

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ 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

Абдугапар Нұрдана Керимжанқызы

«5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2023 ж.

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

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Электроника, телекоммуникация

және ғарыштық технологиялар

кафедрасының меңгерушісі,

техн. ғыл. кандидаты

Е. Таштай

2023 ж.



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау»

6B06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

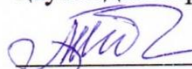
Орындаған:

Н. Абдугапар

Рецензент:

Халықаралық IT т.ғ.к.,

қауымдастырылған профессоры

 Ж. Илипбаева

« 01 » 06 2023 ж.

Ғылыми жетекші:


ҚазҰТЗУ, т.ғ.м.

Электроника,

телекоммуникация және
ғарыштық технологиялар

кафедрасының

аға оқытушысы

 У. Сейдалиева

« 31 » 05 2023 ж.

Алматы 2023 ж.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ 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



**Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Абдугапар Нурдана

Тақырыбы «5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау».

Университет ректорының «23» қараша 2022 ж. № 408-П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: «30» сәуір 2023 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Когнитивті радионың 5G технологиясындағы спектр тапшылығы проблемасын шешу жолдарына талдау жасалынады; 2) Анықтау ықтималдығы, жалған дабыл ықтималдығы, негізгі пайдаланушы сигналы, қабылданған сигнал, қабылданған сигнал энергиясы, жалпы энергия т.б. параметрлер аналитикалық формулалар негізінде анықталады; 3) Аналитикалық нәтижелер MATLAB жүйесінде Монте-Карло әдісі арқылы сандық есептеулер арқылы тексеріледі; 4) Matlab бағдарламасында кодты іске қосқаннан кейін *анықтау ықтималдығы және жалған дабыл ықтималдығы* қисықтары алынады және алынған нәтижелерге талдау жасалынады.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

1) 5G жүйесі үшін когнитивті радио негізінде спектрді анықтау әдістеріне шолу.
2) Спектрді анықтау әдістері: *Энергияны анықтауға негізделген* спектрді анықтау және *толқын формасына негізделген* спектрді анықтау әдістері. Спектрді анықтаудың циклоstationарлық әдісі.

3) Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау әдісі: Уақыт аймақтарында энергияны анықтау (Time domain energy detection) және Жиілік аймақтарында энергияны анықтау (Frequency domain energy detection) әдістері, математикалық модельдері, модельдеу параметрлері және блок-сұлбалары .

4) Эксперименттік бөлім. MATLAB жүйесінде Монте-Карло әдісімен сандық есептеулерді жүргізу. *Анықтау ықтималдығы және Жалған дабыл ықтималдығы* қисықтарын алу (curves of Probability of detection and Probability of false alarm).

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

- 1) Когнитивті радио архитектурасы;
- 2) 5G архитектурасы және функционалды компоненттері;
- 3) Модельдеу кодының негізгі блок-схемасы;

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
1) Шолу бөлімі. 1.1 5G жүйесі үшін когнитивті радио негізінде спектрді анықтау әдістеріне шолу.	31.01.2023 ж	орындалды
2) 1.2 Спектрді анықтау әдістері: <i>Энергияны анықтауға негізделген</i> спектрді анықтау және <i>толқын формасына негізделген</i> спектр мен циклоstationарлық әдісі.	15.02.2023 ж	орындалды
3) Негізгі бөлім. Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау әдістері. 3.1 Уақыт аймақтарында энергияны анықтау әдісі. 3.2 Жиілік аймақтарында энергияны анықтау әдісі.	1.03.2023 ж	орындалды
4) Эксперименттік бөлім. MATLAB жүйесінде <i>Анықтау ықтималдығы</i> және <i>Жалған дабыл ықтималдығы</i> қисықтарын алу.	15.03.2023 ж	орындалды
Эксперимент нәтижелерін талдау. Қорытынды.	30.04.2023 ж	орындалды

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

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Т.ғ.м., ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы Сейдалиева У.О	10.03.2023	
Теориялық ақпарат	Т.ғ.м., ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы Сейдалиева У.О	30.05.2023	
Норма бақылау	т.ғ.м., ЭТЖҒТ каф. ассистенті Ақылжан П.Б.	01.04.2023	

Ғылыми жетекшісі У.О. Сейдалиева

Тапсырманы орындауға алған білім алушы Н.К. Абдугапар

Күні "22" 12 2023 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста 5G және CR технологияларының егжей-тегжейлі шолуы келтірілген, CR 5G желілік технологиясының негізі болып табылады. Когнитивті радио желісінде спектрді таратудың әртүрлі тәсілдері мен әдістеріне зерттеу ұсынылған. CR желілерін үш парадигмаға бөлуі қарастырылды. Когнитивті радио желілерінде спектрді анықтау негізгі пайдаланушының болуын немесе болмауын анықтауда маңызды рөл атқарылды.

Спектрдің таралуы когнитивті радио құрылғылары мен лицензияланған негізгі пайдаланушылар арасындағы кедергілерді шектейтін және болдырмайтын маңызды механизм болып табылады, осылайша сымсыз радио спектрін тиімдірек пайдалануға мүмкіндік береді.

MATLAB жүйесінде анықтау ықтималдығы және жалған дабыл ықтималдығы қисықтарын алу мәселелері және арнаның қуат спектрлік тығыздығының негізіндері мен тиімділігін, сондай-ақ шулы сигналдың әлсіреуін қамтамасыз ету қарастырылды.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе представлен подробный обзор технологий 5G и CR, CR является основой сетевой технологии 5G. Представлено исследование различных способов и методов распределения спектра в сети когнитивного радио. Рассмотрено разделение сетей CR на три парадигмы. В сетях когнитивного радио определение спектра играет важную роль в определении присутствия или отсутствия основного пользователя.

Распространение спектра является важным механизмом, который ограничивает и предотвращает помехи между устройствами когнитивного радио и лицензированными основными пользователями, что позволяет более эффективно использовать спектр беспроводной радиосвязи.

Рассмотрены вопросы получения кривых вероятности обнаружения и вероятности ложной тревоги в системе MATLAB и обеспечения основ и эффективности спектральной плотности мощности канала, а также ослабления шумного сигнала.

ABSTRACT

The thesis provides a detailed overview of 5G and CR technologies, CR is the basis of 5G network technology. A study of various methods and methods of spectrum distribution in the cognitive radio network is presented. The division of CR networks into three paradigms is considered. In cognitive radio networks, spectrum detection plays an important role in determining the presence or absence of the primary user.

Spectrum spreading is an important mechanism that limits and prevents interference between cognitive radio devices and licensed primary users, allowing more efficient use of the wireless radio spectrum.

The issues of obtaining curves of the probability of detection and the probability of a false alarm in the MATLAB system and ensuring the basics and efficiency of the spectral power density of the channel, as well as attenuation of the noisy signal are considered.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Когнитивті радио (CR) желілеріне шолу	9
1.1 5G жүйесі үшін когнитивті радио негізінде спектрді анықтау әдістеріне шолу	9
1.2 Спектрді анықтау әдістері: Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау және толқын формасына негізделген спектрді анықтау әдістері	22
1.3 Спектрді анықтаудың циклоstationарлық әдісі	27
2 Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау әдістері	29
2.1 Уақыт аймақтарында энергияны анықтау (Time domain energy detection) әдісі	29
2.2 Жиілік аймақтарында энергияны анықтау (Frequency domain energy detection) әдісі	33
3.1 Матлаб көмегімен когнитивті радио жүйесін енгізу әдістемесі	35
3.2 Анықтау ықтималдығы және Жалған дабыл ықтималдығы қисықтарын алу (curves of Probability of detection and Probability of false alarm)	42
Қорытынды	45
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	46

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта сымсыз құрылғылардың саны өсуде, бұл сымсыз спектрдің қол жетімділігінің айтарлықтай төмендеуіне әкеледі. Болашақ сымсыз жүйелердің алдында тұрған маңызды мәселе - болашақ қызметтерге күтілетін сұранысты қанағаттандыру үшін қолайлы тасымалдаушы жиіліктер мен өткізу қабілеттілігін табу.

Бұл зерттеудің түпкі мақсаты - когнитивті радио технологиясы арқылы спектрді анықтай отырып, 5G дәуірінде жоғары жылдамдықты кез келген уақытта және кез келген жерде сенімді үздіксіз байланысты қамтамасыз ету және радио спектрлерін тиімді пайдалану.

5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу - 5G дәуірінде сымсыз байланысқа сұраныстың артуына байланысты туындайтын қиындықтарды жеңуге көмектесетін жаңа технологияларды әзірлеу болып табылады. Когнитивті радио - бұл радиожілік ортасындағы өзгерістерді автоматты түрде анықтай алатын және оларға бейімделе алатын сымсыз байланыс жүйесінің бір түрі. Бұл технология жоғары жылдамдықты деректерді беруді қолдау үшін әртүрлі жиілік диапазондарын пайдаланатын 5G желілерінің дамуымен маңызды бола түсуде. 5G сигналдарын қабылдауға арналған когнитивті радио жүйелерін зерттеу және талдау әдетте радиостанцияға радиожілік ортасындағы өзгерістерге бейімделуге мүмкіндік беретін алгоритмдер мен хаттамаларды әзірлеуді қамтиды. Бұл сигнал деңгейіндегі, жиіліктегі немесе басқа параметрлердегі өзгерістерді анықтауды, содан кейін сенімді және жоғары жылдамдықты деректерді беру үшін оңтайлы жиілік диапазонын немесе тарату протоколын тандауды қамтуы мүмкін. [1]

Федералдық байланыс комиссиясының (FCC) мәліметі бойынша, когнитивтік радио «өзі жұмыс істейтін ортамен өзара әрекеттесу негізінде таратқыш параметрлерін өзгерте алатын радио». CR екі негізгі мақсаты - кез келген уақытта және кез келген жерде сенімді үздіксіз байланысты қамтамасыз ету және электромагниттік радио спектрін тиімді пайдалану. CR негізгі сипаттамалары когнитивті қабілет және қайта конфигурациялау болып табылады, оның көмегімен ол радио ортасынан ақпаратты сезе алады және оның параметрлерін қоршаған орта жағдайына сәйкес бағдарламалайды. [2]

Когнитивті радио әртүрлі қосымшаларда қолданылатындықтан, спектрлік зондтау саласы маңызды бола түсуде. Когнитивті хабар тарату технологиясы спектрді тиімдірек пайдалану әдісін қамтамасыз ету үшін пайдаланылғандықтан, спектрді анықтау осы қолданбаның кілті болып табылады.

Спектрді анықтау когнитивті радио желісінде күрделі мәселе болып табылады. Атап айтқанда, спектрді кең жолақты зондтауға жүздеген Гбит/с жылдамдықпен деректерді берудің жоғары жылдамдығымен сипатталатын 5G сымсыз желілерінің пайда болуына байланысты көбірек көңіл бөлінеді. Соңғы онжылдықта әртүрлі зерттеушілер зондтау матрицасы, сирек бейнелеу және қалпына келтіру процесі негізінде когнитивті радио желілеріндегі қысуды зондтау өнімділігін арттыруға көбірек көңіл бөлді. Когнитивті радио

желілеріндегі зондтау стратегияларын, сондай-ақ олардың кемшіліктері мен артықшылықтарын терең талдауды ұсынады.

Когнитивті хабар тарату технологиясын 5G жүйесіндегі байланыс арналары шамадан тыс жүктелген жағдайларда спектрді анықтау үшін пайдалануға болады. Когнитивті радиотехнологияға негізделген спектрді анықтаудың үш негізгі әдісі бар:

Энергияны анықтау - берілген жиілік диапазонында сигналдың жалпы энергиясын өлшеуді қамтитын спектрді анықтаудың қарапайым және кеңінен қолданылатын әдісі. Бұл әдіс модуляцияланбаған немесе тұрақты конвертке ие сигналдарды анықтауда тиімді.

Толқын пішініне негізделген спектрді анықтау әдістері оның спектрлік сипаттамаларын анықтау үшін сигнал пішінін талдауды қамтиды. Бұл әдіс әсіресе сандық сигналдар сияқты күрделі модуляция схемалары бар сигналдарды анықтау үшін пайдалы. Бұл әдіс сигнал туралы оның синхрондалуы және фазасы сияқты қосымша ақпарат бере алады.

Циклостационарлық әдіс - сигналдың статистикалық қасиеттеріне негізделген спектрді анықтаудың тағы бір әдісі. Бұл әдіс көптеген байланыс сигналдарының циклостационарлық болуының артықшылығын пайдаланады, яғни олардың статистикалық қасиеттері уақыт өте келе өзгеріп отырады. Бұл әдіс әсіресе спектрді анықтаудың басқа әдістері тиімсіз болуы мүмкін шулы ортадағы сигналдарды анықтау үшін пайдалы. [3]

Когнитивті хабар тарату технологиясын қолдана отырып спектрді анықтау қол жетімді радиожілік спектрін тиімді пайдалануды қамтамасыз етудің және 5G жүйесінің өнімділігін арттырудың маңызды құралы болып табылады. 5G сигналдары үшін когнитивті радио зерттеулерінің маңызды бағыттарының бірі - радиостанцияның радиожілік спектрінің әртүрлі бөліктеріне динамикалық қол жеткізу және пайдалану қабілетін білдіретін спектрге динамикалық қол жеткізу. Бұл қол жетімді спектрді пайдалануды оңтайландыруға және сол жиілік диапазонында жұмыс істейтін басқа құрылғыларға кедергі келтірмеуге көмектеседі.

Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау әдісі - берілген жиілік диапазонында сигналдың болуын анықтау үшін қолданылатын танымал әдіс. Энергияны анықтаудың екі негізгі әдісі бар: уақыт аймағындағы энергияны анықтау және жиілік аймағындағы энергияны анықтау.

Уақыт аймағындағы энергияны анықтау: бұл әдіс берілген уақыт аралығында сигналдың жалпы энергиясын өлшейді. Сигнал таңдалады және энергия мәндерін алу үшін санақтар квадратталады.

Жиілік аймағындағы энергияны анықтау: бұл әдіс берілген жиілік диапазонындағы сигналдың жалпы энергиясын өлшейді. Сигнал Фурье түрлендіру арқылы уақыт аймағынан жиілік аймағына түрлендіріледі.

Бұл жұмыста ұсынылған когнитивті радиобайланыс моделінде қабылдау мен бақылау сипаттамаларын Matlab көмегімен әзірлеу үшін когнитивті хабар тарату технологиясын зерттеу болып табылады.

1 Когнитивті радио (CR) желілеріне шолу

1.1 5G жүйесі үшін когнитивті радио негізінде спектрді анықтау әдістеріне шолу

Когнитивті радио - бұл радио ортасымен байланыс арқылы тарату параметрлерін динамикалық және автономды түрде реттейтін сымсыз технология. CR мақсаты - сымсыз желінің табиғи ресурстарын (жиілік, уақыт және берілетін энергия) бағалау және тиімді пайдалану. [4]

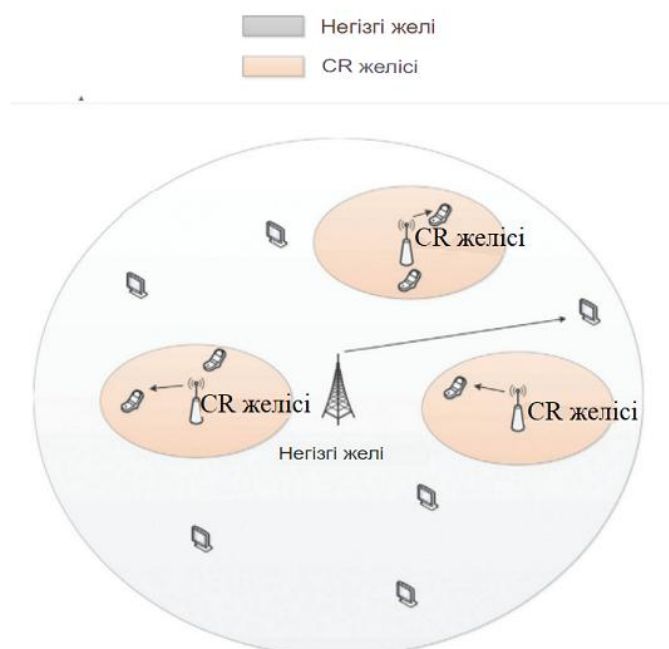
Когнитивті радиостанциялардың екі түрі бар:

Толық когнитивті радио: толық когнитивті радио (CR) барлық параметрлерді ескереді. Сымсыз түйін немесе желі барлық мүмкін болатын бақыланатын параметрлерді білуі мүмкін.

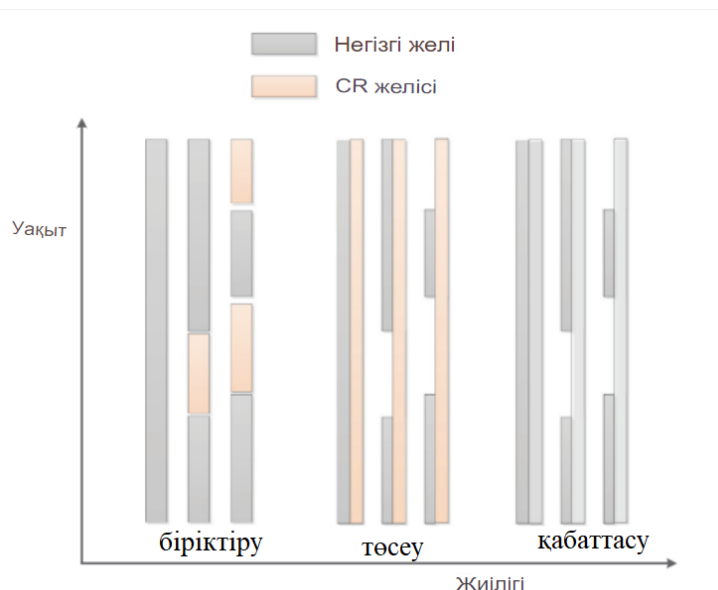
Спектрді анықтайтын когнитивті радио: радиожілік спектріндегі арналарды анықтайды. Когнитивті радио желісіндегі негізгі талап-спектрді анықтау. Анықтау ықтималдығын арттыру үшін спектрді зондтау кезінде сигналдарды анықтаудың көптеген әдістері қолданылады.

Когнитивті радио жүйесінің сипаттамалары:

- 1) спектрді шынайы пайдалану және негізгі пайдаланушыны анықтау.
- 2) түйіндер арасындағы байланысты дәл бағалау.
- 3) жиілікті жылдам және дәл реттеу.
- 4) когнитивті радио терминалдар арасындағы сенімді байланысты қамтамасыз ететін қуатты басқару әдісі.



1.1-сурет – Когнитивті радио желілері (CR)



1.2-сурет – Когнитивті радионың біріктіру, төсеу және қабаттасу режимдері

Кесте 1.1 – Когнитивті радионың біріктіру, төсеу және қабаттасу желілері

Біріктіру желілері.	Олар кедергісіз жұмыс істейді және спектрдегі тесіктерді пайдаланудың бастапқы алғышарттарына сәйкес келеді. (мысалы, берілген географиялық аймақта бос немесе жеткіліксіз пайдаланылған спектр интервалдары немесе фрагменттер). Спектрде тесік пайда болғаннан кейін, тоқу құрылғылары деректерді жібере бастайды, бірақ анықтау алгоритмдері PU құрылғыларының жұмысын жалғастыратынын көрсеткен кезде олардың берілуін тоқтатуы керек.
Төсеу желілері.	Оларда PU және SU құрылғылары бір уақытта деректерді бірдей арнайы слоттар арқылы жібереді. Осылайша, спектрдегі тесіктерді анықтаудың қажеті жоқ. Алайда, PU қабылдағышының кедергі температурасы шекті мәннен төмен болуы керек. Интерференция температурасын төмендету үшін, SU құрылғылары олардың берілу қуатын азайта алады, кедергілерді жояды.
Қабаттасу желілері.	Олар сондай-ақ жалпыға ортақ пайдаланылатын және su деректерін бір уақытта жіберуге мүмкіндік береді. Субстрат режимінен айырмашылығы, SU құрылғылары PU жіберілген деректер тізбегін кодтау әдістері туралы білімі болуы керек. Бұл ақпаратты екі түрлі жолмен пайдалануға болады. Біріншіден, оны su қабылдағыштарындағы PU кедергілерін жою үшін қолдануға болады, мысалы, лас қағазды кодтау (DPC), ол кедергілердің әсерін жоққа шығару үшін жіберілген деректерді алдын-ала кодтайды. Екіншіден, оны SU түйіндері PU хабарламаларын қайта жіберу арқылы бастапқы желімен өзара әрекеттесу үшін қолдана алады.

Когнитивті радионың төрт негізгі қызметі бар. 1.3 - сурет - Негізгі когнитивті циклдың қызметі көрсетілген. [5]



1.3-сурет – Негізгі когнитивті цикл

Спектрді зондтау, спектрді басқару, спектрді бөлісу және спектрдің ұтқырлығының барлығы сымсыз байланыс және когнитивті радио жүйелер саласындағы маңызды ұғымдар болып табылады. Мұнда әрбір тұжырымдамаға қысқаша шолу:

1. Спектрді зондтау. Спектрді зондтау – жиілік диапазонында сигналдардың бар немесе жоқтығын анықтау процесі. Когнитивті радио спектрді зондтаудан кейін оның анықталу нәтижесін басқа когнитивті радиостанциялармен бөлісе алады. [5] Спектрді зондтаудың мақсаты - жиілік диапазонын зондтау арқылы спектр мен белсенділіктің күйін анықтау. Атап айтқанда, когнитивті радио таратқыш спектрдегі пайдаланылмаған спектрді немесе тесікті анықтайды, сонымен қатар лицензияланған таратуға араласпай қол жеткізу әдісін анықтайды.

2. Спектрді басқару. Спектрді басқару: қатар өмір сүретін пайдаланушылар арасында спектрді жоспарлаудың әділ әдісін ұсынады. Қол жетімді бос орынды немесе арнаны когнитивтік радио бірден таңдайды. Спектрді талдау пайдаланушының талаптарына сәйкес келетін спектр жолағын алу үшін қолданылатын спектрдің әртүрлі жолақтарының сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді. Спектр туралы шешім деректер жылдамдығын анықтайтын, беру режимі мен өткізу қабілеттілігін анықтайтын когнитивті радионы білдіреді. Содан кейін спектрдің сипаттамаларына және пайдаланушының талаптарына сәйкес сәйкес спектр жолағы таңдалады.

3. Спектрді бөлісу. Когнитивті радио пайдаланылмаған спектрді (spectrum hole) екінші пайдаланушыға (su) негізгі пайдаланушы (PU) оны пайдаланғанға дейін тағайындайды. Когнитивті радионың бұл қасиеті спектрді бөлісу ретінде сипатталады.

Базалық спектрді бөлісу: бұл радиожиілік спектріне қол жетімділіктің минималды берілу қуатымен қол жетімді, онда кедергі температурасы алдын-ала белгіленген шектерден жоғары көтерілмейді. Лицензияланбаған сигналды

спектрдің үлкен диапазонына тарату үшін, негізгі спектрді бөлісу кезінде лицензияланған радио құрылғы минималды Шу мен кедергі деңгейінен төмен қажетсіз сигналды анықтай алады.

Қабаттасу спектрін бөлісу: лицензиясы жоқ пайдаланушылар мен жолақты лицензиясы бар пайдаланушылар қабаттасу спектрін бөлісу технологиясында жеткіліксіз пайдаланған уақыт ішінде спектр жолағын пайдалана алады.

4. Спектрдің ұтқырлығы. Спектрдің ұтқырлығы – спектрдің қолжетімділігіне негізделген сымсыз байланыс жүйесінің әртүрлі жиілік диапазондары немесе арналар арасында динамикалық ауысу мүмкіндігі. Спектрдің ұтқырлығы радио спектрін сезінуге және сенімді байланысты қамтамасыз ету үшін пайдаланылмаған немесе толық пайдаланылмаған жиілік диапазондарын пайдалана алатын когнитивті радио жүйелерінің негізгі ерекшелігі болып табылады. [6]

Телекоммуникацияда 5G - бұл ұялы байланыс компаниялары 2019 жылы бүкіл әлем бойынша енгізе бастаған және қазіргі заманғы ұялы телефондардың көпшілігіне қосылуды қамтамасыз ететін 4G желілерінің жоспарланған мұрагері болып табылатын кең жолақты ұялы желілерге арналған бесінші буын технологиялық стандарты. GSM қауымдастығының болжамы бойынша, 2025 жылға қарай бүкіл әлем бойынша 5G желілерінде 1,7 миллиардтан астам абонент болады.[7] 5G желілері - бұл қызмет көрсету аймағы ұяшық деп аталатын шағын географиялық аймақтарға бөлінген ұялы желілер. Ұяшықтағы барлық 5G сымсыз құрылғылар Интернетке және телефон желісіне радио толқындары арқылы ұяшықтағы жергілікті антенна арқылы қосылады. Жаңа желілердің басты артықшылығы - олар үлкен өткізу қабілеттілігіне ие болады, бұл жүктеу жылдамдығын жоғарылатады және секундына 10 гигабитке (Гбит/с) дейін жетеді. 5G қолданыстағы желілерге қарағанда жылдамырақ болумен қатар, 5G әртүрлі құрылғыларды қоса алады, тіпті адамдар көп жиналатын жерлерде болса да, серверлер біртұтас болады, бұл интернет қызметтерінің сапасын жақсартады. Өткізу қабілеттілігінің артуына байланысты желілер ноутбуктер мен жұмыс үстелдері үшін ортақ интернет-провайдерлер (ISP) ретінде көбірек пайдаланылады деп күтілуде, кабельдік Интернет сияқты қолданыстағы интернет-провайдерлермен бәсекелеседі, сонымен қатар Интернеттегі заттар (IoT) және машинааралық салалардағы жаңа қосымшаларға мүмкіндік береді. 4G ұялы телефондары 5G қолдайтын сымсыз құрылғыларды қажет ететін жаңа желілерді пайдалана алмайды.

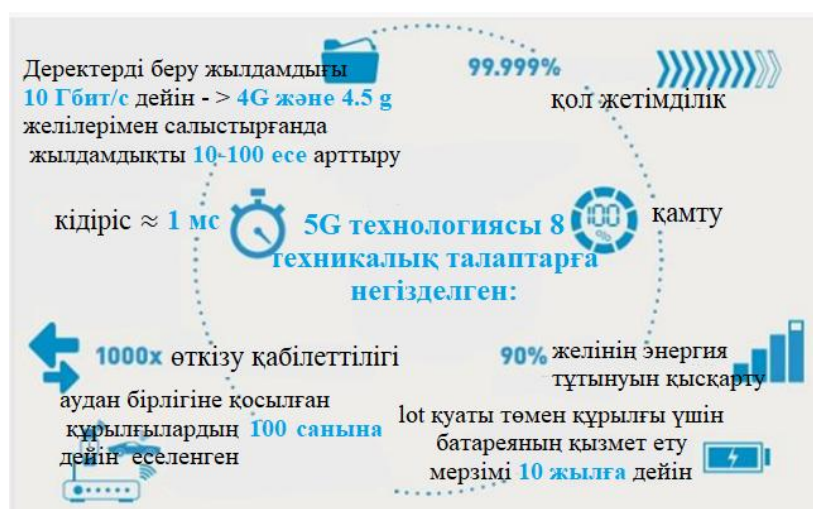
5G сигналдары үшін когнитивті радио зерттеулерінің басқа бағыттары мыналарды қамтуы мүмкін:

- Кедергілерді басқару және олардың салдарын азайту.
- Ресурстарды бөлу және жоспарлау.
- Қуатты реттеу және оңтайландыру.
- Қауіпсіздік және құпиялылық.

5G технологиясы жиілік арнасының кең спектрлік өткізу қабілеттілігімен бірге жаңа жиілік диапазондарын қамтамасыз етеді деп күтілуде. Қазіргі уақытта алдыңғы буындардың мобильді технологиялары ең жоғары бит жылдамдығының

айтарлықтай өскенін көрсетті. 5G -дың 4G -дан айырмашылығы неде? Бұл 4G емес 5G режимінде деректер жылдамдығын арттыру ғана емес, сонымен қатар 5G де жетілдірілген :

- Жоғары бит жылдамдығының жоғарылауы.
- Аудан бірлігіне шаққандағы деректердің үлкен көлемі (яғни жүйенің жоғары спектрлік тиімділігі).
- Көп құрылғыларды бір уақытта және лезде қосуға арналған жоғары сыйымдылық.
- Батареяны аз тұтыну.
- Орналасқан географиялық аймаққа қарамастан жақсартылған байланыс
- Көмекші құрылғылардың көбірек саны.
- Инфрақұрылымды дамыту шығындарын төмендету.
- Жоғары байланыс сенімділігі.



1.4-сурет – 5G технологиясының 8 техникалық талаптары

5G технологиясы 8 техникалық талаптарға негізделген:

- Деректерді беру жылдамдығы 10 Гбит/с дейін - > 4G және 4.5G желілерімен салыстырғанда жылдамдықты 10-100 есе арттыру
- Кідіріс ≈ 1 миллисекунд
- Аудан бірлігіне 1000 есе өткізу қабілеттілігі аудан бірлігіне қосылған құрылғылардың 100 еселенген санына дейін (4G - LTE-мен салыстырғанда)
- lot қуаты төмен құрылғы үшін батареяның қызмет ету мерзімі 10 жылға дейін
- Желінің энергия тұтынуын 90 ға қысқарту%
- 100% қамту
- Қол жетімділік және 99,999%

Кесте 1.2 – Мобильдік технологиялардың барлық ұрпақтарын салыстыру

Буындар	Дамудың басталуы	Стандарт атауы	Беру жылдамдығы	Қызметтері
1 G	1970 -1980 жж.	AMPS, TACS, NMT	1,9 кбит/с	Аналогтық стандарт, дауыстық хабарламалар
2 G	1980 ж.	GSM, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD	9,6-14,4 кбит/с	Сандық стандарт, қысқа хабарламаны қолдау
2.5 G	1985 ж.	EDGE/EGPRS, CDMA2000 (1xRTT)	115 кбит/с, 384 кбит/с	Үлкен сыйымдылық, пакеттік деректерді беру, жылдамдықты арттыру
3 G	1990 ж.	UMTS,W-CDMA, CDMA2000, WiMAX	3,6 Мбит/с дейін	Одан да үлкен сыйымдылық,жылдамдығы 2 Мбит/с дейін
3.5 G	2000ж дейін	UMTS (HSPA, HSDPA, HSUPA), CDMA2000 (EV-DO Rev.A)	42 Мбит/с дейін	Үшінші буын желілерінің жылдамдығын арттыру
4 G	2000 ж.	WiMAX, LTE	100 Мбит/с - 1 Гбит/с	Үлкен сыйымдылық,IP негізіндегі желі, мультимедиялық қолдау, секундына жүздеген мегабитке дейін жылдамдықты қамтамасыз етеді
5 G	2020ж. бастап	WiMAX, LTE, CDMA	1 Гбит/с 10 Гбит/с дейін	Жоғары бит жылдамдығының жоғарылауы, 100% қамту

1G ұялы байланыс жүйесі. 1974-1984 жылдар аралығындағы ұялы байланыс жүйесі 1G деп аталады. Ол бастапқыда қабылдай алатын трансиверлер және дауыстық хабарламаларды жіберу арқылы ұялы телефондарға қосылу үшін жасалған. Аналогтық жүйе дамыған ең алғашқы мобильді сымсыз жүйеде қолданылды.

800-900 МГц жиілік диапазонында қарқынды дами бастады. AMPS (АҚШ), NMT-900 (Скандинавия елдері), TACS және ETACS (Англия), J-TACS (Жапония) сияқты жүйелердің пайда болуымен мобильді ұялы байланыс жүйелерінің дәуірі басталды. Барлық аталған стандарттар аналогты болып табылады. Қызмет көрсетуді алғашқылардың бірі болып 1981 жылы бірқатар Скандинавия елдері жасаған NMT-450 жүйесі болды. Көп ұзамай 400–500 МГц жиілік диапазонында жұмыс істейтін басқа жүйелер пайда болды. Бұл S-450 стандартындағы жүйелер (Германия), Radiocom-2000 (Франция), RTMS-101H (Италия). [9]

2G ұялы байланыс жүйесі. Цифрлық ұялы байланыс жүйелерінің екінші буыны 90-жылдардың басында пайда болды. 1992 жылға қарай Америка Құрама Штаттарында қос режимді аналогты - цифрлық жүйе әзірленді, стандарт D-AMPS немесе IS-54 деп аталды. Еуропада GSM (GSM 900 - 900 МГц диапазоны) бірыңғай жалпыеуропалық стандарты әзірленді. Стандартты практикалық

қолдану 1991 жылы басталды. Техникалық сипаттамалары бойынша D-AMPS-ке ұқсас цифрлық стандарттың тағы бір нұсқасы 1993 жылы Жапонияда PDC (Personal Digital Cellular - «жеке цифрлық ұялы телефон») әзірленді. D-AMPS IS-136 арқылы толығымен цифрлық болды, 1996 жылы қолданыла бастады. 1989 жылы GSM стандарты 1800 МГц жаңа жиілік диапазонын әзірлеуге кетті. 1996 жылы оны GSM 1800 деп атала бастады. АҚШ-та PCS жеке байланыс жүйесі 1900 МГц диапазонында жұмыс істейді. [10]

3G ұялы байланыс жүйесі. Үшінші буынның цифрлық жүйелері CDMA кодты бөлуге көп қол жеткізуге негізделген. 1992-1993 жылдары жасалды. Алғашқы 3G стандарты АҚШ-та және IS-95 (800 МГц диапазоны) деп аталды. АҚШ-та, Оңтүстік Кореяда, Гонконгта осы стандарттың 1900 МГц диапазонына арналған нұсқасы да қолданыла бастады. Бұл ретте UMTS стандарты әзірленді, ол Еуропа мен ТМД елдерінде кеңінен қолданылды. Бұл стандарттың негізі CDMA нұсқаларының бірі болып табылатын W-CDMA технологиясы болды. Телефонның UMTS желілеріне қолдау көрсетуіне байланысты, сондай-ақ осы желінің қамту аймағында болған жағдайда, байланыс GSM немесе UMTS арқылы қамтамасыз етілуі мүмкін. [11]

Аралық стандарт 3,5G. G-HSDPA (базалық станциядан ұялы телефонға жоғары жылдамдықты пакеттік деректерді беру) - төртінші буын ұялы байланыс технологияларына (4G) көшудің өтпелі кезеңдерінің бірі деп санайтын ұялы байланыс стандарты. Стандарт бойынша теориялық деректерді берудің максималды жылдамдығы-14,4 Мбит / с. қолданыстағы желілерде іс жүзінде қол жетімді - шамамен 8 Мбит / с.[12]

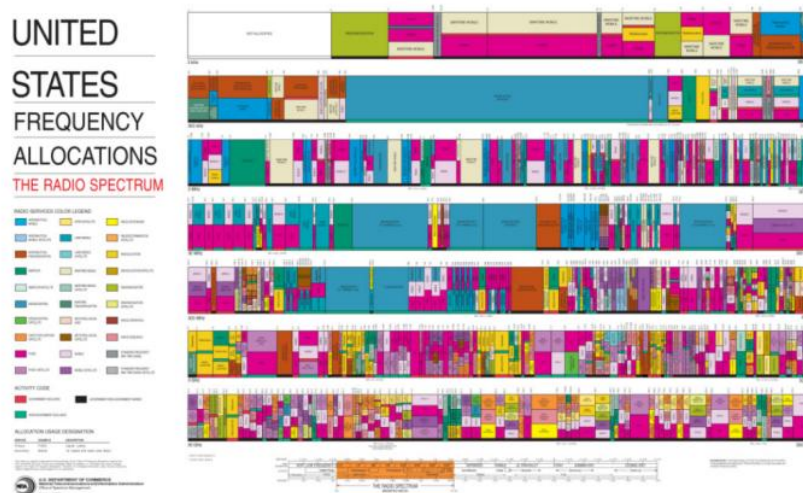
4G ұялы байланыс жүйесі. 4G буынының технологиялары LTE, Mobile WiMAX болып табылады. Ең танымал желілер - WiMAX және LTE. Стокгольм мен Ослодағы әлемдегі алғашқы LTE желісін TeliaSonera/Ericsson альянсы 2008 жылы іске қосты. Абонентке деректерді берудің максималды жылдамдығының есептелген мәні 382 Мбит/с құрады. [13]

5G - бұл ұялы желілердің бесінші буыны, ол 4G стандарттарынан кейін келесі буын телекоммуникация стандарттары деп аталады.

Қазіргі уақытта когнитивті радио (CR) спектрді пайдаланудың жалпы тиімділігінің айтарлықтай артуына байланысты технологтар үшін үлкен қызығушылық тудырады. Мақала жарияланған күннен бастап Митола CR-де [14], ғылыми журналдардың 30 арнайы шығарылымы және CR-ге 60-тан астам арнайы конференциялар мен семинарлар арналған. [15] Бұл әлі де өте жаңа және қызықты зерттеу тақырыбы болып табылады. Энергияны анықтау үшін квадраттау құрылғысы қолданылады, содан кейін шешім айнымалысы шығатын интегратор қолданылады. Содан кейін бұл айнымалы шекті мәнмен салыстырылады, егер ол шекті мәннен асып кетсе, детектордың нәтижесі негізгі пайдаланушының болуы болып табылады.

Соңғы екі онжылдықта сымсыз байланыс жүйелері айтарлықтай кеңейді. Сымсыз байланыс үшін пайдаланылатын радиожиілік спектрі шектеулі ресурс болып табылады. Көптеген елдерде Үкімет АҚШ-тағы федералды байланыс комиссиясы (FCC) сияқты ұлттық реттеушілердің жиілік спектрін пайдалануын

реттейді. FCC жиілік диапазонын бөлуді және географиялық аймақтағы жүйелерге эксклюзивті лицензия беруді үйлестірді, сонымен бірге осы жолақтарға қатысты басқа жүйелерге тыйым салады немесе реттейді. Егер барлық дерлік пайдаланылатын радиожілік диапазондары бар қатты жүктелген спектрдің коммерциялық операторлар мен мемлекеттік бөлімшелерге белгілі бір қызметтер үшін лицензияланғанын көре аламыз, бұл спектрді тапшы ресурсқа айналдырады.



1.5-сурет – FCC спектрінің таралу диаграммасы

FCC зерттеуіне сәйкес, спектрді пайдалану лицензияланған спектрді пайдалану 3 ГГц-тен төмен диапазондарда 15% - дан 85% - ға дейін болатынын көрсетеді, [16] Спектрді тиімсіз пайдалану мәселесін шешу ретінде CR және Dynamic Spectrum Access (DSA) спектрді пайдалануға оппортунистік тәсілді ұсынады. DSA-ның негізгі лицензияланған пайдаланушылары пайдаланбайтын жиілік диапазондарын (бастапқы пайдаланушылар (PUS) деп те аталады) CRS ((қосымша пайдаланушылар (SUS) деп те аталады) кез келген зиянды әсер етпейінше пайдаланады [17]. Сондықтан DSA әдістерін қолдануға мүмкіндік беретін негізгі технология CR болып табылады.

CR әдетте спектрдегі тесіктер деп аталатын уақытша пайдаланылмаған жиілік жолақтарын пайдалануға мүмкіндік береді. Әдетте спектрдегі тесіктер әдетте уақыт спектріндегі тесіктерге және кеңістік спектріндегі тесіктерге бөлінеді. Спектрдегі уақытша тесікті зондтау кезінде иеленбейді. Сондықтан бұл диапазонды SUs ағымдағы уақыт аралығында қолдана алады. Мұндай спектрді өлшеу күрделі сигналды өңдеуді қажет етпейді. Кеңістіктік спектрдегі тесік - бұл кейбір кеңістіктік аймақтарда PU иеленбейтін жолақ; сондықтан SUS осы аймақтан тыс жерлерде де болуы мүмкін. [18] PU кеңістіктік зондтау сигналдарды өңдеудің күрделі алгоритмдерін қажет етеді.

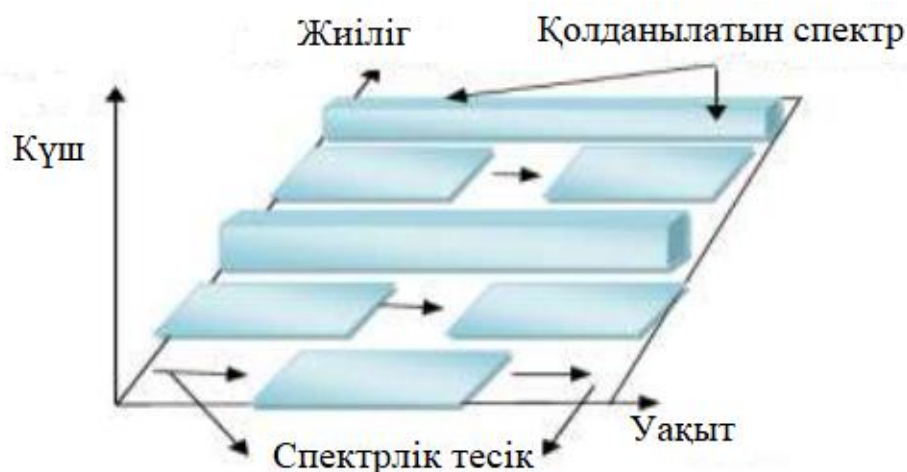
Кіріс радиожілік сәулеленуінің қуат спектрлері тұрғысынан спектрлік тесіктерді кең анықталған үш түрге жіктейді:

1. Кейде күшті "жергілікті" кедергілер басым болатын қара кеңістіктер.

2. Қуаты аз кедергілер ішінара басым болатын сұр кеңістіктер.

3. Ақ Гаусс шуын қоспағанда, радиожилілік кедергілері жоқ бос орындар.

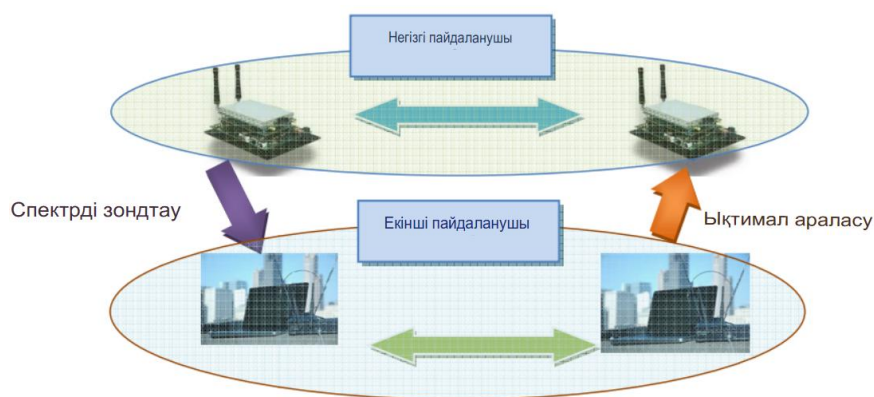
Осы үшеуінің ішінде ақ және сұр бос орындарды лицензияланбаған операторлар қолдана алады, егер дәл өлшеу технологиясы жасалса және қара бос орындарды пайдалану мүмкін болмаса, өйткені бұл кеңістікті пайдалану PU-ға кедергі келтіреді.



1.6-сурет – Спектрлік тесіктер

PU жұбы мен SU жұбынан тұратын қарапайым және сонымен бірге әдеттегі DSA желісін көрсетеді. Олар бірдей жиілік диапазонында жұмыс істейді. PU спектрге қол жеткізудің жоғары басымдығына ие. SU спектрді қабылдап, спектрдегі тесікті анықтаған жағдайда ғана байланысуы керек. SU-дан өткізіп алған анықтаулар суретте көрсетілгендей PU-ға кедергі келтіреді. DSA әдістерін қолдануға мүмкіндік беретін негізгі технология өте маңызды.

2008 жылдың қарашасында FCC 37-ші арнаны қоспағанда, 21-ден 51-ге дейінгі пайдаланылмаған телеарналар SU үшін қол жетімді болуы керек деп шешті. [15]



1.7-сурет – DSA иллюстрациясы

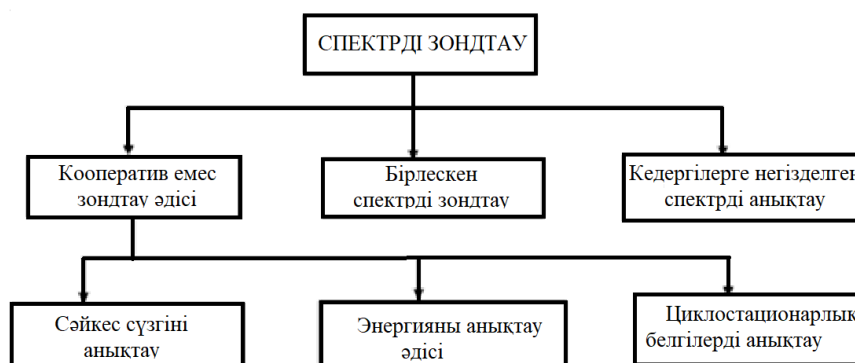
CR - дегі негізгі мәселе - спектрді зондтау. Спектрді зондтауды келесідей анықтауға болады. Лицензияланған спектрде негізгі пайдаланушының (PUs) болуын анықтау және PUs кедергісін болдырмау үшін жиілік диапазонынан мүмкіндігінше тез шығу. Бастапқы сигналдың болуын анықтау үшін әртүрлі әдістер қолданылады. Спектрді анықтау әдістерін екіге азайтуға болады. Тікелей техника және жанама техника.

Тікелей әдіс: бағалау үшін сигналдық тәсілді қолдануға болады. Бұл жиілік аймағындағы тәсіл ретінде де белгілі.

Жанама әдіс: бағалау үшін сигналдың автокорреляциясы қолданылады. Бұл уақытша саладағы тәсіл ретінде де белгілі.

Спектрді зондтау когнитивті циклдің негізгі міндеті және CRs үшін басты мәселе болып табылады. Спектрді зондтау кезінде спектрді зерттеп, пайдаланылмаған жолақтарды тауып, PU спектрін болдырмай керек. Мұны "радио өлшеуіш сигнал функциясының әрекеті" деп анықтауға болады. Анықтау ықтималдығын арттыру үшін 1.8 - суретте көрсетілгендей спектр бойынша анықтаудың көптеген әдістерін қолдануға болады. [20]

Спектрді зондтау әдістерінің жіктелуі:



1.8-сурет – Спектрді зондтау классификациясы

1. Кооператив емес зондтау әдісі. Бұл жағдайда әрбір CR көрсетілген спектрде бастапқы сигналдың болуын немесе болмауын дербес анықтайды. Бұл әдіс жоғарыдағы диаграммада көрсетілген үш түрге ие.

Таратқыш анықталған кезде әрбір CR көрсетілген спектрде PU бар немесе жоқтығын дербес анықтау мүмкіндігіне ие болуы керек. Таратқышты анықтаудың гипотетикалық моделі, [21] яғни, SU анықтаған сигнал болып табылады:

$$\begin{cases} H_0: y(t) = w(t) \\ H_1: y(t) = h \cdot x(t) + w(t) \end{cases} \quad (1.1)$$

мұндағы H_0 - сәйкес гипотезаны білдіреді "сигнал берілмейді", ал H_1 - "сигнал беріледі", $y(t)$ - қабылданған сигнал, $x(t)$ - берілген сигнал, $w(t)$ - аддитивті ақ

Гаусс Шу (AWGN) нөлдік орташа және дисперсиямен және N арна амплитудасы коэффициент күшейту арна коэффициенті.

Сәйкес сүзгіні анықтау, энергияны анықтау және циклостационарлық белгілерді анықтау сияқты бірнеше әдістер ұсынылды.

2. Бірлескен спектрді зондтау. Сымсыз CR сенсорлары дұрыс емес шешімдер қабылдауы мүмкін, өйткені радиотолқындардың сымсыз арналар арқылы таралуы көп сәулелі қату, көлеңкелеу және ғимаратқа ену сияқты қолайсыз факторларды қамтиды. Сонымен қатар, CR сымсыз сенсорларында аппараттық шектеулер бар және бір уақытта бірнеше арналарды қабылдай алмайды. Осылайша, сымсыз CR сенсорлары өзара әрекеттеседі және өлшеу өнімділігі мен дәлдігін жақсарту үшін сенсорлық ақпаратты бір-бірімен бөліседі [22].

Бірлескен спектрді зондтаудың бес артықшылығы:

- шудың белгісіздігі;
- сөну және көлеңкелеу мәселесін шешуге болады.
- жалған анықтау және жалған дабыл ықтималдығы төмендейді.
- жасырын негізгі пайдаланушы мәселесі де шешілді.
- бұл негізгі пайдаланушыны анықтаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді [23].

Бірлескен спектрді зондтаудың үш кемшілігі:

- бұл жүйенің күрделенуіне байланысты.
- бұл трафиктің үстеме шығындарын арттырады.
- әдіс басқа сенсорлық шешімдермен жаһандық шешім қабылдау үшін оған сенсорлық ақпаратты жіберу үшін басқару арнасының түйіндер болуын талап етеді.

Бірлескен зондтаудың үш түрі бар:

- (a) спектрді орталықтандырылған бірлескен зондтау;
- (b) спектрді орталықтандырылмаған бірлескен зондтау;
- (c) спектрді гибриді бірлескен зондтау.

(a) Спектрді орталықтандырылған бірлескен зондтау:

Спектрді орталықтандырылған анықтау әдістерінде әрбір сымсыз CR сенсоры өзінің жергілікті спектр анықтамасын дербес орындайды және белгілі бір арнада PU сигналы бар немесе жоқ екендігі туралы шешім қабылдайды. Содан кейін CR сымсыз сенсорлары өз шешімдерін кластер жетекшісі, коллектор немесе сервер сияқты өзара әрекеттесудің орталық мүшесіне береді. Орталық кооператор CR сымсыз сенсорларының қабылданған шешімін біріктіреді және PU жоқтығын немесе болуын анықтау үшін соңғы шешім қабылдайды. Сымсыз CR сенсоры деректерді жібергісі келгенде, ол Орталық оператордан арна туралы ақпаратты сұрайды. [24]

(b) Спектрді орталықтандырылмаған бірлескен зондтау:

Орталықтандырылмаған ынтымақтастықта CR сымсыз сенсорлары кластерлер арасында кластершілік ақпаратпен алмасады. Кластердегі сымсыз CR сенсорлары жергілікті спектрді зондтауды орындайды және кластерлердегі

басқа сымсыз CR сенсорларын олардың спектрлік шешімі туралы хабарлайды. Орталық серіктес жоқ; сондықтан ол орталықтандырылмаған түрде жұмыс істейді. Бұл схема спектр туралы ақпарат кестесін мезгіл-мезгіл жаңартуды қажет етеді, сондықтан көбірек жад пен есептеуді қажет етеді.

(с) Спектрді гибриді бірлескен зондтау:

Гибриді ынтымақтастықта CR сымсыз сенсорлары орталықтандырылмаған түрде ақпарат алмасады. Дегенмен, орталық кооператор қажет болған кезде арна туралы ақпаратты жіберу үшін кластер басын сұрай алады. Бірлескен зондтау кооперативті емес зондтаумен салыстырғанда артықшылықтарға ие болғанымен, ол қосымша есептеулер мен ресурстарды қажет етеді, бұл сымсыз сенсорлардың аппараттық шектеулерінде проблема болып табылады.

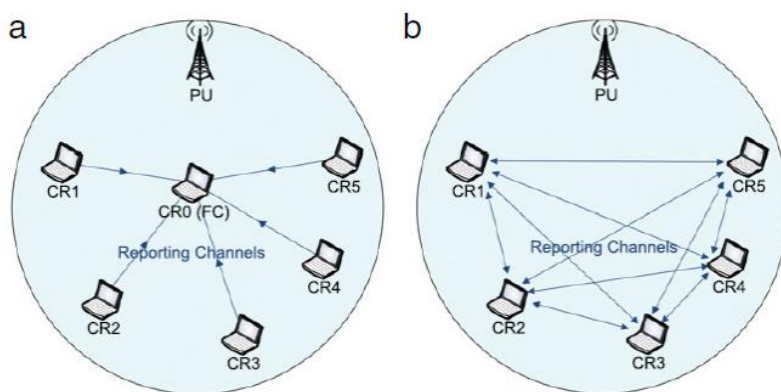
Зондтауды радиожиілік спектрін бірлескен когнитивті зондтау жүйесіндегі когнитивті радио желісі шеңберінде бірнеше түрлі радиостанциялар жүзеге асырады. Әдетте, желідегі әртүрлі радиостанциялардан келетін сигналдар туралы хабарламаларды орталық станция қабылдайды, бұл олардың бірлескен шешімін белгілі бір біріктіру ережесімен аяқтайды.

Бұл әдістің жұмысы келесідей:

1- Қадам: Жергілікті спектрді өлшеу әр когнитивті радио арқылы дербес жүзеге асырылады, содан кейін екілік шешім қабылданады.

2-Қадам: Барлық когнитивті радиостанциялардың екілік шешімдері ортақ қабылдағышқа, яғни ұялы желідегі WLAN немесе BS (базалық станция) кіру нүктесіне (AP) жіберіледі.

3-қадам: Бұл екілік шешімдер жалпы қабылдағышпен біріктіріліп, бақыланатын жиілік диапазонында негізгі пайдаланушының (PU) болуын немесе болмауын анықтау үшін түпкілікті шешім қабылдайды.



1.9-сурет – Бірлескен зондтау классификациясы:
(а) Орталықтандырылған, (б) үлестірілген.

Кесте 1.3 - Бірлескен зондтау классификациясының тәсілдері

Орталықтандырылған тәсіл:	CR спектрін бірлескен зондтау тәсілінде желіде fusion centre (FC) деп аталатын орталық CR бар, ол желідегі барлық CR sense-тен зондтау туралы ақпаратты жинайды. Бірлескен деректерді беру үшін барлық CRS басқару арнасына конфигурацияланған, мұнда зондтау нәтижелерін жіберу үшін әрбір өзара әрекеттесетін CR мен FC арасындағы физикалық нүкте-нүкте байланысы 1.6 (a) суретте көрсетілгендей есеп беру арнасы деп аталады. Содан кейін FC ақпаратты талдайды және қолдануға болатын және қолдануға болмайтын диапазондарды анықтайды.
Таратылған тәсіл:	орталықтандырылған тәсілден айырмашылығы, таратылған бірлескен зондтау бірлескен шешім қабылдау үшін FC-ге тәуелді емес. CR спектрін бірлесіп зондтау үшін таратылған тәсілді қолдана отырып, бірде-бір CR басқаруды өз мойнына алмайды. Әрбір CR өзінің нақты зондтау деректерін басқа CR-ге жібереді, өз деректерін қабылданған зондтау деректерімен біріктіреді және 1.6 (b) суретте көрсетілгендей жергілікті шартты қолдана отырып, PU бар-жоғын шешеді. Алайда, бұл тәсіл жеке CRS-тен Тәуелсіздіктің әлдеқайда жоғары деңгейіне ие болуды және өздерін арнайы желі ретінде құруды талап етеді.

3. Кедергілерге негізделген спектрді анықтау. Кедергілер қабылдағыштарда пайда болады, трансцентрлік түрде олар жеке таратқыштар мен шығарылатын қуаттың орналасуы арқылы таратқышта реттеледі және бақыланады.



1.10-сурет – Кедергі температурасының моделі

Бұл әдістің жұмыс принципі CR пайдаланушыларына кедергі температурасының деңгейімен шектелген төмен тарату қуатын пайдалана отырып, негізгі пайдаланушылармен (PU) бір уақытта бірге өмір сүруге және

тасымалдауға рұқсат етілетін ssp технологиясына ұқсас, бұл негізгі пайдаланушылар үшін ешқандай зиянды кедергілерді тудырмайды.

1.2 Спектрді анықтау әдістері: Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау және толқын формасына негізделген спектрді анықтау әдістері

Сигналдың берілуін анықтау үшін анықтау ықтималдығын арттыру үшін қолдануға болатын көптеген әртүрлі әдістер ұсынылған.

1. Энергияны анықтау

Энергияны анықтау: энергияны анықтау өлшенген энергияға негізделген сигналды анықтайды. Бұл PU сигналдарын алдын - ала білуді қажет етпейді. Бұл қарапайымдылығына байланысты өте танымал әдіс. Бұл әдістің басты кемшілігі - оның төмен дәлдігі болып табылады. Энергияны анықтау импульстік сигналды SUs сигналынан ажырата алмайды. Бұл әдісті кеңейтілген спектрлі сигналдарды анықтау үшін қолдану мүмкін емес және SNR төмен болған кезде өнімділігі төмен.

Оның негізгі мақсаты H_0 немесе H_1 орналасқан жерде болуын анықтау болып табылады. Мұнда сигнал екі мүмкін жағдайда болады, біріншісі - шудың болуы, ал екіншісі - сигналдың болуы. Қабылдағыш интегратордың шығысы негізінде осы белгісіз детерминирленген сигналдың болуын анықтайды. Сигнал жиілігінің бұл өзгерістері сигналдың болуымен немесе болмауымен анықталады.[26]

Спектрді зондтаудың мақсаты екі гипотезаның бірін таңдау болып табылады.

$$\begin{aligned}x(t) &= w(t), & H_0 \\x(t) &= hn(t) + w(t), & H_1\end{aligned}\tag{1.2}$$

мұндағы $x(t)$ - CR пайдаланушысы қабылдаған сигнал, $n(t)$ - негізгі пайдаланушының берілген сигналы, $w(t)$ - awgn жолағы, h - амплитудасы бойынша арнаның күшейту коэффициенті. H_0 - бұл лицензияланған пайдаланушы сигналы жоқ деп мәлімдейтін нөлдік гипотеза. [26]

Энергияны анықтау спектрді анықтаудың кең таралған тәсілі болып табылады, өйткені оның есептеу күрделілігі төмен және іске асыру қиын. Бұл лицензияланған пайдаланушы сигналын анықтау үшін қолданылатын когерентті емес анықтау әдісі және сигналды уақыт аймағынан жиілік аймағындағы көрініске түрлендіретін, сигналдың әр жиілігіндегі қуатты анықтайтын FFT (жылдам Фурье түрлендіруі) қолдануға негізделген. Ол PSD (спектрлік қуат тығыздығы) деп аталады.

Бұл әдісте энергия детекторының шығыс сигналы шудың минималды деңгейіне тәуелді шекті мәнмен салыстырылады және сигнал анықталады. [27]



1.11-сурет – Энергия детекторының құрылымдық схемасы

Мұнда сигнал арнаны таңдау үшін жолақ сүзгісіне (BPF) беріледі және уақыт аралығы бойынша біріктіріледі. Соңында, интегратордың шығысы негізгі пайдаланушының бар жоғын анықтау үшін шекті мәнмен салыстырылады. Шекті мән арна жағдайларына байланысты тұрақты немесе айнымалы ретінде орнатылуы мүмкін.

Егер анықталатын сигнал белгісіз болса, энергияны анықтау әдісі спектр ішіндегі сигналдарды табудың оңтайлы шешімі болып табылады.

Бұл тәсілде алынған энергия сигналы спектрдің толтырылуын анықтау үшін бақылау уақытында өлшенеді. Энергияны бағалаудың екі жолы бар: Парсевал теоремасының арқасында уақыттық аймақта және жиілік аймақта. Уақыт аймағындағы энергия келесідей анықталады:

$$E = \sum_{n=1}^N |y[n]|^2, \quad (1.3)$$

Қабылданған сигнал (күрделі немесе нақты) квадратталады және T бақылау интервалында біріктіріледі. Бұл операцияның нәтижесі қандай да бір сигналдың болуын анықтау үшін шекпен салыстырылады. Шешімнің моделін келесі жүйемен ұсынуға болады:

$$D = \begin{cases} H_0 & E \leq \lambda \\ H_1 & otherwise \end{cases}, \quad (1.4)$$

Мұндағы λ коэффициенті шекті мән болып табылады. Егер жиілік облысы таңдалса, Парсевал теоремасын еске түсіре отырып, энергияны бағалауға және шекті мәнмен салыстыруға болады.



1.12-сурет – Жиілік аймағындағы энергияны анықтау архитектурасы



1.13-сурет – Уақыт аймағындағы энергияны анықтау архитектурасы

Бұл әдісті бастапқы пайдаланушы сигналы туралы априорлық білімсіз жүзеге асыруға болады. Энергияны анықтау үшін шекті таңдау қиын болуы мүмкін, өйткені ол шудың өзгеруіне және әсіресе кедергі деңгейіне өте сезімтал.

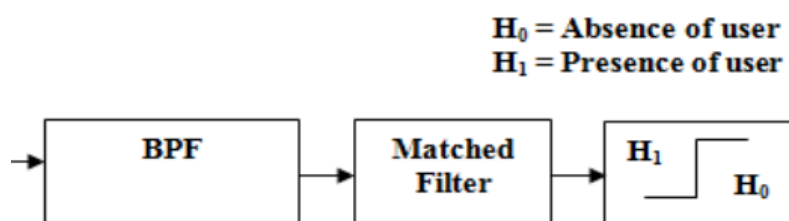
2. Сәйкес сүзгіні анықтау. Сәйкес сүзгіні анықтау: сүзгіні анықтаудың сәйкес техникасы РНУ және МАС қабаттарында РУ ақпараттық сигналын демодуляциялауды талап етеді, Модуляция түрі мен реті, импульс қалыптастыру, пакет форматы, пайдалану жиілігі, өткізу қабілеті және т.б. CR сымсыз датчиктері бұл ақпаратты ПУ ұшқыштарынан, кіріспелерден, синхрондау сөздерінен немесе таралатын кодтардан және т.б. алады. Сәйкес сүзгі әдісінің артықшылығы ол аз уақытты қажет етеді және алынған сигналдың аз үлгілерін талап етеді. Бұл келіп түскен ШНР сигналын және қажетті сигнал үлгілерінің санын азайтады. Алайда сәйкес сүзгілерді анықтау әдістері едәуір қуатты тұтынады және жоғары есептеу күрделілігін талап етеді. [28]

Когерентті детектор мен ақ Гаусс Шу статистикасы үшін қарапайым байланыс теориясындағы қателік ықтималдығы :

$$P_e = Q\left(\frac{\sqrt{E_s}}{2\sigma}\right), \quad (1.5)$$

мұндағы, 2σ -қабылдағыштың Шу қуаты, ал $Q(x) = 1 - F(x)$, мұндағы $F(x)$ - қалыпты үлестірудің стандартты функциясы.

Бұл қабылданған сигналдың шуылға қатынасын (SNR) барынша арттыратын Гаусс шуының оңтайлы детекторы. Келісілген сүзгі сигналды уақыт бойынша жылжытылған нұсқамен корреляциялау және берілген шек пен келісілген сүзгі шығысы арасындағы салыстыру арқылы PU болуын анықтайды. [29]



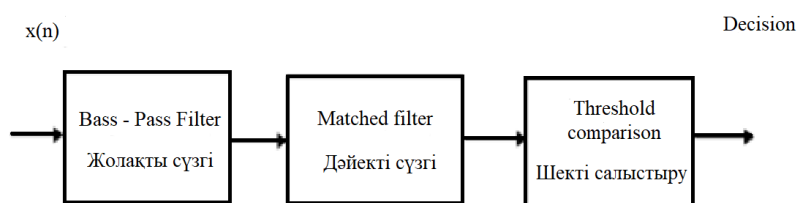
1.14-сурет – Келісілген сүзгінің құрылымдық схемасы

Келісілген сүзгіні анықтау операциясы түрінде көрсетіледі:

$$Y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(n-k)x(k), \quad (1.6)$$

мұндағы 'x' - SNR-ді барынша арттыру үшін 'h' - ден (анықтамалық сигналға сәйкес келетін консенсус сүзгісінің импульстік реакциясы) белгісіз сигнал. Бұл бастапқы пайдаланушылардың (PU) ақпараты когнитивті пайдаланушыларға белгілі болған кезде ғана анықтауға пайдалы. Бұл әдістің кейбір кемшіліктері: (1) әрбір бастапқы сигналды алдын ала білу қажет. (2) когнитивті негізгі пайдаланушының әрбір түрі үшін арнайы қабылдағыш қажет.

Егер дәйекті сүзгі (когерентті детектор) анықталса, егер CR бастапқы сигнал туралы алдын-ала білсе. Басқа зондтау әдістерімен салыстырғанда ол ең жақсы болып саналады. Қабылданатын сигналдың шуға қатынасы (SNR) барынша артады. [30]



1.15-сурет – Сәйкес сүзгіні анықтау

Құрылымдық схема үш бөлімнен тұрады. Бұл жолақты сүзгі, дәйекті сүзгі және шекті салыстыру. Келісілген сүзгіде белгісіз сигнал мен сүзгі жиналады. Анықтамалық сигналдың айна және уақыт бойынша ауысқан нұсқасы сүзгінің импульстік сипаттамасы болып табылады.

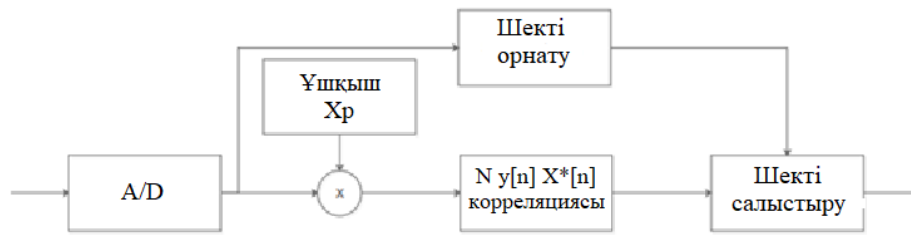
Сәйкес сүзгіні анықтаудың артықшылығы - дәл шешім қабылдау үшін қысқа оқу уақыты және максималды SNR. Негізгі кемшіліктер - бұл бастапқы сигнал туралы алдын-ала білімді және оның жоғары есептеу күрделілігін қажет етеді.

Механизм қабылданған сигналдың конволюциясын болжамды сигналдың уақыт бойынша кері нұсқасымен орындаудан тұрады және нәтиже шекті мәнмен салыстырылады. Сондықтан келесі екілік шешім қабылдануы мүмкін:

$$T = \sum_{n=1}^N y[n] * x[n], \quad (1.7)$$

$$D = \begin{cases} H_0 & E \leq \lambda \\ H_1 & otherwise \end{cases}, \quad (1.8)$$

Сәйкес сүзгіні әдеттегі пайдалану радар беру болып табылады. Ұшқыштар немесе преамбулалар сияқты анықталатын сигналдың ішінара ақпараты белгілі болса, дұрыс анықтау үшін бұл әдісті пайдалану әлі де мүмкін. Бұл әдісті қолданудың артықшылығы жақсы нәтижеге жету уақытында. Дегенмен, бұл әрбір сигналдың стандартты түрі үшін мақсатты жүйе бірнеше мүмкін жүйелерден тыс болған кезде күрделі қиындық ретінде күрделілікті арттыратын арнайы қабылдағыш қажет екенін білдіреді.



1.16-сурет – Пилоттық бастапқы жүйе ақпаратын пайдалана отырып, сәйкес сүзгі архитектурасы

1.3 Спектрді анықтаудың циклостационарлық әдісі

Циклостационарлық мүмкіндіктерді анықтау. Циклостационарлық белгілерді анықтау әдістерінде модуляцияланған сигналдар синус толқындарын тасымалдаушылармен, импульстік тізбектермен, қайталанатын таралумен, секіру тізбектерімен немесе циклдік префикстермен байланысады. Циклостационарлық нысандарды анықтау технологиясы тіпті төмен SNR аймақтарында да жоғары өнімділікті қамтамасыз етеді. Бұл сигналдарды жіктеудің жақсы қабілетіне ие. Алайда, бұл энергияны анықтаудан гөрі күрделі және жоғары жылдамдықты зондтауға қол жеткізу мүмкін емес. Егер мақсатты сигналдың сипаттамалары белгісіз болса, ол жұмыс істей алмайды. Циклостационарлық сигналдар периодтылықтан туындаған спектрлік артықшылыққа байланысты бөлінген спектрлік компоненттер арасындағы корреляцияны көрсетеді. Спектрлік корреляция циклостационарлық кездейсоқ процестің маңызды сипаттамалық қасиеттерінің бірі болып табылады. [31]

Бақыланатын $x(t)$ сигналының циклдік автокорреляциялық функциясы (CAF) келесідей бағалануы мүмкін:

$$R_x^\alpha(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t + \frac{\tau}{2}) x(t - \frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi\alpha t} dt, \quad (1.9)$$

мұндағы α -циклдік жиілік.

Спектрлік корреляциялық функцияны 1.9 теңдеуінің дискретті Фурье түрлендіруі арқылы есептеуге болады :

$$S_x^\alpha(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x^\alpha(\tau) e^{-j2\pi f \tau} d\tau, \quad (1.10)$$

CAF өрнегін ауыстыру :

$$S_x^\alpha(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \lim_{Z \rightarrow \infty} \frac{1}{TZ} \int_{-Z/2}^{Z/2} X_T(t, f + \frac{\alpha}{2} \tau) X_T(t, f - \frac{\alpha}{2} \tau) dt, \quad (1.11)$$

$$X_T(t, f) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} x(u) e^{-j2\pi f u} du, \quad (1.12)$$

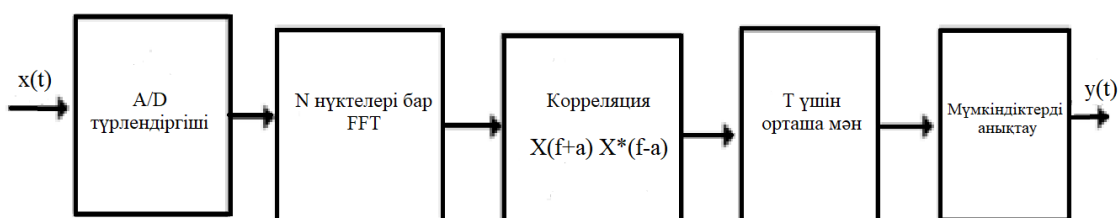
Анықтау спектрлік корреляциялық функция жазықтығының шыңына сәйкес келетін бірегей циклдік жиілікті іздеу арқылы жүзеге асырылады.

