

8D06102 – «Ақпараттық технологиялар және робототехника» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін
Рыспаева Марья Қуанышевнаның
«Терең үйірткілі нейрондық желілерді қолдана отырып, сүт безінің қатерлі ісігін анықтауға арналған жасанды интеллект» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АНДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Сүт безі обыры (СБО) қазіргі заманғы денсаулық сақтау жүйесіндегі ең өзекті онкологиялық мәселелердің бірі болып табылады және әйелдер арасындағы қатерлі жаңа түзілімдер ішінде бірінші орын алады. Халықаралық статистика деректеріне сәйкес, жыл сайын СБО-ның екі миллионнан астам жаңа жағдайы анықталады, ал 2022 жылы өлім-жітім саны 700 мыңнан асты. Қазақстан Республикасында жыл сайын СБО-ның 5 мыңнан астам жаңа жағдайы тіркеледі, сонымен қатар кеш диагностика мәселесі сақталуда: бағалаулар бойынша, жағдайлардың 10–15%-ында ауру кеш сатыларда анықталады, бұл болжамды нашарлатып, емдеу құнын арттырады.

СБО-ны ерте анықтауда медициналық визуализация әдістері, оның ішінде ультрадыбыстық зерттеу (УДЗ) және маммография шешуші рөл атқарады. Алайда кескіндерді интерпретациялау адам факторына және хаттамалардың сапасына тәуелді, бұл жасанды интеллект (ЖИ) әдістерінің, әсіресе медициналық кескіндерді автоматты түрде жіктеу мен патологияларды анықтау міндеттерінде жоғары тиімділік көрсеткен конволюциялық нейрондық желілердің (CNN) дамуын ынталандырады.

Практикалық сценарийлерде СБО диагностикасында CNN қолдану клиникалық деректердің тапшылығы мен теңгерімсіздігімен едәуір шектеледі: қатерлі жағдайлар анағұрлым сирек кездеседі, ал сапалы таңбалауды қалыптастыру елеулі сараптамалық ресурстарды талап етеді.

Дәстүрлі аугментация әдістері (айналдыру, шағылыстыру, масштабтау) теңгерімсіздікті тек ішінара өтейді және қажетті клиникалық әртүрлілікті қамтамасыз етпейді. Сондықтан практикалық міндет – CNN-жіктеуіштердің қатерлі класқа сезімталдығын арттыру. Көмекші құрал ретінде реалистік синтетикалық медициналық кескіндерді қалыптастыруға және миноритарлық кластың тапшылығын толықтыруға мүмкіндік беретін генеративті-қарсылас желілер (GAN) қарастырылады.

Осы диссертация аясында генеративті синтез дербес мақсат ретінде емес, CNN қолдану арқылы СБО-ны автоматтандырылған анықтау сапасын арттыру механизмі ретінде қарастырылады. Медициналық деректер үшін орнықты оқыту схемаларын (WGAN-GP) қолдану және трансферлік оқытудың (TL) әрі алдын ала оқытудың көздерінің (ImageNet, RadImageNet) синтездің орнықтылығына және downstream-жіктеу нәтижелерінің қорытынды көрсеткіштеріне ықпалын талдау аса маңызды. Осылайша, зерттеудің өзектілігі оқыту жиынтығын синтетикалық кеңейту және CNN-нің қатерлі

класқа сезімталдығын арттыру есебінен СБО-ны анықтау тиімділігін көтеретін тәсілді әзірлеу және эксперименттік валидациялау қажеттілігімен айқындалады.

Докторлық диссертацияның мақсаты – DGAN-WP-TL генеративті моделін қолдану арқылы оқыту жиынтығын синтетикалық кеңейту есебінен деректер тапшылығы мен теңгерімсіздігіне орнықты, медициналық кескіндерде CNN көмегімен СБО-ны автоматтандырылған анықтау әдісін әзірлеу және эксперименттік валидациялау.

Диссертациялық зерттеудің міндеттері:

1. Деректер тапшылығы мен теңгерімсіздігі жағдайында сүт безі обырын анықтау міндеттерінде конволюциялық нейрондық желілер мен генеративті модельдерді қолданудың заманауи әдістеріне талдау жүргізу.

2. Медициналық оқыту деректерін синтетикалық түрде кеңейту үшін генеративті модельдерді қолдануды негіздеу.

3. Азшылық кластың синтетикалық кескіндерін генерациялауға арналған критиктің екі тармақты архитектурасы бар DGAN-WP-TL генеративті моделін әзірлеу.

