового хроматического и яркостного шума с применением методов машинной графики. Предложен комплекс методов подавления полутонного шума, обеспечивающий высокое качество изображений графиков функций.*

**Ключевые слова:** график, изображение, фильтр, фильтрация, функция, шум.

**Бурса О.Г., Молчанова В.С. Комплекс методів фільтрації сканованих зображень графіків функцій.** Розглянуто теоретичний аспект чищення сканованих растрових зображень графіків функцій від цифрового хроматичного і яскравісного шуму із застосуванням методів машинної графіки. Запропоновано комплекс методів приглушення напівтонового шуму, що забезпечує високу якість зображень графіків функцій.

**Ключові слова:** графік, зображення, фільтр, фільтрація, функція, шум.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [bursa-edu@i.ua](mailto:bursa-edu@i.ua)

<sup>2</sup> ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [vp24@yandex.ua](mailto:vp24@yandex.ua)

**O.G. Boursa, V.S. Molchanova. Methods of filtering the graph images of the functions.** *The theoretical aspects of cleaning raster images of scanned graphs of functions from digital, chromatic and luminance distortions by using computer graphics techniques have been considered. The basic types of distortions characteristic of graph images of functions have been stated. To suppress the distortion several methods, providing for high-quality of the resulting images and saving their topological features, were suggested. The paper describes the techniques developed and improved by the authors: the method of cleaning the image of distortions by means of iterative contrasting, based on the step-by-step increase in image contrast in the graph by 1%; the method of small entities distortion restoring, based on the thinning of the known matrix of contrast increase filter (the allowable dimensions of the nucleus dilution radius convolution matrix, which provide for the retention of the graph lines have been established); integration technique of the noise reduction method by means of contrasting and distortion restoring method of small entities with known  $\sigma$ -filter. Each method in the complex has been theoretically substantiated. The developed methods involve treatment of graph images as the entire image (global processing) and its fragments (local processing). The metrics assessing the quality of the resulting image with the global and local processing have been chosen, the substantiation of the choice as well as the formulas have been given. The proposed complex methods of cleaning the graphs images of functions from grayscale image distortions is adaptive to the form of an image carrier, the distortion level in the image and its distribution. The presented results of testing the developed complex of methods for a representative sample of images confirm its effectiveness.*

**Key words:** graph, picture, filter, filtering, function, noise.

**Постановка проблеми.** Необходимость снижения затрат ручного труда, уменьшения сроков разработки научных проектов, повышения их качества стимулирует внедрение компьютерных технологий работы с архивной научной документацией. Эффективными инструментами поддержки электронных документальных архивов являются автоматизированные системы электронного документооборота (АСЭД), снабжённые технологиями компьютерной обработки сканированных изображений. Обработка изображений графиков функций является актуальной научной проблемой, поскольку требует построения моделей и разработки специализированных методов, обеспечивающих повышение качества сканированных растровых изображений графиков функций от присущих им искажений для дальнейшей обработки в АСЭД.

Причины появления визуальных дефектов изображения, называемых шумом, при оцифровке сканированных графиков функций описаны в [1, 2]. Хроматический (цветовой) и яркостный шум является результатом непреднамеренно возникающих искажений из-за: низкого качества оригинала, характеристик устройств оцифровки изображений (дисторсии, расфокусировки, оптической разрешающей способности сканера), неоптимальных яркости и контрастности и пр. Зашумление растровых изображений графиков функций негативно сказывается на качестве их оцифрованных копий. Поэтому важной задачей предварительной обработки растровых изображений графиков функций является улучшение их качества, которое выражается в повышении различимости контура и фона как на глобальном уровне (изображения в целом), так и на локальном уровне (фрагментов изображения, в том числе малоразмерных деталей и тонких линий).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования в области обработки растровых изображений (Путятин Е.П., Шлезингер М.И., Дуда Р., Фоли Дж., Вельтмандер П.В., Абламейко С.В., Местецкий Л.М., Gonsales R.C., Serra J., Норcroft J.E., Fu K.S., Pratt W.K. и др.) посвящены общетеоретическим методам их фильтрации [1-4]. Результаты этих исследований, как правило, абстрагированы от специфики, присущей растровым изображениям графиков функций (влияния вида носителя на яркостные характеристики, особенностей зашумления, необходимости сохранения структурных особенностей и т.п.), что требует существенной модификации разработанных на их основе методов фильтрации. Те немногие источники, которые посвящены разработанным прикладным программам оцифровки растровых изображений графиков функций [5-7], позволяют оценить научные подходы к решению задачи обработка изображений графиков функций лишь косвенно (по результатам работы программ), поскольку не описывают

методы, положенные в основу работы программных продуктов.

**Цель статьи** – освещение результатов теоретических исследований в области фильтрации изображений графиков функций для подавления цифрового хроматического и яркостного шума, а также представление комплекса разработанных для этого специальных методов.

**Изложение основного материала.** Для обеспечения качественной очистки от цифрового шума цветных полутоновых растровых изображений графиков функций необходимо усовершенствовать существующие методы полутоновой фильтрации с целью учёта специфики искажений, разработать новые специализированные методы шумоподавления и объединить эти методы в комплекс, обеспечивающий повышение интегрального качества растровых изображений графиков функций.

Большинство методов фильтрации изображений для сокрытия шума снижают контрастность и размывают границу света и тени. Однако в данной предметной области такой подход неприемлем, поскольку приводит к удалению тонких линий и искажению топологии графика функции. Здесь, наоборот, требуется повышение различимости графика при сохранении его топологии.

Анализ изображений графиков на носителях белая бумага, калька, «синька» показал, что для них характерны искажения  $T_*$ : неравномерная яркость ( $T_{НЯ}$ ) и контрастность ( $T_{НК}$ ), тональность фона ( $T_{ТФ}$ ), а также шумы: гауссов ( $T_G$ ), равномерный ( $T_P$ ), импульсный ( $T_{II}$ ) и размытие ( $T_{PF}$ ). Эти искажения снижают различимость как крупных, так и мелких фрагментов изображения графика функции.

Модель фильтрации изображения от этих видов шума представлена выражением (1), где критерием качества фильтрации служит минимальное расстояние Хемминга (2) между результирующим и эталонным изображениями.

$$f(R, T) = (\rho(R^{(F)}, R^{(0)}) \leq \varepsilon) \rightarrow 0 |, \quad (1)$$

$$R^{(F)} = H_{T_{II}}^{-1}[R^{(0)}] - H[T_G] - H[T_P] - H[T_{PF}] - H[T_{НЯ}] - H[T_{НК}] - H[T_{ТФ}],$$

$$\rho(R^{(F)}, R^{(0)}) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (r^{(F)}(i, j) \wedge r^{(0)}(i, j)), \quad (2)$$

- где  $f$  – функция цели фильтрации (восстановления) изображения графика функции;  
 $R$  – растровое изображение графика функции;  
 $T$  – типизированный шум;  
 $\rho$  – расстояние Хемминга;  
 $R^{(F)}, R^{(0)}$  – фильтрованное и эталонное растровые изображения графика функции;  
 $\varepsilon$  – допустимая погрешность;  
 $H_{T_{II}}^{-1}[R^{(0)}]$  – оператор, восстанавливающий изображение от импульсного шума замещения;  
 $H[T_*]$  – операторы зашумления изображения аддитивным шумом и искажениями (\*), снижающими различимость его фрагментов;  
 $M, N$  – габаритные размеры изображения (в точках);  
 $r^{(F)}(i, j), r^{(0)}(i, j)$  – точки фильтрованного и эталонного изображений.

Мерами расстояния Хемминга выступают общепринятые показатели качества изображений: MSE – среднеквадратическое отклонение, PSNR – отношение пикового сигнала к уровню шума, UIQI – универсальный индекс качества, SSIM – индекс структурного сходства, Recall – полнота классификации, Precision – точность классификации, F-measure – сбалансированная F-мера, Assigase – геометрическая точность [1].

Анализ гистограмм контрастности зашумлённых изображений графиков функций (рис. 1, а) показал, что для них характерна плохая различимость графика и фона, поскольку контрастность имеет невыраженные пики (рис. 1, б). Возможность отличить полезный сигнал от шума в области интереса ухудшается из-за перекрытия тоновых диапазонов графика и шума на интервале неопределённости гистограмм яркости таких изображений (рис. 1, в) и, как следствие, небольшого воспринимаемого различия между полезным сигналом и зашумлённым фоном.

