

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Roberta Kwiecińskiego pt. „Metody rekomendacyjne wspólnej filtracji w serwisach ogłoszeniowych”

1. Uwagi ogólne nt. problematyki rozprawy i jej celów

Niniejsza recenzja jest sporządzona w odpowiedzi na pismo Dziekana Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu profesora Krzysztofa Dyczkowskiego.

Rozprawa jest maszynopisem napisanym w języku polskim i jest rezultatem realizacji tzw. **doktoratu wdrożeniowego** w ramach współpracy Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz przedsiębiorstwa OLX sp. z o. o. Specyfika realizacji doktoratu wdrożeniowego wiąże się z inspiracjami praktycznymi i oczekiwaniami przedsiębiorstwa wobec wyników badań. W przypadku rozważania takiego typu doktoratu jest ważne zdefiniowanie takiego problemu badawczego, który jest równocześnie wyzwaniem badawczym oraz jest istotny praktycznie dla współpracującego przedsiębiorstwa i ma przynajmniej potencjał wdrożeniowy, albo ma służyć do sprawdzenia przydatności różnych nowatorskich rozwiązań.

Tutaj osiągnięto więcej niż można się było spodziewać. Grupa przedsiębiorstw OLX udostępnia różnorodne ogłoszenia w specjalnych internetowych serwisach. Z biznesowego punktu widzenia istotne jest zwiększenie odpowiedzi użytkowników na takie ogłoszenia. W ramach prowadzonych badań wybrano kategorię ogłoszeń o pracę. W momencie rozpoczęcia badań Grupa OLX nie wykorzystywała modeli rekomendacyjnych dedykowanej tej kategorii (wg. opisu zawartego w rozdziale 1), dlatego jako **cel rozprawy sformułowano** „oczekiwanie do przedstawienia nowych metod rekomendacji specjalne opracowanych dla tych serwisów ogłoszeniowych oraz pokazanie ich przewagi względem znanych metod opisanych w literaturze przedmiotu” (patrz str 30 rozdział 1.4). Doktorant zdefiniował także **trzy cele pomocnicze związane z:** opracowaniem i udostępnieniem zbioru danych uczących i testowych z tej kategorii ogłoszeń; przedstawienie eksperymentalnej oceny wielu możliwych modeli rekomendacyjnych (głównie opartych na wspólnej filtracji) oraz wdrożenia najlepszych modeli u pracodawcy (OLX).

Rozumiem czytając maszynopis, w szczególności wstęp, że z naukowego punktu widzenia ważne jest zaproponowanie nowych modeli rekomendacyjnych (we wstępie doktorant obiecuje kilka różnorodnych propozycji) oraz przedstawienie ich oceny eksperymentalnej. Wszystkie te cele zarówno badawcze, jak i praktyczno-wdrożeniowe **są bardzo dobrze uzasadnione oraz warte podjęcia badań w ramach doktoratu.**

Ważną cechą tej rozprawy jest udział pana mgra Roberta Kwiecińskiego w rzeczywistych wdrożeniach nowych rozwiązań w konkretnej infrastrukturze dość dużego przedsiębiorstwa informatycznego OLX oraz dążenie do zaproponowania rozwiązań poprawiających cele biznesowego tego przedsiębiorstwa. W tej perspektywie widzę to jako **dobrze zdefiniowany i realizowany doktorat wdrożeniowy.**

Tematycznie problematyka rozprawy mieści się w zakresie nowoczesnych systemów rekomendacyjnych przeznaczonych dla bardzo masywnych / dużych danych gromadzonych w systemach internetowych (odpowiednik anglojęzycznego terminu Big Data), z elementami najnowszych optymalizacji parametrów modeli predykcyjnych oraz grafowych sieci neuronowych (czyli problematyki bliższej systemom uczenia się z przykładów – ang. machine learning). Dlatego mogę stwierdzić, że poruszana tematyka badawczej dobrze mieści się w obszarze **dyscypliny informatyka techniczna.**

2. Ocena formy, struktury rozprawy oraz sposobu prezentacji

Recenzowana rozprawa jest napisana w języku polskim. Została przedstawiona jako oprawiony maszynopis liczący 169 stron. W zakresie organizacji tekstu obejmuje on 8 rozdziały, streszczenia polsko- i anglojęzyczne, zestawienia oznaczeń oraz listę literatury.

