



dr hab. inż. Jędrzej Musiał, prof. PP
Instytut Informatyki
Politechnika Poznańska

Poznań, dn. 13.05.2022 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Dariusza Żelaski

zatytułowanej:

Zapewnianie jakości transmisji danych w sieci komputerowej w sposób zdecentralizowany z zastosowaniem metod agentowych oraz uczenia maszynowego

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Początki prac związanych z opracowaniem sieci Internet (właściwie ARPANET) datujemy na lata 60-te XX wieku. W roku 1957 ZSRR wysłało w kosmos Sputnika – sztucznego satelitę Ziemi. Stany Zjednoczone Ameryki (USA) zareagowały na to wydarzenie w sposób bezprecedensowy, powołując rok później, pod auspicjami Departamentu Obrony USA, agencję rządową Advanced Research Projects Agency (ARPA). Jej zadaniem miało być wspieranie inicjatyw środowiska naukowego, które miały szczególne znaczenie dla obronności państwa. Jednocześnie firma Rand Corporation próbowała opracować system, który pozwoliłby na sprawną komunikację między dowódcami wojsk amerykańskich w warunkach wojny nuklearnej. System miał działać nawet w przypadku zniszczenia części jego struktury. Paul Baran (pracownik tejże firmy) wymyślił strukturę podobną do sieci pajęczej, w której użytkownicy nie są ze sobą bezpośrednio połączeni – struktura inna niż zcentralizowana. Projekt nie został zrealizowany, trafił na półki Pentagonu.

1967 to rok, w którym ARPA rozpoczyna pracę nad systemem (siecią), który połączy komputery i pozwoli na ich współdziałanie w ramach systemu – sieci nazwanej później ARPANET. Dalej, Alex McKenize zaproponował ideę pakietu informacji z przypisanym do niej adresem, który automatycznie wędrowałby do odbiorcy (szukając go w węzłach sieci) – stanowiło to początek protokołu TCP/IP. Szybkie przewinięcie do roku 2022 i okazuje się, że problemy związane z zapewnieniem niezawodności i jakości usług transmisji danych w sieci są nadal (jeśli nie bardziej niż kiedykolwiek) aktualne.

W ramach swojej rozprawy doktorskiej mgr Żelasko poruszył bardzo ciekawy temat zapewniania jakości transmisji danych w sieci komputerowej w sposób zdecentralizowany z zastosowaniem metod agentowych oraz uczenia maszynowego. Doktorant słusznie zauważył istotność parametrów jakościowych (QoS) związanych z usługami sieciowej transmisji danych. Należy podkreślić, że jakość winna być spełniana na możliwie optymalnym poziomie. Nie może

być niższa niż określone wymagania użytkownika. Nie powinna być jednocześnie wyższa, gdyż oznacza to marnowanie dodatkowych nakładów związanych z zapewnieniem wyższej jakości usług. Pan Żelasko dzięki zastosowaniu opracowanego rozwiązania w lokalnej sieci Ethernet/IP gwarantuje, że klient zawsze otrzymuje usługę, na odpowiednim poziomie – oczekiwaną i zgodną z wykupioną opcją.

2. Wkład autora

Doktorant w ramach swojej rozprawy dotyczącej zapewnienia jakości transmisji danych w sieci komputerowej zawarł szereg oryginalnych i istotnych, z punktu widzenia obecnej wiedzy naukowej, wyników pracy badawczej. Jako najistotniejszy wkład należy wymienić:

- zaproponowanie autorskiego rozwiązania routingu (ang. routing) opartego na analizie zarówno źródła jak i celu transmisji,
- wykorzystanie systemu agentowego w celu dynamicznego zarządzania siecią routingu, w którym agenty monitorują przebieg wykonania kolejnych zadań i w razie potrzeby (w oparciu o analizy jakości transmisji) dokonują rekonfiguracji sieci,
- zaproponowanie autorskiego rozwiązania opartego na użyciu aukcji do dynamicznego kształtowania cen usług transji danych (tzn., że nie istnieje stały cennik usług, a jest on dynamicznie generowany w zależności od obecnej sytuacji w interesującej sieci komputerowej),
- wykorzystanie elementów uczenia maszynowego dla dokonania przekształceń na parametrach opisujących jakość transmisji (w ramach wskazanego punktu dokonano szerokiej klasyfikacji zbioru danych, zaproponowanie nowych algorytmów uczenia zespołowego, czy opracowanie nowego algorytmu, który jest połączeniem sieci neuronowej i algorytmu genetycznego).

Dodatkowym atutem rozprawy i prowadzonych prac jest bardzo szeroko dyskutowane narzędzie badawcze w postaci eksperymentu obliczeniowego. Uzyskane wyniki mają oryginalny charakter, który wnosi nową wiedzę w obszarach badań dotyczących transmisji danych, oceny jej jakości, sposobu wyceny usługi transmisji, czy w ogólności obiegu informacji w środowisku rozproszonym. Prace zostały już dostrzeżone przez społeczność międzynarodową, czego potwierdzeniem są pierwsze publikacje naukowe. Doktorant opublikował ponad 10 prac, z czego prawie wszystkie dotyczą tematyki poruszanej w ramach rozprawy doktorskiej. 5 publikacji jest indeksowanych przez Web of Science. Obrazuje to prawidłowe skupienie doktoranta na obranym problemie badawczym. Źródłami publikacji są zarówno prace w czasopiśmie naukowych jak i konferencyjne. Szczególną uwagę skupiam na pracy "Simulation of transmission quality classification in Pay&Require multi-agent managed network by means of Machine Learning techniques" opublikowanej w czasopiśmie Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 103 (2020). Są ku temu dwie przesłanki. Po pierwsze jest to w pełni samodzielna praca doktoranta, a po drugie źródłem jest świetne czasopismo charakteryzujące się wysokim Impact Factorem na poziomie 3,272, gdzie próg akceptacji wynosi około 8% (według aktualnych danych wskazywanych przez wydawnictwo).

Określenie wkładu doktoranta w publikacje wieloautorskie pozostaje nie w pełni jasne. Należy natomiast podkreślić, że w wielu pracach pan mgr Żelasko jest opisany jako pierwszy autor, co jednoznacznie wskazuje na bardzo istotny udział prac doktoranta w finalne wyniki prowadzonych badań. Ponadto treść i materiały zawarte w rozprawie stanowią rozszerzenie już opublikowanych wyników badań.

Opracowana przez doktoranta oryginalna koncepcja routingu została nazwana Pay&Require (P&R). Opiera się ona na założeniu, że użytkownik powinien płacić za faktycznie istotne dla niego (gwarantowane) parametry opisujące jakość transmisji. W obecnie stosowanych sieciach i systemach kierowania pakietami nierzadko spotykamy się z sytuacją, gdzie korzystamy z łącza zapewniającego dużo wyższe parametry jakościowe niż jest to nam niezbędne do wykonania poszczególnych zadań. Płacimy przy tym wyższy rachunek za taką usługę. Zaproponowanie dynamicznie dostosowującej się usługi routingu jest rozwiązaniem (propozycją) ciekawych i przydatnym. Autor sugeruje zapewnienie odpowiedniej jakości usługi (zgodność z wymaganymi parametrami transmisji) poprzez połączenie protokołu statycznego i dynamicznego. Całość rozwiązania ma zostać wzbogacona o wykorzystanie technologii agentowej. Ideą rozwiązania jest wyznaczenie różnych ścieżek przesyłu pakietów i dla każdej ścieżki dokonanie oceny parametrycznej. Następnie oceny i ścieżki parowane są z wymaganiami klientów i następuje wybieranie odpowiednich ścieżek dla zamówień. Przygotowane tablice routingu są przesyłane przez agenta do odpowiednich urządzeń sterujących. Doktorant proponuje wykorzystanie kilku rodzajów agentów odpowiedzialnych kolejno za: monitorowanie jakości, rekonfigurację, handel jakością transmisji. We wskazanym opisie agentów zabrakło bardziej konkretnych informacji dotyczących rozdzielczości pracy agentów monitorującego i rekonfigurującego. Autor wspomina, że „Co pewien okres czasu agent weryfikuje parametry łącza urządzenia, które nadzoruje.”. Wskazane by było bardziej precyzyjne określenie zasad na jakich działa/-ją wspomniane agenty.

W celu weryfikacji wydajności działania opracowanej metody P&R został opracowany symulator/emulator. Składa się z oprogramowania realizującego funkcje warstwy kontrolnej, oraz ruterów działających w warstwie fizycznej. Doktorant symulował ruch sieciowy przy wykorzystaniu rozwiązania Trex. W tekście zbyt skrótowo wspomniano o doborze odpowiedniego pakietu testującego przepływność i czasy transmisji. Kolejnym krokiem działania emulatora jest budowa listy możliwych do wykorzystania ścieżek. Kolejno dokonywana jest ocena każdej ścieżki. Myślę, że sposób oceny można rozważyć w bardziej złożonym podejściu. Alternatywnie warto by było opracować 2/3 sposoby oceny i poddać je dogłębszej analizie teoretycznej i kolejno praktycznej przy wykorzystaniu symulacji/emulatora. Samo wskazanie oceny jako najgorszego fragmentu (tzw. bottleneck) jest podejściem, które nie obrazuje całości połączeń i charakterystyk ścieżek. Symulacje przeprowadzane są w oparciu o NS3, tj. symulator sieci komputerowych i zdarzeń dyskretnych w sieciach. W celu uzupełnienia funkcjonalności symulatora NS3 mgr Żelasko dokonał programowania niezbędnych w tym zakresie agentów. Jeśli chodzi o wykorzystanie tych ostatnich uważam, że więcej uwagi i analizy można by poświęcić na pracę agenta



