

dr hab. inż. Jarosław Jankowski, Prof. ZUT
Wydział Informatyki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Żołnierska 49, 71-210 Szczecin

Szczecin 27.01.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej dla Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego

Tytuł rozprawy: **Wykrywanie źródeł fałszywych wiadomości w sieciach społecznościowych**

Autor rozprawy: **mjr mgr inż. Damian Frąszczak**

Promotor rozprawy: **dr hab. inż. Ryszard Antkiewicz, prof. WAT**

1. Wprowadzenie

Wraz z rozpowszechnianiem mediów cyfrowych i portali społecznościowych zwiększyła się ich rola w kształtowaniu opinii, poglądów i podejmowania działań nie tylko w świecie wirtualnym ale i w świecie rzeczywistym. Kluczowa staje się selekcja wiarygodnych źródeł informacji i możliwość eliminacji treści nieprawdziwych. Problem ten występował już wcześniej w odniesieniu do mediów tradycyjnych, ale łatwiej było odróżnić źródła informacji wiarygodne z określoną reputacją od źródeł niewiarygodnych. Poza oficjalnymi kanałami dystrybucji informacji odrębną rolę odgrywały plotki i komunikaty przekazywane indywidualnie pomiędzy członkami różnych społeczności, które często prowadziły do zjawisk takich jak panika czy dezinformacja na szeroką skalę. W mediach cyfrowych zasięg tych zjawisk się zwiększył, dynamika rozprzestrzeniania informacji z wykorzystaniem różnych platform społecznościowych daje możliwość dotarcia do bardzo dużej liczby odbiorców w stosunkowo krótkim czasie. Narastają zjawiska negatywne powiązane z celowym rozprzestrzenianiem dezinformacji i wiadomości fałszywych, które mogą przynosić negatywne skutki.

Poza wiadomościami o mniejszym znaczeniu społecznym czy gospodarczym dezinformacja może dotyczyć zjawisk i zachowań o dużym znaczeniu i zasięgu, co w ostatnich latach było obserwowane w odniesieniu do pandemii COVID 19, wojny na Ukrainie czy sytuacji polityczno-gospodarczej w kraju. W tym kontekście istotne jest podejmowanie działań, które będą zorientowane na opracowanie metod detekcji źródeł fałszywych informacji i klasyfikowanie treści pod kątem wiarygodności.

Problemy w tym obszarze mają charakter społeczny, ale ich podstawy są ściśle powiązane z informatyką i z przetwarzaniem danych w odniesieniu do struktur sieci społecznych, traktowanych jako sieci złożone, modeli propagacji informacji w sieciach złożonych, przetwarzania dużych zbiorów danych, badań symulacyjnych. Efektywne podejmowanie działań zorientowanych na detekcję dezinformacji jest powiązane z metodami analitycznymi i przetwarzaniem danych, co stwarza wyzwania dla informatyki zarówno w wymiarze stosowanym jak i naukowym.

2. Cele i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska pod tytułem „Wykrywanie źródeł fałszywych wiadomości w sieciach społecznościowych” odnosi się do aktualnych problemów o dużym znaczeniu społecznym. Jej głównym celem było opracowanie „efektywnej i skutecznej metody wykrywania źródeł fałszywych informacji w sieciach o dowolnej strukturze, przy założeniu możliwości istnienia wielu źródeł bez możliwości uzyskania kompletnego grafu propagacji informacji oraz braku konieczności arbitralnego ustalania liczby źródeł informacji”.

W dalszej części Autor określa hipotezy badawcze, które zakładają, że możliwe jest opracowanie metody wykrywania źródeł fałszywych informacji przy wykorzystaniu efektywnych algorytmów rekonstrukcji grafu, efektywnych algorytmów wyznaczania ognisk propagacji oraz efektywnych algorytmów wykrywania źródeł informacji. W kolejnym akapicie Autor odnosi się do zweryfikowania postawionej tezy, pomimo sformułowania hipotezy.

Autor formułuje szczegółowe zadania cząstkowe, które powiązane są z analizą literatury oraz opracowaniem szeregu rozwiązań: metody rekonstrukcji grafu, metody identyfikacji ognisk propagacji fałszywych informacji, metody selekcji wielu źródeł w ramach ognisk propagacji, metody zorientowanej na techniki zespołowe. Jednym z zadań było opracowanie środowiska badawczego oraz zaplanowanie i przeprowadzanie eksperymentów powiązanych z weryfikacją skuteczności proponowanych metod.

