

AP19679505 «Тізбекті кодтардың көп шекті декодтау алгоритмдерін зерттеу мен дамыту және оларды жоғары жылдамдықты радиоарналар үшін бағдарламалық аппараттық имплементациялау» - ғ. ж. Сайлау қызы Ж.

Зерттеулердің өзектілігі Қазақстан Республикасының «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы, «Ұлттық қауіпсіздік туралы» ҚР Заңы және «Қазақстанның киберқалқаны» мемлекеттік киберқауіпсіздік тұжырымдамасы аясында ақпараттық-коммуникациялық инфрақұрылымның ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз ету, ақпараттық ресурстар мен байланыс инфрақұрылымын қорғаудың тиімді жүйесін қолдау және дамыту міндеттерімен тығыз байланысты. Ұлттық радиобайланыс жүйесін дамыту ұлттық және ақпараттық қауіпсіздіктің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, себебі ол арнайы мемлекеттік органдардың, Қарулы Күштердің, құқық қорғау органдарының, жедел медициналық көмек қызметінің, өрт сөндіру және құтқару топтарының өзара байланысын қамтамасыз етеді. Қазіргі таңда жоғары жылдамдықты және сенімді радиобайланыс жүйелері арналарды ортогонал жиілікпен мультиплекстеу технологиясын (OFDM) қолдану арқылы жүзеге асырылуда, бұл талап етілетін спектралдық тиімділік пен жоғары деректер сыйымдылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Алайда кеңжолалық сымсыз байланыс үлкен қашықтықта жүзеге асырылған жағдайда қателіктер саны артып, мәліметтерді түзету әдістерін қолдану қажеттілігін тудырады. Жобаның идеясы — сөну құбылысы байқалатын радиобайланыс желілерінде, сондай-ақ Доплерлік ығысу мен символ аралық интерференция жағдайларында қолдануға арналған тиімді қате түзету схемаларын әзірлеу және олардың бағдарламалық-аппараттық жүзеге асырылуын қамтамасыз ету.

Жобаның мақсаты — арнаның өткізгіштік қабілетіне жақын жұмыс істеуді қамтамасыз ететін қателерді түзету әдістері мен құралдарын зерттеу және әзірлеу. Бұл әдістер жылдам өзгертін цифрлық радиобайланыс жүйелерінде ортогонал жиілікпен мультиплекстеу технологиясымен, көппозициялық модуляциямен, кеңістіктік-уақыттық кодтаумен және алдын ала кодтаумен бірлесіп қолданылуы көзделеді.

Күтілетін және қол жеткізілген нәтижелер

1. Жұмыстар жылжымалы радиобайланыс жүйелері үшін үзілістер жағдайында, радиомодемдерде, бейне және дыбыстық ақпаратты қабылдау жүйелерінде ақпаратты беру цифрлық радио жүйелерінің ерекшеліктерін зерделеуге арналды. КЭҰ-дің (қате ықтималдығына қатысты энергия) максималды мәні, жылдамдығы, кодтағыштар мен декодерлердің бағдарламалық және аппараттық іске асырылу күрделілігі бойынша қателерге төзімді кодтау әдістерін таңдауда қолданылатын талаптар айқындалды. LDPC кодтерін жүзеге асырудың негізгі принциптері зерттелді. Қатты шешім қабылдау алгоритмдерімен, биттерді инверсиялау негізінде математикалық модельдер мен алгоритмдерді пайдалану арқылы кодтау және декодтаудың бағдарламалық және аппараттық жүзеге асырылымы жасалды. Модельдеу нәтижелері бойынша радиоканалдар үшін Тэннер графын пайдаланып LDPC кодтарының қате түзету әсері талданды. Аталған эксперимент нәтижесінде VIII Халықаралық ғылыми конференция материалдарында ("Информатика және қолданбалы математика", 2023 ж. 26-27 қазан, Алматы, Қазақстан) 1 мақала жарияланды.

