



Recenzja rozprawy doktorskiej

Prof. dr hab inż. Andrzej Chydziański
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Politechnika Śląska

Gliwice, 18 sierpnia 2021

Tytuł rozprawy: **Modelowanie kolejkowych systemów przelewowych z mechanizmami progowymi i wielousługowymi źródłami ruchu**

Autor rozprawy: **mgr inż. Damian Kmiecik**

Promotor rozprawy: **prof. dr hab. inż. Mariusz Głąbowski**

Promotor pomocniczy: **dr hab. inż. Sławomir Hanczewski**

1 Zawartość rozprawy

Rozprawa dotyczy inżynierii ruchu telekomunikacyjnego. Zaproponowano w niej modele analityczne i symulacyjne wielousługowych systemów telekomunikacyjnych, z różnymi mechanizmami zarządzania ruchem, takimi jak: mechanizm przelewu ruchu, kompresja progowa, kompresja bezprogowa, kolejowanie zgłoszeń. Ponadto zakłada się, że mechanizmy zarządzania ruchem mogą być zastosowane zarówno w zasobach pierwotnych, jak i wtórnych.

Ponieważ rozważane modele są w najlepszym wypadku niezwykle trudne, a w praktyce niemożliwe, do dokładnego rozwiązania analitycznego, w rozprawie proponuje się szereg metod przybliżonego ich rozwiązania, a następnie bada ich dokładność porównując uzyskane przy ich pomocy wyniki z wynikami symulacyjnymi dla dużych prób. (Do przeprowadzenia tych symulacji autor rozprawy zaprojektował i zaimplementował własny symulator zdarzeń dyskretnych).

Zaproponowane metody umożliwiają wyznaczanie, z przyzwoitą dokładnością, charakterystyk określających jakość obsługi w modelowanych sieciach telekomunikacyjnych, parametrów ruchu przelewowego oraz parametrów kolejek na zasobach pierwotnych i wtórnych. Dlatego mogą zostać wykorzystane do wymiarowania zasobów sieci, czyli wyznaczania minimalnych wielkości zasobów zapewniających obsługę ruchu o zadanym natężeniu, na określonym poziomie jakości obsługi.

W pracy stosowanych jest kilka podejść pozwalających na uzyskiwanie przybliżonych rozwiązań badanych modeli sieci, jednak najważniejszym i najczęściej stosowanym przez autora jest podejście Fredericksa-Haywarda, polegające na odpowiedniej zamianie zasobu wtórnego na wiele identycznych podsystemów, dla których ruch oferowany może być traktowany jak ruch Erlanga, co umożliwia wyznaczenie prawdopodobieństwa blokady ze wzoru Erlanga. Autor proponuje rozszerzenia i udoskonalenia tego schematu, pozwalające na uzyskiwanie dobrych wyników dla wielousługowych systemów telekomunikacyjnych z wymienionymi wcześniej mechanizmami zarządzania ruchem.

Rozprawa zawiera 7 rozdziałów głównych, podsumowanie, polskie i angielskie streszczenie, oraz spisy: literatury, rysunków i tabel. Rozprawa napisana jest w języku polskim, jest obszerna i liczy 182 strony. Spis literatury zawiera 157 pozycji, wśród których 13 stanowią artykuły, których współautorem jest doktorant.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie do tematyki rozprawy oraz przedstawia jej główne cele. W rozdziale drugim zdefiniowano najważniejsze pojęcia teorii ruchu telekomunikacyjnego takie jak zasób, klasa ruchu o skończonej i nieskończonej liczbie źródeł, modele Erlanga, Engseta i Pascala, system wielousługowy, prawdopodobieństwa zajętości i blokady itp. Rozdział trzeci poświęcono modelowaniu systemów z ruchem przelewowym. Przedstawiono znane z literatury metody ich rozwiązywania, w tym dekompozycję wielousługowych zasobów pierwotnych, wyznaczanie parametrów ruchu poszczególnych klas oraz metodę Fredericksa-Haywarda. Rozdział czwarty poświęcono modelowaniu wielousługowych systemów przelewowych bez mechanizmów kształtowania ruchu. Rozdział piąty dotyczy modelowania wielousługowych systemów przelewowych z bezprogową i progową kompresją ruchu. Rozdział szósty poświęcono systemom wielousługowym z przelewem ruchu, w których dodatkowo wprowadzono kolejki, zarówno w zasobach pierwotnych, jak i wtórnych. Rozdział siódmy omawia symulator zdarzeń dyskretnych zaprojektowany i wykonany do potrzeb badań opisanych w rozprawie.

2 Opinia o rozprawie

Oceniana praca prezentuje wysoki poziom naukowy i zasługuje na wysoką ocenę z następujących powodów.

Po pierwsze, przedstawione w rozprawie rozwiązania przybliżone modeli systemów przelewowych z kolejkowaniem oraz mechanizmami kompresji stanowią oryginalne rozwiązanie nietrywialnego problemu naukowego z zakresu teorii ruchu telekomunikacyjnego.

Po drugie, rozprawa bardzo dobrze prezentuje się w stosunku do stanu wiedzy reprezentowanego przez literaturę światową – poruszane problemy są ważne, nowoczesne, i w dużym zakresie nie były rozwiązane wcześniej.

Po trzecie, nie doszukałem się w rozprawie żadnych istotnych błędów merytorycznych, ani w części opisowej, ani we wzorach i rozumowaniach.

Po czwarte, analiza źródeł dokonana w pracy jest bardzo dobra i pokazuje szeroką wiedzę autora w zakresie teorii ruchu i telekomunikacji w ogóle.

Po piąte wreszcie, forma rozprawy świadczy o umiejętności autora poprawnego i przekonującego przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników naukowych. Praca jest napisana jasno i czytelnie, bardzo starannie zredagowana, niemal nie zawiera błędów redakcyjnych czy językowych.

Największym osiągnięciem przedstawionym w rozprawie jest opracowanie ogólnego modelu systemu wielousługowego, w którym występują zarówno przelewy ruchu elastycznego i adaptacyjnego Erlanga-Engseta-Pascala, jak i mechanizmy kompresji progowej i bezprogowej, jak i kolejkovanie zgłoszeń.

Wynik ten, przedstawiony w rozdziale 6, był możliwy do uzyskania dzięki wielu wynikom pośrednim, polegającym na zaproponowaniu i rozwiązaniu prostszych modeli, nie uwzględniających wszystkich mechanizmów zawartych w modelu ogólnym.

Wśród tych ważnych wyników pośrednich należy wymienić:

- zaproponowanie modelu wielousługowego systemu przelewowego z ruchem Erlanga-Engseta-Pascala o poprawionej dokładności wyznaczania charakterystyk ruchu spływającego;
- zaproponowanie modelu wielousługowego systemu przelewowego ruchu elastycznego Erlanga-Engseta-Pascala z kompresją bezprogową w zasobach pierwotnych oraz wtórnych;
- zaproponowanie modelu wielousługowego systemu przelewowego ruchu elastycznego oraz adaptacyjnego Erlanga-Engseta-Pascala z kompresją progową w zasobach pierwotnych oraz wtórnych;

- zaproponowanie modelu wielousługowego systemu przelewowego z ruchem Erlanga-Engseta-Pascala oraz kolejkowaniem zgłoszeń w zasobach pierwotnych oraz wtórnych, opracowanie metod wyznaczania średniej długości kolejki, dla kolejki zagregowanej oraz dla kolejek poszczególnych klas zgłoszeń, zarówno w zasobach pierwotnych, jak i wtórnych.

Oczywiście, wyniki te są istotne nie tylko dlatego, że pozwoliły na zbudowanie modelu ogólnego, ale też dlatego, że mogą być zastosowane bezpośrednio do wymiarowania sieci, w których nie występują wszystkie mechanizmy uwzględnione w modelu ogólnym.

Nie mam wątpliwości, że teza rozprawy, która brzmi:

Możliwe jest opracowanie efektywnych modeli analitycznych wielousługowych systemów przelewowych z kolejkowaniem zgłoszeń oraz mechanizmami bezprogowej i progowej kompresji.

została poprawnie sformułowana i udowodniona.

3 Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Podczas czytania rozprawy nasuwa się też kilka uwag krytycznych i dyskusyjnych.

- Nie podjęto w pracy niemal żadnej próby systematycznej oceny jakości zaproponowanych metod, wykorzystującej sformalizowany wskaźnik (bądź wskaźniki) jakości. Ocena jakości proponowanej metody wygląda w pracy najczęściej tak, że przedstawiany jest wykres, np. prawdopodobieństwa blokady w funkcji natężenia ruchu, uzyskany przy pomocy ocenianej metody analitycznej oraz drugi, uzyskany przy pomocy symulacji. Następnie, gdy „na oko” wykresy te są zbliżone, wyciąga się wniosek w postaci: „(...) metoda (...) wyróżnia się wysoką dokładnością oraz stabilnym poziomem błędów (...)” albo „Wyniki (...) wskazują na wysoką dokładność prezentowanej metody”. Czasem prezentowane są dodatkowo wykresy błędów względnych, które też nie są analizowane w jakiś formalny sposób.

Zgadzam się, że w większości wypadków „na oko” widać, że proponowane metody są niezłe i uzyskiwane wykresy są rzeczywiście zbliżone do symulacyjnych. Jednak w wysokiej klasy publikacji naukowej chciałbym widzieć jakieś próby formalnej oceny wyników. Można było spróbować wykorzystać jakąś metrykę odległości w przestrzeni funkcji, np. całkę z kwadratu różnicy funkcji. Być może dodatkowo całkować

z pewną funkcją wagową $w(a)$, w której podnosimy znaczenie tych zakresów natężeń ruchu, które są szczególnie ważne dla funkcjonowanie sieci, a obniżamy znaczenie pozostałych. Albo jeszcze inny wskaźnik, formalnie zdefiniowany.

