

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

zaprasza na
PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Tomasza Wojciecha Nowaka

która odbędzie się w dniu **20 listopada 2023 roku**, o godzinie **14:00** w trybie łączonym (stacjonarnie równolegle ze zdalnie)

Temat rozprawy:

„Wyznaczanie izolacji w sieciach plastrowych z wykorzystaniem skierowanych liczb rozmytych”

Promotor: prof. dr hab. inż. Zbigniew Kotulski – Politechnika Warszawska

Recenzenci: prof. dr hab. Janusz Szczepański – Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

dr hab. Mirosław Kurkowski, prof. uczelni, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Obrona odbędzie się w sali 478 **Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych, ul. Nowowiejska 15/19** oraz jednocześnie zdalnie na platformie MS Teams. Osoby zainteresowane uczestnictwem w obronie w formie zdalnej proszone są o zgłoszenie chęci uczestnictwa w formie elektronicznej na adres sekretarza komisji: dr. hab. inż. Mariusza Rawskiego, prof. uczelni, email: mariusz.rawski@pw.edu.pl, do dnia 19.11.2023 r., godz. 23:59.

Z rozprawą doktorską i recenzjami można zapoznać się w Czytelni Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, Plac Politechniki 1.

Streszczenie rozprawy doktorskiej i recenzje są zamieszczone na stronie internetowej: <https://www.bip.pw.edu.pl/Postepowania-w-sprawie-nadania-stopnia-naukowego/Doktoraty/Wszczete-do-30-kwietnia-2019-r/Dyscyplina-informatyka-techniczna-i-telekomunikacja-dziedzina-nauk-inzynieryjno-technicznych/mgr-inz.-Tomasz-Wojciech-Nowak>

Przewodniczący Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Warszawskiej
dr hab. inż. Jarosław Arabas, prof. uczelni

Streszczenie rozprawy doktorskiej

W niniejszej rozprawie doktorskiej przedstawiono problematykę wyznaczania izolacji w sieciach plastrowych z wykorzystaniem skierowanych liczb rozmytych. Pierwsza część pracy poświęcona została przedstawieniu stanu wiedzy o sieciach plastrowych, potrzebie rozpatrywania poziomu izolacji oraz o sposobach zapewnienia izolacji w takich sieciach. Przedstawiono szeroki zakres technik zapewniania izolacji, zarówno programowych jak i sprzętowych. Zaprezentowano wysokopoziomowy model sieci plastrowej, wraz z najważniejszymi pojęciami związanymi z sieciami plastrowymi. Opisano powody, dla których istotne jest określanie poziomu izolacji i zarządzanie nim, z perspektywy dostawcy usług sieciowych, operatora telekomunikacyjnego oraz użytkownika.

W dalszej części pracy zaprezentowano algorytm wyznaczania izolacji wykorzystujący do obliczeń liczby rzeczywiste, który następnie rozszerzany jest do postaci wykorzystującej skierowane liczby rozmyte. W celu rozwiązania postawionego problemu, przedstawiono sposób na budowę skierowanych liczb rozmytych na podstawie zebranego ciągu danych pomiarowych, oraz metodę poszukiwania skierowanej liczby właściwej najbliższej zadanej liczbie niewłaściwej, aby uzyskać obiekt matematyczny o pożądanym cechach. Kolejna część pracy przedstawia model probabilistyczny wyznaczania izolacji, który podobnie jak model wykorzystujący skierowane liczby rozmyte, bazuje na algorytmie zdefiniowanym dla liczb rzeczywistych.

Niniejsza dysertacja zawiera ponadto opis izolacji usług, który stanowi trzeci sposób modelowania izolacji zawarty w tej pracy. Jest to model podchodzący do zagadnienia izolacji w inny sposób niż model probabilistyczny i wykorzystujący skierowane liczby rozmyte, a jednocześnie prostszy w opisie.

Słowa kluczowe: sieci plastrowe, izolacja, bezpieczeństwo, skierowane liczby rozmyte, sieci teleinformatyczne, 5G

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.



Rada Naukowa Dyscypliny
INFORMATYKA TECHNICZNA
I TELEKOMUNIKACJA
Sekretariat 22.09.23r.
Data wpływu.....
Numer.....

Warszawa, dn. 18 września 2023 r.

Prof. Janusz Szczepański

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Zakład Informatyki i Nauk Obliczeniowych

Recenzja Rozprawy Doktorskiej

Tytuł: „Wyznaczanie izolacji w sieciach plastrowych z wykorzystaniem skierowanych liczb rozmytych”

Autor: Mgr inż. Tomasz Wojciech Nowak

Promotor:

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Kotulski

Politechnika Warszawska

Niniejsza Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo z dnia 1 sierpnia 2023 r. **Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny:** Informatyka techniczna i telekomunikacja, dziedzina nauk inżyneryjno-technicznych, Politechniki Warszawskiej Pana dr hab. inż. Jarosława Arabasa, prof. uczelni.

M. Km

I. WSTĘP

Autor rozprawy doktorskiej Pan mgr Tomasz W. Nowak jest, według bazy SCOPUS, **współautorem 9 artykułów, z których 4 są tematycznie związane z treścią Rozprawy.** W szczególności potwierdza to dobre podstawy i wiedzę Doktoranta w obszarze tematyki doktoratu związanej z metodologią plastrowania/segmentowania złożonych sieci, tak aby zoptymalizować zasoby i topologie oraz ruch w sieci pod kątem dostarczanych usług. Przegląd opublikowanych wyników badań doktoranta wraz z współautorami znajduje się także w podrozdziale 10.03 (str. 151) Rozprawy i zawiera 14 pozycji (5 pozycji jest spoza bazy SCOPUS).

ZNACZENIE TEMATYKI ROZPRAWY

Na przestrzeni lat sposób uzyskiwania dostępu do Internetu za pośrednictwem sieci bezprzewodowych znacznie ewoluował. Procesowi temu towarzyszył wzrost intensywności korzystania z Internetu mobilnego, co wynikało z wprowadzenia na szeroką skalę urządzeń mobilnych zdolnych do zaawansowanej interakcji z usługami internetowymi. Ta strategiczna zmiana znalazła szczególne odzwierciedlenie w ewolucji architektury sieci, co było wyraźnie widoczne w przypadku sieci 4G.

Wyznaczanie dedykowanych plastrów dla poszczególnych funkcji sieciowych oraz konkretnych przypadków użycia przez klientów telekomunikacyjnych przynosi wymierne korzyści. W technologii następnej generacji 5G telekomunikacja zyskuje możliwość segmentacji sieci szkieletowej na podstawie lokalnie skonfigurowanych wytycznych. Dzięki temu mogą kontrolować sposób dystrybucji poszczególnych sesji abonenckich poprzez główne elementy sieci szkieletowej.

Wydzielone segmenty sieci można zoptymalizować, aby dostarczać odpowiednie zasoby i topologię sieci do określonej usługi i związanego z nią ruchu. Na tej podstawie wybierany może być najbardziej odpowiedni plaster sieciowy dla konkretnego przypadku użycia. Funkcje przepustowości, przepustowości łącza, zasięgu czy szybkości mogą być przypisane do indywidualnych potrzeb w jednym osobnym plastrze. Elastyczna technologia umożliwia wsparcie w doborze konkretnych ustawień sieciowych. Różne usługi mogą wymagać zupełnie innej obsługi przepustowości. **Segmentowanie pozwala** na dostarczenie ich w efektywniejszy sposób. Znaczącą korzyścią jest także uzyskanie bardziej stabilnych i szybkich łączy. Dzielenie sieci może również **zwiększyć bezpieczeństwo**. Rozproszone zasoby są „dostępne”

 2

dla hakerów tylko w obrębie określonego segmentu, dzięki czemu inne segmenty sieci nie są zagrożone. Łatwiej jest kontrolować atak, który dotyczy tylko jednego oddzielnego segmentu.

