

prof. dr hab. inż. Adam Grzech
Instytut Informatyki
Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
e-mail: Adam.Grzech@pwr.wroc.pl

Wrocław, 30 września 2014 roku

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Sobieraja pt. *Modelowanie pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi I wielousługowymi źródłami ruchu.*

Podstawą do przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Macieja Sobieraja pt. „Modelowanie pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi I wielousługowymi źródłami ruchu” było pismo prof. dr hab. inż. Krzysztofa Wesółowskiego, Dziekana Wydziału Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej, z 1 lipca 2014 roku.

Recenzja została przygotowana na podstawie rozprawy doktorskiej i autoreferatu.

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Opiniowana rozprawa dotyczy jednego z ważniejszych problemów teorii i inżynierii ruchu jakim jest modelowanie systemów sieciowych, obsługujących wielousługowy ruch o stałych i zmiennych prędkościach bitowych, w tym ruch o charakterze strumieniowym, adaptacyjnym i elastycznym.

Przedmiotem opiniowanej rozprawy doktorskiej są zagadnienia związane z modelowaniem i analizą charakterystyk ruchowych pól komutacyjnych z zaimplementowanymi mechanizmami progowymi obsługujących wielousługowe źródła ruchu. W rozprawie przedstawiono wyczerpującą dyskusję zagadnienia oraz uporządkowany zbiór metod analitycznych, pozwalających na wyznaczenie rozkładów zajętości i dalej prawdopodobieństwa blokady dla różnych typów wiązek w wielousługowych systemach telekomunikacyjnych. Opracowane metody analityczne wiązek zostały następnie wykorzystane do modelowania wielousługowych pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi i opracowania metod wyznaczenia wartości parametrów charakterystyk pól komutacyjnych.

Zagadnienia omawiane w rozprawie dotyczą zadań zarządzania jakością usług i wykorzystania zasobów w systemach telekomunikacyjnych, które obsługują zintegrowany strumień zgłoszeń (wiązki z wielousługowymi źródłami ruchu) generowany jednocześnie przez różne źródła ruchu (wielousługowe źródła ruchu). Ważność i aktualność problematyki rozprawy, tzn. określania charakterystyk ruchowych systemów wielousługowych, wynika z rzeczywistych potrzeb projektowania, modelowania, analizy i sterowania ruchem w systemach telekomunikacyjnych integrujących transmisję danych, transmisję głosu i transmisję danych multimedialnych.

W rozprawie omawiane i analizowane są modele różnych procesów napływu i przyjmowania zgłoszeń, modele wiązek pełnodostępnych i z ograniczoną dostępnością oraz modele pól komutacyjnych bez i z zaimplementowanymi mechanizmami sterowania dostępem do zasobów (mechanizmy rezerwacji, mechanizmy progowe i mechanizmy progowe z histerezą) do wyznaczenia rozkładów zajętości i prawdopodobieństw blokady dla selekcji punkt-punkt i punkt-grupa. Podstawą wszystkich, opracowanych i przedstawianych w rozprawie, metod analitycznych jest aproksymacja rzeczywistych procesów obsługi ruchu w polach komutacyjnych za pomocą jednowymiarowych łańcuchów Markowa, a w przypadku modeli pól komutacyjnych także metody efektywnej dostępności, zgodnie z którą obliczenie prawdopodobieństwa blokady w wielosekcyjnym polu komutacyjnym można sprowadzić do obliczeń prawdopodobieństwa blokady w ekwiwalentnym modelu pola obsługującego ruch jednokierunkowy.

Ze sformułowania deklarowanego celu rozprawy - *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* - wynika, że proponowane podejście do modelowania i opracowane modele systemów wielousługowych mogą być użyte do rozwiązywania innych, od omawianych w

rozprawie, zadań wymiarowania i zarządzania jakością usług w wielousługowych systemach telekomunikacyjnych.

Teza rozprawy - *Możliwe jest opracowanie modeli analitycznych, umożliwiających efektywne określanie charakterystyk ruchowych wielousługowych pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu i zaimplementowanymi mechanizmami progowymi* - jest podsumowaniem krytycznej analizy przydatności znanych modeli wiązek, mechanizmów sterowania dostępem do zasobów i modeli pól komutacyjnych do modelowania i analizy wielousługowych systemów telekomunikacyjnych oraz możliwości ich rozszerzeń i modyfikacji mających na celu uwzględnienie specyfiki ruchu w systemach wielousługowych w zadaniach projektowania i analizy jakości usług takich systemów.

Dla potrzeb wykazania tezy rozprawy sformułowano szereg zadań, które sformułowano i których rozwiązania zrelacjonowano w kolejnych częściach rozprawy doktorskiej. Zadania te w szczególności dotyczyły modelowania ruchu w systemach wielousługowych, modelowania niezależnych i zależnych od stanu procesów napływu i przyjmowania zgłoszeń, modeli pól komutacyjnych oraz symulacyjnej weryfikacji dokładności opracowanych modeli i metod szacowania charakterystyk ruchowych.

Rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Sobieraja zawiera oryginalne wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych przeprowadzonych z wykorzystaniem metod badawczych właściwych dla nauk technicznych i dyscypliny telekomunikacja.

Najważniejszym problemem rozważanym w rozprawie jest analiza własności i ograniczeń znanych modeli ruchu i jego obsługi w systemach telekomunikacyjnych oraz opracowanie i weryfikacja modeli strumieni ruchu, modeli obsługi ruchu i modeli pól komutacyjnych dla potrzeb szacowania jakości usług w wielousługowych systemach telekomunikacyjnych.

Zagadnienia rozważane w rozprawie mają charakter naukowy. Przedstawione w rozprawie opracowane modele mają dużą wartość poznawczą i mogą być wykorzystane do sterowania jakością usług w rzeczywistych wielousługowych systemach telekomunikacyjnych.

2. Wkład Autora

2.1. Struktura i zawartość merytoryczna rozprawy

Treści rozprawy są przedstawione w streszczeniu, wstępie, sześciu rozdziałach merytorycznych i podsumowaniu, uzupełnionych wykazem ważniejszych oznaczeń i wykazem cytowanej literatury przedmiotu.

W krótkim streszczeniu scharakteryzowano zawartość rozprawy, jako opracowania złożonego z dwóch części dotyczących analizy różnych typów wiązek z wielousługowymi źródłami ruchu i różnymi metodami sterowania dostępem oraz zbioru metod analitycznych do szacowania prawdopodobieństwa blokady całkowitej punkt-punkt i punkt-grupa w polach komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu i różnymi mechanizmami sterowania dostępem.

We części pierwszej wstępu przedstawiono krótkie uzasadnienie wyboru problematyki rozprawy i zadania modelowania wielousługowych systemów telekomunikacyjnych, podano ogólną charakterystykę modeli systemów wielousługowych z różnymi mechanizmami sterowania dostępem dla potrzeb określania charakterystyk ruchowych, opisano oryginalność tematyki oraz najważniejsze rezultaty rozprawy. W części tej w szczególności przedstawiono analizę literatury przedmiotu oraz wskazano publikacje Autora rozprawy, w których prezentowane były wybrane zagadnienia, modele i metody opisywane w rozprawie. W części drugiej wstępu przedstawiono cel i tezę rozprawy oraz omówiono ogólną strukturę i treści rozprawy.

W rozdziale drugim (*Modelowanie systemów z zależnym od stanu procesem przyjmowania zgłoszeń*) przedstawiono strumienie ruchu Erlanga, Engseta i Pascala, systemy wielousługowe z jednousługowymi źródłami ruchu (z niezależnym od stanu i zależnym od stanu procesami napływania zgłoszeń) oraz systemy wielousługowe z wielousługowymi źródłami ruchu. Różnica pomiędzy analizowanymi w rozprawie systemami wielousługowymi z jednousługowymi i z wielousługowymi źródłami ruchu polega na tym, że w tych pierwszych pojedyncze źródło ruchu generuje ruch należący do jednej klasy ruchu, podczas gdy w tych drugich pojedyncze źródła ruchu mogą generować ruch należący do różnych klas ruchu.

W omawianym rozdziale przedstawiono dwie metody (metody NIM i NIM-MSS) wyznaczania zajętości (a dalej prawdopodobieństwa blokady i prawdopodobieństwa strat) odpowiednio we wcześniej opisanych systemach wielousługowych z jednousługowymi i z wielousługowymi źródłami ruchu.

Brak jest podsumowania treści omawianych w rozdziale, w tym m.in. syntetycznego opisu ograniczeń, skalowalności i zakresu stosowalności opracowanego modelu systemu wielousługowego z

wielousługowymi źródłami ruchu i metody wyznaczania rozkładu zajętości oraz złożoności obliczeniowej opracowanej metody.

W rozdziale trzecim (*Modelowanie wiązek pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi*) przedstawiono modele dwóch wiązek bez mechanizmów progowych (wiązka pełnodostępna i wiązka z ograniczoną dostępnością), modele dwóch wiązek z mechanizmami rezerwacji (wiązka pełno dostępna z rezerwacją i wiązka z ograniczoną dostępnością i rezerwacją), modele dwóch wiązek z właściwymi mechanizmami progowymi (wiązka pełno dostępna z właściwymi mechanizmami progowymi, wiązka z ograniczoną dostępnością i właściwymi mechanizmami progowymi) oraz modele dwóch wiązek z mechanizmami progowymi z histerezą (wiązka pełno dostępna z mechanizmami progowymi z histerezą, wiązka z ograniczoną dostępnością i mechanizmami progowymi z histerezą).

W omawianych w tym rozdziale modelach założono, że ruch generowany jest przez trzy rozłączne zbiory źródeł ruchu generujące ruch związany ze skończoną liczbą dostępnych usług charakteryzowanych średnią ilością żądanych zasobów, średnią intensywnością napływu, średnim czasem obsługi i udziałem ruchu związanego z poszczególnymi usługami w całości ruchu generowanego w trzech, wyróżnionych klasach ruchu.

