

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

“Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті” коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Көпболсын Маржан Маратқызы

Жерсеріктік навигациялық жүйелердің орнықтылығын зерттеу

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7М06201 – «Телекоммуникация»

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

“Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті”
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 621.396.946 (043)

Қолжазба құқығында

Көпболсын Маржан Маратқызы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

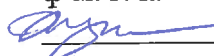
Диссертация тақырыбы

Жерсеріктік навигациялық жүйелердің бөгеуілдерге
орнықтылығын зерттеу.

Мамандық бағыты

7М06201 – «Телекоммуникация»

Ғылыми жетекшісі,
ЭТЖҒТ каф.қауымд.профессор,
ф-м. ғ. к.

 Жунусов К.Х.
«10» қаңтар 2025 ж.

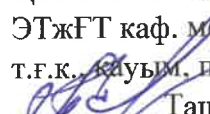
Рецензент,
Г.Дәукеев атындағы Алматы энергетика
және байланыс университетінің доценті,
PhD, т.ғ.к.

 Ермекбаев М.М.
«14» қаңтар 2025 ж.

Норма бақылаушы,
ЭТЖҒТ каф.оқытушысы, т.ғ.м.
 Кенгесбаева С.С.

«15» 01 2025 ж

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

ЭТЖҒТ каф. меңгерушісі
т.ғ.к., қауым. профессор
 Гаштай Е.

«20» қаңтар 2025 ж

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Киберқауіпсіздік, ақпаратты өңдеу және сақтау кафедрасы

7M06201 – «Телекоммуникация»



**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант Көпболсын Маржан Маратқызы

Диссертация тақырыбы: «Жерсеріктік навигациялық жүйелердің бөгеуілдерге орнықтылығын зерттеу»

Университет Ректорының 2023 жылғы «04» сәуір №145 П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған диссертация тапсыру уақыты «30» желтоқсан 2024 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: *Жерсеріктік навигациялық жүйелер, сигналдардың шуга төзімділігі, жүйелердің бөгеуілдерге орнықтылығы.*

Магистрлік диссертацияда әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

- а) *Жерсеріктік навигациялық жүйелерге байланысты әдебиеттік шолу;*
- б) *Сигналдың шуга төзімділігінің қолданыстағы әдістерін зерттеу;*
- в) *Спутниктік байланыс жүйелеріндегі сигналдардың шуга төзімділігін арттыру әдістеріне шолу;*
- г) *Шуга төзімді LDPC және турбо кодтарына салыстырмалы талдау мен модельдеу.*

Ұсынылған негізгі әдебиеттер:

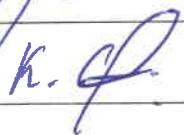
1. 1.Бурлаков С. О. идр. Анализ методов помехоустойчивого кодирования в радиопереносах спутниковой связи //Инновации. Наука. Образование. – 2020. – №. 19. – С. 531-537

2. Башкиров А.В., Остроумов И.В., Свиридова И. В. Основы помехоустойчивого кодирования, основные преимущества и недостатки алгоритмов декодирования //Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2022. – Т. 8. – №. 2. – С. 20-22

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлім атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Жерсеріктік навигациялық жүйелерге байланысты әдебиеттік шолу;	07.01.2024 – 05.02.2024	
Сигналдың шуга төзімділігінің қолданыстағы әдістерін зерттеу;	05.02.2024 – 29.02.2024	
Спутниктік байланыс жүйелеріндегі сигналдардың шуга төзімділігін арттыру әдістеріне шолу	01.03.2024 – 31.05.2024	
Шуга төзімді LDPC және турбо кодтарына салыстырмалы талдау жүргізу	01.06.2024 – 01.12.2024	

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушының қойған
қолтаңбалары

Бөлімдердің атауы	Кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған мерзімі	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	Жунусов К.Х., ЭТжҒТ каф.қауымд.профессор, ф-м. ғ. к..	04.04.2023ж	
Теориялық ақпарат және тәжірибелік бөлім	Жунусов К.Х., ЭТжҒТ каф.қауымд.профессор, ф-м. ғ. к..	07.01.2024ж	
Норма бақылаушы	Кенгесбаева С.С., ЭТжҒТ каф.оқытушысы, т.ғ.м.	15.01.25	

Ғылыми жетекшісі

 Жунусов К.Х.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

 Көпболсын М.М.

Күні

« 10 » сәуір 2023 ж

АНДАТПА

Диссертация спутниктік навигация жүйесіндегі сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін зерттеуге арналған.

Жұмыстың мақсаты-шуылға төзімділіктің заманауи әдістерін талдау және спутниктік байланыс үшін оңтайлы кодтау әдісін таңдау. Осы мақсатқа жету үшін шуға төзімділіктің қолданыстағы әдістерін зерттеу, спутниктік байланыс жүйелеріне арналған әдістерді шолу және LDPC және турбо кодтарын салыстырмалы талдау бойынша тапсырмалар орындалды. Зерттеу нәтижесінде спутниктік байланыс жүйелерінде максималды шуға төзімділікті қамтамасыз ететін оңтайлы LDPC және турбо-код әдістері анықталды.

Жұмыс көлемі 68 бетті құрайды, оған 39 сурет, 5 кесте және 53 пайдаланылған дереккөз кіреді.

Түйін сөздер: спутниктік, , шуға төзімділік, кодтау, LDPC, турбо кодтау, бит, сигнал/шу қатынасы, анықтау, екілік, навигация жүйе, таңба, реттілік, алгоритм, тиімділік, телекоммуникация.

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена исследованию методов повышения помехоустойчивости сигналов в спутниковой навигационной системе.

Цель работы заключается в анализе современных методов помехоустойчивости и выборе оптимального метода кодирования для спутниковой связи. Для достижения этой цели были проведены задачи по изучению существующих методов помехоустойчивости, обзору методов для спутниковых систем связи и сравнительному анализу LDPC и турбо кодов. В результате исследования были определены оптимальные методы LDPC и турбо-кодов, обеспечивающие максимальную помехоустойчивость в спутниковых системах связи.

Объем работы составляет 68 страниц, включает 39 рисунков, 5 таблиц и 53 использованных источников.

Ключевые слова: спутниковый, помехоустойчивость, кодирование, LDPC, турбо кодирование, бит, отношение сигнал/шум, обнаружение, двоичный, навигационная система, символ, эффективность, телекоммуникации.

ANNOTATION

The dissertation is devoted to the study of methods for increasing the noise immunity of signals in a satellite navigation system.

The purpose of the work is to analyze modern methods of noise immunity and choose the optimal coding method for satellite communications. To achieve this goal, tasks were carried out to study existing noise immunity methods, review methods for satellite communication systems and comparative analysis of LDPC and turbo codes. As a result of the study, the optimal methods of LDPC and turbo codes were determined to ensure maximum noise immunity in satellite communication systems.

The volume of the work is 68 pages, includes 39 figures, 5 tables and 53 sources used.

Keywords: satellite, noise immunity, coding, LDPC, turbo coding, bit, signal-to-noise ratio, error probability, modeling, bandwidth, correction, detection, binary, navigation system, , efficiency, telecommunications.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін талдау	10
1.1 Спутниктік жүйелердегі сигналдардың шуға төзімділігін арттырудың қолданыстағы әдістеріне шолу	10
1.2 Сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін салыстырмалы талдау	17
2 Спутниктік байланыс жүйелеріндегі сигналдарды заманауи шуылға төзімді кодтау	22
2.1 Көпмүшелік кодтау түрлері	22
2.2 Циклдік кодтардың жұмыс принципі	34
2.3 Конволюциялық кодтардың жұмыс принципі	37
2.4 Спутниктік байланыс жүйелеріндегі шуылға төзімді бірнеше кодтардың критерийлері	39
3 Спутниктік байланыс технологияларындағы сигналдарды модельдеу	44
3.1 Спутниктік жүйелердегі шуға төзімді кодтардың әдістері мен алгоритмдері	44
3.2 Шуға төзімді кодтарды декодтау әдісін анықтау	46
3.3 Шуға төзімді LDPC және турбо код алгоритмдері бар сигналдарды модельдеу	49
Қорытынды	62
Терминдер тізімі	64
Пайдаланған әдебиеттер тізімі	65

КІРІСПЕ

Таңдалған тақырыптың өзектілігі қазіргі әлемде сапалы, нақты ақпаратқа қол жеткізу өте маңызды екендігіне байланысты. Сигнал сапасына көптеген факторлар әсер етеді. Ақпаратты кез-келген байланыс арнасы арқылы беру процесінде алынған мәліметтерде кедергілерден туындаған қателер жиі кездеседі. Егер бұл қателер минималды болса, онда берілген ақпарат Соңғы пайдаланушыға жарамды. Алайда, көптеген қателіктермен дәл оқылатын хабарламаны алу мүмкін емес. Қателерді толығымен жою мүмкін емес сияқты, бірақ оларды азайтуға болады. Ақпаратты беру арнасында пайда болатын қателерді азайту үшін көптеген құралдар мен әдістер бар.

Төменде сигналдардың шуға төзімділігін қамтамасыз ететін бірнеше нұсқалар берілген [1]:

- Шуға төзімді сигналды кодтау: жіберілген деректердегі қателерді анықтауға және түзетуге мүмкіндік беретін кодтарды пайдалану;
- Көпмүшелік кодтау: қателерді жою үшін бірнеше кодты пайдалану;
- Жиіліктің кең жолақтарын қолдану: бұл сигнал берудегі кедергілердің әсерін азайтуға мүмкіндік береді;
- Жоғары кірісті антенналарды пайдалану: бұл сигнал күшін арттыруға және кедергілердің әсерін азайтуға мүмкіндік береді;
- Автоматты қателерді түзету жүйесін пайдалану: бұл жіберілген деректердегі қателерді жылдам анықтауға және түзетуге мүмкіндік береді;
- Байланыс арналарын басқару хаттамаларын пайдалану: бұл байланыс арналарын пайдалануды оңтайландыруға және сигнал берудегі кедергілердің әсерін азайтуға мүмкіндік береді;
- Таратқыш қуатын басқару жүйесін пайдалану: бұл сигнал беру жағдайларына байланысты сигнал беру қуатын реттеуге және кедергілердің әсерін азайтуға мүмкіндік береді;
- Екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау.

Бүгінгі таңда спутниктік сигналдардың шуға төзімділігін 50 -55 дБ дейін арттыру қажет.

Арнайы мақсаттағы спутниктік байланыс желілерінің шуға төзімділігін арттыру әдістері ұйымдастырушылық, энергетикалық, кеңістіктік және сигналдық болып бөлінеді.

Қазіргі уақытта кең жолақты сигналдарды (КЖС) қолдана отырып, ақпаратты беру және қабылдау әдістері көбірек қолданылуда. Globalstar сияқты спутниктік байланыс жүйелерінде КЖС қолдану интервенциядан шуылға төзімділіктің жоғарылауына әкеледі және жердің барлық нүктелерінде радиобайланыс сеанстарын өткізу үшін төмен қуатты портативті құрылғыларды пайдалануға мүмкіндік береді. GPS немесе GLONASS сияқты спутниктік навигациялық жүйелерден алынған кең жолақты сигналдар күрделі

кедергі жағдайында спутниктердің псевдодальдылығын бағалаудың дәлдігін арттыруға және сәйкесінше объектілердің координаталық дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Жоғарыда келтірілген КЖС қолдану мысалдары болашақта КЖС пайдалану перспективаларын көрсетеді [2].

К. Шеннонның еңбектерінде қателерді азайту үшін кодтауды теориялық қолдану мүмкіндігі көрсетілді. Төменгі жол, егер көздің өнімділігі арнаның өткізу қабілеттілігінің белгілі бір мәнінен аспаса, онда тиісті кодтау және декодтау арқылы арнадағы қателіктердің ықтималдығы шамалы болуы мүмкін. Бірақ сәл кейінірек беріліс жылдамдығының нақты шектеулері арнаның өткізу қабілеттілігіне қатысты емес, кодтау мен декодтау схемаларының күрделілігіне байланысты белгіленетіні белгілі болды. Сондықтан тиімді кодтарды іздеуге, іс жүзінде іске асырылатын кодтау және декодтау схемаларын құруға қатысты мәселе өзекті болып қала береді, олардың сипаттамалары бойынша теориялық тұрғыдан болжанғанға жақындайды.

Зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы: спутниктік байланыс жүйелерінде максималды шуға төзімділікті қамтамасыз ететін LDPC және турбо кодтарының оңтайлы параметрлерін анықтау.

Бұл жұмыстың мақсаты сигналдардың шуға төзімділігінің қазіргі заманғы әдістерін зерттеу және спутниктік байланыста кодтаудың оңтайлы әдісін анықтау болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- Жерсеріктік навигациялық жүйелерге байланысты әдебиеттік шолу;
- Сигналдың шуға төзімділігінің қолданыстағы әдістерін зерттеу;
- Спутниктік навигация жүйелеріндегі сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістеріне шолу;
- Шуға төзімді LDPC және турбо кодтарына салыстырмалы талдау жүргізу.

Практикалық маңыздылығы: Бұл жұмыста шуға төзімділікті арттыру әдістері спутниктік байланыста (DVB-S технологиясын қоса), сондай-ақ жергілікті және сымсыз желілерде қолданылады.

Жұмыста шуға төзімді кодтау, бірнеше кодтау әдістері, таратқыштың қуатын басқару әдісі, кең жиілік жолақтарын пайдалану әдісі, қателерді автоматты түрде түзету әдісі қолданылады және қарастырылады.

Жұмыстың осы бағыты бойынша мақала жарияланды «Ғылым мен технологияның интеграциясы: тұрақты даму жолы» халықаралық конференциясында 2024 жылдың арнайы көктемгі шығарылымында «Исследование помехозащищенности навигационной аппаратуры с использованием сигналов BPSK и несущей интерференции: сравнительный анализ характеристик» тақырыбымен мақала жарияланды, 946-955ББ. Одан бөлек «Research on interference resistance in satellite navigation systems» (қаз.«Спутниктік навигациялық жүйелердегі кедергілерге төзімділікті

зерттеу») ғылыми мақаласы «InterConf+» журналында (ISSN 2709-4685) жарияланды.

Жұмыстың құрылымына кіріспе, спутниктік байланыстағы шуға төзімділіктің қолданыстағы әдістері қарастырылатын негізгі бөлім, әдістерді сипаттау және салыстырмалы талдау критерийлерін таңдау, деректерді талдаумен зерттеу нәтижелері және қорытынды шығарылатын және қорытынды жасалатын қорытынды, сондай-ақ пайдаланылған әдебиеттердің тізімі кіреді.

1 Сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін талдау

Бүгінгі таңда ақпарат ағыны барған сайын кеңейіп, маңызды бола бастаған кезде, спутниктік байланыста деректердің сенімді берілуін қамтамасыз ету маңызды мәселеге айналууда. Осы тұрғыда, сигналдардың шуға төзімділігін арттыру байланыстың сенімділігін қамтамасыз етудің негізгі аспектісі ретінде алдыңғы қатарға шығады. Сигналдардың шуға төзімділігін арттырудың тиімді әдістері әртүрлі жұмыс жағдайларында деректерді берудің тұрақтылығын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Бұл тарауда сигналдардың шуға төзімділігін арттыруға, олардың артықшылықтары мен кемшіліктеріне, сондай-ақ оларды технология мен байланыстың әртүрлі салаларында қолдану мүмкіндіктеріне бағытталған әртүрлі тәсілдер мен стратегиялар қарастырылған.

1.1 Спутниктік жүйелердегі сигналдардың шуға төзімділігін арттырудың қолданыстағы әдістеріне шолу

Шуға төзімділік – бұл байланыс жүйелерінің радиоэлектрондық кедергілердің әсерінен қажетті функциямен өз функцияларын орындау қабілеті.

Кеңірек жиілік жолақтарын пайдалану: бұл сигнал берудегі кедергілердің әсерін азайтуға мүмкіндік береді

Бұған сигналдың көбірек жиілікте берілуінен қол жеткізіледі, бұл олардың кем дегенде біреуі кедергісіз болу ықтималдығын арттырады. Бұл әдісті деректер жылдамдығын арттыру үшін де қолдануға болады, өйткені кеңірек жиілік диапазондары уақыт бірлігінде көбірек ақпарат беруге мүмкіндік береді. Алайда, бұл күрделі жабдықты және қымбатырақ шығындарды қажет етуі мүмкін. Сондай-ақ, бұл әдісті қолдану сирек кездеседі, өйткені жиіліктің үлкен диапазонын бөліп көрсету керек, бұл шектеулі табиғи ресурс және күрделі құқықтық процестен өтеді [3].

Жоғары кірісті Антенналарды пайдалану. Мұндай антенналар бағытталған немесе Omni-бағытталған болуы мүмкін және оларды үй ішінде де, сыртта да қолдануға болады. Дегенмен, жоғары күшейту антенналарын пайдалану кедергі мәселелеріне және радиожиілік ережелерінің бұзылуына әкелуі мүмкін, сондықтан тиісті нормалар мен нұсқауларды сақтау қажет [4].

MIMO технологиясын қолдану: бұл бірнеше антенналар арқылы бір уақытта бірнеше деректер ағындарын жіберуге мүмкіндік беретін технология. Бұл деректер жылдамдығын арттырады және сигналға кедергілердің әсерін азайтуға көмектеседі. Деректерді беру және деректерді қабылдау бірнеше антенналардан тұратын жүйелермен жүзеге асырылатын арнаның өткізу қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік беретін сигналды кеңістіктік кодтаудың бұл әдісі. Тарату және қабылдау антенналары көрші антенналар арасындағы

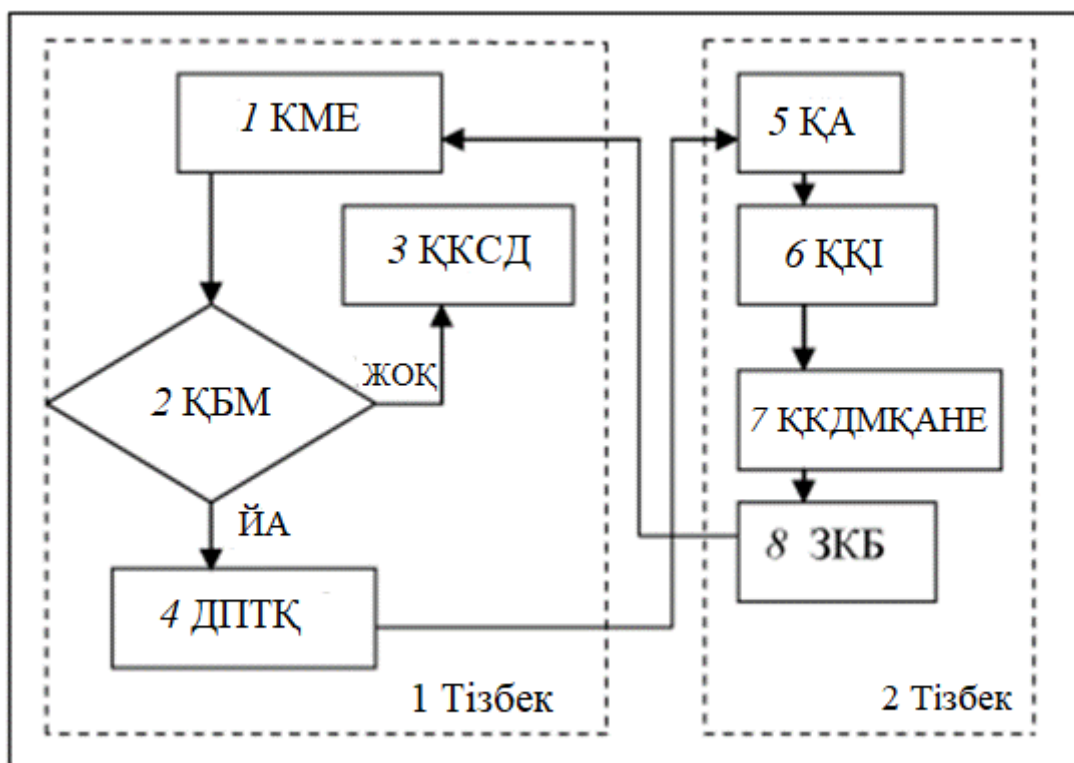
кедергі әлсіз болатындай етіп таратылады. MIMO технологиясы заманауи спутниктік желілерде кеңінен қолданылады [5].

Beamforming технологиясын қолдану: бұл сигналды белгілі бір бағытқа бағыттауға мүмкіндік беретін технология, бұл кедергілердің әсерін азайтады және деректер жылдамдығын арттырады.

Жетілдірілген жиілік диапазоны технологиясын қолдану: бұл деректерді беру үшін кеңірек жиілік диапазондарын пайдалануға мүмкіндік беретін технология. Бұл деректер жылдамдығын арттырады және сигналға кедергілердің әсерін азайтуға көмектеседі. Спутниктік байланыста байланыс арнасының сыйымдылығын арттыру және деректер сапасын жақсарту үшін кеңейтілген жиілік диапазоны технологиясы қолданылады. Бұл әсіресе деректер жылдамдығы мен байланыс сенімділігінің жоғары талаптары жағдайында жұмыс істейтін спутниктік байланыс жүйелері үшін өте маңызды. EFR технологиясы деректерді беру үшін жиіліктердің кең ауқымын пайдалануға мүмкіндік береді, бұл байланыс арнасының өткізу қабілетін арттырады және Кедергі мен кедергі деңгейін төмендетеді. Бұл байланыс сапасын арттыруға және әртүрлі жұмыс жағдайларында спутниктік байланыс жүйелерінің тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [6].

Қателерді автоматты түрде түзету жүйелері. Бұл деректердің сенімділігін арттыру үшін қолданылатын цифрлық сигналды өңдеу әдісі. Бұл деректерді жібермес немесе сақтамас бұрын қателерді түзететін код деп аталатын артық деректерді енгізу арқылы жасалады. Автоматты қателерді түзету ресиверге деректерді қайта жіберуді сұрау үшін кері арнасыз қателерді түзету мүмкіндігін береді. Кейде оптикалық сигналдар берілу кезінде кейбір факторларға байланысты нашарлауы мүмкін, бұл қабылдағыш жағында қате бағалауға әкелуі мүмкін, мүмкін "0" сигналы үшін "1" сигналын немесе "1" сигналы үшін "0" сигналын қабылдауы мүмкін. Егер беріліс қателерінің саны түзету қабілетінде болса (үзіліссіз қателер), арна декодері сигнал сапасын жақсарту үшін жалған "0" немесе "1" анықтайды және түзетеді [7].

1.1 – суретте деректерді өңдеу технологиясындағы қателерді түзету схемасы көрсетілген.



1.1-сурет – Деректерді өңдеу технологиясындағы қателерді түзету схемасы

Схема контурды қамтиды 1-компьютерде орындалатын қадамдар және контур 2 – қолмен орындалатын қадамдар. Бірінші кезеңде (1-блок) компьютерге (КМЕ) мәліметтер енгізіледі. Содан кейін (2 – блок) шарт бойынша кіріс деректерінің дұрыстығын бақылау бағдарламалары арқылы кіріс құжаттарына талдау жасалады-қателер бар ма? (ҚБМ). Қате болмаған жағдайда (3-блок) құжат компьютердің сыртқы дискісінде (ҚКСД) орналастырылады. Егер қате анықталса (4-блок), онда ол туралы ақпарат дисплей немесе принтер сияқты терминалдық құрылғыға (ДПТҚ) көрсетіледі. Келесі кезеңде (5-блок) қатені анықтау (ҚА) орын алады. Содан кейін (6-блок) бастапқы құжаттар массивіне жүгіну және тиісті қате құжатты іздеу (ҚҚІ) орындалады. Келесі кезеңде (7-блок) құжат көрсеткішінің (ҚҚДМҚАНЕ) дұрыс мәнін қолмен анықтау және (немесе)есептеу жүргізіледі.

Оптикалық байланыстағы қателерді тікелей түзетуді дамытуды үш ұрпаққа бөлуге болады. Бірінші буын білдіреді су асты жүйелерінде және жер үсті жүйелерінде сәтті қолданылады. WDM жүйелері дамып келе жатқанда, коммерциялық жүйелерде қуатты екінші буын жүйесі орнатылды. Үшінші буынның пайда болуы оптикалық байланыс жүйелерінің келесі буыны үшін жаңа перспективалар ашты [8].

Байланыс арналарын басқару хаттамаларын (LCP) пайдалану. Арнаны тікелей қосылыммен ұйымдастыру, конфигурацияны таңдау, қолдау және аяқтау әдісін қамтамасыз етеді. Байланысты Басқару хаттамасының жұмыс процесі 4 айқын ерекшеленетін фазадан өтеді [9]:

– Арнаны ұйымдастыру және оның конфигурациясын үйлестіру. Кез-келген желілік деңгей диаграммаларын (мысалы, IP) бөліспес бұрын, LCP алдымен байланысты ашып, конфигурация параметрлерін сәйкестендіруі керек. Бұл кезең конфигурацияны растау пакеті жіберілгеннен және қабылданғаннан кейін аяқталады.

– N байланыс арнасы, желілік протоколдардың конфигурациясын тиісті NCP жеке тандай алады және олар кез келген уақытта шақырылуы және кейінірек пайдалану үшін босатылуы мүмкін. Егер LCP берілген арнаны жауып тастаса, ол тиісті шаралар қабылдауы үшін желілік деңгей хаттамаларын хабарлайды.

– Арнаны тоқтату. LCP кез келген уақытта арнаны жаба алады. Бұл әдетте пайдаланушының (адамның) сұранысы бойынша жасалады, бірақ кейбір физикалық оқиғаларға байланысты болуы мүмкін, мысалы, медианың жоғалуы немесе таймердің әрекетсіздік кезеңінің аяқталуы [10].

LCP пакеттерінің үш класы бар [11]:

1) Байланыс арнасын ұйымдастыруға арналған пакеттер. Арна конфигурациясын ұйымдастыру және таңдау үшін қолданылады;

2) Арна әрекетін аяқтауға арналған пакеттер. Байланыс арнасының әрекетін аяқтау үшін қолданылады;

3) Арнаны сау ұстауға арналған пакеттер. Арнаны сақтау және жөндеу үшін қолданылады;

4) Бұл пакеттер LCP фазаларының әрқайсысының жұмысына қол жеткізу үшін қолданылады.

Таратқыштың қуатын басқару жүйесін пайдалану. Таратқыштың қуатын басқару жүйелері-бұл таратқыштың тиімді жұмысын қамтамасыз ететін және энергия шығынын азайтатын техникалық шешімдер жиынтығы. Олар әртүрлі байланыс түрлерінде, соның ішінде спутниктік байланыста қолданылады.

Таратқыштың қуатын басқару жүйелеріне көптеген компоненттер кіреді, соның ішінде қуат датчиктері, қуат күшейткіштері, қуат контроллері және басқа құрылғылар. Олар оңтайлы сигнал беру қуатын қамтамасыз ету үшін бірге жұмыс істейді [12].

Таратқыштың қуатын басқару жүйелерінің негізгі функцияларының бірі байланыс арнасының жағдайына байланысты беріліс қуатын автоматты түрде реттеу болып табылады. Мысалы, егер сигнал кедергісі жоғары нашар байланыс арнасы арқылы өтсе, таратқыштың қуатын басқару жүйесі қателерді азайту үшін тарату қуатын автоматты түрде азайта алады.

Таратқыштың қуатын басқару жүйелерін энергияны тұтынуды оңтайландыру үшін де пайдалануға болады. Мысалы, егер деректер алыс қашықтықта берілсе, таратқыштың қуатын басқару жүйесі энергияны үнемдеу үшін беріліс қуатын автоматты түрде азайта алады [13].

Жалпы, таратқыштың қуатын басқару жүйелері спутниктік байланыс жүйелерінің маңызды бөлігі болып табылады, өйткені олар ресурстарды тиімді пайдалануға және байланыстың жоғары сенімділігі мен сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау. Берілген ұзақтықтың жалған кездейсоқ екілік реттілігі-бұл элементтер 0 және 1 (немесе -1 және +1) екі мүмкін мәнді қабылдайтын реттілік., сондықтан оның корреляциялық қасиеттері бірдей ұзақтықтағы шуды іске асырудың сәйкес қасиеттеріне жақын. Мұндай тізбектер келесі қасиеттерге ие [14]:

1) Тепе-теңдік. Әрбір реттілік интервалы үшін екілік бірліктер саны екілік нөлдер санынан бір элементтен аспауы керек;

2) Циклдік. Цикл бірдей екілік сандардың үздіксіз тізбегі деп аталады. Басқа екілік санның пайда болуы автоматты түрде жаңа циклды бастайды. Цикл ұзындығы ондағы сандар санына тең. Әрбір дәйектілік фрагментінде шамамен жартысы ұзындығы 1, шамамен төрттен бір бөлігі 2, шамамен сегізден бір бөлігі 3 және т. б. екі түрдегі циклдар болғаны жөн;

3) Корреляция. Егер тізбектің бір бөлігі және оның циклдік түрде жылжытылған көшірмесі элементтік түрде салыстырылса, сәйкестіктер саны сәйкессіздіктер санынан біреуден аспайтыны жөн.

Сонымен қатар, жалған кездейсоқ тізбектердің келесі сорттары жіктеледі:

- 1) М-реттілік;
- 2) Баркер Кодтары;
- 3) Касами Кодтары;
- 4) Голд Кодтары;
- 5) Уолш-Адамар Кодтары.

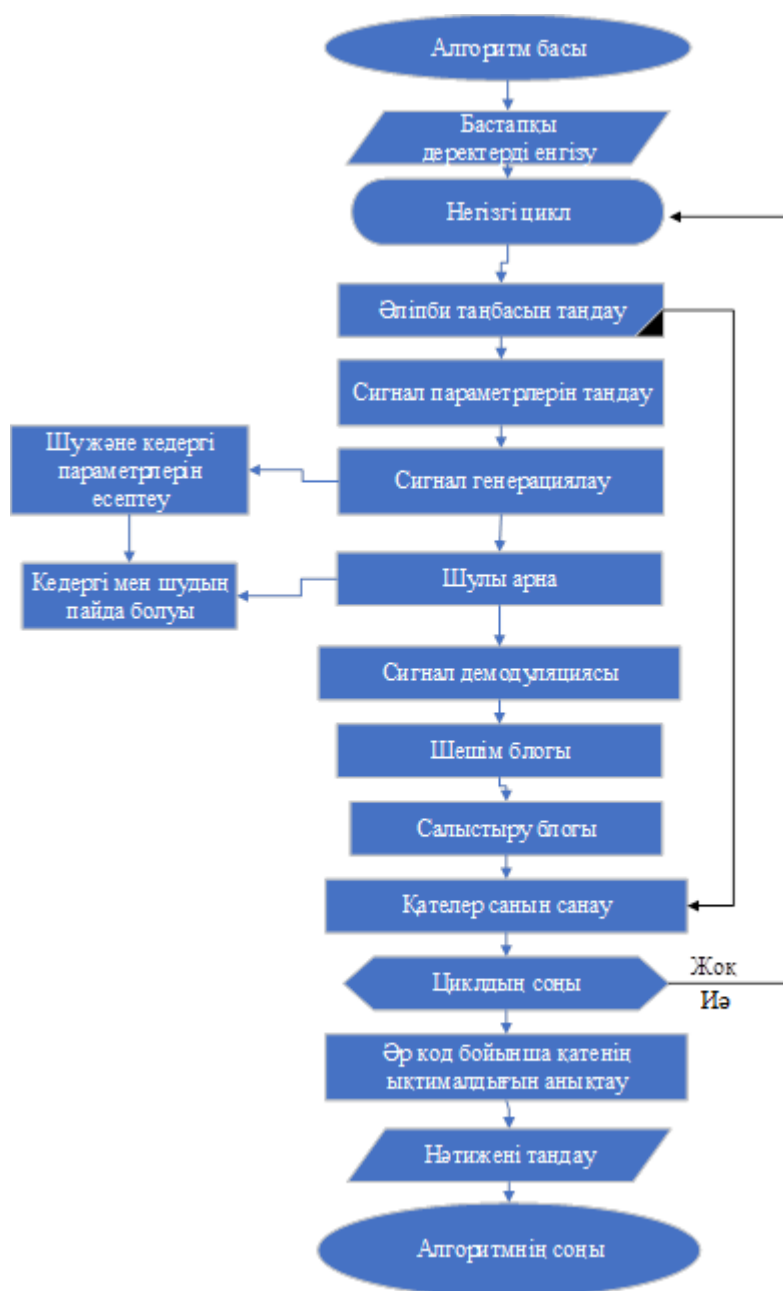
Бұл жұмыста сигналдың шуылға төзімділігін арттыру моделінің алгоритмі құрылатын М тізбегі қарастырылады.

Сигнал параметрлерін таңдау. Сигнал параметрлері сигнал параметрлерін таңдау блогында таңдалады. Алфавиттің әр таңбасы қатаң анықталған сигналмен байланысты, оны қалыптастыру үшін модуляциялық реттіліктің белгілі бір жиілік тізбегі қолданылады (қолдану алфавитті үлкейту реттілікті модуляциялау арқылы) [15].

Сигнал генерациясы. Сигнал сигналды қалыптастыру блогында жасалады. Сигнал сигнал параметрлерін таңдау блогында таңдалған параметрлер негізінде жасалады. Сигнал-бұл белгілі бір ретпен берілген гармоникалық функциялар сегменттерінің тізбегі М-реттілік. Шу мен кедергі параметрлерін есептеуге арналған блок. Шу-кездейсоқ соққылар, кедергі-қасақана әсер ету. Шу мен кедергілердің пайда болуы пайдалы сигнал негізінде жасалады. Кедергі арнасы тек байқаусызда шу болған жағдайда, сигналды қалыптастыру блогында пайда болатын пайдалы сигнал мен шуды қалыптастыру блогында пайда болатын шу сигналының қосындысы пайда болады. Салыстыру блогы - онда берілген және алынған ақпарат салыстырылады.

Негізгі циклдің барлық қайталануларында орын алған қателер санын санау қателер санын санау блогында жасалады [16].

Төмендегі 1.2 – суретте сигналдардың шуылға төзімділігін арттыру моделінің алгоритмі келтірілген.



1.2-сурет – Сигналдың шуға төзімділігін арттыру моделінің алгоритмі

Алфавит таңбасын таңдау. Алфавит таңбасы алфавитті таңдау блогындағы барлық мүмкін таңбалардан кездейсоқ таңдалады [17].

Сигнал параметрлерін таңдау. Сигнал параметрлері сигнал параметрлерін таңдау блогында таңдалады. Алфавиттің әр таңбасы қатаң анықталған сигналмен байланысты, оны қалыптастыру үшін модуляциялық реттіліктің белгілі бір жиілік тізбегі қолданылады (қолдану алфавитті үлкейту реттілікті модуляциялау арқылы).

Сигнал генерациясы. Сигнал сигналды қалыптастыру блогында жасалады. Сигнал сигнал параметрлерін таңдау блогында таңдалған параметрлер негізінде жасалады.

Сигнал-белгілі бір ретпен берілген гармоникалық функциялар сегменттерінің тізбегі М-реттілік.

Шу мен кедергі параметрлерін есептеуге арналған блок. Шу-кездейсоқ соққылар, кедергі - қасақана әсер ету.

Шу мен кедергілердің пайда болуы пайдалы сигнал негізінде жасалады.

Кедергі арнасы тек байқаусызда шу болған жағдайда блокта пайда болатын пайдалы сигналдың қосындысы пайда болады

Шуды қалыптастыру блогында пайда болатын сигналды және Шу сигналын қалыптастыру.

Салыстыру блогы – онда берілген және алынған ақпарат салыстырылады.

Негізгі циклдің барлық қайталануларында орын алған қателер санын санау қателер санын санау блогында жасалады.

Циклдің аяқталуы-бұл блокта цикл индексі 1000000-мен салыстырылады, өйткені мұндай дәлдік алынған нәтижелерге сенуге мүмкіндік береді.

Берілген блоктағы бит-82-дегі қатенің ықтималдығын анықтау қателер санын санау блогынан алынған ақпарат негізінде биттегі қатенің ықтималдығын есептеу болып табылады [18].

Сигналды кодтау - бұл ақпаратты байланыс арнасы арқылы беруге жарамды пішінге түрлендіру процесі. Кодтау деректердің беріктігін арттыру және тасымалдау кезінде қателіктердің алдын алу үшін қолданылады

Шуға төзімді кодтау ақпаратты беру және сақтау кезінде кездейсоқ кедергілерден қорғау мақсатында жүзеге асырылады. Тиімді кодтау берілетін немесе сақталатын деректер көлемін азайту мақсатында жүргізіледі. Іс жүзінде ақпаратты түрлендірудің бұл үш түрі әдетте ортақ пайдаланылады [19].

Кодтаудың негізгі әдістерінің бірі-қателерді түзететін кодтарды қолдану. Мұндай кодтар жіберілген деректердегі қателерді анықтауға және түзетуге мүмкіндік береді, бұл ақпаратты сәтті беру мүмкіндігін арттырады.

Бірнеше кодтау-қателерді жою үшін ақпараттың бірнеше кодталған көшірмелерін пайдаланатын деректерді қорғау әдісі. Әр көшірме әр түрлі кодталады, егер біреуі бүлінсе немесе жоғалса, басқалары бастапқы деректерді қалпына келтіру үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл көбінесе цифрлық коммуникацияларда қолданылады, мұнда деректердің жоғалуы өте маңызды болуы мүмкін [20].

Бұл әдіс деректерді берудің сенімділігін арттырады, өйткені әрбір код басқалардан тәуелсіз жұмыс істейді және қателерді анықтап, түзете алады. Дегенмен, ол көбірек тасымалданатын деректерді қажет етеді және тасымалдау уақытын арттырады, бұл кейбір жағдайларда жағымсыз болуы мүмкін. Бірнеше кодтауды қолдану байланыс жүйесіне қойылатын нақты талаптарға негізделуі керек [21].

Кодтаудың бірнеше түрі бар, соның ішінде:

- Қайталау кодтау (repeat code) - берудің сенімділігін қамтамасыз ету үшін деректердің әрбір биті бірнеше рет беріледі;
- Хэминг кодтау (Hamming code) - қателерді анықтау және түзету үшін қосымша биттерді қосу;
- Bows-Chowdhury-Hawkingham (BCH code) кодтау-циклдік кодтар арқылы қателерді анықтау және түзету;
- Рид-Соломон кодтау (Reed-Solomon code) - көпмүшелік кодтар арқылы қателерді анықтау және түзету;
- Турбо кодтау (Turbo code) - берудің жоғары сенімділігін қамтамасыз ету үшін бірге жұмыс істейтін екі немесе одан да көп кодерді қолданады [22].

1.2 Сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін салыстырмалы талдау

Сонымен, алдыңғы тармақтың шолуы спутниктік жүйелердегі сигналдардың шуға төзімділігін арттырудың негізгі әдістерін сипаттады. Әрі қарай, 1.1 – кестеде осы әдістердің әрқайсысының артықшылықтары, кемшіліктері мен ерекшеліктері бөлінеді.

Кесте 1.1 – Шуға төзімділікті қамтамасыз ету әдістерін салыстырмалы талдау

Атауы	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Шуға төзімді кодтау	1. Деректер берудің сенімділігін арттыру: шуға төзімді кодтау деректерді беру кезінде пайда болатын қателерді анықтауға және түзетуге мүмкіндік береді, бұл ақпаратты берудің сенімділігі мен дәлдігін арттырады 2. Ресурстарды үнемдеу: шуға төзімді кодтауды қолдану деректерді қайта жіберу шығындарын азайтып, тасымалдау қателерін азайтуы мүмкін. 3. Өткізу қабілеттілігін арттыру: кейбір шуға төзімді кодтау әдістері байланыс арнасының өткізу қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді, бұл ақпаратты беру тиімділігін арттырады.	1. Тек бір қатені түзетіңіз [23]. 2. Байланыс желісінің аз жүктемесі. Шынында да, байланыс желісі арқылы тек екі сигнал өтеді: «0» сигналы және «1» сигналы, ал желі мүмкіндіктері дискреттіліктің әлдеқайда аз болуына және дискретті деңгейлердің көбірек болуына мүмкіндік береді.

1.1 – кестенің жалғасы

Бірнеше(Көптік) кодтау	1. Позициясы белгісіз қателерді түзетуге мүмкіндік береді 2. Таратқыштың қуатын арттыруды қажет етпестен ақпаратты беру жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді немесе оларды берілген жылдамдықпен беру кезінде қажетті қуатты азайту үшін пайдалануға болады	1. Декодтаудың жоғары күрделілігі және кейбір қосымшалар үшін оларды ыңғайсыз ететін үлкен кідіріс. 2. Салыстырмалы түрде аз кодтық қашықтық (яғни таңдалған метрика мағынасында екі кодтық сөз арасындағы ең аз қашықтық). Бұл қате енгізу ықтималдығы жоғары болғанымен (яғни нашар арнада) кодтың тиімділігі
Кең жиілік жолақтарын пайдалану әдісі	1. Жоғары кедергіге төзімділік: кең жиілік жолақтарын пайдалану сигналдың кедергіге төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді, өйткені кедергілер тар жиілік жолақтарында шоғырланудың орнына сигналдың барлық спектріне таралады. 2. Үлкен көлемдегі деректерді беру мүмкіндігі: кең жиілік жолақтарын пайдалану уақыт бірлігінде үлкен көлемдегі деректерді жіберуге мүмкіндік береді. 3. Көп жолақты таралуға төзімділік: кең жиілік диапазондары сигнал сапасын арттыратын көп жолақты таралуға көбірек төзімділікті қамтамасыз етеді.	1. Қол жетімді жиілік диапазонының шектелуі: кең жиілік диапазонын пайдалану қол жетімді жиілік диапазонымен шектелуі мүмкін, бұл кейбір салаларда осы әдісті қолдануды шектеуі мүмкін. 2. Жоғары дәлдікті баптау талабы: кең жиілік диапазондарын тиімді пайдалану үшін қосымша ресурстарды қажет етуі мүмкін қабылдау-беру аппаратурасын теңшеудің жоғары дәлдігі қажет. 3. Араласу мүмкіндігі: кең жиілік диапазондары басқа құрылғылардың араласу объектісіне айналуы мүмкін, бұл сигнал сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін. 4. Жоғары желілік тығыздықтағы тиімсіздік: кең жиілік жолақтарын пайдалану жоғары желілік тығыздықта тиімсіз болуы мүмкін, себебі бұл сигналдардың қабаттасуына және деректер сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін [24].

Автоматты қателерді түзету жүйесін пайдалану	1. Деректер берудің сенімділігін арттыру: қателерді автоматты түрде түзету жүйесі деректерді берудің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді, өйткені қателерді қабылдағыш жағында анықтауға және түзетуге болады. 2. Деректердің жоғалуын азайту: қателерді автоматты түрде түзету жүйесін пайдалану деректердің жоғалуын азайтуға мүмкіндік береді, өйткені қателер деректер жоғалғанға дейін түзетілуі мүмкін. 3. Қайта жіберу шығындарын азайту: қателерді автоматты түрде түзету жүйесінің арқасында деректерді қайта жіберу шығындарын азайтуға болады, өйткені қателерді бүкіл деректер блогын қайта жібермей түзетуге болады [25].	1. Қосымша жабдық шығындары: Автоматты қателерді түзету жүйесін пайдалану үшін қосымша жабдық қажет болуы мүмкін, бұл байланыс жүйесін құру шығындарын арттыруы мүмкін. 2. Деректерді берудің кешігуі: қателерді автоматты түрде түзету жүйесін пайдалану деректерді берудің кешігуіне әкелуі мүмкін, себебі қателерді түзету процесі біраз уақыт алуы мүмкін. 3. Деректер жылдамдығының шектелуі: қателерді автоматты түрде түзету жүйесін пайдалану деректер жылдамдығымен шектелуі мүмкін, себебі қателерді түзету процесі қосымша уақытты алуы мүмкін.
Арналарды басқару протоколдарын пайдалану	1. Деректер берудің сенімділігін арттыру: Арналарды басқару хаттамалары деректерді берудің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді, өйткені олар кедергі болған жағдайда деректерді басқа арна арқылы автоматты түрде қайта бағыттап алады. 2. Деректердің жоғалуын азайту: арнаны басқару протоколдарын пайдалану тасымалдау кезінде деректердің жоғалуын азайтуға мүмкіндік береді, өйткені кедергі болған жағдайда деректерді басқа арнаға бағыттауға болады.	1. Қосымша жабдық шығындары: арнаны басқару протоколдарын пайдалану үшін қосымша жабдық қажет болуы мүмкін, бұл байланыс жүйесін құру шығындарын арттыруы мүмкін. 2. Деректерді берудің кешігуі: Арналарды басқару протоколдарын пайдалану деректерді берудің кешігуіне әкелуі мүмкін, өйткені деректерді қайта бағыттау процесі біраз уақыт алуы мүмкін. 3. Арналар санының шектелуі: Арналарды басқару протоколдарын пайдалану деректерді беру үшін пайдаланылуы мүмкін арналар санымен шектелуі мүмкін.

1.1 – кестенің жалғасы

	3. Деректерді беру жылдамдығын арттыру: Арналарды басқару протоколдарын пайдалану деректерді беру жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді, өйткені деректерді бір уақытта бірнеше арналар арқылы беруге болады [26].	4. Жоғары желілік тығыздықтағы тиімсіздік: Арналарды басқару протоколдарын пайдалану жоғары желілік тығыздықта тиімсіз болуы мүмкін, себебі бұл желінің шамадан тыс жүктелуіне және деректер сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін.
Таратқыштың қуатын басқару жүйесін пайдалану	1. Энергияны үнемдеу: таратқыштың қуатын басқару жүйесі энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді, өйткені беріліс қуатын ең төменгі деңгейге дейін төмендетуге болады. 2. Батареяның өмірлік циклін арттыру: таратқыштың қуатын басқару жүйесін пайдалану батареяның өмірлік циклін арттыруға мүмкіндік береді, өйткені беріліс қуатын ең төменгі деңгейге дейін төмендетуге болады. 3. Кедергілерді азайту: таратқыштың қуатын басқару жүйесі желідегі кедергілерді азайтуға мүмкіндік береді, өйткені тарату қуатын ең төменгі деңгейге дейін төмендетуге болады.	1. Байланыс сапасының төмендеуі: таратқыштың қуатын басқару жүйесін пайдалану байланыс сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін, өйткені тарату қуатын ең төменгі деңгейге дейін төмендетуге болады. 2. Байланыс ауқымын шектеу: таратқыштың қуатын басқару жүйесі байланыс ауқымын шектей алады, өйткені тарату қуатын ең төменгі деңгейге дейін төмендетуге болады. 3. Қосымша жабдық шығындары: таратқыштың қуатын басқару жүйесін пайдалану үшін қосымша жабдық қажет болуы мүмкін, бұл байланыс жүйесін құру шығындарын арттыруы мүмкін. 4. Орнатудың күрделілігі: таратқыштың қуатын басқару жүйесін орнату қиын болуы мүмкін, себебі сізге ең аз қажетті қуат деңгейін анықтау қажет [27].
Екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау.	1. Жоғары жасырындық: екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау берілетін ақпараттың жоғары жасырындығын қамтамасыз етеді, өйткені оны анықтау және ұстау қиын.	1. Іске асырудың күрделілігі: екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау күрделі аппараттық және бағдарламалық жасақтаманы қажет етеді.

1.1 – кестенің жалғасы

	2. Кедергіге төзімділік: екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау кедергіге жоғары төзімділікке ие, өйткені жиіліктің кең диапазоны қолданылады. 3. Спектрдің тиімділігі: екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау радиожілік диапазонының спектрін тиімді пайдалануға мүмкіндік береді [28].	2. Деректерді беру жылдамдығын шектеу: екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау деректерді беру жылдамдығын шектейді, өйткені тек екілік код қолданылады. 3. Деректерді берудің төмен дәлдігі: екілік жалған кездейсоқ тізбектермен тасымалдаушы жиілікті модуляциялау деректерді берудің төмен дәлдігіне әкелуі мүмкін, өйткені тек екілік код қолданылады [29].
--	---	--

Әдістердің әрқайсысы белгілі бір жағдайларда өз қолданылуын табады және оның артықшылықтары мен кемшіліктері бар, бірақ таратқыштың қуатын басқару жүйесін қолдану әдісі, кең жиілікті жолақтарды пайдалану әдісі жоғары еңбек шығындары мен іске асырудың күрделілігіне байланысты әрдайым мүмкін бола бермейді, сондықтан олар тек ауқымды жобаларда қолданылады. Сигналдарды кодтау, өз кезегінде, сигналдардың шуға төзімділігі үшін негізгі, іргелі әдістер болып қала береді.

Сонымен қатар, бұл әдістердің арасында маңызды орындардың бірін алатын шуылға төзімді кодтау. Оның коммуникацияның әртүрлі салаларында кеңінен қолданылатын негізгі артықшылықтары бар.

Біріншіден, шуға төзімді кодтау сигналды қабылдау кезінде бұрмаланулар мен қателіктердің ықтималдығын азайту арқылы деректерді берудің сенімділігін арттыруға көмектеседі. Бұл әсіресе сигнал әртүрлі бұрмаланулар мен кедергілерге ұшырайтын спутниктік байланыс сияқты қолайсыз байланыс арналары жағдайында өте маңызды.

Екіншіден, шуға төзімді кодтау қателік ықтималдығын айтарлықтай арттырмай, деректер жылдамдығын арттыра отырып, қол жетімді арна өткізу қабілеттілігін тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, шуға төзімді кодтау әртүрлі деректер талаптары мен шарттарына бейімделетін икемді әдіс болып табылады. Бұл оны спутниктік байланыс, Сымсыз желілер, сандық теледидар және т. б. қоса алғанда, әртүрлі қолданбаларда сенімді байланысты қамтамасыз етудің әмбебап құралына айналдырады.

2 Спутниктік байланыс жүйелеріндегі сигналдарды заманауи шуылға төзімді кодтау

2.1 Көпмүшелік кодтау түрлері

Көпмүшелік кодтау-қателерді жою үшін ақпараттың бірнеше кодталған көшірмелерін пайдаланатын деректерді қорғау әдісі. Әр көшірме әр түрлі кодталады, егер біреуі бүлінсе немесе жоғалса, басқалары бастапқы деректерді қалпына келтіру үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл көбінесе сандық коммуникацияларда қолданылады, мұнда деректердің жоғалуы маңызды болуы мүмкін, мысалы, нақты уақыт режимінде бейне немесе аудио беру [30].

Бұл әдіс деректерді берудің сенімділігін арттырады, өйткені әрбір код басқалардан тәуелсіз жұмыс істейді және қателерді анықтап, түзете алады. Дегенмен, ол көбірек тасымалданатын деректерді қажет етеді және тасымалдау уақытын арттырады, бұл кейбір жағдайларда жағымсыз болуы мүмкін. Бірнеше кодтауды қолдану байланыс жүйесіне қойылатын нақты талаптарға негізделуі керек [31].

Спутниктік арналар арқылы деректерді берудің сенімділігі мен сапасын арттыру үшін қолданылатын бұл әдіс. Ол спутник арқылы тасымалдау кезінде деректерді кедергілерден, қателіктерден және бұрмалаулардан қорғауды қамтамасыз ету үшін бірнеше кодтауды (мысалы, кодектер мен түзету кодтарының әртүрлі түрлері) пайдалануды қамтиды.

Бұл тәсіл деректердің тұрақтылығы мен жылдамдығын арттыруға, сондай-ақ ақпаратты жоғалту мен зақымданудан қорғаудың жоғары деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бірнеше кодтауды спутниктік арнаның қол жетімді өткізу қабілеттілігін пайдалануды оңтайландыруға мүмкіндік беретін әртүрлі басымдылықтағы деректерді беруді қолдау үшін де пайдалануға болады.

Бірнеше кодтаудың бірнеше түрі бар, соның ішінде:

- Қайталау кодтау (repeat code) - берудің сенімділігін қамтамасыз ету үшін деректердің әрбір биті бірнеше рет беріледі;
- Hamming кодтау (Hamming code) - қателерді анықтау және түзету үшін қосымша биттерді қосу;
- Боуз-Чоудхури-Хоквингэманың (BCH code) кодтау-циклдік кодтар арқылы қателерді анықтау және түзету;
- Рид-Соломан кодтау (Reed-Solomon code) - көпмүшелік кодтар арқылы қателерді анықтау және түзету;
- Турбо кодтау (Turbo code) - берудің жоғары сенімділігін қамтамасыз ету үшін бірге жұмыс істейтін екі немесе одан да көп кодерді қолданады.

Әрі қарай, мысалдар бірнеше кодтаудың әр түрін және олардың спутниктік байланыс жүйелеріне қолданудағы рентабельділігі мен орындылығын қарастырады. Бұл жұмыста бірнеше кодтау кодтары, олардың әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады [32].

2.1.1 Қайталанатын кодтау теориясы

Кодтау теориясында қайталау коды болып табылады қателерді түзетудің қарапайым кодтарының бірі. Хабарламаны бірнеше жерде таратуды бұзуы мүмкін шулы арна арқылы жіберу үшін қайталау кодының идеясы-хабарламаны бірнеше рет қайталау. Арна бұл қайталанулардың аз бөлігін ғана бұрмалайды деп үміттенеміз. Осылайша, алушы тасымалдау қатесі орын алғанын байқайды, өйткені алынған деректер ағыны бір хабарламаның қайталануы емес, сонымен қатар алушы алынған хабарламаны жиі кездесетін деректер ағынына қарап, бастапқы хабарламаны қалпына келтіре алады.

Қателерді түзету өнімділігінің нашарлығына және ақпараттық таңбалар мен нақты берілген таңбалар арасындағы арақатынастың төмендігіне байланысты көп жағдайда басқа қателерді түзету кодтарына артықшылық беріледі. Қайталанатын кодтың басты тартымдылығы-іске асырудың қарапайымдылығы [33].

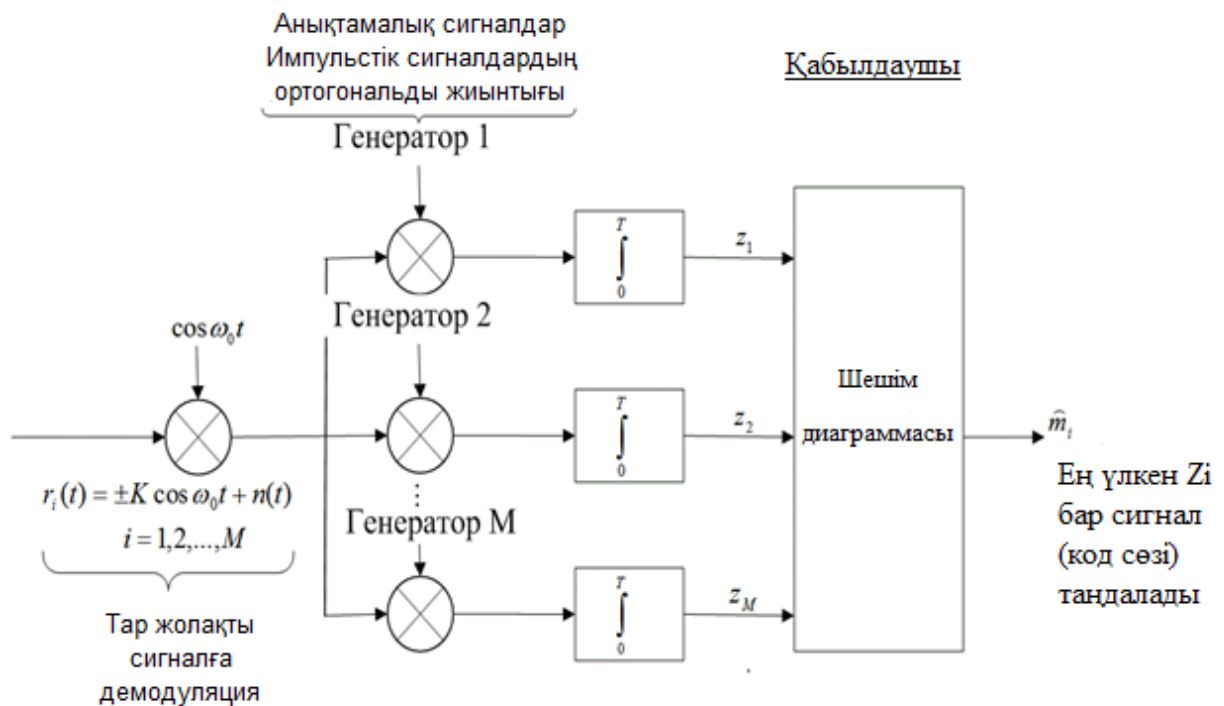
Код параметрлері: қайталанған екілік код жағдайында ұзындығы тең екі код сөзі бар барлық бірліктер және барлық нөлдер. Сондықтан кодтың минималды қашықтығы оның ұзындығына тең. Бұл қайталау кодына қателерді түзету мүмкіндігін береді (яғни кез келген код сөзіндегі қателерді түзетеді).

Егер қайталаудың екілік кодының ұзындығы тақ болса, онда бұл тамаша код. Ұзындықты қайталаудың екілік коды $N(n, 1)$ - Хамминг кодына тең.

Мысал: ұзындықты қайталаудың екілік коды 3. Пайдаланушы 101 ақпараттық биттерін жібергісі келеді. Содан кейін кодтау әрбір битті барлық бірліктермен немесе барлық нөлдермен код сөзіне көрсетеді, сондықтан біз 111 000 111 аламыз.

Айталық, үш қате жіберілген биттерді зақымдайды және алынған реттілік 111 010 100 құрайды. Декодтау әдетте әр код сөзі үшін көпшіліктің қарапайым шешімімен жүзеге асырылады. Бұл бізді декодталған ақпараттың биттері ретінде 100-ге жеткізді, өйткені бірінші және екінші код сөзінде екіден аз қате болды, сондықтан биттердің көпшілігі дұрыс. Бірақ үшінші код сөзінде екі бит бүлінген, нәтижесінде қате ақпарат биті пайда болады, өйткені екі қате қатені түзету қабілетінен жоғары [34].

2.1 – суретте қайталанатын құрылымдық кодтау схемасы көрсетілген



2.1-сурет – Қайталанатын құрылымдық кодтау схемасы

Автономдық кодтар ретінде нашар өнімділікке қарамастан, Турбо-кодта қайталанатын декодталған біріктірілген кодтау схемаларын пайдалану, мысалы қайталау-жинақтау (RA) және жинақтау-қайталау-жинақтау (ARA) кодтары қателерді түзетудің керемет жақсы өнімділігін қамтамасыз етеді.

Қайталау кодтары-кодтың жылдамдығын арнаның өткізу қабілеттілігін өзгерту үшін автоматты түрде реттеуге болатын бірнеше белгілі кодтардың бірі, оны жеңу үшін қажет Паритет туралы азды-көпті ақпарат жіберу арқылы арна шуы, және бұл өшіруден басқа арналар үшін белгілі жалғыз код. Өшіру арналарына арналған практикалық адаптивті кодтар жақында ойлап табылды және субұрқақ кодтары деп аталады.

Кейбір UART (әмбебап асинхронды қабылдағыш - Universal asynchronous receiver-transmitter), мысалы, FlexRay протоколында қолданылатындар (FlexRay - басқару үшін FlexRay консорциумы әзірлеген автомобиль желісінің протоколы борттық автомобиль есептеулері), шудың қысқа жарылыстарын елемей үшін көпшілік сүзгіні пайдаланады. Бұл шынды басу сүзгісін қайталанған декодер ретінде қарастыруға болады [35].

2.1.2 DVB-S спутниктік жүйесінде LDPC кодтау

Төмен тығыздықтағы кодтар (LDPC кодтары), сондай-ақ, бұл кодтар паритетті тексерудің тығыздығы төмен кодтар деп аталады. LDPC кодтары-бұл жолдар мен бағандардағы бірліктердің салыстырмалы түрде аз санымен сипатталатын h тексеру матрицасы арқылы берілген сызықтық блок кодтары.

Кодты тексеру матрицасы тоннер графигіне сәйкес қойылады, онда тексеру матрицасының бағандарын көрсету үшін белгілі бір жолмен байланысты биттік және тексеру түйіндері қолданылады. Мұның бәрі іске асырудың салыстырмалы түрде аз күрделілігімен арнаның өткізу қабілеттілігіне жақындауға мүмкіндік береді. Бұл кодтар спутниктік технологияларда белсенді қолданылатын DVB-S2, 802.11 n, 802.16 e сияқты байланыс стандарттарында қолданылады.

Болашақта телекоммуникациялық технологиялардың қалыптасуымен ең аз қателіктермен ақпарат беруге деген қызығушылық қайтадан өсті. LDPC кодтары өзінің барлық күрделілігіне қарамастан, пайдалануға кедергілердің болмауына байланысты телекоммуникация саласы үшін ең тартымды болды. LDPC коды турбо кодтың орнына сандық теледидарға арналған DVB-S2 спутниктік деректер стандартының бөлігі болды, сонымен қатар LDPC коды 10G Ethernet желісінің IEEE 802.3 an стандартына енді. осындай ауыстыру DVB-T2 сандық жердегі теледидарлық хабар тарату стандартында да орын алды [36].

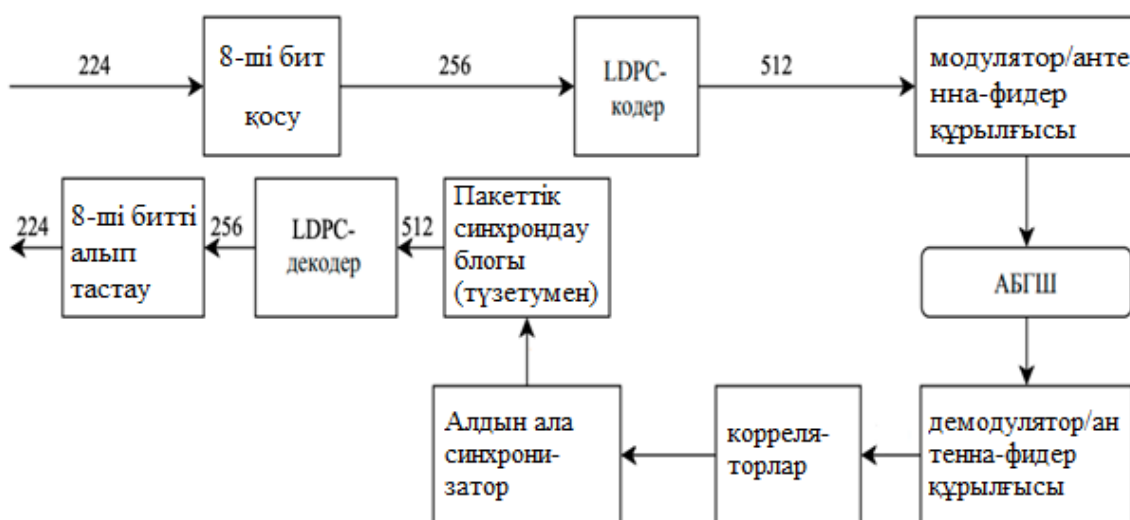
LDPC кодтарының келесі артықшылықтарын атап өтуге болады, олар зерттеу нәтижесінде DVB-S2 стандартына енгізілетін кодтар арасында бөлінді:

- Шеннон шекарасынан небәрі 0,6–0,8 дБ артта қалу;
- Турбо кодымен салыстырғанда 0,3 дБ артықшылығы;
- DVB-S стандартымен салыстырғанда 2,5 - 3,0 дБ артықшылығы, яғни 30 пайыздық қуат өсімі.

Еуропада қабылданған DVB стандартына кабельдік DVB-C (cable), спутниктік DVB-S (satellite) және жердегі DVB-T (terrestrial) хабар тарату. Мысалы, талаптары ең қатал DVB-T2 стандартында каскадтық код түзету коды ретінде қолданылады (8TVSB жүйесінен тек модуляция әдісімен түбегейлі ерекшеленетін DVB-T стандартынан айырмашылығы).

Сыртқы код ретінде ол Боуз-Чоудхури - Хоквингем блок кодын (БЧХ, СКР), ішкі код ретінде паритетті тексерумен төмен тығыздықты кодты қолданады. Кодтау жылдамдығына байланысты ($1/2$, $3/5$, $2/3$, $3/4$, $4/5$, $5/6$) LDPC, БЧХ кодтері үшін кіріс деректер блогының өлшемі әр түрлі болуы мүмкін (Kbch 32208 биттен 53840 бит; KLDPC 32400 биттен 54000 бит дейін), бірақ LDPC-ден кейінгі код сөзінің Шығыс өлшемі әрқашан 64800 битті құрайды.

2.2 – суретте трансивердің құрылымдық схемасы көрсетілген LDPC спутниктік жүйемен кодтау.



2.2-сурет – LDPC кезінде трансивердің құрылымдық схемасы
спутниктік жүйемен кодтау

Ақпаратты беру теориясының негізгі идеясы-берілген және қабылданған ақпаратты салыстыру мүмкіндігі. Ақпаратты беру кезінде оның ағыны белгілі бір ұзындықтағы блоктарға бөлінеді, олар кілт сөздер деп аталатын блоктарға кодталады. Әрі қарай, кілт сөздер бұрмаланған арна арқылы беріледі. Әрі қарай, декодер кілт сөздерді қабылдайды және оларды жіберу қателерін түзету арқылы ақпарат ағынына айналдырады. Сондай-ақ, кез-келген теореманың оң және теріс жақтары бар, Шеннон теоремасында ұзақ кілт сөздермен ақпаратты кодтау және декодтау процесін тиімді ұйымдастыру мүмкін емес. Өз кезегінде, кодер мен декодерде ақпараттың кіріс блогы мен сәйкес код сөзі арасында сәйкестік кестелері бар деп болжауға болады, бірақ мұндай кестелер көп орын алады. Жадсыз екілік симметриялы арна үшін әр түрлі блоктардың саны $2n$ құрайды, мұндағы n - бір код сөзіне айналатын нөлдер немесе бірліктер саны. 8 бит үшін бұл 256 ақпарат блогы, олардың әрқайсысында тиісті код сөзі бар. Сонымен қатар, код сөзі, әдетте, ұзағырақ, өйткені ол деректерді беру қателерінен қорғау үшін қосымша биттерді қамтиды. Сондықтан кодтаудың бір әдісі-бір математикалық әрекетте (жолды матрицаға көбейту) код сөзін декодтауға мүмкіндік беретін тексеру матрицасын қолдану [37].

Сол сияқты, кез-келген тексеру матрицасы генератор матрицасына сәйкес келеді, мысалы, бір жолды матрицаға көбейту операциясы арқылы код сөзі жасалады.

LDPC кодтары негізінен нөлдер мен бірліктердің аз санын қамтитын тексеру матрицасымен сипатталады. Атап айтқанда, (n, j, k) LDPC коды, тексеру матрицасында n жол бар (код сөзінің ұзындығына сәйкес келеді), матрицаның әр бағанында j бірліктерінің аз белгілі бір саны бар, ал әрбір жолда k бірліктері болады. Іс жүзінде элементтердің саны өте көп матрицалар қолданылады - 10-нан 100 мың жолға дейін, бірақ жолдағы немесе бағандағы

бірліктердің саны өте аз болып қалады, әдетте ең аз. Бір жолға немесе бағанға бірдей элементтер саны бар, бірақ үлкен өлшемдері бар кодтар жақсы сипаттамаларға ие.

Блоктық кодта қайталанатын декодтауды қолдана отырып декодтауға болады, өйткені LDPC кодының паритетін тексеру матрицасының салмағы өте аз. LDPC кодын ағынды беру схемасын қолдана отырып итерациялық декодтау процесі өзінің жұмыс сипаттамаларына сәйкес турбокодтың итерациялық декодтау процесіне жақындағаны дәлелденді. Жоғары өнімділік LDPC кодын жасау үшін келесі шарттар орындалуы керек:

1) Кодтың LDPC матрицасының айрықша ерекшелігі-белгілі бір өлшемдегі циклдардың болмауы. Цикл өз кезегінде айнымалы түйіндерді LDPC кодының факторлық графигіндегі тексеру түйіндерімен біріктіретін шеттермен қалыптасатын циклды білдіреді және бұл циклдің ұзындығы циклды құрайтын жиектердің саны ретінде анықталады. Егер айнымалы түйіндерді тексеру түйіндерімен байланыстыратын және LDPC кодының факторлық графигіндегі циклды құрайтын жиектер саны үлкен болса, онда бұл үлкен ұзындықтағы цикл. Бұл жағдайда қысқа ұзындықтағы цикл жиектердің саны аз екенін білдіреді. LDPC кодының жұмыс сипаттамасының тиімділігі LDPC кодының факторлық графигіндегі циклдар ұзарған кезде ғана артады. Егер LDPC кодының факторлық графигінде ұзақ циклдар пайда болса, онда жұмыс сипаттамаларының нашарлауын болдырмауға болады. Мысал келтірейік, LDPC кодының факторлық графигінде тым көп қысқа циклдар болған кезде, ең аз қателік деңгейі пайда болады [38].

2) Егер LDPC кодын конволюциялық кодпен немесе турбо кодпен салыстыратын болсаңыз, онда біріншісін қолдана отырып, нақты уақыт режимінде кодтауды орындау өте қиын, өйткені кодтаудың күрделілігі тым жоғары, сондықтан LDPC кодын тиімді кодтауды ескеру қажет. LDPC кодын кодтаудың күрделілігін азайту үшін қайта жинақтау коды ұсынылды, бірақ бұл код LDPC кодын кодтаудың күрделілігін азайтуға қатысты шектеулерге ие. 3. Егер тұрақты емес LDPC кодын тұрақты LDPC кодымен салыстыратын болсақ, онда тұрақты емес LDPC коды жоғары сипаттамаларға ие екенін көруге болады, бұл LDPC кодының факторлық графигіндегі дәреженің таралуын ескеру қажет дегенді білдіреді. Мұны түсіндіруге болады екінші жағынан, тұрақты емес LDPC кодының факторлық графигінің әртүрлі дәрежелері бар екені белгілі. "Дәреже" термині-LDPC кодының факторлық графигіндегі айнымалы түйіндерге және тексеру түйіндеріне қосылған жиектер саны. "Таралу дәрежесі" тіркесі белгілі бір дәрежеге ие түйіндер санының түйіндердің жалпы санына қатынасын білдіреді. Белгілі бір тарату дәрежесі бар LDPC коды ерекше жұмыс сипаттамаларына ие екендігі дәлелденді. Жоғары жылдамдықты деректерді беру кезінде LDPC кодының өнімділігін жақсартуға болады. LDPC коды беріліс арнасында пайда болатын шулардан туындаған қателерді тиімді түзетуге мүмкіндік береді, осылайша деректердің беріктігін арттырады, сондықтан оған артықшылық беріледі. Сонымен қатар, LDPC коды кодтық жылдамдықты ескере отырып, ең нашар

сипаттамаларға ие, өйткені LDPC коды салыстырмалы түрде жоғары кодтық жылдамдыққа ие және сонымен бірге ол кодтық жылдамдық тұрғысынан еркін емес.

LDPC кодын сипаттау бірнеше жолмен мүмкін:

- тексеру матрицасы;
- екі жақты Граф.

LDPC коды, кез-келген сызықтық блок коды сияқты, бұрын айтылғандай, тексеру матрицасымен сипатталады, бірақ іс жүзінде қолданған кезде олар қиылысында бірлік бар жолдар мен бағандар индекстерінің жұптары туралы ақпаратты қамтитын қосжарнақты Танстол графигі түріндегі сипаттаманы қалайды. Сондай-ақ, егер LDPC кодтарын құрудың арнайы жағдайлары қолданылса, матрицаларды орнатудың арнайы әдістерін қолдануға болады.

Қазіргі уақытта кодты тексеру матрицасын құрудың екі принципі қолданылады. Біріншісі жалған кездейсоқ генератор арқылы бастапқы тексеру матрицасын құруға негізделген. Екіншісі-мысалы, топтар мен соңғы өрістерге негізделген арнайы әдістерді қолдану.

LDPC кодтарының негізгі кемшіліктерінің бірі кодтау күрделілігінің код ұзындығына тәуелділігі болып табылады. LDPC кодтарын практикалық енгізу әдетте күрделі және Код жылдамдығы мен блоктың ұзындығын өзгертуге мүмкіндік бермейді, өйткені жаңа тексеру матрицасын құру қажет болады. Қателер санының азаюына әкеп соқтыратын байланыс арналарының дамуы, сондай-ақ берілетін ақпараттың барлық ұлғаюы LDPC-кодтарды одан әрі енгізу және пайдалану үшін кең перспективалар ашады [39].

Инновациялық зерттеулер негізінен жақсартылған сипаттамалары бар LDPC кодтарын жасауға, сондай-ақ оларды декодтау әдістерін жасауға бағытталған. Мұндай кодтар үшін декодтаудың нақты әдістері қалыптасады және дамиды және декодтау ықтималдығы үшін қолайлы шығындармен жеделдетілген декодтау және олар жақсы нәтиже көрсетеді. Кодтауды іске асыру мәселелері болашақта сақталатыны және декодерлерді ең қарапайым іске асыру талаптары барған сайын өзекті болатыны анық. Кодтауды жүзеге асырған кезде ең қарапайым және жылдам операцияларды орындайтын Алгоритмдер ғана арзан болады. Бұл басқа кодтармен салыстырғанда LDPC кодтарын қанағаттандырады.

2.1.3 Боуз-Чодхури-Хоквингем кодтауын қолдану

Боуз – Чоудхури – Хоквингем кодтары (БЧХ кодтары)-кодтау теориясында ақпаратты қателіктерден қорғау үшін қолданылатын циклдік кодтардың кең класы болып табылады (қателерді анықтау және түзету бөлімін қараңыз). Ол алдын-ала анықталған түзету қасиеттері бар кодты құру мүмкіндігімен ерекшеленеді, атап айтқанда минималды кодтық қашықтық. Рид-Соломон кодтары БЧХ кодтарының ерекше жағдайы болып табылады.

Боуз-Чоудхури-Хоквингем кодтарының шуға төзімділігі (БЧХ кодтары; қателерді түзететін сызықтық циклдік кодтар класы), атап айтқанда БЧХ кодтарының алдын ала кодтау кезеңіндегі импульстік кедергілердің әсеріне төзімділігі мәселесі қарастырылуда. БЧХ кодтарын пайдалану жіберілген хабарламада айтарлықтай артықтықты тудыруы мүмкін болғандықтан, алдын-ала кодтау бұл артықтықты арттырмауы керек [40].

БЧХ-кодтардың шуға төзімділігін арттыру мақсатында хабарламалар көзін алдын ала генетикалық кодтау жүргізіледі, бұл берілетін деректерге Қосымша артықтықты қоспай, код комбинацияларындағы бір қателік әсерін барынша азайтуға мүмкіндік береді. Қолданылатын генетикалық типтегі алгоритм минималды кодтық қашықтықтың "туыстығымен" байланысты хабарламалардың әр түрлі категорияларын (буындарын) жасайды. Әрбір ұрпақ бастапқы белгілердің эволюциялық мутациясына сәйкес келетін келесі ұрпақ хабарламалары үшін "ата-баба хабарламаларының" кейбір оңтайлылық критерийі бойынша іріктеуден өтеді.

Алдын ала кодтау кезеңіндегі генетикалық алгоритмнің жұмысының нәтижесінде бір қатемен қабылданған кодтық комбинациялар бастапқы кеңістіктегі жақын хабарламаларға декодталады. Бұл жұмыста шуылға төзімділікті талдау үшін ВСНН кодтарын декодтау нәтижелерін хабарлама көзі кеңістігінің алдын-ала генетикалық кодтауын қолдана отырып және осы әдісті қолданбай салыстыру жүргізіледі [41].

БЧХ кодтарындағы сигналды декодтаудың құрылымдық схемасы 2.3 – суретте көрсетілген.



2.3-сурет – БЧХ сигналды декодтаудың құрылымдық схемасы

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, келесі тұжырымдар жасалды: ВСНС кодтарымен бірге Шуға төзімді кодтаудың генетикалық тәсілін қолдану біркелкі жағдайларда кездейсоқ кодтаумен салыстырғанда декодтау қатесін орта есеппен 43%-ға азайтуға, сондай-ақ екі деңгейлі шуға төзімді кодтау схемасымен салыстырғанда берілетін ақпараттың артықтығын азайтуға мүмкіндік береді. Алайда, әр түрлі қателіктердің, мысалы, пакеттік қателіктердің осы мақалада қарастырылған шуға төзімді кодтау әдісіне әсерін одан әрі егжей-тегжейлі талдау қажет [42].

Алынған нәтижелер импульстік кедергілердің әсеріне декодтау нәтижелерінің тұрақтылығын арттыру мақсатында стандартты БЧХ кодерлерін қолданатын алгоритмдер мен жабдықтар үшін пайдаланылуы мүмкін.

БЧХ кодтау спутниктік байланыс стандартында - DVB-S2 қолданылады. DVB – S2-бұл DVB-S (Digital Video BroadcastingSatellite) технологиялары негізінде жасалған кең жолақты спутниктік хабар тарату стандартының сипаттамасы. Бұл стандарт неғұрлым тиімді кедергіден қорғалған кодтауды қолдануға негізделген: паритетті тексерудің төмен тығыздығы бар LDPC коды және Боуз – Чоудхури – Хоквингем BCH коды. Бұл өткізу қабілеттілігін DVB-S-мен салыстырғанда шамамен 30% немесе одан да көп мәндерге арттыруға мүмкіндік береді [43].

DVB-S2 стандартының маңызды артықшылығы-тікелей арна үшін адаптивті кодтау және модуляция тәсілін енгізу. ЦЗС-дан абоненттік станцияларға сигналдың таралу жағдайларына байланысты бұл тәсіл әрбір берілген деректер пакеті үшін модуляция түрін өзгертуге 10 мүмкіндік береді. Бұл деректерді ең жоғары жылдамдықпен жіберуді қамтамасыз етеді.

Модуляция түрлері: квадратуралық фазалық манипуляция (ФМН), сегіз фазалық модуляция (ФМН 8), амплитудалық фазалық манипуляция (16АФМН және 32АФМН). Соған қарамастан, 16КАМ және 32АФМН модуляциялары ЖЖС транспондеріне орнатылған күшейткіштің сызықтығына қойылатын жоғары талаптарға байланысты шектеулі қолдануды табады. Кодтау жылдамдығы мен модуляция түрлерін ұқсас Өзгертуді кері арнада да жүзеге асыруға болады (Абоненттік станциядан ЦЗС, inroute).

Қазіргі уақытта кері арналар үшін модемдік жабдық өндірушілері DVB-RCS стандартының өздерінің модификацияларын қолданады. Өткізу қабілетін одан әрі арттыру OSI ашық жүйелер өзара әрекеттесу моделінің кейбір деңгейлері үшін түрлі «айла-тәсілдерді» қолданумен байланысты. Физикалық деңгей үшін тікелей және кері арналардың жиіліктерін біріктіру мүмкін. Мұндай жағдайда энергия қорының нашарлауы 1–1,5 дБ құрайды, бұл ССС жобалау кезінде ескерілуі қажет.

2.1.4 Рид-Соломон кодтау

Рид-Соломон кодтары (RS кодтары)-бұл Боуз – Чоудхури – Хоквингем кодтарының (БЧХ кодтары) маңызды ерекше жағдайы, оның генеративті көпмүшесінің тамыры код салынған өрісте жатыр [44].

RS кодымен кодтауды екі жолмен жүзеге асыруға болады:

- 1) жүйелі;
- 2) жүйесіз.

Жүйелік емес кодтау кезінде ақпараттық сөз Галуа өрісіндегі қысқартылмайтын көпмүшеге көбейтіледі [45].

Алынған кодталған сөз түпнұсқадан мүлдем өзгеше, ал ақпараттық сөзді шығару үшін декодтау операциясын орындау керек, содан кейін ғана қателер

мазмұнына деректерді тексеруге болады. Мұндай кодтау тек ақпараттық деректерді алу үшін үлкен ресурстарды қажет етеді.

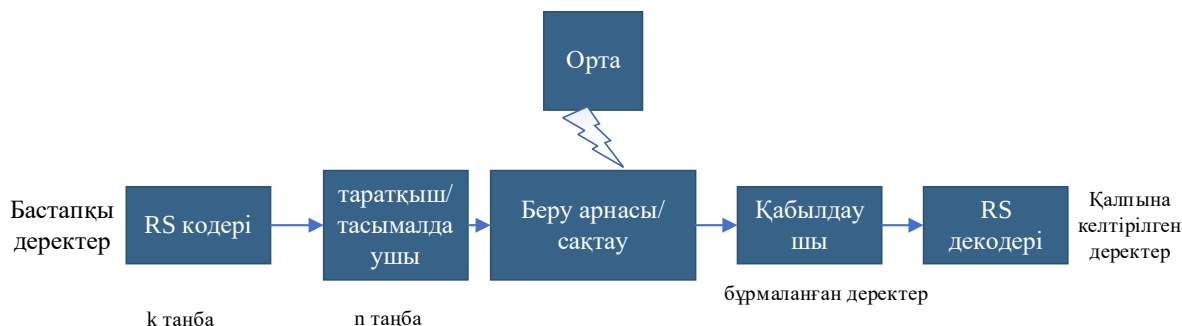
Жүйелі кодтау кезінде $2t$ тексеру таңбалары k таңбаларынан ақпараттық блокқа жатқызылады, әрбір тексеру таңбасын есептеу кезінде бастапқы блоктың барлық k таңбалары пайдаланылады. Бұл жағдайда, егер ақпарат сөзінде қателер болмаса, бастапқы блокты алу кезінде ресурстардың шығыны болмайды, бірақ кодтау және декодтау құрылғысы тексеру таңбаларын жасау үшін $k(n - k)$ қосу және көбейту операцияларын орындауы керек. Сонымен қатар, барлық операциялар Галуа өрісінде жүргізілетіндіктен, кодтау және декодтау операцияларының өзі көп ресурстар мен уақытты қажет етеді [46].

RS кодтары БЧХ кодтарының ерекше жағдайы болып табылады, сондықтан оларға циклдік кодтарды декодтау үшін қолданылатын барлық әдістер қолданылады. Алайда, RS кодтарына арналған алгоритмдер бар.

Авторегрессивті спектрлік декодтау әдісі бойынша жұмыс істейтін декодер келесі әрекеттерді дәйекті түрде орындайды:

- қате синдромын есептейді;
- қателер көпмүшесін салады;
- бұл көпмүшенің тамырын табады;
- характеристикасын анықтайды және қатені түзетеді.

2.4 – суретте осы кодты қолдану схемасы келтірілген.



2.4-сурет – Рид-Соломон кодын қолдану схемасы

Қате синдромын есептеу. Қате синдромын есептеуді код сөзін генеративті көпмүшеге бөлетін синдромдық декодер жасайды. Егер бөлу кезінде қалдық пайда болса, онда сөзде қате бар. Бөлінудің қалдығы қате синдромы болып табылады. Қате көпмүшесін құру. Есептелген қате синдромы қателіктердің орнын көрсетпейді. Синдромның көпмүшелік дәрежесі l -ге тең, бұл көп Код сөзінің дәрежесінен аз. Қате мен оның хабарламадағы орны арасындағы сәйкестікті алу үшін қателер көпмүшесі құрылады. Қателер полиномы Берлекамп – Мессе алгоритмі немесе Евклид алгоритмі арқылы жүзеге асырылады. Евклид алгоритмінің қарапайым іске асырылуы бар, бірақ ресурстарға үлкен шығындар қажет. Сондықтан неғұрлым күрделі, бірақ аз шығынды қажет ететін Берлекамп – Мессе алгоритмі жиі қолданылады.

Табылған көпмүшенің коэффициенттері код сөзіндегі қате таңбалардың коэффициенттеріне тікелей сәйкес келеді [47].

Көпмүшенің тамырларын табу. Бұл кезеңде код сөзіндегі бұрмаланған таңбалардың орнын анықтайтын қате көпмүшесінің тамыры ізделеді. Қате көпмүшесінде барлық мүмкін мәндер дәйекті түрде ауыстырылады; көпмүше нөлге айналғанда, тамырлар табылды.

Қатенің сипатын анықтау және оны түзету. Қате синдромы мен көпмүшенің табылған тамырларына сәйкес Форми алгоритмінің көмегімен қатенің сипаты анықталады және бұрмаланған таңбалардың маскасы құрылады.

Бұрмалану ықтималдығының негізгі талдауы. Ақпарат деректерді беру арналары арқылы беру кезінде немесе қандай да бір ақпарат тасығышта сақтау кезінде бұрмалануы мүмкін. Деректер арналары үшін, әдетте, биттің бұрмалану ықтималдығы белгілі. Деректер биттер тізбегі ретінде беріледі және олардың әрқайсысы бұрмалануы мүмкін. Мұнда бірнеше маңызды болжамдар жасалады:

- Деректерді беру арнасындағы белгілі бір байттағы белгілі бір биттің бұрмалану ықтималдығы бірдей және кадрдағы байттың орнына және Байт ішіндегі битке байланысты емес;

- деректерді беру арнасында "жад" жоқ және кезекті берілетін биттің бұрмалану ықтималдығы алдыңғы биттердің бұрмаланғанына байланысты емес;

- биттің бұрмалану ықтималдығы уақыт өте келе өзгермейді немесе баяу өзгереді және кадрды беру үшін қажет уақыт шегінде биттің бұрмалану ықтималдығын тұрақты деп санауға болады.

Рид – Соломон кодтарының практикалық құндылығын асыра бағалау қиын. Олардың көмегімен сіз тек анықтап қана қоймай, іс жүзінде жойылған ақпаратты ішінара қалпына келтіре аласыз. Өкінішке орай, көптеген мамандар Рид – Соломон кодтарын тек деректер арналарындағы шуға төзімді кодтаумен байланыстырады. Шындығында, оларды деректердің өзгеруіне жол бермеу қажет болған жерде қолдануға болады:

- байланыс арналары арқылы деректерді беру кезінде кездейсоқ қателерді, олардың істен шығуы немесе істен шығуы кезінде ақпарат тасығыштардағы деректердегі қателерді, жалған ақпарат беру мақсатында ақпараттық хабарламаларды қасақана Өзгертуді анықтау және түзету (ашық және жабық кілттер жүйесінің қолдауымен);

- бағдарламалық жасақтаманы "бұзу" мақсатында автор немесе орындалатын код туралы ақпараттың арнайы модификациясын анықтау және түзету;

- секторлардағы арнайы "нақты" және "жалған" қателерді пайдалану кезінде бағдарламалық жасақтаманы немесе деректерді лицензиялық дискіден көшіруден қорғау;

– желіден жүктеу кезінде бұрмаланған немесе жоғалған көп томдық мұрағаттың бір немесе бірнеше томын қалпына келтіру. Сол сияқты, RAID көп диск жүйелерінде бір немесе бірнеше диск деректерін қалпына келтіру.

Рид –Соломон кодтары туралы түсініктер және олардың құрылу ерекшеліктері қарастырылды. Компьютерлік желінің байланыс арналары арқылы деректерді беру кезінде қателерді анықтау саласында осы кодтардың мүмкіндіктері атап өтілді. Берілген ақпарат пакеттерінде бұрмаланулардың пайда болу ықтималдығы қарастырылады [48].

2.1.5 Турбо кодтау

Модуляция кезінде спутниктік ақпарат жүйелерінде берілетін тұрақтылықты жақсарту үшін ХЕ "турбо кодтау" немесе (Turbo Product Codes - TPC) турбо кодтау әдісі қолданылады. Көбінесе бұл әдіс екі конволюциялық кодты және интерстициалды қолдануға негізделген.

Ақпаратты араластыру ХЕ "Араластыру" (қайта реттеу) – бұл ақпарат блоктарының бір-біріне қатысты орындарын өзгерту процесі.

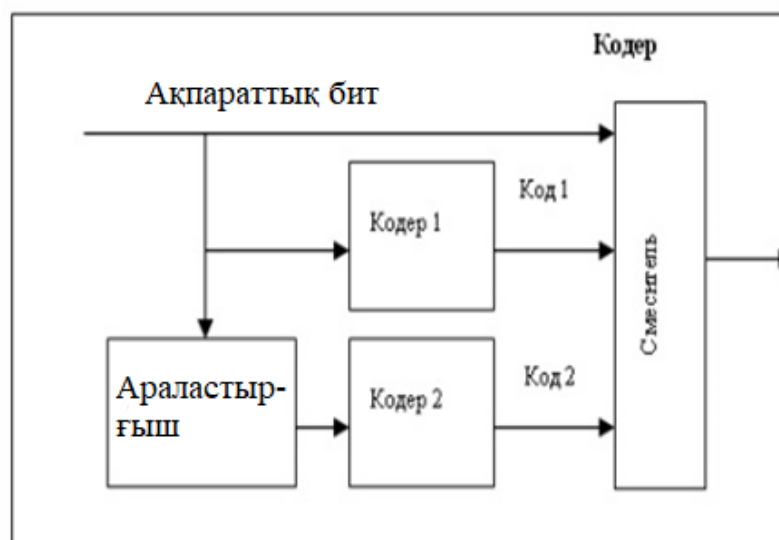
Турбокодер ХЕ "Турбокодер" екі сверткіш кодерден тұрады: біріншісінің кірісіне бастапқы ақпараттық тізбек беріледі, ал екіншісінің кірісіне араластырылған өткен ақпарат түседі.

Интерпретатордың міндеті - бастапқы кодты жалған кездейсоқ тізбекке түрлендіру. Бірнеше жылжыту (ауыстыру) алгоритмдері бар. Мысалы, кестеге сәйкес ақпарат блоктарын қайта құру. Ақпарат кестеде орналастырылған, жолдар бойынша, содан кейін бағандар немесе диагональдар бойынша оқылады [49].

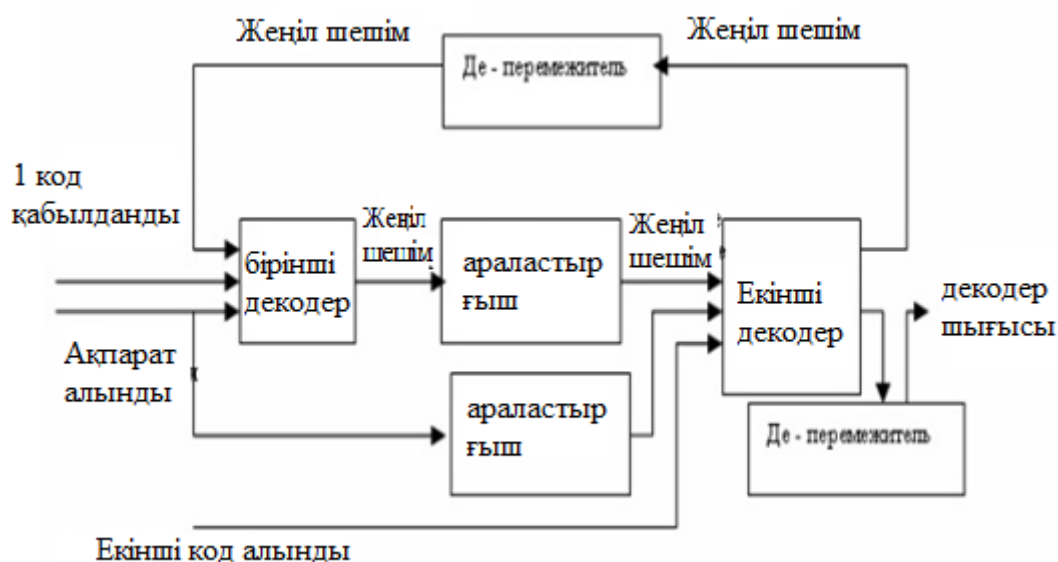
ХЕ кодын "қиылысу" жылжыту топтық қателерді конвульсиялық декодермен тиімді түзетілетін жалғыз қателерге түрлендіреді.

Конволюциялық декодер қателерді жою үшін бастапқы (қабылданған Ақпарат) және аралық және аралық нәтижелерді пайдаланатын және қабылдағышқа жіберетін екі декодерден тұрады.

Турбо кодер және декодер 2.5, 2.6 – суреттерде көрсетілген.



2.5-сурет – Турбо кодер схемасы



2.6-сурет – Турбо декодер схемасы

2.2 Циклдік кодтардың жұмыс принципі

Циклдік артық код (ағылш. Cyclic redundancy code, CRC) – берілетін деректердің тұтастығын тексеруге арналған бақылау сомасын есептеу алгоритмі. CRC алгоритмі барлық бір қателерді, Қос қателерді және тақ биттердегі қателерді анықтайды. Циклдік кодтар ұғымы өте кең, бірақ іс жүзінде ол әдетте артықшылықты циклдік бақылауды (тексеруді) қолданатын бір ғана түрге сілтеме жасау үшін қолданылады.

CRC мәнінің басты ерекшелігі-ол бастапқы бит тізбегін бірегей түрде анықтайды, сондықтан әртүрлі байланыс протоколдарында, сондай-ақ әртүрлі

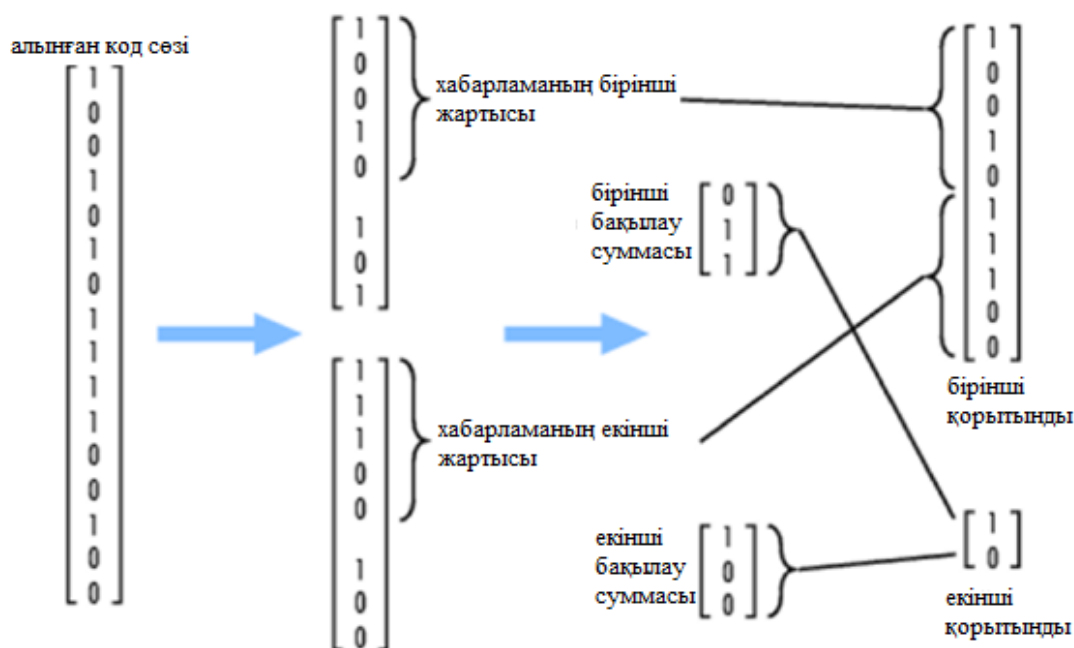
құрылғылар тасымалдайтын деректер блоктарының тұтастығын тексеру үшін қолданылады. Салыстырмалы қарапайымдылықтың арқасында CRC есептеу алгоритмі көбінесе аппараттық деңгейде, атап айтқанда спутниктік байланыстағы жабдықтар кешені үшін жүзеге асырылады [49].

CRC алгоритмінің негізгі идеясы хабарламаны үлкен екілік сан ретінде ұсыну, оны басқа тіркелген екілік санға бөлу және сол бөлудің қалдығын бақылау сомасы ретінде пайдалану болып табылады. Хабарламаны алғаннан кейін қабылдағыш ұқсас әрекетті орындай алады және алынған қалдықты "бақылау сомасымен" салыстыра алады.

2.7,2.8 – суреттерінде CRC кодын кодтау мен декодтаудың графикалық көрінісі көрсетілген.



2.7-сурет – CRC кодерінің жұмыс принципі



2.8-сурет – CRC декодерінің жұмыс принципі

CRC есептеу үшін көпмүшелік арифметика қолданылады. Бөлгішті, бөлінгішті (хабарламаны), бөлгішті және оң бүтін сандар түріндегі қалдықты көрсетудің орнына оларды екілік коэффициенттері бар көпмүшелер түрінде немесе әрқайсысы көпмүшенің коэффициенті болып табылатын биттер қатары түрінде ұсынуға болады.

Хабарлама да, бөлгіш те көпмүшелер түрінде ұсынылуы мүмкін, олармен кез-келген арифметикалық әрекеттерді аудармасыз орындауға болады.

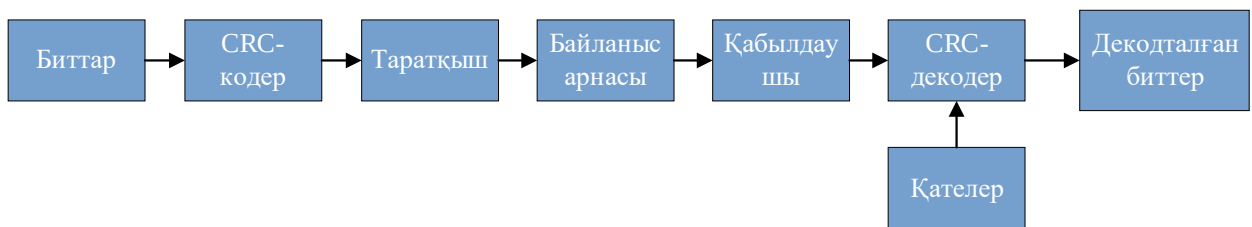
Әдетте, бақылау сомасы бастапқы хабарламаға қосылады және алынған кеңейтілген хабарлама байланыс арнасы арқылы жіберіледі.

Арнаның екінші жағында қабылдағыш мүмкін әрекеттердің бірін жасай алады (екеуі де тең):

- 1) Алынған хабарламаның мәтінін бөлектеңіз, оған бақылау сомасын есептеңіз және оны берілгенмен салыстырыңыз;
- 2) Барлық жіберілген хабарлама үшін бақылау сомасын есептеңіз және нәтиже нөлдік қалдық болатынын көріңіз.

Бастапқы хабарлама өте үлкен болуы мүмкін (бірнеше байтқа дейін) және CRC алу үшін CRC арифметикасы қолданылатындықтан, әдеттегі компьютерлік бөлу операциясын қолдануға болмайды.

2.9 – суретте CRC кодтарын зерттеудің құрылымдық схемасы көрсетілген.



2.9-сурет – CRC кодтарын зерттеудің жалпыланған құрылымдық схемасы

CRC-32 үшін ең танымал және ұсынылған IEEE көпмүшесі Ethernet, FDDI - де қолданылады; басқа көпмүшені пайдалану-CRC-32C - бастапқы хабарламаның ұзындығы 58 биттен 131 кбит-ке дейін бірдей өнімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді, ал кіріс хабарламасының ұзындығының кейбір диапазондары одан да жоғары болуы мүмкін – сондықтан бұл күндері де танымал. Мысалы, 1TU-T стандарты пайдалы жүктемедегі қателерді анықтау үшін CRC32 C пайдаланады.

2.3 Конволюциялық кодтардың жұмыс принципі

Конволюциялық кодтар үздіксіз және көптеген минималды арақашықтықтармен сипатталады, олардың арасындағы минималды қашықтық алынатын кодтар тізбегінің бастапқы сегменттерінің белгілі бір ұзындықтары. Өңдеу үшін қабылданған сегменттер ұзындығындағы таңбалар саны қабылдау жағында декодтау құрылғысындағы ұяшықтар санын анықтайды.

Конволюциялық кодтау тұжырымдамасы-ақпараттық биттердің кіріс тізбегі конволюциялық кодерде түрлендіріледі, осылайша әрбір кіріс биті 1-ден көп шығысқа сәйкес келеді. Егер әрбір кіріс биті 2 шығысқа сәйкес келсе, онда бұл жағдайда біз $R = 1/2$ жылдамдықпен конволюциялық кодтау туралы айтып отырмыз. Осылайша, конволюциялық кодер бастапқы реттілікке кейбір артық ақпаратты қосады. Егер әрбір 2-ші кіріс биттері 3 шығысқа жауап берсе, бұл жағдайда конволюциялық кодтау жылдамдығы тең болады. Конволюциялық кодер шамамен 6 Сақтау ұяшығын пайдаланған кезде, ол сигналдың алдыңғы 6 күйі туралы деректерді сақтайды және кіріс биттерінің мәндерін ескере отырып, біз осы кодерде кіріс тізбегінің 7 биті қолданылатынын аламыз. Әрбір конволюциялық кодер оларды бір-бірімен байланыстыратын бірнеше дәйекті сақтау ұяшықтары мен табиғи элементтер негізінде жасалады. Ұяшықтар саны барлық кодер күйлерінің санын сипаттайды. Мұндай конволюциялық кодер 7 күй кодері ($k=7$) деп аталады. Конволюциялық кодерде жасалған Шығыс биттері кіріс бит мәндерімен және сақтау ұяшықтарында сақталған биттермен қалыптасады, бұл жағдайда кез-келген Шығыс биттің мәні кіріс ақпараттық бит үшін ғана емес, сонымен қатар кейбір алдыңғы биттерге де байланысты болады.

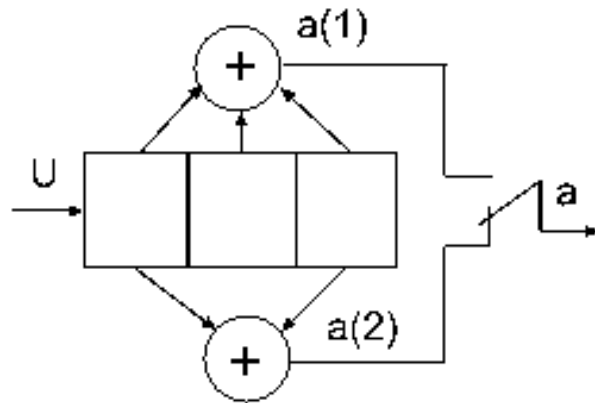
«Packet Binary Convolutional Coding» технологиясында $R=1/2$ жылдамдықпен 7 күйге ($k = 7$) конволюциялық кодерлер қолданылады. Конволюциялық кодерлердің басты артықшылығы-олар құрған тізбектің шуға төзімділігі. Мәселе мынада, артық кодтау кезінде, тіпті қателер пайда болған жағдайда да, бастапқы бит ретін толығымен қалпына келтіруге болады. Бастапқы бит ретін қалпына келтіру үшін Витерби декодтау құрылғысы қолданылады. Конволюциялық кодерде жүзеге асырылатын Дибит кейіннен берілетін белгі ретінде қолданылады, бірақ алдын-ала берілген дибит фазалық модуляциядан өтеді. Бұл жағдайда берілу жылдамдығына байланысты екілік, квадратуралық немесе тіпті сегіз позициялы фазалық модуляция мүмкін. Пакеттік конволюциялық кодтау әдісі хаттамада секундына 5,5 Мегабит және секундына 11 Мегабит жылдамдықта кодтаудың басқа әдісі ретінде қарастырылған.

Секундына 5,5 Мегабит жылдамдықта конволюциялық кодер жасаған модуляция үшін екілік фазалық модуляция, ал секундына 11 Мегабит жылдамдықта квадратуралық фазалық модуляция қолданылады. Бұл жағдайда секундына 11 Мегабит жылдамдық үшін кез-келген таңбада 1 кіріс биті кодталады және бит беру жылдамдығы таңбалардың берілу жылдамдығына сәйкес келеді, ал секундына 5,5 Мегабит жылдамдықта. биттердің берілу жылдамдығы таңбалардың берілу жылдамдығының жартысына тең (бұл жағдайда кез-келген кіріс биті 2 Шығыс таңбасына сәйкес келеді). Демек, секундына 5,5 Мегабит жылдамдығы үшін де, секундына 11 Мегабит жылдамдығы үшін де таңба жылдамдығы секундына 11 106 таңбаны құрайды. Секундына 22 мегабит жылдамдық үшін. Біз қарастырған «Packet Binary Convolutional Coding» схемасымен салыстырғанда, ақпаратты беру 2 сипаттаманы қамтиды. Ең алдымен, фазалық 8 позициялық фазалық модуляция (8-PSK) қолданылады, яғни сигнал фазасы 8 түрлі мәнді қабылдай алады, бұл 1 таңбада 3 битті кодтауға мүмкіндік береді.

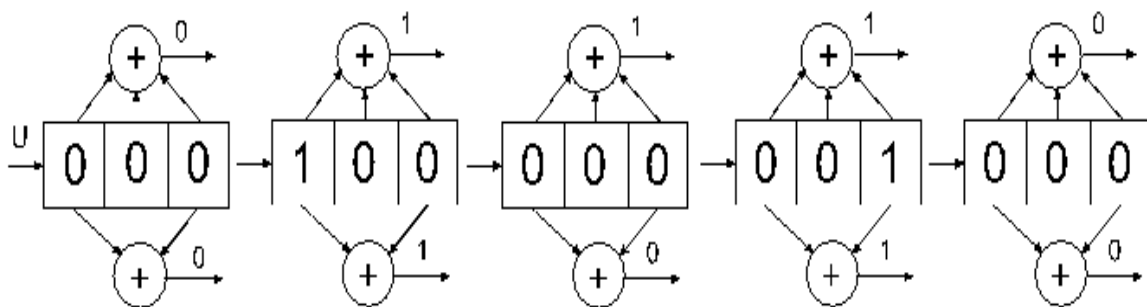
Конволюциялық кодтар артықшылықты арттырады, өйткені Шығыс тек ағымдағы кірістерге ғана емес, сонымен қатар бірнеше алдыңғы кірістерге де байланысты.

Шығудың алдыңғы күйге тәуелділігіне байланысты рұқсат етілген күйлер саны азаяды-артықтық пайда болады.

Конволюциялық кодердегі биттің құрылымдық схемасы 2.10 – суретте, конволюциялық кодердің мысалы 2.11– суретте көрсетілген.



2.10-сурет – Конволюциялық кодердегі биттің құрылымдық схемасы



2.11-сурет – Күйге байланысты шығу мәндері

Конволюциялық кодтардың жетіспеушілігі-қателерді декодтау қиын (максималды ықтималдық әдісі).

2.4 Спутниктік байланыс жүйелеріндегі шуылға төзімді бірнеше кодтардың критерийлері

Шуға төзімділік кодтары спутниктік байланыста маңызды рөл атқарады, мұнда сигналдар берілу кезінде әртүрлі бұрмаланулар мен кедергілерге ұшырауы мүмкін. Спутниктік байланыстағы шуға төзімді кодтар сәйкес келуі керек кейбір критерийлер:

Жоғарыда сипатталған кодтау түрлерін ескере отырып, оларды талдау негізінде шуға төзімді кодтардың келесі критерийлері тұжырымдалады.

1) Қателерді анықтау және түзету: Шуға төзімді код деректерді беру процесінде пайда болатын қателерді анықтай және түзете алуы керек. Бұл әсіресе спутниктік байланыс үшін өте маңызды, мұнда сигналдар ғарыштық радиацияға және басқа да кедергілерге ұшырауы мүмкін;

2) Тиімділік: Шуға төзімді код қосымша өткізу қабілеттілігін немесе ресурстарды аз пайдаланған кезде қателерді түзетудің жоғары дәрежесін

камтамасыз етуі керек. Бұл шектеулі спутниктік ресурстарды пайдалануды оңтайландыру үшін маңызды;

3) Минимализацияны азайту: жақсы шуылға төзімді код өткізу қабілеттілігін тым көп алмау және деректер кідірісін арттырмау үшін минималды артықтыққа ие болуы керек;

4) Арна жағдайларына бейімделу: Шуға төзімді код шу деңгейінің өзгеруі немесе басқа кедергілер сияқты байланыс арнасының өзгеретін жағдайларына бейімделуі керек;

5) Іске асырудың қарапайымдылығы: шуға төзімді кодты іске асыру салыстырмалы түрде оңай және декодтау үшін айтарлықтай есептеу ресурстарын қажет етпегені жөн;

6) Параллельді өңдеу мүмкіндігі: бірнеше деректер ағындары болуы мүмкін спутниктік байланыс контекстінде шуға төзімді код бір уақытта бірнеше деректер ағындарымен тиімді жұмыс істеу үшін параллельді өңдеу мүмкіндігін қамтамасыз етуі керек;

7) Жоғары өткізу қабілеті.

Спутниктік байланыста бірнеше кодтарды оңтайландырудың қосымша критерийлері:

– Алынған сандық теледидар сигналын декодтау үшін қажет жад көлемін және процессордың қуатын (алгоритм параллель болса, процессорлар) азайту;

– Декодталған ағындағы қателер жылдамдығын азайту;

– Телебағдарламаларды қабылдау сапасын арттыру.

Осы критерийлерді ескере отырып, шуға төзімділік кодтарының әртүрлі түрлері, мысалы: конволюциялық кодтар, циклдік кодтар, турбо кодтар, Рид-Соломон кодтау, БЧХ кодтау, LDPC Кодтау, турбокодтар және LDPC кодтары (Low-Density Parity-Check) спутниктік байланыста арнаның нақты талаптары мен шарттарына байланысты қолданылуы мүмкін байланыстар.

2.1 – кестеде жұмыста қарастырылған бірнеше шуылға төзімді кодтардың стандарттары мен практикалық қолданылуы келтірілген.

Кесте 2.1 – Шуылға төзімді кодтардың стандарттары мен практикалық қолданылуы

Алгоритм атауы	Стандарт	Негізгі қолдану
БЧХ коды	Ethernet 10BASE-T, Ethernet 100BASE-T	Локалды(Жергілікті) желілер
Хэмминг коды	RAID2, ECC	Компьютердің сериялық интерфейсі
CRC коды	MPEG-2, ANSI X 3.28	Жердегі Теледидар, USB сериялық интерфейсі

2.1-кестенің жалғасы

Рид-Соломон коды	Ethernet 100BASE-T, IEEE 802.16 Л	Жергілікті желілер
МПДСОК (декодер)	CDMA2000, DVB-S, IEEE 802.16, CCSDS, TIA1008, UMTS	3G, спутниктік байланыс, Сымсыз желілер, терең ғарыштық байланыс
TPC Турбо коды	INTELSAT, IEEE 802.16.	Ұзақ ғарыштық байланыс, спутниктік байланыс, жердегі теледидар, сымсыз желілер
LDPC-коды	DVB-S2, IEEE 802.16e, IEEE 802.11n, DVB – T2	Спутниктік байланыс, Сымсыз желілер, жергілікті желілер, жердегі теледидар

Осы критерийлерді ескере отырып, шуға төзімділік кодтарының әртүрлі түрлері, мысалы: конволюциялық кодтар, циклдік кодтар, турбо кодтар, Рид-Сүлеймен кодтау, BCHC кодтау, LDPC Кодтау, турбокодтар және LDPC кодтары (low-Density Parity-Check) спутниктік байланыста арнаның нақты талаптары мен шарттарына байланысты қолданылуы мүмкін байланыстар

2.2 – кестеде алгоритмдердің техникалық сипаттамалары салыстырылады, мысалы, сағат жылдамдығы, кодтың қайталану саны, өткізу қабілеттілігі және т. б.

Кесте 2.2 – Шуға төзімді кодтардың сипаттамалары

Алгоритм атауы	Сағат жиілігі, МГц	Итерация саны	Блоктың ұзындығы, бит	Код жылдамдығы
БЧХ коды	150	4	127	1/3
	150	4	63	2/3
	150	4	31	1/2
	150	6	63	1/2
	150	4	1023	1/2
	150	6	31	1/3
Рид - Соломон Коды	160	5	255	0,7
	160	10	255	0,48
	160	5	255	0,9
	160	10	255	0,35
ТС Турбо коды	180	10	3060	1/2
	180	25	16000	0,87
	250	10	848	1/2
	220	25	3060	1/2
	200	30	1524	1/2
	250	15	756	1/2
	200	15	380	1/2

2.2-кестенің жалғасы

TPC Турбо коды	200	10	4096	1/2
	220	10	16000	0,88
	200	10	16000	1/2
	200	10	10000	1/2
	200	10	1024	0,43
	220	10	1024	0,66
	200	10	4096	0,64
	200	10	4096	0,79
LDPC коды	92	10	1000000	1/2
	100	10	64800	1/2
	100	20	16000	0,88
	100	20	2304	1/2
	90	10	64800	1/2
	100	10	700000	1/2
	100	20	10000	1/2
МПДСОК (декодер)	190	40	94100	1/2
	200	40	40000	0,85
	220	60	94100	1/2
	200	220	94100	1/2
	200	192	94100	1/2

Қорытындылай келе, шуылға төзімділік кодтарының заманауи түрлерін зерттей отырып, сигнал сапасын анықтайтын белгілі бір критерийлер таңдалды, конволюциялық кодтар, циклдік кодтар, турбо кодтар, Рид-Соломон кодтау, БЧХ кодтау, LDPC Кодтау, турбокодтар және LDPC (төмен-Денситивтік Паритет-тексеру) кодтары спутниктік байланыста қолданыла алады. байланыс арнасының нақты талаптары мен шарттары.

Алайда, кестеден көрініп тұрғандай, өткізу қабілеттілігінің ең жақсы сипаттамалары турбокодтарды, LDPC кодтарын көрсетеді, бұл олардың көптеген спутниктік стандарттарда кеңінен қолданылуына әкеледі.

Әрі қарай, жұмыста LDPC кодтары мен турбо кодтары қарастырылады, өйткені жүргізілген зерттеу және салыстырмалы сипаттамаларды талдау негізінде спутниктік байланыс жүйелеріндегі сигналдардың шуға төзімділігіне қойылатын критерийлерді ескере отырып, бұл кодтар бүгінгі күні олардың параметрлері бойынша ең жоғары тиімділік пен сәйкестікті көрсетеді.

3 Спутниктік байланыс технологияларындағы сигналдарды модельдеу

3.1 Спутниктік жүйелердегі шуға төзімді кодтардың әдістері мен алгоритмдері

Байланыс жүйелеріндегі белгілі бір кодтық конструкциялардың шуға төзімділігін бағалаудың нәтижесі көбінесе қателік ықтималдығының сигнал-шу қатынасына (СШҚ) тәуелділігі болып табылады. Деңгей бойынша квантталған дискретті сигналдармен жұмыс істеу кезінде E_b/N_0 түрінің цифрлық СШҚ көрсеткіштері және биттік және пакеттік қателер ықтималдығы ең қолайлы болып табылады. Сонымен қатар, Монте-Карло әдісі бойынша $p_b(E_b/N_0)$ тәуелділігін алу қателік ықтималдығының төмен мәндерінде және сипаттамаларды алу үшін 100% сенімділік интервалына жақын деректер жүйесінің моделін құруды талап етеді өте көп уақыт жұмсалуды мүмкін, сонымен қатар төмен шуға төзімділіктің себебі анықталмайды немесе жиі пайда болатын қатені қанықтыру әсерінің болуы қайталанатын-декодталатын кодтар. Осылайша, $p_b(E_b/N_0)$ тәуелділігінің әртүрлі учаскелерінде салыстырмалы түрде аз түзету қабілетінің немесе кодтаудың энергетикалық пайдасының (КЭП) себептерін анықтау үшін талдаудың балама әдістері қажет.

Тексеру матрицасының бағандары мен жолдарының таразыларының таралуы берілсін, СШҚ мәні белгіленген аддитивті ақ Гаусс шуы (ААГШ) бар арна, сондай-ақ жүйеде Ақпараттық хабарлама ретінде нөлдік код сөзі беріледі, бұл сызықтық кодтарды қарастырған кезде рұқсат етіледі. ЭТ әдісінің мәні ("ықтималдықтың таралу тығыздығының эволюциясы") бір декодтау итерациясынан екіншісіне ауысқан кезде демодулятордың жұмсақ бағалауларының сенімділік ықтималдығын қайта есептеу болып табылады. Осылайша, қайталанатын декодтау процесінде қателік ықтималдығының таралу тығыздығының өзгеруіне негізделген тәсіл осындай мәнді табуға мүмкіндік береді СШҚ (сигнал-шу қатынасы), декодтау шегі (ДШ), онда декодтау қайталануларының берілген саны үшін қате ықтималдығы шексіз үлкен кодтық сөз ұзындығында және жоғарыда көрсетілген шектеулерде нөлге ұмтылады. Декодтау шегін сенімді таратумен қайталанатын декодтау алгоритмі класындағы арнаның өткізу қабілеттілігінің аналогы ретінде түсіндіруге болады [50].

Декодтауды бағалаудың балама әдісі-әртүрлі салмақ үлестірімдеріндегі кездейсоқ шамалардың априорлық және постериорлық өзара ақпаратының өзгеруін талдауға негізделген EXIT диаграммалары. Бұл тәсілді қолдану ыңғайлы және дәлірек болады, мұнда шуылға төзімді код таннерінің графигінде сынған шыңдар, сондай-ақ салыстырмалы түрде төмен $R < 0,5$ кодтау жылдамдығы бар. ДШ бағалау үшін EXIT диаграммаларында графикалық әдіс қолданылады, оның мәні артқы және априорлық ақпараттың қайталанатын өзгеруін сипаттайтын қисықтардың қиылысу нүктесін

анықтаудан тұрады. Диаграмманың EXIT графигіндегі екі функция арасындағы жалғыз ортақ нүктенің болуы қажетті ДШ мәнін анықтайды.

Декодтау қатесінің қанығу деңгейіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі-МПП кодының Таннер графигіндегі субграфтар, олар сәйкесінше тексеру түйіндерінің жұп және тақ санына сәйкес келетін А және В символдық түйіндерінен тұрады. тұзақтар жиынтығы (ТЖ) немесе trapping set (TS).

Берілген МПП код параметрлері үшін тұзақтар жиынтығының топологиялық байланыстарын талдаудың күрделілігі кодтың қашықтық қасиеттерін анықтаумен салыстырылады, сондықтан іс жүзінде жанама критерийлер қолданылады, оған байланыс спектрі (ACE spectrum 5) Таннер графигі, сондай – ақ шеңбер профилі-бөліктер үшін g_i , $i = 1, 2 \dots$ шеңбер мәндерінің тізбегі бірінші i бағаннан тұратын H тексеру матрицасы. Критерийлердің біріншісінің негізі болып табылатын байланыс метрикасы l_i C_0 ұзындық цикліндегі символдық түйіндердің санын көрсетеді:

$$\gamma_i = \sum (dk - 2), k = 1, 2, \dots m., \quad (3.1)$$

мұндағы: γ_i - байланыстың мәні; d - кодтық қашықтық; k - код комбинациясындағы ақпараттық таңбалар саны.

Байланыс жүйелеріндегі код құрылымдарының шуға төзімділігін бағалаудың әртүрлі әдістері қарастырылды. Негізгі фокус қателік ықтималдығының шуға төзімділікті талдауда жиі қолданылатын сигнал-шу қатынасына (СШҚ) тәуелділігі болды.

E_b/N_0 түрінің цифрлық СШҚ көрсеткіштері және биттік және пакеттік қателер ықтималдығы көрсетілген деңгей бойынша квантталған дискретті сигналдармен жұмыс істеу кезінде шудың төзімділігін талдауға ерекше назар аударылады. Алайда, Монте-Карло әдісі бойынша қателік ықтималдығының сигнал-шу қатынасына ($p_b(E_b/N_0)$) тәуелділігі шығынды және уақытты қажет ететін процесс болуы мүмкін, әсіресе қателік ықтималдығы төмен мәндерде және үлкен сенімділік аралықтарында

Декодтауды балама бағалау үшін бір декодтау итерациясынан екіншісіне ауысқан кезде демодулятордың жұмсақ бағалауларының сенімділік ықтималдығын қайта есептеуге негізделген ЭТ ("ықтималдықтың таралу тығыздығының эволюциясы") әдісі ұсынылды. Бұл әдіс қате ықтималдығы нөлге ұмтылатын СШҚ мәнін табуға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, әртүрлі салмақ үлестірімдеріндегі кездейсоқ шамалардың априорлық және постериорлық өзара ақпаратының өзгеруін талдауға негізделген EXIT диаграммалары ұсынылды. Бұл әдісті қолдану шуылға төзімділікті талдау кезінде ыңғайлы және дәлірек болады.

Декодтау қатесінің қанығу деңгейіне әсер ететін маңызды фактор-МПП кодының Таннер графигіндегі субграфтар, олар тұзақтар жиынтығы (ТЖ) немесе trapping set (TS) деп аталады. Осы субграфтарды талдау үшін әртүрлі

әдістер ұсынылды, соның ішінде байланыс спектрі мен шеңбер профилін талдау.

3.2 Шуға төзімді кодтарды декодтау әдісін анықтау

Алдыңғы тарауда LDPC және турбо кодтары спутниктік байланыс жүйелеріндегі сигналдардың шуға төзімділігіне қойылатын критерийлерді ескере отырып, жүргізілген зерттеулер мен салыстырмалы сипаттамаларды талдау негізінде ең жақсы өнімділікті көрсеткені анықталды, сондықтан олардың жұмыс алгоритмдері қарастырылады.

Талдаудың осы немесе басқа әдісін таңдау CCSDS 7, DVB-S2X 8, 9 стандарттарынан алынған кодтар таннерінің Графиктеріндегі $\lambda(x)$ және растау $\rho(x)$ шыңдары бойынша салмақ үлестірімдерін алдын – ала анықтаумен байланысты., және GMR-1. Сонымен қатар, қолданылатын қосжарнақты графиктерде шыңдардың болуын анықтау керек, өйткені декодтау шегін бағалау әдісін таңдау осыған байланысты.

Таннер графигінің шыңдары тек CCSDS стандартының МПП кодтарында болғандықтан, оларды талдау үшін EXIT диаграммалары қолданылды, басқа сипаттамалар үшін ЭТ әдісі қолайлы. ЭТ және EXIT диаграмма әдістерінің бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, ДШ $((E_b/N_0)_{thr})$ мәндері есептеледі, сонымен қатар берілген кодтау жылдамдығы $((E_b/N_0)_{lim})$ үшін Шеннон шегі мәндері есептеледі. Бұл көрсеткіштер арасындағы айырмашылық МПП кодтар ансамблінің Шеннон шекарасына асимптотикалық жақындауының өлшемі болып табылады. 3.1-кестеде қарастырылып отырған стандарттардан барлық кодтық конструкциялар үшін есептеу нәтижелері келтірілген [51].

3.1 – кестеде DVB-S2 және DVB-S2X стандарттарынан шуылға төзімді кодтар үшін берілген кодтау жылдамдығы үшін шекті декодтау тиімділігін декодтау шегі көрсеткішімен салыстыру көрсетілген

Кесте 3.1 – Берілген кодтау жылдамдығы үшін шекті декодтау тиімділігін DVB-S2 стандарттарынан шуылға төзімді кодтар үшін декодтау шегі көрсеткішімен салыстыру

Стандарт	Код сөзінің ұзындығы, n	Кодтау жылдамдығы, R	Берілген кодтау жылдамдығы үшін Шеннон шегі, $(E_b/N_0)_{lim}$	Декодтау шегі, $(E_b/N_0)_{thr}$	$\Delta=(E_b/N_0)_{thr}-(E_b/N_0)_{lim}$

3.1 – кестенің жалғасы

DVB-S2	64800	1/4	-0,794	0,404	1,198
		1/3	-0,495	0,3358	0,8308
		2/5	-0,238	0,3707	0,6087
		1/2	0,187	0,7527	0,5657
		3/5	0,679	1,1487	0,4697
		2/3	1,059	1,6247	0,5657
		3/4	1,626	2,0734	0,4474
		4/5	2,04	2,4194	0,3794
		5/6	2,362	2,7357	0,3737
		8/9	3,033	3,4814	0,4484
		9/10	3,1977	3,6336	0,4359
	16200	1/5	3,1977	3,6336	1,2671
		1/3	-0,963	0,3041	0,6998
		2/5	-0,495	0,2048	0,5315
		4/9	-0,238	0,2935	0,6071
		3/5	0,056	0,6631	0,3992
		2/3	0,679	1,0782	0,4903
		11/15	1,059	1,5493	0,5645
		7/9	1,503	2,0675	0,5591
		37/45	1,8474	2,4065	0,451
		8/9	2,25	2,701	0,375

Әрі қарай, DVB-S2X технологиясындағы мәндерді салыстыру және салыстыру қажет.

Мәндер берілген кодтау жылдамдығы үшін шекті декодтау тиімділігін шуға төзімді кодтар үшін декодтау шегі көрсеткішімен салыстыру 3.2 – кестеде келтірілген.

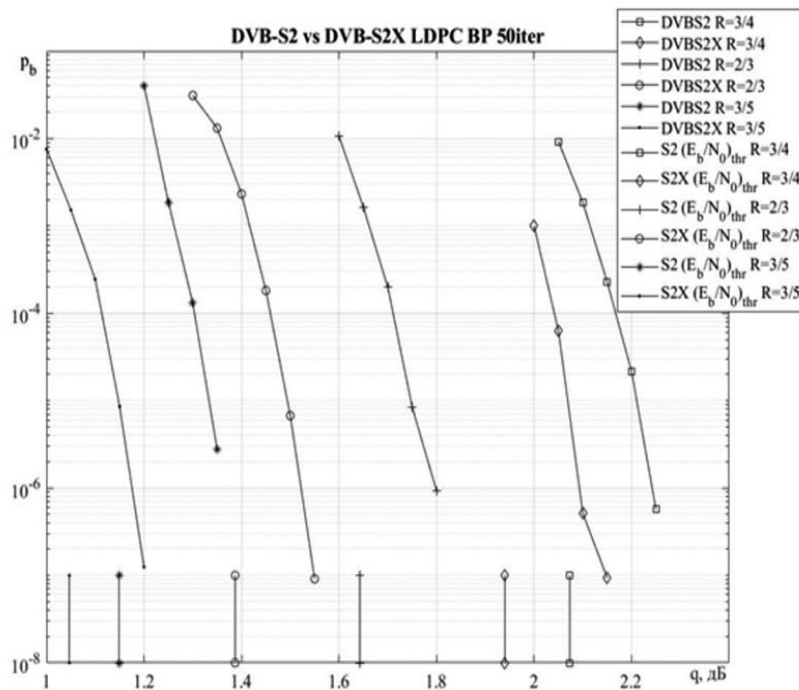
Кесте 3.2 – Берілген кодтау жылдамдығы үшін шекті декодтау тиімділігін DVB-S2X стандарттарынан шуылға төзімді кодтар үшін декодтау шегі көрсеткішімен салыстыру

DVB-S2X	64800	2/9	-0,889	1,1358	2,0248
		13/45	-0,657	0,2306	0,8876
		9/20	-0,0324	0,5023	0,5347
		11/20	0,423	0,839	0,416
		26/45	0,562	0,9633	0,4013
		28/45	0,8	1,2115	0,4115
		23/36	0,894	1,3425	0,4485
		25/36	1,235	1,5873	0,3523

3.2 – кестенің жалғасы

		13/18	1,423	1,7778	0,3548
		7/9	1,8474	2,1723	0,3249
		90/180	0,187	0,6569	0,4699
		96/180	0,342	0,7723	0,4303
		100/180	0,45	0,8782	0,4282
		104/180	0,562	0,9538	0,3918
		116/180	0,926	1,2825	0,3565
		124/180	1,199	1,5208	0,3218
		128/180	1,346	1,6646	0,3186
		132/180	1,5	1,8081	0,3081
		135/180	1,626	1,9403	0,3143
		140/180	1,847	2,135	0,288
		154/180	2,606	2,8565	0,2505
		18/30	0,678	1,0468	0,3688
		20/30	1,059	1,3869	0,3279
		22/30	1,5	1,7994	0,2994
	32400	1/5	-0,963	0,3295	1,2925
		11/45	-0,813	0,2552	1,0682
		1/3	-0,495	0,3099	0,8049

Спутниктік және ғарыштық байланыс стандарттары қолданылатын кодтық конструкциялардың ұзындығымен айтарлықтай ерекшеленеді, сондықтан модельдеу кезінде ПД мен ЭВК-ны дұрыс салыстыру үшін кодтау жылдамдығы бірдей DVB-S2(X) сипаттамаларынан тексеру матрицалары таңдалды. $R \geq 1/2$ кодтау жылдамдығы бар барлық кодтар үшін 3-кестедегі PD мәндерін өлшеу нәтижелерін талдау нәтижесінде сандық теледидардың жаңа буыны алдыңғы нұсқадан 0,03-тен 0,25 дБ-ге дейін асып түседі. Сонымен қатар, $R < 1/2$ үшін DVB-S2 стандартының кодтары DVB-S2X-тен гөрі артықшылықты болып табылады, дегенмен артықшылығы шамалы және ең жақсы жағдайда 0,1 дБ құрайды. 3.1 – суретте DVB-S2 және DVB-S2X спутниктік байланыс стандарттарынан LDPC коды үшін АБГШ байланыс арнасындағы сигнал-шу қатынасына биттік қателік ықтималдығының тәуелділігі көрсетілген.



3.1-сурет – DVB-S2 және DVB-S2X спутниктік байланыс стандарттарынан LDPC коды үшін АБГШ байланыс арнасындағы сигнал-шу қатынасына биттік қателік ықтималдығының тәуелділігі

3.3 Шуға төзімді LDPC және турбо код алгоритмдері бар сигналдарды модельдеу

Сигналдарды модельдеуге кіріспес бұрын, тапсырманы қай бағдарламада жүзеге асыруға болатындығын таңдау керек. Бұл жұмыс үшін GNU octave бағдарламасы таңдалды. Спутниктік байланыс жүйелерінде шуылға төзімді сигналдарды модельдеу үшін GNU Octave бағдарламасын таңдау бірнеше негізгі артықшылықтарға негізделген:

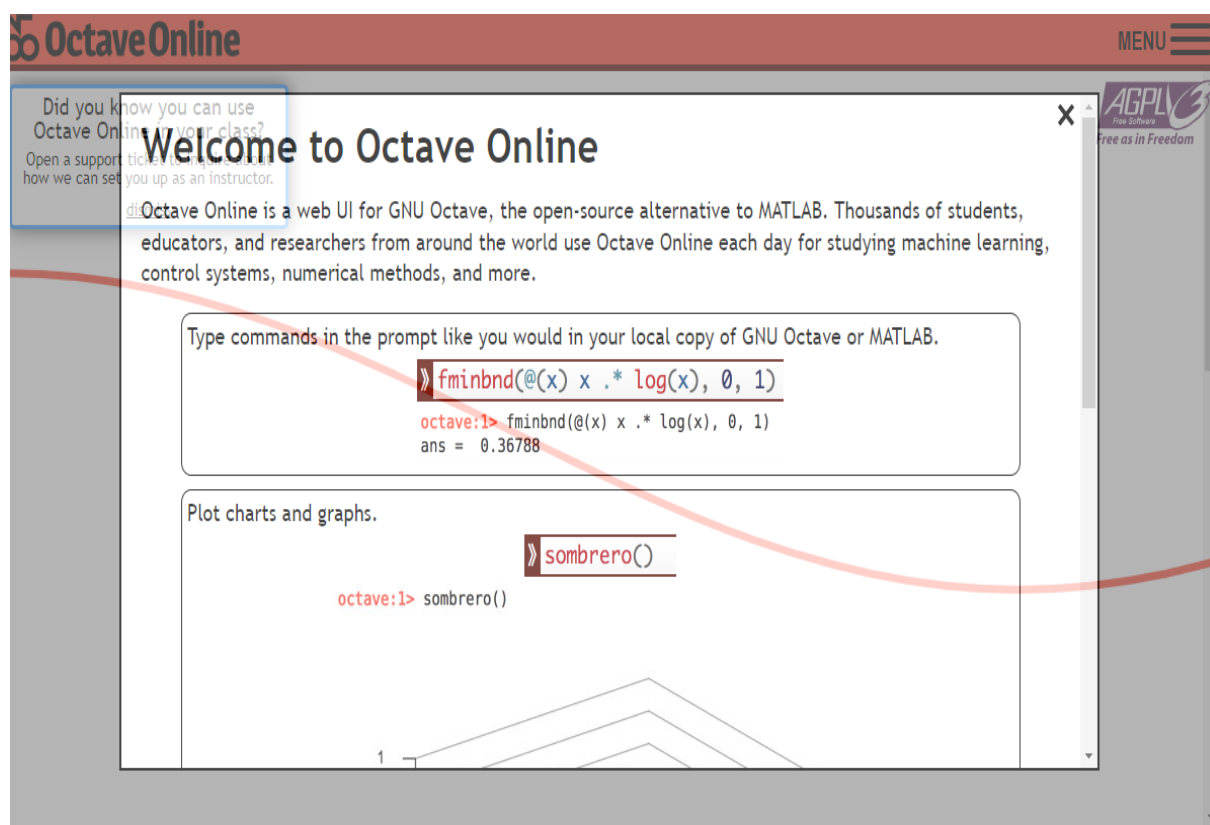
1) Ашық бағдарламалық жасақтама. GNU Octave-бұл matlab сияқты коммерциялық бағдарламалық жасақтамаға ақысыз және ашық балама. Бұл оны пайдалану және тарату үшін ақысыз қол жетімді дегенді білдіреді, бұл әсіресе студенттер, зерттеушілер және бюджетпен шектелуі мүмкін мамандар үшін өте маңызды;

2) Жоғары модельдеу мүмкіндіктері. GNU Octave сигналдарды модельдеу және талдау үшін кең функционалдылыққа ие. Ол сигналдармен жұмыс істеуге, деректерді талдауға және нәтижелерді визуализациялауға арналған көптеген құралдар мен функцияларды ұсынады;

3) Python және matlab үйлесімділігі: GNU Octave Python және matlab үйлесімділігін қамтамасыз етеді, яғни matlab үшін жасалған көптеген сценарийлер мен кодтар GNU Octave-те қолдануға оңай бейімделуі мүмкін. Бұл қолданыстағы математикалық модельдер мен құралдармен ауысуды және өзара әрекеттесуді жеңілдетеді;

4) Кең қауымдастық пен ресурстар.GNU Octave-ке белсенді пайдаланушылар мен әзірлеушілер қауымдастығы қолдау көрсетеді, бұл құжаттаманы, қолдау форумдарын және әртүрлі сценарийлер мен кеңейту пакеттерін қоса алғанда, кең ресурстарға қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Берілетін сигналдардың шуға төзімділігін бағалау мақсатында спутниктік жүйеге арналған байланыс арналарын модельдеу үшін. GNU Octave көмегімен әртүрлі Шу мен кедергі сипаттамалары бар арна үлгілерін жасауға, сондай-ақ әртүрлі қателерді түзету әдістерінің тиімділігіне талдау жасауға болады. Мысалы, аддитивті ақ Гаусс шуымен (AWGN) арнаны модельдеу және нақты байланыс арнасы жағдайында олардың өнімділігін бағалау үшін LDPC кодтарын декодтауды жүзеге асыру. Мұның бәрін GNU octave кітапханалары мен функциялары арқылы жүзеге асыруға болады, бұл спутниктік байланыс жүйелерінде шуылға төзімділікті талдаудың қуатты құралын ұсынады. 3.2 – суретте GNU octave онлайн нұсқасының бастапқы интерфейсі берілген.



3.2-сурет – GNU octave бағдарламасының бастапқы интерфейсі

Әрі қарай, пәрмен жолында 3.3 – суретте көрсетілген спутниктік арналарға жақын жағдайларда сигнал шығаруға арналған код беріледі.

```

octave
Копировать код

% Параметры сигнала
Fs = 1000;          % Частота дискретизации (Гц)
fc = 100;           % Частота несущей (Гц)
fm = 10;            % Частота модуляции (Гц)
t = 0:1/Fs:1;       % Временной вектор

% Генерация модулирующего сигнала (например, гармонический сигнал)
x = sin(2*pi*fm*t);

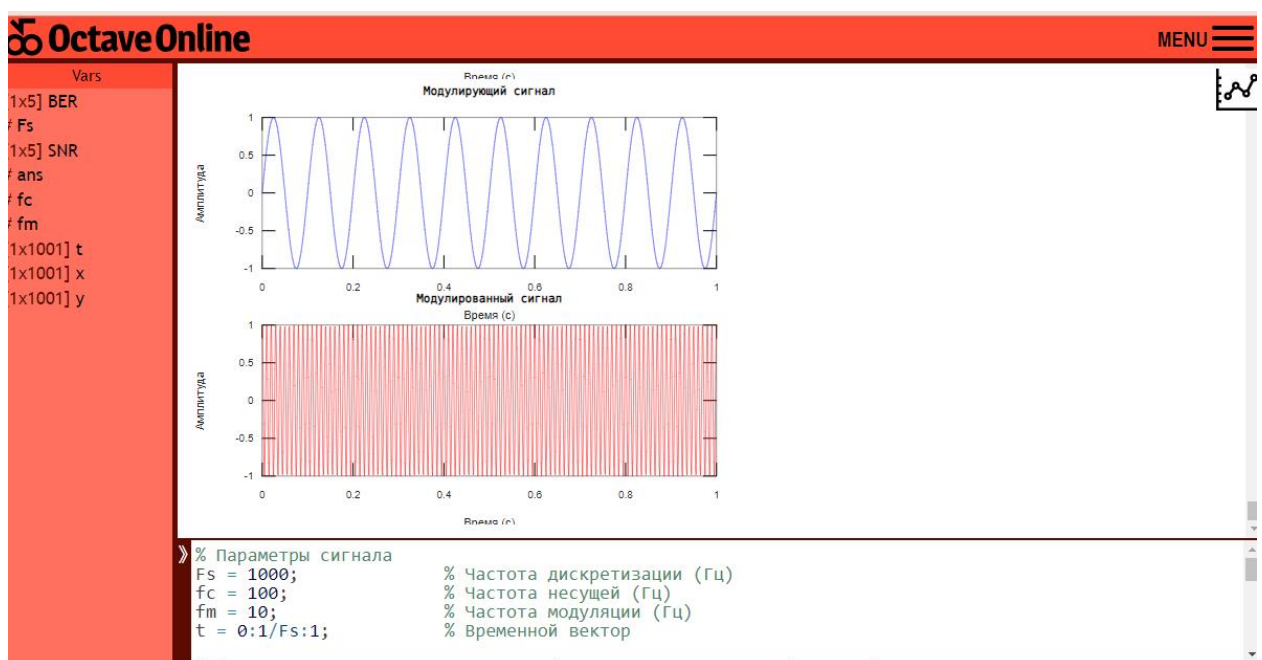
% Модуляция: FM модуляция
y = cos(2*pi*fc*t + cumsum(2*pi*x/Fs)); % Полосовая модуляция

% Отображение сигнала
figure;
subplot(2,1,1);
plot(t, x, 'b');
title('Модулирующий сигнал');
xlabel('Время (с)');
ylabel('Амплитуда');
subplot(2,1,2);
plot(t, y, 'r');
title('Модулированный сигнал');
xlabel('Время (с)');
ylabel('Амплитуда');

```

3.3-сурет – Шуға төзімді сигнал жасау үшін кодты ұсыну

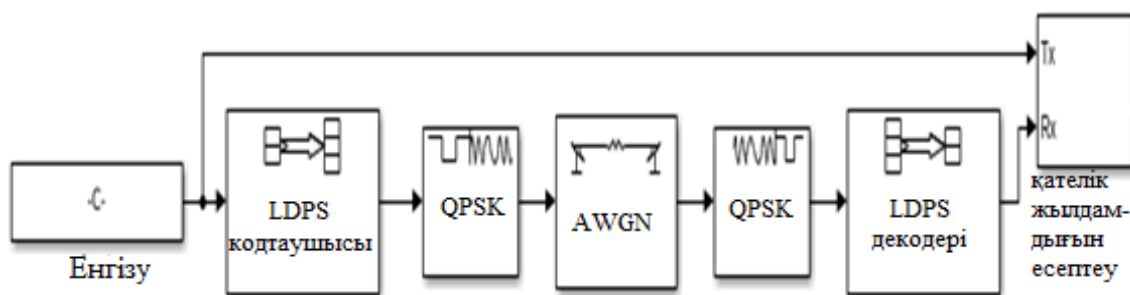
Осыдан кейін бұл код тиісті өріске енгізіліп, 3.4 – суретте көрсетілгендей құрастырылады.



3.4-сурет – Шығыс кодтаудың нәтижесі

LDPC кодтары код сөзінің өлшемі шексіздікке ұмтылған кезде әр түрлі арналарға жуықтайтын сыйымдылық кодтары ретінде жақсы танылады [2]. Бұл кодтар DVB-S2, IEEE 802.16 e, IEEE 802.11 n, DVB – T2 және басқа стандарттарда қолданылады және негізінен спутниктік байланыста, сымсыз желілерде, жергілікті желілерде, жердегі теледидарда қолданылады. LDPC-де кодтау кодтық сөздерді тексеру матрицасына көбейту және векторларды алу арқылы жүзеге асырылады. Кодер іске асырылған кезде оны тексеру матрицасының өзі сақтай алады (мысалы, қысқа кодтар үшін).

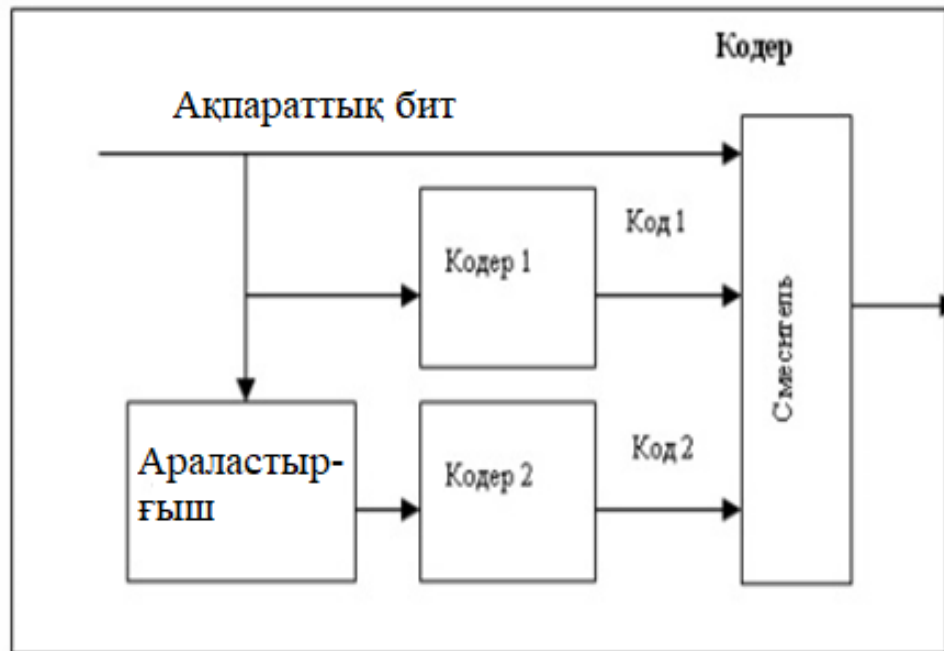
LDPC кодталған, QPSK модуляцияланған сигналды AWGN арнасы арқылы берудің құрылымдық схемасы (аддитивті ақ Гаусс шуы) 3.5 – суретте көрсетілген.



3.5-сурет – LDPC кодтауымен сигнал берудің құрылымдық схемасы

Турбо кодтары DVB-S2, IEEE 802.16, WiMAX және басқаларында қолданылады, сонымен қатар олардың қолдану аясы: алыс ғарыштық байланыс, спутниктік байланыс, жердегі теледидар, сымсыз желілер. Турбо кодының жұмыс принципі келесідей. Таратқышта кодер ақпараттық хабарламаға тексеру таңбалары түрінде артықшылық енгізеді. Қабылдағышта демодулятор қабылданған сигналды берілген деректердің бағасын білдіретін сандар тізбегіне түрлендіреді метрика. Көрсеткіштер кодер енгізген артықшылықты пайдаланып, жіберілген кезде пайда болатын қателерді түзететін декодерге түседі.

3.6 – суретте турбокодердің құрылымдық схемасы көрсетілген



3.6-сурет – Турбокодердің құрылымдық схемасы

Тақтықты тексеру үшін кодтау матрицасы $(N-K)$ жолдан және N бағаннан тұрады, мұндағы N – кодтық сөздің қажетті ұзындығына, ал K – хабардың ұзындығына сәйкес келеді:

$$H_{(N-K) \times N} = [P_{(N-K) \times K}^T \quad I_{(N-K) \times (N-K)}], \quad (3.2)$$

Түйіндердің екі түрі бар: саны K бағандарының санына сәйкес келетін айнымалы түйіндер (айнымалы түйіндер) және жолдар санына сәйкес келетін тексеру түйіндері $(N - K)$. Түйіндер өзара байланысты және байланыс H матрицасындағы бірліктердің орналасуымен анықталады.

Декодтау процедурасын сәтті деп санау үшін барлық тексеру түйіндерінде белгілі бір мәндер пайда болуы керек –әдетте нөлдер

$$S = H, x = 0, \quad (3.3)$$

Әрі қарай, H матрицасы жасалады (3.7 – сурет).

```
import numpy as np

H = np.array([[1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0],\
              [0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0],\
              [0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1],\
              [1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0],\
              [0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1]])
```

3.7-сурет – GNU Octave бағдарламалық кешенінде H матрицасын құру

Одан 2-Модуль бойынша жолдарды жылжыту және түрлендіру, сондай-ақ бағандарды жылжыту арқылы Hstd матрицасына көшу жүреді (3.8 – сурет):

```
Hstd = np.array([[0, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0],\
                 [1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0],\
                 [1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0],\
                 [0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0],\
                 [1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1]])
```

3.8-сурет – GNU octave бағдарламалық кешенінде Hstd матрицасын құру

Сызықтық алгебра тұрғысынан жолдармен түрлендірулер код сөзіне әсер етпейді, бірақ бағандардың қозғалысы бекітілуі керек (3.9 – сурет):

```
idx = [5, 6, 7, 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4]
```

3.9-сурет – Бағандарды түрлендіру

Код сөзіне әсер етпейтін сызықтық алгебра тұрғысынан жолдармен түрлендірілгеннен кейін, содан кейін бағандардың қозғалысы бекітіліп, генеративті матрицаны құруы керек.

Әрі қарай 3.10 – суретте көрсетілген генеративті матрица қалыптасады.

```

M = np.shape(H)[0] # N-K
N = np.shape(H)[1]
K = N - M

G = np.concatenate([np.eye(K), ((-1)*Hstd[:, :K].T %2)], axis=1)
print("Generator matrix:\n"+str(G))

>>> Generator matrix:
[[1. 0. 0. 0. 0. 0. 1. 1. 0. 1.]
 [0. 1. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 1.]
 [0. 0. 1. 0. 0. 1. 1. 1. 1. 0.]
 [0. 0. 0. 1. 0. 1. 0. 0. 1. 0.]
 [0. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 1. 1. 1.]]

```

3.10-сурет – LDPC кодтау үшін генеративті матрица

Осы процедуранан кейін шартты құпия сөзі жасалады (3.11 – сурет):

```

c = np.array([1, 0, 1, 0, 1]) @ G %2
print(str(c))

>>> array([1., 0., 1., 0., 1., 1., 0., 1., 0., 0.])

```

3.11-сурет – Құпия сөзін құру

Біз синдромды тексереміз (яғни біз сөзді H-ден алынған матрицамен кодтадық, ал декодтау процесінде сирек кездесетін hstd матрицасы қолданылады) (3.12 – сурет):

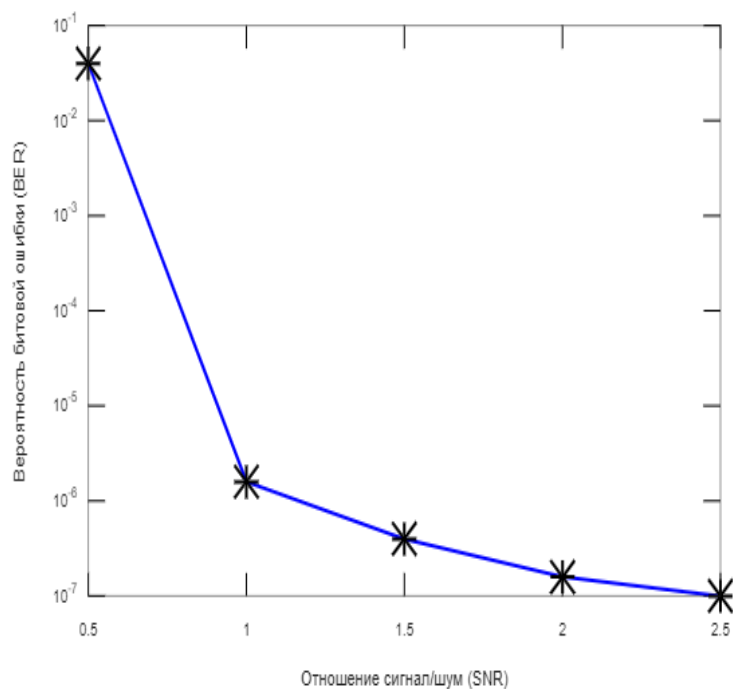
```
c[idx] @ H.T %2  
  
>>> array([0, 0, 0, 0, 0])
```

3.12-сурет – Синдромды тексеру

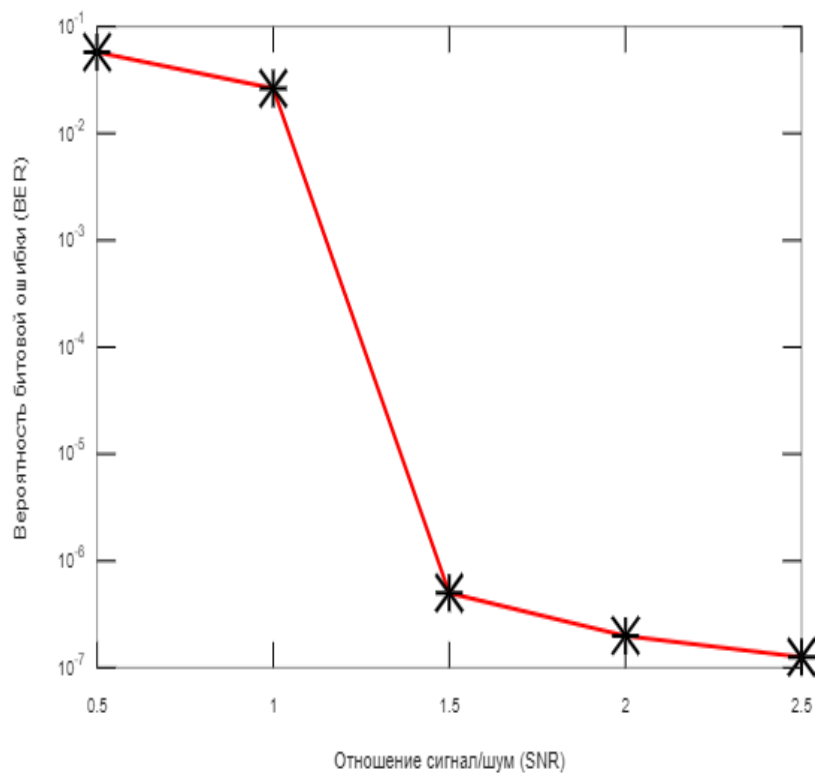
Әрі қарай, GNU Octave бағдарламасында көрсетілген модельге сәйкес, спутниктік сигнал аддитивті ақ Гаусс шуын қосып, нақты спутниктік сигналдарда пайда болатын кедергілерді имитациялайды. Сигналды кодтау және декодтау тиімділігін бағалау сигнал/шу қатынасы параметрлері бойынша жүзеге асырылады.

LDPC және турбо кодтарында қайталанатын декодтау алгоритмі өзекті. Алгоритмнің мәні-нәтижеге қол жеткізілгенге дейін (немесе процесс тоқтатылғанға дейін) айнымалылар мен тексеру түйіндері арасындағы ауысу).

LDPC кодтарын декодтау үшін әдетте sum-product сорттары қолданылады-графикалық ықтималдық модельдерінде және min-sum - "минималды қосынды" алгоритмін шығару үшін қолданылатын екі бағытты графикалық хабарлама жіберу арқылы сенімді тарату алгоритмі, алгоритмнің негізгі идеясы-айнымалы түйіндер мен тексеру түйіндері арасындағы хабарламалардың ықтималдығын есептеу және жаңарту, алгоритм негізделген ықтималдықты максимизациялау және биттік айнымалылар үшін оңтайлы мәндерді іздеу принципі бойынша 4 . Бұл әдістердің жұмысы код графигінің биттік және тексеру түйіндері арасындағы жұмсақ шешімдердің итеративті алмасуына негізделген. Кодты (тексеру матрицасын) дұрыс таңдау арқылы оңтайлы нәтижелерге қол жеткізуге болады. Хабарламаның екі бағытты берілуімен сенімді тарату алгоритмі құрылыс нәтижесінде 3.13,3.14 – суреттерде көрсетілген іске асырудың күрделілігі аз болған кезде жеткілікті жақсы мәндерді алуға мүмкіндік берді.



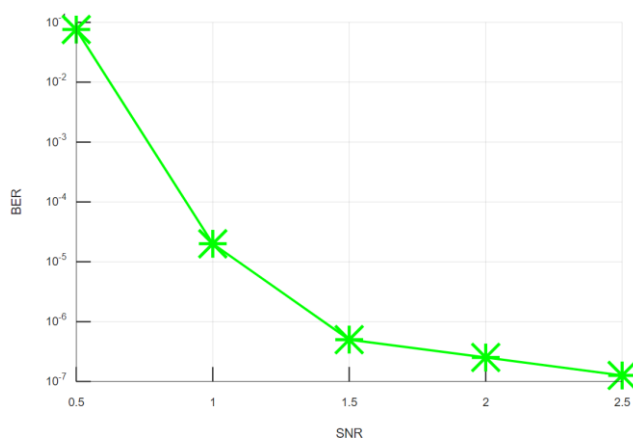
3.13-сурет – LDPC декодтау әдістерінің тиімділігі екі бағытты хабарлама жіберу арқылы сенімді тарату алгоритмі және бірінші мән үшін минималды қосынды алгоритмі



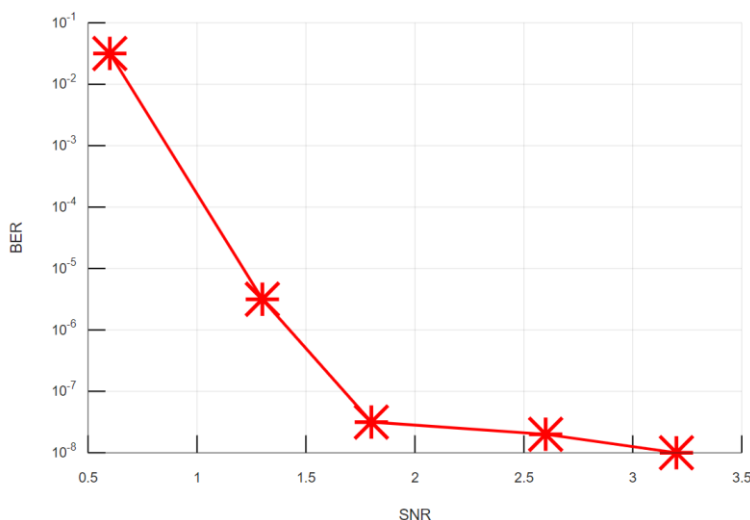
3.14-сурет – LDPC декодтау тиімділігі екі бағытты хабарлама жіберу және минималды қосынды алгоритмі арқылы сенімді тарату алгоритмінің әдістерімен

Беру кезінде кодталған сигналдың негізгі бағаланатын параметрлерінің бірі-сигнал/шу қатынасы (SNR). Сигнал/шу неғұрлым төмен болса, сигналда қателіктердің пайда болу ықтималдығы соғұрлым жоғары болады. Төмен SNR сигналдың шуылда жоғалатынын және қабылдау кезінде қате түсіндірілуі мүмкін екенін білдіреді. Биттік қатенің ықтималдығы неғұрлым аз болса, соғұрлым аз шығынмен декодтау тиімдірек болады [52].

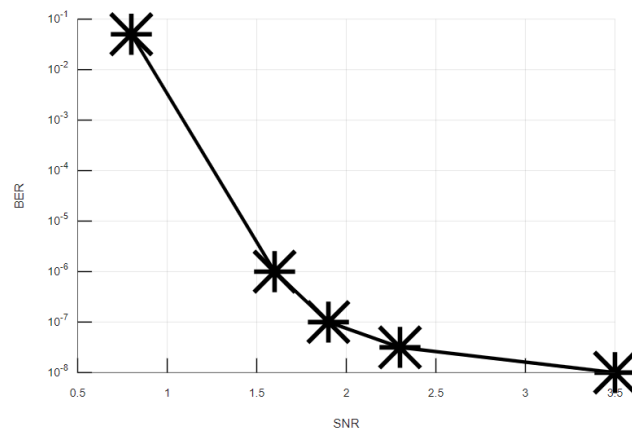
Турбо кодтары Витерби алгоритмі бойынша декодталған-бұрын алынған нәтижелерге негізделген бастапқы деректердің ең ықтимал реттілігін табуға негізделген итерациялық алгоритм. Декодтау тиімділігі сигнал/шу көрсеткіштері және биттік қателік ықтималдығы бойынша бағаланады 7-қате ықтималдығы неғұрлым төмен болса және сигнал / шу мәні неғұрлым жоғары болса, 3.15 – 3.25 суреттерінде модельдеу нәтижесінде ұсынылған көрсеткіштер соғұрлым жақсы болады.



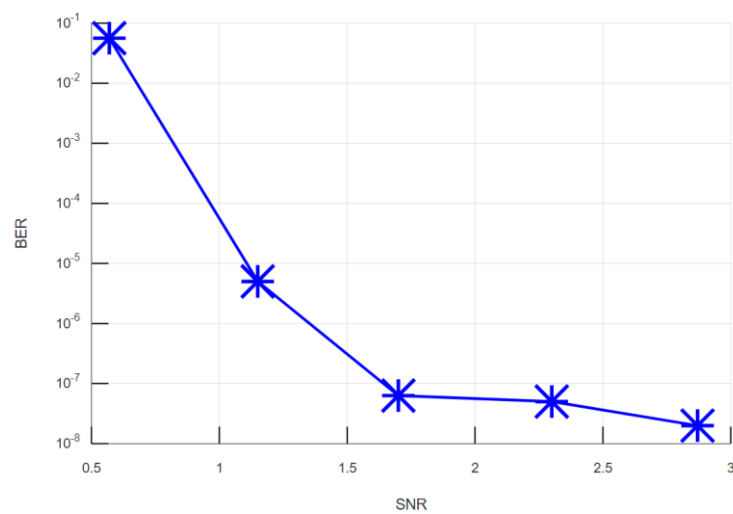
3.15-сурет – Бірінші мәннің бір итерациясы үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



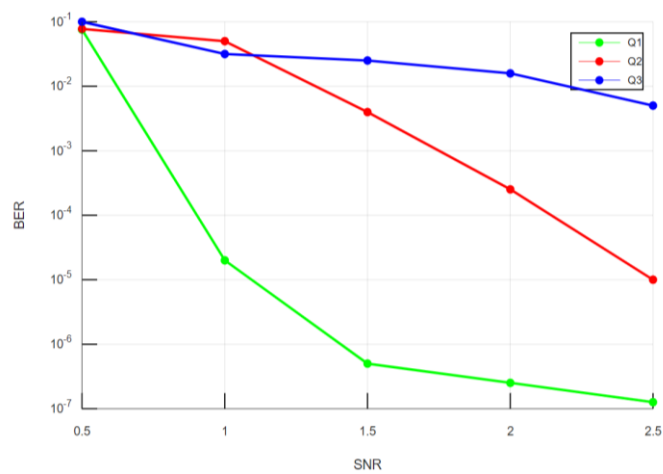
3.16-сурет – Екінші мәннің бір итерациясы үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



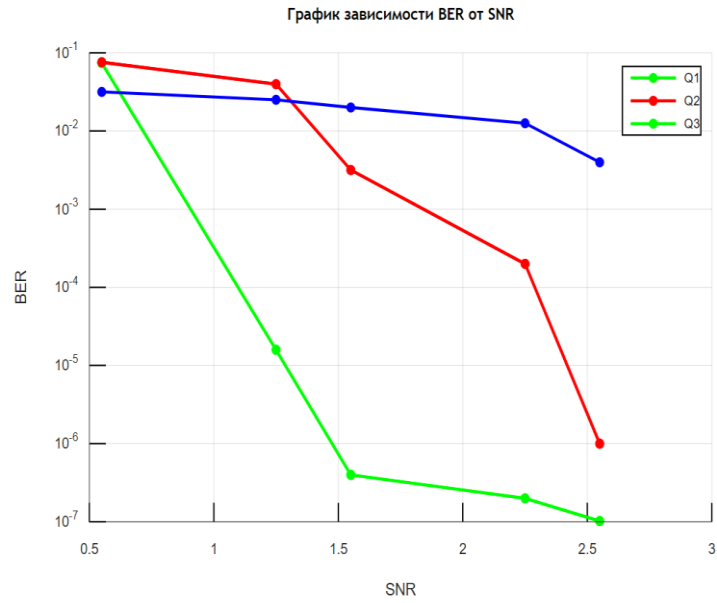
3.17-сурет – Үшінші мән үшін бір Итерация үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



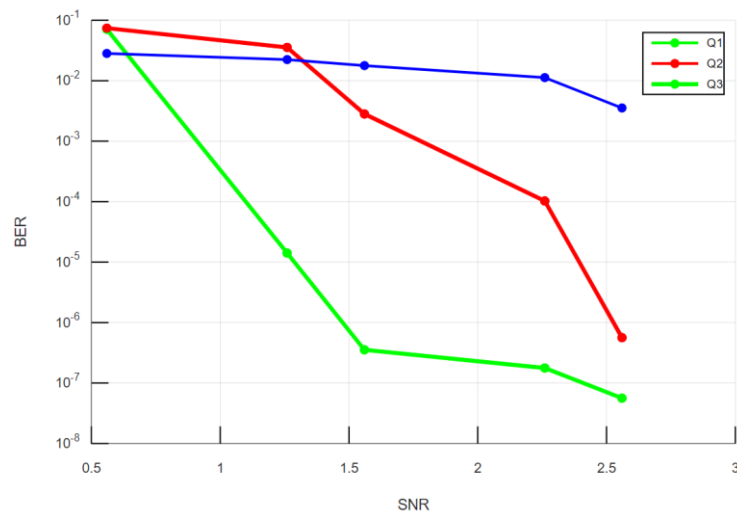
3.18-сурет – Төртінші мән үшін бір Итерация үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



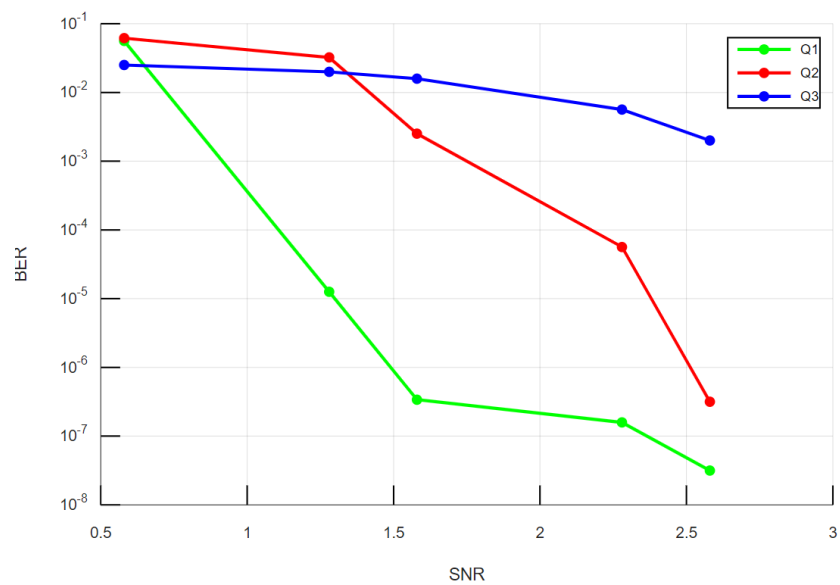
3.19-сурет – Бірінші мәннің үш қайталануы үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



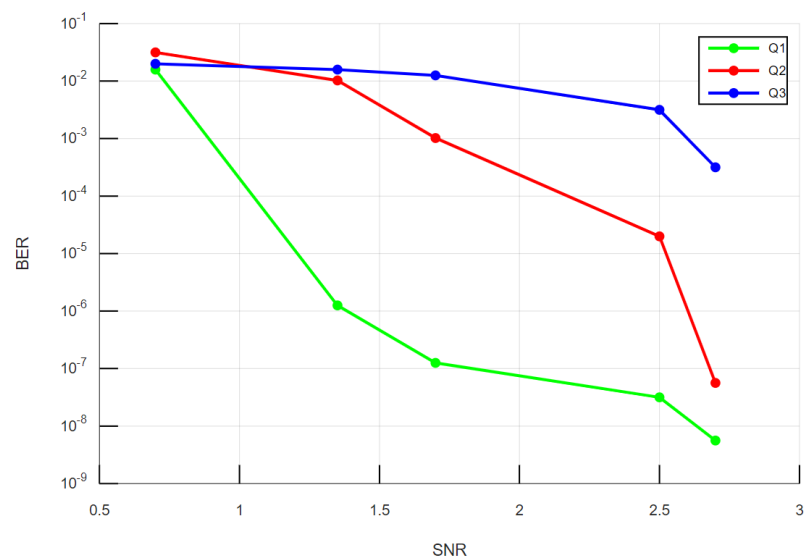
3.20-сурет – Екінші мәннің үш қайталануы үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



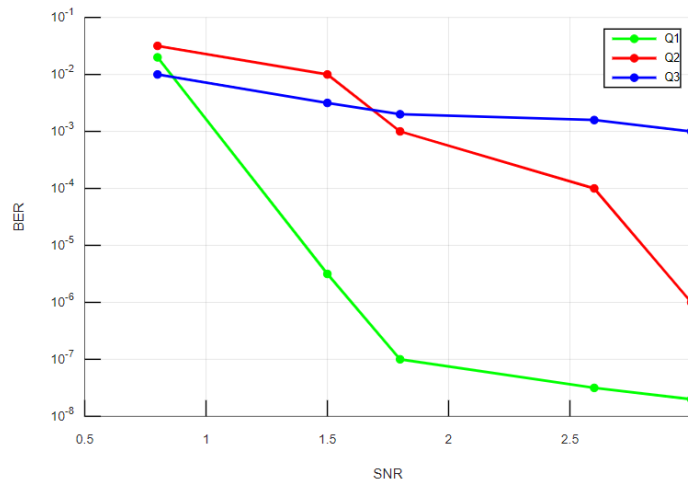
3.21-сурет – Үшінші мән үшін үш Итерация үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



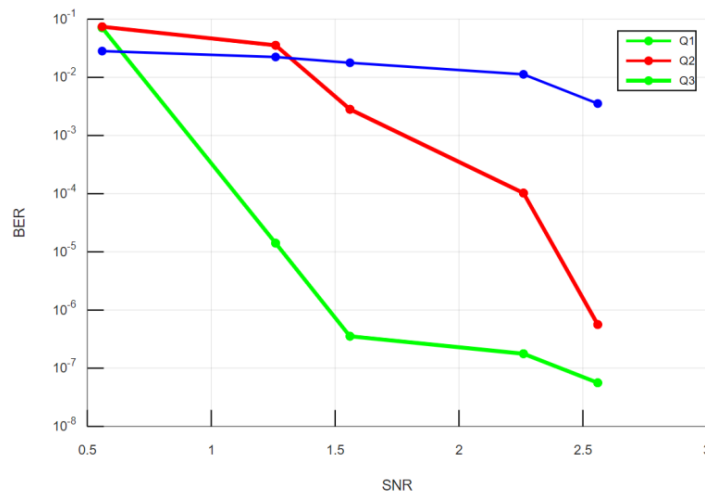
3.22-сурет – Төртінші мән үшін үш Итерация үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



3.23-сурет – Бесінші мәннің үш қайталануы үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



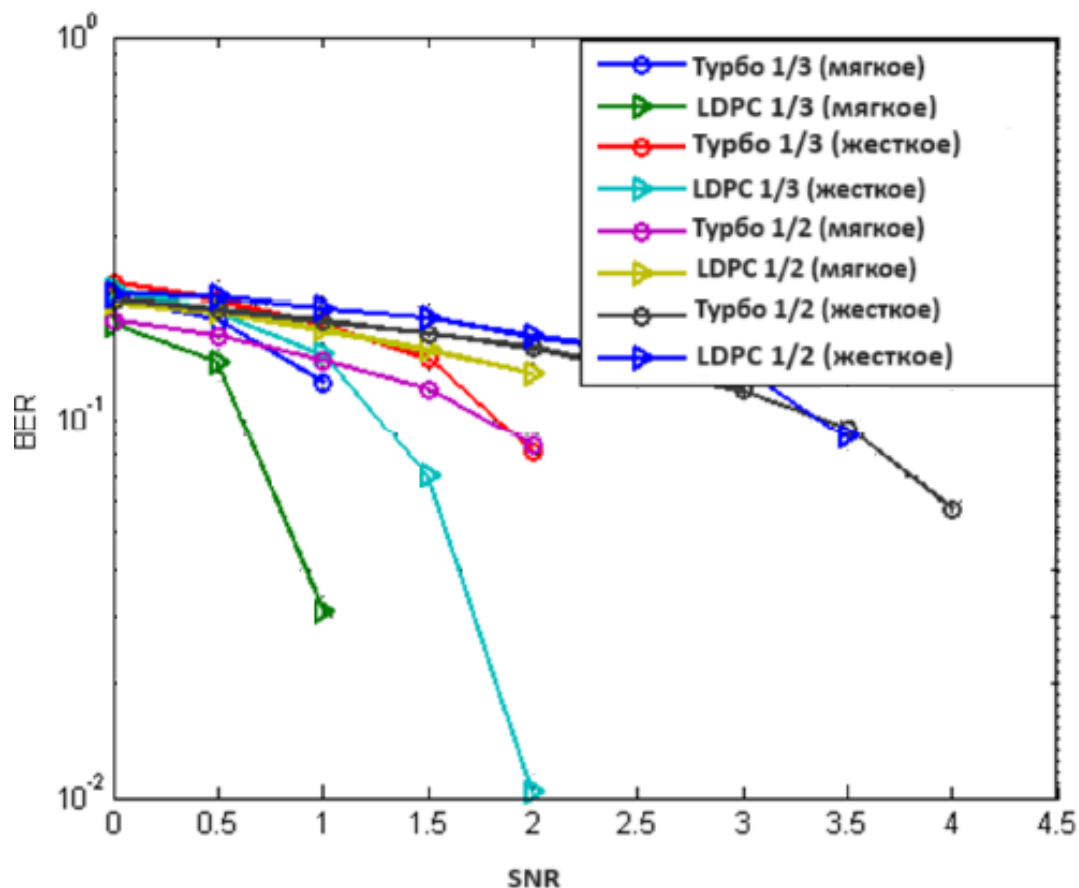
3.24-сурет – Алтыншы мәннің үш қайталануы үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі



3.25-сурет – Жетінші мәннің үш қайталануы үшін Витерби алгоритмінің турбо декодтау тиімділігі

Турбо кодтар кодтаудың төмен күрделілігіне, бір және үш Итерация мысалында декодтаудың жоғары күрделілігіне бейімділікті көрсетеді, LDPC кодтарында кодтаудың күрделілігі артты, бірақ сонымен бірге декодтау процесі жеңілдетілді. LDPC кодтары, турбо кодтар сияқты, қайталанатын декодтау әдістерін қолданады, алайда декодтауды параллель жүргізуге болады, бұл декодердің күрделілігін жеңілдетеді және оның өнімділігін арттырады.

Әрі қарай өткізу қабілеттілігін талдау жасалады. Модельдеу спутниктік байланыс арналарында болатын кедергілерді ескере отырып, QPSK квадратуралық фазалық модуляцияланған спутниктік жүйе үшін жүргізілді. Байланыс арнасы ретінде жұмсақ ($K = 4$) және қатты көлеңкеленген ($K = 0,6$) жағдайларға арналған мұздату моделі қарастырылды. Модельдеу нәтижелері 3.26-суреттегі графикте келтірілген.



3.26-сурет – Турбокодтар мен LDPC кодтары үшін биттік қателіктердің ықтималдығы (код жылдамдығы 1/2 және 1/3)

Шуға төзімділікті бағалаудағы негізгі фокус қателік ықтималдығының шуға төзімділікті талдауда жиі қолданылатын сигнал-шу қатынасына (SNR) тәуелділігі болып табылады.

Осылайша, бұл тарауда байланыс жүйелеріндегі код құрылымдарының шуға төзімділігін бағалаудың әртүрлі тәсілдері ұсынылды. GNU octave бағдарламалық ортасында аддитивті ақ Гаусс шуы қосылған спутниктік жүйелерге жақын жағдайларда сигналдар жасалады. Сигналдар модельденеді және LDPC және турбокодтау кезінде SNR қателік ықтималдығының графиктері жасалады.

Турбокодтағы қателік ықтималдығының орташа мәні 10-0,6 (0,251189) болды LDPC-де -10-0.8 (0,158489), $0,251189 > 0,158489$ [53].

Тиісінше, қорытындылай келе, биттік қате ықтималдығын есептеу нәтижелері LDPC кодтарының артықтығы аз болған кезде турбокодтармен салыстырғанда қате ықтималдығы мен сигнал/шу қатынасы параметрлері бойынша ең оңтайлы шуға төзімділігі мен өткізу қабілеттілігіне ие екенін көрсетті. Одан да көп энергия ұтысының теориялық мүмкіндігін ескере отырып 6, екілік емес LDPC кодтарын қолдану осы параметрлерді жақсартуға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Орындалған жұмыс нәтижелері бойынша спутниктік жүйелердегі сигналдардың шуға төзімділігін арттырудың әртүрлі әдістері қарастырылды. Қолдану түрі мен тиімділігі бойынша жіктелген өзекті және қолайлы әдістер таңдалды.

Шуға төзімділікті арттыру әдістемесін зерттеу белгілі бір әдістерді қолдану кезінде жүйеде қандай процестер жүретінін түсінуге мүмкіндік берді. Бұл жүйенің жұмысын оңтайландыруға және оның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, спутниктік жүйелердегі сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін зерттеу жүйенің жұмысын оңтайландыруға және деректердің сенімді берілуін қамтамасыз етуге және жіберілетін сигналдың сапасын арттыратын шығындарды азайтуға мүмкіндік беретін өзекті міндет болып табылады.

Кодтарды салыстыра отырып, бөлуге болады: ең жақсы өткізу қабілеттілігі TPC және LDPC турбокодтарын көрсетеді кодтар, бұл олардың көптеген байланыс стандарттарында кеңінен қолданылуына әкеледі;

Итерациялар саны бойынша аз шығын BCH және Рид-Соломон кодтары сияқты кодтар болып табылады, бірақ олардың өткізу қабілеті жеткіліксіз;

Өткізу қабілеттілігінің ең жақсы көрсеткіштері қайталанатын-жинақталатын кодтарды және олардың жаңартылған нұсқасын көрсетеді, бірақ күрделі құрылымға ие.

Тәуелділік схемалары құрылды және берілген критерийлерге сәйкес сигналды кодтау тиімділігінің нәтижелерін бағалауды көрсететін кодты құрудың математикалық алгоритмі шығарылды.

Ғарыштық спутниктік байланыста жиі қолданылатын екі кодтың салыстырмалы талдауы аз уақытты қажет ететін декодтау алгоритміне байланысты LDPC кодтарын таңдауға мүмкіндік берді, бұл турбо кодтарға қарағанда жақсы өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді. Тиісінше, LDPC кодтары спутниктік ғарыштық байланыста жақсырақ қолданылады.

Қойылған міндеттердің нәтижелері бойынша жүргізілген зерттеуде сигналдардың шуға төзімділігінің қолданыстағы әдістері қарастырылып, талданды, бұл осы мәселеге заманауи тәсілдер туралы толық түсінік алуға мүмкіндік берді. Қолдану түрі мен тиімділігіне қарай жіктелген өзекті және қолайлы әдістер таңдалды.

Спутниктік байланыстағы сигналдардың шуға төзімділік әдістеріне шолу жасалды, бұл спутниктік жүйелер саласында қолдану контекстінде осы әдістердің ерекшеліктері мен артықшылықтарын анықтауға мүмкіндік берді.

Шуға төзімді LDPC және турбо кодтарын салыстырмалы талдау олардың спутниктік байланыстың әртүрлі жағдайларында тиімділігі мен қолданылуын бағалауға мүмкіндік берді және аз уақытты қажет ететін декодтау алгоритміне байланысты LDPC кодтарын таңдауға мүмкіндік берді, бұл турбо кодтарға қарағанда жақсы өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етеді.

LDPC кезінде сигналдарды генерациялау және модельдеу және спутниктік жүйелерге жақын әртүрлі жағдайларда турбокодтау LDPC болып табылатын кодтау әдісінің осы саласында оңтайлы және әмбебап қолдану бойынша ұсыныстарды анықтауға мүмкіндік берді. Бұл кодтауды спутниктік байланыс сигналдарында қолдану ресурстарды үнемдейді, экономикалық тұрғыдан аз еңбекті қажет етеді, өйткені ол үлкен бағдарламалық-техникалық кешендерді орнатуды және конфигурациялауды қажет етпейді, сонымен бірге жоғары өткізу қабілеттілігін, сенімділігін қамтамасыз етеді және спутниктік байланыс саласындағы басқа кодтармен салыстырғанда сигнал/шум қатынасының жақсы көрсеткіштерін көрсетеді.

Алынған зерттеу нәтижелері тиімдірек байланыс жүйелерін әзірлеуге және спутниктік коммуникациялардың жалпы тұрақтылығын арттыруға пайдалы болуы мүмкін.

ТЕРМИНДЕР ТІЗІМІ

AWGN – Қосымша АҚ Гаусс шуы

BCH – Боуз – Чоудхури – Хоквингем кодтары

BPSK – Екілік фазалық ауысу пернесі

CRC – Циклдік артық код

DVB-S2 – Сандық спутниктік хабар таратудың екінші буыны

DVB-T2 – Екінші буын эфирлік цифрлық теледидардың еуропалық стандарты

EFR – GSM кең жолақты сандық дауыстық кодтау алгоритмі

FMN – Квадратуралық фазалық манипуляция

КЖС – Кең жолақты сигналдарды

LDPC – Тығыздығы төмен паритетті тексеру коды

LCP – Қосылымды басқару хаттамасы

MIMO – Бірнеше кіріс және бірнеше шығыс

QPSK – Квадратуралық фазалық манипуляция

SNR – Сигнал/шу қатынасы

СИҚ – Сигнал-шу қатынасы

WiMAX – Микротолқынды пешке қол жеткізу үшін бүкіл әлем бойынша өзара әрекеттесу

WDM – Толқын ұзындығы бойынша бөлінген мультиплекстеу

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Николашин Ю.Л. и др. Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолиний Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2014. – Т. 6. – №. 1. – С. 30-37.
- 2 Глушков А.В., Rogozin С.А. Помехоустойчивость и защита информации в радиотехнических системах. Москва: Радиотехника, 2015. 256с.
- 3 Михайлова О. П. Метод Шеннона-Фано как способ эффективного кодирования информации Интеграция наук. – 2016. – №. 3. – С. 39-40.
- 4 Добычин Р. С., Петров А. Р. Сравнительный анализ работы алгоритмов Шеннона-Фано и Хаффмана Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. – 2016. – С. 12-14.
- 5 Степанов В.А., Лукьянов А.В., Журавлев В.Н. Помехоустойчивость систем связи: учебное пособие для студентов вузов. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 224 с.
- 6 Шу Лин, Даниел Костелло. Error Control Coding 2nd ed. – Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 2004. – 760 p.
- 7 Санников В. Г. Помехоустойчивость системы передачи оптимальных финитных сигналов по телефонному каналу связи Электросвязь. – 2013. – №. 5. – С. 39-44.
- 8 Довбня В. Г., Азиатцев В. Е., Михайлов С. Н. Помехоустойчивость радиоприемных систем цифровых линий связи. – 2017.
- 9 Ашимов Н. М. и др. Помехоустойчивость и помехозащищенность радиолиний управления, работающих с фазоманипулированными широкополосными сигналами Электромагнитные волны и электронные системы. – 2021. – Т. 26. – №. 2. – С. 36-43.
- 10 Куликов Г. В., Нестеров А. В., Лелюх А. А. Помехоустойчивость приема сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией в присутствии гармонической помехи Журнал радиоэлектроники. – 2018. – №. 11. – С. 2-2.
- 11 Ефанов Д. В., Блюдов А. А. Коды Хэмминга и их обнаруживающие способности в схемах функционального контроля Информатика и системы управления. – 2012. – №. 2. – С. 100-111.
- 12 Буханько А. Н., Безрук В. М., Дуравкин Е. В. Алгоритмы управления каналами связи интеллектуального агента участка сети. – 2019.
- 13 Бойко С. Н. Антенна Фабри-Перо высокого усиления Антенны. – 2012. – №. 8. – С. 46-50.
- 14 Бакулин М. Г., Варукина Л. А., Крейнделин В. Б. Технология МІМО: принципы и алгоритмы. – 2014.
- 15 Панкратов Д. Ю., Сердюков А. А. Моделирование системы МІМО в режиме Beamforming DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 12-21.
- 16 Везенов В. И. и др. Способ передачи информации по каналам связи в реальном времени и система для его осуществления. – 2015.

17 Никитин В. Н., Ковцур М. М., Юркин Д. В. Повышение защиты протоколов распределения ключей от атак вторжения в середину канала связи Информационно-управляющие системы. – 2014. – №. 1 (68). – С. 70-75.

18 Алешин М. Г., Дьяконов С. В., Сивов А. Ю. Обоснование основных характеристик антенной системы и параметров управления мощностью передатчика ретранслятора связи на беспилотном летательном аппарате Журнал радиоэлектроники. – 2017. – №. 12. – С. 4-4.

19 Хеллгрен ф., Геверт б. Энергоэффективное управление мощностью передатчика. – 2018.

20 Герасименко В. Г., Тупота В. И., Тупота А. В. Способ передачи дискретной информации в радиолинии спсевдослучайной перестройкой рабочей частоты. – 2016.

21 Макаренко С. И., Иванов М.С., Попов С. А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. – 2013.

22 Анжина В. А. и др. Способ формирования помехоустойчивых сигналов. – 2015.

23 Уфимцева В. Б. Генератор псевдослучайных чисел на основе чисел фибоначчи для формирования широтно импульсной модуляции Коммунальное хозяйство городов. – 2012. – №. 49. – С. 174-178.

24 Северин Н. В., Северин М. В. Методы автоматической коррекции ошибок адресации. – 2016.

25 Башкиров А. В., Остроумов И. В., Свиридова И. В. Основы помехоустойчивого кодирования, основные преимущества и недостатки алгоритмов декодирования. Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2022. – Т. 8. – №. 2. – С. 20-22.

26 Веерпалу В.Э.и др. Инновационные методы регулирования использования радиочастотного спектра Электросвязь. – 2014. – №. 10. – С. 17-21.

27 Легков К. Е. Сравнительная характеристика различных протоколов управления Наукоемкие технологии в космических исследованиях земли. – 2015. – Т. 2. – №. 1. – С. 27-31.

28 Лихачев А. М. и др. Устройство адаптивного управления мощностью передатчика. – 2013.

29 Козленко Н. И. и др. Способ передачи дискретной информации в радиолинии со скачкообразным изменением несущей частоты. – 2016.

30 Северин Н. В., Северин М. В. Методы автоматической коррекции ошибок адресации. – 2016.

31 Гельфман Э. Г., Пенская Ю. К., Цымбал С. Н. Учет различных способов кодирования информации как условие организации обогащающего повторения Научно-педагогическое обозрение. Pedagogical review. – 2018. – №. 4 (22). – С. 27-38.

32 Бурлаков С. О. и др. Анализ методов помехоустойчивого кодирования в радиолиниях спутниковой связи Инновации. Наука. Образование. – 2020. – №. 19. – С. 531-537.

33 Петров А. А. Протокол передачи данных для UART Достижения науки и образования. – 2016. – №. 1 (2). – С. 9-10.

34 Солтанов А. Г. Схемы декодирования и оценка эффективности LDPC-кодов. Применение, преимущества и перспективы развития Безопасность информационных технологий. – 2017. – Т. 17. – №. 2. – С. 61-67.

35 Овинников А. А. и др. Анализ свойств проверочных матриц LDPC кодов, предназначенных для спутниковой и космической связи.

36 Корякина М. А., Трофимов Д. В. КОД ХЭММИНГА Сборник лучших докладов студенческой научно-технической конференции МГТУ ГА, посвященной 50-летию университета. – 2021. – С. 134-136.

37 Кузьмин О. В., Дружинин В. И. Коды Боуза–Чоудхури–Хоквингема в системах обнаружения и исправления ошибок при передаче данных Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – №. 3 (39). – С. 23-29.

38 Киреев И. С., Уланский М. Г. Программная реализация корректирующего кодирования на основе алгоритма боуза-чоудхури-хоквингема Радиолокация, навигация, связь. – 2019. – С. 402-412.

39 Патрушев Н. А., Сай И. С. Анализ эффективности кодов боуза-чоудхури-хоквингема в системах передачи цифровых изображений Информационные технологии XXI века. – 2017. – С. 45-51.

40 Рахман П. А., Григорьева Т. В. Кодирование информации с применением кодов Рида-Соломона Уфа: Изд-во УГНТУ. – 2018.

41 Стариков Т. В. и др. Модель контроля целостности данных на основе правил построения кода Рида-Соломона Автоматизация процессов управления. – 2022. – №. 1. – С. 67.

42 Графов О. Б., Егоров С. И. Мягкое декодирование популярных кодов Рида-Соломона DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2013. – Т. 2. – №. 1. – С. 46-49.

43 Снедков С. М. Помехоустойчивость каналов спутниковой связи с турбо кодированием при воздействии импульсных помех Двойные технологии. – 2015. – №. 2. – С. 38-42.

44 Груздев А.С., Артемова А.В., Ерилов Н.А.Помехоустойчивое кодирование циклическим кодом Информационные технологии в науке и производстве. – 2022. – С. 56-61.

45 Дяченко О. Н., Зинченко Ю. Е., Дяченко В. О. Исследование эффективности компактного тестирования на основе методов циклического кодирования Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2017). – 2017. – С. 313-319.

46 Волостных Г. А. Неравномерная защита данных на основе сверточных кодов. – 2016.

47 Костюков А. С. и др. Помехоустойчивое кодирование в современных форматах связи Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т. 15. – №. 2. – С. 132-138.

48 Солтанов А.Г. Схемы декодирования и оценка эффективности LDPC-кодов. Применение, преимущества и перспективы развития Безопасность информационных технологий. – 2016. – Т. 17. – №. 2. – С. 61-67.

49 Леонтьева О. А. Модуль помехоустойчивого кодирования и перемежения передающего тракта спутниковой системы. – 2016.

50 Овинников А. А. и др. Анализ свойств проверочных матриц LDPC кодов, предназначенных для спутниковой и космической связи.-2019

51 Сайфатова Д.Б. Сравнительный анализ помехоустойчивых кодов в спутниковых системах связи, Международный журнал информационных и коммуникационных технологий-2024

52 Кәпболсын М.М., Жунусов К.Х. Исследование помехозащищенности навигационной аппаратуры с использованием сигналов BPSK и несущей интерференции: сравнительный анализ характеристик, Satbayev International Conference-2024: Ғылым мен технологияның интеграциясы: тұрақты даму жолы.

53 Korbolsyn M.M., Zhunusov K.K. Research on interference resistance in satellite navigation systems, Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference, Scientific trends and trends in the context of globalization, Scintific Collection «Interconf+» - 2024.

СЫН-ПІКІР

«7M06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасының магистранты

Көпболсын Маржан Маратқызының

магистрлік диссертация жұмысына

Тақырыбы: «Жерсеріктік навигациялық жүйелердің бөгеуілдерге орнықтылығын зерттеу»

Орындалды:

а) теориялық және практикалық бөлімі - __ бет

б) графикалық бөлімі - __ бет

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Диссертант Көпболсын Маржан Маратқызының магистрлік диссертациялық жұмысы спутниктік навигация жүйесіндегі сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін зерттеуге арналған. Шуылға төзімділіктің заманауи әдістерін талданып және спутниктік байланыс үшін оңтайлы кодтау әдісін таңдалған. Жұмыста шуға төзімділіктің қолданыстағы әдістерін зерттеп, спутниктік байланыс жүйелеріне арналған әдістеріне шолу жасалынып және LDPC және турбо кодтарын салыстырмалы талдау бойынша құнды ғылыми ұсыныстар берілген.

Диссертацияның құрылымы жүйелі, материалдың мазмұны мен презентациясы дәйекті. Теориялық талдау мен практикалық ұсыныстардың үйлесімі жұмыстың жоғары ғылыми деңгейде орындалғанын көрсетеді. Жұмыс тақырыбы өзекті болғандықтан және нәтижелер нақты практикалық мәнге ие болғандықтан, диссертация қорғауға толығымен лайық деп санаймын.

Жұмысты бағалау

Жалпы бағалай кетсем, егер нақты объектілерде жүргізілген эксперименттердің деректері және оны практикалық ету үшін кәсіпорындардың мүдделері туралы ақпарат толықтырылса, жұмыс тиімдірек болатынын атап өткен жөн. Қорытындылай айтқанда, диссертант өзінің білімі мен зерттеу қабілеттерін жоғары деңгейде көрсетті деп санаймын. Менің ойымша, диссертант Көпболсын М.М. «7M06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасын бойынша “техника ғылымдарының магистрі” академиялық дәрежесін алуға және «өте жақсы» (А, 90%) бағалануға лайық деп санаймын.

Рецензент

Energo University,

«Телекоммуникациялық инженерия»

кафедрасының қауым. профессоры, PhD, т.ғ.к

Ермекбаев М.М.

(қолы)

«14» 01 2025 ж.

ҚазҰТЗУ 706-17 Ү. Рецензия

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

М.М. Ермекбаев
Қызметі АТЫ-КӨ

«15» 01 2025



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
“Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті” коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

«7M06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасының магистранты
Көпболсын Маржан Маратқызының
магистрлік диссертация жұмысына
ПІКІР

**Тақырыбы: «Жерсеріктік навигациялық жүйелердің бөгеуілдерге
орнықтылығын зерттеу»**

Диссертация спутниктік навигация жүйесіндегі сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін зерттеуге арналған.

Жұмыстың мақсаты-шуылға төзімділіктің заманауи әдістерін талдау және спутниктік байланыс үшін оңтайлы кодтау әдісін таңдау. Осы мақсатқа жету үшін шуға төзімділіктің қолданыстағы әдістерін зерттеу, спутниктік байланыс жүйелеріне арналған әдістерді шолу және LDPC және турбо кодтарын салыстырмалы талдау бойынша тапсырмалар орындалды. Зерттеу нәтижесінде спутниктік байланыс жүйелерінде максималды шуға төзімділікті қамтамасыз ететін оңтайлы LDPC және турбо-код әдістері анықталды.

Орындалған жұмыс нәтижелері бойынша спутниктік жүйелердегі сигналдардың шуға төзімділігін арттырудың әртүрлі әдістері қарастырылды. Осылайша, спутниктік жүйелердегі сигналдардың шуға төзімділігін арттыру әдістерін зерттеу жүйенің жұмысын оңтайландыруға және деректердің сенімді берілуін қамтамасыз етуге және жіберілетін сигналдың сапасын арттыратын шығындарды азайтуға мүмкіндік беретін өзекті міндет болып табылады.

Қорытындылай айтқанда, диссертант өзінің білімі мен зерттеу қабілеттерін жоғары деңгейде көрсетті деп санаймын. Менің ойымша, магистрант Көпболсын М.М. «7M06201 – Телекоммуникация» білім беру бағдарламасын бойынша «техника ғылымдарының магистрі» академиялық дәрежесін алуға және «өте жақсы» (А, 95%) бағалануға лайық деп санаймын.

Ғылыми жетекші,
Физика-математика
ғылымдарының кандидаты,
қауымдастырылған профессор

«13» қаңтар 2025ж.



Жунусов Қ.Х.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Көпболсын Маржан Маратқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Жерсеріктік навигациялық жүйелердің орнықтылығын зерттеу

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 10

Коэффициент Подобия 2: 4.9

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 29

Интервалы: 0

Белые Знаки: 7

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

10.01.2025 г.
Дата



Таштай Е.
Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Көпболсын Маржан Маратқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Жерсеріктік навигациялық жүйелердің орнықтылығын зерттеу

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 10

Коэффициент Подобия 2: 4.9

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 29

Интервалы: 0

Белые Знаки: 7

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

10.01.2025 г.
Дата



Марксұлы С.
проверяющий эксперт

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Көпболсын Маржан Маратқызы

Тақырыбы: Жерсеріктік навигациялық жүйелердің орнықтылығын зерттеу

Жетекшісі: Канат Жунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 10

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.9

Дәйексөз (35): 0.8

Әріптерді ауыстыру: 29

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 1

Ақ белгілер: 7

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

10.01.2025 г.
Күні



Таштай Е.
Кафедра меңгерушісі