

Warszawa, 15 maja 2023 r.

Dr hab. inż. Halina Tarasiuk
Instytut Telekomunikacji
Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 15/19
00-665 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej dla Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej

Tytuł rozprawy: Transient Markovian and Diffusion Approximation Models for Performance Analysis of Computer Networks and Battery Energy Storage Systems

Autor rozprawy: mgr inż. Godlove Suila Kuaban

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski

1. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Rozprawa doktorska jest bardzo dobrze skomponowana, składa się z 7 rozdziałów i spisu literatury, obejmuje 176 stron. Rozdziały 2-6 kończą się wnioskami, co ułatwia śledzenie toku myślenia Doktoranta. Rozprawa jest napisana w j. angielskim.

Rozprawa rozpoczyna się od streszczenia „Abstract” (str. 4-5), Rozdział 1. „Introduction” (str. 7-29) stanowi przejrzyste wprowadzenie do tematyki rozprawy, zawiera opis środowiska, dla którego jest proponowane rozwiązanie, oraz sposób zastosowania narzędzi analitycznych, symulacyjnych, a także pomiarów ruchu. Rozdział 1. przedstawia również tezy rozprawy i motywację na tle stanu techniki i dostępnych narzędzi matematycznych z zakresu teorii kolejek, czyli łańcuchów Markowa, aproksymacji ciągłej, oraz aproksymacji dyfuzyjnej wprowadzonej przez prof. E. Gelenbe, a rozwijanej również przez promotora rozprawy prof. T. Czachórskiego.

W Rozdziale 2. „Design and Performance Modelling of Packet Aggregation Mechanisms and their Applications” (str. 31-61) zaproponowano modele opisujące agregację pakietów w sieci dostępowej 5G z zastosowaniami Internetu Rzeczy (Internet of Things - IoT). Proponowane modele opracowano przy zastosowaniu aproksymacji dyfuzyjnej. W rozdziale porównano uzyskane wyniki analityczne dla opracowanych modeli z wynikami symulacyjnymi. Zaproponowane modelowanie może przyczynić się do określenia zależności między szybkością bitową, a wykorzystaniem dostępnych zasobów sieci dostępowej oraz procesów oszczędzania energii.

Rozdział 3. „Performance Evaluation Modelling of a Software Defined Networking (SDN) Switch” (str. 63-81) zawiera propozycję modelowania działania switcha SDN z wykorzystaniem aproksymacji dyfuzyjnej, która w odróżnieniu od modeli stosowanych w literaturze uwzględnia skończoną długość pakietów. Rozdział zawiera analizę modelu.

W Rozdziale 4. “Performance Evaluation Modelling of a Network of SDN Data Plane Switch” (str. 83-93) przedstawiono kontynuację zastosowania aproksymacji dyfuzyjnej dla modelowania sieci switchy SDN, w celu modelowania sieci podatnej na dużą dynamikę zmian routingu.

Rozdział 5. “Modelling of the Energy Depletion Process and Battery Depletion Attacks for Battery-Powered Internet of Things (IoT) Devices” (str. 95-120) zawiera propozycję modelowania urządzenia IoT i sieci urządzeń IoT ze względu na zużycie baterii oraz możliwość predykcji ich wymiany, a także działanie sieci w przypadku ataków i związanym z tym zużyciem energii. W rozdziale porównano wyniki dla modelu Markowa i aproksymacji dyfuzyjnej.

W Rozdziale 6. “Performance Modelling of the Battery Energy Storage System (BESS) for a Green Mobile Network Base Station (e.g. BTS, NodeB, eNodeB or gNodeB) Site” (str. 121-149) zaproponowano modelowanie zużycia energii w systemach magazynowania energii dla węzłów brzegowych sieci 5G. Modelowanie przeprowadzono odpowiednio z zastosowaniem modeli Markowa oraz aproksymacji dyfuzyjnej i porównano uzyskane wyniki.

Rozdział 7. “Conclusion” (str. 151-155) podsumowuje wnioski płynące z wyników uzyskanych w rozprawie doktorskiej, z uwzględnieniem podsumowania zagadnień wynikających z korzyści dla zastosowania aproksymacji dyfuzyjnej w obszarze agregacji pakietów i modelowania działania switcha SDN i sieci SDN w warstwie przekazu danych, a następnie podsumowano korzyści wynikające z zastosowania aproksymacji dyfuzyjnej dla systemu związanego ze zużyciem energii w sieciach IoT oraz systemach magazynowania energii. Rozdział zawiera również propozycje kierunków dalszych prac.

Bibliografia zawiera 261 pozycji literaturowych.

2. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Praca jest napisana w j. angielskim. Użyte piśmiennictwo zarówno do opisu zagadnień technik sieciowych, takich jak sieci 5G, sieci IoT, czy techniki SDN są zgodne z piśmiennictwem stosowanym w literaturze światowej oraz w dokumentach standaryzacyjnych. Jednocześnie piśmiennictwo związane z opisem proponowanych modeli matematycznych jest zgodne z piśmiennictwem uznanym dla takich modeli. Ze względu na złożoność przedstawianych modeli należy uznać zastosowane piśmiennictwo za bardzo starannie dobrane i spełniające najwyższe wymagania.

3. Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata

Jako cel rozprawy należy przyjąć sprawdzenie słuszności tezy sformułowanej w rozprawie. W rozprawie postawiono następującą tezę, że: „Aproksymacja dyfuzyjna jest metodą modelowania, która pokonuje ograniczenia innych technik teorii kolejek (jak łańcuchy Markowa i aproksymacja płynna) w przypadku analizy stanów nieustalonych, koniecznej w rozpatrywanych w pracy przypadkach, z których każdy odnosi się do problemów występujących we współczesnych sieciach telekomunikacyjnych. W szczególności pozwala ona na obliczanie zależnej od czasu jakości transmisji (QoS) w sieciach z dynamicznymi protokołami routingu (np. sieci rdzeniowe Software Defined Networking (SDN)), opóźnień wprowadzanych przez agregację pakietów na granicy dwu typów sieci, i analizę procesu wyczerpywania się energii w systemach magazynowania energii w infrastrukturze sieci komputerowych.”

Teza rozprawy została sformułowana właściwie, jednak w przypadku sieci SDN z dynamicznymi protokołami routingu należałoby doprecyzować poziom tejże dynamiki. W uzyskanych wynikach numerycznych przyjmowano, że poziom ruchu zmienia się co 100 ms i wynika to z dynamicznej zmiany ścieżek w sieci SDN. Nasuwa się pytanie, czy zastosowanie takiego poziomu dynamiki w sieci operatorskiej, nawet jeśli możliwe przez zastosowanie sterownika SDN, jest przypadkiem praktycznym?

4. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

W rozprawie zastosowano modele matematyczne, czyli łańcuchy Markowa oraz aproksymację dyfuzyjną, narzędzia symulacyjne, dane pomiarowe z repozytorium CAIDA. W szczególności porównywano wyniki analityczne z wynikami symulacyjnymi dla opracowanych modeli agregacji ruchu. W celu wykazania słuszności tezy przyjętej w rozprawie porównano również wyniki uzyskane dla modeli opracowanych za pomocą łańcuchów Markowa z modelami aproksymacji dyfuzyjnej.

Zastosowane metody badawcze są wyczerpujące dla udowodnienia tezy rozprawy. Teza rozprawy została potwierdzona przez odpowiednie modele analityczne i analizę ich wyników.

5. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Wyniki uzyskanych badań pozwalają na udowodnienie tezy rozprawy. W szczególności:

- W przypadku modeli związanych z agregacją pakietów, modelowaniem switcha SDN i sieci SDN, słuszność zastosowania aproksymacji dyfuzyjnej wynika z możliwości uwzględnienia w modelach, że pakiety mają ograniczoną długość oraz możliwość analizy stanów nieustalonych. Jednakże na wyjaśnienie zasługuje wspomniane powyżej założenie poziomu dynamiki w przypadku uzyskanych wyników numerycznych, czyli że poziom ruchu w sieci SDN zmienia się co 100 ms i wynika to z dynamicznej zmiany ścieżek w sieci SDN.
- W przypadku modeli dla zużycia energii w systemach magazynowania energii oraz ataków na urządzenia IoT zmierzających do pozbawienia ich energii, uzyskane wyniki dla modeli Markowa i aproksymacji dyfuzyjnej są bardzo zbliżone. Jednak na uwagę

zasługuje wniosek zawarty w rozprawie, że zaletą stosowania modeli aproksymacji dyfuzyjnej jest możliwość uwzględnienia w modelach np. wahań ilości energii pozyskiwanej z otoczenia oraz wahań ilości energii pobieranej z magazynu energii. W tym miejscu należy podkreślić, że recenzent nie jest ekspertem w obszarze magazynowania energii.

6. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Praktyczne wykorzystanie wyników uzyskanych w rozprawie doktorskiej, czyli modeli matematycznych, może odnosić się do zastosowań modelowania w środowiskach chmurowych budowanych w technologii SDN. W szczególności do analizy opóźnień wprowadzanych w procesach przetwarzania pakietów, a także rozwój proponowanych modeli w kierunku sieci programowalnych z wykorzystaniem języka P4.

Wydaje się, że zastosowanie modeli dla modelowania zużycia energii w systemach magazynowania energii oraz ataków na urządzenia IoT zmierzające do pozbawienia ich energii, w celu prawidłowej eksploatacji środowisk magazynowania energii jest też rozwojowym kierunkiem.

W obu przypadkach mamy dwa dynamicznie rozwijające się obszary potencjalnych zastosowań praktycznych wyników rozprawy.

7. Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

W rozprawie nie zauważono nieprawidłowości, które miałyby wpływ na ocenę merytoryczną rozprawy. Zauważono jedynie rozbieżność w numeracji rysunków i w odwołaniach do nich w tekście. Dotyczy to sekcji 3.4 i rozdziału 6 (format podpisu pod rysunkiem Fig. x.y format w odwołaniu Fig. x.y.z). Nie wpłynęło to jednak istotnie na czytelność rozprawy.

8. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu modelowania dla agregacji pakietów, switcha SDN, sieci SDN, oraz zagadnień zużycia energii w systemach magazynowania energii oraz ataków na urządzenia IoT zmierzające do pozbawienia ich energii. Oryginalność rozwiązania polega na umiejętnym wykorzystaniu narzędzi matematycznych, czyli aproksymacji dyfuzyjnej i łańcuchów Markowa w celu opracowania modeli dla zaawansowanych technologii sieci 5G. Jest to zagadnienie, które wymaga dużej wiedzy w obszarze technologii, jak i posługiwania się zaawansowanym aparatem matematycznym. Połączenie tych zagadnień zasługuje na szczególne podkreślenie.

9. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej

Rozprawa doktorska prezentuje wysoką wiedzę kandydata w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, w szczególności wiedzę na temat zaawansowanych technologii 5G, SDN, IoT, a także zastosowania modelowania matematycznego w celu oceny parametrów

systemów budowanych z wykorzystaniem tych technologii. Kandydat wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Na podkreślenie zasługuje liczba 22 publikacji naukowych, z których w 11 kandydat jest pierwszym autorem.

10. Podsumowanie

Rozprawa zawiera oryginalne rozwiązania modelowania matematycznego dla zaawansowanych technologii sieci 5G, SDN, IoT i magazynowania energii. W rozprawie w solidny sposób przedstawiono stan sztuki w ww. obszarach i zdefiniowano istotne problemy wynikające z zastosowania modeli matematycznych takich jak łańcuchy Markowa, czy aproksymacja ciągła, proponując dla zdefiniowanych zagadnień modele aproksymacji dyfuzyjnej. W ten sposób wykazano słuszność postawionej tezy rozprawy. Tym samym **rozprawa spełnia wymagania odnoszące się do obowiązujących przepisów w zakresie prac doktorskich.**

W mojej ocenie praca jest wybitnie dobra i zasługuje na wyróżnienie ze względu na wagę zaproponowanych modeli matematycznych i możliwości ich rozwoju w przyszłości w kierunkach związanych z rozwojem nowych technologii. Z jednej strony na szczególne wyróżnienie zasługuje wskazanie użyteczności modeli aproksymacji dyfuzyjnej, które uwzględniają cechy specyficzne dla tychże technologii, z drugiej strony bardzo duża liczba publikacji prezentowanych na konferencjach i w czasopismach o zasięgu międzynarodowym – 22, w tym w 11 kandydat jest głównym autorem jest również bardzo dużym osiągnięciem. Należy podkreślić, że 5 spośród wymienionych publikacji zostało opublikowanych w wydawnictwach za 140 i 100 punktów.