



КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА МУЛЬТИСПИРАЛЬНОМ КОМПЬЮТЕРНОМ ТОМОГРАФЕ

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

Жалелова Малика Моятдин кизи

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

Тожибоева Шахзода Холдоржон кизи

Наманганский государственный университет, докторант
tojiboyevashaxzoda25@gmail.com

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.8370263>

ARTICLE INFO

Received: 17th September 2023

Accepted: 21th September 2023

Online: 22th September 2023

KEY WORDS

Цифровое изображение, мультиспиральная компьютерная томография, метод, шум, эталонная оценка, SSIM, MSE, NCC.

ABSTRACT

Оценка качества изображений, особенно медицинских изображений, полученных с помощью мультиспирального компьютерного томографа чрезвычайно важна в области медицинской визуализации. На качество медицинского изображения влияют различные факторы, в том числе характеристики устройства медицинской визуализации и используемый протокол визуализации. Кроме того, наличие шумов, артефактов и других факторов, снижающих качество изображения, может существенно повлиять на общее качество и диагностическую ценность получаемых изображений. По этой причине чрезвычайно важно определить надежные критерии оценки качества медицинских изображений, получаемых с помощью мультиспирального компьютерного томографа. В этой исследовательской работе рассматриваются несколько эталонных критериев оценки качества изображения. Применяя эти эталонные критерии оценки, можно оценить эффективность методов снижения шума изображения. Это, в свою очередь, обеспечивает оптимальную триаду критериев оценки шума, метода и эталона.



ВВЕДЕНИЕ. Медицинские изображения играют важную роль в здравоохранении, предоставляя ценную информацию о внутренних структурах человеческого тела, помогая медицинским работникам диагностировать и лечить пациентов. Среди различных инструментов медицинской визуализации мультиспиральные компьютерные томографы (МСКТ) стали мощным инструментом, обеспечивающим подробные изображения поперечного сечения с высоким пространственным разрешением. Это, в свою очередь, показывает, что вопрос точной оценки качества изображений важен при автоматизации обработки [1-5] МСКТ-изображений.

На качество медицинских изображений МСКТ может повлиять ряд факторов. Прежде всего, решающими факторами при определении качества изображения являются технические характеристики сканера, такие как характеристики детектора, пространственное разрешение и уровень шума. Кроме того, на конечное качество изображения могут влиять такие факторы, как протокол визуализации, используемый во время сканирования, включая введение контраста, параметры сканирования и положение пациента. При этом шум является одним из основных элементов, негативно влияющих на качество изображения [6]. Из-за различных факторов к изображению добавляются шумы и создается зашумленное изображение. Этими типами шума могут быть гауссовский [7-9], соль и перец, спекл [10], пуассоновский [11], равномерный [12], ризанский [13] и Рейли [14]. Разработаны различные методы для снижения шума в зашумленном изображении: средний [15] Винера [16], Гаусса [17], медианный [18], анизотропной диффузии [19], билатерал [20], геометрический [21], БМЗД [22], НЛМ [23], ТВ, Байес, Вису-Шри Линк [24]. Оценивая качество изображения после применения этих методов фильтрации, актуальным является определение наиболее подходящего метода фильтрации по типу шума. Это в свою очередь приводит к вопросу определения наиболее приемлемого критерия, правильно оценивающего качество изображения.

Для решения задачи общей оценки качества изображения необходимо найти количественные оценки, наиболее подходящие для субъективных. Объективная оценка качества изображения МСКТ заключается в разработке количественных показателей, позволяющих автоматически прогнозировать качество получаемого изображения. Объективные показатели качества изображения можно классифицировать на основе наличия исходного (неискаженного) изображения, с которым можно сравнить искаженное изображение. Большинство существующих подходов являются известными эталонами, то есть предполагается, что исходное эталонное изображение известно. Когда эталонный тест недоступен для практического применения, желателен подход к оценке качества без эталонных показателей.

Данная исследовательская работа направлена на оценку качества изображения МСКТ с помощью эталона. С такими критериями удобно работать, поскольку их расчет прост и математически удобен в контексте оптимизации, они имеют значительно более высокую точность, чем безэталонных методов оценки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В данной исследовательской работе представлены критерии сравнительной оценки.



SSIM, PSNR и MSE известны всем специалистам по обработке изображений как наиболее широко используемые критерии оценки качества изображения.

