

prof. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski
Instytut Informatyki, Wydział AEiI
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

Gliwice, 1 maja 2015 r.

Recenzja osiągnięcia naukowego
przedstawionego przez dr inż. Piotra Zwierzykowskiego,
„Modelowanie mechanizmów zarządzania ruchem w wielosługowych
sieciach komórkowych”
oraz ocena jego dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego,
w związku z jego wnioskiem o przeprowadzenie postępowania
habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie
telekomunikacja.

Podstawowe informacje o Kandydacie

Dr inż. Piotr Zwierzykowski uzyskał dyplom magistra inżyniera elektroniki i telekomunikacji na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej w 1995 r., a następnie w tym samym miejscu stopień doktora nauk technicznych w roku 2002. Cała jego działalność akademicka jest związana z Politechniką Poznańską, gdzie pracował w latach 1995 - 2006 jako asystent i adiunkt w Instytucie Elektroniki i Telekomunikacji wydziału Elektrycznego, a następnie jako adiunkt i wykładowca w Katedrze Sieci Telekomunikacyjnych i Komputerowych na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji.

Ocena rozprawy habilitacyjnej – osiągnięcia naukowego

Zgłoszone osiągnięcie naukowe to monografia na temat analitycznych modeli wielosługowych systemów komórkowych, biorąca pod uwagę mechanizmy zarządzania ruchem w interfejsach sieci dostępowej oraz obsługę różnych rodzajów ruchów, z których każdy ma inne właściwości i odrębne wymagania jakości usług.

W recenzowanej monografii Autor stawia sobie za zadanie opracowanie modeli analitycznych wybranych mechanizmów zarządzania ruchem, występujących w wielosługowych sieciach komórkowych. Monografia liczy ok. 140 stron i składa się z 8 rozdziałów oraz podsumowania.

Krótki rozdział wprowadzający przedstawia zamierzenia książki.

W rozdziale drugim zaprezentowano niektóre mechanizmy zarządzania ruchem we współczesnych sieciach komórkowych, albo zaprojektowane wcześniej dla innych sieci i zmodyfikowane dla potrzeb ruchu wielousługowego (dotyczy to rezerwacji zasobów, kompresji przepływności, ograniczenia dostępu do zasobów) albo nowe (mechanizm zestawiania połączeń rozgałęźnych). Opis ten jest wykorzystany później przy formułowaniu modeli analitycznych wybranych mechanizmów. Przegląd jest dobrze udokumentowany bibliograficznie i stara się przedstawić systematykę rozważanych mechanizmów.

W rozdziale trzecim przedstawiono podstawy modelowania systemów obsługujących ruch wielousługowy, w szczególności omówiono sposoby dyskretyzacji zasobów, zasadnicze modele systemów wielousługowych, a także sposoby modelowania interfejsów w przewodowej i bezprzewodowej części sieci komórkowej. Wykorzystywany aparat matematyczny to wielowymiarowe łańcuchy Markowa z ciągłym czasem, do których prowadzi założenie, że nadchodzące strumienie zgłoszeń są poissonowskie, a czas obsługi zgłoszeń wszystkich klas ma rozkład wykładniczy. Stan wielowymiarowego procesu Markowa określa wektor, którego elementy definiują liczbę obecnych w danej chwili zgłoszeń każdej klasy ruchu. Zależność od stanu uwzględnia się w warunkowych intensywnościach przejść pomiędzy stanami. Stany są następnie agregowane poprzez wprowadzenie makrostanów odpowiadających ustalonej liczbie zajętych jednostek alokacji. Dla rozwiązania powstałych modeli Autor wybiera przybliżone podejście Kaufman-Roberts, w którym zakłada się, że intensywności przejścia nie są funkcją stanu procesu, a funkcją makrostanu (czyli nie uwzględnia się ich zależności od podziału zajętych jednostek alokacji pomiędzy klasy zgłoszeń, a jedynie ich sumaryczny przydział. Prowadzi to do zastąpienia (przybliżenia) wielowymiarowego łańcucha Markowa łańcuchem jednowymiarowym i do znacznego uproszczenia obliczeń. To podejście jest konsekwentnie stosowane w następnych rozdziałach do analizy szeregu modeli, a wyniki liczbowe są kontrolowane poprzez porównanie z modelami symulacyjnymi.

