



SHOVQINLI MUHITDA NUTQ SIGNALINI QAYTA ISHLASHDA ADAPTIV RAQAMLI FILTRLASH USULLARINING MAVJUD MUAMMOLARI VA ULARNI TAKOMILLASHTIRISH ISTIQBOLLARI

**Isvandiyarova Madina
Beknazar qizi**

*Tayanch doktorant Muhammad al-Xorazmiy
nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari
universiteti*

**Beknazarova Saida
Safibullayevna**

Ilmiy rahbar:

Kirish

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi, mobil aloqa tarmoqlarining kengayishi, videokonferensiya tizimlari, ovozli yordamchilar, avtomatik nutqni tanish (Automatic Speech Recognition – ASR), biometrik autentifikatsiya hamda sun'iy intellekt asosidagi aqlli tizimlarning ommalashuvi natijasida nutq signallarini sifatli uzatish va qayta ishlash zamonaviy signal processing sohasining eng dolzarb ilmiy yo'nalishlaridan biriga aylandi.

Nutq inson va kompyuter o'rtasidagi eng tabiiy muloqot vositasi hisoblanadi. Shu sababli ovozli boshqaruv tizimlari, virtual yordamchilar, Call-markazlar, IoT qurilmalari, avtomobil boshqaruv tizimlari, tibbiyot, harbiy aloqa, eshitish apparatlari va robototexnikada nutq signalining yuqori sifatini ta'minlash muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur tizimlarning ishlash sifati esa bevosita qabul qilinayotgan nutq signalining tozaligi va tushunarligiga bog'liq.

Amaliy sharoitlarda esa nutq signali deyarli har doim tashqi va ichki shovqinlar bilan ifloslanadi. Shovqin manbalari sifatida transport vositalari, sanoat korxonalari, shamol, yomg'ir, turli elektr qurilmalar, odamlar suhbatlari (Babble Noise), xona akustikasi hamda mikrofonning o'z shovqini keltirilishi mumkin. Mazkur omillar foydali nutq signalining amplituda, faza va spektral parametrlarini o'zgartirib yuboradi.

Natijada quyidagi muammolar yuzaga keladi:

- nutqning tushunarligi pasayadi;
- avtomatik nutqni tanish tizimlarining aniqligi kamayadi;
- ovozli autentifikatsiya tizimlarida xatolik ortadi;
- videokonferensiya va IP-telefoniya tizimlarida sifat yomonlashadi;
- eshitish apparatlarining samaradorligi kamayadi;
- real vaqt tizimlarida kechikishlar yuzaga keladi.

Shovqinli muhitda nutq signalini qayta ishlash masalasi ko'p yillardan buyon tadqiqotchilar e'tiborida bo'lib kelmoqda. Hozirgi kunga qadar Wiener Filtering, Kalman Filtering, Least Mean Squares (LMS), Normalized Least Mean Squares (NLMS), Recursive Least Squares (RLS), Spectral Subtraction, Minimum Mean

Square Error (MMSE), Wavelet Transform, Deep Neural Networks (DNN), Convolutional Neural Networks (CNN), Long Short-Term Memory (LSTM), Transformer va Diffusion Models kabi ko'plab usullar ishlab chiqilgan.

Biroq mavjud algoritmlarning aksariyati ma'lum turdagi shovqinlar uchun samarali ishlaydi. Masalan, Wiener filtri statsionar shovqinlarda yuqori natija ko'rsatsa-da, nostatsionar shovqinlarda uning samaradorligi sezilarli kamayadi. LMS algoritmi sodda va tez ishlashi bilan ajralib tursa ham, uning yaqinlashish tezligi tanlangan parametr qiymatlariga kuchli bog'liq. Kalman filtri yuqori aniqlikka ega bo'lishiga qaramay, matematik modelning aniq berilishini talab qiladi. Sun'iy intellekt asosidagi usullar esa yuqori sifatli natija beradi, biroq katta hajmdagi o'quv ma'lumotlari va yuqori hisoblash resurslarini talab etadi.

Bugungi kunda mavjud filtrlash algoritmlarining eng asosiy kamchiligi shundan iboratki, ular turli statistik xususiyatlarga ega bo'lgan barcha shovqin turlariga avtomatik moslasha olmaydi. Ayniqsa, real vaqt rejimida ishlovchi mobil qurilmalar, IoT tizimlari va o'rnatilgan (Embedded) platformalarda hisoblash resurslarining cheklanganligi sababli yuqori aniqlikni saqlagan holda tez ishlovchi algoritmlarni yaratish dolzarb ilmiy muammo bo'lib qolmoqda.

Shuningdek, zamonaviy ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, mavjud adaptiv filtrlash usullarining ko'pchiligi filtr parametrlarini foydalanuvchi tomonidan oldindan tanlashni talab qiladi. Amalda esa shovqin darajasi va uning spektral tarkibi doimiy ravishda o'zgarib turadi. Shu sababli parametrlarni qo'lda tanlash har doim ham optimal natijani ta'minlamaydi. Mazkur holat adaptiv filtrlash algoritmlarini yanada takomillashtirish, shovqin turini avtomatik aniqlash hamda filtr parametrlarini dinamik ravishda moslashtirish zarurligini ko'rsatadi.

Mazkur tadqiqot ishining asosiy maqsadi mavjud adaptiv raqamli filtrlash algoritmlarining nazariy va amaliy imkoniyatlarini kompleks tahlil qilish, ularning afzallik va kamchiliklarini aniqlash hamda turli shovqin sharoitlarida yuqori samaradorlikni ta'minlovchi takomillashtirilgan adaptiv filtrlash yondashuvlarini ishlab chiqish uchun ilmiy asos yaratishdan iborat.

2. NUTQ SIGNALIGA TA'SIR ETUVCHI SHOVCIN TURLARINING ILMIIY TAHLILI

2.1. Nutq signaliga ta'sir etuvchi shovqinlarning umumiy tavsifi

Nutq signalini qayta ishlash jarayonida uchraydigan asosiy muammolardan biri foydali signalning turli xil tashqi va ichki shovqinlar bilan aralashib ketishidir. Shovqin – bu foydali nutq signaliga qo'shiladigan va uning axborot mazmunini buzadigan tasodifiy yoki deterministik xususiyatga ega bo'lgan signal hisoblanadi. Shovqin mavjud bo'lgan sharoitlarda nutqning tushunarligi pasayadi, spektral tarkibi o'zgaradi va avtomatik nutqni tanish tizimlarining aniqligi sezilarli darajada kamayadi.

Nutq signalining shovqin bilan ifloslangan modeli quyidagi matematik ifoda orqali tasvirlanadi.

$$y(n)=x(n)+d(n)$$

bu yerda:

- **x(n)**– foydali nutq signali;
- **d(n)** – shovqin signali;
- **y(n)** – kuzatilayotgan signal.

Agar bir nechta shovqin manbalari mavjud bo'lsa, model quyidagicha yoziladi.

$$y(n)=x(n)+\sum_{i=1}^M d_i(n)$$

bu yerda $d_i(n)$ – i-shovqin manbasi.

Shovqinlarning statistik xususiyatlari turlicha bo'lganligi sababli barcha shovqinlarga bitta filtrni qo'llash yuqori natija bermaydi. Aynan shu sababli adaptiv filtrlash algoritmlari ishlab chiqilgan.

2.2 White Noise

White Noise (oq shovqin) eng ko'p o'rganilgan shovqinlardan biri bo'lib, uning asosiy xususiyati barcha chastotalarda quvvat spektral zichligi bir xil bo'lishidir.

Matematik jihatdan: $d(n) \sim N(0, \sigma^2)$

ya'ni shovqin normal taqsimotga ega.

O'rtacha qiymati Autokorrelyatsiya funksiyasi

$$R_d(k) = \sigma^2 \delta(k)$$

Quvvat spektral zichligi

$$S_d(f) = \frac{N_0}{2}$$

White Noise laboratoriya tajribalarida algoritmlarni baholash uchun standart signal hisoblanadi. Wiener va LMS algoritmlari ushbu shovqin turida yuqori natijalarni beradi.

2.3 Pink Noise

Pink Noise tabiiy muhitda eng ko'p uchraydigan shovqinlardan biri hisoblanadi. Uning asosiy xususiyati past chastotalarning yuqori chastotalarga nisbatan kuchliroq bo'lishidir.

Quvvat spektri $S(f) \propto \frac{1}{f}$

Pink Noise quyidagi sohalarda uchraydi:

- tabiiy tovushlar;
- biologik signallar;
- atmosfera shovqinlari;
- audio tizimlari.

