

wpi. 26.09.2016

Poznań, 20 września 2016

**Prof. dr hab. inż. Maciej Stasiak**

Katedra Sieci Telekomunikacyjnych i Komputerowych  
Politechnika Poznańska

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

Tytuł rozprawy: **Modele kolejkowe z opóźnionym wybudzaniem serwera**  
Autor rozprawy: **mgr inż. Dariusz Kurzyk**  
Promotor rozprawy: **dr hab. inż. Wojciech Kempa**  
Dziedzina: **nauki techniczne**  
Dyscyplina: **informatyka**

### **1. Zawartość rozprawy**

Recenzowana rozprawa dotyczy ważnego w nowoczesnej teleinformatyce obszaru konstrukcji energooszczędnych węzłów sieciowych, które są uaktywniane, gdy w buforze znajdzie się odpowiednia liczba pakietów. Zagadnienia te są obecnie podejmowane przez środowiska naukowe oraz laboratoria i instytucje zajmujące się opracowywaniem efektywnych systemów sterowania i zarządzania rozpięciem i obsługą ruchu w sieciach, w których zasilanie węzłów sieciowych decyduje o ich żywotności, np. w sieciach sensorowych.

Problem związany jest przede wszystkim z metodami zwiększania żywotności węzłów o ograniczonych możliwościach zasilania. Minimalizację zużycia energii można zrealizować poprzez zaproponowanie mechanizmów czasowej dezaktywacji węzłów sieciowych w czasie zmniejszonego zapotrzebowania na zasoby systemu. Do rozwiązania problemu Autor wykorzystał teorię kolejek, budując odpowiednie modele, uwzględniające możliwość czasowej beczynności węzłów.

Rozprawa ma więc charakter teoretyczny ze wskazaniem możliwości zastosowania jej rezultatów w praktyce inżynierskiej. Autor zaproponował odpowiednie modele kolejkowe z jednym stanowiskiem obsługi dla stanów ustalonych i nieustalonych, w szczególności modele kolejkowe z przestojami, uwzględniające czas beczynności i odpowiednią dyscyplinę

wybudzania serwera. Autor rozważa tzw.  $N$ -dyscyplinę wybudzania serwera (serwer przechodzi do stanu aktywnego, gdy liczba pakietów w buforze osiągnie odpowiednią wartość  $N$ ) i probabilistyczną dyscyplinę wybudzania serwera (serwer przechodzi do stanu aktywnego po upływie pewnego czasu, zainicjowanego pojawieniem się w buforze pierwszego pakietu).

Z tematyką rozprawy wiążą się dwa ważne zagadnienia, od których zależy efektywna analiza i optymalizacja sposobu wybudzania serwera o pożądanym wpływie na działanie systemu kolejkowego. Po pierwsze, strumienie pakietów w sieciach mogą mieć charakter samopodobny o dalekosiężnej autokorelacji. Po drugie, w rzeczywistych sieciach rozmiary pakietów charakteryzują się różną długością. Taki złożony strumień ruchu powoduje znaczne zwiększenie złożoności modelu analitycznego systemu kolejkowego, w porównaniu z klasycznymi modelami, w których napływ pakietów opisany jest zazwyczaj strumieniem Poissona. Autor w rozprawie uwzględnił te zagadnienia poprzez aproksymację rzeczywistego strumienia wejściowego pakietów przez złożony strumień Poissona, charakteryzujący się możliwością napływu zgłoszeń grupowych i tym samym aproksymujących pakiety o różnej długości.

Rozprawa składa się z wstępu, 4 rozdziałów i dwóch załączników, podsumowania, literatury, wykazu oznaczeń oraz spisu rysunków i tablic. Wstęp i dwa pierwsze rozdziały mają charakter wprowadzający. We wstępie sformułowano tezę rozprawy, przedstawiono w punktach oryginalne – zdaniem Autora – rezultaty i możliwości ich zastosowań. Opisano też strukturę rozprawy.

W rozdziale pierwszym (Teoria kolejek) opisano w skrócie działanie systemów kolejkowych i ich zastosowanie w ujęciu historycznym. Przedstawiono podstawowe definicje i notację wykorzystywaną w klasyfikacji systemów kolejkowych. Opisano też najważniejsze metody analizy systemów kolejkowych i odnotowano najważniejsze rezultaty analityczne.

Rozdział drugi (System kolejkowy typu  $M/G/1/K$ ) dotyczy opisu wejściowego – w kontekście badań przeprowadzonych przez Doktoranata – modelu systemu kolejkowego z poissonowskim strumieniem zgłoszeń, dowolnym czasem obsługi i skończonym buforem.