Среднеквадратическая ошибка (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_0(i, j) - I_1(i, j))^2} \quad (1)$$

здесь $M \times N$ - размер изображения, $I_0(i, j)$ и $I_1(i, j)$ яркость в (i, j) месте эталонного и искаженного изображения соответственно.

Относительная средняя спектральная ошибка (RASE):

$$RASE = \frac{100}{P} \sqrt{\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q RMSE^2(B_i)} \quad (2)$$

здесь P - среднее значение интенсивностей пикселей эталонного изображения, Q - размер изображения. (B_i) - разница между эталонным и искаженным изображением.

Относительная безразмерная глобальная ошибка синтеза (ERGAS) [108]:

$$ERGAS = 100 \frac{GSD_{Pan}}{GSD_{MS}} \sqrt{\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \left[\frac{RMSE(B_i)^2}{P_i^2} \right]} \quad (3)$$

здесь Q - размер изображения, P_i - среднее значение исходных изображений, B_i - разница между изображениями, GSD_{Pan} и GSD_{MS} пространственные размеры исходного эталонного и искаженного изображений соответственно.

Среднее структурное сходство (MSSIM):

$$MSSIM = \sum_{j=1}^M W_j \cdot SSIM_j \quad (4)$$

здесь M - количество образцов в карте качества, $SSIM_j$ - значение индекса SSIM образца j . W_j - это вес, присвоенный j - образцу, который должен удовлетворять следующему условию:

$$\sum_{j=1}^M W_j = 1 \quad (5)$$

VIFp (Visual Information Fidelity with perceptual image quality) работает путем сравнения двух изображений (обычно эталонного изображения и искаженного изображения) и расчета показателя сходства, отражающего качество восприятия. Чем выше показатель VIFp, тем ближе искаженное изображение к эталонному с точки зрения визуальной четкости и качества восприятия.

NCC (Normalized cross correlation):

$$NCC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_0(i, j) \cdot I_1(i, j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_0(i, j))^2} \quad (6)$$



здесь $I_0(i, j)$ и $I_1(i, j)$ яркость в точке (i, j) эталонного и искаженного изображения соответственно.

NAE (Normalized absolute error):

$$NAE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_0(i, j) \cdot I_1(i, j)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |I_0(i, j)|} \quad (7)$$

AD (Average difference):

$$AD = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_0(i, j) - I_1(i, j)) \quad (8)$$

Целью данного исследования является сравнение различных методов фильтрации для эффективного снижения каждого типа шума. Здесь каждый тип шума рассматривается отдельно, и цель состоит в том, чтобы разработать правило выбора эффективного метода фильтрации на основе критерия оценки с подходящим эталоном для каждого конкретного типа шума.

РЕЗУЛЬТАТ И ОБСУЖДЕНИЕ. В вычислительном эксперименте использовали набор из 43 таких медицинских изображений, взяв в качестве медицинских изображений аксиальные срезы исследования грудной клетки человека на мультиспиральном компьютерном томографе. Зашумленное изображение было создано путем добавления к изображению 7 типов шума: Гауссова, Пуассона, спекла, соли и перца, Рисианского, Равномерного, Рейли. Производительность 12 методов фильтрации для каждого типа шума оценивалась с помощью значений SSIM, MSE, PSNR, RMSE, ERGAS, MSSIM, RASE, VIFp, AD, NAE, NCC, которые являются критериями эталонной оценки. Результаты для одного образца изображения в данном вычислительном эксперименте представлены в следующих таблицах (Таблицы 1-7).

Таблица-1

Значения критериев оценки эталона для изображения с добавленным гауссовским шумом

Фильтры	Критерии оценки эталона										
	SSIM	MS E	PSN R	RMS E	ERGA S	MSSI M	RAS E	VIFp	AD	NAE	NCC
Средний	0.369	211	24.9	0.087	8633	0.688	1E-11	0.079	121.7	0.044	0.984
Винер	0.370	203	25.1	0.086	8632	0.688	1E-11	0.080	121.8	0.044	0.984
Гаусс	0.338	237	24.4	0.093	9112	0.658	1E-11	0.079	123.2	0.047	0.981
Медианный	0.277	261	24.0	0.097	7798	0.609	1E-11	0.069	122.0	0.050	0.978
Анизотропная диффузия	0.654	101	28.1	0.060	6871	0.856	8E-12	0.122	111.9	0.031	0.994
Билатерал	0.560	103	28.0	0.061	6482	0.869	8E-	0.107	119.	0.032	0.993