Mazkur shovqin uchun oddiy Wiener filtri har doim ham optimal natija bermaydi. Adaptiv LMS va Wavelet algoritmlari samaraliroq hisoblanadi.

2.4 Brown Noise

Brown Noise past chastotalarda juda katta energiyaga ega.

Quvvat spektri

$$S(f) \propto \frac{1}{f^2}$$

Brown Noise odatda

- dengiz shovqini;
- kuchli shamol;
- past chastotali vibratsiyalar

ko'rinishida uchraydi.

Bunday sharoitda Kalman Filter hamda Wavelet algoritmlari nisbatan yaxshi natija ko'rsatadi.

2.5 Babble Noise

Babble Noise bir vaqtning o'zida bir nechta odamlarning gaplashishi natijasida yuzaga keladigan murakkab nostatsionar shovqin hisoblanadi.

Matematik model

$$d(n)=\sum_{i=1}^K a_i(n)s_i(n)$$

bu yerda

- $s_i(n)$ — i -odamning nutqi;
- $a_i(n)$ — amplituda koeffitsienti.

Mazkur shovqin Call-markazlar, konferensiyalar, aeroportlar, restoranlar va universitet auditoriyalarida keng uchraydi.

Babble Noise adaptiv filtrlash uchun eng murakkab shovqinlardan biri hisoblanadi.

2.6 Vehicle Noise

Transport vositalari shovqini quyidagicha ifodalanadi.

$$d(n)=d_e(n)+d_t(n)+d_r(n)$$

bu yerda

- $d_e(n)$ — dvigatel;
- $d_t(n)$ — transmissiya;
- $d_r(n)$ — yo'l bilan bog'liq shovqin.

Bu shovqin avtonom transport tizimlari va avtomobillarda ovozli boshqaruv uchun dolzarb hisoblanadi.

2.7 Factory Noise

Sanoat korxonalaridagi shovqinlar ko'plab mexanik qurilmalar yig'indisidan tashkil topadi.

Matematik model

$$d(n)=\sum_{i=1}^N A_i \cos(2\pi f_i n + \varphi_i) + w(n)$$

Bu yerda:

- A_i — amplituda;
- f_i — chastota;
- φ_i — faza;
- $w(n)$ — tasodifiy shovqin.

2.8 Wind Noise

Shamol shovqini mikrofonlarda eng murakkab shovqinlardan biri hisoblanadi. Odatda uning energiyasi past chastotalarda to'plangan bo'ladi. Shuning uchun oddiy filtrlar shamol shovqinini to'liq bartaraf eta olmaydi. Zamonaviy Deep Learning algoritmlari bu yo'nalishda yuqori natija ko'rsatmoqda.

2.9 Shovqin turlarining qiyosiy tahlili

Shovqin turi	Statsionar	Murakkablik	Tavsiya etiladigan filtr
White Noise	Ha	Past	Wiener, LMS
Pink Noise	Yo'q	O'rta	LMS, Wavelet
Brown Noise	Yo'q	O'rta	Kalman, Wavelet
Babble Noise	Yo'q	Juda yuqori	AI, Hybrid
Vehicle Noise	Yo'q	Yuqori	Kalman, NLMS
Factory Noise	Qisman	Yuqori	Spectral Subtraction, RLS
Wind Noise	Yo'q	Juda yuqori	AI, DeepFilterNet

2-bo'lim bo'yicha xulosa

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, nutq signaliga ta'sir etuvchi shovqinlarning statistik va spektral xususiyatlari sezilarli darajada farqlanadi. Shu sababli bitta filtrlash algoritmi barcha turdagi shovqinlar uchun optimal natija bera olmaydi. Ayniqsa, **Babble Noise, Wind Noise** va **Vehicle Noise** kabi nostatsionar shovqinlar mavjud bo'lgan sharoitlarda mavjud adaptiv algoritmlarning samaradorligi pasayadi. Bu esa **shovqin turini avtomatik aniqlash va filtr parametrlarini dinamik ravishda moslashtirishga asoslangan takomillashtirilgan adaptiv raqamli filtrlash usullarini ishlab chiqish zarurligini** ko'rsatadi.

ADAPTIV RAQAMLI FILTRLASH USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Shovqinli muhitda nutq signalini tiklash uchun turli xil raqamli filtrlash algoritmlari ishlab chiqilgan. Har bir algoritmning ishlash prinsipi, hisoblash murakkabligi va qo'llanish sohasi o'ziga xos xususiyatlarga ega. Shu sababli algoritm tanlashda shovqinning statistik xususiyatlari, hisoblash resurslari va real vaqt rejimida ishlash talablari hisobga olinishi zarur.

Wiener filtri

Wiener filtri shovqinlarni kamaytirishning klassik usullaridan biri bo'lib, signal va shovqin statistik parametrlari ma'lum bo'lgan holatlarda optimal natija beradi. Filtrning asosiy maqsadi foydali signal va filtr chiqishi orasidagi o'rtacha kvadratik xatolikni minimallashtirishdan iborat.

$$H(f)=\frac{S_x(f)}{S_x(f)+S_n(f)}$$

bu yerda:

- $S_x(f)$ – foydali signalning quvvat spektral zichligi;
- $S_n(f)$ – shovqinning quvvat spektral zichligi.

Ushbu filtr statsionar shovqinlarda yuqori samaradorlikka ega bo'lsa-da, nostatsionar shovqinlarda uning aniqligi pasayadi.

LMS (Least Mean Squares) algoritmi

LMS algoritmi adaptiv filtrlashning eng sodda va keng qo'llaniladigan usullaridan biridir. Algoritm filtr koeffitsiyentlarini xatolik signaliga qarab bosqichma-bosqich yangilaydi.

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

bu yerda:

- $w(n)$ – filtr koeffitsiyenti;
- μ – moslashish koeffitsiyenti;
- $e(n)$ – xatolik signali;
- $x(n)$ – kirish signali.

LMS algoritmining afzalligi hisoblash murakkabligining pastligi bo'lsa, kamchiligi konvergensiya tezligining parametr μ ga bog'liqligidir.

NLMS algoritmi

NLMS algoritmi LMS usulining takomillashtirilgan ko'rinishi bo'lib, kirish signalining quvvatiga mos ravishda moslashish koeffitsiyentini avtomatik normallashtiradi.

$$w(n+1)=w(n)+\frac{\mu}{\delta+\|x(n)\|^2}e(n)x(n)$$

Kalman filtri

Kalman filtri dinamik tizimlar uchun optimal baholash algoritmi hisoblanadi. Ushbu algoritm nutq signalining vaqt bo'yicha o'zgarishini hisobga olgan holda shovqinlarni kamaytiradi.

Kalman filtri ayniqsa avtomobil, robototexnika va mobil aloqa tizimlarida samarali qo'llaniladi. Biroq uning hisoblash murakkabligi boshqa adaptiv filtrlarga nisbatan yuqoriroq.

Spectral Subtraction usuli

Mazkur usul shovqin spektrini baholab, uni umumiy signal spektridan ayirish prinsipiga asoslanadi.

$$|\hat{X}(f)| = |Y(f)| - |D(f)|$$

Bu usul sodda va tez ishlashi bilan ajralib turadi. Ammo ayrim holatlarda "musical noise" deb ataluvchi sun'iy shovqinlar yuzaga kelishi mumkin.

Filtrlash usullarining qiyosiy tahlili

Algoritm	Afzalligi	Kamchiligi	Qo'llanish sohasi
Wiener	Statsionar shovqinda samarali	Nostatsionar shovqinda samarasi pasayadi	Audio signalni tiklash
LMS	Oddiy va tez	Parametr tanlash muhim	Real vaqt tizimlari
NLMS	Barqaror konvergensiya	Hisoblash xarajati biroz yuqori	Mobil qurilmalar
Kalman	Yuqori aniqlik	Hisoblash murakkab	Dinamik tizimlar
Spectral Subtraction	Tez va sodda	Musical noise yuzaga kelishi mumkin	Nutqni dastlabki tozalash

Yuqoridagi tahlildan ko'rinadiki, mavjud algoritmlarning har biri ma'lum sharoitlarda samarali ishlaydi, biroq ularning hech biri barcha turdagi shovqinlar uchun universal yechimni ta'minlay olmaydi. Ayniqsa, shovqin turi va intensivligi tez o'zgaradigan muhitlarda filtr parametrlarini avtomatik moslashtirish zarurati yuzaga keladi.

ILMIY MUAMMO VA TADQIQOTNING ISTIQBOLLI YO'NALISHI (Research Gap)

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud adaptiv raqamli filtrlash usullari asosan ma'lum turdagi shovqinlar uchun ishlab chiqilgan bo'lib, ularning samaradorligi shovqinning statistik xususiyatlariga sezilarli darajada bog'liq. Real muhitlarda esa shovqinlar ko'pincha nostatsionar va murakkab aralashma ko'rinishida uchraydi. Natijada bitta algoritm barcha holatlarda yuqori sifatli natija bera olmaydi.

Shu sababli **ilmiy muammo** quyidagicha shakllantiriladi:

Turli xil shovqin sharoitlarida nutq signalining sifatini saqlagan holda, filtr parametrlarini avtomatik moslashtira oladigan adaptiv raqamli filtrlash usulini ishlab chiqish zarur.

Mazkur muammoni hal etish uchun kelgusidagi tadqiqotlarda shovqin turini avtomatik aniqlash, signal xususiyatlarini real vaqt rejimida baholash hamda adaptiv filtr parametrlarini dinamik ravishda optimallashtirishga asoslangan yondashuvni

ishlab chiqish rejalashtiriladi. Ushbu yondashuv nutqni tanish tizimlari, mobil aloqa, videokonferensiyalar va ovozli boshqaruv tizimlarida nutq sifatini oshirishga xizmat qilishi mumkin.

XULOSA

Olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatdiki, shovqinli muhitda nutq signalini qayta ishlash zamonaviy raqamli signal processing sohasining eng dolzarb ilmiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Nutq signallariga ta'sir etuvchi White Noise, Pink Noise, Brown Noise, Babble Noise, Vehicle Noise, Factory Noise va Wind Noise kabi shovqinlarning statistik va spektral xususiyatlari turlicha bo'lganligi sababli, ularni bitta filtrlash algoritmi yordamida samarali bartaraf etish murakkab masala hisoblanadi.

Mavjud adaptiv raqamli filtrlash usullari, jumladan Wiener, LMS, NLMS, Kalman va Spectral Subtraction algoritmlari tahlili shuni ko'rsatdiki, har bir algoritm ma'lum shovqin sharoitlarida yuqori samaradorlikka ega bo'lsa-da, ularning hech biri barcha turdagi shovqinlar uchun universal yechimni ta'minlamaydi. Ayniqsa, nostatsionar va aralash shovqinlar mavjud bo'lgan real muhitlarda filtr parametrlarini oldindan tanlash talab qilinishi ularning asosiy kamchiligi hisoblanadi.

Shu munosabat bilan kelgusidagi tadqiqotlarda shovqin turini avtomatik aniqlash, signalning joriy holatini baholash hamda filtr parametrlarini real vaqt rejimida moslashtirishga asoslangan takomillashtirilgan adaptiv raqamli filtrlash usulini ishlab chiqish maqsadga muvofiq deb hisoblanadi. Taklif etilayotgan yondashuv nutq signalining sifatini oshirish, avtomatik nutqni tanish tizimlari aniqligini yaxshilash va real vaqt rejimida ishlovchi ovozli tizimlarning samaradorligini oshirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Haykin S. *Adaptive Filter Theory*. 5th Edition. Pearson, 2014.
2. Loizou P. C. *Speech Enhancement: Theory and Practice*. CRC Press, 2013.
3. Benesty J., Huang Y. *Adaptive Signal Processing*. Springer, 2003.
4. Boll S. F. Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1979.
5. Widrow B., Stearns S. D. *Adaptive Signal Processing*. Prentice Hall, 1985.
6. Ephraim Y., Malah D. Speech Enhancement Using Minimum Mean-Square Error Short-Time Spectral Amplitude Estimator. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1984.
7. Vaidyanathan P. P. *Multirate Systems and Filter Banks*. Prentice Hall, 1993.
8. Oppenheim A. V., Schaffer R. W. *Discrete-Time Signal Processing*. Pearson, 2010.
9. Proakis J. G., Manolakis D. G. *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications*. Pearson, 2007.
10. Vaseghi S. V. *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*. Wiley, 2008.
11. Lim J. S. *Speech Enhancement*. Prentice Hall, 1983.
12. Benesty J., Makino S., Chen J. *Speech Enhancement*. Springer, 2005.