

Урынбасарова Алтын Жумаситовнаның
«6D070300 – Ақпараттық жүйелер» мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған тақырыбы
«Жүйелердегі сигналдарды өңдеу мәселелерін шешу үшін гибриді
түрлендірулерді құру» диссертациясына

АНДАТПА

Диссертациялық зерттеу жұмысының тақырыбы жүйелердегі сигналдарды өңдеу мәселелерін шешу үшін классикалық түрлендірулерге сүйене отырып гибриді түрлендірулерді құру. Барлық түрлендірулердің фундаменті Фурье түрлендіруі (FT). FT инженерияның барлық саласында кездеседі, сол себепті де оның әртүрлі аспектілерін дамыту және түсіну өте маңызды. FT стационар сигналдарды сипаттайды. Табиғи сигналдар (аудио, бейне, биомедициналық, сызықтық-жиілікті-модуляцияланған (LFM) және т.б. сигналдар) стационар емес, ал FT мұндай сигналдарды сипаттау үшін жеткіліксіз. Стационар емес сигналдарды зерттеу үшін сызықтық канондық түрлендіру (LCT) және оның жалпы түрі оффсетті сызықтық канондық түрлендіру (OLCT) ұсынылған. OLCT-дің бес еркін параметрі, ал LCT-дің үш еркін параметрі бар. Бұл оларды бір еркін параметрі бар бөлшекті Фурье түрлендіруі (FrFT) және еркін параметрі жоқ FT-мен салыстырғанда икемдірек етеді. LCT әрүрлі салаларда түрлі қолданыстары бар. Мысалы, оптикада, оптикалық жүйелердің кең класын LCT арқылы модельдеуге болады. Сондай-ақ, LCT сигналдарды өңдеудің көптеген қолданыстарында тиімді. Мысалы, уақыт жиілігін талдау, сүзгі дизайны, сигнал синтезі, фазаларды қайта құру, шифрлау, радар, сонар жүйелерінде, және т.б.. Шын мәнінде, OLCT-дің қасиеттері мен қолданыстары LCT-ге ұқсас, бірақ олар LCT-ге қарағанда жалпы. Мысалы, LCT оптикалық жүйелерді модельдей алғанымен призмалар немесе жылжымалы линзалармен талдай алмайды, ал OLCT оптикалық жүйелерді модельдей де алады, әрі призмалар немесе жылжымалы линзалармен талдауға да қабілетті.

Вигнер-Вилле үлестірімі (WVD) квази ықтималдық үлестірімінің ерекше түрі болып табылатыны дәлелденген. WVD сигналды уақыт-жиілік талдауда және сигналды өңдеуде үлкен рөл атқарады. Көптеген белгілі уақыт-жиілік талдауларының ішінде WVD LFM сигналын анықтауда және параметрді бағалауда жоғары айқындық бере алатын маңызды, әрі құнды әдіс. LFM сигналы ақпараттық байланыс, радар және сонар жүйелерінде қолданылады. Демек, LFM сигналын анықтау және бағалау инженериядағы ең маңызды тақырыптардың бірі екені сөзсіз. WVD және LCT/OLCT түрлендірулері LFM сигналдарын өңдеуде қолданылады, дегенмен олардың кемшіліктері бар:

- WVD үлестірімі LFM сигналының фазалық мүмкіндігін толық пайдалана алмайды;
- LCT/OLCT сигнал энергиясын WVD сияқты жинай алмайды.

Бұл кемшіліктер сигналды анықтау және бағалау үшін төмен сигнал-шу қатынасында нашар өнімділікке әкеледі. Осы мәселені шешу диссертациялық жұмыстың зерттеулерінің ауқымды бір бөлігі.

Өмірде кездесетін сигналдар стационар емес немесе уақыт бойынша ауыспалы, яғни тұрақсыз болатыны белгілі. Мұндай сигналдарды зерттеу үшін

WVD, LCT, OLCT-ден басқа қысқа мерзімді Фурье түрлендіруі (STFT), вейвлет түрлендіруі (WT) анықталған болатын. STFT-мен салыстырғанда WT сигналды жақсырақ суреттейді. Алайда, WT кемшіліксіз емес. Жоғары жиілікті аймақта WT-нің жиілік ажыратымдылығы нашар. Осындай кемшіліктерді жою диссертациялық зерттеу жұмыстарының екінші бөлігі.

