



Wrocław, 3 września 2013

Dr hab. inż. Krzysztof WALKOWIAK, prof. nadzw. PWr  
Wydział Elektroniki  
Politechnika Wrocławska

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej mgra inż. Błażeja ADAMCZYKA**  
**„Wirtualizacja łączy z wykorzystaniem monitora maszyn wirtualnych”**  
**Promotor: dr hab. inż. Andrzej Chydziański, prof. nzw. w Pol. Śl.**

**1. Cel, zakres i charakter rozprawy**

Recenzowana praca dotyczy zagadnień związanych z sieciami i środowiskami wirtualnymi. Wirtualizacja jest obecnie jedną z głównych koncepcji wykorzystywaną w celu rozszerzenia funkcjonalności sieci Internet. Najbardziej popularny protokół sieciowy IP (Internet Protocol) wersji 4 – powszechnie wykorzystywany w Internecie – ma ponad 30 lat i posiada szereg wad i ograniczeń. Z wielu powodów zarówno technicznych jak i biznesowych zmiana tego protokołu na nowszy stwarza liczne problemy. Dlatego w wielu przypadkach na potrzeby rozwoju sieci Internet i wprowadzenia nowych funkcjonalności wirtualizacja jest najprostszym i najtańszym rozwiązaniem. Główny cel rozprawy polega na zaproponowaniu rozwiązania umożliwiającego implementację efektywnego mechanizmu wirtualizacji łączy w środowisku wirtualizacji zapewniającego wysoką wydajność, wysoką wzajemną izolację wydajnościową oraz dającego gwarancje jakości usług.

Rozprawa ma charakter zarówno poznawczy jak i użytkowy. W zakresie rozważań teoretycznych, mgr inż. Błażej Adamczyk dokonał dokładnej analizy algorytmu szeregującego umożliwiającego separację łączy wirtualnych. Analiza algorytmu jest wzbogacona przykładami numerycznymi, które pokazują jego najważniejsze właściwości. Natomiast aspekt użytkowy rozprawy jest związany z implementacją zaproponowanego algorytmu szeregowania w rzeczywistym środowisku wirtualizacji Xen. Implementację algorytmu poprzedza dogłębna analiza szeregu praktycznych problemów, których rozwiązanie jest niezbędne dla wykonania skutecznej implementacji.

## 2. Zawartości rozprawy

Rozprawa składa się z 6 rozdziałów. Pierwszy rozdział to Wprowadzenie zawierające motywację tematu rozprawy oraz tezę doktoratu. Rozdział 2 zawiera opis podstawowych zagadnień związanych z tematyką wirtualizacji łączy w kontekście rozwoju sieci komputerowych oraz koncepcji Internetu Przyszłości. W rozdziale 3 Doktorant przedstawił dokładną analizę zaproponowanego algorytmu szeregowania obejmującą przykłady numeryczne ilustrujące najważniejsze właściwości algorytmu. Rozdział 4 jest poświęcony zagadnieniom wirtualizacji i zawiera opis monitorów maszyn wirtualnych ze szczególnym uwzględnieniem systemu Xen. W kolejnym rozdziale opisano implementację łączy wirtualnych w monitorze Xen oraz zawarto wyniki przeprowadzonych testów. Ostatni rozdział stanowi podsumowanie pracy. W mojej ocenie struktura pracy jest prawidłowa. Doktorant w logiczny sposób przedstawił kolejne zagadnienia, co znacznie ułatwia lekturę i analizę zawartości doktoratu.

## 3. Poprawności i oryginalności postawionej tezy

Teza pracy jest sformułowana w następujący sposób: *Możliwe jest uzyskanie przy pomocy monitora maszyn wirtualnych łączy wirtualnych o wysokiej wydajności, wysokiej wzajemnej izolacji wydajnościowej oraz dających gwarancje jakości usług.* W mojej opinii teza pracy jest sformułowana poprawnie. Mgr inż. Błażej Adamczyk na podstawie przeglądu literaturowego i własnej wiedzy prawidłowo określił zakres swojej pracy, koncentrując się na istotnych aspektach związanych ze współczesnymi problemami sieci komputerowych. Ponadto, według mnie teza jest oryginalna.

Teza jest wykazana w rozprawie poprzez:

- zaproponowanie algorytmu szeregowania zapewniającego wzajemną izolację wydajnościową łączy wirtualnych;
- przeprowadzenie analizy tego algorytmu;
- implementację algorytmu i jego zbadanie w rzeczywistym środowisku komputerowym.

