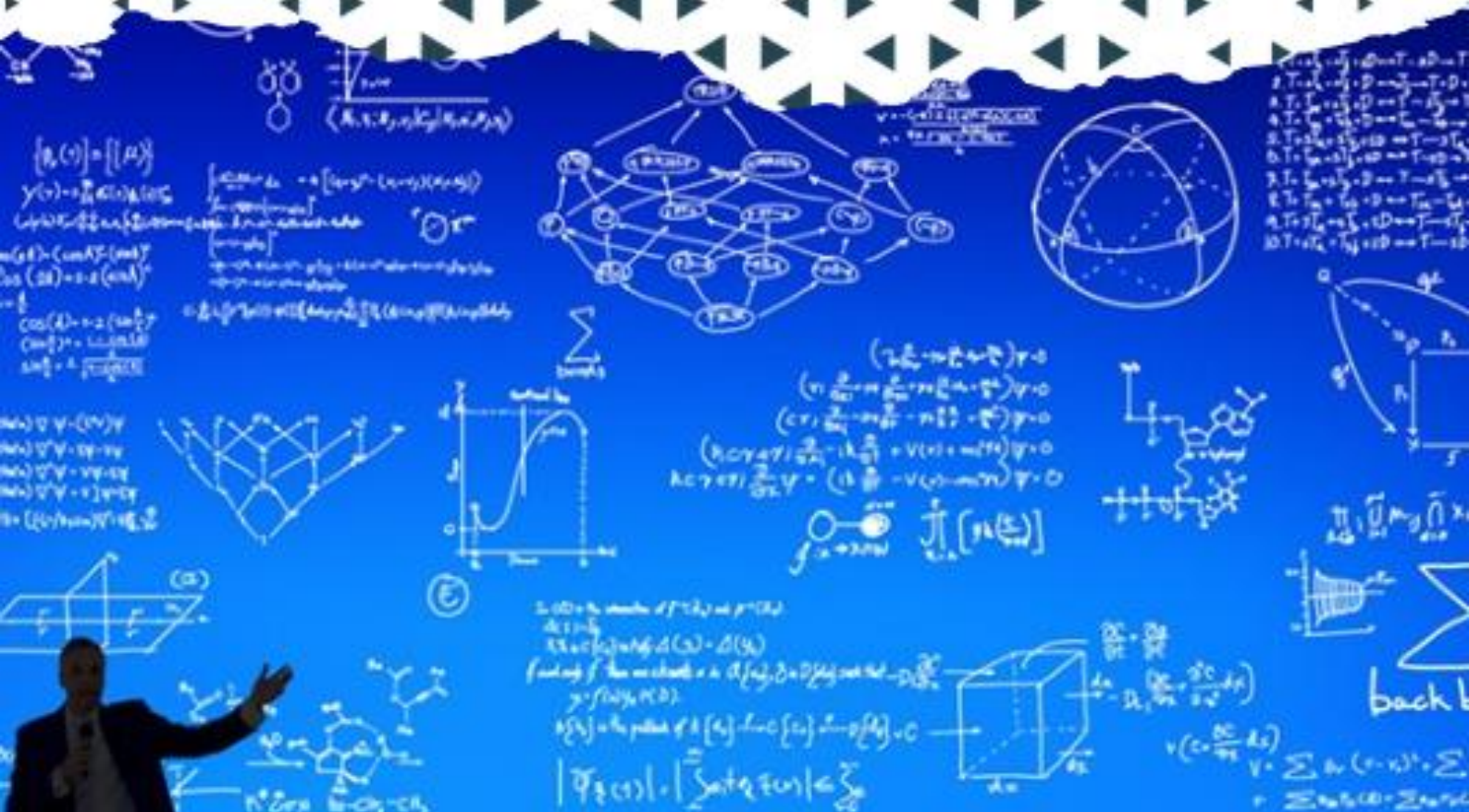




INNOVATIVE WORLD
Ilmiy tadqiqotlar markazi

ZAMONAVIY ILM-FAN VA TA'LIM: MUAMMO VA YECHIMLAR ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA



Google Scholar doi

zenodo

OpenAIRE



+998335668868



<https://innoworld.net>

2026



**«INNOVATIVE WORLD» ILMIY TADQIQOTLAR MARKAZI
«ZAMONAVIY ILM-FAN VA TADQIQOTLAR: MUAMMO VA
YECHIMLAR» NOMLI 2026-YIL № 4-SONLI ILMIY, MASOFAVIY,
ONLAYN KONFERENSIYASI**

**ILMIY-ONLAYN KONFERENSIYA TO'PLAMI
СБОРНИК НАУЧНЫХ-ОНЛАЙН КОНФЕРЕНЦИЙ
SCIENTIFIC-ONLINE CONFERENCE COLLECTION**

Google Scholar



ResearchGate

zenodo



ADVANCED SCIENCE INDEX



OpenAIRE



**Academic
Resource
Index
ResearchBib**



Directory of Research Journals Indexing

www.innoworld.net

O'ZBEKISTON-2026



Volume 3 Issue 4

| APREL - 2026 |

+99833 5668868

| @Anvarbek_PhD

Page | 2

MRI TASVIRNI OLIISH JARAYONINI OPTIMALLASHTIRISH: K-SPACE SAMPLING VA SIGNAL SIFATINI OSHIRISHNING MATEMATIK YONDASHUVLARI

Qo'qon universiteti Andijon filiali

KI va RT kafedrası o'qituvchisi

Turaxonova Shaxnoza Odiljonovna<https://orcid.org/0009-0001-3514-7358>shaxnozaxan697@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada magnit-rezonans tomografiya (MRI) tasvir sifatini optimallashtirish masalalari k-space sampling va signal qayta ishlashning matematik asoslari nuqtai nazaridan tahlil qilinadi. MRI signalining Furiye transformatsiyasiga asoslangan modeli, Nyquist cheklovi, undersampling muammosi hamda zamonaviy optimallashtirish yondashuvlari — compressed sensing va parallel imaging usullari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, signal-to-noise ratio (SNR) modeli tasvir sifatini baholashning asosiy fizik mezonini sifatida yoritiladi. Tadqiqot natijalari MRI skanlash vaqtini qisqartirish va tasvir aniqligini oshirishga yo'naltirilgan zamonaviy matematik va hisoblash usullarining samaradorligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: MRI, k-space, Furiye transformasi, undersampling, SNR, compressed sensing, parallel imaging, signal qayta ishlash.

Аннотация: В данной статье рассматриваются методы оптимизации качества изображений магнитно-резонансной томографии (МРТ) на основе математических моделей k-space и обработки сигналов. Анализируются фундаментальные принципы преобразования Фурье, ограничение Найквиста, проблемы недостаточной выборки (undersampling), а также современные методы реконструкции изображений, такие как compressed sensing и parallel imaging. Особое внимание уделяется модели отношения сигнал/шум (SNR) как основному физическому критерию качества изображения. Результаты исследования демонстрируют эффективность современных математических и вычислительных методов в повышении скорости сканирования и качества изображений МРТ.

Ключевые слова: МРТ, k-пространство, преобразование Фурье, недоотбор, SNR, сжатое зондирование, параллельная визуализация, обработка сигналов.

Abstract: This paper investigates the optimization of Magnetic Resonance Imaging (MRI) quality based on mathematical models of k-space sampling and signal processing techniques. The study analyzes the Fourier transform-based MRI signal model, the Nyquist sampling criterion, undersampling issues, and modern reconstruction approaches such as compressed sensing and parallel imaging. Additionally, the signal-to-noise ratio (SNR) model is discussed as a fundamental physical measure of image quality. The results demonstrate the effectiveness of

advanced mathematical and computational methods in reducing scan time while improving MRI image resolution and accuracy.

Keywords: MRI, k-space, Fourier transform, undersampling, SNR, compressed sensing, parallel imaging, signal processing.

Kirish

So'nggi yillarda tibbiy tasvirlash texnologiyalarining jadal rivojlanishi magnit-rezonans tomografiya (MRI) tizimlarining klinik diagnostikadagi ahamiyatini yanada oshirdi. MRI yuqori aniqlikdagi yumshoq to'qimalar tasvirini berishi bilan ajralib turadi, biroq uning asosiy cheklovlaridan biri — skanlash vaqtining uzoqligi va yuqori hisoblash murakkabligidir.

MRI jarayoni real fazoda emas, balki k-space deb ataluvchi fazoviy chastotalar domenida amalga oshiriladi. Ushbu domen orqali olingan signal Furiye transformatsiyasi yordamida tasvirga aylantiriladi. Shuning uchun sampling strategiyasi va signalni qayta ishlash algoritmlari tasvir sifatini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

Nyquist shartining buzilishi undersampling muammosini keltirib chiqaradi va bu o'z navbatida aliasing artefaktlariga sabab bo'ladi. Shu sababli zamonaviy MRI tizimlarida compressed sensing va parallel imaging kabi ilg'or matematik yondashuvlar qo'llanilib, skan vaqtini qisqartirish va tasvir sifatini saqlashga erishilmoqda.[1]

Bundan tashqari, signal-to-noise ratio (SNR) MRI tasvir sifatini baholashda asosiy fizik ko'rsatkich sifatida muhim o'rin egallaydi. U signal kuchi va shovqin darajasi o'rtasidagi muvozanatni ifodalaydi hamda diagnostik aniqlikni belgilaydi.

Ushbu maqolada MRI tasvir sifatini optimallashtirishning matematik asoslari, k-space sampling strategiyalari va zamonaviy rekonstruksiya usullari ilmiy jihatdan tahlil qilinadi.

1. MRI signalining matematik modeli;

MRI tizimida tasvir bevosita real fazoda emas, balki k-space deb ataladigan fazoviy chastotalar domenida shakllantiriladi. Bu yondashuvda tasvir va o'lchangan signal o'rtasidagi bog'lanish ikki o'lchovli Furiye transformasi orqali ifodalanadi.

$$S(k_x, k_y) = \iint I(x, y) e^{-i2\pi(k_x x + k_y y)} dx dy$$

bu yerda:

- $I(x, y)$ — real fazodagi (spatial domain) tasvir funksiyasi,

- $S(k_x, k_y)$ — k -space (chastota sohasi) dagi signal,
- k_x, k_y — mos ravishda x va y yo'nalishlardagi fazoviy chastotalar.

MRI rekonstruksiya jarayonida esa ushbu k -space ma'lumotlari teskari Fyurje transformasi orqali qayta ishlanib, real fazodagi tasvir hosil qilinadi. Bu jarayon MRI tasvirlash tizimining asosiy matematik fundamentini tashkil etadi.[13]

2. k -space sampling va Nyquist cheklovi;

MRI tasvir sifati k -space da amalga oshiriladigan sampling (namuna olish) zichligiga bevosita bog'liq. Bu jarayon signallarni to'g'ri rekonstruksiya qilish uchun muhim shartlarni belgilaydi.

Nyquist teoremasiga ko'ra, signalni buzilishsiz qayta tiklash uchun u yetarli darajada yuqori chastotada diskretlanishi kerak. Agar ushbu shart bajarilmasa, ya'ni sampling zichligi yetarli bo'lmasa, signal to'liq ifodalanmaydi.

Bunday holat undersampling deb ataladi va u rekonstruksiya jarayonida aliasing artefaktlari paydo bo'lishiga olib keladi. Natijada tasvirda geometrik buzilishlar yuzaga keladi va umumiy sifat sezilarli darajada pasayadi.

Shu sababli k -space sampling strategiyasi MRI tasvir sifatini belgilovchi eng muhim omillardan biri hisoblanadi. [14]

3. Undersampling va optimallashtirish muammosi;

An'anaviy MRI tizimlarida k -space ning to'liq skan qilinishi yuqori aniqlikni ta'minlasa-da, bu jarayon sezilarli darajada ko'p vaqt talab qiladi. Ayniqsa klinik amaliyotda vaqt cheklovi muhim omil bo'lgani uchun, tasvirlash jarayonini tezlashtirish zarurati paydo bo'ladi.

Shu sababli zamonaviy MRI yondashuvlarida k -space ma'lumotlari to'liq emas, balki qisman yoki optimallashtirilgan tarzda olinadi. Bu esa undersampling konsepsiyasiga asoslanadi.

Amaliyotda quyidagi asosiy strategiyalar qo'llaniladi:

- Partial Fourier sampling — k -space ning simmetriya xossalaridan foydalanib, faqat bir qismi o'lchanadi.
- Random undersampling — namunalar tasodifiy tanlanadi, bu aliasing artefaktlarini strukturaviy shovqinga aylantirishga yordam beradi.
- Adaptive trajectory sampling — signal xususiyatlariga qarab sampling yo'li dinamik ravishda moslashtiriladi.

Bu usullar MRI skan vaqtini sezilarli kamaytiradi, biroq shu bilan birga rekonstruksiya jarayonini murakkablashtiradi. Natijada tasvirni tiklash uchun ilg'or

matematik optimallashtirish va signal qayta ishlash algoritmlariga ehtiyoj ortadi.[12]

4. Signal-to-noise ratio (SNR) modeli;

MRI tasvir sifatini baholashda eng muhim mezonlardan biri — signal-to-noise ratio (SNR) hisoblanadi. U foydali signalning shovqinga nisbatan qanchalik ustun ekanini ko'rsatadi.

$$SNR = \mu_{\text{signal}} / \sigma_{\text{noise}}$$

bu yerda:

- μ_{signal} — signalning o'rtacha qiymati,
- σ_{noise} — shovqinning statistik og'ishi (standart deviasiyasi).

SNR qiymati qanchalik katta bo'lsa, tasvir shunchalik aniq va diagnostik jihatdan ishonchli bo'ladi.

SNR bir nechta fizik va texnik omillarga bog'liq:

- Magnit maydon kuchi (B_0) — maydon kuchaygani sari protonlarning yo'nalishlanishi (alignatsiya) yaxshilanadi va signal intensivligi ortadi.
- Sampling zichligi — k-space da ko'proq nuqta o'lchansa, tasvir sifati yaxshilanadi.
- Rekonstruksiya algoritmlari — ilg'or matematik usullar shovqinni kamaytirib, signalni tiklashni yaxshilaydi.
- Shovqin modeli (Gaussian noise) — real tizimlardagi tasodifiy xatoliklar SNRga bevosita ta'sir qiladi.

Umuman olganda, magnit maydon kuchining oshishi protonlarning yaxshiroq tartiblanishiga olib keladi, bu esa signalni kuchaytiradi va natijada SNR sezilarli darajada yaxshilanadi.[10-15]

5. Zamonaviy optimallashtirish usullari;

Parallel imaging - Parallel imaging yondashuvida bir nechta radiochastota coil antennalari bir vaqtning o'zida k-space ma'lumotlarini turli fazoviy nuqtalardan o'lchaydi. Bu usul signalni yig'ish jarayonini parallel tashkil etgani uchun umumiy skan vaqtini sezilarli darajada kamaytiradi. Natijada tezkor tasvir olish imkoniyati yaratiladi, shu bilan birga rekonstruksiya jarayoni ham ko'p kanalli ma'lumotlarni birlashtirishga asoslanadi.

Compressed sensing - Compressed sensing (siqilgan o'lchash) yondashuvi signalning sparsity xususiyatiga asoslanadi, ya'ni tasvir ko'p hollarda to'liq ma'lumotga ega bo'lmagan, lekin strukturaviy jihatdan siyrak ifodalanishi mumkin. Shu sababli to'liq k-space sampling talab qilinmaydi.



Rekonstruksiya jarayoni optimallashtirish muammosi sifatida ifodalanadi:

$$\min \|x\|_1 \quad \text{shart: } y = Ax$$

bu yerda:

- x — tiklanadigan tasvir,
- y — o'lchangan (partial) signal,
- A — sampling va o'lchash operatori.

Ushbu yondashuvda asosiy g'oya shundan iboratki, eng kam normaga ega (spars) yechim tanlanadi, bu esa yetishmayotgan ma'lumotlarni matematik optimallashtirish orqali tiklash imkonini beradi.

6. Signal sifatini oshirish strategiyalari;

MRI tasvir sifatini yaxshilashning asosiy maqsadi — signalni maksimal darajada aniq tiklash va shovqin ta'sirini kamaytirishdir. Buning uchun zamonaviy tizimlarda bir nechta fizik va hisoblash yondashuvlari birgalikda qo'llaniladi.

Eng avvalo, yuqori magnit maydonli MRI tizimlari (masalan, 3T va 7T) signal intensivligini oshiradi. Maydon kuchaygani sari protonlarning tartiblanishi kuchayadi va natijada SNR yaxshilanadi.

Shuningdek, k-space samplingda optimal traektoriyalar qo'llaniladi. Spiral va radial skan qilish usullari fazoviy ma'lumotni samaraliroq yig'ishga yordam beradi va aliasing artefaktlarini kamaytiradi.

Tasvir sifatini yanada yaxshilash uchun shovqinni filtrlash algoritmlari ham muhim rol o'ynaydi. Masalan, Wiener filtri statistik shovqinni kamaytirishga, Kalman filtri esa vaqtga bog'liq signal o'zgarishlarini barqarorlashtirishga xizmat qiladi. [8-13]

So'nggi yillarda esa eng kuchli yondashuvlardan biri sifatida deep learning asosidagi rekonstruksiya modellari qo'llanilmoqda. Bu usullar katta ma'lumotlar bazasidan o'rganib, yetishmayotgan k-space ma'lumotlarini bashorat qilish va tasvirni yuqori aniqlikda tiklash imkonini beradi.

Xulosa

MRI tasvir sifatini optimallashtirish jarayoni asosan k-space da amalga oshiriladigan sampling strategiyalari va signalni qayta ishlashning matematik modellari bilan chambarchas bog'liq. Tasvirni aniq va tez olish o'rtasidagi muvozanatni ta'minlashda sampling zichligi va rekonstruksiya algoritmlari muhim rol o'ynaydi.

Undersampling natijasida yuzaga keladigan ma'lumot yetishmovchiligi muammosi zamonaviy yondashuvlar — xususan compressed sensing va parallel imaging texnologiyalari orqali samarali tarzda bartaraf etilmoqda. Bu usullar skan vaqtini qisqartirish bilan birga tasvir sifatini maksimal darajada saqlab qolishga imkon beradi.

Shuningdek, signal-to-noise ratio (SNR) MRI tizimlarida tasvir sifatini baholashning asosiy fizik mezon bo'lib qolmoqda. U signal va shovqin o'rtasidagi muvozanatni ifodalab, tasvirning diagnostik aniqligini belgilovchi muhim ko'rsatkich hisoblanadi.[1-16]

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati

1. Karimov A.K., Saidov B.B. Tibbiy tasvirlash texnologiyalari asoslari. Toshkent: Fan va texnologiya, 2021.
2. Yusupov M.R. Raqamli signallarni qayta ishlash. Toshkent: O'zbekiston Milliy universiteti nashriyoti, 2020.
3. Ismoilov S.T. Biomedikal muhandislik asoslari. Toshkent: Sharq, 2019.
4. Петров В.И. Магнитно-резонансная томография: физические основы. Москва: Медицина, 2018.
5. Лебедев А.А. Цифровая обработка сигналов в медицинской диагностике. Санкт-Петербург: Политехника, 2020.
6. Иванов Д.С., Кузнецов П.В. Радиофизические методы в МРТ. Москва: Наука, 2017.
7. Bernstein M.A., King K.F., Zhou X.J. Handbook of MRI Pulse Sequences. Elsevier, 2004.
8. Haacke E.M., Brown R.W., Thompson M.R. Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design. Wiley, 1999.
9. Lustig M., Donoho D., Pauly J.M. Sparse MRI: The Application of Compressed Sensing for Rapid MR Imaging. Magnetic Resonance in Medicine, 2007.
10. Liang Z.P., Lauterbur P.C. Principles of Magnetic Resonance Imaging. IEEE Press, 2000.
11. Reiser M.F., Semmler W., Hricak H. Magnetic Resonance Tomography. Springer-Verlag, Berlin, 2008.
12. Buzug T.M. Computed Tomography and Magnetic Resonance Tomography: Theory and Clinical Applications. Springer, 2011.
13. Hennig J., Nauerth A., Friedburg H. RARE Imaging Technique: Fast MRI with High Resolution. Magnetic Resonance in Medicine, 1986.
14. Lustig M. et al. Compressed Sensing MRI. IEEE Signal Processing Magazine, 2008.
15. Pruessmann K.P. Parallel Imaging in MRI. NMR in Biomedicine, 2006.
16. Aggarwal H.K., Mani M.P., Jacob M. MoDL: Model-Based Deep Learning Architecture for Inverse Problems. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2018.

