

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.

 Е.Таштай

«29» 01 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Күрделі бөгеуілдерді төмендету тәсілдерін зерттеу»

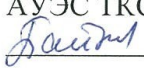
5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған: 

Пікір беруші

техн.ғыл.канд.,

АУЭС ТКС каф.меңгерушісі

 А.С.Байкенов

«21» 04 2019 ж.

Ә.Сейітқазина

Ғылыми жетекші

ЭТ ж ҒТ каф.лекторы

 М.Б.Тирижанова

«24» 04 2019 ж.

Алматы 2019




дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ


Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Сигналдарды адаптивті өңдеу әдістері	20.01.2019 - 01.03.2019	орындалды
Жиілік аймағында сигналдарды сызықты емес өңдеудің принциптері мен артықшылықтары	02.03.2019 - 02.04.2019	орындалды
Күрделі бөгеуілдерді басудың әзірленген алгоритмдерінің тиімділігін салыстырмалы талдау	01.04.2019 – 15.04.2019	орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Сигналдарды адаптивті өңдеу әдістері	М.Б.Тирижанова, ЭТжҒТ каф.лекторы	24.04.19	
Жиілік аймағында сигналдарды сызықты емес өңдеудің принциптері мен артықшылықтары	М.Б.Тирижанова, ЭТжҒТ каф.лекторы	24.04.19	
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТжҒТ каф.сениор-лекторы Тайсариева К.Н.	20.04.19	

Ғылыми жетекшісі


(қолы)

М.Б.Тирижанова

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Ә.Сейтқазина

Күні

“24” 04

2019 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі,

техн. ғыл. канд.

 Е.Таштай

« 29 » 01 2018 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Сейітқазина Әсел Өмірқанқызы
Тақырыбы «Күрделі бөгеуілдерді төмендету тәсілдерін зерттеу»
Университет ректорының «16» қазан 2018 ж. № 1162-б бұйрығымен
бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі “25” сәуір 2019 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Байланыс арналарындағы бөгеуілдер; 2) Жиілік облысында сигналдарды сызықсыз тарату ерекшеліктері мен принциптері; 1) Байланыс арнасындағы импульстық және аддитивті бөгеуілдер сипаттамалары, қателіктер ықтималдығы; циклдар саны 104.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Бөгеуілдер түрлері; Күрделі бөгеуілдері бар арналарда дискреттік хабар қабылдау әдістері; ә) б) Бөгеуілдерді есептеу; в) Экономикалық тиімділікті есептеу; г) Еңбек қорғау түрлерін қарастыру.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызба материалдары 11 слайдта көрсетілген: 1) Тікбұрышты импульс спектрін қысу; 2) Гаусс импульс спектрі; 3) Сығу эффектісі.

Ұсынылатын негізгі әдебиет 23 атау: 1) СДМА: Прошлое, настоящее, будущее // Под ред. Л.Е. Варакина и Ю.С. Шинакова. - М.: МАС, 2003. 2) Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение // Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 3) Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра // Пер. с англ. // Под ред. В.И. Журавлёва. - М.: Радио и связь, 2000.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты күрделі бөгеуілі бар байланыс арнасында спектралды аймақта сигналдарды сызықты емес өңдеу тиімді әдістерін жасау және зерттеу болып табылады.

Байланыс арналарында гаусстық емес бөгеуілдердің сипаттамасы мен моделі талданған; заманауи байланыс жүйелерінде гаусстық емес бөгеуілдермен күрес құрал жабдықтарын салыстырмалы түрде талдау; олардың қорытындысының дискреттік сигналға әсері қарау, спектралды аймақта сызықты емес өңдеу негізінде жиіліктік аймақ гаусстық емес бөгеуілдерін селективті өшіру теориялық негіздері жасалды.

АННОТАЦИЯ

Основной задачей дипломной работы является разработка и исследование новых, более эффективных методов нелинейной обработки сигналов в спектральной области в каналах связи со сложными видами помех.

Анализировались характеристики негауссовских помех в реальных каналах связи; сравнительный анализ средств борьбы с негауссовскими помехами в современных системах связи и влияния их на показатели качества дискретных сообщений, на основе результатов которого выявляются наиболее перспективные пути повышения их эффективности; разработаны теоретических основ селективного подавления негауссовских помех в частотной области на основе нелинейной обработки сигналов в спектральной области; теоретическое обоснование применения нелинейных спектральных преобразований в качестве преселектирующих, включая теоретические оценки эффективности подавления сложных помех.

ANNOTATION

The basic task of diploma work is an analysis of radio channels to the cellular and development of bases of construction of imitator of radio channels to the mobile cellular radio contact decimetric and centimeter ranges.

It is suggested to design the transmission function of radio channel to the cellular on the basis of fourself-reactance law probability distributions unlike simplified models. Dependences of parameters are found fourself-reactance distribution for the different variants of organization of radio channel.

Expression is got for determination maximum possible powers of radiation of the base stations of cellular are in inhabited points.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Күрделі бөгеуіл түрлері бар арналар бойынша дискретті хабарламаларды тарату жүйелерінде сигналдарды адаптивті өңдеу әдістері	11
1.1 Байланыс арналарында аддитивті бөгеуідердің негізгі түрлері, сипаттамалары және модельдері	11
1.2 Сигналдарды сызықты емес өңдеу және бейімдеу принциптерін пайдалана отырып, күрделі бөгеуіл түрлері бар арналарда дискретті хабарламаларды қабылдау әдістері	15
1.3 Дискретті хабарларды қабылдау сапасының көрсеткіштеріне гаусстық емес кедергілердің әсері	18
1.4 Тапсырманың қойылымы	20
2 Спектралды аймақта сигналдарды сызықты емес өңдеу негізінде гаусстық емес бөгеуілдерді селективті басудың теориялық негіздері	22
2.1 Жиілік аймағында сигналдарды сызықты емес өңдеудің принциптері мен артықшылықтары	22
2.2 Унитарлы сызықты емес операторларды қолдана отырып жиілік аймағында сигналдарды түрлендіру және олардың қасиеттері	24
2.3 Сызықты емес спектралды түрлендірулерді қолдана отырып күрделі бөгеуілдерді басудың тиімділігін теориялық бағалау	28
2.4 Ажырату әдісін пайдалана отырып, унитарлық сызықсыз операторларды дискретті ұсыну	31
3 Күрделі бөгеуілдерді басудың әзірленген алгоритмдерінің тиімділігін салыстырмалы талдау	38
3.1 Күрделі бөгеуілдерді басудың әзірленген әдістерінің тиімділігін жалпы бағалау	45
3.2 Әзірленген әдістерді іс жүзінде пайдалану нәтижелері және оларды одан әрі дамыту жөніндегі ұсыныстар	46
Қорытынды	50
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	51

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы телекоммуникациялар әлемінде ең маңызды міндеттердің бірі ұсынылатын байланыс қызметтерінің жоғары сапасын қамтамасыз ету болып табылады. Тұрақты және жылжымалы байланыс құралдарының қарқынды өсуі мен алуан түрлілігі байқалатындықтан бұл қазіргі кезде аса өзекті тақырып болып табылады. Бұл прогрестің бір салдары олардың электромагниттік үйлесімділігіне қойылатын талаптарды күшейту болып табылады. Байланыс жүйелерінің көпшілігі кедергілердің барлық түрлерінің - флуктуациялық, шоғырланған және импульстік әрекеті кезінде күрделі бөгеуіл жағдайының әрекет ету жағдайында жұмыс істейді.

Бірақ жоғарыда аталған бөгеуілдердің типтері тек қана флуктуационды гаусстық модельдермен ұсынылуы мүмкін, қалғандары әдетте, гаусстық емес статистикаға ие. Сонымен қатар, қазіргі уақытта тарату жылдамдығының тұрақты өсуі байқалады. Нәтижесінде, сигналдың бастапқы элементімен өлшенетін кейбір кедергілер ұзақтығы бойынша да, спектрдің ені бойынша да жіктеле алмайды, ал олардың арасында аралық орын алады.

Сондықтан соңғы отыз жылда күрделі гаусстық емес кедергілердің әрекет ету жағдайында дискретті және үздіксіз хабарламаларды қабылдау мәселелерін шешуге көп көңіл бөлінеді. Осы саладағы ең өнімді нәтижелерді қамтамасыз ететін тәсіл-сызықты емес стохастикалық дифференциалдық теңдеулер (СДТ) түрінде ұсынылатын Марков процестері түріндегі үлгілерді пайдалану болып табылады. Бұл тәсілді және оны қорытуды қолдану белгісіз сипаттамаларды бағалау кезінде, гаусстық емес кедергілердің фонында және басқа да бағыттарда сигналдарды табу кезінде қолдануға алынған сызықты емес сүзу саласында іргелі теориялық нәтижелер алуға мүмкіндік берді.

Сызықты емес СДТ түріндегі шартты марковтық процестер теориясының аппараты, кең ауқымды міндеттерді теориялық шешудің тиімді құралы бола отырып, байланыс техникасында да, ұқсас салаларда да қолданылады - радионавигация, радиолокация, телемеханика және т.б. Сипатталған бөгеуіл модельдері кеңінен таралған және байланыс технологиясы бойынша оларды қолдану сигналды өңдеуде күрделі алгоритмдерді алуға алып келеді, бұл қабылдаудың сапа көрсеткіштерінің нашарлауына әкелетіні сөзсіз.

Осы факторларды есепке ала отырып, сигналдарды өңдеу алгоритмдерін әзірлеу кезінде әртүрлі бөгеуілдердің ерекшеліктерін ескере отырып, жалпы әдістерді түрлендіру, сондай-ақ арналар параметрлері мен жағдайдың бөгеуілдерін нақты өзгертуге белгілі қабылдау алгоритмдерін бейімдеу болып табылады.

Жоғарыда аталған әдістердің негізгі кемшілігі спектрдің ені, ұзақтығы және сигналмен амплитудасы бойынша өлшенетін гаусстық емес бөгеуілдердің әрекет ету жағдайларында олардың салыстырмалы төмен тиімділігі болып табылады.

Бөгеуілдердің күрделі түрлерімен байланыс арналарында спектралды

аймақта сигналдарды сызықты емес өңдеудің жаңа, неғұрлым тиімді әдістерін әзірлеу және зерттеу.

Зерттеудің негізгі міндеттері:

- нақты байланыс арналарында гаусстық емес бөгеуілдердің модельдері мен сипаттамаларын талдау;

- қазіргі заманғы байланыс жүйелерінде гаусстық емес бөгеуілдермен күрес құралдарының салыстырмалы талдауы және олардың дискретті хабарламалар сапасының көрсеткіштеріне әсері, оның нәтижелері негізінде олардың тиімділігін арттырудың неғұрлым перспективті жолдары анықталады;

- спектралды аймақта сигналдарды сызықты емес өңдеу негізінде жиілік аймағында гаусстық емес бөгеуілді селективті басудың теориялық негіздерін әзірлеу;

- күрделі кедергілерді басу тиімділігін теориялық бағалауды қоса алғанда, селектеуші ретінде сызықты емес спектралды түрлендірулерді қолдануды теориялық негіздеу;

- ортогоналды түрлендірулердің жылдам алгоритмдерін қолдана отырып, сигналдарды цифрлық өңдеу құралдарымен сызықты емес спектралды түрлендірулерді жүзеге асыру принциптерін әзірлеу;

- сызықты емес фазалық сүзгілердің негізінде гаусстық емес бөгеуілдерді басу құрылғыларының параметрлерін оңтайландыру әдістерін әзірлеу;

- статистикалық модельдеу әдістерінің көмегімен күрделі бөгеуілдерді басудың әзірленген алгоритмдерін салыстырмалы талдау.

Зерттеу әдістері

Жұмыстың негізгі бөлігі байланыстың статистикалық теориясы, функциялар теориясы және функционалдық талдау, ықтималдықтар теориясы және математикалық статистика әдістерін қолдана отырып орындалған. Бұдан басқа, сызықты емес толқындық процестер теориясының және стохастикалық жүйелерді оңтайландыру теориясының кейбір элементтері қолданылды.

1 Күрделі бөгеуіл түрлері бар арналар бойынша дискретті хабарламаларды тарату жүйелерінде сигналдарды адаптивті өңдеу әдістері

1.1 Байланыс арналарында аддитивті бөгеуідердің негізгі түрлері, сипаттамалары және модельдері

Байланыс арналарындағы аддитивті бөгеуілдер табиғи және жасанды сипаттағы көптеген себептерге байланысты, бірақ өзінің негізгі сипаттамалары бойынша 3 шартты санатқа бөлінеді: шоғырланған (жиілік бойынша) немесе тар жолақты (бұл термин шетел әдебиетіне кең қолданылады), спектрінің ені сигнал спектрінің енімен немесе оның енімен өлшенетін, импульстік (уақыт бойынша шоғырланған) және флукуациялық (уақыт пен жиілік бойынша бөлінген).

Флукуациялық бөгеуілдерге аппаратураның жылулық және бөлшектік шуылдары, сондай-ақ табиғи пайда болатын кедергілер (Күн сәулесі және т.б.) жатады. Жылулық және бөлшектік шуылдарда өте кең жиілік жолағында тұрақты спектралды қуат тығыздығы бар.

Флукуациялық бөгеуілдер ақ немесе "боялған" шуылдар түріндегі модельмен, әдетте, ықтималдықтың гаусстық бөлуімен дәл сипатталады.

Импульстік түрге ұзақтығы сигнал элементінің ұзақтығынан едәуір аз болатын бөгеуілдер жатады. Мұндай бөгеуілдердің спектрі өте кең жиілік жолағын алады, ал амплитудалар әдетте сигнал амплитудасынан асып түседі. Сондықтан оның кедергі жасау әрекеті өте үлкен.

Импульстік бөгеуілдер (ИБ) тізбектердегі коммутация процестерімен, коллекторлық электр машиналарымен, жоғары вольтты электр беру желілерімен, атмосфералық разрядтармен және басқа да осыған ұқсас көздермен туындайды.

ИБ бірыңғай импульс түрінде де, олардың белгілі қайталану жылдамдығы (төбелік қарқындылығы) бар ағындар түрінде де болуы мүмкін. Бұл жиілік ИБ көзінің сипатына байланысты секундына 10^4 - 10^7 импульс аралығында ауытқиды [2]. Талдау интервалында пайда болатын импульстердің саны әдетте Пуассон заңы бойынша бөлінген кездейсоқ шама болып табылады.

Ең дұрысы, егер әрбір импульстің ұзақтығы сигналмен салыстырғанда аз деп санауға болатын болса, ИБ ағыны келесі модельмен ұсынылады:

$$u(t) = \sum A_i \delta(t - t_i), \quad (1.1)$$

мұндағы A_i — i -ші қарапайым импульс ауданы;

t_i — кездейсоқ пайда болу сәті,

$$\delta(t - t_i) = \begin{cases} 0, & t \neq t_i \\ \infty, & t = t_i \end{cases}. \quad (1.2)$$

(1.1) импульс амплитудалары теориялық жағынан шексіз үлкен

болғандықтан, сигнал амплитудасының деңгейінде қарапайым шектеу осындай кедергінің әсерін (сингулярлық жағдай) нөлге дейін төмендетеді.

Іс жүзінде ИБ-импульсті бөгеуілдердің $q(t)$ белгілі бір формасы және соңғы ұзақтығы бар, ол ИБ-дің бүйрегінен қабылдау құрылғысының кірісіне әсерін тигізеді, әдетте осы жолдың импульстік сипаттамасы анықталады. Қорек көзі импульсінің амплитудасы және осы жолдың берілу коэффициенті уақыт өте өзгеруі мүмкін, сондықтан импульстік бөгеуілдердің ең нақты болып квазидетермермиялық модель есептелінеді.

$$u(t, \tau) = \sum A_i q(t - t_i, \tau_i) \cdot \exp(-j\varphi_i), \quad (1.3)$$

мұндағы A_i, φ_i, τ_i — кездейсоқ амплитуда, фаза және i -ші импульстың ұзақтығы;

$q(t)$ — көрсетілген импульстік сипаттамамен анықталатын импульстің түрін сипаттайтын детерминирленген функция.

Сигналды ұсыну түріне байланысты ИБ кешенді немесе заттық сандардың жиынында мәндерді қабылдай алады. Қазіргі заманғы байланыс жүйелерінің көпшілігінде модуляцияланған сигналдар қолданылады. Бұл ретте ИБ қабылдағыштың кірісінде радиоимпульс түрінде болады, ол өзінің кешенді қисық сызығымен толық анықталады. Сондықтан мәнде дәл осындай түсінік жалпы ретінде қолданылған және (1.3) $u(t, \tau)$ функциясы ИБ кешенді қисық сызық болып табылады. (Мұнда және одан әрі, әдетте қазіргі ғылыми әдебиетте қабылданғандай, жазуды жеңілдету үшін кешенді функциялардың нүктелері қойылмайды).

Жеке жағдайда, модуляцияланбаған сигналдарды қабылдау үшін, (1.3) фазалық коэффициентін нөлге теңестіріп, тасымалдаушы жиілігін орнатып, тиісті нақты көріністі алуға болады. Сондай - ақ, көптеген ИГ1, тіпті радиоарналарда, радиоимпульс емес, бастапқыда бейнеимпульс түрі болады (мысалы, егер олардың көздері қабылдау орнына тікелей жақын орналасқан болса-түрлі өнеркәсіптік қондырғылар, электр көлігінің ток көтергіштері және т.б.). Мұндай жағдайларда (белгілі ШОУ сұлбасы) қабылдағыштың кірісіне кірмес бұрын, ИБ-ді болдырмау бойынша шаралар қабылданады [1].

A_i амплитудасының таралуы бөгеуілдің пайда болу сипатына байланысты әр түрлі болуы мүмкін. A_i амплитудасының таралуының ең жалпы үлгісі төрт параметрлік үлестіру функциясының өлшенген сомасы болып табылады.

Фазалардың таралуы жиі біркелкі қабылданады. Импульс ұзақтығын бөлу әдетте қалыпты заңға бағынады:

Шоғырланған бөгеуілдер (ШБ), әдетте, басқа радио таратқыштардан және әртүрлі өнеркәсіптік қондырғылардан сигналдармен, сондай-ақ, қолданылатын байланыс жүйелерінің шамадан тыс жүктелуімен жасалады. Іс жүзінде ШБ басқа радио таратушы қондырғының пайдалы сигналы болған жағдайда жиі кездеседі.

Бұл бөгеуілдің өзіндік ерекшелігі оның энергетикалық спектрін сигнал спектрімен өлшейді. Ол α_0/T өлшенетін кейбір шамаға жақын орналасқан,

мұнда $\alpha_0 \gg 1$ - тұрақты, бөгеуілдің шығу тегіне тәуелді [2]. Бөгеуіл спектрінің қатты нөмірленуіне байланысты оны "боялған" шу деп елестетуге болады. Тәжірибе көрсеткендей, радиоарналар ШБ әрекетіне, негізінен, ұзын, орта және қысқа толқындар ауқымында әсер етеді [2, 4].

ШБ статистикалық сипаттамаларына қатысты қандай да бір жалпы ережелерді жасау олардың түрлерінің алуан түрлілігіне байланысты қиын: олар кедергілердің шығу тегіне, толқындардың ауқымына, ионосфераның жай-күйіне (көп сәулелі радиоарналар үшін) және т. б. байланысты.

Жоғарыда келтірілген сигналдардың көрінісі мен олардың күрделі қисықтары бойынша бөгеуілдердің бірі ретінде, мұнда ШБ-дің жекелеген компоненттерінің жиіліктік ауытқуын тасымалдаушы жиілігінен ω_0 түсіну керек.

Теориялық тұрғыда мұндай идеалды бөгеуілді толықтай басу қиын емес [5], өйткені әр тербелістің спектрінде дельта-функция бар және мұндай бөгеуілдердің жиынтық жолағы нөлге ұмтылады (бұл сипатты ИБ түрі моделінің қасиетіне қатысты дуальды деп атауға болады).

Нақты ШБ параметрлері, әдетте, уақытқа байланысты және соммадағы әрбір қосылғыш гармоникалық емес, шеткі спектр ені бар квазигармоникалық тербеліс болып табылады, сондықтан мұндай бөгеуілді толық басу мүмкін емес.

Модельмен сипатталатын ШБ ықтималдық сипаттамаларына қатысты мынаны айтуға болады. Егер қосындылардың әрқайсысы гаусстық кездейсоқ процесс болса, онда олардың сомасы сол қасиетке ие. Сонымен қатар, Гаусс моделінің шеңберінде ШБ - дің жекелеген құрамдастарының амплитудасының арнасының сипаттамаларына байланысты Рэлей, Райс заңдары бойынша немесе (жалпы Гаусс моделі үшін) - төртпараметрлік заң бойынша бөлінуі мүмкін [1]. Гаусстық емес модельдер үшін соманы бөлу туралы мәселе едәуір күрделі шешіледі.

Тек арна жолағында өте көп ШБ әрекет еткен жағдайда (бұл сирек кездеседі) ықтималдықтар теориясының орталық шекті теоремасының негізінде соманы гаусстық бөлу туралы жорамалдарды қабылдауға болады.

Бұл жұмыста жалпы бөгеуілдердің барлық сомасын емес, әрбір қосындыларды өңдеу жататын (олардың қиылыспайтын жиіліктер жолағының аралықтарында әрекет етеді деген болжамда) ШБ басу әдісі зерттеледі. Бұл жалпы бөгеуілді азайту туралы күрделі есептің шешімін айналып өтуге мүмкіндік береді.

Жұмыс істеп тұрған ШБ жиынтығын көрсету үшін кейде жалпы модельдер қолданылады, мысалы, [6] түрі.

Мұндай параметрлердің мысалдары фаза, импульс бастауына қатысты уақытша ығысу және т. б. болуы мүмкін.

$m=1$ кезінде өрнек Рэлей заңына, $m=2$ кезінде — Райстың заңына айналады. Ең жалпы модель - Төртпараметрлік бөлу немесе Кловскийдің таралуы [7, 3], Райс және Релей модельдері жеке жағдайлар болып табылады, ал Накагами таралуы - осы үлестірудің аппроксимациясы болып табылады.

ШБ спектріне тән ерекшелігі - бірлік импульстің ұзақтығы пайдалы сигналдың ұзақтығымен немесе оның кеңдігімен өлшенеді. Жоғарыда айтылғандай, ШБ импульсі бөгде радиоқұрылғыдан пайдалы сигнал болуы мүмкін. Сонымен қатар, сигналдың бір импульс ұзақтылығын тарату заңы сигналдың ұзақтығын бөлуге ұқсас болуы мүмкін деген қорытынды жасауға болады. Инженерлік практикада бұл заң көбінесе нормальды немесе қалыпты бөлумен аппроксимацияланады.

Бұл жағдайда $w(u)$ таралуы одан да күрделі түрді қабылдайды [2].

Практикада, кейде флуктуационды шу түріндегі модельмен осы ағынды аппроксимациялау үшін ШБ-дің бірлік импульстар саны айтарлықтай үлкен болуы мүмкін [4].

Байланыс арналарындағы бөгеуілдерге қарсы күрестің басты қиындықтарының бірі - оларда көрсетілген бөгеуілдердің бірі (ИБ немесе ШБ) таза түрде өте сирек әрекет етуі, көп жағдайда олардың қоспасы (флуктуациялық шумен қатар) болады. Тіпті қарапайым тұрмыстық радиоқабылдағышта, әсіресе ҚТ диапазонында, біз бір мезгілде әртүрлі, әдетте жергілікті көздерден (ИБ) және бөгде радиостанциялардың (ШБ) сигналдарына кедергі келтіретін жарықтарды да естиміз.

Мұндай бөгеуілдер күрделі немесе жиынтық деп аталады.

Сонымен қатар, нақты арналарда ШБ және ИБ сияқты екі маңызды түрлі түрге бөгеуілдерді нақты бөлу мүмкіндігі мүлдем жоғалатын жағдайлар болуы мүмкін. Бұл көптеген факторларға байланысты - байланыс арналарында символаралық интерференциямен, бөгеуілдердің шығу сипатымен, сондай-ақ қазіргі заманғы тарату жүйелерінің жұмыс диапазондарының ұлғаюымен байланысты. Соңғы фактордың әсерінен бірлік ИБ ұзақтығы қарапайым импульстің ұзақтығымен өлшенетін болады және бұл жағдайда ол тар жолақты бөгеуілдер сипатында болады. Сондықтан аралық типті бөгеуілдер (АТБ) туралы айту қажет, жалпы жағдайда жоғары жиіліктегі толтырылған радиоимпульс болып табылады.

"Күрделі бөгеуіл" термині бұл жағдайды да қамтиды, сондықтан "жиынтық бөгеуілге" қарағанда жалпы болып табылады және осы мағынада бұдан әрі осы жұмыста қолданылады.

Мүмкін болатын сипаттамалардың қалған түрі АТБ компоненті әртүрлі болуы және қойылған міндеттерге байланысты болуы мүмкін. Көп жағдайда оларды ШБ-дің ұқсас ықтималдық сипаттамасына қабылдауға болады.

Жүргізілген талдау қорытындысы бойынша ШБ мен ИБ АТБ-ның жеке жағдайы болып табылатыны және "таза түрде" әрдайым практикада орын алмайтыны айқын болады.

Бұл фактор, сондай-ақ гаусстық емес таратылулар АТБ компоненті осындай бөгеуілдердің әрекет ету жағдайында сигналдарды қабылдау үшін оңтайлы алгоритмдерді синтездеуді қиындатады.

1.2 Сигналдарды сызықты емес өңдеу және бейімдеу принциптерін пайдалана отырып, күрделі бөгеуіл түрлері бар арналарда дискретті хабарламаларды қабылдау әдістері

Гаусс кедергісінің ауытқуына қарсы демодуляция сигналдарының оңтайлы алгоритмдерін синтездеу проблемалары сәйкес сүзгілер мен корреляторлар негізінде шешілді және енгізілді. Күрделі гаусстық бөгеуілдер әсері жағдайында бұл алгоритмдер қолданылмайды және мұндай мәселені шешу өте қиын.

Егер спектр белгілі болса және гаусстық бөгеуілінің ықтималдығын тарату белгілі болса, онда бұл бөгеуілді қабылдау үшін Котельников алгоритміне ұқсас және сипаттамасы бар оқшаулағыш сүзгіні қамтитын алгоритмді қолдануға болады [8].

Күрделі гаусстық емес бөгеуілдер кезінде оңтайлы қабылдау теориясы түпкілікті қалыптаспаған, және, алдыңғы бөлімде айтылғандай, оны әзірлеу өте күрделі болып табылады. Бұл ықтималдылықтарды бөлудің көп өлшемді тығыздығы Гаусс және Марков процестері үшін ғана жазылуы мүмкін, ал бұл модельдер әрқашан қолданылмайды.

Жиі бөгеуілдердің құрамдас бөлігінің біреуі (импульстік немесе гармоникалық) басым болады, сондықтан бөгеуілдердің басқа құрамдас бөліктерін елемеуге болады

Мұндай әдісті іске асырудың алғашқы мысалдарының бірі инерциясыз сызықты емес түрлендіруге негізделген және 1946 жылы Шукинмен ұсынылған ШОУ схемасы болып табылады, ал жинақталған кедергілерді басу үшін тәжірибеде жиі кедергі жолағы бар тосқауыл сүзгісі қолданылады $\Delta\omega \geq \Delta\omega_{max}$. Жалпы жағдайда $G(\omega) \gg N$ болғанда, бұл сүзгінің сипаттамасы бірдей болады (1.1). Бұл сұлбаның кемшілігі ол көптеген жағдайларда сигналды қатты бұрмалайды немесе оның энергиясының көп бөлігін жоғалтуға әкеп соғады. Бұл бөгеуілге төзімділіктің төмендеуін білдіреді.

Жоғарыда айтылғандай, көбінесе тәжірибеде ШБ туралы жеткілікті мәліметтер жоқ. Сондықтан ШБ-дің сомасының моделі белгілі бір корреляциялық қасиеттермен қалыпты болып есептелетін радиобайланыс жүйелеріне ШБ-дің әсерін зерттеу әдістері жақсы дамыған. Әрине, мұндай жорамалда талдау корреляциялық теория шеңберінде өтеді. Синтезделген алгоритмнің бөгеуілге тұрақтылығы және процесі ықтималдығы тығыздығының түрленуі туралы мәселе ашық күйінде қалады.

Миддлтон моменттер әдісі [9] ШБ сомасының жоғары тәртіптерінің бірнеше сәттерін анықтау арқылы сигнал/шу қатынасын жақын бағалауға негізделген. Шын мәнінде, бұл корреляциялық теорияны Гаусстық емес статистикамен қорытындылау және қателіктің ықтималдығын табу міндеті мен

оңтайлы алгоритмдерді синтездеу жолдары да шешілмеген.

Ықтималдықтың көп өлшемді тығыздық әдісі гаусстық емес ШБ ықтималдығының көп өлшемді тығыздығын негіз ретінде қолданады [13-15]. Өзінің жалпылығына байланысты ол әрбір нақты жағдай үшін ШБ ықтималдығының көпөлшемді тығыздығын алу тәсілі туралы сұраққа жауап бермейді. Алдыңғы әдіске ұқсас, оның көмегімен тек корреляциялық сәттерді алуға болады. Ол сондай-ақ ықтималдықтың тығыздығы үшін өрнек алуға кепілдік бермейді.

БГШ функционалдық түрлендіру әдісінде зерттелетін процесс Гаусс шуына келтіріледі. Осылайша, егер осындай түрлендірулер болса (міндетті түрде қайтымды емес), онда ШБ статистикалық зерттеу міндеті БГШ-ны зерттеу міндетімен оңайлатылуы мүмкін. Бұл әдістің үлкен кемшіліктерінің бірі - бұл түрлендірулерді ШБ арналары үшін табу жеке жағдайдың аз мөлшері үшін шешілген өте күрделі міндет болып табылады [12].

Бұдан басқа, нақты байланыс арналарында таза импульстік немесе таза шоғырланған бөгеуілдер кездеспейтінін ескеру қажет. ИБ басу үшін қолданылатын әдістер ШБ бұрмалайды және керісінше. Бұрмаланған компоненттердің ықтималдығын үлестіру заңдылықтарын анықтау мүмкін емес болғандықтан, оларды басу қиын шешілген міндет.

Күрделі бөгеуіл жағдайында қабылдау үшін бағалау-компенсациялық-корреляциялық әдістердің қатары әзірленді [4]. Барлық қатардың негізгі ерекшелігі-күтілетін сигналдардың орнына бөгеуіл компонентінің бағалауын алып тастай отырып оларды бағалау қолданылады.

Өрнек жалпы сипатқа ие, оны кездейсоқ және детерминирленген сигналдарды қабылдағанда қолдануға болады. Күтілетін сигналдардың флуктуациясына байланысты мұнда оларды бағалау қолданылады. Детерминирленген бағалау сигналдарын қабылдау кезінде сигналдардың өрнегіне ауыстырылады.

Сипатталған әдістің сыртқы қарапайымдылығына қарамастан, оны іс жүзінде нақты алгоритм түрінде жүзеге асыру өте қиын, себебі мұнда күрделі гаусстық емес бөгеуілдер мен сигналды бағалау туралы әңгіме болып отыр, ал мұндай кедергілер аясында бағалау міндеті жалпы жағдайда сызықты емес сүзу әдістерін тартуды талап етеді.

Сондықтан тәжірибеде сипатталған оңайлатылған инженерлік іске асыру жиі қолданылады. Мысалы, негізгі арнадан басқа, сол бөгеуілдер әсер ететін негізгіге ұқсас сипаттамалары бар, бірақ сигнал болмаған кезде пайдаланылады. Содан кейін қабылдағышта бөгеуілді қоспадан алуға болады.

Бұдан басқа, нақты арналарда жиі кедергілер сипаттамаларына қатысты белгісіздік орын алады. Сигналдың математикалық моделін таңдау өте қиын болғанда, үлкен белгісіздікте сигналдарды қабылдаудың адаптивті әдістері қолданылады [17, 10, 16]. Мұндай әдістер өзінің іске асыру кезінде алдын ала оқытуды, яғни өңделетін үдерістің байқалатын іске асырылуы негізінде априорлық белгісіздіктің түріне байланысты бөлудің белгісіз функцияларын немесе бөлу параметрлерін бағалауды қалыптастыруды білдіреді, яғни оқыту

немесе қабылдау процесінде сигналдарды таңдау (өз бетінше оқып-үйрену). Адаптивті алгоритмнің сәйкестігі критерийі - бұл жаттығу жиынтығының шектеусіз өлшемімен оңтайлы алгоритмге жақындауы. Бұл критерий белгісіз параметрлердің немесе функциялардың бір мәнді бағалауын үйретуге әрдайым мүмкіндік бермейді. Параметрді бағалау үшін параметрді белгісіздік кезінде ең жоғары шындықты бағалау жиі қабылданады, ал жалпы жағдайда бағалау эвристикалық түрде анықталады. Жоғарыда айтылғандай, жалпы жағдайда гаусстық емес бөгеуілдер фонында жүйелендірудің міндеттері сызықты емес сүзу теориясы шеңберінде шешіледі.

Сызықты емес оңтайлы сүзуге бірнеше жолы бар. Сызықсыз түрлендірулердің белгілі бір класымен шектеліп, ең жақсы шешім іздеуге болады. Алайда, мұндай міндет әрбір нақты жағдай үшін жеке шешіледі және шешім жалпы болып табылмайды.

Көп өлшемді апостериорлы таралудың гаусстік аппроксимациясын жиі қолданады және сәйкесінше, кейбір өңдеу кезеңдерінде-сызықтық әдістер қолданылады. Мұндай тәсіл квазисызықты деп аталады және жақындатылған болып табылады.

Сызықты емес сүзу теориясының кең дамыған тәсілдерінің бірі Р. Л. Стратонович әзірлеген Марков процестерінің теориясын қолдануға негізделеді [11]. Әдістер $y(t)$ бастапқы бақылауы және $\lambda(t)$ бағаланатын процесі көп өлшемді марковтық процестің компоненттері болып табылады деген болжамға негізделеді.

Бұл жүйелерді іске асыру өте күрделі, сонымен қатар, нақты шешімдер сияқты жақындатылған шешімдер де көп жорамалдарды болжайды.

Уақыт бойынша да, жиілік бойынша да шоғырланған болып табылмайтын аралық түрдің бөгеуілдері аясында сигналдарды өңдеу кезінде жиіліктік-уақыттық көріністер, сондай-ақ вейвлет түрлендірулері [24, 25] пайдалы болуы мүмкін [18, 19, 20, 21].

Оңтайлы қабылдау міндетін шешу үшін педиодты және периодты емес [18] сигналдардың өтпелі спектрі ұғымын енгізу қажет

Бұл теңдеудің шешімі демодуляцияның оңтайлы алгоритмін анықтайды.

Бұл тәсіл оның шектелуіне байланысты жарты шара болып табылады. Дыбыс сигналын таңдау мен кедергі мәселесін шешу үшін математикалық және практикалық тұрғыдан да дұрыс әдіс уақытша-жиілік негіздерін іздестіру болып табылады, Д Габор алғаш рет ортогоналды емес жиіліктік-уақыттық базис [21, 22] қолданып сигналды жиіліктік-уақыттық аймақта таратып жіберді.

Ортогональды жиіліктік-уақытша базистің типтік мысалдары сигналдарды цифрлық өңдеу есептерінде жиі қолданылатын Уолш немесе Хаар базисі болып табылады [23].

Соңғы уақытта бейнелер мен сөйлеуді өңдеу есептерінде вейвлет-анализ деп аталатын жиіліктік-уақытша түрлендіру қолданылады [24, 25]. Фурье классикалық түрленуіне қарағанда вейвлет-анализ жиіліктік жазықтықта жиіліктік аймақта сигналды екі рет көрсетеді.

Бұл жағдайда жиілік аналогы-масштаб, ал орналасуы-уақыт осімен

жылжу.

Бұл ерекшеліктер сигналдың ірі бөлшектерін ұсақ бөлшектерден бөліп, оларды уақытша оське орналастырады.

Маңызды практикалық және ғылыми қызығушылық көрсетілген шоғырланған және флукуациялық әрекет жағдайында импульстік бөгеуілдерді басу алгоритмін ұсынады. Түрлендіру Шредингердің сызықты емес теңдеуіне негізделеді. Бұл түрлендірудің басты ерекшелігі-белгілі бір параметрлерде сызықсыз процестер есебінен ортада өзін-өзі модуляция және үлкен амплитуданың импульсі қысылады, ал аз амплитуданың импульсі іс жүзінде түрленбейді. Мұндай импульсті қысып, оны амплитудамен шектеу немесе өңдеу оңай.

Мұндай алгоритм сызықты және сызықты емес түрлендірулер тізбегі түрінде жүзеге асырылады. Олар кейбір сызықты емес фазалық сүзгіні құрайды, оны іске асыру жоғарыда сипатталған әдістерде сияқты қиын емес. Бұдан басқа, мұндай әдісті қолдану кезінде қате қабылдау ықтималдығы аз.

Шолудың нәтижелерін шығару кезінде көптеген гаусстық емес бөгеуілдердің күрделі түрлеріне қарсы күрестің теориялық негізделген әдістері жалпы түрде инженерлік іске асыру үшін аз жарамды екені анық болады. Оның басты себебі сигналдар мен бөгеуілдердің ықтимал сипаттамалары туралы априорлық ақпараттың көлеміне өте жоғары талаптар болып табылады. Тәжірибеде көп өлшемді ғана емес, сонымен қатар бір өлшемді үлестірулер де белгісіз. Қабылдау алгоритмін кейіннен бейімдеу мақсатында оларды бағалау-күрделі міндет болып табылады.

Сондықтан, априорлық ақпараттың ең аз көлемін талап ететін және бөгеуіл сипаттамаларының өзгеруіне аз сезімтал болатын, бірақ сонымен бірге жеткілікті жоғары сапаға ие болатын өңдеу алгоритмдерін іздеу өте маңызды болып табылады. Мұндай әдістерді әзірлеу-бұл жұмыстың басты міндеттерінің бірі.

Мұндай әдістердің құрылуы мүмкін, атап айтқанда, егер күрделі бөгеуілдердің әр түрлі компонентін бөлек басу принципін - әрбір өз тәсілімен қолданса. Бұл міндетті шешудің бір жолы 2-тарауда ұсынылған.

1.3 Дискретті хабарларды қабылдау сапасының көрсеткіштеріне гаусстық емес кедергілердің әсері

Дискретті хабарламаларды қабылдаған кезде сапа көрсеткіші таңбаны қате қабылдаудың орташа ықтималдығы болып табылады. Күрделі бөгеуіл жағдайында әр түрлі бөгеуіл параметрлері мен олардың гаусстық статистикасына байланысты қателік ықтималдығы үшін жеткілікті жалпылама өрнектерді алу өте қиын.

Бөгеуілдердің күрделі түрлері бар арналарда бөгеуілге төзімділікті бағалау бойынша алғашқы жұмыстарда көптеген жорамалдар қабылданды,

мысалы, бөгеуілдердің идеалданған модельдері. ШБ гаусстық моделендермен жиі аппроксимацияланды, ал ИБ дельта-импульс сериясы түрінде ұсынылды. Кейінірек, гаусстық емес бөгеуілдері бар арналарда тарату жүйесінің бөгеуілге төзімділігін бағалау бойынша жұмыстар жүргізілді. Бұл бағыттағы ең жалпы нәтижелер Д. Д. Кловскийдің жұмысында алынған, онда жиынтық бөгеуілдердің әрекетімен көп сәулелік радиоарналар бойынша тарату қарастырылады. Әр түрлі зерттеушілер қателікті бағалау және есептеу үшін жақын формулаларды алуға мүмкіндік беретін әдістердің үлкен санын әзірледі. Олар толық қарастырылған. Сонымен қатар, ШБ жағдайында, шешуші сұлбаның түрінен басқа, сигнал базасы маңызды.

Бөгеуілге тұрақтылықты талдау үшін, [6] қарастырылатын, флукуациялық, гаусстық бөгеуілдің ауытқуы және ШБ әсер етуі кезінде оңтайлы қабылдау жүйесінің бөгеуілге тұрақтылығын салыстыруға болады. Талдауды жеңілдету үшін екілік жүйесін келісілген сүзгі немесе көбейкіште іске асырылған белсенді үзіліспен (когеренттік қабылдау) салыстыру өткіземіз. Мысалы, жүйеде қарама - қарсы немесе ортогоналды сигналдар қолданылады, ал егер қатып қалған болса, онда олар Рэлеев заңы бойынша бөлінеді. Мұндай жүйені жүзеге асырудағы айырмашылықтар потенциалдық бөгеуілділік теориясы тұрғысынан елеулі емес. Сигналды тарату шарттарына және ШБ байланысты келесі маңызды жеке жағдайларды қараған жөн:

1) Қатпайтын сигнал және қатпайтын бөгеуіл. Мұндай жағдай радиостанциялардың жақын орналасуы кезінде жиі кездеседі;

2) Қатпайтын сигнал және қататын бөгеуіл;

3) Қататын сигнал және қатпайтын бөгеуіл;

4) Қататын сигнал және қататын бөгеуіл.

Сонымен қатар, $F_c T$ сигнал базасы аз болған сайын, жүйенің бөгеуілге төзімділігі нашар болады. Бөгеуілге төзімділігі ең жоғары болады егер 1) басқалармен салыстырғанда көп болса. Тұрақты қарқындылығы бар ШБ-ге қарағанда, қабылдау үшін бөгеуіл кезінде релеевтік қатудың болуы әлдеқайда жағымсыз болып табылады. Қарама-қарсы сигналдарды пайдаланатын жүйелер ортогоналды сигналдары бар жүйелерге қарағанда жоғары (аз болса да) бөгеуілге төзімділігі бар. Бұл Гаусстық бөгеуілдердің әрекет ету жағдайында да әділ болып табылады.

Бұл жағдайда ортогоналды және қарама-қарсы сигналдары бар жүйелер үшін қатенің ықтималдығы бірдей. Дегенмен, мұндай жүйені әзірлеу кезінде қарама-қарсы сигналдар жүйесін пайдаланған жөн.

ШБ өте үлкен қуаты бар және әділ болған кезде, осы жүйедегі барлық жағдайлар үшін энергетикалық ұтыстар өсуіне жол берілмейді. Іс жүзінде мұндай жағдайлар жиі кездеседі. Сондықтан мұндай СГ1-мен күрес әдістерін әзірлеу қажеттілігі туындайды. Мұндай әдістердің бірі осы жұмыстың келесі тарауларында егжей-тегжейлі қарастырылады.

1.4 Тапсырманың қойылымы

Көптеген жағдайларда демодуляция алгоритмдерін талдау және синтездеу арнада ешқандай салдар болмағаны туралы болжамды ескере отырып әзірленеді. Өкінішке орай, іс жүзінде мұндай арнаны көптеген жағдайларда салу мүмкін емес. Арна әсерінің немесе жадының себебі тарату ортасының біртектес болмауы, реактивті элементтердің болуы, эхо-сигналдарды тудыратын шағылысу болуы мүмкін. Осы факторлардың әсерімен салыстырғанда арнаның жауап беру уақытында шашырауы болып табылады, бұл дискретті хабарламаларды тізбекті әдістермен тарату кезінде хабар символдарына сәйкес келетін сигнал элементтерін - символаралық интерференцияны (САИ) салуға әкеледі. Кеңістіктік-уақытша арналарда кеңістіктік шашырау да пайда болады. Бұл демодуляция кезінде қосымша қиындықтар тудырады, себебі арнада да аддитивті бөгеуілдер, жиі гаусстық емес бөгеуілдер әсер етеді. Демодуляцияның мұндай әдістерін алғаш рет Найквист және Шеннон іске асырды.

Алайда көптеген әдістерді талдау кезінде САИ көңіл бөлінеді, ал аддитивті модель ретінде БГШ қабылданады. Тәжірибеде, орталық жиілік та, ШБ спектрінің ені де белгісіз болған кезде, екі және бөгегіш сүзгілерді қолдану ақпарат бөлігінің толық бұзылуына әкеледі. Бұл жиіліктік артықшылықсыз бірарналы жүйелерге де, жиіліктік қайталаусыз көп арналы жүйелерге де қатысты.

САИ-мен арналарда ШБ-мен күрес кезінде негізінен алдыңғы тармақта қаралған бағалау-компенсациялық әдістері пайдаланылады. Сонымен қатар, талданатын интервалда бір ғана кедергі қолданылады.

Егер бөгеуіл квазидетерминирленген түр үлгісі болса, онда болжау дәл болуы мүмкін. Ол үшін ШБ модулінің өзгеруін және фазаның бұрылуын ескеру қажет, ол $u_{k-1}(t)$ алдыңғы мәннен айырмашылығы болуы керек.

ИБ ағынның арнаға әсер етуін талдау кезінде көптеген жағдайларда жиынтық бөгеуіл моделі БГШ моделімен аппроксимацияланады. Бұл жағдайда демодуляция оңтайлы сұлба бойынша, мысалы, Витерби алгоритмі бойынша барынша шындыққа ұқсас дәйекті бағалаумен жүзеге асырылады [3]. Оның сипаттамалары бойынша өте жақын, бірақ іске асырылуы оңай Кловский-Николаева алгоритмі (КНА) болып табылады.

Белгілі шамада аддитивті бөгеуіл (ИБ + БГШ) σ_k^2 k-ші импульсінің дисперсиясы есептеледі. Демодуляторды іске асыруға байланысты басу

$\alpha_k = \frac{1}{\sigma_k^2}$ көбейтуді орындайтын салмақтық блоктарды қосу арқылы жүзеге асырылады.

Көбейту орнына шешуші схеманың кірісінде k-ші санауды кесуді жүргізуге болады. Жалпы бұл әдісті бағалау-компенсациялық әдіс деп атауға болады.

Бұл тармақта САИ бар арналарда бөгеуілдерді басудың кең таралған әдістерінің жалпы сипаттамасы ғана берілген. Олар гаусстық емес ИБ және ШБ бірлескен әрекетін ескермейді. Адаптивті эквалайзерлер синтезі және арналар

сипаттамаларын соқыр теңестіру әдістері саласындағы қазіргі заманғы әзірлемелер САИ әсерін төмендетуге мүмкіндік береді. Нәтижелер, бұл әзірлемелер, әсіресе аз САИ жағдайларында өте жоғары тиімділікке ие екенін көрсетеді [3]. САИ компенсацияланғаннан кейін бөгеуілдерді бөлек басуды жүзеге асыруға болады.

Байланыс арнасында аддитивті бөгеуілдердің мүмкін сипаттамалары және модельдер анализі жүргізілді. Ол нақты кедергілердің аппроксимациясы үшін де, ци демодулінің алгоритмдерін синтездеу үшін де неғұрлым ыңғайлы екенін көрсетті және ИБ үшін феноменологиялық типтегі квазидетерминирленген модельдер және ШБ үшін квазигармоникалық болып табылады. Қазіргі уақытта ШБ және ИБ арасындағы нақты шекаралар жоқ және гаусстық емес бөгеуілдердің көпшілігін аралық типті бөгеуілдер ретінде қарастыруға болады, олар жоғары жиілікті толтырумен радиоимпульстер ретінде ұсынылуы мүмкін. Олар э типті модельдермен аппроксимациялануы мүмкін.

ШБ мен ИБ-ді басу міндеттерін шешуде аталған тәсілдерді талдау бұл жағдайда сызықтық әдістер іс жүзінде қолданылмайтынын көрсетті. Көптеген сызықты емес әдістердің тиімділігі амплитуда және ұзақтық (немесе спектрдің ені) сияқты гаусстық емес бөгеуілдердің осындай сипаттамаларының өзгеруі кезінде түседі. Көптеген сызықтық емес өңдеу әдістерін іске асыру қиын. Дискретті хабарламаларды тарату кезінде гаусстық емес бөгеуілдерді басу үшін ең тиімді болып әр түрлі инерциясыз сызықты емес түрлендірулер (ИСЕТ), мысалы, режекция болып табылады.

Бөгеуілдерді бөлектеп басу әдістерін қолдану осы шарттарда ең тиімді болып табылатыны көрсетілген. Бұл үшін кіріс қоспасы бөгеуілдердің бір түрі мен сигналдың қалдық қоспасы мен бөгеуілдің басқа түрінің арасындағы айырмашылықты арттыратын түрлендіруге ұшырауы тиіс. Бұл ретте ол кері қайтарылуы тиіс.

Гаусстық емес бөгеуілдермен күрестің аталған әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере отырып, осы жұмыстың мақсаттарын тұжырымдауға болады: гаусстық емес бөгеуілдермен күрестің ең тиімді әдісін іздеу, ол келесі сипаттамаларға ие болуы тиіс:

- гаусстық емес кедергілердің бөлек басылуын қамтамасыз ету;
- бөгеуілдер туралы ең аз априорлық мәліметтерде тиімді жұмыс істеу;
- ең кең бөгеуіл класын басу;
- қолданылатын әдістермен салыстырғанда бөгеуілге төзімділікке ие болу;
- тәжірибелік іске асыруда қарапайым болу.

Соңғы критерийлерді назарға ала отырып, қазіргі уақытта нақты сигналдарды өңдеуді жүргізетін жылдамдықты сигналдық микропроцессорлардың болуын ескеру қажет. Бұл сигналдарды өңдеудің күрделі әдістерін қарапайым іске асыру үшін кең мүмкіндіктер ашады. Осыған байланысты, сондай-ақ тұрақты түрде артып келе жатқан тарату жылдамдығымен осындай әдісті практикалық іске асырудың осы тәсілдеріне бағдарлану қажет.

2 Спектралды аймақта сигналдарды сызықты емес өңдеу негізінде гаусстық емес бөгеуілдерді селективті басудың теориялық негіздері

2.1 Жиілік аймағында сигналдарды сызықты емес өңдеудің принциптері мен артықшылықтары

Алдыңғы бөлімде жүргізілген талдау көрсеткендей, күрделі гаусстық емес бөгеуілдерінің әрекет ету құрылғыларында олардың әртүрлі түрлерін селективті басу принципін қолданған жөн: алдымен жеке ИБ және ШБ басылады, содан кейін гаусстық ФШ үшін оңтайландырылған алгоритм бойынша қалдық қоспаны демодуляциялау жүзеге асырылады. Мұндай алгоритмдердің басты артықшылығы белгілі оңтайлы алгоритмдерге қарағанда, атап айтқанда, СДУ формасындағы марковтық модельдер негізінде синтезделген, оларды іске асыру сигналдар мен бөгеуілдер туралы априорлық ақпараттың едәуір аз көлемін талап етеді және сондықтан айтарлықтай оңайырақ болып табылады. Өңдеу параметрлерін дұрыс таңдау кезінде және салыстырмалы қарапайым алгоритмдер потенциалға жақын бөгеуілге тұрақтылықты қамтамасыз ете алады.

Алайда, көрсетілген үш түрге дәстүрлі бөгеуілдерді бөлу әрдайым нақты жағдайға сәйкес келмейді: көптеген байланыс арналарында "аралық түрлер" деп аталатын бөгеуілдер бар, мысалы, салыстырмалы қысқа радиоимпульстер түріндегі кедергілер бар. Олардың басты ерекшелігі сигнал мен бөгеуілдердің өзара жабудың уақытша және жиілік облыстарында үлкен коэффициенттерінің болуы болып табылады. Осының салдарынан көрсетілген бөгеуілдерді басу селективті алгоритмдер тиімділігі күрт төмендейді. Атап айтқанда, сызықтық сүзу арқылы ШБ-ны басу тиімділігі аз болып табылады: спектрдің зақымдаған бөлігінің режекциясының нәтижесінде айтарлықтай бұрмаланады және өз энергиясы мен сигналының едәуір бөлігін жоғалтады.

Өздеріңіз білетіндей жиіліктік аймақта сызықтық сүзгілеу өңделген қоспаның спектрін сүзгі беру функциясы арқылы көбейтуге дейін азаяды, сондықтан, негізінде спектрдің құрылымын өзгерте алмайды және онда жаңа жиіліктердің пайда болуына алып келмейді, бірақ сызықты емес өңдеу кезінде бұл мүмкін. Соңғы уақытқа дейін радиотехникада және байланыста сигналдардың сызықты емес түрлендірулері тек уақытша салада ғана. Бұл сигналдарды аналогтық өңдеу алгоритмдерінде олардың спектралдық көріністері әдетте физикалық іске асырылмайды, ал математикалық сипаттаманың нысаны ғана болып табылады. Осыған қарама-қарсы

сигналдарды цифрлық өңдеу кезінде (СЦӨ) олардың спектралдық көріністері тек қарапайым жиілік аймағында ғана емес, сонымен қатар кез келген басқа базисте де іске асырылуы мүмкін. Сондықтан қазіргі заманғы жоғары жылдамдықты құралдардың пайда болуымен СЦӨ жиілік аймағында сигналдардың үстінен жүзеге асыруға болатын түрлендірулер класы айтарлықтай кеңейді: өткізу функциясына қарапайым көбейтуден басқа, спектрдің кез келген сызықты емес түрлендірулері іске асырылады, әрі инерциялық емес міндетті емес.

Спектрді түрлендіру сызығына қатысты шектеуді алып тастау, әрине, бөгеуідерді басудың ең тиімді алгоритмін таңдау мүмкіндігін едәуір кеңейтеді. Дегенмен, жиілік аймағында сигналдарды сызықты емес өңдеу әдістері әлі де аз дамыған.

Мұндай өңдеудің бірнеше танымал әдістерінің бірі-спектральды талдау және оған негізделген гоморфты сүзу. Бірнеше құрауыштардың ұясы түрінде берілген сигналдар үшін модульдің логарифмі немесе спектр модулінің квадраты түрінде сызықты емес түрлендіруді пайдалану ұсынылды. Алынған функцияға Фурье кері түрлендіру қолданылады. Нәтижесінде функция алынады

$$C_s(q) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ln[S(\omega)]^2 e^{i\omega q} d\omega, \quad (2.1)$$

мұндағы q -жиілікке кері өлшем деп аталды.

Мұндай көрініс суперпозицияның жалпыланған принципін қолдануға негізделген сигналдарды өңдеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді (қарапайым қосудың орнына ерікті алгебралық операцияларға қатысты) және гоморфты сүзу атауын алды. Кепстромнің үстінде немесе (басқа нұсқада) спектрдің логарифмімен тікелей өңдеудің қажетті операциялары жүзеге асырылады, одан кейін уақытша аймаққа қайта түрлендіру орындалады. Мұндай әдістер сөйлеу сигналдары мен бейнелерді өңдеудің әртүрлі есептерінде қолданылады [32, 34].

Бөгеуілдерді басу есептерін шешу үшін, әрине, спектрдің басқа сызықты емес түрленуін іздеу қажет. Сигналға қарағанда спектрі анағұрлым тар, қарапайым ШБ сызықтық режекторлы сүзгімен басылуы мүмкін, алайда оны баптау үшін орталық жиілік пен ШБ спектрінің енін алдын ала бағалау талап етіледі. Егер сигнал-шу қатынасы үлкен емес болса (атап айтқанда мұндай ШБ беру сапасын едәуір нашарлатады), онда таржолақты ШБ спектралдық тығыздығы амплитуда бойынша сигналдың спектралдық тығыздығынан едәуір асып түседі (шекті жағдайда, таза гармоникалық кедергілер үшін 5-функция түрі бар). Бұл жағдайда жиілік осіне кедергі спектрінің орналасуы алдын ала таңдалған шектен асып кету белгісі бойынша оңай анықталады. Осыдан кейін оны басу үшін әртүрлі әдістер қолдануға болады - спектрдің кедергісімен зақымданған бөлігін алып тастау (кесу) (бұл өз нәтижелері бойынша идеалды режекторлық сүзу мәнімен тең), амплитудалық шектеу, интерполяция және т.б. олардың қайсысын пайдалану орынды - әрі қарай зерттеу пәні.

Мұндай әдісті таңдауына қарамастан, жалпы жиілік аймағында

сигналдарды өңдеудің сипатталған алгоритмі әрдайым сызықсыз болып табылады, өйткені ол табалдырықпен салыстыру негізінде амплитудалық селекция операциясын қамтиды. Бұл операция мәні бойынша қарапайым, бірақ сонымен бірге жиілік спектрінің орналасуын бағалаудың жеткілікті сенімді алгоритмін іске асырады және осылайша, өңдеудің сипатталған алгоритміне бейімделу қасиетін береді. Оны іске асыру үшін ШБ жиілік параметрлеріне қатысты нақты априорлы ақпарат талап етілмейді. Бірақ, бұл әдіс негізінде ШБ сипаттамаларына қатысты маңызды априорлық жол беру - сигналмен салыстырғанда ШБ таржолақты шарты, олардың жиілік аймағында амплитудасы бойынша елеулі айырмашылықтарына кепілдік береді.

Осы кемшілікті жою үшін және арнада аралық түр кедергілері (яғни ШБ және сигнал спектрлері ені бойынша жақын және оларды салу орын алады) болған жағдайда сипатталған әдісті қолдану аясын тарату үшін қандай да бір параметр бойынша сигналдар мен бөгеуілдердің селекциясы кезінде қолданылатын жалпы тәсілді пайдалану орынды: осы параметр бойынша сигнал мен бөгеуілдердің айырмашылықтарын ұлғайтатын қосымша түрлендіруді өңдеу алгоритмінің құрамына енгізу [25]. Осындай түрлендірумен пайдалы сигналға енгізілген бұрмалауларды жою үшін селекциядан кейін тиісті қайта түрлендіру жүзеге асырылуы тиіс.

Спектрлік аймақта ШБ басу кезінде сигналдарды өңдеу алгоритмінің құрылымдық сұлбасы 2.1 суретте көрсетілген. Сигнал кірісіне қабылданатын қоспа және $z(t)$ түріндегі бөгеуілдер келіп түседі. F Фурье түрлендіру көмегімен осы қоспаны жиілік аймағына көрсету жүзеге асырылады. Алынған $Z(\omega)$ спектрі преселекциялайтын түрлендіруге (ПСТ) ұшырайды, содан кейін K операторы сипаттаған амплиткалық селекция жүзеге асырылады (мысалы, режекция немесе шектің асып кету белгісі бойынша спектрдің бөлігін шектеу), Φ^{-1} кері түрлендіруі орындалады, Φ^{-1} Фурье кері түрлендіруі уақытша облысқа қайтаруды қамтамасыз етеді.

Φ^{-1} кері түрлендіруі сигналды елеулі өзгертусіз ғана емес, сонымен қатар жиынтық бөгеуілдің импульстік компонентін сақтауға мүмкіндік береді, бұл содан кейін оны белгілі әдістермен басуға мүмкіндік береді.

2.2 Унитарлы сызықты емес операторларды қолдана отырып жиілік аймағында сигналдарды түрлендіру және олардың қасиеттері

ШБ-ді басудың қаралған әдісін іске асыру кезінде ең бастысы КСГ 1 Φ таңдау туралы мәселе болып табылады. Бұл түрлендіру екі негізгі талаптарға сәйкес болуы тиіс:

1) амплитудасы мен ені бойынша сигнал спектрлері мен бөгеуілдердің арасындағы айырмашылықты ұлғайтуды қамтамасыз ету;

2) кері міндеттің дұрыс емес болуына байланысты қателіктер біржолата қайтарылатын болады.

Кез келген сызықтық түрлендірулерді пайдалану кезінде бірінші талапты орындауды қамтамасыз ету мүмкін емес, өйткені суперпозиция қағидасының негізінде олар сигнал мен бөгеуілдерге бірдей әрекет етеді. Егжей-тегжейлі талдау бұл тапсырманы шешуге мүмкіндік бермейтінін көрсетеді. Сондықтан, 11 ШБ-ді сызықтық емес дифференциалдық теңдеулермен сипатталатын сигналдар кеңістігіндегі ең жалпы бейнелер классында талап етілетін қасиеттермен іздеу қажеттілігі туындайды.

Екінші талап, егер ПСТ ортогональды түрлендіру болып табылса, ең жақсы түрде қанағаттандырылады, яғни ол үшін (мысалы, Фурье түрлендіру үшін) унитарлық оператор жұптасқан оператормен сәйкес келеді:

$$\Phi^{-1} = \Phi^{\square} \quad (2.2)$$

Айта кетейік, анықтамасы бойынша жұптасқан оператор теңдік орын алатын оператор болып табылады

$$(\Phi x, y) = (x, \Phi y) \quad (2.3)$$

мұндағы x, y - сигналдар кеңістігінің еркін элементтері.

Біртұтас (ортогональ) ұғымы, әдетте, сызықтық операторларға ғана қолданылады. Бірақ кванттық механиканың кейбір есептерін шешу кезінде арнайы түрдегі сызықты емес операторлар қарастырылады, олар ішінара біртұтас операторлар қасиеттеріне, атап айтқанда қасиеттеріне ие. Олар біртұтас сызықсыз операторлардың (БСО) атауын алды. Сызықтық біртұтас операторларға қарағанда, мысалы, Фурье, Уолш және т. б. түрлендіру сияқты БСО анық интегралды түсініктері жоқ, ал жанама түрде, сызықсыз дифференциалдық теңдеулер арқылы жеке туынды предипгеровтік типті сипатталады.

Кванттық механика құбылыстарынан басқа, мұндай түр теңдеулері дисперсиясы бар сызықты емес ортадағы кешенді қисық толқындық пакеттердің эволюциясын сипаттау кезінде қолданылады, мысалы, жоғары сәулелену қуаты бар оптикалық талшықтар. Бұл жағдайда айнымалы τ қозғалатын импульстің ортасынан есептелетін нормаланған уақыт ретінде, ал η - нормаланған бойлық кеңістікті координат ретінде түсіндіріледі.

Сигналдарды өңдеу кезінде сипатталған сызықсыз бейнелеуді қолдану, атап айтқанда, ИБ-ді басу кезінде қайта құрылымдау [25] ұсынылған. Бірінші кезекте қарапайым спектрдегі еркін сызықтық сигналдарды өңдеуде, оның ішінде кәдімгі жиіліктегі аймақта осындай сызбаларды пайдалану мүмкіндігі мен келешегіне назар аударылды және сызықтық емес спектрлік ұсынудың жалпы тұжырымдамасын енгізді.

БСО теориясында $x(\tau)$ және $y(\tau)$ функциялары кейбір гильберттік кеңістікке тиесілі x және y элементтері ретінде қарастырылады, ал $\psi(\lambda)$ функциясы $\psi(\eta)$ гильберттік кеңістіктегі функциялардың мәнін қабылдайтын

кеңістіктің банаховының элементі ретінде қарастырылады. Бұл ретте мұндай оператор сипаттаған бейнелеудің өзі символдық түрде жазылады.

$$y = \Phi[\psi]x, \quad (2.5)$$

мұндағы ψ - (η_0, η_m) интервалында η параметрінің өгеруі кезінде гильберттік кеңістіктегі $\psi(\eta)$ функциясымен сипатталтын траектория.

Мұндай жазба қарастырылып отырған түрлендірудің сызықсыз болуы оның операторына тәуелді Φ тек кіріс сигналынан ғана емес, ол шоғырланған параметрлері бар жүйелерде орын алады, сонымен қатар оның кейінгі эволюциясына байланысты көрінеді, бұл кеңістіктік бөлінген жүйелерге тән. Әрине, сызықсыз бейнелеудің мұндай жалпы түрі сигналдардың әр түрлі түрлендірулерін жүзеге асыру үшін барынша кең мүмкіндіктер береді. Олардың нақты түрін теңдеудің (2.4) оң бөлігіндегі оператормен $H(\psi)$ анықталады.

Атап айтқанда, егер бұл оператордың түрі мынадай болса

$$H(\psi) = -\alpha \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} - \kappa |\psi|^2, \quad (2.6)$$

мұндағы α және κ параметрлерін дұрыс таңдау кезінде үлкен амплитуданың импульстерінің селективті қысылуы қамтамасыз етіледі, бұл салыстырмалы әлсіз сигналдың фонында қарқынды ИБ бәсеңдеуінің эффективтілігін арттыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, түрлендірілген спектрдің қисық сызығы секанс-гиперболалық сипатқа ие болады. Төменде келтірілген компьютерлік модельдеу нәтижелері осы сипатты көрнекі көрсетеді. Диаграммаларда байланыс техникасында жиі кездесетін импульс түрлерінің спектрлерін қысу және қалпына келтіру процестері көрсетілген: супергаусстық, секанс-гиперболалық және тікбұрышты.

2.1 суретте көрсетілгендей, тікбұрышты импульс қалпына келтірілгеннен кейін қатты бұрмаланады. Бұл $\sin \omega T / \omega T$ сұйықтықтың қосымша "шашылулардың" болуымен күрделенген спектрдің құрылымымен түсіндіріледі. Секанс-гиперболалық импульс іс жүзінде бұрмалаусыз қалпына келеді, себебі теңдеудің шешімі болып табылады.

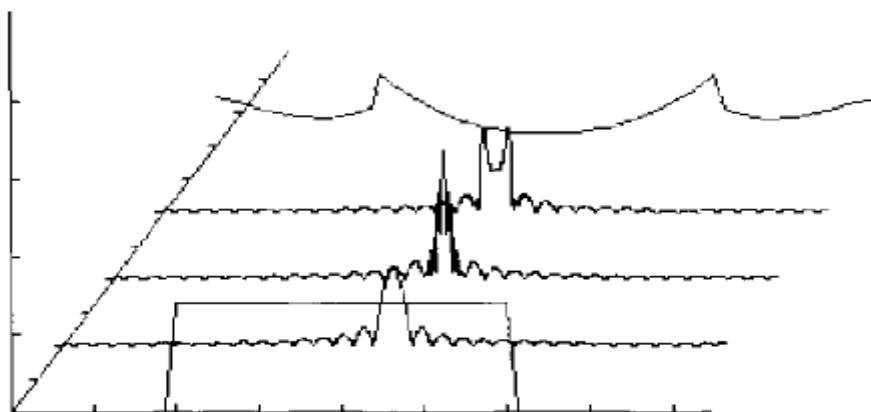
Төменде көрсетілген суретте әр түрлі спектр ені бар секанс-гиперболалық импульстардың эволюциясының диаграммалары бейнеленген.

Суретте көрініп тұрғандай түрлендіру іс жүзінде импульсті бұрмаламайды немесе оны ең аз дәрежеде бұрмалайды. Бұл жерде, егер ол бөгеуіл болса, түрлендіру сигналды ШБ қоспасына қалай өңдейтіні көрсетілген. Сығылған импульс спектрі түрінде оның енін арттыратын қосымша құрамдастар бар, бұл оның қалпына келтірілуіне теріс әсер етеді.

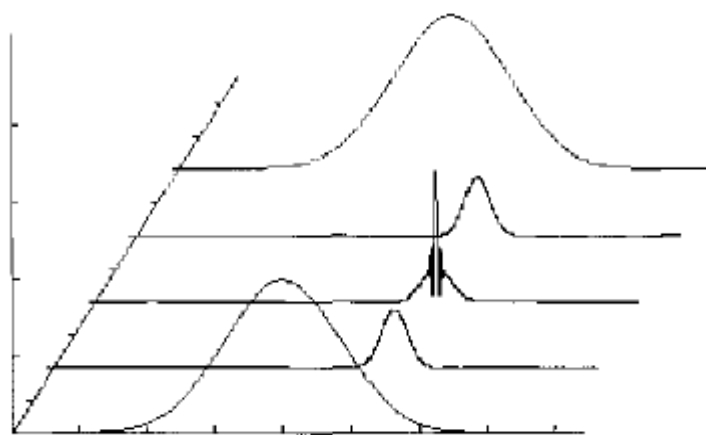
Түрлендіру процесі қисық сызық формасын сипаттайтын бастапқы импульс параметрлеріне тәуелді болатыны анық.

Айқын көрінген параметрлік сезімталдық жағдайында спектрді қысу процесінің бастапқы импульс формасының әр түрлі өзгерістеріне төзімділігі

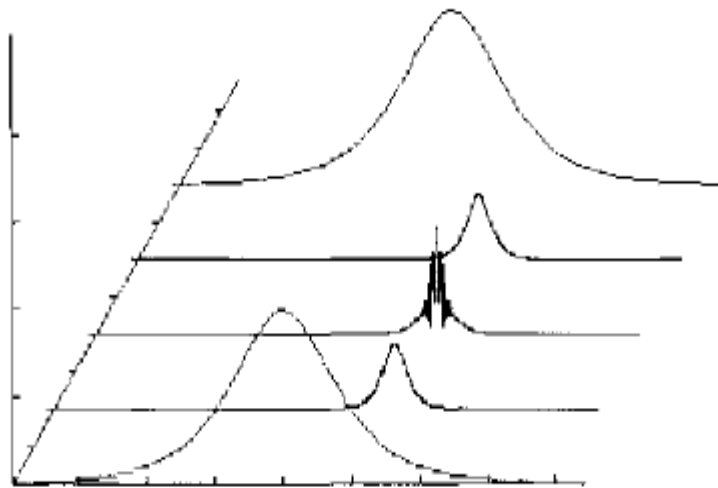
мәселесі өте маңызды. Жалпы түрдегі қисық сызық өзгерісін шағын спектралды флуктуациялар жағдайы үшін вторлардың тәсілін қолдана отырып елестетуге болады. Импульстің жалпы түрі мынадай формаға ие:



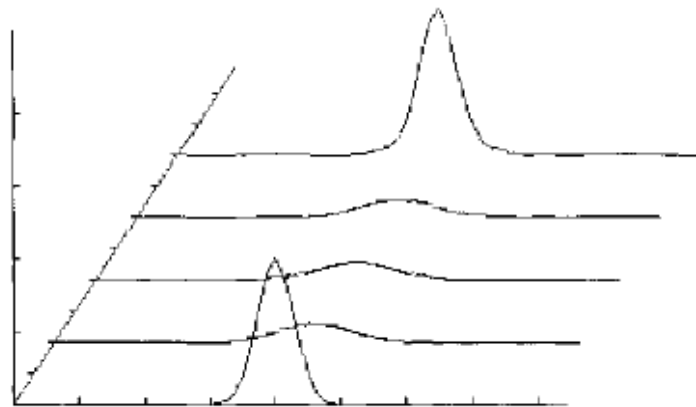
Сурет 2.1 -Тікбұрышты импульстің спектрін сығу



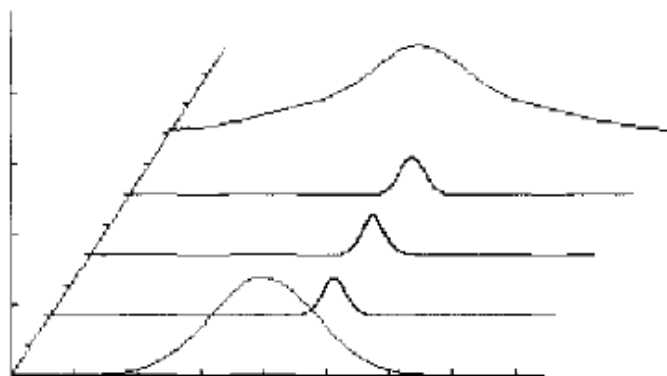
Сурет 2.2 – Гаусстық импульстің спектрін сығу



Сурет 2.3- Секанс-гипербоалық импульс спектрін сығу



Сурет 2.4 - Қысу әсерінің болмауы



Сурет 2.5- Импульсті сығу, түзету және қалпына келтіру

Бұл жүйенің шешімі дисперсиялық арақатынасты алуға мүмкіндік береді және ол заттық немесе жалған, түрлену тұрақты немесе тұрақты емес болуына

байланысты болады.

2.3 Сызықты емес спектралды түрлендірулерді қолдана отырып күрделі бөгеуілдерді басудың тиімділігін теориялық бағалау

Алдыңғы пункттің нәтижелерін негізге ала отырып, онда сипатталған спектралды аймақтағы сызықты емес преселелектендіргіш түрлендірулер белгілі әдістермен салыстырғанда дискретті хабарламаларды қабылдау кезінде ШБ-ді неғұрлым тиімді басуға мүмкіндік береді деп болжауға болады.

Қолдану тиімділігі туралы түпкілікті тұжырымды бөгеуілге тұрақтылық көрсеткіштерін сандық бағалау нәтижелері негізінде жасауға болады, себебі дискретті хабарламалар жағдайында сигналдың бастапқы элементін қате қабылдаудың орташа ықтималдығы болады.

Бұл тармақта белгіленген көрсеткіштердің теориялық талдауын қарастырайық. Олар статистикалық моделдеудің нәтижелерімен бірге осы түрлендірудің бөгеуілге төзімділігі туралы барынша толық түсінік береді.

Жоғарыда бірнеше рет айтылғандай, сызықты емес сүзу міндеттері бірнеше жағдайларда ғана нақты шешімдерге ие болады. Көбінесе дәл теңдеулердің сандық шешімін табу өте қиын. Сондықтан ең болмағанда жақын шешім алу қажеттілігі туындайды.

Бұл жағдайда да мұндай қажеттілік туындайды. Бұл спектралды қоспаның тығыздығының түрленуінің ықтималдығын сипаттайтын осындай сызықты емес түрлену кезінде аналитикалық түрде алу өте қиын, себебі трансформация инерциялық болып табылады. Есептеулердің өте үлкен көлеміне байланысты бұл мәселені шешу мұнда қарастырылмайды. Жалпы алғанда, бұл міндет мүлдем шешілмейтіндігі белгілі. Сондықтан кейбір қалыпты функциямен ықтималдықтың априорлық тығыздығын аппроксимациялаған жөн.

Олар үшін нысанды бұрмалаудың маңызды мәні жоқ. Берілген таңбаны қалпына келтіру үшін ғана жеткілікті. Осылайша, спектралды аймақта сигналдарды өңдеу кезінде Фурье кері түрлендіруді қолданбауға болады. Тіпті бұл жағдайда қайта құрылған процесс бастапқы сигнал ақпаратын сақтайды. Осылайша, қабылданған таңба туралы шешімді спектралды аймаққа шығаруға болады.

Қабылдау алгоритмін егжей-тегжейлі қарастырайық.

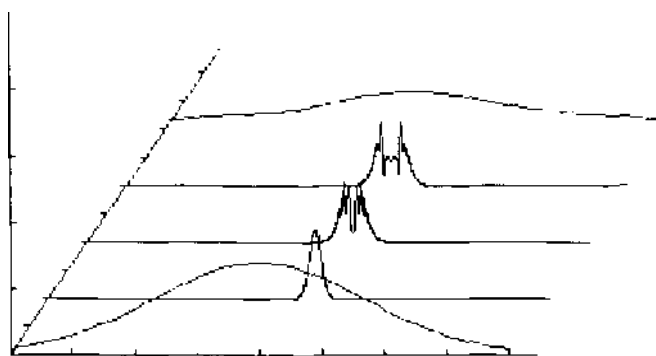
Φ және K операторларымен сипатталатын детекторге дейінгі өңдеу блоктары флукуациялық Гаусс шуы аясында қабылдау үшін оңтайлы болып табылатын демодулятордың кірісіне орнатылады. САИ мен арнадағы қарастырылатын көрсеткіштердің есебі өте күрделі, сондықтан, арнада жады жоқ деп қабылдауға болады, ал ШБ және БГШ бірлік импульс спектрі аддитивті бөгеуілдер ретінде болады.

Есепті қоспаны шешуші сұлбаға бермес бұрын алдымен синхронды детектрлеу жүргізіледі, яғни квадратуралық компоненттерге бөлінеді деген болжауда жүргіземіз.

Одан әрі түрлендірулер осы компоненттермен жүргізілетін болады. Жоғарыда қабылданған жорамалдарды ескере отырып, екілік сигналдарды қабылдау кезінде оңтайлы шешуші алгоритм ретінде Котельников алгоритмін алған жөн.

Мұндай есептеу көптеген жол берулер мен жуықтаусыз өте қиын және мүмкін емес, өйткені спектралды аймаққа өту кезінде ШБ ықтимал сипаттамаларының өзгеруін орнату мүмкін емес.

ИБ ағынының әрекетін есепке алу үшін уақыттық облыста тағы бір НФФ қолдануға негізделген тәсіл бар, ол егжей-тегжейлі қарасырамыз.



Сурет 2.6 - Импульсті сығу және дұрыс қалпына келтіру

Осы тармақта ұсынылған сандық бағалар көп аппроксимациялар мен жуықтау мөлшерімен алынды, алайда бұл түрдегі тіпті ұсынылған сызықсыз спектралдық түрлендіруді қолдана отырып, гаусстық емес бөгеуілдерді басуды қолдану тиімділігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Нақты байланыс арналарында болатын әртүрлі факторларды ескеретін неғұрлым дәл сандық нәтижелер және неғұрлым кең салыстырмалы талдау қарастырылып отырған өңдеу әдісін статистикалық моделдеу кезінде ғана мүмкін болады.

Жүргізілген талдау нәтижесінде қоспаны сызықсыз бұрмалау сигнал мен бөгеуілдерді селекциялаудың кең таралған әдістерінің тиімділігін арттырудың ең тиімді жолдарының бірі болып табылатыны анықталды. Таржолқты және аралық типтегі бөгеуілдер үшін жиіліктік аймақта осындай алдын-ала таңдаған өзгерістерді енгізу ұсынылады.

Көрсетілген түрлендіру келесі талаптарды қанағаттандыруы тиіс:

- қайтымдылық, яғни кері түрлендірудің болуы;
- селекцияның жоғары тиімділігін қамтамасыз ету;
- сигналдарды цифрлық өңдеу құралдарымен іске асырудың қарапайымдылығы.

Мұндай талаптарға ең жоғары дәрежеде таратылған параметрлері бар ортадағы им-пульстің эволюциясын сипаттайтын және негізгі қоспаны қозғамай, белгілі бір амплитуданың импульстерінің сығылу әсерін қамтамасыз

ететін сызықтық емес түрлендіруді қанағаттандырады. Түрленудің жану қоспасының эволюциясына байланысты фазалық сипаттамасы бар.

Әртүрлі формадағы импульстердің спектрлерінің қысылу дәрежесін теориялық бағалау алынды, нәтижесінде ең үлкен қысуға спектрлері секанс - гиперболалық немесе қоңырау пішінді импульстер ұшырайтыны анықталды.

Кіріс импульсінің әртүрлі флуктуациясына сызықты емес түрлендірудің төзімділік мәселелері қарастырылды. Олардың негізінде спектрді қысу үшін жағдайлар алынды.

Сипатталатын сызықты емес спектралды түрлендіруді қолдана отырып, күрделі бөгеуілдерді басу тиімділігін сандық бағалау алынды. Көптеген аппроксимациялар мен есептеулерде гаусстық емес ШБ-ді басу кезінде осы басымдықтың тиімділігі туралы айтуға болады. Дегенмен, неғұрлым дәл бағалауды алу және неғұрлым егжей-тегжейлі салыстырмалы талдау жүргізу және қатайту, арна жады және т.б. сияқты факторларды есепке алу үшін сипатталған әдісті қолдана отырып, дискретті хабарламаларды қабылдауды статистикалық моделдеу қажет.

2.4 Ажырату әдісін пайдалана отырып, унитарлық сызықсыз операторларды дискретті ұсыну

Сигналдарды өңдеудің заманауи алгоритмдерінің көпшілігін, әсіресе сызықсыз, аналогты түрде іске асыру мүмкін емес. Микропроцессорлық техниканың заманауи дамуы мұндай алгоритмдерді сандық түрде жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Алайда, көп жағдайда теориялық әзірленген алгоритмді дискретті модельмен ұсыну міндеті есептеулердің үлкен ауқымына байланысты, сондай-ақ қазіргі заманғы алгоритмдердің күрделілігіне байланысты өте күрделі болып табылады. Сондықтан функционалдық кеңістіктегі сигналдар мен түрлендірулерден цифрлық формада іске асыру үшін қолайлы соңғы көрініске көшуді зерделеу қажет. Бұл мәселені қарау нәтижелері алгоритмді статистикалық моделдеуде де қолданылады, бұл қазіргі зерттеуде өте маңызды.

Мұндай алгоритмдерді инженерлік жүзеге асыру көп жағдайда сандық сигналдық процессорлар үшін төменгі деңгейлі бағдарламалар түрінде берілген. Мұндай құрылғылардың жылдамдығы осы бағдарламалармен жүргізілетін есептеу көлеміне тікелей байланысты. Бұл сигналдарды өңдеу нақты уақыт режимінде жүргенде әсіресе өзекті. Осыған байланысты алгоритмдерді сандық түрде ұсынудың ең қарапайым әдістерін зерттеу қажет. Әрине, мұндай сандық модельдер жақындау болып табылады және оларды әзірлеу кезінде қателікті ескеру қажет.

Бұл сондай-ақ біртұтас сызықсыз (БСО) операторларға негізделген алгоритмдерге жатады.

Жалпы жағдайда дискреттеу кезінде, мысалы, со жиілігі бойынша, (2.7) функциясымен $\psi(\eta, \omega)$ берілген сигналды айналып өтіп, келесі ұсыныспен аппроксимацияланады:

$$\psi(\eta, \omega) = \sum_{i=1}^N \psi_i(\eta) h_i(\omega), \quad (2.7)$$

мұндағы N - дискретті көріністің компонент саны (дискреттеу нүктелері);

$h_i(\omega)$ - ортогональды және сызықтық тәуелсіз кейбір базистік функциялар.

Егер екі аргумент бойынша дискретизация қажет болса, өрнек түрге түрлендіріледі

$$\psi(\eta, \omega) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \psi_{ik} \lambda_{ik}(\eta, \omega), \quad (2.8)$$

Базистік функциялар әдетте жекелеген аргументтер бойынша базистік функциялар туындысы түрінде ұсынылады:

$$\lambda_{ik}(\eta, \omega) = h_i(\omega) g_i(\eta), \quad (2.9)$$

мұндағы $\lambda_{ik}(\eta, \omega)$ - η ауыспалы бойынша дискреттеу кезінде қолданылатын базистік функциялар.

Бұл орнатудың нәтижесі алгебралық теңдеулер жүйесі болып табылады. Бұл тәсіл Ритц-Галеркин әдісіне негізделген.

Маңызды мәселелердің бірі түрдің соңғы көріністеріндегі базисті таңдау болып табылады. Бөлім басында айтылғандарды назарға ала отырып, жылдам әрекетті қамтамасыз ету үшін дискретті модель барынша қарапайым болу үшін базисті таңдау қажет.

Жоғарыда сипатталған тәсіл сызықтық түрлендірулерді дискреттеу үшін тиімді қолданылады, көп жағдайда олар түрлендірудің матрицасының диагональды элементтерінің суперпозициясы түрінде ұсынылады.

Сызықты емес түрлендіру жағдайында Ритц-Галеркин әдісін қолдану қиын. Бұл негізінен суперпозиция принципін сақтамаумен түсіндіріледі, сондықтан көптеген жорамалдар енгізіледі. Нәтижесінде, эквиваленттік сұлба - барлық сызықты емес бұрмаланулар үшін есептерді алу үшін сызықты емес инерциалды емес элементпен байланған параметрлері бар элементтермен байланыстың сериялық байланысы.

Бұл тәсілді мұнда қарастырылатын сызықты емес түрлендіруге қолдану оның модификациясын талап етеді. Бұл сигнал спектрінің қысу режимін сипаттау үшін фазаның өздігінен модуляциясы сияқты сызықтық емес

құбылыстарды ескеру маңызды. Бұдан басқа, аналитикалық өрнекке әкелетін кіріс және шығыс сигналдарының байланысын ұсыну үшін жалпы формулалар жоқ. Алайда, кіріс-шығысты мультипликативті интегралға ұқсас инфинитезимальды операторлардың үздіксіз жұмысы түрінде көрсетуге болады :

$$\psi(\eta, \omega) = \prod_{\eta=0}^{\eta_k} \exp\{jH[\psi]d\eta\} \psi_0(\omega), \quad (2.10)$$

мұндағы $\psi_0(\omega)$ кіріс сигналымен анықталады.

Бұл көрініс қарастырылып отырған түрлендірудің дискретті моделін құру үшін келесі әдісті тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

Есептеу математикасында дискретті модельдерді шығару үшін ыдырату әдістері кеңінен таралған. Жалпы жағдайда олардың мәні кейбір күрделі жүйе N қарапайым жүйелерге бөлінеді, олардың әрқайсысы жеке талданады. Физикалық факторлар бойынша ыдырау қолданылатын осындай әдістер, мысалы, импульстердің сызықты емес орталардағы түрленуін сипаттайтын түрдің сызықты емес эволюциялық теңдеулерін сандық шешу кезінде кеңінен қолданылады.

НФФ дискретті моделін әзірлеу үшін мұндай тәсілді қолданудың жалпы жағдайын неғұрлым егжей-тегжейлі қарастырайық. Бұл ретте әрбір қарапайым буында сызықты және сызықты емес түрлендірулерді бөлу оңайырақ. Қарапайым баяндау үшін дискретизацияны тек η айнымалы бойынша жүргіземіз.

Бұл дискретті модель түрлендірудің демонстрациялық және статистикалық моделдеу кезінде қолданылады.

Ортогоналды түрлендірудің жылдам алгоритмдерін қолдана отырып сызықты емес цифрлық фазалық сүзгілерді әзірлеу.

Соңғы онжылдықта цифрлық техникадағы байқалатын прогрестің салдары әзірленетін цифрлық құрылғылардың (ЦҚ) жоғары күрделілігі болып табылады. Классикалық диодты құрастырмаларды, триггерлерді және т.б. блоктарды қолдана отырып, осындай ЦҚ жүзеге асыру өте қиын болар еді. Осы себепті қазіргі заманғы ЦҚ микропроцессорлық құралдардың көмегімен іске асырылған аппараттық-бағдарламалық кешендер ретінде әзірленуде.

Бұл бөлімде қаралатын сандық НФФ, сондай-ақ осындай кешендерге қатысты.

Нақты уақыттағы жұмыс істейтін және осы түрлендіруге негізделген цифрлық фазалық сүзгі әзірлеу кезінде, жоғарыда аталған жылдамдықты ғана емес, сонымен бірге барлық басқа сүзгі компоненттерін қамтамасыз ететін қондырғыны ескеру маңызды.

Сонымен қатар, сандық өңдеу әдістерінің қателіктерін азайту үшін дискретизация кезіндегі санақ санын көбейту қажет. Нәтижесінде, есептеу көлемі артады. Сондықтан, мұндай өңдеуді тиімді жүзеге асыру операциялар

саны мен пайдаланылатын жад көлемін қысқартатын жылдам алгоритмдерді қолданған кезде ғана мүмкін болады.

F операторы сипатталатын блок Фурье дискретті түрлендіруі (ФДТ) Фурье базисінде дискретті тізбектілікті көрсетеді:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} kn\right), \quad (2.11)$$

мұндағы N – санақ саны. Алгоритм сигналды цифрлық өндеуде кеңінен қолданылады [5, 6].

Көрнекіліктерді есепке ала отырып, қарастырылып отырған сүзгіге қатысты F блогының құрылымдық сұлбасын ұсыну қиын емес.

Сұлбада базис бойынша ыдыраудың жақсы белгілі аппаратуралық іске асырылуы көрсетілген. Мұнда x(n) кіріс дискретті тізбегін тиісті базистік функцияға көбейту арқылы түрлендіру жүзеге асырылады.

$$W_{kn} = \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} kn\right)$$

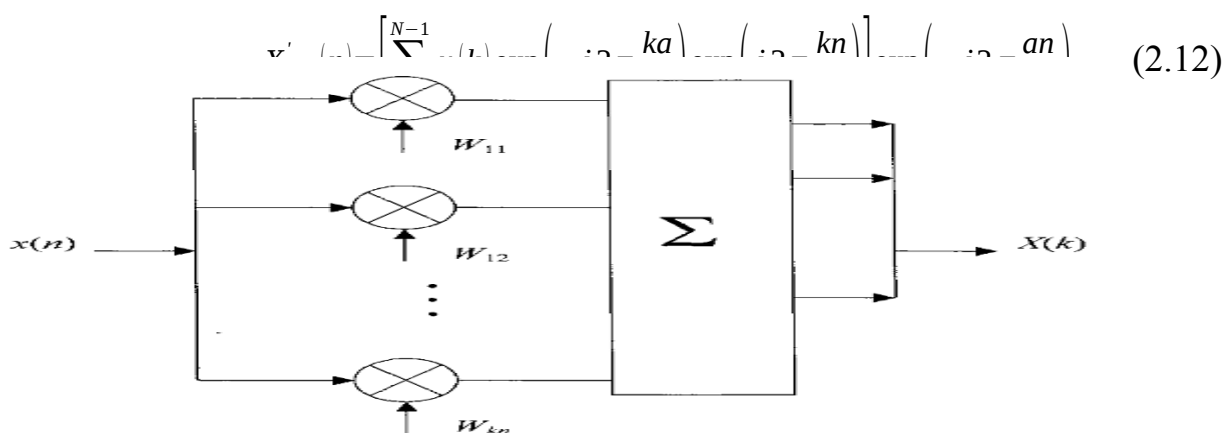
Одан әрі тізбек өлшенген жиынтықтау сұлбасын түседі. Базистік функциялардың мәндерін есептеуді ФДТ есептеудің машиналық-бейімделген алгоритмі ((ФЖТ) Фурье жылдам түрленуі) болып табылатын Кули мен Тюоканың жылдам алгоритмі арқылы жүзеге асырған жөн.

Бұл блоктың шығысынан бастап тізбек ПСП іске асыратын блоктың кірісіне түседі. Оның дискретті моделі алдыңғы тармақта көрсетілген.

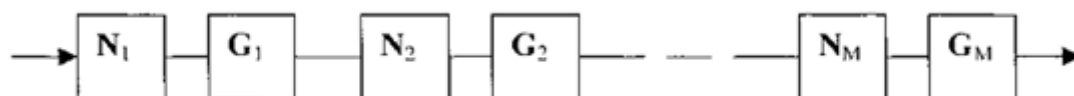
Бұл бөлімде алынған нәтижелерді басшылыққа ала отырып, осы блоктың құрылымдық сұлбасын сызықты және сызықты емес түрлендірулерді жүзеге асыратын тізбектердің тізбегі түрінде ұсынуға болады. Жалпы түрдегі M жұп буыны үшін ПСП алмастыру сұлбасы көрсетілген.

F блогында есептеулердің (қадамдардың) ең көп саны жүргізілетіндіктен, мұнда жылдам алгоритмдерді қолдану өте маңызды. G операторы сипаттаған сызықтық буындар жоғарыда айтылғандай, Френель түрлендіру болып табылады. Ортогоналды түрлендіру үшін жылдам алгоритмдердің әртүрлілігі осы буынды аппараттық-бағдарламалық жүзеге асыру бойынша кең мүмкіндіктерге ие. Мысалы, Френельді түрлендіру үшін жылдам алгоритм әзірленді. Алайда, ол басқа алгоритмдердің көпшілігі сияқты, жеке жағдайлардың шағын мөлшері үшін ғана жарамды.

Бұл сипатты пайдалана отырып, Френель түрлендіру дискретті моделін ФДТ арқылы білдіруге болады:



Сурет 2.7 - Френельді түрлендірудің дискретті моделі



Сурет 2.8 - Желілік буынды іске асыру

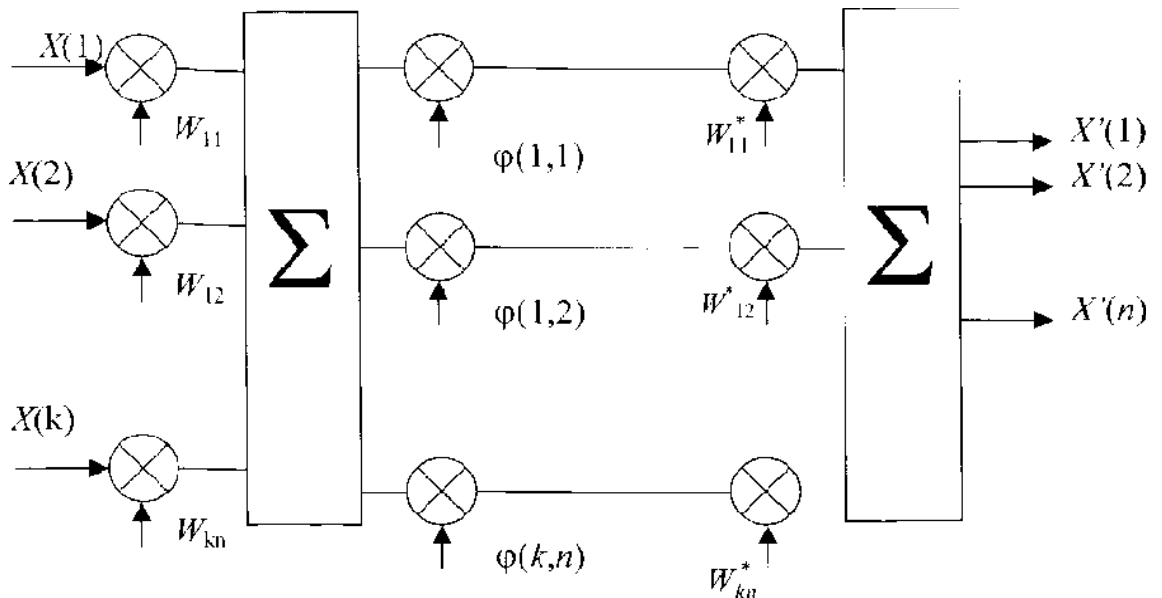
Бұл әдіс суреттерді сандық өңдеу техникасында кеңінен қолданылады [16]. Көрініп тұрғандай, сызықтық буынды іске асыру ФДТ жұпты пайдалана отырып жүзеге асырылуы мүмкін.

Осы тәсілді қолдана отырып әзірленген сұлба 3.3 суретте көрсетілген. Осы суреттен көрініп тұрғандай, сызықтық буын көбейткіштер арқылы қосылған Фурье базисіне ыдыраудың екі сұлбаның көмегімен іске асырылады. Бірінші сұлбада Фурье базисінде $X(k)$ дискретті тізбекті алдыңғы жағдайға ұқсас ұсыну жүзеге асырылады. Осы сұлба шыққаннан бастап, түрлендірілген $X'(n)$ тізбегінің элементі $\varphi(k, n)$. Френельді түрлендірудің базистік функциясына көбейтіледі

Ф блогының сызықты емес буынын іске асыру ерекше қиындықтарды тудырмайды. Котельников базисында көрсетілген сигнал фазасы сәйкес түрленеді. Осылайша, осы буынның құрылымдық сұлбасын 2.9 суретте көрсетілген түрде жүзеге асыруға болады.

Осылайша, әзірленген құрылымдық сұлбада ЭЕМ-де жылдам алгоритмдердің көмегімен жүзеге асырылған, тиімділігі көп жазулы зерттеулермен расталған ортогоналды түрлендірулер қолданылған [20, 23].

Алынған сандық НФФ құрылымдық сұлбасы бағдарламалық алгоритмді әзірлеудің анағұрлым тиімді жолдарын көрсетеді, бұл келесі тарауда егжей-тегжейлі қарастырылады.



Сурет 2.9 - Сызықты емес цифрлық фазалық сүзгілердің параметрлерін оңтайландыру

Сигналдарды өңдеу алгоритмдерін жүзеге асыру жолдарын синтездеу және зерттеуге байланысты барлық міндеттерде іс жүзінде соңғы мақсат өңдеудің ең жақсы сапасына жету болып табылады. Егер сигналдарды өңдеу шуылмен байланыс арнасында жүргізілсе, онда бұл жағдайда қабылдаудың ең жақсы сапасын қарастырады. Әр түрлі есептерде қабылдау сапасы бағаланатын өлшемдер үздіксіз және дискретті хабарламалар үшін де әртүрлі. Дискретті хабарламалардың сапа көрсеткіштерін таңдау мәселесі күрделі және оның шешімі есептер мен хабарламалардың түрлеріне байланысты. Сигналдарды табу міндеті шешілетін радионавигация жүйелерінде Нейман-Пирсон критерийі қолданылады. Бұл жағдайда, мәселе бөгеуіл фонында дискретті сигналдарды ажырату туралы болып отыр, сондықтан критерий ретінде әдетте қарапайым символды қате қабылдаудың орташа ықтималдығы алынады (немесе басқа бастапқы құрамдауыш).

Жоғарыда айтылғандай, жалпы сигналдарды өңдеу алгоритмдерін оңтайландыру (талдау сияқты) өте күрделі. Бұл мәселе гаусстық емес бөгеуілдер модельдері туралы болса, одан да күрделі болып табылады. Белгілі болғандай, мұндай міндет кейбір жеке жағдайлар үшін ғана үлкен қиындықтармен шешіледі. Жалпы түрде оның шешімі Стратонович теңдеуі түрінде ұсынылады.

Сондықтан қарастырылып отырған өңдеу алгоритмдерін оңтайландыру міндеті әр өңдеу блогы үшін бөлек шешілуі тиіс.

Ф блогымен сипатталатын, спектрдің ені мен амплитудасы бойынша сигналдардың айырмашылығы артады. Бұл түрлендіру келесі критерий бойынша оңтайлы болып табылады:

$$\max \left\{ \delta = \frac{P_n}{P_c} \right\}, \quad (2.13)$$

мұндағы P_n және P_c - тиісінше бөгеуілдер мен сигналдардың жекелеген реализация қуаттары.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінен импульсті барынша қысу оның ең жоғарғы қуатымен анықталады, өйткені сипатталған ГІСП энергия сақталады. Сондықтан осы критерий бойынша НФФ параметрлерін оңтайландыруды жүргізу орынды. Оны толығырақ қарастырайық.

Одан әрі, функцияның аппроксимация түрін таңдағаннан кейін $f(U, \vartheta)$ максимумді іздеу есебі теңдеуді шешуге түседі, ол аппроксимацияны тиісті таңдауда сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесі түрінде ұсынылуы мүмкін.

Бұл бөлімде осындай міндетті шешу үшін тәсіл сипатталған. Статистикалық оңтайландыру міндеттерін шешу көптеген сандық және аналитикалық есептерді талап етеді, олардың көпшілігі қиын. Бұл сондай-ақ осы бөлімнің шеңберінен шығады. Алынған нәтижелерді ескере отырып [6] уақыттық облыста және НФФ инженерлік жобалауда ұқсас түрлендіру үшін жоғарыда алынған нәтижелерді қабылдауға болады.

Сигнал мен бөгеуілдердің шекті селекциясы алгоритмдерін оңтайландыру

Сигналдар мен импульстерді селекциялау үшін сигналдарды өңдеу техникасында көптеген алгоритмдер қолданылады: амплитуда бойынша шектеу, режекторлы сүзу, көрші есептеулер бойынша интерполяция, режекторлы сүзу және интерполяцияны бірге пайдалану және т.б. Мұнда қарастырылған дискретті хабарламаларды қабылдау жағдайы үшін сигналдардың нақты түрін сақтаудың қажеті жоқ. Сондықтан мұнда селекцияның алғашқы екі әдісін қарастырамыз, өйткені оларды іске асыру өте оңай.

Алдыңғы тарауда көрсетілгендей, селектеуші түрлендіруде қалдық қоспа іс жүзінде өзгермейді. Сондықтан, оның ықтимал сипаттамалары да өзгертілмейді.

Жоғарыда айтылғандай, дискреттік хабарламаларды қабылдау кезіндегі сапа көрсеткіші таңбаны қате қабылдаудың орташа ықтималдығы болып табылады. Осылайша, осы бөлімшеде қойылған сұраққа жауап беру үшін жалпы түрде НФФ селектендіруші блогында ықтимал сипаттамалардың өзгеруін қарастыру және таңдалған селекция әдістерін пайдалану кезінде қатенің ықтималдығын бағалау қажет. Бұл ретте, есептеулерді келесі блоктың әрекетін есепке алмай жүргіземіз.

Қарастырылып отырған селекция әдістері бойынша жұмыс істейтін селективті құрылғы ШБ спектрі амплитуда бойынша сигнал спектрінен асып кеткен жағдайда әрекет етеді. Тек осы жағдайда ғана ол осы құрылғымен кесілуі мүмкін. Осылайша, бұл жағдайда Ω жолақты сигнал қоспасы мен $Z(\omega)$ бөгеуілдер спектрі амплитуда бойынша кейбір U_{11} шекті мәннен асатын көптеген жиіліктер ретінде анықтау керек.

Бұл әдіс сызықтық және сызықты емес операторлардың туындысын ұсынатын қарапайым дискретті модель түрінде ұсынылуы мүмкін. Оларды сипаттау үшін қолданылатын дискретті модельдердің сәулеленуі де қиындықтар тудырмайды.

Бұл әдіс цифрлық НФФ түрінде сигналдарды цифрлық өңдеу құралдарымен оңай іске асырылуы мүмкін. Оны жасау кезінде Фурье мен Френель ортогональды түрлендірудің жылдам алгоритмдері қолданылды. Бұл алгоритмдердің тезәрекеттілігі нақты уақыт режимінде сигналдарды өңдеу үшін осы сүзгіні қолдануға мүмкіндік береді.

Детерминирленген параметрлері бар импульс үшін НФФ параметрлерін оңтайландыру әдісі әзірленді. Ол сүзгінің сызықтық және сызықты емес бөлігінің параметрлерін таңдауды символ қате қабылдаудың орташа ықтималдығының минимум өлшемі бойынша оңтайлы қамтамасыз етеді.

Оның негізінде импульс спектрінің максималды қуатының өзгеруінің қоңыраулы және тікбұрышты формадағы импульстерге арналған әртүрлі параметрлерден тәуелділігі жартылай алынған ПСТ көмегімен оның спектрін қысу кезіндегі импульс ұзақтығының өзгеру заңы алынды. Ең көп қысу қоңыраулы формадағы импульс үшін қол жеткізілгені анықталды.

Кездейсоқ кедергілердің спектрлерін қысу үшін НФФ статистикалық оңтайландыруға арналған тәсіл әзірленді.

3 Күрделі бөгеуілдерді басудың әзірленген алгоритмдерінің тиімділігін салыстырмалы талдау

Сигналдарды өңдеудің көптеген заманауи алгоритмдері үшін олардың күрделілігіне байланысты бөгеуілге төзімділіктің аналитикалық бағалауын алу қиын. Бұл бірінші кезекте сигналдарды цифрлық өңдеу алгоритмдеріне жатады. Сондықтан алгоритмдердің тиімділігін бағалаудың негізгі әдісі статистикалық модельдеу болып табылады.

Компьютерлік техника саласындағы жылдам ілгерілеу кең деңгейдегі міндеттер үшін компьютерлік модельдеу технологиясын өзгертуге мүмкіндік берді.

Бұл тарауда сөз ШБ басу алгоритмінің тиімділігін бағалау туралы болып отыр, яғни кездейсоқ процестің ықтималдық сипаттамалары іздестірілетін шамалар ретінде болады. Бұл жағдайда статистикалық модельдеу әдістерін қолдану қажеттілігі туындайды.

Монте-Карло әдісіне негізделген статистикалық моделдеу байланыс жүйелерінің, соның ішінде сигналдарды цифрлық өңдеу құрылғыларының кең класын талдау және моделдеу кезінде кеңінен қолданылады.

Бұл жағдайда Монте-Карло әдістерін қолдану тиімділігі сынақтар санына тікелей байланысты. Энергетикалық ұтысты бағалау үшін $p \sim 10_{-5}$ ретіндегі қателіктің орташа ықтималдығы кезінде кем дегенде 106 сынақ жүргізу қажет.

Барлық сандық әдістер сияқты, Монте-Карло әдістерінде де қателіктер бар. Дискреттеу кезіндегі қателіктен басқа, мұнда кездейсоқ сандық тізбектерді қалпына келтіру алгоритмдерін ескеру қажет.

Әзірленген алгоритмдердің кейбір теориялық бағалау тиімділігі алдыңғы тармақтарда қарастырылған. Алайда оларды есептеу кезінде жалпы өлшемдер қолданылды, мысалы, орташа квадраттық ауытқу. Алгоритмдердің тиімді неғұрлым егжей-тегжейлі нәтижелер мен қорытындылар алу үшін хабарлардың нақты түрлерін қабылдау сапасын бағалау қажет. Жоғарыда айтылғандай, дискретті хабарламалар үшін ең объективті көрсеткіш қателіктің орташа ықтималдығы болып табылады. Бұл кейбір дәрежеде дыбыс сигналдары немесе суреттер сияқты түрдегі күрделі үздіксіз хабарламалармен салыстырғанда статистикалық модельдеу міндетін жеңілдетеді. Бұл міндетті орындаудың нәтижесі әдістің артықшылықтары, оның кемшіліктері және оларды жоюдың ықтимал тәсілдері туралы неғұрлым толық қорытындылар болып табылады.

Жадсыз арналарда сигналдарды өңдеудің әртүрлі алгоритмдерін қолдану кезінде екілік сигналдарды қабылдаудың бөгеуілге тұрақтылығы шоғырланған бөгеуілдер мен флуктуациялық бөгеуілдер әрекеті жағдайында болады.

2-тарауда сипатталған әзірленген алгоритмдердің бөгеуілге тұрақтылығын теориялық бағалау бірқатар жорамалдар мен жақындауларды есепке ала отырып алынды. Бұл талдау есебінің үлкен күрделілігіне байланысты. Бөгеуілге тұрақтылықты неғұрлым дәл бағалау үшін [7, 8] көрсетілгендей тар жолақты гаусстық емес бөгеуіл мен флуктуационды шуыл жағдайында дамыған алгоритмді тікелей статистикалық модельдеуді жүзеге асыру ұсынылады. Модельдеу кезінде арнада жады және қату жоқ болды. Талданатын интервалда ШБ бірлік импульсі бөгеуіл етеді деп болжалды. Пайдалы сигнал екі полярлы гаусстық импульс түрінде ұсынылған. Сипатталған әзірленген алгоритмнің қасиеттерін ескере отырып, мұндай жорамалдар түсіндіріледі және нәтижелердің ортақтығына әсер етпейді.

Жоғарыда айтылғандай, бұл әдісті қолдану кезінде жүргізілген сынақтар саны өте маңызды. Эксперимент уақытын қысқарту үшін, моделдеу кезінде аппараттық платформа ретінде SPARC процессорлық архитектурасы бар UNIX жоғары өнімді жұмыс станциясы қолданылды. Екі буынды преселектеуші түрлендіруде алгоритмнің жалпы құрылымдық сұлбасы келтірілген. Оны іске асыру бағдарламада Solaris SPARC үшін Perl тілінде жүзеге асырылды. Бағдарлама денесінде келесі рәсімдер мен функциялар кезекпен шақырылады:

- бастапқы деректерді, k және a өңдеу параметрлерін, сызықты емес функцияның түрін, сигнал параметрлерін орнату;
- қарама-қарсы сигналдардың кездейсоқ реттілігін қалыптастыру.

Тікбұрышты импульстер нақты байланыс арналарында кездеспейді, шашыраудың нәтижесінде импульстердің пішіні әрқашан тегіс болады. Осыған байланысты, сигналдың түрі гаусстық болып таңдалынды. Импульстердің

ұзақтығы мен фазалары тұрақты, сигнал полярлығының ықтималдығы бірдей қабылданған; Гаусс формасының ШБ бірлік импульсін қалыптастырудың келесі ықтимал сипаттамалары бар: амплитуданың таралуы-Накагами заңы, ұзақтығы- белгіленген қалыпты.

Спектрлерді жабу коэффициенті 0% - дан 80% - ға дейінгі аралықта біркелкі бөлінген. Ол келесідей есептеледі:

$$\gamma = \frac{\Delta\omega}{\omega_{\Pi} + \omega_c} \cdot 100, \quad (3.1)$$

мұндағы $\Delta\omega$ -сигнал спектрлерін және бөгеуілдерін жабу аймағы, сигнал спектрінің ені;

ω_{Π} -бөгеуіл спектрінің ені; Фурье жылдам түрлендірудің (ФЖТ) тура және кері алгоритмдерін іске асыру.

Бағдарламаның қорытынды бөлімі қате ықтималдығын есептеу кіші бағдарламасын және нәтижелерді файлға жазуды қамтиды. Бағдарламаның демо нұсқасы нәтижелер ретінде қисық сигналдардың эволюциясының үш өлшемді диаграммаларын шығарады.

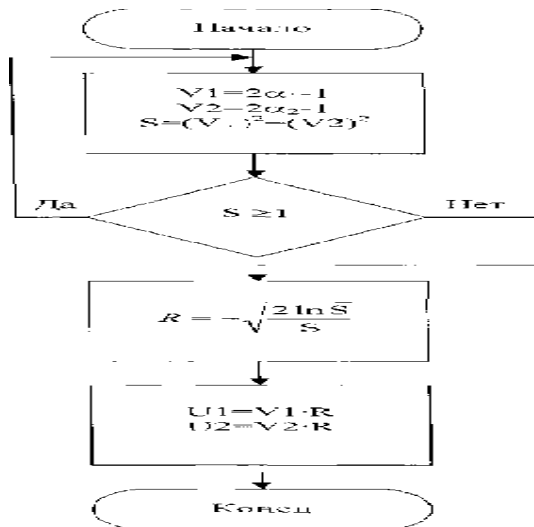
Жоғарыда келтірілген процедуралар циклді түрде қажет болған сайын бірнеше рет шақырылады, әр цикл аяқталғаннан кейін нәтижені журналдау жүргізіледі – файлда өңдеуге дейін және кейін ШБ спектрін және қоспа спектрін, сонымен қатар бастапқы және қалпына келтірілген сигналдардың полярлығы параметрлері жазылады. Берілген цикл саны орындалғаннан кейін дисплейде берілген параметрлер және қателіктің алынған ықтималдығы көрсетіледі. Алдыңғы тармақта келтірілген шолуды ескере отырып, қатенің орташа ықтималдығы деңгейінде энергетикалық ұтысты бағалау үшін 10-3 қателіктің орташа ықтималдығы деңгейінде циклдердің саны $N=104$ қабылданды.

Осы рәсімдерді іске асырудың кейбір мәселелерін егжей-тегжейлі қарастырайық. 1 және 2-тарауларда жүргізілген талдауды ескере отырып, бөгеуіл ұзақтығының орташа мәнінің сигналдың ұзақтығына қатынасы 1-ден 2-ге дейін.

Статистикалық моделдеу кезеңіндегі маңызды қадамдардың бірі-ықтималдылықтарды үлестірудің берілген заңдарымен кездейсоқ тізбектерді генерациялау болып табылады. Бағдарламалық және аппараттық қамтамасыз етудің стандартты құралдары көпшілігінде тек бірқалыпты бөлінген сандарды генерациялауға мүмкіндік береді. [10] белгілі болғандай ықтималдықтың біртегіздігінен басқасын сызықты емес түрлендіру жолымен алуға болады.

Қалыпты түрде бөлінген тізбек, дәлел ретінде кесу дәрежесімен бірлік функцияға көбейту арқылы қалыпты тізбектен алынды.

Кедергі импульстарын модельдеу кезінде ШБ компоненттерінің ықтималдық сипаттамаларының параметрлері өзгерді, флукуациялық шудың параметрлері өзгерген жоқ. НФФ іске асыру бойынша практикалық ұсыныстар үшін оның сызықтық және сызықты емес буыны өзгерді.

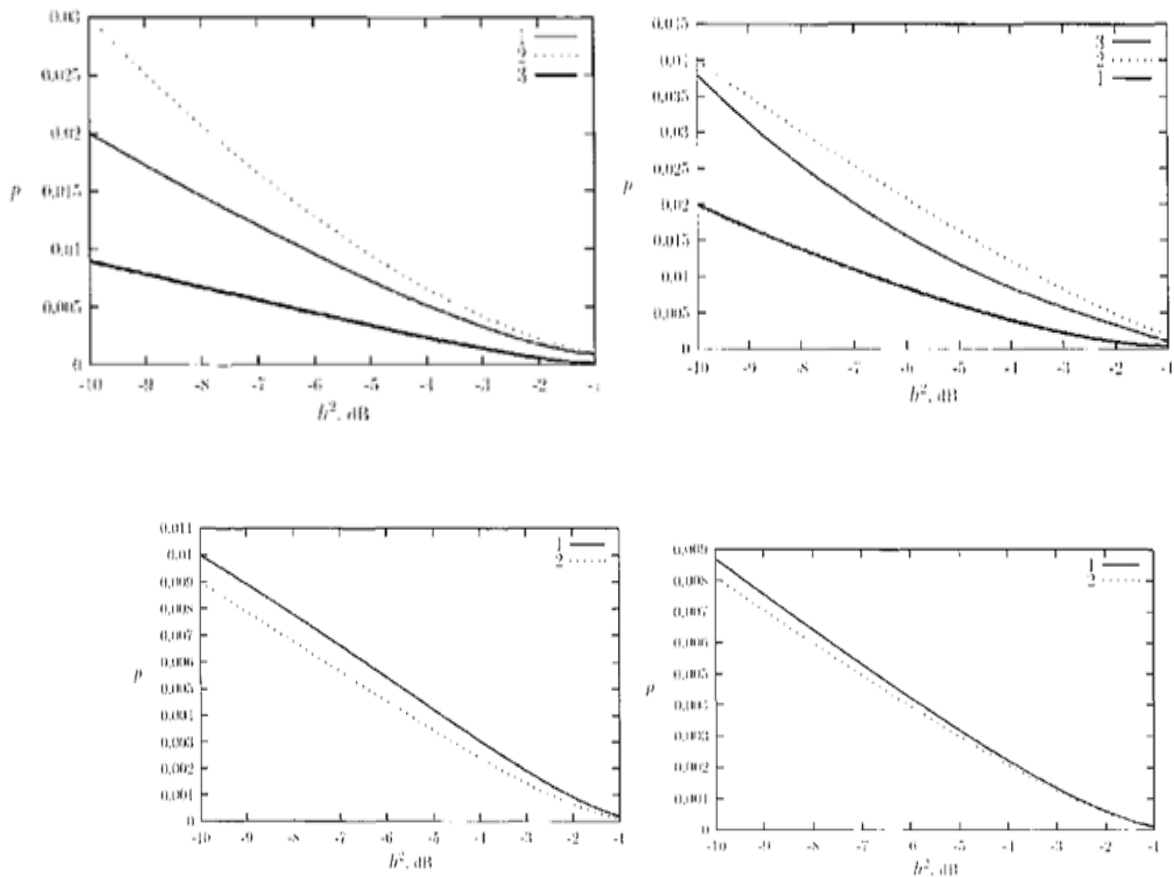


Сурет 3.1 - Қалыпты үлестірілген кездейсоқ тізбек

р қателік ықтималдылығының сигнал шуылға қатынасына $h^2 = u_c^2(t)/u_n^2(t)$ тәуелділіктерінің графигі мен $\gamma = 40\%$ кезінде қолданылатын сүзу алгоритмдерінің графигі көрсетілген. НФФ үшін қисық қалың тұтас сызықпен (қисық 3), РФ үшін - нүктелі (қисық 2), ФКВ үшін - күрделі жарыс (қисық Г) бейнеленген. Ол үшін бір сызықты және бір сызықты емес буыны бар әзірленген сызықты емес қайта құрылымдарды қолдану режекция алдында бөгеуіл айтарлықтай энергетикалық ұтыстар береді —ФКВ салыстырғанда шамамен 7 дБ және РФ мен салыстырғанда шамамен 8,5 дБ. Ұтыстың жабу коэффициентінің үлкен мәндерінде аз болады. Мысалы, суретте көрсетілгендей $\gamma = 60\%$ болғанда ФКВ және РФ салыстырғанда 3,1 дБ және 4 дБ құрайды, сәйкесінше (НФФ үшін қисық 1, РФ үшін қисық 2, ФКВ үшін қисық 3).

Спектральды аймақта ШБ басу кезінде, ИБ қарағанда, амплитуданың шектелуі тиімсіз және режекторлы сүзу (спектрдің зақымданған бөлігін кесу) қолданылады.

3.2 в суреттегі тәуелділіктер 3-тарауда жүргізілген зерттеудің нәтижелерін іс жүзінде растайды және амплитудалық шектеулер (қисық 1) бөгеуіл режекциясы (2 қисық) режекциямен салыстырғанда біршама тиімдірек. Кедергі импульс спектрінің қалдық бөлігі қалпына келтіруге теріс әсер етеді.



Сурет 3.2 – Тәуелділіктер

3.2- суретте көрсетілгендей (1 қисық-2 жұп түрлендірулер үшін, 2 қисық 3 жұп түрлендірулер үшін)Сызықсыз және сызықтық түрлендірулер жұптарының санының артуы суреттегі сияқты қателіктердің ықтималдығын азғана азайтады, алайда бұл нақты уақыт алгоритм жұмысына теріс әсер ететін көп есептеу көлемін талап етеді.

Жалпы алынған тәуелділіктер қоспаның спектралды облыстарында сызықтық емес преселекторлы түрленуін қолдану гаусстық емес ШБ арналарда қабылдаудың бөгеуілге төзімділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетеді. Эксперименталды зерттеу нәтижелері 2-тарауда алынған теориялық нәтижелермен 6% - ға алшақтықты көрсетеді, бұл есептеулердің дұрыстығын растайды.

Импульстік бөгеуілдер мен өшудің сигналдарды өңдеудің сызықты емес алгоритмдерінің тиімділігіне әсері.

Алдыңғы тармақта жүргізілген зерттеуде кейбір жорамалдар қабылданды. Атап айтқанда, тек ШБ әрекет етеді, ИБ әсері ескерілмеген. Қарастырылып отырған өңдеу әдісін кең бөгеуілдерге қорытындылау мәселесін қарастыру кезінде ИГ1 есебі қажет болады.

Сонымен қатар, нақты байланыс арналарында мұндай жағдайлар жиі кездеседі. ИБ есебімен алынған қателердің ықтималдығы ИБ аясында ШБ әрекет ету жағдайында әзірленген НФФ түрлендіру және қолдану бойынша практикалық қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Кең спектрлі бөгеуіл импульстарының қарастырған преселектеуші түрлендіруге әсерін толықтай қарастырып көрейік. (2-қосымша) бағдарламаға статистикалық модельдеуді жүргізу үшін бірлік гаусстық емес ИБ кіші бағдарламасы қосылды және қоспаны қалыптастыру кіші бағдарламасы жаңғыртылды. Бірлік ИБ (1.3) түрінің квазидетерминирленген моделімен ұсынылған. Импульстің формасын сипаттайтын q функциясы:

$$q = \exp\left(\frac{-t^2}{2\tau^2}\right), \quad (3.2)$$

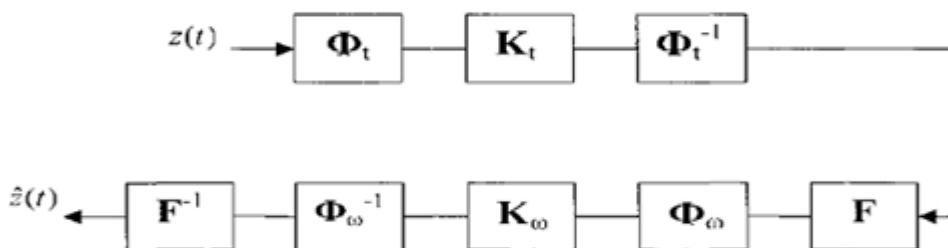
мұндағы t ұзақтығы қалыпты заң бойынша бөлінген, A амплитудасының логикалық бөлінуі бар. Есептеуді жеңілдету үшін фазаны және импульстің пайда болу сәті детерминирленген болып қабылданды. Логикалық кездейсоқ бірізділікті жаңғыртқан кезде келесі арақатынас қолданылды [10]:

$$V = m \exp(\sigma x), \quad (3.3)$$

мұндағы x -кездейсоқ қалыпты сан, t математикалық күтудің мәніне ие.

Бірлік ИБ (тұтас сызық) әрекет еткенде және ол болмаған кезде (пунктирлік сызық) қателік ықтималдығының сигнал-шу қатынасына тәуелділігі ұсынылған. Бұл кезде жалғыз ИБ орташа қате $p=10^{-3}$ юолған кезде энергетикалық жеңіліс 1,5 дБ құрайтыны көрініп тұр. Бұл НФФ кең спектрмен бөгеуілінің өңделмеуімен түсіндіріледі, режектрленбей және шешуші сұлбаға келіп түсетін қоспада қалады.

Егер уақыттық және жиілік аймағында бөгеуілдерді жеке басуды жүзеге асырса, мұндай бөгеуілдік жағдай кезінде қателік ықтималдығын барынша төмендетуге болады. Бұл ретте ИБ басуды уақытша облыста жүзеге асыру қажет. Басу процесі одан әрі өңдеуге кедергі келтірмеу үшін қалдық қоспаны қозғамауы тиіс. Осылайша, сызықтық әдістер қолданылмайды. Аз ұзақтықты иеленетін кедергі келтіретін импульсты басу сипатталғандай НФФ көмегімен іске асырылады. Суретте бөгеуілдерді бөлек басудың осындай тәсілін қамтамасыз ететін сүзгінің құрылымдық сұлбасы бейнеленген. Осылайша, бұл күрделі сүзгі уақыттық облыста жұмыс жасайтын НФФ пен жиіліктік облыста жұмыс жасайтын НФФ тұрады.



Сурет 3.3 - Сүзгінің құрылымдық сұлбасы

Радиоарналардың көпшілігінде, әсіресе көп сәулелі, келетін қоспаның деңгейі флукуацияланады, яғни қату орын алады. Қатумен арна моделі ҚТ, УЖТ және аса жоғары толқынды радио арналарында беру мәселелерін қарастырғанда қолданылады. [3] көрсеткендей мұндай арналарда қату әрекетін елемеу сигнал шуыл қатынсында үлкен жоғалтуға әкеп соғады. Сондықтан өңделген өңдеу алгоритмін практикалық қолдану кезінде өлшеудің қабылданатын қоспаны өңдеу сапасының көрсеткіштеріне қату әсерін зерттеу қажет.

Сонымен қатар, радиоарналарда қатудың негізгі зерттеулері және олардың дискретті хабарламаларды таратуға әсері Д. Д. Кловскиймен жүргізілді [25].

Көптеген жағдайларда [3] қатулар релеев заңымен аппроксималданады. Бұл бір сәулелі арнада дискретті хабарламаларды қабылдауды тікелей статистикалық моделдеуде ескерілді. Бұл мәселені егжей-тегжейлі қарау үшін 3-қосымшада келтірілген сигналды қалыптастырудың кіші бағдарламасы модификацияланды. Әрбір сынақ кезінде сигнал массивінің мәндері берілген математикалық күтумен және дисперсиямен Рэлей Заңы бойынша бөлінген кездейсоқ санға көбейтілді. Релеевтік кездейсоқ тізбекті генерациялау алгоритмінің блок-схемасы келтірілген. Сынау жүргізілген параметрлер алдыңғы $\bar{\tau}_n / \tau_c = 2$. моделдеу кезіндегі ұзақтықтың қатынасы сияқты болады. Флукуация шамасын модельдеу үшін рэлеев кездейсоқ шама дисперсиясы түрленді. Бұл шаманы математикалық күту сигналдың тұрақты және бірлік амплитудасына тең болды. Модельдеу нәтижелері сигналды қатудың әр түрлі параметрлерінде сигнал-шу қатынасынан қате ықтималдығының тәуелділігі түрінде суретте көрсетілген. 3 қисығы қатпарларсыз арна моделін пайдалану кезінде ұқсас тәуелділікті көрсетеді.

Салыстырмалы түрде шағын қату кезінде $p = 6 \cdot 10^2$ болғанда энергетикалық жеңіліс 0,4 дБ көрініп тұр. $\sigma^2 = 0,4$ (қисық 2) ұлғайта отырып қате ықтималдығы артады, бірақ энергетикалық жеңіліс $p = 6 \cdot 10^{-2}$ болғанда, 1 дБ құрайды. Қате ықтималдығының шамалы артуы, егер ол шекті деңгейден төмен болса, қоспа амплитудасы қарастырылған түрлендіру үшін анықтаушы болып табылмайтындығымен түсіндіріледі.

Сигналдарды өңдеудің сызықты емес алгоритмдерінің тиімділігіне арна жадының әсері.

Бұрын айтылғандай, барлық нақты арналар жадқа ие. Сонымен қатар, мұндай арналарда дискретті хабарламаларды беру кезінде символдардың өзара байланысы байқалады - символаралық интерференция (САИ). Жалпы арнаның жадының белгілі қабылдау алгоритмдерінің кедергіге төзімділігіне әсері осы жұмыстың 1-тарауында қарастырылған. Ол жерде бөгеуіл туралы аз априорлық ақпарат кезінде стандартты әдістерді қолдану ақпарат бөлігінің бұзылуына әкеп соқтыратыны атап өтілді. Бұл әдістің ерекшеліктерінің бірі ол бөгеуіл туралы априорлық ақпаратты көп мөлшерде пайдаланбауы болып табылады.

Осыған байланысты, бұл әдісті практикалық іске асыру мәселесін қарастыру кезінде арнаның жадының күрделі бөгеуілдерді басудың шашыраңқы әдісіне әсерін зерттеу аса маңызды. Алдыңғы және осы зерттеулердің нәтижелері барынша толық көрініс береді және нақты байланыс арналарында әзірленген әдісті қолданудың тиімділігі туралы барынша толық қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Мұндай міндетті теориялық зерттеу өте қиын, және бұл маңызды, жорамалдар санының көп болуына байланысты объективті нәтижелер бермейді.

Сондықтан бұл жағдайда зерттеудің ең тиімді әдісі статистикалық модельдеу болып табылады.

Жады бар арнада басу алгоритмін тікелей статистикалық үлгілеуді жүргізу үшін символаралық интерференцияны (САИ) модельдеуді жеңілдету үшін, сондай-ақ жалпы қабылдауды моделдеу үшін талдамалы интервал ұлғайтылды. Ол сигналдың бір импульсі және оған екі көрші импульстің құрамдас бөліктері қойылады, бір ШБ импульс және флуктуациялық шу толық болып табылады. ШБ және шуыл ықтималдық сипаттамалары сияқты қабылданды, импульстар ұзақтығы қатынасы $t_p / t_c = 2$. Барлық сигналдардың полярлығы тепе-тең қабылданды.

Импульстерді салу кезінде кейіннен шешуші схемаға кіретін өзара бөгеуілдер байқалады. Пайдалы сигналдың алдыңғы импульсінің құрамдас бөлігі талданатын импульс үшін бөгеуіл болып табылады. Бұл жағдайда Котельниковтың корреляциялық қабылдағышынсыз арналарда оңтайлы қолдану орынсыз. Сондықтан моделдеуде шешуші алгоритм ретінде жалпы элементтік шешіммен (Кловский - Николаев алгоритмі) қабылдау қолданылды.

Бағдарламаны орындау нәтижелері $p(h^2)$ тәуелділік түрінде көрсетілген, мұнда 1 қисығы САИ болған кезде алынған, 2 қисығы - ол болмаған кезде алынған. Моделдеу кезінде САИ түрлендірілген ұзақтықтың сигналға қатынасы $t_{МСИ} / \tau = 1,2$ қабылданған.

Статистикалық моделдеу бағдарламасын орындау нәтижелері бойынша арнада САИ-нің болуы НФФ жұмысын біршама нашарлататынын көру оңай. Бұл арнада қолданылған әдіс $p = 6 \cdot 10^{-2}$ кезінде 2,7 дБ ойнатылады. Қате ықтималдылығының көптігінен басқа САИ жоқ болғанда алынған 1 қисық 2 қисықтан қарағанда сигнал шум қатынасына қатты тәуелді екені көрініп тұр. Қарастырылған түрленудің қасиеттері зерттелетін 2.2-тармағына жүгінсе, мұндай нәтижелердің түсініктемесін табу оңай. Паразиттік гармониканың рөлі мұнда талдау интервалына түсетін алдыңғы және кейінгі импульстердің

спектралды құрамдастары түрінде болады. Олардың амплитудасын қысу режимінде де U_n шекті деңгейінен кем емес, сонымен қатар сигнал спектрінің амплитудасынан да аз. Сондықтан олар режекцияға ұшырамайды және сигналмен бірге қалпына келтіріледі. Бұдан басқа, ШБ импульстің жекелеген реализация спектрінің енінің флукуациясы САИ салдарынан кеңейтіледі. Жоғарыда аталған тармақта көрсетілгендей, бұл импульсті қысу паразиттік гармониканың пайда болуының себебі болып табылады.

Бұл жағдайда қарастырылып отырған сызықты емес сүзу механизмі априорлық ақпараттың көп мөлшерін пайдалану мақсатында модификациялауды қажет етеді. Сондай-ақ САИ компенсациясы үшін сызықтық тегістегіштерді қолдануды қарастыруға болады.

Бұл бөлім арнаның жадының НФФ жұмыс сапасына әсерін ғана қарастырады. Қаралып отырған арналарда жұмыс тиімділігін арттыру үшін фильтрды одан әрі зерттеу және бейімдеу кең тақырып болып табылады, оны жеке жұмыс түрінде қарастырған жөн.

3.1 Күрделі бөгеуілдерді басудың әзірленген әдістерінің тиімділігін жалпы бағалау

Қарастырылған теориялық және практикалық бағалар нақты байланыс арналарында жұмыс істейтін бөгеуіл факторларының кең таралған түрлері үшін алынды.

Бағалау көрсеткендей, әзірленген әдіс осы тарауда қарастырылған әр түрлі әдістермен салыстырғанда, гаусстық емес статистикамен ШБ басуда айтарлықтай энергетикалық ұтыстар береді.

Бұдан басқа, әдісте пайдаланылатын және сигналдар мен бөгеуілдердің селекциясын қамтамасыз ететін сызықсыз түрлендірулер априорлық ақпараттың үлкен санын талап етпейді. Бұл әдісті қазіргі заманғы тарату жүйелері мен байланыс арналарында кеңінен таралған аралық типтегі бөгеуіл класына жалпылауға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, түрлендіру бөгеуілдерді бөлек басу технологиясын қолдануға мүмкіндік береді. Осының салдарынан ол ШБ, сондай-ақ гаусстық емес статистикамен ИК де басу үшін тиімді қолданылуы мүмкін.

Бұл әдіс үшін бастапқы ақпарат ретінде негізінен импульс спектрінің ені (ұзақтығы) болады. Сондықтан ол оның басқа параметрлерінің флукуациясына, мысалы, амплитудаға байланысты. Бұл оны қатпарланған арнада табысты қолдануға мүмкіндік береді.

Алайда, априорлық ақпараттың аз санына байланысты жады бар арналарда тарату әдісі тиімді емес. Сонымен қатар, оны сигнал-шу қатынасы $h_2 = -5 \dots -1$ дБ. бар осындай арналарда қолдануға болады. САИ жағдайында жұмыс істеу үшін модификациялау - бұл жерде қарастырылмайтын одан арғы іс-әрекеттердің мақсаты болып табылады.

Жалпы, жүргізілген зерттеулердің нәтижелері көрсеткендей, гаусстық емес ШБ-ді басу үшін әзірленген әдіс көптеген нақты байланыс арналарында тиімді қолданылуы мүмкін. Әзірленген әдісті практикалық пайдалану туралы мәселе келесі бөлімде толық қаралады.

3.2 Әзірленген әдістерді іс жүзінде пайдалану нәтижелері және оларды одан әрі дамыту жөніндегі ұсыныстар

2 және 3 бөлімдерде ұсынылған нәтижелер, келесі бағыттарда практикалық пайдалану үшін қабылданды:

- сигнал-бөгеуілдің аз қатынасында 2 Мбит/с өткізу қабілеті бар радиорелелік байланыс желілерін жобалау;

- қызмет көрсетудің кепілді сапа қызметтерімен 11 Мбит/с өткізу қабілеті бар көп нүктелі радиоқатынау желісін модельдеу;

- пайдалану параметрлері төмен кабельдерде жеке желілер бойынша құрылған байланыс арналарын тестілеу.

Жобалау жұмыстарының және үлгілеу нәтижелерінің қорытындысы бойынша келесі шешімдер қабылданады:

- зерттелетін тарату ортасын пайдаланудың орындылығы туралы,

- тарату жүйесінің технологиялық резерві туралы,

Осы зерттеулердің нәтижелері негізінде зерттелетін арналар сипаттамаларының күтілетін өзгеруі болжанып, оңтайлы аппараттық шешім таңдалады.

Бағдарламалық кешенді компания келесі бағыттарда жұмыс істеу үшін пайдаланады:

- Micronel RadioLink жабдықтарында іске асырылған өткізу қабілеті 11 Мбит/с радиоқатынау желілерін жобалау;

- күрделі бөгеуіл жағдайында сымды және радиоарналар бойынша ұйымдастырылған өткізу қабілеті 2-ден 8 Мбит / с дейін абоненттік цифрлық байланыс желілері бойынша таратуды моделдеу.

Жұмыс нәтижелерін практикалық пайдалану және енгізу 5-қосымшада келтірілген тиісті актілермен расталған.

Texas Instruments компаниясының TMS320C6700 сияқты цифрлы сигналдық процессорлардың пайда болуы нақты уақытта сигналдарды өңдеу үшін 11ФФ практикалық іске асыру және оны детекторлық өңдеу блогы ретінде төмен жылдамдықты (2 Мбит/с) радиорелелік станцияларға, сондай-ақ IEEE 802.11 b стандарты бойынша 11 Мбит/с жылдамдықта жұмыс істейтін қазіргі заманғы радио қол жеткізу нүктелеріне де мүмкіндік береді.

Әзірленген әдіс сигналдарды өңдеу техникасында жаңа мүмкіндіктерді ашады. Одан әрі даму кезінде оны түрленулердің кең тобына және талдау саласына, тек уақытша немесе жиіліктік ғана емес, жинақтау аса өзекті болып табылады. Бұл сигналды жалпыланған спектрлік базиске ұсыну арқылы қол

жеткізуге болады. Бұл базис элементтері түрлендіруді сипаттайтын сызықты емес оператордың жалпыланған спектрінің элементтері болып табылады.

Шеннон-Фаноның әдісімен бөгеуіл тұрақтылыққа екілік кодтаудың принципін қарастырайық. Екілік символ элементтері $\{a^i \rightarrow p_i\}, i = 0, m_a - 1$ ықтималдығының азаю ретімен бағанға (топ) ретінде орналасады. Кодтаудың бірінші бөлімінде бұл топ мүмкіндігінше ықтималдықтарының қосындысы бірдей болатын екі топқа бөлінеді. Бірінші топтың барлық элементтерін 0 символымен, ал екінші топтың I символымен белгілейді. Кодтаудың екінші бөлімінде ықтималдықтары бірдей әр топты тағыда екі топқа жіктейді. Бұл процесс бір элементтен тұратын топтар шыққанша жалғасады.

Шеннон-Фаноның тармақталған ықтималдықпен таратушыға тиімді кодты құрудың мысалы келтірілген:

$$p_0 = 0.125, p_1 = 0.25, p_2 = 0.125, p_3 = 0.5$$

Берілгені: $H(A) = 1,75$ бит, $H_{\max} = 2$ бит, $r(A) = 0.125$.

Құрылған код үшін: $\overline{n_{\rightarrow\phi}} = 1,75$ бит, $n_{\min} = 1,75$ бит, $r_{\rightarrow\phi} = 0$ Сәйкесінше, берілген код оптималды. 10.1 Кестеде берілген алғашқы код салыстыру үшін келтірілген: $\overline{n_{\rightarrow\phi}} = 2$ бит. $\overline{n_{\rightarrow\phi}} / \overline{n_{\rightarrow\phi}} = K_{\text{сж}}$ қатынасы өрнегін қысу коэффициенті деп атайды. Мұндағы $K_{\text{сж}} = 1,15$.

3.1 кесте - Шеннон-Фано тиімді кодын құрудың мысалы

A {a _i }	{p _i }	Кодтау жолдары			Тиімді код		Алғашқы код	
		I	II	III	Код комб.	n _i таңба	Код комб.	n _{imp} таңба
a ³	0,5	0	-	-	0	1	11	2
a ¹	0,25	1	0	-	10	2	01	2
a ⁰	0,125	1	1	0	110	3	00	2
a ²	0,125	1	1	1	111	3	10	2

Рид-Соломон кодтары (Reed-Solomon code, R-S code) - бұл екілік емес циклдік кодтар, олардың таңбалары m-биттік реттілік болып табылады, мұндағы m — 2-ден үлкен оң толық сан. (n,k) коды барлық n және k кодтарындағы m биттік таңбаларда анықталған, мыналар үшін:

$$0 < k < n < 2^m + 2, \tag{3.1}$$

мұндағы k – кодталатын ақпараттық биттердің саны, ал n – кодталатын блоктағы кодтық таңбалардың саны. Рид-Соломон (n, k) жиналмалы кодтарының көпшілігі үшін:

$$(n, k) = (2^m - 1, 2^m - 1 - 2t), \quad (3.2)$$

мұндағы t – таңбадағы қате биттердің саны, олар кодты түзулей алады;
 $n-k = 2t$ - бақылау таңбаларының саны. Рид-Соломонның кеңейтілген кодын $n = 2^m$ кезінде немесе $n = 2^m + 1$ кезінде алуға болады.

Рид-Соломон коды кодердің кіріс және шығыс блоктарының бірдей ұзындығына ие желілік код үшін ықтимал болып табылатын едәуір кіші қашықтыққа ие. Екілік емес кодтар үшін екі кодтық сөздардың арасындағы қашықтық реттілік ерекшеленетін таңба саны ретінде анықталады (Хэммингтің қашықтығына ұқсас). Рид-Соломон коды үшін ең аз қашықтық былайша анықталады:

$$d_{\min} = n - k + 1. \quad (3.3)$$

001011- екілік КК

$$G(x) = 0 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 0 \cdot x^2 + 1 \cdot x + 1 \quad \text{Немесе} \quad G(x) = x^3 + x + 1.$$

x -тің ең үлкен дәрежесі нөлдік емес коэффициентпен көпмүшелік дәрежесі деп аталады.

Келесі циклдік көпмүшені “1” жылжытпай алуға болады, x пен бастапқы КК көбейту арқылы алуға болады: $g(x) = x^3 + x + 1$

$$\begin{array}{r} x^3 + x + 1 \\ * \quad x \\ \hline x^4 + x^2 + x \end{array}$$

Егер осы КК-ні (001011 және 010110) $m=2$ бойынша жіктесек, онда нәтиже $g(x) \cdot (x+1)$ көбейткенге тең болады:

$$\begin{array}{r} x^3 + 0 \cdot x^2 + x + 1 \\ x^4 + 0 \cdot x^3 + x^2 + x + 1 \\ \hline x^4 + x^3 + x^2 + 0 \cdot x + 1 \end{array}$$

Матрицаны қатарын циклдік жылжыту үлкен разрядта сәйкес көпмүшені x -ке көбейтіп, бір мезгілде $x^m + 1$ көпмүшесінің нәтижесін есептегенге тең болады, яғни $(x^m + 1)$ келтіруімен болады.

Бұл жағдайда кез-келген дұрыс КК, ЦК $g(x)$ -ті басқа көпмүшеге көбейтудің нәтижесінде алуға $m(x^m + 1)$ болады, егер $g(x)$ таңдаулы болады:

1) ЦК кез-келген дұрыс көпмүшесі (рұқсат етілген КК) $g(x)$ көпмүшесіне қалдықсыз бөлінеді;

2) бұрыс КК $g(x)$ көпмүшесіне қалдықсыз бөлінбейді, яғни кателік векторын анықтауға болады.

Тығыздығы 35% үлкен қалада сигналдың тиісті сапасының қамтамасыз етуінің талабына сүйене базалық станциясының жамылғы аймағының өшулігін есептеу керек.

$$f = 900 \text{ МГц};$$

$$H_{bs} = 32 \text{ м};$$

$$h_{as} = 1.7 \text{ м}.$$

Шешімі

$$\beta_1 = (0.7 - 1.1 \lg 900) \cdot 1.7 + 1.56 \lg 900 - 0.8 = -0.526 \text{ дБ/км}$$

$$\beta_2 = 1.1 - 8.29 \lg^2(1.54 \cdot 1.7) = -0.348 \text{ дБ/км}$$

$$a(h_{as}) = (1 - 1) b_1 + 1 \cdot (b_2 F_1 + b_3 F_2) = -0.348 \cdot 0.012 - 0.442 \cdot 0.988 = -0.441.$$

$$a(U_r) = 0$$

$$\alpha(b) = 25 \lg(35) - 30 = 8.6 \text{ дБ/км}$$

$$a(H_{bs}, f) = 27 + \frac{900}{230} \lg \frac{17(32+20)}{17(32+20) + r^2} + 1.3 - \frac{900 - 55}{750} = 30.9 \lg \left(1 + \frac{r^2}{884} \right) + 0.17.$$

Радиотрассада жоғалтулардың орташа деңгейі:

$$L = 69.55 + 26.16 \lg 900 - 13.82 \lg 32 + [44.9 - 6.55 \lg 32] \lg r - 0.441 + 8.6 +$$

$$30.9 \lg \left(1 + \frac{r^2}{884} \right) + 0.17 \text{ дБ/км}$$

$$L = 134.65 + 35 \lg r + 30.9 \lg \left(1 + \frac{r^2}{884} \right) \text{ дБ/км}$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты күрделі бөгеуілі бар байланыс арнасында спектралды аймақта сигналдарды сызықты емес өңдеу тиімді әдістерін жасау және зерттеу болып табылады.

Байланыс арналарында гаусстық емес бөгеуілдердің сипаттамасы мен моделі талданған; заманауи байланыс жүйелерінде гаусстық емес бөгеуілдермен күрес құрал жабдықтарын салыстырмалы түрде талдау; олардың қорытындысының дискреттік сигналға әсері қарау, спектралды аймақта сызықты емес өңдеу негізінде жиіліктік аймақ гаусстық емес бөгеуілдерін селективті өшіру теориялық негіздері жасалды.

Нақты байланыс арналарында гаусстық емес бөгеуілдердің модельдері мен сипаттамаларын талданды. Қазіргі заманғы байланыс жүйелерінде гаусстық емес бөгеуілдермен күрес құралдарының салыстырмалы талдауы және олардың дискретті хабарламалар сапасының көрсеткіштеріне әсері, оның нәтижелері негізінде олардың тиімділігін арттырудың неғұрлым перспективті жолдары анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов. - М.: Радио и связь, 1973. -376.
- 2 Певницкий В.П., Полозок Ю.П. Статистические характеристики промышленных радиопомех. Прокис Дж. Цифровая связь // Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 2000 - 800 с.
- 3 Сосулин Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. - М.: Сов. радио, 1978. - 320 с.
- 4 Андронов И.С., Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. М.: Сов. Радио, 1971
- 5 Сикарев А.А., Фалько А.И. Оптимальный прием дискретных сообщений. М.: Связь, 1978. - 328 с.
- 6 Кловский Д.Д., Конторович В.Я., Широков С.М. Модели непрерывных каналов связи на основе СДУ. - М.: Радио и связь, 1984. - 248 с.
- 7 Николаев Б.И. Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью. М.: Радио и связь, 1988. - 264 с.
- 8 Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи И Пер. с англ. Под ред. Б.Р. Левина. М.: Сов. Ра/що, 1962.С
- 9 Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. — М.: Радио и связь, 1991. - 608 с.
- 10 Математические основы современной радиоэлектроники И Под ред. Л.С. Гуткина. М.: Сов. радио, 1968 - 206 с.
- 11 Кайлатц Т. Метод порождающего процесса в применении к теории обнаружения и оценки. - // ТИИЭР, 1970, т.58, № 5. с. 82-99.
- 12 Антонов О.Е. Оптимальное обнаружение сигналов в негауссовых помехах. Обнаружение полностью известного сигнала. // Радиотехника и электроника, 1967. т.ХП. вып. 5. с. 579-586.
- 13 Антонов О.Е. Оптимальное обнаружение сигналов в негауссовых помехах. Обнаружение сигналов с неизвестной амплитудой и фазой. / Радиотехника и электроника, 1967. т.ХП, вып. 5. с 779-787.
- 14 Антонов О.Е., Панкратов В.С. Об оптимальном приеме бинарных сигналов на фоне негауссовых помех. // Электросвязь, 1967. - № 9. с. 25-33.
- 15 Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. - М.: Радио и связь, 1989. - 656 с.
- 16 Стратонович Р.Л. Принципы адаптивного приема. М.: Сов. радио, 1973,- 140 с.
- 17 Ключев В.И. Частотно-временные преобразования и прием дискретных сигналов в системах связи,—М. Радио и связь, 1990. - 208 с.
- 18 Харкевич А.А. Спектры и анализ. - М. Физматгиз, 1962. - 234 с.
- 19 Макс. Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Пер. с франц. — М.: Мир, 1983. - Т. 1. 312 с.

- 20 Макс. Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Пер. с франц. - М.: Мир, 1983. - Т.2. 256 с.
- 21 Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. Пер. с англ. - М.: Мир, 1974. - 463 с.
- 22 Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М.: Связь, 1980. - 248 с.
- 23 Новиков И.Я., Стечкин С.Б. Основы теории всплесков. // Успехи математических наук, 1998. V.53. N6. с.9-13.
- 24 Coifman R.R., Wickerhauser V. M., Wavelets and Adapted Waveform Analysis. A Toolkit for Signal Processing and Numerical Analysis, Proceedings of Symposia in Applied Mathematics, Vol. 47, 1993, pp. 119-153
- 25 Широков С.М., Григоров И.В. Фильтрация сигналов на фоне импульсных помех с применением нелинейных ортогональных преобразований. // Международная конференция и 50-я научная сессия РНТОРЭС им. А.С.Попова. Тезисы докладов, ч.2. - М.: 1995г.

Дипломдық жұмысқа

РЕЦЕНЗИЯ

Сейітқазина Асель

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: «Күрделі бөгеуілдерді төмендету тәсілдерін зерттеу»

Орындалды:

а) графикалық бөлім 12 парақ;
б) түсініктеме 52 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Дипломдық жұмыстың негізгі міндеттері күрделі бөгеуілдері бар байланыс арналарында сигналдарды сызықтық емес өңдеу тиімді тәсілдерін зерттеу болып табылады. Байланыс арналарында гаусстық емес бөгеуілдердің сипаттамасын және үлгісін талданды. Заманауи байланыс жүйелерінде гаусстық емес бөгеуілдермен күресу жабдықтары таңдалды.

Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

Бұл дипломдық жоба жоғарға оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – желілерді құруды талдау және салыстыру технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Сейітқазина Асель 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Сын - пікір беруші



Б.С.Байкенов

техн. ғыл. канд.,

АУӘСТКС каф. меңгерушісі

2019 ж.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ШІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Сейітқазина Әсел

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: «Күрделі бөгеуілдерді төмендету тәсілдерін зерттеу».

Берілген бітіру жұмысында күрделі бөгеуілдерді төмендету мәселелері қарастырылады. Қолданылатын технология үшін тарату жүйелерінің жабдықтары таңдалды және талдау жасалады.

Байланыс арналарында гаусстық емес бөгеуілдердің сипаттамасын және үлгісін талданды. Тікбұрышты импульс спектрін қысу, Гаусстық импульс спектрін қысу (сжатие) нәтижелері көрсетілген. Дискреттік түрлендіруді пайдаланып, Фурье базисінде дискреттік тізбекті ұсынатын блок ұсынылды.

Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Сейітқазина Әсел 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Ғылыми жетекші

ЭТЖКТ каф.лекторы

М.Б. Тирижанова Тирижанова М.Б.
(қолы)

«14» 04 2019 ж.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ШІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Сейітқазина Әсел

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: «Күрделі бөгеуілдерді төмендету тәсілдерін зерттеу».

Берілген бітіру жұмысында күрделі бөгеуілдерді төмендету мәселелері қарастырылады. Қолданылатын технология үшін тарату жүйелерінің жабдықтары таңдалды және талдау жасалады.

Байланыс арналарында гаусстық емес бөгеуілдердің сипаттамасын және үлгісін талданды. Тікбұрышты импульс спектрін қысу, Гаусстық импульс спектрін қысу (сжатие) нәтижелері көрсетілген. Дискреттік түрлендіруді пайдаланып, Фурье базисінде дискреттік тізбекті ұсынатын блок ұсынылды.


Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Жалпы, студент Сейітқазина Әсел 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне алдын-ала қорғауға ұсынылады.

Ғылыми жетекші

ЭТЖКТ каф.лекторы

 Тирижанова М.Б.

(қолы)

«21» 04 2019 ж.