

УДК 154.1:681.142.36

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТА МАММОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Ю.А.Буланова¹, к.т.н., доцент., С.С.Садыков¹, д.т.н., профессор,
И.Р.Самандаров², к.т.н., доцент., Н.Т.Душатов², З.М.Миратоев.

¹Муромский институт Владимирского государственного университета, г.
Муром, Россия, yuliyabulanovad@yandex.ru, sadykovss@yandex.ru

²Алмалыкский филиал ТГТУ, г. Алмалык, Узбекистан,
samadarov.2003@gmail.com, n_dushatov@rambler.ru, miratoyev2014@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Исследованы 7 методов для повышения контраста маммографических снимков.

Ключевые слова: Контраст, изображение, маммографический снимок, эквализация, гистограмма.

ABSTRACT

7 methods have been investigated to enhance the contrast of mammography images.

Key words: Contrast, image, mammography, equalization, histogram.

ВВЕДЕНИЕ

Контраст – это отношение яркостей самой светлой части изображения и самой темной части [1].

На данный момент существует несколько основных определений контраста – контраст Вебера, Михельсона, среднеквадратический контраст.

Контраст Вебера [2] равен:

$$C = \frac{I - I_b}{I_b}, \quad (1)$$

где С – контраст, I – яркость точки, у которой оценивается контраст, I_b – средняя яркость фона.

Основное применение контраста Вебера обосновано присутствием мелких деталей на фоне крупных объектов, которые мало отличаются по цвету. Этот метод определения контраста не подходит для расчета контрастности светлых изображений.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для изображений, на которых количество светлых и темных областей практически одинаково, используется определение контрастности Михельсона [2]:

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (2)$$

где C – контраст, I_{\max} – максимальная яркость точки области вычисления контраста, I_{\min} – минимальная яркость точки области вычисления контраста.

Универсальным способом вычисления контраста является среднеквадратический контраст [2]:

$$C = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (I_i - I_{cp})^2}, \quad (3)$$
$$I_{cp} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n I_i$$

где I_i – яркость i -пикселя области вычисления контраста, I_{cp} – средняя яркость этой области, n – количество точек в области, для которой рассчитывается контраст.

Метод среднеквадратического контраста уступает двум предыдущим в производительности.

Таким образом, результатом выше перечисленных методов расчета контраста является локальный контраст. Для получения уровня контрастности всего изображения, необходимо все локальные контрасты усреднить.

1. Линейное контрастирование

Для решения задачи повышения контрастности изображений известно несколько различных методик, самой распространенной из них является линейное контрастирование [1]. Она заключается в перераспределении исходного диапазона яркостей в необходимый интервал. Данный алгоритм является самым простым среди алгоритмов повышения контраста [3,4]

$$g(x, y) = a \times f(x, y) + b \quad (4)$$

где a , b – некоторые коэффициенты, $f(x,y)$ – яркость точки с координатами (x,y) исходного изображения, $g(x,y)$ – яркости точки с координатами (x,y) обработанного изображения.

Величины коэффициентов a и b определяются следующим образом:

$$a = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}, \quad (5)$$

$$b = \frac{g_{\min} \times f_{\max} - g_{\max} \times f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}, \quad (6)$$

Где g_{\max} , g_{\min} – желаемые максимальное и минимальное значения яркостей обработанного изображения, f_{\max} , f_{\min} – максимальное и минимальное значения яркостей исходного изображения.

