



МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Маматов Нарзилло Солидждонович

Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», доктор технических наук, профессор
m_narzullo@mail.ru

Султанов Пулат Каримович

Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи, доктор медицинских наук
sultanovp@bk.ru

Юлдашев Юсуф Шералиевич

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, доцент
yusuf_yuldoshev@mail.ru

Жалелова Малика Моятдин кизи

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, докторант
jalelova97@mail.ru

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.8370251>

ARTICLE INFO

Received: 14th September 2023

Accepted: 21th September 2023

Online: 22th September 2023

KEY WORDS

Изображение, мультиспиральная компьютерная томография, контрастное повышение, метод, оценка, без эталонные критерии.

ABSTRACT

С широким распространением мультиспиральной компьютерной томографии в медицинской визуализации необходимость повышения контрастности изображений, получаемых с помощью сканирующего инструмента, становится все более актуальной. Недостаточный контраст на изображениях может препятствовать точной диагностике и анализу. Это, в свою очередь, означает, что существует потребность в эффективных методах повышения контрастности изображений, полученных при мультиспиральной компьютерной томографии. В этой исследовательской статье рассматриваются 17 методов повышения контрастности медицинских изображений и оцениваются полученные изображения по трем критериям. Основная цель данного исследования — определить оптимальную пару метода контрастного усиления и критериев оценки контрастности, обеспечивающую диагностически удобные медицинские изображения.

ВВЕДЕНИЕ. Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) играет важную роль в медицинской визуализации, предоставляя подробные изображения поперечного сечения человеческого тела. Она стала незаменимым инструментом в



различных клинических приложениях, включая диагностику и планирование лечения различных заболеваний. Однако в некоторых случаях эти изображения МСКТ могут быть ненадлежащего качества для визуального просмотра. Это связано с тем, что одной из распространенных проблем при МСКТ является низкий контраст полученных изображений, что может ограничивать точность и надежность диагностики.

Недостаточный контраст на изображениях МСКТ может быть вызван несколькими факторами, такими как внешняя среда, воздействие света, протоколы визуализации и технические ограничения системы визуализации [1]. Низкий контраст может скрыть важные анатомические структуры, уменьшить видимость патологических результатов и помещать медицинским работникам правильно их интерпретировать. Это, в свою очередь, делает актуальным вопрос повышения контрастности МСКТ-изображений для повышения точности диагностики и принятия клинических решений.

Повышение контрастности изображения является традиционной проблемной областью обработки изображений [2]. Многие исследователи разработали собственные подходы к повышению контрастности изображения. Среди этих методов для всех типов изображений можно использовать метод сглаживания гистограммы. Поэтому было разработано несколько вариантов метода сглаживания гистограмм. Примеры включают GHE, VBHE, QBHE, DSIHE, MMVBHE, RMSHE, BUBONE, VPHEME, RSIHE, WTNE, RSWHE, FHSABP, VHEPL, RLBHE.

Еще один эффективный подход к изменению контрастности — гамма-коррекция. На основе этого метода были разработаны методы повышения контрастности изображения DCRGC, AGCWD и AGCPF. В результате использования этих методов меняется контрастность изображения, детали, скрытые на изображении, становятся более отчетливыми, а качество изображения улучшается [3]. Поэтому высококонтрастное изображение подходит в качестве входных данных для некоторых автоматизированных систем обработки.

Поэтому, когда изображение обрабатывается с целью визуальной интерпретации, окончательным судьей о том, насколько хорошо сработал метод, является человек, то есть эксперт. Однако для автоматизации обработки изображений [4-8] необходимо получить объективную количественную величину. Объективные методы делятся на две категории: эталонные и без эталонные. Более актуальными для практических вопросов являются оценочные критерии, не требующие эталонных критериев. Поэтому в данной исследовательской работе в качестве без эталонных критериев оценки контрастности используются критерии RMS (среднеквадратичное значение) [9-11], Haralik [12] и GCF [12-13] (глобальный коэффициент контрастности).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В данной исследовательской работе были изучены методы повышения контрастности изображения, рассмотренные в зарубежной литературе. В работе [14] проанализирован метод аппроксимации глобальной гистограммы (GHE). Основная идея метода GHE заключается в равномерном перераспределении интенсивности изображения во всем диапазоне уровней серого изображения.



Методы BBHE, DSIHE, RSIHE представлены в [15], BBHE (brightness-preserving bi-histogram Sharpening) делит гистограмму входного изображения на две части на основе средней яркости изображения, а затем выполняет повышение резкости для каждой части независимо. DSIHE (дуалистическое сглаживание гистограммы подизображений) аналогично BBHE, за исключением того, что порог сегментации гистограммы представляет собой среднее значение входного изображения. Он разбивается на две субгистограммы и к каждой применяется независимое сглаживание гистограммы. Метод рекурсивного сглаживания гистограммы суб_изображения (RSIHE) является обобщением DSIHE. Он делит гистограмму на множество подгистограмм, а не на две подгистограммы, как в BBHE и DSIHE.

Методы ММВБВНЕ, RMSHE представлены в [16], ММВБВНЕ (метод сглаживания бигистограммы минимальной средней ошибки яркости) обеспечивающий максимальное сохранение яркости. То есть осуществляет разделение по пороговому уровню, что дает минимальную абсолютную среднюю ошибку яркости. RMSHE (рекурсивное разделение гистограмм по среднему значению) предлагает рекурсивное разделение гистограмм на основе локального среднего значения.

[17] предложили метод RSWHE (рекурсивное сегментированное и взвешенное сглаживание гистограмм). Это комбинация BBHE и DSIHE, которая сохраняет яркость изображения и увеличивает контрастность. В [18] адаптивная гамма-коррекция с распределением веса AGCWD использует гибридную функцию преобразования гистограммы, которая сочетает в себе традиционную гамма-коррекцию и методы выравнивания гистограммы. В [19] предложен метод AGCCPF (адаптивная гамма-коррекция с сохраняющей цвет рамкой). Он использует двухэтапную обработку; изначально он увеличивает контрастность и яркость данного изображения, используя модифицированное распределение вероятностей пикселей яркости посредством гамма-коррекции. На втором этапе для восстановления цвета используется сохраняющая цвет рамка.

QBHE (приближение квантовой бигистограммы), предложенное Кимом [20], является модификацией BBHE. QBHE следует тем же процедурам, что и BBHE. Однако QBHE обеспечивает более простую аппаратную архитектуру, чем BBHE, поскольку он использует CDF квантованного изображения, для которого требуется меньше компонентов, таких как компараторы, счетчики и делители.

[21] представили анализ методов VUBONE и WTNE, а VUBONE (выравнивание опустошения корзины и выравнивания переполнения корзины) улучшает контрастность и динамический диапазон за счет перераспределения плотности пикселей, сохраняя при этом важные детали изображения. Он предоставляет дополнительные диапазоны, чтобы избежать установки экстремальных значений, что приводит к улучшению качества изображения. Метод WTNE (взвешенное пороговое выравнивание гистограммы) эффективно позволяет избежать артефактов чрезмерного усиления и насыщения. Механизм управления в WTNE удобен и плавен в основном за счет регулировки коэффициента мощности P . Предлагаемый метод WTNE обеспечивает хороший компромисс между двумя функциями, адаптируемостью к различным изображениям и простотой управления.



Поскольку изображение считается двумерной функцией, данное входное изображение обозначается $I_{org}(x, y)$. Критерий оценки контрастности изображения МСКТ обозначается оператором B . $I_{org}(x, y)$ действует на исходное изображение как некий метод повышения контрастности M . Результирующим выходным изображением является $I^c(x, y)$, а приведенные выше методы повышения контрастности определяются как операторы:

M_1 – GHE, M_2 – BBHE, M_3 – QBHE, M_4 – DSIHE, M_5 – MMBEBHE, M_6 – RMSHE, M_7 – BUBONE, M_8 – ВРНЕМЕ, M_9 – RSIHE, M_{10} – WTHE, M_{11} – RSWE, M_{12} – FHSABP, M_{13} – ВНЕPL, M_{14} – RLBHE, M_{15} – DCRGC, M_{16} – AGCWD, M_{17} – AGCCPF.

Критерии оценки контрастности определяются следующим образом: B_1 – RMS, B_2 – Haralik, B_3 – GCF.