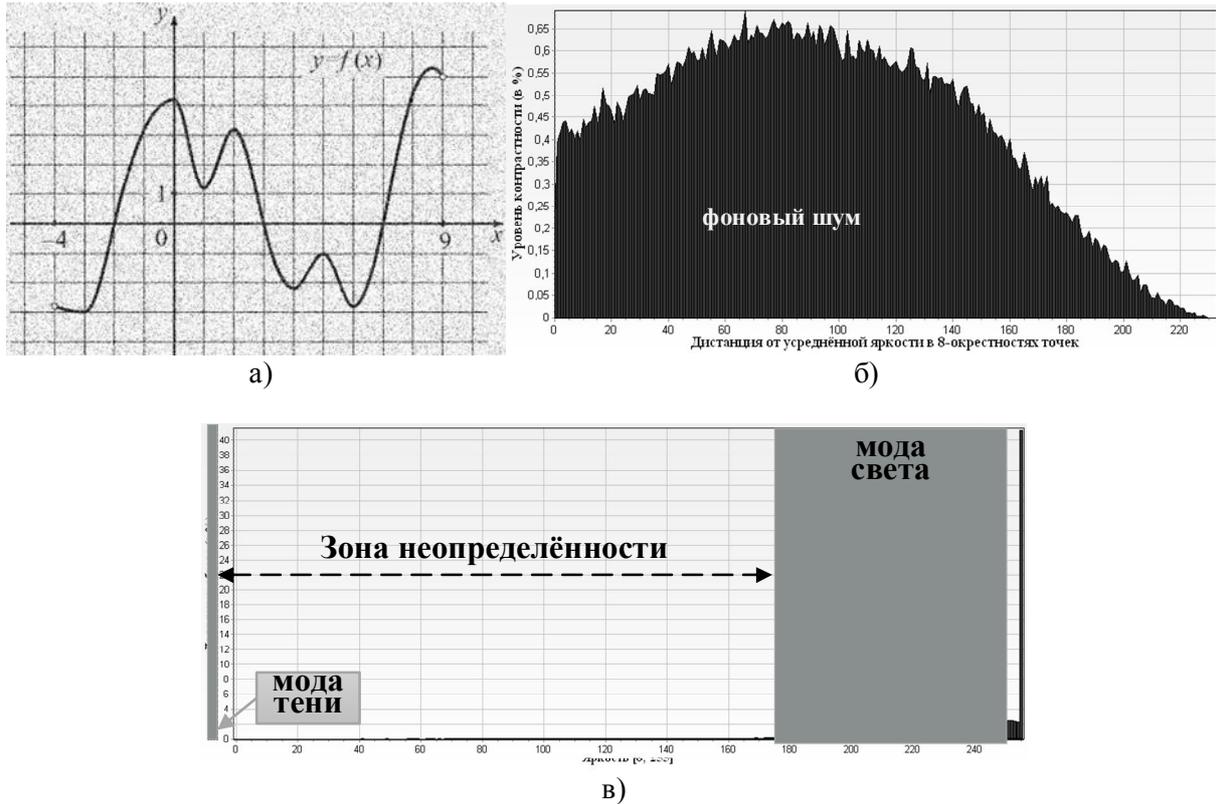


Рис. 1 – Типичное полутоновое зашумлённое изображение графика функции (а), гистограммы его контрастности (б) и яркости (в)

Формирования выраженных зон света и тени на гистограммах можно добиться контрастированием изображения.

Попытки использовать контрастирование изображения для подавления в нём шума путём балансировки контраста или увеличения контрастности зашумлённого изображения предпринимались и ранее [8, 9]. Однако разработанные для этого методы дают эффект ослабления шума с высокой яркостью и усиления шума с низкой яркостью, что в данной предметной области:

- с одной стороны, приводит к нарушению связности графика функции вследствие удаления при контрастировании, вместе с шумом, мелких элементов графика, в том числе тонких линий;

- с другой стороны, приводит к появлению в области интереса тёмных, сложно-удаляемых артефактов шума, к тому же крупных, если шум комбинированный. Таким образом, для нивелирования шума необходимо ослабить (размыть) шум, не нарушив при этом топологию графика функции, после чего уменьшить интенсивность ослабленного шума контрастированием изображения. Такая стратегия принята в представляемом здесь итеративном методе подавления полутоновых искажений автоконтрастированием.

Основная проблема при сглаживании пространственного шума заключается в получении оптимального соотношения между усреднением шума и усреднением сигнала. При этом необходимо разделить компоненты шума и полезного сигнала перед усреднением. Наиболее подходящим для ослабления (размытия) цифрового шума с сохранением контура графика функции является метод  $\sigma$ -фильтрации [10], поскольку в  $\sigma$ -фильтре компоненты графика разделяются по контрастности. В этом методе для каждой точки изображения оценивается среднее значение яркости и его среднеквадратичное отклонение по яркости  $\sigma_{\Omega}$  (3) в пределах допуска  $\xi$  по скользкой  $\Omega$ -окрестности (апертуре) размером  $\omega \times \omega$ , в которой яркости усредняются.

$$\sigma_{\Omega} = \frac{1}{\omega} \sqrt{\sum_{k=i-\omega}^{i+\omega} \sum_{l=j-\omega}^{j+\omega} (r_{k,l} - \bar{r})^2}, \quad \bar{r} = \frac{1}{\omega^2} \sum_{k=i-\omega}^{i+\omega} \sum_{l=j-\omega}^{j+\omega} r_{k,l}, \quad (3)$$

где  $r_{k,l}$  – значение яркости в точке  $(k, l)$  окрестности  $\Omega$  изображения,  $\bar{r}$  – среднее значение яркости изображения.

