

Warszawa, 20 października 2023r.

dr hab. Mirosław Kurkowski, prof. UKSW, prof. APwSz

- **Instytut Informatyki
Uniwersytet kard. St. Wyszyńskiego w Warszawie**
- **Instytut Służby Kryminalnej
Akademia Policji w Szczytnie**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Nowaka

***Wyznaczanie izolacji w sieciach plastrowych
z wykorzystaniem skierowanych liczb rozmytych***

Promotor: prof. dr hab. inż. Zbigniew Kotulski

Niniejsza recenzja została sporządzona na prośbę Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej wyrażoną w odpowiednim piśmie. Opiniowana rozprawa dotyczy wyznaczania charakterystyk bezpieczeństwa w sieciach plastrowych realizowanych w ramach sieci 5G.

W połowie 2018 roku podpisano list intencyjny określający zastosowania nowej technologii sieciowej 5G na terenie Polski. Zakłada się, aby do 2025 roku wszystkie obszary miejskie i główne szlaki transportu lądowego mają mieć nieprzerwany dostęp do sieci 5G. Bezpieczeństwo w systemach komunikacyjnych jest kluczową, konieczną cechą takich systemów. Badanie różnych aspektów bezpieczeństwa w takich sieciach należy więc do najważniejszych i najaktualniejszych problemów przed jakimi stoi Informatyka techniczna i Telekomunikacja jako dyscyplina naukowa. Prowadzenie badań w tym zakresie jest jak najbardziej uzasadnione.

Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa razem ze Spisem Treści, Bibliografią oraz Dodatkami liczy 183 strony. Układ pracy jest odpowiedni. W moim odczuciu jednak dobrze byłoby zaopatrzyć rozdziały w krótkie wprowadzenie i podsumowanie. Moim zdaniem poprawiłoby to przejrzystość pracy i pomogło w śledzeniu kolejnych rozważań. Zebrana na cele

przygotowania rozprawy i zacytowana literatura przedmiotu liczy 128 pozycji. W mojej opinii jest ona dobrana właściwie.

We Wstępie Autor wprowadził do tematyki rozważań oraz określił hipotezę badawczą:

Zarządzanie izolacją (i jej opis ilościowy) jest ważnym elementem zapewniania bezpieczeństwa usług w sieciach plastrowych. Możliwe jest zdefiniowanie pojęcia izolacji w sieciach plastrowych, które można opisać ilościowo za pomocą skierowanych liczb rozmytych. Tak zdefiniowany poziom izolacji można porównywać w ustalonym porządku.

W celu wykazania prawdziwości tezy Autor zaproponował szereg zadań badawczych. Wśród nich wymienić należy:

- dokonanie jakościowej analizy bezpieczeństwa plastrów typu End-To-End i ich izolacji w sieciach 5G dla ustalenia potrzeb ich opisu ilościowego,
- stworzenie modelu izolacji z wykorzystaniem liczb rzeczywistych,
- opracowanie sposobu tworzenia skierowanych liczb rozmytych na podstawie danych pomiarowych,
- opracowanie metody znajdowania skierowanej liczby rozmytej najbliższej zadanej (niewłaściwej) skierowanej liczbie rozmytej,
- walidację zaproponowanych algorytmów,
- opracowanie modelu probabilistycznego opisu poziomu izolacji,
- opracowanie modelu izolacji usług w sieciach plastrowych.

Poza Wstępem (numerowanym jako Rozdział pierwszy) recenzowana rozprawa zawiera jeszcze osiem rozdziałów właściwych oraz Podsumowanie. Rozdziały drugi i trzeci przedstawiają podstawy analizowanej problematyki stanowiąc wprowadzenie do dalszych rozważań. W rozdziale drugim opisano pojęcie sieci plastrowych. Autor przedstawił w nim kluczowe pojęcia dotyczące takich sieci.

