



АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

МЕДИЦИНАДАҒЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ INFORMATION TECHNOLOGIES IN MEDICINE

DOI 10.51885/1561-4212_2025_2_153
MFTAA 28.23.15

**А.С. Құмарқанова¹, А.К. Танкибаева², А.С. Тлебалдинова³,
М.А. Карменова⁴, С.К. Кумаргажанова⁵**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

¹E-mail: akumarkanova@edu.ektu.kz*

²E-mail: tankibaeva_akerke@mail.ru

³E-mail: atlebaldinova@edu.ektu.kz

⁴E-mail: mmm_0582@mail.ru

⁵E-mail: skumargazhanova@gmail.com

СҮЗГІЛЕУ ЖӘНЕ САПАНЫ БАҒАЛАУ НЕГІЗІНДЕ МРТ КЕСКІНДЕРІН ӨНДЕУДІҢ КЕШЕНДІ ТӘСІЛІ

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРЕДОБРАБОТКЕ МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРАЦИИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

COMPREHENSIVE APPROACH TO MRI IMAGE PREPROCESSING BASED ON FILTERING AND QUALITY ASSESSMENT

Аңдатпа. Магнитті-резонанстық томография (МРТ) өзінің жоғары ақпараттылығына байланысты заманауи диагностикада маңызды орын алады, дегенмен кескін алудың техникалық ерекшеліктері, артефактілер мен шу көбінесе нәтижелердің визуалды дәлдігін төмендетеді. Бұл мақалада әртүрлі сүзу әдістерін қолдану арқылы МРТ кескіндерінің сапасын жақсарту міндеті қарастырылады. Зерттеу үш сүзу әдісін салыстырмалы талдауға бағытталған: жиектерді бөлектеуге арналған Лаплас сүзгісі, текстураны сақтай отырып, шуды азайтуға арналған Non-Local Means (NLM) алгоритмі және айқындықты жақсарту үшін Unsharp Mask әдісі. Негізгі міндет шуды жою, диагностикалық маңызды бөліктерді сақтау және визуалды айқындықты жақсарту арасындағы тепе-теңдікті табу болып табылады. Әдістердің тиімділігін бағалау үшін сандық көрсеткіштер (MSE, PSNR, SSIM) және кескіндердің визуалды айқындылығын субъективті бағалау қолданылды. Эксперименттер әртүрлі сканерлерден алынған FS, SE, FSE және TSE импульстік тізбектері бар PD, T1, T2 визуализациялау режимдерінің МРТ кескіндерін қамтитын әр текті деректерде жүргізілді. Нәтижесінде шуды басу мен диагностикалық маңызды ақпаратты сақтау арасындағы тепе-теңдікті сақтай отырып, сүзуді визуализациялау режимдерінің ерекшеліктеріне бейімдеуге мүмкіндік беретін аралас өңдеу тәсілі әзірленді. Әдістерді әр текті деректерге бейімдеуге ерекше назар аударылды, бұл кескіндер әртүрлі өндірушілердің жабдықтарында алынуы мүмкін клиникалық тәжірибе үшін өзекті болып табылады. Ұсынылған тәсіл интеллектуалды диагностикалық жүйелерде, соның ішінде машиналық оқыту алгоритмдерінде кейінгі талдау үшін МРТ деректерін өңдеуді стандарттауға мүмкіндік береді. Зерттеу клиникалық релевантты шешімдерді әзірлеу үшін сандық көрсеткіштер мен сараптамалық бағалауды біріктірудің маңыздылығын атап өтеді. Ал алынған нәтижелер ұсынылған әдістің тиімділігін және оның МРТ деректерін талдаудың автоматтандырылған жүйелерінде қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

Түйін сөздер: кескін сапасы, МРТ кескіндер, алдын ала өңдеу, сүзу әдістері, сапаны бағалау әдістері.

Аннотация. Магнитно-резонансная томография (МРТ) занимает важное место в современной диагностике в силу своей высокой информативности, однако технические особенности получения изображений, артефакты и шумы часто снижают визуальную точность результатов. В данной статье

рассматривается задача улучшения качества МРТ-изображений путём применения различных методов фильтрации. Исследование фокусируется на сравнительном анализе трёх методов фильтрации: фильтра Лапласа для выделения краёв, алгоритма Non-Local Means (NLM) для шумоподавления с сохранением текстур и Unsharp Mask для усиления резкости. Ключевой задачей является поиск баланса между устранением шумов, сохранением диагностически значимых деталей и улучшением визуальной чёткости. Для оценки эффективности методов использовались количественные метрики (MSE, PSNR, SSIM) и субъективная оценка визуальной чёткости изображений. Эксперименты проводились на разнородных данных, включающих МРТ-изображения режимов PD, T1, T2 с импульсными последовательностями FS, SE, FSE и TSE, полученные от различных сканеров. В результате был разработан комбинированный подход к предобработке, который позволил адаптировать фильтрацию к специфике режимов визуализации, сохраняя баланс между подавлением шумов и сохранением диагностически значимой информации. Особое внимание уделено адаптации методов к неоднородным данным, что актуально для клинической практики, где изображения могут быть получены на оборудовании разных производителей. Предложенный подход позволяет стандартизировать предобработку МРТ-данных для последующего анализа в интеллектуализированных диагностических системах, включая алгоритмы машинного обучения. Исследование подчёркивает важность комбинирования численных метрик и экспертной оценки для разработки клинически релевантных решений. А представленные результаты демонстрируют эффективность предложенного метода и его потенциал для использования в автоматизированных системах анализа МРТ-данных.