Вместо точки  $r_{i,j}$  с яркостью выше допуска  $\xi$  подставляется точка  $r_{k,l}^{(F)}$  со средневзвешенной по  $\Omega$ -окрестности яркостью (4).

$$r_{k,l}^{(F)} = \frac{1}{n} \sum_{k=i-\omega}^{i+\omega} \sum_{l=j-\omega}^{j+\omega} r_{k,l} \forall |r_{k,l} - r_{i,j}| \leq \xi, \quad (4)$$

где  $n$  – количество точек в  $\Omega$ -окрестности, удовлетворяющих условию  $|r_{k,l} - r_{i,j}| \leq \xi$ .

Граница между областями изображения размывается  $\sigma$ -фильтром только, если скачок яркости на границе меньше допуска  $\xi$ . Однако выбираемый допуск обычно не настолько велик, чтобы исказить слабо зашумлённые тёмные точки, принадлежащие границе и мелким фрагментам графика функции. Допуск  $\xi$  выбирается в зависимости от уровня шума, как  $\xi = k \cdot \sigma$ , где  $k \geq 1$ . Оптимальные значения параметров  $\omega, k$  подбираются автоматически по значению  $PSNR_{max}$  (5, 6) на дискретном компакте  $D = \{\{\omega\}_3^9, \{k\}_1^5\}$ .

$$PSNR_{max} = \max(PSNR) \forall k = var; k \in D; D = \{\{\omega\}_3^9, \{k\}_1^5\}, \quad (5)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{K}{MSE}, \quad MSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (r_{i,j}^{(F)} - r_{i,j})^2}{M \cdot N}}, \quad (6)$$

где  $K$  – глубина цвета изображения.

Анализ гистограмм контрастности и яркости  $\sigma$ -фильтрованных изображений графиков функций (рис. 2, а) показал, что для них характерна улучшенная различимость контура и фона, поскольку гистограммы контрастности имеют выраженные пики локальной контрастности (рис. 2, б), а гистограммы яркости – выраженные моды света (фона) (рис. 2, в). Однако мода тени в них не выражена, тень «размазана» по всей зоне неопределённости, поскольку на изображении присутствует ослабленный фоновый шум (рис. 2, а).

Формирования выраженных зон света и тени можно добиться контрастированием изображения. Это, к тому же, приводит к практически полному подавлению шума с увеличением PSNR по отношению к зашумлённому изображению (рис. 3, а). Контрастированное изображение имеет выраженные моды тени (точки графика) и света (точки фона) на гистограмме яркости при почти полном отсутствии точек шума с яркостью в интервале неопределённости (рис. 3. б).

Подбор контрастности полутонового изображения графика функции для наибольшего подавления глобальных искажений можно представить итерационной процедурой (рис. 4):

1. Изображение графика функции обрабатывается  $\sigma$ -фильтром.

2. Выполняется пошаговое увеличение контрастности изображения. Поскольку при этом изменяется соотношение полезного сигнала и шума, то для оценки качества шумоподавления целесообразно использовать метрику PSNR. Показателем качества фильтрации выступает модуль разности PSNR на соседних итерациях; если он превышает наперёд заданную погрешность  $\varepsilon$ , то экстремум PSNR считается недостижимым, и итерации контрастирования продолжают.

3. Рассчитывается модуль разности PSNR контрастированного ( $PSNR_K$ ) и исходного ( $PSNR_{и}$ ) изображений; если он превышает наперёд заданную погрешность  $\varepsilon$  (т. е. шум ещё не подавлен), то исходное изображение заменяется контрастированным, а процедура продолжается с переходом к шагу 1.

Подбор контрастности полутонового изображения графика функции для наибольшего подавления локальных искажений можно представить такой же итерационной процедурой. Однако вместо метрики PSNR целесообразно использовать метрику CNR – показатель качества изображения, определяющий соотношение контрастности в области интереса к среднему уровню шума (7).

$$CNR = \frac{|\bar{r}_\Omega - \bar{r}|}{\sqrt{\frac{\sigma_\Omega^2 - \sigma^2}{2}}}, \quad (7)$$

где  $\bar{r}_\Omega, \bar{r}$  – средние яркости точек в локальной  $\Omega$ -окрестности точки (области интереса);  
 $\sigma_\Omega, \sigma$  – среднеквадратические отклонения яркости точек в локальной  $\Omega$ -окрестности точки.

