

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18008745>

SUN'IY INTELLEKT VA MATEMATIK MODELLASHTIRISHGA ASOSLANGAN RAQAMLI SIGNALLARNI QAYTA ISHLASHDA ILG'OR SHOVQINNI KAMAYTIRISH USULLARI

Abdubakir Abdullaev

*Elektronika va radiotexnika kefedrasi assistenti, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent
axborot texnologiyalari universiteti*

abdullayev@tuit.uz

Xo'jamiyor Teshaboyev

*Radio va mobil aloqa fakulteti dekan movini, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti*

teshaboyev@tuit.uz

Ro'zali Sobirov

*Radio va mobil aloqa fakulteti talabasi, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti*

rozialisobirov021@gmail.com

Shoxijahon Ahmedov

*Radio va mobil aloqa fakulteti talabasi, Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti*

shoxijahon004@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada radiokanallardagi shovqin tufayli signal sifatining pasayishi va bit xato darajasi ning oshishi muammosi tahlil qilindi. Shovqin manbalari sifatida termik shovqin, atmosferik shovqin, interferensiya va ko'p yo'li tarqalish effekti ko'rib chiqilgan. Muammoni yechish uchun matematik modellashtirish, filtrlar va sun'iy intellekt modellaridan foydalanish asosida shovqinli nochiziqli signalni tozalash va original signalni tiklash jarayoni tahlil qilingan. Shovqinli raqamli signalni qayta ishlash va uning sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash maqsadida 1D CNN modeliga asoslangan dasturiy yechim ishlab chiqilgan. Modelning tuzilishi, o'qitish bosqichlari hamda signalni filtrlash jarayonidagi vizual va miqdoriy natijalari tahlil qilingan. O'tkazilgan tajribalar asosida taklif etilgan yondashuv bit xato darajasini sezilarli kamaytirishi va radio, mobil aloqa tizimlarida signal sifati oshishiga xizmat qilishimomkinligini keltirilgan.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, shovqinni kamaytirish, raqamli signalni qayta ishlash, FIR, IIR, neyron tarmoqlar, adaptiv filtrlar

I. KIRISH

Hozirgi kunda mobil va radiotelekommunikatsiya tizimlari zamonaviy axborot almashinuvi infratuzilmasining ajralmas qismi hisoblanadi. Ushbu tizimlarda ma'lumotlar asosan raqamli signallar ko'rinishida uzatiladi va ular ko'pincha turli xil shovqinlar mavjud bo'lgan real aloqa kanallari orqali tarqatiladi [1]. Shovqin signalga

qo'shilib, uning foydali tarkibiy qismini buzuvchi va uzatish jarayonining ishonchliligini pasaytiruvchi istalmagan elektromagnit, tabiiy yoki texnogen ta'sirlar majmuasidan iboratdir.

Shovqinli muhitda signal uzatilishi natijasida qabul qiluvchi tomonda bitlar noto'g'ri aniqlanishi ehtimoli ortadi, bu esa Bit xato darajasi (BER, Bit Error Rate) ko'rsatkichining oshishiga olib keladi [2]. BER ning yuqori bo'lishi ma'lumot uzatish tezligining kamayishiga, signal spektrining kengayishiga va chastotaviy aniqlikning yomonlashishiga sabab bo'ladi. Natijada mobil aloqa tizimlarining xizmat sifati (QoS) pasayadi hamda foydalanuvchi tajribasiga salbiy ta'sir ko'rsatadi [3].

Aloqa tizimlarida uchraydigan asosiy shovqin manbalariga termik shovqin, atmosferik shovqin, boshqa uzatkichlardan kelib chiqadigan interferensiya hamda ko'p yo'lli tarqalish (multipath) effekti kiradi [4]. Ushbu omillar signal amplitudasi, fazasi va vaqt bo'yicha barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatib, ayniqsa simsiz va mobil tarmoqlarda sezilarli buzilishlarga olib keladi. Multipath effekti natijasida signalning turli nusxalari turli kechikishlar bilan qabul qilinadi, bu esa fazaviy buzilishlar va fading hodisasini yuzaga keltiradi [5].

Shovqin ta'sirini kamaytirish va signal sifatini yaxshilash maqsadida an'anaviy ravishda matematik modellash va raqamli signalni qayta ishlash usullaridan foydalanib kelinmoqda. Jumladan, Wiener va Kalman filtrlarining optimal baholash xususiyatlari, shuningdek chegaralangan impuls javobli (FIR, Finite Impulse Response) va cheksiz impuls javobli (IIR, Infinite Impulse Response) filtrlarining chastotaviy selektivligi shovqinli signallarni tozalashda keng qo'llaniladi [6]. Biroq ushbu klassik yondashuvlar murakkab va nohiziqli shovqin muhitlarida har doim ham yuqori samaradorlikni ta'minlay olmaydi.

So'nggi yillarda sun'iy intellekt va chuqur o'rganish texnologiyalarining jadal rivojlanishi signalni qayta ishlash sohasida yangi imkoniyatlarni yaratmoqda. Ayniqsa, konvolyutsion neyron tarmoqlar (Convolutional Neural Networks – CNN) vaqt qatorlari va 1D signallar bilan ishlashda yuqori aniqlik va moslashuvchanlikni namoyon etmoqda. 1D CNN modellarining lokal xususiyatlarni avtomatik aniqlash qobiliyati ularni shovqinli signallarni filtrlash va tiklash masalalarida samarali vositaga aylantirishi mumkin.

II. ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Mobil va radiotelekommunikatsiya tizimlarida raqamli signallar ko'pincha shovqinli kanallar orqali uzatiladi. Shovqin – bu signalga aralashib, uni buzadigan istalmagan elektromagnit, tabiiy yoki sun'iy ta'sirlar yig'indisi.

Shovqin tufayli yuzaga keladigan asosiy muammo – BER (Bit Error Rate) ning oshishi ya'ni, uzatilgan bitlar noto'g'ri qabul qilinadi, bu esa signal sifatining pasayishiga olib keladi. Natijada, Signal spektri va chastotaviy aniqligi yomonlashadi; Ma'lumot uzatish tezligi kamayadi; Mobil aloqa sifati pasayadi va aloqa barqarorligi buziladi.

Mazkur tadqiqot radiokanallarda uzatiladigan raqamli signallarning shovqin ta'sirida buzilishi muammosini tizimli ravishda o'rganishga qaratilgan. Tadqiqot

metodologiyasi matematik modellash, klassik raqamli signalni qayta ishlash (DSP) usullari hamda sun'iy intellektga asoslangan chuqur o'rganish yondashuvlarini integratsiyalashga asoslanadi. Bunday kompleks yondashuv shovqinni kamaytirish samaradorligini oshirish va bit xato darajasini (BER) pasaytirishga xizmat qiladi.

Kalman filtrlash usuli – dinamik tizimlarda signal holatini prognoz qilib, o'lchovdagi shovqinni kamaytiradi. Uning afzalliklari: -real vaqt ishlaydi; -mobil kanallarda aniq kuzatuv; -faza va amplituda tebranishlarini barqarorlashtiradi.

Wiener filtrlash usuli – statik shovqinlarda signalni spektr bo'yicha optimal tiklaydi. Usulning afzalliklari: -minimal kvadrat xato (MMSE); -stasionar shovqinda juda aniq hisoblanadi.

FIR/IIR filtrlari bilan filtrlash usuli – raqamli va analog signallarni barqaror va selektiv filtrlaydi. Ushbu filtrlarni qo'llashning afzalliklari: -FIR: lineer faza, barqaror; -IIR: tez va kam resurs talab qiladi

Bundan tashqari, mobil aloqa tizimlarida keng tarqalgan ko'p yo'lli tarqalish effekti signalning asosiy va kechikkan nusxalari superpozitsiyasi orqali tavsiflandi. Ushbu yondashuv fading va amplituda tebranishlari kabi hodisalarni hisobga olish imkonini berdi [3]. Natijada, modellashirilgan shovqinli signal real radiokanal sharoitlariga maksimal darajada yaqinlashtirildi.

Matematik modellash usuli aloqa kanalidagi signal, shovqin va yo'qotish jarayonlarini tenglamalar, funksiyalar va matematik modellardan foydalanib tasvirlash usulidir. Ushbu model orqali signalning qanday o'zgarishi, shovqin ta'siri va BERning oshish yoki kamayishi oldindan hisoblab chiqiladi hamda optimal filtrlar va parametrlardan foydalanish imkonini beradi.

Klassik raqamli filtrlash asosida dastlabki qayta ishlash: Sun'iy intellekt modeliga kiritiladigan signal sifatini yaxshilash maqsadida dastlabki bosqichda klassik raqamli filtrlash usullari qo'llanildi. Jumladan, FIR va IIR tipidagi filtrlar yordamida signal spektridagi yuqori energiyali shovqin komponentlari bostirildi [4]. Ushbu bosqich signalning umumiy shovqin darajasini kamaytirish bilan birga, chuqur o'rganish modelining o'qitish jarayonida barqaror konvergensiyaning ta'minlashga xizmat qildi.

Sun'iy intellekt modellaridan foydalanish – bu neyron tarmoqlar yordamida signalning shovqinli qismlarini aniqlash, ularni tozalash va signal sifatini avtomatik ravishda yaxshilash jarayonidir. DNN va CNN kabi modellar shovqin naqshlarini o'rganadi, signalning foydali qismini ajratadi va BERni kamaytirishga yordam beradi. 1D CNN asosidagi shovqinni kamaytirish modeli: Shovqinni chuqur darajada kamaytirish va original signalni tiklash maqsadida bir o'lchamli konvolyutsion neyron tarmog'i (1D CNN) asosida denoising modeli ishlab chiqildi. Ushbu model vaqt ketma-ketligi ko'rinishidagi signallarni qayta ishlashga moslashtirilgan bo'lib, ketma-ket joylashtirilgan konvolyutsion qatlamlar, chiziqsiz faollashtirish funksiyalari va normallashtirish mexanizmlaridan tashkil topdi. Modelning asosiy vazifasi shovqinli signal va toza signal o'rtasidagi yashirin statistik bog'lanishlarni avtomatik tarzda o'rganishdan iborat [5].

Modelni o'qitish va optimallashtirish: Modelni o'qitish jarayoni nazoratli

o'rganish paradigmasiga asoslandi. O'qitish ma'lumotlari to'plami shovqin qo'shilgan signallar va ularning mos toza nusxalaridan iborat juftliklar asosida shakllantirildi. Yo'qotish funksiyasi sifatida o'rtacha kvadratik xatolik (MSE) tanlandi, chunki u signalni tiklash aniqligini baholashda keng qo'llaniladi [6]. Model parametrlari gradientga asoslangan optimallashtirish algoritmlari yordamida yangilandi hamda haddan tashqari moslashuvni kamaytirish uchun validatsiya mexanizmlaridan foydalanildi. Taklif etilgan yondashuv samaradorligi signal-shovqin nisbati (SNR), o'rtacha kvadratik xatolik (MSE) va bit xato darajasi (BER) orqali baholandi. Ushbu ko'rsatkichlar shovqinni kamaytirish sifati va aloqa tizimlarida uzatish ishonchliligini kompleks tahlil qilish imkonini berdi [7,8]. Olingan natijalar mobil aloqa tizimlarida sun'iy intellektga asoslangan shovqin kamaytirish usullarining amaliy samaradorligini ko'rsatishga xizmat qildi.

III. NATIJALAR

Tadqiqotda foydalanilgan 1D CNN modeli, FIR va IIR filtrlash usullari yordamida shovqinli sinusoidal signalni qayta ishlash samaradorligi signal-shovqin nisbati (SNR), o'rtacha kvadratik xatolik (MSE) va bit xato darajasi (BER) ko'rsatkichlari bo'yicha baholandi.

Radiokanal va shovqin jarayonlarini matematik modellashtirish: Radiokanal modeli additiv shovqinli kanal (AWGN) kontsepsiyasiga asoslangan holda shakllantirildi. Foydali signal sifatida chastotasi oldindan belgilangan sinusoidal signal tanlanib, unga real aloqa tizimlariga xos bo'lgan turli shovqin komponentlari qo'shildi. Termik shovqin nol o'rtacha qiymatga ega Gauss tasodifiy jarayoni sifatida modellashtirildi. Atmosferik shovqin past chastotali, statistik jihatdan barqaror bo'lmagan komponent orqali ifodalandi. Interferensiya esa qo'shni kanallardan keluvchi begona signal komponentlari yig'indisi ko'rinishida kiritildi.

1. Signal va shovqin modeli: Raqamli aloqa tizimida uzatilayotgan foydali signal diskret vaqtli tasodifiy jarayon sifatida qaraladi. Qabul qilingan signal quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$x[n] = s[n] + \eta[n], \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

bu yerda: - $s[n]$ - uzatilgan foydali signal, $\eta[n]$ - shovqin komponenti, $x[n]$ - qabul qilingan shovqinli signal.

Shovqin jarayoni nol matematik kutilmaga ega, statsionar va ergodik tasodifiy jarayon sifatida modellashtiriladi:

$$E[\eta[n]] = 0, \quad E[\eta[n]\eta[n-k]] = \sigma_\eta^2 \delta[k] \quad (2)$$

bu yerda σ_η^2 - shovqin dispersiyasi, $\delta[k]$ - Kroneker deltasi.

2. *Klassik chiziqli filtr asosidagi model*: Shovqinni kamaytirishning umumiy vazifasi baholash masalasi sifatida ifodalanadi:

Maqsad – $s[n]$ signalini $x[n]$ asosida baholash:

$$\hat{s}[n] = \sum_{k=0}^{M-1} h[k]x[n-k] \quad (3)$$

bu yerda, $h[k]$ - filtr impuls javobi. Optimal filtr koeffitsientlari o'rtacha kvadratik

xatolikni minimallashtirish sharti bilan aniqlanadi:

$$\min_h J = E \left\{ \left(s[n] - \hat{s}[n] \right)^2 \right\} \quad (4)$$

Mazkur yondashuv chiziqli statsionar filtrlar (Wiener, FIR/IIR) uchun fundamental hisoblanadi, ammo u nochiziqli va murakkab shovqin muhitlarida cheklangan.

3. *Nochiziqli adaptiv baholash modeli.* Haqiqiy mobil va radiokanallarda shovqinlar ko'pincha nochiziqli va vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'ladi. Shu sababli signalni baholash jarayoni umumiy ko'rinishda quyidagicha ifodalanadi:

$$\hat{s}[n] = F(x[n], x[n-1], \dots, x[n-L+1]) \quad (5)$$

bu yerda $F(\bullet)$ — noma'lum, o'rganiluvchi operator.

4. *1D CNN asosidagi matematik model.* 1D Convolutional Neural Network (CNN) modeli diskret vaqtli signalni fazoviy (vaqt) kontekstda qayta ishlovchi operator sifatida qaraladi.

4.1 CNN ning l -qatlamidagi konvolyutsiya jarayoni:

$$z_k^{(l)}[n] = \sum_{m=0}^{K_l-1} w_{k,m}^{(l)} \cdot y^{(l-1)}[n-m] + b_k^{(l)} \quad (6)$$

bu yerda: $z_k^{(l)}[n]$ - filtr og'irliklari, $b_k^{(l)}$ - siljitish (bias), K_l - filtr uzunligi.

4.2. Nochiziqli faollashtirish. Nochiziqlilik quyidagi funksiya orqali kiritiladi:

$$y^{(l)}[n] = \phi(z_k^{(l)}[n]) \quad (7)$$

bu yerda: $\phi(\cdot)$ - ReLU (Rectified Linear Unit) funksiyasi yoki Leaky ReLU funksiyasi.

5. *Modelni o'qitish uchun optimallashtirish mezon.* CNN modeli maqsadli signalga yaqinlashish mezon orqali o'qitiladi:

$$L(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left(s[n] - \hat{s}[n] \right)^2 \quad (8)$$

θ - model parametrlar to'plami.

Mazkur mezon minimum o'rtacha kvadratik xatolik (MSE) tamoyiliga asoslanadi. Yuqorida keltirilgan (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) hamda (8) model tenglamar birgalikda raqamli signallarni qayta ishlashda shovqinni kamaytirish matematik modelini tashkil etadi.

6. *Signal sifatini baholash ko'rsatkichlari.* Taklif etilgan model samaradorligi quyidagi mezonlar orqali baholanadi:

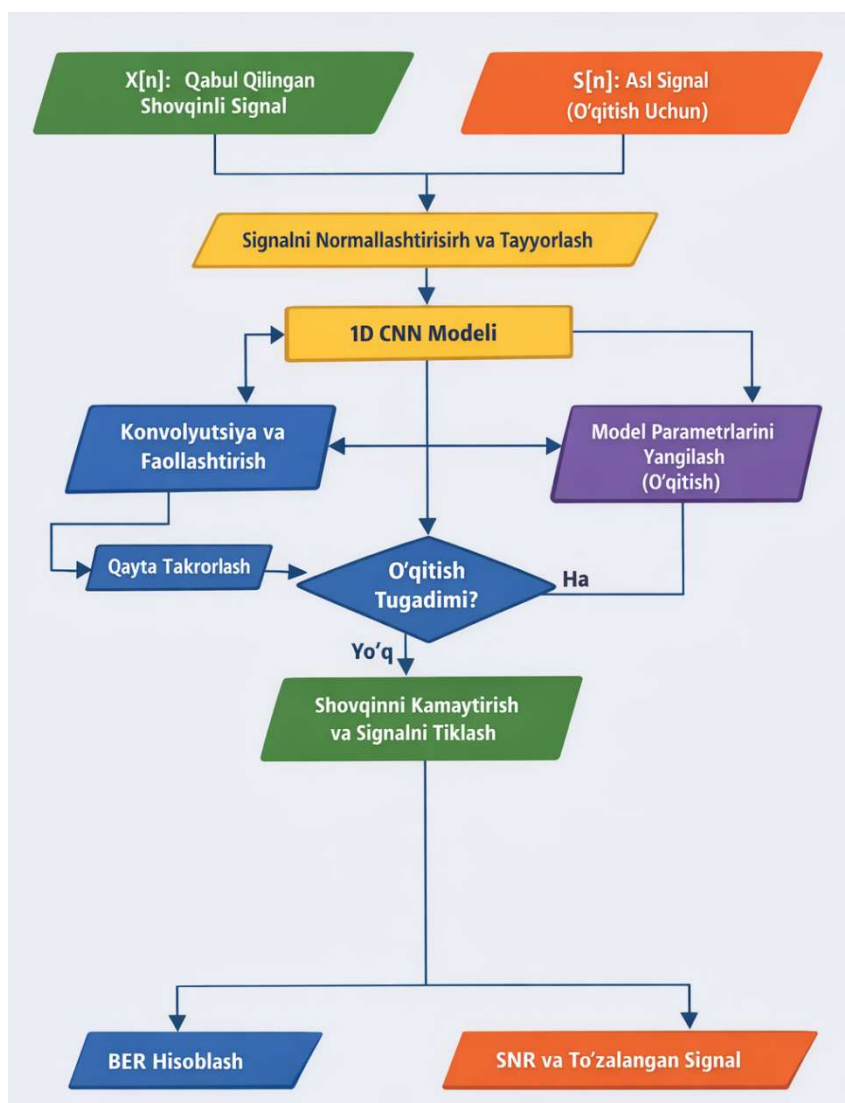
$$\text{Signal-to-Noise Ratio (SNR): } SNR_{chiq} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum s^2[n]}{\sum \left(s[n] - \hat{s}[n] \right)^2} \right); \quad (9)$$

$$\text{Bit Error Rate (BER): } BER = \frac{N_{error}}{N_{total}}. \quad (10)$$

Ilmiy yangiligi quyidagilar:

- Shovqinli signalni tasodifiy jarayon sifatida modellashtiradi.
- Klassik chiziqli filtrlar va nochiziqli CNN operatorlarini yagona matematik struktura sifatida birlashtiradi.
- Vaqt bo'yicha lokal va global xususiyatlarni hisobga oladi.
- Real mobil kanallar uchun moslashuvchan va umumlashtirilgan yondashuvni ta'minlaydi.

Ishlab chiqilgan matematik modellashtirish 1-rasmda keltirilgan algoritm asosida ishlaydi. Ushbu algoritm shovqinli raqamli signallarni qayta ishlash jarayonini bosqichma-bosqich amalga oshirishga mo'ljallangan. Algoritm qabul qilingan signalni dastlab normallashtirish va tahlilga tayyorlash bosqichidan boshlanadi, so'ngra 1D konvolyutsion neyron tarmoq orqali signalning vaqt bo'yicha muhim xususiyatlari ajratib olinadi. Modelni o'qitish jarayonida konvolyutsiya va faollashtirish amallari takroriy ravishda bajarilib, parametrlar optimallashtiriladi. O'qitish yakunlangach, shovqin kamaytirilgan signal tiklanadi va tizimning ishlash samaradorligi signal-shovqin nisbati hamda bit xatolik ehtimoli ko'rsatkichlari asosida baholanadi.



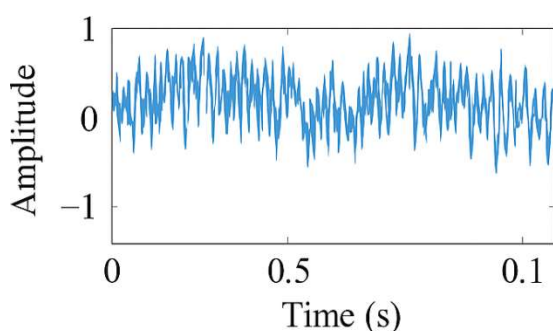
1-rasm. Raqamli signallarni qayta ishlash va shovqinni kamaytirish algoritmi

SNR va MSE natijalari. 1-jadvalda tadqiqot natijalarini SNR va MSE ko'rsatkichlari bo'yicha taqqoslaydi. Olingan natijalar ko'rsatadiki, 1D CNN modeli FIR va IIR filtrlari bilan solishtirganda o'rtacha SNRni 8–10 dB ga oshirdi va MSE qiymatini sezilarli darajada kamaytirdi.

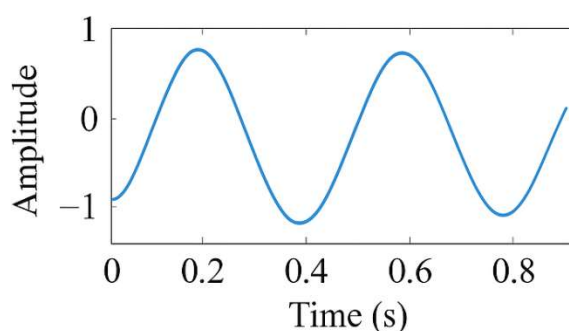
1-jadval.

Shovqinli signalni qayta ishlash natijalari (SNR va MSE)

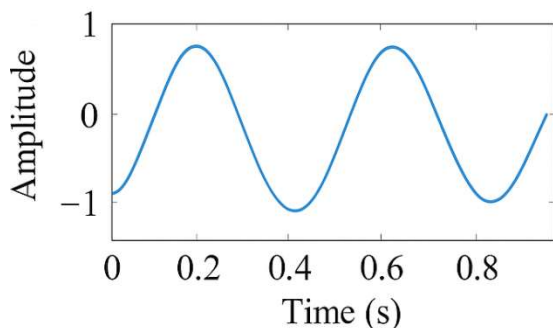
Usullar	O'rtacha SNR (dB)	O'rtacha MSE
FIR filtr	18.2	0.014
IIR filtr	19.1	0.012
1D CNN modeli	27.5	0.004



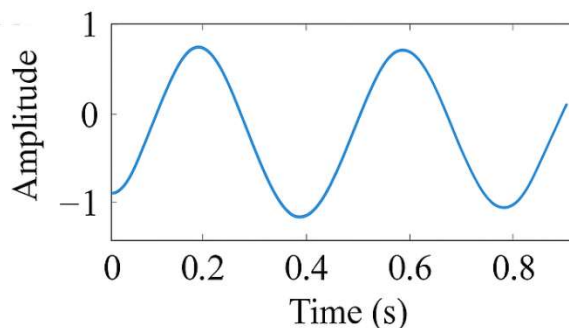
(a)



(b)



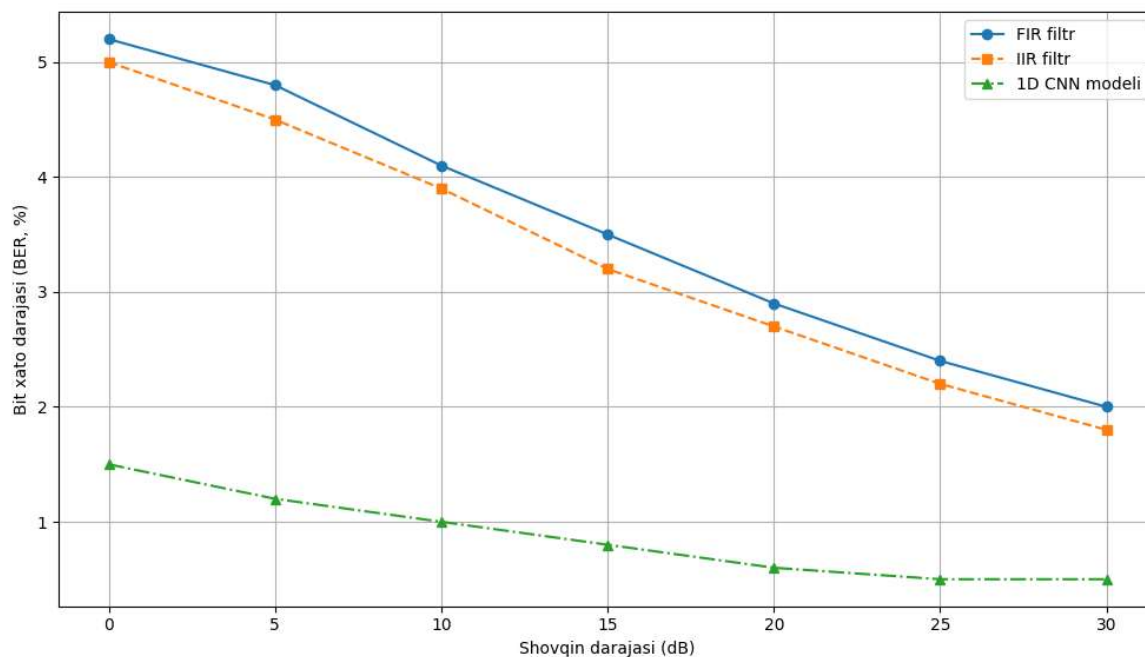
(c)



(d)

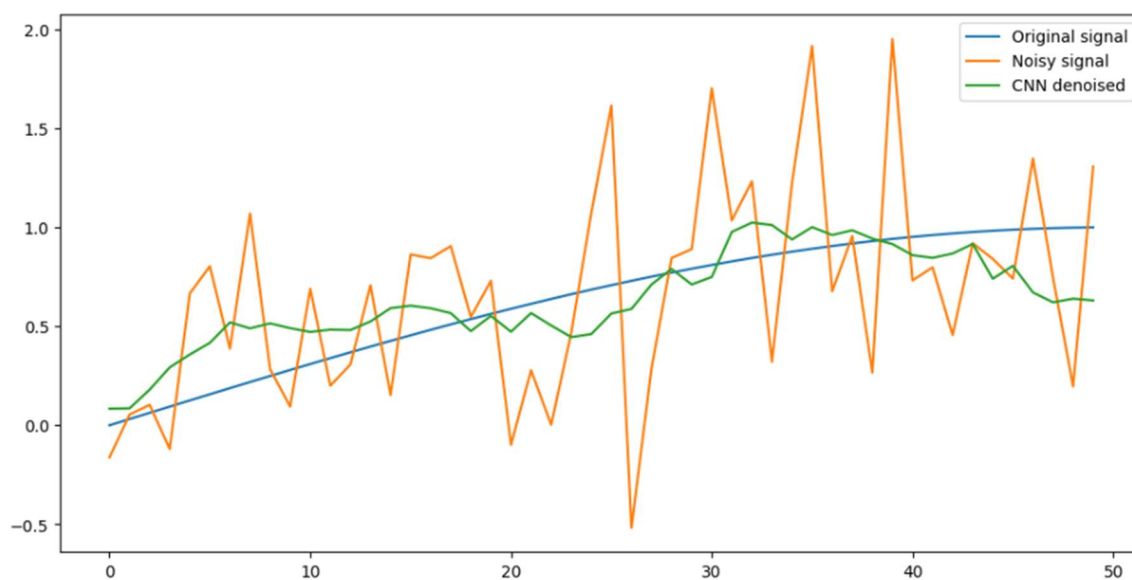
2-rasm. Turli usullar yordamida qayta qiklanga signal ko'rinishlari: (a) Shovqinli sinusoidal signal; (b) FIR filtri yordamida tozalangan signal; (c) IIR filtri yordamida tozalangan signal; (d) 1D CNN modeli yordamida tiklangan signal

Signalni vizual tahlili. Shovqinli signal, klassik filtr yordamida qayta ishlangan signal va 1D CNN modeli yordamida tiklangan signalning vaqt sohasidagi ko'rinishini taqqoslangan holati 2-rasmida keltirilgan. Vizual tahlil shuni ko'rsatdiki, CNN modeli yordamida tiklangan signal amplituda va faza jihatidan original signalga eng yaqin natijani berdi. FIR va IIR filtrlari signalni qisman tozaladi, ammo yuqori chastotali shovqin komponentlarini to'liq bartaraf eta olmadi.



3-rasm. Shovqin darajasi bo'yicha BER taqsimoti

BER tahlili. 3-rasmda BER ko'rsatkichlarining turli shovqin darajalarida taqsimlanishini ko'rsatadi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, 1D CNN modeli FIR va IIR filtrlari bilan solishtirganda BERni sezilarli darajada kamaytiradi, bu esa mobil aloqa tizimlarida signal sifatini yaxshilash imkonini beradi. 4-rasmda 1D CNN modeli uchun yaratilgan dastur vizual natijasi keltirilgan.



4-rasm. Shovqin darajasi bo'yicha Ber taqsimoti, 1D CNN modeli uchun yaratilgan dastur vizual natijasi

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki: 1D CNN modeli signalni tiklashda klassik filtrlar bilan solishtirganda yuqori samaradorlikka ega. FIR va IIR filtrlari past

chastotali shovqinni kamaytirishda foydali bo'lsa-da, yuqori chastotali shovqin komponentlarini to'liq bartaraf eta olmaydi. BER va SNR tahlillari modelning real mobil aloqa muhitida signal sifatini sezilarli darajada yaxshilash imkoniyatini ko'rsatadi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, sun'iy intellektga asoslangan yondashuvlar DSP metodlari bilan kombinatsiyada mobil va radioaloqa tizimlarida shovqinni kamaytirish va signal sifatini oshirish uchun samarali yechim hisoblanadi [1,5,7,8].

IV. MUHOKAMA

O'tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, 1D CNN modeliga asoslangan yondashuv shovqinli raqamli signallarni qayta ishlashda an'anaviy filtratsiya usullariga nisbatan sezilarli ustunlikka ega. Eksperimentlar davomida konvolyutsion operatsiyalar signalning lokal vaqt xususiyatlarini samarali ajratib olishini ko'rsatdi, bu esa shovqin komponentlarini minimallashtirishga va foydali signalni tiklashga imkon berdi. Natijalar SNR va BER ko'rsatkichlarining yaxshilanishi bilan tasdiqlandi, bu esa modelning mobil va radioaloqa tizimlarida real sharoitlarda ham samarali ishlash potensialini ko'rsatadi.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, klassik FIR va IIR filtrlar yuqori SNR sharoitida qoniqarli natija bera oladi, ammo manfiy SNR sharoitida ular foydali signalning asosiy komponentlarini yo'qotish xavfi bilan yuzaga keladi. Shu nuqtai nazardan, CNN-ga asoslangan yondashuvning adaptiv va nochiziqli baholash imkoniyati murakkab shovqin muhitlarida modelning barqaror ishlashini ta'minlaydi. Bundan tashqari, ReLU va Leaky ReLU kabi faollashtirish funksiyalari signalning past amplitudali komponentlarini saqlash va gradient yo'qolishi muammosini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi.

Tadqiqot natijalari shuningdek, modelning o'qitish bosqichida parametrlarning iterativ optimizatsiyasi orqali signalni tozalash samaradorligi sezilarli darajada oshishini ko'rsatdi. Bu esa konvolyutsion arxitekturaning noyob xususiyati – vaqt bo'yicha lokal va global xususiyatlarni bir vaqtda hisobga olish imkoniyatini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, modelning kompyuter resurslariga bo'lgan talabi va real vaqt ishlash sharoitida optimallashtirish zarurati kelgusidagi tadqiqotlar uchun muhim yo'nalish sifatida ajralib turadi.

1D CNN asosidagi signalni qayta ishlash yondashuvi nafaqat shovqin kamaytirish samaradorligini oshiradi, balki mobil va simsiz aloqa tizimlarida BER ni kamaytirish orqali xizmat sifatini yaxshilashga imkon beradi. Shu bilan birga, gibridd yondashuvlar, chuqur va adaptiv arxitekturalar qo'llanilishi modelning real sharoitdagi ishlashini yanada takomillashtirish imkonini beradi, bu esa kelajakda amaliy telekommunikatsiya tizimlari uchun istiqbolli yo'nalish sifatida ko'riladi.

XULOSA

Mazkur maqolada radiokanallarda yuzaga keladigan shovqin ta'siri natijasida raqamli signal sifatining pasayishi va bit xato darajasining oshishi muammosi tizimli ravishda tahlil qilindi. Tadqiqot davomida termik va atmosferik shovqinlar, interferensiya hamda ko'p yo'lli tarqalish effektining signal amplitudasi va vaqt

xususiyatlariga ta'siri matematik modellashtirish asosida o'rganildi. Ushbu tahlillar shovqinli muhitda uzatilayotgan nochiziqli ko'rinishidagi signalni samarali qayta ishlash zaruratini asoslab berdi.

Muammoni yechish maqsadida an'anaviy raqamli filtrlar (FIR va IIR), adaptiv filtratsiya usullari hamda sun'iy intellektga asoslangan yondashuvlar taqqoslab o'rganildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, klassik filtratsiya usullari shovqinni qisman kamaytirishga erishsa-da, murakkab va nochiziqli shovqin sharoitlarida ularning samaradorligi cheklangan bo'lib qolmoqda. Shu munosabat bilan 1D konvolyutsion neyron tarmog'iga asoslangan dasturiy yechim ishlab chiqildi va uning signalni filtrlash imkoniyatlari tadqiq qilindi.

O'tkazilgan eksperimental sinovlar asosida 1D CNN modeli shovqinli raqamli signalni tozalash va asl signalni tiklashda yuqori aniqlikni ta'minlashi aniqlandi. Vizual va miqdoriy natijalar shuni tasdiqlaydiki, taklif etilgan yondashuv signal-shovqin nisbatini yaxshilaydi hamda bit xato darajasi (BER)ni sezilarli darajada kamaytiradi. Bu esa mazkur modelni radio va mobil aloqa tizimlarida signal sifatini oshirish uchun istiqbolli vosita sifatida ko'rsatadi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda ishlab chiqilgan modelni real radiokanal sharoitlarida, jumladan Rayleigh va Rician fading modellari asosida sinovdan o'tkazish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Shuningdek, adaptiv filtrlar va chuqur o'rganish modellarini gibridlashtirish, modelni real vaqt rejimida ishlashga moslashtirish hamda apparat darajasida amalga oshirish imkoniyatlarini o'rganish tavsiya etiladi. Ushbu yo'nalishlar taklif etilgan yondashuvning amaliy samaradorligini yanada oshirishga xizmat qiladi.

V. FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Bishop, C. M. (2006). Pattern recognition and machine learning. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45528-0>
2. Goldsmith, A. (2005). Wireless communications. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511841224>
3. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press. <https://www.deeplearningbook.org>
4. Haykin, S. (2002). Adaptive filter theory (4th ed.). Prentice Hall.
5. O'Shea, T. J., & Hoydis, J. (2017). An introduction to deep learning for the physical layer. IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, 3(4), 563–575. <https://doi.org/10.1109/TCCN.2017.2758370>
6. Proakis, J. G., & Salehi, M. (2008). Digital communications (5th ed.). McGraw-Hill.
7. Simon, D. (2006). Optimal state estimation: Kalman, H infinity, and nonlinear approaches. Wiley-Interscience.
8. Zhang, K., Zuo, W., Chen, Y., Meng, D., & Zhang, L. (2017). Beyond a Gaussian denoiser: Residual learning of deep CNN for image denoising. IEEE Transactions on Image Processing, 26(7), 3142–3155. <https://doi.org/10.1109/TIP.2017.2662206>