Rozdział trzeci zawiera analizę pojęcia izolacji w sieciach plastrowych. Przedstawiono tutaj uzasadnienie istotności badania izolacji sieci. Mgr Nowak zaprezentował typy izolacji oraz przedstawił przykłady technik ich zapewniania. W rozdziale czwartym przedstawiono algorytm wyznaczania izolacji sieci wykorzystujący liczby rzeczywiste. Metoda ta jest bazą do nowych, proponowanych przez Autora, rozważań dokonanych w kolejnych rozdziałach rozprawy. Rozdział piąty zawiera podstawowe definicje oraz własności matematyczne skierowanych liczb rozmytych (SLR).

Rozdział szósty, wykorzystując wprowadzone poprzednio SLR prezentuje procedurę wyznaczania izolacji przy ich zastosowaniu. W tym celu Autor przedstawił metodę określania

SLR na bazie eksperymentalnych wyników pomiarowych. Dodatkowo, stosując minimalizację metryki odległości pomiędzy liczbami, Autor zaprezentował procedurę poszukiwania skierowanej liczby rozmytej właściwej dla zadanej skierowanej liczby rozmytej niewłaściwej. Wykorzystano tutaj techniki programowania kwadratowego i liniowego. Rozdział siódmy przedstawia przykład obliczenia izolacji oparty na przedstawionym modelu rozmytym.

Autor w rozdziale ósmym przedstawia dodatkowo model probabilistyczny izolacji. W rozdziale dziewiątym zaprezentowano pojęcie izolacji usług oraz przedstawiono jej model.

Rozdział dziesiąty zawiera podsumowanie zawartych w rozprawie rozważań oraz przedstawia wnioski z nich wynikające. Autor zawarł tutaj także potencjalne kierunki dalszych badań. W „Dodatku A” mgr Nowak przedstawił zbiór lematów i twierdzeń (wraz z dowodami) charakteryzujących opisany w rozdziale ósmym model probabilistyczny.

Ocena merytoryczna

W pracy Autor opisał prace przeprowadzone w celu udowodnienia stawianej tezy:

- zaproponowano formalną definicję izolacji w sieciach plastrowych (Podrozdz. 3.4);
- zaprezentowano model rozmyty oparty o SLR służący do wyznaczania poziomu izolacji w sieciach plastrowych (Rozdz. 6);
- zastosowano SLR do procedur wyznaczania izolacji (Rozdz. 6, 7), w tym celu Autor zaproponował dedykowane algorytmy:
 - wyznaczania właściwej skierowanej liczby rozmytej najbliższej zadanej skierowanej liczbie rozmytej niewłaściwej (Podrozdz. 6.2). W algorytmie tym zastosowano oryginalny koncept wyznaczania liczby właściwej polegający na wprowadzeniu odpowiedniej metryki pomiędzy liczbą właściwą i niewłaściwą minimalizowanej kolejno z wykorzystaniem technik optymalizacyjnych, w tym programowania liniowego,
 - wyznaczania skierowania niewłaściwej liczby rozmytej (Rozdz. 7). Algorytm ten stosuje wzajemne położenie funkcji f i g charakteryzujących SLR wokół jej jądra.
- przeprowadzono praktyczną walidację zaproponowanych algorytmów z wykorzystaniem przykładu obliczeniowego (Rozdz. 7);
- opracowano i przedstawiono probabilistyczny model opisu poziomu izolacji (Rozdz. 8).

Podsumowując wyniki przedstawione w rozprawie należy stwierdzić, że moim zdaniem nie ma wątpliwości, że mgr inż. Tomasz Nowak wykazał stawianą w rozprawie hipotezę badawczą.

Uwagi polemiczne i krytyczne oraz elementy dyskusyjne

Przedstawione niżej uwagi nie zmniejszają moim zdaniem wartości naukowej rozprawy i nie mają wpływu na pozytywną opinię pracy jako całości. Zamieszczone uwagi mogą też stanowić pole do dalszych badań.

1. Choć metryka rozmycia zdefiniowana dla skierowanych liczb rozmytych oraz unormowana metryka rozmycia (patrz str. 71-73) zostały zaproponowane przez Autora, jednak nie są one wykorzystywane szerzej w pracy. Można zadać pytanie czy struktury te mogą mieć zastosowanie w badaniu innych zagadnień związanych z badaniem izolacji w sieciach 5G?
2. W pracach naukowych spotyka się czasem niejednoznaczność oznaczeń. Na przykład w recenzowanej rozprawie symbol f oznacza funkcję łączącą i funkcję UP tworzącą skierowaną liczbę rozmytą. Należałoby zadbać o te kwestie.
3. W moim odczuciu podrozdział 5.1 mógłby dokładniej omówić koncepcję (L,R)-liczb opisywanych w przywołanych pracach.
4. W pracy na stronie 76 zaproponowano kilka sposobów na rozwiązanie problemu wyznaczania orientacji skierowanej liczby rozmytej na podstawie szeregu czasowego. Autor nie wskazał jednak, które podejście Jego zdaniem jest optymalne i preferowane w dalszych częściach rozprawy.
5. W pracy zabrakło mi szerszego komentarza dotyczącego złożoności obliczeniowej proponowanych algorytmów. Zastosowanie w rozważaniach modelu rozmytego wymaga rozwiązania problemu programowania liniowego. Czy wiadomo jakie są ograniczenia ilościowe związane z taką realizacją? Chodzi oczywiście o szacunki związane ze złożonością obliczeniową oraz precyzją obliczeń?
6. Czy model izolacji usług podstawiony w rozdziale 9. można zastosować jednocześnie z modelem rozmytym wykorzystującym skierowane liczby rozmyte?
7. W pracy Autor zastosował pojęcia parametrów i właściwości (patrz str. 55), które zbiorczo nazwał cechami. W pracy zabrakło jednak odpowiednich przykładów tych cech.
8. Można zadać pytanie, czy probabilistyczny model izolacji mógłby mieć szerszy katalog funkcji o znaczeniu statystycznym.
9. W pracy poruszono zagadnienie poszukiwania przybliżenia niewłaściwej skierowanej liczby rozmytej, będącej wynikiem działania matematycznego na skierowanych liczbach rozmytych lub złożenia takich działań. Nie zaproponowano w pracy alternatywnego algorytmu do algorytmu Simplex (np. heurystycznego, zachłannego), który mógłby być użyty do rozwiązania postawionego problemu programowania liniowego.

10. Funkcje normalizujące przywołane na stronie 59 mogłyby zostać przedstawione w postaci parametrycznej, aby umożliwić wyrównanie ich wpływu na wynik izolacji przy zmianie wartości jednej z cech izolacji.

Uwagi redakcyjne

W pracy znalazłem pewną liczbę błędów literowych lub stylistycznych, ale nie mają one znaczenia przy ocenie rozprawy jako całości. Należy jednak podkreślić, że w recenzowanej rozprawie jest wyjątkowo mało takich pomyłek. Świadczy to o bardzo dobrej redakcji tekstu, w tym w części matematycznej.

Wniosek końcowy

Przedstawione w recenzowanej rozprawie doktorskiej rozważania związane z zastosowaniem modelowania matematycznego, w tym liczb rozmytych, do efektywnych badań dotyczących bezpieczeństwa w sieciach plastrowych realizowanych w ramach sieci 5G dotyczą ważnych i bieżących problemów Informatyki technicznej i Telekomunikacji. Rozprawa doktorska **mgr. inż. Tomasza Nowaka** zawiera oryginalny wkład Autora w teorię i praktykę komunikacji prowadzonej drogą elektroniczną.

Biorąc pod uwagę wyniki przedstawione w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr. inż. Tomasza Nowaka stwierdzam, że moim zdaniem, praca ta spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą aktualnie w Polsce Ustawę o Stopniach i Tytule Naukowym. Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Tomasza Nowaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego prowadzonego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja przez odpowiednią Radę Dyscypliny Naukowej Politechniki Warszawskiej.

Dodatkowo, biorąc pod uwagę moim zdaniem wysoki poziom naukowy proponowanych rozwiązań, w tym struktur matematycznych i algorytmów, stawiam wniosek o wyróżnienie recenzowanej rozprawy.

