

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд
за придобиване на образователната и научна степен „доктор“

Автор на дисертационния труд
Александър Огнянов Маразов

Тема на дисертационния труд
**„Дълбоки невронни мрежи
за целите на диагностиката в медицината“**

По професионално направление
4.6 Информатика и компютърни науки
Докторска програма: Информатика (01.01.12)

Подготвил рецензията
проф. д-р Олимпия Роева

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение

Разработването и приложението на математически подходи и алгоритми за обработка на медицински изображения, с цел диагностика, е особено актуален проблем. Още повече, обект на изследване в дисертационния труд е болестта на Алцхаймер, най-честата форма на деменция. Ранната диагностика на болестта на Алцхаймер е изключително трудна задача, по която активно работят редица научни екипи. С цел намиране на ефективни подходи за диагностициране и определянето на стадия на болестта на Алцхаймер, представените изследвания са насочени в областта на приложението на алгоритми за дълбоко обучение (deep learning) и размита логика за обработка на данни за медицински. Дисертационният труд е актуален както в научно, така и в научно-приложно отношение. Целта на дисертационния труд е формулирана съгласно съвременното състояние на изследванията и постиженията в областта, а именно *„Подобряване на диагностичния процес в медицината посредством проектиране, трениране и оптимизиране на програмни алгоритми с конволюционни дълбоки невронни мрежи.“*

За изпълнение на поставената цел са дефинирани шест задачи:

1. Да се реализират програмно невронни мрежи за диагностициране на стадията на болестта на Алцхаймер.
2. Да се определят специфичността и чувствителността на разработените модели.

3. Да бъде подобрена точността на моделите с нов метод на извеждане.
4. Да се оцени точността на извежданията в термините на интуиционистки размитите множества чрез интеркритериален анализ.
5. Да се предложи метод за определяне на прагови стойности за степените на принадлежност и неопределеност, чрез който да се повиши точността на моделите.
6. Да се намери подход за подобряване на скоростта на интеркритериалния анализ.

2. Степен на познаване на състоянието на проблема и на литературния материал

Докторантът е представил систематизирано състоянието и проблемите в разглежданата област. Направен е обзор на невронните мрежи (НМ) и по-конкретно на конволюционни невронни мрежи (КНМ) – история и приложения в медицината. Демонстрирана е важността и широкия обхват на приложението на НМ в медицинската практика и научните изследвания.

Представен е преглед на интуиционистки размити множества (ИРМ) – история, разширения, норми и метрики в ИРМ и преглед на някои от приложенията им за медицинската диагностика – основни теоретични постановки, използвани в дисертационния труд. Представени са и изследвания и разработки с приложение на ИРМ в НМ с цел подобряване на функционалността на алгоритмите за обучение.

Кратък преглед на Интеркритериалния анализ (ИКА) дава основата, която е надградена, до достигане на подобряване на скоростта на анализа при работа с големи масиви от данни. Липсва аналитичен преглед на приложенията на ИКА, особено в областта на медицината, с който докторантът да обоснове избора на този подход.

Представен е и кратък обзор на болестта на Алцхаймер с акцент върху въздействието на болестта върху общественото здраве и основните стадии на заболяването.

3. Обща аналитична характеристика на дисертационния труд

Дисертационният труд е добре структурирана и логически последователен съгласно поставените задачи за решаване. Трудът е в обем от 162 страници и съдържа: списък на съкращенията, увод, цел на дисертационния труд и задачи, 5 глави (една обзорна глава и четири глави с резултати от изследвания), заключение – резюме на получените резултати, насоки за бъдеща работа, основни приноси на дисертационния труд, списък на публикациите по дисертационния труд, списък на цитирания, декларация за оригиналност на резултатите, 4 приложения с разработените програмни кодове и библиография.

Глава 1 е обзорна и дава картина на част от състоянието на разглежданите проблеми и използваните математически похвати по литературни данни. Използвана е библиография наброяваща 146 източници, сред които

основополагащи за областта публикации, както и актуални публикации, от последните 10 години.

В Глава 2 са представени резултатите от приложението на конволюционни невронни мрежи за диагностика на болестта на Алцхаймер. КНМ са обучени и тествани с около 5000 изображения от ядрено магнитен резонанс. Разработен е код на Python, който може да бъде адаптиран за образна диагностика и на други неврологични заболявания като Паркинсон и множествена склероза. Получените резултати могат да послужат за подпомагане на лекарите при поставяне на диагноза, както и за извличане на примери от голям обем данни.

В Глава 3 са представени резултатите от предложените нови начини за извеждане в машинното самообучение, базирани на метода на Кемени-Йънг. Предложена е интерпретация на метода на Кемени-Йънг в термините на ИРМ чрез метода на ИКА. Качеството на резултатите се оценява чрез степените на принадлежност и на непринадлежност от ИКА. Представен е и непараметричен метод за калибрация, основан на метода на ИКА. Разработените подходи са реализирани на Python и е представено практическо приложение на метода на извеждане.

Изследванията с приложение на ИКА за оценка на достоверността на предложения в дисертационния труд метод за извеждане в класификационни задачи са представени в Глава 4. Разгледано е приложение на метода върху класификатори на болестта на Алцхаймер. С избора на прагове за принадлежност и неопределеност са намерени модели с желан баланс между покритие и точност. Достигнато е покритие от 60,75% при точност от 90%. ИКА подхода за извеждания е приложен при процедурата „един срещу един“ (One vs One). Изведени са и са доказани две теореми. Отново, с разработен код на Python, е показано приложение на подхода върху резултатите за стадиране на болестта на Алцхаймер.

В Глава 5 са представени резултатите от изследванията в насока подобряване на бързодействието на алгоритъма за ИКА. В резултат е предложено изчисление на итеркритериалните броячи с квазилинейна сложност ($O(n \log n)$) в сравнение със съществуващата квадратична сложност на алгоритъма – $O(n^2)$. Докторантът остава открит проблем – дали интеркритериалните броячи могат да бъдат изчислени за $O(n\sqrt{\log n})$.

В заключение, за постигане на целта на дисертационния труд е разширена теоретичната рамка на два актуални и утвърдени математически подхода – на ИРМ и на ИКА.

Добро впечатление прави и формулирането на няколко насоки за бъдеща работа – да се разширят възможностите за приложение на постигнатите резултати и да се постигне допълнително намаляване на сложността на ИКА с цел работа с особено големи масиви от данни.

4. Оценка на приноси на дисертационния труд и тяхната значимост

Приемам формулираните в дисертационния труд приноси.

Научни приноси

1. Предложен е метод за извеждане, базиран на метода на Кемени-Йънг.
2. Предложен е метод за оценка на извеждания на класификационни задачи в термините на ИРМ, базиран на ИКА.
3. Предложен е метод за прилагане на прагови стойности към степените на принадлежност и неопределеност, който значително повишава точността на селектираните резултати
4. Предложен е алгоритъм за подобряване на скоростта на ИКА до $O(n \log(n))$.

Научно-приложни приноси

1. Имплементиран е програмен код на НМ за диагностициране на стадите на болестта на Алцхаймер.
2. Постигнати са чувствителност на модела от 70%, и специфичност от 85%.
3. Разработен е код на Python за новия метод за извеждане, базиран на метода на Кемени-Йънг. Използвана е оптимизационна библиотека ortools за постигане на практични времена.
4. Разработеният метод за извеждане дава консистентни резултати, които по начина на построение са устойчиви на грешки.
5. Разработен е код на Python на новия метод за оценка на извеждания на класификационни задачи в термините на ИРМ, базиран на ИАК. Кода използва нетривиална релация за равенство между предвижданията на класификатори.
6. Разработен е код за прилагане на прагови стойности към степените на принадлежност и неопределеност. Приложен е към задачата за класификация на болестта на Алцхаймер, като се постига значително повишаване на точността на селектираните резултати. Постигнати са чувствителност на модела от 80% и специфичност от 95%.
7. Разработен е код на Python за подобряване на скоростта на ИКА до $O(n \log n)$. Текущите имплементации, използващи алгоритъм със сложност $O(n^2)$, са сравнени с новата имплементация чрез пакет за автоматично рандомизирано тестване Hypothesis.

5. Преценка на публикациите по дисертационния труд

По дисертационния труд са посочени 4 публикации. Една от тях е в списание с импакт фактор (Mathematics, IF = 2.4 (2023), Q1) и една в списание с импакт ранг (International Journal Bioautomation, SJR = 0.159 (2022), Q3). Две статии са публикувани в Годишника на секция “Информатика”, Съюз на учените в България. Част от резултатите по дисертационния труд са представени на два международни форума – 10th European Academy of Neurology Congress, Хелзинки, Финландия и 3rd International Symposium on Bioinformatics and Biomedicine, BioInfoMed’2024. Публикациите отразяват основните резултати, получени в дисертационния труд. Публикувани са в престижни списания и показват високото научно ниво на изследванията. Представено е 1 цитиране.

6. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът правилно отразява съдържанието на дисертацията и дава представа за разглежданите проблеми, както и за приносите на дисертационния труд.

7. Критични бележки по дисертационния труд

Александър Маразов е взел под внимание предварително направените коментари и бележки. Смятам, че всички съществени забележки са отразени в дисертационния труд. Забелязват се някои технически грешки и неточности, но тъй като пропуски от такова естество по никакъв начин не омаловажават качествата на дисертационния труд, не считам за необходимо да ги разглеждам.

Ще отбележа, че в Глава 1 представянето на приложенията на ИРМ в различни области и различни задачи е дадено много механично, без аналитична дискусия. Например: защо ИРМ са подходящи и с какво получените резултати чрез използване на ИРМ превъзхождат други резултати?

Бих искала да препоръчам на докторанта да публикува в списание с ИФ предложения метод за извеждане в машинното самообучение и негови приложения.

8. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд

На основание на гореизложеното давам висока оценка на извършената от Александър Маразов научна работа и постигнатите резултати.

Изпълнени са всички изисквания, условия и критерии на ЗРАСРБ, ППЗРАСРБ, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в ИБФБМИ – БАН и давам положителна оценка за дисертационния труд и предлагам на Научното жури да присъди образователната и научна степен „доктор” на Александър Маразов в професионално направление 4.6 Информатика и компютърни науки, докторска програма: Информатика (01.01.12).

08.07.2024 г.
София

.....
/проф. д-р О. Роева/