4. Синтетикалық деректер үлесін түрлендіру арқылы оқыту жиынтығын басқарылатын қалыптастыруға негізделген CNN-классификаторларын оқыту әдісін әзірлеу.

5. Синтетикалық деректерді бағалау әдістемесін әзірлеу және ұсынылған тәсілді эксперименттік апробациядан өткізу, соның ішінде синтетикалық кеңейтудің классификация сапасына әсерін талдау.

Зерттеу нысаны: терең конволюциялық нейрондық желілерге негізделген сүт безі обырын автоматтандырылған диагностикалау жүйелері.

Зерттеу пәні: шектеулі және теңгерімсіз медициналық деректер жағдайында оларды генеративті синтетикалық кеңейту арқылы сүт безі обырына арналған CNN-жіктеуіштердің диагностикалық тиімділігін арттыру заңдылықтары.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық зерттеуде CNN және GAN архитектураларына негізделген ЖИ және терең оқыту әдістері пайдаланылды. Медициналық кескіндерді талдау және өңдеу үшін алдын ала оқытылған модельдерді қолдана отырып, трансферлік оқыту (transfer learning) әдістері қолданылды. Зерттеу барысында математикалық және есептеу модельдеу әдістері, нейрондық желілерді эксперименттік оқыту әдістері, сондай-ақ оқыту жиынтықтарын генеративті синтетикалық кеңейту әдістері пайдаланылды. Ұсынылған тәсілдердің тиімділігін бағалау үшін статистикалық талдау әдістері және медициналық кескіндерді генерациялау мен жіктеу сапасының метрикалары қолданылды.

Қорғауға шығарылатын негізгі қағидалар:

1. Алдын ала оқытылған және пәндік салаға бейімделген белгілерді біріктіруді қамтамасыз ететін әрі синтетикалық кескіндерді генерациялау сапасын арттыратын критиктің екі тармақты құрылымы бар DGAN-WP-TL генеративті моделі.

2. Синтетикалық деректер үлесін түрлендіру арқылы оқыту жиынтығын басқарылатын түрде қалыптастыру жүзеге асырылатын, сүт безі обырына арналған CNN-классификаторды оқыту әдісі, бұл деректердің үлестірімін басқарылатын түрде өзгертуге және модельдің диагностикалық сезімталдығын арттыруға мүмкіндік береді.

3. Үлестірімдік, перцептивтік және құрылымдық метрикалардың үйлесіміне, сондай-ақ олардың классификация нәтижелеріне әсерін талдауға негізделген синтетикалық деректерді бағалау әдістемесі, бұл олардың диагностикалық маңыздылығын бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің негізгі нәтижелері. Жүргізілген диссертациялық зерттеу нәтижесінде деректер тапшылығы мен теңгерімсіздігіне төзімді, медициналық кескіндерде сүт безі обырын автоматтандырылған анықтау әдісі әзірленіп, эксперименттік түрде расталды; әдіс CNN және деректерді генеративті синтездеуді бірлесіп қолдануға негізделген. Генеративті модель дербес мақсат ретінде емес, CNN-нің қатерлі класқа сезімталдығын арттыру үшін оқыту жиынтықтарын мақсатты синтетикалық кеңейтудің көмекші құралы ретінде қолданылатын тәсіл ұсынылды.

Wasserstein GAN-ның градиенттік айыппұлмен (WGAN-GP) архитектурасына және трансферлік оқыту (transfer learning) механизмдеріне негізделген, шектеулі және теңгерімсіз жиынтықтар жағдайында синтетикалық қатерлі (malignant) медициналық кескіндерді орнықты генерациялауға арналған DGAN-WP-TL әдісі әзірленіп, теориялық тұрғыда негізделді. Синтетикалық кеңейтілген оқыту жиынтығын қалыптастыру және кейін CNN-жіктеуіштерін оқыту үдерісі жүзеге асырылды, ол downstream-жіктеу сапасын арттыруға бағытталған.

BUSI және CBIS-DDSM жиынтықтарында кешенді есептеу эксперименттері жүргізілді, сондай-ақ Alzheimer MRI деректерінде тәсілдің орнықтылығына доменаралық тексеру жүргізілді. DGAN-WP-TL әдісімен қалыптастырылған синтетикалық деректерді қолдану бастапқы теңгерімсіз жиынтықтарда оқытумен салыстырғанда қатерлі жағдайларды анықтаудың клиникалық маңызды метрикаларын (бірінші кезекте Recall және F1-score, сондай-ақ AUC) орнықты түрде жақсартатыны анықталды.

Генеративті модельді оқыту параметрлерінің, оның ішінде градиенттік айыппұл коэффициенті λ -ның ықпалын бағалау бойынша абляциялық зерттеулер орындалды, сондай-ақ алдын ала оқытылған салмақтар көздерінің (ImageNet және RadImageNet) генерация орнықтылығына және синтетикалық деректердің кейінгі жіктеуге қосатын үлесіне әсері талданды. Downstream-жіктеудің жақсаруы тек генерацияның үлестірімдік метрикаларын минимизациялаумен ғана анықталмайтыны, ал синтетикалық кескіндердің реалистілігі мен классішілік әртүрлілігі арасындағы оңтайлы баланс кезінде қол жеткізілетіні көрсетілді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы синтетикалық медициналық деректерді генерациялау, пайдалану және бағалауды қамтитын сүт безі обырын автоматтандырылған анықтаудың кешенді тәсілін әзірлеуде жатыр. Медициналық кескіндер үлестірімін дәлірек аппроксимациялауды және

генеративті модельді оқытудың тұрақтылығын қамтамасыз ету мақсатында алдын ала оқытылған және пәндік салаға бейімделген белгілер кеңістіктерін ықпалдастыратын критиктің екі тармақты архитектурасына негізделген DGAN-WP-TL генеративті моделі ұсынылды. CNN-классификаторларын оқыту әдісі әзірленді, онда миноритарлық кластың синтетикалық деректерінің үлесін түрлендіру арқылы оқыту таңдамасын басқарылып қалыптастыру жүзеге асырылады, бұл деректердің үлестірімін мақсатты түрде өзгертуге және модельдің диагностикалық сезімталдығын арттыруға мүмкіндік береді. Синтетикалық деректерді бағалау әдістемесі әзірленді, ол үлестірімдік, перцептивтік және құрылымдық метрикаларды үйлестіруге, сондай-ақ олардың классификация нәтижелеріне ықпалын талдауға негізделген, бұл mode collapse құбылысын анықтауға және синтетикалық кескіндердің диагностикалық маңыздылығын бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеу жұмысының теориялық маңыздылығы медициналық кескіндерді автоматтандырылған талдау міндеттері үшін ЖИ әдістерін, атап айтқанда CNN және GAN қолдану туралы ғылыми түсініктерді дамытуда. Жұмыста деректер тапшылығы мен теңгерімсіздігі жағдайында жіктеу тиімділігін арттыру мақсатында генеративті модельді оқыту жиынтықтарын синтетикалық кеңейтудің көмекші құралы ретінде пайдаланатын тәсіл ұсынылып, теориялық тұрғыда негізделді.

Алынған нәтижелер медициналық визуализацияда GAN қолданудың теориялық негіздерін кеңейтеді, өйткені олардың CNN-жіктеуіштердің сирек қатерлі паттерндерге сезімталдығын арттыруға бағытталған синтетикалық оқыту деректерін қалыптастырудағы рөлі негізделді. Медициналық кескіндерді unconditional-генерациялауды оқыту жиынтықтарын теңгерімдеу үшін қолдану мүмкіндігі көрсетілді, бұл модельдердің таңбаланған деректер көлеміне тәуелділігін төмендетіп, патологияларды автоматтандырылған анықтау міндеттерінде генеративті модельдер мен CNN интеграциялаудың әдіснамалық негіздерін қалыптастырады.

Зерттеу жұмысының тәжірибелік маңыздылығы сүт безі обырын анықтау міндеттерінде медициналық кескіндерді автоматтандырылған талдаудың тиімділігін арттыру үшін әзірленген DGAN-WP-TL әдісін қолдану мүмкіндігінде. Ұсынылған модель генерациялайтын синтетикалық деректерді пайдалану оқыту жиынтықтарының теңгерімсіздігінің әсерін азайтуға, CNN-нің сирек қатерлі паттерндерге сезімталдығын арттыруға және медициналық кескіндерді жіктеудің сенімділігін жақсартуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер дәрігерлік шешім қабылдауды компьютерлік қолдау жүйелерін (Computer-Aided Detection, CAD) әзірлеуде, сондай-ақ медициналық визуализация, машиналық оқыту және ЖИ салаларындағы ғылыми-зерттеу және білім беру жобаларында пайдаланылуы мүмкін.

Зерттеу жұмысының нәтижелерін ендіру. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасының оқу үдерісіне енгізілді, бұл 03.03.2026 ж. «Терең үйірткілі нейрондық желілерді қолдана отырып, сүт безінің қатерлі ісігін анықтауға арналған жасанды интеллект» тақырыбындағы

Рыспаева М.К. диссертациялық зерттеу нәтижелерін практикалық қолдану туралы Актімен расталады.

Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің апробациясы. Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ «Бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасының ғылыми семинарларында баяндалып, талқыланды, сондай-ақ материалдары IEEE Xplore және Scopus базаларында индекстелетін төмендегі халықаралық ғылыми конференцияларда ұсынылды:

– IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) халықаралық конференциясы, Астана қ., Қазақстан, 2023, 2025 ж.;

– IEEE AITU: Digital Generation Conference халықаралық конференциясы, Астана қ., Қазақстан, 2024 ж.

Scopus дерекқорына кіретін нөлдік емес импакт-факторы бар халықаралық басылымдарда – 1 мақала жарияланды. Автордың үлесі ғылыми гипотезаны тұжырымдаудан, деректерді жинау және алдын ала өңдеуден, зерттеудің эксперименттік бөлігін әзірлеу және техникалық іске асырудан, алынған нәтижелерді интерпретациялаудан және жарияланымды дайындаудан тұрады:

1. Multi-domain synthetic medical image generation and dataset balancing with DGAN-WP-TL // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization. – 2025. – Vol. 13(1). – P. 2556687. <https://doi.org/10.1080/21681163.2025.2556687>

ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ғылыми зерттеулер нәтижесін жариялауға ұсынған ғылыми басылымдарда – 5 мақала жарық көрді. Аталған жарияланымдар аясында автор зерттеу тұжырымдамасы мен деректерді талдау әдіснамасының әзірлеушісі болып табылады. Деректерді жинауға, нәтижелерді интерпретациялауға, қорытындыларды тұжырымдауға және ғылыми мақалаларды жариялауға дайындауға тікелей қатысты:

1. GAN-based medical image generation for rare pathologies using transfer learning and RadImageNet weights // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. – 2025. – Т. 6, № 3. – P. 254–269. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.015>

2. Impact of loss function on synthetic breast ultrasound image generation // Scientific Journal of Astana IT University. – 2025. – № 24. – P. 99–112. <https://doi.org/10.37943/24MMIK3887>

3. Evaluation of StyleGAN2 and StyleGAN3 for synthetic medical image generation on BUSI and CBIS-DDSM datasets // Шәкәрім Университетінің Хабаршысы. Техникалық ғылымдар сериясы. – 2025. – № 4(20). – P. 89–96. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-11](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-11)

4. The Impact of Gradient Penalty Parameter on the Performance of Deep Convolutional Generative Adversarial Network with Wasserstein Penalty in Mammography // Университет еңбектері. – 2025. – № 4. – P. 427–434. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2025_4_427

5. Вассерштейн генеративті-бәсекелес желісі мен трансферлік оқытуды пайдалана отырып, сүт безі обырының ультрадыбыстық бейнелерін синтездеу және классификациялау // ҚазККА Хабаршысы. – 2025. – № 141(6). – Р. 222–231. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-141-6-222-231>

Автордың жеке үлесі зерттеудің мақсаты мен міндеттерін қоядан, CNN негізіндегі сүт безі обырын автоматтандырылған анықтауға арналған әдіснамалық тәсілді синтетикалық деректерді кеңейту әдістерін пайдалана отырып таңдаудан тұрады. Автор медициналық кескіндерді жіктеудің заманауи әдістері мен генеративті модельдерге талдау жүргізді, градиенттік айыппұлмен Wasserstein GAN архитектурасына және трансферлік оқыту механизмдеріне негізделген DGAN-WP-TL әдісін әзірлеп, теориялық тұрғыда негіздеді. Автор әзірленген әдісті бағдарламалық түрде іске асырды, эксперименттік деректерді дайындап өңдеді, BUSI, CBIS-DDSM және Alzheimer MRI медициналық кескіндер жиынтықтарында модельдерді оқытып сынақтан өткізді, сондай-ақ генерация және жіктеу сапасының метрикаларын қолдана отырып есептеу эксперименттерін жүргізіп, алынған нәтижелерді талдады. Қорғауға шығарылатын барлық негізгі ғылыми нәтижелер мен қағидалар автордың жеке өзі арқылы алынған.

Диссертациялық зерттеу тақырыбы бойынша жарияланымдар. Диссертациялық зерттеу тақырыбы бойынша 9 (тоғыз) ғылыми еңбек жарияланды, олардың ішінде ҚР ҒЖБМ ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 5 (бес) мақала, Scopus базасына кіретін халықаралық ғылыми басылымда 1 (бір) мақала, IEEE Xplore және Scopus базаларында индекстелетін халықаралық ғылыми конференциялар материалдарында 3 (үш) мақала жарияланды, сондай-ақ ЭЕМ-ге арналған бағдарламаны мемлекеттік тіркеу туралы 3 (үш) авторлық куәлік алынды.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Диссертациялық жұмыстың көлемі 116 бет (30 сурет және 41 кесте).

Кіріспеде диссертациялық зерттеу тақырыбының өзектілігі негізделіп, жұмыстың мақсаты мен міндеттері тұжырымдалған, зерттеу объектісі мен пәні айқындалған, сондай-ақ алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы, теориялық және практикалық маңыздылығы ашып көрсетілген.

Бірінші бөлімде ЖИ әдістерін пайдалана отырып СБО-ны анықтау бойынша зерттеулердің қазіргі жағдайына аналитикалық шолу берілген. СБО-ны ерте диагностикалаудың медициналық аспектілері, медициналық визуализация міндеттерінде CNN қолдану, сондай-ақ клиникалық деректердің шектеулілігі мен теңгерімсіздігі мәселесі қарастырылған. Медициналық кескіндерді синтездеуге арналған генеративті модельдерге және генеративті әрі жіктеу әдістерін интеграциялаудың қолданыстағы тәсілдеріне ерекше назар аударылған.

Екінші бөлімде СБО-ны анықтау әдісін әзірлеудің әдіснамалық және математикалық негіздері баяндалған. CNN архитектуралары және олардың

СБО жіктеу міндетіне бейімделуі, TL оқытуын және ImageNet пен RadImageNet алдын ала оқытылған салмақтарын қолдану, сондай-ақ классикалық GAN-нан WGAN және WGAN-GP-қа дейінгі генеративті желілердің математикалық моделі қарастырылған. Қолданылған деректер жиынтықтары мен эксперименттік деректер сипатталған, генеративті модель мен дискриминатордағы feature extractor интеграцияланған DGAN-WP-TL екі тармақты архитектурасы ұсынылған, сондай-ақ синтетикалық кеңейтілген оқыту жиынтығы негізінде ісіктерді жіктеу тәсілі тұжырымдалған.

Үшінші бөлімде деректер тапшылығы мен теңгерімсіздігі жағдайында CNN қолдану арқылы СБО-ны автоматтандырылған анықтау тиімділігін бағалауға бағытталған эксперименттік зерттеулер мен нәтижелер ұсынылған. Бөлімнің негізгі элементі – синтетикалық кеңейтілген оқыту жиынтығының ісіктерді downstream-жіктеу сапасына ықпалын талдау, оның ішінде клиникалық маңызды Recall, F1-score және AUC метрикаларының өзгерістерін бағалау. Жіктеу сапасын арттыру шарттарын қамтамасыз ету үшін синтетикалық деректерді кеңейту құралы ретінде қолданылған DGAN-WP-TL ұсынылған әдісіне эксперименттік апробация жүргізілген. BUSI және CBIS-DDSM деректер жиынтықтары үшін синтетикалық кескіндерді генерациялау нәтижелері келтірілген, сондай-ақ Alzheimer MRI деректерінде әдістің қосымша әдістемелік апробациясы орындалған. PCA және t-SNE әдістерін қолдана отырып нақты және синтетикалық кескіндердің үлестірімдері талданған, StyleGAN2 baseline-архитектурасымен салыстыру жүргізілген, сондай-ақ аз көлемді деректер жағдайында DGAN-WP-TL-дың генерация орнықтылығы мен сапасына ImageNet және RadImageNet алдын ала оқытылған салмақтарының және архитектуралық параметрлерінің ықпалы зерттелген.

Төртінші бөлімде зерттеу нәтижелеріне аналитикалық талдау мен жалпылау жасалған, оның ішінде эксперименттік деректерді интерпретациялау, архитектуралық шешімдерді негіздеу, қолданыстағы тәсілдермен және baseline-архитектуралармен салыстырмалы талдау, сондай-ақ шектеулерді, практикалық ұсынымдарды және әрі қарайғы зерттеулер бағыттарын тұжырымдау қамтылған.

Қорытындыда диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері жинақталып, орындалған жұмыс нәтижелері бойынша тұжырымдар мен ұсынымдар берілген, сондай-ақ ұсынылған тәсілді әрі қарай дамыту перспективалары белгіленген.

Қосымшаларда енгізу актісін және диссертациялық зерттеу нәтижелерінің практикалық қолданылуын растайтын құжаттарды қоса алғанда, көмекші материалдар ұсынылған.