W niektórych wypadkach brak takiego wskaźnika uniemożliwia faktycznie porównanie różnych metod. Na przykład, na rysunku 4.42 na str. 84 widać, że metody V2, V5 i V7 dają lepsze wyniki niż metody V1, V3, V4, V6 dla natężenia ruchu od 1 do 1.6 Erl, i odwrotnie, metody V1, V3, V4, V6 dają lepsze wyniki dla mniejszych lub większych natężeń, niż w podanym przedziale natężeń. Jak wobec tego zdecydować, które z wymienionych metod są ogólnie „lepsze”? Podobna sytuacja powtarza się jeszcze kilkakrotnie.

Zdaję sobie sprawę, że zaproponowanie odpowiedniego wskaźnika jakości nie jest sprawą całkiem banalną, gdyż zawsze będzie można dyskutować, dlaczego ma on taką, a nie inną postać, dlaczego wybrano taką a nie inną funkcję wagową itp. Jednak moim zdaniem próby takie należy koniecznie podjąć, aby nie polegać wyłącznie na wizualnej ocenie wykresów z wynikami.

- Do oceny proponowanych metod wykorzystuje się wiele przykładowych parametryzacji systemów (np. tabele na str. 60, 68, 96-99, 132, 137, 148). Nigdzie jednak nie podejmuje się dyskusji, dlaczego te a nie inne parametryzacje mają być w jakimś sensie reprezentatywne dla rozważanego problemu.
- Jako bazowy generator liczb pseudolosowych w symulatorze wykorzystywany jest przestarzały generator liniowy multiplikatywny. Jak udowodniono w pracach naukowych, generator ten posiada dość istotne wady statystyczne. Praktyka pokazuje na szczęście, że wady te mają zwykle niewielki wpływ na wyniki symulacji procesów losowych uzyskiwanych z użyciem tego generatora. Jednak nie jest to całkiem pewne w każdym konkretnym zastosowaniu i niezwykle trudne do oceny, czy tak właśnie jest w danym przypadku. Dlatego też w nowoczesnych symulatorach stosuje się nowoczesne generatory liczb pseudolosowych, na przykład Mersenne-Twister.
- Powyższa uwaga może stanowić przyczynek do dyskusji, czy w ogóle warto samodzielnie pisać symulatory takie jak zaprezentowany w rozprawie, zamiast stosować gotowe nowoczesne środowisko symulacyjne. W gotowym środowisku wiele szczegółowych rozwiązań jest bardzo dopracowanych pod względem jakości i wydajności, jak na przykład lista

zdarzeń przyszłych, stanowiąca rdzeń symulatora, wspomniany bazowy generator losowy i wiele innych. W samodzielnej implementacji bardzo trudno zbliżyć się do jakości tych rozwiązań. Z drugiej strony środowiska symulacji dyskretnej oferują samodzielne pisanie kluczowych komponentów symulatora bezpośrednio w języku C++ lub podobnym, co odpiera pojawiający się czasem zarzut, że gotowy symulator będzie robił coś w środku, czego do końca użytkownik nie będzie rozumiał i do czego nie będzie miał dostępu.

- Rysunki 4.40 i 4.41 są nieczytelne. Zbyt wiele nachodzących na siebie linii kropkowanych i przerywanych.
- Drugie zdanie podrozdziału 6.4 na stronie 124 jest tautologią.
- Drobne potknięcia językowe. Str. 11 – „całych strumienie pakietów”. Str. 156 – „Czasy obsługi (...) mają charakter wykładniczy”. Rozkład, nie charakter. Str. 118, „kolejki o ograniczonej pojemności”. W żargonie technicznym często używa się zamiennie pojęć „kolejka” oraz „bufor” czego bardzo nie lubię. W istocie kolejka nie ma pojemności, gdyż jest to dynamiczny obiekt, składający się z uporządkowanych zgłoszeń (klientów, pakietów, zadań). Kolejka ma długość, zmienną w czasie. Pojemność ma za to bufor, czyli poczekalnia, w której tworzona jest kolejka. Pojemność ta zwykle nie zmienia się w czasie.

4 Wnioski

Przedstawione powyżej uwagi krytyczne i dyskusyjne jedynie w nieznacznym stopniu obniżają wyrażoną wcześniej wysoką ocenę merytorycznej zawartości rozprawy.

Zgodnie z aktualnie obowiązującą ustawą „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, rozprawa doktorska powinna spełniać dwa wymagania. Po pierwsze, przedstawiać oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Po drugie, prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jestem przekonany, że rozprawa doktorska mgra Damiana Kmiecika pt. „Modelowanie kolejkowych systemów przelewowych z mechanizmami progowymi i wielousługowymi źródłami ruchu” w pełni wypełnia obydwa te wymagania. Wnioskuje o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy.