



SUN'IY INTELLEKTD A SIGNALLARNI RAQAMLI ISHLASH ALGORITMLARI.

Norboyeva Mahliyo Rustamovna
Muhammad al – Xorazmiy nomidagi TATU,
Kompyuter tizimlari kafedrasi assistenti
[*mahliyonorboyeva15@gmail.com*](mailto:mahliyonorboyeva15@gmail.com)

+998 99 155 74 95

Toshpulatov Jahongir Ne'mat o'g'li
Muhammad al – Xorazmiy nomidagi TATU,
Kompyuter tizimlari kafedrasi stajyor-o'qituvchi
[*toshpulatovjahongir47@gmail.com*](mailto:toshpulatovjahongir47@gmail.com)

+998 93 572 26 60

Annotatsiya: Mazkur maqolada sun'iy intellekt tizimlarida signallarni raqamli ishlash algoritmlarining nazariy va amaliy jihatlari yoritilgan. Signalni qayta ishlashning asosiy bosqichlari, jumladan diskretlash, kvantlash, filtrlash va xususiyatlarni ajratib olish jarayonlari tahlil qilindi. Shuningdek, sun'iy intellekt asosida ishlovchi algoritmlar – neyron tarmoqlar, chuqur o'rganish modellarining signalni qayta ishlashdagi roli ochib berildi. Tadqiqot natijalari sun'iy intellektning signalni qayta ishlash samaradorligini oshirishdagi ahamiyatini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: Sun'iy intellekt, raqamli signalni qayta ishlash, DSP, neyron tarmoqlar, mashinali o'rganish, filtratsiya, xususiyatlarni ajratish, chuqur o'rganish.

Zamonaviy axborot texnologiyalarining rivojlanishi natijasida signalni qayta ishlash masalalari muhim ilmiy va amaliy yo'nalishga aylandi. Ayniqsa, audio, video, tibbiy va geofizik signallarni qayta ishlashda yuqori aniqlik va tezkorlik talab etiladi. Raqamli signalni qayta ishlash (Digital Signal Processing – DSP) analog signallarni raqamli shaklga o'tkazish va ularni



algoritmik usullar yordamida tahlil qilish jarayonidir. Sun'iy intellekt (AI) esa bu jarayonlarni avtomatlashtirish va optimallashtirish imkonini beradi. So'nggi yillarda chuqur o'rganish (Deep Learning) metodlari yordamida signalni aniqlash, tasniflash va bashorat qilishda sezilarli natijalarga erishilmoqda.

Ilmiy adabiyotlarda signalni qayta ishlash algoritmlari keng o'rganilgan. Klassik DSP usullariga Fourier transformatsiyasi, filtratsiya va spektral tahlil kiradi.

Zamonaviy tadqiqotlarda esa quyidagi yo'nalishlar ustunlik qilmoqda:

Neyron tarmoqlar yordamida signalni qayta ishlash

Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) orqali tasvir va audio signallarni tahlil qilish

Rekurrent neyron tarmoqlar (RNN) orqali vaqtga bog'liq signallarni qayta ishlash

Transformer modellari yordamida murakkab signal strukturalarini aniqlash

Tadqiqotchilar tomonidan AI va DSP integratsiyasi signalni qayta ishlash samaradorligini sezilarli oshirishi ta'kidlangan.

Sun'iy intellekt (SI yoki AI) va signallarni raqamli ishlash (Digital Signal Processing — DSP) bir-birini to'ldiruvchi ikki soha bo'lib, ularning birlashuvi zamonaviy texnologiyalarning asosini tashkil etadi. Bu yerda analog signallarni (ovoz, tasvir, video, sensor ma'lumotlari, tibbiy signal va boshqalar) raqamli shaklga o'tkazib, ularni tozalash, tahlil qilish, xususiyatlarni ajratib olish va keyin mashina o'rganishi yoki chuqur o'rganish modellari uchun tayyorlash jarayoni batafsil ko'rib chiqiladi. Quyida mavzuni bosqichma-bosqich, matematik formulalar bilan, algoritmlar tuzilishi, SI integratsiyasi, amaliy misollar va zamonaviy trendlar bilan chuqur ochib beraman. Barcha tushuntirishlar faqat matn shaklida, hech qanday rasm yoki vizual elementlarsiz.

Asosiy tushunchalar va DSPning SI bilan bog'lanishi



Raqamli signal — bu diskret vaqt va amplituda bilan ifodalangan ketma-ketlik: $x[n]$, bu yerda n — diskret vaqt indeksi ($n = 0, 1, 2, \dots$). Analog signallarni raqamga o'tkazish Analog-to-Digital Converter (ADC) orqali amalga oshiriladi. Bu jarayonda ikkita asosiy parametr mavjud: sampling chastotasi f_s va kvantlash darajasi (bit soni).

Nyquist-Shannon teoremasi bo'yicha to'g'ri rekonstruksiya uchun sampling chastotasi $f_s > 2f_{max}$ bo'lishi shart, aks holda aliasing effekti (soxta chastotalar paydo bo'lishi) yuzaga keladi. DSPning asosiy vazifasi — shovqinni bartaraf etish, signallarni filtrlash, chastota domeniga o'tkazish va xususiyatlarni (features) chiqarish.

Sun'iy intellekt bu jarayonni ikki yo'nalishda yaxshilaydi:

- DSP \rightarrow SI: Signallarni oldindan qayta ishlab, sifatli ma'lumotlar to'plamini tayyorlaydi. Masalan, shovqinli audio signalni tozalab, Mel-spectrogramga aylantirish keyin neyron tarmoqqa beriladi.

- SI \rightarrow DSP: Neyron tarmoqlar DSP parametrlarini (filtr koeffitsientlari, o'zgartirish funksiyalari) avtomatik o'rganadi. Bu "learnable DSP" yoki "differentiable DSP" deb ataladi.

Natijada gibrid tizimlar hosil bo'ladi: DSPning tezligi va aniqligi + SI ning moslashuvchanligi va naqsh tanish qobiliyati.

Asosiy DSP algoritmlari va ularning SI dagi qo'llanilishi

Fourier Transform (DFT, FFT va STFT)

Bu algoritmlar signalni vaqt domenidan chastota domeniga o'tkazadi. U shovqinlarni ajratish, kompressiya va periodik naqshlarni aniqlashda asosiy rol o'ynaydi.

Diskret Fourier Transform (DFT) formulasi:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) * e^{(-j * 2\pi * k * n / N)}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

Bu yerda j — majoziy birlik, N — namuna soni. Oddiy DFT hisoblash murakkabligi $O(N^2)$ bo'ladi.



Fast Fourier Transform (FFT) — Cooley-Tukey algoritmi DFT ni $O(N \log N)$ tezlikka yetkazadi. Bu real vaqtda ishlash uchun zarur.

Short-Time Fourier Transform (STFT) vaqt-bo'laklari bo'yicha FFT qo'llaydi:

$$X(m, \omega) = \sum_n x[n] * w[n - m] * e^{(-j * \omega * n)}$$

bu yerda w — deraza funksiyasi (Hann yoki Hamming).

SI da qo'llanilishi: Spectrogram yoki Mel-spectrogram yaratish. Masalan, nutq tanish tizimlarida (Siri, Google Assistant) shovqinli signalni STFT orqali chastota tasviriga aylantirib, keyin Convolutional Neural Network (CNN) yoki Transformer modeliga berish. Bu 90-95% aniqlikni ta'minlaydi.

Filtratsiya algoritmlari (FIR, IIR va Adaptive Filtering)

FIR (Finite Impulse Response) filtr:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{M-1} b_k * x[n - k]$$

bu yerda b_k — filtr koeffitsientlari, M — filtr tartibi.

IIR (Infinite Impulse Response) filtr z -domenida qutblar va nollar bilan ishlaydi va kamroq hisoblash talab qiladi, ammo barqarorlikni tekshirish kerak.

Adaptive filtr (Least Mean Squares — LMS algoritmi):

$$w(n+1) = w(n) + \mu * e(n) * x(n)$$

bu yerda $e(n) = d(n) - y(n)$ (xato signali), μ — o'quv tezligi.

SI integratsiyasi: Neyron tarmoqlar filtr koeffitsientlarini backpropagation orqali o'rganadi. Natijada “learnable FIR/IIR” hosil bo'ladi. Masalan, ovozli qo'ng'iroqlarda echo cancellation uchun Recurrent Neural Network (RNN) yoki LSTM bilan birlashtiriladi.

Konvolyutsiya algoritmi

Asosiy formula:

$$y[n] = (x * h)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m] * h[n - m]$$

Bu DSPning markaziy operatsiyasi. SI da esa CNN larning asosiy qatlami bo'lib, tasvir yoki audio signallarida chekka aniqlash (edge detection), segmentatsiya va xususiyat chiqarish uchun ishlatiladi.



Fast Convolution: FFT orqali amalga oshiriladi (overlap-add yoki overlap-save usullari). Bu katta signallarni real vaqtda qayta ishlash imkonini beradi.

Veyvlet Transform (Wavelet Transform)

Fourierdan farqli o'laroq, vaqt va chastotani bir vaqtda lokalizatsiya qiladi.