Целью данной исследовательской работы является определение оптимальной пары метода контрастного усиления и критерия оценки контрастности. Алгоритм работы, проводимой в рамках вычислительного эксперимента исследовательской работы, следующий:

1. Загрузка изображения МСКТ: $I_{org}(x, y)$
2. Вычисление $B_i[I_{org}(x, y)], i = \overline{1,3}$
3. Влияние методов повышения контраста $I_j^c = M_j[I_{org}(x, y)], j = \overline{1,17}$ на исходное изображение. Вычисление $B_i[I_j^c(x, y)], i = \overline{1,3}, j = \overline{1,17}$.
4. Если $B_i[I_{org}(x, y)] < B_i[I_j^c(x, y)], i = \overline{1,3}, j = \overline{1,17}$, то «Метод повышения контрастности изображения хороший», иначе «Метод повышения контрастности изображения плохой»
5. $\max\{B_i[I_j^c(x, y)]\} = B_{i^*}[I_{j^n}^c(x, y)], i = \overline{1,3}, j = \overline{1,17}$
6. Оптимальной парой будет $\{B_{i^*}, M_{j^n}\}$.

РЕЗУЛЬТАТ И ОБСУЖДЕНИЕ. В данном исследовании для вычислительных экспериментов использовались 124 образца изображений из базы изображений МСКТ с низкой контрастностью. К изображениям МСКТ с низким контрастом были применены методы повышения контрастности, в результате чего были созданы результирующие изображения.

Полученные изображения после применения различных методов повышения контрастности к базовым изображениям представлены в таблице 1.

Таблица-1

Примеры полученных изображений

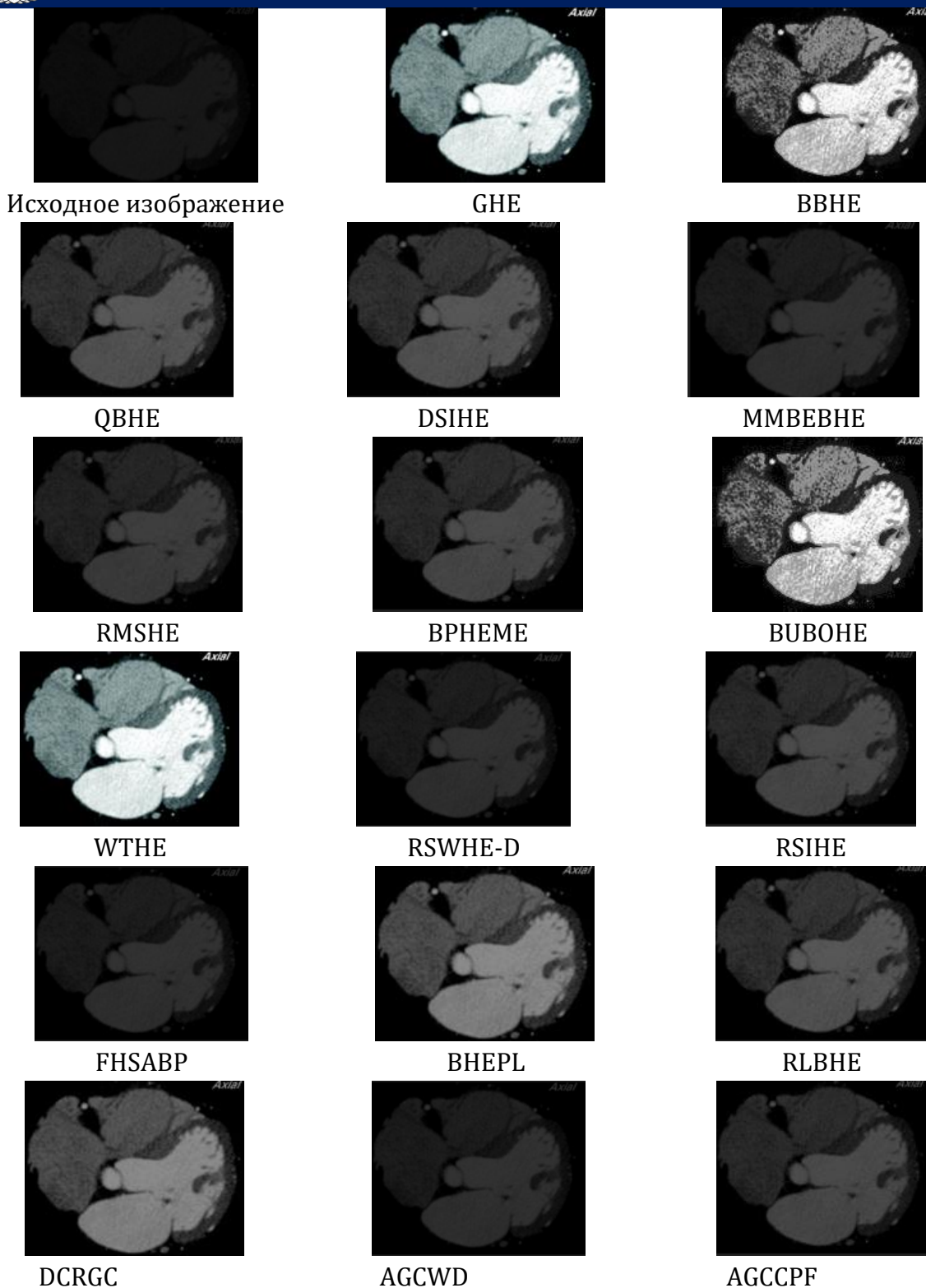


Таблица-2

Средние значения полученных изображений по критериям оценки контрастности

Название метода повышения контрастности	Критерии оценки контрастности		
	RMS	Haralik	GCF
Оригинал	11.13979	10.81925	0.392189
GHE	66.71657	528.9301	3.950353



BBHE	67.22247	729.657	3.5182
QBHE	69.66078	758.0922	3.588001
DSIHE	68.50849	777.2364	3.658757
MMBEBHE	28.46241	210.3957	1.180014
RMSHE	48.71722	566.507	2.267315
BUBOHE	66.06884	518.9263	3.921413
BPHEME	18.3739	52.51604	0.83484
RSIHE	51.61899	585.9748	2.365991
WTHE	74.11329	930.6438	4.986598
RSWHE	14.45466	19.03672	0.516418
FHSABP	12.47115	19.77133	0.577279
BHEPL	47.22145	52.51604	2.359744
RLBHE	39.75974	221.7251	1.804028
DCRGC	22.14445	58.02073	1.094255
AGCWD	11.47077	15.60874	0.492068
AGCCPF	23.82809	49.19475	0.968193

Значения критериев RMS, Haralik и GCF в таблице 2 были нормализованы к интервалу $[0,1]$ для определения пары метода контрастного усиления и критериев оценки контрастности.

ВЫВОДЫ. В данном исследовании были изучены 17 методов повышения контрастности изображений МСКТ, а полученные изображения оценивались с использованием критериев RMS, Haralik и GCF, которые являются критериями оценки контрастности. По результатам расчетного эксперимента можно сделать следующие выводы:

- M_{10} , то есть метод WTHE был определен как наиболее приемлемый метод повышения контрастности с использованием критериев оценки, выбранных на основе результатов анализа литературы и вычислительных экспериментов;
- по результатам вычислительного эксперимента было установлено, что наихудшим методом был определен метод M_{16} , т.е. метод повышения контрастности AGCWD. Кроме того, можно сказать, что при применении этого метода к базе изображений МСКТ значение критерия RMS результирующих изображений

$$B_1[I_{org}(x, y)] < B_1[I_{16}^c(x, y)];$$

- выяснилось, что 58 не выполнили условие. То есть было установлено, что оценка результата метода контрастного усиления AGCWD по критерию RMS не дает хороших результатов;
- в результате эксперимента-исследования наиболее подходящим методом контрастного усиления и оценки контрастности оказался $\{B_1, M_{10}\}, \{B_2, M_{10}\}, \{B_3, M_{10}\}$.



References:

1. Zhang, Peipei. (2022). Image Enhancement Method Based on Deep Learning. *Mathematical Problems in Engineering*. 2022. 1-9. 10.1155/2022/6797367.
2. Raj P, Nagpal S (2016) A Novel Method for Contrast Enhancement with Colour Preservation. *Adv Robot Autom* 5: 144. doi: 10.4172/2168-9695.1000144
3. Wu, Xiaomeng & Kawanishi, Takahito & Kashino, Kunio. (2020). Reflectance-Guided, Contrast-Accumulated Histogram Equalization. 2498-2502. 10.1109/ICASSP40776.2020.9054004.
4. M. Narzillo, A. Bakhtiyor, K. Shukrullo, O. Bakhodirjon and A. Gulbahor, "Peculiarities of face detection and recognition," 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670086.
5. N. S. Mamatov, B. A. Abdukadirov, A. N. Samijonov and B. N. Samijonov, "Method for false attack detection in face identification system," 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670153.
6. Narzillo, M., Abdurashid, S., Nilufar, N., Musokhon, D., & Erkin, R. (2020). Definition of line formula on images. *Journal of Physics: Conference Series*, 1441(1), 012150. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1441/1/012150>
7. Niyozmatova, N. A., Mamatov, N., Samijonov, A., Abdukadirov, B., & Abdullayeva, B. M. (2020). Algorithm for determining the coefficients of the interpolation polynomial of Newton with separated differences. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 862(4), 042019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/4/042019>
8. Mamatov, N. S., Niyozmatova, N. A., Jalelova, M. M., Samijonov, A. N., and Tojiboyeva, Sh. X., "Methods for improving contrast of agricultural images," *E3S Web Conf.*, vol. 401, p. 4020, 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202340104020
9. P. J. Bex and W. Makous, "Spatial frequency, phase, and the contrast of natural images," *J. Opt. Soc. Amer. A, Opt. Image Sci.*, vol. 19, no. 6, pp. 1096–1106, 2002.
10. Ionescu, Catalin & Fosalau, Cristian & Petrisor, Daniel. (2014). A study of changes in image contrast with various algorithms. *EPE 2014 - Proceedings of the 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*. 100-104. 10.1109/ICEPE.2014.6969876.
11. Oak, Pratik. "Contrast Enhancement of brain MRI images using histogram based techniques." (2013). *Medicine, Computer Science*
12. Beghdadi, Azeddine & Qureshi, Muhammad & Amirshahi, Seyed Ali & Chetouani, Aladine & Pedersen, Marius. (2020). A Critical Analysis on Perceptual Contrast and Its Use in Visual Information Analysis and Processing. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2020.3019350.
13. Gade, P. & Walsh, P.. (2013). Use of GCF aesthetic measure in the evolution of landscape designs. *IJCCI 2013 - Proceedings of the 5th International Joint Conference on Computational Intelligence*. 83-90.
14. Gowthami R., K.Santhi, "Contrast Enhancement Using Bi-Histogram Equalization With Brightness Perservation", *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, Vol.4, Issue5,1010-1014, May 2013.



15. Sultan, Duha & Yonis, Alhan. (2019). Contrast Enhancement in Gray Level Images. JOURNAL OF EDUCATION AND SCIENCE. 28. 259-281. 10.33899/edusj.2019.161214.
16. Shah, Ghous & Khan, Amjad & Shah, Asghar & Raza, Mudassar & Sharif, Muhammad. (2015). A review on image contrast enhancement techniques using histogram equalization. Science International. 27. 1297-1302.
17. M Kim, MG Chung, Recursively separated and weighted histogram equalization for brightness preservation and contrast enhancement. Consum. Electron. IEEE Trans. 54(3), 1389-1397 (2008)
18. S-C Huang, F-C Cheng, Y-S Chiu, Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution. Image Process. IEEE Trans. 22(3), 1032-1041 (2013)
19. Gupta, Bhupendra, and Mayank Tiwari. Minimum mean brightness error contrast enhancement of color images using adaptive gamma correction with color preserving framework. Optik 127, no. 4 (2016): 1671-1676.
20. Kim, Yeong-Taeg. Quantized bi-histogram equalization. In 1997 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 4, pp. 2797-2800. IEEE, 1997.
21. Wang, Qing, and Rabab K. Ward. Fast image/video contrast enhancement based on weighted thresholded histogram equalization. IEEE transactions on Consumer Electronics 53, no. 2 (2007): 757-764.