

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgra Ilyi Hradovicha

Efficient communication algorithms in shared channels with adversary

Tematyka rozprawy

Rozprawa przedstawia analizę efektywności algorytmów komunikacji na kanale wielodostępowym (MAC, multiple access channel) sterujących procesem wysyłania i odbierania pakietów przez n niezależnych stacji przy ograniczeniach nałożonych na liczbę stacji aktywnych (transmitujących albo odbierających pakiety) w następujących po sobie rundach. Przedstawione w rozprawie oryginalne wyniki badań poszerzają wiedzę na temat fundamentalnych ograniczeń algorytmów komunikacji na kanale wielodostępowym, dzięki czemu przyczyniają się do rozwoju teorii systemów rozproszonych i protokołów telekomunikacyjnych.

Charakterystyka rozprawy

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów, których treść przedstawiam poniżej.

Rozdział wprowadzający (Chapter 3) zwięźle opisuje kontekst prowadzonych badań, oraz w ogólny sposób przedstawia podejmowane problemy badawcze i przyjęte założenia. Zgodnie z przedstawionym w rozdziale opisem główny problem badawczy dotyczy maksymalizacji (ściśle zdefiniowanej) efektywności algorytmów komunikacji przy podstawowym założeniu, że w dowolnej rundzie tylko jedna stacja może skutecznie umieścić pakiet w buforach pozostałych stacji. Przy ocenie efektywności uwzględniane mają być przepustowość, stabilność i opóźnienia transmisji. Przyjęta metoda rozwiązania tak zarysowanego problemu polegać ma na analizie projektowanych w rozprawie algorytmów komunikacji. Bazują one na tzw. modelu adwersarialnym oraz nakładają ograniczenia na liczbę aktywnych w każdej rundzie stacji (nasłuchujących albo nadających). Rozdział zapowiada również wprowadzenie nowej taksonomii algorytmów, porządkującej liczne istniejące w literaturze przedmiotu. W tym kontekście zarysowany jest kolejny problem badawczy podejmowany w pracy, który jest związany z porównywaniem efektywności algorytmów deterministycznych i niedeterministycznych. Rozwiązaniem tego problemu ma być proponowana w rozprawie metoda analizy przypadku średniego wykorzystująca prawo Little'a. Rozdział przedstawia również publikacje, na których opierają się wyniki przedstawione w rozprawie wraz z informacją o wkładzie Autora rozprawy w ich powstanie.

Rozdział drugi (Chapter 4) prezentuje opis modelu MAC będącego obiektem badań, wprowadza i wyjaśnia podstawowe pojęcia oraz uwzględniane zjawiska. Wśród nich znajdują się detekcja kolizji, odbiór pakietów, ograniczenia kanału, miary jakości komunikacji, wiedza

(współdzielona informacja o kanale i protokole), poprawność algorytmów komunikacji. Rozdział zawiera także przegląd literatury przedmiotu.

Wyniki prac nad podjętymi problemami badawczymi zaprezentowane są w kolejnych rozdziałach. Nowa taksonomia algorytmów MAC wprowadzona jest w rozdziale trzecim (Chapter 5). Zgodnie z nią algorytmy są grupowane na podstawie ich zdolności do wykonywania określonych operacji lub posiadanego dostępu do określonych informacji (*capability-aware*). Podsumowaniem rozdziału jest bardzo ciekawa lista twierdzeń określających fundamentalne ograniczenia stabilności algorytmów opisanych proponowaną klasyfikacją. Oprócz dwóch wcześniej znanych, lista zawiera cztery nowe wyniki wyprowadzone w rozprawie. Uzależniają one stabilność systemu (w każdej rundzie liczba pakietów w każdej kolejce jest ograniczona) od szybkości nadawania pakietów oraz zdolności algorytmów do wykonywania określonych operacji. W uproszczeniu, pokazują one jakich gwarancji stabilności można oczekiwać od algorytmów badanej klasy.

Rozdział czwarty (Chapter 6) wprowadza nowy model MAC (*k-restrained MAC*), w którym ograniczona jest liczba stacji aktywnych (nadających lub słuchających) w pojedynczej rundzie. Przedstawia on formalne wyprowadzenia własności różnych wariantów algorytmów komunikacji przy wprowadzonym ograniczeniu.

Jako pierwszy analizie poddany jest algorytm 12-o'clock-AD (adaptacyjny) zaprojektowany przez Autora. Algorytm steruje komunikacją n stacji, z których dokładnie dwie mogą być aktywne w pojedynczej rundzie. Zakłada się przy tym, że jedna z dwóch aktywnych stacji nadaje, a druga nasłuchuje. Dzięki wprowadzonemu ograniczeniu, w kanale nie pojawiają się kolizje. Algorytm zakłada scenariusz transmisji ustalony listą stacji (nasłuchujących w rundzie poprzedzającej transmisję). Rozwiązuje on przy tym problem nadmiernego wypełnienia bufora pakietami przenosząc przeciążoną stację (zawierającą przynajmniej $3n$ pakietów) w wyróżniony stan nadawania (Big). Analizę algorytmu podsumowuje Twierdzenie 1, zgodnie z którym algorytm maksymalizuje przepustowość kanału i gwarantuje przy tym, że liczba pakietów w buforach stacji pozostaje ograniczona.

Następnie analizowany jest zaprojektowany przez Autora algorytm o nazwie 12-o'clock-FS. Algorytm dopuszcza i wykrywa kolizje. Kolizja może nastąpić ze względu na zakładany scenariusz transmisji umożliwiający przejście stacji w stan Big (zakładającej nadawanie) i stacji sąsiedniej w stan nadawania. Kolejna stacja na liście znajduje się wówczas w stanie nasłuchiwanie. W rezultacie, w systemie znajdują się w każdej rundzie maksymalnie trzy aktywne stacje. Analizę algorytmu podsumowuje Twierdzenie 2. Algorytm osiąga przepustowość wynoszącą $1-1/n$ gwarantując przy tym, że liczba pakietów w buforach stacji pozostaje ograniczona.

W dalszej części rozdziału badania koncentrują się na algorytmach zakładających ograniczoną aktywność stacji oraz potwierdzanie próby transmisji (*acknowledgment-based*). Wprowadzana jest tutaj również nowa konstrukcja kombinatoryczna o nazwie *k-light selector*, która stanowi ciekawe narzędzie projektowania algorytmów rozważanej klasy. Najpierw przeprowadzone jest rozumowanie dowodzące istnienia selektorów k -elementowych o określonej liczności m (liczbie podzbiorów zbioru potęgowego zbioru $\{1, \dots, n\}$). Następnie, omówiony jest proces konstrukcji takich selektorów. Skonstruowany selektor k -elementowy może wybierać podzbiory ze zbioru indeksów stacji i tym samym wskazywać stacje aktywne. Na tej obserwacji bazuje projekt algorytmu *k-light-IS*, dla którego gwarancje przepustowości określa Wniosek 1.

Analiza formalna uzupełniona jest w rozdziale wynikami badań symulacyjnych (kod napisany w języku Java i Julia). Potwierdzają one wyniki badań teoretycznych oraz pokazują efektywność opracowanych algorytmów w porównaniu z wybranymi znanymi algorytmami.



Rozdział piąty (Chapter 7) rozszerza model MAC wprowadzając dodatkowe wymaganie, aby każdy nadawany pakiet miał wyznaczonego odbiorcę, odbiór był możliwy tylko przez aktywną stację docelową, oraz dopuszczalne było przekazywanie pakietów przez stacje pośrednie (routing). Następnie badana jest efektywność (w najgorszym przypadku) różnych klas algorytmów komunikacji na tak zmodyfikowanym kanale.

Pierwszym z omawianych algorytmów jest algorytm o nazwie Orchestra, zaprojektowany przez Autora. Algorytm dopuszcza maksymalnie trzy aktywne stacje na kanale. Przekazywanie pakietów odbywa się w trakcie sezonów, złożonych $n-1$ rund, podczas których prawo nadawania ma tylko jedna stacja (konduktor). Pozostałe stacje (muzycy) nasłuchują i realizują zadania odbioru lub przekazywania pakietów. Twierdzenie 7 wskazuje ograniczenie górne liczby pakietów wprowadzonych do kolejek w pojedynczej rundzie działania algorytmu. Następnie, prezentowane jest rozumowanie, według którego w rozważanej klasie algorytmów warunkiem koniecznym maksymalizacji przepustowości jest aktywność przynajmniej trzech stacji. Podsumowane jest ono Lematem 11 i Twierdzeniem 8.

Dwa kolejne algorytmy, Count-Hop i Adjust-Window, gwarantują ograniczone (maksymalne możliwe) opóźnienie pakietów. W tym przypadku wymagana jest aktywność dwóch stacji na kanale, ale szybkość nadawania pakietów nie jest maksymalna. Efektywność algorytmów charakteryzują Twierdzenia 9 i 10.

Algorytmy Two-Hops i One-Hop minimalizują opóźnienie pakietów (wymagając aktywności dwóch stacji), przy czym znacznie ograniczona jest wówczas szybkość nadawania pakietów. Wyniki te podsumowują Twierdzenia 11 i 12.

Rozdział zamyka analiza algorytmów, w których zrelaksowane są ograniczenia na liczbę aktywnych stacji. Algorytm k -Cycle zakłada, że stacje podzielone są na grupy o licznosci k . W kolejnych rundach aktywne są stacje z kolejnych grup. Dwie sąsiednie grupy powiązane są wyróżnioną stacją (pośredniczącą). Komunikacja wewnątrz grupy odbywa się zgodnie z algorytmem OF-RRW. Twierdzenie 13 charakteryzuje efektywność algorytmu. Algorytm k -Clique również zakłada podział stacji na grupy. Komunikacja odbywa się pomiędzy dwiema, których stacje aktywowane są w kolejnych rundach. W tym przypadku również wykorzystywany jest algorytm OF-RRW. Efektywność tego algorytmu charakteryzuje Twierdzenie 14. Twierdzenie 15 opisuje efektywność algorytmu k -Subsets, który realizuje komunikację w grupach utworzonych ze wszystkich k -elementowych podzbiorów n -elementowego zbioru stacji. Rozdział kończy się dowodem twierdzenia 16, które określa maksymalną osiągalną przepustowość kanału dla rozważanej klasy algorytmów.

Rozdział szósty (Chapter 8) przedstawia wykorzystanie prawa Little'a do analizy średniej liczby pakietów pozostających w buforach stacji komunikujących się przy pomocy algorytmów RRW, MBTF i SRR.

Rozprawa podsumowana jest w rozdziale siódmym.

Uwagi szczegółowe i ogólne

Wyniki przedstawione w rozprawie w mojej ocenie przyczyniają się do postępu badań nad efektywnością komunikacji w sieciach i systemach rozproszonych. Rozprawę oceniam pozytywnie. Trudno jednak przemilczeć szereg jej mankamentów, które negatywnie wpływają na jej odbiór.

Lektura rozprawy nie należy do łatwych. Jej język jest być może typowy dla dziedziny, ale hermetyczny i bardzo utrudniający zrozumienie praktycznego znaczenia wyników badań, a także

dostrzeżenie głównych osiągnięć Autora. Rozdział wprowadzający nie przedstawia niestety głównych tez rozprawy. Co prawda, przedstawia podejmowane problemy badawcze i przyjęte założenia, wymienia wykonane badania, ale czyni to w zbyt ogólny sposób. Autor nie udziela jasno odpowiedzi na pytanie, jaki konkretnie problem stara się rozwiązać i w jakim celu. Czytelnik musi się tego domyślić. Co ciekawe, w moim odczuciu odpowiedź na to pytanie znajduje się jednak w rozprawie. W zakamuflowany sposób mówi o tym podrozdział 5.3, zamieszczony w rozdziale poświęconym taksonomii algorytmów. Przedstawia on listę nowych twierdzeń (dowodzonych w kolejnych rozdziałach) określających fundamentalne ograniczenia stabilności i efektywności algorytmów MAC (rozważanych w rozprawie). Moja interpretacja wkładu Autora w rozwój dziedziny, odszyfrowująca treść rozprawy (mam nadzieję, że poprawnie), jest wobec powyższego następująca. Wyniki badań przedstawione w rozprawie odkrywają nieznanie wcześniej fundamentalne ograniczenia efektywności rozważanej klasy algorytmów MAC. Teza rozprawy mogłaby zatem orzekać, że w zbiorze badanych algorytmów nie istnieją takie, które gwarantują spełnienie określonych wymagań efektywności komunikacji.

Definicje algorytmów i dowody twierdzeń zostały wyrażone za pomocą słownych opisów. Nie należę do zwolenników takiej formy prezentacji treści wymagających jednoznacznej i ścisłej interpretacji. Utrudnia ona rzetelną ocenę rozumowania. Myślę, że dowód twierdzenia musi spełniać dwa ważne warunki. Musi być poprawny logicznie, ale także musi być zrozumiały i przekonujący dla czytelnika, który nie jest ekspertem w dziedzinie. Tylko wtedy dowód faktycznie (dowodzi i) poszerza naszą wiedzę.

W pracy powinno znaleźć się więcej przykładów lub ilustracji (podobnych do tych już zamieszczonych w rozprawie) wyjaśniających działanie algorytmów oraz uzasadnień motywujących trud projektowania kolejnych ich wersji. Takiego uzasadnienia chyba najbardziej brakuje w przypadku konstrukcji selektora k-elementowego (k-light selector). Korzystne byłoby również zamieszczenie informacji o technicznych aspektach implementacji symulatorów wykorzystanych w badaniach eksperymentalnych.

Autor niewątpliwie włożył wiele wysiłku w przygotowanie rozprawy i wykonane prace badawcze. Wymienione uchybienia utrudniają jednak odbiór jego głównych osiągnięć. Podejrzewam, że przyczyną tych usterek jest przyjęta formuła rozprawy. Praca została złożona z opublikowanych już artykułów, co mogło utrudniać jej redakcję. Publikacje te są jednocześnie ważnym osiągnięciem Autora i oczywiście zasługują na wysoką ocenę.

Poniżej zamieszczam listę pytań.

1. Czy moja interpretacja/propozycja tezy rozprawy jest poprawna?
2. Czy pojęcia protokół i algorytm, stosowane w rozprawie wymiennie, są równoważne?
3. Czy poprawność algorytmu oznacza stabilność protokołu?
4. Na czym polega adaptacyjność algorytmu 12-o'clock-AD?
5. Jakie korzyści daje wykorzystanie konstrukcji selektorów? Jaką mają przewagę np. nad losowym pokryciem (podziałem na podzbiory) zbioru indeksów stacji? Czy selektor k-elementowy zawiera formalnie podzbiór pusty?
6. Jak zaimplementowane zostały symulatory? Czy ich implementacja wymagała rozwiązania problemu współbieżności działania stacji? Czy napisany kod jest dostępny publicznie?
7. Jak wrażliwe są opracowane algorytmy na utratę synchronizacji zegarów oraz zakłócenia (losowe) komunikacji na kanale?

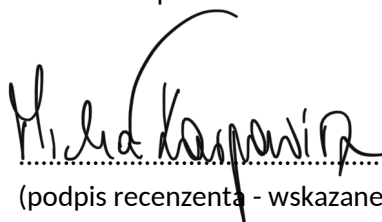
8. Czy w badaniach nad opracowanymi algorytmami może znaleźć zastosowanie analiza systemów kolejkowych bazująca na algebrze min-plus [np. Chang, Cheng-Shang. Performance guarantees in communication networks. Springer Science & Business Media, 2000]?

Osiągnięcia zawarte w rozprawie

W mojej ocenie, głównym osiągnięciem rozprawy jest pokazanie nieznanych wcześniej fundamentalnych ograniczeń efektywności komunikacji na kanale wielodostępowym MAC. Rozprawa dowodzi, że w zbiorze badanych algorytmów nie istnieją takie, które gwarantują jednoczesne spełnienie wszystkich rozważanych w rozprawie wymagań efektywności. Ograniczenia te zostały odkryte na drodze formalnej analizy zaprojektowanych algorytmów, z których każdy definiuje różne scenariusze komunikacji. Osiągnięte wnioski zostały sformułowane w postaci twierdzeń o niemożności (impossibility theorems), bardzo ważnych z praktycznego punktu widzenia. Wyniki przeprowadzonej analizy zostały potwierdzone symulacyjnie. Osiągnięcia rozprawy zasługują na pozytywną ocenę. Wysoko ocenić należy także fakt publikacji przedstawionych wyników w wysokopunktowanych czasopismach.

Wniosek końcowy

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego i wskazuje na wysoki poziom wiedzy teoretycznej Autora w dyscyplinie informatyka, a także na umiejętność prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. Praca spełnia wymagania ustawowe w stopniu wystarczającym do nadania stopnia doktora i może być dopuszczona do publicznej obrony.



.....

(podpis recenzenta - wskazane podpisy na każdej stronie recenzji)