

УДК 004.05:004.932

Выравнивание яркости фона изображений текстовых знаков с использованием высокочастотного фильтра

Н. В. Белоус, В. П. Власенко, А. И. Красов

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина
Западный центр радиотехнического наблюдения, Украина*

В статье предложен вычислительный метод высокочастотной фильтрации изображений с компенсацией проседания фона вокруг изображений текстовых знаков. Вычислительный метод основан на итерационной фильтрации высокочастотным фильтром гаусса. Представлена реализация метода для изображений, у которых яркость пикселей изображений текстовых знаков больше яркости пикселей фона и изображений, у которых яркость пикселей текстовых знаков меньше яркости пикселей фона. Введены показатели качества выравнивания фона изображений текстовых знаков и проведен предварительный анализ предложенного метода согласно введенным показателям качества.

Ключевые слова: выравнивание фона изображений, изображения текстовых знаков, высокочастотный фильтр.

У статті запропоновано обчислювальний метод високочастотної фільтрації зображень з компенсацією просідання фону навколо зображень текстових знаків. Обчислювальний метод заснований на ітераційній фільтрації високочастотним фільтром гаусса. Представлена реалізація методу для зображень, у яких яскравість пікселів зображень текстових знаків більше яскравості пікселів фону і зображень, у яких яскравість пікселів текстових знаків менше яскравості пікселів фону. Введено показники якості вирівнювання фону зображень текстових знаків і проведено попередній аналіз запропонованого методу згідно введеними показниками якості.

Ключові слова: вирівнювання фону зображень, зображення текстових знаків, високочастотний фільтр.

A computational method for high-frequency filtering of images with compensation for the background subsidence around images of text characters is proposed in the paper. The computational method is based on iterative filtering by the high-frequency gauss filter. The method implementation for the images where brightness of text character pixels is higher than the brightness of background pixels as well as for the images where brightness of text character pixels is lower than the brightness of background pixels is presented. Quality indicators for the background alignment of text character images have been introduced and the preliminary analysis of the proposed method has been done according to the entered quality indicators.

Key words: alignment of background images, images of text characters, high-pass filter.

1. Введение

Существует огромное количество задач из разных предметных областей, которые сводятся к распознаванию текстов по их изображениям. Данные задачи в большей своей части решены. Однако, иногда качество изображения с текстовой информацией не достаточно для проведения на нем ее распознавания с приемлемым уровнем ошибок. Экспертов в условиях плохой видимости, например в сумерках, прежде всего, интересуют высокочастотные, мелкоструктурные составляющие изображений. Это могут быть номера машин и другие детали. И в этой связи в качестве предварительной подготовки изображений к распознаванию текстов на них следует прежде всего считать

высокочастотную фильтрацию изображений с верно подобранными параметрами.

2. Анализ литературы

При решении задач обработки и распознавания текста выдвигаются жесткие требования к равномерности распределения яркости фоновой составляющей изображения текстовых знаков. Традиционно выравнивание фона изображений производится путем фильтрации изображения высокочастотными [1-4] или медианным [5, 6] фильтрами. Недостатком высокочастотной фильтрации является наличие артефактов типа «звон» вокруг изображений текстовых знаков на выровненных изображениях [7]. Данный эффект также присущ и медианному фильтру и проявляется он в виде потемнения или повышения яркости фона в окрестности границ изображений текстовых знаков. Существенным недостатком медианного фильтра является его нелинейность [2, 7-11].

3. Целью статьи является разработка вычислительного метода высокочастотной фильтрации изображений с компенсацией проседания фона вокруг изображений текстовых знаков и анализ показателей качества выравнивания им фона текстовых изображений.

4. Компенсация проседания фона вокруг изображений текстовых знаков

В результате фильтрации высокочастотным гауссовым фильтром из исходного изображения A_{in} (рис. 1а) удаляется низкочастотная составляющая изображения A_{lp} (рис. 1д). Спектр низкочастотной составляющей изображения S_{lp} (рис. 1е) содержит гармоник исходного изображения, частоты которых меньше частоты среза $\omega_0 = \frac{1}{\sigma_h}$ высокочастотного фильтра. Высокочастотная составляющая изображения A_{hp} (рис. 1в) беспрепятственно пропускается фильтром. Спектр высокочастотной составляющей изображения S_{hp} (рис. 1в) состоит из гармоник исходного изображения с частотами, большими частоты среза $\omega_0 = \frac{1}{\sigma_h}$ высокочастотного фильтра.