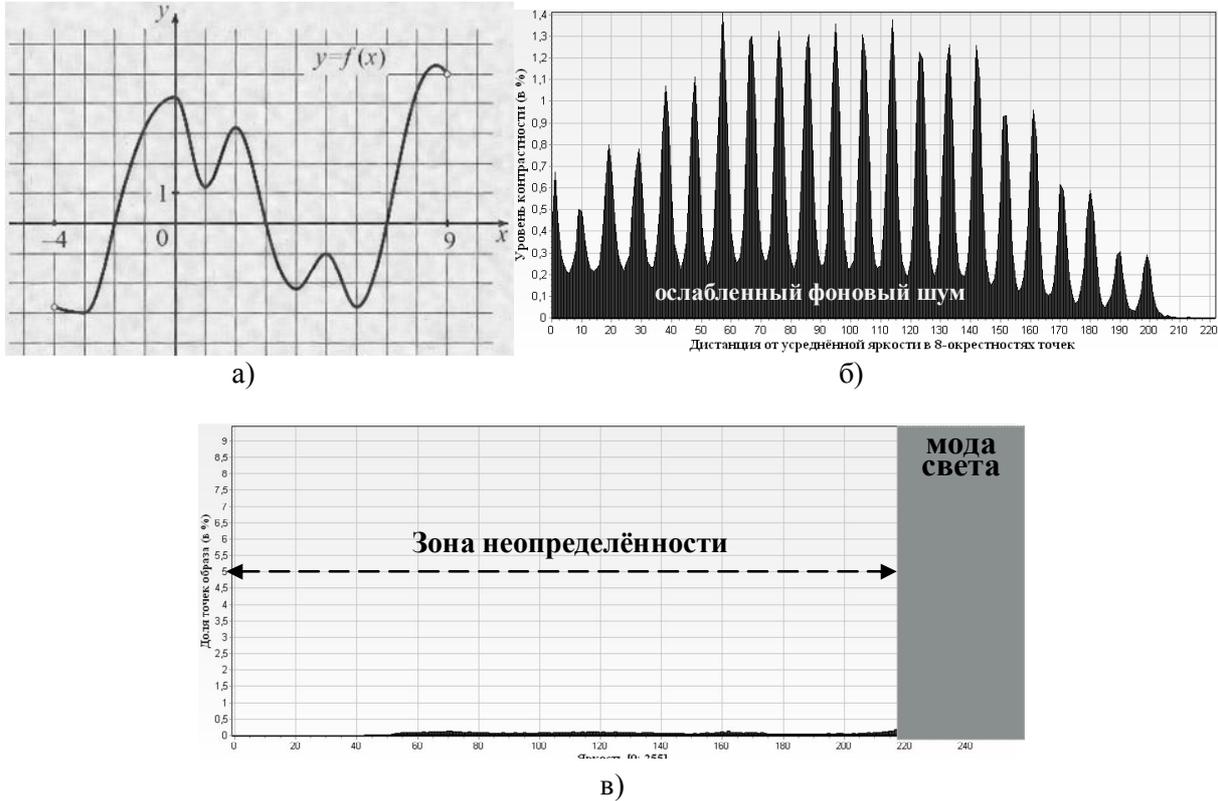


Рис. 2 –  $\sigma$ -фильтрованное изображение графика функции (а), гистограммы его контрастности (б) и яркости (в)

Это целесообразно для изображений графиков функций, которые, вследствие зашумления и низкой контрастности, могут иметь высокую PSNR-метрику, но низкий показатель CNR.

Последовательное выполнение вышеописанных процедур автоконтрастирования изображений графиков функций приводит к существенному шумоподавлению. Так, например, для изображения на рис. 2, а увеличение контрастности на 6% приводит к практически полному подавлению шума (см. рис. 3), концентрации контрастности на контуре графика (в моде тени) и увеличению PSNR по отношению к зашумлённому изображению на 85,26%.

Ещё одним фактором, определяющим полноту воспроизведения графика функции, является чёткость изображения. Чёткость изображения необходимо увеличивать для повышения локальной различимости малоразмерных примитивов изображения графика функции, размытых шумом  $T_{\text{ПГ}}$  (что важно для сохранения топологии графика функции).

Обычно для этой цели применяются пространственные ранговые фильтры повышения чёткости [1, 2], заменяющие яркости точек изображения оценочными значениями свёртки (8) на основе малоразмерных  $3 \times 3$  ( $\omega = 3$ ) 8-связных ядер  $H_* \in \{H_i\}_1^3$  применяемых фильтров:

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad H_2 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad H_3 = \begin{bmatrix} -0.1 & -0.1 & -0.1 \\ -0.1 & 2 & -0.1 \\ -0.1 & -0.1 & -0.1 \end{bmatrix}$$

$$r_{i,j}^{(F)} = \sum_{k=i-\omega}^{i+\omega} \sum_{l=j-\omega}^{j+\omega} r_{k,l} \cdot H_*(k,l) \quad (8)$$

