

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 58.052.010

Тернопільського національного
технічного університету ім. І. Пулюя
доктору технічних наук, професору
Лупенку Сергію Анатолійовичу

**ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри
«Комп’ютерних наук та прикладної математики»

Національного університету водного господарства та природокористування

Турбала Юрія Васильовича

на дисертаційну роботу **Міляна Назара Васильовича**

на тему «**Моделі і методи прийняття рішень
при створенні клінічних діагностичних систем**»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки

Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасні тенденції в медичній галузі тісно пов’язані з можливостями, які надає розвиток інформаційних технологій. В умовах глобалізації важливою проблемою є удосконалення методів прийняття рішень при створенні клінічних діагностичних систем, які б забезпечували підвищення якості та доступності профілактики, діагностування та лікування.

Машинне навчання (МН) використовується в медичній галузі для вирішення широкого класу задач. Алгоритми МН використовуються не лише з метою аналізу даних обстежень та моніторингу стану пацієнта, а й аналізу результатів обстежень та аналізів з допомогою медичного обладнання. При цьому використовуються різноманітні моделі: регресія, метод опорних векторів,

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ	
Вхідний №	128-1062
«20» 08	2021 р.
Підпис	
С.Л.	

випадковий ліс для навчання з вчителем чи метод головних компонент (МГК) для навчання без вчителя тощо.

Дисертаційна робота відповідає вимогам сьогодення й присвячена розв'язанню актуального завдання - розвитку методів класичного, глибокого машинного навчання в умовах невизначеності з використанням мінімаксного підходу, а також розвитку наукового машинного навчання . Основні питання, які досліджувались у роботі, повністю відповідають її меті й завданням, а їх розв'язання дозволило отримати результати, які мають теоретичне та практичне значення. Актуальність дисертаційного дослідження Міляна Н. В. підтверджується відповідністю теми роботи пріоритетним тематичним напрямам наукових досліджень і технічних розробок.

Зв'язок з науковими планами і програмами

Робота виконувалась на кафедрі кібербезпеки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пуллюя, та в межах науково-дослідної роботи Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського (наукова тема «Кібер-фізичне моделювання в дослідженнях медико-біологічних процесів», номер держреєстрації №0119U000509) та в межах програми Європейського Союзу «Еразмус +» для освіти в рамках гранту КА2 (проект № 2020-1-PL01-KA203-082197 «Інновації для великих даних у реальному світі»).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Аналіз дисертаційної роботи та публікацій Міляна Н. В. дає підстави вважати, що наукові положення та висновки є достовірними та обґрунтованими. Цього досягнуто через використання автором різних загальнонаукових і спеціальних методів дослідження; опрацювання значної кількості наукових праць та проведення досліджень. Структура і кількість опрацьованих наукових джерел свідчить про глибину проведеного дослідження, а іноземні джерела підсилюють отримані результати. Автор

посиляється на сучасні праці фахівців і пропонує власне бачення певних явищ і процесів.

Ознайомлення з науковими положеннями та основними результатами дисертації Міляна Н. В., дає змогу зауважити грунтовність проведеного аналізу та практичну спрямованість його результатів.

У вступі автором наведено актуальність дослідження, сформульовано мету та завдання, визначено новизну отриманих результатів, їх теоретичне та практичне значення, подано інформацію про впровадження та апробацію результатів.

У першому розділі «Математичне та програмне забезпечення інформаційних технологій задач машинного навчання в умовах невизначеності (огляд літератури)» проаналізовано можливості і області використання великих даних та результати в галузі МН; розглянуто методики аналізу великих даних та типові алгоритми задач машинного навчання в умовах невизначеностей, описано важливість оптимізації, ефективність та дієвість алгоритмів чисельної оптимізації.

У другому розділі «Технологічні питання реалізації алгоритмів машинного навчання на основі хмарних обчислень у випадку системних медичних досліджень» здійснено математичне представлення задачі індукції дерева рішень для реалізації на хмарних платформах; здійснено концептуальне представлення інформаційної моделі задачі прийняття рішень для невідкладної медичної допомоги при настанні серцевої недостатності та представлено підхід до реалізації рішення задачі невідкладної медичної допомоги на основі архітектури мікросервісів; запропоновано приклад реалізації індукції дерева рішень, що є прототипом для реалізації на основі хмарної платформи, для системних медичних досліджень, який продемонстровано на прикладі діагностування серцевої недостатності на основі даних навчально-практичного центру первинної медико-санітарної допомоги ТНМУ ім. І. Я. Горбачевського.

У третьому розділі «Задачі класичного машинного навчання в умовах невизначеності інтегровані з даними із систем з відкритим кодом електронних

медичних записів» розглянуто задачу класичного машинного навчання інтегровану з даними із систем з відкритим кодом електронних медичних записів в умовах визначеності; розглянуто задачі зменшення розмірності даних та класифікації; наведено результати експериментальних досліджень. Заслуговують на увагу представлені у розділі модифікація методу головних компонент щодо стратегії передискретизації та загальна блок-схема побудови моделі МН на основі мінімаксного критерію в умовах невизначеності. На основі розробленої блок-схеми реалізовано експериментальне дослідження, яке включає дані 1651 пацієнта.

У четвертому розділі «Глибоке машинне навчання в умовах невизначеності на основі мінімаксного підходу та розробка моделі SciML» представлена реалізацію архітектури нейронної мережі на основі щільної U-Net мережі з використанням бібліотеки машинного навчання Tensorflow для сегментації судин сітківки очного дна із застосуванням мінімаксного критерію. Для визначення помилки між реальними і отриманими результатами та її мінімізації в якості функції втрат використано бінарну крос-ентропію, для оцінки методу використано точність, повноту, матрицю помилок, площу під кривою помилок. Також розглянуто кіберфізичну модель для біосенсорних систем, що ґрунтуються на математичному описі неперервної динаміки популяцій у поєднанні з динамічною логікою. Розглянуто основні етапи алгоритму наукового МН, а саме: означення класів траєкторій систем, генерування матриці випадкових початкових значень запізнення часу і параметрів швидкості, запуск моделі і класифікація вхідних даних, побудова матриці зв'язків між початковими значеннями, запізненням в часі та між параметрами швидкості, застосування індукції дерева рішень алгоритму C5.0 до взаємозв'язку між початковими значеннями і параметрами швидкості.

Наприкінці кожного розділу подано чіткі стислі висновки, які відповідають тексту дослідження.

Дисертаційна робота завершується загальними висновками, у яких у стислій формі подано основні наукові та практичні результати, отримані в

процесі дослідження, що дозволяє вважати роботу дисертанта самостійною та завершеною. Стиль написаної дисертації є грамотним і забезпечує доступність сприйняття поданих матеріалів.

Додатки до роботи є змістовними, підтверджують та відображають результати роботи, містять список публікацій, фрагменти програмного коду, приклад реалізації наукового МН для класифікації кіберфічних біосенсорних систем та акти про впровадження результатів дослідження.

Основні наукові результати дисертаційної роботи є обґрунтованими в достатній мірі. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи ґрунтуються на всебічному аналізі отриманих результатів та використанні наукових підходів сучасної теорії і практики. Використані методи системного та порівняльного аналізу, методи алгоритмів прийняття рішень, методи класичного та глибокого МН доводять викладені автором положення. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, одержаних у дисертації, підтверджується результатами експериментальних досліджень. Виходячи з аналізу дисертації можна зробити висновок, що мета роботи в ході виконання дослідження досягнута, а дисертаційна робота є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

Наукова новизна одержаних результатів

Основні наукові положення, результати та висновки дисертації отримані здобувачем самостійно, є новими, достатньо обґрунтованими та підтверджуються даними комп’ютерних експериментів та апробацією основних положень на всеукраїнських та міжнародних конференціях. Достовірність наукових положень, висновків і результатів, отриманих здобувачем, обумовлена коректним та доцільним використанням математичного апарату, методів класичного, глибокого та наукового МН, їх реалізацією.

У дисертаційному дослідженні отримано наступні результати, які мають наукову новизну:

1. Здійснено постановку задач класичного і глибокого МН в умовах епістемічної і алеаторної невизначеностей. Запропоновано метод розв’язування

задач МН з використанням мінімаксного критерію. На множині ряду методів МН реалізовано алгоритм побудови моделі на класах розподілів навчальних та тестових даних.

2. На основі методу головних складових (МГК) розроблено метод зменшення розмірності даних із втратою найменшої кількості інформації в умовах алеаторної невизначеності.

3. Отримали подальший розвиток задачі наукового МН, запропоновано метод розв'язування задачі класифікації кіберфічних біосенсорних систем. Розроблено алгоритм якісного аналізу динамічних моделей медико-біологічних процесів, що зводиться до розв'язування задачі МН.

4. Реалізовано прототип програми до розв'язування задач МН на хмарних платформах на основі даних електронних медичних записів з підтримкою технології Big Data.

5. Отримали розвиток методи розробки архітектури інформаційних систем прийняття рішень на основі мікросервісів. Одержано концептуальне представлення інформаційної моделі для прийняття рішень у системних медичних дослідженнях на основі архітектури мікросервісів, яке може бути використаним у проблемах профілактики, діагностики та лікування, а також впровадженим у шпитальні та лабораторні інформаційні системи на хмарних платформах.

Наукове та практичне значення результатів дисертаційної роботи

Представлені у роботі дослідження, спрямовані на застосування мінімаксного підходу для вибору моделей класичного і глибокого машинного навчання в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей є важливим теоретичним та практичним внеском у спеціальність 122 Комп’ютерні науки відповідно до сформульованих в ній напрямків досліджень. Проведені дослідження засвідчують його прикладну значущість для організації та інтеграції знань, а також розвитку моделей класичного і глибокого МН в умовах невизначеностей. Результати досліджень підтверджуються таблицями і

рисунками. Представлені у дисертаційному дослідженні положення обґрунтовані, характеризуються науковою новизною та підтверджують досягнення мети дисертаційного дослідження, а саме розвиток методів класичного та глибокого МН в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей з використанням мінімаксного підходу, що полягає у розробці та реалізації загальної схеми побудови моделі МН на основі системних медичних досліджень. Окрім застосування мінімаксного підходу для класичного та глибокого МН в умовах невизначеностей, наукове значення дослідження полягає у розробці методу зменшення розмірності даних із втратою найменшої кількості інформації на основі методу головних компонент в умовах алеаторної невизначеності. Запропонованому методі розв'язування задачі класифікації кіберфічних біосенсорних систем на основі алгоритму наукового МН.

Практичне значення дисертаційного дослідження полягає у розробці та реалізації мінімаксного підходу для класичного та глибокого машинного навчання в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей. Реалізовано та представлено у дисертаційному дослідженні: модифікацію методу МГК щодо стратегії передискретизації; алгоритм побудови моделі МН на основі мінімаксного критерію в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей на класах розподілів навчальних та тестових даних на множині методів класичного та глибокого МН. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського.

**Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної
доброчесності та повнота викладу наукових результатів
в опублікованих працях**

Дисертаційну роботу викладено на 184 сторінках друкованого тексту, з них 116 сторінок основного змісту, 25 рисунків та 8 таблиць, список використаних джерел складає 195 найменувань.

Дисертаційну роботу написано грамотно українською мовою, на хорошому стилістичному рівні. Застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладу результатів досліджень, наукових положень і висновків забезпечує доступність їх сприйняття та використання. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним атестаційним вимогам.

Проведена перевірка дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По тексту дисертації простежується авторський стиль, не виявлено текстових запозичень і використання результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Основні результати дисертації викладені у 11 наукових працях, серед яких дві статті у наукових фахових періодичних виданнях України; одна стаття у закордонному фаховому періодичному виданні; отримано один патент на корисну модель; 7 публікацій у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових, науково-технічних конференцій. З них одна робота входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, дві роботи входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus. Наукові результати відповідають вимогам Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації

Загалом дисертаційне дослідження здійснено на високому науково-прикладному рівні. Проте, оскільки деякі його положення є дискусійним, що пов'язано з складністю досліджуваної предметної області, варто зробити певні уточнення, зауваження та рекомендації з метою подальшого удосконалення досліджуваної проблематики:

1. Автором у роботі не продемонстровано порівняння різних критеріїв, наприклад порівняння мінімаксного критерію із критерієм Гурвіца, таке порівняння доповнило б роботу. Однак це може бути здійснено у подальших наукових дослідженнях.

2. У роботі не розглядаються питання збіжності та стійкості для мінімаксного критерію на основі запропонованої схеми машинного навчання.

Однак наведені вище зауваження не мають принципового значення та не зменшують наукової та практичної цінності результатів дисертаційної роботи здобувача в цілому.

Висновки

Дисертаційна робота Міляна Назара Васильовича на тему «Моделі і методи прийняття рішень при створенні клінічних діагностичних систем» є самостійним, оригінальним, завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові наукові обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано актуальне наукове завдання, яке полягає у розвитку методів класичного та глибокого машинного навчання в умовах невизначеності з використанням мінімаксного підходу, а також розвитку методів наукового машинного навчання.

Одержані наукові та практичні результати є важливим внеском у розвиток моделей і методів прийняття рішень при створенні клінічних діагностичних систем в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей. Застосування мінімаксного підходу для вибору моделей класичного і глибокого машинного навчання в умовах невизначеностей надає нові можливості щодо опрацювання медичних даних, що надходять з різних джерел. Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 122 – Комп'ютерні науки.

Отже, дисертаційна робота за актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення поставлених наукових та практичних задач, новизною та ступенем обґрунтованості отриманих результатів, повнотою викладу в наукових публікаціях, відсутністю порушень академічної добродетелі відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р.

№167, а її автор, Мілян Назар Васильович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комп’ютерних
наук та прикладної математики
Національного університету водного
господарства та природокористування



Турбал Ю.В.

Підпис Турбала Ю.В. засвідчує.

Вчений секретар
Національного університету
господарства та природокористування



Подлевський А.А.