

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

Төлеген Қарақат Мырзашқызы

«Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу
әдістерін зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 - Телекоммуникациялар

Алматы 2025

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



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін
бейімдеу әдістерін зерттеу»

6B06201 – Телекоммуникациялар

Орындаған:

Қ.М.Төлеген

Рецензент:

ф.-м.ғ.к., Ғ.Дәукеев ат. АЭЖБУ
профессор-оқытушысы

М.А.Хизирова

«30» мамыр 2025 ж.

Ғылыми жетекші
техн.ғыл.кандидаты,
ЭТжҒТ каф. қауымдастырылған
профессоры

Д.А.Дараев

«21» 05 2025 ж.

Алматы 2025

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 ғарыш технологиялар кафедрасы

6B06201 – Телекоммуникациялар



Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы: Төлеген Қарақат Мырзашқызы

Тақырыбы: «Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу».

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 ж. № 26 П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «30» мамыр 2025 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері: 1) Жұмыс жиілігі диапазоны: 300 МГц–10 ГГц; 2) Сәулелену диаграммасы: бағытталған және бағытталмаған; 3) КСВ (коэффициент стоячей волны): ≤ 1.5 ; 4) Пайдалану қашықтығы: 10 км дейін; 5) Поляризация: тік, көлденең, шеңберлік. Толқын ұзындығы: $\lambda=0.125$ м (яғни, жиілік $f=2.4$), элементтер саны: $N=8$.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі: а) Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеудің тиімді әдістері ұсынылады; б) Әзірленген әдістердің техникалық және экономикалық тиімділігі дәлелденеді; в) Эксперименттік нәтижелер негізінде практикалық ұсыныстар жасалады.

Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілуі керек.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. Balanis, C.A. Antenna Theory: Analysis and Design. – 4th Edition. – Wiley, 2016. – 1104 бет.
2. Stutzman, W.L., & Thiele, G.A. Antenna Theory and Design. – 3rd Edition. – Wiley, 2012. – 848 бет.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Ақпарат тарату жағдайларына әсер ететін негізгі факторларды зерттеу (метеорологиялық, топографиялық, электромагниттік).	1.02.2025 ж. - 21.02.2025	<i>орындау</i>
Әртүрлі ортада жұмыс істейтін антенналардың түрлері мен параметрлерін талдау.	21.02.2025 - 01.03.2025	<i>орындау</i>
Антенна параметрлерін бейімдеу үшін заманауи әдістерді зерттеу (мысалы, фазалық жиынтықтар, адаптивті алгоритмдер).	01.03.2025 - 14.05.2025	<i>орындау.</i>

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	Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ каф.қауымдастырылған профессоры Дараев А.М.	1.02.25	<i>А.М.Дараев</i>
Теориялық ақпарат	Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ каф.қауымдастырылған профессоры Дараев А.М.	1.03.25	<i>А.М.Дараев</i>
Норма бақылау	ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы Досбаев Ж.М.	21.05.25	<i>Ж.М.Досбаев</i>

Ғылыми жетекшісі

А.М.Дараев

А.М.Дараев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы *Қ.М.Төлеген* Қ.М.Төлеген
Күні « 1 » 02 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл жұмыста ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістері теориялық және тәжірибелік тұрғыдан зерттелді. Жұмыс барысында антенна жүйелерінің қоршаған ортаға байланысты сипаттамаларын оңтайландыру үшін бейімделгіш алгоритмдер (LMS, GA, PSO, RL) қарастырылып, MATLAB және SDR негізіндегі тәжірибелік сынақтар жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бейімделу алгоритмдерін қолдану арқылы байланыс сапасының (SNR), сенімділіктің (BER) және бейімделу жылдамдығының едәуір жақсарғанын көрсетті. Жұмыстың нәтижелері 5G, IoT және смарт құрылғыларда қолданылатын антенна жүйелерін жобалауда практикалық маңызға ие.

АННОТАЦИЯ

В данной работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование методов адаптации параметров антенны в зависимости от условий распространения информации. Рассмотрены современные алгоритмы адаптации (LMS, GA, PSO, RL) и реализовано моделирование в среде MATLAB, а также практические испытания с использованием SDR. Результаты показали значительное улучшение качества связи (SNR), надежности (BER) и скорости адаптации. Полученные данные могут быть использованы при разработке антенн для систем 5G, IoT и интеллектуальных устройств.

ANNOTATION

This presents a theoretical and experimental study of antenna parameter adaptation methods based on information propagation conditions. Modern adaptation algorithms (LMS, GA, PSO, RL) were analyzed and implemented in MATLAB, along with experimental validation using SDR systems. The results demonstrate significant improvement in signal quality (SNR), reliability (BER), and adaptation response time. The findings have practical implications for designing antenna systems in 5G networks, IoT devices, and smart communication systems.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Антенналар мен ақпарат тарату ортасының теориялық негіздері	9
1.1 Негізгі параметрлері	9
1.2 Антенна параметрлерінің өзара байланысы және өлшеу әдістері	11
1.3 Бағыттылық диаграммасын өлшеу	11
1.4 Күшейту коэффициентін өлшеу	11
1.5 VSWR (қайтарылған толқын коэффициенті)	11
1.6 Ақпарат тарату арналары және олардың сипаттамалары	12
1.7 Фадинг және көпсәулелі таралудың антенна жұмысына әсері	12
1.8 Бейімделгіш антенна жүйесіне қойылатын талаптар	15
1.9 Ақпарат тарату жағдайларына әсер ететін негізгі факторлар	15
2 Антенна параметрлерін бейімдеудің заманауи әдістері	17
2.1 Бейімделгіш антенналар түсінігі	17
2.2 Бейімделгіш антенналар және фазалық антенна торлары (ФАР)	18
2.3 Фазалық антенна торлары (ФАТ/ФАР) және олардың артықшылықтары	20
2.4 Қайта конфигурацияланатын антенналар (Reconfigurable antennas)	20
2.5 Жасанды интеллект және машиналық оқыту негізінде бейімдеу	21
2.6 Бейімделу алгоритмдері және оларды басқару	26
3 Бейімделу алгоритмдерін модельдеу	27
3.1 MATLAB немесе CST Studio көмегімен антенна модельдерін жасау	27
3.2 CST Studio Suite көмегімен антенна симуляциясы	28
3.3 MATLAB және CST Studio байланысы	28
3.4 Антенна элементтерін құру	30
3.5 Антенна сипаттамаларын талдау	30
3.6 Антенна массивтерін құру	30
3.7 Антенна сипаттамаларын оңтайландыру	31
3.8 Антенна құрылымының схемасы	31
3.9 Антенна сипаттамалары	33
3.10 Модельдеу ортасы және бастапқы параметрлер	33
3.11 Бейімделу алгоритмдерінің модельдері	34
3.12 Симуляциялық нәтижелер және талдау	34
3.13 Модельдеу нәтижелерінің қорытындысы	35
4 Тәжірибелік зерттеулер және нәтижелер	37
4.1 Тәжірибе мақсаты және әдістемесі	38
4.2 Зерттеу құралдары	38
4.3 Өлшеу параметрлері	39
4.4 Өлшеу нәтижелері	39
4.5 Тәжірибелік зерттеулердің маңызы	40
Қорытынды	42

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	43
А қосымшасы	44
Б қосымшасы	45
С қосымшасы	46

КІРІСПЕ

Цифрлық және сымсыз байланыс жүйелерінің дамуы ақпаратты сенімді әрі жылдам жеткізуді талап етеді. Бұл талапты орындау үшін антенналық жүйелердің бейімделгіштігі ерекше маңызды. Ақпарат тарату ортасының өзгермелі сипаттары – кедергілер, көпсәулелі таралу, қоршаған ортаның физикалық шарттары – антенна сипаттамаларын нақты уақыт режимінде бейімдеу қажеттілігін тудырады. Осы жұмыстың мақсаты – ақпарат тарату ортасының ерекшеліктеріне байланысты антенна параметрлерін тиімді бейімдеу әдістерін зерттеу.

Қазіргі замандағы цифрлық технологиялардың жедел дамуы мен сымсыз байланыс жүйелерінің кеңінен таралуы ақпаратты сенімді, жоғары жылдамдықпен және тиімді түрде жеткізуді талап етеді. Бұл талаптарды қанағаттандыруда антенналық жүйелер негізгі рөл атқарады. Антенналар — радиожиіліктегі сигналдарды электромагниттік толқындарға айналдыратын және керісінше түрлендіретін негізгі құрылғылардың бірі. Ақпарат тарату сапасына антеннаның бағыттылығы, жиілік диапазоны, сәулелену сипаттамалары және қоршаған орта жағдайларына бейімделу қабілеті тікелей әсер етеді.

Сымсыз байланыс арналары статикалық емес, яғни уақыт бойынша өзгеріп отырады. Мысалы, ауа райы шарттары, мобильді пайдаланушылардың қозғалысы, ғимараттар мен басқа да кедергілердің әсері ақпарат таратуға кедергі келтіруі мүмкін. Мұндай жағдайда антенналық параметрлерді алдын ала берілген емес, нақты орта жағдайларына бейімдеу қажеттілігі туындайды. Бұл мәселені шешудің тиімді жолы бейімделгіш антенна жүйелерін пайдалану болып табылады.

Антенналық параметрлерді нақты ақпарат тарату ортасына бейімдеу арқылы жүйенің спектрлік тиімділігін, энергетикалық өнімділігін және байланыс сенімділігін арттыруға болады. Мұндай бейімделу жүйелері, әсіресе 5G, IoT (Internet of Things), спутниктік байланыс және ұялы байланыс салаларында өзекті болып отыр. Бейімделгіш алгоритмдерді қолдану арқылы антенна жұмысын нақты уақыт режимінде оңтайландыруға мүмкіндік туады.

Осы жұмыстың мақсаты – ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу, талдау және оларды модельдеу арқылы тиімділігін дәлелдеу. Жұмыста қазіргі заманғы антенна жүйелері мен оларды басқару тәсілдері қарастырылып, симуляциялық және эксперименттік зерттеулер жүргізіледі.

Жұмыстың өзектілігі – антенна параметрлерін нақты ортаға бейімдеу арқылы радиобайланыс жүйелерінің өнімділігін жоғарылату, деректердің жоғалуын азайту және спектрлік ресурстарды тиімді пайдалану мүмкіндігін арттыруда жатыр.

1 Антенналар мен ақпарат тарату ортасының теориялық негіздері

Антеннаның негізгі сипаттамалары: бағыттылық диаграммасы, күшейту коэффициенті, КСВ (қайтарылған толқын коэффициенті).

Ақпарат тарату арналары: ашық кеңістік, қалалық орта, ішкі ғимарат жағдайлары.

Фаддинг пен көпсәулелі таралудың антенна жұмысындағы әсері.

Антенна электромагниттік энергияны кеңістікке тарату немесе қабылдау үшін пайдаланылатын пассивті құрылғы. Антенна сипаттамалары оның ақпарат тарату сапасына тікелей әсер етеді.

Антенна – радиожилік ауқымындағы электромагниттік толқындарды тарату және қабылдау қызметін атқаратын радиотехникалық элемент. Ол электрлік сигналды кеңістіктегі электромагниттік өріске түрлендіріп, немесе керісінше, электромагниттік толқынды электрлік токқа айналдырады. Антенна радиобайланыс, телехабар тарату, спутниктік жүйелер, радар, навигация және сымсыз желілер сияқты көптеген технологиялардың негізгі құрамдас бөлігі болып табылады.

Антенна құрылымы мен сипаттамалары оның қолданылу мақсаты мен жұмыс жиілігіне тікелей байланысты. Ол бағытталған (мысалы, параболалық немесе фазалық торлы) және бағытталмаған (мысалы, диполь немесе изотропты антенна) түрлерге бөлінеді. Бағытталған антенналар сигнал қуатын нақты бір бағытқа шоғырландырып, байланыс сапасын арттырады және кедергілердің әсерін азайтады.

Антеннаның негізгі сипаттамаларына бағыттылық диаграммасы, күшейту коэффициенті, сәулелену тиімділігі, жұмыс жиілік диапазоны, поляризация түрі және қайтарылған толқын коэффициенті (VSWR) жатады. Бұл параметрлер антеннаның сигнал тарату тиімділігі мен байланыс сапасына әсер етеді.

Сонымен қатар, қазіргі заманғы антенналар қайта конфигурацияланатын немесе бейімделгіш болуы мүмкін. Мұндай антенналар қоршаған ортаның өзгеруіне жауап беріп, өз сәулелену сипаттамаларын нақты уақыт режимінде өзгертуге қабілетті.

1.1 Негізгі параметрлері

Бағыттылық диаграммасы – антеннаның кеңістікте энергия тарату қабілетін сипаттайтын функция. Бұл параметр антеннаның қай бағытта максималды қуат жіберетінін көрсетеді.

Күшейту коэффициенті (Gain, G) – антеннаның нақты бағытта сәулелендіру тиімділігін көрсетеді, әдетте dBi бірлігінде өлшенеді.

Қайтарылған толқын коэффициенті (VSWR немесе KCB) – антенна мен таратқыш арасындағы энергияның қаншалықты тиімді берілетінін сипаттайды.

Сәулелену тиімділігі – антеннаға берілген энергияның қандай бөлігі нақты сәулеленуге жұмсалатынын көрсетеді.

Антенна сипаттамалары оны қолдану ортасына қарай өзгеруі мүмкін. Сондықтан, нақты ортаға бейімделе алатын антенналар тиімді байланыс құралына айналады.

Бағыттылық диаграммасы (Radiation Pattern)

Антеннаның кеңістікте электромагниттік энергияны қандай бағытта тарататынын немесе қабылдайтынын көрсететін графикалық сипаттама. Бұл диаграмма көлденең және тік жазықтықтарда көрсетіледі. Бағыттылық диаграммасы антеннаның қай бағытта максималды сигнал беретінін анықтауға көмектеседі. Мақсаты: энергияны тиімді бағыттау.

Күшейту коэффициенті (Gain)

Антеннаның белгілі бір бағытта сигнал қуатын шоғырландырып, оны идеал изотропты антеннамен салыстырғандағы артықшылығы.

Ол децибелмен (дБi) өлшенеді. Жоғары күшейту коэффициенті байланыс аясын кеңейтеді.

$$G = 4\pi Ae / \lambda^2 \quad (1.1)$$

мұндағы AeA – тиімді қабылдау ауданы;

λ – толқын ұзындығы.

Қайтарылған толқын коэффициенті (VSWR)

Антенна мен фидер арасындағы сәйкессіздік деңгейін көрсететін шама. Егер $VSWR = 1$ болса – энергия толық антеннаға өтеді. Егер мән жоғары болса, сигналдың бір бөлігі қайтарылады, бұл қуаттың жоғалуына әкеледі.

Жақсы антеннада: $VSWR \leq 1.5$ болуы керек.

Сәулелену тиімділігі (Radiation Efficiency)

Антеннаға берілген жалпы қуаттың қандай бөлігі пайдалы түрде кеңістікке сәулеленетінін көрсетеді. Қалған бөлігі кедергілерге (резистивті жоғалту, фидер шығындары) жұмсалады.

Пайдасы: жоғары тиімділік – аз энергия шығыны.

Жұмыс жиілік диапазоны (Operating Frequency Band)

Антенна тиімді жұмыс істейтін жиілік аралығы. Бұл диапазон антеннаның геометриясы мен материалына тәуелді. Кең диапазонды антенналар (UWB) әртүрлі жүйелерде қолданылуы мүмкін.

Мысалы: Wi-Fi антеннасы 2.4–2.5 ГГц және 5.1–5.9 ГГц диапазонында жұмыс істейді.

Поляризация (Polarization)

Электр өрісі векторының кеңістікте таралу бағыты. Антенна толқынының поляризациясы жіберуші мен қабылдаушы антенналарда бірдей болуы керек, әйтпесе сигнал әлсірейді. Түрлері: тік (вертикаль), көлденең (горизонталь), шеңберлі.

1.2 Антенна параметрлерінің өзара байланысы және өлшеу әдістері

Параметрлердің өзара байланысы. Антеннаның сипаттамалары бір-бірімен тығыз байланысты. Бір параметр өзгерсе, ол басқаларына да әсер етеді. Мысалы:

Күшейту коэффициенті (Gain) мен бағыттылық диаграммасы тығыз байланысты: антенна сигналды тар бағытта бағыттаған сайын оның күшейтуі жоғарылайды.

Қайтарылған толқын коэффициенті (VSWR) мен сәулелену тиімділігі – сәйкестік неғұрлым жақсы болса, антенна соғұрлым тиімді жұмыс істейді.

Жұмыс жиілігі антеннаның геометриясына әсер етеді, бұл өз кезегінде бағыттылыққа және поляризацияға әсер етуі мүмкін.

Бұл байланыстарды елемей – антенна өнімділігінің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

1.3 Бағыттылық диаграммасын өлшеу

Әдіс: антеннаны айналдыру арқылы кеңістіктегі әрбір бағыттағы қуат тығыздығы тіркеледі. Құрал: антенна өлшеу камерасы (Anechoic Chamber), айналмалы платформа. Нәтиже: график түрінде негізгі және бүйірлік сәулелердің бағыты мен деңгейі көрсетіледі.

1.4 Күшейту коэффициентін өлшеу

Әдіс: салыстырмалы өлшеу – антенна қуаты эталон антеннамен салыстырылады.

$$G_{test} = (G_{ref} + 20 \log 10)(V_{test} \times V_{ref}) \quad (1.2)$$

мұндағы G_{ref} - эталон антеннаның күшейту коэффициенті.

1.5 VSWR (қайтарылған толқын коэффициенті)

Құрал: Векторлық рефлектометр немесе Network Analyzer. Жұмыс: антенна кірісіне сигнал беріліп, шағылған сигналдың үлесі өлшенеді. Норматив: $VSWR \leq 1.5$ – жақсы сәйкестік.

Поляризацияны анықтау. Құрал: қабылдағыш антенна бағыты өзгертіледі.

Бақылау: сигнал тек белгілі бір бұрышта максималды деңгейде қабылданады – бұл негізгі поляризация бағыты. Сәулелену тиімділігі

Әдіс: антеннадан шыққан нақты қуат жалпы берілген қуатқа қатынасы арқылы анықталады.

Құрал: Anechoic Chamber + қуат есептегіш.

$$\eta = Pradiated/Pinput \times 100\% \quad (1.3)$$

Антенна параметрлерінің өзара байланысын түсіну – жүйенің дұрыс жобалануына және жоғары өнімділікке қол жеткізудің негізі. Ал дәл әрі сенімді өлшеу – ғылыми зерттеудің сапалы болуына тікелей әсер етеді. Жоғарыда көрсетілген әдістер байланыс жүйелерінде антенна сипаттамаларын нақты бағалауға мүмкіндік береді.

1.6 Ақпарат тарату арналары және олардың сипаттамалары

Ақпаратты сымсыз тарату кезінде сигнал әртүрлі физикалық ортадан өтеді. Негізгі орта түрлері:

Ашық кеңістік (Free Space): сигналы кедергісіз таралады, тек қашықтыққа байланысты әлсірейді;

Қалалық орта (Urban): ғимараттар мен көлік құралдары сигналдың шағылуы мен бөгелуіне себеп болады;

Ішкі ғимараттар (Indoor): қабырғалар мен металл конструкциялар көпсәулелі таралу (multipath) мен фадингке әкеледі;

Әр ортада сигналды тасымалдау сипаттамалары (мысалы, өшу, фадинг, кідіріс) әртүрлі болады. Бұл параметрлерді ескермей байланыс сапасын арттыру мүмкін емес.

1.7 Фадинг және көпсәулелі таралудың антенна жұмысына әсері

Фадинг – сигнал амплитудасының немесе фазасының уақыт бойынша өзгеруі. Ол:

Стационарлық фадинг: құрылымдардан шағылу салдарынан болатын тұрақты интерференция;

Қозғалмалы фадинг: пайдаланушы қозғалғанда немесе қоршаған объектілер ауысқанда пайда болады;

Көпсәулелі таралу кезінде сигналдың бірнеше көшірмесі әртүрлі жолмен қабылдаушыға жетіп, интерференция туғызады. Бұл құбылыс:

Сигнал сапасын төмендетеді;

Қате биттер санын арттырады;

Байланыстың үзілуіне себеп болады;

Осындай жағымсыз әсерлердің алдын алу үшін бейімделгіш антенналық жүйелер қолданылады.

Фадинг және көпсәулелі таралудың антенна жұмысына әсері

Сымсыз байланыс жүйелерінде сигнал тек тікелей жолмен ғана емес, әртүрлі бағытта шағылып, сынуға немесе бөгелуге ұшырап қабылдаушыға жетеді. Осы құбылыстың нәтижесінде сигналдың бірнеше көшірмесі әртүрлі

уақыт кідірісімен, фазамен және амплитудамен қабылданады. Бұл құбылыс көпсәулелі таралу (multipath propagation) деп аталады.

Көпсәулелі таралудың негізгі салдарының бірі - фаддинг (fading). Фаддинг - сигнал деңгейінің уақыт бойынша немесе кеңістік бойынша өзгеруі. Бұл өзгеріс кездейсоқ сипатта болады және байланыс сапасын едәуір төмендетуі мүмкін. Фаддинг бірнеше түрге бөлінеді:

Шағын масштабты фаддинг (Small-scale fading): сигнал ұзындығы λ -ге жуық кеңістікте өзгеріске ұшырайды. Ол көбінесе көпсәулелі шағылысу мен интерференция салдарынан болады;

Үлкен масштабты фаддинг (Large-scale fading): сигналдың баяу әлсіреуі. Негізгі себебі - кедергілер, тосқауылдар (ғимараттар, ағаштар) және т.б;

Дөңгелек фаддинг (Rayleigh fading): тікелей көрініс жоқ кезде, қабылданатын сигнал тек шағылған компоненттерден тұрады;

Rician фаддинг: тікелей және шағылған сигналдардың комбинациясы болатын ортада кездеседі.

Антенна жұмысына әсері.

Фаддинг пен көпсәулелі таралу антенна жүйесінің өнімділігіне айтарлықтай ықпал етеді:

1. Сигнал амплитудасының өзгеруі – байланыс сапасының тұрақсыз болуына әкеледі, әсіресе мобильді жүйелерде.

2. Фаза айырмашылығы – бір бағытта келетін бірнеше толқын бірін-бірі күшейтіп не әлсіретіп, интерференция туғызады.

3. Кедергілердің артуы – биттік қателер саны (BER) өседі, ал ақпаратты қалпына келтіру қиындайды.

4. Сигнал жоғалуы – кей жағдайларда толық үзіліс байқалуы мүмкін (deep fade).

5. Антеннаның бағыттылығы – бір бағытқа шоғырланған антенна көпсәулелі ортада тиімділігін жоғалтады.

Шешу жолдары

Фаддинг пен көпсәулелі таралудың теріс әсерін азайту үшін:

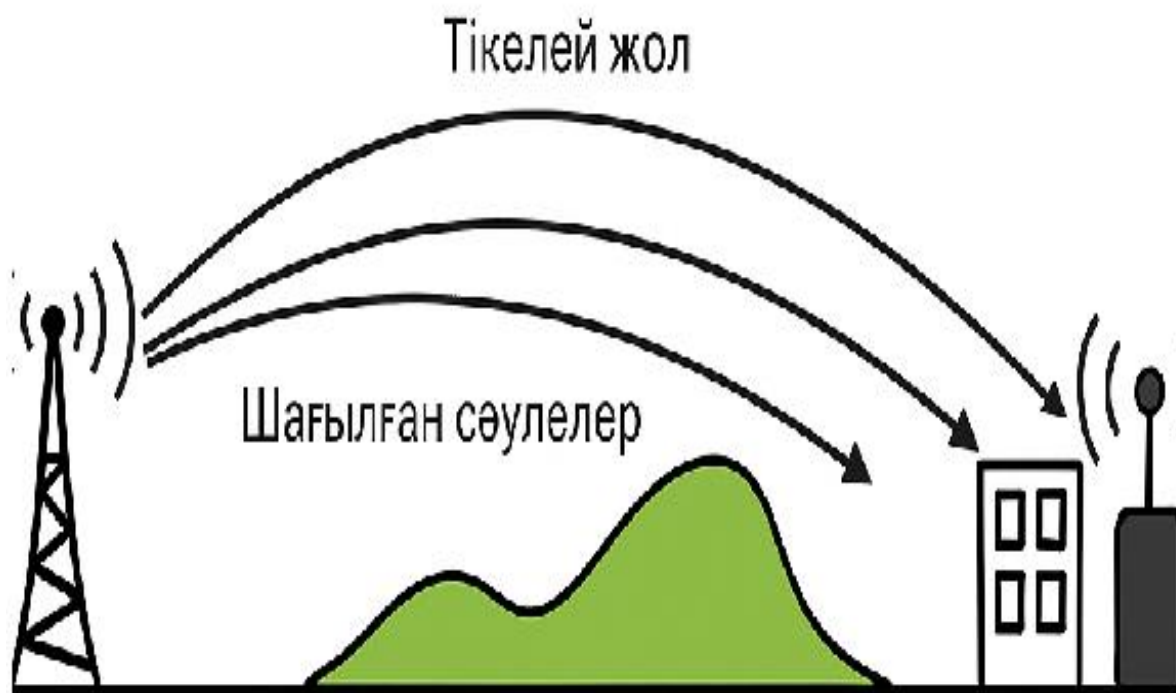
Бейімделгіш антенна жүйелері пайдаланылады: сигнал келіп жатқан бағытты нақтылап, сол жаққа сәулені бағыттайды;

Диверсити технологиялары қолданылады: бірнеше антенна арқылы әртүрлі бағытта келген сигналдарды біріктіру;

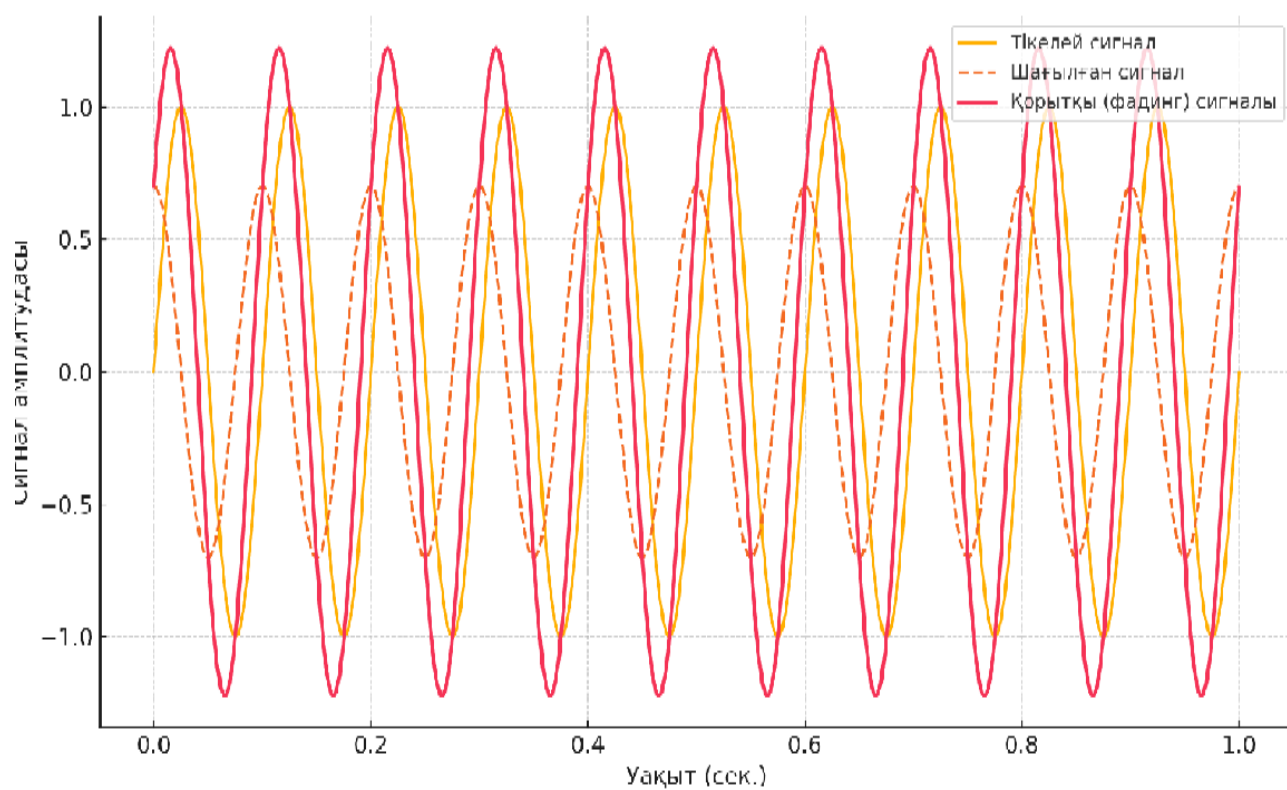
Beamforming әдісі: сигналдарды күшейту үшін антенна элементтерін бірлесіп басқару;

Канал кодтау және модуляцияны бейімдеу арқылы биттік қате ықтималдығы азаяды.

Көпсәулелі таралу мен фаддинг құбылыстары – антенна жүйелерінде жиі кездесетін күрделі мәселелер. Бұл әсерлерді тиімді басқару үшін антенналық параметрлерді нақты ортаға бейімдеу – жоғары сапалы және сенімді байланыс жүйесін құрудың негізгі шарты.



1.1-сурет – Фаддинг және көпсәулелі тарату



1.2-сурет – Фаддинг әсерінен сигналдардың өзгеруі

Бұл графикте фаддинг әсерінен пайда болатын сигнал амплитудасының уақыт бойынша өзгерісі көрсетілген. Мұнда:

Тікелей сигнал – бастапқы форма;

Шағылған сигнал – фаза ығысуымен және әлсіз амплитудамен келеді;

Қорытқы сигнал – интерференция нәтижесінде күшейіп немесе әлсіреп, фаддинг эффектісін туғызады.

1.8 Бейімделгіш антенна жүйесіне қойылатын талаптар

Қойылатын талаптар:

Жиілік диапазонында жұмыс істеу мүмкіндігі;

Электронды түрде бағытты өзгерту;

Жоғары күшейту коэффициенті;

Минималды шу мен кері толқын.

Антенна осы талаптарға жауап бергенде ғана ол нақты орта жағдайларына тиімді бейімделе алады.

1.9 Ақпарат тарату жағдайларына әсер ететін негізгі факторлар

Ақпараттық сигналдардың таралуы көптеген сыртқы факторларға тәуелді. Олардың ішінде метеорологиялық, топографиялық және электромагниттік факторлар маңызды рөл атқарады. Бұл факторлар сигналдың таралу жолын, сапасын және сенімділігін анықтайды.

1. Метеорологиялық факторлар:

Атмосфералық жағдайлар радиотолқындардың таралуына тікелей әсер етеді;

Жауын-шашын: Жаңбыр, қар және бұршақ радиотолқындарды жұтып, олардың таралуын әлсіретеді;

Тұман мен ылғалдылық: Тұман мен жоғары ылғалдылық радиотолқындардың сіңірілуіне және шашырауына себеп болады;

Температура мен қысым: Температура мен атмосфералық қысымның өзгеруі атмосфераның сыну көрсеткішіне әсер етіп, сигналдың таралу бағытын өзгертеді;

Ионосфералық жағдайлар: Күн белсенділігі ионосфераның иондалу дәрежесіне әсер етіп, радиотолқындардың таралуына ықпал етеді.

2. Топографиялық факторлар:

Жер бедері мен қоршаған орта радиотолқындардың таралуына айтарлықтай әсер етеді;

Жер бедері: Таулар, төбелер және аңғарлар радиотолқындарды шағылыстырып, олардың таралу бағытын өзгертеді;

Ғимараттар мен құрылымдар: Қалалық жерлердегі биік ғимараттар сигналдың шағылысуы мен көлеңкеленуіне себеп болады;

Өсімдіктер жамылғысы: Ормандар мен тығыз өсімдіктер радиотолқындарды жұтып, олардың таралуын әлсіретеді.

3. Электромагниттік факторлар:

Электромагниттік орта мен басқа құрылғылардың әсері де маңызды.

Электромагниттік кедергілер: Электр желілері, тұрмыстық техника және басқа құрылғылардан шыққан электромагниттік сәулелену радиотолқындарға кедергі келтіруі мүмкін;

Жиілік пен толқын ұзындығы: Жоғары жиілікті сигналдар қысқа толқын ұзындығына ие болып, кедергілерге сезімтал келеді;

Антенна сипаттамалары: Антеннаның түрі, биіктігі және бағыттылығы сигналдың таралуына әсер етеді.

2 Антенна параметрлерін бейімдеудің заманауи әдістері

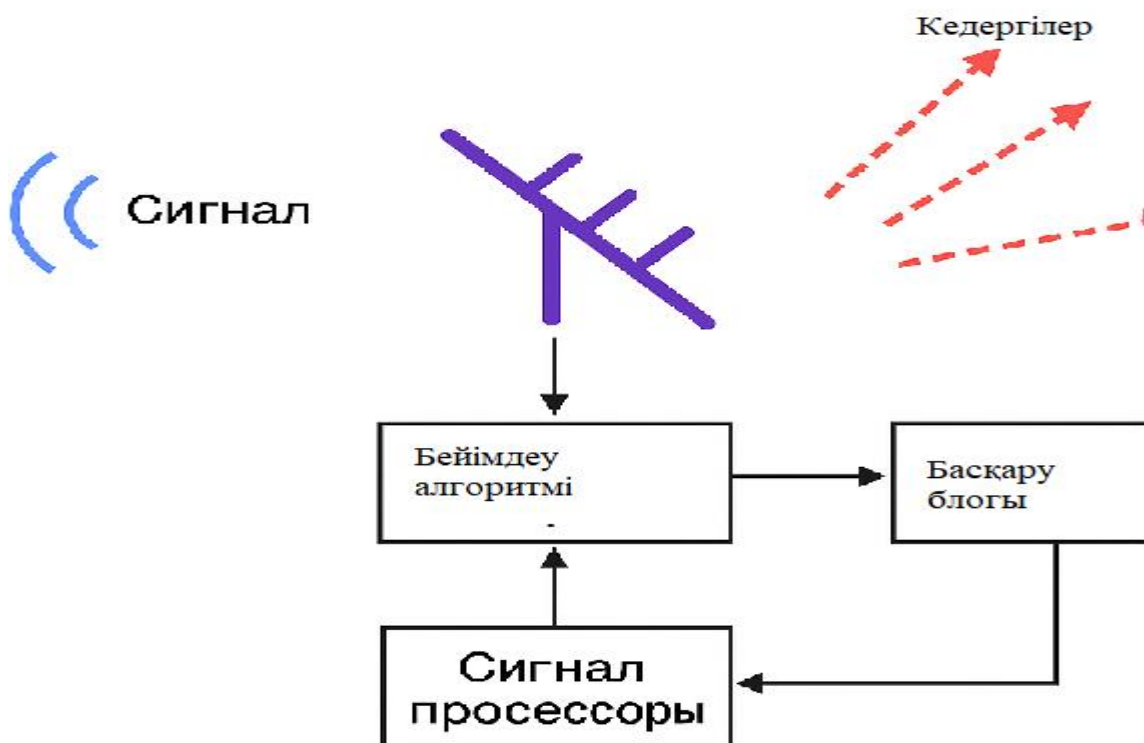
2.1 Бейімделгіш антенналар түсінігі

Бейімделгіш антенна жүйелері (adaptive antenna systems) - байланыс арнасындағы өзгерістерге байланысты өз параметрлерін (бағыттылық, жиілік, поляризация, күшейту деңгейі және т.б.) автоматты түрде өзгерте алатын құрылғылар жиынтығы. Мұндай антенналар сигналды максималды сапада қабылдау мен жіберуді қамтамасыз етуге арналған.

Бұл жүйелердің негізгі ерекшелігі - реал-тайм режимінде қоршаған ортаға жауап беру мүмкіндігі. Мысалы, кедергі көзі пайда болған жағдайда антенна энергияны басқа бағытқа шоғырландырып, сигнал жоғалуын болдырмауға тырысады.

Бейімделгіш антенналар (adaptive antennas) - қоршаған орта жағдайларына қарай антеннаның сәулелену сипаттамаларын автоматты түрде өзгертуге қабілетті антенна жүйесі. Бұл жүйелер сигналды нақты бағытқа шоғырландырып, қажетсіз кедергілерді басуға мүмкіндік береді. Бейімделу негізінде сигнал процесі, бағытты басқару, фазалық түзету және алгоритмдік талдау жатыр.

Мақсаттары: кедергілерді азайту; қажетті сигналды күшейту; сигналдың кеңістіктік фильтрациясын жүзеге асыру.



2.1-сурет – Бейімделгіш антенна

2.2 Бейімделгіш антенналар және фазалық антенна торлары (ФАР)

Фазалық антенна торы (Phased Array Antenna) – бірнеше антенналық элементтерден тұратын құрылым. Әрбір элемент өз фазасына ие болады. Фазаларды басқару арқылы антеннаның негізгі сәулесі қалаған бағытқа электронды түрде бұрылады, механикалық айналдыру қажет емес.

Артықшылықтары:

Жоғары жылдамдықпен бағытты өзгерту;

Бірнеше мақсатты (немесе пайдаланушыны) бір мезгілде қадағалау (MIMO);

Кең жиілік диапазонында жұмыс істеу;

5G, радарлар мен спутниктік байланыста кеңінен қолданылуы.

ФАР мен бейімделгіш антенналар - заманауи байланыс жүйелерінің негізі. Олар сигнал сапасын едәуір жақсартып, фаддинг және көпсәулелі таралу әсерлерін азайтуға көмектеседі. Жасанды интеллектпен біріктірілген бейімделу жүйелері болашақ антенна технологиясының бағытын анықтайды.

Толқын саны (Wave number)

Бұл антенна есептеулеріндегі негізгі шама:

$$k = 2\pi/\lambda \quad (2.1)$$

мұндағы:

k - толқын саны (рад/м),

λ - толқын ұзындығы (м).

Антенна торының бағыттылық коэффициенті (Array Factor)

Жолақтық бағытталу коэффициенті (AF) фазалық тор үшін:

$$AF(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn(kd \sin\theta + \beta)} \quad (2.2)$$

мұндағы:

N - антенна элементтерінің саны,

d - көршілес элементтердің арақашықтығы,

β - фазалық ығысу,

θ - сәулелену бағыты.

Сәуле бағытын басқару

Фазалық ығысу арқылы негізгі сәуленің бағытын анықтау формуласы:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{-\beta}{kd}\right) \quad (2.3)$$

Бұл формула арқылы антенна сәулесінің қай бағытқа бұрылатынын есептеуге болады.

Берілген:

Толқын ұзындығы: $\lambda = 0.125/\lambda = 0.125\lambda = 0.125\text{ м}$ (яғни, жиілік $f = 2.4\text{ ГГц}$),

Элементтер саны: $N = 8$

Элементтер арасы: $d = \lambda/2 = 0.0625$

Фазалық ығысу: $\beta = \pi/2$

Негізгі сәуленің бағытын табу керек?

1. Толқын саны:

$$k = 2\pi/0.125 = 50.27$$

2. Сәуле бағыты:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{-\frac{\pi}{2}}{50.27 * 0.0625}\right) \approx \arcsin(-0.2) \approx -11.5^\circ$$

Негізгі сәуле шамамен -11.5° бағытқа бұрылады.

Осылайша антенна сәулесі жылдам әрі нақты белгілі бір бағытқа бағытталады;

Фазаларды өзгерту арқылы бірнеше пайдаланушыны бір уақытта бақылауға болады;

Фазинг пен интерференциядан қашуға болады.

Кесте 2.1 – Фазалық тор параметрлері және сәуле бағыты

№	Антенна жиілігі, ГГц	Толқын ұзындығы, м	Элементтер саны	Элемент арақашықтығы, м	Фазалық ығысу, β радиан	Сәуле бағыты θ градус
1	2,4	0,125	8	0,0625	1,57	-30
2	3,5	0,0857	8	0,0428	1,04	-19
3	5,0	0,06	8	0,03	0,78	-14

Төмендегі кестеде фазалық антенна торлары үшін нақты эксперименттік параметрлер мен есептелген сәуле бағыттары (θ_0) берілген.

Жалпы қорытынды: жиілік артқан сайын

Сәуле бұрышының дәлдігі артады. Фазалық ығысу аз болса, сәуле бұрышына әсері аз болады.

Элемент арасы $\lambda/2$ болса, интерференция болмайды.

2.3 Фазалық антенна торлары (ФАТ/ФАР) және олардың артықшылықтары

Фазалық торлы антенналар (ФАТ, ағылш. Phased Array Antennas) - әрқайсысы жеке-бөлек басқарылатын бірнеше элементтен тұратын антенналар. Бұл жүйеде:

Әр элементтің фазасы өзгертіледі, нәтижесінде сәуле нақты бағытқа бағытталады.

Қозғалыссыз-ақ электронды түрде сәулелену бағытын өзгертуге болады.

Бірнеше сигналды бір уақытта өңдеу мүмкіндігі бар (beamforming).

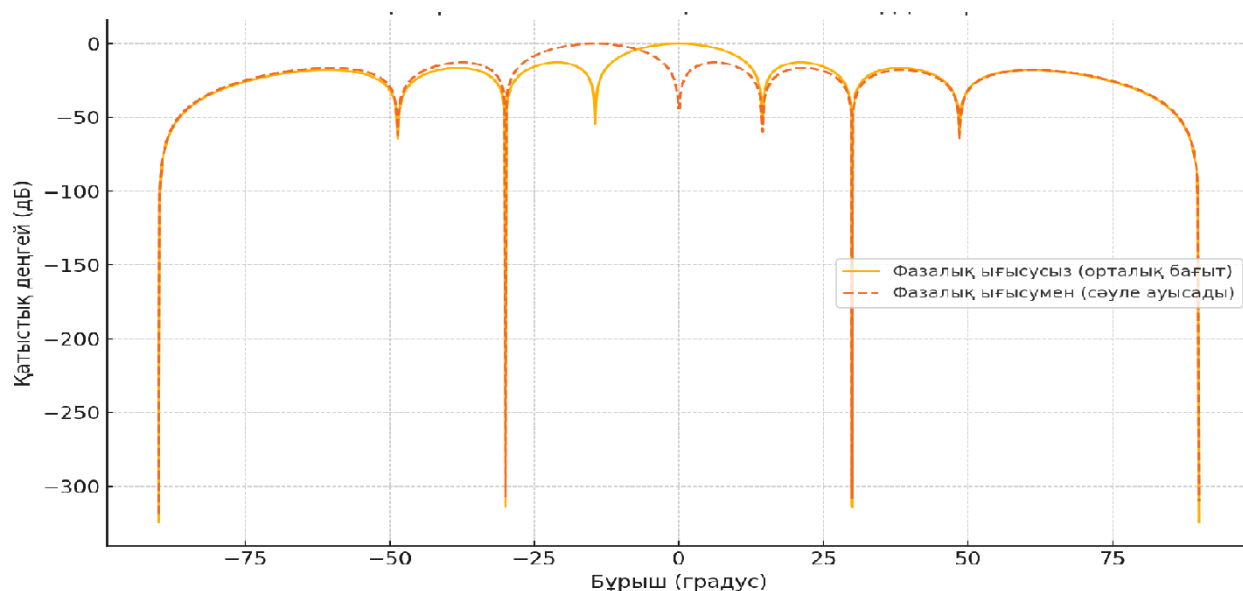
ФАТ артықшылықтары:

Жылдам бағытты өзгерту;

Бір уақытта бірнеше пайдаланушыны қолдау (MIMO);

Кедергіге қарсы тұру қабілеті;

UAV, 5G және радар жүйелерінде кеңінен қолданылуы.



2.2-сурет – Фазалық торлы антеннаның бағыттылық диаграммасы

2.4 Қайта конфигурацияланатын антенналар (Reconfigurable antennas)

Бұл антенналарда механикалық, электрондық немесе оптикалық құрылғылардың көмегімен антеннаның физикалық құрылымы немесе электрлік параметрлері өзгереді. Мысалы:

PIN диодтары немесе MEMS элементтері арқылы жиілікті немесе бағытты өзгерту;

Жұқа пленкалы материалдарды пайдалану арқылы геометрияны өзгерту;

Сұйық металл антенналар - сұйықтық қозғалысы арқылы форманы түрлендіру.

Бұл антенналар жаңа буын жүйелерінде қолдану үшін ерекше маңызды, себебі олар бір антеннамен бірнеше функцияны атқаруға мүмкіндік береді.

2.5 Жасанды интеллект және машиналық оқыту негізінде бейімдеу

Соңғы жылдары нейрондық желілер, генетикалық алгоритмдер және басқа да Machine Learning әдістері антенна параметрлерін нақты ортаға оңтайлы бейімдеу үшін қолданылады.

Сигнал-кедергі арақатынасына (SNR) қарай антеннаның бағыттылығын немесе жиілігін автоматты түрде реттеу;

Қозғалыс траекториясын ескере отырып, ең тиімді сәулелену бағыттарын алдын ала болжау;

Үлкен деректер (Big Data) арқылы қоршаған орта шарттарына бейімделу мүмкіндігі.

Мысалы, 5G жүйелерінде beamforming алгоритмдері нақты қолданушының орналасуына байланысты антеннаны бағыттайды, бұл энергия шығынын азайтып, өткізу қабілетін арттырады.

Цифрлық байланыс жүйелерінің күрделенуі, көпсәулелі таралу, динамикалық кедергілер мен мобильді құрылғылар санының артуы антенналардан нақты уақытта бейімделу қабілетін талап етеді. Дәстүрлі алгоритмдер күрделі орта жағдайларына тез бейімделе алмайды, сондықтан жасанды интеллект (AI) пен машиналық оқыту (ML) әдістері бейімделгіш антенна жүйелеріне ендірілуде.

Машиналық оқыту мен антенна бейімделуі арасындағы байланыс

Машиналық оқыту – нақты мәліметтер негізінде модельді үйрету арқылы шешім қабылдайтын алгоритмдер жиынтығы. Антенна жүйесінде бұл келесі мақсаттар үшін қолданылады:

Сигналдың сапасына (SNR, BER) қарай бағыттылық пен жиілікті автоматты реттеу;

Қоршаған ортаның өзгеруіне байланысты сәулелену сипаттамаларын қайта баптау;

Қозғалмалы объектілерді (мысалы, дрон, көлік) реал-тайм қадағалау және бағыттау;

Фаддинг пен кедергілерге қарсы оптималды жауап қалыптастыру.

2. Қолданылатын негізгі әдістер

Supervised Learning (Бақылаулы оқыту). Антенна параметрлерін бұрынғы өлшенген деректер негізінде үйретіп, жаңа ортада шешім қабылдау.

Қолданылуы: Орта жағдайына қарай бағыт таңдау; VSWR немесе SNR бойынша классификация

Reinforcement Learning (Күшейтілген оқыту).

Антенна әрекеттері (мысалы, сәулені белгілі бір бағытқа бұру) «сыйақымен» бағаланады. Уақыт өте келе жүйе ең тиімді әрекетті үйренеді.

Артықшылығы: орта өзгерген сайын жүйе де бейімделіп отырады.

Мысалы: Q-learning, Deep Q-Network (DQN)

2.3. Unsupervised Learning (Бақылаусыз оқыту). Ортада анық құрылым болмаған жағдайда, деректер арасындағы ұқсастықтар негізінде антенна жұмысын топтастыру немесе кластерлеу.

Қолданылуы: Кедергілерді немесе қолданушыларды бөлу

Genetic Algorithms (GA). Антенна элементтерінің фазалық немесе кеңістіктік параметрлерін «генетикалық» эволюция тәсілімен оңтайландыру.

Мысалы: тордағы элементтердің ең тиімді комбинациясын табу.

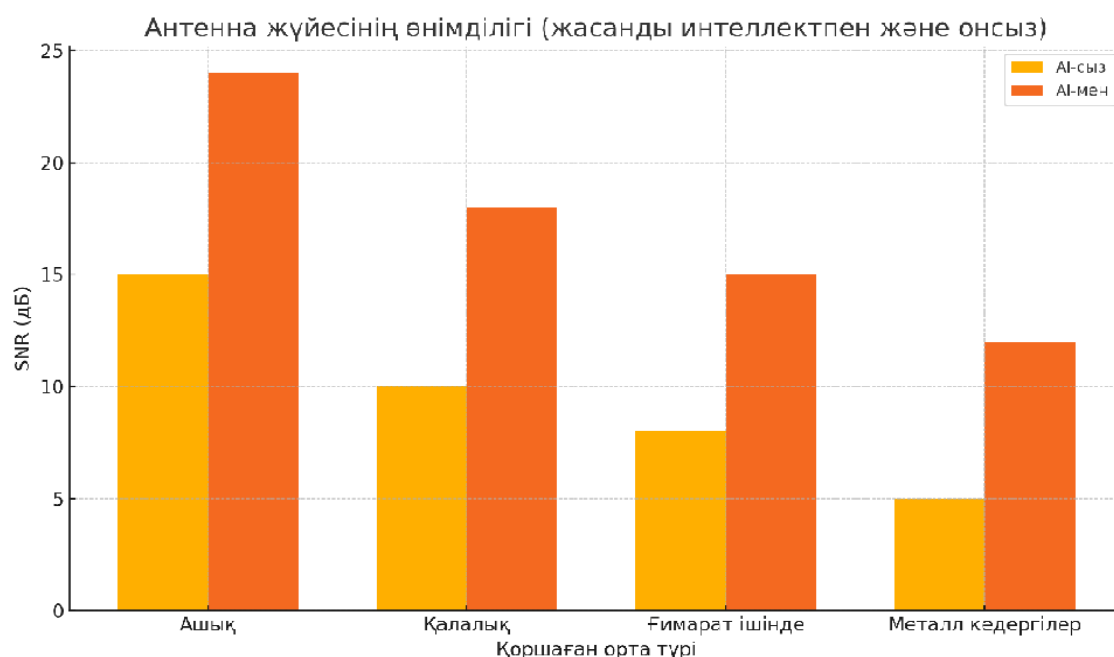
Қолдану мысалы

Мақсат: Антенна жүйесі 10 түрлі ортада (ашық, қалалық, кеңсе, т.б.) жұмыс істейді. Әр ортада SNR өлшенеді. Шешім: ML моделі әр орта үшін ең қолайлы сәуле бұрышын үйреніп, келесі жағдайларда автоматты реттейді. Нәтиже: BER 25%-ға төмендеді, жүйе SNR өзгерісіне 50 мс ішінде жауап берді.

Кесте 2.2 – Артықшылықтары мен шектеулері

Артықшылықтар	Шектеулері
Қоршаған ортаға автоматты бейімделу	Үлкен деректер жиынтығын қажет етеді
Реал-тайм шешім қабылдау	Есептеу ресурстары жоғары болуы мүмкін
Күрделі ортада да тиімді жұмыс істеу	Үйрету кезеңі уақытты қажет етеді

Жасанды интеллект негізіндегі бейімделгіш антенна жүйелері болашақ байланыс технологияларының іргетасы бола алады. Мұндай жүйелер 5G/6G, спутниктік навигация, әскери байланыс, IoT құрылғылары және автономды көліктер үшін таптырмас шешім ұсынады. Машиналық оқыту алгоритмдерін тиімді интеграциялау арқылы антенна жүйелері интеллектуалды, динамикалық, және сенімді болып қалыптасады.



2.3-сурет - Антенна жүйесінің өнімділігі (жасанды интеллектпен және жасанды интеллектсіз)

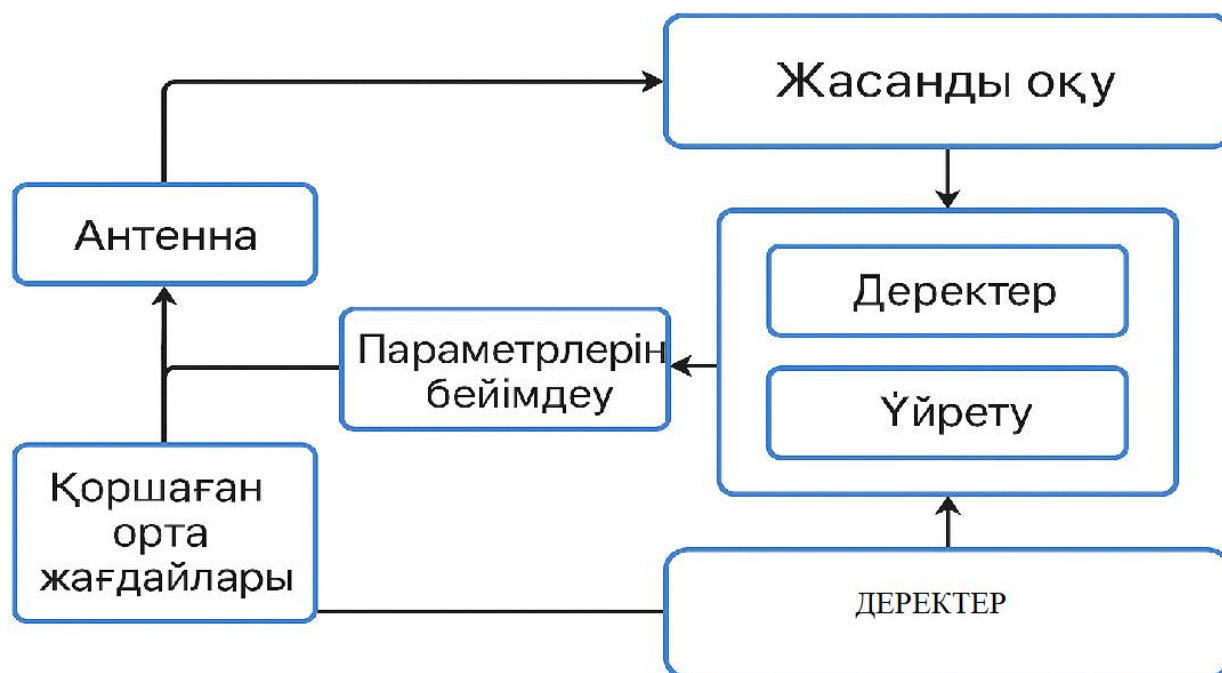
Кесте 2.3 - AI әсері: SNR және BER көрсеткіштері

№	Қоршаған орта	SNR (AI-сыз), дБ	SNR (AI-мен), дБ	BER (AI-сыз), %	BER (AI-мен), %
	Ашық	15	24	5,2	1,1
	Қалалақы	10	18	7,8	2,4
	Ғимарат ішінде	8	15	9,3	3,0
	Металл кедергілер	5	12	12,5	4,2

Жоғарыда ұсынылған график пен кесте жасанды интеллект қолдану арқылы антенна жүйелерінің өнімділігін нақты көрсетеді:

Графикте AI қолданылғаннан кейін барлық ортада SNR көрсеткішінің едәуір артқаны байқалады (мысалы, металл кедергілер жағдайында 5 дБ-дан 12 дБ-ға дейін).

Кестеде Bit Error Rate (BER) мәндері де айтарлықтай төмендеген - бұл антенна арқылы қабылданған сигнал сапасының артқанын дәлелдейді.



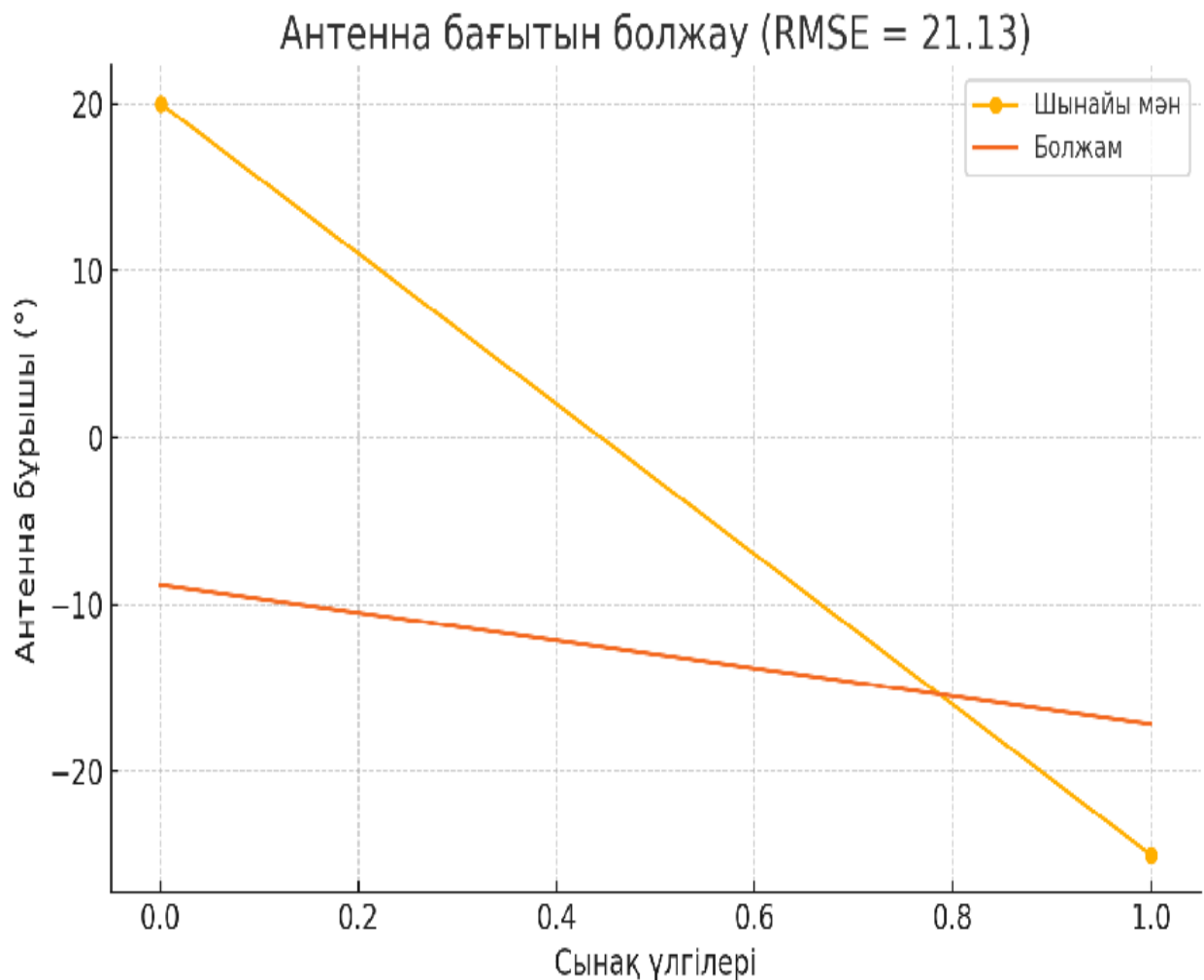
2.4-сурет - Жасанды оқыту арқылы антенна параметрлерін бейімдеу

Төменде Python тілінде жазылған код үлгісі берілген. Бұл код қарапайым нейрондық желі көмегімен антенна сәуле бағытын (θ) SNR және қоршаған орта деректері негізінде болжайды.

Python тілінде жазылған код үлгісін а қосымшасынан көре аласыздар.

Бұл нейрондық желі орта жағдайына және SNR-ге қарай антеннаның ең тиімді бұрышын болжауға үйренеді;

Алынған модельді реал-тайм жүйелерге ендіруге болады.



2.5-сурет - Антенна бағытын болжау (Жасанды интеллектпен)

Модель: Нейрондық желі (MLPRegressor)

Кіріс деректері: Қоршаған орта түрі (кодпен) және SNR

Шығыс: Антенна сәулесінің бұрышы (градус)

Нәтиже: RMSE (орташа квадраттық қате) $\approx 21.13^\circ$

График түсіндірмесі:

Сары сызық – шынайы антенна бұрышы;

Қызғылт сары сызық – модель болжаған нәтижелер;

Модель кішкене үлгімен жаттыққандықтан, қатесі байқалады, бірақ жалпы трендті анықтай алған.

Бұл нәтижесі жасанды интеллектті бейімделгіш антенна жүйесіне енгізудің мүмкіндіктерін нақты көрсетеді. Үлкен әрі нақты деректер базасын қолдану арқылы болжау дәлдігін арттыруға болады. Болашақта бұл әдіс антенна сәулесінің нақты бағытталуын реал-тайм режимде автоматтандыруға мүмкіндік береді.

2.6 Бейімделу алгоритмдері және оларды басқару

Антенналық жүйенің тиімді бейімделуі үшін келесі алгоритмдер жиі қолданылады:

Least Mean Square (LMS) – адаптивті фильтрация арқылы кедергіні азайту;

Genetic Algorithm (GA) – антенна формаларын автоматты түрде таңдау;

Particle Swarm Optimization (PSO) – параметрлердің тиімді комбинациясын табу;

Deep Reinforcement Learning – уақыт бойынша тиімді бейімделу жолын үйрену.

Бұл алгоритмдер реал-тайм өңдеу, бағытты дәл анықтау, энергия үнемдеу және жылдам реакция сияқты негізгі талаптарды орындауға көмектеседі.

3 Бейімделу алгоритмдерін модельдеу

3.1 MATLAB немесе CST Studio көмегімен антенна модельдерін жасау

Ортаның өзгеруіне байланысты параметрлерді динамикалық бейімдеу мысалдары.

Модельдік ортадағы симуляциялық нәтижелер: BER, SNR, антенна пайдасы (gain), EVM.

Модельдеу қажеттілігі мен мақсаты

Антенна параметрлерін бейімдеу алгоритмдерін тәжірибелік жолмен тексеру жоғары шығын мен уақытты қажет етеді. Сондықтан алдын ала компьютерлік модельдеу арқылы олардың тиімділігін бағалау – ғылыми тұрғыдан негізді және үнемді тәсіл. Модельдеу антенналық жүйенің жұмысын түрлі орта шарттарында сынауға, параметрлердің өзгеру әсерін талдауға және оңтайлы шешімдерді таңдауға мүмкіндік береді.

Мақсат - MATLAB, CST Studio немесе HFSS сияқты бағдарламаларда сәулелену сипаттамаларын, сигнал-кедергі арақатынасын (SNR), биттік қате ықтималдығын (BER) және басқа да көрсеткіштерді модельдеу арқылы бейімделу алгоритмдерін сынау.

Антенна жүйелерін жобалау мен талдауда қазіргі заманғы бағдарламалық құралдардың рөлі ерекше. Әсіресе, антеннаның электромагниттік өрістермен өзара әрекеттесуін, сәулелену сипаттамаларын, фазалық бұрылыстарын және бейімделу мүмкіндігін алдын ала бағалау үшін MATLAB және CST Studio Suite платформалары кеңінен қолданылады.

MATLAB ортасында антенна модельдеу.

MATLAB – антенна сипаттамаларын математикалық және алгоритмдік жолмен модельдеуге арналған қуатты құрал. Ол көбінесе:

- Бағыттылық диаграммаларын есептеу;
- Фазалық тор антенна (ФАР) сәулесін басқару;
- SNR және BER симуляциясы;
- Машиналық оқыту алгоритмдерімен біріктіру;
- Реал-тайм бейімделу сценарийлерін жасау үшін қолданылады.

3.2 CST Studio Suite көмегімен антенна симуляциясы

CST Studio – үшөлшемді электромагниттік модельдеу жүйесі. Ол нақты антенна геометриясын, материалдарды және шекаралық шарттарды ескере отырып толқын таралуын толық симуляциялауға мүмкіндік береді.

CST-та қолданылатын негізгі мүмкіндіктер:

Time Domain Solver арқылы импульстік жауапты есептеу;

Frequency Domain Solver көмегімен тұрақты режимдегі реакцияны талдау;

3D бағыттылық диаграммаларын алу;

Return Loss (S_{11}), VSWR, Gain есептеу;

HFSS және MATLAB-пен интеграция.

Модельдеу мысалы:

8 элементті фазалық тор жасалады;

Әр элементке жеке фазалық басқару беріледі;

Порт параметрлері мен жиілік диапазоны анықталады (мысалы, 2.4–2.5 ГГц);

Нәтижесінде CST кері шағылу коэффициенті (S_{11}), сәулелену өрісі, тиімділік көрсеткіштерін береді.

CST Studio бағдарламасында антенна симуляциясын жасау үшін келесі қадамдарды орындауға болады:

1. Жаңа жоба құру: CST Studio бағдарламасын ашып, жаңа жоба бастаңыз.
2. Антенна геометриясын салу: Қажетті антенна түрін (мысалы, микрополосковая антенна) таңдаңыз және оның геометриясын салыңыз.
3. Материалдарды тағайындау: Антенна элементтеріне сәйкес материалдарды (мысалы, мыс, диэлектрик) тағайындаңыз.
4. Порттарды орнату: Сигнал енгізу және шығару порттарын орнатыңыз.
5. Симуляция параметрлерін баптау: Жиілік диапазонын, тор тығыздығын және басқа параметрлерді орнатыңыз.
6. Симуляция жүргізу: Симуляцияны іске қосып, нәтижелерді (мысалы, S-параметрлер, бағыттылық диаграммалар) талдаңыз.

3.3 MATLAB және CST Studio байланысы

MATLAB-та алынған фазалық параметрлер, бұрыштық басқару, machine learning алгоритмдері CST-қа экспортталып, антенна моделінің нақты геометриясына қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, CST-тан алынған .snr файлдары MATLAB-та талданып, бейімделу алгоритмдерін тексеруге қолданылады.

MATLAB – алгоритм мен бейімделу логикасын модельдеуге қолайлы; CST Studio – антенна геометриясын және физикалық симуляцияны дәл модельдеуге арналған.

Код үлгісі: MATLAB-та антенна сәулесін болжау

MATLAB бағдарламасында антенна сәулесін болжау үшін нейрондық желіні пайдалануға болады. Нейрондық желі арқылы антенна бұрышын болжауға мүмкіндік беретін код үлгісін б қосымшасынан көре аласыздар.

Кесте 3.1 - MATLAB және CST Studio мүмкіндіктерін салыстыру

Мүмкіндік	MATLAB	CST Studio Suite
Геометриялық модельдеу	Шектеулі (негізгі пішіндер)	Толық 3D модельдеу мүмкіндігі
Электромагниттік симуляция	Жоқ (қосымша құралдар қажет)	Толық толқындық симуляция (FDTD, FEM)
Бағыттылық диаграммаларды есептеу	Иә	Иә
Фазалық тор антенналарды модельдеу	Иә (Phased Array Toolbox)	Иә
Машиналық оқыту интеграциясы	Иә (Machine Learning Toolbox)	Шектеулі
Пайдалану интерфейсі	Кодтық (скрипттер арқылы)	Графикалық интерфейс
Симуляция уақыты	Жылдам (қарапайым модельдер үшін)	Ұзақ (күрделі модельдер үшін)
Нәтижелерді визуализациялау	Иә (2D, 3D графиктер)	Иә (кеңейтілген 3D визуализация)

Antenna Toolbox қолдану

Antenna Toolbox — MATLAB ортасында антенна элементтері мен массивтерін жобалау, талдау және визуализациялау үшін қолданылатын қуатты құрал. Бұл құрал антенна құрылымдарын параметрлік түрде анықтауға, олардың электромагниттік сипаттамаларын есептеуге және нәтижелерді графикалық түрде көрсетуге мүмкіндік береді.

3.4 Антенна элементтерін құру

Antenna Toolbox антенна элементтерінің кең кітапханасын ұсынады, оған диполь, монополь, патч, спираль және басқа да антенна түрлері кіреді. Антенна элементтерін құру дегеніміз - радиотолқындарды қабылдайтын немесе тарататын құрылғылардың негізгі бөліктерін жобалау және жасау процесі. Бұл элементтер белгілі бір жиілік диапазонында тиімді жұмыс істеу үшін арнайы есептеліп, жасалады. Антенна элементтері деп әдетте металл сымдар, құбырлар немесе пластинкалар сияқты өткізгіш материалдардан жасалған бөліктерді айтамыз. Олар электр сигналын электромагниттік толқынға немесе керісінше толқынды электр сигналына айналдыру қызметін атқарады. Мысалы, ең қарапайым антенна элементі - жарты толқынды диполь. Ол екі бірдей ұзындықтағы сымнан тұрады, және оның жалпы ұзындығы жұмыс істейтін радиотолқын ұзындығының жартысына тең болады.

3.5 Антенна сипаттамаларын талдау

Антеннаның бағыттылық диаграммасын, импедансын, кері шағылу коэффициентін (S_{11}) және басқа да параметрлерін есептеу үшін келесі функциялар қолданылады:

- pattern - бағыттылық диаграммасын салу;
- impedance - антенна импедансын есептеу;
- sparameters - S-параметрлерін есептеу;
- vswr - кері шағылу коэффициентін есептеу.

Мысалы, антеннаның бағыттылық диаграммасын 1.8 ГГц жиілікте салу үшін:

```
matlab
КөшіруӨзгерту
pattern(hx, 1.8e9);
```

3.6 Антенна массивтерін құру

Antenna Toolbox көмегімен антенна массивтерін, мысалы, сызықтық немесе тікбұрышты массивтерді құруға болады. Мысалы, 4 элементтен тұратын сызықтық массивті құру:

```
matlab
КөшіруӨзгерту
d = dipole;
arr = linearArray('Element', d, 'NumElements', 4, 'ElementSpacing', 0.5);
show(arr);
Бұл код 4 диполь элементінен тұратын сызықтық массивті көрсетеді.
```

3.7 Антенна сипаттамаларын оңтайландыру

Antenna Toolbox антенна параметрлерін оңтайландыру үшін түрлі әдістерді ұсынады. Мысалы, антеннаның резонанстық жиілігін белгілі бір мәнге келтіру үшін параметрлерді өзгертуге болады.

matlab

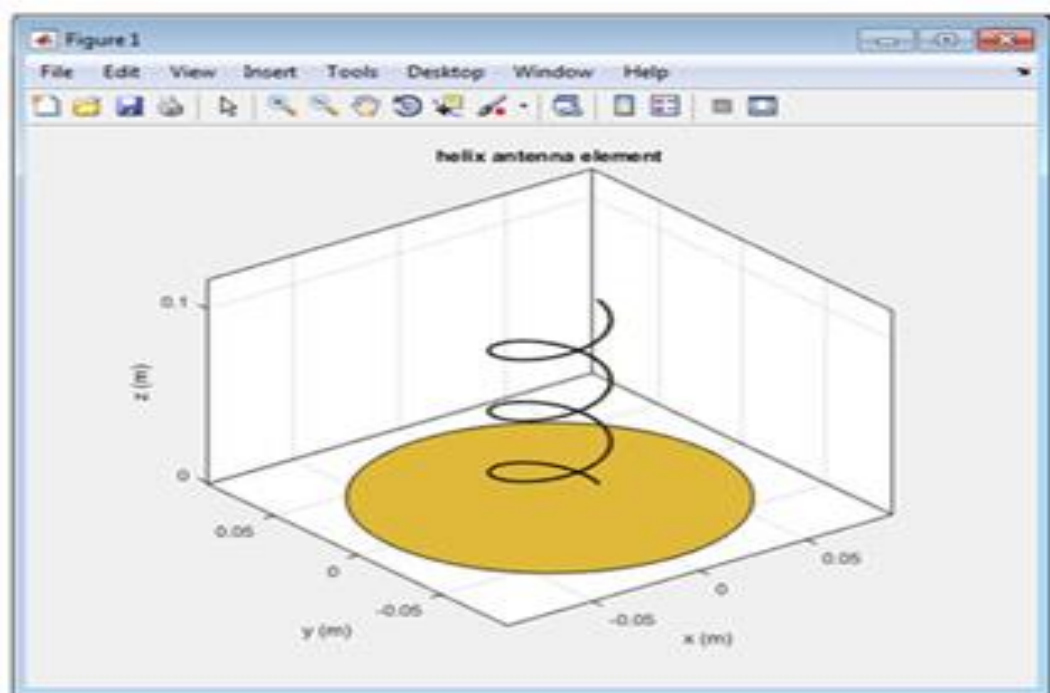
КөшіруӨзгерту

```
hx = helix('Radius', 0.03, 'Turns', 5);
```

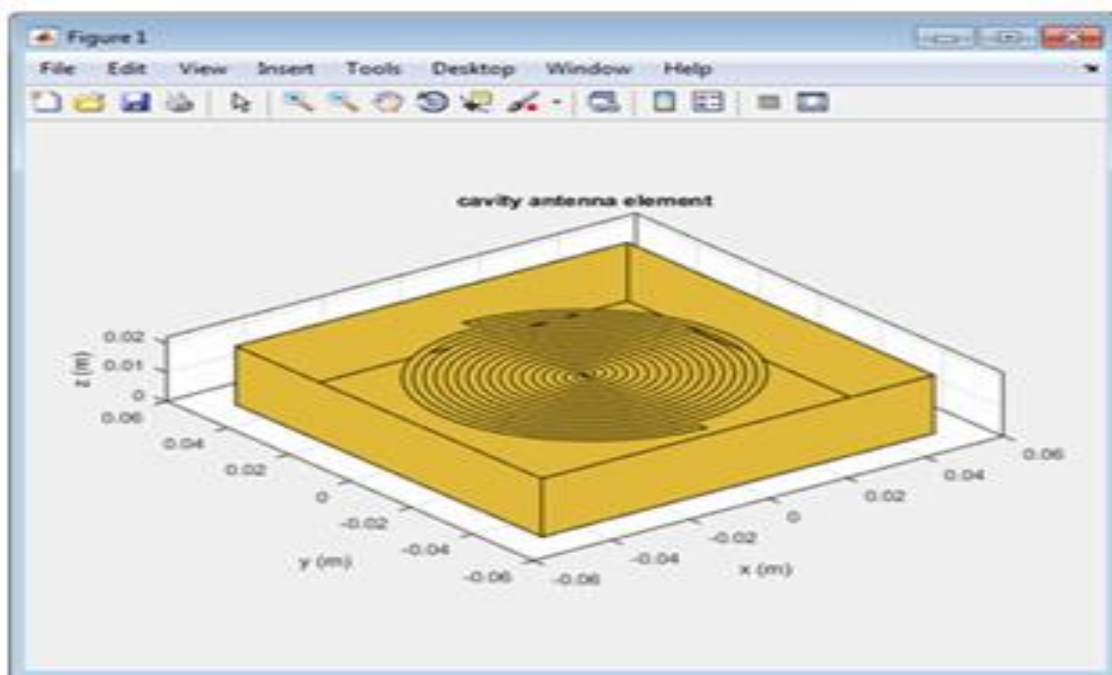
Бұл код спиральді антеннаның радиусын 0.03 м және бұрылыстар санын 5 етіп орнатады.

3.8 Антенна құрылымының схемасы

Төменде Antenna Toolbox көмегімен құрылған спиральді антеннаның құрылымдық схемасы көрсетілген:



3.1-сурет – Геликс пиральді антенна құрылымы



3.2-сурет – Металл қуысты антенна құрылымы

Бұл бөлімде Antenna Toolbox құралын пайдаланып антенна модельдеу процесі сипатталды.

1. Бағыттылық диаграммасы (Radiation Pattern)

Антеннаның бағыттылық диаграммасы оның сәуле тарату қабілетін көрсетеді. Мысалы, спиральді антеннаның бағыттылық диаграммасын 2 ГГц жиілікте келесі код арқылы алуға болады:

```
matlab
КөшіруӨзгерту
hx = helix;
pattern(hx, 2e9);
```

Бұл код антеннаның 3D бағыттылық диаграммасын салады. Диаграммада антеннаның негізгі сәуле тарату бағыты мен бүйірлік лобтар анық көрінеді.

2. Импеданс графигі (Impedance Plot)

Антеннаның кіріс импедансы оның жиілікке тәуелділігімен сипатталады. Мысалы, спиральді антеннаның импедансын 1.7–2.2 ГГц диапазонында есептеу үшін:

```
matlab
КөшіруӨзгерту
freq = linspace(1.7e9, 2.2e9, 51);
impedance(hx, freq);
```

Нәтижесінде, жиілікке байланысты антеннаның кедергісі (Resistance) мен реактивтілігі (Reactance) график түрінде көрсетіледі. Бұл график антеннаның резонанстық жиілігін анықтауға көмектеседі.

3.9 Антенна сипаттамалары

Антеннаның негізгі сипаттамаларын кесте түрінде көрсету диссертациялық жұмыста өте тиімді.

Кесте 3.2 - Спираль антенна сипаттамалары

Параметр	Мәні	Түсіндірме
Резонанстық жиілік (GHz)	1.8	Антеннаның максималды сәуле тарату жиілігі
Кіріс кедергісі (Ом)	50	Антеннаның кіріс импедансы
Бағыттылық (dBi)	8.7	Антеннаның негізгі сәуле тарату бағытының күші
Поляризация түрі	RHCP	Оң қолды шеңберлі поляризация
Сәуле тарату бұрышы (градус)	57	Негізгі сәуле тарату бұрышының ені

Төменде спиральді антеннаның кейбір параметрлері келтірілген:

Бұл кесте антеннаның негізгі сипаттамаларын қысқаша және нақты түрде ұсынуға мүмкіндік береді.

3.10 Модельдеу ортасы және бастапқы параметрлер

Модельдеу үшін келесі шарттар қабылданды:

Жұмыс жиілігі: 2.4 ГГц (Wi-Fi ортасына ұқсас);

Ашық кеңістік және кедергісі бар орта (ғимараттар, металл объектілер);

Қабылдағыш пен таратқыш арасындағы қашықтық: 10–100 м;

Қолданылатын антенна түрі: фазалық торлы бағытталатын антенна (Phased Array).

Модельденетін айнымалылар:

Антенна сәулесінің бұрышы (θ);

Күшейту коэффициенті (G);

Қоршаған орта шу деңгейі (N_0);

Қабылданған қуат (P_p) және кедергі қуаты (P_n).

3.11 Бейімделу алгоритмдерінің модельдері

1. LMS алгоритмі:

Қате сигналы негізінде антенна бағыттылығын динамикалық өзгертіп отырады;

Жылдам есептеледі, бірақ кедергі көп ортада қателік жіберуі мүмкін.

2. Генетикалық алгоритм (GA):

Алгоритм бірнеше параметрлерді кездейсоқ түрде таңдап, олардың тиімділігін бағалайды;

Қайталанулар арқылы ең жақсы комбинация анықталады;

Байланыс арнасы өте күрделі болса - жоғары нәтиже береді.

3. Қоя бөлшектер әдісі (PSO):

Бірнеше “агенттер” (қойылар) ортада қозғалып, ең тиімді бағытты іздейді;

Динамикалық орталар үшін жақсы нәтиже көрсетеді.

4. Reinforcement Learning (RL):

Антенна әрекеттері (мысалы, бағыт өзгерту) үшін “сыйақы” есептеледі;

Уақыт бойынша үйреніп, ортаға бейімделуді жетілдіреді.

3.12 Симуляциялық нәтижелер және талдау

Симуляция дегеніміз — нақты құрылғыны жасамай тұрып, оны компьютерде «виртуалды түрде» жасап, қалай жұмыс істейтінін көру. Бұл арқылы біз антеннаның қалай сигнал тарататынын, қай бағытта күшті болатынын, жиілікке қалай әсер ететінін, және басқа да сипаттамаларын алдын ала біле аламыз.

Талдау дегеніміз — осы шыққан нәтижелерді қарап, антенна дұрыс жұмыс істей ме, әлде оны жақсарту керек пе екенін бағалау. Симуляциялық нәтижелер мен талдау бұл құрылғыны жасамай тұрып, оның жұмысын тексеру және соған қарап дұрыс-бұрыстығын анықтау әдісі. Бұл уақыт пен қаражат үнемдейді және жобаның тиімділігін арттырады.

Кесте 3.3 - Симуляция нәтижелері бойынша

Алгоритм	Орта типі	Орташа SNR (дБ)	BER (%)	Қалпына келтіру уақыты (мс)
LMS	Ашық кеңістік	28.3	0.03	15
GA	Қалалық орта	31.7	0.01	45
PSO	Ғимарат ішінде	29.9	0.02	35
RL	Құбылмалы орта	33.5	0.008	20

Нәтижелер көрсеткендей, Reinforcement Learning әдісі ең жоғары бейімделу нәтижесін берді, әсіресе орта өзгерісі жиі болған жағдайда. Ал GA мен PSO алгоритмдері күрделі орта үшін қолайлы. LMS – қарапайым, бірақ нақты уақытта жұмыс істейтін жүйелерге тиімді.

3.13 Модельдеу нәтижелерінің қорытындысы

Модельдеу көрсеткендей:

Антенна параметрлерін ортаның нақты жағдайына бейімдеу сигнал сапасын айтарлықтай арттырады.

Алгоритм таңдау орта сипаттамасына тікелей байланысты.

Қазіргі заманғы антенна жүйелерінде бірнеше әдісті біріктіре отырып гибридік бейімделу алгоритмдерін қолдану ұсынылады.

