

dr hab. inż. Piotr A. Kowalski, prof. AGH
Katedra Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej,
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
email: pkowal@agh.edu.pl

Kraków, 10.08.2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr Barbary Rychalskiej pt. „A Multimodal and Interpretable Recommender System for Massive Datasets”

1. Uwagi ogólne

Prawną podstawą przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr Barbary Rychalskiej jest Umowa z Politechniką Warszawską – Wydziałem Matematyki i Nauk Informatycznych reprezentowaną przez Pana Dziekana dr. hab. inż. Wojciecha Domitrza, prof. uczelni, którą otrzymałem 15 czerwca 2023 r.

Recenzja została przygotowana na podstawie rozprawy doktorskiej. Przedmiotowa praca została zrealizowana pod kierunkiem Pana prof. dr. hab. Przemysława Biecka, na Wydziale Matematyki i Nauk Informatycznych Politechniki Warszawskiej. Recenzowana rozprawa doktorska przedstawiona została w postaci woluminu wydanego przez Politechnikę Warszawską.

Praca doktorska jest osadzona w dziedzinie metod uczenia maszynowego dedykowanych dla systemów rekomendacyjnych, która to rozwija się obecnie w ekspresowym tempie. Co więcej postęp naukowy w tej dziedzinie napędzany jest przez dynamicznie rosnące zapotrzebowanie na wydajne systemy rekomendacji w świecie biznesu. Pomiar tego postępu dokonuje się poprzez aktywną ewolucję benchmarków, często inicjowanych w ramach konkursów na prestiżowych, międzynarodowych konferencjach. Współzależność badań nad systemami rekomendacyjnymi z obszarami takimi jak przetwarzanie dużych zbiorów danych (big data), skalowalne uczenie maszynowe, przetwarzanie danych grafowych, wyszukiwanie informacji (information retrieval) oraz przetwarzanie danych multimodalnych, stanowią główny nurt dysertacji.

Głównym celem niniejszej pracy doktorskiej jest gruntowna analiza możliwości i ograniczeń istniejących systemów rekomendacji, a także opracowanie nowatorskich metod rekomendacyjnych. Przedstawione w ramach tej pracy innowacje mają na celu

podniesienie jakości obecnie stosowanych metod, co wpłynie na dalszy rozwój tej ciekawej i nowoczesnej dziedziny nauki.

Praca doktorska składa się z 5 części, i tak na początku przedstawiona zostaje dziedzina badań, postawione zostają tezy badawcze, cele pracy oraz elementy nowości uzyskane przez Doktorantkę. W Rozdziale 2 przedstawione zostały informacje dotyczące sztucznych sieci neuronowych. W Rozdziale 3 zaprezentowany jest wstęp do systemów rekomendacyjnych oraz metryki używane do pomiaru ich efektywności. Następnie, w Rozdziale 4 Doktorantka przedstawia wyniki swoich badań, ta część stanowi główną oś pracy. W końcu, w Rozdziale 5 następuje podsumowanie otrzymanych wyników i przedstawione zostają wnioski z recenzowanej pracy doktorskiej. Dysertacja napisana jest w języku angielskim, a całość pracy obejmuje 124 strony.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy oraz aspektu badawczego

Rozprawa doktorska Pani mgr Barbary Rychalskiej opiera się na dysertacji, w której w punkcie 1.1 postawiono 4 cele badawcze a to:

- Poprawa skalowalności, wydajności i właściwości algorytmów osadzania (embedding algorithms), które wykorzystują strukturę grafową danych.
- Sformułowanie i ocena algorytmu rekomendacji, który może pozyskać dodatkowe dane multimodalne. Jednocześnie musi spełniać wymóg małej złożoności, to jest bez kosztownych obliczeniowo struktur sieci neuronowych.
- Sformułowanie i ocena nowych algorytmów rekomendacji typu content-based, w szczególności zwiększających możliwość wyszukiwania podobnych pozycji w sposób dokładny i szybki, z unikaniem znanych pułapek istniejących podejść unimodalnych i crossmodalnych.
- Formułowanie i ocena nowych podejść do poprawy odporności systemu rekomendacyjnego. Odkrywanie nieznanymi jeszcze luk w modelach i możliwych sposobów ich naprawienia.

Na podstawie analizy celów badawczych sformułowano ogólną hipotezę pracy doktorskiej która brzmi: „Obecne algorytmy rekomendacyjne można dalej udoskonalać w celu osiągnięcia lepszej jakości, skalowalności i integracji multimodalnej. Można to osiągnąć dzięki nowatorskim pomysłom, takim jak algorytmy nienadzorowane i samonadzorowane, inspirowane metodami kompresji, metodami estymacji gęstości oraz

grafowymi sieciami neuronowymi.” W szczególności zostało sformułowanych pięć głównych hipotez badawczych:

- Niektóre formy grafowych sieci neuronowych, zwykle spotykane w systemach rekomendacyjnych, można uprościć poprzez usunięcie optymalizacji wag i nieliniowości w celu uzyskania algorytmu całkowicie nienadzorowanego, opartego na uśrednianiu ważonym osadzania węzłów. Taki uproszczony algorytm może cechować się wysoką jakością otrzymywanych rozwiązań. Jednocześnie jego uczenie może być znacznie szybsze niż w przypadku klasycznego czyli podejścia opartego na pełnych (to jest nieuproszczonych) grafowych sieciach neuronowych.
- Modelowanie przestrzeni przedmiotów użytkownika oparte na estymacji gęstości pozwala na podniesienie jakości rekomendacji top-k.
- Wyszukiwanie obrazów oparte na centroidach w połączeniu z modelem neuronowym pozwala zwiększyć jakość i prędkość rekomendacji treści opartych na jednomodalnym trybie obrazowym.
- Transformacja osadzeń z niepasujących przestrzeni cech do ujednoczonej przestrzeni cech pozwala zarówno zwiększyć jakość, jak i szybkość rekomendacji treści międzymodalnych.
- Zwiększanie odporności modeli na pewne przykłady wrogie, pozwala wzmocnić model wobec pokrewnych przykładów przeciwstawnych.

Jak wcześniej napisano główną osią Dysertacji jest rozdział czwarty, który przyjął dość ciekawą formę ustosunkowania się do poszczególnych pięciu hipotez badawczych. Wyniki przedstawione w rozdziale 4.1 pozwalają zweryfikować pierwszą z hipotez. Doktorantka prezentuje algorytm Cleory i przeprowadza szeroko zakrojone testy porównawcze z innymi popularnymi algorytmami osadzania grafów. Jakość osadzonych treści z użyciem procedury Cleora jest mierzona za pomocą popularnych wskaźników, takich jak średni ranking wzajemny (MRR) i współczynnik trafień (HR@K), natomiast szybkość algorytmu jest mierzona w odniesieniu do czasu obliczeń osadzania. Weryfikację 2-giej hipotezy badawczej przedstawiono w rozdziale 4.2. Doktorantka zaproponowała tu podejście rekomendujące top-k oparte na metodzie EMDE (Efficient Manifold Density Estimator). W tym przypadku jakość modelu mierzono za pomocą wskaźników takich jak

Recall@K i Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG). Weryfikacja hipotezy 3 została przedstawiona w kolejnym podrozdziale, w którym proponowano metodę wyszukiwania obrazów w oparciu o centroidy, a jakość stworzonego modelu ewaluowano za pomocą wskaźników Mean Average Precision i Accuracy@K, natomiast pomiary opóźnienia modelu przeprowadzono poprzez porównanie szybkości wnioskowania z oceną opartą na instancjach i oceną opartą na centroidach. W części 4.4 dokonano rozstrzygnięcia kolejnej hipotezy poprzez szybki algorytm T-EMDE, który stosuje reprezentacje wielomodalne w jednej przestrzeni wspólnej. W tym przypadku jakość modelu oceniana była za pomocą metryk Mean Reciprocal Rank i Recall@K, natomiast wydajność obliczeniowa mierzona została poprzez czasy rzeczywiste treningu modelu oraz wnioskowania. W celu zweryfikowania tej ostatniej hipotezy, stworzony został Framework WildNLP, po czym nastąpiła jego ewaluacja na szerokim spektrum istniejących modeli tekstowych i metryk, a jej wyniki przedstawione są w Rozdziale 4.5.

Ponadto wartym podkreślenia jest bardzo bogaty dorobek publikacyjny Pani mgr Barbary Rychalskiej, który obejmuje 29 artykuły w czasopismach naukowych konferencjach typu International Conference on Neural Information Processing (140 pkt MEiN) 4 krotnie, EMNLP Workshop BlackboxNLP, ACM International Conference on Information & Knowledge Management (140 pkt MEiN), International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (200 pkt MEiN), International Joint Conference on Artificial Intelligence (200 pkt MEiN). Co więcej w większości z wymienionych w Dysertacji publikacjach Doktorantka jest pierwszym z autorów.

3. Ocena rozprawy

a. Uwagi krytyczno-polemiczne:

W niniejszej części pokrótce przedstawione zostaną główne mankamenty dysertacji. Ze względu na istotność tejże części recenzji niniejsze uwagi zostaną przedstawione w punktach, do których łatwiej będzie się odnieść Doktorantce.

1. W pierwszej kolejności chciałem zwrócić uwagę na dość szczegółowy opis perceptronu, sieci neuronowych oraz metod uczących, które to nie są wykorzystywane jako takie w stosowanych przez Doktorantkę metodach.

2. Strona 31, w piątej linii od dołu wprowadzony zostaje symbol a_i reprezentujący wejście do neuronu. Tymczasem we wzorze numer 1 to samo reprezentowane jest oznaczeniem x .
3. Strona 32, rysunek 3. Ponownie następuje „rozmnożenie” oznaczeń funkcji aktywacji, i tak we wzorze 1 jest to $f(x)$, na rysunku 1 $g(z)$ natomiast we wzorze 5 sigma.
4. Podobnie niekonsekwencją jest oznaczanie wyjścia we wzorze 5 jako a_{out} , natomiast we wzorze 7 czy 8 jako y_i .
5. Podsumowując część związaną z sieciami neuronowymi, korzystniej było by poświęcić znacznie więcej miejsca takim topologią które były wykorzystywane w badaniach niż elementom związanym z historią sieci neuronowych.
6. W moim odczuciu korzystnym było by opisać w części 3.3, kiedy zasadnym jest korzystanie z danej metryki ewaluacyjnej oraz jakie wartości informują nas o dobrym vs. złym rozwiązaniu systemu rekomendacyjnego.
7. Uważam, że Rysunek 11 jest dość lakonicznie opisany.
8. W tabelach 5 oraz 6 pojawia się timeout, co należało by szerzej skomentować pod kontem przyczyny jego wystąpienia oraz może oszacowania wolumenu danych dla których ten efekt nie następuje.
9. Jednym z dość niezrozumiałych dla mnie powodów jest kwestia praktycznie kompletnego braku wprowadzenia do techniki związanej z estymacją gęstości prawdopodobieństwa. Jedynie w punkcie 4.2.2 oraz 4.2.3 możemy przeczytać jakieś drobne wprowadzenie. Powyższe jest szczególnie odczuwalne przy jednoczesnym poświęceniu całego 2-go rozdziału sztucznym sieciom neuronowym.
10. Estymatory jądrowe jako przedstawiciele nieparametrycznych metod estymacji gęstości prawdopodobieństwa mają wiele ciekawych i pozytywnych cech, jednakże są bardzo czułe na znaczną liczbę danych w kontekście zarówno liczności próby jak i przede wszystkim wymiarowości. W jaki sposób zastosowana implementacja algorytmu EMDE wyszła na przeciw powyższym ograniczeniom ?
11. Dość nurtującym jest kwestia uniwersalności topologii systemu rekomendacyjnego przedstawionego na rysunku 20. Zatem czy zmiana dziedziny rekomendacji wpływa na architekturę stworzonego systemu ? Jeśli tak to w jakim zakresie ?

b. Uwagi szczegółowe i techniczne

W ramach tego punktu, muszę podkreślić bardzo staranne przygotowanie całego woluminu z pracą doktorską. Oczywiście można tu wskazać kilka uwag związanych z pojedynczym brakiem wyjaśnień symboli czy dość skąpym opisem pewnych części pracy. Dla przykładu podam, że opisy niektórych rysunków (np. rysunek 12) są tak długie, że czasem można stracić orientację czy to jest jeszcze podpis rysunku czy dalsza część tekstu dysertacji. Doktorantka również nie ustrzegła się nielicznych mankamentów natury technicznej takich jak błędy interpunkcyjne czy też pomyłki w oznaczeniach (o których nadmieniano wcześniej), itp., jednak w żadnej mierze nie rzutują one na relatywnie bardzo wysoką ocenę pracy.

c. Ocena ogólna

Doktorantka bardzo dobrze rozumie pojęcie oraz zakres procedur analizy danych zarówno w ujęciu ogólnym, jak i w kontekście systemów rekomendujących. W szczególności potrafi: opisać cechy i własności stosowanych i kreowanych algorytmów, syntetyzować algorytmy pozwalające na głęboką analizę własności systemów rekomendacyjnych, przedstawić wyniki analizy, oraz wybrać i omówić możliwe do zastosowania procedury.

Sposób sformułowania problemu badawczego, przedstawiony w pierwszej części, świadczy o dojrzałości naukowej Autorki. Analizowany w pracy problem jest bardzo dokładnie sprecyzowany. Mimo moich pewnych krytycznych uwag w niniejszej recenzji, jestem zdania, iż uzasadnienie użycia sieci neuronowych oraz algorytmów gęstości prawdopodobieństwa wraz z towarzyszącymi procedurami jest w pełni uzasadnione i kompletne. Ponadto bardzo imponującym jest fakt, iż w trakcie pracy nad doktoratem zostało opublikowane wiele bardzo dobrych prac naukowych z czego część została już chętnie wykorzystana w bibliografii innych prac naukowych. Powyższe świadczy o bardzo istotnym wkładzie Doktorantki w rozwój tej dziedziny.

Recenzowany doktorat prowadzony był w ramach Programu Doktoraty Wdrożeniowe. Prezentowane algorytmy zostały bardzo pozytywnie zweryfikowane w rzeczywistych warunkach i są już wykorzystywane w tzw. produkcji przez firmę Synerise S.A., która była „koordynatorem doktoratu wdrożeniowego”. Godnym podkreślenia jest fakt iż szybkość i skalowalność wprowadzonych modeli okazały się tak dobre, iż pozwoliły przetwarzać dane nawet od największych klientów, takich jak firmy z branży e-

commerce, telekomunikacyjnej czy bankowej. Własności tych algorytmów zostały również docenione w prestiżowych międzynarodowych konkursach badawczych, takich jak:

- SIGIR Rakuten Challenge 2020 (1 miejsce),
- Twitter Recsys Challenge 2021 (2 miejsce),
- KDD Cup 2021 (3 miejsce miejsce),
oraz
- Booking.com WSDM Challenge 2021 (2 miejsce).

Warto również dodać, że – realizując pracę – Pani mgr Barbara Rychalska wykazała się solidnym warsztatem informatycznym. Takie umiejętności są niezmiernie istotne, gdyż potwierdzają, że jest Ona niezależnym naukowcem. Ponadto uważam, że wykonane przez Doktorantkę eksperymenty, których liczba jest znaczna, świadczą, że Kandydatka ma szczególne predyspozycje do pracy badawczej. Potrafi dobrać odpowiednie wskaźniki oceny jakości modeli, zilustrować wyniki na rysunkach, przedstawić ważne rezultaty w tabelach i wyciągnąć istotne wnioski. Dodany do pracy opis matematyczny powoduje, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska jest kompletna i w pełni wartościowa.

4. Podsumowanie

Recenzowana praca doktorska jest przykładem oryginalnego rozwiązania ciekawych zagadnień praktycznych. Do ich rozwiązania Autorka rozprawy wykorzystwała we właściwy sposób zaawansowane narzędzia technik informacyjnych jakimi niewątpliwie są sieci neuronowe i algorytmy estymacji gęstości prawdopodobieństwa. Świadczy to o Jej dużej kompetencji w praktycznym posługiwaniu się narzędziami współczesnej informatyki. Uzyskane w pracy wyniki uważam za niewątpliwie oryginalną (nowatorską) propozycję rozwiązania zagadnień technicznych, które zostały wielokrotnie zweryfikowane na drodze rzetelnie przeprowadzanych analiz walidacyjnych. Można zatem uznać, że recenzowana rozprawa doktorska ma charakter oryginalnej pracy projektowo-naukowej, o której mówi bieżąca Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Konkludując uważam, że rozprawa doktorska mgr Barbary Rychalskiej zdecydowanie spełnia wymagania stawiane w odpowiednich przepisach rozprawom

doktorskim i wobec tego stawiam wniosek o jej dopuszczenie do dalszych, przewidzianych Ustawą, etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto, biorąc pod uwagę aktualność tematyki badawczej, jej znaczny zakres, bardzo wysoką jakość prezentowanych wyników oraz ich istotny wkład w istniejący stan wiedzy i znaczącą aktywność publikacyjną Kandydatki, wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in blue ink, reading "Piotr Kowalski". The signature is written in a cursive, flowing style.

dr hab. inż. Piotr A. Kowalski, prof. AGH