Ключевые слова: качество изображения, МРТ изображения, предварительная обработка, методы фильтрации, методы оценки качества.

Abstract. Magnetic resonance imaging (MRI) occupies an important place in modern diagnostics due to its high informativeness, but technical features of image acquisition, artefacts and noise often reduce the visual accuracy of the results. This article addresses the problem of improving the quality of MRI images by applying different filtering techniques. The study focuses on a comparative analysis of three filtering methods: Laplace filter for edge extraction, Non-Local Means (NLM) algorithm for texture preserving noise reduction and Unsharp Mask for sharpening. The key challenge is to find a balance between removing noise, preserving diagnostically relevant details and improving visual sharpness. Quantitative metrics (MSE, PSNR, SSIM) and subjective assessment of visual sharpness of images were used to evaluate the effectiveness of the methods. Experiments were performed on heterogeneous data comprising MR images of PD, T1, T2 imaging modes with FS, SE, FSE and TSE pulse sequences obtained from different scanners. As a result, a combined preprocessing approach was developed to adapt filtering to the specificity of imaging modes, maintaining a balance between noise suppression and preservation of diagnostically relevant information. Special attention is paid to the adaptation of methods to heterogeneous data, which is relevant for clinical practice, where images can be acquired on equipment of different manufacturers. The proposed approach allows standardising preprocessing of MRI data for further analysis in intelligent diagnostic systems, including machine learning algorithms. The study highlights the importance of combining numerical metrics and expert judgement to develop clinically relevant solutions. And the presented results demonstrate the effectiveness of the proposed method and its potential for use in automated MRI data analysis systems.

Keywords: image quality, MRI images, preprocessing, filtering methods, quality assessment methods.

Кіріспе. Магнітті-резонансты томография (МРТ) жұмсақ тіндер мен тірек-қимыл аппаратының ауруларын диагностикалау үшін кеңінен қолданылатын медициналық бейнелеудің ең ақпараттық әдістерінің бірі. Дегенмен, сканерлеу процесінде пайда болатын шумдың, артефактілердің және бұрмаланулардың әртүрлі түрлеріне байланысты МРТ кескіндерінің сапасы төмендеуі мүмкін. Бұл нәтижелерді түсіндіруді қиындатады және диагностиканың дәлдігін төмендетеді.

Соңғы жылдары сапасын жақсарту мақсатында МРТ кескіндерін өңдеудің көптеген тәсілдері ұсынылды. Мысалы, Selvakumar және Thangaraju (Selvakumar, Thangaraju, 2023) жұмысында мидың МРТ кескіндерінен шумды кетіру үшін әртүрлі сүзгілерге, соның ішінде ортаңғы, Гаусс, Калман және альфа кесілген ортаңғы сүзгіге салыстырмалы талдау жасалды. Нәтижелер альфа кесілген сүзгі PSNR, SSIM және MSE көрсеткіштері бойынша ең жақсы көрсеткіштерді қамтамасыз ететінін көрсетті. Басқа зерттеу (Doãn, 2022) денейзинг пен аномалияларды окшаулау үшін анизотропты сүзу мен нейрондық желілердің комбинациясын ұсынады. Сондай-ақ, Chung пен бірлескен авторлардың жұмысында (Chung, Kim & Hwang, 2022) шумды азайтуға және МРТ кескіндерінің егжей-тегжейін жақсартуға, соның ішінде шағын құрылымдарды қалпына келтіруге және

айқындылықты жақсартуға мүмкіндік беретін реттелген кері диффузия технологиясы қарастырылған.

Алайда қол жеткізілген табыстарға қарамастан, түрлі дереккөздерден алынған, әр алуан модельдегі МРТ-сканерлерде әрқилы түсіру протоколдары мен параметрлері қолданылған жағдайда бейнелерді сүзгілеу әдістерінің тұрақтылығын арттыруға бағытталған зерттеулер әлі де қажет. Бұл зерттеу дәл осындай әртекті және алуан түрлі деректерді өңдеуге бағытталған.

Бұл зерттеудің жаңалығы сандық көрсеткіштерді (MSE, PSNR, SSIM) және субъективті визуалды сараптаманы қамтитын кешенді тәсілді қолдануда, сондай-ақ Лаплас, Non-Local Means және Unsharp Mask әдістерінің артықшылықтарын біріктіретін біріктірілген сүзгілеу құрылымын әзірлеуде жатыр. Ұсынылған тәсіл визуалды анықтық пен тиімді шуды басу арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде кескіндерді әрі қарайғы машиналық талдау мен автоматтандырылған диагностикаға дайындау процесінде аса маңызды болып табылады.