2. Өзіндік ортогональды кодтардың қателердің таралуына бейімділігі талданды, бұл үшін көпөлшемді ықтималдық тудырушы функциялар және кодтың Тэннер графы пайдаланылды. Алынған нәтижелер КШД (көп шекті декодер) қолдануға арналған кодтарды құрастыру мен таңдауда пайдаланылды, мұнда радиоканал өткізу қабілеттілігінен тек бірнеше ондаған дБ төмен шулы жағдайлар қарастырылды. Қате таралу әсерін азайту әдісі ұсынылды, ол әртүрлі ақпараттық символдар үшін басқару қателері жиынының қиылысу дәрежесі төмен өзіндік ортогональды кодтарды құрастыруға негізделген. Қолмен және автоматты параметр түзетулермен, байланыс арнасына қателер енгізу және итерациялық шекті декодтауды оңтайландыру арқылы жиынтық кодтағыш модельдеу бағдарламасы пайдаланылды. Модельдеу нәтижелері шекті мәндер мен барлық шекті

элементтердің салмақ коэффициенттерін оңтайландыру қате таралу әсерін азайтып, түзету тиімділігін арттыратынын көрсетті. Зерттеу нәтижелері бойынша материалдар 2023 жылғы 23–25 қарашада (Түркия, Ыстамбұл) өткен 7th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies халықаралық симпозиумында жарияланып, Scopus дерекқорында индекстелді.

3. Үзіліс бар байланыс арналары үшін шекті декодтау алгоритмдерінің тиімділігі зерттелді. КШД жұмысы параметрлерін оңтайландыру, декодердің жекелеген функционалдық тораптарының жаңа алгоритмдері мен КШД элементі бар каскадты сұлбаларды пайдалану арқылы қате түзету сұлбасының модификациясы ұсынылды. Символдық өзіндік ортогональды кодтар үшін шекті декодтау параметрлерін оңтайландыру алгоритмі ұсынылды, бұл декодтау функциясын минимизациялауда варианттарды бірнеше есе азайтып, декодтау қатесі ықтималдығын 2 ретті кемітеді. Гаусс арнасында кодтау параметрлерін өзгертіп екі КШД-ден тұратын жаңа каскадты кодтау схемасы зерттелді. Декодтау қатесі ықтималдығы мен біріктіру схемаларының бағдарламалық жүзеге асыру жылдамдығы бағаланды. Эксперимент нәтижесінде ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің ғылым сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған отандық басылымда 1 мақала жарияланды.

4. КШД-ны арналарды жиіліктік ортогональды бөлу мультиплекстеуі (OFDM) және көппозициялық модуляция қолданылатын цифрлық радио жүйелерде қолданудың теориялық және модельдік зерттеулері жүргізілді. Үзіліс, Доплер ығысуы және межсимволдық интерференция жағдайында шу деңгейінен декодтау қатесі ықтималдығының тәуелділігі сипатталды. Нәтижелер КШД-ның үзіліс бар радиоканал бұрмалануларында тиімділігін растады. OFDM және көппозициялық модуляциямен бірге КШД межсимволдық интерференция мен доплер ығысуына орнықты екенін көрсетті. Эксперименттер КШД-ның ұзын кодтарды аз есептеу күрделілігімен декодтай алатынын көрсетті, бұл жоғары жылдамдықты беру жүйелері үшін маңызды. КШД дәстүрлі әдістерге қарағанда сенімді қате түзету мен жоғары бейімделгіштікті қамтамасыз етеді. Нәтижелер бойынша Scopus базасында CiteScore бойынша 20 перцентильдік "Journal of Electrical Systems (JES)" халықаралық журналында және XXVI International Conference DSPA – 2024 конференция материалдарында 1 мақала жарияланды.

5. Бірнеше таратқыш және қабылдағыш антенналармен (MIMO) жүйелер үшін КШД қолдану әдістемелері мен радиоканалды бағалау критерийлері әзірленді. OFDM бар күрделі көпсәулелі арналары жағдайында да сенімді деректерді беру қамтамасыз етілді. Арналық сипаттамаларға бейімделіп декодтау кезінде КШД есептеу күрделілігі төмен болып қалды. Басқа кодтарға қарағанда, КШД көпсәулелі ортада ұзын кодтарды да тиімді түрде декодтай алады. Бұл қазіргі заманғы жүйелер үшін оның болашағын көрсетеді. Нәтижелер бойынша 2024 ж. "XVI Сагинов оқулары" халықаралық конференциясында 1 мақала жарияланды. Сондай-ақ зерттеу нәтижелері бойынша материалдар 2023 жылғы 23–25 қарашада (Түркия, Ыстамбұл) өткен 7th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies халықаралық симпозиумы аясында жарияланып, Scopus дерекқорында индекстелді.

6. КШД бар цифрлық радио жүйелердің энергия тиімділігін арттыру үшін біріктірілген итерациялық демодуляция және декодтау әдістері жүзеге асырылды. Модельдік зерттеулер итерациялық схемалар қате түзетуді оңтайландырып, үзіліс жағдайындағы шуға төзімділікті арттыратынын көрсетті. Бұл тәсілдер энергияны үнемдеп, арналық параметрлер өзгергенде де деректердің берілу сенімділігін сақтайды.

