

NPI. RPITT  
15.09.2022  
M. Skowron

dr hab. inż. Krzysztof Zatwarnicki, prof. uczelni  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki  
Politechnika Opolska

Opole, 09.09.2022 r.

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jakuba Szyguły  
pt. „**Adaptacyjne algorytmy zarządzania natężeniem ruchu w sieci  
Internet**”

opracowana na zlecenie  
Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji  
Politechniki Śląskiej z dnia 27.07.2022 roku

### **1. Ocena wyboru tematu rozprawy**

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy algorytmów i metod przeciwdziałania przeciążeniom w sieci Internet. Problem przeciążeń w Internecie jest obserwowany od momentu, gdy sieć ta została udostępniona do publicznego użytkownika.

Obecnie problemy związane z przeciążeniem sieci Internet są rozwiązywane z wykorzystaniem mechanizmów związanych z warstwą sieciową, w której pracuje protokół IP oraz warstwą transportową wykorzystującą protokół TCP. W ramach protokołu TCP wykorzystuje się mechanizm potwierdzeń otrzymania poprzednio wysłanych segmentów (jednostek protokołowych protokołu TCP). Liczba segmentów, które źródło danych może wysłać bez potwierdzenia do odbiorcy, określone jest przez tzw. okno przeciążenia. Regulacja wielkości okna przeciążenia wpływa na tempo wysyłania danych przez źródło. Zastosowanie odpowiednich algorytmów regulujących okno przeciążenia ma znaczący wpływ na występowanie przeciążeń w sieci Internecie. W warstwie sieciowej, w której pracuje protokół IP wykorzystywane są urządzenia tzw. routery, które decydują o przekierowaniach pakietów (jednostek protokołowych protokołu IP). Routery, z powodu limitów prędkości przesyłania danych, często nie mają możliwości wysłania wszystkich otrzymanych pakietów. Pomimo stosowanych w routerach buforów, przechowujących czasowo dane, część pakietów musi zostać usunięta. Algorytm zarządzania pakietami i ich odrzucaniem w buforze zorganizowanym jako kolejka jest drugim miejscem, które znacząco wpływa na przeciwdziałanie przeciążeniom w sieci Internet.

Na skuteczność pracy wskazanych mechanizmów wpływa również charakterystyka ruchu generowanego przez użytkowników Internetu. Ruch ten charakteryzuje się wybuchowością i samopodobieństwem.

Doktorant zajął się w pracy mechanizmami aktywnego zarządzania kolejkami w ruterach. Zagadnienie to nie jest nowe i już w 1993 roku zaproponowany został algorytm Random Early Detection (RED), którego liczne odmiany są obecnie powszechnie stosowane. Należy jednak zauważyć, że sieć Internet zmienia się bez przerwy z kilku powodów. Jednym z nich jest ciągły wzrost liczby użytkowników. Dodatkowo zmienia się charakterystyka ruchu generowanego przez użytkowników, nawet wystąpienie pandemii COVID-19 zmieniło sposób użytkowania przez nas Internetu. Kolejną przyczyną zmian ruchu w Internecie są zmiany wykorzystywanych technologii np. w zakresie sieci bezprzewodowych, takie jak wprowadzenie sieci 5G lub Internetu satelitarnego Starlink. Zmiany zachodzące w sieci Internet wymuszają opracowywanie coraz to nowszych algorytmów, metod i rozwiązań technicznych.

Praca doktorska: „**Adaptacyjne algorytmy zarządzania natężeniem ruchu w sieci Internet**” dotyczy bardzo aktualnej problematyki adaptacyjnego sterowania kolejką pakietów IP w ruterach. Szerokie spektrum problemów, które pojawiły się w trakcie realizacji pracy, jak również aktualność tematyki oraz jej duża ważność praktyczna gwarantują, że zainicjowane w pracy badania bezpośrednio związane między innymi z wykorzystaniem narzędzi sztucznej inteligencji mogą być kontynuowane w przyszłości.

## **2. Cel i teza badawcza rozprawy**

Praca Pana mgr inż. Jakuba Szyguły jest wynikiem studiów prowadzonych przez Doktoranta nad zagadnieniami adaptacyjnego sterowania natężeniem ruchu w sieci Internet.

Przedmiotem badań zaprezentowanych w pracy było zaproponowanie zestawu algorytmów umożliwiających adaptacyjne sterowanie w czasie rzeczywistym kolejką pakietów w ruterach.

W dysertacji, na stronie 17, postawiona została teza badawcza:

*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.*



Celem pracy było przedstawienie nowego podejścia do adaptacyjnych mechanizmów aktywnego zarządzania kolejką.

Zagadnienia naukowe, jakie Autor postawił sobie do rozwiązania, zostały sformułowane poprawnie. Cel pracy mógłby zostać przedstawiony bardziej precyzyjnie. Prezentowane w dysertacji rozwiązania, mające na celu uzasadnienie dokonań teoretycznych oraz potwierdzenie postawionej tezy, przedstawiono w sposób czytelny i przejrzysty.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

Przedstawiona rozprawa została przygotowana, jako praca doktorska. Rozprawa składa się z dziewięciu rozdziałów, bibliografii, oświadczeń współautorów, spisu tabel oraz spisu nagród i wyróżnień autora. Ogólna objętość rozprawy to 172 strony.

Recenzowaną rozprawę zaliczam do grupy prac konstrukcyjno-eksperymentalnych. Nie ulega wątpliwości, że Doktorant osiągnął wysoki stopień opanowania teorii w zakresie zarządzania przeciążeniami w sieci Internet, a zwłaszcza sterowania procesem odrzucania pakietów w ruterach sieciowych.

Praca jest skonstruowana poprawnie, zawiera wstęp wraz z omówieniem stanu wiedzy, wyraźnie sformułowany cel oraz precyzyjnie postawioną tezę (rozdział 1).

W rozdziale drugim Autor przedstawił ogólne wprowadzenie w problematykę transmisji danych w sieci Internet. Omówił sterowanie przeciążeniem w protokole TCP, zagadnienia charakterystyki ruchu sieciowego, w tym samopodobieństwa ruchu oraz opisał dotychczasowy stan wiedzy w zakresie adaptacyjnego zarządzania kolejką w ruterach IP. Zaprezentowany stan wiedzy w zakresie sterowania przeciążeń w sieci Internet świadczy o dużej wiedzy autora i znajomości badanych zagadnień.

Rozdział trzeci stanowi omówienie publikacji, których Doktorant był współautorem. Treści poszczególnych publikacji zawarte zostały w rozdziałach od czwartego do ósmego.

W podrozdziale 3.1 omówiona została publikacja pt. „AQM mechanism with the dropping packet function based on the answer of several PI controllers”. Treść publikacji umieszczona została w rozdziale 4. W publikacji mówiony został mechanizm aktywnego zarządzania kolejką w ruterach z wykorzystaniem trzech kontrolerów  $PI^\alpha$ .

Podrozdział 3.2 zawiera omówienie publikacji „AQM mechanism with neuron tuning parameters”, treść publikacji umieszczona została w rozdziale 5. W publikacji omówione zostało zagadnienie zastosowania pojedynczego neuronu oraz uczenia nadzorowanego.

Podrozdział 3.3 poświęcony został publikacji „Adaptive Hurst-Sensitive Active Queue Management” stanowiącej treść rozdziału 6. W publikacji zaproponowany został mechanizm wykorzystujący sztuczne sieci neuronowe, które umożliwiają dostosowanie sterowania do charakteru ruchu, w tym do stopnia samopodobieństwa.

W podrozdziale 3.4 omówiona została publikacja „Supervised Learning of Neural Networks for Active Queue Management in the Internet”, która stanowi treść rozdziału 7. W publikacji omówiony został mechanizm zarządzania kolejką z wykorzystaniem konwolucyjnych sieci neuronowych uczonych w sposób nadzorowany.

Ostatnia publikacja „The IoT gateway with active queue management” została omówiona w rozdziale 3.5 i umieszczona w rozdziale 8. Publikacja dotyczy mechanizmu aktywnego zarządzania kolejką, który wspomaga zmniejszanie opóźnień priorytetowych pakietów urządzeń Internetu Rzeczy.

W omówionych w dysertacji publikacjach głównym pomysłodawcą kluczowych algorytmów i metod jest mgr. inż. Jakub Szyguła. Jest to potwierdzone oświadczeniami autorów publikacji umieszczonymi na końcu pracy.

Pracę kończy rozdział dziewiąty, który stanowi podsumowanie rozprawy. W rozdziale tym zawarto również wskazania na dalsze możliwe kierunki badań.

Na podstawie przedstawionego skrótowego omówienia treści całej rozprawy należy odnotować, że Autor wykazał się dobrymi umiejętnościami formułowania problemów naukowo technicznych oraz efektywnie rozwiązał postawiony problem z zastosowaniem właściwych metod badawczych.

Oceniając pracę pragnę podkreślić, iż została ona wykonana na wysokim poziomie i jest wartościowa z punktu widzenia pogłębienia wiedzy w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Wnosi ona także oryginalny wkład naukowy i potwierdza wysokie kwalifikacje Autora rozprawy. Należy również podkreślić duże praktyczne znaczenie opracowanych rozwiązań, stwarzające istotne potencjalne możliwości ich zastosowania.



Do najważniejszych osiągnięć prezentowanych w rozprawie można zaliczyć opracowanie przez Autora zestawu adaptacyjnych metod sterowania kolejką pakietów w ruterze z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

#### 4. Uwagi ogólne i szczegółowe

Praca została napisana poprawnym i zrozumiałym językiem polskim z zachowaniem staranności.

Dużym utrudnieniem w czytaniu pracy jest wykorzystanie w pracy nieprecyzyjnego języka technicznego i niewprowadzenie na początku pracy podstawowych pojęć i definicji, którymi w dalszej części Autor by się posługiwał. W pracy nie zostało jasno wskazane, że protokoły TCP i IP pracują w różnych warstwach sieciowych i w związku z tym są w dużym stopniu od siebie niezależne. Autor, w stosunku do jednostek protokołowych protokołu TCP zamiennie używa określenia pakiet i segment, co powoduje, że bardzo trudno jest się domyślić czy chodzi mu o protokół TCP czy IP. Wprowadza pojęcie datagramu (str. 19) jako nazwę jednostki protokołowej dla protokołu IP i nigdzie jej nie używa posługując się w całej pracy pojęciem pakiet (co jest prawidłową nazwą tej jednostki protokołowej w języku Polskim).

Dobrym przykładem nieprecyzyjnej wypowiedzi jest opis do wzoru 2.2. (str.22):

*$W_i$  – oczekiwany rozmiar okna TCP, wyrażony za pomocą liczby pakietów. Definiuje liczbę pakietów, jaka może zostać wysłana bez otrzymania potwierdzenia odbioru,*

*$C$  – przepustowość łącza (liczba pakietów / sek.),*

W opisie tym wyraźnie widać, że raz słowo pakiet oznacza jednostkę protokołową protokołu TCP (dla oznaczenia  $W_i$ ), a innym razem protokołu IP (w przypadku oznaczenia  $C$ ). Okno przeciążeniowe dotyczy jedynie segmentów TCP, natomiast przepustowość łącza można mierzyć jedynie w pakietach IP, ponieważ zdarza się, że jeden segment TCP jest przenoszony przez kilka pakietów IP.

Również opisy związane z oknem przeciążeniowym w protokole TCP oraz z zarządzaniem kolejką w ruterach sieciowych opisane w rozdziałach 1 i 2 zostały zaprezentowane w mało precyzyjny sposób, co utrudnia zrozumienie pracy.

