

ISSN (Print) 2616-7263
ISSN (Online) 2663-1261

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series

Серия **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

№1(130)/2020

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

*Бас редакторы Мерзадинова Г.Т.
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

*Бас редактордың орынбасары Жусупбеков А.Ж.
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

*Бас редактордың орынбасары Тогизбаева Б.Б.
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

*Бас редактордың орынбасары Сарсембаев Б.К.
т.ғ.к., доцент, Назарбаев университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

Редакция алқасы

Акира Хасегава	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
Акитоши Мочизуки	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
Базарбаев Д.О.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Байдабеков А.К.	т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
Жардемов Б.Б.	т.ғ.д., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Жумагулов М.Г.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Йошинори Ивасаки	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
Калякин В.Н.	проф., Делавэр Университеті, Ньюарк, АҚШ
Тадатсугу Танака	проф., Токио Университеті, Токия, Жапония
Тулбекова А.С.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Хое Линг	проф. Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
Утепов Е.Б.	PhD, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Чекаева Р.У.	а.к., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Юн Чул Шин	проф., Инчئون ұлттық университеті, Инчئون, Оңтүстік Корея

*Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-428). E-mail: vest_techsci@enu.kz*

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

Меншіктенуші: ҚР БжҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.

№16991 -ж тіркеу қуәлігімен тіркелген

Басуға 30.03.2020ж. қол қойылды.

Тиражы: 25 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі 12/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-428). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Editor-in-Chief **Gulnara Merzadinova**

Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Deputy Editor-in-Chief **Askar Zhussupbekov**

Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Deputy Editor-in-Chief **Baglan Togizbayeva**

Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Deputy Editor-in-Chief **Bayandy Sarsembayev**

Assoc. Prof., Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Editorial Board

Akira Hasegawa	Prof., Hachinohe Institute of Thechnology, Hachinohe, Japan
Akitoshi Mochizuki	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
Daniyar Bazarbayev	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Auez Baydabekov	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Rahima Chekaeva	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Der Wen Chang	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
Eun Chul Shin	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea
Hoe Ling	Prof., Columbia University, New York, USA
Viktor Kaliakin	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
Zhanbolat Shakhmov	Assoc.Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Tadatsugu Tanaka	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
Assel Tulebekova	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Yelbek Uteпов	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Yoshinori Iwasaki	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
Bolat Zardemov	Doctor of Engineering, L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
Mihail Zhumagulov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan

Editorial address:

2, Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan,
010008

Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-428), E-mail: vest_techsci@enu.kz

Responsible secretary, computer layout: Aizhan Nurbolat

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Registration certificate №16991-ж from 27.03.2018. Signed in print 30.03.2020. Circulation: 25 copies

Address of Printing Office: 12/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-428). Website: <http://bultech.enu.kz>

© L.N.Gumilyov Eurasian National University

Главный редактор Мерзадинова Г.Т.
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Зам. главного редактора Жусупбеков А.Ж.
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Зам. главного редактора Тогизбаева Б.Б.
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Зам. главного редактора Сарсембаев Б.К.
к.т.н., доцент, Назарбаев университет, Нур-Султан, Казахстан

Редакционная коллегия

Акира Хасегава	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
Акитоши Мочизуки	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
Базарбаев Д.О.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Байдабеков А.К.	д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
Жардемов Б.Б.	д.т.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Жумагулов М.Г.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Йошинори Ивасаки	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
Калякин В.Н.	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
Тадатсугу Танака	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
Тулбекова А.С.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Хое Линг	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
Утепов Е.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Чекаева Р.У.	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Юн Чул Шин	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-428). *E-mail:* vest_techsci@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Собственник: РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК
Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Регистрационное свидетельство №16991-ж от 27.03.2018 г. Подписано в печать 30.03.2020г.

