ОТЗЫВ

зарубежного научного консультанта на диссертационную работу на тему «Построение адаптивной структурированной сетки путем решения уравнения диффузии с использованием физически информированных нейронных сетей», представленную Максатом Мустафиным на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D06102 – «Компьютерная инженерия»

Диссертация Максата Мустафина посвящена актуальной и важной научной задаче, находящейся на пересечении вычислительной математики и современных методов машинного обучения. Проблема адаптивного построения вычислительных сеток имеет решающее значение для решения задач высокой размерности, работы со сложными геометриями и захвата локализованных физических явлений. Традиционные методы генерации сеток, как правило, основаны на равномерном распределении узлов по вычислительной области, что часто приводит к избыточному уточнению для достижения требуемой точности и, следовательно, неэффективному использованию вычислительных ресурсов. В отличие от этого, адаптивное построение сеток позволяет более рационально распределять вычислительные затраты; однако автоматическая и точная генерация таких сеток по-прежнему остаётся значительной и открытой исследовательской проблемой.

В данной работе предлагается эффективный подход к адаптивной генерации сеток посредством решения диффузионного уравнения и преодоления ограничений классического метода Physics-Informed Neural Networks (PINN). Разработана модифицированная архитектура нейронной сети — MPINN, направленная на повышение точности решения и адаптивности сетки.

Структура диссертации чёткая и логически последовательная. В ней последовательно изложены математическая постановка задачи, методологические основы, архитектура нейронной сети, численные эксперименты и анализ полученных результатов. Результаты моделирования в одномерных и двумерных случаях демонстрируют высокий научный уровень и глубину. Метод MPINN эффективно удовлетворяет граничные условия и точно определяет области, требующие уточнения, что подтверждается различными количественными метриками.

Научная новизна диссертации заключается в нескольких ключевых положениях: разработан механизм на основе масочной функции для реализации граничных условий внутри нейронной архитектуры; предложено использование управляющей функции для направления процесса адаптации сетки; расширена методология PINN для решения задач адаптивного построения сеток. Эти достижения имеют как теоретическую значимость, так и практическую применимость в вычислительном моделировании.

В качестве рекомендации можно было бы применить аналитический, структурный метод R-функций (RFM) предложенный академиком В.Л.Рвачевым, для учета сложной геометрии области.

Диссертация отличается высокой научной качественностью, практической значимостью и полной соответствующей заявленным целям. Предложенные модели и методы могут быть использованы для решения сложных задач в области вычислительной техники, включая численное моделирование, разработку алгоритмов и ресурсоэффективные вычисления. Полученные результаты представляют собой значимый вклад в развитие направления адаптивного построения вычислительных сеток.

В заключение следует отметить, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к исследованию на уровне PhD, обладает достаточной научной новизной, методологической обоснованностью и подтверждёнными результатами. Поэтому я считаю, что диссертация Максата Мустафина заслуживает допуска к публичной защите на соискание степени доктора философии (PhD).

Зав.каф. ТУИТ, д.т.н., профессор
Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич

INSON RESURSLARI (HR) BO'LIMI

8D06102 – «Компьютерлік инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған Мустафин Максат Бейбитовичтің «Диффузия теңдеуін физикаға негізделген нейрондық желілерді қолданып шешу арқылы бейімделген құрылымдалған тор құру» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына шетелдік ғылыми кеңесшінің

ПІКІРІ

Максат Мустафиннің диссертациясы қазіргі заманғы машиналық оқыту әдістері мен есептік математиканың түйіскен жеріндегі өзекті әрі маңызды ғылыми мәселеге арналған. Есептік торларды бейімдеп құру мәселесі жоғары өлшемді есептерді шешуде, күрделі геометриялармен жұмыс істегенде және локалданған физикалық құбылыстарды дәл қамтуда шешуші рөл атқарады. Дәстүрлі тор генерациялау тәсілдері, әдетте, есептік облыс бойынша түйіндерді бірқалыпты орналастыруға негізделгендіктен, талап етілетін дәлдікке жету үшін артық ұсақталуға және, сол арқылы, есептеу ресурстарының тиімсіз жұмсалуына алып келеді. Бұған қарама-қарсы, бейімделген тор құру есептік шығындарды ұтымды бөлуге мүмкіндік береді; алайда мұндай торларды автоматты және дәл генерациялау әлі де айтарлықтай қиын әрі ашық зерттеу мәселесі болып отыр.

Ұсынылып отырған жұмыста диффузия теңдеуін шешу арқылы бейімделген тор генерациясының тиімді тәсілі ұсынылады және классикалық Physics-Informed Neural Networks (PINN) әдісінің шектеулері еңсеріледі. Дәлдікті және тордың бейімделгіштігін арттыруға бағытталған модификацияланған нейрондық архитектура – MPINN әзірленген.

Диссертацияның құрылымы айқын әрі логикалық жағынан жүйелі. Онда мәселенің математикалық қойылымы, әдістемелік негіздері, нейрондық желі архитектурасы, сандық эксперименттер және алынған нәтижелердің талдауы жүйелі баяндалған. Бірөлшемді және екіөлшемді модельдеу нәтижелері жұмыстың жоғары ғылыми деңгейі мен тереңдігін көрсетеді. MPINN әдісі шекаралық шарттарды тиімді түрде қамтамасыз етіп, ұсақталуды қажет ететін аймақтарды дәл анықтайды, бұл әртүрлі сандық метрикалармен расталады.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы бірнеше негізгі тұжырымнан көрінеді: шекаралық шарттарды нейрондық архитектура ішінде іске асыратын маска-функцияға негізделген механизм әзірленді; торды бейімдеу үдерісін бағыттайтын басқарушы функция қолданылды; бейімделген тор құру есептерін шешу үшін PINN әдістемесі кеңейтілді. Бұл жетістіктердің теориялық маңызы да, есептік модельдеудегі практикалық қолданысы да жоғары.

Ұсыныс ретінде күрделі геометрияны есепке алу үшін академик В. Л. Рвачев ұсынған аналитикалық, құрылымдық R-функциялар әдісін (RFM) қолдануды қарастыруға болады.

Диссертация жоғары ғылыми сапасымен, практикалық маңыздылығымен және қойылған мақсаттарға толық сәйкестігімен ерекшеленеді. Ұсынылған модельдер мен әдістер есептік техника саласындағы күрделі міндеттерді, соның ішінде сандық модельдеуді, алгоритмдер әзірлеуді және ресурсты тиімді пайдаланатын есептеулерді шешуге қолданылуы ықтимал. Алынған нәтижелер бейімделген есептік торларды құру бағытының дамуына елеулі үлес қосады.

Қорытындылай келе, диссертациялық жұмыс PhD деңгейіндегі зерттеуге қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді, жеткілікті ғылыми жаңалыққа, әдістемелік негізділікке және расталған нәтижелерге ие. Сондықтан Максат Мустафиннің диссертациясын философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін көпшілік алдында қорғауға жіберуге болатын деп есептеймін.

ТУИТ кафедра меңгерушісі, т.ғ.д., профессор /қолы бар/ /мөрі бар/
Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич