

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

zaprasza na
PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Macieja Sosnowskiego

która odbędzie się w dniu **26 lipca 2023 roku**, o godzinie **11:00** w trybie łączonym (stacjonarnie równoległe ze zdalnie)

Temat rozprawy:

„Metody analityczne wspomagające projektowanie izolowanych łączy wirtualnych w systemach telekomunikacyjnych”

Promotor: prof. dr hab. inż. Wojciech Burakowski – Politechnika Warszawska

Recenzenci: dr hab. inż. Jacek Rak, prof. uczelni – Politechnika Gdańska

dr hab. inż. Mirosław Klinkowski – Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy

Obrona odbędzie się w **Audytorium Centralnym Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych, 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. Andrzej Bęben, email: andrzej.beben@pw.edu.pl, do dnia 25.07.2023 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.-Maciej-Sosnowski>

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

Streszczenie

Praca dotyczy metod analizy systemu kolejkowego z pojedynczym urządzeniem obsługującym i możliwością oczekiwania w kolejce (o skończonej lub nieskończonej długości) zadań na obsługę. System obsługuje pewną liczbę niezależnych strumieni pakietów, które są przesyłane przez to samo łącze transmisyjne. Analizowany system charakteryzuje się tym, że przekaz pakietów należących do danego strumienia nie wpływa na jakość przekazu pakietów należących do pozostałych strumieni. Taka własność systemu nazywa się „zapewnieniem izolacji” (ang. *performance isolation*) i jest wymagana m.in. w systemach zwirtualizowanych, takich jak łącza czy węzły wirtualne.

W szczególności, w pracy zaproponowano metody analizy systemu, w którym wykorzystuje się algorytm szeregowania pakietów oparty na cyklu, oraz modyfikację tego algorytmu zakładającą uwzględnienie priorytetów nieprzerywających. Wyniki otrzymane z metod analitycznych zostały porównane z wynikami symulacyjnymi.

Ostatecznie, zaproponowane metody zostały zastosowane w Systemie IIP do wyznaczania przepływności bitowych i charakterystyk przekazu pakietów dla poszczególnych łączy wirtualnych wykorzystujących to samo łącze fizyczne.

Słowa kluczowe: Łącza wirtualne, system kolejkowy z wakacjami, rozkład stanu systemu, rozkład czasu przebywania w systemie, izolacja systemów obsługi.

Dr hab. inż. Mirosław Klinkowski, prof. IŁ-PIB
Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy
Oddz. we Wrocławiu

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Sosnowskiego
„Metody analityczne wspomagające projektowanie izolowanych
łączy wirtualnych w systemach telekomunikacyjnych”
Promotor: prof. dr hab. inż. Wojciech Burakowski**

Podstawowe dane o kandydacie

Mgr inż. Maciej Sosnowski pracuje na stanowisku asystenta w Instytucie Telekomunikacji na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Tytuł magistra w dziedzinie telekomunikacji uzyskał na Politechnice Warszawskiej w roku 2012. Przedstawiona do recenzji dokumentacja nie zawiera informacji świadczących o uprzednim ubieganiu się kandydata o nadanie stopnia doktora.

1. Cel, zakres i charakter rozprawy

Recenzowana praca dotyczy sieci telekomunikacyjnych, w szczególności metod analizy systemu kolejkowego z pojedynczym urządzeniem obsługującym i możliwością oczekiwania w kolejce (o skończonej lub nieskończonej długości) zadań na obsługę. Analizowany system kolejkowy modeluje przepływ niezależnych strumieni pakietów w wirtualnym łączy transmisyjnym, w którym zapewniona jest izolacja poszczególnych strumieni ruchu. Taka izolacja jest osiągnięta z wykorzystaniem algorytmu szeregowania pakietów opartym na cyklu (tzw. Mechanizm CB) realizującym multipleksację z podziałem czasu (TDMA). Rozważany system kolejkowy ma istotne znaczenie w kontekście systemów wykorzystujących wirtualizację infrastruktury sieciowej, m.in. w takich obszarach jak sieci Internetu Przyszłości, czy też sieci 5G/6G. Wirtualizacja infrastruktury sieciowej umożliwia ustanawianie wielu niezależnych systemów wirtualnych (logicznych) wykorzystujących tę samą infrastrukturę fizyczną, pozwalając tym samym na efektywniejsze wykorzystanie jej zasobów. W tym kontekście, zasadniczym celem pracy jest propozycja metod analitycznych dla wspomagania procesu projektowania i wymiarowania systemów telekomunikacyjnych wykorzystujących techniki wirtualizacji.