Rozdziały trzeci i czwarty uogólniają model  $M/G/1/K$  i zawierają oryginalne wyniki badań Autora. W rozdziale trzecim (System kolejkowy z  $N$ -dyscypliną wybudzania serwera) zaproponowano modele systemów kolejkowych  $M/G/1/K$  i  $M^X/G/1/K$  z  $N$ -dyscypliną wybudzania serwera. Otrzymane charakterystyki przedstawiono w postaci transformat Laplace'a lub funkcji tworzących transformat Laplace'a odpowiednich rozkładów. W rozdziale sformułowano i udowodniono twierdzenie o postaci rozkładu długości kolejki w systemie (twierdzenie 3.1.1 dla systemu ze strumieniem Poissona i twierdzenie 3.2.1 dla systemu ze złożonym strumieniem Poissona), twierdzenie o postaci rozkładu opóźnienia kolejkowania (twierdzenie 3.1.2 dla systemu ze strumieniem Poissona) oraz twierdzenie o rozkładzie liczby obsłużonych zgłoszeń (twierdzenie 3.1.3 dla systemu ze strumieniem Poissona i twierdzenie 3.2.2 dla systemu ze złożonym strumieniem Poissona). Rozdział czwarty (System kolejkowy z probabilistycznym mechanizmem wybudzania serwera) ma podobną strukturę jak rozdział trzeci, ale dotyczy modeli systemów kolejkowych  $M/G/1/K$  i  $M^X/G/1/K$  z probabilistyczną dyscypliną wybudzania serwera. W rozdziale sformułowano i

udowodniono twierdzenie o postaci rozkładu długości kolejki w systemie (twierdzenie 4.1.1 dla systemu ze strumieniem Poissona i twierdzenie 4.2.1 dla systemu ze złożonym strumieniem Poissona), twierdzenie o postaci rozkładu opóźnienia kolejki (twierdzenie 4.1.2 dla systemu ze strumieniem Poissona) oraz twierdzenie o rozkładzie liczby obsłużonych zgłoszeń (twierdzenie 4.1.3 dla systemu ze strumieniem Poissona).

W podsumowaniu Autor przedstawił najważniejsze rezultaty pracy i wskazał na perspektywy dalszych prac badawczych, wynikających z rozprawy.

Rozprawa zawiera również dwa dodatki. W dodatku A (Narzędzia matematyczne) Autor przedstawił elementy teorii prawdopodobieństwa wykorzystywane w rozprawie, w tym procesy wykorzystywane do opisu strumienia zgłoszeń (proces Poissona, złożony proces Poissona), rozkłady wykorzystywane do opisu czasu obsługi (rozkłady: wykładniczy, gamma, hiperwykładniczy, Pareto i Weibulla) oraz metody numerycznego odwracania transformaty Laplace'a i funkcji tworzących. W dodatku B (Narzędzia symulacyjne) Doktorant przedstawił kod symulatora systemów kolejkowych prezentowanych w rozprawie.

## 2. Opinia o rozprawie

Za najbardziej interesującą i wartościową część rozprawy - z punktu widzenia rozważań teoretycznych - uważam rozdziały 3 i 4, które stanowią oryginalny wkład Autora do dziedziny, którą uprawia. W rozdziałach tych Autor opracował modele systemów kolejkowych  $M/G/1/K$  i  $M^X/G/1/K$  z  $N$ -dyscypliną i probabilistyczną dyscypliną wybudzania serwera. Doktorant wyprowadził odpowiednie charakterystyki kolejkowe dla stanów nieustalonych i podał je w postaci transformaty Laplace'a bądź w postaci funkcji tworzących transformat Laplace'a odpowiednich rozkładów probabilistycznych. Jednocześnie w dodatku A Doktorant opisał wykorzystywane w rozprawie metody numerycznego odwracania transformaty Laplace'a oraz funkcji tworzących, które umożliwiają numeryczne rozwiązanie proponowanych systemów kolejkowych.

W większości podrozdziałów, które należą do rozdziałów 2, 3 i 4, znajdują się przykłady numeryczne, które zawierają charakterystyki rozważanych systemów kolejkowych otrzymane na podstawie opracowanych w rozprawie zależności. Przykłady dobrze ilustrują zachowanie systemów i – co jest istotne dla systemów z przestojami – pokazują szybkość zbieżności do stanu ustalonego.

Obszerna literatura przytoczona w pracy (spis publikacji zawiera 180 pozycji) świadczy o rozległej wiedzy i orientacji Doktoranta w dziedzinie, którą uprawia. Zamieszczone pozycje z najnowszego piśmiennictwa (około 80 cytowanych prac zostało opublikowanych po 2000 roku) potwierdzają, że Doktorant nie zajmuje się tematyką wyczerpaną, lecz przeciwnie, jest ona aktualna i inspirująca badawczo. Doktorant uwzględnił najnowsze trendy i propozycje rozwiązań, wynikających z oczekiwań na sprawne i skuteczne metody zarządzania zasilaniem węzłów sieciowych. Niestety, Autor przytacza w rozprawie tylko jedną publikację konferencyjną, której jest współautorem. Pozostałe siedem współautorskich publikacji Autora zawiera klauzulę „zgłoszono do publikacji”. Teoretyczne rezultaty rozważanej rozprawy są interesujące i mam świadomość możliwości ich prezentacji w wartościowych

wydawnictwach. Szkoda, że przy tak dobrej pracy Autor na obecnym etapie oceny rozprawy opublikował tylko jeden artykuł.