Тираж: 25 экземпляров. Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-428). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Балабекова К.Г.</i> Исследование математической модели работы опоры мобильного путепровода	8
<i>Оразбаев Б.Б., Сантеева С.А., Оразбаева К.Н., Шагаева А.Б., Утенова Б.Е., Дюсекеев К.А.</i> Экспертная оценка методов удаления нефтяных отложений и шламов с целью выбора оптимальной технологии	16
<i>Ниязбекова Р.К., Серекпаева М.А., Калиева Ж.Е., Оспанова Н.М.</i> Разработка подходов для стандартизации металлургических шлаков при получении защитных покрытий	23
<i>Ниязбекова Р.К., Джесксембаева А.Е., Кривобородов Ю.Р.</i> Модификация структуры цементных композитов. Исследования эксплуатационных свойств для стандартизации строительных смесей с добавкой сталеплавильного шлака	30
<i>Джумабаев А.А., Глеубаева А.К.</i> Исследование локализации и остановки развивающегося трещины разрушения в газопроводах большого диаметра	37
<i>Козбагарова Н.Ж., Сулайманова Ш.А.</i> Социальное проектирование в архитектурно-ландшафтной организации городов	42
<i>Казиева Г.Д., Абжанова А.Е., Есекеева М.Ж., Сагнаева С.К., Сембина Г.К.</i> Некоторые подходы и инструментальные средства интеллектуального анализа данных в биомониторинге	50
<i>Туякаева А.К., Садыкова С.Ш.</i> Зарубежные тенденции архитектуры придорожных комплексов	59
<i>Садыкова С.Б., Еркалина М., Жумагулов М.Г., Картджанов Н.Р.</i> Солнечное опреснение воды	66
<i>Садыкова С.Б., Достияров А.М., Достиярова А.М., Картджанов Н.Р.</i> Моделирование рабочих условий камеры сгорания ГТД	71
<i>Жартыбаева М.Г., Есимова Н., Фураева И.И., Жукабаева Т.К., Жумадилаева А.К.</i> Обоснование выбора СУБД и пополнение базы данных по загрязнению атмосферного воздуха города Алматы тяжелыми металлами	78
<i>Жакупова А.Е., Канафин М.Ж., Рустемов А.Р., Келман А.А., Мустафинов Е.К.</i> Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур на основе оптических снимков	89
<i>Жаркенов Е.Б.</i> Экспериментальные исследования в области ливневой канализации	95
<i>Жусупбеков А.Ж., Жаркенов Е.Б., Чанг Д., Жаркенова А.Б.</i> Гидравлическое моделирование ливневого канализационного бассейна I-1 г. Нур-Султан	101
<i>Штыкова И.В., Обухова О.Н., Шинкевич Т.А., Маданов К.С.</i> Анализ и оптимизация системы автоматического нагрева заготовок перед прокатным станом	107
<i>Эльдарова Э.Э., Старовойтов В.В., Искаков К.Т.</i> Оценка эффективности методов подавления шума цифровых изображений	114

Э.Э. Эльдарова¹, В.В. Старовойтов², К.Т. Искаков¹

¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

² Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

(E-mail: doctorphd_eldarova@mail.ru, valerystar@mail.ru, kazizat@mail.ru)

Оценка эффективности методов подавления шума цифровых изображений

Аннотация: Удаление шума является важной задачей обработки изображения, так как шум усложняет как визуальный анализ изображений человеком, так и их автоматическую обработку. В работе описаны результаты исследования методов фильтрации, позволяющих снижать уровень шумов на цифровом изображении. Проведен обзор и сравнительный анализ известных алгоритмов подавления шума на изображениях. Для того чтобы проверить, как каждый из исследуемых методов работает на практике, была разработана программа фильтрации, и оценены результаты ее эффективности. Проведены эксперименты по сравнению работы алгоритмов фильтрации для шумов разных типов. Предложены рекомендации по применению конкретных методов обработки изображений с разными шумовыми составляющими.

Ключевые слова: шум, фильтрация, шумоподавление, качество изображения, цифровое изображение, SSIM индекс, корреляция Пирсона.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2020-130-1-114-121>

Введение. Удаление шума на изображении является важной задачей обработки изображений, так как шум снижает его качество и затрудняет и визуальный анализ изображений человеком, и их автоматическую обработку. Все помехи, вносимые в цифровое изображение, принято называть шумом. Существует много способов устранения шумов изображения. Важным свойством хорошего метода подавления шума на изображении является то, что он должен максимально удалять шум, а также сохранять края.

Постановка задачи. Шум очень трудно удалить из цифровых изображений без предварительного знания модели шума. В таком случае у исследователя возникает ряд вопросов: насколько искажено исходное изображение Как мы можем восстановить изображение Какая шумовая модель связана с зашумленным изображением Это делает тщательное и всестороннее изучение шума и моделей шума существенным компонентом в шумоподавлении изображения и приводит к выбору подходящей модели шума для шумоподаляющих систем. В статье обсудим несколько моделей шума и существующих методов снижения шума, сделаем сравнительный анализ с помощью эксперимента и оценим результаты.

Обзор. Рассмотрим наиболее часто используемые модели шумов на изображениях: [1-3].