							12		6		
Геометрически й	0.416	486	21.3	0.133	7190	0.724	2E-11	0.077	49.3	0.053	0.974
БМЗД	0.714	71	29.6	0.050	6131	0.903	7E-12	0.137	106.9	0.027	0.997
НЛМ	0.516	141	26.6	0.071	7022	0.818	1E-11	0.096	116.8	0.037	0.990
ТВ	0.594	123	27.2	0.067	7422	0.830	9E-12	0.109	187.7	0.035	0.993
Байес	0.668	94	28.4	0.058	6554	0.884	8E-12	0.095	105.2	0.031	0.995
Вису-Шри Линк	0.656	112	27.6	0.064	7147	0.843	9E-12	0.055	115.2	0.034	0.994

Таблица-2

Значения критериев оценки эталона для изображения с добавленным шумом соли и перца

Фильтры	Критерии оценки эталона										
	SSIM	MSE	PSNR	RMS E	ERGA S	MSSIM	RAS E	VIFp	AD	NAE	NCC
Средний	0.638	86	28.8	0.056	3657	0.849	7E-12	0.171	107.5	0.020	0.993
Винер	0.638	77	29.3	0.053	3657	0.849	7E-12	0.171	107.5	0.020	0.994
Гаусс	0.656	87	28.7	0.056	3866	0.837	8E-12	0.186	105.8	0.018	0.993
Медианный	0.847	18	35.6	0.025	1045	0.982	3E-12	0.338	105.9	0.012	0.999
Анизотропная диффузия	0.733	88	28.7	0.057	2399	0.907	8E-12	0.180	105.8	0.019	0.993
Билатеральный	0.617	110	27.7	0.063	4918	0.868	8E-12	0.142	113.2	0.018	0.991
Геометрический	0.349	5232	10.9	0.435	8642	0.283	6E-11	0.034	118.4	0.124	0.690
БМЗД	0.635	494	21.2	0.134	13445	0.839	2E-11	0.148	23.9	0.060	0.977
НЛМ	0.520	468	21.4	0.130	8864	0.743	2E-11	0.122	91.8	0.018	0.962
ТВ	0.552	169	25.8	0.078	5719	0.822	1E-11	0.118	100.5	0.019	0.986
Байес	0.565	453	21.6	0.128	8671	0.758	2E-11	0.150	50.7	0.015	0.963
Вису-Шри Линк	0.488	454	21.6	0.128	10951	0.753	2E-11	0.099	38.4	0.038	0.966

Таблица-3

Значения критериев оценки эталона для изображения с добавленным спекл-шумом



Фильтры	Критерии оценки эталона										
	SSIM	MSE	PSNR	RMS E	ERGAS	MSSIM	RASE	VIFp	AD	NAE	NCC
Средний	0.528	6009	10.3	0.466	11743	0.797	6E-11	0.104	68.4	0.267	0.987
Винер	0.528	6007	10.3	0.466	11743	0.797	6E-11	0.104	68.4	0.267	0.988
Гаусс	0.521	6008	10.3	0.466	11725	0.786	6E-11	0.108	68.4	0.267	0.985
Медианный	0.484	6029	10.3	0.467	11776	0.772	6E-11	0.092	68.5	0.267	0.983
Анизотропная диффузия	0.618	5994	10.4	0.466	11737	0.846	6E-11	0.120	68.6	0.268	0.995
Билатеральный	0.616	5995	10.4	0.466	11735	0.845	6E-11	0.108	68.7	0.268	0.996
Геометрический	0.582	6323	10.1	0.478	12046	0.823	6E-11	0.109	70.0	0.274	0.989
БМЗД	0.747	192	25.3	0.083	2818	0.913	1E-11	0.155	22.7	0.046	0.997
НЛМ	0.437	6145	10.2	0.471	12078	0.782	6E-11	0.103	68.9	0.269	0.969
ТВ	0.715	1052	17.9	0.195	4992	0.883	3E-11	0.153	29.9	0.110	0.996
Байес	0.477	4055	12.1	0.383	9779	0.811	5E-11	0.090	56.2	0.218	0.982
Вису-Шри Линк	0.607	1896	15.4	0.262	6629	0.836	4E-11	0.061	0.148	0.038	0.993