Nie kwestionuję zasadności tego podejścia, choć wydaje mi się, że Autor przecenia problemy związane z numerycznym rozwiązywaniem bardzo złożonych modeli Markowa. Od początku lat osiemdziesiątych, kiedy zaproponowano rekurencyjny wzór Kaufmana-Roberts, praktyczne możliwości numerycznego rozwiązywania modeli Markowa bardzo wzrosły, tak z powodu wzrostu mocy obliczeniowych, jak i dopracowania metod numerycznych, które się stosuje (np. metody projekcyjne) i utworzenia związanych z nimi narzędzi programowych (np. PEPS we Francji, a w Polsce Olymp), ułatwia rozwiązywanie bardzo dużych modeli Markowa o milionach

stanów.

Rozdział czwarty dotyczy wielousługowych systemów z priorytetami dla wszystkich lub wybranych klas ruchu.

Rozdział piąty zawiera opis metody modelowania wielousługowych systemów z kompresją bezprogową oraz z kompresją równomierną i nierównomierną.

Rozdział szósty dotyczy systemów z jednokierunkową kompresją progową – z progiem pojedynczym i wieloma progami i z rezerwacją przepływności. Przedstawiono też zmodyfikowany model systemu progowego.

W rozdziale siódmym omówiono modele systemów z dwukierunkową kompresją progową. Przedstawiono modele systemów z pojedynczą i podwójną histerezą, analizę wpływu położenia progów na sposób modelowania systemu oraz zasady tworzenia uogólnionych modeli z histerezą.

Rozdział ósmy jest poświęcony modelom obsługi połączeń rozgałęznych w sieci komórkowej. Przedstawia możliwe scenariusze zestawiania połączeń rozgałęznych oraz model sieci komórkowej z różnymi mechanizmami zarządzania ruchem i połączeniami rozgałęzonymi.

Do najważniejszych wyników przedstawionych w monografii można zaliczyć opracowanie analitycznych modeli wielousługowych opisujących zarządzanie ruchem za pomocą mechanizmu priorytetyzacji wszystkich klas ruchu lub wybranych klas ruchu, mechanizm kompresji bezprogowej, mechanizm jedno- i dwukierunkowej kompresji progowej oraz mechanizm wielokrotnej histerezy zgłoszeń. Następnym wynikiem pracy jest metoda wyznaczania prawdopodobieństwa blokady w wielousługowych sieciach komórkowych z połączeniami rozgałęzonymi. Monografia ma spójny charakter dzięki zastosowaniu tej samej metody analizy. Uzyskane wyniki mają znaczenie praktyczne, a niektóre już były stosowane w praktyce w ramach projektów realizowanych na zamówienie operatora sieci komórkowej.

Metody analitycznego i symulacyjnego modelowania wspierają rozwój systemów komputerowych i sieci komputerowych od samego ich początku, tak jak wcześniej, od czasów Erlanga i Engseta, wspierały rozwój telefonii. Dynamika rozwoju ruchomych sieci bezprzewodowych stwarza ciągle nowe wyzwania i wymaga stałego doskonalenia metod analizy własności statystycznych transmitowanego ruchu oraz analizy pracy i oceny efektywności nowych rozwiązań proponowanych dla sieci. Jest to związane z jednej strony z bardzo dobrą znajomością zasad pracy sieci i ciągle rozwijających się standardów, a z drugiej – znajomości zaawansowanego aparatu matematycznego niezbędnego do modelowania zachowania się sieci.

Książka spełnia swoje zadania dobrze i jest wyróżniającą się pozycją, nie tylko

jeśli chodzi o literaturę polską, która jest raczej skąpa, ale także dobrze wypada – tak jeśli chodzi o aktualność omawianych zagadnień, prezentowany poziom analizy matematycznej, zwięzłość, jasność i logikę wyводу – na tle istniejącej w tym zakresie literatury światowej dotyczącej inżynierii ruchu.

