

RDITT-mpi. 19.05.2023  
M. Skowron

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 dostępnej 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 dostępnej oraz procesów oszczędzania energii.

Tarasiuk

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.

*Tomek*

### **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

Touanich

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

Tonaukh

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.

Halina Tancich  
Tancich