Таблица 1 – Модели шумов на изображениях

Шум	Плотность	Среднее и дисперсия	Распределение
Равномерный	$p_z(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, a \leq z \leq b \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}$	$m = \frac{a+b}{2},$ $\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$	$F_z(z) = \begin{cases} 0, z < a \\ \frac{z-a}{b-a}, a \leq z \leq b \\ 1, z >> b \end{cases}$
Гауссов	$p_z(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b}} e^{-\frac{(z-a)^2}{2b^2}},$ $-\infty < z < +\infty$	$m = a,$ $\sigma^2 = b^2$	$F_z(z) = \int_{-\infty}^z p_z(v) dv$

«Соль и перец»	$p_z(z) = \begin{cases} P_a, z = a \\ P_b, z = b, (b > a) \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}$	$m = aP_a + bP_b,$ $\sigma^2 = (a - m)^2 P_a + (b - m)^2 P_b$	$F_z(z) = \begin{cases} 0, a \\ P_b, z = b, (b > a) \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}$
Релея	$P_z(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z - a)e^{-\frac{(z-a)^2}{b}}, z \geq a \\ 0, z < a \end{cases}$	$m = a + \sqrt{2\pi b/4}$ $\sigma^2 = \frac{b(4 - \pi)}{4}$	$F_z(z) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{(z-a)^2}{b}}, z \geq a \\ 0, z < a \end{cases}$
Экспоненциальный	$p_z(z) = \begin{cases} ae^{-az}, z \geq 0 \\ 0, z < 0 \end{cases}$	$m = \frac{1}{a},$ $\sigma^2 = \frac{1}{a^2}$	$F_z(z) = \begin{cases} 1 - e^{-az}, z \geq 0 \\ 0, z < 0 \end{cases}$
Пуассона	$p_z(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, a \leq z \leq b \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}$	$M(x) = a,$ $D(x) = a$	$P(x = m) = \frac{a^m}{m!} e^{-a}$
Периодический	Нашей моделью периодического шума будет «двумерная синусоида» $r(x, y) = A \sin \left[\frac{2\pi u_0}{M}(x + B_x) + \frac{2\pi v_0}{N}(y + B_y) \right]$ где A – это амплитуда, u_0 и v_0 определяют частоты по горизонтальной и вертикальной осям, B_x и B_y – сдвиги фаз.		

Подавление шумов выполняется фильтрацией. Для этого изображение представляется двухмерной функцией, значения которой меняются медленнее, чем значения двухмерной функции, описывающей шум. Рассмотрим основные методы подавления шумов с помощью фильтрации. В большинстве публикаций методы фильтрации делят на следующие группы: низкочастотные фильтры, высокочастотные фильтры, нелинейная фильтрация и так называемые «продвинутые» алгоритмы [2]. В этой статье мы экспериментировали с фильтрами, описанными в таблице 2 [1-3].

Таблица 2 – Модели шумоподавляющих фильтров

Фильтр	Выражения
Средне-арифметический	$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t)$ Здесь $g(s, t)$ значение яркости исходного изображения $f(x, y)$ значение яркости отфильтрованного изображения
Средне-геометрический	$\hat{f}(x, y) = \left[\prod_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t) \right]^{\frac{1}{MN}}$
Средне-гармонический	$\hat{f}(x, y) = \frac{MN}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} \frac{1}{g(s,t)}}$
Средне-контрагармонический	$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s,t)^{Q+1}}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s,t)^Q}$ где Q называется порядком фильтра.
Медианный	$\hat{f}(x, y) = \underset{(s,t) \in S_{xy}}{\text{med}} \{g(s, t)\}$
срединной точки	$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{2} \left(\max_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\} + \min_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\} \right)$
усеченного среднего	$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn-d} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g_r(s, t)$ Здесь $m \times n$ определяют размер окрестности S_{xy} и d может изменяться в диапазоне от 0 до $mn - 1$.

Эксперименты. Для того чтобы проверить, как работают указанные методы фильтрации на практике, была написана программа с их реализацией [4-7].

В процессе обработки мы получаем набор изображений. На них показаны результаты воздействия шумов на выбранные изображения (рис.1).