Әдеби шолу. Кескіндерді өңдеу және бейнелеу әдістеріндегі соңғы жетістіктер МРТ кескіндерінің сапасын жақсартуға, атап айтқанда шуды азайтуға, артефактілерді жоюға және ажыратымдылықты арттыруға айтарлықтай ықпал етті. Кескін сапасын жақсарту және терең оқыту үшін дәстүрлі көрсеткіштерден бастап әртүрлі тәсілдерді қолдану мениск жарақаттарының әртүрлі түрлерімен байланысты ауруларды дәл диагностикалау және бағалау үшін үлкен әлеуетке ие. Мәселен, (Kastrulin, Zakirov, Pezzotti және Dylov, 2023) жұмысында авторлар магнитті-резонанстық томография, атап айтқанда МРТ кескіндері жағдайында кескін сапасын бағалаудың (IQA) әртүрлі көрсеткіштерінің қолданылу дәрежесі мен тиімділігін талдайды. Зерттеу кескін сапасын бағалаудың эталондық стандартын белгілеу үшін шынайы МРТ скандары бар FastMRI деректер жинағын пайдаланды. Зерттеу барысында SNR (сигнал/шу қатынасы), CNR (контраст/шу қатынасы) және артефактілердің болуы сияқты МРТ кескін сапасын бағалаудың үш негізгі критерийі анықталды. Қабылданған шу деңгейін (SNR) арттыратын әдістер кескіннің анықтығының жақсаруына әкелуі мүмкін. Авторлар SNR жақсартуларын тиімді өлшей алатын көрсеткіштердің қажеттілігі туралы айтады. CNR маңыздылығы және артефактілерді анықтау шуды болдырмау мен контрастты күшейту арасындағы тепе-теңдік үшін жақсартылған алгоритмдерді әзірлеу қажеттілігін көрсетеді, осылайша маңызды ерекшеліктердің жасырылмауын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, авторлар МРТ-да пайдаланылатын кескін сапасын бағалаудың (IQA) қолданыстағы әдістерінің шектеулі екендігін атап көрсетеді. Осылайша, авторлар МРТ деректерінің бірегей сипаттамаларын дәлірек көрсете алатын арнайы метрикаларды әзірлеу және тексеру қажеттілігін ұсынады. Сондай-ақ, олар кескін сапасын бағалауда МРТ кескіндердің сапасын жақсартуда жақсы нәтиже көрсететін терең оқыту әдістерін қолдануды атап өтеді. (Botnari, Kadar, Patrascu, 2024) жұмысында мениск зақымдарын диагностикалауға бағытталған терең оқыту қолданбаларында МРТ кескіндерінің сапасы мен тиімділігін арттыру үшін қажет алдын ала өңдеу кезеңдері зерттелді. Мақалада 2016 жылдан 2019 жылға дейін алынған тізенің МРТ скандарының деректер жинағы пайдаланылды. МРТ кескіндердің сапасын жақсарту үшін алдын-ала өңдеуді жүзеге асыруда бірнеше кезеңдер қарастырылды: модальды-спецификалық түзетулер, кеңістіктік қайта үлгілеу және өлшемін өзгерту, қарқындылықты қалыпқа келтіру және стандарттау, сондай-ақ шуды басу үшін Гаусс сүзгісі қолданылды. Бұл әдіс кескіннің анықтығын арттырып және МРТ деректерінен белгілерді алуды жақсартады. Авторлар алдын ала өңдеу әдістерін қолдану терең оқыту модельдерінің мениск жыртылуын диагностикалаудағы тиімділігін айтарлықтай арттыратынын мәлімдейді. Келесі жұмыста (Ji Ke, Shufa Wang, Zhao Qiu, Quan Liu, 2023) мениск зақымдануы бар жіліншік үстіртінің (TPF) сынуын

диагностикалаудағы МРТ кескіндері үшін төмен дәрежелі матрицаларға негізделген шуды азайту алгоритмдерінің қабілеттері талданды. Деректер жиынтығы ретінде 2018 жылдың наурызынан 2019 жылдың қазанына дейін диагноз қойылған TPF бар пациенттердің 60 жағдайы таңдалған. Зерттеу авторлары МРТ кескіндеріндегі шуды басу үшін жақсартылған төмен дәрежелі матрицалық факторизацияға (GLRMF) негізделген Гаусс қоспасының жаңа алгоритмін ұсынды. Кескін сапасын талдауды жүзеге асыру үшін әртүрлі шу деңгейлерінде сапаны бағалауға арналған RMSE және SSIM көрсеткіштері пайдаланылды және салыстырылды. Эксперименттік нәтижелер GLRMF алгоритмінің ADF және NLM алгоритмдерімен салыстырғанда, әсіресе модель параметрі $K=100$ болған кезде, құрылымдық тұтастықты (SSIM) жақсы сақтағанын көрсетті. Осылайша, пациенттерді жіктеу нәтижелері Шатцкер диагностикасы бойынша есептелді, ал артроскопия нәтижелері мениск зақымдануы бар TPF диагностикасында МРТ дәлдігін талдау үшін стандарт ретінде пайдаланылды. Модельді бағалау жоғары көрсеткіштерді көрсетті, атап айтқанда сезімталдық 94,76 %, дәлдік 93,33 % және ерекшелік 89 % болды. (Konovalova және т.б., 2024) мақаласында терең оқытуды (DL) қолдана отырып, кескінді қайта құру сапасы мен аномалияны анықтау тиімділігі арасындағы байланысты қарастырған зерттеулер ұсынылды. Сонымен қатар, рентгенологтардың қалпына келтірілген суреттердегі мениск аномалияларын түсіндіруін жақсарту үшін жасанды интеллект (ЖИ) негізіндегі көмекшінің тиімділігін бағалау жүргізілді. Әдістемеде ауытқуларды анықтау үшін 896 пациенттен тұратын деректер жиынтығы қолданылды. Суреттердің сапасын бағалау үшін бағалау көрсеткіштері ретінде стандартты көрсеткіштер қолданылды, атап айтқанда nRMSE, PSNR және SSIM. Авторлар жүргізген салыстырмалы талдау стандартты метрикалар мен олардың ұсынған жаңа box-based метрикаларының арасында айырмашылық бар екенін көрсетті. Авторлардың жаңа бағалау әдісі реконструкцияланған кескіндер сапасын аномалияларды анықтау тұрғысынан дәлірек сипаттауға мүмкіндік беретінін дәлелдеді, бұл дәстүрлі SSIM сияқты метрикалармен салыстырғанда сапаны нақтырақ бағалауды қамтамасыз етеді.