Bibliografia liczy 130 pozycji i dokumentuje preferencje Autora w doborze literatury. Mało jest w niej odniesień do symulacji zdarzeń dyskretnych wykorzystywanej przez Autora do kontroli modeli analitycznych; prócz klasycznych pozycji Tysze-
ra dodałbym odniesienia do współcześnie używanych narzędzi symulacyjnych typu OMNET++ czy NeTSiM.

Formalnie jako osiągnięcie naukowe w przewodzie habilitacyjnym jest zgłoszona omawiana monografia, jest to jednak wierzchołek góry lodowej – wielu publikacji, które doprowadziły Autora do omawianego tu tekstu.

Przede wszystkim jest to kontynuacja trzech poprzednich książek, których Kandydat jest współautorem i które wysoko oceniam: *Podstawy projektowania sieci teleinformatycznych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej (gdzie Kandydat zajmował się modelami łączy z ruchem zintegrowanym i metodami wymiarowania wiązek w sieci szerokopasmowej), *Modelowanie i wymiarowanie ruchomych sieci bezprzewodowych* WKiŁ 2009 (gdzie jego udział dotyczył opisu modeli analitycznych do modelowania i wymiarowania systemów komórkowych, w tym metod modelowania interfejsu radiowego) i w szczególności będącej rozszerzoną wersją poprzedniej *Modeling and Dimensioning of Mobile Networks from GSM to LTE*, Wiley 2011 (w której opisywał metody modelowania interfejsu radiowego komórki sieci z miękką pojemnością, modele grupy komórek, modele przelewów międzykomórkowych, metody modelowania interfejsu *lub*).

Praca jest napisana na ogół starannie, choć występują drobne niekonsekwencje oznaczeń, jak użycie liter m i M na oznaczenie liczby strumieni zgłoszeń.

Reasumując, uważam, że przedstawione przez dr inż. Piotra Zwierzykowskiego osiągnięcie naukowe spełnia bardzo dobrze ustawowe i zwyczajowe wymagania i wnioskuję o jego przyjęcie.

Ocena dorobku naukowego

Dorobek naukowy dr inż. Piotra Zwierzykowskiego jest bardzo spójny i skupia się wokół zagadnień poruszanych w monografii – analitycznych modeli dla oceny efektywności i wymiarowania ruchomych sieci bezprzewodowych, w szczególności komórkowych sieci wielousługowych. Dodatkowo, choć też niewiele odbiegając od głównego nurtu prac, Autor zajmował się m.in. modelowaniem mechanizmu przenoszenia po-

łączeń (handover) w sieciach komórkowych oraz modelowaniem interfejsu radiowego w sieciach UMTS. Zajmował się także problemami routingu, badając algorytmy i protokoły routingu rozgałęźnego oraz oceniając ich efektywność.

Analizowany dorobek jest duży, tak pod względem merytorycznym jak objętościowym. Przed uzyskaniem stopnia doktora Kandydat opublikował łącznie 39 publikacji, przeważnie konferencyjnych, na konferencjach krajowych (21) i międzynarodowych (14). Po uzyskaniu stopnia doktora był autorem i współautorem 176 publikacji, z których najważniejsze moim zdaniem to wspomniane powyżej 2 książki oraz 8 artykułów w czasopismach z listy JCR, takich jak *Communication International Journal of Systems* (Wiley), *International Journal of Electronics and Communications*, Elsevier, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *Telecommunications Systems*, Springer, *IEICE Transactions on Communications* (2), *European Transactions on Communications*, *Performance Evaluation*. W dalszej kolejności trzeba zauważyć artykuły w innych czasopismach zagranicznych (7), rozdziały w monografiach wydanych za granicą (13), artykuły w obcojęzycznych czasopismach polskich (14), rozdziały w monografiach wydanych w kraju (11), artykuły w materiałach konferencji międzynarodowych (49) i krajowych (46).

Dane bibliometryczne tego dorobku są następujące. Sumaryczny impact factor dla czasopism z listy JCR w momencie ukazania się publikacji to $IF = 13.505$, indeks Hirsha H dla cytowań prac opublikowanych po doktoracie wynosi w WoS $H = 5$ (dla wszystkich publikacji $H = 6$), a w Google Scholar odpowiednio $H = 11$ ($H = 12$), liczba cytowań według WoS dla publikacji po doktoracie wynosi 107 (118 dla wszystkich publikacji), liczba cytowań według Google Scholar dla publikacji po doktoracie wynosi 531 (574 dla wszystkich publikacji).

Są to wartości wysokie, świadczące o tym, że publikacje dr inż. Piotra Zwierzykowskiego dobrze weszły w światowy obieg literatury. Oprócz swoich niewątpliwych osobistych zalet w pracy naukowej – zdolności i pracowitości – Kandydat ma szczęście być członkiem bardzo dobrego zespołu, ekipy prof. Macieja Stasiaka, co na pewno stymuluje go i ma wpływ na jego wyróżniające się wyniki.

Reasumując, oceniam dorobek naukowy Kandydata bardzo pozytywnie.

Działalność dydaktyczna i organizacyjna

W czasie 20 lat pracy akademickiej dr inż. Piotr Zwierzykowski prowadził wykłady, także dla doktorantów, o zróżnicowanej tematyce: Usługi sieciowe i inżynieria ruchu, Wprowadzenie do sieci teleinformatycznych, Zaawansowane sieci komputerowe

we, Network Theory, Metody optymalizacji, Optymalizacja sieci teleinformatycznych, Modelowanie i symulacja. Prowadził też liczne ćwiczenia i laboratoria, projekty, seminaria, kursy szkoleniowe; jest współautorem 10 skryptów, wypromował 62 magistrów inżynierów i 34 inżynierów; brał udział w 4 projektach dydaktycznych. Lista jego aktywności pedagogicznych jest długa i różnorodna; świadczy o dużym zaangażowaniu w nauczanie i dużej pracowitości Kandydata. Jego działalność dydaktyczna była wyróżniana i nagradzana (m. in. Medal Komisji Edukacji Narodowej, nagroda rektora I stopnia).

Kandydat prowadził również ożywioną działalność organizacyjną na polu nauki: był członkiem (często wieloletnim) rad programowych ok. 20 międzynarodowych konferencji, biorąc pod uwagę cykliczność konferencji, jego praca dotyczy udziału w 45 radach programowych. był recenzentem 30 międzynarodowych znanych konferencji (21 z nich to konferencje związane z IEEE), jest członkiem 7 stowarzyszeń krajowych i zagranicznych, w tym IEEE (senior member) i ACM. Był członkiem komitetów organizacyjnych 7 kongresów i konferencji, współorganizatorem 3 sesji specjalnych podczas konferencji międzynarodowych (3-krotnie IEEE & IET International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing).

Wymiennieć trzeba jeszcze pracę w redakcjach kilku czasopism, współpracę naukową z dwoma uniwersytetami w Grecji, udział w zespołach eksperckich i konkursowych.

Jest to z pewnością wyróżniająca się, ponadprzeciętna aktywność zawodowa, świadcząca też o mocnej międzynarodowej pozycji Kandydata.

Wniosek końcowy

Uważam, że zarówno zgłoszona jako osiągnięcie naukowe monografia, jak i dorobek naukowy i całokształt działalności akademickiej dra inż. Piotra Zwierzykowskiego w pełni spełniają wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym, a Kandydat wykazuje się bardzo dużą aktywnością naukową i jest rozpoznawalny w międzynarodowym środowisku. Jego rezultaty w dziedzinie analitycznych modeli dla oceny efektywności i wymiarowania ruchomych sieci bezprzewodowych są nowatorskie i wzbogacają naszą wiedzę, mają też znaczenie praktyczne. Wnoszę o dopuszczenie go do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego w postępowaniu o uzyskanie habilitacji w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie telekomunikacja.