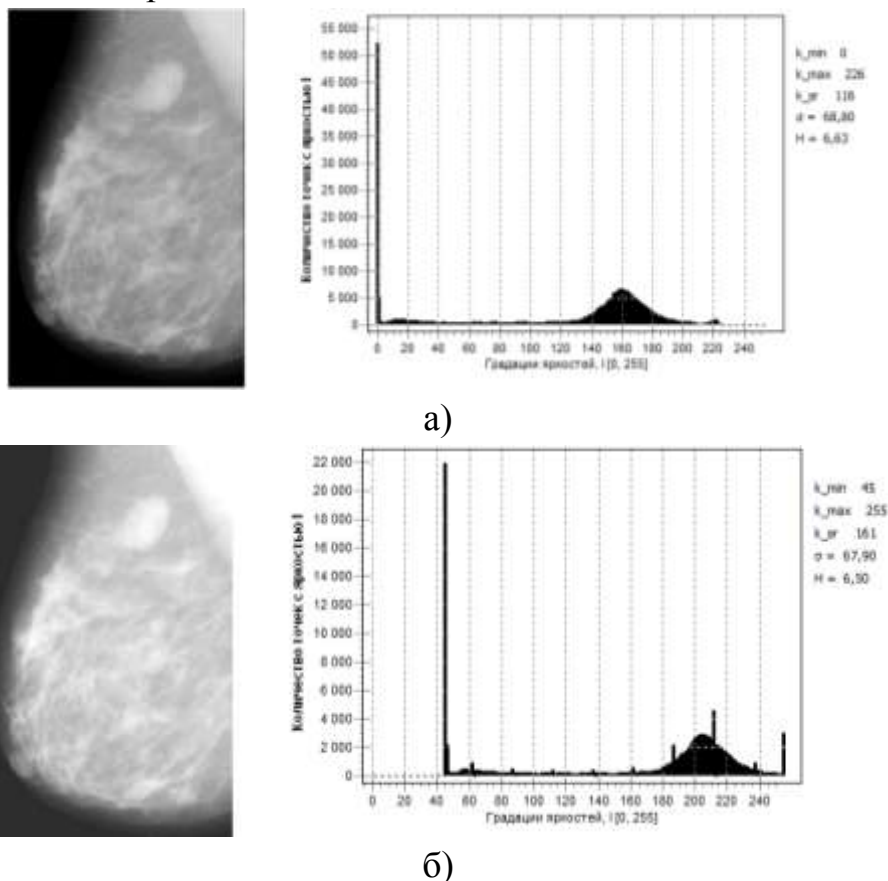


Рис. 1 – Пример линейного контрастирования: на рис.1 б) контрастированное изображение и его гистограмма, полученные из исходного рис. 1 а)

На рис. 1 б) представлено контрастирование изображение с помощью линейной функции (выражение (4)), яркости обработанного изображения распределены в диапазоне [45, 255]. Увеличив диапазон распределения яркостей на малококонтрастных маммограммах можно увидеть ранее затемненные участки, которые представляют интерес для врача-рентгенолога.

При контрастировании изображения часто нет необходимости перераспределять весь диапазон яркостей, а нужно изменить контраст на отдельном участке (отрезке, диапазоне яркостей) гистограммы. В этом случае используют так называемое локальное линейное контрастирование.

При локальном контрастировании обработка изображения происходит скользящим окном, размеры которого по обеим осям значительно меньше

соответствующих размеров контрастируемого изображения. Обычно размер окна 3×3, 5×5, 7×7, 9×9. точек

Цели локального контрастирования обычно состоят в улучшении качества изображения: чаще всего это устранение помех или повышение резкости, подчеркивание контуров на некотором фрагменте (участке) изображения.

$f(i-1, j-1)$	$f(i, j-1)$	$f(i+1, j-1)$
$f(i-1, j)$	$f(i, j)$	$f(i+1, j)$
$f(i-1, j+1)$	$f(i, j+1)$	$f(i+1, j+1)$

Рис. 2 – Апертура контрастирования

$$g(i, j) = f(i, j) \frac{g_{\max} - g_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} + \frac{g_{\min} \times f_{\max} - g_{\max} \times f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \quad 7)$$

где $g(i, j)$ – контрастированная центральная точка апертуры, $f(i, j)$ – исходная центральная точка, g_{\max} , g_{\min} – желаемые максимальное и минимальное значения яркостей обработанной области, f_{\max} , f_{\min} – максимальное и минимальное значения яркостей исходного области апертуры.

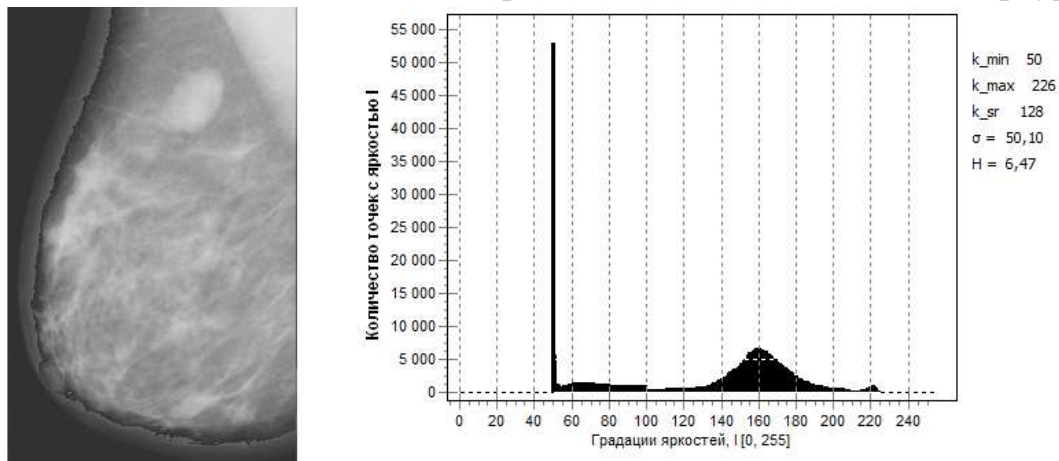


Рис. 3 – Результат локального линейного контрастирования: контрастированное изображение(рис. 1 а) и его гистограмма

На рис. 3 можно увидеть, как изменилась гистограмма исходного изображения на интервале от [0, 100]: все значения яркостей в промежутке [0, 50] были увеличены на 50, таким образом, стала видна область молочной железы, ранее не заметная на исходной маммограмме.

2. Метод нечетких множеств

В последние годы для улучшения контраста используется метод нечетких множеств [5-10]. Цель данного метода состоит в том, чтобы получить изображение более высокой контрастности, чем исходное изображение, давая больший вес яркостям, которые ближе к средней яркости всего изображения, и меньший - яркостям, которые находятся дальше от среднего.

Метод нечетких множеств для коррекции контраста претерпевает 3 этапа: переход от изображения к нечеткому множеству, преобразование множества, улучшающее контраст, обратный переход от нечеткого множества к изображению.

$$D = \cup \{ \mu_{i,j} / x_{i,j} \} , \quad (8)$$

$$\mu_X(x_{i,j}) = e^{-\frac{(x_{\max} - x_{i,j})^2}{2 * f_h^2}} , \quad (9)$$

где D – совокупность нечетких одноэлементных множеств, $\mu_{i,j}$ – функция принадлежности точки $x_{i,j}$ к множеству, которая принимает значения $[0, 1]$, f_h – параметр крутизны кривой принадлежности к множеству, x_{\max} – максимальная яркость изображения.

Обратный переход из нечеткой области в пространственную выполняется следующим образом:

$$x'_{i,j} = x_{\max} - (-2 * \ln[\mu'_X(x_{i,j})] * f_h^2)^{\frac{1}{2}} , \quad (10)$$

$$\mu'_X(x_{i,j}) = \frac{1}{1 + e^{t * (\mu_X(x_{i,j}) - 0.5)}} , \quad (11)$$

где $x'_{i,j}$ – преобразованная яркость точки (i,j) , $\mu'_{i,j}$ – преобразованная функция принадлежности точки $x_{i,j}$ к множеству, t – параметр усиления контраста.

3. Преобразование гистограммы

Гистограмма распределения яркостей оцифрованной маммограммы имеет ярко выраженный подъем в сторону темных уровней (видно на рис. 1 а). Поэтому маленькие новообразования на темных участках видимы плохо, а сами изображения характеризуются низким контрастом. Таким образом, еще одним методом повышения контраста являются алгоритмы преобразования гистограммы. Суть этих методов состоит в преобразовании яркостей исходного

изображения таким образом, чтобы гистограмма распределения яркостей приобрела желаемую форму. Это позволит сократить энтропию изображения и увеличить средне-квадратическое отклонение (СКО).

Из гистограммных преобразований обычно используют нормализацию и эквализацию.

4. Нормализация гистограммы

Нормализация гистограммы [11] – это усовершенствованный способ повышения контраста изображения, который заключается в растяжении наиболее информативного участка изображения на весь диапазон яркостей. Расчет новых яркостей осуществляется по методу линейного контрастирования (выражение (4)).

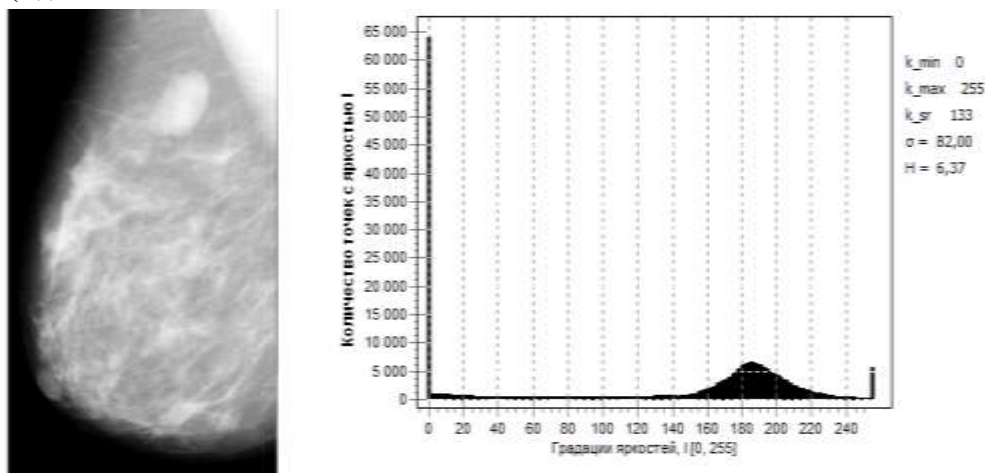


Рис. 4 - Результат нормализации изображения: нормализованное изображение (рис. 1а)) и его гистограмма

Как следует из рис. 4, гистограмма растянулась на весь диапазон яркостей, увеличилось значение СКО, и уменьшилась энтропия изображения, таким образом, в ходе нормализации характеристики изображения улучшились.

5. Эквализация гистограммы

Метод эквализации гистограммы яркостей подразумевает такое преобразование изображения, при котором его гистограмма яркостей отвечала бы равномерному закону распределения. Иными словами после эквализации в идеальном случае все уровни яркости имеют одинаковую частоту [11].

$$g(i, j) = (g_{\max} - g_{\min}) * p_f(f) + g_{\min},$$
$$p_g(g) = \frac{1}{g_{\max} - g_{\min}} \quad \text{для } g_{\min} \leq g \leq g_{\max}, \quad (12)$$

где $g(i, j)$ – преобразованная яркость точки (i, j) , g_{\max} , g_{\min} – желаемые максимальное и минимальное значения яркостей обработанной области, $p_f(f)$ –

плотность распределения яркостей исходного изображения, $p_g(g)$ – плотность распределения яркостей преобразованного изображения,

На рис. 5 показан результат эквализации изображения на рис. 1 а).

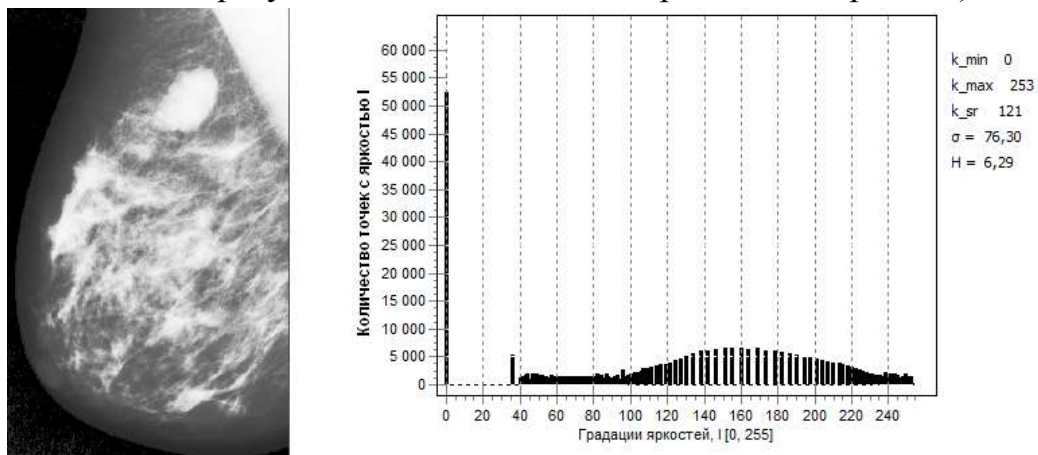


Рис. 5 – Результат метода эквализации гистограммы исходного изображения рис. 1 а)

6. Адаптивная эквализация CLAHE

Кроме выше указанных методов повышения контраста известна так называемая адаптивная эквализация гистограммы с ограничением (CLAHE) [12-14]. В данном методе изображение разбивается на прямоугольные области (блоки). В каждом блоке вычисляется гистограмма распределения яркости. Чтобы избежать перенасыщения монотонных участков изображения, ограничивается наклон функции распределения яркости путем введения ограничения на максимальное значение частоты яркости. После ограничения для каждой области формируется своя функция преобразования яркости на основании эквализации гистограммы распределения яркости. Гистограммы яркости выходных изображений могут принадлежать одному из 4 типов распределений: линейное (выражение (13)), экспоненциальное (выражение (14)), Рэллея (выражение (15)), гиперболическое (выражение (16)) распределения, в зависимости от функций преобразования пикселей:

$$g(x, y) = (g_{\max} - g_{\min}) \times h(f(x, y)) + g_{\min}, \quad (13)$$

$$g(x, y) = g_{\min} - \frac{1}{\alpha} \times \ln(1 - h(f(x, y))), \quad (14)$$

$$g(x, y) = g_{\min} + (2 \times \alpha^2 \times \ln(1 - h(f(x, y))))^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$g(x, y) = g_{\min} \times \left(\frac{g_{\max}}{g_{\min}} \right)^{h(f(x, y))} \quad (16)$$

где $h(f(x, y))$ – вероятность появления точки с яркостью $f(x, y)$, g_{\max} , g_{\min} – желаемые максимальное и минимальное значения яркости выходного изображения, $g(x, y)$ – выходное изображение, α – действительное число (подбирается экспериментально)

Такое преобразование позволяет равномернее распределить уровни яркости по частоте. В основе преобразования лежит предположение, что в контрастных черно–белых изображениях значения яркости распределены равномерно. Чтобы разрушить блочную структуру полученного изображения, выходное изображение формируется путем билинейной интерполяции по четырем ближайшим функциям преобразования яркости.

На рис. 6 приведен пример преобразования гистограммы с помощью алгоритма CLAHE изображения на рис. 1 а).

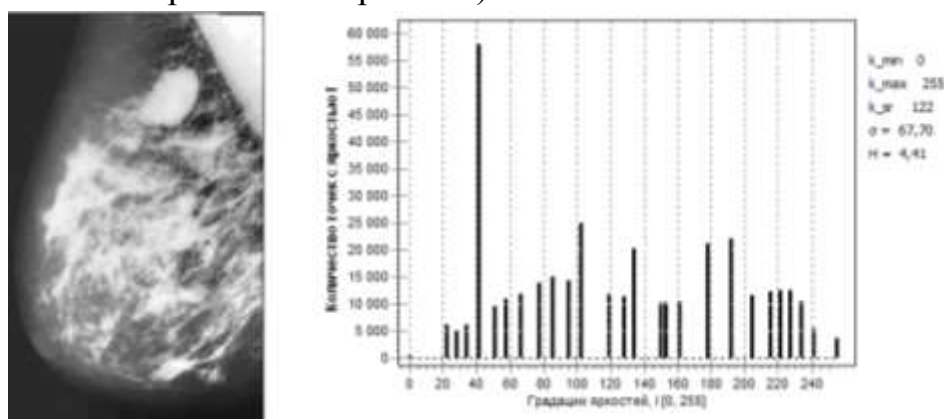


Рис. 6 – Пример работы алгоритма CLAHE

7. Многокомпонентное бета-распределение

Существует еще одна модификация алгоритма эквализации - преобразование гистограммы яркости изображений с использованием многокомпонентного бета-распределения [15]. Суть этой модификации заключается в использовании в качестве функции градационного преобразования интегрального закона распределения, полученного в результате аппроксимации функции плотности вероятности (ФПВ) изображения моделью в виде многокомпонентного бета-распределения. В целом алгоритм приведения гистограммы яркости изображения к заданному виду состоит из следующих действий:

