

RD/IT-ppł. 14.12.2022  
M. Skowron

dr hab. Jarosław Bylina  
Instytut Informatyki  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej  
Pl. M. Curie-Skłodowskiej 5  
20-031 Lublin  
email: jaroslaw.bylina@umcs.pl

Lublin, 6 grudnia 2022

Tytuł rozprawy: Aktywne zarządzanie pakietami w węźle komunikacyjnym z wykorzystaniem kontrolera PID niecałkowitego rzędu

Autor rozprawy: mgr inż. Dariusz Marek

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Adam Domański, prof PŚ

Dziedzina: nauki techniczne

Dyscyplina: informatyka techniczna i telekomunikacja



# 1 Temat i cel rozprawy

Autor stawia sobie za cel ocenę potencjalnego wykorzystania kontrolera  $PI^\alpha D^\beta$  rzędu niecałkowitego do aktywnego zarządzania pakietami w węźle komunikacyjnym. Badanie tych możliwości przeprowadzono za pomocą modeli — jednego modelu symulacyjnego oraz dwóch modeli analitycznych (aproksymacja *Fluid-Flow* oraz aproksymacja dyfuzyjna).

Wybór tematu jest dobrze uzasadniony — motywowany jest bowiem realnymi problemami wydajnego panowania nad zatłoczeniem (ang. *congestion control*) sieci komputerowych. Tego rodzaju zatłoczenia są codziennością w dzisiejszych sieciach i pojawiają się zarówno w trakcie normalnej pracy sieci (związanej z samopodobną naturą ruchu w sieci i jego ogólną niejednorodnością w czasie), jak i przy okazji różnego rodzaju ataków (np. typu *DDoS*).

# 2 Zawartość i charakter rozprawy

Rozprawa składa się z 11 rozdziałów. Pierwszy z nich jest krótkim wstępem, w którym zawarte jest wprowadzenie do pracy, a także jej teza, wraz z uzasadnieniem. Rozdział 2 poświęcony jest — ważnemu z punktu widzenia rozprawy ze względu na działanie tytułowego kontrolera — matematycznemu zagadnieniu rachunku różniczkowego i różnicowego rzędów ułamkowych. Wprowadzone są tu niezbędne narzędzia aparatu matematycznego. Kolejny rozdział poświęcony jest samemu kontrolerowi  $PI^\alpha D^\beta$ , za pomocą którego realizowany jest proponowany mechanizm aktywnego zarządzania kolejką. Rozdział 4 opisuje metody, które Doktorant wykorzystuje do analitycznego badania zachowania się mechanizmu prezentowanego w rozprawie. Rozdział 5 stanowi krótkie wprowadzenie do pięciu publikacji, które — jako rozdziały 6–10 — stanowią trzon rozprawy. Ostatni rozdział jest podsumowaniem pracy.

Rozprawa jest więc — opatrzoną adekwatną częścią wstępną (rozdziały 1–5) i podsumowaniem (rozdział 11) — kompilacją publikowanych na forum międzynarodowym artykułów naukowych (rozdziały 6–10), których głównym autorem jest Doktorant.

Najważniejsze osiągnięcia Doktoranta przedstawione w rozprawie to:

- implementacja modelu działania kontrolera  $PI^\alpha D^\beta$  niecałkowitego rzędu z wykorzystaniem GPU (rozdział 6);
- opracowanie dla aktywnego zarządzania kolejką modelu symulacyjnego połączonego z modelem dyfuzyjnym i jego implementacja (rozdział 7);
- implementacja dla aktywnego zarządzania kolejką modelu dyfuzyjnego oraz modelu *Fluid-Flow* (rozdział 8);
- opracowanie i implementacja modelu dyfuzyjnego i symulacyjnego dla kontrolera  $PI^\gamma$  (podklasy kontrolera  $PI^\alpha D^\beta$ ) niecałkowitego rzędu i wielu strumieni TCP/UDP (rozdział 9);



- opracowanie modelu dyfuzyjnego aktywnego zarządzania kolejką i jego wielowzłowa implementacja (rozdział 10);
- przeprowadzenie odpowiednich doświadczeń na modelach oraz analiza i interpretacja ich wyników (rozdziały 6–10).

### 3 Teza rozprawy

Teza, którą stawia Doktorant w rozdziale 1 brzmi:

*Oparcie mechanizmu aktywnego zarządzania kolejką (AQM) o kontroler  $PI^\alpha D^\beta$  niecałkowitych rzędów może pozwolić na zmniejszenie średniej zajętości kolejki, a przez to na zwiększenie przepustowości transmisji danych w sieci Internet.*

Teza jest sformułowana jasno i poprawnie. Odzwierciedla ona dokładnie to, nad czym Autor w rozprawie rzeczywiście pracuje. Teza jest także oryginalna i wykracza poza obecny stan wiedzy.

Rozprawa wykazuje prawdziwość tezy — istotnie, przedstawiony materiał z wyników symulacji i analizy modeli analitycznych przygotowanych przez Doktoranta (wraz z zespołem) pokazuje, że zastosowanie tego rodzaju kontrolerów może znacząco zmniejszyć średnią długość kolejki (nawet ponad trzykrotnie, jeśli chodzi o wyniki średnie), co jest ważnym wskaźnikiem rzeczywistej przepustowości układu. W modelach zachowania się kolejki w czasie, widzimy natomiast wygładzenie ruchu, co także sprzyja poprawieniu parametrów transmisji. Wnioski o prawdziwości tezy (zawarte w rozdziale 11) są zatem w pełni uzasadnione.

### 4 Analiza źródeł i zastany stan wiedzy

Bibliografia recenzowanej rozprawy doktorskiej obejmuje 75 pozycji — zacytowanych w odpowiednim kontekście. Źródła te dobrze przedstawiają bieżący stan wiedzy na tematy poruszane w pracy. W większości są to źródła nowe (ostatnie z 2021 roku), ale Autor nie stroni też od cytowania starszych (klasycznych) publikacji, które dają całości rozprawy silny fundament i pokazują jej osadzenie w całości dorobku naukowego dyscypliny oraz dyscyplin pokrewnych.

Dodatkowo, z uwagi na budowę rozprawy, każdy z rozdziałów 6–10 (będących samodzielnymi publikacjami) ma swoją bibliografię, w której pojawia się kilka dodatkowych (nieuwzględnionych w zbiorczej) pozycji. One także są odpowiednio zacytowane w swoich rozdziałach (artykułach) i także prezentują stan wiedzy oraz realne źródła potrzebne przy prowadzeniu przedmiotowych badań.

Autor dobrze przedstawia stan wiedzy. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne w rozdziałach 2–4, gdzie przedstawiony jest pewnego rodzaju aparat narzędziowy (głównie matematyczny), którego Autor używa w rozprawie. Jeśli chodzi o stan wiedzy związany



z konkretnymi zagadnieniami rozwiązywanymi przez Kandydata, to zaprezentowane publikacje (rozdziały 6–10) mają — każda z osobna — swój przegląd zastanej wiedzy w odpowiednich sekcjach (typu „Related works”). Sekcje te są bardzo dobrze przygotowane, zgodnie zresztą ze standardami publikacji naukowych. I właśnie te sekcje przede wszystkim dobrze pokazują osadzenie pracy w bieżącym stanie wiedzy o zagadnieniu. Widać z nich, że postawiony problem jest jednocześnie uzasadniony i oryginalny. W szczególności tam właśnie znajdziemy odpowiedzi na pytania, dlaczego potrzebne jest zajęcie się właśnie tym kontrolerem i jego badaniami symulacyjnymi oraz analitycznymi.

## 5 Znaczenie wyników

Doktorant zajmuje się w swej rozprawie rozwinięciem i badaniem algorytmów losowego odrzucania pakietów w celu zapobieganiu zatłoczenia sieci.

Tego rodzaju algorytmy działają z powodzeniem od lat w rzeczywistych urządzeniach sieciowych. Ze względu na ciągły rozrost rozmiarów sieci, powiększanie się ruchu sieciowego, a z drugiej strony wzrost zapotrzebowania na skuteczne użycie sieci — istnieją równoległe ciągle potrzeba nowych sposobów usprawniania ruchu sieciowego.

W tę potrzebę praca wpisuje się idealnie. Jej wyniki pokazują wyraźnie, że istnieją nowe, niewykorzystane jeszcze, algorytmy kontroli zatłoczenia — jak badany kontroler  $PI^\alpha D^\beta$  — które pozwolić mogą na lepsze efekty. Praca pokazuje także, że kontroler ten — mimo dużej złożoności obliczeniowej — ma szansę być zastosowany w realnych urządzeniach sieciowych, bowiem możliwości obliczeniowe maszyn cyfrowych (w tym: urządzeń sieciowych właśnie) także rosną i pozwalają na użycie bardziej złożonych obliczeniowo mechanizmów.

## 6 Redakcja rozprawy i prezentacja wyników

Struktura pracy jest całkiem przejrzysta. Mimo charakteru kompilacyjnego, Autor opatruje zamieszczone artykuły adekwatnymi wprowadzeniami — zawartymi w rozdziale 5 — i wyraźnie wylicza swój wkład autorski. Narzędzia, których Doktorant używa są odpowiednio opisane w rozdziałach wcześniejszych.