Przedstawione modele to osiem kombinacji dwóch wiązek (pełno dostępnej i z ograniczoną dostępnością, gdzie wiązkę pełno dostępną można traktować jako szczególny przypadek wiązki z ograniczoną dostępnością) i czterech polityk przyjmowania zgłoszeń (bez ograniczeń, z rezerwacją, z mechanizmami progowymi oraz z mechanizmami progowymi z histerezą).

Opisane w rozdziale trzecim modele są zaprezentowane według tego samego schematu. Dla każdej z prezentowanych wiązek przedstawiono opis modelu, wyrażenia analityczne i metody (rozszerzenia modelu i metody MIM-MSS opisanych w rozdziale drugim) pozwalające na wyznaczenie rozkładów zajętości oraz przykłady systemów, które posłużyły do ilościowego oszacowania dokładności proponowanego modelu wiązki poprzez porównanie wartości prawdopodobieństw blokady w wiązce uzyskanych z pomocą opracowanych modeli z wartościami prawdopodobieństw pochodzących z symulacji. Przedstawione wyniki porównania jednoznacznie wskazują na to, że opracowane modele wiązek dla wielousługowych źródeł ruchu charakteryzuje duża dokładność.

Brak jest w rozdziale trzecim podsumowania, w którym m.in. zasadna byłaby dyskusja złożoności obliczeniowej opracowanych metod oraz reprezentatywności przykładowych systemów użytych do porównania wyników obliczeń i symulacji.

W pierwszych częściach rozdziału czwartego (*Modelowanie wielousługowych pól komutacyjnych*) podano podstawowe informacje dotyczące budowy pola komutacyjnego, struktury obsługiwanego ruchu generowanego w systemie wielousługowym, algorytmów wyboru drogi połączeniowej w polach z selekcją punkt-punkt i punkt-grupa oraz koncepcji efektywnej dostępności wraz z, właściwym dla tej koncepcji, sposobem wyznaczania rozkładu dostępnych łączy.

W dalszej części omawianego rozdziału (podrozdział 4.5) przedstawiono cztery metody - prezentowane w postaci algorytmów - pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństwa blokady w wielousługowych polach komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu z selekcją punkt-grupa (metody PGB i PGPPBRec) i z selekcją punkt-punkt (metody PPB, PPD i PGPPBRec). Opracowane metody są oryginalnymi modyfikacjami metod pozwalających na wyznaczenie prawdopodobieństwa blokady w wielousługowych polach komutacyjnych z jednousługowymi źródłami ruchu.

W ostatniej części omawianego rozdziału (podrozdział 4.5.5) przedstawiono wyniki ilościowej oceny dokładności opracowanych metod wyznaczania prawdopodobieństwa blokady punkt-punkt i punkt-grupa oraz prawdopodobieństwa blokady dla klas ruchu w wielousługowych polach komutacyjnych obsługujących ruch generowany przez wielousługowe źródła ruchu. Ocena dokładności opracowanych metod polegała na porównaniu wartości prawdopodobieństw otrzymanych w wyniku ich użycia z wartościami otrzymanymi w czasie symulacji. Porównanie przeprowadzono dla trzech różnych struktur pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu. Porównania wyników obliczeń i symulacji dla przykładowych i porównywanych systemów wielousługowych potwierdza dużą dokładność opracowanych metod i pozwala na hierarchizację zaproponowanych metod ze względu na dokładność obliczeń w zależności od typu selekcji.

W omawianym rozdziale zabrakło podsumowania, w którym przydatne byłyby komentarze dotyczące m.in. złożoności obliczeniowej opracowanych metod oraz reprezentatywności systemów użytych do porównania wyników obliczeń i symulacji.

Treści rozdziału piątego (*Modelowanie wielousługowych pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi*) można uznać za kontynuację treści prezentowanych w rozdziale czwartym. Rozdział piąty jest dedykowany własnościom wielousługowych pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi. W rozdziale tym przedstawiono nowe metody wyznaczania prawdopodobieństw blokady w polach z selekcją punkt-punkt i punkt-grupa, w których to polach implementowane są mechanizmy sterowania dostępem (z rezerwacją, z mechanizmami progowymi oraz z mechanizmami progowymi z histerezą) wyczerpująco opisane w rozdziale trzecim. Opracowane i przedstawiane w tym rozdziale metody

PGB-R (T,H), PPB-R (T,H), PPD-R (T,H) i PGPPBRec-R (T,H), gdzie R dotyczy mechanizmu rezerwacji, T dotyczy mechanizmu progowego i H dotyczy mechanizmu progowego z histerezą - są modyfikacjami wcześniej opisanych (w rozdziale czwartym) metod PGB, PPB, PPD i PGPPBRec i służą do wyznaczania rozkładu zajętości, a dalej do obliczania prawdopodobieństw blokady systemu wielousługowego i klas ruchu. W metodach opracowanych dla wyżej wspomnianych trzech typów sterowania dostępem do wyznaczania prawdopodobieństwa blokad wykorzystano własności (rozkłady zajętości) wiązek opisanych w rozdziale trzecim.

