

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Шульги Максима Володимировича  
на тему «Метод та програмні засоби мультимодального аналізу медичних даних  
на основі глибокого навчання»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 «Інформаційні технології»  
за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

### **Актуальність теми дисертації.**

Наочний прогрес у результатах машинного навчання і штучного інтелекту протягом останніх років викликало загальний інтерес і значну зацікавленість у різних галузях людської діяльності. Десь штучний інтелект вже досягнув ефективності природнього, а десь навіть перевершує людські здібності. Натомість, розширення сфери застосування ставить нові задачі, що не розглядались, чи майже не розглядались класичною наукою. Дана робота спрямована на одну з таких задач, породжених практичними потребами: задачу поєднання різнорідної за характером і достовірністю інформації при машинному навчанні. Розроблений в дисертації підхід до розв'язування цієї загальної задачі названо мультимодальним аналізом. Нагальна необхідність розробки рішень цієї задачі - перша складова актуальності роботи. Друга складова актуальності пов'язана з областю застосування, а саме для запобігання втраті зору пацієнтами завдяки більш точному і своєчасному виявленню ознак і ступеню діабетичної ретинопатії. Проведення такої діагностики необхідне не тільки для пацієнтів з явними симптомами, але і в рамках проведення профілактичних заходів, спрямованих на раннє виявлення захворювання. Автоматизація діагностики сприятиме її здешевленню і поширенню, а отже зменшенню ризиків втрати зору на популяційному рівні через підвищення кількості та якості профілактичних оглядів.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- 1) розроблено метод мультимодального аналізу даних, який на відміну від існуючих методів використовує додаткову інформацію (додаткові модальності) для обмеження простору пошуку рішення, що, зокрема, дозволило підвищити якість багатокласової класифікації;
- 2) розроблено метод недетермінованого штучного доповнення метаданих, який відрізняється використанням “витоку даних” на крайніх і подібних класах, за рахунок якого дозволяє підвищити якість багатокласової класифікації;

3) побудовано математичну модель для оцінки та інтерпретації впливу на якість багатокласової класифікації розроблених методів. Властивості моделі досліджено та строго доведено. Ця модель може бути застосована і до дослідження інших методів покращення багатокласової класифікації.

Викладені у роботі наукові положення, висновки і практичні рекомендації обґрунтовані теоретично та підтверджені наведеними в дисертації результатами чисельних експериментів з досить широким спектром умов.

Достовірність результатів дисертації підтверджують публікації у якісних періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus, що пройшли строге рецензування.

Поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач продемонстрував володіння методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, що висвітлює особистий внесок здобувача у науковий напрям 12 «Інформаційні технології».

Звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння підтверджує, що дисертаційна робота Шульги Максима Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

#### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана грамотною українською мовою.

Стиль викладення – строгий, послідовний, логічний, відповідає очікуванням від наукового дослідження. Викладаючи матеріал, автор роботи використовує сучасну наукову термінологію.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації – 155 сторінок.

У вступі обґрунтована актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовані мета та завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, наукова та практична новизна отриманих результатів, наведені відомості з апробації та публікації результатів дисертації.

У першому розділі розглянуто особливості використання методів машинного навчання в медицині, проведено огляд поточного стану і проблем, проаналізовано соціально-економічні наслідки важких захворювань.

У другому розділі проведено аналіз застосування глибокого навчання для виявлення захворювань, насамперед – на прикладі діабетичної ретинопатії.

У третьому розділі розглянуто проблему багатокласової класифікації для одномодальної моделі (за зображенням) і мультимодальних моделей (за зображенням і текстовими доповненнями). Підготовлено кілька варіантів вхідних наборів даних і нейромережових моделей для виявлення і класифікації діабетичної ретинопатії. Наведено результати експериментального дослідження впливу на результати багатокласової класифікації кількох варіантів доповнення метаданих залежно від складності моделі. Побудовано математичну модель точності багатокласової класифікації та на її основі отримано теоретичні оцінки можливого покращення. Результати дослідження узагальнено у комплексний метод мультимодального аналізу медичних даних на основі глибокого навчання.

У четвертому розділі наведено результати аналізу застосування запропонованого комплексного методу та зроблені висновки щодо його ефективності в різних умовах.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації повністю висвітлені у 4 статтях у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus (1 – у виданні Q3) та доповідались на 5 фахових наукових конференціях.

В дисертації визначений особистий внесок здобувача у наукові публікації написані у співавторстві.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Запропонований в дисертації мультимодальний підхід полягає у способі поєднання різних типів інформації при машинному навчанні. Зокрема, у розглянутій задачі класифікації поєднання виконувалось через обмеження простору рішень класифікатора зображень (першої модальності) на основі метаданих, заповнених за результатами обробки текстових анкет (другої/третьої модальності). Експерименти розділу 3 продемонстрували позитивний ефект від додаткових модальностей. Але покращення якості машинного навчання за рахунок додаткової інформації є інтуїтивно-зрозумілим і очікуваним. Для демонстрації переваг запропонованого методу варто було проводити порівняння з іншими методами застосування тієї ж додаткової інформації, наприклад, варіантом додавання модальностей безпосередньо в нейронну мережу (припустимо, на кілька додаткових вхідних нейронів у дещо модифікований ResNet50), варіантом байєсівської класифікації з результатами нейромережового класифікатора та висновків з анкет на вході, варіантом поєднання прогнозів окремих модальностей ансамблевими методами тощо. Такі експерименти були б коректнішими і краще демонстрували б перевагу запропонованого підходу.

2. Результатом теоретичного і експериментального аналізу внеску додаткових модальностей у якість класифікації є висновок, що чим гірше працює модель, тим більше її можна покращити за рахунок тієї ж додаткової інформації. Ну так, але цей висновок – очевидний.

3. Хоча застосування експертних оцінок в якості додаткової модальності обґрунтовано метою демонстрації запропонованого у дисертації мультимодальний підходу, треба відзначити, що цей приклад – дещо умовний. У реальній медичній практиці, навпаки, результати машинної обробки медичних зображень і опитування пацієнта мають (і будуть) враховані експертом (лікарем) при встановленні діагнозу.

4. У тезах є посилання на застосування аналізу тексту анкет з допомогою LSTM, але детально воно не описано. Маю деякі сумніви щодо практичної працездатності (або, іншими словами, – ефективності) такого підходу.

5. Використання терміну «недетермінований» (у словосполученнях "недетермінована думка експерту", "недетерміновані метадані" тощо) є дещо невдалим. Йдеться про термін "fuzzy", який в українській термінології зазвичай перекладають як "нечіткий". Хоча і "недетермінований", і "нечіткий" вказують на ймовірнісну складову, природа цієї складової відмінна. У випадку недетермінованої системи стан, поведінка, чи вихідний сигнал не повністю визначається вхідними сигналами/даними. Тобто недетермінованість притаманна об'єкту дослідження. У випадку нечіткої логіки об'єкт дослідження має певний (детермінований) стан, але оцінка цього стану за результатами спостережень є не певною, з похибкою (заданою інтервалом, чи розподілом ймовірності). Переважна більшість випадків, коли в роботі застосовано термін "недетермінований", має саме таку природу.

6. В тексті тез багато повторів. Гадаю, що їх можна було безболісно прибрати, бо обсяг роботи у півтора рази більший за формально необхідний.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Шульги Максима Володимировича на тему «Метод та програмні засоби мультимодального аналізу медичних даних на основі глибокого навчання» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 «Інформаційні технології». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «Порядку

присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Шульга Максим Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

**Офіційний опонент:**

Завідувач відділу автоматизації  
програмування № 145 Інституту  
кібернетики імені В.М. Глушкова  
НАН України, д.ф.-м.н., с.н.с.

Вадим ТУЛЬЧИНСЬКИЙ



М.П.

«\_\_\_» січня 2024 року