Praca napisana jest starannie tak pod względem językowym, jak i typograficznym. Można, co prawda, znaleźć bardzo drobne błędy (jak choćby *pakietu* zamiast *pakietów* na str. 47, czy też górne cudzysłowy otwierające na str. 138), czego jednak w takim przedsięwzięciu nie sposób uniknąć. Szczególnie podkreślić należy dobór odpowiedniego narzędzia do złożenia wzorów matematycznych ( $\text{\LaTeX}$ ), dzięki czemu są one czytelne i nie przytłaczają swoją złożonością i ilością. Bez zarzutów należy też odnieść się do wyglądu, opisu i czytelności wykresów (oraz tabel), których duża liczba ułatwia czytanie i zrozumienie rozprawy. Także ich interpretacja w pracy nie pozostawia wątpliwości co do swojej poprawności.



## 7 Słabe strony i uwagi krytyczne

Jak w każdym przedsięwzięciu, także i tu nie obyło się bez drobnych uchybień.

- W rozprawie przydałby się odrębny rozdział przedstawiający zastany stan wiedzy. Każdy z rozdziałów 6–10 ma odpowiedni przegląd (choć w rozdziale 6 nie jest w osobnej sekcji lecz połączony z wprowadzeniem), ale czytelnikowi całości takie rozbicie utrudnia nieco syntetyczne osadzenie pracy w ogólnym stanie wiedzy. Związane z tym jest oczywiście to, że w zbiorczej bibliografii rozprawy nie ma niektórych pozycji z tych rozdziałów (ani — w związku z tym — odniesień do nich poza tymi rozdziałami)
- Zbyt mało uwagi, moim zdaniem, poświęcono analizie implementacji na GPU. Wydaje się, że leży tu potencjał jeszcze większego przyspieszenia obliczeń (co jest bardzo istotne ze względu na złożoność obliczeniową kontrolera) — a brakuje dogłębnej dyskusji, co można by jeszcze w tej implementacji poprawić. Brak także porównania dokładności obliczeń (i jej wpływu na interpretację i przydatność wyników) na GPU z użyciem różnych typów danych (choć takie badania zostały wykonane, ale tylko ze względu na czas).
- Wartościowe byłaby możliwość zapoznania się z pełnym kodem źródłowym wykonanych implementacji — np. przez dostępność ich w jakimś otwartym repozytorium, co staje się powoli standardem w świecie nauki, ze względu na konieczną cechę powtarzalności doświadczeń.
- W przypadku kilku wykresów szybkie zorientowanie się w nich utrudnia ustalony przedział osi pionowej — nie zawiera on bowiem wartości 0 (*zero*), a zaczyna się od wybranej przez Autora liczby (rys. 5.1 w rozdziale 5 czy rys. 3, 5, 6 [część prawa] w rozdziale 6). Spowodowane było to zapewne pragnieniem zwiększenia czytelności wykresu, stało się to jednak kosztem jego pewnej jednoznaczności.
- Czytelniej można było także złożyć (pod względem typograficznym) kody źródłowe w rozdziałach 2, 3, 6 (wszystko złożone jest jednolicie, bez wyróżnienia elementów takich jak słowa kluczowe, identyfikatory itp.). Istnieją pakiety, które potrafią to zrobić automatycznie.

Pomimo powyższych uwag krytycznych (które, zebrane w jednym miejscu mogą sprawić mylne wrażenie obszerności), chciałbym podkreślić, że nie wpływają one na merytoryczną wartość pracy w żaden sposób, a są jedynie uchybieniami zrozumiałymi przy tego rodzaju pracy i — po części — subiektywnym zdaniem recenzenta.

## 8 Podsumowanie i wniosek końcowy

Po analizie rozprawy Doktoranta, mogę stwierdzić bez wahania (pomimo pewnych drobnych zastrzeżeń), że jest ona przygotowana rzetelnie i wnosi ona znaczący wkład teo-



retyczny i praktyczny w dyscyplinę *informatyka techniczna i telekomunikacja*. Potwierdza ona też zdolność Kandydata do prowadzenia dalszej pracy naukowej samodzielnie.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa pt. „Aktywne zarządzanie pakietami w węźle komunikacyjnym z wykorzystaniem kontrolera PID niecałkowitego rzędu” spełnia warunki określone w Ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*. W związku z tym, wnioskuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Dariusza Marka do publicznej obrony i dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Ponadto, z uwagi na wysoką wartość merytoryczną pracy — potwierdzoną publikacjami (których głównym autorem jest Kandydat) w recenzowanych czasopismach naukowych mających Impact Factor — wnioskuję o stosowne wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Jarosław Bylina