=Выполняется операция эквализации с использованием модели в виде многокомпонентного бета-распределения.

$$p(F) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times p_i(F) \quad , \quad (17)$$

где F – амплитуда яркости точек исходного изображения, α_i – весовые коэффициенты вероятности появления яркости $p(F)$, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

=Оценивается форма функции градационного преобразования, которая позволит достичь с заданной точностью требуемой ФПВ.

$$\min_{\mu, \nu} (D) = K * \left[\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \times p_i(N_j) - H_j(N_j) \right)^2 \right] + (1-K) \times \left[\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \times f_i(N_j) - F_j(N_j) \right)^2 \right] \quad (18)$$

где первое слагаемое характеризует точность аппроксимации ФПВ, второе слагаемое - характеризует точность аппроксимации функции распределения, K – весовой коэффициент, $H(N)$ - значение элемента гистограммы выходного изображения при яркости N ,

=Применяется к изображению указанная функция градационного преобразования.

Функция градационного преобразования выглядит следующим образом:

$$p_i(F) = \frac{1}{B(\mu, \nu)} \times F^{\mu-1} \times (1-F)^{\nu-1} \quad , \quad (19)$$

где $B(\mu, \nu)$ - бета-функция, μ, ν – параметры бета-распределения.

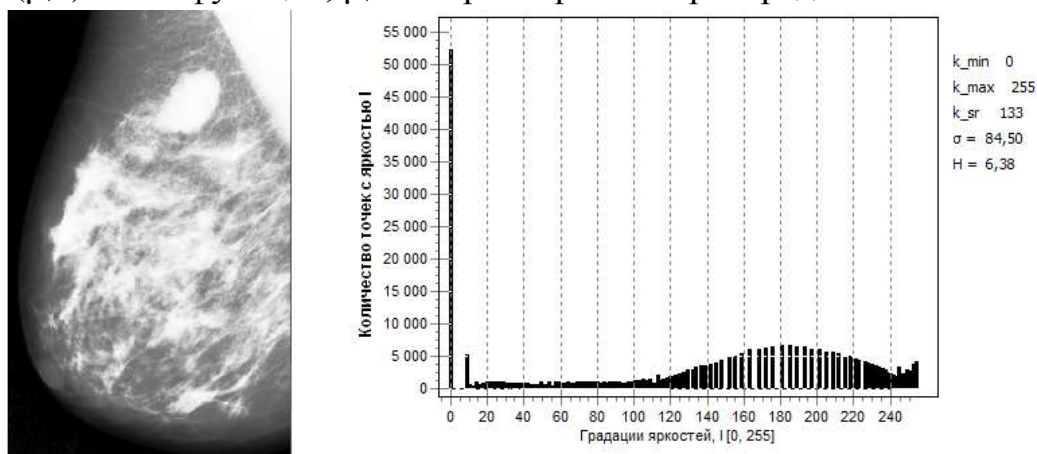


Рис. 7.– Пример работы алгоритма эквализации с помощью многокомпонентного бета-распределения: результат преобразования многокомпонентного бета-распределения изображения на рис. 1 а) и его гистограмма

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таблица 1

Сравнение алгоритмов коррекции яркости и контрастности

Изображения	Исходное изображение	Линейное контрастирование	Нормализация гистограммы	Эквализация гистограммы	CLAHE	Многокомпонентное бета-распределение
Параметры						
f_min	0	45	0	0	0	0
f_max	226	255	255	253	255	255
f_sr	116	161	133	121	122	133
σ	68,8	67,9	82	76,3	67,7	84,5
H	6,63	6,5	6,37	6,29	4,41	6,38

В таблице 1 отражены основные характеристики обработанных изображений алгоритмами из п.п. 1-3. Несмотря на то, что при нормализации и многокомпонентном бета-распределении увеличилось значение СКО, но значение энтропии изменилось не существенно. Решающим критерием выбора алгоритма контрастирования является энтропия как мера неопределенности распределения яркостей на изображении. Самым лучшим алгоритмом среди представленных является алгоритм CLAHE.