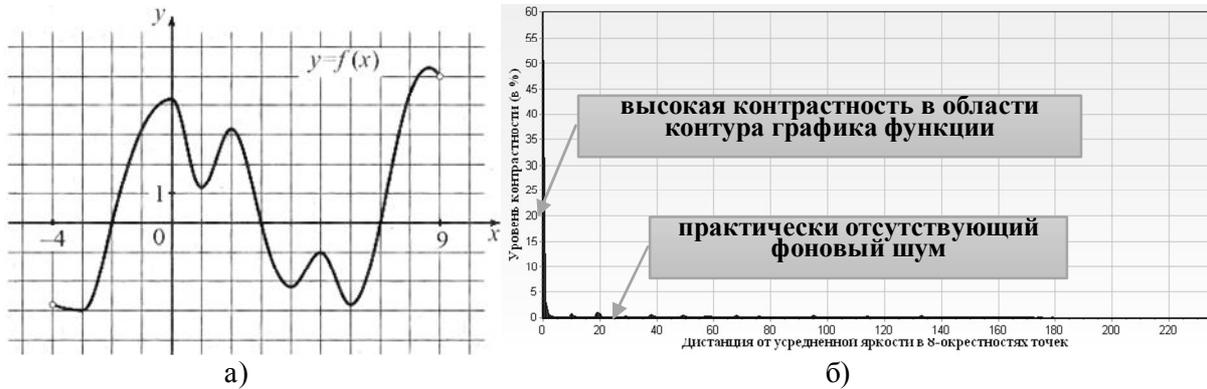


Рис. 3 – Контрастированное фильтрованное изображения (а), гистограмма его контрастности (б)

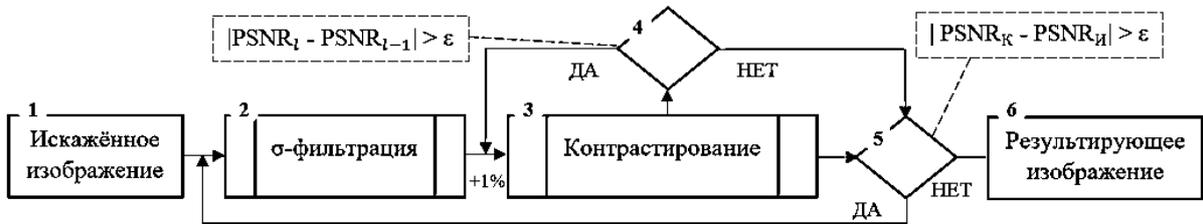


Рис. 4 – Процедура подавления глобальных искажений в изображении графика функции

Однако воздействие таких ядер на малоразмерные примитивы (в том числе тонкие линии) графика функции приводит к их локальным геометрическим искажениям с утратой диагональных элементов. Это обусловлено тем, что воздействие маленьких ядер на изображение не изотропно, поскольку в евклидовой метрике расстояние между центральным элементом ядра и вертикальными/горизонтальными элементами условно равно 1, а между центральным элементом и диагональными элементами равно  $\sqrt{2}$ .

Очевидным решением этой проблемы является увеличение размера ядра и, тем самым, повышение его изотропности. В работе [11] обобщённая идея повышения изотропности матриц свёртки за счёт их разрежения изложена применительно к телевизионным кадрам. Она предполагает увеличение размера ядра фильтра с заполнением нулями недостающих коэффициентов (табл. 1, 2).

Таблица 1

Ядро фильтра		
-0,1	-0,1	-0,1
-0,1	2,0	-0,1
-0,1	-0,1	-0,1

Таблица 2

Разреженное ядро фильтра				
-0,1	0	-0,1	0	-0,1
0	0	0	0	0
-0,1	0	2,0	0	-0,1
0	0	0	0	0
-0,1	0	-0,1	0	-0,1

При этом яркость каждой точки формируется на основе яркостей точек её окрестности с различными весами и радиусами. При увеличении размерности матрицы свёртки повышается её изотропность в евклидовой метрике, что визуально воспринимается как уменьшение локаль-

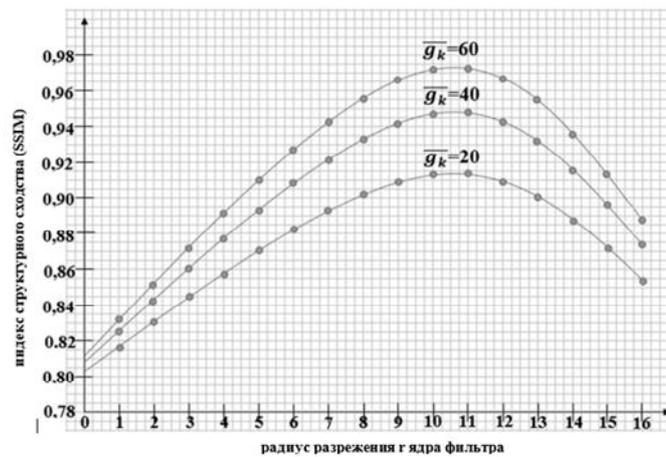
ных геометрических искажений изображения. В данной работе эта идея послужила основой разработанного метода компенсации искажений малоразмерных примитивов при повышении чёткости изображений.

В основе метода лежит адаптивная апертурная пространственная автокоррекция изображений графиков функций разреженными ядрами фильтров повышения чёткости с привязкой вида и степени разрежения ядра к уровню шума.

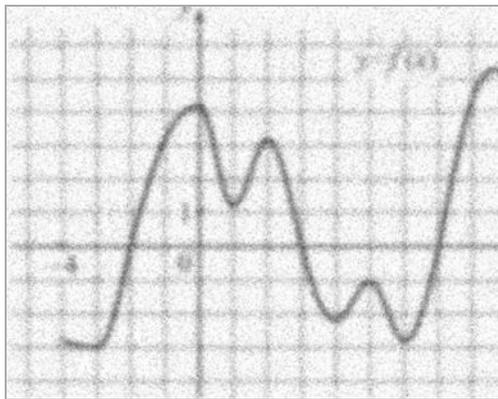
Исследования показали, что:

– разрежение ядра фильтра повышения чёткости, вплоть до размера  $11 \times 11$ , приводит не только к повышению различимости тонкой линии, но и к разрушению шума вокруг неё без искажения даже при больших перепадах яркости (рис. 5, а);

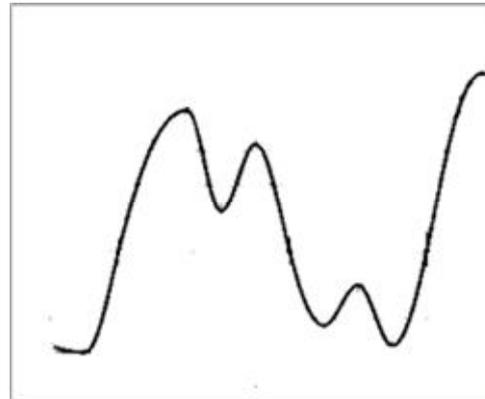
– радиус ядра должен быть, по крайней мере, вдвое большим толщины графика функции; поэтому метод должен применяться локально с итеративным подбором ядра и степени его разрежения к уровню шума.



а)



б)



в)

Рис. 5 – Результат компенсации искажений малоразмерных примитивов при повышении чёткости изображений: а – зависимость индекса структурного сходства (SSIM) малоразмерных примитивов от радиуса разрежения  $\gamma$  ядра фильтра и усреднённой локальной контрастности  $\bar{g}_k$ ; б – результат суперпозиции размытия изображения по гауссу с радиусом 2 и 10% гауссового шума; в – результат обработки изображения графика функции фильтром повышения чёткости с разреженным ядром в сочетании с  $\sigma$ -фильтрацией

Метод позволяет подавлять искажения изображений графиков функций гауссовым размытием ( $T_{\text{РГ}}$ ) и тональностью фона ( $T_{\text{ТФ}}$ ), тем самым повышать различимость элементов графика функции с сохранения топологии его малоразмерных деталей (рис. 5, б, в).

**Выводы**

Анализ эффективности разработанных методов фильтрации позволил комплексировать их в гибридный адаптивный метод удаления полутонных искажений:

- на уровне изображения в целом разработанным методом глобальной настройки контрастности удаляется основная часть шума;
- на уровне фрагментов изображения оставшийся шум удаляется разработанными методами локальной настройки контрастности и компенсации искажений малоразмерных примитивов.

Как показал анализ, результирующее изображение характеризуется выраженной контрастностью и чёткостью. Адаптивность разработанного метода обеспечивается:

- к виду искажения: воздействием на разные группы искажений разными методами;
- к уровню шума: итеративной минимизацией разностей PSNR и CNR;
- к распределению шума: размером локальной окрестности.

Тестирование метода при уровне комбинированного шума до 20% показало улучшение базовых критериев качества, по сравнению с существующими методами, на 18,55%.

Полученные научные результаты являются основой для дальнейших исследований процессов бинаризации, скелетизации и векторизации изображений графиков функций.

**Список использованных источников:**

1. Гонсалес Р.С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс, С.А. Эддинс. – М. : Техносфера. – 2006. – 616 с.
2. Местецкий Л.М. Непрерывная морфология бинарных изображений : фигуры, скелеты, циркуляры / Л.М. Местецкий. – М. : Физматлит. – 2009. – 288 с.
3. Шлезингер М.И. Математические средства обработки изображений / М.И. Шлезингер. – К. : Наукова думка. – 1989. – 198 с.
4. Абламейко С.В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский. – Минск : Амалфея. – 2000. – 304 с.
5. G3Data. General info [Электронный ресурс]. – (<http://www.frantz.fi/software/g3data.php>).
6. Graph2Digit. Программа оцифровки графиков [Электронный ресурс]. – (<http://plsoft.narod.ru>).
7. Grafula II. Оцифровка графиков [Электронный ресурс]. – (<http://home.comset.net/inaudit>).
8. Evaluating performance in three-dimensional fluorescence microscopy / J.M. Murray, P.L. Appleton, J.R. Swedlow, J.C. Waters // Journal of Microscopy. – 2007. – № 228 (3). – Pp. 390-405.
9. Thompson M. Contrast to Noise / M. Thompson [Электронный ресурс]. – (<http://www.phys.cwru.edu/courses/p431/notes-2003/node123.html>).
10. Lee J.S. Digital image smoothing and the sigma filter / J.S. Lee // Computer Vision, Graphics and Image Processing. – 1983. – Vol. 24. – Issue 2. – Pp. 255-269.
11. Курячий М.И. Пространственно-временная ранговая обработка изображений в видеоинформационных системах : монография / М.И. Курячий, А.Г. Костевич, И.В. Гальчук. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. – 2013. – 120 с.

**References:**

1. Gonsales R.C., Vuds R.Je., Jeddins, S.A. *Tsifrovaia obrabotka izobrazhenii v srede Matlab* [Digital image processing in Matlab environment]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2006. 616 p. (Rus.)
2. Mesteckij L.M. *Nepreryvnaia morfologiia binarnykh izobrazhenii: figury, skelety, tsirkuliary* [Continuous morphology of binary images: figures, skeletons, circulars]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009. 288 p. (Rus.)
3. Shlezinger M.I. *Matematicheskie sredstva obrabotki izobrazhenii* [Mathematical image processing]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1989. 198 p. (Rus.)
4. Ablameiko S.V., Lagunovskij D.M. *Obrabotka izobrazhenii: tekhnologiia, metody, primenenie* [Image processing: technology, methods, application]. Minsk, Amalhteia Publ., 2000. 304 p. (Rus.)
5. G3Data. General info Available at: <http://www.frantz.fi/software/g3data.php> (accessed 28 August 2016).
6. *Graph2Digit. Programma otsifrovki grafikov* [Graph2Digit. Program schedules digitizing] Avail-

- able at: <http://plsoft.narod.ru> (accessed 29 August 2016).
7. Grafula II. *Otsifrovka grafikov* [Grafula II. Digitizing graphs] Available at: <http://home.comset.net/inaudit> (accessed 30 August 2016).
  8. Murray J.M., Appleton P.L., Swedlow J.R., Waters J.C. Evaluating performance in three-dimensional fluorescence microscopy. *Journal of Microscopy*, 2007, vol. 3, no. 228, pp. 390-405.
  9. Thompson M. Contrast to Noise Available at: <http://www.phys.cwru.edu/courses/p431/notes-2003/node123.html> (accessed 01 February 2016).
  10. Lee J.S. Digital image smoothing and the sigma filter. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1983, vol. 24, issue 2, pp. 255-269.
  11. Kuriachii M.I., Kostevich A.G., and Gal'chuk I.V. *Prostranstvenno-vremennaiia rangovaia obrabotka izobrazhenii v videoinformatsionnykh sistemakh: monografiia* [Spatio-temporal image processing rank in video information systems: monograph]. Tomsk, Publishing house of Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, 2013. 120 p. (Rus.)

Рецензент: В.П. Гранкин,  
д-р физ.-мат. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.09.2016

УДК 004.83

© Пронина О.И.\*

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКАЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

*В работе рассматриваются три существующие модели организации частных пассажирских перевозок (такси): модель с диспетчерской, модель без диспетчерской службы, а также смешанная модель. Проводится моделирование бизнес-процессов модели транспортной структуры частных пассажирских перевозок, исключая звено «диспетчерская». На основе результатов моделирования предлагается усовершенствовать модель частных перевозок за счет советующей системы, а также улучшения алгоритма подбора автомобилей.*

**Ключевые слова:** информационные технологии, транспортные услуги, частные пассажирские перевозки, GPS позиционирование, советующая система, алгоритм геопозиционирования, мобильные устройства.

**Проніна О.І. Моделювання бізнес-процесів обробки та розподілу замовлень транспортних послуг.** В роботі розглядаються три існуючі моделі організації приватних пасажирських перевезень (таксі): модель з диспетчерської, модель без диспетчерської служби, а також змішана модель. Проводиться моделювання бізнес-процесів моделі транспортної структури приватних пасажирських перевезень, яка виключає ланка «диспетчерська». На основі результатів моделювання пропонується вдосконалити модель приватних перевезень за рахунок системи, що радить, а також поліпшення алгоритму підбору автомобілів.

**Ключові слова:** інформаційні технології, транспортні послуги, приватні пасажирські перевезення, GPS позиціонування, радна система, алгоритм геопозиціонування, мобільні пристрої.

**O.I. Pronina. Simulation of business processes of processing and distribution of orders in transportation.** Analyzing modern passenger transportation in Ukraine, we can conclude that with the increasing number of urban population the necessity to develop pas-

\* ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [pronina.lelka@gmail.com](mailto:pronina.lelka@gmail.com)