ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCE

CENTRAL ASIAN SCIENTIFIC JOURNAL
ISSN 3135-3061
2026. №4 (32), 2-том. 587–594 б.
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24459408
Журнал сайты: https://cajournal.kz

ӘОЖ 621.391

PYTHON БАҒДАРЛАМАЛАУ ТІЛІ НЕГІЗІНДЕ РАДИОСИГНАЛДАРДЫ ЦИФРЛЫҚ ӨҢДЕУ ЖӘНЕ ШУЫЛДАН ТАЗАРТУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

А.Д. Базарбаева
С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Базарбаева Арай Дюсенбекқызы — «Физика» білім беру бағдарламасының 3-курс студенті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан.

Ғылыми жетекшісі: Ералиева Бахыт Шынжырбековна

© А.Д. Базарбаева, 2026

Аңдатпа: Бұл мақалада радиосигналдарды цифрлық өңдеу және оларды әртүрлі кедергілерден (шуылдардан) тазарту әдістері қарастырылған. Зерттеу Python бағдарламалау тілі және оның ғылыми кітапханалары (NumPy, SciPy, Matplotlib, Pandas) негізінде жүргізілді. Жұмыс барысында таза синтетикалық сигнал құрылып, оған төрт түрлі кедергі енгізілді: ақ гаусстық шу (AWGN), импульстік шу, 50 Гц электр желісінің кедергісі және аралас кедергі. Оларды сүзгілеу үшін жеті түрлі әдіс (Жылжымалы орташа, Баттерворт, Медиана, Савицкий-Голей, Винер, Notch және құрама сүзгі) қолданылды. Бағдарлама автоматты түрде әрбір кедергі түрі үшін Сигнал-Шуыл қатынасы (SNR) ең жоғары әдісті таңдайды. Зерттеу нәтижелері кедергінің табиғатына байланысты сүзгілердің тиімділігі әртүрлі болатынын көрсетті. Мысалы, AWGN шуы үшін Баттерворт сүзгісі, импульстік шу үшін Медиана сүзгісі, ал 50 Гц кедергі үшін Notch сүзгісі ең тиімді болып табылды. Сонымен қатар, аралас кедергілер жағдайында құрама (Notch+Median+Butterworth) сүзгісі ең жоғары нәтиже көрсетті. Бұл жұмыс сигналдың табиғатына қарай сүзгіні автоматты түрде таңдау тәсілінің модельдік жағдайда тиімді екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: Радиосигнал, цифрлық өңдеу, шуылдан тазарту, Python, AWGN, Баттерворт сүзгісі, Медиана сүзгісі, Notch сүзгісі, Сигнал-Шуыл қатынасы (SNR), MSE.

Кіріспе

Қазіргі заманғы радиотехника, телекоммуникация және ақпараттық технологиялар салаларында пайдалы сигналды сыртқы және ішкі кедергілерден (шуылдардан) тазарту ең өзекті ғылыми-техникалық мәселелердің бірі болып табылады. Кез келген нақты радиосигнал табиғи (атмосфералық, ғарыштық) немесе жасанды (өнеркәсіптік, электр желісінің) шуылдарға ұшырайды. Бұл кедергілер сигналдың ақпараттық құндылығын төмендетіп қана қоймай, байланыс сапасын айтарлықтай нашарлатады [1, 2], ал кейбір жағдайларда сигналды толығымен қабылдауға мүмкіндік бермейді. Сондықтан сигналдарды цифрлық өңдеу әдістерін қолдану арқылы шуылдарды тиімді сүзгілеу бүгінгі күннің басты талабына айналды.

Соңғы жылдары инженерлік және ғылыми есептеулерде Python бағдарламалау тілі кеңінен қолданылуда. Оның ашық бастапқы коды, қуатты математикалық кітапханалары (NumPy, SciPy) және визуализация құралдары (Matplotlib) сигналдарды модельдеу, талдау және өңдеу процесін айтарлықтай жеңілдетеді [3, 4, 5]. Атап айтқанда, SciPy кітапханасының signal модулі күрделі цифрлық сүзгілерді (Баттерворт, Медиана, Винер, т.б.) жоғары

дәлдікпен және аз уақыт ішінде жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде зерттеушілерге әртүрлі шуылдармен күресуде сандық эксперименттер жүргізуге кең жол ашады.

