

Recenzja rozprawy doktorskiej

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

Gliwice, 21 grudnia 2016

Tytuł rozprawy: **Analysis of Packet Loss Pattern for Concatenated Transmission Channels Using Burst Ratio Parameter**

Autor rozprawy: **mgr inż. Jakub Rachwalski**

Promotor rozprawy: **prof. dr hab. inż. Zdzisław Papir**

1 Zawartość rozprawy

Oceniana rozprawa poświęcona jest badaniu struktury procesu strat pakietów w sieciach pakietowych. Jak wiadomo, najważniejszym parametrem opisującym proces strat pakietów jest współczynnik strat, czyli zmierzona w długim okresie czasu frakcja pakietów, które nie dotarły do odbiorcy. (W sieciach przewodowych straty występują zwykle z powodu przepełnień buforów w ruterach). Łatwo jednak zauważyć, że współczynnik strat pakietów może być niewystarczający, a nawet mylący, przy ocenie jakości działania niektórych aplikacji sieciowych. Przykładowo, w większości internetowych transmisji multimedialnych bardzo niepożądane jest występowanie strat pakietów w seriach, gdyż seria kolejno utraconych pakietów powoduje gwałtowny spadek jakości transmisji postrzeganej przez użytkownika. W skrajnym wypadku może nawet być tak, że jakość postrzegana przez użytkownika jest lepsza, pomimo większego współczynnika strat, o ile straty te są w miarę równomiernie rozłożone w czasie, niż w sytuacji, gdy straty są mniejsze, ale mają tendencję do występowania w grupach.

Do liczbowego opisu tego zjawiska zaproponowano parametr o nazwie *burst ratio* – współczynnik grupowania¹. Współczynnik grupowania wyraża, ile razy rzeczywiście obserwowana średnia długość grupy kolejno utraconych pakietów jest większa niż byłaby w wypadku, gdyby straty pakietów były czysto losowe i niezależne, oczywiście przy zachowaniu tego samego współczynnika strat.

Współczynnik grupowania jest więc drugim, po współczynniku strat, kluczowym parametrem opisującym liczbowo proces strat w sieciach pakietowych.

Rozprawa mgra Jakuba Rachwalskiego jest poświęcona badaniom współczynnika grupowania strat na długiej ścieżce pomiędzy systemami końcowymi. Głównym osiągnięciem przedstawionym w pracy jest wyprowadzenie wzoru na współczynnik grupowania na takiej ścieżce przy założeniu, że znane są współczynniki strat i grupowania na wszystkich odcinkach tej ścieżki, tzn. w kolejnych ruterach. Oprócz tego wyprowadzono wzór przybliżony przy założeniu, że współczynniki strat na kolejnych odcinkach są małe. Obydwa wzory uzyskano przyjmując pewien markowski model procesu strat pakietów. Ponadto w rozprawie przeprowadzono studia symulacyjne w celu porównania wyników teoretycznych, uzyskanych dzięki założonemu modelowi procesu strat, z rzeczywiście obserwowanymi w sieci współczynnikami grupowania.

Z treści rozprawy jasno wynika, że główną motywacją do podjęcia badań była dla Doktoranta telefonia internetowa (VoIP), dlatego też w rozprawie sporo miejsca poświęcono tej tematyce. Rzeczywiście, telefonia internetowa jest bardzo dobrym (choć nie jedynym) przykładem aplikacji, w której współczynnik grupowania strat odgrywa bardzo ważną rolę.

Rozprawa zawiera cztery rozdziały główne (rozdziały 1-4), podsumowanie (rozdział 5) oraz trzy rozdziały dodatkowe (A, B i C). W pracy znajdują się też spisy: rysunków, tablic, skrótów oraz literatury przedmiotu. Ponadto do rozprawy dołączono polskie i angielskie streszczenie. Rozprawa napisana jest w języku angielskim, łącznie z wymienionymi spisami liczy 133 strony. Spis literatury zawiera 77 pozycji.

Główne wyniki są w rozprawie formułowane w matematycznie ścisły sposób, przy pomocy rachunku prawdopodobieństwa i teorii łańcuchów Markowa.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do tematyki rozprawy. Przedstawiono najpierw motywację Autora do badań współczynnika grupowania, związaną głównie z powszechnością telefonii internetowej oraz rolę, jaką odgrywa współczynnik grupowania w obiektywnej, liczbowej ocenie jakości połączeń VoIP. Następnie sformułowano tezę pracy, która mówi o możliwości wyzna-

¹tłumaczenie recenzenta

czenia współczynnika grupowania strat na całej ścieżce pomiędzy systemami końcowymi, o ile znane są charakterystyki strat wszystkich fragmentów ścieżki. W dalszej części opisano krótko metodologię, która w części teoretycznej wykorzystuje teorię łańcuchów Markowa, zaś w części symulacyjnej oprogramowanie Matlab i NS2. W końcowej części pierwszego rozdziału przedstawiono publikacje Doktoranta, które powstały w czasie prac nad rozprawą.

