

Wrocław, 19 lutego 2024 r.

dr hab. inż. Radosław Michalski, prof. PWr
Katedra Sztucznej Inteligencji
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Wrocławska

Recenzja rozprawy doktorskiej

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej opracowana jest na wniosek Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego (uchwała 40/RDN ITiT/2023 z dnia 14 listopada 2023 roku). Recenzja dotyczy rozprawy zatytułowanej „Wykrywanie źródeł fałszywych informacji w sieciach społecznościowych”, która została przygotowana przez mjr. mgr. inż. Damiana Frąszczaka. Promotorem jest dr hab. Ryszard Antkiewicz, prof. WAT, promotorem pomocniczym zaś gen. bryg. dr inż. Mariusz Chmielewski.

1 Wprowadzenie

W recenzowanej rozprawie doktorskiej Doktorant podejmuje zagadnienie wykrywania źródeł fałszywych wiadomości w sieciach społecznych¹. Zagadnienie to należy traktować jako niezwykle istotne, gdyż wojna informacyjna staje się coraz bardziej znaczącym komponentem konfliktów, zarówno jawnie wypowiedzianych, jak też, co ma miejsce coraz częściej, realizacji interesów krajów, które jawnie nie ogłosiły działań wojennych. Wydaje się, że w ostatnich dekadach ten właśnie komponent konfliktów hybrydowych (obejmujących zarówno działania zbrojne, jak i właśnie (dez)informacyjne), nabiera coraz większego znaczenia. Przyczyn ku temu stanowi rzeczy jest wiele, ale w mojej ocenie jednym z bardzo przekonujących powodów jest fakt, że działania (dez)informacyjne polegające na całkowitym fałsyfikowaniu informacji lub manipulowaniu prawdziwą informacją mogą być prowadzone bez ram czasowych, ograniczeń geograficznych oraz w wielu językach. Ma to bardzo istotne przełożenie na adresatów tych działań: nie są to tylko instytucje militarne, ale firmy, organizacje i obywatele, co może prowadzić do destabilizacji w wielu obszarach (gospodarka, porządek publiczny, stosunki międzynarodowe), nie tylko zaś na polu wojskowym. Mając zatem na uwadze wzrastające zagrożenia w sferze informacyjnej, podejmowana przez Doktoranta tematyka jest nie tylko istotna z punktu widzenia wkładu do dyscypliny, ale także ma potencjał wdrożeniowy. O ile to drugie nie jest przedmiotem samej recenzji, pozwalam sobie to podkreślić, gdyż dowodzi to aktualności zagadnienia nie tylko od strony badawczej, ale i wdrożeniowej.

2 Cel badawczy rozprawy

Rozprawa doktorska mjr. mgr. inż. Damiana Frąszczaka w swoim zamyśle ma dostarczyć kompletne rozwiązanie do detekcji źródeł fałszywych informacji w sieciach społecznych.

¹Doktorant używa pojęcia *sieci społecznościowe*, jednak w mojej opinii bardziej adekwatnym określeniem jest *sieć społeczna* (ang. *social network*), gdyż zwyczajowo określa ona zbiór wierzchołków i krawędzi opisujący dowolny system społeczny. Natomiast *portal społecznościowy* (ang. *social networking website*) jest już systemem informatycznym, który pozwala na tworzenie relacji z jego wykorzystaniem i on także jest jednym ze źródeł do budowania *sieci społecznej*. Stąd, unikając określenia *sieć społecznościowa*, będę stosował pojęcia *sieć społeczna* i *portal społecznościowy* zgodnie z przytoczonymi powyżej zwyczajowymi interpretacjami tych terminów.

Falszywych, czyli mijających się z prawdą i mających wprowadzić odbiorcę w błąd. Wiadomości te mogą być elementem kampanii dezinformacyjnej będącej częścią większej operacji lub też próbą uzyskania pożądanego efektu w mniejszej skali. W wielu przypadkach tego typu operacje prowadzone są faktycznie jako element szerszej strategii, bardzo często mającej na celu wpłynięcie nie na jeden konkretny cel (pojedynczego odbiorcę), ale na większą ich liczbę. Tym samym strategię dezinformacyjną rzadko kiedy koncentrują się wokół wybranego węzła portalu społecznościowego, lecz usiłują połączyć metodą celowaną (targetowaną) na wybrane węzły z potencjalnie dużymi zasięgami, które te mogą wygenerować propagując tę informację dalej (zakładając, że w nią uwierzą a nie *zdebunkują*). A zatem – przyjmując ten kierunek – można założyć, że źródeł dezinformacji może być więcej niż jedno, co bardzo często się zdarza [1]. W pewnych przypadkach w wielu miejscach sieci publikowana jest ta sama fałszywa informacja, w innych zaś możliwe jest publikowanie fałszywych informacji dostosowanych bardziej pod konkretnego odbiorcę, którego chcemy przekonać. Przykładem tych drugich technik jest tzw. mikrotargeting, który był najprawdopodobniej użyty w trakcie wyborów prezydenckich w Stanach Zjednoczonych w 2016 roku [2]. Niezależnie od przyjętej techniki, idea kampanii dezinformacyjnych polega na tym, aby z fałszywą informacją dotrzeć do jak najszerszego grona – jednak celem do uzyskania tego efektu jest wpłynięcie na użytkowników portalu społecznościowego, którzy następnie – podobnie do efektu kuli śnieżnej – wykorzystując swoje zasięgi rozpropagują tę informację dalej. A zatem warto podkreślić, że w zdecydowanej większości przypadków powinniśmy spodziewać się sytuacji, w której źródeł fałszywych informacji będzie więcej niż jedno, jednak *a priori* nie wiadomo ile ich konkretnie wystąpi.

W rozprawie Doktorant umiejętnie identyfikuje problem wielu źródeł dezinformacji i to stanowi dla niego wyjście do dalszych rozważań badawczych. Praca zatem w swoim założeniu bazuje na fakcie, że liczba ognisk fałszywych informacji w portalu społecznościowym może być większa niż jedno i liczba ta nie jest z góry znana. Recenzowana rozprawa obejmuje swoim wkładem rozważania nie tylko w zakresie identyfikacji i lokalizacji ognisk propagacji, ale i detekcji źródeł w tychże ogniskach.

Zgodnie z przedstawionymi powyżej wymaganiami stawianymi przed zagadnieniem badawczym, Doktorant poprawnie identyfikuje stojące przed nim zadanie naukowe:

„Opracować efektywną i skuteczną metodę wykrywania źródeł fałszywych informacji w sieciach o dowolnej strukturze, przy założeniu możliwości istnienia wielu źródeł informacji, bez możliwości uzyskania całego grafu propagacji informacji oraz braku konieczności arbitralnego ustalenia liczby źródeł informacji.”

W ślad za zadaniem naukowym definiowana jest hipoteza badawcza mówiąca, że możliwe jest opracowanie metody określonej w powyższym zadaniu naukowym przy wykorzystaniu: (i) efektywnych algorytmów rekonstrukcji grafu propagacji informacji, (ii) efektywnych algorytmów wyznaczania ognisk propagacji, (iii) efektywnych algorytmów wykrywania źródeł informacji w ogniskach propagacji uwzględniając algorytmy zespołowe uczenia maszynowego.

Do weryfikacji postawionej tezy Doktorant określił i zrealizował siedem zadań badawczych obejmujących: analizę literaturową, opracowanie metod rekonstrukcji grafu propagacji, identyfikację ognisk propagacji fałszywych informacji, opracowanie metody selekcji wielu źródeł, jak też użycie technik zespołowych do zwiększenia jakości metod identyfikacji źródeł. W celu przeprowadzenia eksperymentów Doktorant opracował środowisko badawcze do analizy skuteczności opracowanej przez siebie metody wykrywania źródeł fałszywych wiadomości oraz z jego wykorzystaniem zaplanował i przeprowadził eksperymenty mające na celu weryfikację skuteczności opracowanej metody.

Flud

3 Opis i ocena struktury rozprawy doktorskiej

W rozprawie wyróżnić można piętnaście rozdziałów, z czego rozdziały 1–9 są częściami merytorycznymi pracy, zaś rozdziały 10–15 – rozdziałami technicznymi (spisy oznaczeń, rysunków, tabel, bibliografia).

W rozdziale pierwszym oprócz wstępu i motywacji Doktorant formułuje zadanie badawcze, hipotezę rozprawy oraz zadania prowadzące do jej zweryfikowania. Rozdział drugi skupia się na przedstawieniu podstawowych definicji z obszaru sieci społecznych, co z kolei stanowi formalny fundament do dalszej konstrukcji zadania naukowego. W rozdziale trzecim przedstawiono problem identyfikacji źródeł fałszywych informacji i wykonano analizę dostępnych metod *state of the art*.

Rozdziały od czwartego do ósmego można traktować jako rozdziały o największym autorskim wkładzie w rozważanym problemie (rzecz jasna nie deprecjonując wkładu w innych częściach rozprawy). W rozdziale czwartym opisano opracowane środowisko symulacyjno-obliczeniowe RPaSDT, które może zostać wykorzystane także w innych zastosowaniach niż tylko identyfikacja źródeł dezinformacji. Kolejny rozdział to autorska metoda identyfikacji ognisk propagacji stanowiąca trzon naukowy rozprawy. Metoda ta uzupełniana jest przez – również autorską – metodę rekonstrukcji sieci propagacji wykorzystujących strukturalną analizę sieci społecznych. Kolejny autorski element rozprawy przedstawiony jest w rozdziale siódmym, gdzie zaproponowano metodę identyfikacji wielu źródeł w ramach wyznaczonych ognisk propagacji. W tym samym rozdziale zbadano zespoły klasyfikatorów w tym samym zadaniu oraz przebadano jak zmienia się efektywność metody w zależności od dysponowania wiedzą *a priori*. Synteza opracowanych metod będąca jednocześnie demonstracją przypadku użycia to rozdział ósmy pracy, dziewiąty rozdział zawiera zaś podsumowanie rozprawy wraz z kierunkami dalszego rozwoju.

W mojej ocenie struktura rozprawy na pewnym poziomie ogólności doktorskiej zaplanowana jest dobrze i w sposób jasny czytelnik może na poziomie tej struktury wydzielić części przeglądowe od autorskich. Jednocześnie mam pewne zastrzeżenia dotyczące samego sposobu opracowania niektórych rozdziałów oraz ich kolejności w pracy, co z kolei przekłada się na mniej czytelny odbiór osiągnięcia naukowego Doktoranta.

Jeśli chodzi o drugi rozdział, w którym Doktorant przedstawia definicje oraz miary sieci społecznych, jestem zdania, że rozdział ten jest zbyt szczegółowy względem podejmowanej w rozprawie tematyki badawczej. Nie wszystkie przedstawione definicje wykorzystywane są w dalszej części pracy, co czyni ten rozdział zbyt szerokim w stosunku do podejmowanej problematyki. Mając na uwadze fakt, że istnieje kilka bardzo dobrych pozycji wprowadzających do tej tematyki [3, 4], myślę, że autor rozprawy mógł zawęzić wprowadzone definicje i miary tylko do takich, które wykorzystywane są później w rozdziałach badawczych. Uwagę tę, nie będącą jednak krytyką całego osiągnięcia naukowego, nawet pozwolę sobie rozszerzyć – w mojej ocenie konstrukcja zawartości niektórych rozdziałów mimo prawidłowego podziału na przeglądowe i autorskie, utrudnia uchwycenie pełni proponowanych rozwiązań. Poniżej postaram się przedstawić te zastrzeżenia na przykładzie kolejnych rozdziałów rozprawy, przy czym uwaga ta dotyczy głównie rozdziałów od piątego do ósmego. Dla porządku jednak przedstawię swoje uwagi zgodnie z kolejnością rozdziałów w rozprawie.

Jestem zdania, że rozdział wprowadzający środowisko symulacyjno-obliczeniowe RPaSDT mógłby znaleźć się nieco później w rozprawie. Wynika to z faktu, że czytelnik, który zapoznał się z rozdziałem przeglądowym (rozdział trzeci), mógłby płynnie przejść do poznania opracowanych metod identyfikacji i detekcji, natomiast w obecnym układzie pracy zagadnienie to oddzielone jest wprowadzeniem do opracowanego środowiska. W mojej ocenie obecna lokalizacja wydaje się najlepsza mając na uwadze jak zostały skonstruowane rozdziały 5–8, jednak poniżej przedstawiam swoje zastrzeżenia do konstrukcji tych rozdziałów i wydaje mi się, że ich przemodelowanie także doprowadziłoby do lepszego

umiejscowienia w rozprawie opisu środowiska RPaSDT.

Rozdziały od piątego do ósmego stanowią główne osiągnięcie naukowe Doktoranta, którego ocenę przedstawiam w kolejnej części recenzji. Jednak na tym etapie chciałbym zauważyć, że o ile ich kolejność jak i merytoryczna zawartość są poprawne, sposób ich wewnętrznej konstrukcji uważam za rozmywający osiągnięcie naukowe. Moja opinia w największym stopniu dotyczy rozdziału piątego, jednak w kolejnych rozdziałach wybrzmiewa (ale w mniejszym lub większym stopniu) podobna filozofia konstrukcyjna. Jednak pozwolę sobie przedstawić tę rodzinę mankamentów na przykładzie rozdziału piątego.

W piątym rozdziale autor pochyła się nad zagadnieniem identyfikacji ognisk fałszywych wiadomości. We wstępie do rozdziału (nienumerowanym) opisano problem, w podrozdziale 5.1 przedstawiono obecne rozwiązania podziału sieci, w podrozdziale 5.3 przeprowadzono badania symulacyjne istniejących metod. Kolejny, bardzo istotny podrozdział, to podrozdział 5.4, w którym Doktorant wprowadza autorską metodę BLOCD (ang. *balanced leadership oriented community detection*). Na początku metoda opisana jest słownie, później jako ciąg algorytmów, następnie zaś przedstawiono jej działanie na sieci Krackhardta. W tym samym podrozdziale dokonano ewaluacji eksperymentalnej zaproponowanej metody BLOCD porównując ją z metodami znanymi z literatury. Podrozdział 5.5 to analiza złożoności obliczeniowej i po nim rozdział kończy się bez podsumowania.

Wydaje mi się, że właściwszym byłoby tutaj dokonanie kilku zmian, które mogłyby pomóc w zwiększeniu czytelności. Przykładowo, podrozdział 5.1 mógłby stanowić rozszerzenie trzeciego rozdziału, przez co nie odciągałby czytelnika od głównego osiągnięcia Doktoranta w tym rozdziale, tj. metody BLOCD. Ponadto, podział rozdziału na badania istniejących metod a następnie badania BLOCD i istniejących metod utrudniają zrozumienie uzyskanych wyników i ponownie usuwają w cień samą metodę. Myślę też, że autor rozprawy mógłby zastanowić się nad wyróżnieniem najlepszych wyników w tabelach oraz rozważyć które tabele i wykresy w rozprawie są kluczowe – dodatkowe zaś przenieść do dodatku do rozprawy (praca zawiera 110 rysunków i 34 tabele). Myślę, że być może konstrukcja rozprawy, w której wszystkie opracowane metody przedstawiane są wcześniej (w jednym rozdziale), następnie zaś pojawia się rozdział z zaplanowaniem eksperymentów, kolejny rozdział z opisaniem stworzonego środowiska eksperymentalnego i – wreszcie – z wynikami eksperymentalnymi i ich szeroką interpretacją i dyskusją, mogłaby być odrobinię właściwsza. Rzuca się także w oczy brak podsumowań od piątego do ósmego, co także utrudnia zrozumienie wkładu autorskiego w każdy z nich oraz ogólny przepływ między kolejnymi częściami rozprawy.

Mimo faktu, że powyższa uwaga nie jest krytyczna z punktu widzenia oceny merytorycznej osiągnięcia naukowego Doktoranta (co następuje poniżej), prosiłbym o przedstawienie motywacji takiego zorganizowania rozprawy doktorskiej, gdyż pozwoliłoby mi to lepiej zrozumieć filozofię stojącą za obecnym układem pracy.

Jeśli zaś chodzi o językową stronę pracy oraz jej skład i elementy formalne, nie mam najmniejszych zastrzeżeń.

4 Ocena merytoryczna osiągnięcia naukowego

Jak przedstawiono we wstępie do niniejszej recenzji, praca podejmuje bardzo istotne zagadnienie związane z propagacją fałszywych informacji w portalach społecznościowych. Autor umiejętnie identyfikuje problem (wiele źródeł oraz ich nieznana *a priori* liczba) i stawia hipotezę badawczą, którą w rozprawie stara się potwierdzić korzystając z opracowanych przez siebie technik rekonstrukcji grafu propagacji, identyfikacji ognisk oraz detekcji źródeł. Dodatkowym wartościowym elementem rozprawy jest opracowane środo-

wisko eksperymentalne RPaSDT, którego zastosowanie nie zamyka się tylko i wyłącznie w obszarze propagacji dezinformacji, ale może być zastosowane np. w śledzeniu epidemii lub propagacji wpływu społecznego. Poniżej przedstawiam recenzję poszczególnych autorskich komponentów rozprawy doktorskiej, rozpoczynając jednak (przeciwnie niż w rozprawie) od komponentów naukowych (opracowane metody), kończąc zaś na technicznym (środowisko symulacyjno-obliczeniowe).

W mojej ocenie pierwszym istotnym osiągnięciem Doktoranta jest sprowadzenie zadania podziału sieci do zadania identyfikacji ognisk propagacji. Co do zasady nie ma zasadniczych różnic w formalizmie samego problemu, jednak metody wyznaczenia ognisk propagacji wykorzystują inne właściwości sieci. A zatem ten element można potraktować jako istotny fundament dalszych prac badawczych.

Po przeanalizowaniu stanu wiedzy i eksperymentalnym przebadaniu istniejących algorytmów podziału sieci Doktorant przeszedł do opracowania własnej metody – BLOCD. Metoda ta – uzyskując wyniki lepsze od metod alternatywnych – rozszerza stan wiedzy w dyscyplinie ITiT i stanowi punkt wyjścia do działań wdrożeniowych. Istotne jest to, że Doktorant także w analizie złożoności obliczeniowej wykazał jej efektywność, co jest istotne przy dużych grafach.

Drugim nowatorskim elementem jest metoda SHNI wyznaczająca brakujące elementy w (niepełnym) grafie propagacji. Jej największą zaletą jest bardzo niska złożoność obliczeniowa i dobre wyniki, co stawia ją bardzo wysoko w rankingu metod, w szczególności biorąc pod uwagę właśnie proporcję jakości do złożoności.

Ważnym elementem rozprawy doktorskiej jest zaproponowanie i zbadanie podejścia bazującego na złożeniach klasyfikatorów (ang. *ensemble learning*). Tutaj Doktorant nie zaproponował nowej techniki złożenia modeli, lecz zaproponował użycie złożenia do przedmiotowego problemu. Tym samym otwarto ścieżkę do dalszej eksploracji tego zagadnienia i proponowania nowych ensembli.

Rozprawa doktorska zawiera jeszcze kilka elementów autorskich w obszarze naukowym, które są warte podkreślenia. W mojej ocenie są to: (i) zaproponowanie innego spojrzenia na identyfikację źródeł w ognisku propagacji (możliwość identyfikacji kilku źródeł w jednym ognisku propagacji), (ii) identyfikacja źródeł fałszywych propagacji z wykorzystaniem estymatora *a posteriori* – dzięki temu możliwe jest częściowe zredukowanie błędów wynikających z dysponowania niepełną wiedzą dot. propagacji, (iii) przeprowadzenie badań wielu metod SOTA dot. identyfikacji źródeł propagacji.

W mojej ocenie zaproponowane metody po pierwsze budują spójne rozwiązanie problemu sformułowanego we wstępie i tytule rozprawy doktorskiej, tj. wykrywanie źródeł fałszywych wiadomości w sieciach społecznych, co zresztą zademonstrowano w rozdziale ósmym. Po drugie, każda z autorskich metod (a w szczególności BLOCD oraz SHNI) osiąga satysfakcjonujące wyniki przy umiarkowanej złożoności obliczeniowej. Dodatkowo, metodyczne uporządkowanie problemu (identyfikacja ognisk, detekcja źródeł, uzupełnianie grafów propagacji) także w mojej ocenie przyczynia się do budowy solidnego fundamentu naukowego w dyscyplinie ITiT w tym obszarze i jest to niewątpliwie dowód na dobry warsztat naukowy kandydata do stopnia doktora.

Dodatkowo wskazać należy opracowanie środowiska obliczeniowo-eksperymentalnego RPaSDT, które jest komponentem programistycznym, ale mającym duże przełożenie na ułatwienie badań naukowych w tej tematyce. Istotne jest to, że środowisko to zostało opublikowane i każdy może z niego korzystać.

Z punktu widzenia informacji uzupełniających rozprawę dokorską, mjr mgr inż. Damian Frąszczak opublikował w przedmiotowej tematyce trzy prace, tj. [5, 6, 7]. W pierwszej z nich analizowane jest rozpowszechnianie plotek w różnych modelach sieci społecznych. Druga zaś, z czasopisma SoftwareX, dokumentuje środowisko RPaSDT. Trzecia, będąca niejako współbieżna z niektórymi głównymi myślami doktoratu, opublikowana została w

czasopiśmie Social Networks Analysis and Mining (bardzo dobrym w dziedzinie analizy sieci społecznych). Wydaje się, że rozprawa doktorska ma jeszcze pewien potencjał publikacyjny, którego nie wykorzystano (lub może prace są w recenzji), jednak na obecnym etapie oceny publikacje te można uznać dobrym podparciem zagadnień poruszanych w doktoracie. Nie ukrywam jednak, że z pewnym zaskoczeniem przyjąłem brak promotora i promotora pomocniczego wśród współautorów w/w publikacji (publikacje jednoautorskie).

Podsumowując tę część recenzji, wkład merytoryczny rozprawy doktorskiej uznaję jako spełniający wymagania stawiane pracom doktorskim. W kolejnej części proszę kandydata o ustosunkowanie się do kilku kwestii, które przestawiam jako pytania bądź dyskusję.

5 Pytania i kwestie dyskusyjne

Poniższe pytania i kwestie dyskusyjne nie obniżają ogólnie dobrej oceny rozprawy doktorskiej, jednak prosiłbym Doktoranta o przedstawienie swojego stanowiska w przedmiotowych zagadnieniach, co pozwoli na lepsze zrozumienie umotywowania niektórych decyzji podjętych w rozprawie.

- Rozprawa w swoich założeniach koncentruje się na wykrywaniu źródeł fałszywych wiadomości korzystając już z grafów propagacji (nawet tylko częściowych). Jak wiadomo, w portalach społecznościowych niejednokrotnie nie jest to jedyny sposób identyfikacji złośliwych (ang. *malicious*) aktorów. Istnieje cały zestaw publikacji pozwalający na identyfikację potencjalnych źródeł propagacji fałszywych informacji na podstawie zachowania aktorów w sieci, np. [8]. Wykorzystanie tego podejścia (może w postaci hybrydy) być może pozwoliłoby na osiągnięcie jeszcze lepszych wyników. Stąd chciałbym zapytać dlaczego pominięto aspekt analizy aktorów w sieci.
- Drugie pytanie, poniekąd zbliżone, dotyczy treści wiadomości. Istnieje bardzo duży potencjał do wykrywania źródeł fałszywych wiadomości w tym jak zmieniała się treść lub w jakim dystansie dana wiadomość jest do rozkładu treści innych wiadomości (np. z wykorzystaniem technik NLP). Jakie argumenty stały za pominięciem tego obszaru?
- Czy zaproponowana rodzina metod byłaby w stanie w dalszym ciągu poprawnie identyfikować ogniska i źródła dezinformacji w sytuacji gdy umieszczanie jej w sieci społecznej nie nastąpiłoby w jednym momencie? Doprecyzowując, chodzi o sytuację gdy drzewa propagacji fałszywej informacji miałyby różny moment początkowy (np. w jednym klastrze sieci propagacja zaczęła się w czasie t_0 , w drugim zaś w t_1 , gdzie $t_1 \gg t_0$).
- W pracy w niewielkim stopniu pochyłono się nad ograniczeniami zaproponowanych metod. Czy Doktorant widzi jakieś ich ograniczenia (inne niż rozmiar grafów propagacji)? Jeśli tak, jakie one są?

Dodatkowo, prosiłbym Doktoranta o ustosunkowanie się do uwagi z sekcji trzeciej niniejszej recenzji dotyczącej przyjętego układu rozdziałów pracy.

6 Konkluzja końcowa

Przedstawioną rozprawę doktorską mjr. mgr. inż. Damiana Frąszczaka oceniam pozytywnie. Problemy badawcze, jakie przed sobą postawił Doktorant są ambitne i aktualne, a zaproponowane sposoby ich rozwiązań uznaję jako interesujące oraz wnoszące wkład do dyscypliny naukowej *informatyka techniczna i telekomunikacja*. Widzę w nich także pewien potencjał aplikacyjny. Sama rozprawa charakteryzuje się dobrym poziomem merytorycznym i zawiera rezultaty potwierdzające użyteczność i praktyczność zaproponowanych metod. W mojej ocenie Doktorant wykazał się umiejętnościami prowadzenia badań naukowych i osiągnął wszystkie postawione w rozprawie cele.

W związku z powyższym rozprawę oceniam jako spełniającą wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mjr. mgr. inż. Damiana Frąszczaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.



dr hab. inż. Radosław Michalski

Literatura

- [1] Edson C Tandoc Jr. Tools of disinformation: How fake news gets to deceive. In *Disinformation and Fake News*, pages 35–46. Springer, 2020.
- [2] Ken Ward. Social networks, the 2016 us presidential election, and kantian ethics: applying the categorical imperative to cambridge analytica’s behavioral microtargeting. *Journal of media ethics*, 33(3):133–148, 2018.
- [3] S Wasserman. Social network analysis: methods and applications. *Cambridge University Press google schola*, 2:131–134, 1994.
- [4] Márton Pósfai and Albert-Laszlo Barabasi. *Network Science*. Cambridge University Press, 2016.
- [5] Damian Frąszczak. Information propagation in online social networks—a simulation case study. *Proceedings of the 38th international business information management association. Seville, Spain*, 2021.
- [6] Damian Frąszczak. RPaSDT—rumor propagation and source detection toolkit. *SoftwareX*, 17:100988, 2022.
- [7] Damian Frąszczak. Detecting rumor outbreaks in online social networks. *Social Network Analysis and Mining*, 13(1):91, 2023.
- [8] Nick Hajli, Usman Saeed, Mina Tajvidi, and Farid Shirazi. Social bots and the spread of disinformation in social media: the challenges of artificial intelligence. *British Journal of Management*, 33(3):1238–1253, 2022.

