

dr hab. inż. Julian Sienkiewicz, prof. uczelni
Centrum Wiarygodnej Sztucznej Inteligencji
Politechnika Warszawska
ul. Rektorska 4, 00-614 Warszawa
julian.sienkiewicz@pw.edu.pl

Warszawa, 3 czerwca 2026 r.

RECENZJA rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Michała Czuby

pt. „On Spreading Phenomena and Influence Maximization in Multilayer Networks”

Recenzja została opracowana na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej prof. dr. hab. Wojciecha Bożejki, zawartą w piśmie z dnia 25 marca 2026 r.

1. Problem badawczy

Problem badawczym rozważanym w rozprawie mgr inż. Michała Czuby są zjawiska rozprzestrzenienia się w sieciach wielowarstwowych (wielopoziomowych), ze szczególnym uwzględnieniem maksymalizacji wpływu, tj. identyfikacji zbioru węzłów / aktorów, który zapewnia maksymalny zasięg propagacji rozpatrywanego procesu. Choć kwestie te są dobrze znane i opisane w przypadku zwykłych grafów, to dla sieci wielowarstwowych brakuje odpowiedniego zintegrowanego podejścia – trzeba tu zaznaczyć, że przejście pomiędzy układem jedno- i wielowarstwowym nie jest trywialne.

Autor w bardzo rozbudowany sposób stawia pytania badawcze, uzupełniając je o wymagania wstępne, które stanowią podwaliny do realizacji problemów badawczych. W dużym skrócie prerekwizyty dotyczą: (1) opracowania konkretnego środowiska, za pomocą którego Autor prowadził badania, (2) zaproponowania metryk do oceny efektywności propagacji oraz (3) pozyskania odpowiedniego zbioru danych, stanowiącego podstawę do dalszych badań – rzecz jasna, we wszystkich przypadkach wspólnym mianownikiem jest struktura wielopoziomowa. Spełnienie wymagań wstępnych otworzyło Autorowi drogę do sformułowania celów badawczych: (1) ewaluacji metod rankingowych w zadaniu maksymalizacji wpływu, (2) wyboru aktorów początkowych we wspomnianym zadaniu, (3) opracowania grafowej sieci neuronowej do przewidywania najefektywniejszych aktorów w sieci oraz (4) zaprojektowaniu metody sterowania strukturą sieci wielowarstwowej w celu łatwej oceny efektywności proponowanych metod. Tak jak wspomniałem, schemat pt. wymagania wstępne plus faktyczne cele badawcze jest dość rozbudowany, ale jasno określa drogę Autora do osiągnięcia ostatecznego celu głównego, jakim jest opracowanie i ewaluacja podejść do maksymalizacji wpływu w sieciach wielowarstwowych.

Uważam, że problem badawczy jest bardzo ambitny, jasno postawiony i dotyczy aktualnych badań naukowych związanych z sieciami złożonymi. Osiągnięcie postawionych celów wymaga wyjątkowo dobrego zrozumienia w jaki sposób miary i procesy związane z sieciami złożonymi muszą zostać uogólnione (lub od nowa zaproponowane) w przypadku sieci wielowarstwowych. Użycie konkretnych, dedykowanych zbiorów danych jednoznacznie wskazuje na aplikacyjny i praktyczny

charakter rozprawy, a wykorzystane metody, które odwołują się zarówno koncepcji informatycznych, matematycznych jak i do fizyki układów złożonych, cechuje wysoka interdyscyplinarność.

2. Kompozycja rozprawy

Rozprawa formalnie składa się z kolejno z: (1) streszczeń w języku angielskim i polskim, (2) czterech numerowanych rozdziałów, (3) sześciu dodatków (w tym listy projektów badawczych, w których brał udział Autor rozprawy, listy osób, z którymi współpracował Autor, wykazu odbytych wizyt badawczych, wykazu konferencji, w których Autor brał udział, wykonanych przez Autora recenzji jak również pozostałych informacji, takich jak inne publikacje, wskaźniki bibliometryczne itd.) i (4) spisu referencji, wraz z odnośnikami do miejsc rozprawy, w których się pojawiły.

Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do rozprawy, jak również można go traktować jako swoisty schemat dalszych elementów rozprawy. Przede wszystkim Autor omawia ideę reprezentacji relacji za pomocą prostych grafów, a następnie wskazuje jak na przestrzeni ostatnich lat – zgodnie ze wzrastającą liczbą dostępnych zbiorów danych - nauka dotycząca sieci złożonych zaczęła zmieniać swój opis teoretyczny. W szczególności Autor wspomina tu sieci czasowe, które odzwierciedlają dynamikę zmian struktury sieci, jak również aspekt będący podstawą rozprawy, tj. jednoczesne istnienie różnych relacji pomiędzy elementami sieci. Ta właśnie koncepcja jest kamieniem węgielnym sieci wielowarstwowych, których badania trwają już od ponad dwudziestu lat. Drugim problemem, który Autor obszernie omawia w tym rozdziale są procesy rozprzestrzeniania się (np. plutki, wirusów itd.) w sieciach wielowarstwowych oraz kwestie ich kontroli. Rozdział pierwszy dostarcza też pełnego formalizmu matematycznego związanego zarówno z opisem struktury sieci wielowarstwowych (aktorzy, węzły, warstwy), procesów rozprzestrzeniania się w tychże systemach oraz problemu maksymalizacji wpływu. Kolejne podrozdziały to opis wyzwań powiązanych z tematyką Rozprawy oraz zidentyfikowanych przez Autora siedmiu luk badawczych.

Rozdział drugi zawiera pełne sformalizowanie ogólnego celu badawczego, jak również podanie wspomnianych wcześniej czterech celów szczegółowych oraz trzech wymagań wstępnych (prerekwizytów). Dalej następuje wyszczególnienie siedmiu artykułów naukowych, na których opiera się rozprawa oraz syntetyczne opisanie wyników tych publikacji. Jednakże, zamiast linearnego opisu (publikacja za publikacją) Autor rozprawy omawia wyniki prac, posiłkując się wymaganiami wstępnymi oraz szczegółowymi celami – jest to związane z faktem, iż niektóre publikacje mają swoje reprezentacje w więcej niż jednym prerekwizycie / celu badawczym. Aby uniknąć wątpliwości i jasno naświetlić wspomniane powiązania, Autor przedstawił w tej części pracy macierz (tabela 2.1), która ilustruje zależności pomiędzy lukami badawczymi, wymaganiami wstępnymi, celami oraz publikacjami (a także strzałką czasu). Jest to bardzo wygodne i przydatne narzędzie, swoista mapa kluczowych punktów Rozprawy, niezmiernie ułatwiająca czytelnikowi poruszanie się po Rozprawie.

Rozdział trzeci stanowi podsumowanie Rozprawy, w którym podkreślone zostały kluczowe dokonania Autora z punktu widzenia założonych celów jak również bardzo syntetyczny opis możliwych dalszych badań.

Ostatni rozdział – czwarty – to pełne kopie wszystkich wyżej wspomnianych siedmiu artykułów naukowych.

Reasumując, Rozprawę można traktować jako mniej więcej czterdziestopięciostronicowy opis wprowadzający do tematyki sieci wielopoziomowych, ustalający ogólną notację, definiujący problemy i cele badawcze oraz zawierający główne rezultaty otrzymane w siedmiu artykułach

naukowych jak również podsumowanie (Rozdziały 1-3) oraz same wspomniane publikacje (Rozdział 4). Nie jest to więc klasyczna rozprawa doktorska, a raczej zestaw publikacji, opatrzone komentarzami; nie stanowi to jednak aż tak wielkiego problemu, gdyż opis jest dość klarowny i wyposażony w wygodną mapę, która umożliwia nawigację po problemach rozpatrywanych w Rozprawie.

3. Kluczowe osiągnięcia naukowe Autora

Uważam, że kluczowym osiągnięciem Rozprawy jest holistyczne podejście do rozpatrywanego tematu. Być poprzednie zdanie jest dość płaskie i wybrzmiewa mało entuzjastycznie, ale chciałbym poniżej wykazać, że to – wbrew pozorom – wysoka ocena Autora oraz Jego dokonań. Typowa rozprawa doktorska to najczęściej pewien ograniczony wycinek rzeczywistości badawczej, co akurat jest dość pożądaną cechą dla prac na tym etapie kariery naukowej, gdyż umożliwia młodemu badaczowi skupienie się na bardzo konkretnym problemie. W tym jednak przypadku mówimy o wielopoziomowym (sic!) podejściu do rozpatrywanego problemu, który opiera się na wielu podporach. Pierwszą z nich to kwestia uogólnienia miar oraz podejść znanych z prostych grafów na przypadek wielowarstwowy w kontekście zadania oceny efektywności rozprzestrzeniania się zaburzenia. Drugą jest zdobycie unikatowego zbioru danych, opisującego wielopoziomowe relacje, a który stanowi filar dla dalszych prac numerycznych. Trzecią wreszcie podporą jest stworzenie odpowiedniego środowiska (oprogramowania) do badań, które nie jest zamkniętym obiektem, ograniczonym np. tylko wybranymi przypadkami modeli sieciowych. W tym przypadku w zasadzie mówimy o dwóch różnych środowiskach: zarówno o *network-diffusion*, które daje możliwość symulowania sprzężonej dynamiki (w sensie sprzężonych ze sobą różnych procesów na różnych warstwach sieci) oraz o generatorze *mABCD*, którego chyba najciekawszą cechą jest możliwość sterowania korelacjami (w ogólnym sensie) pomiędzy warstwami, również na poziomie społeczności (*communities*).

Wymienione powyżej elementy mogłyby same w sobie stanowić wystarczający materiał do przygotowania rozprawy, a w przypadku Autora w zasadzie są jedynie wstępem do realizacji głównego celu, czyli identyfikacji zbioru aktorów, których selekcja prowadzi do maksymalizacji rozprzestrzenienia się procesu. Również w tym przypadku mamy do czynienia nie z jednym podejściem, ale w zasadzie z trzema – jedno z nich robi wyjątkowe wrażenie, gdyż oparte jest na wykorzystaniu grafowych sieci neuronowych do identyfikacji tzw. *super spreaders*, czyli najefektywniejszych inicjatorów procesów. Z mojego punktu widzenia jest bardzo oryginalne rozwiązanie, nie tylko uzupełniające inne metody przedstawione w Rozprawie, ale też stanowiące interesującą ścieżkę dalszego rozwoju badań.

Innymi słowy, każda z siedmiu publikacji, na których oparta jest Rozprawa stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe, wychodzące poza istniejący stan wiedzy, proponujące nowe metody i analizy, nowe środowiska do symulacji numerycznych czy nowe zbiory danych. Nie mam żadnych wątpliwości, że z naukowego punktu widzenia każda z tych prac jest wartościowa sama w sobie. Natomiast to, co jest w przypadku niniejszej Rozprawy kluczowe, to komplementarność i kompletność zaproponowanych rozwiązań w ramach konkretnego problemu badawczego. Stąd właśnie sformułowanie „holistyczne podejście”, które pozwoliłem sobie wykorzystać, dobitnie wskazuje, że Autor nie tylko zatrzymał się w pewnym określonym miejscu swoich rozważań, ale właśnie konsekwentnie realizował ustaloną agendę, która znajduje swoje odzwierciedlenie w zaproponowanych celach badawczych jak również poprzedzających je warunkach wstępnych.



Moje jedyne zastrzeżenia dotyczą braku bardziej rozbudowanego planu możliwych dalszych badań, czy też bardziej szczegółowej eksploracji kierunków, które pojawiają się przy omawianiu otrzymanych wyników. Oczywiście, te informacje częściowo pojawiają się w poszczególnych publikacjach, ale moim zdaniem Rozprawa zyskałaby wiele na wartości, gdyby Rozdział 3 został poszerzony o nawet dość śmiałe spekulacje – uważam, że bardzo interesujące dokonania przedstawione przez Autora w pełni upoważniają Go do takich działań.

4. Uwagi krytyczne i pytania

Poniżej przedstawiam jedną uwagę krytyczną, jaka nasunęła mi się podczas lektury. Ponieważ czuję pewien niedosyt w związku z dość lakoniczną częścią, opisującą możliwe dalsze rozszerzenia / nowe badania, pozwalam sobie skierować kilka pytań do dyskusji przez Autora. Zarówno poczyniona uwaga, jak wspomniana skrótowość części podsumowującej nie mają jednak wpływu na moją bardzo wysoką ocenę zarówno strony naukowej jak i formalnej rozprawy. Pozwolę sobie w tym miejscu też nadmienić, iż w pewien sposób żałuję, że Autor jednak nie zdecydował się na klasyczną formę rozprawy, gdyż zawarty dorobek publikacyjny jest pokaźny nie tylko pod względem merytorycznym, a również objętościowym. Domyślam się, że oddanie treści publikacji in extenso doprowadziłoby Rozprawę do pokaźnych rozmiarów, ale Autor mógłby próbować wycelować w jakąś formę pośrednią. Piszę o tym głównie z przytaczanego już wcześniej uznania dla holistycznego podejścia, które w naturalny sposób sugeruje taki kierunek.

- (1) Pewnym zgrzytem, który przeszkadzał mi czytaniu rozprawy jest konsekwentne użycie słowa „dyfuzja” (*diffusion*) jako synonimu wyrazów rozprzestrzenianie się oraz rozchodzenie się (*spreading, propagation*). Od razu zaznaczam, że nie jest to w żaden sposób „wina” Autora rozprawy, ale raczej środowiska naukowców zajmujących się sieciami złożonymi, u których faktycznie słowo to pojawia się w takich kontekstach. Warto jednak zwrócić uwagę, że z czysto fizycznego punktu widzenia większość procesów rozpatrywanych w Rozprawie nie ma charakteru dyfuzyjnego, to znaczy nie są one procesami liniowymi, takimi jak na przykład błędzenie przypadkowe (w szczególności dynamika SIR jest nieliniowa). Oczywiście, nomenklatura użyta przez Autora w żaden sposób nie rzutuje na przeprowadzone badania ani ich wyniki, natomiast z „kronikarskiego obowiązku” czuję się zmuszony do poczynienia takiej uwagi.
- (2) W rozprawie rozpatrywane są różne procesy propagacji, natomiast brakuje mi pewnego powiązania pomiędzy typem procesu, a otrzymanymi wynikami w kontekście badania maksymalizacji wpływu. Autor traktuje różne modele (SIR, threshold model itd.) w podobny sposób, ale na przykład ich mikroskopowy opis jest zwykle bardzo zróżnicowany, co widać chociażby w kontekście dynamiki opinii, gdzie za reguły modeli odpowiadają zupełnie inne procesy (dobrą ilustracją jest np. Rys. 1 w pracy Stranini i in., arXiv:2507.11521). Stąd moje pytanie: czy da się powiązać otrzymane wyniki badań z typologią procesów propagacji zachodzących na sieciach wielowarstwowych? Czy wyniki otrzymane w rozprawie mogą coś powiedzieć o dowolnym takim procesie?
- (3) Jak wspomniałem wcześniej, jestem pod wielkim wrażeniem publikacji wykorzystującej grafowe sieci neuronowe do predykcji najefektywniejszych aktorów w sieci. Jak rozumiem z opisu, wykorzystana metodologia zapewnia pewien poziom interpretowalności wyników, natomiast czy Autor zastanawiał się na użyciem standardowych miar wyjaśnialnej SI (XAI) takich jak np. Accumulated Local Effects (lub podobnych)?
- (4) Rozpatrując teoretycznie kwestię osiągnięcia maksymalnego „zasięgu” za pomocą zestawu węzłów / aktorów początkowych przy zmianie struktury, niechybnie dochodzimy do pewnego

problemu wariacyjnego. Czy Autor wyobraża sobie jakiś minimalny model (minimalny zestaw parametrów), dla którego dałoby się taki problem wariacyjny rozwiązać?

- (5) Wreszcie jedną z bardziej interesujących kwestii jest zawsze problem odwrotny, to znaczy, obserwując końcowy stan danego procesu (niekoniecznie odpowiadający maksymalnemu zasięgowi), odtworzyć zbiór węzłów / aktorów, z którego rozpoczął się proces. Czy wyniki przedstawione w Rozprawie można łączyć z tym problemem, a jeśli tak, to w jaki sposób?

5. Konkluzje

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Michała Czuby pt. "On Spreading Phenomena and Influence Maximization in Multilayer Networks" jednoznacznie spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571 wraz z późniejszymi zmianami). W szczególności, rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, jak również potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Ponadto stwierdzam, że przedmiotem ocenianej rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

W związku z tym zwracam się do Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej z wnioskiem o dopuszczenie mgr inż. Michała Czuby do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Prace badawcze, realizowane przez Autora i stanowiące podstawę recenzowanej Rozprawy, zostały opublikowane w siedmiu czasopismach z listy JCR. Doktorant jest wiodącym autorem w pięciu z nich, przy czym dwa czasopisma mają przypisane w wykazie czasopism naukowych (Komunikat Ministra Nauki z dnia 5 stycznia 2024 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych) po 140 pkt. Dodatkowo należy zauważyć współautorstwo dwóch prac w czasopismach o najwyższym wskaźniku punktowym (200 pkt), co potwierdza Jego wysokie zaangażowanie naukowe, jak również jakość prowadzonych badań. Podane informacje wskazują, że Autor spełnia, a nawet przewyższa wymienione w Załączniku do uchwały 262/12/RDND03/2024-2028 warunki wyróżniania rozpraw doktorskich w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Ponieważ dodatkowo uważam, że Rozprawa przedstawia wartościowe naukowo, koherentne wyniki, stąd też jednoznacznie i pełną świadomością **wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Czuby.**



dr hab. inż. Julian Sienkiewicz, prof. PW