Радиосигналдарға әсер ететін кедергілердің табиғаты әртүрлі. Ең жиі кездесетіндері: ақ гаусстық шу (AWGN – жылулық шу), импульстік шу (найзағай, коммутациялық үзілістер), электр желісінен келетін 50 Гц жиілікті синусоидалық кедергі және осы аталған шуылдардың барлығының қосындысы болып табылатын аралас кедергілер [1, 2, 6, 7]. Әрбір кедергі түрінің математикалық моделі мен спектрлік қасиеттері әртүрлі болғандықтан, оларды тазарту үшін әмбебап бір ғана сүзгі жеткіліксіз. Мысалы, жиіліктік сүзгілер (Butterworth) ақ шуды жақсы басса, ал импульстік шуларға қарсы статистикалық сүзгілер (Median) тиімдірек. Ал электр желісінің нақты бір жиіліктегі кедергісін арнайы тар жолақты сүзгілер (Notch) тиімді басады [1, 2, 6, 7, 8].

Қолданыстағы зерттеулерде сүзгілер көбіне жеке-жеке қарастырылады. Мысалы, [2] жұмыста сенсор деректерін шуылдан тазартуда Калман, Баттерворт, Савицкий–Голей, медиана және жылжымалы орташа сүзгілері UWB негізіндегі позицияны бағалау есебінде салыстырылған, ал [6–8] жұмыстарда 50 Гц желі кедергісін басуға арналған notch сүзгілерін жобалауға (оның ішінде ЭКГ сигналдары үшін) басты назар аударылған. Бұл жұмыстың ерекшелігі – әртүрлі кедергілерге қарсы қолданылатын сүзгілер бір модельдік сигналда, бірдей жағдайда салыстырылып, ең тиімдісін таңдау объективті көрсеткіш бойынша автоматтандырылады.

Осыған байланысты, әрбір кедергі түріне қарсы ең тиімді сүзгіні дұрыс таңдау – инженер-зерттеушінің алдында тұрған күрделі міндет. Дәстүрлі тәсілде маман әрбір сүзгіні қолмен сынап, олардың нәтижелерін визуалды түрде бағалауына тура келеді, бұл көп уақытты алады және субъективті қателіктерге жол береді. Бұл мәселені шешу үшін сигнал сапасын объективті сандық көрсеткіштер – Сигнал-Шуыл қатынасы (SNR, Signal-to-Noise Ratio) және Орташа квадраттық қателік (MSE, Mean Squared Error) арқылы бағалайтын автоматтандырылған жүйелер қажет.

Осы зерттеу жұмысының мақсаты – Python бағдарламалау тілін пайдаланып, радиосигналдарға тән әртүрлі кедергілерді модельдейтін және оларды тазартудың ең тиімді цифрлық сүзгілерін автоматты түрде анықтайтын бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу. Қойылған мақсатқа жету үшін 1000 Гц дискретизация жиілігімен таза синтетикалық радиосигналды генерациялау, оған төрт түрлі кедергіні (AWGN ақ шуын, импульстік шуды, 50 Гц электр желісінің кедергісін және аралас кедергіні) енгізу, жеті түрлі сүзгілеу әдісін (Жылжымалы орташа, Баттерворт, Медиана, Савицкий-Голей, Винер, Notch және құрама сүзгі) қолдану, әрбір әдістің тиімділігін SNR және MSE көрсеткіштері бойынша салыстырмалы талдау жүргізу және әрбір кедергі түрі үшін ең жоғары SNR мәнін қамтамасыз ететін сүзгіні автоматты түрде таңдайтын алгоритмді құру міндеттері анықталды.

Бұл зерттеудің практикалық құндылығы – әзірленген бағдарламалық модуль радиотехникалық жүйелерді жобалауда, телекоммуникациялық байланыс арналарының сапасын арттыруда, сондай-ақ жоғары оқу орындарында «Цифрлық сигналдарды өңдеу» пәндерін оқытуда зертханалық құрал ретінде пайдаланылуы мүмкін. Жұмыс барысында алынған нәтижелер кедергінің физикалық табиғатына байланысты сүзгілерді кешенді түрде қолданудың ғылыми негіздемесін көрсетеді.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу жұмысының әдістемесі цифрлық сигналдарды өңдеудің заманауи құралдарына негізделген. Барлық есептеулер, модельдеулер және графикалық талдаулар бағдарламаны орындау барысында Python бағдарламалау тілінің көмегімен жүзеге асырылды. Сигналдарды математикалық өңдеу мен сүзгілеу үшін NumPy және SciPy кітапханаларының функциялары, нәтижелерді визуализациялау үшін Matplotlib, ал алынған сандық көрсеткіштерді кестеге жинақтау және салыстыру үшін Pandas кітапханалары қолданылды [3, 4, 5]. Зерттеу барысында барлық эксперименттер қайталанушылықты

қамтамасыз ету үшін тұрақты кездейсоқ сандар генераторының тұқымымен (SEED = 42) орындалды.

Сигнал және кедергілердің математикалық модельдері

Бастапқы таза сигнал ретінде дискретизация жиілігі 1000 Гц (FS = 1000), ұзақтығы 2 секунд болатын синтетикалық сигнал генерацияланды. Ол екі гармониканың қосындысынан тұрады және келесі формуламен өрнектеледі:

$$s(t)=\sin(2\pi f_1 t)+0.5\sin(2\pi f_2 t)$$

Мұндағы $f_1=10$ Гц – негізгі жиілік, $f_2=40$ Гц – қосымша гармоника жиілігі.

Бұл жұмыста радиосигналдың төмен жиілікті (базалық жолақтағы) модельдік үлгісі қарастырылады: сүзгілеу әдістерін салыстыру үшін жиіліктері 10 және 40 Гц болатын сигнал алынды. Нақты радиосигналдарға көшу үшін қосымша тексеру қажет.

Таза сигналға нақты өмірде кездесетін төрт түрлі кедергі енгізілді. Олардың математикалық модельдері мен параметрлері төмендегідей (1-кесте):

Ақ гаусстық шу (AWGN) қосылған сигнал мына түрде жазылады:

$$x_{awgn}(t)=s(t)+n(t)$$

Мұндағы $n(t)$ – орташа мәні нөлге тең ($\mu=0$), дисперсиясы σ^2 болатын қалыпты таралған кездейсоқ процесс: $n(t)\ \ N(0,0.7^2)$.

Импульстік шу келесідей модельделеді:

$$x_{imp}(t)=s(t)+\sum_{k=1}^{K} A_k\,\delta(t-t_k)$$

Мұндағы K – импульстер саны, A_k – әр импульстің амплитудасы (± 4.0), t_k – импульстің пайда болу уақыты, δ – Дирактың дельта-функциясы (дискретті уақытта – Кронекер дельтасы).

50 Гц электр желісінің кедергісі келесі синусоида арқылы қосылады:

$$x_{mains}(t)=s(t)+A_m\sin(2\pi f_m t)$$

Мұндағы $f_m=50$ Гц, $A_m=1.0$.

Аралас кедергі жоғарыдағы үш кедергінің суперпозициясы ретінде қарастырылады.

1-кесте – Модельденген кедергілердің (шуылдардың) параметрлері

Кедергі түрі	**Математикалық моделі / Сипаттамасы**	**Негізгі параметрлері**
Ақ гаусстық шу (AWGN)	$x(t)=s(t)+n(t)$	$\mu=0;\ \sigma=0.7$
Импульстік шу	$x(t)=s(t)+\sum_{\square}^{\square} A_k\,\delta(t-t_k)$	Ықтималдығы: 2%; $A_k=\pm 4.0$
50 Гц кедергі	$x(t)=s(t)+A_m\sin(2\pi f_m t)$	$f_m=50$ Гц; $A_m=1.0$
Аралас кедергі	Жоғарыдағы үш кедергінің қосындысы	Барлық параметрлер бірге

Сүзгілеу алгоритмдерінің математикалық негіздері

Сигналдарды тазарту үшін scipy.signal модулінің көмегімен жеті түрлі сүзгілеу алгоритмі қолданылды [2, 3, 4, 5]. Олардың ішіндегі ең негізгілерінің математикалық өрнектері төмендегідей:

Жылжымалы орташа (Moving Average) сүзгісі – кіріс сигналының M ұзындықтағы терезе бойынша арифметикалық орташа мәнін табады [1, 2]:

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

Мұндағы $M=10$.

Медиана (Median) сүзгісі – терезе ішіндегі мәндерді сұрыптап, ортасындағы мәнді таңдайды. Импульстік шуларды кетіруге өте тиімді [1, 2]:

$$y[n]=median\{x[n-k],\ldots,x[n],\ldots,x[n+k]\}$$

Мұндағы терезе өлшемі $2k+1=5$.

Баттерворт (Butterworth) сүзгісінің амплитуда-жиіліктік сипаттамасының квадраты келесідей анықталады [1, 2]:

$$\left|H(j\omega)\right|^2=\frac{1}{1+\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}$$

Мұндағы n – сүзгінің реті ($n=4$), ω_c – кесу жиілігіне сәйкес бұрыштық жиілік (кесу жиілігі 45 Гц).

Notch сүзгісі белгілі бір тар жиілік диапазонын (50 Гц) өшіруге арналған. Оның беріліс функциясы IIR сүзгісі ретінде сипатталады және сапа факторы $Q=30$ арқылы реттеледі [6, 7, 8]. Дискретті түрде ол (scipy.signal.iirnotch) мына түрде жазылады:

$$H(z)=\frac{g\left(1-2\cos\omega_0 z^{-1}+z^{-2}\right)}{1-2g\cos\omega_0 z^{-1}+(2g-1)z^{-2}}$$

Мұндағы $\omega_0=2\pi\cdot 50/FS$, $g=1/(1+\tan(\Delta\omega/2))$,, $\Delta\omega=\omega_0/Q$. Қалған сүзгілердің (Савицкий-Голей, Винер, Құрама) параметрлері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте – Зерттеуде қолданылған цифрлық сүзгілердің параметрлері

Сүзгі атауы	**Сүзгі түрі**	**Негізгі параметрлері**
Moving Average	Сызықтық (FIR)	Терезе өлшемі: 10
Butterworth	Сызықтық (IIR)	Реті: 4; Кесу жиілігі: 45 Гц
Median	Сызықтық емес	Ядро (kernel) өлшемі: 5
Savitzky-Golay	Сызықтық (FIR)	Терезе өлшемі: 21; Полином дәрежесі: 3
Wiener	Статистикалық	Терезе өлшемі: 11
Notch (50 Гц)	Сызықтық (IIR)	Кесілетін жиілік: 50 Гц; Сапа факторы (Q): 30
Notch+Median+Butterworth	Құрама	Жоғарыдағы үш әдістің тізбектей қолданылуы

Сигнал сапасын бағалау критерийлері және автоматты таңдау

Сүзгілердің тиімділігін объективті бағалау үшін екі негізгі сандық көрсеткіш есептелді. Біріншісі – пайдалы сигнал қуатының шуыл қуатына қатынасын децибелмен (dB) көрсететін Сигнал-Шуыл қатынасы (SNR) [1, 3]:

$$SNR=10\log_{10}\left(\frac{\sum_{i=1}^{N}s_i^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(s_i-y_i\right)^2}\right)$$

Мұндағы s_i – бастапқы таза сигналдың дискретті мәндері, y_i – сүзгіленген сигналдың мәндері, N – дискретті санақтар саны. Бұл көрсеткіш бойынша мән неғұрлым жоғары болса, сигнал соғұрлым таза болып саналады.

Екіншісі – таза сигнал мен сүзгіленген сигнал арасындағы айырмашылықтың орташа квадратын көрсететін Орташа квадраттық қателік (MSE):

$$MSE=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(s_i-y_i\right)^2$$

Бұл көрсеткіш бойынша мән неғұрлым төмен болса, сүзгілеу дәлдігі соғұрлым жоғары болады.

Әзірленген автоматты таңдау алгоритмі әрбір кедергі түрі үшін барлық жеті сүзгіні кезекпен сынап шығады. Әр сүзгінің нәтижесі бойынша жоғарыдағы формулалар арқылы SNR және MSE мәндері есептеліп, олар салыстырмалы кестеге енгізіледі. Алгоритм SNR

көрсеткішінің ең жоғары мәнін көрсеткен әдісті автоматты түрде «ең тиімді сүзгі» ретінде таңдап, сол сүзгінің көмегімен сигналды тазартады. Бұл тәсіл субъективті адам факторын жояды және әр кедергі табиғатына сәйкес келетін оңтайлы шешімді ғылыми негізде қабылдауға мүмкіндік береді. Алайда SNR мен MSE есептеу үшін таза сигнал қажет, сондықтан ұсынылған автоматты таңдау таза сигнал белгілі модельдік жағдайда қолданылады; таза сигнал белгісіз нақты радиосигналдарда оны тікелей пайдалануға болмайды және бұл бағытта қосымша зерттеу қажет.

Нәтижелер және талқылау

Әзірленген бағдарламалық модуль арқылы жүргізілген сандық эксперименттер нәтижесінде әрбір кедергі түрі үшін барлық жеті сүзгінің тиімділігі Сигнал-Шуыл қатынасы (SNR) және Орташа квадраттық қателік (MSE) көрсеткіштері арқылы бағаланды. Алынған SNR мәндері 3-кестеде жинақталған.

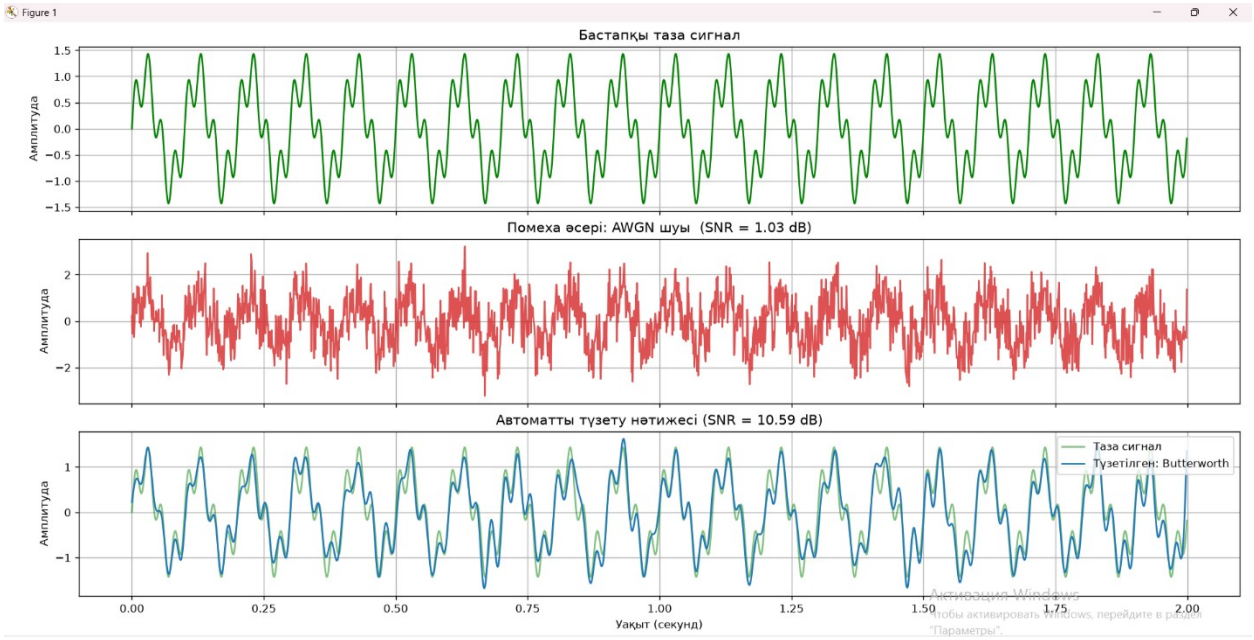
3-кесте – Әрбір кедергі түрі үшін сүзгілердің SNR көрсеткіштері

Сүзгі әдісі	**AWGN шуы (SNR, dB)**	**Импульстік шу (SNR, dB)**	**50 Гц кедергі (SNR, dB)**	**Аралас кедергі (SNR, dB)**
Тазартуға дейін	1.03	3.74	0.97	0.50
Moving Average	8.21	7.12	4.75	5.83
Butterworth	**10.59**	10.15	10.43	10.47
Median	6.45	**30.83**	1.18	2.98
Savitzky-Golay	7.89	8.45	3.62	5.01
Wiener	8.86	8.91	5.03	5.31
Notch (50 Гц)	1.02	3.70	**20.61**	4.22
Notch+Median+Butterworth	9.12	15.23	17.45	**13.69**

Кестеден көрініп тұрғандай, әрбір кедергі табиғатына сай келетін «ең тиімді» сүзгі әртүрлі. Төменде ең маңызды үш жағдай график түрінде көрсетіліп, талданады.

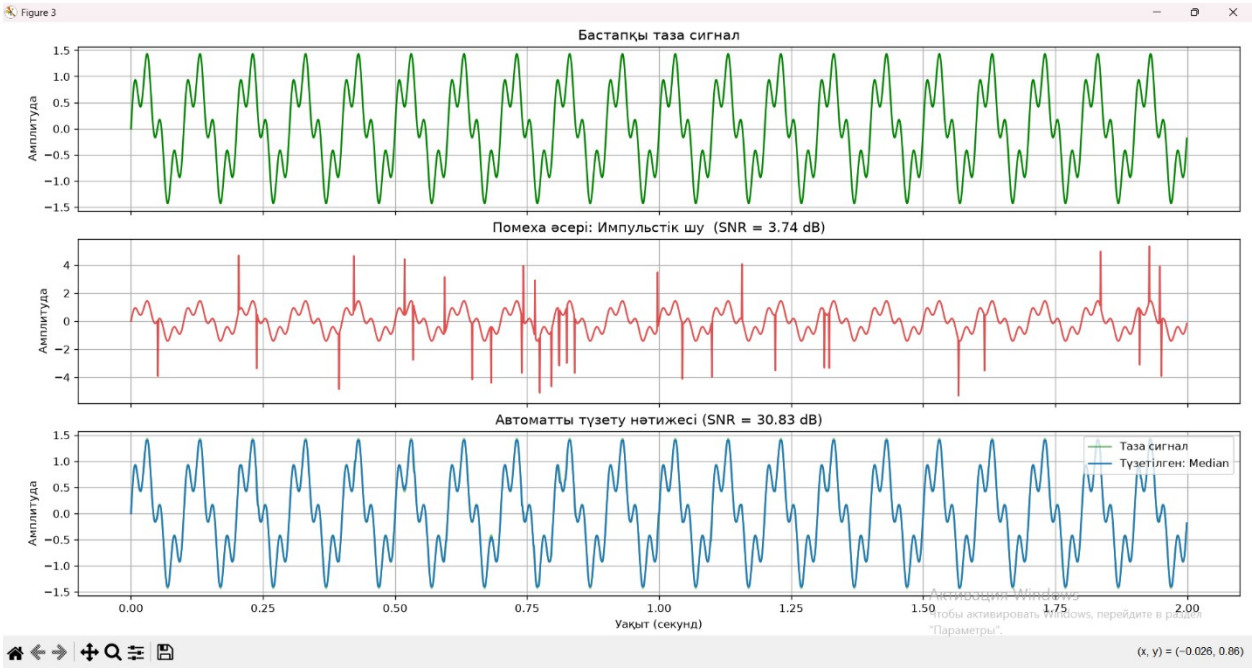
Ақ гаусстық шу (AWGN) қосылған кезде (бастапқы SNR = 1.03 dB), ең жоғары нәтижені Butterworth сүзгісі көрсетті (SNR = 10.59 dB). Бұл сүзгі шудың жоғары жиілікті құраушыларын кесіп тастап, сигналдың негізгі пішінін сақтап қалды [1, 2]. 1-суретте сүзгілеуден кейін сигналдың бастапқы таза сигналға қайта жақындағаны байқалады. Қалған әдістердің ішінде Wiener (8.86 dB) және Moving Average (8.21 dB) орташа нәтиже көрсетсе, Median (6.45 dB) тегістеуші сүзгілердің ішінде ең төмен нәтиже берді, себебі ол ақ шуды тегістеуге арналмаған.

© Central Asian Scientific Journal, 2026



1-сурет – AWGN шуын Butterworth сүзгісімен тазарту нәтижесі

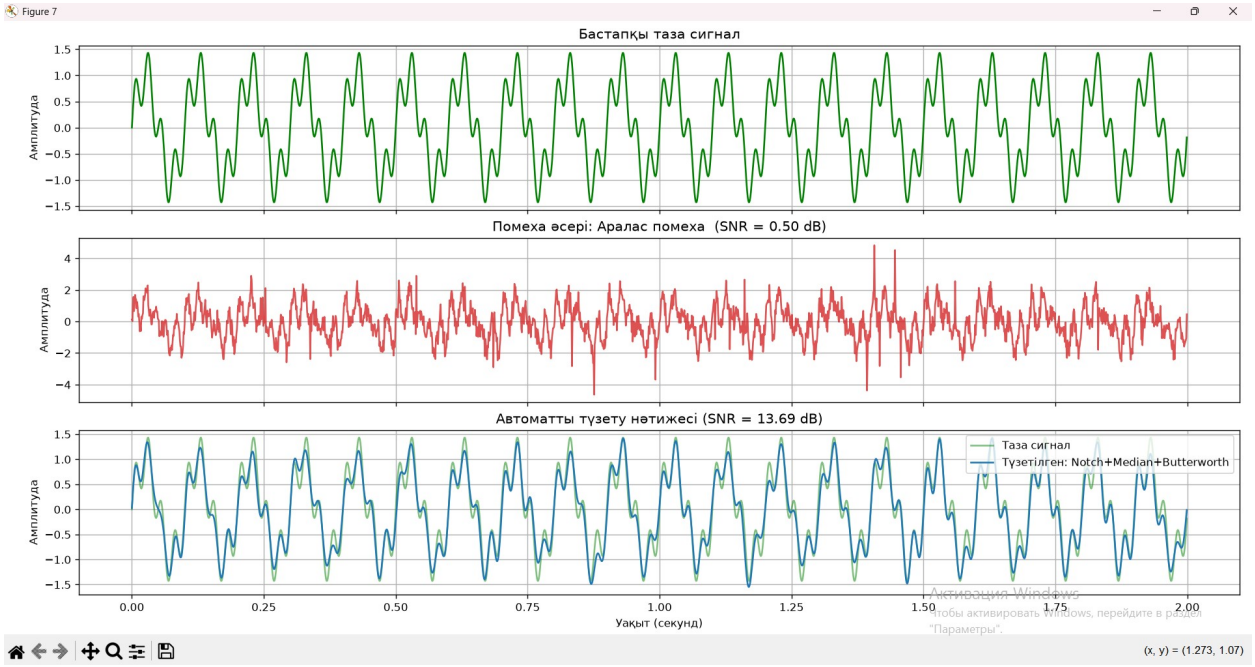
Импульстік шу (бастапқы SNR = 3.74 dB) кезінде жиіліктік сүзгілер тиімсіз болды, себебі импульс барлық жиілік диапазонын қамтиды. Бұл жағдайда сызықтық емес Median сүзгісі ең үздік нәтиже берді (SNR = 30.83 dB). Ол шудың экстремалды мәндерін («секірістерін») сәтті тегістеп, сигналды толығымен дерлік қалпына келтірді (2-сурет). Басқа әдістер импульстік шуды толық кетіре алмады; мысалы, Butterworth сүзгісі тек 10.15 dB-ге дейін ғана жақсартты.



2-сурет – Импульстік шуды Median сүзгісімен тазарту нәтижесі

Электр желісінен келетін нақты жиіліктегі (50 Гц) кедергі үшін (бастапқы SNR = 0.97 dB) арнайы тар жолақты Notch (50 Гц) сүзгісі таңдалды (SNR = 20.61 dB). Бұл әдіс тек қажетті жиілікті ғана өшіріп, пайдалы сигналға зиян келтірмеді [6, 7, 8]. Кестеден көрініп тұрғандай, басқа сүзгілер бұл кедергіні толық кетіре алмады (мәселен, Median тек 1.18 dB, Moving Average 4.75 dB көрсетті).

Нақты өмірдегі жағдайларға жақын аралас кедергі енгізілгенде (ақ шу + импульс + 50 Гц), бастапқы сигналдың сапасы қатты нашарлап, SNR небәрі 0.50 dB болды. Мұндай күрделі жағдайда бір ғана сүзгі тиімсіз екенін эксперимент көрсетті. Ең жақсы нәтижені Құрама сүзгі (Notch + Median + Butterworth) көрсетті (SNR = 13.69 dB). Бұл алгоритм алдымен 50 Гц кедергіні кесіп, сосын импульстерді медианамен тазалап, соңында ақ шуды Баттерворт арқылы тегістеді (3-сурет). Жеке сүзгілердің ішінде ең жақыны Butterworth (10.47 dB) болды, бірақ ол импульстік шуды толық кетіре алмады.



3-сурет – Аралас кедергіні құрама (Notch+Median+Butterworth) сүзгісімен тазарту нәтижесі

Алынған нәтижелер радиосигналдарды өңдеуде әмбебап бір ғана сүзгінің жоқ екенін көрсетеді. Кедергінің физикалық табиғаты (спектрі, уақыттық сипаттамасы) сүзгілеу әдісін таңдауға тікелей әсер етеді. Жиіліктік сүзгілер (Butterworth) ақ шуға қарсы тиімді болса, статистикалық сүзгілер (Median) импульстік шуларды жоюда ең тиімді құрал. Ал нақты жиіліктегі кедергіні (50 Гц) Notch сүзгісі ең тиімді басады. Күрделі ортада жұмыс істейтін жүйелер үшін сүзгілерді каскадты (тізбектей) қолдану қажеттілігі туындайды. Осыған байланысты әзірленген автоматты таңдау алгоритмі әрбір нақты жағдайда SNR көрсеткішіне сүйене отырып, ең оңтайлы шешімді өзі таңдай алады. Бұл тәсіл инженерлік тәжірибеде сигналдарды тазарту процесін айтарлықтай жеделдетіп, автоматтандыруға мүмкіндік береді [1, 2].

Қорытынды

Бұл зерттеу жұмысында Python бағдарламалау тілінің мүмкіндіктері пайдаланылып, радиосигналдарды цифрлық өңдеу және оларды түрлі кедергілерден тазарту әдістері жан-жақты қарастырылды. Жүргізілген сандық эксперименттер мен теориялық талдау нәтижесінде мынадай қорытындылар жасалды.

Жұмыс барысында дискретизация жиілігі 1000 Гц болатын таза синтетикалық сигнал құрылды. Оған нақты радиотехникалық жүйелерде жиі кездесетін төрт кедергі енгізілді: ақ гаусстық шу, импульстік шу, жиілігі 50 Гц электр желісінің кедергісі және осылардың үшеуін біріктіретін аралас кедергі. Әр кедергінің математикалық моделі жасалып, оның сигналға әсер ету ерекшеліктері сипатталды.

Сигналды тазарту үшін жеті түрлі цифрлық сүзгі қолданылды: жылжымалы орташа, Баттерворт, медиана, Савицкий–Голей, Винер, Notch және құрама сүзгі. Әр әдістің жұмыс принципі математикалық формулалар арқылы түсіндіріліп, сүзгілердің параметрлері нақты

анықталды. Өңдеу сапасын объективті бағалау үшін сигнал-шуыл қатынасы (SNR) мен орташа квадраттық қате (MSE) көрсеткіштері қолданылды.

Алынған нәтижелер сүзгінің тиімділігі кедергінің физикалық табиғатына тікелей байланысты екенін көрсетті. Ақ гаусстық шуды ең жақсы басқан Баттерворт сүзгісі болды (SNR = 10.59 dB). Импульстік шу жағдайында медиана сүзгісі ең жоғары нәтиже берді (SNR = 30.83 dB). Ал 50 Гц желі кедергісін Notch сүзгісі тиімді жойды (SNR = 20.61 dB). Аралас кедергі кезінде жеке сүзгілердің нәтижесі төмен болып, ең жақсы сапаны құрама сүзгі (Notch + Median + Butterworth) қамтамасыз етті (SNR = 13.69 dB). Бұл күрделі кедергілермен күресу үшін сүзгілерді бірінен кейін бірін, яғни каскадты түрде қолданудың орынды екенін көрсетеді.

Сонымен қатар әзірленген бағдарламалық модуль әр кедергі түрі үшін барлық сүзгіні өздігінен сынап көріп, SNR мәні ең жоғары әдісті таңдайды. Мұндай тәсіл таңдау барысында адам факторының әсерін болдырмайды және әр кедергінің табиғатына сәйкес келетін оңтайлы шешімді нақты көрсеткіштерге сүйеніп қабылдауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің алдына қойылған мақсат пен міндеттер орындалды. Алынған нәтижелерді радиотехникалық жүйелерді жобалауда, байланыс арналарының сапасын арттыруда, сондай-ақ жоғары оқу орындарында «Цифрлық сигналдарды өңдеу» пәнін оқытуда практикалық мақсатта қолдануға болады.

Зерттеуді әрі қарай тереңдету үшін мынадай бағыттарды қарастыруға болады: бейімделгіш (адаптивті) сүзгілеу алгоритмдерін қолдану, сигналдарды тазартуға арналған нейрондық желі әдістерін зерттеу, сондай-ақ әзірленген бағдарламалық модульдің тиімділігін нақты радиотехникалық құрылғылардан алынған деректермен тексеру, сондай-ақ таза сигнал белгісіз жағдайда қолдануға болатын сапа көрсеткіштерін зерттеу.

Әдебиеттер тізімі:

1. Юсупова А.О., Бектасова А.А., Уразалимова Д.С. және т.б. Сигналдарды өңдеудің теориялық негіздері: оқу құралы. – Павлодар: Toraigyrov University, 2022. – 105 б.
2. Türkler L., Akkan L.Ö. Noise Reduction Techniques for Sensor Data: Comparative Analysis of Kalman, Butterworth, Savitzky-Golay, Median, and Moving Average Filters for UWB-Based Position Estimation // Celal Bayar University Journal of Science. – 2025. – Vol. 21, No. 4. – P. 146–159. – DOI: 10.18466/cbayarfbe.1682594.
3. Esakkirajan S., Veerakumar T., Subudhi B.N. Digital Signal Processing: Illustration Using Python. – Singapore: Springer Nature, 2024. – 535 p.
4. Downey A.B. Think DSP: Digital Signal Processing in Python. – Open Textbook Library, 2016. – 163 p.
5. Procesamiento Digital de Señales: Un enfoque computacional (NumPy y SciPy). – Zenodo, 2026. – DOI: 10.5281/zenodo.23033810.
6. Jayant H.K., Rana K.P.S., Kumar V. et al. Efficient IIR notch filter design using Minimax optimization for 50Hz noise suppression in ECG // IEEE Xplore. – 2015.
7. Rahmatillah A., Ataulkarim. IIR digital filter design for powerline noise cancellation of ECG signal using Arduino platform // Scholar Archive. – 2017.
8. Design of a Precision Twin-T Notch Filter for 50Hz Noise Suppression // IEEE Conference Proceedings. – 2025.