

Osiedle Piaskowe 20  
62 – 023 Borówiec

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Sobieraja  
pt. „Modelowanie pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi  
i wielousługowymi źródłami ruchu” sporządzona dla Rady Wydziału  
Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej**

Rozwój technologii telekomunikacyjnych i tworzenie różnych usług, atrakcyjnych dla odpowiednio licznych grup użytkowników wzajemnie warunkują swój rozwój, a więc składają się na rozwój telekomunikacji jako całości. Różnorodność usług skutkuje pojawieniem się wielousługowych źródeł ruchu telekomunikacyjnego. Sygnały tych źródeł muszą dotrzeć do użytkowników, spełniając przy tym określone wymagania jakościowe. Systemami, występującymi pomiędzy źródłami a użytkownikami usług, są, m. in., pola komutacyjne. Systemy telekomunikacyjne mogą mieć poprawnie zaimplementowane wszystkie wymagane funkcje, a jednak nie działać zadowalająco. Tak jest wtedy, gdy oferowany ruch telekomunikacyjny nie jest należycie obsługiwany, co może przejawiać się np. nadmiernie długim czasem oczekiwania lub nawet utratą zgłoszenia. Zatem właściwie skonstruowane opisy zarówno co raz bardziej złożonych źródeł strumieni ruchu, jak i systemów obsługujących te źródła mają podstawowe znaczenie dla uzyskania adekwatnych miar jakości obsługi użytkowników oraz efektywności wykorzystania zasobów sieciowych. Ten aspekt funkcjonalności sieci telekomunikacyjnych jest przedmiotem zainteresowań wielu ośrodków akademickich i przemysłowych na świecie. W obszarze takich zagadnień Doktorant dostrzegł interesujące problemy badawcze, a mianowicie skupił się na opracowaniu modeli pozwalających na wyznaczenie charakterystyk ruchowych systemów wielousługowych z wielousługowymi źródłami ruchu. Właśnie wielousługowość źródeł strumieni ruchu jest nowatorskim spojrzeniem Doktoranta na dyskutowaną problematykę, ponieważ dotychczas rozważano tylko systemy z jednousługowymi źródłami ruchu. Stwierdzam, że podjęta przez Doktoranta problematyka badawcza, przedstawiona w rozprawie, jest istotna i aktualna.

Jako ambitny cel rozprawy Doktorant postawił sobie „opracowanie spójnej metodologii modelowania wielousługowych pól komutacyjnych obsługujących strumienie ruchu generowane przez wielousługowe źródła ruchu, w których zaimplementowano zaawansowane mechanizmy progowe sterowania dostępem do zasobów”. Teza pracy, która wyznacza drogę osiągnięcia celu, jest następująca: „Możliwe jest opracowanie modeli analitycznych, umożliwiających efektywne określanie charakterystyk ruchowych



wielosługowych pól komutacyjnych z wielosługowymi źródłami ruchu i zaimplementowanymi mechanizmami progowymi". Zauważmy, że dobry analityczny model stwarza możliwość głębszego rozpoznania problemu (zjawiska) w porównaniu z podejściem nieanalitycznym. Rozprawa dokumentuje dobrze wybraną ścieżkę osiągnięcia celu i zawiera argumenty wykazujące prawdziwość i użyteczność postulowanej tezy.

Licząca 211 stron recenzowana rozprawa doktorska, zredagowana przez Doktoranta w roku 2014, zawiera osiem rozdziałów – łącznie ze wstępem i podsumowaniem – tworzących jej zasadniczą część. Rozdziały te są poprzedzone spisem treści, wykazem ważniejszych oznaczeń oraz streszczeniem w j. polskim i j. angielskim. Rozprawę kończy bibliografia obejmująca 106 pozycji.

We wstępie Autor lokuje swoje badania, dyskutowane w rozprawie, w szerszym kontekście badań prowadzonych na świecie. Formułuje cel i tezę rozprawy i przedstawia krótką charakterystykę jej treści.

W rozdziale drugim Doktorant najpierw opisuje trzy rodzaje strumieni ruchu: Erlanga, Engseta i Pascala. Potem rozważa właściwości systemów wielosługowych z jednousługowymi źródłami ruchu w kontekście zależności od stanu. Z kolei Autor definiuje systemy z wielosługowymi źródłami ruchu, porównując je z rozważanymi dotychczas systemami z jednousługowymi źródłami ruchu. Doktorant zaproponował metodę MIM-MSS (Multiple Iteration Method – Multi-service Sources), która umożliwia określanie rozkładu zajętości (i w rezultacie – także prawdopodobieństwa blokady i prawdopodobieństwa strat) w systemach wielosługowych z wielosługowymi źródłami ruchu typu Erlanga, Engseta i Pascala. Proponowana metoda bazuje na zmodyfikowanym przez Doktoranta, uogólnionym rekurencyjnym modelu zależnego od stanu systemu wielosługowego.

W rozdziale trzecim rozprawy Doktorant przedstawił konstrukcję nowych modeli analitycznych wiązek łączy ze źródłami wielosługowymi (warianty wiązek pełnodostępnej i z ograniczoną dostępnością), które później wykorzystał do skonstruowania modeli pól komutacyjnych z wielosługowymi źródłami ruchu. Skonstruowano modele systemów bez mechanizmów progowych i systemów z tymi mechanizmami, uwzględniając praktycznie wszystkie typy mechanizmów progowych stosowanych w algorytmach zarządzania ruchem (właściwe mechanizmy progowe, mechanizmy progowe z histerezą, mechanizmy rezerwacji zasobów). Doktorant podał metody wyznaczania rozkładu zajętości oraz prawdopodobieństwa blokady i prawdopodobieństwa strat. Eksperymenty symulacyjne zweryfikowały pozytywnie oczekiwaną dużą dokładność zaproponowanych metod.

W rozdziale czwartym Doktorant rozważał struktury pól komutacyjnych oraz typy selekcji przy zajmowaniu łączy wyjściowych i międzysekcyjnych. Opierając się na metodzie efektywnej dostępności zaproponował przybliżone metody wyznaczania prawdopodobieństwa blokady punkt-punkt i punkt-grupa w wielosekcyjnych polach



komutacyjnych, obsługujących ruch generowany przez źródła wielosługowe. Rozdział kończy weryfikacja symulacyjna zaproponowanych metod, która wskazała na ich wysoką dokładność i uszeregowała je pod względem jakości.

Modele opisane w rozdziale czwartym Doktorant, w rozdziale piątym, rozszerzył na wielosługowe pola komutacyjne z wielosługowymi źródłami ruchu, w których do funkcji sterowania przyjmowaniem nowych zgłoszeń wprowadzono mechanizmy progowe. Zestaw stosowanych mechanizmów progowych tworzą mechanizm rezerwacji, właściwe mechanizmy progowe i mechanizmy progowe z histerezą. Modyfikując odpowiednio metodę efektywnej dostępności Doktorant opracował dla każdego mechanizmu progowego stosowne metody określania prawdopodobieństwa blokady punkt-punkt i punkt-grupa. Za pomocą symulacji, w obrębie każdego mechanizmu progowego, Autor dokonał wartościującego porównania przedstawionych metod wyznaczania prawdopodobieństwa blokady w polach komutacyjnych.

Rozdział szósty rozprawy zawiera przedstawienie nowego uogólnionego modelu pola komutacyjnego z wielosługowymi źródłami ruchu i mechanizmami progowymi. Dla wielosługowych źródeł Erlanga, Engseta i Pascala oraz stosowanego zestawu mechanizmów progowych opracowany uogólniony model umożliwił Doktorantowi zaproponowanie uniwersalnej metody określania rozkładu zajętości w łączach międzysekcyjnych (modelowanych wiązką pełnodostępną). Następnie Doktorant dostosował wcześniej przedstawione metody wyznaczania prawdopodobieństwa blokady całkowitej do uogólnionego modelu pola komutacyjnego z mechanizmami progowymi. Rozdział kończy symulacyjna weryfikacja dokładności rozważanego modelu pola komutacyjnego, która potwierdziła wysoką dokładność metod bazujących na tym modelu.

Weryfikację symulacyjną dokładności zaproponowanych przybliżonych metod analitycznego modelowania pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi i z wielosługowymi źródłami ruchu Doktorant przeprowadzał za pomocą opracowanego przez siebie symulatora, którego opisał w rozdziale siódmym rozprawy. Symulator ten został napisany w języku C++ z wykorzystaniem techniki programowania obiektowego. Zaletą opracowanego symulatora jest także i to, że umożliwia zbadanie wpływu na wartości prawdopodobieństwa blokady i na wartości przenoszonego ruchu takich czynników, które nie są uwzględnione w modelach analitycznych (np.: liczba prób zestawiania połączenia, strategia zajmowania łączy). Dalej, w rozdziale siódmym Doktorant przedstawił badania symulacyjne, których celem było określenie wpływu różnych parametrów na charakterystyki pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi.

W podsumowaniu - ósmy rozdział – Doktorant wymienia 9 swoich, niewątpliwie istotnych osiągnięć, udokumentowanych w rozprawie. Polegają one na opracowaniu skutecznych modeli i efektywnych metod analitycznych.



Obszerna bibliografia dobrze świadczy o rozpoznaniu przez Doktoranta dokonań światowej nauki w zakresie problematyki rozprawy i stanowi solidny fundament badań przedstawionych w rozprawie. Zwraca uwagę fakt, że wiele pozycji literatury pochodzi ze środowiska, w którym pracuje Doktorant, co dobrze rokuje Jego dalszemu rozwojowi naukowemu. W 25 publikacjach, zamieszczonych w czasopismach oraz pracach konferencji międzynarodowych i krajowych, Doktorant jest współautorem; tak więc niektóre Jego dokonania badawcze z zakresu rozprawy już uzyskały pozytywną ocenę recenzentów tych publikacji. Dla każdej pozycji spisu literatury Doktorant podaje stronę/strony jej przywołania w rozprawie.

Rozprawa dokumentuje przede wszystkim badania teoretyczne jej Autora, ale także przedstawia badania symulacyjne. Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą z zakresu kombinatoryki, teorii ruchu telekomunikacyjnego i teorii wielowymiarowych procesów Markowa oraz metodologii eksperymentów symulacyjnych. Stosowaną przez Doktoranta metodykę badawczą uznaje za odpowiednią dla osiągnięcia celu rozprawy.

„Strategicznym”, oryginalnym pomysłem Doktoranta, jest „wielousługowość” źródeł ruchu. Rozprawa stanowi studium konsekwencji wynikających z tej „wielousługowości” dla modelowania systemów obsługujących takie źródła. Oryginalnymi, bardzo istotnymi szczegółowymi osiągnięciami badawczymi Doktoranta przedstawionymi w rozprawie są: opracowanie modeli wielousługowych systemów sieciowych z wielousługowymi źródłami ruchu; opracowanie efektywnych metod analitycznych wyznaczania charakterystyk ruchowych systemów obsługujących ruch generowany przez źródła wielousługowe, w których to systemach stosuje się złożone mechanizmy sterowania dostępem do zasobów; opracowanie uniwersalnej metody modelowania wielousługowych pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu, niezależnej od rodzaju mechanizmu sterowania ruchem; opracowanie wielu programów symulacyjnych. Zaproponowanym metodom modelowania wiązek łączy i pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu Doktorant nadał postać odpowiednich programów. Aby oszacować dokładność opracowanych metod Doktorant przeprowadził stosowne eksperymenty symulacyjne dla wybranych struktur wiązek i pól komutacyjnych z wprowadzonymi mechanizmami zarządzania ruchem.

Układ rozprawy jest właściwy. Rozdziały i podrozdziały pozostają w odpowiednich relacjach przyczynowo-skutkowych. Można, jako szczególnie wartościowe, wyróżnić rozdziały drugi i szósty. W rozdziale drugim Doktorant zdefiniował podstawowe systemy z wielousługowymi źródłami ruchu i zaproponował proste rekurencyjne metody modelowania takich systemów. Z kolei w rozdziale szóstym Doktorant przedstawił dla wielousługowych (także jednousługowych) źródeł ruchu uniwersalną metodę modelowania pól komutacyjnych, w których zastosowano różne rodzaje mechanizmów progowych.

Scenariusz badań i ich wyniki przedstawione są poprawnie. Przekonywujący jest też schemat analizy otrzymanych wyników.



Oto niektóre niedostatki rozprawy.

# Śledzenie rozważań Doktoranta utrudnia zbyt oszczędne objaśnienie, a czasami wręcz brak takiego objaśnienia, niektórych wzorów. Uwaga ta dotyczy, np., obszaru rezerwacji – wzory (3,10) i (3.15); nie zdefiniowano granicy rezerwacji  $R_c$ .

# Byłoby interesujące odwołanie się niekiedy w symulacjach do istniejących ( bądź projektowanych) systemów i ustalenie dla tych systemów parametrów wykorzystywanych w symulacji.

# W tekście, w komentarzu do rysunku 2.1 mówi się o systemie „z niezależnym od stanu procesem napływania nowych zgłoszeń”, natomiast podpis pod tym rysunkiem informuje, że jest to „System z zależnym od stanu procesem przyjmowania zgłoszeń”.

# W nazwie metod mamy „Multiple Iteration ...” – jeśli iteracja, to praktycznie zawsze „multiple”, zatem ten wyraz można by z nazwy metod usunąć.

# Rysunki, na których porównano wyniki zaproponowanych przybliżonych metod analitycznych i wyniki symulacji dobrze byłoby wesprzeć wyraźniejszym sposobem ukazania różnic.

# Nieliczne zastrzeżenia co do sformułowań – np., „metoda ... dla określania rozkładu” s.133; „Koniecznym stało się wprowadzenie” s.1 – raczej „Konieczne stało się wprowadzenie”; Szyk zdania na s.17 w. 2 i 1 od dołu; „proces iteracyjny kończy się w momencie, gdy zostanie osiągnięta” s.17; zamiast „rozkładem ..., otrzymanym na podstawie wzoru (2.42)”, powinno być raczej „rozkładem ..., danym wzorem (2.42)” s.22

# Brak wykazu akronimów i ich rozwinięć.

Wyniki badań mgra inż. Macieja Sobieraja, zawarte w rozprawie, dotyczą bardzo ważnego we współczesnej telekomunikacji problemu modelowania systemów z ruchem wielousługowym, od których wymaga się zapewnienia gwarancji jakościowych dla poszczególnych klas usług, przy jednoczesnej maksymalizacji wykorzystania zasobów sieci. Wzrastająca popularność terminali wielousługowych, szczególnie widoczna w sieciach bezprzewodowych, powoduje, że stosowane dotychczas modele mogą dawać znaczne błędy szacowania charakterystyk ruchowych sieci. Opracowane przez Doktoranta metody mogą być wykorzystane w procesie wymiarowania i optymalizacji złożonych systemów sieciowych.

### **Wniosek końcowy**

Opiniowana rozprawa doktorska mgra inż. Macieja Sobieraja spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w zakresie oryginalności, wiarygodności i wartości wyników, uzyskanych za pomocą adekwatnych metod i środków badawczych. Stwierdzam, że cel rozprawy został osiągnięty, a postawiona teza badawcza wykazana. Wnoszę zatem o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy, znaczenie jej wyników dla teorii i praktyki wielosługowych systemów sieciowych oraz publikacje Doktoranta przywoływane w rozprawie, wnoszę do Rady Wydziału Elektroniki i Telekomunikacji o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Sobieraja.

Andrzej Dobrogosł