Kolejny problem z brakiem precyzji wypowiedzi pojawił się w rozdziale 9 (str.131) podsumowującym pracę. Autor użył następującego stwierdzenia:

*Analiza uzyskanych wyników z przeprowadzonych eksperymentów badawczych, które w trakcie prac nad niniejszą dysertacją opublikowano w uznanych czasopismach naukowych oraz które przedstawiono na międzynarodowych konferencjach naukowych, dowodzi prawdziwości postawionej w tej pracy tezie, którą udowodniono poniżej: ....*

Rzeczywiście w pracy przedstawione zostały wyniki badań symulacyjnych wskazujących, że adaptacyjne mechanizmy zarządzania pakietami, dostosowują się nie tylko do natężenia ruchu sieciowego, ale również do zależności długoterminowych i mogą znacząco zwiększyć efektywność transmisji w sieciach komputerowych. Niestety badania symulacyjne nie dowodzą stwierdzeniu postawionemu w tezie pracy. Badania te potwierdzają prawdziwość tezy i są całkowicie wystarczające do stwierdzenia, że doktorant zrealizował pracę na wysokim poziomie, wystarczającym do uzyskania stopnia doktora, niemniej wyniki badań nie dowodzą bezpośrednio tezy. Dowodem byłoby, w tym wypadku, przeprowadzenie badań w rzeczywistych warunkach pracy w sieci Internet lub przeprowadzenie dowodu analitycznego. Przeprowadzenie dowodu analitycznego jest raczej niemożliwe dla opracowanych rozwiązań ponieważ są to rozwiązania heurystyczne.

Poza wskazanymi niedociągnięciami w pracy, stwierdzam, że język pracy jest poprawny, a sama praca została napisana z zachowaniem staranności. Nie znalazłem błędów literowych i stylistycznych.

Prezentowane w pracy artykuły zostały napisane starannie, precyzyjnym językiem z najwyższym kunsztem naukowym, w związku z tym nie wnoszę do nich uwag.

Przedstawione powyżej uwagi ogólne i szczegółowe nie obniżają mojej pozytywnej oceny pracy.

W trakcie zapoznawania się z treścią pracy nasunęło mi się kilka pytań i uwag dyskusyjnych, do których prosiłbym o komentarz ze strony Doktoranta.

1. Jaki jest czas podejmowania decyzji o przyjęciu lub odrzuceniu pakietu IP dla poszczególnych rozwiązań prezentowanych w kolejnych rozdziałach. Czy ruter pracujący w rzeczywistej sieci mógłby wykorzystać zaproponowane rozwiązania. Czy decyzje mogą być podejmowane w czasie rzeczywistym.
2. W jaki sposób, w zastosowanych symulatorach, uwzględniane jest zmniejszenie tempa nadawania przez źródło (po zmniejszeniu okna przeciążeniowego w protokole TCP) po odrzuceniu pakietu IP w routerze.



3. Czy zostało zbadane jak zmieniają się charakterystyki przeciążeń, gdy ruter z zaimplementowanymi rozwiązaniami Autora znajdzie się blisko źródła danych lub blisko ujścia danych.
4. Na str. 17 dysertacji, w pierwszym akapicie wskazane zostało, że ewaluacja adaptacyjnych rozwiązań, proponowanych w pracy, realizowana będzie między innymi na drodze badań analitycznych. Gdzie w pracy znajdują się takie badania.

## **5. Konkluzja recenzji**

Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Szyguły rozwiązuje w kompetentny i oryginalny sposób istotny problem w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, a jakość tego rozwiązania, sprawdzona w sposób symulacyjny, nie budzi zastrzeżeń. Dodatkowo potwierdzam, że Doktorant umiejętnie korzysta z najnowszej literatury. W związku z tym oceniam rozprawę, jako dobrą.

Stwierdzam, że rozprawa pt. „*Adaptacyjne algorytmy zarządzania natężeniem ruchu w sieci Internet*” autorstwa Pana mgr inż. Jakuba Szyguły spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych oraz o Stopniach i Tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr. 65, poz. 595) oraz Rozporządzenia MNiSW z dnia 19 stycznia 2018 roku. W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej pracy, jako rozprawy doktorskiej w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja i dopuszczenie jej Autora Pana mgr inż. Jakuba Szyguły do publicznej obrony pracy.

*Krzysztof Köttemidli*