Konstrukcja maszynopisu jest zgodna z celami rozprawy i w miarę klasyczna dla rozpraw doktorskich. Poniżej krótko omawiam tę rozprawę, równocześnie wskazując na najciekawsze, moim zdaniem, aspekty i wyniki badawcze i wdrożeniowe zaprezentowane w kolejnych rozdziałach.

Rozdział pierwszy jest sprawnie napisanym wprowadzeniem do specyfiki serwisów ogłoszeniowych OLX oraz samej działalności tego przedsiębiorstwa w kontekście planów doktoratu wdrożeniowego. W szczególności dobrze przedstawiono konkretne oczekiwania przedsiębiorstwa OLX wobec doktoratu wdrożeniowego oraz informacje o rozwoju metod rekomendacyjnych i systemów ogłoszeniowych w tym przedsiębiorstwie. Rozdział zawiera także jasne motywacje do zajęcia się systemami rekomendacyjnymi oraz przedstawia cel główny i cele pomocnicze rozprawy.

Rozdział drugi to dość zwarte wprowadzenie do systemów rekomendacyjnych oraz metod ich eksperymentalnej oceny. Poprawnie dokonano klasyfikacji różnych koncepcji takich systemów, w szczególności (około str. 35) opisano dokładniej podstawy wspólnej filtracji (wykorzystujących interakcje użytkowników z różnymi, lecz wspólnymi przedmiotami) oraz sprawnie scharakteryzowano różne wyzwania w stosowaniu takich systemów. Dostrzegam także poprawne opisanie podstawowych miar oceny rekomendacji (zarówno popularnych dla przetwarzania danych testowych jak i testów A/B). Jest to w zasadzie przegląd aktualnego stanu literatury i pokazuje dobrą wiedzę doktoranta oraz jego umiejętności syntezy studiów literaturowych.

Rozdział trzeci jest już bardziej oryginalny i związany jest z realizacją celów badawczych rozprawy. Autor opisuje przygotowany zbiór danych dla budowy i oceny rozważanych modeli rekomendacji. Został on stworzony dla kategorii ogłoszeń o pracę – OLX Jobs - i zawiera ponad 65 mln interakcji (różnego typu) wykonanych przez ponad 3 mln. użytkowników wobec 185 tys. ogłoszeń w ciągu dwóch tygodni 2020 roku. Autor przekonująco opisuje jego lepsze cechy w odniesieniu do innych znanych zbiorów danych (rozdział 3.2) oraz przedstawia analizę jego różnych charakterystyk oraz przyjęte zasady podziału na zbiór uczący i testowy.

Kolejny rozdział czwarty jest także istotny dla celów pracy, gdyż prezentuje obszerną analizę eksperymentalną wybranych metod rekomendacji na opisanym poprzednio zbiorze OLX Jobs. Autor wybrał metody znane wcześniej z literatury, które są oparte na różnych podstawach metodycznych (lecz związanych z badaniem powiązań użytkownicy, przedmioty oraz interakcje pomiędzy nimi; w tzw. techniki faktoryzacji macierzy albo wspólnej filtracji). Są to metody SLIM, ALS, RP3Beta, Prod2Vec, LightFM, TopPop – ich uzasadnienie jest napisane dostatecznie przekonująco. Mogę jednak zauważyć, że opis niektórych metod jest zbyt krótki i pełne zrozumienie ich podstaw wymagałoby jednak poszukania dalszych źródeł – więc sądzę, że opis mógłby być obszerniejszy. Ich porównanie eksperymentalne jest wykonane bardzo obszernie i zgodnie z zasadami opisanymi w rozdziale 3cim. Z opisu wynika, że autor wykonał samodzielnie implementacje powyższych metod oraz niezwykle pracowicie wykonał strojenie ich parametrów (choć niektóre opisy w podrozdziale 4.3 nie są bardzo precyzyjne). Przedstawione wyniki porównawczych eksperymentów wskazały na *zdecydowaną przewagę metody RP3Beta* – widać to zwłaszcza w Tabeli 4.3 podsumowującej miary oceny predykcji rekomendowanych przedmiotów oraz dokładniejszą analizę miary Precision@10 – wg. autora najważniejszą z rozważanych miar i najbardziej przydatną w jego badaniach. Zostało to także wsparte wykonaniem testów rangowych Friedmana porównujących rozważane metody. Jest to także widoczne w dalej przedstawionych eksperymentach np. zależności miar od liczby interakcji użytkownik-przedmiot. Troszkę mniej zwycięskie są wyniki miar pokryć – gdzie najlepszą metodą jest Prod2Vec. Ciekawe są wyniki dla średnich wzajemnych rekomendacji pomiędzy metodami. Na podstawie analizy wielu z powyżej omawianych miar autor zdecydował się na przeprowadzenie oceny online testu A/B dla dwóch różnych metod /ALS i RP3Beta/ - na bardzo dużej liczbie użytkowników pokazując, że zastąpienie metody rekomendacji ALS poprzez metodę RP3Beta pozwoliło (około 20%) zwiększyć liczbę osób odpowiadających na ofertę pracy, co ma duże znaczenie dla przedsiębiorstwa OLX oraz ostatecznego wdrożenia. Ponadto tak obszerne studia porównawcze mają dużą wartość poznawczą i

stanowią podstawę do wyboru metody RP3Beta do dalszych, już bardziej badawczych celów rozprawy doktorskiej.

Kolejne rozdziały są w mojej opinii najważniejsze z uwagi na cele naukowe postawione we wstępie recenzowanej rozprawy doktorskiej. Rozdziały 5 oraz 6 prezentują własne pomysły pana mgr Roberta Kwiecińskiego na uogólnienie metody RP3Beta na inne warunki wypracowywania rekomendacji, a rozdział 7 dmy prezentuje doświadczenia z adaptacji grafowych sieci neuronowych do rozważanego problemu.

I tak rozdział 5ty dotyczy budowania rekomendacji w czasie rzeczywistym (RP3Beta i inne powyższe modele są uruchamiane wsadowo na pełnych danych i nie powinny być uczone ponownie zbyt często z uwagi na duże koszty obliczeniowe). Taka rozszerzona wersja dotyczy rekomendacji aktualnych danych na stronie ogłoszeniowej, gdzie można uwzględnić niedawne interakcje użytkowników, co w konsekwencji powinno prowadzić do bardziej spersonalizowanych i aktualnych rekomendacji, zwłaszcza jeśli zmieniają się w czasie preferencje użytkownika – patrz dyskusja motywacyjna na str. 88. W konsekwencji doktorant zaproponował rozwinięcie metody RP3Beta do RP3Beta Real time, które wykorzystuje modyfikacje mnożenia macierzy (patrz formuła 5.1 w rozdziale 5.1), gdzie można zmodyfikować utworzenie reprezentacji użytkownika (pierwszy element tej formuły) tak aby uwzględniała ostatnie interakcje. Z opisu przedstawionego przez autora widać, że konieczne było także zmodyfikowanie samej macierzy A (obliczanej w trybie wsadowym), po to aby rozważać inną wielkość wartości w macierzy – co doprowadzi do obniżenia kosztów obliczeniowych przy obliczeniu rekomendacji w czasie rzeczywistym (tutaj analiza tego ciekawego pomysłu wymaga jednak zagłębienia do wcześniejszego opisu metody RP3Beta + uwag o nim w kolejnym rozdziale, więc mogła być też w tym rozdziale dokładniej przedstawiona). Doktorant przedstawił w rozdziale 5.3 także na dość ogólnym poziomie zarys architektury baz danych do implementacji tego pomysłu. Następnie podsumował wyniki testów online, które pokazują przewagą nowego rozwiązania RP3Beta Real time nad podstawowym RP3Beta / w obu przypadkach w połączeniu z modelem filtrowania opartym na treściach ofert (tzw. Elasticsearch). Niewątpliwie ten rozdział pokazuje pomysłowość doktoranta w poszukiwaniu nowych propozycji metod rekomendacyjnych oraz wysiłek w ocenę i wdrożenie takich rozwiązań w przedsiębiorstwie OLX zlecającym doktorat wdrożeniowy.

Rozdział 6ty dokumentuje wysiłek pana mgr Roberta Kwiecińskiego w poszukiwaniu innego rozwinięcia modelu RP3Beta, który ma pozwalać na rozszerzenie cech interakcji oraz cech użytkowników i przedmiotów. Pozwala on także na optymalizację zwiększonej liczby parametrów modelu. Zaproponowany model P3LTR to silniejsze i bardziej nowatorskie uogólnienie niż przedstawione w poprzednim rozdziale, w tym o możliwości wykorzystania bogatszych informacji o typie, częstotliwości i czasie interakcji, pełniejszego zamodelowania relacji sąsiedztwa (użytkownicy, przedmioty) w procesie generowania sąsiedztwa. W opisie przedstawionym w podrozdziale 6.1 widać, że wymagało to zaprojektowania nowego sposobu uczenia tego modelu z odpowiednią funkcją straty. Doktorant także syntetycznie przedstawił w podrozdziale 6.2 inne cechy charakterystyczne / zalety proponowanego modelu P3LTR. Możliwe jest także wykorzystanie rozwiązań zaproponowanych w rozdziale 5tym do generowania rekomendacji w czasie rzeczywistym poprzez analogiczne dwu - etapowe obliczenie macierzy. Pokazano też warunki, kiedy nowy model P3LTR sprowadzi się do modelu RP3Beta. Według opisu autora generowanie rekomendacji nie jest mocno kosztowniejsze obliczeniowo niż poprzednio rozważany model RP3Beta, co jest niewątpliwą zaletą. Przedstawione wyniki eksperymentów obliczeniowych (wykonanych podobnie jak w poprzednich rozdziałach) wskazują, że nowa propozycja jest lepsza niż model RP3Beta dla większości z badanych miar oceny oraz różnice są statystycznie znaczące (patrz podrozdział 6.3.3).

Rozdział 7 podsumowuje dość szeroko zakrojone wyniki badań doktoranta nad wykorzystaniem grafowych sieci neuronowych w rozważanym problemie rekomendacji ofert pracy w serwisie OLX. Na początku rozdziału przedstawiono motywacje do takiego kierunku badań, z których najważniejsze wydaje się pełniejsze wykorzystanie struktury grafu w modelu RP3Beta oraz zamodelowanie potencjalnie bogatszej (w różne cechy) reprezentacji użytkowników i przedmiotów (co nie było tak intensywnie zamodelowane we wcześniejszych propozycjach doktoranta). Na początku rozdziału autor omówił budowę znanych sieci grafowych, które mogą być wykorzystane w systemach rekomendacyjnych. Oryginalnym dokonaniem jest zaproponowane podejście grafowego P3GNN, które można zinterpretować jako uogólnienie neuronowo-grafowe dotychczas badanego modelu rekomendacji

RP3Beta, i w konstrukcji którego doktorant zaproponował różne własne propozycje. Jego uczenie wiąże się z doбором funkcji straty – co jest obszernie dyskutowane w tym rozdziale oraz badane eksperymentalnie. Ciekawa jest też koncepcja poszukiwania tzw. trudnych przypadków dla rekomendacji. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów wskazują, że wprowadzony model P3GNN pozwala na osiągnięcie lepszych wartości podstawowych miar oceny niż porównywane literaturowe grafowe sieci neuronowe. Natomiast nie można było zauważyć jego przewagi nad modelem RP3Beta (patrz Tabela 7.4 na str. 138) na najważniejszych miarach oceny, a na innych osiągnął wartości zbliżone. Można się tutaj chyba zgodzić z autorem, który pisze na str 145, że z uwagi na potencjalne lepsze uwzględnianie cech przedmiotów może być on jednak inspiracją do dalszych badań.

Jak widać z opisu pan mgr Robert Kwieciński w sumie przedstawił i eksperymentalnie ocenił trzy różne własne propozycje metod rekomendujących, z których dwie pierwsze mogą uznać jako twórcze rozwinięcie znanego modelu RP3Beta.

Rozprawę kończy rozdział 8, który jest w zasadzie dość zwartym podsumowaniem głównych osiągnięć i pozwala na stwierdzenie, że *wszystkie założone cele tego doktoratu wdrożeniowego zostały pozytywnie zrealizowane.*

Na „plus” trzeba stwierdzić, że tekst rozprawy zawiera także opis skutecznego wdrożenia w przedsiębiorstwie OLX części z badanych metod rekomendacyjnych oraz pokazanie wyników eksperymentalnych wskazujących nie tylko ich przewagę na znanymi metodami z literatury, lecz także zwiększenie odpowiedzi użytkowników serwisu OLX praca na prezentowane ogłoszenia – co jest ewidentną realizacją założonych oczekiwań biznesowych i **przekonująco pokazuje sukces realizacji takiego doktoratu wdrożeniowego.**

Sam maszynopis jest napisany dość poprawnym językiem polskim (z uwagą krytyczną, iż nadmiernie autor używa sformułowań inspirowanym językiem angielskim, jak np. adresowanie problemu, metryki oceny, itd.). Przedstawienie pojęć jest na ogół czytelne – choć niektóre detale eksperymentów oraz pierwszego przedstawienia metod w rozdziale 4 mogłyby być ciut dokładniej wyjaśnione (powrócę do tego w punkcie 4tym tej recenzji). Bardzo często jest widoczna wiedza autora na temat detali systemów rekomendacyjnych i specyfiki zastosowania w serwisach ogłoszeniowych firmy OLX. Ciekawa jest też spójna konstrukcja rozdziałów 5-7, gdzie autor rozpoczyna tekst od prezentacji celów badawczych, motywacji do wybranego uogólnienia często mocno osadzonego w specyfice badanych systemów ogłoszeniowych, własną propozycję metody (mniej lub dokładniej opisaną z matematycznego punktu widzenia), jej na ogół bardzo obszernie opisaną ocenę eksperymentalną z wieloma zestawieniami tabelarycznymi, częściowo wspartą analizą statystyczną (z użyciem testów statystycznych porównujących istotności różnic miar badanych metod) oraz zwarte podsumowanie głównych rezultatów i cech charakterystycznych proponowanej metody rekomendacji.

W dalszym punkcie recenzji przechodzę do krótkiej oceny głównych osiągnięć pana mgra Roberta Kwiecińskiego.

3. Osiągnięcia badawcze doktoranta

W mojej opinii recenzowana rozprawa pokazuje przynajmniej cztery znaczące osiągnięcia badawcze pana mgra Roberta Kwiecińskiego w zakresie nowych rozwiązań rekomendacji dla ogłoszeń dostępnych w serwisach internetowych wykorzystujących zasadę wspólnej filtracji. Za najważniejsze z nich uważam rozszerzenia modelu rekomendacyjnego RP3Beta:

1. Pierwsze z nich, nazwane RP3Beta real time, zaprojektowano dla udzielania rekomendacji w trybie rzeczywistym uwzględniającego interakcje pomiędzy użytkownikami a przedmiotami wykonane po ostatnim wsadowym obliczeniu. Główny oryginalny pomysł opiera się na dwuetapowym obliczeniu macierzy dla wyznaczenia rekomendacji, gdzie zmodyfikowano utworzenie reprezentacji użytkownika (odpowiedni wektor macierzy $P(1)$), tak aby uwzględniała ostatnie interakcje użytkownika) oraz ograniczono wybrane elementy macierzy A obliczanej w trybie wsadowym.
2. Wprowadzanie oryginalnej wersji metody rekomendacji P3 Learning to Rank (P3LTR), która posiada rozszerzony zestaw parametrów do optymalizacji w trakcie uczenia modelu pozwalający na uwzględnienie cech użytkowników i przedmiotów oraz interakcji pomiędzy nimi (w

odróżnieniu od podstawowej wersji RP3Beta możliwe jest uwzględnianie typu, częstotliwości i czasu interakcji), w tym także lepsze wykorzystanie relacji sąsiedztwa w procesie generowania predykcji. Powiązane to jest z odpowiednim uczeniem (algorytm 2 str 107) z trzema możliwymi funkcjami straty, które proponował autor. Pokazano także, że model P3LTR jest uogólnieniem modelu RP3Beta. W mojej ocenie propozycja autorska P3LTR jest bardziej całościowa i zawiera więcej informacji o specyfice rozważanych ogłoszeń niż poprzednie uogólnienie RP3Beta dla predykcji rekomendacji w czasie rzeczywistym.

3. Przeprowadzenie eksperymentalnych ocen propozycji: W rozdziale 5 dokonano oceny online testem A/B na dużej liczbie uczestników, która pokazała przewagę RP3Beta real time nad podstawowym RP3Beta. Ponadto doktorant wykonał wiele eksperymentów offline pokazujących przewagę nowej propozycji P3LTR nad RP3Beta na wielu miarach oceny.
4. Ponadto ciekawe jest badanie możliwości wykorzystania grafowych sieci neuronowych w rozważanych systemach rekomendacyjnych, które mogą tworzyć i przetwarzać rozszerzoną reprezentację wektorową wierzchołków grafu. Po dość ciekawej analizie stosowanych już modeli sieci, np. LightGCN, GraphSAGE lub GAT, autor zaproponował nowy model P3GNN, dla którego badał także różne funkcje straty i wprowadził własną metodę doboru tzw. trudnych przykładów w fazie uczenia sieci. Obecnie przedstawione wyniki eksperymentów pokazują przewagę wprowadzonego przez autora modelu P3GNN nad innymi rozważanymi sieciami grafowymi. Jednak nie można zauważyć jego przewagi nad podstawowym modelem RP3Beta – co nie wyklucza ewentualnych dalszych prac nad rozszerzeniem modelu, np. o uwzględnienie dodatkowych cech przedmiotów.

Chciałbym dodać, że wybór metody RP3Beta wynikał z *obszernego i ciekawego eksperymentalnego studium porównawczego* 6-ściu wybranych metod rekomendacji, gdzie model RP3Beta osiągnął najwyższe wartości wszystkich miar dokładności predykcji. Są to bardzo obszerne eksperymenty obejmujące bardzo wiele konkurencyjnych metod, wykonane z punktu widzenia wielu metod. Główne porównania metod są wsparte testami statystycznymi. Podano także rozszerzenia eksperymentów na zbadanie dokładności predykcji w zależności od liczby interakcji. Ciekawe są także oceny miar pokrycia przedmiotów oraz podobieństwa rekomendacji pomiędzy porównywanymi metodami. Warto też podkreślić, że dodatkowe eksperymenty wskazały, że właśnie model RP3Beta uzyskiwał bardzo dobre niskie wartości czasu uczenia modelu i generowania rekomendacji, choć przy konieczności wykorzystania relatywnie dużo pamięci systemu komputerowego.

Powyżej omawiane eksperymenty, także dla oceny wprowadzanych nowych metod zostały wykonane na *przygotowanym specjalnie zbiorze danych ogłoszeń o pracę* (OLX Job Interactions). Jest on większy niż wcześniej dostępnych publicznie zbiorów danych wykorzystywanych do uczenia modeli rekomendacji (patrz zestawienia w Tabeli 3.2 w rozdziale 3im) oraz posiadający większą liczbę interakcji o bogatszych typach. Wartością dodatkową jest upublicznienie go dla środowiska badawczego na popularnej platformie Kaggle. Jak sam doktorant podał był on już wielokrotnie pobrany lub wyświetlany, co świadczy o zainteresowaniu tym zbiorem.

Niezwykle ważnym i godnym docenienia (z uwagi na specyfikę tego doktoratu wdrożeniowego) jest udział doktoranta w autentycznym rozwoju systemów rekomendacyjnych dla kategorii ogłoszeń o pracę w środowisku biznesowym przedsiębiorstwa OLX – jest to dokładnie opisane w rozdziale 1wszych (patrz też zestawienie w Tabeli 1.1. na str 26tej). W szczególności jest to związane z oceną skuteczności różnych modeli i decyzją o wdrażaniu modelu RP3Beta, który był też intensywnie badany naukowo i rozwijany przez doktoranta. Jedno z rozszerzeń – tj. RP3Beta real time zostało także wdrożone w przedsiębiorstwie OLX. Jak pisze sam doktorant w paru miejscach maszynopisu wskutek wprowadzania powyższych systemów rekomendacyjnych (współpracujących z innymi wdrożonymi rozwiązaniami) zaobserwowano w pierwszym kwartale 2023 roku przyrost około 5 milionów odpowiedzi jako następstwo udzielonych rekomendacji – co jest sukcesem oraz znakomitą realizacją założeń tego doktoratu.

Pomimo intensywnej pracy w części wdrożeniowej pan mgr Robert Kwieciński jest także współautorem 3 prac (artykułów lub wystąpień konferencyjnych), czego także oczekujemy w rezultacie prowadzenia badań naukowych w ramach doktoratu.

Podsumowując, omawiane osiągnięcia pozwalają uznać, że pan mgr Robert Kwieciński zrealizował wszystkie cele rozprawy postawione w punkcie 1.4 wstępu maszynopisu.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Pomimo wielu interesujących propozycji można rozważać pewne uwagi krytyczne do treści rozprawy oraz pytania o charakterze dyskusji polemicznej z autorem:

- Eksperymentalne oceny nowo wprowadzonych metod rekomendacyjnych zostały przeprowadzone porównując konkretną propozycję vs. podstawowe metody, w tym głównie RP3Beta (patrz kolejne rozdziały 5, 6 i 7dmy). Niestety nie dostrzegam bezpośrednich porównań najlepszych wersji proponowanych metod pomiędzy sobą, to jest głównie P3LTR z RP3Beta real time – co moim zdaniem byłoby ciekawe.
- Wyniki oceny eksperymentalnej nowych propozycji metod są ukierunkowane na miary predykcji oraz pokrycie. W odróżnieniu od rozdziału 4tego nie podano pomiarów wydajnościowych (czasu oraz pamięci) – co wydaje się być interesujące dla rozważanych rozmiarów danych. Wprawdzie w rozdziale 6tym jest komentarz, że metoda P3LTR jest wydajna (patrz strona 109), ale nie jest to wsparte wynikami eksperymentalnymi.
- Można też sformułować pytanie jak kosztowne w porównaniu do P3LTR jest uczenie rozważanych grafowych sieci neuronowych – czego nie odnajduję w maszynopisie.
- W przypadku nowo- zaproponowanej sieci P3GNN brakuje mi głębszej dyskusji, które jej elementy mogą wpływać na wyniki, to znaczy, dlaczego wyniki eksperymentalne i porównanie z podstawową metodą RP3Beta nie doprowadziło do lepszych wyników rozważanych miar oceny.
- Pomimo, że maszynopis w ogólności jest dobrze i czytelnie napisany – trochę zagadnień mogło być lepiej wyjaśnione i uzasadnione. I tak:
 - Str 72 czy poza doświadczeniem wdrożeniowym jest bardziej merytoryczne uzasadnienie do wyboru $k=10$ dla miary Precision@10; dlaczego chociaż poznawczo nie sprawdzono innej wartości liczby k analizowanych rekomendacji?
 - Str 76 w przypadku użycia testu Friedmana – nie jest precyzyjnie wyjaśnione co z obliczeń jest wybrane jako N do obserwacji, po których porównuje się modele.
 - Stosowaną w kilku miejscach eksperymentów Bayesowską optymalizację hiperparametrów powinno się ciut dokładniej wyjaśnić i wstawić odniesienie do źródeł literaturowych.
 - Opis przekształceń elementów macierzy przedstawiony w rozdziale 5.2 jest lepiej zrozumiały dopiero po analizie metody RP3Beta opisanąj dokładniej w rozdziale 6tym – można było tutaj być bardziej dydaktycznym w opisie.
 - Str 95-96 – autor odnosi się do miar podobieństwa, lecz podaje wyłącznie standardową miarę cosinusową = można było przedstawić mocniejsze uzasadnienie tego wyboru i komentarz do ew. innych miar podobieństwa.
 - Str 97 – w ocenie online odniesiono się do modelu filtrowania Elasticsearch, który poza wcześniejszym wspomnieniem w opisie kolejnych wdżeń w OLX nie został nigdzie opisany w maszynopisie. Powinno się także w rozdziale 5.4 podać uzasadnienie jego wyboru do testu A/B.
 - Str 103 – dość skomplikowana formuła przypisywania wartości do krawędzi (tj. wzór 6.2) mógł mieć podane uzasadnienie, dlaczego taka akurat postać – niektóre z parametrów są wprawdzie skomentowane w rozdziale 6.1.2 ale sama konstrukcja formuły nie jest.
- W tekście nie ma za dużo literówek, lecz na str 69 jest chyba błąd w formule na wartość przypisaną do danej ścieżki (ostatni element nie odnosi się chyba do przedmiotu i lecz samego i ? Ponadto w niektórych sformułowaniach autor nadmiernie używa tzw. kalek językowych ze wyrażenie w języku angielskim, które w rzeczywistości mają polskie odpowiedniki.
- Rozdział podsumowujący (czyli rozdział 8) jest bardziej podsumowaniem osiągnięć rozprawy (czyli rodzajem streszczenia), lecz brakuje mi szerszej dyskusji ograniczeń proponowanych metod i kierunków dalszych badań

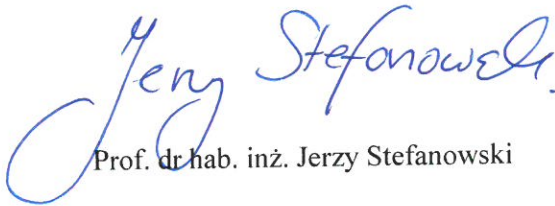
Mam nadzieję, że doktorant będzie mógł się odnieść do moich pytań w dyskusji podczas obrony.

5. Konkluzja końcowa

Podsumowując z pełnym przekonaniem uważam, że przedstawiona rozprawa charakteryzuje się dobrym poziomem merytorycznym i zawiera interesujące rezultaty badawcze w zakresie rozwiązań dla systemów rekomendacji ogłoszeń elektronicznych wykorzystujących modele rekomendacyjne oparte na paradygmacie wspólnej filtracji. Poprzez propozycje autorskich rozszerzeń lub propozycji nowych metod rekomendacji oraz obszerne badania eksperymentalne p. mgr Robert Kwieciński wniósł własny „wkład” badawczy do tej tematyki. W mojej opinii doktorant wykazał się umiejętnościami prowadzenia badań naukowych, rozwiązywania problemów oraz pracowitością.

Ponadto chciałbym podkreślić, że doktorantowi udało się z powodzeniem zrealizować „modelowe” oczekiwania wobec doktoratu wdrożeniowego w zakresie współpracy z przedsiębiorstwem OLX oraz osobistym udziałem we wdrożeniu do praktyki części z badanych systemów rekomendacyjnych.

Dlatego uważam, że rozprawa pana mgra Roberta Kwiecińskiego spełnia warunki stawiane przez ustawę prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w odniesieniu do rozpraw doktorskich i może być dopuszczona do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Jerzy Stefanowski