



DOI 10.51885/1561-4212_2025_4_141
FTAXP 49.03.03

БАЙЛАНЫС АРНАЛАРЫ АРҚЫЛЫ АҚПАРАТ БЕРУ ТЕОРИЯСЫ

ТЕОРИЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ

THEORY OF INFORMATION TRANSMISSION OVER COMMUNICATION CHANNELS

Д.Э. Асымов ^{1*}, М.А. Хизирова ², А.О. Касимов ³, А.Д. Мухамеджанова ⁴

¹Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Асымов Дінмұхамед Әриқұлы, e-mail: di.assymov@aes.kz

Түйінді сөздер:

қайта
конфигурацияланатын
интеллектуалды бет,
сигнал, базалық станция,
шу, өткізу қабілеті, фаза,
радиорелейлік желі.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл мақала қайта конфигурацияланатын интеллектуалды беттердің көмегімен желінің өткізу қабілетін жақсартуға зерттеуге арналады. Қазіргі таңда қайта конфигурацияланатын интеллектуалды бет (RIS) шағылысқан сигналдың фазасы мен амплитудасын адаптивті өзгерту арқылы сымсыз желілердің өткізу қабілеті мен қамту аймағын ұлғайту үшін перспективалы технологиялардың бірі болып табылады. Зерттеудің мақсаты – RIS орнатудың дәстүрлі тәсілі клиенттік бөлімнен базалық станцияға арна күйінің ақпаратын беруге негізделген және RIS конфигурациялау үшін клиенттік жақтан орнатылған құрылғы және базалық станция арасындағы сигналдың сапасын арттыру мақсатында шешім зерттеледі. Бұл RIS-ті операторға хабарлауды немесе базалық станцияны жаңартуды қажет етпей орнатуға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл базалық станцияны жаңартпай-ақ немесе операторға хабарламай RIS орнатуға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында автономды RIS прототипі қолданылады, байланыс арнасының негізгі параметрлері есептеледі. MATLAB Communication Toolbox және Google Colab платформаларында модельдеу әдістері қолданылады, жіберілген сигнал сапасы бағаланады. Өзірленген әдістеме ғылыми жаңашылдығымен және тәжірибелік маңыздылығымен ерекшеленеді, заманауи корпоративтік жүйелерде тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

Ключевые слова:

реконфигурируемая
интеллектуальная
поверхность, базовая
станция, шум, пропускная
способность, фаза,
радиорелейная сеть.

АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящается исследованию повышения пропускной способности сети с помощью реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей (RIS). В настоящее время RIS являются одной из перспективных технологий для увеличения пропускной способности и зоны покрытия беспроводных сетей за счёт адаптивного изменения фазы и амплитуды отражённого сигнала. Цель исследования — изучение решения, направленного на улучшение качества сигнала между базовой станцией и клиентским устройством, при котором установка RIS не требует передачи информации о состоянии канала от клиента к базовой станции. Это позволяет устанавливать RIS без необходимости оповещения оператора или модернизации базовой станции. В исследовании используется автономный прототип RIS, рассчитываются основные



параметры канала связи. Моделирование проводится с применением MATLAB Communication Toolbox и платформы Google Colab, оценивается качество передаваемого сигнала. Разработанная методика отличается научной новизной и практической значимостью, позволяя эффективно применять предложенный подход в современных корпоративных сетях.

Keywords:

reconfigurable intelligent surface, signal, base station, noise, throughput, phase, microwave radio network.

ABSTRACT

This article is dedicated to the study of improving network capacity using reconfigurable intelligent surfaces (RIS). Currently, RIS is considered one of the promising technologies for increasing the capacity and coverage of wireless networks by adaptively adjusting the phase and amplitude of the reflected signal. The aim of the research is to explore a solution that improves the signal quality between the base station and the client device, without requiring the client to send channel state information to the base station. This allows RIS to be deployed without notifying the operator or upgrading the base station. An autonomous RIS prototype is used in the study, and the main parameters of the communication channel are calculated. Modeling is carried out using MATLAB Communication Toolbox and the Google Colab platform, and the quality of the transmitted signal is evaluated. The developed methodology is characterized by scientific novelty and practical relevance, making it applicable for efficient implementation in modern corporate networks.

КІРІСПЕ

Ұялы байланыс жүйелерінің және сымсыз байланыс технологияларының қарқынды дамуы қосылған құрылғылар санының артуына алып келіп, мәліметтерді тарату жылдамдығын арттыруға және желінің өткізу қабілетін кеңейтуге деген сұранысты күшейтті. Wi-Fi технологиясы бүгінде интернетке қолқатынаудың маңызды құралдарының бірі болып табылады және көптеген құрылғыларды біріктіретін инфрақұрылым ретінде кеңінен қолданылады. Дегенмен, ғимарат ішінде және тығыз урбанизацияланған ортада Wi-Fi желілерінің жұмысына көптеген факторлар, соның ішінде сигналдың әлсіреуі, көпсәулелі таралу, кедергілер және өткізу қабілетінің шектеулері әсер етеді. Бұл мәселені шешудің перспективті әдістерінің бірі – қайта конфигурацияланатын интеллектуалды беттерді (ағыл.: Reconfigurable Intelligent Surfaces, RIS) пайдалану. RIS – электромагниттік толқындардың таралуын динамикалық түрде реттеуге мүмкіндік беретін пассивті құрылғылардан тұратын технология. Ол шағылысқан толқындардың фазасын және амплитудасын өзгерту арқылы сигналдың таралу бағытын басқаруға, сигнал деңгейін күшейтуге және кедергілерді азайтуға мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары RIS технологиясы негізінен ұялы байланыс жүйелерінде зерттеліп келеді, алайда оны Wi-Fi желілеріне бейімдеу бойынша зерттеулер әлі де жеткіліксіз. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – RIS-ті Wi-Fi желілерінде қолданудың тиімділігін зерттеу және оның әсерін талдау. Атап айтқанда, Wi-Fi маршрутизаторынан таралатын сигнал сапасын (RSSI, SNR) жақсарту үшін RIS-ті қолданудың тиімділігі зерттеледі. Сонымен қатар, Wi-Fi желілеріне тән 5,8 ГГц жиілік диапазонында жұмыс істейтін RIS конфигурациялау әдістері қарастырылады.

Зерттеу барысында Wi-Fi желілеріне интеграцияланған RIS-тің өткізу қабілетіне, деректерді тарату жылдамдығына және кедергілерді азайтуға әсері модельдік және эксперименттік түрде зерттеледі. Алынған нәтижелер RIS технологиясын сымсыз желілерге енгізудің тиімді жолдарын анықтауға және оның болашақтағы дамуына ықпал етуге көмектеседі. RIS технологиясын Wi-Fi жүйелерінде пайдалану сымсыз желілердің

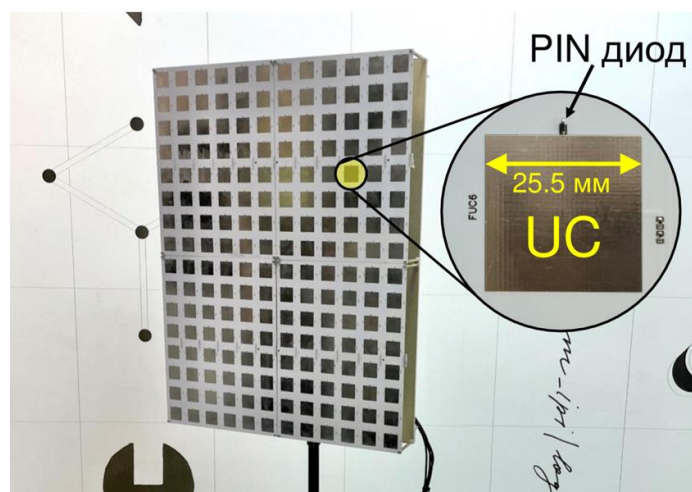


өнімділігін арттырып қана қоймай, сонымен қатар жаңа буын байланыс жүйелерін дамытуға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу RIS негізіндегі адаптивті сымсыз желілерді жетілдіруге бағытталған, нәтижесінде Wi-Fi желілерінің сапасын жақсарту және қолданыстағы инфрақұрылымды тиімді пайдалану мүмкіндіктері қарастырылады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӨДІСТЕРІ

Қайта конфигурацияланатын интеллектуалдық беттер (RIS) – бұл сымсыз байланыс жүйелеріндегі инновациялық технология, ол радиосигналдардың таралу ортасын басқару арқылы байланыс сапасын жаңа деңгейге көтеруге бағытталған. Жаңа буын желілері төмен кідіріс, жоғары өткізу қабілеттілігі және сенімді байланыс талап ететін кеңейтілген шындық, тактильді интернет, қашықтан басқарылатын хирургия және автопилоттық көлік жүйелері сияқты қосымшаларды қолдауды мақсат етеді. Осындай талаптарды қанағаттандыру үшін радиосигналдардың (Di Renzo, 2022) табиғи таралу ортасын басқару қажеттілігі туындады. Осы мақсатта RIS технологиясы ұсынылды.

RIS – бұл негізінен екіөлшемді құрылғы, оның электромагниттік қасиеттері бағдарламалық түрде конфигурацияланып, басқаруға мүмкіндік береді. Технология радиотолқындарды шағылыстыру немесе тарату арқылы олардың амплитудасын, фазасын және бағытын өзертуге қабілетті. RIS-тің негізгі ерекшелігі – оның табиғи факторлардан тәуелсіз әрекет ету мүмкіндігі. Бұл оны сымсыз байланыс саласындағы дәстүрлі тәсілдерден ерекшелейді. Ұялы байланыс желілерінің алғашқы бес буыны табиғи ортаның өзгермейтіндігі туралы постулаттарға негізделген болатын. Ортаның табиғи қасиеттері өзгермейтіндіктен, жіберу және қабылдау құрылғыларында қолданылатын техникалық шешімдер арқылы ғана радиосигналдың сапасын жақсартуға тырысқан. Дегенмен, бұл тәсіл 6G буынының жоғары талаптарын қанағаттандыру үшін жеткіліксіз. Радиотолқындардың таралуы табиғи кедергілерге (А.В. Шалагинов, 2023) ұшырағанда сигналдың әлсіреуі немесе бұрмалануы орын алады, бұл желі жұмысының сапасына теріс әсер етеді. RIS технологиясы осы мәселені шешудің жаңа жолын ұсынады.



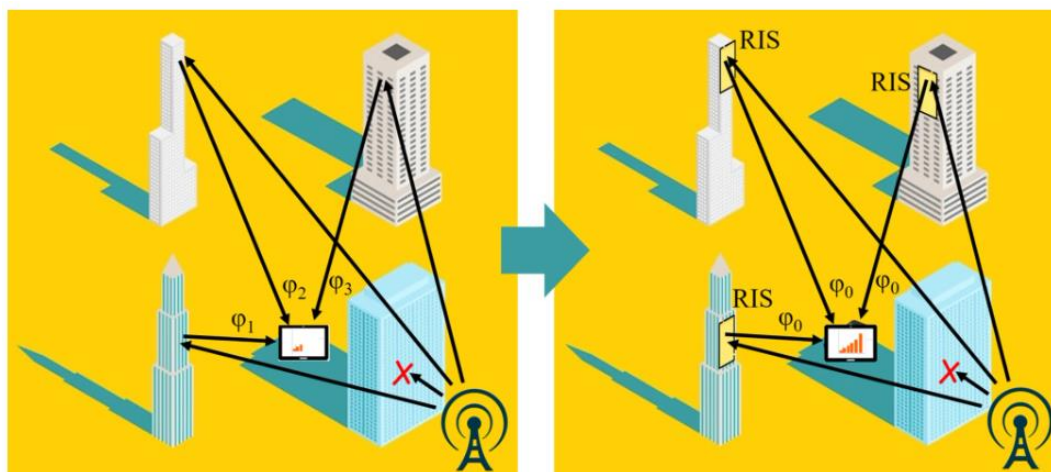
1-сурет. PIN диодтарына негізделген 12x16 ұяшықтардан тұратын RIS прототипі
Ескерту – автормен (А.В. Шалагинов, 2023) негізінде құрастырылған

RIS беттері толқындарды шағылыстырудың арнайы конфигурацияларын жасауға мүмкіндік береді. Әрбір шағылыстыратын элемент белгілі бір фазалық ауысым жасай отырып, радиотолқындарды мақсатты бағытта бағыттайды. Бұл қолданушы құрылғысына келетін сигналдың сапасын айтарлықтай жақсартады және базалық станцияның қуатын

азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, RIS шағылысқан сигналдарды жіберуші мен қабылдаушының қажеттіліктеріне бейімдеп, байланыс сапасын басқаруды орталықтандыруға мүмкіндік береді. Технологияның маңызды артықшылықтарының бірі – оның энергияны тиімді пайдалануы. RIS элементтері белсенді компоненттерді қажет етпейтіндіктен, энергия тұтыну деңгейі төмен болып қалады. Бұл оны экологиялық таза және экономикалық тиімді шешімге айналдырады.

RIS қолдану аясы кең. Ол тек байланыс сапасын жақсарту үшін ғана емес, сонымен қатар ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету және энергия жинақтау үшін де тиімді қолданылады. Мысалы, ғимараттардың терезелеріне орнатылған мөддір RIS панельдері радиосигналдардың қалаған бағытта таралуына немесе бөтелуіне ықпал ете алады. Сонымен бірге, бұл технология шағын ұяшықтарды қосу, IoT құрылғыларын қуаттандыру, көлік құралдарын басқару және өнеркәсіптік қолданбаларда кеңінен пайдаланылуы мүмкін. RIS технологиясы 6G желілерінің жаңа буын байланыс жүйелерін құрудағы негізгі элементтердің бірі ретінде қарастырылады және болашақта оның қолдану салаларының одан әрі кеңеюі күтіледі.

Радиоқолқатынау желілерінде RIS бірнеше сценарийлерде қолданылуы мүмкін. Төмендегі суретте ең қарапайым және айқын қолдану көрсетілген, мұнда RIS көмегімен абонент терминалында қабылданатын сигналдың қуатын арттыруға болады. RIS жоқ жағдайда, базалық станция мен абонент терминалы арасындағы тура көру мүмкіндігі болмаған кезде, қабылданатын сигналдың қуаты әртүрлі фазаларға (φ_1 , φ_2 , φ_3) ие сигналдардың қабаттасуы салдарынан әлсіреуі мүмкін. RIS пайдалану арқылы сигнал фазасын (φ) (А.В. Шалагинов, 2023) белсенді түрде басқаруға болады, осылайша, RIS панельдерінен шағылған және бағытталған сәулелер абонент терминалына бірдей фазаға (φ_0) ие болып келеді. Бұл қабылданатын сигналдың қуатын арттырады, ал базалық станцияның жіберілетін сәулелену қуаты, керісінше, төмендеуі мүмкін.



2-сурет. RIS-тің қалалық радиоқолқатынау желісінде қолданылуы

Ескерту – автормен (А.В. Шалагинов, 2023) негізінде құрастырылған

RIS технологиясы сымсыз байланыс желілерінің сапасын жақсарту ғана емес, жаңа қызметтер мен қосымшаларға жол ашатын инновациялық шешім ретінде қарастырылады. Оның арқасында радиотолқындарды басқарудың жаңа мүмкіндіктері ашылып, сымсыз байланыс жүйелері бұрын-соңды болмаған деңгейде жұмыс істеуге қабілетті болады.

RIS технологиясы мен Wi-Fi жүйелері бірігіп, сымсыз байланыстың сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Wi-Fi сигналдары ғимарат ішінде кедергілерге ұшырап, қабырғалар, жиһаздар және басқа объектілер арқылы әлсірейді. Бұл мәселені шешу үшін



RIS технологиясы қолданылады, себебі ол электромагниттік толқындарды қайта бағыттап, сигналдың таралуын тиімді түрде басқарады. RIS Wi-Fi желілерінде пассивті ретранслятор ретінде жұмыс істейді, яғни энергия тұтынбай немесе минималды қуатпен сигналдың фазасы мен амплитудасын басқара алады. Бұл Wi-Fi сигналының әлсіреуін азайтып, қабылдау деңгейін жақсартады. Әсіресе, үлкен кеңселерде, көпқабатты ғимараттарда немесе адам көп жиналатын жерлерде (Д.А. Пальцин, 2023) RIS сигналды стратегиялық бағыттау арқылы Wi-Fi аймағын кеңейте алады. RIS технологиясының басты артықшылықтарының бірі – динамикалық қайта конфигурациялану мүмкіндігі. Wi-Fi желісі өзгерген жағдайда, RIS нақты уақыт режимінде сигнал бағытын реттеп, қолданушыларға үздіксіз және тұрақты байланыс ұсынады.

Сонымен қатар, ол бірнеше пайдаланушы арасында жүктемені оңтайландырып, өткізу қабілетін арттыруға көмектеседі. RIS пен Wi-Fi роутердің үйлесуі желі сапасын арттырудың заманауи тәсілдерінің бірі болып табылады. Бұл комбинация әсіресе жаңа буын желілерінде, мысалы, 6G және жетілдірілген Wi-Fi 7 (Wu, Q., Zhang, R., 2019) стандарттарында маңызды рөл атқаруы мүмкін. Wi-Fi роутер мен RIS бірігіп жұмыс істегенде, сигнал жоғалуын азайту, кешігуді төмендету және деректерді беру жылдамдығын арттыру сияқты артықшылықтар береді. Сонымен қатар, RIS технологиясы орнатуға және қызмет көрсетуге ыңғайлы шешім болып табылады. Ол пассивті құрылғы болғандықтан, қуат көзіне тұрақты қосылуды қажет етпейді, бұл оны энергия үнемдейтін және экологиялық тұрғыдан тиімді етеді. Бұл мүмкіндік оны кең ауқымды ғимараттарда, өнеркәсіптік нысандарда немесе тарихи маңызы бар құрылымдарда орнатуға қолайлы етеді, себебі қосымша кабель тарту немесе қуатты жабдық орнату талап етілмейді.

RIS пен Wi-Fi роутердің бірігуі сонымен қатар қауіпсіздік пен деректердің сенімді берілуін жақсартады. Сигналдың бағытталуын нақты басқару арқылы қажетсіз интерференцияны төмендетіп, сыртқы шабуылдарға осалдығын азайтуға болады. Бұл корпоративті желілер мен маңызды ақпараттық инфрақұрылымдар үшін аса маңызды.

RIS жүйесінің имитациялық моделін MATLAB Communication Toolbox негізінде әзірлеу жүргізілді. Модельде радиотолқындардың таралуын сипаттайтын блоктар қолданылды. Эксперименттік зерттеулер RIS элементтерінің саны мен орналасуының сигнал сапасына әсерін бағалауға бағытталды.

Алдымен, RIS элементтерінің фазалық басқару параметрлерін өзгерту арқылы сигнал деңгейінің өзгерісі зерттелді. Әртүрлі конфигурациялар сыналып, фазаны динамикалық реттеудің (Pei, X., 2021) байланыс сапасына ықпалы анықталды. Кейін, RIS панелінің өлшемдері мен орналасуының байланыс тиімділігіне әсері қарастырылды. Модельде RIS панелінің әртүрлі биіктікте және әртүрлі қашықтықта орнатылған жағдайлары сыналып, олардың әсері талданды.

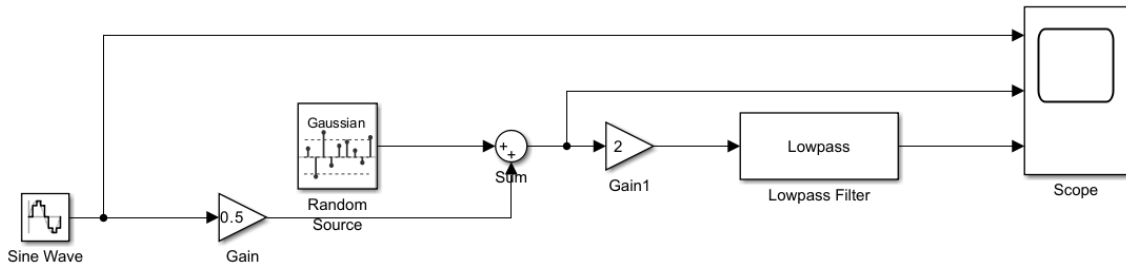
Сонымен қатар, әртүрлі қоршаған орта жағдайларында (ашық кеңістік, урбанизацияланған орта, кедергілер көп орта) RIS-тің тиімділігі бағаланды. Интерференция деңгейін төмендету үшін әртүрлі алгоритмдер салыстырылды. Алынған мәліметтер негізінде RIS параметрлерін оңтайландыруға ұсыныстар берілді.

Нәтижелер көрсеткендей, RIS қолдану сигнал деңгейін жақсартып, интерференцияны азайтуға көмектеседі. Модельдеу нәтижелері RIS технологиясының радиорелейлік байланыс жүйелеріндегі тиімділігін дәлелдейді және оны болашақта кеңінен қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

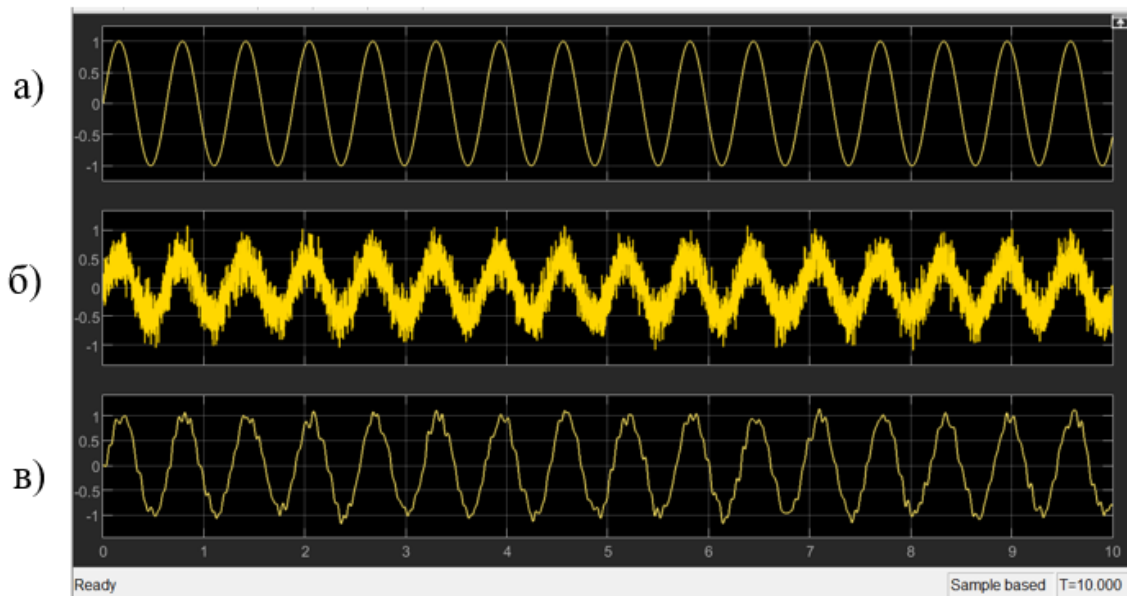
Қарапайым модель көмегімен байланыс жүйелеріндегі, акустикалық құрылғылардағы немесе физикалық құбылыстарды модельдеу кезіндегі процестерді зерттеуге арналған үлгі бола алатын сигналды өңдеудің ықшам әрі көркем сұлбасы. Ол

таза, периодты көзі болып табылатын синусоидалы сигналдың генерациясынан басталады. Бұл сигнал белгілі бір жиілік, амплитуда және фазаға ие болып, алғашқы күшейткішке (коэффициенті 0.5) беріледі, мұнда оның амплитудасы екі есеге азаяды. Бұл – таралу ортасындағы мүмкін болатын жоғалтуларды немесе кейінгі өңдеуге арналған қалыптастыруды модельдеу тәсілі.



3-сурет. Жүйенің қарапайым моделі

Ескерту – автормен құрастырылған



4-сурет. RIS сигнал тарату шығысындағы осциллограмма:

а – кірісіндегі гармоникалық сигнал; б – қосымша шу; в – шығыс сигналы

Ескерту – автормен құрастырылған

Сұлбаға қатарлас түрде гаусстық шу енгізіледі. Бұл шу арнайы генератор арқылы жасалып, нақты жүйелерде таза сигналдың жылулық шу немесе байланыс арнасындағы интерференция сияқты кездейсоқ кедергілермен бірге жүретінін модельдеуге мүмкіндік береді. Нөлдік математикалық күтімі мен берілген дисперсиясы бар гаусс шуы әлсіреген синусоидалы сигналға қосылады да, сумматорда шулы сигнал түзіледі – бұл нақты жүйелердегі типтік жұмыс жағдайларын көрсетеді.

Кейін бұл араласқан сигнал екінші күшейткішке (коэффициенті 2) бағыттталып, оның амплитудасы екі есе артады. Бұл алдыңғы жоғалтуларды өтеу немесе белсенді күшейтуді модельдеуге мүмкіндік береді. Содан кейін сигнал төмен жиілікті сүзгіге өтеді. Бұл сүзгі жоғары жиілікті компоненттерді жұмсақ түрде алып тастап, шуды азайтады және пайдалы сигналды бөліп шығарады. Соңғы кезеңде сүзгіден өткен сигнал осциллографқа беріледі,



бұл зерттеушіге барлық түрлендіру нәтижесін визуалды түрде бақылауға және талдауға мүмкіндік береді.

Осы құрылым — генерация, әлсірету, шулы ортаға енгізу, күшейту және сүзгіден өткізу сияқты кезеңдерді өзара бірізді түрде үйлестіре отырып, сигнал мен кедергілердің күрделі әрекеттесуін басқарылатын ортада модельдеуге мүмкіндік береді. Бұл оны диссертациялық зерттеу аясында терең талдауға арналған құнды құралға айналдырады.

Негізгі есептеулер COST231-Хата моделін қолдана отырып есептелді. Бастапқы деректер қалалық ортадағы радиорелейлік жүйе үшін негізінде алынды.

Есептік бөлімде қайта конфигурацияланатын интеллектуалды беттер көмегімен сигнал таралуының негізгі параметрлерін талдау мақсатында есептеулер жүргізілді. Есептеулер нақты жүйенің физикалық және техникалық сипаттамаларын ескере отырып, имитациялық модель құру үшін орындалды. Жүйе 5G/6G технологияларында жиі қолданылатын жоғары жиілікті диапазонда жұмыс істейді. Бұл мысалда жиілік $f = 5.9$ ГГц (яғни, $f=5.9$ ГГц= $5,9 \times 10^9$ Гц) деп алынды, ол 5.8–6 ГГц диапазонына жатады.

RIS жүйесі орнатылған ортада базалық станция антеннасының биіктігі 20 метр, ал клиент пен базалық станция арасындағы тікелей қашықтық 500 метр деп есептеледі. Бұл параметрлер типтік қала жағдайларына сәйкес келеді және сигналдың кеңістікте таралуын дәл сипаттайды.

RIS құрылғысы $M = 192$ элементтен тұрады (12×16 матрица түрінде), әрбір элемент электромагниттік толқынның фаза параметрін бақылауға қара алады. Бұл элементтер сигналды қайта бағыттауға және фокус жасауға мүмкіндік береді, нәтижесінде жүйенің жалпы тиімділігі артады.

Таратқыштың қуаты 20 дБм, яғни 100 мВт деп алынды. Бұл қуат мөлшері стандартты шағын базалық станцияларға тән, ал арна арқылы жоғалатын энергияны компенсациялау үшін антенналар күшейткіштері пайдаланылады. Атап айтқанда, таратқыш антеннаның күшейту мәні $G_t = 10$ дБ, ал қабылдағыш антеннаның күшейтуі $G_r = 5$ дБ деп алынды. Бұл параметрлер сигнал сапасын едәуір жақсартуға септігінің тигізеді.

Қабылдағыштың шу фигурасы $F = 6$ дБ, ал қоршаған ортаның температурасы стандартты $T = 290$ К деп алынған. Бұл мәндер қабылдағыштағы шу деңгейін есептеу үшін қажет. Радиожиіліктегі сигналдың таралуына әсер ететін тағы бір маңызды параметр — жарық жылдамдығы, ол $c = 3 \times 10^8$ м/с деп қабылданды.

RSRP-қабылданған сигналдың қуатын есептеу формуласы:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{\text{жалпы}} \quad (1)$$

мұндағы: P_r – RSRP-қабылданған сигналдың қуаты; P_t – таратқыштың қуаты; G_t – базалық станция таратқышының антеннасын күшейту мәні; G_r – абоненттің қабылдау антеннасын күшейту мәні; $L_{\text{жалпы}}$ – қалалық орта үшін COST-231 Hata моделінің мәні.

1-кесте. Негізгі сигнал параметрлерін есептеу

Параметр	RIS қолданусыз есептелген мән	RIS қолданумен есептелген мән	Өлшем бірлігі
Өткізу жолағы (B, МГц)	80	80	МГц
Жол шығыны (Path Loss, дБ)	145,12	111,34	дБ
Қабылданған сигнал қуаты (RSRP, дБм)	-110,12	-76,34	дБм
Сигнал мен шудың арақатынасы (SNR, дБ)	-11,16	22,62	дБ
<i>Ескерту – автормен құрастырылған</i>			



ҚОРЫТЫНДЫ

Қайта конфигурацияланатын интеллектуалдық беттер (RIS) технологиясы сымсыз байланыс саласындағы революциялық шешім болып табылады және болашақ 6G желілерінің негізін қалыптастырады. Бұл технология радиосигналдардың табиғи таралу ортасын басқару арқылы дәстүрлі байланыс жүйелерінің шектеулерін еңсеруге мүмкіндік береді. RIS технологиясы тек радиотолқындардың таралу бағытын ғана емес, олардың фазасын және амплитудасын өзгертуге қабілетті, бұл байланыс сапасын едәуір жақсартады. Бұл сымсыз желілердегі энергияны тиімді пайдалану, байланыс сенімділігін арттыру және ақпараттық қауіпсіздік мәселелерін шешуге жол ашады.

Зерттеу барысында қайта конфигурацияланатын интеллектуалдық беттерді пайдалану арқылы базалық станция мен клиенттік құрылғы (Wi-Fi роутер) арасындағы сымсыз байланыстың сапасын арттыру мүмкіндігі қарастырылды. Жүргізілген модельдеу мен есептеулер нәтижесінде RIS технологиясының сигналды күшейтуге, қабылданатын қуатты арттыруға және байланыс сенімділігін жақсартуға елеулі әсер ететіні көрсетілді.

Қайта конфигурацияланатын интеллектуалдық беттердің моделін жасау үшін Simulink графикалық ортасы пайдаланылды. Негізгі есептеу нәтижелері қазіргі таңдағы стандартқа сәйкес қалалық радиожиілік желілерінің мәндерімен салыстырылды. RIS арқылы радиотолқындарды басқарудың жаңа әдістері жүзеге асып, болашақтың сандық әлеміне есік ашылады.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Автор(лар) мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Бұл зерттеу жұмысы ешқандай қаржылық қолдаусыз орындалды.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Автор әдістемелік қолдау мен пайдалы пікірлері және мақаланың сапасын арттыруға септігін тигізген үшін әріптестеріне алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Бұл жұмысты дайындау кезінде автор(лар) ЖИ және оның көмегімен технологияны қолданданбағандығын хабарлайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Шалагинов, М. (6 ноябрь 2023). RIS: Reconfigurable Intelligent Surfaces. <https://shalaginov.com/2023/11/06/ris-reconfigurable-intelligent-surfaces/> // Shalaginov, M. (6 noyabrya 2023). RIS: Reconfigurable Intelligent Surfaces. [RIS: Reconfigurable Intelligent Surfaces] (In Russ.)
- Пальцин, Д.А., Рыжков, А.В., Фень, С.А. и др. (2023). Massive MIMO: перспективы применения в сетях доступа 6G. Труды НИИР, (2), 2–14. // Pal'cin, D.A., Ryzhkov, A.V., Fen', S.A. i dr. (2023). Massive MIMO: perspektivy primeneniya v setyakh dostupa 6G. Trudy NIIR, (2), 2–14. [Massive MIMO: Prospects for Application in 6G Access Networks] (In Russ.)
- Industry Specification Group (ISG) On Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS). <https://www.etsi.org/committee/1966-ris> (In Eng.).
- Di Renzo, M., Danufane, F. H., & Tretyakov, S. (2022). Communication Models for Reconfigurable Intelligent Surfaces: From Surface Electromagnetics to Wireless Networks Optimization. Proceedings of the IEEE, 110(9), 1164–1209. (In Eng.).
- Zhang, Z., Dai, L., Chen, X., et al. (2023). Active RIS vs. Passive RIS: Which Will Prevail in 6G? IEEE Transactions on Communications, 71(3), 1707–1725. (In Eng.).
- Basar, E., Di Renzo, M., De Rosny, J., Debbah, M., Alouini, M. S., & Zhang, R. (2019). Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces. IEEE Access, 7, 116753–116773. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2935192> (In Eng.).



- Wu, Q., & Zhang, R. (2019). Towards Smart and Reconfigurable Environment: Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Network. *IEEE Communications Magazine*, 58(1), 106–112. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900107> (In Eng.).
- Liang, Y.-C., Long, R., & Pei, X. (2021). Reconfigurable Intelligent Surfaces for Wireless Networks: Principles, Applications, and Research Directions. *IEEE Wireless Communications*, 28(6), 64–70. <https://doi.org/10.1109/MWC.001.2100043> (In Eng.).
- Wu, Q., & Zhang, R. (2020). Towards smart and reconfigurable environment: intelligent reflecting surface aided wireless network. *IEEE Communications Magazine*, 58(1), 106–112. (In Eng.).
- Gong, S., Lu, X., Hoang, D. T., et al. (2020). Towards Smart Wireless Communications via Intelligent Reflecting Surfaces: A Contemporary Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2283–2314. (In Eng.).
- Heater, B. (2020, February 3). MIT's RFocus technology could turn your walls into antennas. *TechCrunch*+. <https://techcrunch.com/2020/02/03/mits-rfocus-technologycould-turn-your-walls-into-antennas> (In Eng.).
- Pei, X., Yin, H., Tan, L., et al. (2021). RIS-Aided Wireless Communications: Prototyping, Adaptive Beamforming, and Indoor/Outdoor Field Trials. *IEEE Transactions on Communications*, 69(12), 8627–8640. (In Eng.).
- Worka, C. E., Khan, F. A., Ahmed, Q. Z., Sureephong, P., & Alade, T. (2024). Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)-Assisted Non-Terrestrial Network (NTN)-Based 6G Communications: A Contemporary Survey. *Sensors*, 24(21), 6958. <https://doi.org/10.3390/s2421695> (In Eng.).
- Sode, M., Ponschab, M., Ribeiro, L. N., et al. (2024). Reconfigurable Intelligent Surfaces for 6G Mobile Networks. *arXiv preprint*. (In Eng.).
- Jian, M., Alexandropoulos, G. C., Basar, E., Huang, C., Liu, R., Liu, Y., & Yuen, C. (2022). Reconfigurable Intelligent Surfaces for Wireless Communications: Overview of Hardware Designs, Channel Models and Estimation Techniques. *Intelligent and Converged Networks*, 3(1), 1–32. <https://doi.org/10.23919/ICN.2022.0005> (In Eng.).
- Huang, C., Zappone, A., Alexandropoulos, G. C., Debbah, M., & Yuen, C. (2019). Reconfigurable Intelligent Surfaces for Energy Efficiency in Wireless Communication. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18(8), 4157–4170. <https://doi.org/10.1109/TWC.2019.2922609> (In Eng.).

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Асымов Дінмұхамед Эрикұлы – техникалық ғылымдар магистрі,
Алматы қ., Қазақстан
Асымов Динмухамед Эрикулы – магистр техничексих наук,
г. Алматы, Казахстан
Assymov Dinmukhamed Erikuly – master of technical sciences,
Almaty, Kazakhstan
e-mail: di.assymov@aes.kz,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1499-1903>



Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна – физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна – кандидат физико-математических наук, профессор, Алматинский университет энергетике и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан

Khizirova Muhabbat Abdissattarovna – candidate of physical and mathematical sciences, professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: m.khizirova@aes.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2242-7756>,



Касимов Абдуразак Оразгелдиевич – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

Касимов Абдуразак Оразгелдиевич – кандидат технических наук, профессор, Алматинский университет энергетике и связи имени Г. Даукеева, г. Алматы, Казахстан

Kasimov Abdurazak Orazgeldiyevich – candidate of technical sciences, professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: a.kasimov@aes.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7270-5577>,



Мухамеджанова Альмира Далелханкызы – PhD, қауымдас-тырылған профессор, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

Мухамеджанова Альмира Далелханкызы – PhD, ассоцииро-ванный профессор, Алматинский университет энергетике и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан

Mukhamejanova Almira Dalelkhankyzy – PhD, associate professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan

e-mail: a.mukhamejanova@aes.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3063-1340>,