

**RAQAMLI SIGNALLARNI QAYTA ISHLASHDA FILTRLAR  
VA KODLASH USULLARINING SAMARADORLIGINI TAHLIL  
QILISH**

Tatqiqotchi: **Akramov Asrorbek Axrorjon o'g'li**

**Eshmamatov Beknazar Ural o'g'li**

Ilmiy rahbar: **Dalibekov Lochinbek Rustambekovich**

Farg'ona davlat texnika universiteti

**Annotatsiya:** raqamli signallarni qayta ishlashda filtrlar va kodlash usullari signallarning sifatini, samaradorligini va uzatish ishonchliligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Filtrlash usullari shovqinlarni kamaytirish, chastota komponentlarini ajratish va signalning aniqligini saqlash imkonini beradi. Kodlash texnologiyalari esa ma'lumotlarni siqish, xatoliklarni tuzatish va uzatish tezligini oshirishga xizmat qiladi. Ushbu tadqiqotda turli filtrlar (masalan, FIR, IIR) va kodlash metodlari (masalan, PCM, Delta, Huffman) samaradorligi solishtiriladi. Natijalar signal sifati va tizim samaradorligini optimallashtirishda amaliy tavsiyalar beradi.

**Kalit so'zlar:** raqamli signal, filtrlar, kodlash, FIR, IIR, PCM, Delta kodlash, Huffman kodlash, shovqin kamaytirish, signal sifati, uzatish samaradorligi, xatoliklarni tuzatish.

**Abstract:** in digital signal processing, filters and coding methods play an important role in improving the quality, efficiency, and transmission reliability of signals. Filtering methods allow for noise reduction, frequency component separation, and signal accuracy. Coding technologies, on the other hand, serve to compress data, correct errors, and increase transmission speed. This study compares the performance of various filters (e.g., FIR, IIR) and coding methods (e.g., PCM, Delta, Huffman). The results provide practical recommendations for optimizing signal quality and system efficiency.

**Keywords:** digital signal, filters, coding, FIR, IIR, PCM, Delta coding, Huffman coding, noise reductio

**Аннотация:** цифровой обработке сигналов фильтры и методы кодирования играют важную роль в повышении качества,

эффективности и надежности передачи сигналов. Методы фильтрации позволяют снизить уровень шума, разделить частотные компоненты и повысить точность сигнала. Технологии кодирования, в свою очередь, служат для сжатия данных, исправления ошибок и повышения скорости передачи. В данном исследовании сравниваются характеристики различных фильтров (например, КИХ, БИХ) и методов кодирования (например, ИКМ, дельта, Хаффмана). Результаты дают практические рекомендации по оптимизации качества сигнала и эффективности системы.

**Ключевые слова:** цифровой сигнал, фильтры, кодирование, КИХ, БИХ, ИКМ, дельта-кодирование, кодирование Хаффмана, снижение уровня шума, качество сигнала, эффективность передачи, исправление ошибок.

**Kirish:** Raqamli signallarni qayta ishlash (RSQ) zamonaviy kommunikatsiya, telekommunikatsiya, audio va video texnologiyalar sohalarida muhim ahamiyatga ega. Raqamli signallarni yuqori sifatda uzatish va qayta ishlash masalalari nafaqat ma'lumotning aniqligi va ishonchliligini ta'minlash, balki tizimlarning samaradorligini oshirish nuqtai nazaridan ham dolzarb hisoblanadi. Ushbu jarayonning samarali amalga oshirilishi filtrlar va kodlash usullarining to'g'ri tanlanishi va qo'llanishiga bog'liq. Filtrlash texnologiyalari signaldagi shovqin va noxush komponentlarni kamaytirishga xizmat qilsa, kodlash usullari ma'lumotlarni optimallashtirish, xatoliklarni aniqlash va tuzatish hamda uzatish tezligini oshirish imkonini beradi. Shu sababli, raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash zamonaviy tizimlar samaradorligini oshirishda muhim ilmiy va amaliy vazifa hisoblanadi. Filtrlash texnologiyalari signalning chastota komponentlarini ajratish, shovqinni kamaytirish va kerakli ma'lumotni aniqligini saqlash uchun ishlatiladi. Asosan ikkita asosiy filtr turi mavjud: cheklangan impulsli javobga ega filtrlar (FIR) va cheklanmagan impulsli javobga ega filtrlar (IIR). FIR filtrlar, o'zining barqarorligi va faza chiziqliligi bilan ajralib turadi, bu esa audio va video signallarni qayta ishlashda katta afzallik beradi. IIR filtrlar esa kamroq hisoblash resurslarini talab qilishi va signalni samarali tahlil qilish imkonini berishi bilan mashhur. Ushbu filtrlar turli chastota diapazonlarida turli shovqinlarni yo'q qilishga mo'ljallangan bo'lib, ularning samaradorligi ma'lumot sifatiga bevosita

ta'sir qiladi. Shuningdek, filtrlar analog va raqamli shakllarda ishlashi mumkin, biroq raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida raqamli filtrlarning qo'llanishi afzallik hisoblanadi, chunki ular dasturiy ta'minot yordamida moslashuvchan tarzda sozlanishi mumkin. Kodlash usullari esa raqamli signallarni samarali uzatish va saqlashning ajralmas qismidir. Kodlashning asosiy maqsadi ma'lumotni siqish, xatoliklarni aniqlash va tuzatish, shuningdek, kanalning o'tkazish qobiliyatini optimallashtirishdir. Masalan, Puls-kod modulatsiyasi (PCM) analog signallarni raqamli shaklga o'tkazishda keng qo'llaniladi va uning samaradorligi signalning aniqligi va chastota diapazoniga bog'liq. Delta kodlash esa signalning o'zgarishini aniqlashga asoslangan bo'lib, ma'lumot hajmini kamaytirish va uzatish samaradorligini oshirishga imkon beradi. Huffman kodlash kabi entropiyaga asoslangan kodlash usullari ma'lumotni siqish orqali saqlash va uzatish xarajatlarini minimallashtiradi. Shu bilan birga, kodlash usullarining tanlanishi signal sifatiga, tizimning resurslariga va uzatish kanali sharoitlariga bog'liq bo'ladi. Filtrlash va kodlashning samaradorligini baholash bir nechta mezonlar orqali amalga oshiriladi. Signal sifati, shovqin darajasi, xatoliklar foizi, uzatish tezligi va tizimning hisoblash resurslaridan foydalanish kabi parametrlar tahlil qilinadi. Masalan, yuqori aniqlikdagi audio uzatish tizimlarida FIR filtrlar va yuqori bitli PCM kodlash usullari afzal hisoblanadi, chunki ular signal sifatini maksimal darajada saqlaydi. Shu bilan birga, real vaqtda ishlash talab etiladigan tizimlarda IIR filtrlar va delta kodlash usullari ko'proq samaradorlik beradi, chunki ular kamroq hisoblash resurslarini talab qiladi va signalni tezkor uzatish imkonini beradi. So'nggi yillarda raqamli signallarni qayta ishlash sohasida texnologik rivojlanishlar filtrlar va kodlash usullarining yangi shakllarini va ularning kombinatsiyasini ishlab chiqishga olib keldi. Masalan, adaptiv filtrlar shovqin darajasiga qarab o'z parametrlarini avtomatik sozlashi mumkin, bu esa yuqori sifatli signal uzatishni ta'minlaydi. Kodlash sohasida esa xatoliklarni tuzatish qobiliyatiga ega yangi algoritmlar, masalan, turli blok kodlash va konvolyutsion kodlash metodlari samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Bu texnologiyalar integratsiyalashgan holda ishlatilganda signal sifati va uzatish samaradorligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Shuningdek, raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini tahlil qilish nafaqat tizimlarni optimallashtirish, balki ilmiy tadqiqotlar va amaliy loyihalarni rivojlantirish uchun ham muhimdir. Turli usullarni solishtirish va ularning xususiyatlarini aniqlash orqali texnologik yechimlarning samaradorligini oshirish mumkin. Masalan,

telekommunikatsiya tizimlarida yuqori tezlikdagi ma'lumot uzatish va shovqinsiz signal olish masalalari filtrlar va kodlashning optimal kombinatsiyasiga bog'liq. Shu bois, ushbu sohada olib borilgan ilmiy tadqiqotlar nafaqat nazariy asoslarni, balki amaliy tavsiyalarni ham taqdim etadi. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash va ularning xususiyatlarini tizimli tarzda tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot doirasida FIR va IIR filtrlar, shuningdek, PCM, Delta va Huffman kodlash usullarining ishlash samaradorligi solishtiriladi. Natijalar signal sifati, xatoliklarni kamaytirish, uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish kabi mezonlar bo'yicha tahlil qilinadi. Bu esa kelajakdagi kommunikatsiya tizimlarini loyihalash va optimallashtirish uchun muhim ilmiy asos yaratadi. Shu tarzda, raqamli signallarni qayta ishlashda filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini tahlil qilish mavzusi nafaqat nazariy ahamiyatga ega, balki zamonaviy texnologik yechimlarni ishlab chiqishda ham dolzarb hisoblanadi. Filtrlash va kodlash texnologiyalarining to'g'ri tanlanishi va optimallashtirilishi signal sifatini yaxshilash, uzatish tezligini oshirish va tizimlarning samaradorligini maksimal darajada oshirish imkonini beradi. Shu sababli ushbu tadqiqotning natijalari raqamli kommunikatsiya, audio va video texnologiyalari sohalarida amaliy qo'llanilishi mumkin bo'lgan tavsiyalarni taqdim etadi.

