

PDITT
mpi. 05.10.2022

M. Skon

dr hab. inż. Mikołaj Leszczuk, prof. AGH
Instytut Telekomunikacji

Kraków, dn. 2 października 2022 r.

Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

al. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

mikolaj.leszczuk@agh.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Jakuba Szyguły

„Adaptacyjne algorytmy zarządzania natężeniem ruchu w sieci Internet”

Promotor: dr hab. inż. Adam Domański, prof. PŚ

Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki

Politechnika Śląska

Dziedzina: nauki techniczne

Dyscyplina: Informatyka Techniczna i Telekomunikacja

Problem badawczy objęty zakresem rozprawy

Celem przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jakuba Szyguły jest zrozumienie, rozszerzenie i uporządkowanie wiedzy na temat adaptowalnych technik AQM (ang. *Active Queue Management*) w sieciach komputerowych. Zastosowanie proponowanych metod w praktyce optymalizuje wydajność transmisji internetowej. Umożliwia to optymalizację średniego czasu oczekiwania pakietów w buforze transmisji oraz poziomu zajętości kolejki.

W rozprawie omówiono proponowane adaptacyjne strategie aktywnego zarządzania kolejkami. Wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych przez doktoranta przy użyciu tych modeli zostały następnie opublikowane w recenzowanych publikacjach i zaprezentowane na najważniejszych międzynarodowych konferencjach naukowych.

Niniejsza rozprawa jest więc kompilacją pięciu recenzowanych, opublikowanych publikacji naukowych. Zawierają one wyniki badań i podają proponowane modele adaptowalnych systemów AQM. Recenzowana rozprawa przedstawia zarówno same te publikacje, jak i dokładne wyjaśnienie indywidualnego wkładu autora.

Na podstawie wyników badań, doktorant wnioskuje, że rozwój technik adaptacyjnego zarządzania pakietami, które mogą dostosowywać się do długoterminowych zależności, a także obciążenia ruchem, może znacznie poprawić efektywność transmisji w sieciach komputerowych.

Metody adaptacyjnego zarządzania kolejkami przedstawione w niniejszej rozprawie są wyraźnie bardziej złożone obliczeniowo niż najbardziej podstawowe algorytmy z rodziny RED (ang. *Random Early Detection*), pomimo proponowanych uproszczeń, wprowadzonych w celu zmniejszenia liczby wykonywanych operacji. Z drugiej strony zapewniają wysoki poziom optymalizacji parametrów transmisji i zarządzania kolejką buforów. Doktorant jest jednak

przekonany, że wraz z ciągłym postępowaniem technologicznym, większym dostępem do wydajnych i wydajnych obliczeniowo routerów oraz zwiększoną dostępnością wysokowydajnego sprzętu komputerowego, wkrótce możliwe będzie pełne wykorzystanie rozwiązań proponowanych w niniejszej rozprawie.

Jak informuje w rozprawie doktorant, wytyczne do przyszłych badań dodatkowych zostały opracowane indywidualnie w specyficzny sposób i stanowią reakcję na uwagi recenzentów, które pojawiły się podczas publikacji artykułów zawartych w niniejszej rozprawie. Pierwszym potencjalnym kierunkiem będzie wdrożenie proponowanych algorytmów aktywnego zarządzania kolejkami w środowisku Linux oraz w routerach zgodnych z OpenWrt. Wyśitek ten umożliwi prowadzenie badań z wykorzystaniem rzeczywistego ruchu pakietowego w Internecie. Będzie to również pierwszy krok do wprowadzenia w życie omówionych algorytmów aktywnego zarządzania kolejką.

Przyszłe prace prawdopodobnie będą wymagały również lepszej optymalizacji proponowanych rozwiązań, aby były one kompatybilne z funkcjonalnością i wydajnością obecnych urządzeń sieciowych. Z drugiej strony możliwe jest już zastosowanie proponowanych technik. Wbrew pozorom najtrudniejszą obliczeniowo procedurą i wymagającą dostępu do najbardziej zaawansowanej technologii jest uczenie samego modelu sieci neuronowej. Jednak koszt korzystania z niego nie jest już tak wysoki, co rozwiewa obawy o to, jak dobrze sprawdzą się dzisiejsze szeroko dostępne i używane urządzenia sieciowe.

Podsumowując powyższe, kierunek badań, wybór problematyki rozprawy doktorskiej oraz jej celów zaproponowane przez Pana mgr inż. Jakuba Szyguły oceniam zdecydowanie pozytywnie. Lokują się one korzystnie w nakreślonej wyżej tematyce współczesnej informatyki technicznej i telekomunikacji, dotyczącej zarówno podstaw teoretycznych, jak i ich zastosowań praktycznych. Tematyka rozprawy dotyczy bardzo ważnego i aktualnego obszaru badawczego.

Ocena organizacji rozprawy

Podstawowe osiągnięcia naukowe niniejszej rozprawy wymienione zostały w wykazie opublikowanych artykułów, który stanowi pierwszą część zakresu rozprawy. Następnie w rozprawie podana jest lista innych artykułów, a na koniec – opis wszystkich osiągnięć naukowych.

Sieci komputerowe i techniki AQM zostały omówione w rozdziale 1. Omówiono w nim tezę i cel pracy.

Podstawowe zagadnienia teoretyczne transmisji danych w sieci Internet zostały przedstawione w rozdziale 2. W następujących podrozdziałach omówione zostały: metody kontroli przeciążenia w protokole TCP (podrozdział 2.1), zasady współpracy protokołu TCP z mechanizmem AQM (podrozdział 2.2), model aproksymacyjny Fluid-Flow służący do oceny współpracy mechanizmów AQM z protokołem TCP (podrozdział 2.3), właściwości samopodobieństwa ruchu sieciowego (podrozdział 2.4), a także aktualny stan wiedzy w zakresie mechanizmów aktywnego zarządzania kolejką (podpunkt 2.5).

Pięć recenzowanych artykułów naukowych (współautorstwa doktoranta), które dostarczają zupełnie nowych adaptacyjnych technik aktywnego zarządzania kolejką, przedstawiono w rozdziale 3 jako jedna grupa. Dodatkowo, rozdział ten obejmuje wyniki i zagłębia się w dyskusję na temat indywidualnych wkładów autora.

Badania przedstawione w rozdziale 4 proponują model metody AQM, która określa prawdopodobieństwo utraty pakietów na podstawie odpowiedzi z trzech oddzielnych kontrolerów PI^α .

Materiał z publikacji omówionej w rozdziale 5 rozprawy koncentruje się przede wszystkim na doborze parametrów techniki AQM opartej na uczeniu maszynowym i na uczeniu przez wzmocnienie.

Adaptacyjny system AQM, który dostosowuje się do natężenia ruchu i poziomu samo-podobieństwa, został opisany w artykule omówionym w rozdziale 6. Podobnie, proponowane podejście oparte jest na sieciach neuronowych i uczeniu przez wzmocnienie.

W rozdziale 7 znajduje się artykuł, który proponuje adaptacyjny system AQM oparty na technikach nadzorowanego uczenia się.

Badania dotyczące modelu AQM zostały przedstawione w rozdziale 8 i dotyczą transmisji dla urządzeń Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things*), a w szczególności zaś ochrony ich priorytetowych danych.

Ustalenia omówione w rozdziałach od 4 do 8 wspierają główną tezę rozprawy. Wydajność transmisji w sieci komputerowej można znacznie poprawić, projektując adaptacyjne systemy AQM, które reagują nie tylko na natężenie ruchu w sieci, ale także na długoterminowe zależności ruchu.

Rozdział 9 zawiera szczegółowe informacje na temat końcowych wniosków z badań, sformułowania tezy i potencjalnych kierunków badań.

Rozprawę doktorską kończy spis literatury światowej i krajowej cytowanej w pracy, zawierający 76 pozycji.

Moim zdaniem struktura rozprawy doktorskiej jest zdecydowanie poprawna. Doktorant przedstawił kolejne zagadnienia w sposób przekonujący, logiczny i czytelny, co ułatwia lekturę i analizę treści rozprawy.

Teza rozprawy

Autor rozprawy opracował nowatorską tezę badawczą, którą poparł własnymi badaniami. Poniżej znajduje się definicja tezy recenzowanej rozprawy:

Teza. Stworzenie adaptacyjnych mechanizmów zarządzania pakietami, dostosowujących się nie tylko do natężenia ruchu sieciowego, ale również do zależności długoterminowych, może znacząco zwiększyć efektywność transmisji w sieciach komputerowych.

Główna teza rozprawy koncentruje się na opracowaniu adaptacyjnych technik zarządzania pakietami, które mogą dostosowywać się zarówno do wielkości, jak i do samo-podobieństwa ruchu sieciowego. Pozwala to na bardzo istotną poprawę wydajności transmisji w sieciach komputerowych.

Uzyskane wyniki potwierdzają tezę, że zastosowanie modelu adaptacyjnego mechanizmu AQM, reagującego na zmiany zajętości kolejki buforowej, wynikające ze zmiennego natężenia ruchu i jego samo-podobnych charakterystyk, pozwala na zwiększenie efektywności transmisji przez Internet. Badania potwierdziły, że na średnią zajętość kolejki oraz liczbę odrzuconych pakietów istotny wpływ miał poziom samo-podobieństwa ruchu, wskazywany przez parametr Hursta.

Moim zdaniem Pan mgr inż. Jakub Szyguła rozwiązał przedstawione problemy naukowe przy użyciu właściwych metod badawczych. W tym celu doktorant użył eksperymentów, w których wdrożył zaproponowane metody, a następnie przeprowadził szereg badań nad stworzonymi scenariuszami badawczymi. Przedstawionym w rozprawie wynikom towarzyszyła wnikliwa analiza i dyskusja.

Analiza źródeł (w tym literatury światowej i stanu techniki)

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Szyguły dotyczy bardzo aktualnych zagadnień związanych z informatyką techniczną i telekomunikacją. Doktorant dokonał przeglądu literatury. Lista bibliograficzna zawarta w rozprawie zawiera 76 (w zdecydowanej większości) publikacji naukowych, uszeregowanych według kolejności cytowania. Wśród nich część to istotne prace związane z tematyką rozprawy. Stanowi to dosyć dobre wprowadzenie do dalszej części rozprawy uwypuklając oryginalne koncepcje doktoranta i ułatwia czytanie rozprawy. Można natomiast podnieść, że liczba 76 pozycji literatury, nie jest relatywnie wysoka, jak na rozprawę doktorską. Mimo wszystko jednak, moim zdaniem doktorant posiada zadowalającą wiedzę i znajomość współczesnej literatury naukowej związanej z tematem rozprawy.

Analiza źródeł (w tym literatury światowej i stanu techniki) świadczy o dostatecznej wiedzy doktoranta, o charakterze zarówno podstawowym dla dziedziny nauk technicznych, jak też i o charakterze szczegółowym, odpowiadającym obszarowi prowadzenia badań naukowych zawartych w rozprawie.

Rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki i względem autora świadczy o jego znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej informatyki technicznej i telekomunikacji.

Poprawność pracy

Poprawność treści pracy nie budzi moich istotnych zastrzeżeń, a zawarte w niej stwierdzenia wydają się godne zaufania, co wynika z dość szczegółowych uzasadnień, potwierdzonych wynikami przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Generalnie praca jest poprawna pod względem treści i metodologii. Przeprowadzono do końca wszystkie zaplanowane badania naukowe.

Autor rozwiązał postawiony problem naukowy, a także użył do tego właściwych metod dowodząc, że posiadał umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych. Przedstawienie wyników odbyło się w sposób zwięzły i jasny dla czytelnika rozprawy.

Oryginalne wyniki rozprawy ich znaczenie dla dyscypliny naukowej

Efektom pracy doktoranta jest opracowanie rozwiązań mających na celu uregulowanie przeciążeń Internetu. Niniejsza rozprawa doktorska jest kompilacją pięciu recenzowanych artykułów, z których każdy zawiera wyniki badań, a także proponowane modele procesów adaptacyjnych do aktywnego zarządzania kolejkami.

W modelach proponowanych w rozprawie Pana mgr inż. Jakuba Szyguły do wyboru ustawień regulatora zastosowano podejścia uczenia przez wzmocnienie. Publikacje doktoranta dostarczają również autorski model adaptacyjnego mechanizmu AQM oparty na sieciach neuronowych. W rozprawie przedyskutowano również kwestie transferu danych w kontekście przemieszczania się urządzeń Internetu Rzeczy. Najnowszy z artykułów zawiera adaptacyjny model mechanizmu AQM, który jest szczególnie skoncentrowany na ochronie jego priorytetowych pakietów.

Doktorant wykorzystał metodę symulacyjną i metodę analityczną opartą na modelu aproksymacyjnym Fluid-Flow, aby ocenić skuteczność działania proponowanych rozwiązań. Dodatkowo doktorant zaproponował potencjalne kierunki przyszłych badań.

Dotychczasowy dorobek naukowy doktoranta objął 1 patent, 16 publikacji (we współautorstwie) w recenzowanych czasopismach naukowych z listy ministerialnej, z których

8 zostało opublikowanych, a kolejne 8 zaprezentowano na międzynarodowych konferencjach naukowych. Według cytowań w bazach Scopus i Web of Science, doktorant posiada indeks Hirscha równy 3.

Podsumowanie pozostałych parametrów bibliometrycznych dorobku naukowego wygląda następująco:

- Sumaryczny IF: 21.249
- Sumaryczny SNIP: 10.009
- Sumaryczny Cite-Score: 37.4
- Sumaryczna punktacja MNiSW: 1 045

Świadczy to bardzo pozytywnie o stopniu weryfikacji uzyskanych wyników przez międzynarodowe grono specjalistów w omawianej dziedzinie.

Liczba publikacji doktoranta jest relatywnie duża, a jakość opublikowanych artykułów (ich parametry biblio-metryczne) – wysoka.

Należy na koniec podkreślić, że opracowane koncepcje i uzyskane wyniki mogą mieć duże znaczenie praktyczne. Doktorant zdefiniował, a następnie rozwiązał niektóre z aktualnych problemów badawczych. Świadczy o tym też wspomniany już patent, którego doktorant jest współautorem, a także fakt, że doktorant uczestniczył lub uczestniczy w 7 projektach badawczych (krajowych i międzynarodowych). Pozytywny obraz dopełniają także liczne nagrody i wyróżnienia uzyskane przez doktoranta podczas pracy nad przygotowaniem dysertacji.

Poziom edycyjny rozprawy

Generalnie, poziom edycyjny rozprawy jest dosyć wysoki. W jej teście zdarzają się co prawda drobne niedociągnięcia edycyjne, jednakże jest to dosyć zrozumiałe przy stosunkowo obszernej rozprawie (174 strony).

Nieliczne niedociągnięcia dotyczą przede wszystkim formatowania rysunków. Przede wszystkim, brakuje w nich konsekwencji stylistycznej w zakresie czcionek, rozmiarów, kolorów, grubości linii itd. – które to elementy graficzne występują w bardzo wielu rodzajach. Jeżeli miałyby to mieć uzasadnienie w postaci korzystania z zewnętrznych rycin i wykresów na prawie cytatu, powinno to być bardzo wyraźnie zaznaczone, co jednak nie zawsze ma miejsce. Ponadto część rysunków (przede wszystkim wykresów) jest o niskiej jakości wizualnej (grafika rastrowa niskiej rozdzielczości zamiast grafiki wektorowej lub rastrowej o wysokiej rozdzielczości).

Należy zauważyć jednak, że z uwagi na charakter rozprawy, opartej na już opublikowanych artykułach, na kwestie edycyjne rozprawy wpływ mogły mieć standardy poszczególnych wydawnictw.

Mimo niewielkich zastrzeżeń pragnę podkreślić wysoką jakość pracy pod względem językowym, stylistycznym i redakcyjnym.

Podsumowanie wad i słabych stron rozprawy

Trudno wskazać poważniejsze wady ogólne, czy też krytycznie słabe, szczegółowe strony rozprawy. W zasadzie zwrócić uwagę można jedynie na dwa poniżej wyartykułowane aspekty:

1. Liczba 76 pozycji literatury, nie jest relatywnie wysoka, jak na rozprawę doktorską. Niektóre z publikacji składowych rozprawy, mają porównywalną liczbę odniesień do pozycji piśmiennictwa.
2. Przy lekturze tekstu pojawiają pewne drobne niedociągnięcia edycyjne rozprawy. Niedociągnięcia te jednak nie mają istotnego wpływu na generalnie wysoką ocenę poprawności redakcyjnej rozprawy.

Końcowe wnioski recenzji (konkluzja)

Podsumowując stwierdzam, że:

1. Cel rozprawy został osiągnięty. O słuszności postawionej w niniejszej rozprawie tezy świadczy analiza wyników eksperymentu badawczego, które zostały przeprowadzone, opublikowane w renomowanych publikacjach naukowych w trakcie realizacji badań niniejszej rozprawy oraz zaprezentowane na międzynarodowych konferencjach naukowych.
2. Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z zakresu dyscypliny informatyki technicznej i telekomunikacji, która to rozprawa obejmuje osiągnięcia doktoranta wymienione w niniejszej recenzji.
3. Dobór literatury i jej przegląd dowodzą, że doktorant w stopniu zadowalającym zna tematykę rozprawy. W bazach publikacji (a także i w spisie literatury zawartym w treści rozprawy) znajdują się pozycje związane ściśle z tematyką rozprawy, których współautorem jest autor rozprawy, co oznacza, że doktorant posiada już dorobek naukowy w tej dziedzinie.
4. Rozprawa dowodzi również, że doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań.

Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw z 2003 r. numer 65, pozycja 595, art. 13, ust. 1) stanowi:

Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub artystycznego oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.

Na podstawie punktów 1, 2, 3 i 4 podsumowania niniejszej recenzji stwierdzam, że przedstawiona przez Pana mgr inż. Jakuba Szyguły rozprawa doktorska wyraźnie wykracza poza poziom przeciętny, jednocześnie spełniając z wyraźnym nadmiarem wymagania warunki określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o przyjęcie w/w rozprawy doktorskiej i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Jednocześnie pragnę zauważyć, że doktorant (we współautorstwie) opublikował 16 publikacji (we współautorstwie) w recenzowanych czasopismach naukowych ujętych w Wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych wraz z przypisaną liczbą punktów Ministerstwa Nauki i Edukacji, z których 8 zostało opublikowanych, a kolejne 8 zaprezentowano na międzynarodowych konferencjach naukowych.

Spełnia to z nadmiarem punkt pierwszy zasad wyróżniania prac doktorskich, które to zasady zostały określone przez Radę Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, dla prac doktorskich, w których Rada Wydziału wyznaczyła recenzentów na posiedzeniu po dniu 1 października 2018 r.

W świetle wspomnianych zasad, „doktorant powinien być autorem/współautorem przynajmniej dwóch publikacji związanych z tematyką rozprawy i opublikowanych lub przyjętych do druku z nadanym numerem DOI w czasopismach z listy A MNiSW”.

Biorąc więc pod uwagę powyższe ustalenia, a także wysoką aktualność i nowoczesność podjętej tematyki, wysoką wartość uzyskanych wyników, wysoki poziom naukowy rozprawy, a także staranność jej przygotowania i relatywnie wysoki poziom edycyjny, formułuję wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej przedstawionej przez Pana mgr inż. Jakuba Szygułę.