Struktura rozprawy obejmuje 15 rozdziałów. Po wstępie w rozdziale pierwszym, w rozdziale drugim przedstawiono przegląd metod analizy sieci społecznościowych, w rozdziale trzecim omówiono zagadnienia związane z identyfikacją źródeł fałszywych wiadomości, w rozdziale czwartym przedstawiono środowisko symulacyjne, w rozdziale piątym odniesiono się do identyfikacji ognisk fałszywych wiadomości, w rozdziale szóstym podjęto temat odtwarzania propagacji informacji. Rozdział siódmy obejmuje zagadnienia związane z selekcją źródeł wiadomości w ogniskach propagacji oraz koncepcję rozwiązań i badania oparte na uczeniu zespołowym. W rozdziale ósmym przedstawiono studium przypadku, a w następnym podsumowanie. Kolejne rozdziały od rozdziału dziesiątego mają charakter techniczny i pomocniczy (streszczenia, bibliografia).

3. Uzyskane wyniki

Rozprawę rozpoczyna przegląd zagadnień związanych z analizą sieci społecznościowych. Autor formalizuje struktury sieciowe, odnosi się do reprezentacji grafowej i przedstawia podstawowe metryki i charakterystyki grafów wykorzystywane w analizie sieci społecznościowych. Wskazane tutaj ilościowe charakterystyki grafów wykorzystywane są w dalszej części pracy do identyfikacji charakterystyk struktur sieciowych. Autor odnosi się do badania podobieństwa węzłów oraz miar, które mogą być wykorzystywane przy badaniu podobieństwa. W dalszej części Autor przedstawia charakterystyki topologiczne sieci złożonych i modele teoretyczne z odniesieniem do grafów deterministycznych losowych, sieci Small World oraz sieci bezskalowych. Wskazuje również na metody eksploracji grafów i sieci porusza problem propagacji fałszywych wiadomości. W rozdziale trzecim wprowadza zagadnienia powiązane z identyfikacją źródeł fałszywych wiadomości, formułuje problem, określa estymatory wiadomości i uwarunkowania problemu identyfikacji źródeł propagacji.

Autor nie odnosi się na tym etapie szerzej do metod analitycznych związanych z rozprzestrzenianiem się informacji, pomimo kluczowej roli metod i modeli rozprzestrzeniania dla celów rozprawy. Można było to uczynić jako odrębny rozdział lub rozwinięcie rozdziału drugiego dla wskazania jakie zjawiska propagacji zachodzą w omawianych strukturach sieciowych czy modelach topologicznych.

Co prawda na stronie 46 Autor odnosi się dalej do modeli rozprzestrzeniania informacji i do modeli epidemiologicznych (strona 48 do 51), modeli dynamiki opinii (między innymi do modelu Voter), a w kolejnym podrozdziale nawiązuje do modeli progowych i modelu niezależnych kaskad. Przegląd ten jest fragmentaryczny w porównaniu do Rozdziału 2. Nie odniesiono się m.in. do problemu maksymalizacji wpływu metod zorientowanych na selekcję węzłów początkowych czy chociażby metod zachłanych. Z punktu widzenia analizy procesów propagacji informacji fałszywych sposób ich inicjowania jest istotny dla zasięgu.

Nie odnoszono się również do zagadnień związanych z tłumieniem informacji np. poprzez zmiany topologiczne sieci, co jest kluczowe dla ograniczania zasięgu informacji fałszywych. Zagadnienia te

powiązane są również w procesami konkurującymi do których również się nie odniesiono. Przegląd literatury powiązany z modelami rozprzestrzeniania informacji został naprzemiennie zintegrowany z metodami identyfikacji źródeł i obserwacjami sieci.

W podpunkcie 3.2.6 przedstawiono właściwy przegląd metod identyfikacji źródeł. Autor uzasadnia taką strukturę koniecznością przedstawienia kluczowych uwarunkowań, jednak prowadzi to do przedstawienia bardzo szerokiego zakresu zagadnień w jednym rozdziale. Przegląd metod identyfikacji źródeł został zrealizowany rzetelnie z odniesieniem do kluczowych technik i rozwiązań. Dokonano podziału dostępnych metod identyfikacji, co przedstawiono na Rys. 28. Na diagramie można było dodatkowo dołączyć referencje publikacji powiązanych z daną klasą rozwiązań.

Jako podsumowanie tej części Autor identyfikuje mankamenty stosowania omawianych metod, które powiązane są między innymi z zakładaną kompletną wiedzą o strukturze i topologii sieci oraz z koniecznością posiadania kompletnych zbiorów danych. Istotny jest również brak kompletnych informacji związanych z propagacją. Autor wskazuje na konieczność uwzględnienia różnych źródeł danych i ograniczenie metod do pojedynczych struktur sieciowych. W kolejnym podrozdziale 3.2.7 przedstawiono metryki zidentyfikowanych źródeł, które odnoszą się do przypisania ich do klasy pozytywnej/negatywnej oraz czułości metod i średniego błędu odległości.

W Rozdziale czwartym przedstawiono opracowane w ramach pracy środowisko symulacyjne, które umożliwia przeprowadzenie badań i eksperymentów związanych z identyfikacją źródeł propagacji. Autor wskazuje na brak takiego narzędzia dostępnego publicznie. Zakres funkcjonalny środowiska obejmuje planowanie eksperymentów, generowanie sieci oraz uruchomienie kluczowych metod identyfikacji źródeł propagacji. Funkcjonalność środowiska umożliwia analizy zjawisk wykraczających poza identyfikację źródeł dezinformacji i może być ono stosowane również w analizach epidemiologicznych i analizach rozprzestrzeniania wirusów komputerowych. Środowisko umożliwia uruchomienie różnych modeli propagacji informacji w sieci. Zaimplementowano w nim 12 wybranych metod detekcji źródeł dezinformacji w różnych uwarunkowaniach, na przykład jedno lub kilka źródeł, zakres informacji dostępnych na temat sieci (kompletna lub częściowa). Oprogramowanie umożliwia ocenę jakości klasyfikacji źródeł z udziałem wybranych metryk lub analizy wizualnej. Ponadto w systemie uwzględniono możliwości analizy struktury grafów z wykorzystaniem miar centralności, detekcji społeczności i właściwości sieci. Środowisko zostało opublikowane na licencji MIT w ramach publikacji w czasopiśmie SoftwareX. W podpunkcie 4.3 przedstawiono przykład wykorzystania środowiska obejmujący wygenerowanie sieci, przedstawienie wstępnej analizy wybór węzłów źródłowych na podstawie metryk centralności. Autor koncentruje się na wyborze węzłów z wykorzystaniem metryk centralności, nie odnosi się jednak to efektywniejszych metod doboru zbioru początkowego. Symulację przeprowadzono dla modelu SI i przedstawiono analizę grafu propagacji. Następnie dokonano identyfikacji źródeł na podstawie grafu propagacji.

Niewątpliwą zaletą środowiska jest możliwość porównywania różnych metod, jednakże na etapie przedstawionym w Rozdziale czwartym środowisko nie jest wykorzystywane jeszcze do realizacji zasadniczego celu rozprawy powiązanego z opracowaniem metod detekcji dezinformacji. Przeprowadzone w środowisku badania symulacyjne dają pogląd na efektywność dostępnych rozwiązań i mają walor edukacyjny, jednakże środowisko mogło być przedstawione dopiero po opracowaniu własnych metod, tak by implementacja i porównania były zorientowane na własne metody, a nie tylko stosowanie metod istniejących. W kolejnych rozdziałach Autor wykorzystuje środowisko dla weryfikacji własnych metod. Przykłady zastosowań na tym etapie nie były konieczne, a zmniejszają czytelność pracy przed przejściem do metod własnych.

W Rozdziale 5 celem jest identyfikacja ognisk fałszywych wiadomości. Autor odnosi się tutaj do rozdziału 3.2.6, w którym przedstawiono przegląd metod identyfikacji źródeł. Lepszym rozwiązaniem było połączenie treści rozdziału 3.2.6 i działań powiązanych z identyfikacją ognisk fałszywych wiadomości. Zwiększyło by to spójność pracy i zapewniło lepszy podział treści w poszczególnych rozdziałach.

Autor prowadził badania metod podziału sieci i analizę ich skuteczności w kontekście detekcji ognisk propagacji. Zastosowano techniki detekcji pojedynczych źródeł oraz powiązano je z metodami identyfikacji ognisk propagacji. Podrozdział 5.1 omawia obecne techniki podziału sieci oraz metody ich ewaluacji. Omówiono typowe miary oceny jakości podziałów w sieci np. modularność, wydajność, pokrycie. W podpunkcie 5.2 Autor planuje i realizuje eksperymenty powiązane z oceną skuteczności metod identyfikacji społeczności. Badania przeanalizowano z wykorzystaniem sieci rzeczywistych i syntetycznych z udziałem modelu propagacyjnego SIR. Następnie w podpunkcie 5.3 przedstawiono wyniki od strony 88 do 103. Wskazano na brak rozwiązań, które są w stanie skutecznie identyfikować ogniska propagacji. Stanowiło to podstawę do określania charakterystyk własnego rozwiązania.

Badania symulacyjne dostępnych metod przeprowadzono na tym etapie jeszcze bez odniesienia do rozwiązań własnych. Jest to kolejna część rozprawy, w której Autor przeprowadza szerokie badania symulacyjne odnosząc się do istniejących metod. Badania te można było powiązać z prezentacją środowiska symulacyjnego, któremu poświęcono rozdział czwarty. Przeprowadzone badania dały jednak podstawę do określenia założeń do algorytmu detekcji ognisk propagacji. Autor poprawnie identyfikuje niedoskonałości istniejących metod. Wskazuje na zawyżanie liczby ognisk i błędną klasyfikację węzłów. Podkreśla też specyfikę rzeczywistych procesów rozprzestrzeniania dezinformacji z udziałem lokalnych liderów w budowaniu grup w oparciu o podobieństwo węzłów. Nie odnosi się jednak szerzej do zjawiska homofilii, która leży u podstaw tworzenia węzłów i struktur podobnych użytkowników.

Analiza uwarunkowań umożliwiła Autorowi określenie założeń metody i uwzględniania m.in. mechanizmów budowania grup w oparciu o lokalnych liderów i identyfikację grup równolicznych. Autor nie wskazuje jednak dlaczego tak istotne jest założenie równoliczności i dlaczego dezinformacja miałaby być rozprzestrzeniana w grupach równolicznych.

Zaproponowana metoda BLOCD jest pierwszym prezentowanym rozwiązaniem metodycznym. Uwzględnia zbalansowaną identyfikację społeczności zorientowaną na liderów. Liderzy społeczności identyfikowani są na podstawie wybranej miary centralności. Hipotetycznie mogą być tu wykorzystywane różne miary jednakże ze względów obliczeniowych Autor ogranicza się do znormalizowania stopnia wierzchołka. Lokalni liderzy identyfikowani są na podstawie najwyższych wartości przyjętej miary. Przeprowadzane jest również badanie podobieństwa pomiędzy sąsiadami, jednak nie wskazano jakie wektory cech są uwzględniane przy analizie podobieństwa.

Proces zakłada budowanie społeczności wokół liderów rozpoczynając od wierzchołków, dla których przyjęta miara centralności jest najwyższa. Wyznaczane jest podobieństwo pomiędzy sąsiadami i przy uzyskaniu odpowiedniego progu podobieństwa węzeł jest dołączany do społeczności lidera. Do badania podobieństwa węzłów przyjęto miarę Jackarda. W kolejnych krokach badane jest podobieństwo społeczności i następuje próba połączenia małych społeczności, co umożliwia minimalizację liczby małych grup. Dla ograniczenia zróżnicowania liczności poszczególnych grup realizowany jest zbilansowany rozmiarowo podział. Ocena społeczności jest skalowana o wagę związaną z rozmiarem. Działanie algorytmu zostało zilustrowane na przykładowej sieci. Przedstawiono wizualizacje poszczególnych kroków algorytmu, uzyskane wartości numeryczne oraz generowanie początkowych społeczności i ich łączenie zgodnie z przyjętą miarą podobieństwa. W algorytmie

w jednym kroku następuje łączenie tylko jednej podobnej społeczności dla uniknięcia łączenia zbyt wielu społeczności, co mogło by prowadzić do powstania jednej dużej grupy.

Przedstawione rozwiązanie było zweryfikowane w odniesieniu do standardowych technik segmentacji sieci. Zastosowano technikę weryfikacji jakości podziałów na sieciach o znanym podziale. Wykorzystano sieci w który jest podział węzłów. Wskaźnik NMI określa jakość podziału. Opracowana metoda zapewniła wysoką wartość współczynnika NMI dla wybranych sieci w porównaniu do innych metod.

Autor na podstawie uzyskanych wyników nie przedstawił jednak uwarunkowań, w których metoda uzyskuje lepsze wyniki, a w których gorsze niż inne metody. Przykładowo współczynnik NMI dla sieci football, tabela czwarta był na miejscu ósmym. Jednak dla pozostałych sieci wyniki były na wysokich pozycjach. Pojawia się zatem pytanie jakie parametry sieci czy struktury społeczności decydują o efektywności zaproponowanego algorytmu podziału. Badanie zostało przeprowadzone tylko na zbiorze 5 sieci rzeczywistych. Weryfikacja metody powinna być uszczegółowiona, przykładowo dla różnych zakresów sieci syntetycznych, tak by oszacować jej dokładność i odniesienie do innych metod.

Kolejny etap prac obejmował badanie wyznaczonych ognisk w zakresie analizy skuteczności metod detekcji źródeł propagacji. W pracy zabrakło definicji pojęć, np. nie jest doprecyzowane czy Autor uznaje za ognisko całą społeczność, podzbiór czy tylko jej liderów. Realizacja wieloetapowych badań i procesów dla zwiększenia czytelności mogła być uzupełniona diagramem lub schematem blokowym przedstawiającym ciąg podejmowanych działań. W następnym kroku przedstawiona metoda podlegała eksperymentom przeprowadzonym z wykorzystaniem opracowanego środowiska. Symulacje przeprowadzone dla algorytmu BLOCKD w oderwaniu od wcześniejszej analizy i symulacji zmniejszają czytelność pracy i utrudniają odwołanie się do poprzednich wyników.

Wyniki przedstawione na rysunkach 55 - 58 wskazują na wyznaczanie ognisk o większym średnim rozmiarze niż większość przytoczonych metod i ograniczenie liczby pustych ognisk. Uzyskane wyniki potwierdzają efektywność zaproponowanej metody w identyfikacji ognisk propagacji. Autor zauważa, że uzyskane wyniki mogą być związane z identyfikacją źródeł w większych skupiskach. Dodatkowo pojawia się trudność, gdy w większych ogniskach propagacji znajduje się kilka źródeł i nie są wykrywane pozostałe. Problem ten stanowił przedmiot dalszych badań przedstawionych w rozdziale 7. Badania te można było zintegrować z eksperymentami przeprowadzonymi w aktualnym kroku, skoro problem jest ważny dla poprawy integralności wyników.

W pracy zauważono również, że identyfikowanie ognisk o średnio większym rozmiarze niż inne metody przekłada się na zwiększanie czasu obliczeń, szczególnie przez metody o większej złożoności. Przedstawione wyniki na rysunkach 60 do 63 ilustrują przeprowadzoną ocenę zidentyfikowanych źródeł przez metody RumorCenter, JordanCenter, NetSleuth oraz miarę pośrednictwa.

W podrozdziale 5.5 przedstawiono analizę złożoności obliczeniowej. Rozpatrywano poszczególne operacje związane z wyznaczeniem posortowanego zbioru wierzchołków, wyznaczeniem podobieństwa, analizami rozmiaru społeczności również z uwzględnieniem przypadku pesymistycznego gdy każdy węzeł tworzy osobną społeczność. W podsumowaniu Autor agreguje złożoność obliczeniową przyjętych metod i określa jej złożoność wariacie przez pesymistycznym na $O(n^4)$.

W Rozdziale 6 Autor koncentruje się na odtwarzaniu propagacji informacji. Jako jeden z kluczowych problemów wskazuje potrzebę rekonstrukcji grafów propagacji na bazie niekompletnych informacji. W rzeczywistych sytuacjach praktycznie niemożliwy jest dostęp do kompletnych struktur sieci propagacji i możliwe jest działanie tylko na danych fragmentarycznych. W pracy Autor proponuje rozwiązanie aproksymacyjne, w którym dostępny jest tylko częściowy graf propagacji. W rozwiązaniu

zakłada się, że rozpowszechniana w sieci przez zbiór węzłów informacja stanowi podstawę grafu propagacji, który składa się z węzłów biorących udział w tym procesie. Na podstawie danych generowany jest częściowy graf propagacji, który jest znacznie mniejszy niż graf kompletny.

Przedstawiono rozwiązanie heurystyczne tego problemu. Opracowana metoda SHNI zorientowana jest na strukturalne identyfikowanie węzłów ukrytych. Algorytm zakłada, że następuje wyznaczenie prawdopodobieństwa udziału węzłów w propagacji oraz rekonstrukcja sieci propagacji w zależności od przypisanych prawdopodobieństw. Przyjęto współczynniki zarażonych sąsiadów oraz współczynnik spełniania przez węzeł funkcji mostu. W rozdziale tym przeprowadzono również analizę złożoności obliczeniowej metody rekonstrukcji.

W kolejnym kroku (podrozdział 6.3) podjęto zagadnienie wyznaczania optymalnych wartości parametrów oraz przeprowadzono analizę porównawczą. Badania możliwości odtwarzania ścieżek propagacji prowadzone były przy uwzględnieniu losowego usunięcia od 5% do 30% zarażonych węzłów. Dokonano oceny modelu z wykorzystaniem zbioru danych uczących (80%) oraz danych testujących (20%) z dostępnego zbioru danych. Metoda zakłada, że wynikiem jest informacja czy dany węzeł brał udział w propagacji. Zadanie to Autor rozwiązuje z wykorzystaniem klasyfikacji binarnej przypisującej do węzłów etykietę związaną ze stanem węzła. Celem było opracowanie rozwiązania o określonej czułości, które zapewni identyfikację maksymalnie dużej ilości węzłów propagujących informację.

Autor zakłada możliwość rozszerzenia modelu o dodatkowe parametry związane z przynależnością węzłów do społeczności oraz dodatkowe dane związane z ich sąsiedztwem. Metoda zapewnia określenie prawdopodobieństwa przynależności do ścieżki propagacji, a nie twardą klasyfikację. Autor dokonał dalej porównania opracowanego rozwiązania z techniką SbRP (ang. Score Based Reverse Propagation |), która również odnosi się do analizy strukturalnej grafów. Przytoczona metoda bazuje na rozszerzaniu grafu o niezainfekowane węzły których sąsiedztwo jest zainfekowane. Autor przedstawił wyniki badań porównawczych na rysunkach 79-87. Zaproponowany algorytm zapewnił dla większości przypadków lepsze wyniki. Autor nie określił jednak w jakich warunkach algorytm przynosi lepsze rezultaty niż metoda SbRP. W jakich sytuacjach i przy jakich cechach strukturalnych sieci nowa metoda zapewnia lepsze wyniki. Czy weryfikacja na pojedynczej sieci jest zdaniem Autora jest wystarczająca?

Ta część pracy związana z odtwarzaniem grafu propagacji jest istotna z punktu widzenia celu pracy i można było się spodziewać poszerzonych wyników dla różnych struktur sieciowych. Pojawia się pytanie jakie inne metody do odtwarzania grafów propagacji Autor rozpatrywał i dlaczego akurat zdecydował się na porównanie własnej metody z metodą SbRP.

W dalszej części, w Rozdziale siódmym Autor rozpatruje zagadnienia identyfikacji źródeł propagacji. Uwzględni tutaj dwie kategorie technik. W pierwszej z nich lokalizuje metody zorientowane na globalną analizę sieci z określoną apriori liczbą poszukiwanych źródeł. W drugiej kategorii zlokalizowane są metody powiązane ze strategiami podziałów i identyfikacji w ogniskach propagacji poszczególnych źródeł. W odróżnieniu od pierwszego podejścia, liczba źródeł nie jest zadana i jest powiązana z ilością zidentyfikowanych ognisk. Może dochodzić do sytuacji, w której w pojedynczym ognisku będzie występowało wiele węzłów z wysokim prawdopodobieństwem klasyfikacji jako źródło. Autor nawiązuje do rozdziału 54 i zaprezentowanej metody do wyznaczania ognisk propagacji, która identyfikuje mniejszą liczbę klastrów. Prowadzi to do występowania wielu źródeł w obrębie jednego ogniska i generuje potrzebę opracowania metody selekcji wielu węzłów w ramach jednego ogniska. Nawiązano również do techniki rekonstrukcji grafu propagacji SHNI.

Autor prezentuje metodę selekcji źródeł w oparciu o próg decyzyjny. Celem jest selekcja źródeł propagacji w ramach ognisk propagacji. W procesie podziału sieci następuje wyodrębnienie segmentów sieci, a następnie wyznaczanie źródeł w każdym z ognisk. Większość metod identyfikuje tylko jedno

źródło i nie jest to rozwiązanie adekwatne do sytuacji, w której występują większe ogniska propagacji i wiele węzłów może być identyfikowanych jako źródło informacji. Dochodzi do sytuacji, w której węzły mają bardzo zbliżone charakterystyki, ale tylko jeden z nich zostaje uznany za źródło propagacji. Autor proponuje zastosowanie progu decyzyjnego, który umożliwi klasyfikowanie wielu węzłów jako źródło informacji. Dla wartości progowej z wartością jeden algorytm funkcjonuje podobnie jak inne metody wybierając tylko jedno źródło. W prowadzonych eksperymentach Autor określił optymalny próg decyzyjny, który może być dobierany ekspercko. Autor porównuje wyniki dla metody BLOCD oraz Leiden.

W dalszej części, w 7.2 Autor rozpatruje uczenie zespołowe, które ma na celu łączenie wyników z kilku modeli dla uzyskania dokładniejszego rezultatu. Przeprowadzono badania dla dwóch zespołów metod. Zespół pierwszy obejmuje metody: Jordan Central, Net Sleuth oraz Rumor Center. Zespół drugi obejmuje metody oparte na centralność pośrednictwa oraz centralności stopnia wierzchołka.

Badanie uczenia zespołowego trudno uznać za kompletne. Autor arbitralnie zbudował dwa zespoły z wykorzystaniem wybranych metod oraz tylko dwóch miar centralności. Można przypuszczać, że dla każdej sytuacji będzie istniał inny efektywny skład zespołów i udział poszczególnych metod powinien być dobierany to konkretnego problemu. Sam sposób konstrukcji zespołów mógłby być przedmiotem rozprawy doktorskiej. Przedstawione wyniki dają jednak podstawę do stwierdzenia, że łączenie metod w zespoły ma potencjał do poprawy jakości klasyfikacji.

W Rozdziale 7.3 podjęto badania powiązane z identyfikacją źródeł w sieciach z odzyskanymi węzłami. Uwzględnione są tutaj sytuacje, gdzie obiekty przypisywane są do konkretnych klas na podstawie ich charakterystyk w odniesieniu do ognisk propagacji, a wiedzę apriori stanowi prawdopodobieństwo udziału węzła w propagacji. Autor przeprowadził badania skuteczności metod z wykorzystaniem podejścia apriori i uzyskano zakładany wzrost dokładności.

W dalszej części pracy, w Rozdziale 8, Autor przedstawia studium przypadku powiązane z wykrywaniem źródeł fałszywych wiadomości w sieciach społecznych. Przedstawiono zintegrowane podejście z wskazanym cyklem przetwarzania danych w postaci schematu blokowego. Analizowano dane z platformy Twitter. Zbudowano graf propagacji i dokonano identyfikacji ognisk przy wykorzystaniu opracowanej metody i metod wcześniej stosowanych. Badania sieci rzeczywistej pokazały że zaproponowana metoda BLOCKD była najskuteczniejsza. Przykład rzeczywisty wskazał też, że zastosowanie technik zespołowych nie przyczyniło się do zwiększenia skuteczności identyfikacji źródeł propagacji.

3. Uwagi krytyczne, wady i słabe strony rozprawy

Szeroki zakres Rozprawy, złożoność rozpatrywanych problemów i przyjęcie za cel realizacji wielu algorytmów i metod stwarzało wiele wyzwań ale i jest przyczyną mankamentów rozprawy. Poza uwagami w poprzednich fragmentach recenzji nasuwają się uwagi o charakterze bardziej ogólnym. W celu Autor nie odniósł się do zakładanej efektywności i skuteczności planowanych rozwiązań. Nie określono jakie miary efektywności i skuteczności są wykorzystywane. Autor odnosi się do efektywności jako algorytmów o wielomianowej złożoności, ale nie do efektywności na tle dostępnych aktualnie rozwiązań w tym obszarze. Nie odniesiono się również do skuteczności i nie określono jak będzie ona mierzona.

W miejsce realizacji wielu metod można było skoncentrować się na jakimś wycinku pracy i zapewnić szerokie porównanie z innymi metodami. Przykładowo jeśli Autor realizował by tylko odtwarzanie propagacji informacji, wtedy szczegółowo można było przeanalizować inne metody analityczne,

przeprowadzić testy symulacje w różnych warunkach, a nie tylko w ujęciu uproszczonym, tak jak to zrobiono w rozdziale szóstym.

W podobny sposób, kolejny z tematów, które stanowi ciekawy wątek i aktualny obszar badawczy związany jest z podziałem sieci i detekcją społeczności. Tutaj badania symulacyjne były szersze i Autor porównał się z licznymi metodami. Generowanie społeczności i metody podział grafu zostały zrealizowane w sposób bardziej kompletny niż odtwarzanie ścieżek propagacji. Autor metodę do wyznaczania ognisk propagacji porównuje z metodami detekcji społeczności. Obszar ten mógł stanowić podstawę badań i ograniczonej do tego tematu rozprawy doktorskiej.

Pomimo szerokiego zakresu badań i obszernego materiału Autor opublikował niewielką liczbę prac powiązanych z tematyką rozprawy. Poza publikacją powiązaną ze środowiskiem symulacyjnym (SoftwareX) jest to publikacja w czasopiśmie *Social Network Analysis and Mining* (bez Impact Factor) oraz w materiałach konferencji organizowanej przez *International business information management association*.

5. Znaczenie uzyskanych wyników i wkład w dyscyplinę naukową informatyka techniczna i telekomunikacja

Przedstawione w rozprawie rozwiązania dotyczą aktualnego problemu wykorzystania mediów społecznościowych do wywierania wpływu na odbiorców przekazu z udziałem dezinformacji i nieprawdziwych czy nierzetelnych treści. Zarówno operatorzy platform społecznościowych jak i instytucje regulujące wykorzystanie mediów elektronicznych poszukują rozwiązań, które umożliwiają detekcję źródeł dezinformacji tak by ograniczyć negatywne skutki społeczne czy ekonomiczne.

Efektom badań podjętych w rozprawie i pozycjonowanych w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja są oryginalne autorskie metody zorientowane na detekcję treści dezinformacyjnych, które obejmują rekonstrukcję grafów propagacji, identyfikację ognisk propagacji fałszywych wiadomości, selekcję wielu źródeł w ramach ognisk propagacji. W ramach rozprawy zaproponowano wykorzystanie technik zespołowych w celu zwiększenia skuteczności metod identyfikacji źródeł. Istotnym elementem rozprawy jest środowisko, które umożliwia prowadzenie badań z wykorzystaniem zbioru metod i technik oraz porównanie ich wyników.

W szczególności wkład w informatykę techniczną i telekomunikację obejmuje opracowanie metody podziału sieci, która na tle innych rozwiązań zapewnia większą efektywność przy realizacji zadań związanych z identyfikacją ognisk propagacji. Opracowana metoda BLOCD umożliwia budowanie zbilansowanych grup wokół liderów, co zapewnia lepszą skuteczność w zadaniach detekcji ognisk propagacji niż inne dostępne metody. Zaproponowana technika rekonstrukcji grafu propagacji zapewnia lepszą skuteczność niż metody alternatywne. Zaproponowane metody zostały zweryfikowane w eksperymentach symulacyjnych i porównane z innymi rozwiązaniami w tym obszarze.

Przeprowadzone badania zweryfikowały hipotezę badawczą, która zakładała, że możliwa jest realizacja efektywnej oraz skutecznej metody 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 ustalania liczby. Cel rozprawy został osiągnięty.

6. Ocena końcowa rozprawy

Podsumowując, uważam że rozprawa doktorska przedstawia oryginalne rozwiązanie zaprezentowanego w niej zagadnienia naukowego. Autor podjął w niej problem, który ma istotne znaczenie w dziedzinie informatyki. Trafnie określił założenia dotyczące jego analizy i uzyskane wyniki

potwierdził wykonanymi eksperymentami. Wykazał się dobrą znajomością ogólnej wiedzy teoretycznej i praktycznej z zakresu analityki sieci społecznych, modeli propagacji informacji metod detekcji dezinformacji, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę — Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669) i z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595, z póź. zm.) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r (Dz.U. z 30.01.2018 r. poz. 261). i niniejszym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jarosław Jankowski', written over a horizontal dotted line.

dr hab. inż. Jarosław Jankowski, Prof. ZUT