Циклостационарлық анықтауды жүзеге асырудың стандартты архитектурасы 1.17 - суретте көрсетілген. Әдетте бұл әдіс цифрлық салада жүзеге асырылады. Алдымен деректердің спектрлік компоненттері FFT арқылы бағаланады, содан кейін тікелей Алгоритмдер спектрлік компоненттер үшін спектрлік корреляцияны орындайды. Жоғарыда айтылғандай, спектрді зондтау үшін бұл әдістің басты артықшылығы шу энергиясын сигнал энергиясынан ажырату мүмкіндігі болып табылады. Бұл аспектіде әдіс энергия детекторымен салыстырғанда сенімдірек. Сонымен қатар, ол төмен SNR-мен жұмыс істей алады, бірақ есептеу кезінде пайда энергияға қарағанда жоғары болуы мүмкін. Іске асыру күрделірек және ұзақ бақылау уақытын қажет етеді.

Кесте 1.4 – Спектрді анықтаудың жиынтық әдістері

Спектрді анықтау әдістері	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Энергияны анықтау	Сигнал туралы ешқандай априорлық білімді қажет етпейді. Төмен есептеу шығындары	Төмен SNR жұмыс істей алмайды Бір арнаны бөлісетін сигналдарды ажырату мүмкін емес
Сәйкес сүзгі	Оңтайлы анықтау өнімділігі Төмен есептеу шығындары SNR барынша арттыру	Сигнал туралы априорлық білімді қажет етеді. Сигналдың әр түрі әр түрлі дизайнды қажет етеді
Циклостационарлық анықтау	Төмен SNR сенімділігі Сенімді интерфейс	Оған берілген сигнал туралы ішінара ақпарат қажет. Жоғары есептеу құны
Толқындарды анықтау	Кең жолақты сигнал үшін тиімді	Кеңейтілген спектрлі сигналдар үшін жұмыс істемейді. Жоғары есептеу құны

Негізгі пайдаланушылардың болуы қабылданған бастапқы сигналда жиілікті анықтау арқылы анықталады. Периодтылық әдетте синусоидалы тасымалдаушыларда, импульстік тізбектерде, кеңейтілген спектрлік тізбектерде (кеңейтілген кодтар мен секіру тізбектері) бастапқы сигналдарда болады [26].



1.17-сурет – Циклостационарлық белгілер детекторының құрылымдық схемасы

Құрылымдық схема бес бөлімнен тұрады. Бұл жолақты сүзгі, N - нүктелі FFT, корреляция, T орташалануы және мүмкіндіктерді анықтау. Ол шудың белгісіздігіне төзімді. Ол төмен SNR аймақтарында жақсы өнімділікке ие. Бұл сигналдың сипаттамаларын алдын-ала білуді талап етеді.

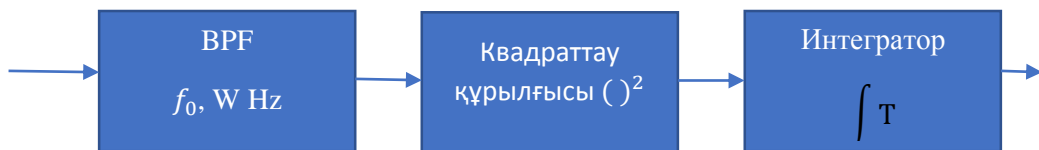
2 Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау әдістері

Энергияны анықтау практикалық іске асырудағы қарапайым схемаға байланысты сигналды анықтаудың ең танымал әдісі болып табылады.

Энергия детекторының принципі қабылданған сигналдың энергиясын табу және оны шекті мәнмен салыстыру болып табылады. [32] Энергияны анықтауды жылдам Фурье түрлендіруін (FFT) қолдана отырып, уақытша және жиілік аймағында жүзеге асыруға болатындығын көрсететін әртүрлі алгоритмдерді қарастырамыз.

2.1. Уақыт аймақтарында энергияны анықтау (Time domain energy detection) әдісі

Уақыт аймақтарында энергиясын анықтау – белгілі бір уақыт аралығында қабылданған сигналдың энергиясын өлшеу арқылы уақыт доменінде сигналдың болуын анықтау үшін спектрді зондтауда қолданылатын әдіс. Уақыт аймағындағы энергия детекторын жалпы талдау бойынша ең маңызды жұмыс жасалған, 2.1 - суретте көрсетілгендей Уақыт аймағында энергияны анықтауды ұсыну модельі көрсетілген. [33]



2.1-сурет – Энергияны анықтаудың уақыттық доменді көрсетуі

Урковиц классикалық жұмысы AWGN-де детерминирленген сигналды анықтауға негізделген және шудың нақты дисперсиясы априори белгілі. Кіріс сигналы $y(t)$ алдымен ортаңғы жиілігі f_0 және өткізу қабілеті W , тасымалдау функциясы бар идеалды жолақтық сүзгіден (BPF- Band Pass Filter) өтеді.

$$H(f) = \begin{cases} \frac{2}{\sqrt{N_0}}, & |f - f_0| \leq W \\ 0, & |f - f_0| > W \end{cases}, \quad (2.1)$$

мұндағы N_0 – бір жақты шу қуатының спектрлік тығыздығы, бұл жалған дабылды және сәйкес тасымалдау функциясын пайдаланып, анықтау ықтималдығын есептеу үшін қолайлы деп тапқан. Осыдан кейін V сигнал квадратталған және бақылау интервалына біріктірілген T сынақ статистикасын жасау үшін, λ шегімен салыстырылады. Қабылдаушы шекті мәннен асып кеткен жағдайда ғана мақсатты сигнал анықталғаны туралы шешім қабылдайды.

Екілік гипотезаларды тексеру кезінде қабылданған $y(t)$ су сигналы келесі түрде ұсынылуы мүмкін

$$\begin{cases} H_0: y(t) = w(t) \\ H_1: y(t) = x(t) + n(t) \end{cases} \quad (2.2)$$

мұндағы H_0 «берілмеген сигналға» және H_1 «берілген сигналға» сәйкес келетін гипотезаны білдіреді. $x(t)$ белгісіз детерминирленген жіберілген сигнал және $w(t)$ нөлдік орташа мәні және $\sigma_n^2 = WN_0$ дисперсиясы бар AWGN ретінде қабылданады, априори деп аталады. SNR $\gamma = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2}$ деп белгіленеді, мұндағы σ_s^2 сигнал дисперсиясы және σ_n^2 Шу дисперсиясы. Шеннонның іріктеу формуласын қолдана отырып, қалпына келтірілген Шу сигналын ала аламыз:

$$n(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} n_i \text{sinc}(2Wt - i), \quad (2.3)$$

мұндағы, $\text{sinc}(x) = \frac{\sin \pi x}{\pi x}$ - қалыпқа келтірілген sinc функциясы, ал $n_i = n(\frac{i}{2W})$ - i - Шу үлгісі. H_0 гипотезасы бойынша тест статистикасы келесідей:

$$V = \int_0^T (n(t))^2 dt \approx \frac{1}{2W} \sum_{i=1}^{2TW} n_i^2, \quad (2.4)$$

Егер біз BPF әсерін алып, жеңілдететін болсақ, онда энергия детекторы қолданатын шешуші ережені келесідей алуға болады:

$$V = \frac{1}{WN_0} \sum_{i=1}^{2TW} |y[i]|^2 = \sum_{i=1}^{2TW} y'^i{}^2 > \frac{H_1}{H_0} \lambda, \quad (2.5)$$

Дәл осындай тәсілді H_1 гипотезасына сәйкес, $x(t)$ сигналы болған кезде, әрбір n_i -ді $n_i + x_i$ -ге ауыстыру арқылы қолдануға болады, мұндағы $x_i = x(\frac{i}{2W})$.

Екі жағдай үшін де тест статистикасы келесідей көрсетілуі мүмкін:

$$V \sim \begin{cases} H_0: \chi_{2TW}^2 \\ H_1: \chi_{2TW}^2(2\gamma) \end{cases} \quad (2.6)$$

мұндағы χ_{2TW}^2 chi-квадрат $2TW$ еркіндік дәрежесі (DOF) және $\chi_{2TW}^2(2\gamma)$, бірдей DOF саны және 2γ -ке тең орталық еместік параметрі бар орталық емес chi-квадрат үлестірімі. Жалған дабылды анықтау ықтималдығы мен ықтималдығын есептеуге болады, егер $2TW > 250$ арқылы

$$P_d = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\frac{\lambda - 2TW - \gamma}{2\sqrt{2}\sqrt{TW + \gamma}} \right], \quad (2.7)$$

$$P_{fa} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{\lambda - 2TW}{2\sqrt{2}\sqrt{TW}} \right], \quad (2.8)$$

Урковицтің жұмысына және басқа да соған байланысты нәтижелерге сүйене отырып, Mills and Prescott [34] кең жолақты радиометрге арналған алты жалпы радиометрлік модельді ұсынды. Нақты нәтижелермен салыстыру бұл модельдердің өте үлкен уақыт өткізу жолағы (TW) үшін нақты нәтижелерге сәйкес келетінін көрсетті.

Соңғы жылы Lehtomaki [35] идеалды энергия детекторына негізделген сигналдарды анықтау бойынша үлкен зерттеу жұмыстарын жүргізді. Оның басты мақсаты энергияға негізделген детекторларды жасау болды. Квантталған жалпы қуаты бар энергия детекторы үшін анықтау шегін орнатудың әртүрлі мүмкіндіктері талданды.

Lee and Akyildiz [36] кедергілерді болдырмау және спектр тиімділігі мәселесін шешу үшін оңтайлы спектрді зондтау құрылымы максималды артқы ықтималдықпен (MAP) энергияны анықтауға және пайдаланушының негізгі әрекеттеріне негізделген шешім қабылдау критерийлеріне негізделген. PU қызметін екі күйдегі туу және өлім процесі, α өлім деңгейі және β туу деңгейі ретінде қарастыруға болады. Мұнда әрбір ауысу Пуассонның келу процесіне сәйкес келеді, яғни бастапқы желіні қосу (бос емес) және өшіру (бос) аралықтарының ұзақтығы экспоненциалды түрде бөлінеді.

Артқы ықтималдықты келесідей бағалай аламыз:

$$P_{off} = \frac{\alpha}{\beta + \alpha}, \quad (2.9)$$

$$P_{on} = 1 - P_{off} = \frac{\beta}{\beta + \alpha}, \quad (2.10)$$

мұндағы, P_{on} - негізгі пайдаланушылар пайдаланатын кезеңнің ықтималдығы және P_{off} - бос уақыттың ықтималдығы. MAP анықтау анықтамасынан p_d және p_{fa} келесідей өрнектелуі мүмкін, мұнда λ MAP анықтаудың шешім қабылдау шегі болып табылады.

$$P_d = P[V > \lambda | H_1] P_{on}, \quad (2.11)$$

$$P_{fa} = P[V > \lambda | H_0] P_{off}, \quad (2.12)$$

Гаусс шуымен бұрмаланған кездейсоқ сигналдар үшін жақсартылған энергия детекторының өнімділігі алынды. Шығару сигнал амплитудасын квадраттау операциясын ерікті оң қуат операциясымен ауыстыру арқылы, Чен стандартты энергия детекторының қарапайым модификациясына негізделген.

$$V = \sum_{i=1}^{2TW} \left(\frac{y[i]}{\sigma_n} \right)^p, \quad (2.13)$$

Moghimi and Schober [37] спектрді зондтау үшін жаңа гибриді когерентті энергияны анықтау схемасын ұсынады, ол күрделілігі төмен шешімдер қабылдаудың сәйкес жергілікті оңтайлы метрикасын жасады. Бұл гибриді метрика когерентті метрика мен энергияны анықтау метрикасының сызықтық тіркесімі болып табылады және осы жеке көрсеткіштердің артықшылықтарын біріктіреді, өйткені ол пилоттық сигналды да, PU шығаратын деректер белгілерін де пайдаланады.

Guicai YU және т.б. [38] динамикалық шекке негізделген энергияны анықтаудың жаңа алгоритмі ұсынылған. Теориялық нәтижелер мен модельдеу ұсынылған схема таңдау шегімен орташа шу қуатының ауытқуынан туындаған өнімділік пен анықтау сезімталдығының төмендеуін жояды, сонымен қатар қысқа уақыт ішінде шу қуатының орташа ауытқуын ұнатпауды жақсартады және жақсы өнімділікке қол жеткізеді.

Зерттеушілердің жиілік аймағындағы энергияны анықтау туралы процестері:

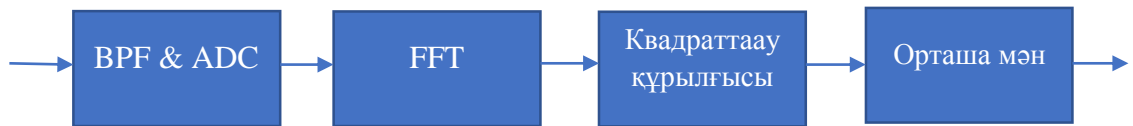
Pandharipande and Linnartz [39] бір антеннаның энергияны анықтау схемасымен салыстырғанда анықтау өнімділігін арттыруды талдау үшін әрбір көп антеннаны өңдеуге негізделген энергияны анықтау схемасы (SC және MRC) үшін жалған дабыл ықтималдығы үшін анықтау ықтималдығы мен өрнек үшін жабық пішінді өрнектерді шығарды.

Torgieri [40] практикалық энергия детекторы (жолақтық үлгілеуі бар энергия детекторы) әртүрлілікті біріктіретін және біріктірмейтін AWGN және Рэлей арналары үшін сипатталған және талданған. Радиометрдің шығысындағы шу қуатын өлшеу аралығы жеткілікті ұзақ болса, дәл өлшеуге болады.

Li және т.б. [41] CR жүйесінде Рэлейдің сөну арнасы арқылы PU сигналын анықтау әдістерін зерттейді. Қос шекті анықтау арна селекторымен ұсынылады. Бұл әдісте когнитивті пайдаланушы максималды SNR арнасын таңдау арқылы сигналдарды қабылдайды, осылайша ол Рэлейдің өшетін ортасында PU сигналын тиімді анықтай алады.

2.2 Жиілік аймақтарында энергияны анықтау (Frequency domain energy detection) әдісі

Жиілік аймақтарында энергиясын анықтау – белгілі бір жиілік диапазонында қабылданған сигналдың энергиясын өлшеу арқылы жиілік доменінде сигналдың болуын анықтау үшін спектрді зондтауда қолданылатын әдіс. Жиілік аймағындағы сигнал энергиясын өлшеу үшін қабылданған сигнал алдымен жолақ сүзгісі арқылы қызығушылық өткізу қабілеттілігін таңдайды және іріктеледі, содан кейін FFT көмегімен жиілік аймағына түрлендіріледі, содан кейін коэффициенттер квадратталады, содан кейін бақылау жолағы бойынша орташа мән алынады. Ақырында, орташа және шекті арасындағы салыстыруға сәйкес, 2.2-суретте көрсетілгендей PU болуы немесе болмауы анықталуы мүмкін.



2.2-сурет – Жиілік аймағындағы энергияны анықтау көрінісі

Энергияны анықтау жиілік доменінде периодограммалар мен Уэлч периодограммасы арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Периодограмма әдісі - қуаттың спектрлік тығыздығын (PSD) бағалау үшін дискретті Фурье түрлендіруіне (DFT) негізделген әдіс. Уэлч периодограммасының идеясы - деректер тізбегін терезе дисплейі бар сегменттерге бөлу. Уэлч әдісінде бұл деректер сегменттері қабаттасуы және қабаттасуы мүмкін. Бір периодограмманы бағалаумен салыстырғанда шудың дисперсиясын төмендететін қабаттасатын терезелерді пайдалану.

Жиілік аймағындағы энергияны анықтауға негізделген спектрлік зондтауды қолдану когнитивті радио жүйелер үшін зерттелді.

Cabric және т.б. [41] спектрді FFT шамасының квадратына қарай бағалау үшін периодограмманы қолдады. Тәжірибелерде қолданылған сынақ алаңы Berkeley Emulation Engine 2 (BEE2) айналасында салынған.

Mustonen және т.б. [42] AWGN арнасындағы ынтымақтасатын түйіндер үшін Welch periodogram негізіндегі спектрді зондтау өнімділігі зерттелді.

Zayen және т.б. [43] тегістеу күрделілікті салыстырмалы түрде төмен деңгейде сақтай отырып, өнімділікті арттыра отырып, Уэлчтің периодограмма негізіндегі зондтауына қолданылды. Чен FAR деп аталатын Уэлчтің периодограммаға негізделген спектрді сезіну алгоритмі енгізілген. Алгоритмнің сұлулығы шешім айнмалысының дыбыс деңгейінің сезімтал емес болуы болып табылады.

Miar and Aboulnasr [44] CR үшін PSD бағалау үшін жеңілдетілген DFT матрицаларына негізделген спектрді анықтаудың жаңа әдістері енгізілді. Бұл әдіс DFT әдістеріне қарағанда есептеу жағынан онша күрделі емес, өйткені уақыт аймағын жиілікке түрлендіру процесінде ешқандай көбейту қажет емес.