Жалпы алғанда, қазіргі уақытта МРТ кескіндерінің сапасын жақсарту бойынша жүргізілетін зерттеулердің көпшілігі МРТ кескіндерінің сапасын бағалау және жақсарту мақсатында стандартты метрикаларды қолдануға жүгінеді. Сондай-ақ, көптеген ғылыми жұмыстар кескіндердің сапасын жақсартуға және МРТ алу процесін жеделдетуге мүмкіндік беретін жаңа технологиялар мен әдістерді ұсынады. Мұндай технологиялар мен әдістерге параллельді кескін алу, қысу әдістері және терең оқыту алгоритмдері жатады, олар (Altahawi, Ago және Li, 2021) жұмысында егжей-тегжейлі сипатталған. Авторлар 3D МРТ кеңістіктік ажыратымдылығының жоғары болуын атап өтеді, бұл өз кезегінде бұлыңғырлық әсерін азайтып, кескін сапасын айтарлықтай жоғалтпай көп жазықтықты реконструкция жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл технология шеміршектердің, менисктердің және тізенің басқа да құрылымдарының күйін сандық тұрғыда бағалау үшін өте қолайлы.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Қазіргі заманғы медициналық визуализация диагностикада жоғары дәлдік пен сенімділікті талап етеді. МРТ кескіндерін талдаудың негізгі кезеңдерінің бірі – алдын ала өңдеу, оның мақсаты – шуды жою және визуалды қабылдауды жақсарту. Осы мақалада кескіндерді өңдеудің әртүрлі әдістері қарастырылып, метрикалар мен визуалды талдау негізінде салыстырмалы талдау жүргізіледі. Талдау негізінде бағалау көрсеткіштері мен кескіннің визуалды анықтығы арасындағы оңтайлы қатынасты қамтамасыз ететін біріктірілген әдіс ұсынылады.

Магниттік-резонанстық томография (МРТ) медицинада кеңінен қолданылады. Алайда алынған кескіндерде жиі шу, артефактілер және басқа да бұрмаланулар болады, бұл диагностикалық сапаны төмендетеді. Кескіндерді алдын ала өңдеу осы кемшіліктерді жоюға мүмкіндік береді, алайда ең қолайлы әдісті таңдау көптеген факторларға, оның

ішінде визуализация режиміне және қолданылған импульстік реттілікке байланысты болады. Бұл зерттеу бірнеше сұзу тәсілдерін сынауға және салыстыруға және кескін сапасының көрсеткіштеріне негізделген оңтайлы әдісті таңдауға бағытталған.

Алдын ала өңдеу процесі төменде 1-суретте көрсетілген келесі кезеңдерден тұрады:

1. Өңдеу әдістерін тестілеу: контрастты жақсарту әдістері, шуды азайту әдістері, айқындықты күшейту және жиектерді бөлектеу әдістері қолданылды.

2. Сапаны бағалау: MSE, PSNR және SSIM метрикалары қолданылды.

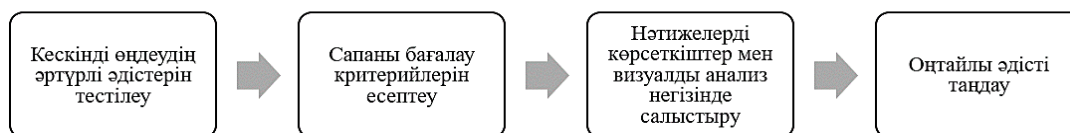
3. Салыстырмалы талдау: нәтижелер сандық түрде (көрсеткіштер арқылы) және визуалды түрде бағаланды.

4. Оңтайлы әдісті таңдау: әр визуализация режимі мен импульстік реттілік үшін бөлек.

Зерттеуде әртүрлі жұмыс принциптері бар бірнеше әдіс топтары пайдаланылды (Santanu, Kanika, Rachit, 2023; Roberto, Hormann, 2022; Anwar et al., 2022; Suryanarayana et al., 2021; Spagnolo et al., 2023). Контрастты арттыру әдістері:

- CLAHE. Кескінді кішігірім аймақтарға бөледі және контрастты күшейтуді шектей отырып, әр аймақта гистограмма теңестіруді орындайды.

- Equalize Hist. Бүкіл кескіннің гистограммасын туралау үшін пиксель жарықтығын жаһандық түрде қайта бөледі.



1-сурет. Кескін сапасын жақсарту процесінің қадамдары

Ескерту – автормен құрастырылған

Шуды басу әдістері:

- Gaussian Blur. Кескінді біркелкі тегістеу, шуды азайту және бөлшектерді басу үшін Гаусс ядросын пайдаланады.

- Median Blur. Пиксель мәнін іргелес пиксель мәндерінің медианасымен алмастырады, "тұз бен бұрыш" түріндегі шуды тиімді басады.

- Bilateral Filter. Кеңістіктік тегістеу мен пиксель қарқындылығының айырмашылықтарын біріктіру арқылы шеттерді сақтау арқылы шуды жояды.