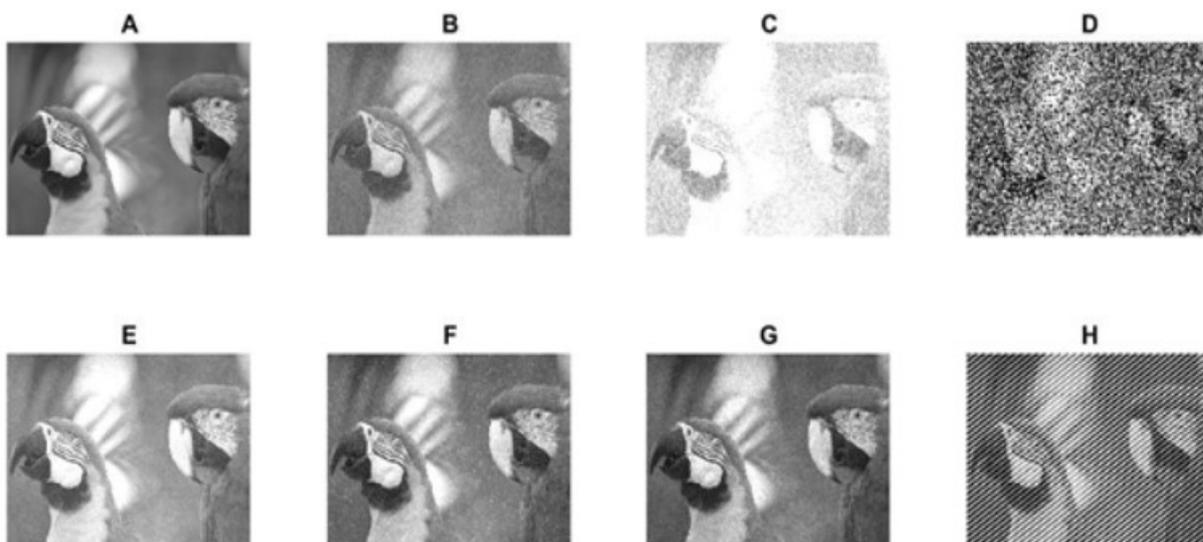


Рисунок 1 – Генерация и наложение шума. А - исходное изображение, В - равномерный шум, С - шум Гауссов, D - шум «соль и перец», Е - шум Релея, F - экспонационный шум, G - шум Пуассона, H- периодический шум

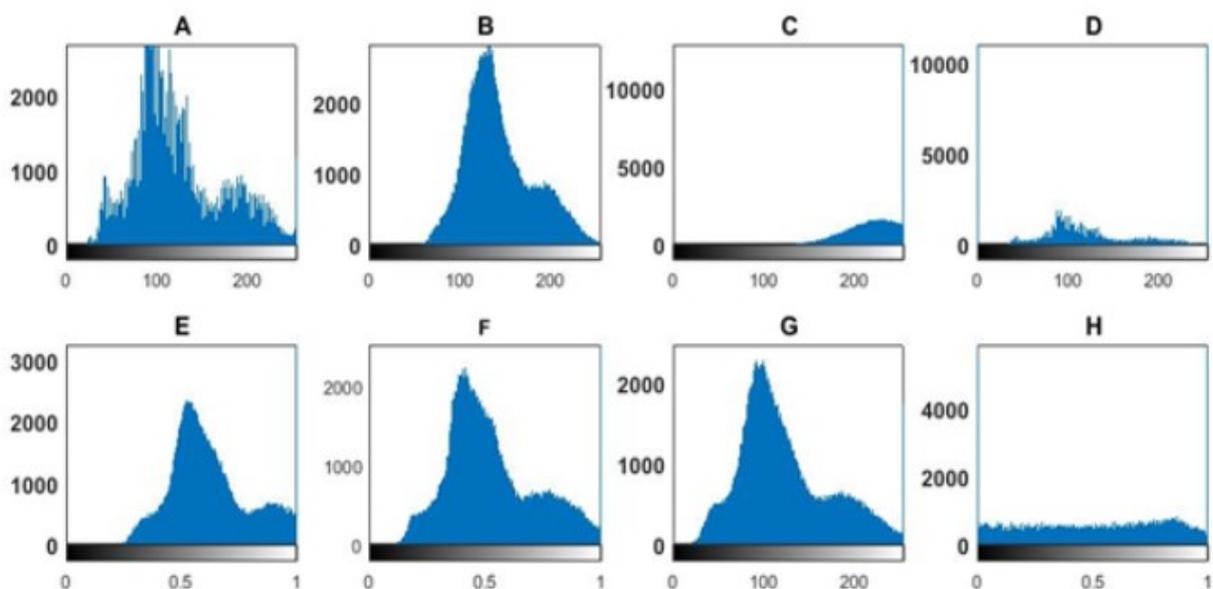


Рисунок 2 – Гистограммы изображений с шумом. А - исходное изображение, В - равномерный шум, С - шум Гауссов, D - шум "соль и перец", Е - шум Релея, F - экспонационный шум, G - шум Пуассона, H - периодический шум

Были получены зашумленные изображения. Они были обработаны методами фильтрации из таблицы 2.

Для исследования использовано 25 исходных изображений из общедоступной базы TID2013. Каждое исходное изображение было искажено семью разными видами шумов и каждое

искаженное изображение было обработано восьмью видами фильтров. Таким образом, рассмотрено 1400 изображений.

Обсуждение результатов. Оценка результатов и эффективности фильтров осуществлялась по следующим критериям: на исходное изображение накладывается искусственный шум, затем полученное изображение фильтруется алгоритмом шумоподавления и сравнивается с исходным с помощью индекса SSIM (мера структурного подобия) и с коэффициентом корреляции Пирсона.