Poszczególne części tego rozdziału (podrozdziały 5.2, 5.3 i 5.4) mają podobną strukturę. W częściach tych kolejno przedstawiono mechanizm sterowania dostępem (odpowiednio z rezerwacją (R), z mechanizmem progowym (T) i z mechanizmem progowym z histerezą (H)), sposób modyfikacji wyznaczania rozkładu zajętości w zależności od implementowanego mechanizmu sterowania, metody wyznaczania prawdopodobieństwa blokad, wyniki ilościowej oceny dokładności tych metod (poprzez porównanie z wynikami eksperymentu symulacyjnego) oraz ocenę przydatności (z punktu widzenia dokładności) poszczególnych metod dla rozważanych pól z selekcją punkt-punkt i punkt-grupa.

Podobnie jak we wcześniejszych rozdziałach brak jest podsumowania, w którym byłyby odniesienia dotyczące m.in. złożoności obliczeniowej, skalowalności i reprezentatywności systemów użytych w eksperymentach symulacyjnych.

Rozdział szósty (*Ogólny model pola komutacyjnego z mechanizmami progowymi i ruchem BPP*) dedykowany jest prezentacji uogólnionego modelu pola komutacyjnego z wielousługowymi źródłami ruchu i mechanizmami progowymi. Opisany w tym rozdziale model integruje własności modeli przedstawianych w rozdziale poprzednim w tym znaczeniu, że ujednociony jest sposób wyznaczania prawdopodobieństwa blokady wewnętrznej w polach komutacyjnych dla trzech, rozważanych wcześniej osobno, mechanizmów sterowania dostępem, tzn. mechanizmu rezerwacji, mechanizmu progowego i mechanizmu progowego z histerezą. W pierwszej części tego rozdziału opisano założenia dotyczące sposobów wprowadzania mechanizmów progowych oraz uogólniony model ruchu w łączy międzysekcyjnym, wykorzystywany następnie do obliczania rozkładu zajętości i dalej prawdopodobieństwa blokady w łączy międzysekcyjnym. W podsumowaniu tej części rozważań zaprezentowano metodę MIM-MSS-FAG-U do obliczania rozkładu zajętości w łączach międzysekcyjnych z mechanizmami progowymi oraz wielousługowymi źródłami Erlanga, Engseta i Pascala.

Wprowadzony uogólniony model łączy międzysekcyjnych został - w dalszej części rozdziału szóstego - wykorzystany do modyfikacji sposobu szacowania prawdopodobieństwa blokady wewnętrznej dla pól z selekcją punkt-grupa i punkt-punkt oraz zmiany (w porównaniu z wcześniej stosowanymi) sposobu określania efektywnej dostępności. Wspomniane modyfikacje sposobów szacowania prawdopodobieństwa blokady wewnętrznej i efektywnej dostępności zostały następnie wykorzystane do modyfikacji wcześniej przedstawianych metod PGB, PPB, PPD i PGPPBRec w wyniku których powstały metody PGB-U, PPB-U, PPD-U i PGPPBRec-U.

Podobnie jak w rozdziałach poprzednich, dokładność opracowanych metod została oceniona poprzez porównanie prawdopodobieństw blokady klas zgłoszeń otrzymanych przy pomocy opracowanych metod i w eksperymencie symulacyjnym dla przykładowych systemów wielousługowych. Przeprowadzone badania ilościowe pozwoliły na ocenę bezwzględnej i względnej dokładności metod PGB-U, PPB-U, PPD-U i PGPPBRec-U, ocenę względnej dokładności metod PGB-U, PPB-U, PPD-U i PGPPBRec-U z odpowiednimi, wcześniej przedstawianymi, metodami opracowanymi dla mechanizmu rezerwacji i mechanizmu progowego. Z przedstawionych wyników porównań dokładności wynika, że opracowane metody są dokładne i że w dla większości analizowanych systemów dokładność wyników otrzymanych z wykorzystaniem modelu uogólnionego modelu jest zbliżona do wyników otrzymywanych z użyciem metod dedykowanych poszczególnym, analizowanym w rozprawie mechanizmom sterowania dostępem. W przypadku metody PGPPBRec-U dokładność jest większa od dedykowanych mechanizmowi rezerwacji i mechanizmowi progowemu metodom, odpowiednio PGPPBRec-R i PGPPBRec-T.

Niedosyt budzi brak krótkiego podsumowania dedykowanego m.in. opisowi zakresu stosowania opracowanych metod, ich rekomendacji dla różnych systemów wielousługowych oraz reprezentatywności badanych - dla potrzeb oceny dokładności opracowanych metod analitycznych - systemów wielousługowych.

W rozdziale siódmym (*Symulacja pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi*) przedstawiono symulator pól komutacyjnych, który zbudowano dla potrzeb oceny dokładności opracowanych i przedstawianych w rozprawie modeli analitycznych pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu. W pierwszej części rozdziału przedstawiono struktury danych wejściowych oraz sposoby symulacji źródeł ruchu (Erlanga, Engseta i Pascala). W drugiej części rozdziału opisano cel przeprowadzanych eksperymentów symulacyjnych i sposób prezentacji wyników oraz wyniki ilościowej analizy wrażliwości opracowanego symulatora w zależności od liczby klas z

mechanizmami progowymi, stosowanych mechanizmów progowych, liczby prób zestawiania połączenia i strategii zajmowania łączy.

Brak jest w rozdziale siódmym dyskusji powodów dla których badano wrażliwość opracowanego systemu symulacyjnego w opisanym wyżej zakresie oraz czy i w jakim zakresie są to badania wyczerpujące.

W podsumowaniu przywołano wcześniej sformułowany cel rozprawy, najważniejsze rezultaty przeprowadzonych i relacjonowanych w rozprawie badań oraz krótkie podsumowanie wyników oceny dokładności opracowanych metod analitycznych. Nie ma w podsumowaniu informacji o tym, czy zasadne i możliwe jest kontynuowanie badań dotyczących systemów wielousługowych z wielousługowymi źródłami ruchu.

W spisie literatury znajduje się 106 pozycji (w tym 25 współautorskich prac Autora rozprawy), z których wszystkie dotyczą przedmiotu rozprawy i które zostały wykorzystane w rozprawie do analizy stanu sztuki w zakresie modelowania wielousługowych systemów telekomunikacyjnych oraz opracowania przedstawionych w rozprawie koncepcji, modeli, algorytmów, symulatora i ilościowego szacowania dokładności opracowanych modeli. W spisie literatury przedmiotu znajduje się 49 pozycji, których autorami lub współautorami są pracownicy jednostki macierzystej Autora rozprawy - Katedry Sieci Telekomunikacyjnych i Komputerowych Wydziału Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej.

2.2. Oryginalność dorobku Autora

Oryginalność dorobku naukowego i naukowo-technicznego Autora polega na zaproponowaniu, wykazaniu własności oraz jakościowej i ilościowej ocenie oryginalnych modeli analitycznych pól komutacyjnych z mechanizmami sterowania dostępem do obsługi ruchu generowanego przez wielousługowe źródła ruchu.

Do samodzielnego i oryginalnego dorobku naukowego i technicznego Autora rozprawy zaliczyć należy:

- Krytyczną analizę literatury przedmiotu, w szczególności w zakresie modelowania heterogenicznego ruchu telekomunikacyjnego, analizy własności pól komutacyjnych oraz mechanizmów sterowania dostępem w systemach wielousługowych.
- Przedstawienie i analiza możliwości wykorzystania aproksymacji rzeczywistych procesów obsługi ruchu w polach komutacyjnych za pomocą jednowymiarowych łańcuchów Markowa oraz metody efektywnej dostępności do modelowania pól komutacyjnych z mechanizmami sterowania przyjmowaniem zgłoszeń obsługujących ruch wieloskładnikowy.
- Opracowanie modelu systemu wielousługowego z wielousługowymi źródłami ruchu oraz metody wyznaczenia rozkładu zajętości w systemie z wielousługowymi źródłami ruchu Erlanga, Rngesta i Pascala.
- Opracowanie modeli:
 - wiązki pełno dostępnej z wielousługowymi źródłami ruchu bez mechanizmów progowych, z mechanizmami rezerwacji, z mechanizmami progowymi oraz z mechanizmami progowymi z histerezą;
 - wiązki z ograniczoną dostępnością i wielousługowymi źródłami ruchu bez mechanizmów progowych, z mechanizmami rezerwacji, z mechanizmami progowymi oraz z mechanizmami progowymi z histerezą;oraz opracowanie metod wyznaczenia rozkładów zajętości i ocenę dokładności tych metod.
- Opracowanie modeli pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu bez mechanizmów sterowania dostępem, z mechanizmem rezerwacji, z mechanizmem progowym i z mechanizmem progowym z histerezą oraz opracowanie metod wyznaczenia rozkładów zajętości i ocenę dokładności tych metod.
- Opracowanie uogólnionego modelu pola komutacyjnego z wielousługowymi źródłami ruchu i mechanizmami progowymi i ocenę ilościową dokładności opracowanych metod wyznaczenia rozkładów zajętości.
- Zaprojektowanie i wykonanie symulatora wielousługowego systemu telekomunikacyjnego oraz jego wykorzystanie do weryfikacji dokładności modeli analitycznych i opracowanych metod wyznaczenia rozkładów zajętości, prawdopodobieństw blokad w polach komutacyjnych z selekcją punkt-punkt i punkt-grupa i prawdopodobieństw blokad klas ruchu.
- Przeprowadzenie wyczerpujących badań symulacyjnych opracowanych modeli i metod.

Opracowane metody i modele, opisujące złożone zjawiska obsługi strumieni ruchu we współczesnych systemach telekomunikacyjnych, pozwalają na lepsze poznanie i rozumienie działania

współczesnych sieci i mogą być wykorzystane do konstrukcji efektywnych algorytmów analizy, projektowania, wymiarowania, parametryzacji i optymalizacji urządzeń sieciowych.

Prezentowane w rozprawie wyniki badań naukowych stanowią samodzielny i oryginalny dorobek Autora.

Cechą charakterystyczną tego dorobku jest twórcze i umiejętne połączenie bardzo dobrej - teoretycznej i praktycznej - znajomości wielosługowych systemów telekomunikacyjnych, modeli ruchu, pól komutacyjnych i mechanizmów sterowania dostępem w takich systemach, metod modelowania, analizy i projektowania systemów telekomunikacyjnych, technologii informatycznych i telekomunikacyjnych, metod i technik symulacji oraz metod planowania i przeprowadzania eksperymentów. Przedstawione przez Autora rozprawy nowe, oryginalne modele i metody wyznaczania rozkładów zajętości demonstrują jak różne strategie obsługi ruchu wpływają na jakość dostarczanych usług telekomunikacyjnych w systemach wielosługowych.

Przedstawione w rozprawie modele i metody analizy pól komutacyjnych mechanizmami sterowania dostępem obsługujących ruch generowany przez wielosługowe źródła ruchu mają znaczenie praktyczne.

3. Metodyka badań i redakcja rozprawy

3.1. Metodyka badań

Relacjonowane w rozprawie wyniki badań zostały uzyskane w rezultacie konsekwentnego użycia poprawnej i właściwej dla nauk technicznych metodyki badań, m.in. zgodnie z którą wyniki metod analitycznych zostały porównane z wynikami badań symulacyjnych.

Zadania badawcze, rozpatrywane w rozprawie, zostały wywiedzione z krytycznej analizy literatury przedmiotu oraz bardzo dobrej, praktycznej znajomości technologii telekomunikacyjnych i sposobów ich wykorzystywania w rzeczywistych systemach telekomunikacyjnych. Zaproponowane rozwiązania - modele i zweryfikowane metody wyznaczania rozkładów zajętości systemów z wielosługowymi źródłami ruchu - są wynikiem oryginalnych modyfikacji i rozwinięcia modeli i metod opracowanych dla systemów z jednousługowymi źródłami ruchu.

Wyniki przygotowanych i przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych zostały poprawnie wykorzystane do jakościowej i ilościowej oceny dokładności opracowanych modeli i metod analitycznych.

Autor rozwiązał sformułowane, dobrze uzasadnione i wyprowadzone z tezy rozprawy zadania, używając właściwych do tego metod analitycznych i symulacyjnych.

Rozprawa ma duże znaczenie dla nauk technicznych. Autor nie tylko opracował nowe i oryginalne modele i metody, ale także zaprojektował i wykonał symulator użyty do weryfikacji dokładności opracowanych metod.

Zakres merytoryczny, wykorzystana metodyka oraz jakość prezentowanych w rozprawie wyników prac potwierdzają posiadanie przez Kandydata umiejętności prowadzenia pracy naukowej.

3.2. Redakcja pracy i prezentacja treści pracy.

Lekturę pracy i analizę jej merytorycznej zawartości ułatwia konsekwentnie stosowany i powtarzany w kolejnych rozdziałach rozprawy, jednolity sposób prezentacji treści i wyników badań ilościowych. Mankamentem przyjętego sposobu redakcji pracy jest brak chociażby krótkich podsumowań treści poszczególnych rozdziałów, w których to podsumowaniach m.in. byłaby dyskusja zakresu zastosowań i ewentualnych ograniczeń (będących konsekwencją przyjętych założeń) opracowanych modeli oraz reprezentatywności symulowanych systemów wielosługowych. W tekście rozprawy znajdują się nieliczne stwierdzenia, których czytelność i poprawność jest dyskusyjna.

Treści pracy zostały wybrane i zaprezentowane poprawnie, w odpowiedniej kolejności oraz w sposób pozwalający na jednoznaczną ocenę oryginalności wyników przeprowadzonych prac oraz ich pozycjonowanie względem wyników relacjonowanych w literaturze przedmiotu i dotyczących aktualnego stanu nauki i techniki w zakresie modelowania i analizy wielosługowych systemów telekomunikacyjnych.

Autor wykazał się umiejętnością poprawnego, przekonującego i czytelnego przedstawienia uzyskanych wyników badań naukowych i prac o charakterze technicznym.

Opiniowana rozprawa stanowi spójną całość i w sposób jednoznacznie zadawalający prezentuje uzasadnienie tematyki badań, proponowane koncepcje i rozwiązania, zrealizowane prace i przeprowadzone badania niezbędne do wykazania sformułowanej tezy pracy.

4. Analiza stanu sztuki

Przedstawiona w rozprawie krytyczna analiza literatury przedmiotu dotyczy wszystkich istotnych zagadnień związanych z tezą rozprawy i wynikającym z niej zadaniami do wykonania, polegającymi na modyfikacjach i rozwinięciu znanych i opracowanych modeli wielousługowych systemów telekomunikacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu i polami komutacyjnymi z mechanizmami sterowania dostępem do określania rozkładów zajętości i wyznaczania wartości wskaźników jakości (prawdopodobieństwa blokady i strat) usług telekomunikacyjnych.

Analiza literatury przedmiotu w zakresie modeli wielousługowych pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu i z mechanizmami sterowania dostępem oraz algorytmów i metod wyznaczania ich charakterystyk została podporządkowana realizacji zadań wynikających ze sformułowanej tezy i niezbędnych do jej wykazania. Pewnym mankamentem relacjonowanej w rozprawie analizy literatury przedmiotu jest brak odniesienia się do źródeł dotyczących zarówno szerokopasmowych systemów zintegrowanych (jest to często występująca nazwa tego, co Autor nazywa systemem wielousługowym), jak i metod analizy takich systemów

Autor rozprawy jest współautorem 25 publikacji (wymienionych w bibliografii rozprawy), których tematyka jest identyczna lub zbieżna z zagadnieniami i badaniami relacjonowanymi w rozprawie.

Przeprowadzona w rozprawie analiza stanu sztuki w zakresie wielousługowych systemów telekomunikacyjnych, pól komutacyjnych, modeli ruchu i mechanizmów sterowania dostępem oraz wykonane prace o charakterze implementacyjnym jednoznacznie potwierdzają bardzo dobrą, ogólną i szczegółową wiedzę Kandydata w dyscyplinie telekomunikacja i w dyscyplinach pokrewnych.

5. Inne uwagi

Lektura rozprawy skłania do zgłoszenia szeregu uwag i pytań, komentarze do których i odpowiedzi na które być może wymagają dalszych badań, w tym tych proponowanych przez Autora w podsumowaniu rozprawy.

Uwagi:

1. W sformułowaniu celu rozprawy - ... *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* - akcentowane jest *opracowanie spójnej metodologii*. Termin *metodologia* występuje w rozprawie trzy razy: we wprowadzeniu, gdzie (str. 1), w którym napisano, że ... *współczesne sieci telekomunikacyjne mają charakter wielousługowy, który wpływa bezpośrednio na metodologię modelowania systemów sieciowych*, w sformułowaniu celu rozprawy (str. 5) oraz w podsumowaniu (str. 188), w którym *de facto* powtórzono sformułowanie ze str. 5. Brak jest w rozprawie zarówno wyjaśnienia rozumienia przez Autora zarówno terminu *metodologia modelowania*, jak i terminu *spójna metodologia* oraz dyskusji, czy i dlaczego przedstawiony w rozprawie zbiór modeli i metod można uznać za *spójną metodologię modelowania*.
2. W sformułowaniu tezy rozprawy - *Możliwe jest opracowanie modeli analitycznych, umożliwiających efektywne określanie charakterystyk ruchowych wielousługowych pól komutacyjnych z wielousługowymi źródłami ruchu i zaimplementowanymi mechanizmami progowymi* - mowa jest o możliwości *opracowania modeli analitycznych umożliwiających efektywne określanie charakterystyk*. Wprawdzie przymiotnik *efektywne* występuje w tekście rozprawy wielokrotnie, ale nigdzie nie ma nawet wzmianki o tym, jak termin ten jest rozumiany w rozprawie i jak oceniany jest stopień spełnienia takiego wymagania przez opracowane i prezentowane w rozprawie modele. Jest to tym bardziej istotne, że teza pozbawiona przymiotnika *efektywne* wydaje się być tezą oczywistą.
3. W podrozdziale 2.3.1 napisano (str. 19), że *W celu ułatwienia analizy ... systemu z terminalami wielousługowymi zgrupujemy źródła ruchu w zbiory generujące strumienie tego samego typu*. Czy to oznacza przyjęcie założenia, że w zbiorze terminali nie ma źródeł ruchu,

które generują więcej niż jeden z trzech typów (Engseta, Erlanga i Pascala) strumieni ruchu? Czy to oznacza dalej, że po wspomnianym wyżej zgrupowaniu zbiory terminali generujących strumienie tego samego typu są rozłączne?

4. W podrozdziale 2.3.1 – charakteryzując różnice pomiędzy systemami wielousługowymi z jednousługowym źródłem ruchu i z wielousługowymi źródłami ruchu – napisano (str. 19), że *W modelu założono także, że wielousługowe źródło ruchu nie jest zdolne do jednoczesnego generowania kilku strumieni ruchu*. Jest to uzasadnione założenie, ale w związku z tym stwierdzeniem nasuwa się kilka pytań. Jeżeli wielousługowe źródło ruchu nie jest zdolne do jednoczesnego generowania kilku różnych strumieni ruchu, to czy nie jest to w danej chwili w rzeczywistości jednousługowe źródło ruchu? Czy przyjęcie takiego założenia oznacza, że wielousługowe źródło ruchu w modelu systemu wielousługowego w dowolnej chwili czasu można przedstawić jako zbiór jednousługowych źródeł ruchu? Czy - kontynuując - zbiór wielousługowych źródeł ruchu nie jest ciągiem zbiorów jednousługowych źródeł ruchu?

Komentując wyżej wspomniane założenie, napisano dalej (str. 19), że *Takie podejście powoduje zwiększenie wpływu liczby obsługiwanych zgłoszeń na wartość oferowanego ruchu*. Rozumiem, że zdanie to dotyczy założenia, a nie podejścia. Nie rozumiem natomiast jak i dlaczego założenie o braku możliwości jednoczesnego generowania kilku strumieni ruchu powoduje zwiększenie wpływu liczby obsługiwanych zgłoszeń na wartości oferowanego ruchu. Co to znaczy, że zwiększa się wpływ liczby obsługiwanych zgłoszeń na wartości oferowanego ruchu?

Czy przedstawiana - w podrozdziale 2.3.2 - metoda wyznaczania rozkładu zajętości w systemach wielousługowych z wielousługowymi źródłami ruchu (metoda MIM-MSS) dotyczy modelu systemu wielousługowego z wielousługowymi źródłami ruchu dla którego obowiązuje założenie o braku zdolności do jednoczesnego generowania kilku strumieni ruchu?

5. Proszę o sprawdzenie poprawności następującego rozumowania: założmy że dany jest wielousługowy system jak na rysunku 2.9 (dwie klasy zgłoszeń i trzy zbiory źródeł ruchu Erlanga) oraz że te trzy jednoelementowe zbiory źródeł generują dwie klasy (rozmowa, www) ruchu Erlanga o intensywnościach 2λ (rozmowa) i λ (www) i w proporcjach jak na wspomnianym rysunku. Założmy dalej, że średni czas obsługi zgłoszeń $\mu = 10$. Przy takich założeniach średnie wartości ruchu generowanego (zgodnie z wyrażeniem 2.38) są następujące: $A_{Er,1,1} = 0,1\lambda$, $A_{Er,2,1} = 0,07\lambda$, $A_{Er,2,2} = 0,06\lambda$ i $A_{Er,3,1} = 0,2\lambda$. Jeżeli dalej przyjąć, że terminal ze zbioru 2 nie jest zdolny do jednoczesnego generowania dwóch strumieni ruchu (jednocześnie www i rozmowa) to wartość ruchu generowanego przez terminal 2 zmienia się i jest równa $0,06\lambda$ (rozmowa) lub $0,07\lambda$ (www).

Jak zinterpretować fakt, że w przypadku gdy w terminalu 2 wyłączona zostanie usługa www, średnia wartość ruchu generowanego wzrośnie (z $0,06\lambda$ do $0,2\lambda$)? Jak wyłączenie usługi www w terminalu 2 wpłynie na rozkład zajętości i - w konsekwencji - na wartości prawdopodobieństwa blokady i prawdopodobieństwa strat?

6. We wprowadzeniu do rozdziału piątego (str. 88) przyjęto założenie, o tym że *... mechanizmy progowe będą wprowadzane tylko na kierunkach wyjściowych pola komutacyjnego*.

Czy przyjęcie takiego założenia nie oznacza, że struktura i wartości parametrów pola komutacyjnego nie mają wpływu na jakość obsługi dla zadanego obciążenia?

7. W podsumowaniu nie ma żadnych propozycji ewentualnej kontynuacji badań relacjonowanych w rozprawie doktorskiej.

W związku z tym zasadne wydaje się być pytanie o to, czy celowe byłoby kontynuowanie badań m.in. nad modelami dotyczącymi wielousługowych systemów telekomunikacyjnych, w których zostałyby pominięte lub osłabione założenia przyjęte na potrzeby opracowania modeli przedstawianych w rozprawie?

8. W treści rozprawy termin *wielousługowy* występuje bardzo często w nawach własnych, takich jak wielousługowy system telekomunikacyjny, wielousługowe źródło ruchu, ruch wielousługowy i wielousługowe pole komutacyjne. O ile w dwóch pierwszych nazwach użycie przymiotnika wielousługowe jest uzasadnione, to użycie tego przymiotnika w odniesieniu do ruchu i pola komutacyjnego jest - moim zdaniem - dyskusyjne. Z punktu widzenia ruchu, obsługi ruchu w polu komutacyjnym i wyznaczania charakterystyk ruchowych pola komutacyjnego nie ma znaczenia rodzaj usługi generującej ruch, ale rodzaj (typ) strumienia ruchu.

Przedstawione wyżej uwagi nie pomniejszają w żadnym stopniu wysokiej, wcześniej przedstawionej oceny opiniowanej rozprawy doktorskiej.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania podane w artykule 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami) uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Sobieraja pt. *Modelowanie pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi I wielousługowymi źródłami ruchu* zawiera oryginalne rozwiązania problemu naukowego oraz dowodzi tego, że Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie telekomunikacja i posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Macieja Sobieraja pt. *Modelowanie pól komutacyjnych z mechanizmami progowymi I wielousługowymi źródłami ruchu* do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę zawartość merytoryczną rozprawy, zakres wykonanych prac naukowo-badawczych i naukowo-technicznych, jakość uzyskanych wyników badań naukowych i prac technicznych, sposób prezentacji treści rozprawy oraz - związane z przedmiotem rozprawy doktorskiej - dorobek publikacyjny wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Sobieraja.