handlowego (który de facto jest w mojej ocenie kluczowym elementem wskazującym na innowacyjność globalnego rozwiązania). Autor wskazuje na ciekawe rozwiązania oparte nie tylko na prostym przydziale jakości do posiadanego budżetu, ale na obserwacji rynku, czy możliwości odstępstw jakościowych w celu uzyskania lepszej oferty cenowej. Ze względu na istotność pracy wskazanego agenta podrozdział 3.4 zyskałby na jakości gdyby został rozbudowany i szerzej skomentowany. Liczne przykłady czy analizy zachowań jeszcze lepiej zobrazowałyby jego działanie i potwierdziły zasadność przyjętych założeń.

Eksperymenty obliczeniowe są istotną częścią rozprawy. W pewnych fragmentach rozdziału 4. Wskazane by było poprawienie czytelności rysunków. Przykładowo rys. 4.7 zawiera informacje o „3 przypadkach”. Jest to opis niefortunny, gdyż czytelnik musi wertować tekst w poszukiwaniu czymże są kolejne przypadki 1, 2 i 3. Rysunki wskazujące na wybraną ścieżkę nie oddają pełnej informacji zawartej w eksperymencie. Nie wskazano ocen, czy wag. Samo w sobie oznaczenie ścieżek nie niesie ze sobą odpowiedniego ładunku informacyjnego. Możliwe, że inna budowa struktury tekstowej pozwoliłaby lepiej odzwierciedlić prezentowane informacje. Wykorzystanie metod uczenia maszynowego (zastosowanego w III etapach) wzbogaca jakość pracy. Kolejne etapy zostały szczegółowo opisane, a także urozmaiczone o liczne rysunki i tablice. Szersze podsumowanie tego istotnego rozdziału z bardziej globalnym podejściem stanowiłoby dobre posumowanie tego kluczowego dla pracy fragmentu. Obecnie wygląda to bardziej wrywkowo, gdzie analiza jest wykonywana fragmentami na bieżąco po opisaniu kolejnych aspektów eksperymentu.

3. Poprawność pracy

Rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno-eksperymentalny. Jest napisana na 149 numerowanych stronach (poprzedzona 4 stronami nienumerowanymi zawierającymi stronę tytułową oraz spis treści) w języku polskim. Główna treść pracy zawiera się na stronach 1-124, po których umieszczono zestawienie publikacji doktoranta, spis rysunków i tablic. Bibliografia jest zawarta na stronach 133-149 i obejmuje aż 224 pozycje literaturowe. Monografię uzupełnia streszczenie w języku angielskim, załączone na 4 stronach (opisanych jako Page 1-4), następujących po stronie 150 (pustej). Pierwsze trzy rozdziały mają charakter pracy informacyjnej, wprowadzającej do tematu. Kolejne dwa dotyczą rozwiązań, proponowanych algorytmów, jak i szeroki rozdział poświęcony eksperymentom obliczeniowym. Nienumerowany rozdział szósty w kolejności zawiera podsumowanie rozprawy.

Można stwierdzić, że pewne fragmenty rozprawy zawierają materiały przeglądowe (ang. survey), co osobiście odbieram jako wartościowe elementy naukowe – wskazuje na to również bardzo duża (zdecydowanie ponad przeciętną) liczba odwołań literaturowych. W rozdziale 1. zaprezentowane zostały podstawowe informacje dotyczące technologii sieciowych, w szczególności związanych z zapewnieniem jakości transmisji. Omówiono różne podejścia do jakości, a także techniki routingu. W rozdziale 2. zawarto opis systemów agentowych, metody rynkowe alokacji dóbr (teoria gier), negocjacje i aukcje. Należy zwrócić uwagę, że mimo iż autor podkreśla znaczenie zastosowania systemów agentowych w rozwiązaniach sieciowych śmiało można uznać rozdział 2. za ciekawy wstęp dla osób bardzo szeroko zainteresowanych

wykorzystaniem opisanych systemów, technologii i rozwiązań. W rozdziale 3. zaprezentowano koncepcję zapewniania jakości transmisji w sieciach komputerowych z wykorzystaniem agentów. Opisano podejście Pay&Require, wskazano zaprojektowany emulator, czy opisano symulację z wykorzystaniem symulatora sieci komputerowych i zdarzeń dyskretnych w sieciach, NS3. Rozdział uzupełnia opis koncepcji wykorzystującej zastosowanie agentów, a także przeprowadzenie klasyfikacji jakości transmisji przy wykorzystaniu metod uczenia maszynowego. Najobszerniejszy z rozdziałów (nr 4) skupia się na rozbudowanych eksperymentach obliczeniowych. Zawarto w nim takie podkategorie i elementy jak emulacja, symulacja, aukcje, czy uczenie maszynowe. Podsumowanie (rozdział ostatni, nienumerowany) poza zebraniem informacji w formie ekstraktu zawiera wskazane przez doktoranta oryginalne elementy badań i pracy, a także określenie przyszłych, możliwych kierunków kontynuowania badań.

Podsumowując uważam, że doktorant zachował poprawność w realizacji swoich kolejnych prac, a agregująca dorobek naukowy treść rozprawy doktorskiej jest poprawna od strony dedukcji naukowej i struktury pracy. Wymienione braki wskazują miejsca, które można przygotować lepiej, ale nie są zarzutem obniżającym moją ocenę w ramach niniejszego kryterium.

4. Wiedza kandydata

Doktorant w swojej rozprawie wielokrotnie potwierdza głęboką wiedzę w zakresie informatyki, a w szczególności w ramach sieci komputerowych, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień dotyczących zapewnienia wymaganej przez użytkownika jakości usług. Cytowania obejmujące 224 pozycji stanowią, że bibliografia jest niezmiernie obszerna i wyczerpująca. Zauważam, że nieco brakuje odwołań do najnowszych pozycji literaturowych z lat 2021 czy 2020/2019. Przy dynamicznie rozwijanej tematyce takie pozycje z pewnością wzbogaciły pracę doktorską o zupełnie najnowsze osiągnięcia z zakresu jakości transmisji danych.

Wiedza zaprezentowana przez doktoranta jest obszerna i obejmuje wiele aspektów. W ramach badań dokonano szerokiego przeglądu klasycznych rozwiązań i, co bardzo istotne, zaproponowano swoje autorskie rozwiązania w postaci algorytmu, emulatora, symulatora, czy w końcu wartościowych badań eksperymentalnych – które należy podkreślić są obszernie opisane i zaprezentowane.

5. Inne uwagi

Mgr inż. Dariusz Żelasko jest współautorem 12 publikacji naukowych. 5 z nich znajduje się na liście Web of Science Core Collection (tzw. lista filadelfijska). Oceniam to jako osiągnięcie znacznie wykraczające poza przyjęte normy dorobku naukowego dla doktorantów. Należy zauważyć, że prace z początkowych lat po magisterium (od 2013 r.) były publikowane w mało prestiżowych źródłach, nierzadko w języku polskim, charakteryzujących się stosunkową skromną liczbą punktów ówczesnego MNiSW. Po wielu latach prac i przygotowań można wskazać, że przełom nastąpił w roku 2020. Wtedy pojawiły się dwie pierwsze publikacje filadelfijskie, które rok później zostały uzupełnione o 3 kolejne tytuły podobnej rangi. W jednej

z prac mgr Żelasko jest jedynym autorem, a w 3 kolejnych został wskazany jako pierwszy autor. Doktorant (wedle danych WoS) posiada bardzo niewielką liczbę cytowań, ale ze względu na bardzo młody wiek prac jest to zrozumiałe. Na etapie rozwoju młodego naukowca najbardziej istotne, w mojej ocenie, jest przygotowanie prac naukowych, które zostały opublikowane w topowych lub dobrych źródłach (w dużej ogólności wskazuję tutaj na indeksowane w WoS). Cytowania przyjdą z czasem.

Rozprawa posiada logiczną strukturę rozdziałów oraz sekcji. Jakość używanego języka polskiego oceniam wysoko. Pracę czyta się dobrze i płynnie. Wykorzystane rysunki i tablice ułatwiają zrozumienie prezentowanych treści, a także poprawiają ogólną atrakcyjność publikacji (choć w tym przypadku pozostaje pewne miejsce do poprawy). Poza uwagami sygnalizowanym w powyższych punktach niniejszej recenzji dostrzegam szereg niuansów edytorskich (wymienię tylko część z nich):

- Podrozdział 1.2 nosi nazwę (akronim?) QoX, który nie został wcześniej zdefiniowany. Ponadto nazwy rozdziałów/podrozdziałów powinny zawierać pełne nazwy.
- W pracy pojawia się wielokrotnie nazwa symulatora NS3. Jego poprawna, oryginalna nazwa to ns-3 i taka powinna być używana.
- Nazwę podrozdziału 3.3 można zrewidować wpisując „sieciowy symulator zdarzeń dyskretnych”, zamiast niezrozumiałego dla części czytelników zapisu „NS3”.
- Autor nie jest konsekwentny w sposobie pisania list wyliczeniowych nienumerowanych. Raz oddziela kolejne punkty przecinkiem (np. str. 10), innym razem kropką (np. str. 11) mimo iż obie listy zawierają tożsame w formie zapisy.
- Doktorant wykorzystuje akronimy bez wcześniejszego ich definiowania (np. ATM, MPLS, QoX, itd.). Akronim ARPA jest zdefiniowany w nieprawidłowy sposób (str. 1). Lepiej byłoby zastosować zapis: „To właśnie w tym roku powstała agencja Advanced Research Project Agency (ARPA)”. Podobnie w przypadku zapisu ARPANET -> „Advanced Research Projects Agency Network (ARPANET)”. Podobnie odwrotnie zdefiniowano akronim „QoS”.
- Przy wykorzystaniu oryginalnych nazw w języku angielskim, w nawiasach, warto poprzedzić je skrótem „ang.”.
- Rysunki są przygotowane jako pliki grafiki rastrowej, co przy pewnym powiększeniu/wydruku może powodować zmniejszoną czytelność pracy, jak i obniża jakość odbioru informacji. Zaleceniem może być wykorzystanie plików w formacie wektorowym (np. pdf z zastosowanymi krzywymi). Przykładowo tekst na rysunku 1.1 w formie elektronicznej (nawet bez powiększenia) jest znacznie mniej wyraźny/elegancki niż pozostała treść. Ten sam mankament jest zauważalny w wydrukowanej wersji rozprawy.
- Tabele 1.1 i 1.2 śmiało można by umieścić obok siebie. Jakość odbioru informacji zostałaby w ten sposób poprawiona. Dodatkowo wskazane tabele wyglądają mniej czytelnie niż pozostały tekst – najprawdopodobniej są to pliki graficzne zamiast zestawienia tabelarycznego. Podobnie dla kolejnych przypadków w rozprawie.

- Zawartość strony 82 nie budzi pozytywnego odbioru. Zalecałbym zakotwiczenie rysunku 4.31 i tabeli 4.5 w innych miejscach.
- Mimo, iż rysunki 4.31 i 4.32 prezentują zbliżony format zastosowano w nich zupełnie inny rozmiar czcionki/skalowanie. Jako, że oba rysunki występują na sąsiednich stronach wprowadza to niepotrzebne zamieszanie i obniża jakość odbioru informacji. Podobnie na rysunkach 4.33 i 4.35, itd. Dodatkowo, wykorzystanie zbyt dużej skali/rozmiaru czcionki (jak np. na rysunku 4.35) powoduje obniżenie jakości edytorskiej. Dla odmiany zbyt mały rozmiar czcionki (np. rysunki 4.18 i 4.19) powoduje trudności z komfortowym zapoznaniem się z materiałem.

Zaznaczam, że wskazane uchybienia nie wpływają na merytoryczną wartość pracy.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2022 r. poz. 574) moja ocena rozprawy pod względem czterech podstawowych kryteriów jest następująca.

- I. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej: **zdecydowanie tak**.
- II. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne: **zdecydowanie tak**.
- III. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej: **zdecydowanie tak** (monografia naukowa).
- IV. Do rozprawy doktorskiej dołącza się streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim. W przypadku gdy rozprawa doktorska nie jest pracą pisemną, dołącza się opis w językach polskim i angielskim: **zdecydowanie tak** (streszczenie w języku angielskim).

Uważam, że wymagania stawiane rozprawom doktorskim zostały spełnione i tym samym rekomenduję dopuszczenie Pana Magistra Dariusza Żelaski to publicznej obrony rozprawy doktorskiej. Mając na uwadze dorobek naukowy w postaci 5 publikacji indeksowanych w bazie WoS, które stanowią podstawę dla niniejszej rozprawy doktorskiej, wnioskuję o jej wyróżnienie.