Tematykę rozprawy oceniam jako aktualną i istotną dla sektora technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT). Rozprawa ma charakter zarówno teoretyczny jak i użyteczny. W zakresie rozważań teoretycznych, mgr inż. Maciej Sosnowski zaproponował i opracował dokładne metody analityczne analizy systemu dyskretnego wykorzystującego Mechanizm CB, zarówno bez jak i z uwzględnieniem priorytetów szeregowania pakietów, oraz metody przybliżone dla systemów z czasem ciągłym. Aspekt użyteczny rozprawy jest związany z implementacją proponowanych metod w środowisku Matlab, co pozwoliło na uzyskanie wyników numerycznych, oraz przeprowadzeniem badań i analiz m.in. z wykorzystaniem symulatorów zdarzeniowych zaimplementowanych w środowisku JAVA

i symulujących działanie systemów z czasem ciągłym i dyskretnym. Badania te pozwoliły m.in. na analizę właściwości rozważanych systemów jak i weryfikację dokładności proponowanych metod analitycznych w różnych scenariuszach ruchowych.

2. Struktura i zawartości rozprawy

Rozprawa składa się z sześciu rozdziałów, które można podzielić na trzy części: wprowadzającą (rozdziały 1 i 2), prezentującą rozważany mechanizm szeregowania pakietów wraz ze sformułowaniem i analizą opracowanych modeli analitycznych oraz opisem ich praktycznego zastosowania (rozdziały 3–5) oraz podsumowującą (rozdział 6). Rozprawa obejmuje następujące zagadnienia.

- Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy, w tym prezentuje główne cele i osiągnięcia pracy, postawione tezy doktoratu, oraz strukturę pracy.
- Rozdział 2 przedstawia zagadnienie wirtualizacji infrastruktury sieciowej, z odniesieniem do przykładów literaturowych zastosowania wirtualizacji w różnych jej obszarach ze szczególnym uwzględnieniem wirtualnych sieci komputerowych. W tym zakresie praca odnosi się też w sposób ogólny do metod tworzenia izolowanych łączy wirtualnych oraz podstawowych mechanizmów szeregowania transmisji danych używanych w sieciach pakietowych z wykorzystaniem zwielokrotniania w dziedzinie czasu (TDM).
- Rozdział 3, stanowiący główną część pracy, definiuje mechanizm szeregowania pakietów oparty na cyklu (tzn. Mechanizm CB), klasyfikuje ten mechanizm w kontekście systemów kolejkowych i innych obszarów zastosowania, przedstawia szczegółowo opracowany model analityczny systemu dyskretnego z wykorzystaniem teorii kolejek, oraz prezentuje przykładowe wyniki działania modelu. Opracowany model pozwala na wyznaczanie rozkładu stanu systemu w poszczególnych szczelinach czasowych, określenie czasu przebywania pakietu w systemie jak i obliczenie prawdopodobieństwa straty pakietu. Dodatkowo, rozdział ten obejmuje badania systemu z czasem ciągłym, dla którego opracowano przybliżony model czasu oczekiwania pakietu na obsłudze.
- Rozdział 4 stanowi rozszerzenie Mechanizmu CB i modeli zaprezentowanych w Rozdziale 3 przy uwzględnieniu scenariusza z priorytetowym szeregowaniem pakietów i możliwością istnienia okresu ochronnego dla obsługi wyłącznie pakietów o najwyższym priorytecie (tzw. Mechanizm CB+P(+GT)). Przedstawiono metodę wyznaczania rozkładu stanu systemu dyskretnego, zaproponowano metodę obliczania przybliżonego średniego czasu oczekiwania przy założeniu czasu ciągłego, oraz dokonano analizy porównawczej rozważanych systemów w oparciu o badania symulacyjne.
- Rozdział 5 odnosi się do rzeczywistego systemu IIP, opracowanego i zaimplementowanego w ramach Projektu Inżynieria Internetu Przyszłości, jako przykładu systemu, w którym zaimplementowano i wykorzystano Mechanizm CB do wirtualizacji zasobów łączy transmisyjnych.
- Rozdział 6 podsumowuje rozprawę.

Dodatkowo, w załączniku przedstawiono opis opracowanych narzędzi symulacyjnych i analitycznych.

Struktura pracy jest prawidłowa. Praca została napisana w języku polskim na bardzo dobrym poziomie nie stanowiącym trudności w zrozumieniu jej treści oraz prezentowanych rozwiązań. Na szczególne wyróżnienie zasługuje wysoka jakość opisu rozważanych zagadnień i proponowanych modeli, staranne opracowanie rysunków i wykresów, oraz szczegółowa i spójna prezentacja wyników przeprowadzonych badań, co w mojej ocenie stanowi mocną stronę rozprawy.

3. Poprawność i oryginalność postawionej tezy

W rozprawie zdefiniowano cztery tezy, które dotyczą kolejno:

1. Dokładności metody analitycznej opracowanej dla systemu wykorzystującego Mechanizm CB, w tym obliczanych w tej metodzie rozkładów prawdopodobieństwa zmiennej losowej opisującej stan systemu, czasu przebywania pakietu w systemie oraz prawdopodobieństwa straty pakietu.
2. Dokładności opracowanej metody analitycznej pozwalającej na obliczanie rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej stanu systemu wykorzystującego Mechanizm CB+P.
3. Skuteczności proponowanego Mechanizmu CB+P w istotnym zmniejszeniu średniego czasu oczekiwania pakietu na obsługę, przy jedynie nieznacznym wpływie na pozostałe pakiety.
4. Dokładności modelowania sposobu tworzenia łączy wirtualnych w rzeczywistym systemie IIP w oparciu o analizowany Mechanizm CB.

W mojej ocenie postawione tezy pracy są oryginalne i zostały sformułowane poprawnie. Mgr inż. Maciej Sosnowski na podstawie przeglądu literaturowego i własnej wiedzy prawidłowo określił zakres swojej pracy, koncentrując się na istotnych aspektach związanych z problemem modelowania systemów kolejkowych, w tym konkretnie systemu wykorzystującego Mechanizm CB (oraz jego modyfikacje) umożliwiającego wirtualizację zasobów transmisyjnych z izolacją strumieni pakietów w łączach fizycznych. Teza została wykazana w rozprawie poprzez:

1. Opracowanie modeli analitycznych, w oparciu o analizę systemów kolejkowych, pozwalających na dokładne wyznaczenie rozkładu stanu systemów z czasem dyskretnym realizujących Mechanizm CB oraz Mechanizm CB+P w poszczególnych szczelinach czasowych.
2. Opracowanie metod dokładnego wyznaczenia czasu przebywania pakietu w systemie oraz prawdopodobieństwa straty pakietu dla systemu dyskretnego implementującego Mechanizm CB.
3. Opracowanie analitycznych metod obliczania przybliżonego czasu oczekiwania pakietu na obsługę w systemach z czasem ciągłym realizujących Mechanizm CB oraz Mechanizm CB+P.
4. Implementację metod i przeprowadzenie badań numerycznych wraz z analizą i porównaniem ich efektywności z wynikami symulacji w różnych scenariuszach ruchowych.
5. Prezentację ogólnej architektury Systemu IIP, w tym wskazanie na zastosowanie Mechanizmu CB do wirtualizacji zasobów transmisyjnych w łączach fizycznych wykorzystywanych w tym systemie.

Mgr inż. Maciej Sosnowski rozwiązał postawiony problem naukowy stosując prawidłowe metody badawcze, w tym m.in. wykorzystując teorię systemów kolejkowych i łańcuchów Markowa, które są właściwym narzędziem dla analizy rozważanych w rozprawie systemów. Dla wykazania tezy pracy Doktorant posłużył się środowiskiem Matlab, w którym zaimplementował proponowane modele analityczne. Następnie, dla opracowanych scenariuszy badawczych, przeprowadził badania numeryczne oraz symulacje komputerowe. Metodologia przeprowadzonych badań została dokładnie opisana, natomiast wyniki zawarte w pracy są opatrzone odpowiednią analizą i dyskusją.

Moim zdaniem rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego, a postawione cele zostały w pracy osiągnięte.

4. Analiza źródeł (w tym literatury światowej i stanu techniki) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora w zakresie dyscypliny naukowej

Doktorant dokonał dokładnego przeglądu bibliograficznego związanego z tematem rozprawy, w szczególności: (a) w rozdziale 2 w zakresie zagadnienia wirtualizacji infrastruktury sieciowej, (b) w rozdziale 2.1 w kontekście metod i mechanizmów tworzenia izolowanych łączy wirtualnych, oraz (c) w rozdziale 3 w odniesieniu do umiejscowienia analizowanego systemu kolejkowego w rodzinie systemów z wakacjami, w tym obszarów praktycznych zastosowań takich systemów i proponowanych w literaturze metod ich analizy. Lista odniesień do literatury przedmiotu przedstawiona w rozprawie zawiera 118 pozycji, w tym 19 prac, których mgr inż. Maciej Sosnowski jest współautorem.

W mojej ocenie przedstawiona rozprawa doktorska świadczy o ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata związanej z dyscypliną informatyka techniczna i telekomunikacja, w tym o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Odniesienia w tekście do źródeł są odpowiednie i świadczą o dobrej znajomości współczesnej literatury dotyczącej tematu rozprawy. Jednocześnie, proponowane przez Doktoranta rozwiązania dla postawionego problemu badawczego wskazują na zaawansowaną wiedzę o charakterze szczegółowym i praktycznym dotyczącą modelowania i analizy systemów kolejkowych.

5. Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i stanu techniki reprezentowanych przez literaturę światową

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Sosnowskiego związana jest z istotną i aktualną problematyką wirtualizacji infrastruktury sieciowej w sieciach telekomunikacyjnych, w takich obszarach zastosowań jak sieci Internetu Przyszłości, czy też sieci 5G i 6G. Dla potrzeb projektowania tego typu sieci niezbędne są odpowiednie modele analityczne umożliwiające wymiarowania zasobów sieciowych gwarantujących realizacji usług na określonym poziomie. Przy wirtualizacji zasobów transmisyjnych, istotna jest izolacja poszczególnych usług korzystających z tych zasobów, co możliwe jest dzięki zastosowaniu rozważanego w rozprawie Mechanizmu CB sterującego dostępem do fizycznego łącza transmisyjnego. W tym kontekście, w rozprawie zaproponowano i opracowano dokładne i przybliżone metody analityczne wspomagające proces projektowania i wymiarowania systemów wykorzystujących Mechanizm CB.

Zaprezentowany przez Doktoranta przegląd literaturowy wskazuje na aktualność i istotność problematyki wirtualizacji sieci teleinformatycznych, a jednocześnie pokazuje, że zagadnienie modelowania łączy wirtualnych działających w oparciu o Mechanizm CB nie było tematem głębszych badań w literaturze światowej. Wcześniejsze prace dotyczące podobnych systemów kolejkowych (tak zwanych systemów obsługi z wakacjami) związane były głównie z analizą zachowania samochodów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną oraz cykli produkcyjnych. Mimo pewnych analogii, analizowany w pracy system obsługi pakietów w łączach wirtualnych różni się istotnie od wymienionych systemów z wakacjami co nie pozwala na zastosowanie wcześniej opracowanych rozwiązań.

Stąd też, w mojej ocenie opracowane przez Doktoranta metody analityczne pozwalające na określenie stanu i zachowania systemu wykorzystującego Mechanizm CB oraz Mechanizm CB+P(+GT) do wirtualizacji zasobów transmisyjnych w łączu jest nowatorskie i wzbogacające aktualny stan wiedzy reprezentowany przez literaturę światową w obszarze sieci telekomunikacyjnych.

6. Znaczenie uzyskanych wyników dla dyscypliny naukowej

Wśród najważniejszych oryginalnych osiągnięć rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Sosnowskiego można wymienić:

1. Opracowanie, implementację i analizę metody dokładnej wyznaczenia rozkładu stanu systemu dla systemów z czasem dyskretnym implementujących Mechanizm CB oraz Mechanizm CB+P w łączach wirtualnych w sieciach telekomunikacyjnych.
2. Opracowanie, implementację i analizę metod dokładnych wyznaczenia rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej opisującej czas przebywania pakietu w systemie oraz prawdopodobieństwa straty pakietu dla systemu z czasem dyskretnym implementującym Mechanizm CB.
3. Opracowanie, implementację i analizę przybliżonej metody szacowania średniego czasu oczekiwania pakietu dla systemu z czasem ciągłym implementującym Mechanizm CB.
4. Opracowanie, implementację i analizę przybliżonej metody szacowania średniego czasu oczekiwania pakietu dla systemu z czasem ciągłym implementującym Mechanizm CB+P przy założeniu dwóch strumieni pakietów i nieskończonej kolejce.
5. Analizę porównawczą parametrów obsługi strumieni pakietów w systemach wykorzystujących Mechanizm CB, Mechanizm CB+P, Mechanizm CB+P+GT oraz Mechanizm WRR (weighted round robin).

Należy podkreślić, że opracowane koncepcje oraz uzyskane wyniki mają znaczenie praktyczne. Doktorant zdefiniował i następnie rozwiązał realny i aktualny problem badawczy związany z modelowaniem łącz wirtualnych w sieciach telekomunikacyjnych z izolacją obsługiwanych strumieni pakietów uzyskiwaną za pomocą Mechanizmu CB. Rozważany Mechanizm CB jest stosowany m.in. w rzeczywistym Systemie IIP, natomiast proponowane w rozprawie metody znajdują zastosowanie przy analizie i wymiarowaniu łącz transmisyjnych w tym systemie.