REFERENCES

1. Ильясова Н.Ю. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики/ Н.Ю. Ильясова, А.В. Куприянов, А.Г. Храмов. – М.: Радио и связь, 2012. – 424 с. ISBN 5-89776-014-4
2. Опенгейм Э. Применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1980, -545 с.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер.с англ. – М: Мир, 1982, кн.1-312с.; кн. 2 - 493с.
4. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений. – 2 изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с. – ISBN 5-9221-0270-2
5. Chi, Z. Yan, H. and Pham, T. Fuzzy algorithms: with applications to image processing and pattern recognition // World Scientific, vol. 10, 1996.pp 34-45.
6. Kerre, E., Nachtegael M. Fuzzy techniques in image processing: Techniques and applications // Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol. 52, Physica Verlag: Heidelberg 2000.pp/57-68/
7. Nachtegael, M. Van-Der-Weken, M. Van-De-Ville, D. Kerre, D. Philips, W. and Lemahieu I. An overview of classical and fuzzy-classical filters for noise

- reduction // Proceedings of FUZZ-IEEE'2001 (10th International IEEE Conference on Fuzzy Systems), Melbourne, Australia, 2001.pp. 3-6.
8. 8.Pal, S.K., and King R.A. Image enhancement using smoothing with Fuzzy Sets // IEEE Trans. Sys. Man and Cyber, SMC-11, 1981.pp. 494-501,
 9. 9.Tizhoosh, H.R. Fuzzy image enhancement: an overview / Kerre, E., Nachtgael, M. (Eds.): Fuzzy Techniques in Image Processing, Springer, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2000.pp. 137-171.
 10. 10.Zadea, L.A. Fuzzy Sets // Information and Control, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
 11. 11.Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие.- Новосибирск: М.: НГТУ, 2002. - 352 с.
 12. 12.Zuiderveld K. Contrast limited adaptive histogram equalization// Graphics Gems Iv, Paul Heckbert, Ed., vol. IV. Academic Press, Boston. 1994. P. 474-485.
 13. 13.P.Ravi Sankar, B.K.N Srinivasa Rao Parallel Architecture for Implementation of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies (IJAEST), Vol №10, Issue №1, pp. 047 – 051.
 14. 14.Rajesh kumar Rai, Puran Gour, Balvant Singh Underwater Image Segmentation using CLAHE Enhancement and Thresholding, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 2, Issue 1, January 2012, pp. 118 – 123.
 15. 15.Кириллов С.Н., Косткин И.В. Алгоритм эквализации на основе многокомпонентного бета-распределения яркости изображения. ISSN 1995-4565. Вестник РГРТУ. № 21. Вестник РГРТУ. № 21. Рязань, 2007. Рязань, 2007. С.76-83.ISSN 1995-4565.
 16. Муминов, Ф. М., Душатов, Н. Т., Миратоев, З. М., & Сулхонов, Д. А. (2022). КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(6), 552-557.
 17. Муминов, Ф. М., Душатов, Н. Т., Миратоев, З. М., & Ибодуллаева, М. Ш. (2022). ОБ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА СМЕШАННО-СОСТАВНОГО ТИПА. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(6), 606-612.

18. Muminov, F. M., Dushatov, N. T., & Miratov, Z. M. (2022). Boundary Problem for a Third Order Equation of a Mixed Composite Type. Eurasian Journal of Physics, Chemistry and Mathematics, 5, 12-16.
19. Muminov, F. M., Dushatov, N. T., & Miratov, Z. M. (2022). NONLOCAL BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR A THIRD-ORDER MIXED-COMPOSITE TYPE EQUATION. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 3(4), 600-605.
20. Муминов, Ф. М., & Душатов, Н. Т. (2021). Нелокальная краевая задача для линейных уравнений смешанного типа. CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL & APPLIED SCIENCES, 2(5), 191-196.
21. Муминов, Ф. М., Самандаров, И. Р., Душатов, Н. Т., & Миратов, З. М. (2022). О НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА СМЕЩАННОГО-СОСТАВНОГО ТИПА. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(4), 260-265.
22. Муминов, Ф. М., Самандаров, И. Р., Душатов, Н. Т., & Миратов, З. М. (2022). КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА УРАВНЕНИЙ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2(4), 218-224.
23. Муминов, Ф. М., & Миратов, З. М. (2021). О нелокальной краевой задаче для одного неклассического уравнения. Scientific progress, 1(6), 922-927.