Таблица-4

Значения критериев оценки эталона для изображения с добавленным шумом Пуассона

Фильтры	Критерии оценки эталона										
	SSIM	MS E	PSNR	RMS E	ERGAS	MSSIM	RASE	VIFp	AD	NAE	NCC
Средний	0.749	48	31.3	0.042	1445	0.933	5.6E-12	0.225	112.2	0.017	0.9960
Винер	0.750	39	32.2	0.038	1444	0.933	5.0E-12	0.225	112.2	0.017	0.9967
Гаусс	0.766	40	32.1	0.038	1431	0.929	5.1E-12	0.248	113.2	0.017	0.9967
Медианный	0.699	42	31.9	0.039	1641	0.913	5.2E-12	0.203	113.8	0.019	0.9965
Анизотропная диффузия	0.774	38	32.3	0.037	1293	0.947	5.0E-12	0.211	109.5	0.016	0.9969
Билатеральный	0.767	28	33.6	0.032	1323	0.935	4.3E-12	0.178	109.8	0.015	0.9977
Геометрический	0.75	94	28.4	0.05	1934	0.939	7.8E-12	0.21	95.2	0.01	0.992



ий	8			8			-12	7		7	3
БМЗД	0.76 5	33	33.0	0.03 4	1602	0.938	4.6E -12	0.18 4	68.7	0.01 7	0.997 8
НЛМ	0.75 0	34	32.8	0.03 5	1394	0.941	4.7E -12	0.23 6	99.6	0.01 7	0.997 2
ТВ	0.79 1	27	33.9	0.03 1	1297	0.949	4.2E -12	0.22 7	134. 7	0.01 5	0.998 0
Байес	0.73 9	43	31.8	0.04 0	1531	0.940	5.3E -12	0.20 9	71.7	0.01 9	0.997 1
Вису-Шри Линк	0.73 8	52	30.9	0.04 3	1745	0.912	5.8E -12	0.11 9	65.7	0.02 2	0.996 9

Таблица-5

Значения критериев оценки эталона для изображения с добавленным равномерным шумом

Фильтры	Критерии оценки эталона										
	SSIM	MS E	PSN R	RMS E	ERGA S	MSSI M	RAS E	VIFp	AD	NAE	NCC
Средний	0.59 9	880	18.7	0.17 8	1863 4	0.871	2.4E -11	0.15 3	226. 9	0.11 0	0.992 4
Винер	0.59 9	867	18.7	0.17 7	1863 1	0.871	2.4E -11	0.15 3	226. 9	0.10 9	0.993 1
Гаусс	0.60 1	878	18.7	0.17 8	1872 2	0.860	2.4E -11	0.16 1	226. 9	0.11 0	0.992 6
Медианный	0.48 5	947	18.4	0.18 5	1917 3	0.798	2.5E -11	0.11 1	226. 1	0.11 3	0.990 3
Анизотропная диффузия	0.66 6	853	18.8	0.17 6	1839 9	0.912	2.4E -11	0.17 2	226. 8	0.10 9	0.994 0
Билатеральны й	0.67 0	843	18.9	0.17 5	1838 1	0.908	2.3E -11	0.16 0	227. 0	0.10 9	0.995 3
Геометрическ ий	0.65 6	801	19.1	0.17 0	1600 2	0.898	2.3E -11	0.16 8	227. 9	0.10 4	0.989 9
БМЗД	0.67 2	54 0	20.8	0.14 0	1650 1	0.911	1.9E -11	0.16 0	226. 7	0.08 4	0.995 4
НЛМ	0.61 6	837	18.9	0.17 4	1838 2	0.892	2.3E -11	0.15 7	227. 3	0.10 7	0.993 6
ТВ	0.68 3	817	19.0	0.17 2	1810 3	0.911	2.3E -11	0.18 6	227. 4	0.10 7	0.995 4
Байес	0.64 3	665	19.9	0.15 5	1738 6	0.903	2.1E -11	0.14 6	228. 2	0.09 4	0.994 6
Вису-Шри Линк	0.64 0	634	20.1	0.15 1	1730 6	0.873	2.0E -11	0.08 9	226. 6	0.09 1	0.994 1

Таблица-6

Значения критериев оценки эталона для изображения с добавленным шумом рисианским



Фильтры	Критерии оценки эталона										
	SSIM	MSE	PSNR	RMS E	ERGAS	MSSIM	RASE	VIFp	AD	NAE	NCC
Средний	0.270	1599	16.1	0.240	13028	0.505	3.2E-11	0.064	115.0	0.105	0.894
Винер	0.271	1592	16.1	0.240	13026	0.505	3.2E-11	0.064	115.0	0.105	0.895
Гаусс	0.249	1679	15.9	0.246	13366	0.483	3.3E-11	0.064	116.3	0.107	0.883
Медианный	0.256	1159	17.5	0.205	11463	0.534	2.7E-11	0.061	116.1	0.076	0.905
Анизотропная диффузия	0.526	1344	16.8	0.220	11842	0.651	3.0E-11	0.094	106.4	0.097	0.932
Билатеральный	0.354	2445	14.2	0.297	12471	0.601	4.0E-11	0.085	112.5	0.091	0.796
Геометрический	0.263	7423	9.4	0.518	12306	0.352	6.9E-11	0.059	92.8	0.205	0.513
БМЗД	0.481	2451	14.2	0.298	11706	0.668	4.0E-11	0.098	74.7	0.125	0.852
НЛМ	0.361	3041	13.3	0.332	12952	0.571	4.4E-11	0.088	118.4	0.097	0.748
ТВ	0.339	1748	15.7	0.251	14342	0.554	3.4E-11	0.086	191.8	0.098	0.843
Байес	0.227	2787	13.7	0.317	13301	0.552	4.2E-11	0.056	99.2	0.123	0.790
Вису-Шри Линк	0.441	1485	16.4	0.232	12310	0.665	3.1E-11	0.036	105.1	0.103	0.920

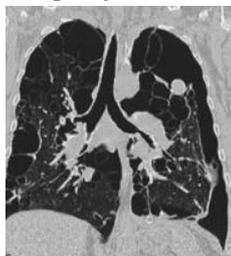
Таблица-7

Значения критериев оценки эталона для изображения с добавленным шумом Рэля

Фильтры	Критерии оценки эталона										
	SSIM	MSE	PSNR	RMS E	ERGAS	MSSIM	RASE	VIFp	AD	NAE	NCC
Средний	0.744	549	20.7	0.141	4850	0.877	1.9E-11	0.291	225.6	0.041	0.954
Винер	0.744	541	20.8	0.140	4849	0.877	1.9E-11	0.291	225.6	0.041	0.955
Гаусс	0.782	559	20.7	0.142	4845	0.879	1.9E-11	0.355	231.4	0.041	0.954
Медианный	0.779	642	20.1	0.152	4713	0.917	2.0E-11	0.290	230.2	0.037	0.949
Анизотропная диффузия	0.717	480	21.3	0.132	4796	0.870	1.8E-11	0.216	214.4	0.040	0.960
Билатеральный	0.670	906	18.6	0.181	5187	0.839	2.4E-11	0.161	223.3	0.043	0.926
Геометрически	0.69	290	13.5	0.32	5727	0.794	4.3E-11	0.23	223.	0.07	0.76

й	1	7		4			-11	5	8	6	9
БМЗД	0.69 7	113 2	17.6	0.20 2	4905	0.858	2.7E -11	0.15 7	65.0	0.08 6	0.94 7
НЛМ	0.77 9	955	18.3	0.18 6	4803	0.870	2.5E -11	0.33 9	236. 4	0.04 0	0.92 2
ТВ	0.68 8	791	19.2	0.16 9	5687	0.849	2.3E -11	0.20 1	235. 8	0.05 8	0.94 2
Байес	0.79 1	942	18.4	0.18 5	5010	0.875	2.5E -11	0.41 1	236. 9	0.03 8	0.92 3
Вису-Шри Линк	0.67 9	549	18.9	0.17 5	4378	0.835	2.3E -11	0.14 8	102. 5	0.03 7	0.93 0

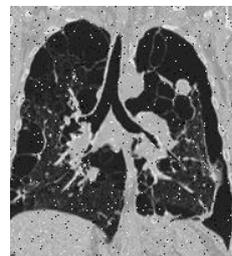
Методы фильтрации, оказавшиеся наиболее эффективными для каждого типа шума, показаны на рисунке 1 ниже:



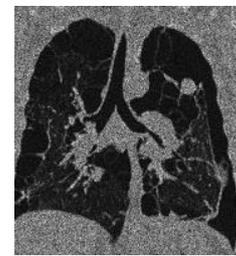
Исходное изображение



Изображение гауссовского шума



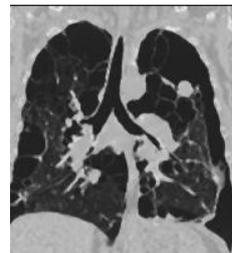
Шумное изображение с солью и перцем



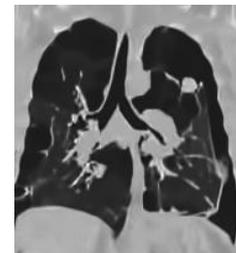
Изображение со спекл-шумом



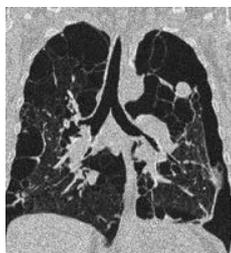
БМЗД



Медианный



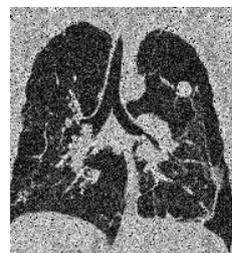
БМЗД



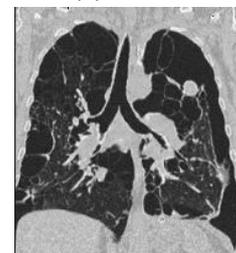
Пуассоновское шумное изображение



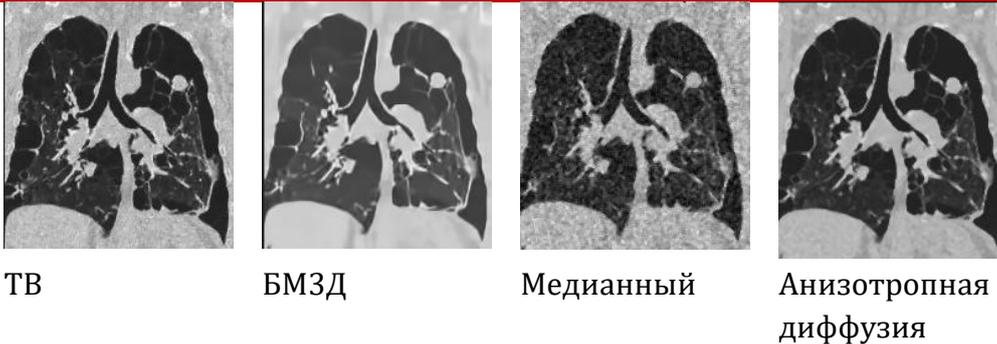
Равномерное шумное изображение



Шумный образ Рисиана



Изображение шума Рэля



ТВ

БМЗД

Медианный

Анизотропная
диффузия

Рисунок 1. Изображения, полученные в результате метода фильтрации, подходящего для каждого типа шума.

ВЫВОДЫ. Для проверки различных методов шумоподавления в данной исследовательской работе к изображению МСКТ отдельно добавлялись различные типы шума и качество полученного изображения оценивалось по критериям SSIM, MSE, PSNR, RMSE, ERGAS, MSSIM, RASE, VIFp, AD, NAE, NCC.

По результатам расчетного эксперимента в качестве вывода были приняты следующие правила:

- БМЗД-фильтр гауссовского шума по критериям MSE, PSNR, MSSIM, NCC;
- Медианный фильтр по критерию VIFp для шума соли и перца;
- БМЗД-фильтр спекл-шума по критериям MSE, PSNR, RMSE, ERGAS, MSSIM, RASE, VIFp, AD, NAE;
- БМЗД-фильтр по критерию NCC для равномерного шума;
- SSIM, MSE, PSNR, RMSE, MSSIM, RASE, NAE, ТВ-фильтр критерия NCC для пуассоновского шума;
- MSE, PSNR, RMSE, RASE, критерий NAE медианный фильтр для шума Рисиана;
- Критерии MSE, PSNR, RMSE, RASE, NCC для шума Рэля пришли к выводу, что анизотропный диффузионный фильтр дает хорошие результаты.

References:

1. 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.
2. 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.
3. 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>
4. 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>
5. 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
 6. Wang, Zhou & Bovik, Alan & Sheikh, Hamid & Simoncelli, Eero. (2004). Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. Image Processing, IEEE Transactions on. 13. 600 - 612. 10.1109/TIP.2003.819861.
 7. M. Gupta, H. Taneja, and L. Chand, "Performance enhancement and analysis of filters in ultrasound image denoising," Procedia Computer Science, vol. 132, pp. 643-652, 2018.
 8. B. Goyall, A. Dogra¹, S. Agrawal¹, and B. S. Sohi, "Noise issues prevailing in various types of medical images," Biomedical & Pharmacology Journal, vol. 11, pp. 1227-1237, September 2018.
 9. M. H. Ali, "MRI medical image denoising by fundamental filters," SCIREA Journal of Computer, vol. 2, pp. 12-26, 2017.
 10. Priyanka Kamboj and Varsha Rani, "A Brief Study of Various Noise Model and filtering Techniques," Journal of Global Research in Computer Science, Volume 4, No 4, pp.166-171, April 2013.
 11. Thanh, Dang & Prasath, Surya & Le Minh, Hieu. (2019). A Review on CT and X-Ray Images Denoising Methods. Informatica. 43. 151-159. 10.31449/inf.v43i2.2179.
 12. J. S. Lee, "Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 2, pp. 165-168, March 1980.
 13. Perumal, B., Sindhiya, R., y Pallikonda, M. (2021). Extermination methods of image noises: a review. 3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme, Edición Especial, (noviembre, 2021), 243-259. <https://doi.org/10.17993/3ctecno.2021.specialissue8.243-259>
 14. Nik, M.M.Pura & Se, S.V.Hal. (2018). A Review Paper: Study of Various Types of Noises in Digital Images. International Journal of Engineering Trends and Technology. 57. 40-43. 10.14445/22315381/IJETT-V57P208.
 15. Bindhya, P & Jegan, Chitra & Raj, V. (2020). A Review on Methods of Enhancement And Denoising in Retinal Fundus Images. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCES AND ENGINEERING. 8. 1-9. 10.26438/ijcse/v8i12.19.
 16. Muna Khalid Jasim, RehanHamdullah Najm, Emran Hassn Kanan, Hamza Esam Alfaar, Mohammed Otair (2019). Image Noise Removal Techniques: A Comparative Analysis. International Journal of Science and Applied Information Technology. 10.30534/ijsait/2019/01862019
 17. Bharati, Subrato & Khan, Tanvir & Podder, Prajoy & Hung, Nguyen. (2020). A Comparative Analysis of Image Denoising Problem: Noise Models, Denoising Filters and Applications. 10.1007/978-3-030-5588_3.
 18. Maity, Alenrex & Chatterjee, Rishav. (2018). Impulsive Noise in Images: A Brief Review. Computer Vision Graphics and Image Processing. Vol 4. 6-15. 10.19101/TIPCV.2017.39025.
 19. Garg, Gaurav & Juneja, Mamta. (2019). A survey of denoising techniques for multi-parametric prostate MRI. Multimedia Tools and Applications. 78. 10.1007/s11042-018-6487-2.



20. Bhonsle D, C.V., Sinha GR: 'Medical image denoising using bilateral filter', Int J Image Gr Signal Process 4, 2012, pp. 36-43
21. Uk, Ijeacs. (2017). Performance Assessment of Several Filters for Removing Salt and Pepper Noise, Gaussian Noise, Rayleigh Noise and Uniform Noise. International Journal of Engineering and Applied Computer Science (IJEACS). 02. 176-180. 10.24032/ijeacs/0206/01.
22. Ikhsan, Mohammad. (2021). Comparative Analysis of Different Algorithms for Image Denoising. 10.13140/RG.2.2.29939.14883.
23. Perumal, B., Sindhiya, R., y Pallikonda, M. (2021). Extermination methods of image noises: a review. 3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme, Edición Especial, (noviembre, 2021), 243-259. <https://doi.org/10.17993/3ctecno.2021.specialissue8.243-259>
24. Kaur, Gurjinder & Garg, Meenu & Gupta, Sheifali & Gupta, Rupesh. (2021). Denoising of images using Thresholding Based on Wavelet Transform Technique. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1022. 012031. 10.1088/1757-899X/1022/1/012031.