- Non-Local Means Denoising (NLM). Бөлшектерді сақтай отырып, шуды азайту үшін түсі мен құрылымы ұқсас пикселдердің мәндерін орташалайды.

Айқындықты күшейту және жиектерді бөлектеу әдістері:

- Sharpening (Unsharp Mask). Суреттің бұлыңғыр көшірмесін түпнұсқадан алып тастау арқылы жиектерді күшейтеді.

- Laplacian Filter. Интенсивтіліктің тез өзгерістерін анықтау үшін екінші ретті туындыны қолдану арқылы жиектерді ерекшелеуге мүмкіндік береді.

- Sobel Filter. Горизонтальды және вертикальды градиенттерге сезімтал сүзгілерді қолдану арқылы жиектерді ерекшелейді.

Осы зерттеуде пайдаланылған кескін сапасын бағалау критерийлері:

Орташа квадраттық қате (MSE). Бастапқы және өңделген кескіндер арасындағы орташа квадраттық ауытқуды өлшейді. 8-биттік кескіндер үшін мән диапазоны 0-ден 65025-ке дейін өзгереді. MSE мәні неғұрлым аз болса, кескіндер арасындағы айырмашылықтар соғұрлым аз болады. Бұл метрика жарықтық өзгерістеріне сезімтал, бірақ құрылымдық айырмашылықтарды көрсете алмайды, сондықтан адамның көру қабылдауымен жақсы үйлесе бермейді.

Пиктік сигнал-шудың қатынасы (pSNR). Бастапқы және өңделген кескіндердің барлық

пикселдері арасындағы айырмашылықты бағалай отырып, пиктік сигнал мен орташа квадраттық шу деңгейінің арақатынасын көрсетеді. Қабылданған мәндер диапазоны 0-ден 100-ге дейін, децибелмен логарифмдік шкала бойынша өлшенеді. PSNR жоғары мәндері сапаның жақсы екенін көрсетеді (шудың және бұрмаланулардың аздығы). Бұл метрика жалпы шу деңгейін бағалауға ыңғайлы, бірақ визуалды қабылдауды ескермейді.

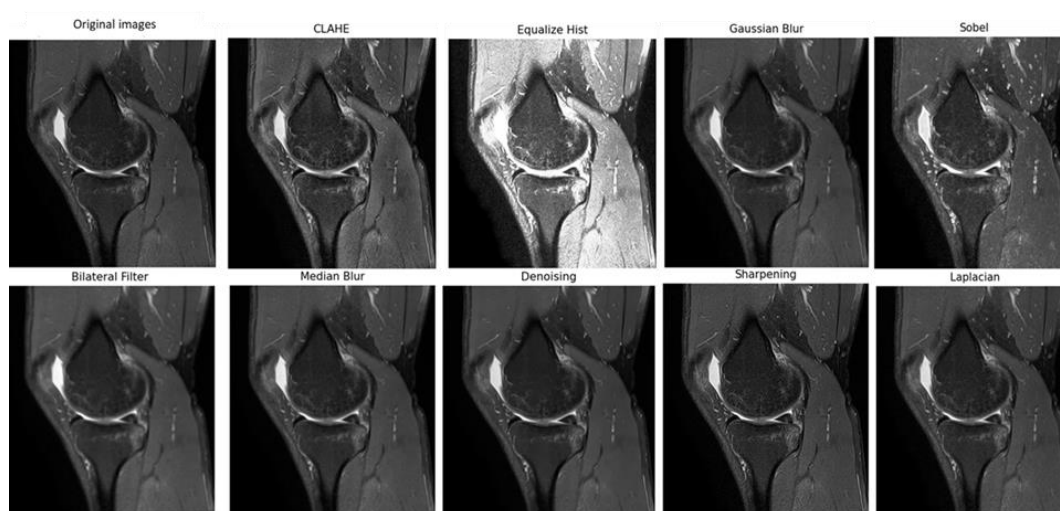
Бұл бағалау әдістері ақ шу бар кескіндер үшін жақсы нәтиже береді. Алайда олар құрылымдық бұрмалануларды дұрыс көрсетпейді.

Құрылымдық ұқсастық өлшемі (SSIM). Жарықтықты, контрастты және текстураны ескере отырып, кескіндер арасындағы құрылымдық ұқсастықты бағалайды. SSIM мәндері 0 мен 1 аралығында болады (1 – толық ұқсастықты білдіреді). Адамның көру жүйесі құрылымды сезінуге қабілетті болғандықтан, SSIM метрикасы сапаны субъективті бағалаумен жақсы үйлеседі.

Әдістерді тестілеу және сапа бағалау критерийлерін есептеу үшін визуализация режимі PD және импульстік реттілігі FS, сондай-ақ визуализация режимдері T1, T2 және импульстік реттіліктері SE, FSE, TSE MPT кескіндері қолданылды.

Нәтижелер және оларды талқылау. Кескін сапасын жақсарту мақсатында таңдалған әдістер әртүрлі визуализация режимдері PD, T2, T1 мен импульстік реттіліктері FS, SE, FSE, TSE бар MPT кескіндерінде тестіленді.

2-суретте таңдалған әдістерді қолдана отырып, PD визуализация режимі және FS импульстік реттілігі бар кескін сапасын өңдеу көрсетілген.



2-сурет. Кескінді әртүрлі әдістермен өңдеу нәтижелері

Ескерту – автормен құрастырылған

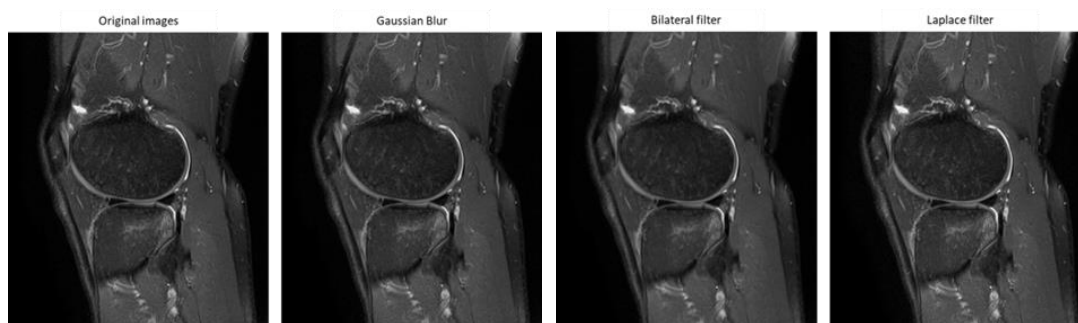
Кескін сапасын бағалау үшін MSE (орташа квадраттық қате), PSNR (пиктік сигнал-шудың қатынасы) және SSIM (құрылымдық ұқсастық өлшемі) сияқты көрсеткіштер қолданылды.

Көрсеткіштерге негізделген әдістерді салыстыру нәтижелері бойынша Гаусс, Лаплас және Билатералды сүзгілер ең жоғары нәтиже көрсеткені анықталды (3-сурет).

Бірақ визуалды тұрғыда қарастырсақ, бұл әдістер ең жақсы нәтижелерді көрсете бермейді. Салыстыру нәтижесінде әдісті таңдауда сапа көрсеткіштерін де, визуалды талдау нәтижелерін де ескеру қажет деген шешім қабылданды.

Визуалды талдау Гаусс, Билатералды және Лаплас сүзгілерінің жоғары көрсеткіштеріне

карамастан, олар ең жақсы визуалды сапаны қамтамасыз етпейтінін көрсетті. Ең тиімді әдіс ретінде біріктірілген әдіс таңдалды (Vinit Kumar Gunjan, Suganthan, Jan Haase, Amit Kumar, 2020; Pham, 2022; Zenglin Shi et al., 2020).



3-сурет. Гаусс, Билатералды және Лаплас сүзгілерін қолдану нәтижелері

Ескерту – автормен құрастырылған

Белгілі бір визуализация режимі мен импульстік реттілігі бар кескіндер жалпы визуалды стильде ұқсас болғандықтан (тіндердің контрасты, майдың басылуы және т.б.), олардың сапасын бір әдіспен өңдеу туралы шешім қабылданды.

Нәтижесінде PD визуализация режимі және FS импульстік реттілігі үшін келесі біріктірілген өңдеу әдісі таңдалды:

1. Laplacian: Лаплас сүзгісін пайдаланып жиектерді бөлектеу және контурларды күшейту.
2. Denoising: Non-Local Means Denoising әдісі арқылы шумды жою.
3. Sharpening: Unsharp Mask фильтрі арқылы айқындықты арттыру.

Біріктірілген тәсіл үшін есептеу экспериментінің нәтижесінде оңтайлы сүзу параметрлері анықталды. Non-Local Means Denoising әдісі үшін сүзу шегі $h = 5$, үлгі терезесінің өлшемі $templateWindowSize = 7$ пиксель және іздеу терезесінің өлшемі $searchWindowSize = 21$ пиксель мәндері; Unsharp Mask көмегімен айқындықты арттыру кезінде $\alpha = 0.9$ араластыру коэффициенті; Лаплас сүзгісі үшін кескін тереңдігі CV_64F және бастапқы кескінмен біріктірілген кездегі салмақ: түпнұсқада 1,0 және лапласиан-компонентасында 0,5 қолданылды. Бұл параметрлер шумды азайту, анатомиялық бөлшектерді сақтау және МРТ кескіндерінің визуалды сапасын жақсарту арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді.

Біріктірілген өңдеу әдісінің нәтижесі 4-суретте көрсетілген.

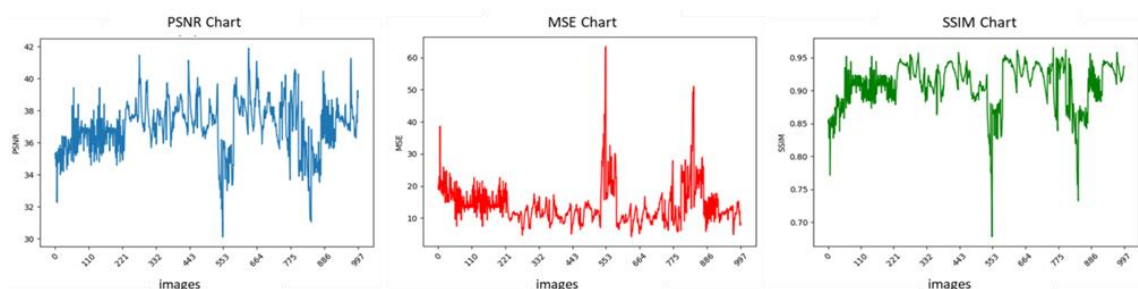


4-сурет. PD режимі үшін біріктірілген өңдеу әдісінің нәтижесі

Ескерту – автормен құрастырылған

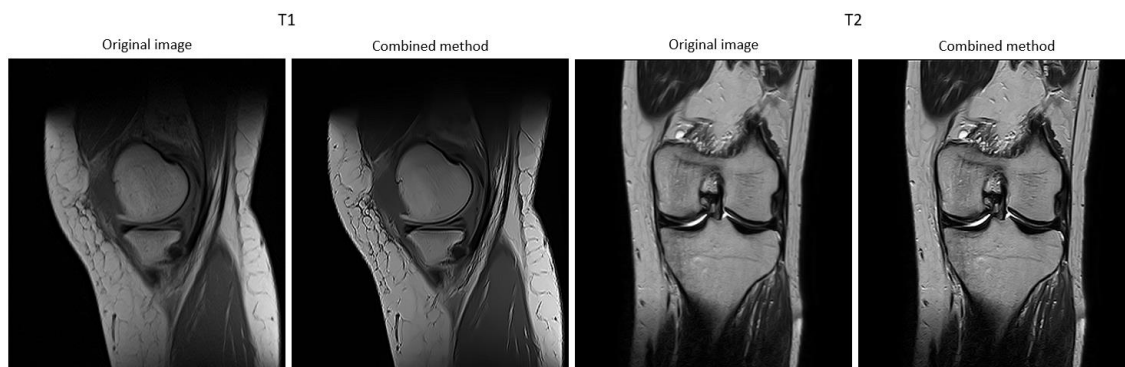
5-суретте біріктірілген әдіспен өңделген 997 кескіннің көрсеткіштерінің мәндері

берілген.



5-сурет. Біріктірілген әдіспен өңделген кескіндердің сапасын бағалау көрсеткіштері
Ескерту – автормен құрастырылған

Визуализация режимдері – T1, T2, импульстік реттіліктері – SE, FSE, TSE деректері үшін ең жақсы нәтижелер Non-Local Means Denoising әдісімен, әсіресе Unsharp Mask қолданылған кезде алынды. Бұл әдістің нәтижелері төмендегі 6-суретте көрсетілген.



6-сурет. T1, T2 режимдеріне арналған өңдеу әдісінің нәтижелері
Ескерту – автормен құрастырылған

1-кестеде MSE, PSNR және SSIM метрикалық есептеулерінен алынған әзірленген біріктірілген тәсіл мен қолданыстағы әдістердің сандық салыстырмалы сипаттамалары келтірілген. Бұл көрсеткіштер нәтижелердің сапасын объективті бағалауға мүмкіндік береді. Салыстырмалы талдау нәтижесінде көрсеткіштердің ең жақсы мәндерін біріктірілген тәсіл көрсетті (MSE = 32.55; PSNR=41.37; SSIM=0.92), бұл оның MPT кескіндерін өңдеу кезеңіндегі жоғары тиімділігін білдіреді.

1-кесте. Кескін сапасының көрсеткіштері бойынша әдістерді салыстыру

№	Әдістің атауы	MSE	PSNR	SSIM
1	2	3	4	5
1	Біріктірілген тәсіл (Laplacian + NLM + Unsharp Mask)	32.55	41.37	0.92
2	Gaussian Blur	39.47	39.36	0.90
3	Laplacian Filter	39.80	38.21	0.90
4	Bilateral Filter	35.45	39.76	0.86

2-кестенің соңы

1	2	3	4	5
5	Non-Local Means Denoising (NLM)	35.69	39.57	0.86
6	Sharpening (Unsharp Mask)	47.10	35.80	0.85
7	Median Blur	42.20	32.26	0.82
8	CLAHE	132.33	24.47	0.74
9	Sobel Filter	190.83	21.22	0.68
10	Equalize Hist	232.28	9.30	0.44
<i>Ескерту – автормен құрастырылған</i>				

Жүргізілген талдау сүзу әдісін таңдауда сандық көрсеткіштермен қатар кескінді субъективті қабылдауды да ескеру қажет екенін көрсетті. PSNR және MSE метрикалары визуалды сапамен әрдайым сәйкес келмейді, ал SSIM ең жоғары сәйкестік көрсетеді. Нәтижесінде, әдістердің біріктірілген жиынтығы әртүрлі клиникалық сценарийлерде жақсы нәтижеге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Ұсынылған біріктірілген MPT кескіндерді өңдеу әдісі жоғары тиімділікті көрсетеді және медициналық кескіндермен жұмыс істеуде кеңінен қолдануға ұсынылады. Болашақ зерттеулер әдістерді басқа модальді кескіндерге бейімдеуге және сапаны бағалау процесін автоматтандыру үшін нейрондық желілерді енгізуге бағытталуы мүмкін.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу MPT кескіндерін сүзгілеу әдісін таңдауда сапа бойынша сандық метрикаларды (MSE, PSNR, SSIM) және визуалды нәтижені субъективті қабылдауды ескеру қажеттігін көрсетті. Салыстырмалы талдау негізінде құрылымдық айқындық пен шумды басу арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті қамтамасыз ететін Лаплас фильтрі, Non-Local Means және Unsharp Mask әдістерін қамтитын біріктірілген әдіс ұсынылды. Алынған нәтижелер кешенді тәсілді қолдану MPT кескіндерінің диагностикалық құндылығын айтарлықтай арттыруға мүмкіндік беретінін растайды. Алдағы уақытта ұсынылған әдістерді басқа визуализация режимдеріне бейімдеу және кескін сапасын бағалау үшін нейрондық желі алгоритмдерін қолдана отырып зерттеуді кеңейту жоспарланған.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім министрлігінің ғылым Комитеті тарапынан қаржыландырылды (грант № AP23486396 – «Компьютерлік диагностика міндеттерінде MPT кескіндерінде анатомиялық құрылымдарды тану модельдері мен әдістері»).

Әдебиеттер тізімі

- Selvakumar K., Thangaraju, G. (2023). Comparative study of filters for noise removal in brain MRI images. *International Journal of Intelligent Engineering Informatics*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1504/IJIEI.2023.132703>.
- Doãn, T. B. (2022). Enhancing quality and detecting anomalies in brain MRI images using anisotropic filtering and neural networks. *Đại học Đà Lạt Journal of Science*, 12(2), 27–42, <https://vjol.info.vn/index.php/TCDHDL/article/view/74010>.
- Chung, H., Kim, K., & Hwang, D. (2022). Denoising and super-resolution of medical images using a regularized reverse diffusion model. *arXiv preprint arXiv:2203.12621*. <https://arxiv.org/abs/2203.12621>.
- Kastrulyin S., Zakirov J., Pezzotti N. and Dylov D. V. (2023). Image Quality Assessment for Magnetic Resonance Imaging, *IEEE Access*, vol. 11, pp. 14154–14168, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3243466.
- Botnari A., Kadar M., Patrascu J.M. (2024). Considerations on Image Preprocessing Techniques Required by Deep Learning Models. The Case of the Knee MRIs. *Maedica (Bucur)*. 19(3):526-535. doi: 10.26574/maedica.2024.19.3.526. PMID: 39553362; PMCID: PMC11565144.
- Ji Ke, Shufa Wang, Zhao Qiu, Quan Liu. (2023). Diagnostic evaluation of low-rank matrix denoising algorithm-based magnetic resonance imaging on tibial plateau fracture complicated with meniscus injury. *Expert Syst. J. Knowl.*

- Eng. 40 (4). <https://doi.org/10.1111/exsy.12858>.
- Konovalova N., Tolpadi A., Liu F., Akkaya Z., Gassert F., Giesler P., Luitjens J., Han M., Bahroos E., Majumdar Sh., Pedoia V. (2024). The object detection method aids in image reconstruction evaluation and clinical interpretation of meniscal abnormalities. *arXiv:2407.12184 [eess.IV]*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.12184>.
- Altahawi F., Aro G., & Li X. (2021). 3D MRI of the Knee. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 25(3), 455-464. doi:10.1055/s-0041-1730400.
- Santanu Roy, Kanika Bhalla, Rachit Patel (2023). Mathematical analysis of histogram equalization techniques for medical image enhancement: a tutorial from the perspective of data loss. *SSRN Electronic Journal*, <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15799-8>.
- Roberto M. Dyke, Kai Hormann (2022). Histogram equalization using a selective filter. *The Visual Computer* (2023) 39:6221–6235, <https://doi.org/10.1007/s00371-022-02723-8>.
- Anwar Shah, Javed Iqbal Bangash, Abdul Waheed Khan, Imran Ahmed, Abdullah Khan, Asfandiyar Khan, Arshad Khan (2022). Comparative analysis of median filter and its variants for removal of impulse noise from gray scale images. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Volume 34, Issue 3, March 2022, Pages 505-519, <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.03.007>.
- Suryanarayana G. et al. (2021). Accurate MR Image SR Using Deep Networks and Gaussian Filtering. *IEEE Access Digital Object Identifier* 10.1109/ACCESS.2021.3077611, Volume 9.
- Spagnolo F. et al. (2023). Design of Approximate Bilateral Filters for Image Denoising on FPGAs. *IEEE Access Digital Object Identifier* 10.1109/ACCESS.2022.3233921, Volume 11.
- Vinit Kumar Gunjan, Suganthan P.N., Jan Haase, Amit Kumar (2020). *Cybernetics, Cognition and Machine Learning Applications*, ISSN 2524-7565 ISSN 2524-7573 (electronic) *Algorithms for Intelligent Systems* ISBN 978-981-33-6690-9 ISBN 978-981-33-6691-6 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-981-33-6691-6>
- Pham T. D. (2022). Kriging-Weighted Laplacian Kernels for Grayscale Image Sharpening. *IEEE Access Digital Object Identifier* 10.1109/ACCESS.2022.3178607, Volume 10.
- Zenglin Shi, Yunlu Chen, Efstratios Gavves, Pascal Mettes, and Cees G. M. Snoek (2020). Unsharp Mask Guided Filtering. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*.

Information about authors

Kumarkanova Akbota Serikkyzy – Master of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan, E-mail: akumarkanova@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0003-0517-2445, +7 747 437 10 07

Tankibayeva Akerke Kydyrbekovna – Master of Engineering and Technology, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan, E-mail: atankibaeva@edu.ektu.kz, ORCID: 0009-0007-6053-4775, +7 705 570 39 15

Tlebalidina Aizhan Soltangaliyeva – PhD, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan, E-mail: atlebalidina@edu.ektu.kz, ORCID: 0000-0003-1271-0352, +7 705 752 15 22

Karmenova Marhaba Akhmetollinova – PhD, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Oskemen, Kazakhstan, E-mail: mkarmenova@vku.edu.kz, ORCID: 0000-0002-3028-9461, +7 777 411 04 04

Kumargazhanova Saule Kumargazhanovna – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan, E-mail: skumargazhanova@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6744-4023, +7 777 183 93 77