Poziom teoretyczny i oryginalność rezultatów rozprawy oceniam wysoko. Rozprawa wpisuje się w nurt aktualnych badań nad systemami kolejkowymi w technicznym kontekście zastosowań w sieciach minimalizujących zużycie energii zasilającej węzły. Praca przedstawia oryginalne rozwiązania dwóch modeli kolejkowych z przestojami i odpowiednimi dyscyplinami wybudzania serwera.

Pewien niedosyt wzbudza aspekt techniczny rozprawy. Autor nie rozwija wątku możliwości zastosowań rozważanych modeli kolejkowych w rzeczywistych warunkach i nie analizuje granic opłacalności stosowania systemów z przestojami. W sieciach o dużych obciążeniach wykorzystanie systemów z przestojami wydaje się wątpliwe, natomiast w sieciach sensorowych może być jednym z najważniejszych mechanizmów zwiększenia ich żywotności.

Cel, zakres, wyniki osiągnięte w rezultacie badań i wnioski z nich wypływające zostały przedstawione w rozprawie jasno i czytelnie. Rozprawa napisana jest w sposób logiczny i spójny. Rezultaty analityczne ilustrowane są przykładami ułatwiającymi ich zrozumienie. Doktorant wykazał, że skutecznie posługuje się obszernym zasobem wiedzy teoretycznej, dotyczącej rozważanych systemów kolejkowych, takich jak np. teoria procesów stochastycznych, w szczególności procesów Markowa, włożonych procesów Markowa i procesów odnowy. Autor jasno przedstawił swój wkład do dziedziny badań, w której mieści się rozprawa. Układ, strona redakcyjna i terminologiczna rozprawy nie wzbudzają większych zastrzeżeń.

### 3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. W rozdziałach 2, 3 i 4 Autor przedstawia przykłady numeryczne, dotyczące rozważanych systemów kolejkowych. Wszystkie rezultaty – jak pisze autor w rozdziale pierwszym – zweryfikowano symulacyjnie. W rozprawie nie podano parametrów symulacji (np. liczba serii, liczba zdarzeń w serii) oraz przedziałów ufności dla uzyskanych wyników.
2. W rozprawie Doktorant sygnalizuje, że ruch w rzeczywistych sieciach może mieć złożony charakter o dalekosiężnej autokorelacji. Problem ten Autor próbuje rozwiązać poprzez aproksymację czasu obsługi rozkładami Pareto i Weibulla. Takie podejście nie rozwiązuje – moim zdaniem – zagadnienia opisu ruchu, ponieważ ruch oferowany (a nie obsłużony) ma decydujący wpływ na pracę systemu kolejkowego. Moim zdaniem opis ruchu oferowanego na podstawie złożonego strumienia Poissona jest niewystarczający do aproksymacji rzeczywistego ruchu we współczesnych sieciach teleinformatycznych, np. sieciach TCP/IP. Dopiero strumienie ruchu aproksymowane markowskimi modelami MMPP i BMAP mogą uwzględnić złożony i w dużej mierze samopodobny charakter ruchu IP. Fakt ten nie pomniejsza teoretycznych i oryginalnych rezultatów rozprawy, otrzymanych dla złożonego strumienia Poissona, jednak wymagałby choć krótkiego komentarza.

3. Autor w rozprawie rozwiązuje problem różnej długości pakietów na podstawie potraktowania zgłoszenia grupowego jako jednego zgłoszenia o zwielokrotnionej długości bitowej. Jakie są ograniczenia takiej dyskretyzacji długości pakietów i w jakich warunkach złożony proces Poissona może być wykorzystany do aproksymacji strumieni pakietów o zmiennej długości bitowej?
4. Jaka jest złożoność obliczeniowa proponowanych modeli? W pracach teoretycznych problem efektywności obliczeń numerycznych jest na ogół pomijany, a proponowane rozwiązania często charakteryzują się dużą złożonością, uniemożliwiającą ich zastosowania inżynierskie. Czy zastosowane metody, zwłaszcza numeryczne metody odwracania transformat, są odpowiednie w kontekście innych metod dostępnych w literaturze? Oczekiwałbym krótkiego komentarza na ten temat.

#### **4. Wnioski końcowe**

Nie znalazłem w pracy błędów merytorycznych a wszystkie przedstawione w punkcie 3 zastrzeżenia mają charakter dyskusyjny i nie mogą mieć wpływu na ostateczną, jednoznacznie pozytywną ocenę pracy.

**Biorąc zatem pod uwagę jakość i oryginalność przedłożonej rozprawy doktorskiej (dwa nowe modele kolejkowe) wyrażam przekonanie, że spełnia ona wymagania ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych.**

**Dlatego wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Dariusza Kurzyka do publicznej obrony.**

