

Warszawa, 25.11.2022

prof. dr hab. inż. Mieczysław A. Kłopotek
profesor zwyczajny PAN
Instytut Podstaw informatyki
Polskiej Akademii Nauk
w Warszawie

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Malinowskiego
pt.: “Algorytm rekomendacji bazujący na sesjach rekomendacji działający na
podstawie zachowań użytkowników oraz atrybutów obiektów w systemie e-
commerce.”**

1. Uwagi wstępne

Niniejsza recenzja powstała na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie z dnia 8 listopada 2022 r.

Przedmiotowa rozprawa dotyczy problemów powszechnie stosowanych dziś w praktyce biznesowej systemów rekomendujących, w szczególności dokonywania wystarczająco dobrych rekomendacji w akceptowalnym czasie. Autor proponuje algorytm spełniający te kryteria. Praca ma charakter konceptualno-doświadczalny.

Przedłożona praca składa się z 9 rozdziałów (o objętości ok.130 stron) oraz bibliografii obejmującej 112 pozycji, w tym 4 prace autorstwa i 3 prace ze współautorstwem Doktoranta. Do literatury mam uwagę, iż opis bibliograficzny jest często niekompletny, np. w wypadku książek nie jest podawane wydawnictwo (patrz np. poz. 69, 74).

Rozdział pierwszy uzasadnia potrzebę opracowania algorytmów rekomendacji do potrzeb małych i średnich przedsiębiorstw. Wskazuje na mankamenty w tym aspekcie typowych podejść do rekomendacji.

Rozdział drugi wprowadza w zagadnienia związane z internetowym wymiarem interakcji z klientami i potencjalnymi klientami przedsiębiorstw., w szczególności miar skuteczności działań w Internecie, gromadzeniu i przechowywaniu informacji o klientach oraz wymaganiami dotyczącymi reaktywności systemów rekomendacji.

Rozdział trzeci przybliży podstawowe znane metody, techniki i technologie rekomendacji oraz związane z nimi wymagania i ograniczenia. Przedstawia także stosowane w literaturze (i praktyce biznesowej) miary oceny systemów rekomendacji, zwracając uwagę na to, że nie wszystkie z nich są dostępne dla rzeczywistych systemów rekomendacji, działających w warunkach komercyjnych, np. z uwagi na niemożność obserwacji „alternatywnych światów” czy też sprawę ochrony danych osobowych, zwłaszcza przez świadomych tego użytkowników. W podrozdziale 3.4 Doktorant formułuje w sposób sformalizowany badawcze zagadnienie rekomendacji. Zamiarem Autora jest skonstruowanie skutecznego i użytecznego algorytmu rekomendacji, zwracającego zbiór obiektów o najwyższym stopniu skojarzenia z obiektem aktualnie obserwowanym przez klienta.

Rozdział czwarty poświęcony jest przeglądowi systemów rekomendacji, opartych o tzw. reguły asocjacyjne, które w swej idei najbardziej są podobne do algorytmu proponowanego przez Doktoranta w rozdziale piątym.

Algorytm Autora bazuje na analizie minionych sesji użytkowników (wędrujących po stronie internetowej przedsiębiorstwa), ale nie w sensie ich całej populacji, lecz każdorazowo dla konkretnej rekomendacji rozpatruje się te sesje, które dotyczą obiektów występujących w bieżącej sesji. Jedynymi informacjami zbieranymi z sesji są kliknięcia w linki. Z conceptualnego punktu widzenia sesje są traktowane jako proste grafy dwudzielne. Grafy poszczególnych sesji łączy się po wspólnych obiektach w większy graf. Dodatkowo mogą być wykorzystywane inne grafy opisujące obiekty, np. kategorie obiektów, atrybuty itd. Do celów rekomendacji wyszukuje się ograniczony odległościowo podgraf zawierający obiekt(y) rozpatrywany(e) przez aktualnego użytkownika w aktualnej sesji. Rekomenduje się obiekty o najwyższym stopniu incydencji występujące w takim

podgrafie, nie będące obiektami widzianymi przez użytkownika w bieżącej sesji. W praktyce implementuje się poszukiwanie tego podgrafu jako kwerendy do SQLowej bazy danych, reprezentującej graf sesji. W podrozdziale 5.1.4. Autor przedstawia oszacowanie złożoności obliczeniowej algorytmu. Tu należy poczynić uwagę, iż złożoność w praktyce będzie zależeć od efektywności operacji uznanych przez Autora za bazowe, a w bazach danych wygląda to różnie (np. z uwagi na działania optymalizacyjne). Dodatkowo bazy danych narzucają pewne ograniczenia reprezentacyjne, stąd Autor słusznie w rozdziale 6.2.4. powtórnie szacuje złożoność algorytmu w świetle konkretnie wybranej implementacji.

Rozdział szósty prezentuje implementację algorytmu Autora jak i konkurencyjnego algorytmu reguł asocjacyjnych w ramach bazy danych, przedstawiając szczegóły odwzorowania zarówno grafu sesji jak i koszyków „zakupowych”.

Rozdział siódmy przedstawia wykonane przez Autora badania eksperymentalne własnego algorytmu Autora wraz z jego wersjami jak i algorytmu konkurencyjnego reguł asocjacyjnych. Prezentuje zarówno plan eksperymentów, przyjęte miary oceny jak i wyniki badań. Ocena skuteczności rekomendacji oparta jest na „click through rate” z uwagi na to, że jest to jedyna realnie dostępna miara. Dokonana została też ocena stosowalności w systemach komercji internetowej poprzez badanie czasu reakcji oraz rozrostu bazy danych jak i palety rekomendowanych produktów.

Rozdział ósmy prezentuje propozycje rozwoju algorytmu Doktoranta w kierunku uwzględnienia wag łuków w grafie sesji jak i ograniczenia ahistoryczności tego grafu.

Rozdział dziewiąty stanowi podsumowanie rozprawy oraz wskazuje na dalsze potencjalne kierunki badawcze.

Za własny wkład Autora należy uznać rozdziały 5-8, stanowiące ponad 55% objętości pracy.

2. Dyskusja

Przedłożona praca ma charakter konceptualno-doświadczalny. Autor opracował nowatorski algorytm rekomendacji oraz przeprowadził szereg badań pokazujących, że algorytm odnosi sukcesy rekomendacyjne statystycznie istotnie większe od systemu rekomendacji losowej, konkurencyjne w stosunku do systemu reguł asocjacyjnych, a przy tym o miażdżącej przewadze jeśli chodzi o czas rekomendacji i zajętości pamięci. System reguł asocjacyjnych działał wręcz gorzej niż losowy w aspekcie CTR (click through rate). Warto zauważyć, że Autor prowadził prace badawcze w rzeczywistym środowisku komercyjnym. Zaproponował i zbadał trzy wersje własnego algorytmu o różnym zakresie gromadzonych danych i różniących się stąd skutecznością. Z punktu widzenia niniejszego recenzenta w długofalowym zastosowaniu preferowałoby wersję podstawową, mimo iż druga wersja (w oparciu o atrybuty obiektów), ma dwukrotnie wyższy CTR, gdyż owa wersja ewidentnie zwiększa czas reakcji z upływem czasu.

Autor był zmuszony powtórzyć swe pierwotne badania z uwagi na zaobserwowanie efektów robotów internetowych, których wpływ w kolejnej edycji eksperymentów wyeliminował.

Projekt eksperymentu ma pewne wady konstrukcyjne wpływające na percepcję wyników. Po pierwsze nie wiemy z tekstu pracy, jak konkretnie wyglądał interfejs użytkownika (co dowiadywał się o rekomendowanych obiektach przed kliknięciem) i czy szata graficzna itd. systemu rekomendacji się nie zmieniała w trakcie eksperymentów. Po drugie eksperymenty z różnymi algorytmami wykonywane były w różnych okresach czasu, więc mógł istnieć wpływ efektów sezonowych. Wad tych można by się pozbyć, gdyby eksperymenty prowadzone były jednocześnie (np. z przekierowywaniem sesji do różnych systemów rekomendacji w sposób losowy), ale podejrzewam, że – prócz wymaganej dodatkowej infrastruktury - byłby tu problem techniczny, polegający na tym, że CTR jest generalnie niskie i dzielenie strumienia danych między algorytmy spowodowałoby zatarcie różnic statystycznych. Prosiłbym Autora o komentarz, czy ma inny pomysł na eliminację tej wady eksperymentu.

Wreszcie algorytmy różnią się czasem badania (np. 7.2.1 to 3 tyg., a w 7.2.2. to 2 tygodnie). To może mieć wpływ na ocenę średnich, zwłaszcza, że na ogół CTR rośnie z czasem.

Praca robi wrażenie bardzo starannie i przystępnie napisanej, choć Autor nie ustrzegł się od kilku błędów edycyjnych. Np. zdanie na przełomie stron 18-19 jest niefortunnie sformułowane (słowo „jeśli” - jest niepotrzebne).

Na stronie 20 Autor wymienia zasoby, których można żądać. Lista jest daleka od kompletności, więc fraza „na przykład” by się przydała.

Rysunek 3.5 się „rozjechał” – podpis jest na następnej stronie. Podobnie wykres 7.2. i tabela 7.9.

Pierwsze zdanie w rozdz.3.2.3 „czemu”->”dzięki czemu”.

W rozdziale piątym nie rozumiem, dlaczego jest podrozdział 5.1, skoro nie ma 5.2. Wykres 7.2. ma w podpisie równanie liniowe, ale po przyłożeniu linijki ewidentnie nie jest to linia prosta.

W tekście pracy brak jest na ogół odwołań do zamieszczonych wykresów i tabel.

Przystawione powyżej uwagi nie zmieniają faktu, iż autor opracował i zbadał ciekawe podejście do tworzenia systemów rekomendacji dla małych i średnich przedsiębiorstw. W/w uwagi winny z jednej strony posłużyć Autorowi do opracowania erraty tam, gdzie widać ewidentne błędy, a z drugiej strony przygotować się do dyskusji kwestii, które wydają się być otwarte.

3. Wnioski

Wobec wykazania skuteczności w sensie komercyjnych zastosowań opracowanego algorytmu, mimo wspomnianych niedociągnięć, stwierdzam, że **przedłożona praca spełnia wymogi formalne i zwyczajowe stawiane pracom doktorskim i wobec tego wnoszę o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów przewodu.**