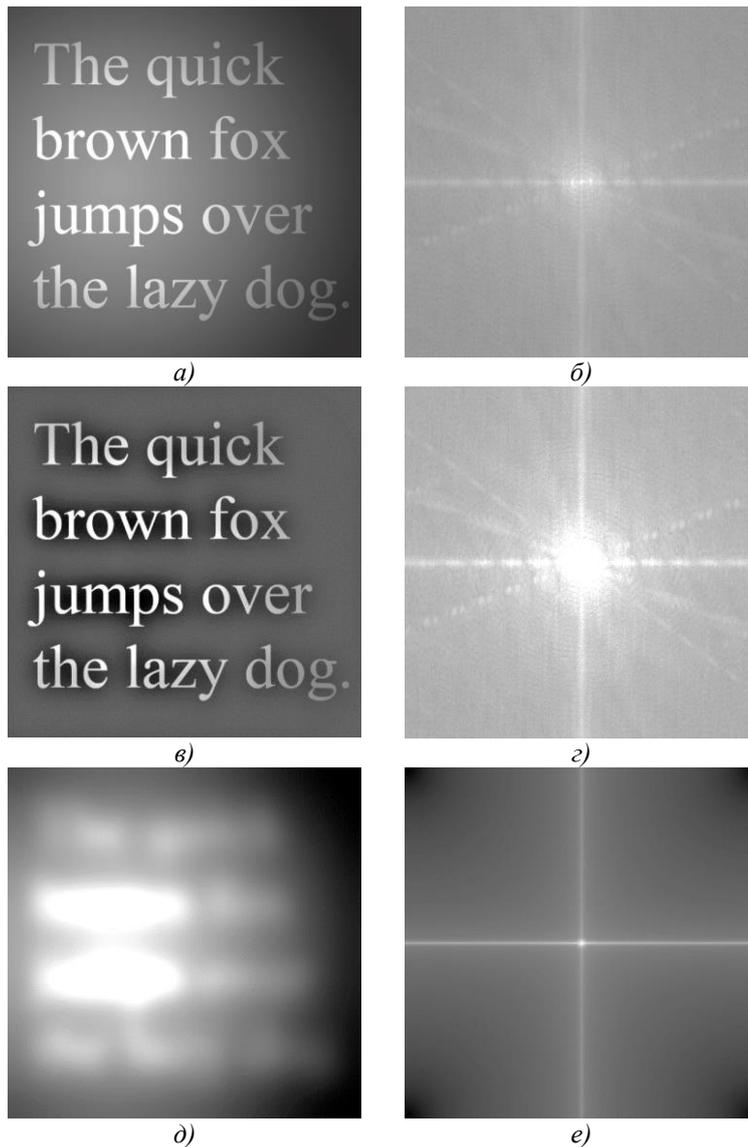


Рис. 1. а) Исходное изображение. б) Модуль спектра исходного изображения. в) Высокочастотная составляющая исходного изображения. г) Модуль спектра высокочастотной составляющей изображения. д) Низкочастотная составляющая исходного изображения. е) Модуль спектра низкочастотной составляющей исходного изображения.

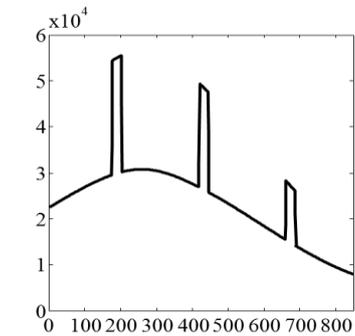
На изображении высокочастотной составляющей A_{hp} вокруг ярких изображений текстовых знаков наблюдается уменьшение яркости фона (рис. 2). Данный эффект проявляется в виде потемнения фона в окрестности границ изображений текстовых знаков. На рисунке 2а приведено исходное изображение с тремя латинскими буквами “i” с различной яркостью на не равномерном фоне. На рисунках 2в и 2д приведены результаты фильтрации исходного изображения

высокочастотными фильтрами гаусса с параметры формы импульсной характеристики (ИХ) $\sigma_h = 30$ и $\sigma_h = 60$. На рисунках 2б, 2г и 2е представлены сечения вдоль оси абсцисс исходного изображения и результатов высокочастотной фильтрации, соответственно. Как видно из рисунков 2г и 2е значение амплитуды провала зависит обратно пропорционально параметру формы ИХ высокочастотного фильтра гаусса, а также прямо пропорционально зависит от яркости изображений текстовых знаков.

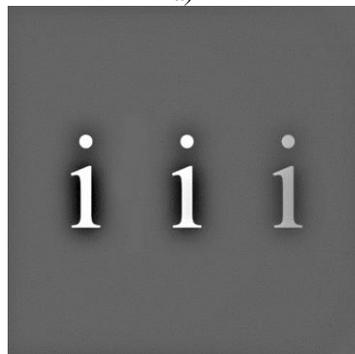
Следовательно, для уменьшения амплитуды провала фона вокруг границ ярких изображений текстовых знаков можно или увеличивать параметра формы ИХ высокочастотного фильтра гаусса или проводить фильтрацию на изображениях с уменьшенной яркостью пикселей, принадлежащих ярким изображениям текстовых знаков. Так как с увеличением параметра формы ИХ высокочастотного фильтра гаусса фон на изображении высокочастотной составляющей недостаточно выровненный (рис. 2д, 2в), то целесообразно проводить фильтрацию на изображениях с уменьшенной яркостью пикселей, принадлежащих ярким изображениям текстовых знаков.



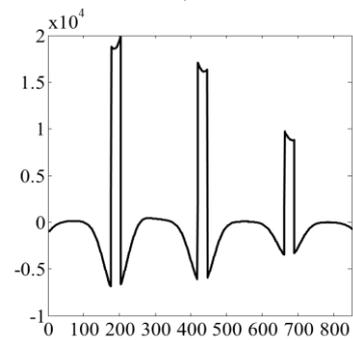
а)



б)



в)



г)

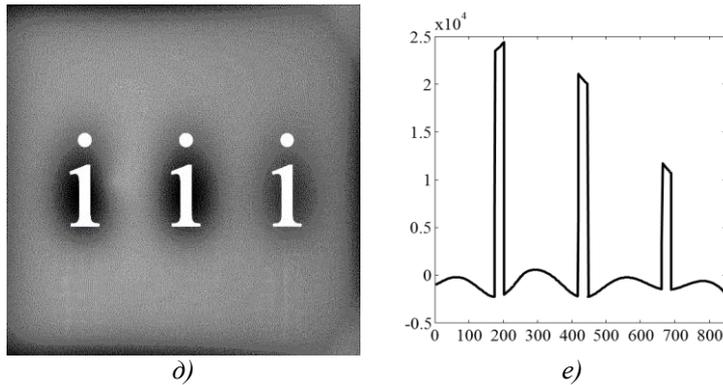


Рис. 2. а) Исходное изображение. б) Сечение исходного изображения вдоль оси абсцисс. в) Результирующее изображение отфильтрованное высокочастотным фильтром с $\sigma_h = 30$ и его сечение г). д) Результирующее изображение отфильтрованное высокочастотным фильтром с $\sigma_h = 60$ и его сечение е).

В связи с этим для уменьшения амплитуды провала яркости фона предложен вычислительный метод высокочастотной фильтрации изображений с компенсацией проседания фона вокруг изображений текстовых знаков, который состоит из следующей последовательности действий.

1. Формирование дискретного спектра исходного изображения S_{in} с использованием прямого ДПФ исходного изображения A_{in} :

$$S_{in}(u, v) = \sum_{m=0}^{N_x-1} \sum_{n=0}^{N_y-1} A_{in}(m, n) \exp\left(-i \frac{2\pi}{N_x} mu - i \frac{2\pi}{N_y} nv\right), \quad (1)$$

где $S_{in}(u, v)$ – u, v -ая гармоника дискретного спектра исходного изображения;

$A_{in}(m, n)$ – яркость m, n -го пикселя исходного изображения;

$N_x \times N_y$ – размер исходного изображения вдоль абсциссы и ординаты.

Формирование спектра высокочастотной составляющей исходного изображения S_{hp} перемножением спектра исходного изображения S_{in} и ПФ высокочастотного фильтра гаусса:

$$S_{hp}(u, v) = S_{in}(u, v) H_{Ghp}(u, v), \quad (2)$$

где $S_{hp}(u, v)$ – u, v -ая гармоника спектра высокочастотной составляющей исходного изображения.

Определение изображения высокочастотной составляющей исходного изображения A_{hp} как обратного ДПФ его спектра:

$$A_{hp}(m,n) = \sum_{u=0}^{N_x-1} \sum_{v=0}^{N_y-1} S_{hp}(u,v) \exp\left(i \frac{2\pi}{N_x} mu + i \frac{2\pi}{N_y} nv\right), \quad (3)$$

где $A_{hp}(m,n)$ – яркость m,n -го пикселя высокочастотной составляющей исходного изображения.

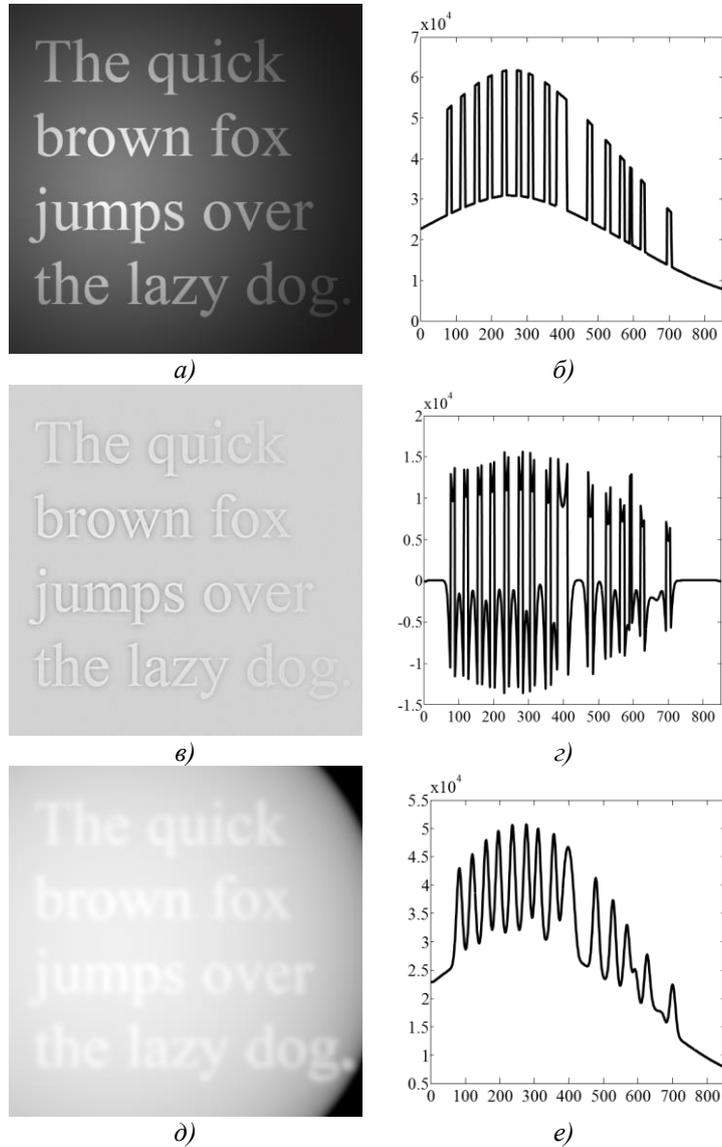


Рис. 3. Результаты фильтрации изображения высокочастотным фильтром гаусса с $\sigma_h = 5$. а) Исходное изображение A_{in} . б) Сечение исходного изображения вдоль оси

абсцисс. в) *Высокочастотная составляющая исходного изображения* A_{hp} и ее сечение
 г). д) *Низкочастотная составляющая исходного изображения* A_{lp} и ее сечение е).

Примеры исходного изображения A_{in} и его высокочастотной составляющей A_{hp} , приведены на рисунках 3а, 3в. Сечения данных изображений представлены на рисунках 3б, 3г.

2. Отбрасывание 10% самых больших и 10% самых малых значений яркости из пикселей высокочастотной составляющей исходного изображения A_{hp} , пикселей. Для K оставшихся пикселей высокочастотной составляющей исходного изображения A_{hp} находится среднее:

$$m_{hp} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K A_{hp}(k) \quad (4)$$

и СКО:

$$\sigma_{noise} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (A_{hp}(k) - m_{hp})^2}{K}} \quad (5)$$

Средняя яркость m_{hp} высокочастотной составляющей исходного изображения считается равной среднему значению яркости только тех K_2 ($K_2 \leq K$) пикселей, яркость которых не отличаются от среднего m_{hp} (4) более, чем на три СКО σ_{noise} (5):

$$\sqrt{(A_{hp}(m, n) - m_{hp})^2} \leq 3 \cdot \sigma_{noise} \quad (6)$$

3. Вычисление значения яркости пикселей высокочастотной составляющей исходного изображения с ограниченной яркостью \hat{A}_{hp} (рис. 4) согласно выражения:

$$\hat{A}_{hp}(m, n) = \begin{cases} \ell, & \text{при } A_{hp}(m, n) \geq \ell \\ A_{hp}(m, n), & \text{при } A_{hp}(m, n) < \ell \end{cases} \quad (7)$$

где $\ell = m_{hp} + \gamma \sigma_{noise}$ – (8)

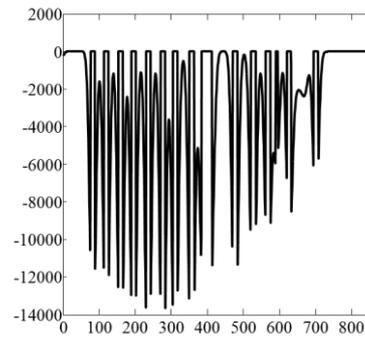
уровень ограничения яркости пикселей изображений текстовых знаков;

$\gamma = 0 \div 3$ – коэффициент пропорциональности;

$\hat{A}_{hp}(m, n)$ – значение яркости m, n -го пикселя высокочастотной составляющей исходного изображения с ограниченной яркостью.



а)



б)

Рис. 4. Результат ограничения яркости пикселей высокочастотной составляющей исходного изображения по рассчитанному уровню ℓ .

б) Изображение высокочастотной составляющей исходного изображения с ограниченными яркостями пикселей \hat{A}_{hp} и его сечение б).

4. Вычисление значения яркости пикселей низкочастотной составляющей исходного изображений A_{lp} (рис. 3е, 3д) согласно выражения:

$$A_{lp}(m, n) = A_{in}(m, n) - A_{hp}(m, n), \quad (9)$$

где $A_{lp}(m, n)$ – яркость m, n -го пикселя низкочастотной составляющей исходного изображения.

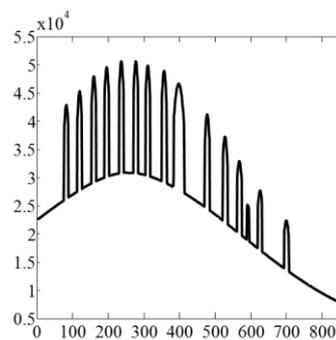
5. Определение значений яркости пикселей исходного изображения с ограниченной яркостью \hat{A}_{in} согласно выражения (рис. 5а, 5б):

$$\hat{A}_{in}(m, n) = \hat{A}_{hp}(m, n) + A_{lp}(m, n), \quad (10)$$

где $\hat{A}_{in}(m, n)$ – яркость m, n -го пикселя исходного изображения с ограниченной яркостью.



а)



б)

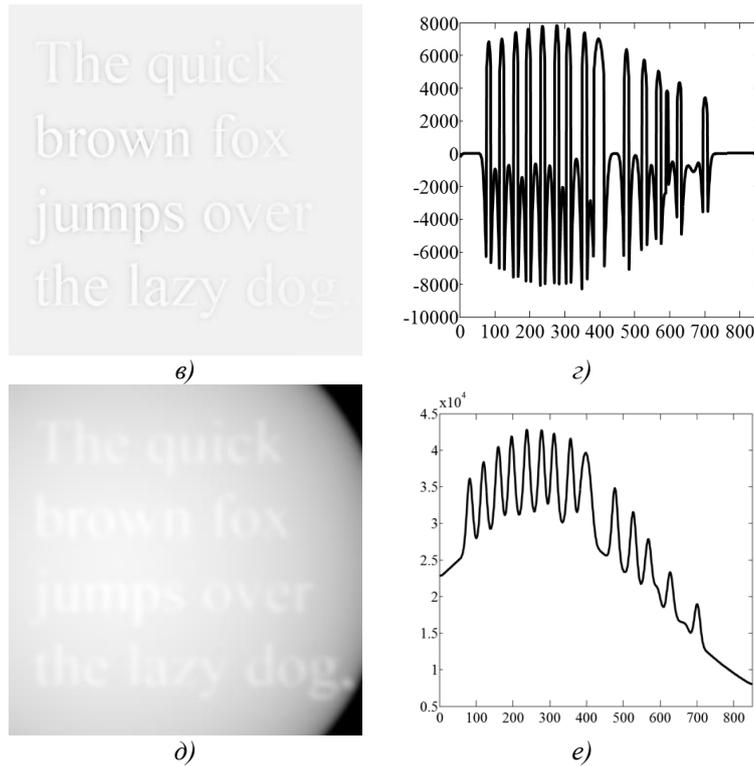


Рис. 5. а) Исходное изображение с ограниченной яркостью \hat{A}_{in} и его сечение б). в) Модифицированная высокочастотная составляющая изображения \hat{A}_{MDFhp} и ее сечение г). д) Модифицированная низкочастотная составляющая изображения \hat{A}_{MDFlp} и ее сечение е).

6. Проведение высокочастотной фильтрации исходного изображения с ограниченной яркостью \hat{A}_{in} в частотной области для получения модифицированной высокочастотной составляющей исходного изображения \hat{A}_{MDFhp} (рис. 5а, 5б). Для этого, согласно выражения (1), вычисляется спектр исходного изображения с ограниченной яркостью \hat{S}_{in} . Спектр модифицированной высокочастотной составляющей исходного изображения \hat{S}_{MDFhp} определяется выражением:

$$\hat{S}_{MDFhp}(u, v) = \hat{S}_{in}(u, v)H_{Ghp}(u, v), \quad (11)$$

где $\hat{S}_{MDFhp}(u, v)$, $\hat{S}_{in}(u, v)$ – u, v -ая гармоника спектра модифицированной высокочастотной составляющей изображения и исходного изображения с ограниченной яркостью.

Вычисление искомого изображения модифицированной высокочастотной составляющей \hat{A}_{MDFhp} (рис. 5в, 5г) как обратного ДПФ спектра модифицированной высокочастотной составляющей \hat{S}_{MDFhp} , согласно выражения (3).

7. Вычисление значений яркости пикселей модифицированной низкочастотной составляющей изображения \hat{A}_{MDFlp} (рис. 5д, 5е) как попиксельная разность яркости исходного изображения с ограниченной яркостью и модифицированной высокочастотной составляющей изображения:

$$\hat{A}_{MDFlp}(m, n) = \hat{A}_{in}(m, n) - \hat{A}_{MDFhp}(m, n), \quad (12)$$

где $\hat{A}_{MDFlp}(m, n)$, $\hat{A}_{MDFhp}(m, n)$ – яркость m, n -го пикселя модифицированных низкочастотной и высокочастотной составляющих исходного изображения.

8. Определение значений яркости результирующей высокочастотной составляющей A_{REZhp} (рис. 6):

$$A_{REZhp}(m, m) = A_{in}(m, m) - \hat{A}_{MDFlp}(m, m), \quad (13)$$

где $A_{REZhp}(m, m)$ – значение яркости m, n -го пикселя результирующей высокочастотной составляющей.

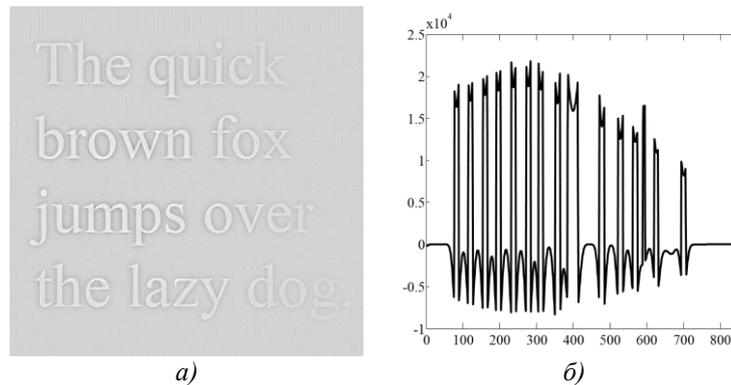


Рис. 6. а) Результирующая высокочастотная составляющая изображения A_{REZhp} и ее сечение б).

9. Для результирующей высокочастотной составляющей исходного изображения A_{REZhp} повторяются пункты 2-8 до тех пор пока на текущей t -ой итерации отклонение модифицированной низкочастотной составляющей исходного изображения \hat{A}_{MDFlpt} от модифицированной низкочастотной

составляющей исходного изображения $\hat{A}_{MDFlp_{t-1}}$ на предыдущем шаге итерации не будет меньше заданной величины ε (рис. 7):

$$\sqrt{\frac{1}{N_x N_y} \sum_{m=1}^{N_x} \sum_{n=1}^{N_y} (\hat{A}_{MDFlp_t}(m,n) - \hat{A}_{MDFlp_{t-1}}(m,n))^2} > \varepsilon, \quad (14)$$

где $\hat{A}_{MDFlp_t}(m,n)$, $\hat{A}_{MDFlp_{t-1}}(m,n)$ – яркость m,n -го пикселя модифицированной низкочастотной составляющей на предыдущей и текущей итерациях.

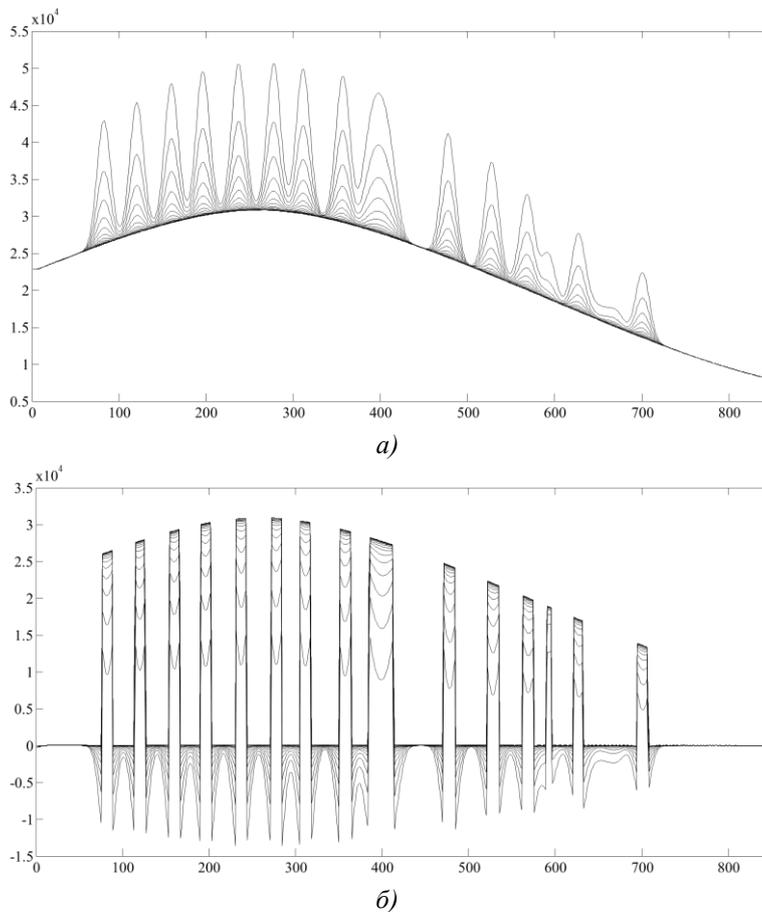


Рис. 7. Сечения модифицированных высокочастотной \hat{A}_{MDFhp} а) и низкочастотной \hat{A}_{MDFlp} б) составляющих полученных на 20 итерациях.

10. По завершению итераций, результирующая высокочастотная составляющая изображения A_{REZhpt} , полученная на последней итерации, принимается за итоговое изображение A_{out} (рис. 8).

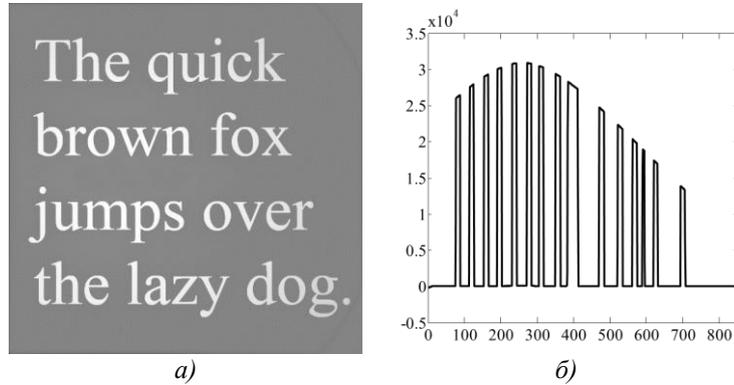
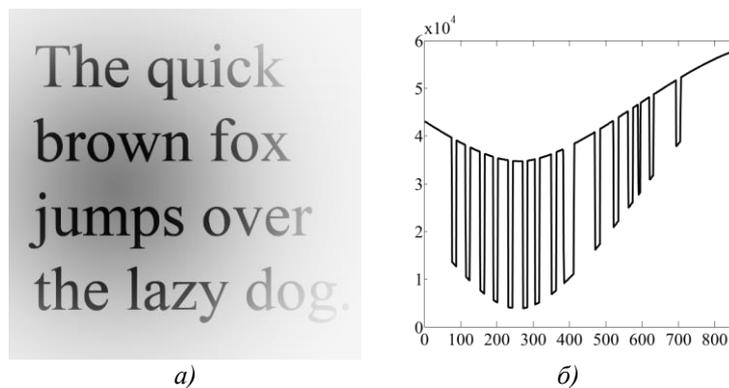


Рис. 8. Итоговое изображение A_{out} а) и его сечение б).

5. Особенности метода компенсации проседания фона вокруг изображений текстовых знаков

Предложенный в работе метод является нелинейным. Нелинейность метода заключается в том, что применять его можно для выравнивания изображений, у которых яркость пикселей изображений текстовых знаков больше яркости пикселей фона. При невыполнении данного условия результаты работы метода будут не удовлетворительными. На рисунке 9а и 9б представлено изображение, у которого яркость пикселей изображений текстовых знаков меньше яркости пикселей фона. Результат обработки данного изображения приведен на рисунке 9в и 9г. Видно, что пиксели фона вокруг изображений текстовых знаков имеют увеличенную яркость, а также яркость пикселей текстовых знаков искажена.



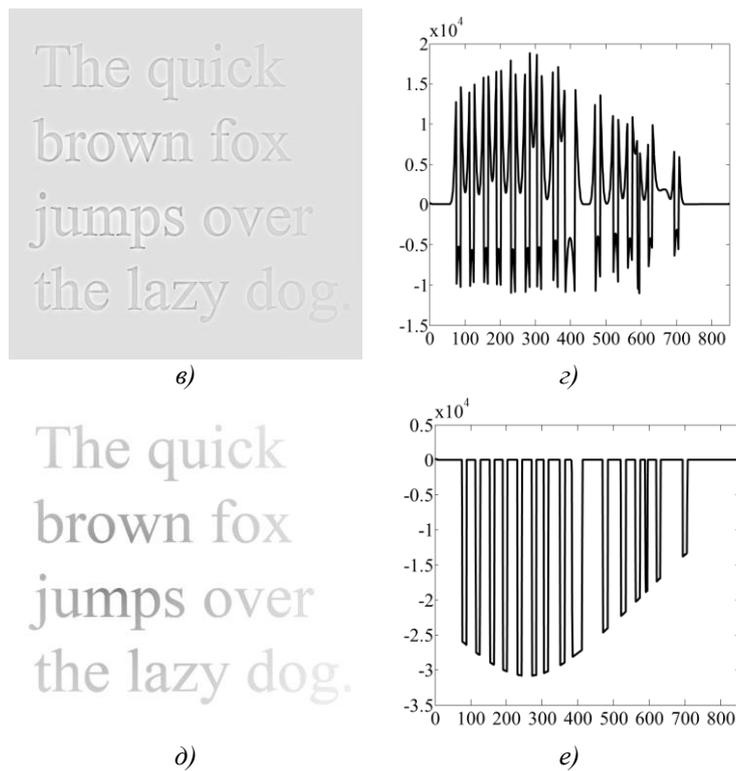


Рис. 9. а) Исходное инверсное изображение и его сечение б). Итоговое изображение в) и его сечение г). д) Итоговое изображение при модификации метода и его сечение е).

Для корректного выравнивания фона таких изображения необходимо внести ряд изменений в 3-ий пункт предложенного метода. Первое – значение уровня ограничения ℓ яркости пикселей выбирается меньше чем средняя яркость m_{hp} высокочастотной составляющей исходного изображения:

$$\ell = m_{hp} - \gamma \sigma_{noise}, \quad (15)$$

И второе, яркость пикселей высокочастотной составляющей исходного изображения ограничивается в том случае, если она ниже значения уровня ограничения ℓ , полученного согласно выражения (15):

$$\hat{A}_{hp}(m, n) = \begin{cases} \ell, & \text{при } A_{hp}(m, n) \leq \ell \\ A_{hp}(m, n), & \text{при } A_{hp}(m, n) > \ell \end{cases}, \quad (16)$$

Результат выравнивания фона, при такой модификации метода представлен на рисунке 9д и 9е.

6. Показатели качества выравнивания фона и их краткий анализ.

В работе в качестве показателей качества метода компенсации проседания фона вокруг изображений текстовых знаков используется среднее значение и СКО яркости фона на множестве Ψ пикселей, отнесенных к фону исследуемого слабоконтрастного изображения текстовой информации, до $\bar{A}_{\Psi in}$, $\hat{\sigma}_{\Psi in}$ и после $\bar{A}_{\Psi out}$, $\hat{\sigma}_{\Psi out}$ фильтрации:

$$\bar{A}_{\Psi in} = \sum_{m,n \in \Psi} A_{in}(m,n) / N_{\Psi}, \quad (17)$$

$$\bar{A}_{\Psi out} = \sum_{m,n \in \Psi} A_{out}(m,n) / N_{\Psi}, \quad (18)$$

$$\hat{\sigma}_{\Psi in} = \sqrt{\sum_{m,n \in \Psi} (A_{in}(m,n) - \bar{A}_{\Psi in})^2 / (N_{\Psi} - 1)}, \quad (19)$$

$$\hat{\sigma}_{\Psi out} = \sqrt{\sum_{m,n \in \Psi} (A_{out}(m,n) - \bar{A}_{\Psi out})^2 / (N_{\Psi} - 1)}. \quad (20)$$

где N_{Ψ} – количество пикселей, отнесенных к фону исследуемого слабоконтрастного изображения текстовой информации.

Анализ введенных показателей качества компенсации проседания фона вокруг изображений текстовых знаков свидетельствует, что в результате фильтрации предложенным методом снижается в десятки раз СКО $\hat{\sigma}_{\Psi out}$ яркости пикселей, отнесенных к фону исследуемого слабоконтрастного изображения текстовой информации. Так, например, для исходного изображения (рисунок 1а) СКО пикселей, отнесенных к фону исследуемого слабоконтрастного изображения текстовой информации, до фильтрации составляет $\hat{\sigma}_{\Psi in} = 6969,7$. В тоже время после фильтрации аналогичное СКО уменьшается до $\hat{\sigma}_{\Psi out} = 28,55$.

7. Выводы

В статье рассмотрены вычислительный метод высокочастотной фильтрации изображений с компенсацией проседания фона вокруг изображений текстовых знаков и реализация данного метода для изображений, у которых яркость пикселей изображений текстовых знаков больше и меньше яркости пикселей фона. В качестве показателей качества выравнивания фона в работе введены оценки среднего значения и СКО яркостей пикселей фона на исходных и выровненных кадрах. При анализе показателей качества выравнивания фона

ізображений рассмотренным методом показано, что СКО яркости пикселей, отнесенных к фону исследуемого слабоконтрастного изображения текстовой информации, уменьшается на два порядка.

Рассмотренный вычислительный метод позволяет повысить отношение сигнал/шум и уменьшить динамический диапазон фоновой подложки текстовых изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Berry R., Burnell J. The Handbook of Astronomical Image Processing. – Virginia: Willmann-Bell, 2005. – 684p.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Москва: Техносфера, 2005. – 1072с.
3. Solomon C., Breckon T. Fundamentals of Digital Image Processing. A Practical Approach with Examples in Matlab. – New Jersey: Wiley, 2011. – 344p.
4. O'Gorman L., Sammon M., Seul M. Practical algorithms for image analysis: description, examples, and code. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 360p.
5. Белоус Н. В., Красов А. И., Власенко В. П. Удаление низкочастотной составляющей изображения с использованием медианного фильтра // Журнал інженерних наук. Комп'ютерна інженерія – 2016. №3 (2). – с.7 – 14.
6. Андрук В. Н., Иващенко Ю. Н., Бутенко Г. З. Обработка ПЗС-изображений звездных полей в пакете MIDAS/ROMAFOT // Abstr. Int. Conf. ASTROECO-2002 "Current status and prospects of international research in observational astronomy, ecology and extreme physiology in the Elbrus region", Terskol, Russia, Aug. 12-16 – 2002. – p. 71-74.
7. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в Matlab. – Москва: Техносфера, 2006. – 616с.
8. Методы компьютерной обработки изображений / Сойфер В.А. – Москва: Физматлит, 2003. – 784с.
9. Яншин В.В. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы. – Москва: Машиностроение, 1994. – 112с.
10. Яне Б. Цифровая обработка изображений. – Москва: Техносфера, 2007. – 584с.
11. Теоретические основы цифровой обработки изображений: Учебное пособие / Сойфер В.А. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева. 2000. – 256с.