

dr hab. Artur Jeż
profesor uczelni

26.08.2025 r., Wrocław

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Patryka Stopyry „Random-Access Channel in Time-Critical Ad Hoc Network Synchronization”

Ocena

Przedstawiona przez mgra Patryka Stopyrę rozprawa doktorska „Random-Access Channel in Time-Critical Ad Hoc Network Synchronization” spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. — *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, jak również kryteria zwyczajowe stawiane rozprawie doktorskiej, w szczególności jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja jak również jego uniejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej; tym samym wnoszę o dopuszczenie mgra Patryka Stopyrę do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Opis pracy

W rozprawie porównano dwa algorytmy zrandomizowane służące do synchronizacji w sieciach ad hoc i porównano prawdopodobieństwo ich powodzenia dla rozsądnej liczby agentów próbujących się zsynchronizować. Porównanie wykonano przy użyciu dokładnych obliczeń w abstrakcyjnym modelu teoretycznym, a poprawność obliczeń zweryfikowano za pomocą eksperymentów statystycznych. Wyniki jednoznacznie pokazują, że jeden z rozważanych algorytmów jest istotnie lepszy, niż drugi, pod względem prawdopodobieństwa sukcesu.

Mówiąc ściśle, rozważany scenariusz, w którym k agentów ma dostęp do wspólnych n slotów komunikacji i wszyscy wykonują ten sam zrandomizowany algorytm (protokół). Każdy agent niezależnie wybiera sloty, w których chce nadawać; dla agenta i , jeśli istnieje slot wybrany tylko przez niego, to i z powodzeniem nadaje wiadomość. W przeciwnym razie nie udaje mu się. Interesuje nas prawdopodobieństwo, że wszystkim agentom uda się przesłać swoje wiadomości.

W pracy porównywane są dwa algorytmy (protokoły dla agentów): BT (próba Bernoulliego); dla ustalonego prawdopodobieństwa p agent przesyła przez kanał j niezależnie z prawdopodobieństwem p ; t -slots: agent wybiera jednorodnie podzbiór t -elementowy wszystkich slotów. Warianty obu algorytmów używane są w praktyce (do dość dokładnie zostało opisane w rozprawie), przy czym zdecydowanie bardziej popularny jest algorytm BT.

W pracy wykazano, że algorytm t -slots ma wyższe prawdopodobieństwo sukcesu (dla wszystkich agentów jednocześnie), niż algorytm BT; zauważmy, że oba algorytmy zależą od parametrów (p i t), a przewaga utrzymuje się dla „rozsądnie odpowiadających” wartości p i t .

W pracy wyprowadzono dokładne wzory na prawdopodobieństwo sukcesu obu algorytmów i wykorzystano je do obliczenia optymalnych wartości parametrów (p , t). Analiza kombinatoryczna potrzebna do obliczenia wzorów dla algorytmu BT wydaje się złożona, ale

WPLYNĘŁO
27-08-2025

raczej standardowa; analiza dla algorytmu t -slots wydaje się bardzo skomplikowana i wykorzystuje zaawansowane narzędzia analizy kombinatorycznej. W szczególności optymalna wartość parametru p jest obliczana symbolicznie, podczas gdy wartości dla t są obliczane wyłącznie za pomocą (całkowitoliczbowych) obliczeń numerycznych.

Jawne wyrażenia na prawdopodobieństwo sukcesu są również weryfikowane przez eksperymenty statystyczne (tj. wielokrotne powtarzanie algorytmów w celu empirycznego oszacowania prawdopodobieństwa sukcesu), które faktycznie potwierdzają poprawność wzorów.

Ponieważ w praktycznych zastosowaniach zwykle nie jest możliwe podanie optymalnych wartości p (lub t), w pracy podano też kilka nieco nieformalnych sposobów porównania obu algorytmów w różnych scenariuszach: przykładowo, co jeśli ustalimy wartość p (t) z góry. Proponowane i porównywane są różne takie wybory, dla przedziałów wartości k i n .

Następnie analiza zostaje rozszerzona na przypadek, w którym dopuszczamy porażki najwyżej f agentów, tj. wymagamy, aby co najmniej $k - f$ agentów skutecznie przesłało wiadomość. Podejście jest podobne do poprzedniego, ale teraz obliczenia (symboliczne) są jeszcze bardziej złożone. Miłym dodatkiem jest prosty i elegancki dowód optymalności wyboru prawdopodobieństwa: zamiast obliczać optymalne prawdopodobieństwo p , pokazano, że możemy przeformułować eksperyment losowy i wykazać, że dla n/k (tak samo jak w poprzednim scenariuszu) wynik jest nie gorszy niż dla jakiejkolwiek innej wartości p . Technika ta jest adaptacją znanej techniki Markov chain coupling.

Ocena

Temat jest bez wątpienia ważny, i należy przeprowadzić jego dogłębną analizę. Można się zastanawiać, na ile rozważany model teoretyczny odzwierciedla rzeczywistość, lecz wydaje się rozsądnym założenie, że duża przewaga algorytmu t -slots w abstrakcyjnym modelu powinna przełożyć się również na bardziej złożone scenariusze, w których pojawiają się różne trudne do modelowania efekty. Liczne przykłady praktycznego zastosowania algorytmu BT w ramach większych protokołów pokazują, że konieczna jest jego analiza i porównanie z innymi algorytmami. W szczególności praca wyraźnie pokazuje, że istnieją alternatywne rozwiązania, które mogą przewyższać BT w praktycznych zastosowaniach.

Analiza kombinatoryczna wykorzystana do opracowania wzorów w przypadku BT jest właściwa, obliczenia dla algorytmu t -slots są imponujące i pokazują dobrą znajomość narzędzi analizy kombinatorycznej. Dowód wykorzystujący zastosowanie techniki Markov chain coupling był miłym dodatkiem, pokazującym znajomość różnych przydatnych technik z innych dziedzin.

Byłem nieco zdziwiony eksperymentalną (statystyczną) weryfikacją wyników uzyskanych przy użyciu wzorów. Z jednej strony dobrze, że dokonano weryfikacji formuł i wyników, z drugiej strony wierzę, że matematyczny dowód waży więcej, niż eksperyment statystyczny.

Mam mieszane uczucia co do prób porównania BT i t -slotów w bardziej ogólnych scenariuszach: ponieważ algorytm nie może znać optymalnej wartości parametrów, musimy użyć pewnych wstępnie zdefiniowanych wartości, więc takie wybory również powinny zostać poddane ocenie. Koniec końców sprowadza się to do opisu wykresów (wydajności algorytmów w zależności od wartości parametrów): „wide plateau”, „slope smooths” nie są zwrotami, które można w jakiś sposób zweryfikować. Takie argumenty zajmują kilka stron i trudno je rygorystycznie ocenić.

Praca jest ogólnie dobrze napisana, choć od czasu do czasu pojawiają się drobne błędy, takie jak literówki.

Myślę, że w rozdziale 4.2.2 jest błąd, ale nie ma on wpływu na całość argumentacji (choć obliczenia zawierają błąd, maksimum jest w tym samym punkcie): alternatywny eksperyment prowadzący do wyboru agentów przesyłających w każdym slotcie mówi, że dla danego slotu prawdopodobieństwo, że dowolny agent skutecznie przesyła w tym slotcie, wynosi $p(1-p)^k$, gdzie p jest prawdopodobieństwem, że ustalony agent próbuje przesyłać w tym slotcie. Uważam, że prawidłową wartością jest $kp(1-p)^k$, ponieważ musimy również zsumować możliwy wybór agenta; na przykład, przy $k=2, p=\frac{1}{2}$ występują łącznie 4 zdarzenia, każde o prawdopodobieństwie $1/4$, a w 2 z nich (jeden agent próbuje nadawać, a drugi nie) następuje transmisja; podstawiając do $kp(1-p)^k$ otrzymujemy $\frac{1}{2}$, podczas gdy $p(1-p)^k$ daje $\frac{1}{4}$. Chcemy jednak obliczyć tylko wartość p dającą maksymalne prawdopodobieństwo, która jest taka sama dla obu funkcji: szukamy miejsc zerowych pochodnej, a pochodne są takie same z dokładnością do przemnożenia przez k ; ponadto argument używający techniki Markov chain coupling nie zależy tak naprawdę od konkretnej wartości optimum.

Praca opiera się na artykule opublikowanym w czasopiśmie Vehicular Communications. Nie jest mi ono znane, ale wydaje się być dobre lub bardzo dobre; praca jest istotnie rozszerzoną wersją pracy z czasopisma — w szczególności nie uwzględniono w nim możliwości błędu niektórych agentów.

Kod źródłowy użyty do eksperymentów statystycznych jest dostępny, ale wydaje się on na tyle prosty, że można go łatwo odtworzyć.

Bardzo chciałbym zobaczyć w pracy podobną analizę w bardziej złożonym scenariuszu, w którym dozwolone jest kilka rund komunikacji. Nie jest jasne, jak powinien wyglądać algorytm, ale praktycznie dostępne rozwiązania sugerują, że agenci, którzy już wysłali swoje wiadomości, nie powinni brać udziału w kolejnych rundach, a parametry mogą być zmieniane w każdej rundzie. Rozumiem, że analiza teoretyczna i wzory mogą być trudne do wyprowadzenia, jednak przeprowadzenie eksperymentów statystycznych wydaje się możliwe, przynajmniej w przypadku niewielkiej liczby rund. W szczególności taki scenariusz wydaje się znacznie bliższy praktyce.

Jeśli chodzi o ogólne wady, uważam, że artykuł powinien mieć szerszy zakres.

Podsumowanie

Podsumowując, pomimo pewnych niedociągnięć uważam, że znaczenie tematu (powszechne stosowanie algorytmu BT), nieoczekiwany charakter wyników (BT jest gorszy od algorytmu t -slots) oraz zawartość techniczna (umiejętności techniczne w zakresie stosowania narzędzi kombinatorycznych) uzasadniają stwierdzenie, że przedstawiona przez mgra Patryka Stopyrę rozprawa doktorska „Random-Access Channel in Time-Critical Ad Hoc Network Synchronization” spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. — *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, jak również kryteria zwyczajowe stawiane rozprawie doktorskiej, w szczególności jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja jak również jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej; tym samym wnoszę o dopuszczenie mgra Patryka Stopyrę do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.