7. Główne wady rozprawy, słabe stron wraz z krytycznymi uwagami szczegółowymi

Uwagi ogólne

1. Teza 4 rozprawy (sformułowana w rozdziale 1.3) stwierdza iż „Analizowany Mechanizm CB w sposób dokładny modeluje sposób tworzenia łącz wirtualnych na łączach wyjściowych z urządzenia umożliwiającego wirtualizację, który został zastosowany w Systemie IIP”. Biorąc po uwagę, że tak faktycznie jest, o czym świadczy krótki opis architektury Systemu IIP przedstawiony w rozdziale 5, ta teza nie wymaga istotnego wykazania/dowodu i z punktu widzenia wkładu rozprawy mogłaby zostać pominięta.
2. Podczas klasyfikowania rozważanego Mechanizmu CB w Rozdziale 3.1, wskazano, że mechanizm ten był analizowany w pracy [82]. Jeżeli tak, to należałoby w tym miejscu wskazać z czego wynika konieczność opracowania nowego modelu i jakie są główne różnice (zalety) pomiędzy proponowanym w rozprawie rozwiązaniem a przedstawionym w [82].
3. Ważnym elementem pracy, któremu poświęcony jest rozdział 5, jest wskazanie na zastosowanie Mechanizmu CB w rzeczywistym Systemie IIP, w tym na możliwość wykorzystania proponowanych w rozprawie metod przy analizie i projektowaniu łącz wirtualnych w tym systemie. Jednocześnie, przedstawione w rozprawie wyniki badań odnoszą

się jedynie do badań numerycznych uzyskanych w środowisku Matlab oraz symulacji komputerowych. Uwzględnienie w pracy wyników badań eksperymentalnych zrealizowanych w Systemie IIP po zastosowaniu opracowanych metod (np. w procesie wymiarowania łączny) pozwoliłoby na weryfikację skuteczności tych metod w praktycznym zastosowaniu.

4. Przy prezentacji wyników numerycznych uzyskanych przy pomocy metod analitycznych dokładnych (m.in. w rozdziałach 3.2.1.1, 3.2.2.3, oraz 3.2.3.1) wspomniano, że „wyniki te zostały porównane z wynikami symulacyjnymi”. Jednocześnie na prezentowanych wykresach brak jest jednoznacznej informacji o tym, które wyniki odpowiadają wynikom symulacji. Czy to oznacza, że prezentacja wyników symulacji dla metod dokładnych została pominięta? Jeżeli tak, to wskazane jest wyjaśnienie powodu braku tych wyników.
5. Wyniki badań zaprezentowane w rozdziale 3.2 odnoszą się do systemu o specyficznych parametrach ($T_A = 5$ i $T_N = 10$). Podobnie, w rozdziale 4.1, wyniki badań numerycznych dotyczą konkretnego systemu o parametrach $T_1 = 10$ i $T_2 = 20$. W pracy trudno jest znaleźć wyjaśnienie z czego wynika skupienie się na jednym systemie o takich właśnie parametrach oraz dlaczego nie przeprowadzono podobnej analizy dla systemów o innych parametrach.
6. W pracy nie odniesiono się do potrzeby i planowanych kierunków przyszłych badań związanych z tematem rozprawy. Dla przykładu, czy wskazana jest kontynuacja badań dot. metod dokładnych wyznaczania czasu przebywania pakietu w systemie oraz prawdopodobieństwa jego straty w przypadku Mechanizmu CB+P? Czy warto rozwijać metody przybliżone dla analizowanych wersji Mechanizmu CB, np. zakładając nieograniczoną liczbę strumieni lub ograniczony rozmiar kolejki w przypadku Mechanizmu CB+P? etc. Taka dyskusja wskazałaby, czy temat został wyczerpany, czy też istnieją nie uwzględnione w rozprawie zagadnienia, które są istotne i wymagają dalszych badań.

Uwagi drobne

1. Zawartość rozdziału 5, ograniczona do niecałej strony opisu architektury Systemu IIP oraz dwóch rysunków, jest niewielka i mogłaby stanowić podrozdział część wprowadzającej (w rozdziale 2) lub poświęconej Mechanizmowi CB (w rozdziale 3).
2. W pracy można znaleźć drobne literówki (np. „czasu” -> „czas” na str. 11, „..” -> „.” w rozdziale 4.2.1), nieprecyzyjne sformułowania (np. na początku sekcji 3.1, trudno jest wywnioskować z kontekstu do czego odnosi się stwierdzenie „z punktu widzenia każdego z nich”) oraz pojawiają się drobne błędy w odniesieniu do numerów rozdziałów (np. w podsumowaniu rozdziału 4, zamiast „W rozdziale 4.2” powinno być „W rozdziale 4.1” i zamiast „W rozdziale 4.2.2” powinno być „W rozdziale 4.2.1”). Także, miejscami nie ma spójności w stosowanej notacji (dla przykładu, T_V zostaje zastąpione przez T_N bez stosowanego wyjaśnienia) oraz w tekście trudno jest się doszukać wcześniejszej definicji niektórych symboli (np. T_A i T_N).

8. Konkluzja

Mgr inż. Maciej Sosnowski zaprezentował oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego, wykazując jednocześnie umiejętność samodzielnej realizacji badań naukowych, w tym wykorzystania właściwych metod badawczych oraz poprawnej analizy uzyskanych wyników. Wymienione powyżej sugestie i uwagi krytyczne nie zmieniają mojej pozytywnej opinii dotyczącej osiągnięć pracy, w tym wykazania postawionych tez badawczych.

Stąd też, w świetle przeprowadzonej analizy i oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Sosnowskiego, stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji praca doktorska spełnia ustawowe kryteria wymagane dla uzyskania stopnia naukowego doktora, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Mirosław Klimowicz



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI,
TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI

Gdańsk, 16.05.2023 r.

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

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł: Metody analityczne wspomagające projektowanie izolowanych łączy wirtualnych w systemach telekomunikacyjnych

Autor: Mgr inż. Maciej Sosnowski

Rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Sosnowskiego dotyczy zagadnienia projektowania izolowanych łączy wirtualnych w systemach telekomunikacyjnych. Szczególna uwaga w rozprawie jest poświęcona analizie systemu kolejkowego obejmującego pojedyncze urządzenie obsługujące zadania, które mogą przebywać w kolejce o skończonej lub nieskończonej długości. Zadaniem analizowanego systemu jest obsługa wielu strumieni pakietów przesyłanych tym samym łączem transmisyjnym. Założeniem pracy jest obsługa każdego ze strumieni w sposób niezależny (tzw. właściwość „izolacji”), czyli niewpływający na jakość przekazu pakietów pozostałych strumieni. Rozważany problem jest niewątpliwie ważny i aktualny z uwagi na rolę schematu wirtualizacji zasobów w obecnych sieciach teleinformatycznych, jak i ze względu na prognozowane duże jego znaczenie w odniesieniu do przyszłych architektur sieci. Praca prezentuje w szczególności autorskie metody analizy systemu wykorzystującego schemat szeregowania pakietów oparty na koncepcji cyklu.

Oceniana rozprawa doktorska została napisana w języku polskim i składa się z sześciu rozdziałów numerowanych oraz kilku części nienumerowanych, m.in. opisu opracowanych narzędzi symulacyjnych i analitycznych, wykazu literatury, wykazu skrótów, wykazu symboli i oznaczeń, spisu rysunków oraz spisu tabel.

1. Jaki jest problem naukowy, cel i teza rozprawy oraz czy zostały one trafnie i jasno sformułowane?

Zadaniem naukowym rozprawy jest analiza właściwości systemu kolejkowego wyposażonego w pojedyncze urządzenie obsługujące zbiór niezależnych strumieni pakietów przesyłanych przez to samo łącze transmisyjne. Rozpatrywany problem obsługi strumieni jest niewątpliwie ważny w przypadku systemów oferujących wirtualizację zasobów infrastruktury obecnych sieci, w tym w szczególności obecnych systemów 5G. Wirtualizacja jest ważnym aspektem umożliwiającym zwiększenie stopnia efektywności wykorzystania zasobów systemu.

Celem pracy jest prezentacja autorskich metod analitycznych służących wsparciu procesu projektowania systemów realizujących koncepcję wirtualizacji. Szczególna uwaga jest poświęcona opisowi i analizie właściwości propozycji określonej mianem mechanizmu CB, tzn. szeregowania pakietów opartego na cyklu oraz jego modyfikacji CB+P i CB+P+GT. Cel pracy został jasno określony na stronie 10, a zakres prac opisany na stronie 12 odpowiada wymogom zwyczajowo stawianym rozprawom doktorskim.

W rozprawie zdefiniowano na stronie 11 cztery tezy. Ich sformułowania są w mojej opinii ogólnie poprawne i jasne. W szczególności zgadzam się z zaklasyfikowaniem pierwszych dwóch z czterech stwierdzeń jako tez, tj. Tezy 1:

„Zaproponowana metoda analityczna dla systemu wykorzystującego mechanizm CB jest metodą dokładną i pozwala na obliczenie: (i) rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej opisującej stan systemu, (ii) rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej opisującej czas przebywania pakietu w systemie oraz (iii) prawdopodobieństwa straty pakietu dla przypadku systemu ze skończoną długością kolejki”.

oraz Tezy 2:

„Zaproponowana metoda analityczna dla systemu wykorzystującego mechanizm CB+P jest metodą dokładną i pozwala na obliczenie rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej opisującej stan systemu”.

Tezy te są w mojej ocenie sformułowane także w sposób jednoznaczny i właściwy.

W mojej ocenie, dwa kolejne sformułowania wyszczególnione na stronie 11 rozprawy jako teza 3 oraz teza 4 mają bardziej charakter podsumowań/wniosków aniżeli tez.

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

Na oryginalny dorobek Autora ocenianej rozprawy moim zdaniem składają się następujące elementy:

Rak

- 1) opis koncepcji wirtualizacji zasobów systemu sieciowego wraz z szczegółowym omówieniem zasad tworzenia łączy wirtualnych zawarty w rozdziale 2. Rozdział ten w sposób przystępny omawia możliwe warianty relacji pomiędzy zasobami wirtualnymi oraz fizycznymi systemu oraz przedstawia konkretne przykłady zastosowań techniki wirtualizacji zarówno w odniesieniu do elementów systemu (np. dyski logiczne), jak i wirtualizacji na poziomie sieci (VLAN), funkcji sieciowych (NFV) oraz form wirtualizacji łączy poprzez zastosowanie technik zwielokrotnienia z podziałem czasu, częstotliwości oraz z rozpraszaniem kodowym;
- 2) szczegółowe omówienie w rozdziale 3 założeń konstrukcji schematu szeregowania pakietów w oparciu o mechanizm CB umożliwiający współistnienie kilku systemów wirtualnych obsługiwanych w danym węźle sieci. Analiza ta została rozszerzona o umiejscowienie proponowanego mechanizmu w ogólnej klasyfikacji systemów z okresami dostępności (aktywności) oraz niedostępności obsługi (okresami „wakacji”);
- 3) analiza systemu dyskretnego wykorzystującego schemat CB w tym m.in. opis sposobów określania wartości parametrów związanych z obsługą pakietów – w tym np. rozkładu czasu przebywania pakietu w systemie (rozdział 3.2.2) czy prawdopodobieństwa strat pakietów (rozdział 3.2.3). Zawartość tego rozdziału została dodatkowo wzbogacona poprzez dowody poprawności (np. dla wzoru 3.27);
- 4) rozszerzenie analizy mechanizmu CB obejmujące wariant systemu z czasem ciągłym ukazane w rozdziale 3.3 zawierające m.in. formułę umożliwiającą przybliżenie średniego czasu oczekiwania pakietu na obsługę skonfrontowane także z wynikami symulacyjnymi.
- 5) szczegółowy opis dwóch modyfikacji mechanizmu CB, tj. mechanizmu CB+P z priorytetami szeregowania pakietów oraz CB+P+GT (rozszerzonego dodatkowo o zastosowanie tzw. okresu ochronnego) zawartych w rozdziale 4 i (analogicznie jak w przypadku poprzedniego rozdziału) poddanych analizie w kontekście dwóch wariantów systemu dyskretnego oraz z czasem ciągłym m.in. w zakresie rozkładu stanu systemu i parametrów obsługi strumienia pakietów (analiza porównawcza dotycząca mechanizmów CB, CB+P, CB+P+GT oraz WRR).
- 6) opis znaczenia oraz umiejscowienie mechanizmu CB w architekturze Internetu Przyszłości – Systemu IIP ukazany w rozdziale 5b.

Rezultaty zaprezentowane w rozprawie (w szczególności zawartość rozdziałów 3-4) wskazują na zrealizowanie celu rozprawy, jak i wykazanie głównych tez rozprawy.

W tym miejscu warto również podkreślić poprawną i przejrzystą strukturę pracy, starannie opracowany wykaz pozycji literatury (118 reprezentatywnych prac wybranych adekwatnie do rozpatrywanego zagadnienia), jak również bardzo dobre przygotowanie pracy pod względem redakcyjnym (poprawny styl wypowiedzi, konstrukcji zdań, adekwatny dobór słownictwa, brak zauważalnych błędów literowych).

Reda

3. Czy Autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego celu właściwych metod?

Analiza osiągnięć zaprezentowanych przez mgra inż. Macieja Sosnowskiego w ocenianej rozprawie doktorskiej daje podstawy do stwierdzenia, że Autor rozwiązał postawiony problem w obszarze projektowania mechanizmów obsługi strumieni realizujących koncepcję izolowanych łączy wirtualnych w sposób właściwy. Użyte w tym celu metody rozważań analitycznych wsparte oceną rezultatów symulacji należy uznać za właściwe. Zastosowana przez Autora praca metodologia jest ponadto adekwatna w odniesieniu do zwyczajowych wymagań stawianych rozprawom doktorskim.

Oprócz samej rozprawy, wymiernymi efektami prac badawczych mgra inż. Macieja Sosnowskiego w rozpatrywanym zakresie jest zbiór około 20 prac (ujętych również w wykazie literatury rozprawy) z okresu 2013-2023. Większość z nich została opublikowana w czasopiśmie. Na szczególną uwagę zasługują prace Autora będące pozycjami [2], [18], [83], [90] wykazu literatury rozprawy opublikowane w czasopiśmie:

- Multimedia Tools and Applications (jedna praca) - obecnie 70 pkt MEiN, Impact Factor (2021): 2,577,
- International Journal Electronics and Telecommunications (jedna praca) – obecnie 70 pkt MEiN,
- Journal of Telecommunications and Information Technology (dwie prace) – obecnie 40 pkt MEiN

bezpośrednio bądź pośrednio związane z tematyką rozprawy doktorskiej. Należy również zauważyć bardzo dobre (w kontekście rozpraw doktorskich) wartości parametrów naukowych, w tym indeksu Hirscha $H=6$ oraz liczby cytowań prac Autora wynoszącej 66 (według Google Scholar) na dzień finalizacji niniejszej recenzji. Świadczą one o zauważalnym na arenie międzynarodowej znaczeniu wyników badań Autora.

W tym miejscu warto podkreślić także wysoki stopień użyteczności rezultatów rozprawy m.in. dzięki publicznemu udostępnieniu przez Autora rozprawy kodu źródłowego opracowanych rozwiązań (pozycje [115], [117] i [118] wykazu literatury rozprawy).

4. Jakie są słabsze strony rozprawy?

Rozprawa jest w mojej ocenie wolna od poważniejszych wad. Moje uwagi (w znacznej mierze polemiczne) są następujące:

1. Pewnym ograniczeniem rozprawy wydaje się być skoncentrowanie się Autora rozprawy jedynie na aspekcie konstrukcji łącza wirtualnego, co w przypadku systemów sieciowych realizujących ideę wirtualizacji stanowi jeden z wielu aspektów projektowania takich systemów. Należy jednak podkreślić, że już nawet ten pojedynczy problem jest w istocie

Rak

nietrywialny, a zadanie konstrukcji efektywnych mechanizmów wirtualizacji umożliwiających korzystanie z zasobów łączy poprzez wiele niezależnych strumieni w sposób zapewniający izolację charakteryzuje stopień złożoności adekwatny dla rozpraw doktorskich.

2. Warto byłoby w odniesieniu do Rys. 3.1 wyjaśnić/zilustrować strukturę i zasadę działania bloku o nazwie „Przetwarzanie”.
3. Praca posiada ogólnie poprawną strukturę, a podział treści na rozdziały jest dosyć równomierny. Jednakże objętość niektórych rozdziałów (w szczególności dwustronicowego rozdziału 5) wydaje się znacznie odbiegać od pozostałych rozdziałów rozprawy. W tym kontekście warto byłoby rozszerzyć zawartość rozdziału 5 o bardziej szczegółowy opis Systemu IIP – np. w kontekście analizy efektywności mechanizmu CB w tymże systemie.
4. Styl prezentacji treści pracy jest ogólnie bardzo dobry. Zauważalne są jedynie drobne kwestie stylistyczne, np.
 - w przypadku niektórych wzorów (np. na stronie 35 czy str. 44-45, 47) brakuje przypisania im numeracji,
 - na stronie 71 zamiast „W [96], [97], [98]...” powinno być „W pracach [96], [97], [98]...”,
 - tytuły pewnych sekcji są niepełne (np. tytuł sekcji 3.3.1.2: „Wyprowadzenie”).
5. Lista pozycji spisu treści rozprawy pomija tytuły sekcji czwartego poziomu.
6. Podsumowanie pracy nie zawiera rozważań dotyczących otwartych problemów i możliwych kierunków dalszych badań.

Powyższe uwagi nie rzutują na moją sumaryczną pozytywną ocenę rozprawy.

5. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań,
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- c/ zadowolająco spełniająca wymagania,
- d/ wykraczająca ponad poziom zadawalający (spełniająca wymagania z nadmiarem),
- e/ wybitna?

Podsumowując treść recenzji, moja sumaryczna ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Sosnowskiego jest **pozytywna**. Merytoryczna wartość osiągnięć Autora ukazanych w rozprawie jest wysoka. Z powodu spełnienia ustawowych wymagań, **wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Sosnowskiego do publicznej obrony.**

Z uwagi na istotę osiągnięć Autora ukazanych w rozprawie, staranność przygotowania samej rozprawy, jak również opublikowanie szeregu prac Autora w uznanych czasopismach

TKak

(wymienionych w sekcji 3 niniejszej recenzji) stanowiących ważną podbudowę merytoryczną ocenianej rozprawy, niniejszą rozprawę zaliczam do kategorii:

d/ wykraczająca ponad poziom zadawalający (spełniająca wymagania z nadmiarem).

Z powyższych powodów, **wnoszę także o rozpatrzenie możliwości wyróżnienia rozprawy.**