Во многих исследованиях индекс SSIM (мера структурного подобия) используется как неофициальный стандарт для оценки качества искаженного изображения при наличии эталонного изображения и его называют метрикой качества изображений. SSIM определяется формулой [8]:

$$SSIM = \left(\frac{\sigma_{uv}}{\sigma_u \sigma_v} \right) \left(\frac{2m_u m_v}{m_u^2 + m_v^2} \right) \left(\frac{2\sigma_u \sigma_v}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \right);$$

$$\sigma_u = \sum_i \sum_j \frac{(u_{ij} - m_u)^2}{(M-1)(N-1)};$$

$$\sigma_v = \sum_i \sum_j \frac{(v_{ij} - m_v)^2}{(M-1)(N-1)};$$

$$\sigma_{uv} = \sum_i \sum_j \frac{(u_{ij} - m_u)(v_{ij} - m_v)}{(M-1)(N-1)};$$

где u, v – исходное изображение и отфильтрованное изображение; i, j – номера пикселей исходного изображения и отфильтрованное изображение; M, N – размеры изображения и отфильтрованного изображения. Чем ближе значение SSIM к единице, тем лучше работает фильтр. Жирным выделены лучшие оценки по каждому типу шума.

Таблица 3 – Оценка сходства отфильтрованных изображений с оригинальными (сравнение с помощью индекса SSIM)

Фильтр	Гаусс шум	Шум Релея	Экспон. шум	Равномер. шум	Шум «соль и перец»	Период. шум	Шум Пуассона
Средне арифметический	0,4357	0,7159	0,7328	0,6635	0,1512	0,0543	0,7684
Средне геометрический	0,4507	0,7353	0,7632	0,6807	0,0065	0,0611	0,7764
Средне гармонический	0,4508	0,7346	0,7650	0,6806	0,0132	0,0429	0,7670
Средне контрагармонический (отрицательный)	0,4169	0,6973	0,7288	0,6574	0,0073	0,0416	0,6649
Средне контрагармонический (положительный)	0,4051	0,6432	0,5098	0,6316	0,0998	0,0632	0,6782
Медианный	0,4176	0,7299	0,7576	0,6311	0,2418	0,0527	0,7701
Срединной точки	0,3958	0,6615	0,5926	0,6640	0,1220	0,0635	0,6998
усеченного среднего	0,4235	0,6379	0,6816	0,5931	0,3809	0,0527	0,6896

В статье [9] показано, что индекс SSIM не всегда может корректно вычислить сходство изображений одной и той же сцены, в то время как коэффициент линейной корреляции

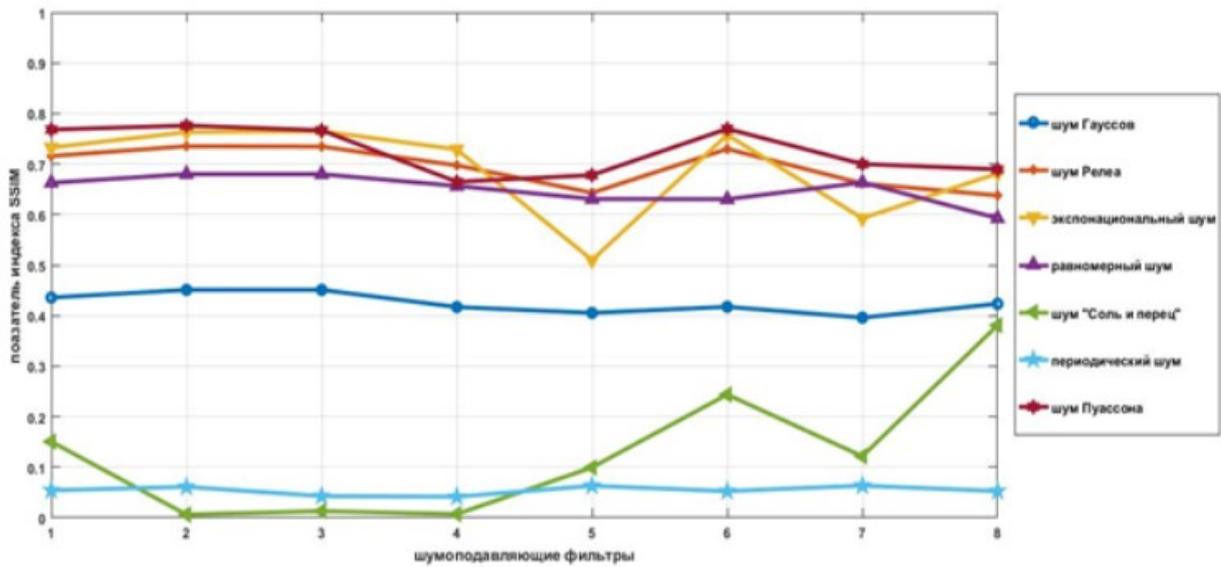


Рисунок 3 – График среднего показателя индекса SSIM

Пирсона делает это намного быстрее и точнее. Мы решили вычислить коэффициенты корреляции Пирсона и сравнить с параметрами SSIM.

Коэффициент корреляции Пирсона можно рассчитать по формуле [10]:

$$K_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

где n - число пикселей изображения, K_{xy} – значение коэффициента корреляции Пирсона, x , y - средние значения уровней показателя, рассчитываемые по формуле арифметической средней [9, с.224]. Результаты оценки, соответствующие каждому типу шума, показаны в таблице, где приведены показатели критериев оценки изображения для каждого фильтра (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели сходства отфильтрованных изображений с оригиналом для каждого фильтра (коэффициент корреляции Пирсона)

Фильтр	Гаусс шум	Шум Релея	Экспон. шум	Равномер. шум	Шум «соль и перец»	Период. шум	Шум Пуассона
Средне арифметический	0,8343	0,9595	0,9587	0,9525	0,5619	0,4827	0,9610
Средне геометрический	0,8620	0,9616	0,9595	0,9601	0,0497	0,4420	0,9534
Средне гармонический	0,8609	0,9568	0,9516	0,9567	0,0919	0,3571	0,9491
Средне контрагармонический (отрицательный)	0,8331	0,9147	0,9102	0,9193	0,0737	0,4048	0,9035

При сравнении значений в таблице 3 и таблице 4, можно увидеть, что они сильно отличаются. Для анализа, приведем сравнение значений индекса SSIM и коэффициента корреляции

Средне контрагармонический (положительный)	0,8147	0,9123	0,8853	0,9214	-0,0175	0,4348	0,9079
Медианный	0,8334	0,9656	0,9632	0,9547	0,6491	0,4582	0,9639
Срединной точки	0,8423	0,9469	0,9356	0,9472	0,1359	0,5390	0,9450
усеченного среднего	0,8388	0,9406	0,9420	0,9390	0,8411	0,4604	0,9425

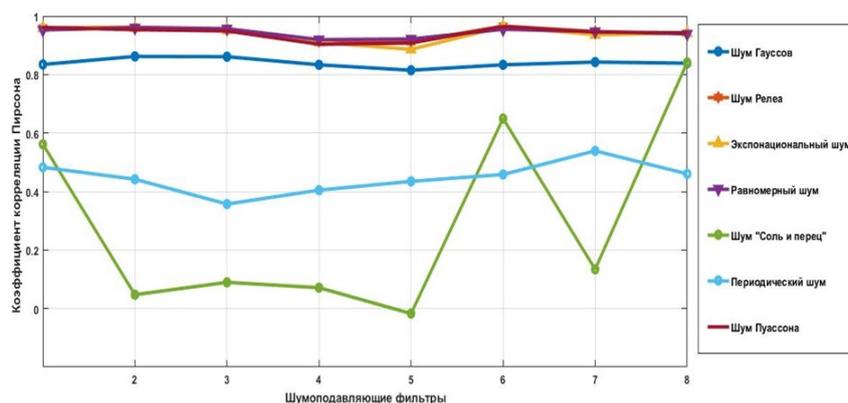


Рисунок 4 – График среднего показателя коэффициента корреляций Пирсона

Пирсона для периодического шума. Примеры сравнения изображений приведены на рис.5. Для изображений image1 и image 2 значения SSIM равны 0,0403 и 0,0509, что означает: сходство отфильтрованных с оригиналом почти равно нулю. Для этих же изображений коэффициент корреляции соответственно равен $\text{Corr}=0,5185$ и $0,5929$. Эти значения лучше описывают различие изображений. В этом случае коэффициент корреляции ближе к единице, что означает большее сходство изображения с оригиналом. С этим можно согласиться, так как визуально эти изображения близки. Таким образом, можно сделать вывод, что коэффициент корреляции точнее оценивает сходство отфильтрованных изображений с оригинальными.

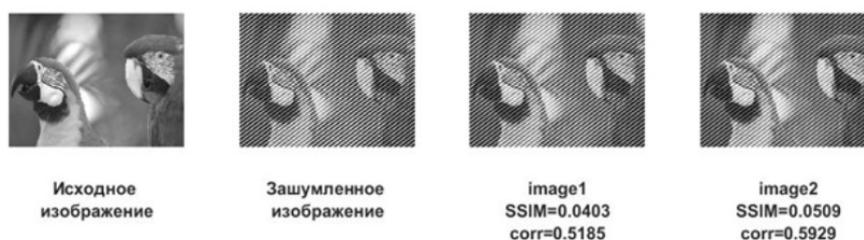


Рисунок 5 – Рисунок 5 - Сравнение меры SSIM и коэффициента корреляции Пирсона. Image 1 - восстановленное средне-арифметическим фильтром изображение. Image 2 - восстановленное с фильтром серединой точки изображение.

Выводы. В статье исследованы методы фильтрации, позволяющие снижать уровень шумов на цифровом изображении. Сформулируем рекомендации по применению методов обработки изображений с разными шумовыми составляющими.

Усредняющий фильтр помимо подавления шума искажает резкие границы и разрушает малые детали изображения, но он самый быстрый.

Применение средне-геометрического фильтра к изображению с шумом «соль и перец» не имеет смысла, потому что «нулевые» пиксели делает все результаты нулевым и на результирующем изображении будет еще больше черных пикселей. Обычно применение средне-геометрического фильтра приводит к сглаживанию, но в то же время теряется меньше деталей.

Средне-гармонический фильтр хорошо работает при наличии только «белого» импульсного шума, но не работает в случае «черного» импульсного шума. Этот фильтр неплохо работает при других типах шумов, таких как гауссов шум.

Медианный фильтр особенно эффективен при наличии биполярного или униполярного импульсного шума. Фильтр срединной точки лучше всего работает при наличии случайно распределенных шумов, таких как гауссов или равномерный.

При фильтре усеченного среднего, в значении яркости $d = 0$, фильтр усеченного среднего сводится к среднеарифметическому фильтру, а в случае когда $d = (mn - 1)/2$ и n, m – нечетное число превращается в медианный фильтр. Применение фильтра усеченного среднего с другими значениями d полезно в случаях, когда на изображении находится несколько типов шума одновременно, например, импульсный и гауссов шум.

Проведенные эксперименты по сравнению работы разных алгоритмов фильтрации для разного шума позволяют эффективнее использовать эти алгоритмы в задачах восстановления цифровых изображений.

Список литературы

- 1 Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.-М.: Техносфера, 2005. -1104 с.
- 2 Старовойтов В. В., Голуб Ю. И. Цифровые изображения: от получения до обработки.-Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. -202 с.
- 3 Гонсалес Р., Вудс Р. Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. -М.: Техносфера, 2006. 621 с.
- 4 Ott H. W. Noise reduction techniques in electronic systems. - New York: Wiley, 1988. - Т. 442.
- 5 Chan R. H., Ho C. W., Nikolova M. Salt-and-pepper noise removal by median-type noise detectors and detail-preserving regularization //IEEE Transactions on image processing. –2005. –Vol. 14. –№10. –P.1479-1485.
- 6 Van De Ville D. et al. Noise reduction by fuzzy image filtering //IEEE transactions on fuzzy systems. –2003. –Vol. 11. –№4. –P.429-436.
- 7 Farmer J. D., Sidorowich J. J. Optimal shadowing and noise reduction //Physica D: Nonlinear Phenomena. –1991. –Vol. 47. –№3. –P.373-392.
- 8 Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., and Simoncelli, E. P. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE Trans. Image Processing, 2004, -Vol.13. –№4. –P.600–612. [Электронный ресурс] - URL: <https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/publications/ssim.pdf> (дата обращения: 25.10.2019).
- 9 Старовойтов В. В. Индекс SSIM не является метрикой и плохо оценивает сходство изображений //«Системный анализ и прикладная информатика». –2019. –№.2. –С.12-17.
- 10 Lee Rodgers J., Nicewander W. A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient //The American Statistician. –1988. -Vol. 42. –№.1. –P.59-66.