Continuous Wavelet Transform (CWT):

$$W(a, b) = 1/\sqrt{a} * \int_{-\infty}^{\infty} x(t) * \psi^*((t - b)/a) dt$$

bu yerda ψ — ona veyvlet, a — masshtab, b — siljish.

Discrete Wavelet Transform (DWT) Mallat algoritmi orqali piramida usulida (low-pass va high-pass filtrlar) amalga oshiriladi.

SI da qo'llanilishi: Wavelet Scattering Networks (WST) — shovqin va o'zgarishlarga chidamli invariant xususiyatlar chiqaradi. Tibbiy signallarda (ECG, EEG) anomaliya aniqlashda LSTM yoki autoencoderlar bilan birlashtiriladi.

Qo'shimcha algoritmlar

- Autokorrelyatsiya: $R_{xx}[k] = \sum_n x[n] * x[n + k]$ — periodik signallarni topish.

- Hilbert Transform: Analitik signal yaratish (envelope extraction).

- Kalman Filter: Dinamik tizimlarda bashorat qilish. SI bilan birlashtirilganda Extended Kalman Filter + Neural ODE hosil bo'ladi.

Zamonaviy trendlar va AI-Driven DSP (2024–2026)

- Differentiable Digital Signal Processing (DDSP): Sinusoid + noise + filtr modellari neyron tarmoq bilan o'rganiladi. Audio sintezda (masalan, gitarra yoki inson ovozi sintezi) qo'llaniladi.

- Neural Audio Codecs (EnCodec, AudioCraft): DSP bloklari Transformerlar bilan birlashtiriladi.

- Graph Neural Networks + DSP: IoT sensor tarmoqlarida.



- Edge AI va TinyML: TensorFlow Lite + DSP chiplari (ARM Cortex-M vector extension) real vaqtda ishlash uchun.

- Deep Unfolding: An'anaviy DSP iteratsiyalarini neyron qatlamlarga aylantirish (5G/6G kanal ekvalizatsiyasida).

Amaliy qo'llanishlar

1. Audio va nutq: Librosa kutubxonasi bilan Mel-spectrogram yaratish, keyin CNN yoki RNN bilan tanish. Shovqinli muhitda yuqori aniqlik.

2. Tasvir va video: JPEG/MPEG da Discrete Cosine Transform (DCT — FFT varianti). SI da Stable Diffusion latent space da qo'llaniladi.

3. Tibbiyot: ECG arrhythmia detection — wavelet + LSTM; EEG brain-computer interface — FFT + Transformer.

4. Kommunikatsiya: 5G/6G da kanal buzilishlarini bartaraf etish.

5. O'zbekistonda: Toshkent Axborot Texnologiyalari Universiteti va boshqa muassasalarda geofizik (seysmik), tibbiy tasvir va video monitoring loyihalarida faol qo'llanilmoqda.

Ushbu tushuntirish mavzuni to'liq qamrab oladi. Agar muayyan bo'limni (masalan, faqat FFT yoki wavelet yoki kod misollarini) yanada chuqurroq ochib bersam yoki boshqa misollar qo'shsam, aniq ayting — darhol batafsilroq matn bilan davom ettiraman.

Xulosa

Mazkur tadqiqot natijasida quyidagilar aniqlandi:

Sun'iy intellekt signalni qayta ishlash sifatini sezilarli oshiradi

DSP va AI integratsiyasi zamonaviy tizimlar uchun eng samarali yondashuvdir

Chuqur o'rganish algoritmlari signal tahlilida yuqori natijalar beradi

Takliflar

Signalni qayta ishlash tizimlarida AI algoritmlarini keng joriy etish

Real vaqt tizimlari uchun optimallashtirilgan neyron tarmoqlar yaratish



Tibbiyot, geoinformatika va ekologiya sohalarida DSP+AI yechimlarini
qo'llash

O'quv jarayonida ushbu texnologiyalarni amaliy mashg'ulotlar orqali
o'rgatish

Adabiyotlar.

1. Oppenheim A.V., Schafer R.W. Digital Signal Processing. – New Jersey: Prentice Hall, 2010. – 960 p.
2. Proakis J.G., Manolakis D.G. Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications. – Pearson, 2014. – 1056 p.
3. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. – New York: Pearson, 2009. – 936 p.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016. – 800 p.
5. Bishop C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
6. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing. – Academic Press, 2008. – 832 p.
7. Rabiner L.R., Gold B. Theory and Application of Digital Signal Processing. – Prentice Hall, 1975. – 762 p.
8. Smith S.W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. – California Technical Publishing, 1997. – 650 p.
9. Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G. Pattern Classification. – Wiley, 2001. – 680 p.
10. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning // Nature Journal. – 2015. – Vol. 521. – pp. 436–444.