Moim zdaniem mgr inż. Błażej Adamczyk rozwiązał postawiony problem naukowy stosując prawidłowe metody badawcze. Postawione cele zostały w pracy osiągnięte. Dla wykazania tezy pracy Doktorant posłużył się analizą teoretyczną oraz eksperymentami, w których zaimplementował

zaproponowaną metodę i następnie dla stworzonych scenariuszy badawczych przeprowadził szereg badań symulacyjnych. Wyniki zawarte w pracy są opatrzone dokładną analizą i dyskusją.

#### **4. Analiza źródeł (w tym literatury światowej i stanu techniki) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora w danej dyscyplinie naukowej**

Rozprawa doktorska mgr inż. Błażeja Adamczyka dotyczy aktualnych obecnie zagadnień związanych z wirtualizacją sieci i systemów komputerowych. Doktorant przeprowadził dokładny przegląd bibliograficzny, lista literatury umieszczona w rozprawie zawiera 84 pozycji. Wśród nich znajdują się najważniejsze prace związane z zagadnieniami wirtualizacji oraz algorytmami szeregowania. Stanowi to dobre wprowadzenie do prezentacji oryginalnych koncepcji Doktoranta oraz ułatwia lekturę pracy. Mogę jednoznacznie stwierdzić, że Doktorant posiada dostateczną wiedzę i znajomość współczesnej literatury z zakresu różnorodnych aspektów związanych sieciami i środowiskami wirtualnymi.

#### **5. Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i stanu techniki reprezentowanych przez literaturę światową**

Tematyka rozprawy jest związana z aktualnie rozwijanymi kierunkami badań w zakresie sieci i systemów komputerowych. W pracy poruszane są zagadnienia z wielu obszarów informatyki, od teoretycznych rozważań związanych z analizą algorytmów szeregowania do technicznych aspektów systemów wirtualizacji i implementacji programistycznych. Moim zdaniem we wszystkich poruszanych zagadnieniach rozprawa nie odstaje od światowych prac w danym obszarze. Rozprawa ma duży aspekt praktyczny uzyskanych rezultatów. Często praktyką w pracach naukowych w literaturze światowej jest posługiwanie się wyłącznie symulatorami do zbadania nowych algorytmów i koncepcji. Należy więc szczególnie podkreślić, że mgr inż. Błażej Adamczyk zaimplementował i zbadał zaproponowany algorytm w rzeczywistym środowisku komputerowym, co wymagało rozwiązania wielu technicznych problemów.

Jedynym poważniejszym mankamentem w pozycji rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i stanu techniki reprezentowanych przez literaturę światową jest brak odniesienia się w rozprawie do koncepcji SDN (ang. *Software Defined Networking*). Koncepcja SDN – zyskująca w ostatnich latach bardzo dużą popularność – jest jednym z możliwych scenariuszy dla rozwoju Internetu

Przyszłości. Najbardziej popularną realizacją koncepcji SDN jest standard OpenFlow rozwijany w wielu zespołach badawczych i firmach z branży teleinformatycznej.

## **6. Znaczenie uzyskanych wyników dla danej dyscypliny naukowej**

Jako najważniejsze oryginalne osiągnięcia rozprawy doktorskiej mgr inż. Błażeja Adamczyka należy wymienić:

- Zaproponowanie algorytmu szeregowania zapewniającego izolację wydajnościową łączy wirtualnych oraz dokładna analiza matematyczna tego algorytmu.
- Analizę porównawczą środowisk wirtualizacji.
- Dostosowanie monitora maszyn wirtualnych Xen do wirtualizacji łączy z izolacją wydajnościową.
- Implementację mechanizmów wirtualizacji łączy w środowisku Xen, w tym:
  - implementacja algorytmu szeregowania pakietów zapewniającego pełną izolację wydajnościową;
  - implementacja mechanizmu klasyfikacji pakietów zgodnie z nagłówkiem zdefiniowanym w ramach projektu Inżyniera Internetu Przyszłości;
  - implementacja innych funkcjonalności niezbędnych dla poprawnego działania łączy wirtualnych (m.in. nowy mechanizm przerwań czasowych, mechanizm konfiguracji algorytmu szeregowania, mechanizm automatycznej konfiguracji systemu dla zwiększenia wydajności).

Należy podkreślić, że opracowane koncepcje oraz uzyskane wyniki mają duże znaczenia praktyczne. Doktorant zdefiniował i następnie rozwiązał realny i aktualny problem badawczy związany z sieciami komputerowymi i środowiskami wirtualnymi. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że oprócz analizy teoretycznej zaproponowanego rozwiązania, mgr inż. Błażej Adamczyk przeprowadził szeroki zakres badań w rzeczywistym środowisku komputerowym. Dla potrzeb skonstruowania środowiska eksperymentalnego, Doktorant musiał rozwiązać szereg nietrywialnych problemów wynikających z ograniczeń rozwiązań wirtualizacji oferowanych obecnie na rynku. Uzyskane wyniki eksperymentów przeprowadzanych dla wielu scenariuszy mają duże znaczenie praktyczne, gdyż ilustrują efektywność zaproponowanego rozwiązania w porównaniu z innymi metodami. Ponadto, na podkreślenie zasługuje fakt, że wyniki uzyskane w ramach realizacji

doktoratu zostały wykorzystane w ramach projektu *Inżynieria Internetu Przyszłości* finansowanego z Programu Innowacyjna Gospodarka na lata 2007-2013.

## 7. Główne wady rozprawy, słabe stron wraz z krytycznymi uwagami szczegółowymi

### Uwagi natury ogólnej:

1. W rozprawie nie ma żadnej informacji czy odniesienia do koncepcji sieci SDN (ang. *Software Defined Networking*) oraz najbardziej popularnej realizacji koncepcji SDN w postaci OpenFlow. Ponieważ SDN oraz OpenFlow są obecnie dynamicznie rozwijanymi rozwiązaniami Doktorant powinien umieścić informacje jak rozwiązania zaproponowane w rozprawie odnoszą się do SDN i OpenFlow.

### Uwagi polemiczne:

1. Efektywność przedstawionego algorytmu szeregowania jest dość dobra. Jednak Doktorant nie pokusił się o zaproponowanie i zbadanie bardziej skomplikowanego algorytmu, który być może zapewniłby lepsze wyniki. Na przykład algorytm, w którym przed obsługą danego łącza wirtualnego ramki czekające w buforze (kolejce) do obsługi są przestawiane w kolejności, tak aby zminimalizować efekt „straty” (czyli sytuacji kiedy ostatnia ramka nie mieści się w okresie czasu i częściowo tracony jest czas przypisany do obsługi danego bufora).
2. W rozprawie rozmiar bufora (kolejki) jest wyrażany w liczbie ramek. Jednak w sieci dopuszczone są ramki o różnych rozmiarach, a ponadto, możliwe jest, że do tego samego bufora mogą napływać ramki o różnej długości. Fizycznie bufor to pewien obszar pamięci w systemie, którego wielkość wyrażamy w bajtach. I z tego punktu widzenia ważniejszym parametrem określającym długość bufora jest jego rozmiar wyrażony w bajtach, a nie w liczbie ramek. Czy po zmianie wymiaru bufora na bajty możliwe jest przeprowadzenie analizy teoretycznej algorytmu podobnej do tej przedstawionej w pracy?
3. Wyniki dotyczące opóźnienia przedstawione w Tabelach 5.1 i 5.2 wskazują na duże różnice między obliczonym maksymalnym opóźnieniem i zmierzonym maksymalnym opóźnieniem. Brakuje dyskusji na temat tych wyników.
4. Na str. 111 jest uwaga, że *„Zmniejszając rozmiary ramek do około 600B zauważymy jednak, że nie będzie już możliwe uzyskanie pełnej wydajności łącza fizycznego. Dzieje się tak,*

dlatego, że wydajność wykorzystanego systemu komputerowego pozwala na obsługę pewnej ograniczonej liczby ramek na sekundę.” Czy w kontekście tej informacji, rozważano przeprowadzenie badań na innej platformie sprzętowej w celu uniknięcia tego problemu?

Uwagi szczegółowe:

1. Niejasna jest interpretacji rozmiaru bufora (kolejki). Na str. 21 parametr  $b$  jest zdefiniowany jako “rozmiar bufora, ramki”. Wcześniejsze wyjaśnienia (str. 19) wskazują, że wielkość bufora jest wyrażany w liczbie ramek („Mamy też  $N$  buforów o rozmiarach  $b_1, \dots, b_N$  ramek”).
2. Praca jest napisana bardzo starannie i jedynym uchybieniem językowym, które znalazłem jest zdanie na str 109 zaczynające się od „Wyniki zabrane są w trzy grupy według rozmiaru ...”.

## 8. Konkluzja

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie jednoznacznie sformułowanego zagadnienia naukowego. Mgr inż. Błażej Adamczyk wykazał w tej rozprawie w przekonujący sposób umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a także ich prawidłowej i wnikliwej interpretacji. Wymienione powyżej uwagi polemiczne oraz błędy nie mają znaczącego wpływu na ogólną pozytywną ocenę pracy. W związku z powyższym uważam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Błażeja Adamczyka spełnia wymogi zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Walcowski