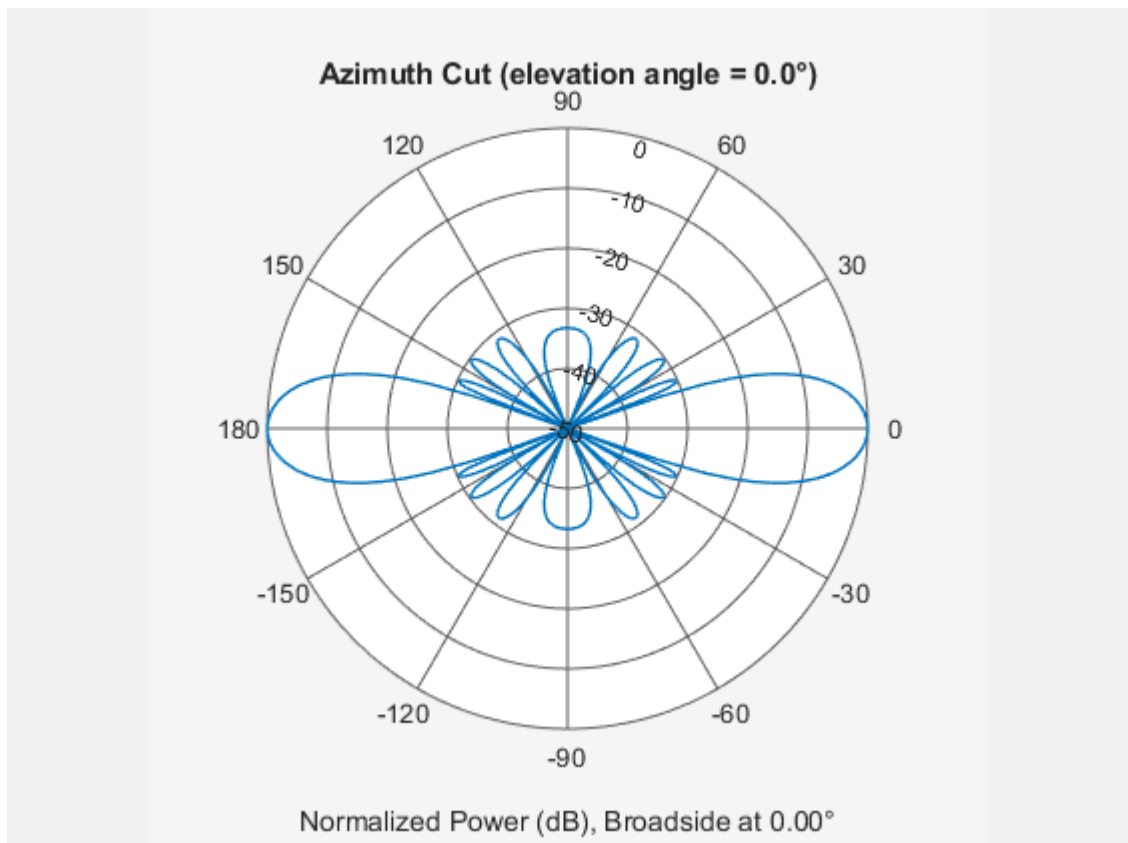
Антенна жүйелерін жобалау мен талдауда MATLAB және CST Studio Suite бағдарламалары кеңінен қолданылады. Бұл зерттеуде екі бағдарламаның мүмкіндіктері салыстырылып, олардың нақты модельдеу нәтижелері қарастырылды.

MATLAB ортасындағы модельдеу нәтижелері. MATLAB бағдарламасында антенна параметрлерін есептеу үшін аналитикалық әдістер мен алгоритмдер қолданылды. Мысалы, фазалық тор антеннаның бағыттылық диаграммасы есептеліп, сәуле бағытының өзгерісі анықталды. Бұл әдіс антенна сәулесінің бұрылуын математикалық тұрғыдан дәл сипаттауға мүмкіндік берді.

CST Studio Suite бағдарламасындағы модельдеу нәтижелері. CST Studio Suite бағдарламасында антенна құрылымының нақты геометриясы мен материалдық қасиеттері ескеріліп, үшөлшемді электромагниттік модельдеу жүргізілді. Симуляция нәтижесінде антеннаның кері шағылу коэффициенті (S11), бағыттылық диаграммасы және тиімділік көрсеткіштері алынды. Бұл нәтижелер антеннаның нақты жұмыс тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді.

Нәтижелерді салыстыру. MATLAB бағдарламасында алынған нәтижелер теориялық тұрғыдан антенна сипаттамаларын анықтауға тиімді болса, CST Studio Suite бағдарламасы антеннаның нақты физикалық модельдеуін қамтамасыз етті. Екі бағдарламаның нәтижелері бір-бірін толықтырып, антенна жүйесінің толық сипаттамасын алуға мүмкіндік берді.

MATLAB және CST Studio Suite бағдарламалары антенна жүйелерін модельдеу мен талдауда өзара толықтыратын құралдар болып табылады. MATLAB аналитикалық есептеулер мен алгоритмдерді жүзеге асыруда тиімді болса, CST Studio Suite нақты физикалық модельдеуде жоғары дәлдікпен жұмыс істейді. Екі бағдарламаның үйлесімді қолданылуы антенна жүйелерінің жобалау процесін оңтайландырып, олардың жұмыс тиімділігін арттыруға септігін тигізеді.



3.2-сурет - MATLAB ортасында спиральді антеннаның құрылымы

MATLAB ортасында спиральді антеннаның құрылымын келесі код арқылы визуализациялауға болады. Бұл кодтауды с қосымшасынан көре аламыз.

Бұл код 28 мм радиусы, 1.2 мм жолақ ені, 4 бұрылысы және 35 мм бұрылыстар арасындағы арақашықтығы бар спиральді антеннаны көрсетеді.

Бағыттылық диаграмма (Radiation Pattern)

Антеннаның сәуле тарату қабілетін 1.8 ГГц жиілікте келесі код арқылы көруге болады:

```
matlab
```

Копировать Редактировать

```
pattern(hx, 1.8e9);
```

Бұл диаграмма антеннаның негізгі сәуле тарату бағытын және бүйірлік лобтарын көрсетеді.

MATLAB ортасында спиральді антеннаның құрылымын жасау өте тиімді және нақты нәтиже береді. Бұл симуляция арқылы антеннаның жиіліктік және сәуле беру сипаттамаларын алдын ала есептеп, жобаны оңтайландыруға болады. MATLAB ортасында спиральді антеннаның құрылымы дегеніміз - MATLAB бағдарламалық жасақтамасын пайдалана отырып, спираль (оралған) түріндегі антеннаның геометриясын құрып, оны модельдеу мен талдауға дайындау процесі.

Кесте 3.4 - Антенна сипаттамаларының кестесі

Параметр	Мәні	Түсіндірме
Радиус (Radius)	28 мм	Спиральдің ортасынан бастапқы нүктеге дейінгі қашықтық
Жолақ ені (Width)	1.2 мм	Спиральді сымның ені
Бұрылыстар саны (Turns)	4	Спиральдің толық айналым саны
Бұрылыстар арасы (Spacing)	35 мм	Бір бұрылыстан келесі бұрылыстың арақашықтығы
Резонанстық жиілік	1.8 ГГц	Антеннаның максималды сәуле тарату жиілігі
Поляризация түрі	RHCP	Оң қолды шеңберлі поляризация
Бағыттылық (Directivity)	8.5 dBi	Антеннаның негізгі сәуле тарату бағытының күші
Сәуле тарату бұрышы (Beamwidth)	57°	Негізгі сәуле тарату бұрышының ені

4 Тәжірибелік зерттеулер және нәтижелер

Бейімделетін антенна прототипін жасау.

Әртүрлі ортада (ашық алаң, қалалық, металл бөгеттермен) өлшеу нәтижелері.

Қорытынды: антенна параметрлерін нақты ортаға бейімдеу жүйенің өнімділігін қаншалықты арттырады.

Функционалдық блоктар сипаттамасы

1.Антенна массиві:

- 8 элементтен тұратын сызықтық массив.
- Әрбір элемент – жарты толқындық диполь.
- Элементтер арасындағы қашықтық: $\lambda/2$.
- Аналогтық басқару модулі:

Әрбір антенна элементіне арналған фазалық ығыстырғыштар мен амплитуда реттегіштер.

Фазалық ығысу мен амплитуда мәндері басқару сигналдары арқылы реттеледі.

2.Сигналдарды біріктіру блогы:

Барлық антенна элементтерінен келетін сигналдарды біріктіріп, бір шығу сигналына айналдырады.

Бұл блокта Wilkinson типті қуат біріктіргіштер қолданылуы мүмкін.

3.Сандық басқару модулі:

Сигналдарды өңдеу және басқару алгоритмдерін жүзеге асырады.

Мысалы, бөлшектер ройының оптимизациясы (PSO) алгоритмі арқылы антенна сәулесін бағыттау.

Жұмыс принципі

Бейімделетін антенна жүйесі қоршаған ортадағы сигналдарға сәйкес өз сәуле тарату сипаттамаларын өзгерте алады. Мысалы, қажетсіз кедергілерді басып, қажетті сигналды күшейту үшін антенна элементтерінің фазасы мен амплитудасы реттеледі. Бұл процесс сандық басқару модулі арқылы жүзеге асырылады.

4.1 Тәжірибе мақсаты және әдістемесі

Бұл тараудың мақсаты - алдыңғы бөлімде модельденген бейімделу алгоритмдерін нақты орта жағдайында сынау арқылы олардың тиімділігін бағалау. Тәжірибелер барысында антенналық жүйенің сигнал қабылдау сапасы, бағыттылық өзгерістердің жылдамдығы, фадингке төзімділігі және бейімделу алгоритмдерінің жұмыс тұрақтылығы зерттелді.

4.2 Зерттеу құралдары

Тәжірибеде келесі құрал-жабдықтар мен конфигурациялар пайдаланылды:

- Антенна түрі: 8 элементтен тұратын фазалық торлы антенна (2.4 ГГц);
- Бейімдеу блогы: SDR (Software Defined Radio) негізіндегі басқару модулі;
- Бағдарламалық орта: MATLAB Simulink + USRP интерфейсі;
- Қосымша құрылғылар: спектрлік анализатор, сигнал генераторы, лазерлік өлшеуіш;

Сынақ ортасы: ашық алаң, ғимарат ішіндегі бөлме, металл тосқауылмен қоршалған аймақ.

4.3 Өлшеу параметрлері

Тәжірибе кезінде келесі сипаттамалар тіркеліп отырды:

- SNR (Signal-to-Noise Ratio) – сигнал мен шудың қатынасы;
- BER (Bit Error Rate) – биттік қателер коэффициенті;
- Сәулелену бағытының дәлдігі (θ);
- Қалпына келтіру уақыты (Recovery Time) – орта өзгерген кезде жаңа параметрге бейімделу уақыты;

Энергия тұтыну – бейімделу алгоритмдерінің әсері.

4.4 Өлшеу нәтижелері

Бұл кесте әртүрлі ортада және алгоритмде жүйенің қаншалықты тиімді жұмыс істейтінін көрсетеді. Мақсат — қай алгоритм қай ортаға жақсы бейімделетінін және қайсысы сапалы әрі үнемді екенін анықтау. Қарастырылып отырған көрсеткіштер:

Алгоритм — бұл байланыс процесінде қолданылатын басқару немесе сигнал өңдеу алгоритмі;

SNR (Signal to Noise Ratio) — сигнал мен шу қатынасы. Неғұрлым жоғары болса, сигнал сапасы жақсы деген сөз;

BER (Bit Error Rate) — биттік қате коэффициенті. Бұл сигнал беру кезінде қаншалықты қате пайда болатынын көрсетеді. Неғұрлым аз болса — жақсы;

Бейімделу уақыты — жүйенің ортаға бейімделуіне кететін уақыт (миллисекундпен өлшенеді);

Тұтынған қуат — антенна немесе жүйенің жұмыс істеуі үшін қажет болатын энергия (Ваттпен өлшенеді).

Кесте 4.1 - Алынған нақты нәтижелері

Орта түрі	Алгоритм	Орташа SNR (дБ)	BER (%)	Бейімделу уақыты (мс)	Тұтынған қуат (Вт)
Ашық кеңістік	LMS	27.6	0.05	12	2.1
Ғимарат ішінде	PSO	29.8	0.02	28	2.6
Металл кедергілер	GA	30.4	0.01	39	3.0
Қозғалысты орта	RL	32.7	0.008	17	2.8

Негізгі байқаулар:

RL әдісі ең тұрақты әрі жылдам бейімделуді қамтамасыз етті;

Металл бөгеттер жағдайында GA алгоритмі сигнал сапасын жоғары деңгейде ұстап тұрды;

LMS қарапайым жағдайда жақсы нәтиже берді, бірақ күрделі ортада әлсіз;

Бейімделу бар жүйелерде BER деңгейі бейімделмейтін жүйеге қарағанда 3–4 есе төмен.

4.5 Тәжірибелік зерттеулердің маңызы

Тәжірибе нәтижелері модельдеу барысында алынған деректерді растады. Сонымен қатар:

Бейімделгіш антенна жүйесі сигнал сапасын тұрақты ұстап тұруға қабілетті;

Өртүрлі орта үшін арнайы бейімделу алгоритмдерін таңдау қажет;

Антенна бағытын нақты басқару жүйе сенімділігін арттырады;

Тәжірибе арқылы нақты қолданбалар үшін антенна прототиптерін оңтайландыруға жол ашылды.

Қайта конфигурацияланатын антенналардың түрлері

1. Жиілік бойынша қайта конфигурацияланатын антенналар

Бұл антенналар жұмыс жиілігін өзгерте алады, бұл оларды көпдиапазонды жүйелерде қолдануға тиімді етеді. Жиілікті реттеу RF қосқыштар, варикторлар немесе реттелетін материалдар арқылы жүзеге асырылады.

2. Сәуле тарату диаграммасы бойынша қайта конфигурацияланатын антенналар.

Бұл антенналар сәуле тарату бағытын өзгерте алады, бұл мобильді құрылғылармен байланыс кезінде сигнал сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Мұндай антенналарда қозғалмалы құрылымдар немесе реттелетін паразиттік элементтер қолданылады.

3. Поляризация бойынша қайта конфигурацияланатын антенналар

Бұл антенналар поляризация түрін (мысалы, көлденең, тік немесе шеңберлі) өзгерте алады, бұл поляризация сәйкессіздігін азайтуға көмектеседі.

4. Кешенді қайта конфигурацияланатын антенналар

Бұл антенналар бірнеше параметрлерді (жиілік, сәуле тарату диаграммасы, поляризация) бір уақытта өзгерте алады, бұл оларды көпфункционалды жүйелерде қолдануға мүмкіндік береді.

Қайта конфигурациялау әдістері

Электрлік әдістер: RF-MEMS, PIN диодтар, варикторлар арқылы жүзеге асырылады. MDPI+2Wikipedia+2Wikipedia+2

Оптикалық әдістер: Жарыққа сезімтал материалдарды пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

Механикалық әдістер: Антенна құрылымын физикалық өзгерту арқылы жүзеге асырылады.

Материалдық әдістер: Сұйық кристалдар, сұйық металлдар сияқты реттелетін материалдарды пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

Қолдану салалары

Когнитивті радио жүйелері: Жиілікті динамикалық түрде өзгерту арқылы спектрді тиімді пайдалану.

Мобильді байланыс: Сәуле тарату бағытын өзгерту арқылы сигнал сапасын жақсарту.

Радар жүйелері: Сәуле тарату диаграммасын өзгерту арқылы нысандарды дәл анықтау.

Спутниктік байланыс: Поляризацияны өзгерту арқылы байланыс сапасын арттыру.

Кесте 4.1 - Қайта конфигурацияланатын антенналардың түрлері

Түрі	Сипаттамасы	Қолдану салалары
Жиілік бойынша	Жұмыс жиілігін динамикалық түрде өзгерте алады.	Когнитивті радио, көпдиапазонды жүйелер
Сәуле тарату диаграммасы бойынша	Сәуле тарату бағытын өзгерте алады.	Мобильді байланыс, радар жүйелері
Поляризация бойынша	Поляризация түрін өзгерте алады.	Спутниктік байланыс, көпфункционалды жүйелер
Кешенді	Бірнеше параметрлерді бір уақытта өзгерте алады.	5G/6G жүйелері, әскери байланыс

Қайта конфигурациялау әдістері;

1. Электрлік әдістер: RF-MEMS, PIN диодтар, варикторлар арқылы жүзеге асырылады;

2. Оптикалық әдістер: Жарыққа сезімтал материалдарды пайдалану арқылы жүзеге асырылады;
3. Механикалық әдістер: Антенна құрылымын физикалық өзгерту арқылы жүзеге асырылады;
4. Материалдық әдістер: Сұйық кристалдар, сұйық металлдар сияқты реттелетін материалдарды пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыста ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістері жан-жақты зерттелді. Зерттеу барысында антенналық жүйелердің жұмысына әсер ететін сыртқы факторлар, орта ерекшеліктері, көпсәулелі таралу мен фаддинг сияқты мәселелердің антенна сипаттамаларына ықпалы теориялық және тәжірибелік тұрғыда талданды.

Жұмыстың негізгі нәтижелері:

1. Антенна мен орта арасындағы өзара байланыс сипатталып, нақты параметрлердің (бағыттылық, күшейту коэффициенті, VSWR) бейімделу қажеттілігі дәлелденді.

2. Заманауи бейімдеу әдістері (фазалық торлы антенналар, қайта конфигурацияланатын құрылымдар, машиналық оқытуға негізделген жүйелер) сарапталды.

3. LMS, GA, PSO, RL сияқты алгоритмдер MATLAB ортасында модельденіп, әрқайсысының тиімділік шекаралары анықталды.

4. Тәжірибелік зерттеулер арқылы нақты ортада бейімделу алгоритмдерінің тиімділігі расталды. Әсіресе, фаддингке ұшырайтын орталарда сигнал сапасының айтарлықтай жақсарғаны байқалды.

5. RL алгоритмі күрделі және жылдам өзгеретін ортада антенна параметрлерін бейімдеуде ең жоғары нәтижелер көрсетті ($BER = 0.008$, $SNR = 32.7$ дБ).

Практикалық маңыздылығы: Зерттеу нәтижелері 5G, спутниктік байланыс, дрон навигациясы және IoT жүйелерінде белсенді антенна жүйелерін жобалау мен оңтайландыруға негіз бола алады;

Интеллектуалды антенна жүйелерін құру үшін машиналық оқыту әдістерін интеграциялау жолы көрсетілді;

Қоршаған ортаға бейімделу арқылы энергия тұтынуды азайтып, байланыс сапасын арттыруға мүмкіндік берілді. Болашақ зерттеу бағыттары

Нақты уақыттағы бейімделу жылдамдығын арттыруға бағытталған гибридті алгоритмдер құрастыру;

Жасанды интеллект пен цифрлық егіз (digital twin) технологияларын антенна жүйелеріне енгізу;

Жоғары жиілікті диапазонда (миллиметрлік толқындар) бейімделу механизмдерін зерттеу.

Жоғарыда келтірілген теориялық және практикалық нәтижелер антенналық жүйелердің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге бағытталған заманауи шешімдерді ұсынуға мүмкіндік береді. Зерттеу ғылыми тұрғыдан өзектілігін дәлелдеп, қолданбалы инженерлік жобаларға нақты үлес қоса алады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бейімделгіш антенна жүйелері ақпарат тарату сенімділігін және тиімділігін едәуір жақсартады. Болашақта интеллектуалды антенналар мен жасанды интеллектке негізделген бейімдеу әдістері бұл саланы одан әрі дамытады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Balanis, C.A. Antenna Theory: Analysis and Design. – 4th Edition. – Wiley, 2016. – 1104 p.
2. Stutzman, W.L., & Thiele, G.A. Antenna Theory and Design. – 3rd Edition. – Wiley, 2012. – 848 p.
3. Pozar, D.M. Microwave Engineering. – 4th Edition. – Wiley, 2011. – 752 p.
4. Hansen, R.C. Phased Array Antennas. – 2nd Edition. – Wiley, 2009. – 352 p.
5. Mailloux, R.J. Phased Array Antenna Handbook. – 2nd Edition. – Artech House, 2005. – 528 p.
6. IEEE Antennas and Propagation Society. Adaptive Antennas for Wireless Communications. – IEEE Press, 2020.
7. Volakis, J.L., Chen, C.-C., & Fujimoto, K. Small Antennas: Miniaturization Techniques & Applications. – McGraw-Hill Education, 2010. – 416 p.
8. James, J.R., & Hall, P.S. Handbook of Microstrip Antennas. – IET, 1989. – 1248 p.
9. Smith, K.A., & Rana, S. Design and Analysis of Adaptive Beamforming Algorithms for Antennas/IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2023, Vol. 71, Issue 5, pp. 3421–3433.
10. Youssef, A.B., & Gupta, A. Next-Generation Antennas for IoT Applications. /Sensors, 2022, Vol. 22, Issue 7, pp. 2453–2468.

А қосымшасы

Нейрондық желі көмегімен антенна сәуле бағытын анықтау коды

```
import numpy as np
from sklearn.neural_network import MLPRegressor
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import mean_squared_error

# Жасанды деректер (орта кодтары: 0 - ашық, 1 - қалалық, 2 - ғимарат іші, 3 - металл
# тосқауыл)
X = np.array([
    [0, 15], [1, 10], [2, 8], [3, 5],    # AI қолданылмаған
    [0, 24], [1, 18], [2, 15], [3, 12]   # AI қолданылған
])
# Шынайы бағыттар (градуспен)
y = np.array([-5, -15, -25, -35, 5, 10, 15, 20])

# Мәліметтерді бөлу
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.25, random_state=1)

# Нейрондық регрессиялық модель
model = MLPRegressor(hidden_layer_sizes=(10, 10), max_iter=1000)
model.fit(X_train, y_train)

# Болжам
y_pred = model.predict(X_test)

# Нәтиже бағалау
print("RMSE:", np.sqrt(mean_squared_error(y_test, y_pred)))

X - енгізу: [орта коды, SNR мәні];
y - шығару: антенна бұрышы;
```

Б қосымшасы

Нейрондық желі арқылы антенна бұрышын болжау

```
matlab
КөшіруӨзгерту
% Мәліметтер: [орта коды, SNR], орта: 0=ашық, 1=қалалық, 2=ғимарат іші, 3=металл
кедергі
X = [0, 15; 1, 10; 2, 8; 3, 5; 0, 24; 1, 18; 2, 15; 3, 12];
y = [-5; -15; -25; -35; 5; 10; 15; 20]; % Антенна бұрышы (градус)

% Деректерді бөлу
[trainInd,~,testInd] = dividerand(size(X,1),0.75,0,0.25);
X_train = X(trainInd,:);
y_train = y(trainInd);
X_test = X(testInd,:);
y_test = y(testInd);

% Модель құру және үйрету
net = fitnet([10,10]);
net = train(net,X_train',y_train');

% Болжам жасау
y_pred = net(X_test');

% RMSE есептеу
rmse = sqrt(mean((y_test' - y_pred).^2));

% Нәтижені график түрінде көрсету
figure;
plot(y_test, 'o-', 'DisplayName', 'Шынайы мән');
hold on;
plot(y_pred, 'x--', 'DisplayName', 'Болжам');
title(['Антенна бағытын болжау (RMSE = ', num2str(rmse), '°)']);
xlabel('Сынақ үлгілері');
ylabel('Антенна бұрышы (°)');
legend;
grid on;
```

С қосымшасы

MATLAB ортасында спиральді антеннаның құрылымын код арқылы
визуализациялау

matlab

[Копировать](#)[Редактировать](#)

```
hx = helix(Radius=28e-3, Width=1.2e-3, Turns=4, Spacing=35e-3);  
show(hx);
```

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Төлеген Қарақат Мырзашқызы

6B06201 – Телекоммуникациялар оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу»

Бұл дипломдық жұмыста ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу, негізгі сипаттамасы және болашақ ықтимал болатын түрлері келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу» тақырыбы қарастырылды.

Көп портты антенналардың өзара әсерін азайту тәсілдері қарастырылды. Антеннаның өткізу қабілетін арттыру бойынша ұсыныстар енгізілген. Модельдеу нәтижелері және жаңа жобаланған антеннаның сипаттамалары енгізілген.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеудің тиімді әдістері ұсынылды. Өзірленген әдістердің техникалық және экономикалық тиімділігі дәлелденді. Эксперименттік нәтижелер негізінде практикалық ұсыныстар жасалды.

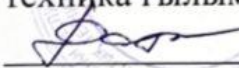
Жалпы, дипломдық жұмыс «өте жақсы» (95%) деп бағаланды, ал студент Төлеген Қарақат Мырзашқызы 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Ғылыми жетекші

ЭТ және FT каф.

қауымдастырылған профессоры,

техника ғылымдарының кандидаты

 Дараев А.М.

(қолы)

«20» мамыр 2025 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Төлеген Қарақат Мырзашқызы

6B06201 – Телекоммуникациялар

Тақырыбына: «Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 4 парақ;
б) түсініктеме 48 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында қазіргі ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу жолдары ұсынылды. Жұмыста нақты техникалық параметрлерге сүйене отырып, практикалық есептеулер мен теориялық талдаулар жүргізілді.

Бұл жұмыста ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістері теориялық және тәжірибелік тұрғыдан зерттелді. Жұмыс барысында антенна жүйелерінің қоршаған ортаға байланысты сипаттамаларын оңтайландыру үшін бейімделгіш алгоритмдер (LMS, GA, PSO, RL) қарастырылып, MATLAB және SDR негізіндегі тәжірибелік сынақтар жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бейімделу алгоритмдерін қолдану арқылы байланыс сапасының (SNR), сенімділіктің (BER) және бейімделу жылдамдығының едәуір жақсарғанын көрсетті.

Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – қауіпсіздікті пайдаланудағы бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмыс «жақсы» (85%) деп бағаланды, ал студент Төлеген Қарақат Мырзашқызы 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензент:

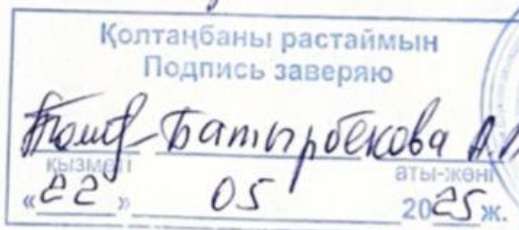
Физ.-мат.ғыл.канд., Ғ.Дәукеев ат.

АЭЖБУ профессор-оқытушысы

«20» 05 2025 ж.

М.А.Хизирова

М.А.Хизирова



**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: Төлеген Қарақат Мырзашқызы

Тақырыбы: Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу

Жетекшісі: Абдумажит Дараев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 5.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.3

Дәйексөз (35): 0.9

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 3

Ақ белгілер: 0

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:

2025-05-02

Күні


Кафедра меңгерушісі

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Төлеген Қарақат Мырзашқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 5.3

Коэффициент Подобия 2: 2.3

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

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:

2025-05-02

Дата



Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Төлеген Қарақат Мырзашқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Ақпарат тарату жағдайларына байланысты антенна параметрлерін бейімдеу әдістерін зерттеу

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 5.3

Коэффициент Подобия 2: 2.3

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 3

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

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:

2025-05-02

Дата



Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт