

Prof. dr hab. inż. Jerzy Brzeziński
Wydział Informatyki
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 2
60-965 Poznań
Jerzy.Brzezinski@put.poznan.pl

Poznań, 6.08.2018

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Karola Marchwickiego

pt. „Efektywność i niezawodność w sieciach typu Peer-to-peer”

1. Problematyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska porusza zagadnienia związane z efektywnością i niezawodnością sieci typu peer-to-peer (P2P) i koncentruje się na analizie własności protokołów P2P (w szczególności protokołu Chord) związanych z odpornością systemu na awarie (nieoczekiwane wyjścia węzłów). Systemy P2P zajmują ważne miejsce w dziedzinie systemów rozproszonych i posiadają wiele zalet takich jak: wysoka skalowalność, zwiększona dostępność zasobów, łatwość utrzymania oraz anonimowość użytkowników. Wśród najnowszych zastosowań systemów P2P można wymienić transmisję strumieniową w czasie rzeczywistym (P2PTV, P2P VoD) oraz zastosowanie protokołów P2P w kontekście technologii łańcuchów blokowych (ang. blockchain).

Konstrukcja efektywnych i niezawodnych systemów P2P wymaga budowy złożonego oprogramowania systemowego i jest z praktycznego i teoretycznego punktu widzenia trudna. Analiza działania tych systemów wskazuje bowiem, że dotyczą ich niemal wszystkie podstawowe problemy związane z istotą funkcjonowania rozproszonych systemów komputerowych, w tym m.in.: niezawodna komunikacja, konstrukcja obrazu spójnego, zarządzanie współbieżnością, detekcja awarii i odtwarzanie stanu, efektywna replikacja, konstrukcja systemów o wysokiej odporności na awarie. Dodatkowo, należy wziąć pod uwagę cechy charakterystyczne dla sieci P2P, w tym częstą rotację wśród uczestników komunikacji (ang. churn). Pomimo, że zagadnienia konstrukcji systemów P2P oraz zapewnienia w nich efektywnych i niezawodnych sposobów zarządzania informacją należą do klasyki budowy systemów rozproszonych, nadal szereg problemów pozostaje otwartych i wymaga opracowania doskonalszych rozwiązań.

Recenzowana praca wpisuje się w ten nurt zagadnień i adresuje ciekawy oraz ważny problem związany ze zwiększeniem prawdopodobieństwa dostępności danych w systemach P2P, jak również z zapewnieniem spójności i jednorodności grafu protokołu Chord. W tym kontekście wybór tematyki rozprawy uważam za właściwy i ważny z naukowego punktu widzenia.

2. Tematyka rozprawy

W pracy poruszane są trzy problemy: zapewnienia trwałości i odporności danych na nieoczekiwane wyjścia węzłów z systemu, zapewnienia spójności grafu połączeń węzłów oraz utrzymania jednorodnego podziału przestrzeni identyfikatorów.

Odpowiadające wyżej wymienionym problemom zadania szczegółowe zostały określone następująco:

- Wyznaczenie wartości oczekiwanej liczby węzłów, które muszą być losowo usunięte z sieci by doprowadzić do pierwszej utraty danych.
- Oszacowanie minimalnej liczby odnośników w protokole Chord zapewniających z wysokim prawdopodobieństwem spójność grafu połączeń.
- Wyznaczenie wartości oczekiwanej długości obszarów przestrzeni identyfikatorów kontrolowanych przez węzły w modyfikacjach protokołu Chord (Suma Prosta Chord i Fałdowy Chord).

Praca została podzielona na siedem rozdziałów. Rozdział 1 zawiera wprowadzenie do problematyki rozprawy. W rozdziale tym w zwięzły sposób omówione zostały główne zagadnienia związane z tematyką sieci P2P. Dodatkowo, przedstawiono mechanizm rozproszonych tablic haszujących (DHT) oraz klasyczne protokoły P2P analizowane w dalszych częściach rozprawy – protokół Chord, Suma Prosta Chord, Fałdowy Chord, jak również protokół Kademlia. Rozdział 1 sygnalizuje również uzyskane wyniki rozprawy, przedstawiając w formie tabel: rozważane problemy, uzyskane rozwiązania oraz wskazania wcześniejszych publikacji wyników.

Rozdział 2 zawiera przegląd literatury odnoszącej się do problemów poruszanych w recenzowanej pracy, wraz z opisem ostatnich osiągnięć w tym zakresie. Przedstawiona literatura dotyczy zagadnień: redundancji przy użyciu (r,s) -kodów lub replikacji, trudnych narodzin i rozpójnienia sieci P2P oraz jednorodności i równoważenia obciążenia. Rozdział ten pokazuje dobre rozeznanie doktoranta w dziedzinie systemów P2P, zarówno w odniesieniu do poruszanych problemów, jak i najnowszych, niezwiązanych z tymi problemami kierunków badań i osiągnięć.

W rozdziale 3 przedstawione są przyjęte w pracy oznaczenia, definicje, fakty, lematy oraz wybrane twierdzenia wykorzystane w dalszych rozdziałach rozprawy.

Kolejne rozdziały opisują oryginalne wyniki prac autora bazujące na probabilistycznym modelowaniu systemu i analitycznym wykazywaniu jego własności. Wyniki teoretyczne są następnie porównywane z danymi otrzymanymi w eksperymentach symulacyjnych.

Rozdział 4 opisuje sposoby wprowadzenia nadmiarowych danych w celu zwiększenie ich dostępności (ochrony przed utratą danych). Celem tego rozdziału jest odpowiedź na pytanie, jaka jest odporność na awarie węzłów systemów stosujących replikację lub (r,s) -kody z klasycznym schematem replikacji symetrycznej (SRS – Symmetric Replication Scheme) dla protokołu Chord. W schemacie tym zakłada się, że węzły mają ten sam stopień replikacji (dokumentom odpowiada ta sama liczba udziałów), a udziały rozłożone są symetrycznie. Autor wprowadza tutaj pojęcie proggu odporności systemu na awarie, rozumianego jako prawdopodobieństwo dostępności wszystkich dokumentów. Cel rozdziału zostaje osiągnięty przez wyznaczenie wartości oczekiwanej liczby węzłów, które musiałyby nieoczekiwanie, losowo opuścić sieć by z określonym prawdopodobieństwem doprowadzić do pierwszej utraty danych, odpowiednio dla replikacji i i (r,s) -

kodów. Wzory na wartość oczekiwaną dla replikacji oraz (r,s) -kodów sprowadzonych do przypadku replikacji ($s=1$) dają bardzo zbliżone wyniki przy dużej liczbie węzłów. Wyniki analityczne uzyskane dla wyidealizowanego schematu replikacji symetrycznej (SRS) odniesiono następnie do wyników eksperymentów z protokołem Chord. Eksperymenty pokazały, że wartość oczekiwana węzłów, które należy usunąć by doprowadzić do pierwszej utraty danych stosując protokół Chord jest zbliżona do wartości wyznaczonych teoretycznie dla schematu SRS.

Rozdział 5 przybliża problem rozspójnienia sieci bazującej na protokole Chord. Wyznaczana jest wartość minimalna liczby odnośników, która z wysokim prawdopodobieństwem zapewnia spójność sieci. Obliczana jest też średnia liczba węzłów, które musiałyby w sposób nieoczekiwany opuścić sieć by z określonym prawdopodobieństwem wystąpiło pierwsze rozspójnienie sieci. Wyznaczono również wartość oczekiwaną liczby węzłów w tabeli trasowania protokołu Kademlia stosując podejście heurystyczne i dokładne. Ponadto, wyznaczono wartość progową liczby węzłów, które muszą opuścić graf protokołu Chord, by go rozspójnić. Dzięki temu, dla zadanych parametrów możliwe jest określenie ile czasu musi upłynąć zanim wystąpi realne niebezpieczeństwo rozspójnienia sieci.

Rozdział 6 dotyczy jednorodności sieci opartej na modyfikacjach klasycznego protokołu Chord: protokołach Suma Prosta Chord oraz Fałdowy Chord. Głównymi wynikami w tym rozdziale są twierdzenia określające wartość oczekiwaną długości minimalnych i maksymalnych obszarów przestrzeni identyfikatorów kontrolowanych przez węzły. Wyniki dla obu modyfikacji okazały się równoważne. Pośrednio uzyskano też wynik dla klasycznego protokołu Chord, przez odpowiednie ustalenie parametrów modyfikacji.

Rozdział 7 stanowi podsumowanie rozprawy i omówienie kierunków realizacji dalszych prac.

3. Główne wyniki i ocena wkładu oryginalnego

W rozprawie autor buduje modele probabilistyczne dla wybranych własności sieci P2P bazujących na protokołach Chord, Kademlia, Suma Prosta Chord i Fałdowy Chord. Wykorzystuje w tym celu techniki znane z analizy asymptycznej oraz metody statystyk pozycyjnych.

Głównymi, oryginalnymi wynikami pracy są twierdzenia i wynikające z nich wnioski dotyczące: progów odporności na awarie węzłów systemów stosujących klasyczną replikację lub (r, s) – kody, zachowania spójności sieci mimo nieoczekiwanych odejść węzłów, szacowania długości przedziałów kontrolowanych w protokole Suma Prosta Chord i Fałdowy Chord. Do najważniejszych, szczegółowych osiągnięć doktoranta, stanowiących wkład w teorię systemów P2P, można zliczyć:

- Wyznaczenie wartości oczekiwanej liczby węzłów, które należy losowo usunąć z sieci by doprowadzić z założonym prawdopodobieństwem do momentu pierwszej utraty informacji w modelu (r,s) -kodów i w modelu klasycznej replikacji (Twierdzenie 4.3.1, Twierdzenie 4.4.1, Twierdzenie 4.5.1, Twierdzenie 4.5.2).
- Wyznaczenie przedziału, w którym mieści się z założonym prawdopodobieństwem minimalna liczba odnośników w protokole Chord dla n węzłów początkowych (Twierdzenie 5.2.1).
- Wyznaczenie wartości oczekiwanej liczby węzłów w tablicy trasowania protokołu Kademlia (Twierdzenie 5.3.1)

- Wyznaczenie wartości oczekiwanej liczby węzłów izolowanych po losowym usunięciu kolejno k węzłów (Twierdzenie 5.5.1).
- Propozycję inicjalizacji sieci opartej na protokole Chord za pomocą protokołu Kademlia.
- Wyznaczenie wartości oczekiwanej długości minimalnych i maksymalnych obszarów kontrolnych w protokołach Suma Prosta Chord i Fałdowy Chord (Twierdzenie 6.4.2 i Twierdzenie 6.4.2, Twierdzenie 4.5.1, Twierdzenie 6.5.1).

Recenzowana rozprawa dobrze wpisuje się w bieżące problemy, z którymi zmagają się dziedzina systemów rozproszonych, a w szczególności systemów P2P. Doktorant potwierdził w rozprawie opanowanie warsztatu badawczego – wiedzy i umiejętności matematycznych. Niewątpliwy jest wkład autora w modelowanie niezawodności systemów P2P za pomocą teorii prawdopodobieństwa. Ponadto, wyniki eksperymentalne jasno pokazują, że proponowane przez doktoranta modele probabilistyczne dobrze opisują cechy sieci P2P i pozwalają na analizę własności systemów bez konieczności przeprowadzania kłopotliwych eksperymentów.

Należy podkreślić, że przedstawione w rozprawie wyniki zostały przez autora opublikowane w dwóch czasopismach: *Acta Mathematicae Applicatae Sinica* (2015) i *International Interdisciplinary Journal* (2013), oraz w materiałach pięciu konferencji międzynarodowych (ICICA-2010, SSS-2011, ISAT-2009, 2010, 2012).

4. Uwagi krytyczne i polemiczne

a. Uwagi ogólne

- 1) Zdaniem recenzenta, praca zyskałaby znacznie na szerszym omówieniu motywacji poszczególnych zadań szczegółowych oraz jednoznacznym wskazaniu potencjalnego zastosowania uzyskanych wyników.
- 2) Pewne wątpliwości budzi zasadność podejścia do równoważenia obciążenia w sieci Chord przez utrzymanie jednorodności podziału przestrzeni identyfikatorów. Węzły w sieci P2P, w ogólnym przypadku, mogą charakteryzować się diametralnie różnymi parametrami takimi jak dostępna przestrzeń dyskowa, czy prędkość łącza sieciowego. Możliwe są też niejednorodne rozkłady żądań dostępu (odczytu, pobrania) do tych dokumentów, modelowane często przez rozkład Pareto.
- 3) Wiele zastrzeżeń budzi redakcja pracy: opisy algorytmów Chord, Kademlia, Suma Prosta Chord i Fałdowy Chord są zbyt lakoniczne i mogą rodzić wątpliwości, nie wszystkie istotne pojęcia są jednoznacznie zdefiniowane, niejednokrotnie używa się różnych określeń w odniesieniu do tego samego pojęcia, pewne wnioski rażą arbitralnością i budzą wątpliwości. W wielu miejscach brakuje przykładów ilustrujących działanie algorytmów czy też formułowanych wniosków.
- 4) Wyniki prezentowane w pracy zostały opublikowane ale tylko w wydawnictwach o relatywnie niskiej randze.

b. Uwagi szczegółowe

Podczas lektury pojawiły się uwagi o charakterze dyskusyjnym oraz sugestie dotyczące niektórych szczegółowych aspektów pracy:

- 1) Tytuł pracy jest bardzo ogólny – warto w pracy w jednoznaczny sposób wskazać, które aspekty rozprawy związane są ze zwiększeniem niezawodności, a które poświęcone są zwiększeniu efektywności sieci typu P2P (pojęcia niezawodność i efektywność nie zostały jednoznacznie zdefiniowane).
- 2) Stwierdzenie (str.9), że decentralizacja w sieciach P2P zmniejsza koszty jej utrzymania budzi wątpliwości. Podobnie stwierdzenie (str.10), że zaletą sieci P2P jest ich odporność na awarie wymagałoby szerszego uzasadnienia.
- 3) Komentarz o otrzymywaniu identyfikatora przez zastosowanie funkcji haszującej na adresie IP i numerze portu myląco sugeruje (szczególnie w kontekście możliwego ataku typu Sybil), że jest to jedyny sposób otrzymywania identyfikatora (str. 11).
- 4) Protokół Chord to nie tylko struktura $(\{0,1\}^M, H_x, H_y)$, jak jest sugerowane na str. 14.
- 5) Termin „odnośnik” nie został precyzyjnie zdefiniowany i używany jest w znaczeniu nieco innym niż w oryginalnej pracy [SMK⁺01], na którą autor rozprawy wielokrotnie się powołuje. Cały opis protokołu Chord w rozprawie odbiega istotnie od oryginału, jest niejasny i nieprecyzyjny (np. str. 17 : węzeł przechowuje zbiór wskaźników zwany listą odnośników, argument x we wzorze 1.1. nie musi być identyfikatorem węzła więc stwierdzenie „succ(x) to następnik węzła o identyfikatorze x ” może wprowadzać w błąd, str. 19 – warunek zakończenia procedury wyszukiwanie następnika jest niezgodny z warunkiem w pracy [SMK⁺01], definicja w Tablicy 1.1 zmiennej finger[i] nie uwzględnia jednostronnego domknięcia przedziału kontrolowanego).
- 6) Terminem używanym przez doktoranta w rozprawie, który także nie został jednoznacznie zdefiniowany jest pojęcie spójności, które w dziedzinie systemów rozproszonych najczęściej stosuje się w kontekście modeli spójności zorientowanych na dane (np.. spójność sekwencyjna, przyczynowa, procesorowa), czy też modeli zorientowanych na klienta (np. RYW, WFR, MW, FWR). Z lektury rozprawy można się jedynie domyślać, że autor zakłada spójność grafu w protokole Chord, a nie spójność zasobów sieci.
- 7) Doktorant wielokrotnie używa w pracy pojęć definiowanych w literaturze, nie odnosząc się do prac, w których te pojęcia zostały zaproponowane (przykładowo brak jest odniesienia do literatury nt. rozproszonych tablic haszujących, stabilizacji, jednorodności, klasycznej i symetrycznej replikacji czy (r,s)-kodów). W rozdziale 2 Doktorant dokonuje przeglądu dotychczasowego stanu wiedzy dziedziny, której poświęcona jest rozprawa. Chociaż autor we wstępie do tego rozdziału deklaruje porównanie istniejących wyników z otrzymanymi w pracy, zdaniem recenzenta w rozdziale 2 takiego porównania zabrakło. Wartościowe byłoby także porównanie istniejących już wyników opisanych w literaturze ze sobą, a nie jedynie ich niezależne omówienie.
- 8) Wniosek 4.3.3 wymaga komentarza wyjaśniającego wpływ wzrostu „ a ” na liczbę potrzebnych części do odtwarzania dokumentu oraz na narzut pamięciowy (str. 61);
- 9) Na stronie 68 zostało przyjęte bez wyjaśnienia $s=1$.
- 10) Na stronie 79: wybór protokołu Kademia w początkowej fazie istnienia sieci nie jest umotywowany.
- 11) Niedosyt budzą rozdziały poświęcone wynikom eksperymentów (rozdział 4.8, 5.4, 5.7, 6.6). W odczuciu recenzenta doktorant powinien opisać jakie testy i w jaki sposób zostały przeprowadzone, jaką przyjęto metodykę przy opracowaniu wyników. W pracy pojawia się jedynie informacja, że przeprowadzono serię eksperymentów.

- 12) Zdecydowaną wartością pracy byłoby wskazanie konkretnego zastosowania opracowanych wyników w kontekście istniejących sieci P2P i potencjalnych kierunków ich rozwoju (np. czy i jak można wykorzystać otrzymane wyniki w kontekście protokołu blockchain w sieciach P2P?).
- 13) Literatura przedstawiona w pracy jest bogata i obejmuje 85 pozycji. Jednakże, w odczuciu recenzenta warto byłoby uwzględnić w pracy więcej pozycji odnoszących się do najświeższych badań z dziedziny (jedynie 9 prac stanowią artykuły opublikowane w ciągu ostatnich pięciu lat).
- 14) Spis literatury jest w rozprawie sporządzony w sposób niespójny. Niektóre pozycje opisane są jedynie poprzez podanie akronimu konferencji, bez podania jej nazwy (np. pozycje [CKM10, DGW+07]), w innych podana jest tylko nazwa konferencji bez dodatkowych danych (np. [Che10]). Istnieją także pozycje, w których nie podano nazwy i akronimu konferencji, podano jedynie numer wydania LNCS (np. pozycja [CKM11]). W wielu przypadkach brak jest podanych numerów stron (np. [CKM13]), lub opis pozycji literaturowej jest niestaranny (np. powtórzenie pp. w pozycji [BSH05] – pp.5 pp). Szczególnie rażące są błędy odnoszące się do kluczowych pozycji zawierających opublikowane przez doktoranta wyniki, które stanowią podstawę rozprawy.

5. Konkluzje końcowe

Przedstawione w pracy wyniki stanowią oryginalny wkład autora w konstrukcję probabilistycznych modeli sieci P2P. Znaczenie tych wyników potwierdza ich wcześniejsze opublikowanie w dwóch czasopismach (Acta Mathematicae Applicatae Sinica i International Interdisciplinary Journal) oraz materiałach pięciu konferencji międzynarodowych.

Uważam, że cel rozprawy został osiągnięty. Autor przedstawił oryginalne wyniki naukowe, wykazał się wiedzą teoretyczną z zakresu sieci P2P oraz umiejętnością posługiwania się zaawansowanym aparatem matematycznych i rozwiązywania trudnych problemów naukowych. Pracę oceniam pozytywnie mimo wskazanych w recenzji jej niedoskonałości, które, choć liczne, dotyczą głównie aspektów redakcyjnych.

Reasumując stwierdzam, że recenzowana rozprawa pt. „Efektywność i niezawodność w sieciach typu Peer-to-peer” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym, wobec czego wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Karola Marchwickiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

