

МНОГОУРОВНЕВЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО КОНТРАСТА И УДАЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ФОНА ИЗОБРАЖЕНИЙ

С.В. Баловсяк¹, И.М. Фодчук¹, Ю.Н. Соловей², Я.В. Луцик¹

¹*Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича*

²*Буковинский государственный медицинский университет*

На основе многоуровневого подхода разработан метод повышения локального контраста и удаления неоднородного фона изображений с использованием нижней и верхней огибающих сигнала. Созданы алгоритмы для размещения локальных окон на изображении и коррекции огибающих сигнала. Тестирование разработанного метода на примере моделированных и медицинских рентгеновских изображений показало его высокую точность и быстродействие.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, повышение локального контраста, удаление неравномерного фона.

На основі багаторівневого підходу розроблено метод підвищення локального контрасту і видалення неоднорідного фону зображень з використанням нижньої та верхньої огинаючих сигналу. Створено алгоритми для розміщення локальних вікон на зображенні та корекції огинаючих сигналу. Тестування розробленого методу на прикладі модельованих і медичних рентгеновських зображень показало його високу точність і швидкодію.

Ключові слова: цифрове оброблення зображень, підвищення локального контрасту, видалення нерівномірного фону.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение локального контраста и удаление неоднородного фона относятся к распространенным задачам цифровой обработки изображений [1–3]. Это объясняется тем, что в большинстве случаев неоднородный фон и контраст возникают на изображениях вследствие экспериментальных условий, которые сложно или невозможно изменить, например, из-за недостатков оптических систем и особенностей освещения. Поэтому глобальная обработка только в частных случаях может обеспечить высокое визуальное качество результата, а универсальным способом повышения контраста и удаления неоднородного фона изображений является их локальная обработка [4]. Такая обработка изображений значительно повышает их информативность и визуальное качество, а также увеличивает точность последующих этапов обработки изображений: распознавания, определения параметров объектов на изображениях и др.

К области использования рассмотренных локальных методов относится цифровая фотография, обработка изображений в технической и медицинской диагностике. Одним из наиболее распространенных методов повышения локального контраста и удаления неоднородного фона изображений является метод адаптивного повышения контрастности изображений [4]. В соответствии с данным методом для окрестности каждого пикселя в пределах заданного скользящего окна вычисляется значение локального контраста.

После этого выполняется преобразование яркости изображения в соответствии с рассчитанным значением локального контраста, учитывая статистические характеристики локальных окрестностей: энтропию, среднее значение, среднее квадратическое отклонение и др. Для расчета статистических характеристик локальных окрестностей также используются их гистограммы. К недостаткам рассмотренного локального метода, которые ограничивают его практическое использование, относятся: низкое быстродействие (поскольку оконная обработка выполняется для каждого пикселя изображения), сложность выбора параметров фильтрации (например, нужно определить, какие именно характеристики локальных окрестностей учитывать при расчете локального контраста) и погрешности в расчете интенсивности изображения-результата.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Учитывая недостатки существующих локальных методов, задача данной работы заключается в разработке метода повышения локального контраста и удаления неоднородного фона изображений, который обеспечивает высокое быстродействие, точность и простоту выбора параметров фильтрации. Для решения поставленной задачи в данной работе использован многоуровневый подход, при котором на основе начального изображения рассчитывается несколько дополнительных уровней изображения (например, изображения нижней и верхней огибающей сигнала), которые далее используются для повышения локального контраста и удаления неоднородного фона изображений. Максимальное и минимальное значение сигнала, которые используются для определения огибающих, рассчитываются локально в пределах выделенных окон. Быстродействие многоуровневого метода достигается за счет выбора расстояния между центрами окон больше одного пикселя, поэтому промежуточные точки огибающих рассчитываются путем аппроксимации.

Полученные огибающие сигнала требуют коррекции с целью их максимального приближения к реальным огибающим. Главным параметром, который влияет на качество локальной обработки изображений, является размер окна. Остальные параметры фильтрации изображения определяются на основе размера окна или устанавливаются по умолчанию.

Цель — разработка многоуровневого метода повышения локального контраста и удаления неоднородного фона изображений, который использует нижнюю и верхнюю огибающие сигнала, с максимальным быстродействием и точностью при минимальном количестве параметров фильтрации, а также программная реализация разработанного метода в системе MATLAB.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Математическая модель повышения локального контраста и удаления неоднородного фона предусматривает деление начального изображения f_n размером $M \times N$ пикселей на отдельные окна w , которые могут пересекаться

(рис. 1). При обработке изображений в оттенках серого в каждый элемент матрицы $f_n = (f_n(i, k))$, где $i = 1, \dots, M, k = 1, \dots, N$, записывается интенсивность соответствующего пикселя (нормированная к 1), а при обработке цветных изображений создаются три аналогичных матрицы для красного, зеленого и синего каналов [1]. Определение максимального и минимального значений сигнала происходит локально в пределах каждого окна w размером $M_w \times N_w$ пикселей, при этом размеры деталей на изображении не должны превышать размер окна. Центры окон размещены в узлах прямоугольной решетки с периодами S_w по ширине и S_H по высоте. Расстояния центров окон от края изображения должны превышать значение $N_w/2$ по ширине и $M_w/2$ по высоте, где

$$N_{w2} = \lceil N_w / 2 \rceil, M_{w2} = \lceil M_w / 2 \rceil. \quad (1)$$

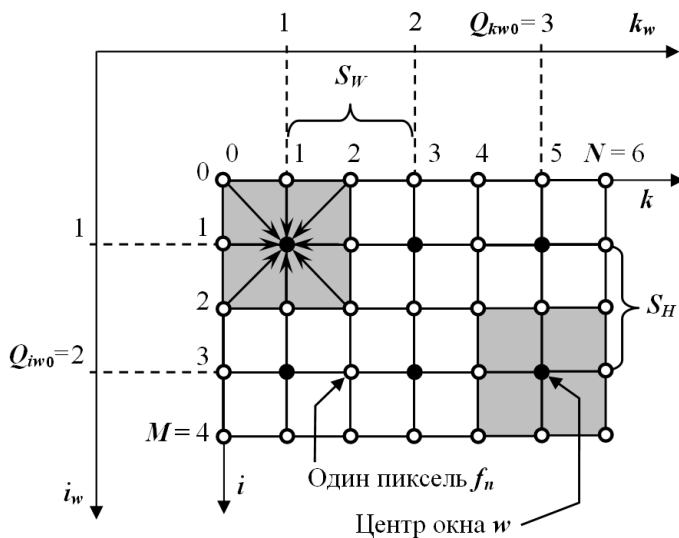


Рис. 1. Системы координат (СК), которые используются при разделении изображения на окна: ik — СК исходного изображения f_n , $i_w k_w$ — СК центров окон w ; $S_H = 2, S_w = 2, M_w = 3; N_w = 3$.

Принципы локальной обработки изображений продемонстрируем в тестовом режиме на примере моделированного изображения f_n (рис. 2б), полученного на основании эталонного изображения f (рис. 2а) путем добавления неоднородного фона и контраста.

Благодаря расчету положения окон w по формуле (1), удастся избежать краевых эффектов, поскольку размещение центра окна на краю изображения эквивалентно симметричному расширению изображения на величину $\lceil N_w / 2 \rceil$ и $\lceil M_w / 2 \rceil$ соответственно [1].

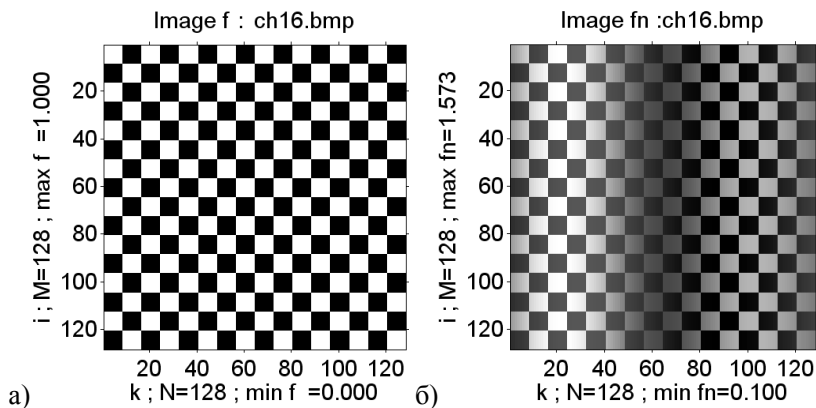


Рис. 2. Исходные изображения: а) эталонное изображение f (размер клетки 8×8 пикселей); б) модельное изображение f_n с неоднородным фоном и контрастом, полученное на основе f

Такое расширение изображения приводит к искусственному увеличению размеров объектов на границах и появлению артефактов при его фильтрации. Выполнение условия (1) приводит к тому, что расстояние от центров последнего столбца окон до предыдущего может отличаться от N_{w2} , а расстояние от центров последней строки окон до предыдущей — от M_{w2} (рис. 3а). При этом начальное количество строк Q_{iw0} и столбцов Q_{kw0} для окон w вычисляется по формуле

$$Q_{iw0} = \left[\frac{M - M_w - 1}{S_H} - \frac{1}{2M} \right] + 2, \quad Q_{kw0} = \left[\frac{N - N_w - 1}{S_W} - \frac{1}{2N} \right] + 2. \quad (2)$$