Rozdział drugi poświęcono ocenie jakości połączeń w telefonii internetowej. Omówiono krótko subiektywne metody oceny jakości połączeń oraz, znacznie szerzej, metody obiektywne. Metody obiektywne zostały podzielone na metody oparte na analizie sygnału oraz metody wykorzystujące zestawy parametrów. Następnie zdefiniowano i opisano szereg parametrów wykorzystywanych w ocenie parametrycznej oraz przedstawiono wzór opisujący wpływ współczynnika strat i współczynnika grupowania strat na jakość połączenia.

Rozdział trzeci jest najważniejszym rozdziałem rozprawy. Rozdział ten rozpoczyna przegląd modeli strat pakietów, w którym przedstawiono model Bernoullego, model z łańcuchem Markowa o dwóch stanach, model Gilberta, model Gilberta-Eliota, model z łańcuchem Markowa o 4 stanach oraz model o dowolnej liczbie stanów. Następnie udowodniono lemat o wartości współczynnika grupowania dla ścieżki składającej się z dwóch odcinków, zakładając markowski model strat z dwoma stanami na każdym odcinku. Dalej, przy pomocy tego lematu pokazano indukcyjnie postać współczynnika grupowania dla ścieżki składającej się z dowolnie dużej liczby odcinków. Wreszcie, w końcowej części rozdziału wyprowadzono uproszczony wzór na współczynnik grupowania dla dowolnej liczby odcinków przy założeniu, że współczynniki strat na wszystkich odcinkach są małe.

W rozdziale czwartym przeprowadzono symulacyjną weryfikację rezultatów analitycznych uzyskanych w rozdziale trzecim. Weryfikacja ta przebiegała dwuetapowo. W etapie pierwszym wykorzystano środowisko Matlab do symulacji procesów strat w postaci dwustanowych łańcuchów Markowa i obserwowano całkowite współczynniki grupowania. A zatem ten etap miał na celu jedynie sprawdzenie poprawności wyprowadzonych wzorów, bez sprawdzania ich przydatności w ocenie strat w rzeczywistym ruchu sieciowym. Przydatność ta była sprawdzona dopiero w etapie drugim, w którym wykorzystano popularny symulator sieci – NS2. W tej części symulowano rzeczywiste działanie sieci zawierającej od 2 do 10 przełączników, rzeczywiste protokoły sieciowe, zróżnicowane przepustowości i czasy propagacji łączy, rozmiary buforów, a nawet różne algorytmy kolejkowania ruchu w przełącznikach.

Rozdział piąty stanowi podsumowanie rozprawy.

W rozprawie zawarto jeszcze trzy rozdziały dodatkowe. W dodatku A przedstawiono stacjonarne rozwiązania dwustanowych, czterostanowych oraz

o dowolnej liczbie stanów łańcuchów Markowa, wykorzystywanych do modelowania procesu strat pakietów. W dodatku B przedyskutowano dwa różne podejścia do analizy ścieżek składających się z dwóch odcinków modelowanych dwustanowymi łańcuchami Markowa. Wreszcie, w dodatku C przedstawiono szczegółowe zestawienie parametrów sieci symulowanej w środowisku NS2 oraz opisano wykorzystane w rozprawie przedziały ufności dla uzyskanych w symulacjach rezultatów.

2 Opinia o rozprawie

Po pierwsze należy podkreślić, problem badawczy rozwiązany w rozprawie jest bardzo ważny i nowoczesny. Współczynnik grupowania strat jest jednym z istotnych parametrów wpływających na jakość transmisji multimedialnych w Internecie. Dlatego też analityczne wyznaczenie współczynnika grupowania na długich ścieżkach pomiędzy systemami końcowymi na podstawie charakterystyk strat na poszczególnych odcinkach ścieżek jest istotnym osiągnięciem, o znaczeniu teoretycznym i praktycznym. Rozwiązanie takiego problemu wymagało od Doktoranta nie tylko szerokiej wiedzy z zakresu telekomunikacji, ale również z zakresu zaawansowanych technik matematycznych i statystycznych.

Rozprawa prezentuje wysoki poziom naukowy i zasługuje na dobrą ocenę nie tylko z powodu udowodnionych twierdzeń, ale także z powodu przeprowadzonych bardzo szerokich, rzetelnych i dobrze zaprojektowanych (z niewielkimi wyjątkami, opisanymi w kolejnej sekcji) eksperymentów symulacyjnych. Z opisu tych eksperymentów jasno wynika, że Doktorant bardzo starał się uwzględnić jak najwięcej czynników mogących wpływać na wartości współczynnika grupowania strat, co było zadaniem trudnym. Aby to osiągnąć, przeprowadził około miliona symulacji w symulatorze NS2, biorąc pod uwagę zróżnicowanie parametrów sieci, urządzeń, łączy i ruchu, w szczególności zróżnicowanie protokołów transportowych, algorytmów kolejkowania w rutach, rozmiarów buforów, rozmiarów pakietów, liczby przepływów itd.

Rozprawa jest (za wyjątkiem spisu literatury) starannie zredagowana – znalazłem tylko jedną literówkę w całej treści. Napisana jest w sposób przejrzysty, bardzo dobrym językiem angielskim. Pracę czyta się dobrze – układ treści pracy, jej rozmiary, przedstawione rysunki, tabele oraz spisy rysunków, tabel i skrótów nie wzbudzą zastrzeżeń.

Spis literatury dobrze oddaje aktualny stan wiedzy w zakresie, którego dotyczy rozprawa. Wiele z cytowanych prac to pozycje najnowsze (z roku 2014 lub nowsze), co świadczy o śledzeniu przez Autora na bieżąco literatury przedmiotu.

Przedstawiona w rozprawie teza, która brzmi:

It is possible to determine the overall value of the Burst Ratio parameter for transmission over multiple concatenated channels of known individual characteristics.

została prawidłowo sformułowana i udowodniona w rozdziale trzecim, poprzez udowodnienie twierdzeń 1 i 2.

3 Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Na początku tej części chciałbym podkreślić, że nie znalazłem w pracy żadnych zasadniczych błędów merytorycznych czy niewłaściwych rozumowań. Wszystkie poniższe uwagi mają zatem charakter raczej dyskusyjny.

- Główny rezultat dotyczący całkowitego współczynnika grupowania strat otrzymano przyjmując łańcuch Markowa o dwóch stanach jako model procesu strat na każdym odcinku ścieżki. Taki łańcuch Markowa ma jednak względnie prostą strukturę. W szczególności, długość serii kolejnych strat ma rozkład geometryczny, a zatem nie jest możliwe modelowanie serii o dużej wariancji długości. Czy Doktorant próbował się zmierzyć z wyznaczeniem całkowitego współczynnika grupowania dla któregoś z trudniejszych modeli, np. łańcucha Markowa o dowolnej liczbie stanów?
- Zdziwił mnie dobór parametrów łączy przewodowych sieci testowej pokazanej na rysunku 4.10. Mianowicie, założono łącza o przepustowości 1Mb/s oraz odpowiednio małe rozmiary buforów. Jak zrozumiałem chodziło o to, by na takich hipotetycznych łączach testować jeden przepływ VoIP (około 100kb/s) z 1-10 przepływami w tle (UDP oraz TCP). Czy nie należało raczej urealnić parametrów tych łączy, zakładając przepustowości w setkach Mb/s, i badać jednocześnie odpowiednio więcej przepływów VoIP oraz przepływów tła?
- Niezbyt trafny jest wybór algorytmu kontroli przeciążenia TCP, tzn. wersja Tahoe. To jest jednak dość przestarzała i rzadko używana wersja. Należało raczej zastosować albo popularny algorytm New Reno, albo jeden z nowszych algorytmów, np. Cubic.
- W niektórych parametryzacjach symulowanej w NS2 sieci uzyskano ekstremalne, bardzo duże lub bardzo małe wartości współczynnika grupowania. Sytuacje takie są ciekawe z praktycznego i teoretycznego punktu

widzenia, szkoda więc, że nie zostały szczegółowo omówione. Jak, na przykład, uzyskano w symulacji współczynnik grupowania równy 0.5, oznaczający że straty pojawiały się w strumieniu pakietów w sposób znacznie bardziej rozproszony, niż przy wyborze losowym? Albo, w jakiej sytuacji i dlaczego uzyskano współczynnik grupowania przekraczający 20?

- Dowód twierdzenia 2, choć zasadniczo poprawny, jest jednak zbyt nieformalnie zapisany. Należało wykazać więcej staranności przy zachowaniu formalizmu matematycznego. Na przykład równości (3.35), (3.38), (3.39) nie zachodzą bezpośrednio, tylko w granicy przy każdym $Ppl_i \rightarrow 0$, co należało zapisać korzystając z symboli \lim lub \rightarrow .
- Sposób zredagowania spisu literatury jest nieco niestaranny - w kilku miejscach nie podano wystarczającej informacji o cytowanej pozycji. Na przykład, pozycja [27] - czy to jest monografia czy artykuł? Jeśli monografia, należało podać wydawcę, jeśli artykuł - nazwę i numer czasopisma. Albo pozycja [37], która jest zupełnie nieczytelna.
- Str. vii – struktura zamiast strukura.

4 Wnioski

Rozprawa doktorska mgra Jakuba Rachwalskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z zakresu modelowania i oceny wydajności sieci pakietowych oraz wykazuje ogólną wiedzę Doktoranta, nie tylko w dyscyplinie telekomunikacja, ale również obejmującą zaawansowane metody matematyczne. Rozprawa dowodzi także umiejętności prowadzenia pracy naukowej przez mgra Jakuba Rachwalskiego, spełnia zatem wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy.