POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI, TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI

23.05.2025 r.

Dr hab. inż. Jacek Rak, prof. PG
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł:	**Optimizing Critical Function Placement to Ensure Resilient Network Services – Selected Problems**
Autor:	**Mgr inż. Dariusz Nogalski**
Promotor:	**Dr hab. inż. Konstanty Junosza-Szaniawski, prof. PW**
Promotor pomocniczy:	**Dr inż. Mariusz Mycek**

1. Informacje ogólne

Tematyka rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Nogalskiego koncentruje się wokół problemu rozmieszczenia funkcji krytycznych w węzłach sieci teleinformatycznej w sposób podnoszący stopień odporności usług sieciowych w scenariuszach ataków. Autor swoją uwagę w rozprawie ukierunkowuje na trzy aspekty: (a) określenie lokalizacji sterowników SDN, uwzględniając w tym zakresie informację o podatności węzłów sieci na ataki; (b) wybór lokalizacji czujników detekcji ataków DDoS w sposób umożliwiający analizę największej możliwej części ruchu kierowanego do węzłów docelowych; (c) optymalizację schematu doboru tras oraz lokalizacji funkcji przetwarzania ruchu dla łańcuchów funkcji sieciowych.

Tematyka rozprawy mgra inż. Dariusza Nogalskiego jest niewątpliwie ważna oraz aktualna m.in. z uwagi na rosnące znaczenie sieci programowalnych, jak i wyraźnie rosnącą tendencję związaną z liczbą ataków w sieciach teleinformatycznych, jak i z rozmiarem strat wynikających z tychże ataków. Działania atakujących ukierunkowane na obniżenie stopnia przeżywalności sieci, które są istotnie przeciwstawne do zamierzeń operatorów powinny być adekwatnie zaadresowane, tak aby liczba i lokalizacje elementów zarządzających pracą sieci SDN, które przetrwały atak, były wystarczające do poprawnej pracy sieci także w scenariuszu ataku.

Rozprawa doktorska mgra inż. Dariusza Nogalskiego została napisana w języku angielskim i składa się z czterech rozdziałów numerowanych oraz kilku części nienumerowanych (w tym streszczenia w języku angielskim i polskim, spisu treści, wykazu literatury, wykazu skrótów, listy rysunków i tabel). W szczególności, bibliografia zawiera 132 pozycje właściwie dobrane pod względem tematycznym, jak i ich znaczenia. Struktura pracy jest w ogólności poprawna i spełnia zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Dorobek publikacyjny Autora obejmuje około 20 prac (Google Scholar), w tym 7 prac (pięć artykułów konferencyjnych oraz dwa artykuły w czasopismach: International J. of Applied Mathematics and Computer Science – 100 pkt MNiSW, Journal of Communications Software and Systems – 20 pkt MNiSW) omawiających osiągnięcia związane z ocenianą rozprawą doktorską. Doktorant jest pierwszym autorem dwóch z siedmiu powyższych prac.

2. Jaki jest cel naukowy rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany?

Celem naukowym rozprawy jest opracowanie modeli, metod i narzędzi planowania i optymalizacji systemów sieciowych, które dałyby możliwość wyznaczania odpowiednich lokalizacji funkcji sieciowych niezbędnych w celu zapewniania wydajnego i nieprzerwanego funkcjonowania systemów sieciowych w scenariuszach związanych z atakami. W szczególności rozprawa ta analizuje podatności systemów sieciowych na wybrane odmiany ataków, jak i zawiera propozycję metod ograniczenia skutków tychże ataków.

Cel naukowy jest jasno i trafnie zdefiniowany w rozdziale 1 rozprawy (na str. 1-2). Adekwatna do celu rozprawy jest również teza zawarta na str. 11 stanowiąca o *możliwości rozwiązania problemu optymalizacji lokalizacji funkcji krytycznych sytemu w sposób zapewniający niezawodne świadczenie usług sieciowych.*

Jednakże z uwagi na wyraźnie widoczny w rozprawie kontekst scenariuszy ataków, moim zdaniem zasadne byłoby ograniczenie tezy pacy właśnie do tychże scenariuszy, doprecyzowując tym samym dosyć ogólne sformułowanie "resilient network services".

W celu wykazania powyższej tezy, Doktorant rozpatruje aspekty (a)-(c) wymienione we wstępie niniejszej recenzji i proponuje stosowne rozwiązania, wykorzystując metody teorii grafów (do modelowania właściwości struktur systemów sieciowych), programowania matematycznego (w szczególności do rozwiązywania problemów doboru tras w sieciach, jak i lokalizacji kontrolerów SDN) oraz teorii gier w celu odpowiedniego uchwycenia przeciwstawnych dążeń operatorów systemów sieciowych oraz atakujących. Z uwagi na złożoność struktury rozległych systemów sieciowych, oprócz modeli matematycznych umożliwiających wskazanie rozwiązań optymalnych, Doktorant zaproponował również efektywne pod względem czasu obliczeń heurystyki. Opracowane rozwiązania zostały zaimplementowane i poddane weryfikacji podczas realizacji obszernych eksperymentów obliczeniowych.

Praca zawiera szereg rezultatów o istotnym znaczeniu praktycznym m.in. dla projektantów systemów sieciowych, jak i operatorów. Z tych powodów bezsprzecznie wpisuje się w tematykę dyscypliny naukowej Informatyka techniczna i telekomunikacja.

Zakres prac badawczych zrealizowanych przez Doktoranta jest moim zdaniem także odpowiedni pod względem stopnia trudności dla prac badawczych na poziomie doktorskim.

3. **Na czym polega oryginalny dorobek Autora i jakie jest znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?**

Moim zdaniem, oryginalny dorobek Autora o dużym znaczeniu dla nauki i techniki zaprezentowany w ocenianej rozprawie obejmuje przede wszystkim:

- nowatorska metoda rozwiązania problemu określenia lokalizacji kontrolerów w sieci omówiona w rozdziale 2 (modele + algorytm), której celem jest ograniczenie skutków ataków na sieć SDN. W tym kontekście Autor celnie wskazuje na potrzebę dogłębnej analizy scenariuszy ataków zorientowanych na minimalizację liczby węzłów systemu, które przetrwają atak. Oprócz samej metody, na uznanie zasługuje precyzja opisu podejścia oraz szczegółowa analiza właściwości rozwiązania poprzedzona bogatym zestawem eksperymentów obliczeniowych,
- opisana w rozdziale 3 nowatorska metoda wyznaczania lokalizacji czujników (sensorów) w sieci, w sposób umożliwiający kontrolę jak największej części ruchu, a więc użyteczna w kontekście ataków DDoS związanych z określonymi węzłami docelowymi,
- zaprezentowana w rozdziale 4 metodologia optymalizacji doboru tras oraz określenia lokalizacji funkcji przetwarzania ruchu - istotna w kontekście łańcuchów funkcji sieciowych (ang. service function chains).

Oceniana rozprawa jest również przygotowana z bardzo dużą starannością zarówno pod względem jej struktury, strony językowej, konsekwencji odnośnie użytej notacji, jak i klarowności samego opisu.

Rozwiązania zaprezentowane w niniejszej rozprawie oceniam jako wnoszące znaczny wkład rozwiązanie problemów dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja oraz wartościowe nie tylko pod względem poznawczym, ale także o potencjalnie dużym znaczeniu praktycznym – głównie dla projektantów architektur systemów sieciowych.

Moim zdaniem Autor do rozwiązania postawionych zadań użył właściwych metod badawczych, w tym w szczególności związanych z teorią grafów, programowaniem matematycznym oraz teorią gier. Analiza zawartości rozdziałów 2-4, w tym przedstawionej w tychże rozdziałach weryfikacji właściwości proponowanych metod bazującej na ocenie wyników eksperymentów obliczeniowych skłania mnie do konkluzji, że cel naukowy rozprawy został osiągnięty.

Autor pokazał, że możliwe jest opracowanie strategii określenia lokalizacji funkcji krytycznych systemów sieciowych w sposób umożlwiający niezawodne świadczenie usług. Przedstawił to w szczególności w kontekście scenariuszy umyślnych działań niszczących – ataków. Tym samym można moim zdaniem uznać, że teza rozprawy została przez Autora wykazana.

MRak

4. Jakie są słabsze strony rozprawy?

Rozprawa mgra inż. Dariusza Nogalskiego została przygotowana bardzo starannie zarówno od strony redakcyjnej, jak i ogólnie w kontekście jej zawartości. W mojej opinii jest ona wolna od poważniejszych uchybień. Jednakże, należy moim zdaniem wskazać, że:

1) w rozprawie brakuje krótkiego rozdziału (nr 5) podsumowującego zawartość i osiągnięcia całej rozprawy,

2) dla pełności obrazu wkładu Autora w powstanie prac naukowych, na podstawie których zostały przygotowane rozdziały 2-4 rozprawy, warto byłoby zamieścić w rozprawie krótką informację dotyczącą obszarów zaangażowania Autora w powstanie tychże prac (szczególnie w kontekście mnogości sformułowań w rozprawie typu „...we introduce...", „...we present...").

Dodatkowo, analiza zawartości rozprawy nasunęła następujące **uwagi natury polemicznej**, które mogą posłużyć jako wskazówki do dalszej pracy badawczej:

A) Scenariusz analizowany przez Autora zakłada działanie dokładnie jednego atakującego, a proponowane podejście dotyczy swoistej „gry" między jednym atakującym (domyślnie jednostką zewnętrzną) a atakowanym (systemem). W tym kontekście warto byłoby rozszerzyć analizę o przypadek współwystępowania kilku atakujących o działaniach niezależnych / zależnych od siebie.

B) Analizując konkretne scenariusze ataków, Autor zakłada, że funkcjonalność systemu sieciowego nie jest dodatkowo ograniczona przez inne czynniki. W tym kontekście warto byłoby poszerzyć analizę o kontekst występowania równoległych awarii w systemie podyktowanych innymi czynnikami (awarie losowe elementów systemu, działania sił natury – pożary, huraganami, itp., implikujące awarie wielu elementów systemu). Zasadne jest bowiem przypuszczenie, że scenariusze implikujące początkowe osłabienie systemu, w tym jego mechanizmów obronnych, mogą być dodatkowym czynnikiem inicjującym działania atakujących, jak i potęgującym skutki działań atakujących.

Powyższe uwagi nie umniejszają mojej całościowej pozytywnej oceny rozprawy.

5. Podsumowanie

Podsumowując, moja całościowa ocena rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza Nogalskiego jest jednoznacznie pozytywna. Moim zdaniem rozprawa spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, zatem wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto, pomimo stosunkowo ograniczonych wskaźników bibliometrycznych wydawnictw (czasopism/konferencji w dorobku Autora), na których bazuje rozprawa, z uwagi na wysoką wartość merytoryczną rozprawy i duże znaczenie jej wyników wnoszę o rozpatrzenie możliwości wyróżnienia rozprawy.

Jacek Rak