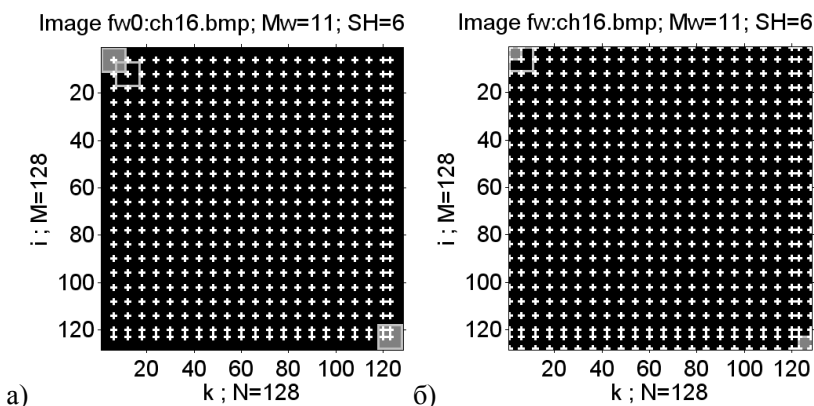


Рис. 3. Схема расположения центров окон w на изображении f_n (рис. 2б): а) $fw0$ — исходное расположение; б) fw — после расширения матриц w_{Dn0} и w_{Up0} ; центры окон показаны крестиками

Минимальные значения интенсивности изображения (в пределах окна w) сохраняются в прямоугольной матрице $w_{Dn0} = (w_{Dn0}(i_w, k_w))$, а максимальные значения интенсивности изображения — в матрице $w_{Up0} = (w_{Up0}(i_w, k_w))$, где

i_w — номер ряда окон, k_w — номер столбца окон; $i_w = 1, \dots, Q_{iw0}$, $k_w = 1, \dots, Q_{kw0}$ (рис. 1).

Далее на основе матриц w_{Dn0} и w_{Up0} осуществляется аппроксимация нижней и верхней огибающей сигнала. Для корректной аппроксимации выполняется расширение матриц w_{Dn0} и w_{Up0} путем добавления новых значений на границе изображения (рис. 3б), при этом матрицы w_{Dn0} и w_{Up0} симметрично расширяются до матриц w_{Dn} (рис. 4а) и w_{Up} (рис. 4б) соответственно.

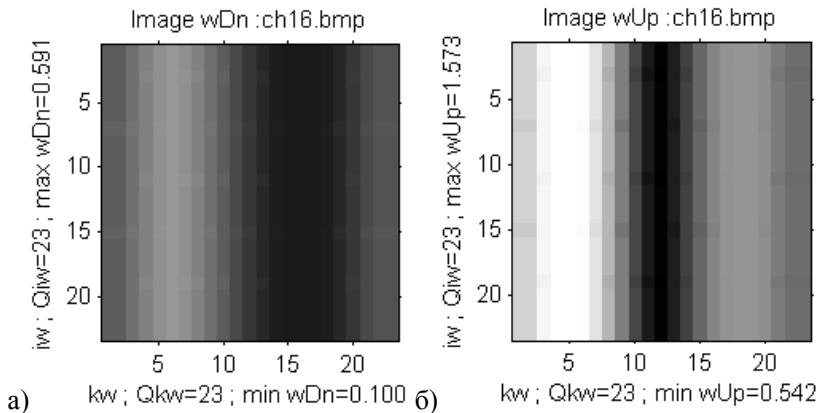


Рис. 4. Минимальные w_{Dn} (а) и максимальные w_{Up} (б) значения интенсивности изображения f_n (рис. 2б) в пределах окон w

РАСЧЕТ НИЖНЕЙ И ВЕРХНЕЙ ОГИБАЮЩИХ ИЗОБРАЖЕНИЯ

На основе минимальных w_{Dn} и максимальных w_{Up} значений интенсивности изображения выполняется расчет нижней g_{Dn} и верхней g_{Up} огибающих изображения путем аппроксимации (рис. 5). Размерность огибающих g_{Dn} и g_{Up} совпадает с размерностью входного изображения f_n . Аппроксимация выполняется с помощью кубических полиномиальных функций, а программно реализуется в системе MATLAB [5] функцией

$$\text{griddata}(pk, pi, pz, ka, ia, \text{method_A}), \quad (3)$$

где pk, pi — координаты центров окон относительно осей координат k и i , pz — минимальные w_{Dn} или максимальные w_{Up} значения интенсивности изображения в пределах окон, ka, ia — координаты пикселей огибающих изображения (после аппроксимации) относительно осей координат k и i , method_A — метод аппроксимации полиномиальными функциями: 'linear' — линейными; 'cubic' — кубическими и др.

В тестовом режиме вычисляются средние квадратические отклонения (СКО) R_{qDn} и R_{qUp} для аппроксимированных огибающих g_{Dn}, g_{Up} относительно эталонных огибающих f_{Dn}, f_{Up} .

Рассмотрим дальнейшую обработку на примере верхней огибающей изображения, обработка нижней огибающей выполняется аналогично. Для повышения точности расчета огибающих изображения выполняется аппроксимация двух верхних огибающих: g_{UpL} — линейным методом,

g_{Up} — кубическим. На основе значений g_{UpL} и g_{Up} вычисляется суммарная верхняя огибающая изображения g_{UpLC} по формуле

$$g_{UpLC}(i, k) = g_{UpL}(i, k) + (g_{Up}(i, k) - g_{UpL}(i, k)) \cdot k_{CL}, \quad (4)$$

где k_{CL} — коэффициент нелинейности; $i = 1, \dots, M, k = 1, \dots, N$.

При увеличении значения коэффициента k_{CL} нелинейность огибающей изображения g_{UpLC} также увеличивается.

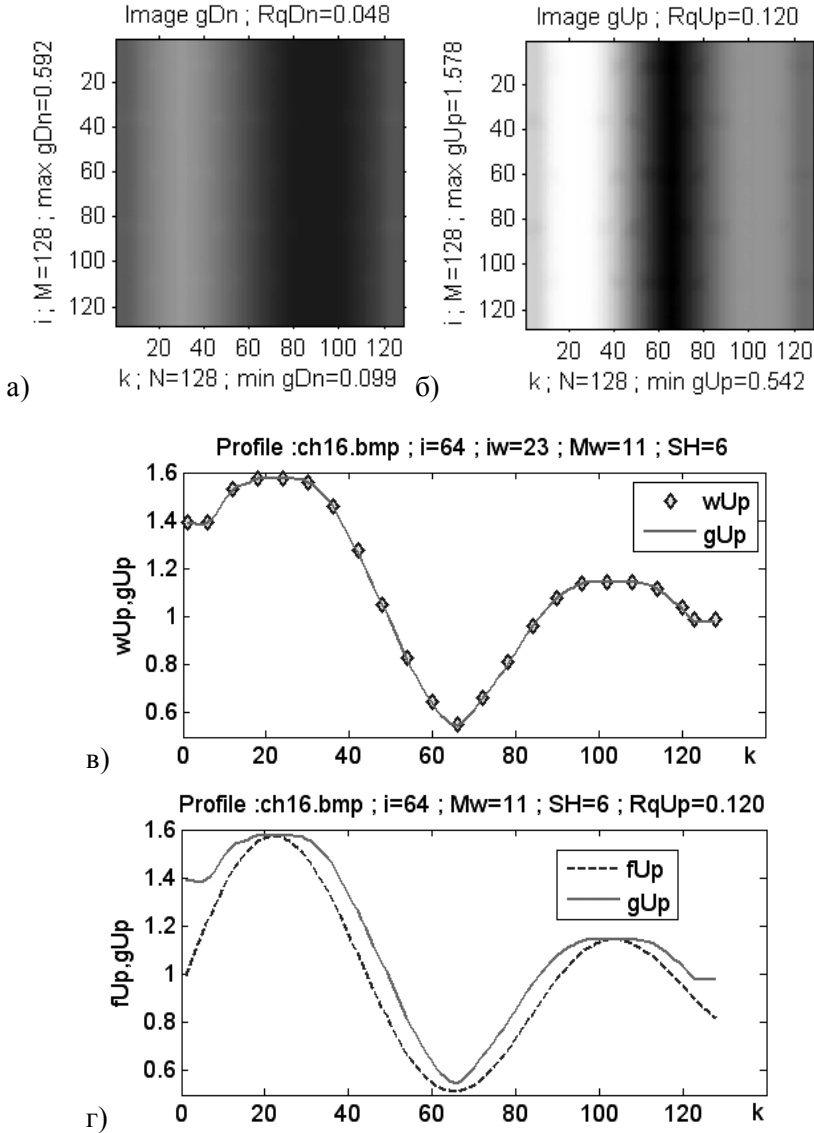


Рис. 5. Огибающие изображения f_n (рис. 2б): а) нижняя аппроксимированная огибающая gDn ; б) верхняя аппроксимированная огибающая gUp ; в) профили максимальных значений интенсивности изображения wUp и огибающей gUp ; г) профили аппроксимированной gUp и эталонной fUp огибающих

Для удаления высокочастотных всплесков на огибающей g_{UpLC} выполняется низкочастотная фильтрация с помощью свертки с ядром фильтра Гаусса G , в результате чего получается фильтрованная огибающая

$g_{Upf} = g_{UpLC} * G$. Наилучшие результаты фильтрации огибающей g_{Upf} (минимальное значение СКО R_{qUpf} огибающей g_{Upf} относительно эталонной f_{Up}) получены для коэффициента нелинейности $k_{CL}=3$ и среднего квадратического отклонения ядра фильтра Гаусса $\sigma_{wC} = M_w / 2$ (рис. 6а).

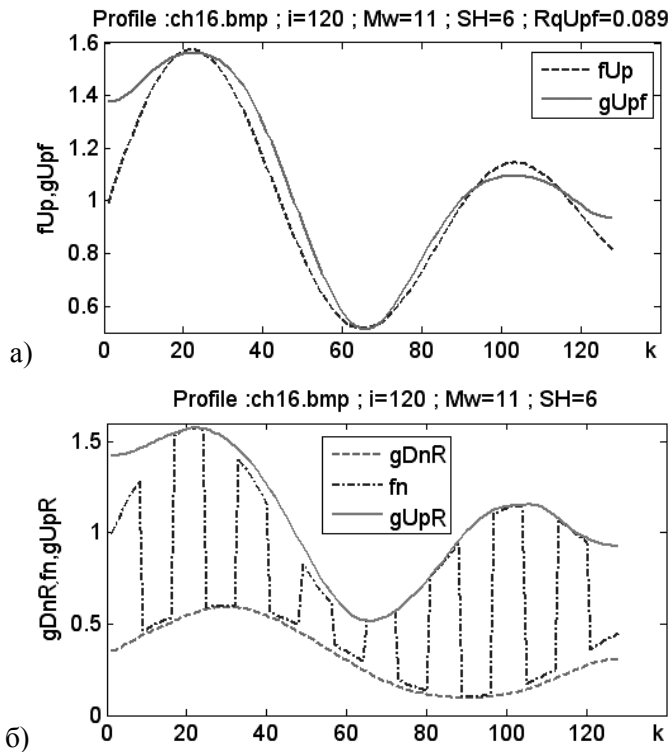


Рис. 6. Корректированные профили огибающих изображения f_n (рис. 2б): а) аппроксимированный профиль верхней огибающей после свертки g_{Upf} и профиль эталонной верхней огибающей f_{Up} ; б) профили результирующих огибающих (g_{UpR} , g_{DnR}) и исходного изображения f_n

Результирующая огибающая g_{UpR} (рис. 6б) рассчитывается на основе g_{Upf} по следующему алгоритму. Начальные значения g_{UpR} равны g_{Upf} , а если значение интенсивности пикселя изображения $f_n(i, k)$ превышает значение огибающей $g_{UpR}(i, k)$, то к g_{UpR} добавляется двумерная функция Гаусса со следующими параметрами: координаты центра (i, k) , СКО $\sigma_{wL} = \max(M_w / 3, N_w / 3)$, амплитуда $A_{wL} = (f_n(i, k) - g_{UpR}(i, k))$.

ПОВЫШЕНИЕ ЛОКАЛЬНОГО КОНТРАСТА И УДАЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНОГО ФОНА

Изображение-результат g рассчитывается на основе результирующих огибающих (g_{UpR} , g_{DnR}) и начального изображения f_n . Используется три режима расчета g : 1) удаление неоднородного фона; 2) повышение локального контраста; 3) удаление неоднородного фона и повышение

локального контраста. В наиболее общем третьем режиме интенсивность g рассчитывается по формуле

$$g(i, k) = \frac{f_n(i, k) - q_{DnR}(i, k)}{g_{UpR}(i, k) - g_{DnR}(i, k)}. \quad (5)$$

В результате расчета интенсивности изображения по формуле (5) в значительной степени удаляется неоднородный фон и увеличивается локальный контраст (рис. 7). В тестовом режиме точность восстановления изображения g описывается СКО R_{qg} для интенсивности изображения g относительно эталонного изображения f .

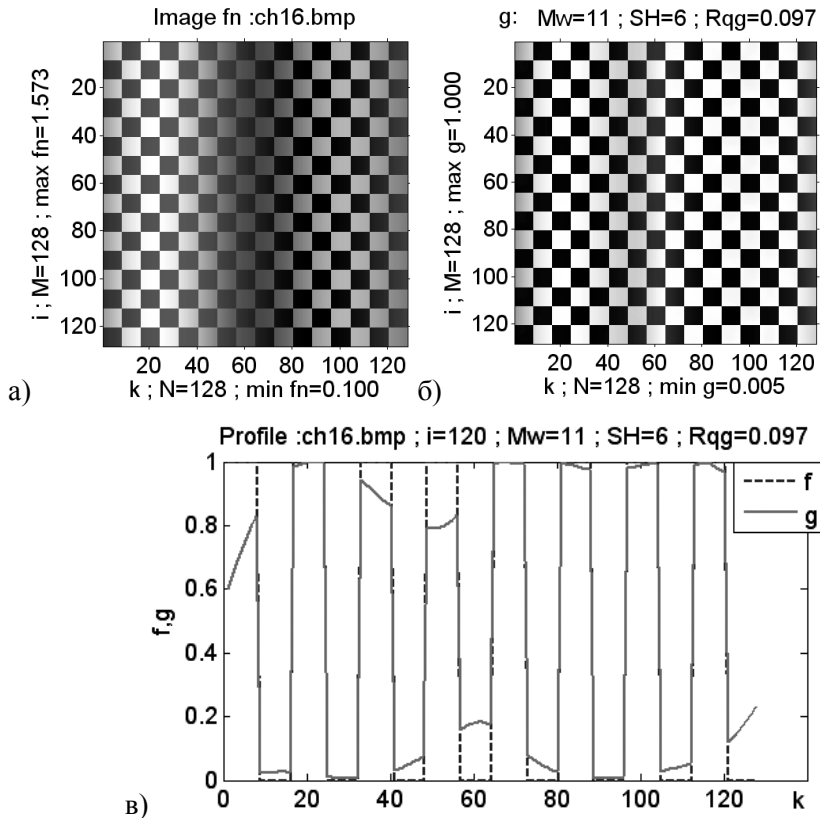


Рис. 7. Результаты обработки изображения: а) исходное изображение f_n (рис. 2б); б) изображение-результат g ; в) профили распределения интенсивности результата g и эталонного изображения f

Таким образом, многоуровневая локальная обработка начального изображения f_n заключается в расчете таких уровней:

- минимальных w_{Dn} и максимальных w_{Up} значений интенсивности изображения f_n в пределах окна w ;
- нижних g_{DnL} , g_{Dn} и верхних g_{UpL} , g_{Up} огибающих изображения, аппроксимированных линейными и кубическими полиномиальными функциями;
- нижней g_{DnLC} и верхней g_{UpLC} суммарных огибающих изображения;
- нижней g_{Dnf} и верхней g_{Upf} фильтрованных огибающих изображения;

- нижней g_{DnR} и верхней g_{UpR} результирующих огибающих изображения;
- изображения-результата g .

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ЦЕНТРАМИ ОКОН

Для выбора оптимального расстояния между центрами окон по ширине (S_W) и по высоте (S_H) выполнена обработка тестовых изображений при различных значениях S_H ($S_W = S_H$) без коррекции огибающих (рис. 8а). На основе минимума СКО R_{qg} для интенсивности изображения g относительно эталонного изображения f получены оптимальные значения:

$$S_{H0} = [M_w/2] + 1, S_{W0} = [N_w/2] + 1. \quad (6)$$

В случае $S_H < S_{H0}$ форма огибающей зависит от интенсивности деталей изображения, что приводит к увеличению СКО R_{qg} (рис. 8а). Осцилляции значений СКО R_{qg} при $S_H > S_{H0}$ объясняются периодичностью эталонного изображения f .

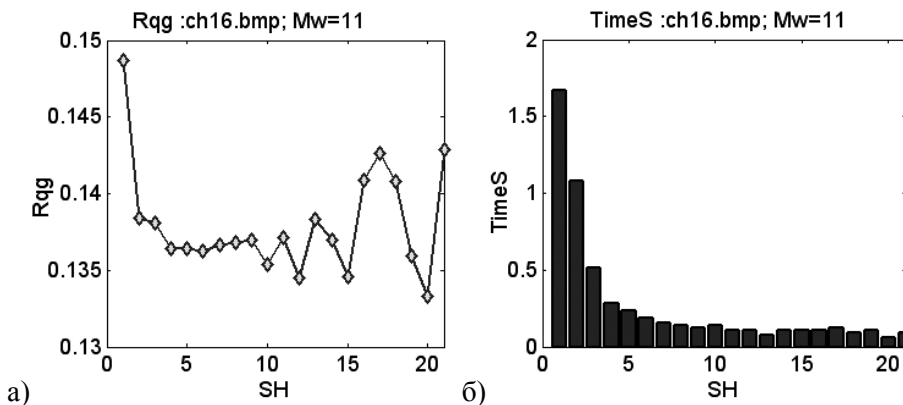


Рис.8. Результаты локальной обработки изображений при различных значениях шага S_H : а) зависимость СКО R_{qg} от S_H ; б) зависимость времени обработки $TimeS$ от S_H ; $S_{H0} = 6, S_{W0} = 6$.

Кроме того, поскольку S_{H0}, S_{W0} вычисляются по формуле (6) между окнами время $TimeS$ локальной обработки изображений (рис. 8б) сокращается по сравнению с распространенным методом адаптивного повышения контрастности изображений в $t_R \sim (M_w \times N_w)^2$ раз, например, при размере окна $M_w \times N_w = 11 \times 11$ пикселей, значение $t_R \approx 10$ раз.

ОБРАБОТКА РЕНТГЕНОВСКИХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для проверки возможностей разработанного метода выполнена обработка рентгеновских медицинских изображений органов брюшной полости (рис. 9), полученных с помощью комплекса рентгеновского диагностического (Toshiba, КРАС). При обработке таких изображений, используя рассчитанные огибающие сигнала, обеспечено одновременно удаление неоднородного фона и усиление локального контраста, что значительно повышает визуальное качество изображений и позволяет лучше выделить объекты на изображениях.

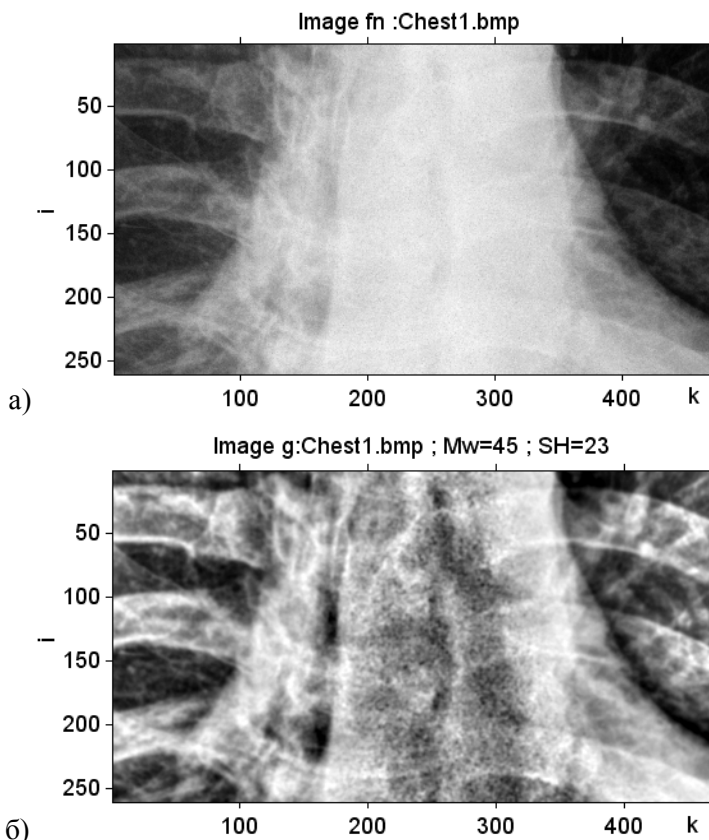


Рис. 9. Пример обработки фрагмента рентгеновского медицинского изображения позвоночника, полученного при рентгенографии органов брюшной полости (высота изображения $M = 260$, ширина $N = 470$ пикселей): а) исходное изображение f_n ; б) результат обработки g

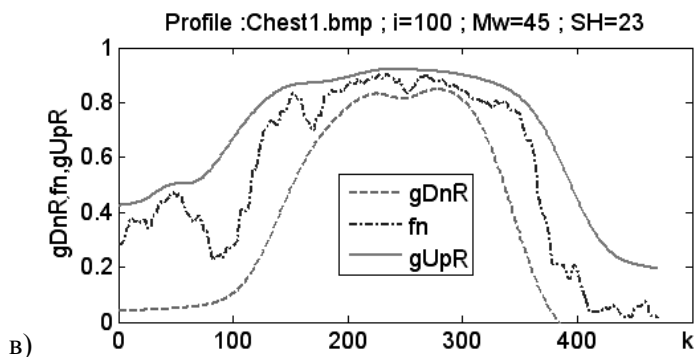


Рис. 9. в) профили распределения интенсивности изображения f_n и его огибающих $gDnR, gUpR$

Выводы

Разработан и программно реализован в системе MATLAB многоуровневый метод удаления неоднородного фона и повышения локального контраста изображений, в результате чего сделаны следующие выводы.

Краевые эффекты на изображении минимизируются благодаря расширению матриц минимальных и максимальных значений интенсивности начального изображения.

Обработка огибающих изображения, полученных методами линейной и кубической аппроксимации, а также их последующая свертка, увеличивают точность расчета фильтрованной огибающей.

Время обработки изображений сокращается по сравнению с попиксельной обработкой в $t_R \sim (M_w \times N_w)^2$ раз, например при размере окна $M_w \times N_w = 11 \times 11$ пикселей $t_R \approx 10$ раз.

Оптимальные расстояния между центрами окон по высоте и по ширине равны $S_{H0} = [M_w/2] + 1$ и $S_{W0} = [N_w/2] + 1$ соответственно, где M_w и N_w – размеры окна.

При многоуровневой обработке огибающих изображения увеличивается точность расчета результирующих огибающих, а соответственно, и изображения-результата.

Успешно удален неоднородный фон и усилен локальный контраст как для тестовых моделированных изображений, так и для медицинских рентгеновских изображений.

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений. — М. : Техносфера, 2005. — 1072 с.
2. Russ J.C. The image processing handbook. 6th ed. — CRC Press, 2011. — 817 p.
3. Особенности проектирования медицинской информационной системы поддержки принятия решений, основанной на интеллектуальном анализе данных / Г.В. Кнышов, А.В. Руденко, Е.А. Настенко и др. // Кибернетика и вычислительная техника. — 2014. — Вып. 177. — С. 79–87.
4. Бондина Н.Н., Муратов Р.Ю. Адаптивные алгоритмы фильтрации и изменения контраста изображения // Вестник НТУ «ХПИ», 2014. — № 35. — С.35–42.
5. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. Matlab 7: программирование, численные методы. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 752 с.

UDC 004.9

MULTILEVEL METHOD OF LOCAL CONTRAST INCREASE AND IMAGES HETEROGENEOUS BACKGROUND REMOVAL

S.V. Balovsyak¹, Ia.V. Lutsyk¹, Yu.M. Solovay², I.M. Fodchuk¹

¹Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Chernovtsy)

²Bukovinian State Medical University (Chernovtsy)

Introduction. The increase of local contrast and removal of heterogeneous background are the widespread problems of the digital image processing [1–4]. In existing local methods, such as the method of images adaptive contrast enhancement, a value of the local contrast is computed in vicinity of each pixel within a predetermined sliding window. The disadvantages of the existing local methods include poor performance, complicated selection of filter parameters and errors in the calculation of the intensity of the resulting image.

The purpose of the paper is to develop a multilevel method of local contrast increasing and removal of heterogeneous background of images with the high

performance and accuracy using the minimal number of filter parameters.

Methods. The signal envelopes are calculated by linear and cubic approximation.

Results. The multilevel method of removing heterogeneous background and local contrast enhancement of images within the window of the $M_w \times N_w$ pixels size has been elaborated and developed in the MATLAB system [5]. By means of the developed method the heterogeneous background has been successfully removed and local contrast has been increased for the test simulated and medical X-ray images.

Conclusions. Time of the image processing by the multilevel method is shortened comparing with per pixel processing in $t_R \sim (M_w \times N_w)^2$ time, for example at the window size of $M_w \times N_w = 11 \times 11$ pixels the value of $t_R \approx 10$ times. The optimal distance between the windows centres on height and width is equal to $S_{H0} = [M_w/2] + 1$ and $S_{W0} = [N_w/2] + 1$, respectively.

Keywords: digital image processing, local contrast increasing, heterogeneous background removal.

1. Gonzalez R., Woods R., Eddins S. Digital image processing. — M.: Technosphere, 2005. — 1072 p. (in Russian)
2. Russ J.C. The image processing handbook. 6th ed. — CRC Press, 2011. — 817 p.
3. Design features of medical information decision support system based on data mining / G.V. Knyshov, A.V. Rudenko, E.A. Nastenka & others // *Cybernetics and Computer Engineering*. — 2014. — Vol. 177. — P. 79–87. (in Russian)
4. Bondina N.N., Muratov R.Yu. Adaptive filtering and image contrast changing algorithms // *Vestnik NTU "KPI"*, 2014. — №35. — P.35–42. (in Russian)
5. Ketkov Y.L., Ketkov A.J., Schulz M. Matlab 7: programming, numerical methods. — SPb. : BHV-Petersburg, 2005. — 752 p. (in Russian)

Получено 20.10.2015