Нәтижесінде ҚР ҒЖБМ ұсынған тізімдегі "Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева" журналында №4, 2024 ж. 1 мақала жарияланды. ЭЕМ бағдарламасына №46161 (21 мамыр 2024 ж.) мемлекеттік тіркеу куәлігі алынды.

7. OpenCL стандартына негізделген гетерогенді жүйелер ресурстарын қолдана отырып, жоғары жылдамдықты КШД бағдарламалық нұсқалары әзірленді. №56400 (3 сәуір 2025 ж.) мемлекеттік тіркеу куәлігі алынды.

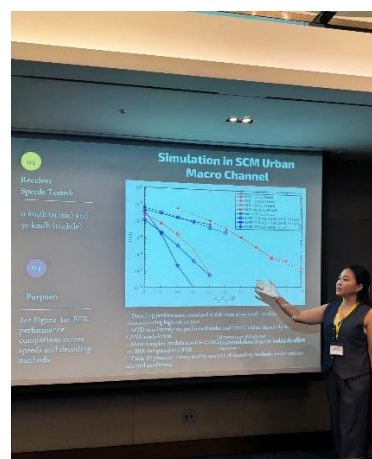
8. Жоғары жылдамдықты КШД реконфигурацияланатын жүйелер үшін OpenCL компиляторы арқылы ПЛИС базасында ендірілген жүйе түрінде жобаланып, жүзеге асырылды. Зерттеу нәтижелері 29th IEEE/ACIS SNPD2025-Summer I конференциясында (25–27 маусым 2025 ж.) ауызша баяндалды.

9. Радиобайланыс жүйелері үшін КШД әдістерінің бағдарламалық және аппараттық жүзеге асырылуын тестілеу үшін сынақ бағдарламалары мен әдістемелер әзірленуде. Өнімділік сипаттамаларын алу жоспарлануда. Нәтижесінде ҚР ҒЖБМ ұсынған тізімдегі журналда 1 мақала қабылданды.

10. Жоба нәтижелерін оқу процесіне енгізу үшін әзірленген бағдарламалық және аппараттық шешімдерге арналған бағдарламалық және конструкторлық құжаттама, патенттерге және/немесе бағдарламаларға мемлекеттік тіркеу куәліктеріне өтінімдер, оқу құралы дайындалады.



Сурет 1 – Ғылыми тағылымдама: Рязань радиотехника мемлекеттік университетінде (РГРТУ) профессор Геннадий Владимирович Овечкиннің жетекшілігімен өтті. Жоба жетекшісі: Сайлау қызы Ж.





Сурет 2 – 29th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD2025-Summer I) халықаралық конференциясына қатысу (2025 жылғы 25–27 маусым, Корея, Пусан).

Зерттеу тобы

Сайлау қызы Жұлдыз – жоба жетекшісі, PhD, Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, АТҚ кафедрасының доцент м.а.

ORCID: 0000-0001-7605-7634

Scopus Author ID: 57440117200

Даненова Гульмира Тулендиевна— аға ғылыми қызметкер, т.ғ.к., Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, АТҚ кафедрасының доценті

Хирш индексі: 1

ORCID: 0000-0003-3301-7282

Scopus Author ID: 57140638000

Хасенова Зарина Төлеубековна— аға ғылыми қызметкер, PhD, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ-дың Компьютерлік ғылымдар мектебінің деканы

Хирш индексі: 2 (Scopus), 1 (WoS)

Scopus Author ID: 57205141835

Коккоз Махаббат Мейрамқызы— аға ғылыми қызметкер, п.ғ.к., Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, АТҚ кафедрасының доценті

Хирш индексі: 3

Researcher ID: P-6669-2017

Scopus Author ID: 56646533000

ORCID: 0000-0002-6232-1868

Сатыбалдина Дина Жағыпаровна— аға ғылыми қызметкер, ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Ақпараттық қауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры

Researcher ID: P-1120-2014

Scopus Author ID: 57193740669

ORCID: 0000-0003-0291-4685

Кожанов Мурат Галиаскарович— ғылыми қызметкер, т.ғ.м., Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, АТҚ кафедрасының меңгерушісі

ORCID: 0000-0002-5310-9953

Researcher ID: P-1134-2014

Scopus Author ID: 55946377700

ORCID: 0000-0002-3271-2163

Эгамбердиев Эльдор Улугбекович— ғылыми қызметкер, «Adal Damu» ЖШС директоры

Researcher ID: K-5417-2013

ORCID: 0000-0001-5289-6580

Scopus Author ID: 57196402736

Жакина Мадина Мауленқызы— кіші ғылыми қызметкер, ВТМ-23-1 тобының магистранты, Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, АТҚ кафедрасы

Аманов Айдос Нурланович— кіші ғылыми қызметкер, ВТМ-23-1 тобының магистранты, Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, АТҚ кафедрасы

Жарияланымдар тізімі

1. Сайлауқызы Ж. Тізбекті кодтардың көп шекті декодтау параметрлерін оңтайландыру алгоритмін әзірлеу // Труды университета. – 2023. – № 3(92). – Б. 474–480.

2. Сайлауқызы Ж., Сатыбалдина Д., Аманов А.Н., Жакина М.М. Радиоарналар үшін Таннер графын қолдану арқылы LDPC кодтарының қателерді түзету әсерін талдау // Халықаралық ғылыми конференция «Информатика и прикладная математика», 26–27 қазан 2023 ж., Алматы, Қазақстан. – Б. 274–280.

3. Zhuldyz Sailaukyzy, Dina Satybalдина, Gulmira Danenova, Makhabbat Kokkoz, Nurlan Tashatov. Design of Majority Decoded Codes and Decoding Algorithm Based on Error Propagation Analysis // 7th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies, 23–25 қараша 2023 ж., Түркия, Стамбул.

4. Сайлауқызы Ж., Хасенова З.Т., Жакина М.М., Аманов А.Н. Цифрлық радио жүйелердің имитациялық моделін құру // XXVI International Conference Digital Signal Processing and Its Applications (DSPA – 2024), 27–29 наурыз 2024 ж.

5. Сайлауқызы Ж., Ибрагимов У.М. Шуға төзімді кодтарды қолдану арқылы радиоарнаны бағалау әдістері мен критерийлері // XVI Сағинов оқулары. Білім, ғылым және өндіріс интеграциясы, 2024 ж.

6. Dina Satybalдина, Valery Zolotarev, Gennady Ovechkin, Zhuldyz Sailaukyzy, Zarina Khassenova, Eldor Egamberdiyev. Specifics of Applying Multi-threshold Decoding Methods to Correct Errors in Fading Communication Channels // Journal of Electrical Systems (JES), 20-10s (2024): 4003–4012.

7. Сайлауқызы Ж., Даненова Г.Т., Куаныш А.Қ., Құтжан С.Д. Шуға төзімді кодтарды қолдану арқылы радиоарнаны бағалауға арналған бағдарламалық имплементация // Авторлық құқық объектісіне мемлекеттік тіркеу туралы куәлік №46161, 21 мамыр 2024 ж.

8. Ж. Сайлауқызы, Г.Т. Даненова, М.М. Коккоз. Көп шекті декодерді қолдану арқылы цифрлық радио жүйелердің энергия тиімділігін арттыру әдістері // Вестник ВКТУ им. Д.Серикбаева, №4, 2024 ж.

9. Gennady Ovechkin, Dina Satybalдина, Zhuldyz Sailaukyzy, Gulmira Danenova. Methods of Multi-threshold Decoders Use in MIMO Systems and Methods of Assessing Their Performance // 8th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies, 6–7 желтоқсан 2024 ж., Түркия, Стамбул.

10. Эгамбердиев Эльдор Улугбекович, Сатыбалдина Дина Жағыпаровна, Сайлау кызы Жұлдыз. PyOpenCL негізінде радиоарналар үшін қателерді түзету жүйелерін параллельді жүзеге асыру // Авторлық құқық объектісіне мемлекеттік тіркеу туралы куәлік №56400, 3 сәуір 2025 ж.

Потенциалды пайдаланушылар үшін ақпарат

Аталған жобаны іске асыру радиоканалдардағы қателерді түзету құралдарын әзірлеу арқылы жаңа буындағы сымсыз желілерді дамытуға қолдау көрсетеді, сондай-ақ айнымалы параметрлері бар радиоканалдарда хабарламаларды берудің жоғары сенімділігін қамтамасыз ететін бейімделгіш телекоммуникациялық жүйелерді құру әдістерін қолдануға жол ашады.

Қолдану саласы

Алынған ғылыми нәтижелердің қолдану мүмкіндігі және/немесе коммерциялануы – күтілетін ғылыми нәтижелер Қазақстан Республикасының ұлттық қауіпсіздігі мен қорғанысын қамтамасыз ететін ұйымдардың радиобайланыс жүйелері жабдықтарын жаңғыртуға, сондай-ақ ақпарат беру сенімділігін арттыруға пайдаланылуы мүмкін.

Мәліметті жаңарту күні: 01.07.2025ж.