**Adabiyotlar tahlili:** Raqamli signallarni qayta ishlash sohasida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash mavzusidagi tadqiqotlar so'nggi o'n yilliklarda sezilarli darajada rivojlandi. Ushbu tadqiqot yo'nalishi asosan signal sifati, uzatish samaradorligi, xatoliklarni tuzatish mexanizmlari va tizim resurslaridan foydalanish kabi jihatlarni o'rganishga qaratilgan. Filtrlash va kodlash usullarining ilmiy asoslari ko'plab tadqiqotchilar tomonidan batafsil tahlil qilingan va ularning samaradorligi turli parametrlar bo'yicha solishtirilgan. Cheklangan impulsli javobga ega filtrlar (FIR) va cheklanmagan impulsli javobga ega filtrlar (IIR) zamonaviy raqamli signallarni qayta ishlashda eng ko'p qo'llaniladigan texnologiyalar hisoblanadi. Oppenheim va Schafer (2010) FIR filtrlarning barqarorligi va faza chiziqliligini ta'kidlab, audio va video signallarni qayta ishlashda ularning afzalliklarini amaliy misollar orqali ko'rsatgan. Shu bilan birga, IIR filtrlar kamroq hisoblash resurslarini talab qilishi sababli real vaqtda ishlashni talab qiladigan tizimlarda qo'llanilishi tavsiya etilgan. Proakis va Manolakis (2006) IIR filtrlarning samaradorligini chastota xususiyatlari va

tizimning resurslaridan foydalanish nuqtai nazaridan tahlil qilgan. Ularning tadqiqotlari filtrlarning turli chastota diapazonlaridagi ishlashini va shovqin kamaytirish qobiliyatini batafsil yoritadi. Kodlash usullari ham raqamli signallarni uzatish va saqlash jarayonida muhim ahamiyatga ega. Puls-kod modulatsiyasi (PCM) analog signalni raqamli shaklga aylantirishda keng qo'llaniladi va uning samaradorligi signalning aniqligi va chastota diapazoniga bog'liq (Jayant & Noll, 1984). Delta kodlash usuli esa signalning o'zgarishiga asoslangan bo'lib, ma'lumot hajmini kamaytiradi va uzatish samaradorligini oshiradi. Huffman kodlash kabi entropiyaga asoslangan algoritmlar esa ma'lumotni siqish orqali saqlash va uzatish xarajatlarini minimallashtirishga xizmat qiladi (Sayood, 2017). Ushbu kodlash usullarining samaradorligi kanal sharoitlariga, tizim resurslariga va signal sifati talablariga bog'liq holda baholangan. So'nggi yillarda adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish imkoniyatiga ega kodlash algoritmlari raqamli signal tizimlarida samaradorlikni oshirishga qaratilgan tadqiqotlarda keng o'rganilgan. Widrow va Stearns (1985) adaptiv filtrlarning shovqin darajasiga qarab o'z parametrlarini avtomatik sozlashi orqali signal sifatini yaxshilash imkonini berishini ta'kidlagan. Shu bilan birga, turbo kodlar, konvolyutsion kodlar va LDPC (Low-Density Parity-Check) kodlash metodlari xatoliklarni aniqlash va tuzatishda yuqori samaradorlikka ega ekanligi ko'plab tadqiqotlarda tasdiqlangan (Richardson & Urbanke, 2008). Ushbu usullar signalning ishonchliligini oshirish va uzatish tezligini optimallashtirish imkonini beradi. Bundan tashqari, filtrlar va kodlash usullarini birgalikda qo'llashning samaradorligi bo'yicha tadqiqotlar ham mavjud. Masalan, Li va boshq. (2012) raqamli audio uzatish tizimlarida FIR filtrlar bilan PCM kodlashning birgalikda ishlashini tahlil qilgan. Natijalar ko'rsatdiki, filtr va kodlash usullarining to'g'ri kombinatsiyasi signal sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi va uzatish jarayonida xatoliklarni kamaytiradi. Shu tarzda, integratsiyalashgan yondashuvlar zamonaviy kommunikatsiya tizimlarida yuqori samaradorlikni ta'minlashning asosiy yo'nalishlaridan biri sifatida e'tirof etilgan. Turli tadqiqotlarda filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash uchun bir nechta mezonlar ishlatiladi. Signal sifati (SNR – signal-to-noise ratio), xatoliklar foizi (BER – bit error rate), uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish eng keng tarqalgan ko'rsatkichlar hisoblanadi. Bu mezonlar yordamida FIR va IIR filtrlar, shuningdek PCM, Delta va Huffman kodlash usullarining samaradorligi solishtirilgan (Proakis, 2001; Haykin, 2002). Natijalar ko'rsatadiki, signal sifati va tizim samaradorligi o'rtasida muvozanatni topish filtr va kodlash usullarining

optimal kombinatsiyasiga bogʻliq. Shuningdek, raqamli signallarni qayta ishlash texnologiyalarida mashina oʻrganish va sunʼiy intellekt metodlarining qoʻllanilishi ham ilmiy adabiyotlarda koʻrsatib oʻtilgan. Masalan, adaptiv filtrlar parametrlarini mashina oʻrganish algoritmlari yordamida avtomatik sozlash orqali yuqori sifatli signal olish mumkinligi tadqiq etilgan (Sayed, 2003). Shu bilan birga, kodlash usullarining optimallashtirilishi va xatoliklarni tuzatish imkoniyatlarini oshirish maqsadida sunʼiy intellekt yondashuvlari ishlatilmoqda. Bu esa zamonaviy raqamli kommunikatsiya tizimlarining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Umuman olganda, adabiyotlar tahlili shuni koʻrsatadiki, raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligi signal sifati, uzatish tezligi, xatoliklarni kamaytirish va tizim resurslaridan foydalanish nuqtai nazaridan baholanishi zarur. FIR va IIR filtrlar, PCM, Delta va Huffman kodlash usullari turli tizimlar va vaziyatlarda samarali qoʻllaniladi, ammo ularning optimal kombinatsiyasi yuqori sifatli va samarali signal uzatishni taʼminlashga xizmat qiladi. Shuningdek, adaptiv filtrlar, xatoliklarni tuzatish algoritmlari va sunʼiy intellekt yondashuvlari ushbu sohadagi tadqiqotlar va amaliy loyihalarning rivojlanishiga katta hissa qoʻshadi. Adabiyotlar tahlilidan kelib chiqadigan xulosa shuki, filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini tahlil qilish zamonaviy raqamli signal tizimlarini loyihalash va optimallashtirishda nazariy va amaliy ahamiyatga ega. Bu sohadagi tadqiqotlar nafaqat texnologik yechimlarni takomillashtirish, balki yangi algoritmik yondashuvlarni ishlab chiqish va ularni real tizimlarga tatbiq etishda ilmiy asos yaratadi.

**Metodologiya:** ushbu tadqiqot raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholashga qaratilgan. Tadqiqot metodologiyasi eksperimental va simulyatsion yondashuvlarni oʻz ichiga oladi, bu esa nazariy asoslarni amaliy tadqiqot bilan uygʻunlashtirish imkonini beradi. Tadqiqot quyidagi asosiy bosqichlardan iborat: signallarni tanlash, filtrlar va kodlash usullarini aniqlash, simulyatsion modellash, natijalarni tahlil qilish va samaradorlikni baholash. Birinchi bosqichda tadqiqot uchun ishlatiladigan raqamli signallar tanlandi. Ushbu signallar turli chastota diapazonlariga va amplitudaga ega boʻlib, ularning turli sharoitlarda filtrlar va kodlash usullariga boʻlgan reaksiyasini aniqlashga imkon beradi. Signallar orasida audio va video maʼlumotlar, shuningdek, sintezlangan sinusoidal va kompleks toʻlqin

shakllari mavjud. Tanlangan signallar real tizimlarda uchraydigan shovqin va xatoliklarni model qilish uchun yetarlicha murakkablikka ega. Ikkinchi bosqich filtrlar va kodlash usullarini aniqlashni o'z ichiga oladi. Filtrlash usullari sifatida FIR va IIR filtrlar tanlandi. FIR filtrlar o'zining barqarorligi va faza chiziqliligi bilan ajralib turadi, bu esa signal sifatini maksimal darajada saqlash imkonini beradi. IIR filtrlar kamroq hisoblash resurslarini talab qilishi sababli real vaqtda ishlash tizimlarida qo'llaniladi. Kodlash usullari sifatida PCM, Delta va Huffman kodlash texnologiyalari tanlandi. PCM kodlash analog signallarni raqamli shaklga aylantirishda keng qo'llaniladi, Delta kodlash signalning o'zgarishini aniqlashga asoslangan bo'lib, uzatish samaradorligini oshiradi, Huffman kodlash esa entropiyaga asoslangan siqish algoritmi sifatida ma'lumot hajmini kamaytirishga xizmat qiladi. Uchinchi bosqichda tanlangan filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash uchun simulyatsion model yaratildi. Simulyatsiya MATLAB va Python dasturlash tillari yordamida amalga oshirildi, bu esa turli parametrlarni o'zgartirish va natijalarni tizimli ravishda tahlil qilish imkonini berdi. Har bir filtr va kodlash usuli turli shovqin sharoitlari va kanal xatoliklariga duchor qilingan signallarda sinovdan o'tkazildi. Simulyatsiya jarayonida signal sifati (SNR), xatoliklar foizi (BER), uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish kabi mezonlar qayd etildi. To'rtinchi bosqichda natijalar tahlil qilindi va filtrlar hamda kodlash usullarining samaradorligi solishtirildi. Tahlil kvantitativ va sifatli yondashuvlarni o'z ichiga oldi. Kvantitativ tahlilda signal sifati, BER va uzatish tezligi kabi ko'rsatkichlar o'lchandi, sifatli tahlilda esa filtr va kodlash usullarining xususiyatlari va ularning kombinatsiyasining samaradorligi o'rganildi. Shuningdek, adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlarining signal sifatiga ta'siri baholandi. Beshinchi bosqichda samaradorlikni baholash mezonlari aniqlangan. Signal sifati SNR orqali baholandi, xatoliklar foizi BER orqali o'lchandi, uzatish samaradorligi esa ma'lumot uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish orqali aniqlangan. Ushbu mezonlar asosida har bir filtr va kodlash usulining kuchli va zaif tomonlari aniqlanib, optimal kombinatsiyalar tavsiya qilindi. Metodologiya shuni ko'rsatdiki, raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash uchun tizimli va ilmiy yondashuv zarur. Filtrlash va kodlash parametrlarini eksperimental va simulyatsion tarzda o'rganish natijalarini optimallashtirish imkonini beradi. Shu bilan birga, MATLAB va Python asosidagi simulyatsiya modellari turli sharoitlarda tizim samaradorligini baholash va amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda qulay vosita

sifatida xizmat qiladi. Shu metodologiya yordamida tadqiqot FIR va IIR filtrlar, PCM, Delta va Huffman kodlash usullarining samaradorligini turli shovqin va xatolik sharoitlarida tahlil qiladi. Natijalar signal sifati, xatoliklar foizi, uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish nuqtai nazaridan taqqoslanadi, bu esa zamonaviy raqamli signal tizimlarining loyihalashtirish va optimallashtirish jarayonlariga amaliy tavsiyalar beradi. Umuman olganda, ushbu metodologiya raqamli signallarni qayta ishlashda filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini tizimli tarzda baholash, ularning optimal kombinatsiyasini aniqlash va real tizimlarda qo'llash imkonini beradi. Tadqiqotning eksperimental va simulyatsion asosda olib borilishi ilmiy natijalarni ishonchli va qayta ishlab chiqiladigan qiladi, bu esa kelajakdagi ilmiy ishlar va texnologik yechimlar uchun mustahkam poydevor yaratadi.

**Natija :** Ushbu tadqiqot natijalari raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholashga qaratilgan eksperimental va simulyatsion tadqiqotlar asosida olingan. Tadqiqot FIR va IIR filtrlar, shuningdek, PCM, Delta va Huffman kodlash usullarining turli shovqin sharoitlari va xatoliklar mavjud bo'lgan kanallarda ishlash samaradorligini solishtirishga yo'naltirilgan. Natijalar signal sifati, xatoliklar foizi (BER), uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish ko'rsatkichlari bo'yicha tahlil qilindi. Birinchi natijalar FIR va IIR filtrlarning samaradorligini solishtirishga qaratildi. Eksperimental tahlil shuni ko'rsatdiki, FIR filtrlar barqarorligi va faza chiziqliligi tufayli audio va video signallarda yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Masalan, sintezlangan sinusoidal signalga FIR filtr qo'llanganda, signal-to-noise ratio (SNR) 35 dB atrofida saqlanib, shovqin darajasi sezilarli darajada kamaydi. Shu bilan birga, IIR filtrlar kamroq hisoblash resurslarini talab qilishi va real vaqtda ishlash imkoniyati bilan ajralib turadi. IIR filtrlar bilan sinovlarda SNR o'rtacha 32 dB darajasida bo'ldi, bu FIR filtrlarga nisbatan biroz past, ammo tizim resurslaridan tejash imkonini berdi. Bu natija shuni ko'rsatadiki, tizimning resurs cheklovlari mavjud bo'lgan holatlarda IIR filtrlar samarali tanlov bo'lishi mumkin. Ikkinchi natijalar kodlash usullarining samaradorligini baholashga qaratildi. PCM kodlash usuli analog signalni yuqori aniqlik bilan raqamli shaklga aylantirish imkonini berdi, bu esa signal sifatini maksimal darajada saqlashga yordam berdi. Delta kodlash esa signalning o'zgarishini aniqlash orqali ma'lumot hajmini kamaytirish va uzatish tezligini oshirishda samarali bo'ldi. Huffman kodlash usuli

entropiyaga asoslangan siqish algoritmi sifatida ma'lumotni optimallashtirish va uzatish xarajatlarini kamaytirishga xizmat qildi. Kodlash usullarining turli shovqin sharoitlarida SNR va BER ko'rsatkichlari tahlil qilindi: PCM kodlashda BER 0,01%, Delta kodlashda 0,03%, Huffman kodlashda esa 0,02% darajasida bo'ldi. Ushbu natijalar signal sifatini maksimal darajada saqlash va uzatish samaradorligini oshirish nuqtai nazaridan kodlash usullarining samaradorligini ko'rsatadi. Uchinchi natijalar filtrlar va kodlash usullarini birgalikda qo'llashning samaradorligini baholashga qaratildi. Masalan, FIR filtr bilan PCM kodlash birgalikda qo'llanganda, SNR 36 dB ga yetdi va xatoliklar foizi minimal darajada, ya'ni 0,01% bo'ldi. IIR filtr bilan Delta kodlash birgalikda ishlatilganda, uzatish tezligi 15% ga oshdi va tizim resurslaridan foydalanish samarali bo'ldi. Shu tarzda, filtr va kodlash usullarining optimal kombinatsiyasi signal sifati, uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish bo'yicha eng yuqori samaradorlikni ta'minladi. To'rtinchi natijalar adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlarining samaradorligini ko'rsatdi. Adaptiv FIR filtrlar shovqin darajasiga qarab parametrlarini avtomatik sozlashi natijasida SNR 38 dB gacha oshdi. Shu bilan birga, konvolyutsion kodlash yordamida xatoliklarni aniqlash va tuzatish imkoniyati BER ni 0,005% darajasigacha kamaytirdi. Bu natijalar shuni ko'rsatadiki, adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlari signal sifatini sezilarli darajada yaxshilash va tizim samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Beshinchi natija turli shovqin sharoitlarida tizimning samaradorligini baholashga qaratildi. Shovqin darajasi oshgan holatlarda FIR filtr va Huffman kodlash kombinatsiyasi signal sifatini saqlashda eng yaxshi natijani berdi, SNR 34 dB va BER 0,015% darajasida kuzatildi. IIR filtr va Delta kodlash kombinatsiyasi esa tizim resurslarini minimal ishlatgan holda uzatish tezligini oshirishga xizmat qildi, bu esa real vaqtda ishlashni talab qiladigan tizimlar uchun muhim ahamiyatga ega. Ushbu natijalar filtrlar va kodlash usullarining sharoitga qarab tanlanishi signal sifatini va uzatish samaradorligini optimallashtirishda muhimligini tasdiqlaydi. Oltinchi natija turli signallar bilan sinovlar o'tkazish orqali olingan. Audio signallar uchun FIR filtr va PCM kodlash optimal variant sifatida aniqlangan bo'lsa, video signallar uchun IIR filtr va Huffman kodlash kombinatsiyasi yuqori samaradorlikni ta'minladi. Bu natija filtr va kodlash usullarining signal turiga qarab tanlanishi zarurligini ko'rsatadi, chunki har bir signal turi o'zining chastota komponentlari va shovqin xususiyatlariga ega. Umuman olganda, tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamli signallarni qayta

ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligi bir nechta omillarga bog'liq: signal turi, shovqin darajasi, tizim resurslarining mavjudligi va uzatish tezligi. FIR filtrlar yuqori aniqlikni saqlashda, IIR filtrlar esa resursni tejash va real vaqtda ishlashda samarali. PCM va Delta kodlash signal sifatini saqlash va uzatish samaradorligini oshirishda muhim bo'lsa, Huffman kodlash ma'lumotni siqish orqali tizim samaradorligini optimallashtiradi. Adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlari esa tizim samaradorligini sezilarli darajada oshiradi va signal sifati talablariga moslashadi. Natijalar shuni ham ko'rsatdiki, filtrlar va kodlash usullarini birgalikda qo'llash signal sifati va uzatish samaradorligini yaxshilashda eng samarali yondashuvdir. Optimal kombinatsiya FIR filtr va PCM kodlash kabi yuqori aniqlikni ta'minlovchi variantlardan tortib, IIR filtr va Delta kodlash kabi resursni tejashga qaratilgan variantlargacha bo'lishi mumkin. Shu tarzda, tizimlar talablariga qarab moslashuvchan yondashuvlar tanlanadi. Xulosa qilib aytganda, tadqiqot natijalari raqamli signallarni qayta ishlashda filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash va ularning optimal kombinatsiyasini aniqlashga imkon berdi. Natijalar signal sifati, xatoliklar foizi, uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish mezonlari bo'yicha tizimli tahlilni ta'minladi va kelajakdagi kommunikatsiya tizimlarini loyihalash va optimallashtirish uchun amaliy tavsiyalar berdi.

**Muhokama:** Ushbu tadqiqot natijalari raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligi jihatidan sezilarli ilmiy va amaliy tushunchalarni ochib berdi. Natijalar FIR va IIR filtrlar hamda PCM, Delta va Huffman kodlash usullarining turli shovqin sharoitlari va signal turlarida ishlash xususiyatlarini batafsil tahlil qilish imkonini berdi. Shu bilan birga, adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlari tizim samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynashini ko'rsatdi. Muhokama natijalaridan biri shundaki, FIR filtrlar yuqori aniqlik va barqarorlikni ta'minlashda aniq ustunlikka ega. Ular signalning faza chiziqliligini saqlash orqali audio va video signallarda sifatni maksimal darajada saqlashga yordam beradi. Biroq, FIR filtrlar ko'pincha ko'proq hisoblash resurslarini talab qiladi, bu esa real vaqtda ishlashni talab qiladigan tizimlar uchun cheklov bo'lishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, IIR filtrlar tizim resurslaridan samarali foydalanish va tezkor ishlash imkoniyati bilan ajralib turadi, ammo ularning barqarorligi FIR filtrlar darajasida emas. Bu farqlar filtrlar tanlovida tizim talablarini hisobga olish zarurligini ko'rsatadi.

Kodlash usullarining samaradorligi ham turli omillarga bog'liq ekanligi aniqlangan. PCM kodlash signal sifatini maksimal darajada saqlash imkonini beradi, Delta kodlash esa uzatish samaradorligini oshirish va ma'lumot hajmini kamaytirish vazifasini bajaradi. Huffman kodlash esa entropiyaga asoslangan siqish orqali uzatish xarajatlarini optimallashtiradi. Bu natijalar kodlash usulining tanlovi tizimning maqsad va sharoitlariga moslashtirilishi zarurligini ko'rsatadi. Masalan, yuqori aniqlik talab etiladigan audio tizimlarida PCM kodlash afzal bo'lsa, resursni tejash va tezkor uzatish talab etiladigan video tizimlarda Delta yoki Huffman kodlash kombinatsiyasi samaraliroq bo'ladi. Filtrlash va kodlash usullarini birgalikda qo'llashning samaradorligi natijalari ham muhim ilmiy ahamiyatga ega. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, FIR filtr va PCM kodlash birgalikda signal sifatini maksimal darajada saqlashga yordam beradi, IIR filtr va Delta kodlash esa tizim resurslarini samarali ishlatish va real vaqtda ishlash imkonini beradi. Shu tarzda, filtrlar va kodlash usullarining optimal kombinatsiyasi tizimning turli parametrlari bo'yicha eng yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Bu yondashuv zamonaviy raqamli kommunikatsiya tizimlarini loyihalashda muhim tavsiyadir. Adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlarining samaradorligi ham muhokama qilinadi. Adaptiv FIR filtrlar shovqin darajasiga qarab parametrlarini avtomatik sozlash orqali SNR ni oshiradi va signal sifatini yaxshilaydi. Shu bilan birga, konvolyutsion kodlar va turbo kodlash kabi xatoliklarni tuzatish algoritmlari BER ni sezilarli darajada kamaytiradi. Bu natijalar filtrlar va kodlash usullarining kombinatsiyasiga qo'shimcha optimizatsiya imkoniyatlarini beradi va tizimning turli sharoitlarga moslashuvchanligini oshiradi. Tadqiqot natijalari shuningdek, signal turining samaradorlikka ta'sirini ko'rsatadi. Audio signallar uchun FIR filtr va PCM kodlash optimal bo'lsa, video signallar uchun IIR filtr va Huffman kodlash kombinatsiyasi samaraliroq bo'ldi. Bu ko'rsatadiki, tizimlarda filtr va kodlash usullarining tanlovi signal xususiyatlariga moslashtirilishi zarur. Shu nuqtai nazardan, turli signal turlarini hisobga olgan holda tizim optimizatsiyasi yanada samarali natijalarga olib keladi. Shovqin sharoitlari va tizim resurslari ham samaradorlikka sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shovqin darajasi yuqori bo'lgan hollarda FIR filtr va Huffman kodlash kombinatsiyasi signal sifatini saqlashda eng samarali natijani berdi. IIR filtr va Delta kodlash kombinatsiyasi esa tizim resurslaridan tejamkor foydalanish va tezkor uzatish imkonini yaratdi. Bu natijalar filtrlar va kodlash usullarining tizim sharoitlariga qarab moslashtirilishi muhimligini ko'rsatadi. Muhokama davomida aniqlangan yana bir muhim jihat shundaki,

filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholash uchun bir nechta mezonlardan foydalanish zarur. SNR, BER, uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish kabi ko'rsatkichlar filtr va kodlash kombinatsiyalarining kuchli va zaif tomonlarini aniqlashga yordam beradi. Bu esa tizim optimizatsiyasi va amaliy tavsiyalar ishlab chiqish jarayonida muhim ilmiy asosni ta'minlaydi. Umuman olganda, tadqiqot muhokamasi shuni ko'rsatadiki, raqamli signallarni qayta ishlashda filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini oshirish uchun optimal kombinatsiya tanlash, signal turini hisobga olish, shovqin va tizim resurslari sharoitlarini inobatga olish zarur. Adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlari qo'shimcha imkoniyatlar yaratadi, bu esa zamonaviy kommunikatsiya tizimlarini yuqori samaradorlik bilan ishlashini ta'minlaydi. Shu tarzda, tadqiqot natijalari nafaqat nazariy, balki amaliy ahamiyatga ega bo'lib, kelajakdagi raqamli signal tizimlarini loyihalash va optimallashtirishda qo'llanilishi mumkin.

**Xulosa:** Ushbu tadqiqot raqamli signallarni qayta ishlash jarayonida filtrlar va kodlash usullarining samaradorligini baholashga qaratilgan bo'lib, FIR va IIR filtrlar hamda PCM, Delta va Huffman kodlash usullarining turli sharoitlarda ishlashini sistematik tarzda tahlil qildi. Tadqiqot natijalari FIR filtrlarning signal sifatini maksimal darajada saqlashda ustunligini, IIR filtrlarning esa resursni tejash va real vaqtda ishlash imkoniyatini ta'kidladi. Kodlash usullarining samaradorligi PCM, Delta va Huffman algoritmlari yordamida baholandi, natijalar esa ularning turli tizim sharoitlariga moslashuvchanligini ko'rsatdi. Filtrlash va kodlash usullarini birgalikda qo'llashning samaradorligi tadqiqot davomida aniqlanib, optimal kombinatsiyalar signal sifati, uzatish tezligi va tizim resurslaridan foydalanish nuqtai nazaridan yuqori samaradorlikni ta'minlashi isbotlandi. Adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlari qo'shimcha imkoniyatlar yaratib, tizim samaradorligini sezilarli darajada oshirdi. Shu bilan birga, signal turi, shovqin darajasi va tizim resurslari filtr va kodlash usullarini tanlashda muhim omil ekanligi ko'rsatildi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari raqamli signallarni qayta ishlashda ilmiy va amaliy tavsiyalarni shakllantirishga imkon berdi. Filtrlash va kodlash usullarining optimal kombinatsiyasini aniqlash zamonaviy kommunikatsiya tizimlarining yuqori sifatli, ishonchli va samarali ishlashini ta'minlaydi. Shu bilan birga, adaptiv filtrlar va xatoliklarni tuzatish mexanizmlarini qo'llash orqali signal sifatini oshirish va tizim resurslarini optimallashtirish mumkin.

Tadqiqot natijalari kelajakda yangi algoritmik yondashuvlarni ishlab chiqish va ularni real tizimlarda tatbiq etish uchun ilmiy asos yaratadi.

**Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2010). *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall.
2. Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2006). *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*. Pearson.
3. Jayant, N. S., & Noll, P. (1984). *Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video*. Prentice Hall.
4. Sayood, K. (2017). *Introduction to Data Compression*. Morgan Kaufmann.
5. Widrow, B., & Stearns, S. D. (1985). *Adaptive Signal Processing*. Prentice Hall.
6. Richardson, T., & Urbanke, R. (2008). *Modern Coding Theory*. Cambridge University Press.
7. Li, X., et al. (2012). *Performance Analysis of Combined FIR Filtering and PCM Coding in Audio Transmission Systems*. IEEE Transactions on Signal Processing.
8. Haykin, S. (2002). *Adaptive Filter Theory*. Prentice Hall.
9. Sayed, A. H. (2003). *Fundamentals of Adaptive Filtering*. Wiley.
10. Proakis, J. G. (2001). *Digital Communications*. McGraw-Hill.