Э.Э. Эльдарова¹, В.В. Старовойтов², К.Т. Исаков¹

¹ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр - Сұлтан, Қазақстан

² Информатика мәселелерінің біріккен институты

Белоруссия ғылымының ұлттық академиясы, Минск, Белоруссия

Цифрлық кескіндегі шуылды азайту әдістерінің тиімділігін бағалау нәтижелері

Аннотация. Цифрлық кескіннен шуылды жою кескінді өңдеудің маңызды міндеті болып табылады. Себебі шуыл кескінді визуалды талдауды және оларды автоматты өңдеуді қиындатады. Мақалада цифрлық кескіндегі шуыл әсерін төмендететін фильтрлеу әдістері зерттеледі. Цифрлық кескіндегі шуылды бәсеңдетудің белгілі алгоритмдеріне шолу және салыстырмалы талдау жүргізілді. Осы зерттелген әдістердің әрқайсысының іс жүзінде қалай жұмыс жасайтындығын тексеру үшін бағдарлама құрылып, олардың тиімділігі бағаланды. Әртүрлі шуыл компоненттері бар суреттерді өңдеудің нақты әдістерін қолдану бойынша пікірлер ұсынылады. Әртүрлі шуыл үшін әртүрлі фильтрлеу алгоритмдерінің жұмысын салыстыра отырып, жүргізілген тәжірибелер цифрлы кескіндерді қалпына келтіру кезінде осы алгоритмдерді тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер. шуыл, фильтрлеу, шуылды азайту, кескін сапасы, цифрлық кескін, SSIM индексі, Пирсон корреляциясы.

E.E. Eldarova¹, V.V. Starovoytov², K.T. Iskakov¹

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

² United Institute of Informatics Problems National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Results evaluation effectiveness of noise reduction techniques of digital images

Abstract. Removing noise from the image is an important task of image processing, since noise makes it difficult both for the visual analysis of images by a person and their automatic processing. The study of filtering methods that reduce the level of exposure to noise on a digital image. A review and comparative analysis of the known algorithms are carried out for noise suppression in images. In order to verify how each of these studied methods works in practice, a program was developed and the results of their effectiveness were evaluated. Recommendations on the application of specific methods for processing images with different noise components are proposed. The experiments carried out comparing the operation of different filtering algorithms for different noise allow more efficient use of these algorithms in digital image restoration tasks.

Keywords: noise, filtering, noise reduction, image quality, digital image, SSIM index, Pearson correlation.

References

- 1 Gonz?lez R., Woods R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing] (Tekhnosfera, Moscow, 2005) [in Russian].
- 2 Starovoytov V. V., Golub Yu. Tsifrovyye izobrazheniya: ot polucheniya do obrabotki [Digital images: from acquisition to processing] (UIIP NASB, Minsk, 2014) [in Russian].
- 3 Gonzalez R., Woods R. Eddins S. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede Matlab [Digital Image Processing in Matlab Environment] (Tekhnosfera, Moscow, 2006) [in Russian].
- 4 Ott H. W., Ott H. W. Noise reduction techniques in electronic systems.(Wiley, New York, 1988).
- 5 Chan R. H., Ho C. W., Nikolova M. Salt-and-pepper noise removal by median-type noise detectors and detail-preserving regularization.IEEE Transactions on image processing. 14(58), 1479-1485 (2005).
- 6 Van De Ville D. et al. Noise reduction by fuzzy image filtering. IEEE transactions on fuzzy systems.7(4), 429-436 (2003).
- 7 Farmer J. D., Sidorowich J. J. Optimal shadowing and noise reduction. Physica D: Nonlinear Phenomena. 47(3),373-392 (1991).
- 8 Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., Simoncelli, E. P. Image quality assessment: from error visibility to structural similarit, IEEE Trans. Image Processing, 13(4), 600-612 (2004) [Electronic resource]. Available at: <https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/publications/ssim.pdf> (accessed: 25.10.2019).
- 9 Starovoytov V. V. Indeks SSIM ne yavlyayetsya metrikoy i plokhо otsenivayet skhodstvo izobrazheniy [The SSIM index is not a metric and it is badly evaluate the simility of images], Sistemnyy analiz i prikladnaya informatika [System analysis and applied informatics], 2,12-17(2019), doi:10.21122/2309-4923-2019-2-12-17. (accessed: 25.10.2019).
- 10 Lee Rodgers J., Nicewander W. A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient, The American Statistician, 42(1), 59-66(1988). doi: 10.1080/00031305.1988.10475524.

Сведения об авторах:

Эльдарова Э.Э. – PhD докторант специальности "6D070400-Вычислительная техника и программное обеспечение", Евразийский национальный университет имени Л.Ю.Гумилева, ул. Пушкина, 11, Нур-Султан, Казахстан.

Старовойтов В.В. – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Объединённого института проблем информатики, Национальная академия наук Беларуси, ул. Сургенова, 6, Минск, Белоруссия.

Искаков К.Т. – доктор физико-математических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Ю.Гумилева, ул.Пушкина, 11, Нур-Султан, Казахстан.

Eldarova E.E - PhD student of the specialty "6D070400-Computing engineering and Software", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Pushkin str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Starovoytov V.V- PhD of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Joint Institute for Informatics Problems, National Academy of Sciences of Belarus, Surgenov str., Minsk, Belarus.

Iskakov K.T.- PhD of Physical and Mathematical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Pushkin str., Nur-Sultan, Kazakhstan. kazizat@mail.ru

Поступила в редакцию 15.09.2019