Dlatego, w mojej opinii, problematyka poruszona i analizowana w Rozprawie jest bardzo aktualna i o dużym praktycznym znaczeniu. W tym kontekście szczególnie istotne jest także poszukiwanie nowych metod i narzędzi do modelowania zjawisk zachodzących w sieci, a takimi może być wykorzystanie/zastosowanie Skierowanych Liczb Rozmytych.

II. ZAWARTOŚĆ I OCENA ROZPRAWY

Celem Rozprawy doktorskiej jest opracowanie matematycznego modelu izolacji usług w sieciach (podziału sieci na izolowane plastry), w szczególności zdefiniowanie izolacji (w sposób ilościowy) w ujęciu Skierowanych Liczb Rozmytych, m. in. przedstawianie parametrów sieciowych z wykorzystaniem takich liczb.

Rozprawa składa się z 10 Rozdziałów i Dodatku (poświęconego modelom probabilistycznym) oraz bardzo obszernej Bibliografii obejmującej 128 pozycji. Pierwszy Rozdział zawiera ciekawe omówienie problematyki sieci mobilnych przede wszystkim pod kątem optymalizacji świadczonych usług (w tym aktualnie rozpatrywane w literaturze modele) i **na tym tle zdefiniowanie tezy pracy związanej z problemami izolacji**. Kolejne Rozdziały poświęcone są przedstawieniu i zdefiniowaniu podstawowych pojęć rozpatrywanych w Rozprawie, w szczególności również osadzeniu ich oraz tematyki doktoratu w literaturze. Przedstawiono kolejno koncepcje **Sieci plastrowej** (m. in. formalne definicje) oraz podstawowe podejścia do definiowania plastrów oraz możliwe rodzaje połączeń plastrowych. Zasygnalizowano także możliwy dynamiczny charakter życia plastrów, oraz elementy zarządzania czasem ich życia. W pracy skupiono się na sytuacji gdy plastry zostały już utworzone, innymi słowy **przedstawiono analizę statyczną**. W Rozdziale 3 skupiono się na określeniu **koncepcji izolacji** w sieciach plastrowych. Ważnym aspektem w tym kontekście jest bezpieczeństwo w szerszym ujęciu, mianowicie jako systemu informacyjnego. W pracy wyszczególniono trzy podstawowe typy izolacji:

— **pełna izolacja** - gdy każdy kanał korzysta z zasobów dedykowanych tylko dla niego, np. szczeliny czasowe w TDMA (Time-Division Multiple Access).

- **częściowa izolacja** - gdy kanały mogą współdzielić część dostępnych zasobów, np. kanały w sieci Wi-Fi, które na siebie zachodzą w znacznym stopniu w dziedzinie częstotliwości.
- **brak izolacji** - kiedy wszystkie kanały współdzielą część dostępnych zasobów, np. kanały w OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access).

Przechodząc następnie do podstaw **modelowania izolacji w ujęciu matematycznym**, Doktorant korzysta z naturalnego modelu sieci telekomunikacyjnej jako **Hipergrafu**, w definicji którego posłużono się koncepcją **multizbioru**. Pozwala to na zdefiniowanie **izolacji** jako zdolności do ochrony tzw. „jezior” i strumieni danych, przy czym jezioro danych zostało określone jako węzeł hipergrafu pozwalający wytworzyć strumień danych, zaś strumień danych to proces przesyłania danych między węzłami hipergrafu sieci plastrowej. W szczególności, zagrożenia dla izolacji jezior i strumieni danych mogą pochodzić z:

- **wnętrza plastra,**
- **innego plastra, oraz**
- **ze świata zewnętrznego.**

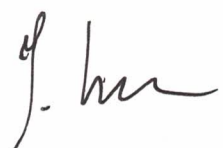
W przypadku zagrożeń **z wnętrza plastra** zagrożeniem może być proces, w którym bardzo intensywne wykorzystanie jednych zasobów informacji może wpłynąć na inne strumienie informacyjne, np. **wydłużając istotnie** czas przetwarzania komunikatu przesyłanego w ramach strumienia. W przypadku sieci lokalnej o topologii szyny (klasyczna sieć LAN, w pewnym sensie również sieć Wi-Fi), dane wysyłane przez jedną stację uniemożliwiają innym stacjom nadawanie. Zajęte współdzielone medium wydłuża czas potrzebny na propagację komunikatu między aplikacjami. Na przepływ strumieni danych w ramach plastra mogą negatywnie wpłynąć konwencjonalne ataki hakierskie (generyczny Hacking, DoS, Spoofing, Podśluchiwanie, Cryptojacking).

W przypadku **zagrożeń od innych plastrów** sposób wykorzystywania (współdzielenia) wspólnych zasobów, ze względu na wymagania bezpieczeństwa, może być inny.

W przypadku **zagrożeń zewnętrznych** ważnym czynnikiem mogą być m. in. zakłócenia sygnałów, wyczerpanie zasobów, czy też zakłócenia związane z zasilaniem elektrycznym.

Istotnym Rozdziałem w kontekście odniesienia do wyników Rozprawy jest część 3.6 **TECHNIKI IZOLACJI**. Omawiane są następujące techniki i metody wdrożenia izolacji:

- Izolacja w językach programowania
- Izolacja wykorzystującą środowisko testowe

 4

- Izolacja wykorzystującą wirtualizację
- Izolacja sprzętowa i izolacja poziomu jądra systemu operacyjnego
- Separacja domen i procesów
- Izolacja w środowisku chmurowym.

Kolejne ROZDZIAŁY 4, 5, 6 poświęcone są już określonej w **Rozprawie realizowanej tezie**, brzmiącej następująco:

„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 realizacji tego zadania Doktorant kolejno prezentuje algorytm (z wcześniejszych swoich prac z współautorami [56], [57], str. 66) wyznaczania izolacji wykorzystujący do obliczeń liczby rzeczywiste, który to algorytm następnie w dalszych Rozdziałach rozszerzany jest do postaci wykorzystującej skierowane liczby rozmyte. Aby dokonać tego rozszerzenia w ROZDZIALE 4 przedstawia **uproszczony** model zaproponowanego modelu we wcześniejszej pracy Autora z współautorami [57]. Proponowany uproszczony model wydaje się, że może być bardziej praktyczny. Pozwala to dodatkowo na wprowadzenie podstawowych pojęć i wielkości matematycznych, tak aby rozszerzyć model do postaci wykorzystującej Skierowane Liczby Rozmyte.

Wprowadzono w szczególności:

- wektor wartości cech,
- ogólną funkcję łączącą [56, 57] bazującą na wektorach wartości cech dla poszczególnych wierzchołków oraz na funkcjach łączących (4.4), (4.5).

Bardzo istotne jest zatem adekwatne **zdefiniowanie funkcji łączącej** biorącej pod uwagę kilka aspektów:

- Interpretacja cechy pod kątem sieciowym i izolacji - np. dostępna przepływność binarna w szeregowym połączeniu węzłów jest ograniczona z góry przez najwolniejszy element, więc funkcja minimum może być uzasadnionym wyborem.
- Ograniczenia implementacyjne - obliczenia na liczbach całkowitych są zwykle szybsze i dokładniejsze niż na liczbach zmiennoprzecinkowych.
- Wartość oczekiwana funkcji łączącej.

y. km 5

Kształt funkcji łączącej może mieć też „indywidualną logikę” interpretacyjną w szczególności uwzględniając jak powinna się zachowywać funkcja łącząca dwie lub więcej wartości danej cechy.

Przykładowa funkcja łącząca została określona w podrozdziale 4.4 (wykorzystano dwukrotnie różniczkowalną funkcję przekształcającą wektor izolacji w skalar) i podobną funkcję zastosowano w Algorytmie 6 (str. 100).

Poziom izolacji zależy od pewnych wartości sieciowych i fizycznych cech. W Rozprawie wzorem prac [56, 57, 59] wyróżniono **dwie kategorie cech**: **parametry** (cechy ilościowe o wartościach ciągłych) oraz **właściwości** (cechy jakościowe). Wartości cech wymagają normalizacji, którą dokonuje się za pomocą funkcji normalizujących działających na dziedzinie cech w odcinek $[0,1]$. Określono wartość najgorszą (alfa) i najlepszą (omega) z punktu widzenia izolacji (4.1), (4.2). *Jest to intuicyjnie jasne (biorąc pod uwagę opis), jednakże wzory określające alfa i omega są napisane niedokładnie i nieprecyzyjnie.*

Aby móc porównywać poziomy izolacji zaproponowano [57] wprowadzenie adekwatnego **porządku liniowego** na zbiorze wektorów izolacji. Określenie porządku liniowego dla wektorów izolacji zaproponowano za pomocą dwukrotnie różniczkowalnej funkcji F_i działającej na przestrzeni tychże wektorów w odcinek $[0,1]$, (4.22).

W Rozprawie został przyjęty model sieci w postaci **Hipergrafu**. Wierzchołek grafu reprezentuje element sieciowy lub łącze sieciowe, na przykład router, przełącznik, serwer usług, łącze miedziane, łącze światłowodowe, łącze bezprzewodowe. Krawędź symbolizuje możliwość przepływu informacji pomiędzy wierzchołkami. Każdy z N **wierzchołków** jest opisany indywidualnym zbiorem M **cech**. Każda z cech jest opisana pewną liczbą z przedziału $[0,1]$. Graf może być podzielony na skończony zbiór podgrafów niekoniecznie rozłącznych, gdzie dany podgraf symbolizuje pewną logiczną podsieć. Bardzo istotnym jest rozstrzygnięcie problemu, które wierzchołki grafu należy wziąć pod uwagę przy analizie izolacji. W Rozprawie przyjęto podział na wierzchołki biorące bezpośrednio udział w procesie informacyjnym (odpowiadające za transport strumieni danych), które nazwano „**wierzchołkami podstawowymi**” oraz wierzchołki, które nazwano **otoczeniem strumienia danych o promieniu d** . Wierzchołki z otoczenia to wierzchołki osiągalne z wierzchołków podstawowych za pomocą ścieżek o co najwyżej d krawędziach. Jednakże już zadanie

wyznaczenia wierzchołków podstawowych nie jest zadaniem łatwym i oczywistym (m. in. ze względu na zmienność przesyłania informacji, szeroką specyfikę serwerów i złożoność sieci).

Właściwą i istotnie oryginalną część Rozprawy stanowią Rozdział 6 oraz Rozdziały 7 i 8.

Kluczowym dla całej Rozprawy jest Rozdział 6, w którym zaproponowano modelowanie izolacji sieci, w oparciu o **wyniki pomiarów** charakterystyk sieci za pomocą Skierowanych Liczb Rozmytych (SLR). W następnym kroku, wykorzystując fakt, że SLR mają podobne algebraiczne własności jak liczby rzeczywiste, zaadoptowano algorytm wyznaczania izolacji z wykorzystaniem liczb rzeczywistych przedstawiony w podrozdziale 4.5, do wyznaczonych dla tej sieci, właśnie w oparciu o propozycje doktoranta, Skierowanych Liczb Rozmytych. Propozycja dotyczy reprezentowania serii pomiarów danej wielkości w kolejnych chwilach czasu za pomocą Skierowanej Liczby Rozmytej. Istotna jest przy tym podejściu również normalizacja pomiarów do wartości z odcinka $[0,1]$. Pierwszy krok przyporządkowania SLR pomiarom to określenie **orientacji**, którą zdefiniowano jako znak korelacji (pewna analogia) wartości pomiarów z ciągiem wartości kolejnych czasów, w których te pomiary dokonywano (formuła 6.2) w odniesieniu do kwadratu odległości tych czasów od ich wartości średniej (normowanie). Następnie, aby zdefiniować Skierowaną Liczbę Rozmytą dla danej sekwencji pomiarów (v_i) Doktorant wykorzystuje obwiednię **histogramu** tych pomiarów (*nasuwa się pytanie o przyjętą rozdzielczość do konstrukcji histogramu*). Kluczowy pomysł to, zgodnie z wymaganą strukturą (definicją) SLR, **określenie pary funkcji f (up part) i g (down part) z odcinka $[0,1]$ w zbiór liczb rzeczywistych**. Wprowadzone one zostały, co stanowi ciekawy pomysł, przez doktoranta za pomocą wzorów (6.6), (6.7) dla orientacji dodatniej oraz (6.8), (6.9) dla orientacji ujemnej. *Warto jednak zauważyć, że doktorant opisał te funkcje stosując terminologię dla liczb rzeczywistych (f i g działających z odcinka $[0,1]$ w zbiór liczb rzeczywistych), gdy tymczasem w praktyce stosuje swoją metodologię dla funkcji f i g określonych na zbiorze dyskretnym). W przypadku dyskretyzacji definicja jest poprawna od strony matematycznej, zaś w przypadku traktowania dziedziny funkcji w sposób ciągły ma raczej charakter bardziej intuicyjny.*

Kolejny krok jaki Doktorant proponował to rozwiązanie problemu „**niewłaściwych**” Skierowanych Liczb Rozmytych. Takie SLR opisane są za pomocą funkcji, które są nieodwracalne (nie są różnowartościowe). Główna idea to przybliżenie takich SLR za pomocą właściwych SLR (czyli zdefiniowanych za pomocą odwracalnych funkcji) w odpowiedniej metryce zapisanej za pomocą ogólnej formuły (6.10) (*zapis również*

 7

nieprecyzyjny). Przyjmując, że w praktyce SLR przedstawiana jest jako dwa ciągi punktów z płaszczyzny R^2 , jako metrykę odległości zastosowano funkcję Mahalanboisa (6.13) z macierzą sprzęgającą S będącą macierzą jednostkową. W związku z tym doktorant zauważa, że problem poszukiwania najbliższej właściwej SLR do zadanej niewłaściwej liczby SLR jest problemem typu QP (Quadratic Programming problem). Dowodząc szereg ciekawych lematów oraz wykorzystując warunek Karush-Kuhna-Tuckera doktorant sformułował dwa wnioski (6.1, 6.2) dotyczące własności ciągów minimalizujących odległości właściwych Skierowanych Liczb Rozmytych od zadanych niewłaściwych SLR. Ponadto, w celu obniżenia złożoności problemu doktorant wykazał możliwość, w przypadku zagadnień rozpatrywanych w Rozprawie, redukcji problemu typu QP do problemu LP (Linear Programming problem).

Dla oceny ilościowej (porównywania) poziomu izolacji systemów informacyjnych opisanych za pomocą SLR konieczne jest jeszcze wprowadzenie porządku najkorzystniej porządku liniowego. Finalny cel Rozprawy został przedstawiony właśnie w Rozdziale 6.3, w którym przedstawiono propozycję wprowadzenia takiego porządku pomiędzy liczbami SLR. Relacja ta została opisana poprzez Algorytm 8 (str. 101).

Algorytm 8 realizuje ideę porządku leksykograficznego (typu Lexical 1 zaproponowanego w pracy Wang W., Wang Z., Fuzzy Sets and Systems [120, rok 2014]) - liczba, która „zaczyna się wcześniej” (tzn. jej funkcja przynależności dla mniejszych argumentów zaczyna przyjmować niezerowe wartości) jest mniejsza; dodatkowo uzupełniono algorytm o uwzględnienie skierowania właściwego dla SLR.

Nasuwa się pytanie o sprawdzenie, czy relacja realizowana przez Algorytm 8 jest zwrotna, antysymetryczna, przechodnia i spójna?

W następnym **Rozdziale 7** przedstawiono **przykłady obliczeniowe** z zastosowaniem proponowanej metodologii wyznaczania poziomu izolacji dla prostej sieci plastrowej (sieć została podzielona na dwie podsieci, a następnie stworzono odpowiedni hipergraf). Zgodnie z tą metodologią wyznaczono najpierw SLRy, a następnie wykonano Algorytm 8 wyznaczania relacji porządku z obliczonymi Skierowanymi Liczbami Rozmytymi. Do wyznaczania skierowania niewłaściwej SLR skorzystano z faktu, że znając, która część wykresu SLR należy do funkcji f , a która do funkcji g zastosowano Definicję 5.4 (orientacja odzwierciedla położenie części up względem części $down$). Realizowane to jest za pomocą Algorytmu 9.

Wyniki finalnych obliczeń dotyczących poziomu izolacji przedstawiono na Rysunkach 7.21 i 7.22. są obiecujące. *Nasuwa się tutaj jeszcze pytanie o czasy obliczeń ?*

4.  8

Rozdział 8 Rozprawy poświęcony jest modelowi probabilistycznemu izolacji w sieciach plastrowych. Przyjęto następujące założenia dotyczące modelu:

- Model probabilistyczny wykorzystuje ten sam zbiór danych co model rozmyty, bazujący na Skierowanych Liczbach Rozmytych.
- Model probabilistyczny wykorzystuje ten sam zbiór wierzchołków podstawowych.
- Podobnie jak dla modelu z zastosowaniem liczb SLR wyniki pomiarów zostały uprzednio znormalizowane za pomocą funkcji normalizujących wprowadzonych w podrozdziale 4.2.

W modelu tym izolacji węzła odpowiadają pewne zmienne losowe (8.3) odzwierciedlające własności statystyczne wielkości związanych z tym węzłem. Doktorant następnie przyjmuje kilka przykładowych funkcji gęstości jakie mogą być użyte do wyznaczania izolacji tą metodologią. Przy pewnych założeniach pokazuje kilka ciekawych faktów dotyczący własności momentów dla funkcji typu minimum i maksimum zdefiniowanych dla zbioru skończonego przykładowych zmiennych losowych. W szczególności ciekawy jest uzyskany prosty fakt o równości wariancji dla tych funkcji (Wniosek 8.1).

W Rozdziale 8.4 przedstawiono przykładowe obliczenia dla zaproponowanego modelu probabilistycznego realizowane za pomocą Algorytmu 10 (str. 140) z przykładową funkcją łączącą realizowaną przez Algorytm 11.

W podsumowaniu otrzymanych wyników dla modelu probabilistycznego zauważono, że poprawę modelu można uzyskać dzięki dodaniu dodatkowych metryk, na przykład mierząc wzrost (spadek) wartości parametru pomiędzy próbkami - dla cech wolnozmiennych jest to sygnał do weryfikacji stanu danej cechy, a w przypadku cech szybkozmiennych (np. dostępna pamięć RAM, liczba użytkowników w systemie, liczba otwartych portów, stany kolejek, itd.) zwykle można określić przedział, w jakim taka zmienność jest uznawana za naturalną.

III. UWAGI I PYTANIA DYSKUSYJNE

Podobną metodologię można w zasadzie zastosować w **innych problemach wymagających klasyfikacji w oparciu o pomiary**, mających strukturę sieciową – czy doktorant rozważał taką możliwość?

Czy doktorant widzi możliwość rozszerzenia metodologii SLR nie tylko dla sieci już w stanie statycznym, może wstępnie da się uogólnić te metody na chociaż **quasi-dynamiczny przypadek**.

Y. hm 9

Aby zdefiniować Skierowaną Liczbę Rozmyta dla danej sekwencji pomiarów (v_i) Doktorant wykorzystuje obwiednię **histogramu** tych pomiarów. Nasuwa się pytanie o **przyjętą rozdzielczość do konstrukcji histogramu** i znaczenie tej rozdzielczości na otrzymaną SLR.

Definiując SLR doktorant opisał funkcje **f (up part)** i **g (down part)** stosując terminologię dla liczb rzeczywistych działających z odcinka $[0,1]$ w zbiór liczb rzeczywistych, gdy tymczasem w praktyce stosuje swoją metodologię dla funkcji f i g na zbiorze dyskretnym. W przypadku dyskretyzacji definicja jest poprawna od strony matematycznej, zaś w przypadku traktowania dziedziny funkcji w sposób ciągły ma raczej charakter bardziej intuicyjny.

Czy nie byłoby także praktyczne, aby zamiast wymagań liniowości porządku, rozważyć wprowadzenia **częściowego porządku**, i później optymalizacji wielokryterialnych.

IV. UWAGI REDAKCYJNE, NIEŚCISŁOŚCI

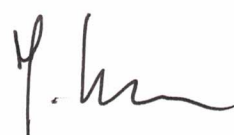
Dobrze byłoby podawać więcej przykładów przy wprowadzaniu definicji, w szczególności na przykład definicji parametrów i właściwości. Z opisu w Rozprawie wynika, że niektóre właściwości mogą być opisywane liczbowa i mogą być interpretowane również jako parametry.

W kluczowym podrozdziale 6.3 wystąpiło przeoczenie i został wskazany „algorytm 0” (str. 94) zamiast Algorytm 1.

Wzory (4.1) i (4.2) definiują wartość najgorszą (alfa) i najlepszą (omega) z punktu widzenia izolacji (4.1), (4.2). Jest to intuicyjnie jasne, jednakże wzory określające alfa i omega są napisane niedokładnie i nieprecyzyjnie.

Definicja 5.3 Skierowanej Liczby Rozmytej (str. 68). W definicji nie podano, że funkcje f_A (up part) i g_A (down part) powinny być funkcjami ciągłymi ([53], Kosiński W., Prokopowicz P., Ślęzak D., 2003).

Brak $1/n$ przy definicjach średnich v z kreska i t z kreska. (str. 76)



Wspomniane powyżej uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny bądź związany ze sposobem prezentacji (nieprecyzyjne niektóre zapisy matematyczne) bądź dostrzeżenia błędów edytorskich i nie wpływają na fakt, że Rozprawa zawiera propozycję obiecującej oryginalnej metodologii segmentowania złożonych sieci, tak aby zoptymalizować zasoby i topologie oraz ruch w sieci pod kątem dostarczanych usług.

V. PODSUMOWANIE i OCENA KOŃCOWA

Recenzowana Rozprawa doktorska stanowi *opracowanie ciekawej oryginalnej metody zastosowania Skierowanych Liczb Rozmytych do wyznaczania izolacji w sieciach teleinformatycznych. Doktorant wykazał się dużą ogólną wiedzą w obszarze związanym z modelowaniem i praktycznym funkcjonowaniem takich sieci. Również aktywność i dorobek naukowy doktoranta oceniam pozytywnie, wykazuje się on samodzielnością w prowadzeniu badań naukowych. Wyniki prac opublikował on w 9 artykułach, w czasopismach znajdujących się w bazie SCOPUS.*

Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że przedstawiona do oceny Rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez odpowiednią Ustawę i wnoszę jednocześnie o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

18 wrzesień 2023r.

Yanun Huepan'ski