Зерттеудің мақсаты жүйелердегі сигналдарды өңдеу мәселелерін шешу үшін Вигнер-Вилле үлестіріміндегі офсетті сызықтық канондық түрлендіру (WOL), квадраттық фазалық толқындық пакетті түрлендіру (QP-WPT) атты гибридті түрлендірулерін құру және олардың негізгі бірнеше қасиеттерін егжей-тегжейлі дәлелдеу. Әрі осы гибридті түрлендірулер арқылы сигналды анықтаудағы қолданысын және кез-келген сигналды қайта құруға болатынын көрсету. Диссертацияның жалпы мақсаты жүйелерде қолданылатын сигналдарды өңдеу құралдарын біріктіру, екі түрлендірудің де артықшылықтарын пайдаланып, қолданыстарда жақсы нәтиже беретін, әрі есептеу күрделілігі аз жаңа гибридті түрлендірулерді құрастыру. Және де сигналдарды өңдеуде, коммуникацияда, ақпараттық жүйелерде және қолданбалы математикада кең қолданыстарға жол ашу мақсатында кватернион және ықтималдықтар теорияларын байланыстыра отыра кватернион FT-нің кеңейтілуін зерттеу.

Зерттеудің міндеттері. WVD-OLCT теориясы мен қолданысында біршама күрделілік бар. Мысалы: WVD-OLCT формуласы ауқымды болғандықтан компьютерге енгізгенде ыңғайсыз, әрі уақыт жағынан тиімсіз. Осы күрделіліктерді жою мақсатында біз OLCT-ге негізделген WVD үшін жаңа тұжырымды енгізбекпіз. Ол WVD-OLCT-ге қарағанда қарапайым уақыт жиілігін талдау құралы болады. Зерттеу жұмысының міндеттерінің бірі жаңадан алынған түрлендірудің бірқатар негізгі қасиеттерін сипаттау, соның ішінде маргинальді қасиеттер, Мюллер формуласы, белгісіздік принципі және т.б. Сонымен қатар, лездік жиілікті есептеудің жаңа әдісін ұсыну. Соңында ұсынылған түрлендіруді сигналды қайта құру және анықтау үшін қолдану. Жалпы айтқанда, бұл зерттеу жұмысының негізгі міндеттерінің бірі компьютерге енгізілетін датаны азайту үшін есептеу құны төмен және қарапайым тұжырымы бар, бірақ классикалық WVD-ден, WVD-OLCT-ден қасиеттері мен қолданыстары жағынан кем болмайтын сигналды өңдеуге арналған гибридті құралды анықтау. Сигналдарды өңдеу теориясы мен қолданбалары үшін өнімді болатын QP-WPT теориясы әлі күнге дейін қаралмаған. Осы жұмыстың тағы бір міндеті WPT және QPFT негізінде құрыстырылған QP-WPT теориясын терең зерттеу. Басқа түрлендірулермен QP-WPT қатынасын орнатуды және негізгі қасиеттері мен теоремаларды дәлелдеу. Сонымен қатар, QP-WPT қолданысы ретінде сигналды QP-WPT арқылы қайта құруды көрсетпекпіз.

Зерттеу әдістері. Осы диссертациялық жұмыста классикалық түрлендірулердің теориясына сүйеніп, теориялық әдістер мен математикалық тәсілдер арқылы гибридті түрлендірулер құрастырылды. Осылайша сигналды өңдеуде қолданылатын жаңа әмбебап құралдар анықталғаннан кейін анализ зерттеу әдісін қолдану арқылы анықталған гибридті түрлендірулердің ерекші жағдайлары сипатталды, әр-түрлі қасиеттері дәлелденді, бірнеше қолданыстары көрсетілді және де басқа түрлендірулермен байланыстары да берілді.

Қорғауға ұсынылған негізгі ережелер (дәлелденген ғылыми гипотезалар және жаңа білім болып табылатын басқа да қорытындылар). Бұл жұмыстың жаңа нәтижелері төменде көрсетілген:

- WOL деп аталатын WVD-OLCT-дің жаңа түрін анықтау;

- QP-WPT деп аталатын сигналды өңдейтін жаңа құралды құру;
- Кватерниондық бөлшек Фурье түрлендіруін (1DQFRFT) енгізу;
- WOL және QP-WPT негізгі және маңызды қасиеттерін айқындау;
- FT және WFT мен QP-WPT арасындағы байланысты орнату;
- QP-WPT-мен байланысты анықталмағандық теңсіздіктерінің бірнеше түрлерін көрсету;
- WOL-дың қолданыстарын көрсету;
- QP-WPT арқылы сигналды қайта құру
- Ықтималдық әдістерге, әсіресе стохастикалық процестерді модельдеу және талдауға арналған 1DQFRFT-дың қолданбаларын зерттеу.

Біріктірілген түрлендірулерді дамыту инновациялық және зерттеуге тұрарлық мәселе. Сигналдарды өңдеудің әдістерін зерттеу түрлендірулердің қолданыстары туралы көбірек түсінікке қол жеткізуге және бір пәннен алған білімді екінші пәнге тасымалдауға көмектеседі.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы. Осы диссертациялық жұмыс гибриді түрлендірулер бойынша зерттеулерді жүргізді және негізінен OLCT-дың артықшылықтары мен WVD қасиеттерін қамтитын WOL-ды қарастырды. Бұл WVD-OLCT және WVD-ге қарағанда қарапайым сигнал өңдеуге арналған құрал. Біз осы жұмыста WOL-дың негізгі қасиеттерін, соның ішінде маргинал қасиеттерін, Моял формуласын және анықталмағандық принципін талқыладық. Сонымен қатар, лездік жиілікті есептеудің жаңа әдісі сипатталды. Жаңадан ұсынылған гибриді түрлендірудің бірнеше қолданыстары да егжей-тегжейлі көрсетілген.

QPFT және классикалық WPT теориясы негізінде біз осы диссертацияда WPT және QPFT кемшіліктерін түзететін QP-WPT атты сигналды өңдеудің жаңа құралын ұсындық. Тұтастай алғанда, ол QPFT және WPT артықшылықтарын біріктіріп қана қоймайды, сонымен қатар оның әдеттегі аналогының қасиеттерін сақтайды және жақсырақ математикалық қасиеттерге ие. Моял формуласы, инверсия формуласы және репродуктивті кернел қасиеттерін қоса алғанда, кейбір маңызды іргелі қасиеттерді зерттеумен қатар, біз анықталмағандық теңсіздіктерінің бірнеше класстарын тұжырымдадық. Соңында, QP-WPT арқылы сигналды қайта құруға болатынын көрсеттік.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу. Осы диссертацияда алынған анықтамалар, қасиеттер, қолданыстар, қорытындылар мен ұсыныстар сигналдарды өңдеу теориясының бірқатар аспектілерін дамытады және толықтырады. Әрі әртүрлі жаңа қолданыстарды жүзеге асыру үшін идеяларды қалыптастыруға ықпал етеді. Диссертациялық жұмыста қамтылған негізгі нәтижелер мен қорытындыларды әртүрлі сигналдарды өңдеу қолданбаларында, кескіндерді анықтауда, сондай-ақ, математика, оптика және техникадағы бірқатар мәселелерді шешуде қолдануға болады.

Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі. Диссертацияда баяндалған кейбір зерттеу жұмыстары Қазақстан Республикасының бағдарламалық құжаттарын іске асыруға бағытталған 2022-2024 жылдарға арналған ғылыми және ғылыми-техникалық жобалар бойынша іргелі және қолданбалы ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру конкурсында жеңіске жеткен «Кватерниондық Фурье түрлендірулерін құру мен зерттеу және оларды геофизика мен геохимия мәселелерін шешу үшін ақпараттық жүйесін құруда қолдану» атты жоба аясында жүргізілді. Конкурс атауы: Қазақстан

Республикасы Білім және Ғылым Министрлігі 2022-2024 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыруға арналған конкурс; Жобаның ЖСН №AP14871252. Жоба ҚР ғылымын дамытудың басым бағытына, атап айтқанда «Ақпараттық, коммуникациялық және ғарыштық технологияларға» кіреді. Автор аталған жобаның зерттеу тобының құрамында «Ғылыми қызметкер» лауазымы қызметін атқарады. Жоба ҚР Ұлттық Инженерлік Академиясында жүзеге сәтті асырылды.

Докторанттың әр жарияланымды дайындауға қосқан үлесінің сипаттамасы. Диссертация тақырыбы бойынша жалпы көлемі 11,75 баспа парағын құрайтын 5 ғылыми жұмыс жарияланды.

WT-ға байланысты жасалған зерттеу нәтижелері Германияның ертеден келе жатырған танымал, әрі сенімді Elsevier баспасының «Оптик» ғылыми журналынан рецензиядан сәтті өтіп, жарияланды:

1) *Quadratic-phase wave packet transform*, Optik, 261: 2022. (22 рет сілтеме жасалған) WoS: Q2; Scopus: Engineering Q2, Rank 189/738, Percentile 77%.

Автордың 1)-мақаланы жазудағы CRediT (Contributor Roles Taxonomy) авторлық үлесі туралы мәлімдеме: концептуализация (мақала идеясы авторға тиселі; автор жалпы зерттеу нысаны WT-ге негізделген жаңа түрлендіруді құрастырды, яғни QP-WPT-ді анықтады және оның қасиеттері мен қолданыстарын тұжырымдады), формальды талдау (зерттеу тақырыбын талдау үшін математикалық әдістерді қолдану арқылы автор QP-WPT-дің негізгі қасиеттерін дәлелдеді), жазу — мақала түпнұсқасын жазу (автор жарияланған жұмыстың бастапқы нобайын LaTeX жазу жүйесінде дайындады), жазу — шолу және өңдеу (журнал тағайындаған жасырын рецензенттердің сыни шолуларына автор түсініктеме жазуда және қолжазбаны жариялауға дейінгі кезеңде қайта қарауда атсалысты).

WVD, OLCT-ге қатысты жасалған зерттеу нәтижелерінің бір бөлігі Тайландта өткен рецензияланатын халықаралық конференцияда жарияланды және Springer Nature бөлімі Atlantis Press баспасының «Интеллектуалды жүйелерді зерттеудегі жетістіктер» («Advances in Intelligent Systems Research») атты серияларына енді:

2) *The Wigner-Ville distribution based on the offset linear canonical transform domain*, Proceedings of the 2nd International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2017), 139–142, 2017 (11 рет сілтеме).

Автордың 2)-мақаласын жазудағы CRediT авторлық үлесі туралы мәлімдеме: концептуализация (мақала идеясы авторға тиселі; автор зерттеу нысаны WVD мен OLCT-ді біріктіру арқылы ықшам гибриді түрлендіруді құрастыру және зерттеу мақсаттары оның негізгі қасиеттері мен қолданыстарын көрсетуді тұжырымдады), әдістеме (автор мақаланың құрылымын әзірлеп жобалады), формальды талдау (автор зерттеуді талдау үшін математикалық әдістерді қолданды), жазу — мақала түпнұсқасын жазу (автор жарияланған жұмыстың бастапқы нобайын жазып дайындады), жазу — шолу және өңдеу (редакция ұйымы тағайындаған жасырын рецензенттердің сыни шолуларына автор түсініктеме жазды), қаржыландыру (конференцияға қатысу жарнасын автор қаржыландырды).

Бұдан бөлек, 2023 жылы WVD мен OLCT-ге жасалған зерттеу нәтижелерінің бір ауқымды бөлігі төмендегі кітаптың тарауы болып енді:

3) Chapter: *Hybrid Transforms*. In book: Time Frequency Analysis of Some Generalized Fourier Transforms. IntechOpen; 2023. 10.5772/intechopen.108186.

Автордың шетелдік ғылыми кеңесшінің редакциялық басшылық етуімен жазылған кітаптың алты тараудың ішінде бір тарауын жазудағы авторлық үлесі туралы мәлімдеме: концептуализация (тарау идеясы авторға тиселі; автор зерттеу нысаны мен мақсаттарын тұжырымдады), әдістеме (автор тараудың құрылымын әзірлеп жобалады), формальды талдау (автор зерттеуді талдау үшін интегралдық тендеулерді шешудің математикалық әдістерін қолданды), тергеу (гибридті түрлендірудің қасиеттерін және теориялық қолданысының дәлелдердін көрсетті), жазу — тарау түпнұсқасын жазу (автор жарияланған жұмыстың бастапқы және соңғы түпнұсқасын талаптарға сай әзірлеп жазды), жазу — шолу және өңдеу (жасырын рецензенттердің сыни шолуларына автор түсініктеме жазды, шолуларға сәйкес түзетулерді жүргізді), қаржыландыру («Кватерниондық Фурье түрлендірулерін құру мен зерттеу және оларды геофизика мен геохимия мәселелерін шешу үшін ақпараттық жүйесін құруда қолдану» атты жоба аясында ҚР Білім және Ғылым министрлігінің Ғылым Комитеті, №AP14871252).

Сигналдарды өңдеу мен ықтималдық теориясын байланыстыру бойынша алынған нәтижелер «Математика» ғылыми журналынан рецензиядан сәтті өтіп, жарияланды:

4) *Quaternion fractional Fourier transform: bridging signal processing and probability theory*, Mathematics, 13(2), 195, 2025. WoS: Q1, Rank 21/490, Percentile 97,45%; Scopus: Computer Science (miscellaneous) Q2, Rank 48/133, Percentile 64%.

Автордың 4)-мақаласын жазудағы CRediT авторлық үлесі туралы мәлімдеме: жазу — шолу және өңдеу (журнал тағайындаған жасырын үш рецензенттердің сыни шолуларына автор толық түсініктеме жазуда және қолжазбаны жариялауға дейінгі кезеңде қайта қарауда және өңдеуде атсалысты, кватернион сигналдарды өңдеу әдістерін ықтималдықтар теориясының мәселелерін шешуге байланысты шолуларға жауап дайындап, қолжазбаға сәйкес түзетулер мен толықтырулар енгізді), қаржыландыру (ЖСН №AP14871252 жоба аясында).

Гибридті және кватерниондық түрлендірулер бойынша нәтижелер монография ретінде сәтті жарияланды:

5) *Кватернионные преобразования Фурье и их применение в задачах геофизики и геохимии*, Монография, Алматы: Everest, 2024. – 140 бет. ISBN 978-601-04-6809-2.

Автордың жоба жетекшісінің редакциялық басшылық етуімен жазылған монографиясын, яғни 5)-жарияланымды жазудағы авторлық үлесі туралы мәлімдеме: концептуализация (монография идеясының ауқымды бір бөлігін, яғни кватерниондық Фурье түрлендірулері арқылы ақпараттық жүйелерді қолданып, геохимия мен геофизика есептерін шығарудағы идея авторға тиселі; автор кватерниондық Фурье түрлендірулерімен сигналдарды және кескіндерді өңдеуде атсалысты), әдістеме (автор монографияның құрылымын әзірлеп жобалады), формальды талдау (автор сигналдарды өңдеу, геоақпараттық жүйелер және қолданбалы математика саласындағы зерттеулерді қолданды), тергеу (гибридті түрлендірулерге ерекше көңіл бөлді, олар арқылы әртүрлі әдістердің артықшылықтарын біріктірді, деректерді өңдеу дәлдігін арттырды), жазу — монографияның түпнұсқасын жазу (автор монографияның түпнұсқаларын талаптарға сай әзірлеп жазуға қатысты), жазу — шолу және өңдеу (жариялауға дейінгі және кейінгі кезеңдерді қоса алғанда рецензенттердің сыни шолуларына сәйкес түзетулерді жүргізді), қаржыландыру (жоба аясында ЖСН №AP14871252).