Зерттеушілердің жиілік аймағындағы энергияны анықтау туралы процестері:

Matinmikko және т.б. [45] CR жүйелеріне арналған Рэйлейдің сөну арналарында Уэлч периодограммасын пайдаланып спектрді зондтау өнімділігін бағалады. Қарастырылған тиімділік көрсеткіштері P_d және P_f қатынастарын сандық түрде көрсететін қабылдағыштың жұмыс сипаттамалары болды.

Энергияны анықтау әдісі қазіргі уақытта бірлескен зондтауда қолданылатын ең кең таралған анықтау механизмі болып қала береді. Себебі шудың белгісіздігіне байланысты оның өнімділігінің кейбір төмендеуін ынтымақтастық нәтижесінде пайда болатын әртүрлілікті арттыру арқылы азайтуға болатындығына байланысты.

Atarattu және т.б. [46] CR желісіндегі бірлескен спектрді зондтау үшін пайдаланылатын энергия детекторының анықтау өнімділігі көп жолды өшуі және көлеңкесі бар арналар арқылы зерттеледі. Харжула және т.б, жиілікті таңдамалы өшетін ортадағы Welch периодограммасының зерттеулеріне негізделген бірлескен спектрді зондтау. Жұмыс OFDM сигналын анықтауға бағытталған. Жиілік селективті арнаның әсері бір және көп тасушы сигналдар үшін де зерттелді.

Жоғарыда аталған сценарийлер үшін ынтымақтастықтың әсері және сенсорлық түйін шешімдері арасындағы айырмашылықтар да зерттелді. Неккала және т.б. [47] жүргізілген алдыңғы зерттеулерді кеңейтіп, практикалық іске асыруға байланысты тақырыптарға назар аударады. Спектрді зондтаудың есептеу күрделілігін азайту үшін Уэлч периодограммасында кішірек FFT өлшемі қолданылады. Сондықтан Welch периодограммасын іске асырудың күрделілігі және қажетті өңдеу қуаты бағаланады.

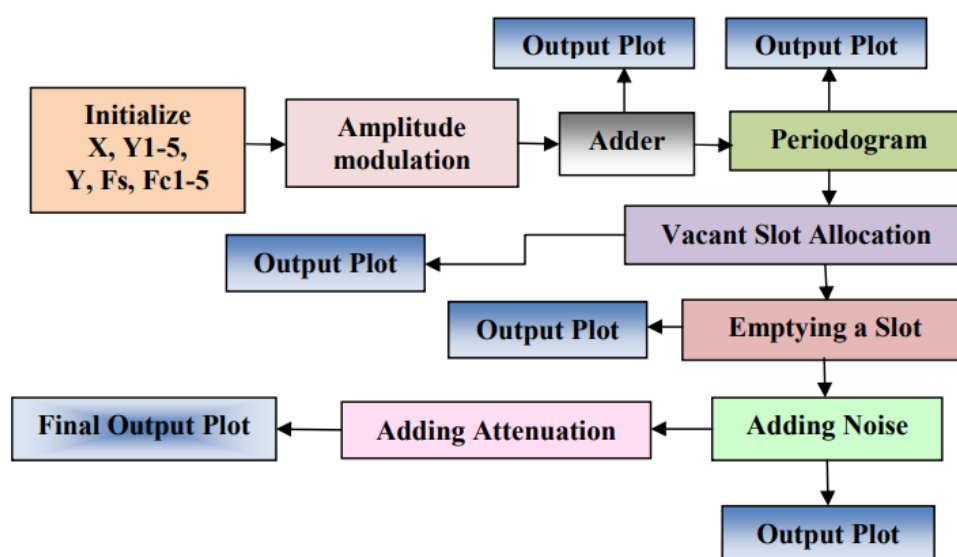
Gismalla and Alsusa [48] PSD бағалауына негізделген энергияны анықтауды қолданатын когнитивті радио жүйелердің өнімділігін талдауды қамтамасыз етеді. Рэлейдің және Рисиан арналары үшін жалған дабыл ықтималдығы мен жіберіп алу ықтималдығы үшін математикалық өрнектер алынды. Уақыт аймағындағы энергияны анықтаумен салыстырғанда, бақылау ұзақтығының өзгеруі белгілі бір жиілікте жалған дабыл ықтималдығына әсер етпейтінін анықтады.

3 Matlab көмегімен когнитивті радио жүйесін енгізу әдістемесі

Matlab көмегімен когнитивті радиожүйені енгізу әдетте келесі қадамдарды қамтиды:

Жүйені жобалау: бірінші қадам – спектрді сезіну, спектрді басқару және спектрге қол жеткізу компоненттерін қоса алғанда, когнитивтік радиожүйені жобалау. Бұл әрбір компонент үшін сәйкес алгоритмдер мен әдістерді таңдауды және тасымалдаушы жиілігі, өткізу қабілеттілігі және модуляция схемасы сияқты жүйе параметрлерін анықтауды қамтиды.

Модельдеуді орнату: Жүйені жобалау аяқталғаннан кейін келесі қадам Matlab жүйесінде модельдеу ортасын орнату болып табылады. Бұл модельдеу уақыты, шу күші және сигнал-шу қатынасы (SNR) сияқты модельдеу параметрлерін анықтауды қамтиды. Модельдеу қондырғысы когнитивті радиожүйе жұмыс істейтін нақты жағдайды көрсету үшін жобалануы керек.



3.1-сурет – Модельдеу блок-схемасы.

(Initialization) Инициализация - пайдаланушылар үшін 5 тасымалдаушы жиілік жолағы, хабарлама жиілігі және үлгі жиілігі инициализацияланады.

(Modulation) Модуляция - амплитудалық модуляция арқылы сәйкес жиілік диапазонында пайдаланушы деректерін модуляциялайды.

(Adder) Қосқыш - таратушы сигналды алу үшін барлық модуляцияланған сигналдардың қосындысы.

(Periodogram) Периодограмма - қабылданған сигнал қуатының спектрлік тығыздығын бағалау.

(Vacant Slot Allocation) Бос орынды бөлу - жаңа пайдаланушыға келген кезде бірінші спектрлік тесік беріледі.

(Emptying a slot) Слотты босату - пайдаланушыға барлық слоттар бос болмаса, белгілі бір слотты босату ұсынылады.

(Addition of noise) Шу қосу - қосылған Шу мөлшері.

(Attenuation) -әлсіреу пайызы енгізіледі.

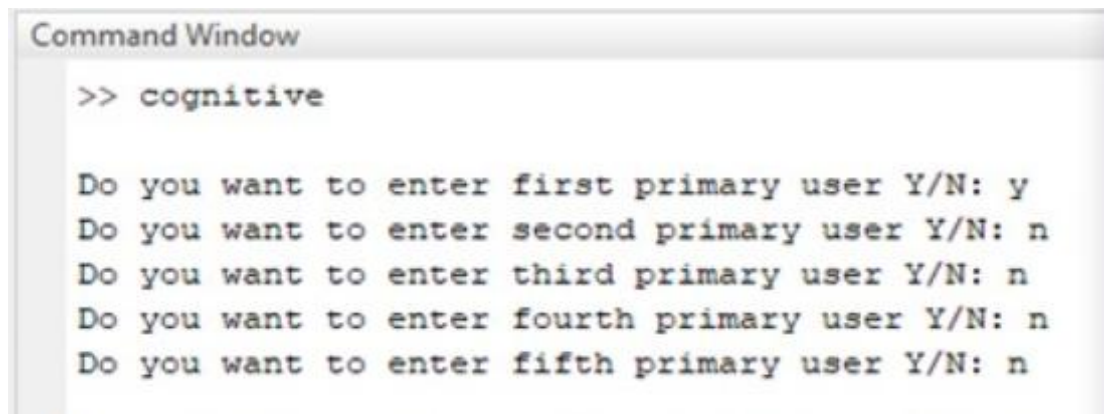
Нәтижесі. Когнитивті радио жүйесі негізгі пайдаланушы жоқ спектрдегі тесікті үздіксіз іздейді және энергияны анықтау әдісімен анықталады. Ол спектрдегі тесікті анықтаған кезде, ол бірден екінші пайдаланушыға (SU) таратылады және бастапқы пайдаланушы (PU) ұяны алғысы келгенде, екінші пайдаланушы оны бірден қалдырады [16].

5 сигнал үшін тасымалдаушы жиіліктер 1 МГц, 2 МГц, 3 МГц, 4 МГц, 5 МГц, ал үлгі жиілігін модельдеу үшін 12 МГц қолданылды. Сигналдың қуат спектрінің тығыздығы (PSD) есептеледі, берілген Шекті мәнмен салыстырылады және бастапқы пайдаланушы сигналының болуы анықталады.

Matlab көмегімен когнитивті радио жүйесін кодтау жүйесі: А қосымшасында келтірілген.

Негізгі пайдаланушының жиілік спектріне тағайындалуы

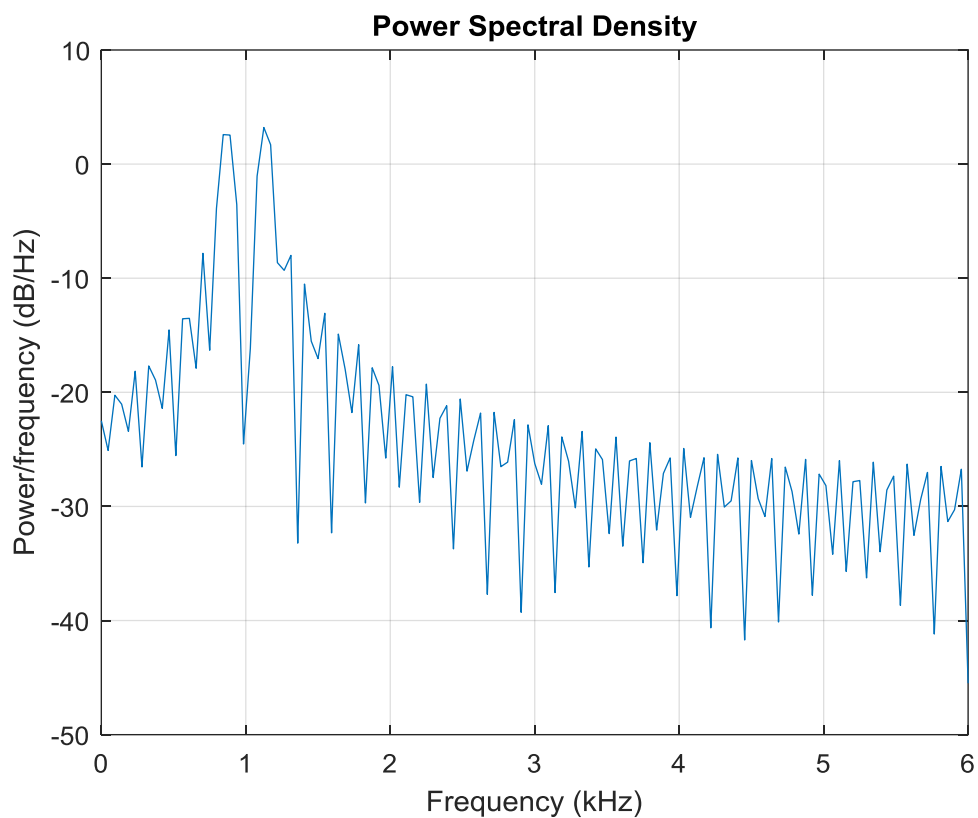
Жүйені 5 түрлі жиілік арнасы болатындай етіп жасалды және әр пайдаланушыға белгілі бір жиілік диапазоны тағайындалды.



```
Command Window
>> cognitive

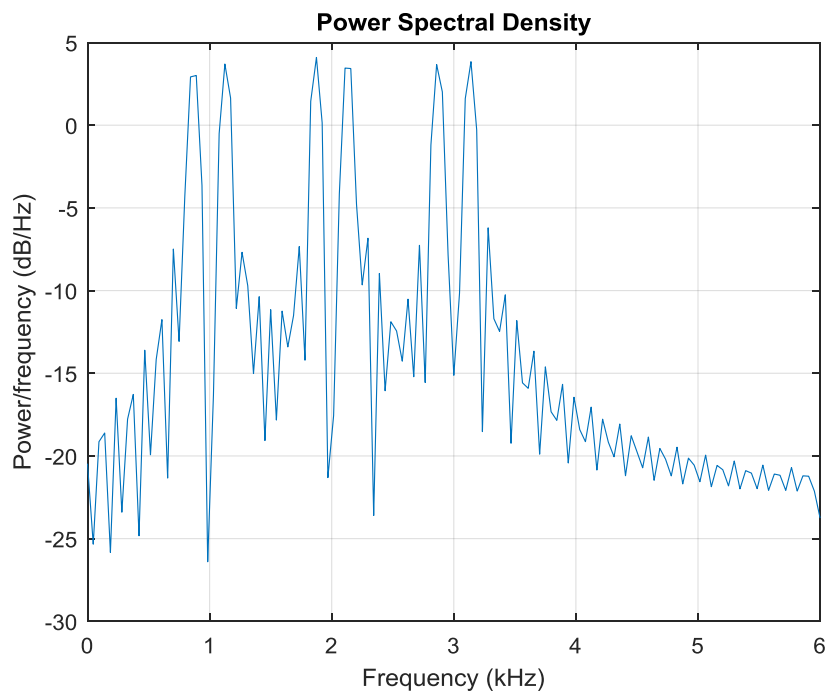
Do you want to enter first primary user Y/N: y
Do you want to enter second primary user Y/N: n
Do you want to enter third primary user Y/N: n
Do you want to enter fourth primary user Y/N: n
Do you want to enter fifth primary user Y/N: n
```

3.2-сурет – Жиілік спектріне негізгі пайдаланушыны қосу



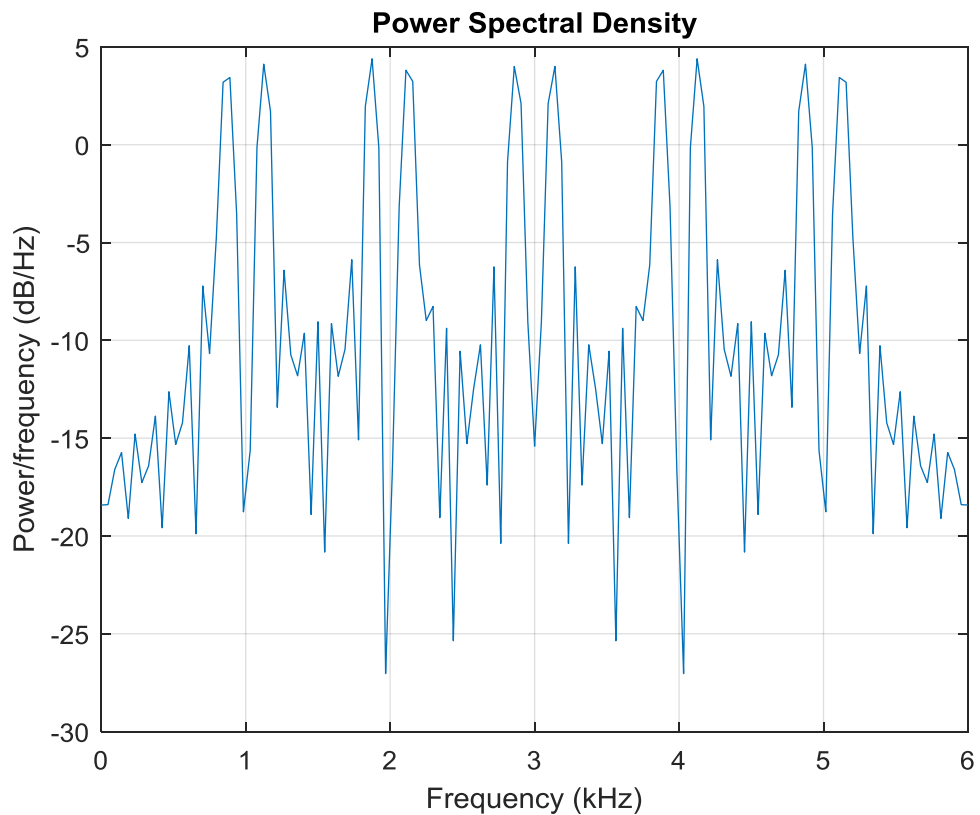
3.3-сурет – (1-ші) Пайдаланылған жолақтар

Мұнда 2, 3, 4 және 5 пайдаланушыны енгізген жоқпыз, сондықтан олардың тиісті жолақтары әлі таралмаған.



3.4-сурет – (1-ші, 2-ші және 3-ші) Пайдаланылған жолақтар

Төмен шыңдар 4-ші, 5-ші негізгі пайдаланылмаған жолақтарға арналған, ал жоғары шыңдар 1-ші, 2-ші және 5-ші негізгі пайдаланушыларға арналған.



3.5-сурет – Спектрдің барлық жолақтары

Енді тасымалдаушыға Шу қоса аламыз және жүйе дБ-де қажетті SNR (сигнал / шу қатынасы) сұрайды.

Мұнда сигналға Шу қосылды. Нәтижесінде шулы тасымалдаушы қуатының спектрлік графигі төменде келтірілген.

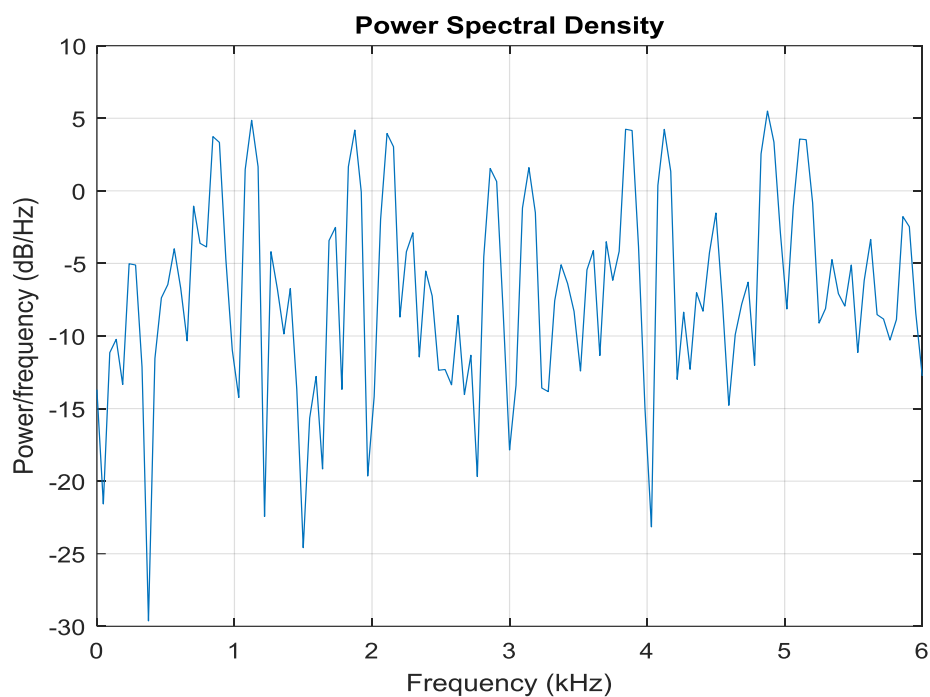
```
Command Window

Do you want to enter first primary user Y/N: y
Do you want to enter second primary user Y/N: y
Do you want to enter third primary user Y/N: y
Do you want to enter fourth primary user Y/N: y
Do you want to enter fifth primary user Y/N: y

Do you want to enter another primary user Y/N: y
all user slots in use. try again later,
Do you want to empty a slot: n
Do you want to add noise: y
Enter the SNR in dB: 5
```

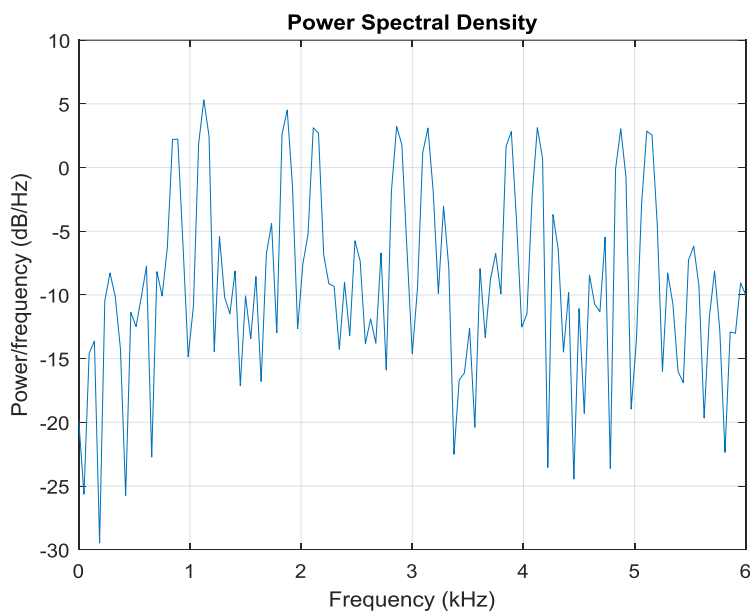
3.6-сурет – Пәрмен терезесінде Шу қосу

Егер сигнал/шу коэффициенті (SNR) 5 дБ болса, онда



3.7-сурет – Шу деңгейі 5 дБ болатын спектрлік қуат тығыздығының қисығы

SNR жоғарылаған сайын спектрдегі бұзылулар азаятынын байқауға болады. Бұл дегеніміз, шулы арна қабылданған сигналда қателік ықтималдығын арттырады.



3.8-сурет – Шу деңгейі 10 дБ болатын спектрлік қуат тығыздығының қисығы

Сигналдың әлсіреуі

Енді тасымалдаушыны босатамыз және жүйе қажетті босату пайызын сұрайды.

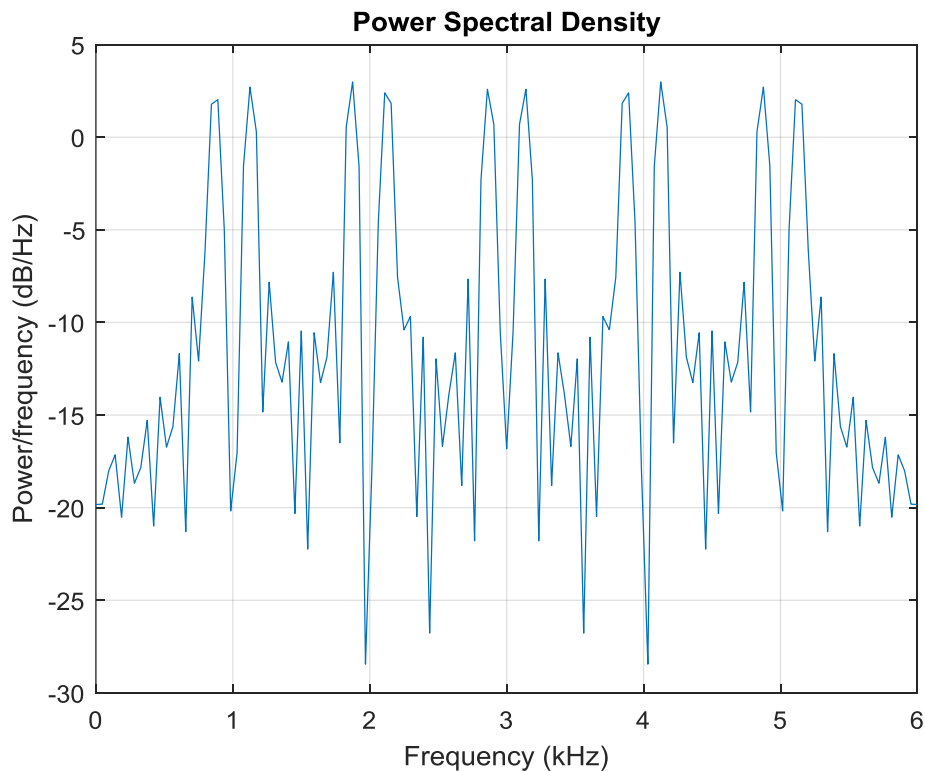
```
Command Window

Do you want to enter first primary user Y/N: y
Do you want to enter second primary user Y/N: y
Do you want to enter third primary user Y/N: y
Do you want to enter fourth primary user Y/N: y
Do you want to enter fifth primary user Y/N: y

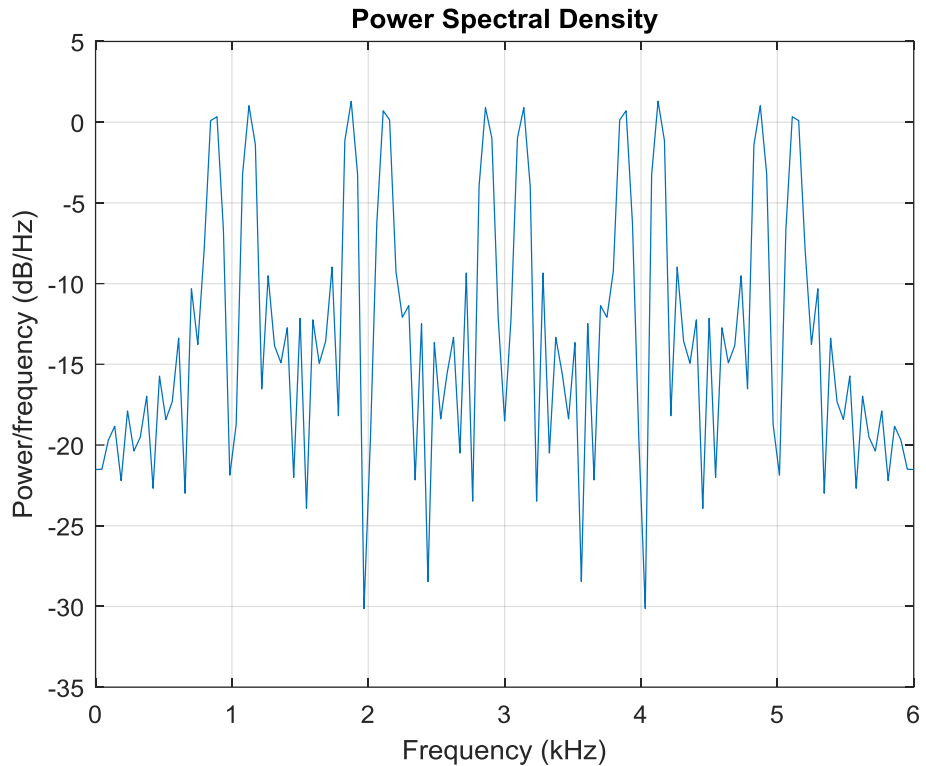
Do you want to enter another primary user Y/N: y
all user slots in use. try again later,
Do you want to empty a slot: n
Do you want to add noise: y
Enter the SNR in dB: 5
Do you want to attenuate the signals? [Y/N]: y
Enter the percentage to attenuate the signal: 30
```

3.9-сурет – Пәрмен жолы терезесінде сигналдың әлсіреуі

Әлсіреген сигнал төменде көрсетілген.



3.10 - сурет - Шу деңгейі 5 дБ және 15% әлсіреу кезіндегі спектрлік қуат тығыздығының қисығы



3.11-сурет – Шу деңгейі 5 дБ және 30% әлсіреу кезіндегі спектрлік қуат тығыздығының қисығы

3.2 Анықтау ықтималдығы және Жалған дабыл ықтималдығы қисықтарын алу (curves of Probability of detection and Probability of false alarm)

Модельдеу жүйесі:

Егер OFDM сигналдары ақ шудың нөлдік орташа мәні $E(n)$ AWGN арнасы арқылы өтсе, онда 3.1 – суретте көрсетілгендей негізгі жиілік диапазонының сигналы алынуы керек:

$$r(n) = y(n) + e(n), \quad (3.1)$$

CR пайдаланушылары бос лицензиялық спектрді тиімді пайдалану үшін қол жетімді спектрді пайдаланады. Спектрдің қол жетімділігін ұсынылуы мүмкін болжаудың екілік моделі:

$$r(n) = \begin{cases} e(t), H_0 \\ y(t) + e(t), H_1 \end{cases} \quad (3.2)$$

мұндағы H_0 - негізгі пайдаланушы жоқ, H_1 - негізгі пайдаланушы бар.

Нейман-Пирсонды детекторы (NP) жалған дабыл ықтималдығы белгіленген деңгейден аспауын қамтамасыз етуді. Осылайша, NP шешім ережесінің мақсатты функциясын қарапайым түрде:

$$Q = P_d + g(P_{fa} - a), \quad (3.3)$$

мұндағы (P_{fa}) - жалған дабыл ықтималдығы, (P_d) - анықтау ықтималдығы.

P_d және P_{fa} NP детекторы ықтималдық коэффициенті сынағы ретінде 3.4 – суретте көрсетілгендей ұсынылуы мүмкін:

$$\begin{cases} P_r(r/H_1 > \lambda H_1) \\ P_r(r/H_0 > \lambda H_0) \end{cases} \quad (3.4)$$

мұндағы r – қабылданған сигнал, λ – шекті мән.

Код спектрлік сканерлеу сценарийінде энергия сигналын анықтау үшін ROC (Receiver Operating Characteristic) графигі қолданылады. Графиктің әр бөлігін қарастыратын болсақ:

Жалған дабыл ықтималдығы (P_{fa}): графиктің бұл осі жалған дабылдың ықтималдығын білдіреді. Ол жүйе сигнал болмаған кезде оны анықтау ықтималдығын өлшейді. Жалған дабылдың ықтималдығы көлденең ось бойынша өлшенеді.

Анықтау ықтималдығы (P_d): бұл график осі анықтау ықтималдығын білдіреді. Ол жүйенің арнадағы сигналдың болуын сәтті анықтау ықтималдығын өлшейді. Анықтау ықтималдығы тік осьпен өлшенеді.

ROC қисықтары: графикте бірнеше ROC қисықтары бар, олардың әрқайсысы белгілі бір SNR мәніне сәйкес келеді (signal-to-Noise Ratio). Әдетте графикте жүйенің өнімділігі әртүрлі Шу деңгейлерінде қалай өзгертінін талдау үшін бірнеше SNR мәндерінің қисықтары берілген.

Түс схемасы: әрбір ROC қисықтарын бір-бірінен оңай ажырату үшін ерекше түспен (мысалы, қызыл, көк, күлгін және т.б.) белгіленеді.

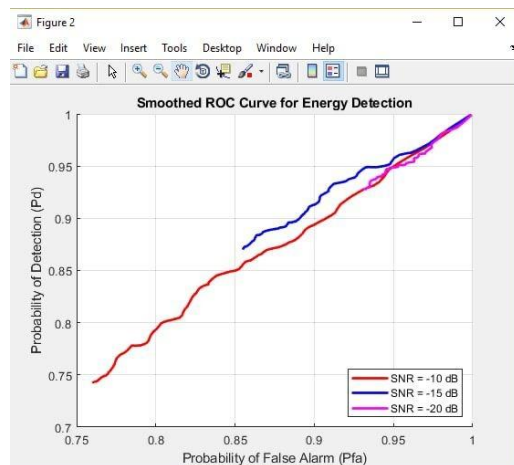
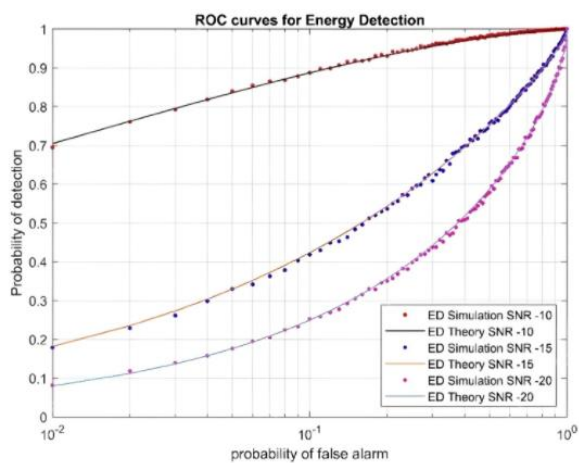
Әрбір ROC қисығы үшін SNR мәндерін көрсетеді. Бұл қай түстің SNR мәніне сәйкес келетінін анықтауға көмектеседі.

ROC қисығы жоғарғы сол жақ бұрышқа неғұрлым жақын болса (анықтау ықтималдығы 1-ге жақын, ал жалған дабыл ықтималдығы 0-ге жақын).

Нәтижесі. 15 дБ және 20 дБ Шу деңгейінде ROC қисықтары үзілгенін байқаймыз. Бұл шудың жоғары деңгейінде анықтау жүйесінің өнімділігі төмендейтінін көрсетеді. Жоғарғы жағындағы ROC қисықтарының үзілуі немесе төмендеуі SNR берілген мәндерінде жалған дабыл ықтималдығы арта бастайды және анықтау ықтималдығы төмендейді дегенді білдіреді.

Графиктен төмен шу деңгейінде ($SNR = -10$ дБ) анықтау жүйесінің өнімділігі жақсырақ екенін көруге болады, өйткені ROC қисығы жоғарғы сол жақ бұрышқа жақын. Бұл дегеніміз, шу деңгейі төмен болған кезде жүйе сигналды

жалған дабылдың ықтималдығы аз және анықтау ықтималдығы жоғары сәтті анықтай алады.



3.12-сурет – Әр түрлі SNR мәндері бар ED ROC қисықтарын қолдана отырып Pd мен Pfa салыстыру

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста келесі негізгі нәтижелер алынды:

1. 5G желісінде радиожилік спектрін тиімді пайдалану үшін радионегізделген когнитивті спектрді зондтау әдісіне шолу жүргізілді. Бұл ретте спектрді зондтау, спектрді басқару, спектрді бөлісу және спектрдің ұтқырлығы қарастырылды.

2. Когнитивті радио желілеріндегі зондтау стратегияларын, сондай-ақ олардың кемшіліктері мен артықшылықтарын терең талдау көрсетілді.

3. 5G сигналдары үшін когнитивті радио зерттеулерінің бағыттары ретінде: кедергілерді басқару және олардың салдарын азайту, қуатты реттеу және оңтайландыру ұсылды.

4. Спектрге қол жеткізуге мүмкіндік беретін когнитивті радио жүйелерінің негіздері болып табылады. Энергияны анықтауға негізделген спектрді анықтау және толқын формасына негізделген спектрді анықтау әдістері мен спектрді анықтаудың циклоstationарлық әдістері қарастырылды.

5. Зерттеу барысында когнитивті спектрдің қарапайым және тиімді әдісі зерттелді. Әрбір компонент үшін сәйкес алгоритмдер мен әдістерді таңдауды және тасымалдаушы жиілігі, өткізу қабілеттілігі мен модуляция схемасы сияқты жүйе параметрлерін анықтау қамтылды.

6. Анықтау ықтималдығы, жалған дабыл ықтималдығы, негізгі пайдаланушы сигналы, қабылданған сигнал, қабылданған сигнал энергиясы т.б. параметрлер математикалық формулалар негізінде анықталды.

7. Matlab бағдарламасында кодты іске қосқаннан кейін анықтау ықтималдығы және жалған дабыл ықтималдығы қисықтары алынды және алынған нәтижелерге талдау жасалынды.

8. MATLAB жүйесінде анықтау ықтималдығы және жалған дабыл ықтималдығы қисықтарын алу, арнаның қуат спектрлік тығыздығының негізіндері мен тиімділігін, сондай-ақ шулы сигналдың әлсіреуін қамтамасыз ететін когнитивті радио жүйесі іске асырылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. "Cognitive Radio Technology in 5G Wireless Communications," S. Bhandari and S. Joshi, 2018 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), Delhi, India, 2018, pp. 1115-1120, <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2018.8897345>
2. "Energy Detection Technique for Spectrum Sensing in Cognitive Radio: A Survey" Mahmood A. Abdulsattar and Zahir A. Hussein. September 2018 <http://dx.doi.org/10.5121/ijcnc.2012.4514>
3. Effectiveness of Spectrum Sensing in Cognitive Radio toward 5G Technology Devasis Pradhan, IEEE Member, Priyanka K C. <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2018.8897345>
4. "An Overview of Cognitive Radio Networks". Chintha Tellambura, & Sachitha Kusaladhama, (2017), J. Webster (ed.), Wiley Encyclopaedia of Electrical and Electronics Engineering. <https://doi.org/10.1002/047134608x.w8355>
5. A Review on Cognitive Radio Spectrum Sensing Candidature for 5G and Next Generations. Z. Augustine, S. M. Sani, and A. M. S. Tekanyi. Sule Lamido University Journal of Science and Technology (SLUJST) Vol. 2 No. 3 [December, 2021], pp. 19-24 M. T.
6. Masonta, M. Mzyece and N. Ntlatlapa, "Spectrum Decision in Cognitive Radio Networks: A Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 3, pp. 1088-1107, <https://doi.org/10.1109/SURV.2012.111412.00160>
7. "Cognitive radio in 5G networks". M. A. Mohammed Ahmed, 2022. <http://196.202.134.58:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4715/COGNITIVE%20RADIO%20IN%205G%20NETWORKS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
8. "5G Radio Access: Capabilities and Technologies" Ericsson White Paper Uen 284 23-3204 Rev C April 2016.
9. "5g Technology Evolution". U. B. Shukurillaevich, R. O. Sattorivich and R. U. Amrillojonovich, 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 2019, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICISCT47635.2019.9011957>
10. Prinima D, Pruthi DJ. Evolution of Mobile Communication Network: from 1G to 5G. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2016; 4(4):224.
11. J. A. del Peral-Rosado, R. Raulefs, J. A. López-Salcedo and G. Seco-Granados, "Survey of Cellular Mobile Radio Localization Methods: From 1G to 5G," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 2, pp. 1124-1148, Secondquarter 2018, <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2785181>
12. Farooq M, Ahmed MI, Al UM. Future generations of mobile communication networks. Academy of Contemporary Research Journal. 2017 Jan; 2(1):24-30.
13. Mehta H, Patel D, Joshi B, Modi H. 0G to 5G mobile technology: a survey. J. of Basic and Applied Engineering Research. October 1(6):56-60.

14. J. Mitola III and G. Q. Maguire, Jr., "Cognitive radio: Making software radios more personal," IEEE Personal Communications Magazine, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. <https://doi.org/10.1109/98.788210>
15. Energy detection technique for spectrum sensing in cognitive radio: A survey. Mahmood A. Abdulsattar and Zahir A. Hussein. September 2022. International Journal of Computer Networks and Communications 4(5):223-242 [DOI:10.5121/ijcnc.2012.4514](https://doi.org/10.5121/ijcnc.2012.4514)
16. "Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies," FCC, ET Docket No. 03-108, 2022.
17. P. Wang and I. F. Akyildiz, "On the Origins of Heavy-Tailed Delay in Dynamic Spectrum Access Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 11, no.2, pp. 204-217, IEEE DOI: 10.1109/TMC.2011.187.
18. M.B.H. Weiss, "Spatio - temporal spectrum holes and the secondary user," Journal: 2011 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks, pp. 216-222, DOI: 10.1109/DYSPAN.2011.5936209.
19. A Comprehensive Survey on Effective Spectrum Sensing in 5G Wireless Networks through Cognitive Radio Networks. P Ramakrishna, P T Sivagurunathan, Dr.N Sathishkumar et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 17 012070 DOI:[10.1088/1742-6596/1717/1/012070](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1717/1/012070)
20. "Spectrum sensing methodologies in cognitive radio networks: A survey" Amrutha and K. V. Karthikeyan, 2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT), Coimbatore, 2017, pp. 306-310, <https://doi.org/10.1109/icieimt.2017.8116855>
21. A. Mate, K.H. Lee, and I-Tai Lu, "Spectrum Sensing Based on Time Covariance Matrix Using GNU Radio and USRP for Cognitive Radio," 2011 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference, pp. 1-6, DOI: 10.1109/LISAT.2011.5784217.
22. "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey," Authors: I.F. Akyildiz, B.F. Lo, and R. Balakrishnan, Physical Communication, vol. 4 no. 1 pp. 40-62, 2011. Elsevier [DOI: 10.1016/j.phycom.2017.12.003](https://doi.org/10.1016/j.phycom.2017.12.003)
23. Datta, P., & Khushbu, P. B. (2017). Spectrum Sensing Techniques Applied In Cognitive Radio Networks – A Comparison. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM), 6(4), 2319-4847.
24. Ian F.Akyildiz, Brandon F.Lo, Ravikumar Balakrishnan "Cooperative Spectrum sensing in Cognitive Radio Networks: A Survey", Physical Communication 4(2011)40-62.
25. N. Noorshams, M. Malboubi and A. Bahai, "Centralized and decentralized cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A novel approach," 2010 IEEE 11th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Marrakech, Morocco, 2010, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/SPAWC.2010.5670998>
26. Journey of mobile generation and cognitive radio technology in 5G. Parnika De and Shailendra Singh, Department of Engineering and Application, National Institute of Technical Teacher Training and Research, 2017.

<https://www.researchgate.net/publication/312097072> Journey of Mobile Generation and Cognitive Radio Technology in 5G

27. Bodepudi Mounika, Kolli Ravi Chandra, Rayala Ravi Kumar, "Spectrum Sensing Techniques and Issues in Cognitive Radio", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) - Volume4 Issue4 – April 13.

28. Spectrum Sensing Techniques Applied In Cognitive Radio Networks – A Comparison. Purbasha Datta, Khushbu, Prabir Banerjee, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management Volume 6, Issue 4, April 2017. <https://www.researchgate.net/publication/317011483> Spectrum Sensing Techniques Applied In Cognitive Radio Networks - A Comparison

29. Ireysuwa E.Igbinosa, Olutayo O. Oyerinde, Viranjay M. Srivastava, Stanley Mneney, "Spectrum Sensing Methodologies for Cognitive Radio Systems: A Review", International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Vol. 6, No. 12, 2015.

30. Mansi Subhedar, Gajanan Birajdar "Spectrum sensing Techniques in Cognitive Radio Networks: A survey", International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.3, No.2, June 3. DOI: 10.5121/ijngn.2011.3203

31. "A comprehensive Study on Spectrum Sensing and Resource Allocation for Cognitive Cellular Network". A. Mandal and S. Chatterjee, "A comprehensive Study on spectrum sensing and resource allocation for cognitive cellular network," 2017 Devices for Integrated Circuit (DevIC), Kalyani, India, 2017, pp. 100-102. DOI: 10.1109/DEVIC.2017.8073915

32. P. Pawelczak, K. Nolan, L. Doyle, S. W. Oh and D. Cabric, "Cognitive radio: Ten years of experimentation and development," in IEEE vol. 49, no. 3, pp. 90-100, March 2011, DOI: 10.1109/MCOM.2011.5723805.

33. H. Urkowitz, "Energy Detection of Unknown Deterministic Signals," Proc. of the IEEE, vol. 55, no. 4, pp. 523-531.

34. R.F. Mills, and G.E., "Prescott, A comparison of various radiometer detection models," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 32, no. 1, pp. 467-473. IEEE DOI: 10.1109/7.481289.

35. J. J. Lehtomaki, "Analysis of energy based signal detection," A Doctoral Dissertation, University of Oulu, 2005. Available online, <http://herkules.oulu.fi/isbn9514279255>.

36. Won-Yeol Lee , I. F. Akyildiz, "Optimal spectrum sensing framework for cognitive radio networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, Oct. 2008, pp. 3845-3857.

37. F. Moghimi, R. Schober, and R.K. Mallik, "Hybrid Coherent/Energy Detection for Cognitive Radio Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 10, no. 5, pp.1594-605, 2011. IEEE DOI: 10.1109/TWC.2011.030411.100973

38. Y. Guicai, L. Chengzhi, X. Mantian, and X. Wei, "A Novel Energy Detection Scheme Based on Dynamic Threshold in Cognitive Radio Systems," Journal of Computational Information Systems, vol. 8, no. 6, pp. 2245–2252, 2012.

39. A. Pandharipande, and J.-P.M.G. Linnartz, "Performance Analysis of Primary User Detection in a Multiple Antenna Cognitive Radio," 2007 IEEE International Conference on Communications, pp. 6482-6486, 2007. IEEE [DOI: 10.1109/ICC.2007.1072](https://doi.org/10.1109/ICC.2007.1072).
40. S. Ciftci, and M. Torlak, "A Comparison of Energy Detectability Models for Spectrum Sensing," 2008 IEEE Global Telecommunications Conference, pp. 1-5, 2008. IEEE [DOI: 10.1109/GLOCOM.2008.ECP.578](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2008.ECP.578).
41. Won-Yeol Lee, I. F. Akyildiz, "Optimal spectrum sensing framework for cognitive radio networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, Oct. 2008, pp. 3845-3857.
42. M. Mustonen, M. Matinmikko, and A. Mammela, "Cooperative spectrum sensing quantized soft decision combining," 2009 4th International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, pp. 1-5, 2009. IEEE [DOI: 10.1109/CROWNCOM.2009.5188980](https://doi.org/10.1109/CROWNCOM.2009.5188980).
43. B. Zayen, A. Hayar, H. Debbabi, H. Besbes, "Application of smoothed estimators in spectrum sensing technique based on model selection," International Conference on Ultra-Modern Telecommunications & Workshops, pp. 1-4, 2009. IEEE [DOI:10.1109/ICUMT.2009.5345519](https://doi.org/10.1109/ICUMT.2009.5345519).
- 44 Y. Miar, C. D'Amours, A.Yongacoglu, and T.Aboulnasr, "Simplified DFT: A novel method for wideband spectrum sensing in cognitive radio," IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks,pp. 647-651, 2011. IEEE [DOI: 10.1109/DYSPAN.2011.5936262](https://doi.org/10.1109/DYSPAN.2011.5936262).
45. M. Matinmikko, H. Sarvanko, M. Mustonen, and A. Mammela, "Performance of spectrum sensing using Welch's periodogram in Rayleigh fading channel," 4 th International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, pp. 1-5, 2009. IEEE [DOI: 10.1109/CROWNCOM.2009.5188937](https://doi.org/10.1109/CROWNCOM.2009.5188937).
46. S. Atapattu, C. Tellambura, and Hai Jiang, "Energy Detection Based Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 10, no. 4, pp. 1232-1241, 2011. IEEE [DOI: 10.1109/TWC.2011.012411.100611](https://doi.org/10.1109/TWC.2011.012411.100611).
47. A. Hekkala, I. Harjula, D. Panaitopol., T. Rautio, and R. Pacalet, "Cooperative spectrum sensing study using Welch periodogram," Proceedings of the 11th International Conference on Telecommunications, pp. 67-74, 2011.
48. E.H. Gismalla, and E. Alsusa, "Performance Analysis of the Periodogram - Based Energy Detector in Fading Channels," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 59, no. 8, pp. 3712-3721, 2011. IEEE [DOI: 10.1109/TSP.2011.2153849](https://doi.org/10.1109/TSP.2011.2153849)
49. Sarika Tale, Priyangu Shaya Sarmah, Simulation of Cognitive Radio System by using Automatic Insertion of Primary Users. 2015 <https://www.ijcaonline.org/research/volume123/number6/tale-2015-ijca905356.pdf>
50. Md Jakir Hossain, "Simulation of a cognitive radio system by using MATLAB" [10.13140/RG.2.2.26253.84961/1](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26253.84961/1)

РЕЦЕНЗИЯ
Дипломдық жұмыс

Абдугапар Нұрдана Керимжанқызы
6В06201 - Телекоммуникация

Тақырыбына: «5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау».

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 49 парақ;
б) түсініктеме 5 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында 5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау қарастырылған.

Дипломдық жұмыс үш бөлімнен тұрады. Алғашқы бөлімде радиожілік спектрін тиімді пайдалану үшін радио негізді когнитивті спектрді зондтау әдістеріне байланысты соңғы жылдардағы өзекті әдебиеттерге шолу жүргізілген. Сондай-ақ, когнитивті радионың төрт негізгі қызметіне талдау жасалынған. Екінші бөлімде уақыт және жиілік аймақтарында энергияны анықтау әдістері зерттеліп талданған. Анықтау ықтималдығы, жалған дабыл ықтималдығы, негізгі пайдаланушы сигналы, қабылданған сигнал, қабылданған сигнал энергиясы және т.б. параметрлер анықталған. Үшінші бөлімде когнитивті радио жүйесін енгізу әдістемесі ұсынылып, анықтау ықтималдығы және жалған дабыл ықтималдығы қисықтарын алу, арнаның қуат спектрлік тығыздығының негізіндері мен тиімділігін, сондай-ақ шулы сигналдың әлсіреуін камтамасыз ететін когнитивті радио жүйесі әзірленді.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай Абдугапар Нұрдана Керимжанқызы жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – 5G сигналдары үшін когнитивті радионы жүйесін құруды талдау және салыстыру технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жобаға "95" (өте жақсы) деген баға, ал студент 6В06201 – Телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

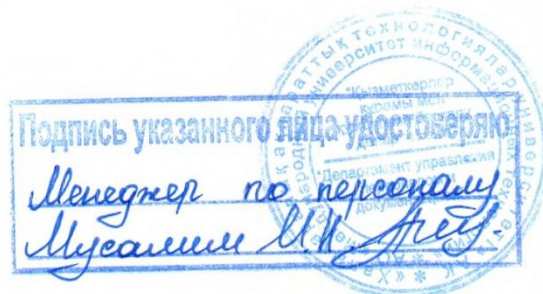
Рецензент

Халықаралық ІТ университеті

т.ғ.к., қабылдастырылған профессоры

 Д. Илипбаева

«01» 06 2023 ж.



Ғылыми жетекшінің пікірі

Дипломдық жұмыс

Абдугапар Нұрдана Керимжанқызы

6B06201- Телекоммуникация

Тақырыбы: **5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау**

Сымсыз құрылғылардың қарқынды дамуымен сымсыз спектрдің қол жетімділігі айтарлықтай төмендеуде. Болашақ сымсыз жүйелердің алдында тұрған маңызды мәселе - болашақ қызметтерге күтілетін сұранысты қанағаттандыру үшін қолайлы тасымалдаушы жиіліктер мен өткізу қабілеттілігін табу болып табылады. Бұл дипломдық жұмыс когнитивті радио технологиясы арқылы спектрді анықтай отырып, 5G дәуірінде жоғары жылдамдықты кез келген уақытта және кез келген жерде сенімді үздіксіз байланысты қамтамасыз ету және радио спектрлерін тиімді пайдалануды зерттеуге бағытталған.


Дипломдық жұмыс негізгі үш бөлімнен тұрады. Алғашқы бөлімде радиожілік спектрін тиімді пайдалану үшін радио негізді когнитивті спектрді зондтау әдістеріне байланысты соңғы жылдардағы өзекті әдебиеттерге шолу жүргізілген. Екінші бөлімде уақыт және жиілік аймақтарында энергияны анықтау әдістері зерттеліп талданған. Үшінші бөлімде ұсынылған когнитивті радио жүйені енгізу әдістемесінің моделі ұсынылып, шулы сигналдың әлсіреуін қамтамасыз ететін когнитивті радио жүйесі әзірленген.

Дипломдық жұмысты жазу барысында Абдугапар Нұрдана еңбекқорлық және жоғары жауапкершілік танытып, жетекші тарапынан қойылған тапсырмаларды уақытылы орындап, берілген сындарды ескеріп, тиісті нәтижелерді алды деп ойлаймын.

Жалпы дипломдық жұмысты "95/A/ өте жақсы", деп бағалап, ал студент Абдугапар Нұрдана Керимжанқызы 6B06201-Телекоммуникация мамандығы бойынша «бакалавр» біліктілігіне сай деп есептеймін.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. аға оқытушысы

 Сейдалиева У.О.

« 31 » 05 2023 ж.



**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: Абдугапар Нұрдана Керимжанқызы

Тақырыбы: 5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау

Жетекшісі: Улжалгас Сейдалиева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.5

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.1

Дәйексөз (35): 1.1

Әріптерді ауыстыру: 17

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 32

Ақ белгілер: 75

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:

1.06.2023
Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Абдугапар Нурдана Керимжанқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: 5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау

Научный руководитель: Улжалгас Сейдалиева

Коэффициент Подобия 1: 3.5

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 32

Знаки из других алфавитов: 17

Интервалы: 0

Белые Знаки: 75

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:

1.06.2023

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Абдугапар Нурдана Керимжанқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: 5G сигналдары үшін когнитивті радионы зерттеу және талдау

Научный руководитель: Улжалгас Сейдалиева

Коэффициент Подобия 1: 3.5

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 32

Знаки из здругих алфавитов: 17

Интервалы: 0

Белые Знаки: 75

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:

1.06.2023
Дата

Марселия С. Офф
проверяющий эксперт