8D06102 – «Компьютерлік инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған Муханбет Ақсултан Айтуарұлының «Бейнелерді тануға арналған гибридті кванттық-классикалық алгоритмдерді зерттеу және әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына отандық ғылыми кеңесшінің

ПІКІРІ

1. Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Қазіргі таңда компьютерлік көру мен бейнелерді тану есептерінде классикалық терең оқыту архитектуралары, соның ішінде конволюциялық нейрондық желілер (CNN, ResNet, VGG) жоғары дәлдікке жеткенімен, олардың есептеу ресурстарына деген сұранысы күрт өсіп келеді. Мұндай терең архитектуралардың оқытылатын параметрлері жүздеген миллионға жетеді, ал параметрлер саны мен есептеу шығындары экспоненциалды түрде артады. Сонымен қатар, Мур заңымен болжанған транзисторлардың шағындалу үрдісі атомдық шектерге жеткендіктен, үлкен деректер жиынтықтары үшін бұл күрделі мәселеге айналып отыр. Осы шектеулерді еңсеру жолында кванттық механикалық құбылыстарды (суперпозиция, шырмалу) пайдаланатын кванттық машиналық оқыту перспективалы бағыт болып табылады. Алайда, қазіргі шулы орташа масштабты кванттық (NISQ) құрылғылардың шектеулеріне (шу, схема тереңдігі, кубиттер саны) байланысты таза кванттық желілердің дәлдігі түрлі-түсті күрделі суреттерде 82,78%-бен шектелген. Осы орайда, Муханбет Ақсултан Айтуарұлының кванттық және классикалық архитектураларды біріктіретін гибридті модельдерді әзірлеуге және оларды эволюциялық алгоритмдер арқылы оңтайландыруға арналған диссертациялық жұмысы уақыт талабына сай, ғылыми әрі практикалық тұрғыдан өте өзекті.

2. Зерттеудің мақсаты мен міндеттері

Диссертациялық жұмыстың негізгі мақсаты – бейнені тану есептеріндегі кванттық алгоритмдердің дәлдігін арттыру және оқытылатын параметрлер санын азайту мақсатында кванттық тізбектерге негізделген гибридті кванттық-классикалық нейрондық желілерді әзірлеу және оңтайландыру. А. Муханбет алға қойылған мақсатқа жету үшін деректерді кодтау әдістерін зерделеу, Data Re-uploading әдісі мен QConv2D қабаттарын қамтитын HQCNN архитектурасын жасау, сондай-ақ кванттық схеманың құрылымын автоматты түрде оңтайландыратын генетикалық алгоритм әзірлеу сияқты күрделі міндеттерді сәтті орындап шыққан.

3. Жұмыстың ғылыми жаңалығы және негізгі нәтижелері

Отандық ғылыми кеңесші ретінде диссертанттың ғылымға қосқан жеке үлесін және жұмыстың ғылыми жаңалығын ерекше атап өткім келеді. Диссертацияда маңызды жаңалықтар жасалды:

– Кванттық конволюциялық (QConv2D) және толық байланысқан (QDense) қабаттарды бірлесе қолдануға негізделген кескіндерді тануға арналған жаңа гибридті кванттық-классикалық алгоритм әзірленді.

– Шектеулі кубиттер саны жағдайында кванттық тізбек архитектурасын оңтайландыру үшін жаңа эволюциялық тәсіл (генетикалық алгоритм) ұсынылды.

– Ұсынылған гибридті алгоритм CIFAR-100 деректер жинағында 97,4% жіктеу дәлдігін қамтамасыз етті, бұл қолданыстағы баламалы кванттық әдістердің көрсеткішінен 9-10%-ға жоғары.

– Эволюциялық алгоритмді қолдану нәтижесінде кванттық тізбектің минималды тереңдігі сақталып, бұрыштық кодтау (angle encoding) кезінде оқытылатын параметрлер саны 18 690-ға дейін азайтылды. Бұл дәстүрлі классикалық CNN-мен салыстырғанда параметрлер санын 47 есе қысқартып, есептеу тиімділігін айтарлықтай арттырды.

4. Алынған нәтижелердің негізділігі мен шынайылығы

А. Муханбеттің алған нәтижелерінің шынайылығы жоғары деңгейдегі эксперименттік базамен және ауқымды тестілеумен дәлелденген. Эксперименттер MNIST, FashionMNIST және CIFAR-100 сияқты танымал деректер жинақтарында жүргізілген. Жұмыста деректерді қайта жүктеу (Data Re-uploading) әдісі қолданылған кезде модельдің дәлдігі айтарлықтай артатыны көрсетілген. Мысалы, қайта жүктеу механизмі арқылы CIFAR-100 жинағындағы дәлдік 85,0%-дан 96,9%-ға дейін өскен.

Сонымен қатар, зерттеуде қолданылған генетикалық алгоритм 20 ұрпақ бойы жұмыс істеп, кванттық схеманың қабаттар санын, вентильдер тізбегін және шырмалу конфигурациясын сәтті оңтайландыра алды. Генетикалық алгоритм барысында турнирлік іріктеу және элитаризм стратегиялары тиімді қолданылған, бұл ең жақсы шешімдердің деградациясын болдырмауға көмектескен. Жалпы алғанда HQCNN-REGA моделі классикалық ResNet-18 архитектурасына жақындап, MNIST жинағында 99,6%, ал CIFAR-100 жинағында 97,40% дәлдік көрсетуі нәтижелердің жоғары сенімділігін айғақтайды.

5. Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы

Теориялық тұрғыдан бұл зерттеу параметрленген кванттық схемаларды оңтайландырудың негізін дамытып, эвристикалық алгоритмдердің кванттық машиналық оқытудағы математикалық мүмкіндіктерін кеңейтеді. Практикалық маңыздылығына келетін болсақ, әзірленген гибридті желілер классикалық аналогтарымен салыстырғанда оқытылатын параметрлер санының күрт азаюын қамтамасыз етеді, бұл есептеу шығындары мен энергия тұтынуын тікелей төмендетеді. Ең бастысы, ұсынылған архитектуралар қазіргі NISQ дәуірінің құрылғыларымен толық үйлесімді, сондықтан зерттеу нәтижелерін нақты кванттық аппараттық құралдарда (мысалы, IBM Quantum) кеңінен қолдануға болады.

6. Диссертанттың жеке үлесі және зерттеушілік құзыреті

Муханбет Ақсултан Айтуарұлы зерттеу барысында өзін қазіргі заманғы есептеу технологияларын, әсіресе кванттық информатика мен машиналық оқытудың математикалық аппараттарын терең меңгерген, тәуелсіз зерттеуші ретінде көрсетті. Жұмыстың нәтижелері толықтай апробациядан өткен. Диссертация тақырыбы бойынша барлығы 7 баспа жұмысы жарияланған: оның 4-уі ҚР ҒЖБССҚК ұсынған басылымдарда, 3-уі халықаралық «Scopus» және «Web of Science» дәйексөздер базасына кіретін рецензияланатын журналдарда, сондай-ақ 1 мақала халықаралық конференция жинағында жарық көрді. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері Алматыдағы CITech-2025 және Астанадағы IEEE SIST 2024 халықаралық конференцияларында баяндалып, ғылыми қауымдастықтың оң бағасын алды.

7. Қорытынды

Муханбет Ақсултан Айтуарұлының «Бейнелерді тануға арналған гибридті кванттық-классикалық алгоритмдерді зерттеу және әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысы ғылыми зерттеудің барлық талаптарына жауап беретін, дербес, аяқталған және ғылыми-практикалық маңызы зор еңбек болып табылады. Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетінің диссертацияларға қоятын барлық талаптарына толықтай сәйкес келеді.

Осыларды ескере отырып, диссертант Муханбет Ақсултан Айтуарұлы 8D06102 – «Компьютерлік инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға әбден лайық деп санаймын.

Отандық ғылыми кеңесші PhD,
қауымдастырылған профессор (доцент) **Б. Дарибаев**

Қолын растайтын
Подпись заверяю

БИН 990140001154