

AUTOREFERAT

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko

Halina Tarasiuk

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

04.07.1996 Magistra inżyniera w zakresie Informatyki, Politechnika Szczecińska, Instytut Informatyki, Szczecin

28.09.2004 Doktora nauk technicznych w zakresie Telekomunikacji (z wyróżnieniem) nadany uchwałą Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej

Rozprawa doktorska pt.: „Metody różnicowania jakości obsługi w sieciach z komutacją pakietów”

Promotor: Prof. dr hab. inż. Wojciech Burakowski

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

01.09.1996–31.08.1997 Asystent, Politechnika Szczecińska, Instytut Informatyki, Szczecin

01.12.1997-31.12.1998 Asystent naukowy, Instytut Łączności, Warszawa, Miedzeszyn

01.01.1999–31.03.2003 Specjalista, Telekomunikacja Polska S.A., Centrum Badawczo-Rozwojowe, Warszawa

01.12.2000–2004 Asystent, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych, Instytut Telekomunikacji, Warszawa

2004-29.02.2016 Adiunkt, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych, Instytut Telekomunikacji, Zespół Architektur i Zastosowań Internetu, Warszawa

01.03.2016-obecnie Starszy wykładowca, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych, Instytut Telekomunikacji, Zespół Architektur i Zastosowań Internetu, Warszawa

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Metody sterowania ruchem i architektury dla sieci z gwarancją jakości przekazu

b) Jednotematyczny cykl 20 wybranych publikacji

1. H. Tarasiuk, R. Janowski, W. Burakowski, "Admissible traffic load of real time class of service for inter-domain peers", In Proc. of Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services, ICAS/ICNS 2005, IEEE Computer Society, 23-28 October 2005, Papeete, Tahiti, French Polynesia, pp. 1-10 (**w bazie WoS**).
2. H. Tarasiuk, R. Janowski, W. Burakowski, "Application of Admission Control and Traffic Shaping for providing TCP Throughput Guarantees", In Proc. of International Workshop Towards the QoS Internet, To-QoS'2006 in conjunction with 2006 IFIP Networking Conference, Coimbra, Portugal, 19 May 2006, pp. 163-172.
3. K. Kurowski, H. Tarasiuk, "On performance evaluation of handling streaming traffic in IP networks using TFRC protocol", A. Das, et al. (Eds.): IFIP Networking Conference 2008, LNCS 4982, pp. 207-214, 2008, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008 (**w bazie WoS**).
4. M. Caglar, I. Gojmerac, M. Klimo, M. Menth (Ed.), M. Meo, S. Molnár, I. Norros, P. Olivier (Ed.), S. Oueslati, Ö. Özkasap, H. Tarasiuk, Chapter 1: "IP-Based Networks", J. Brazio, et al. (Eds.), "Analysis and Design of Advanced Multiservice Networks Supporting Mobility, Multimedia and Internetworking - COST Action 279 Final Report", Springer 2006, pp. 5-54.
5. W. Burakowski, A. Bęben, H. Tarasiuk, J. Śliwiński, R. Janowski, J. Mongay Batalla, P. Krawiec, "Provision of End-to-End QoS in Heterogeneous Multi-Domain Networks", Annals of Telecommunications, Springer-Verlag, Vol. 63, Issue 11, France 2008, pp. 559-577 (**w bazie JCR, IF=0,333**).
6. W. Burakowski, M. Diaz, O. Dugeon, A. Pietrabissa, F. Racaru, G. Santoro, H. Tarasiuk, "On Multi-Domain Connection Admission Control in the EuQoS System", In Proc. of 15th IST Mobile & Wireless Communications Summit, Myconos, Greece, 4-8 June, 2006, pp. 1-5.
7. M. Diaz, J. Enriquez-Gabeiras, L. Baresse, A. Beben, W. Burakowski, M. A. Callejo-Rodriguez, J. Carapinha, O. Dugeon, E. Exposito, M. Gineste, E. Mingozi, G. Stea, A. Pietrabissa, F. Racaru, J. Śliwiński, H. Tarasiuk, N. Van Wambeke, M. Wulff, Chapter 6: "The EuQoS system", T. Braun, M. Diaz, J. Enriquez Gabeiras, T. Staub (Eds.), "End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks", Springer 2008, pp. 137-185.
8. C. Cicconetti, G. Garcia de Blas, X. Masip, J. Sa Silva, G. Santoro, G. Stea, H. Tarasiuk, "Simulation Model for End-to-end QoS across Heterogeneous Networks", Proc. of 3rd International Workshop on Internet Performance, Simulation, Monitoring and Measurements, IPS-MoMe 2005, Warsaw, Poland, pp. 1-11.
9. H. Tarasiuk, J. Mongay Batalla, R. Janowski, W. Burakowski, G. Stea, C. Cicconetti, J. Sa Silva, G. Garcia-de Blas, F. J. Ramon Salguero, "Designing the Simulative Evaluation of an Architecture for Supporting QoS on a Large Scale", In Proc. of 1st International Workshop on the Evaluation of Quality of Service through Simulation in the Future Internet QoSIm 2008 in conjunction with SIMUTools 2008, ACM, Marseille, March 2008, pp. 1-10.

10. E. Mingozzi, G. Stea, M. A. Callejo-Rodríguez, J. Enríquez-Gabeiras, G. García-de-Blas, F. J. Ramón-Salquero, W. Burakowski, A. Beben, J. Sliwinski, H. Tarasiuk, O. Dugeon, M. Diaz, L. Baresse, E. Monteiro, "EuQoS: End-to-End Quality of Service over Heterogeneous Networks", *Computer Communications*, Vol. 32, Issue 12, Elsevier, July 2009, pp. 1355-1370 **(w bazie JCR, IF=0,933)**.
11. W. Burakowski, J. Sliwiński, H. Tarasiuk, A. Bęben, E. Niewiadomska-Szynkiewicz, P. Pyda, J. Mongay Batalla, „The IP QoS System”, *Journal of Telecommunications and Information Technology*, Vol. 3, 2011, pp. 5-11.
12. H. Tarasiuk, J. Sliwiński, P. Arabas, P. Jaskóła, W. Góralski, „Performance Evaluation of Signaling in the IP QoS System”, *Journal of Telecommunications and Information Technology*, Vol. 3, 2011, pp. 12-20.
13. H. Tarasiuk, J. Rogowski, „On performance evaluation of loss-based overload control mechanism in signaling system with SIP protocol”, *Information Sciences and Systems 2014, ISCIS 29th Annual Symposium*, E. Gelenbe, T. Czachórski, R. Lent (Eds.), *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer 2014, pp. 345-354 **(w bazie WoS)**.
14. W. Burakowski, H. Tarasiuk, A. Beben, G. Danilewicz, “Virtualized Network Infrastructure Supporting Co-existence of Parallel Internet”, In *Proc. of 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, SNDCP 2012*, Kyoto, Japan, 2012, pp. 679-684.
15. W. Burakowski, A. Bęben, J. Sliwiński, H. Tarasiuk, A. Binczewski, A. Grzech, T. Czachórski, “The Future Internet Engineering Project in Poland: Goals and Achievements”, In “Towards and Beyond Europe 2020 – the Significance of Future Internet for Regional Development. Future Internet Week Report”, 2012, Future Internet Week, Poznan, Poland 2012, pp. 123-136.
16. H. Tarasiuk, S. Hanczewski, A. Kaliszan, R. Szuman, Ł. Ogródowczyk, I. Olszewski, M. Giertych, P. Wisniewski, „ A Proposal of the IPv6 QoS System Implementation in Virtual Infrastructure”, In *Proc. of 15th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, Networks 2012*, October, Rome, Italy 2012, pp. 1-6 **(w bazie WoS)**.
17. H. Tarasiuk, S. Hanczewski, A. Kaliszan, R. Szuman, Ł. Ogródowczyk, I. Olszewski, M. Giertych, P. Wiśniewski, „The IPv6 QoS System Implementation in Virtual Infrastructure”, *Telecommunications System*, Vol. 61, Issue 2, Springer 2016, DOI: 10.1007/s11235-015-9996-6, od 2015 w wersji *on-line* **(w bazie JCR, IF=0,705)**.
18. H. Tarasiuk, J. Rogowski, “On the signaling system in the IPv6 QoS Parallel Internet”, In *Proc. of 8th IEEE, IET Int. Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing CSNDSP 2012*, Poznań, Poland, July 2012, pp. 1-6 **(w bazie WoS)**.
19. J. Granat, W. Szymak, J. Mongay Batalla, W. Latoszek, H. Tarasiuk, M. Giertych, Ł. Ogródowczyk, I. Olszewski, R. Szuman, „Management System of the IPv6 QoS Parallel Internet”, In *Proc. of 8th IEEE, IET Int. Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing CSNDSP 2012*, Poznań, Poland, July 2012, pp. 1-6 **(w bazie WoS)**.
20. P. Świątek, H. Tarasiuk, M. Natkaniec, „Delivery of E-Health Services in Next Generation Networks”, *Intelligent Information and Database Systems*, N. T. Nguyen et al. (Eds.): *ACIIDS 2015, Part II, LNCS 9012*, LNAI, Springer 2015, pp. 453-462.

Szczegółowy opis udziału własnego oraz współautorów w poszczególnych publikacjach zawierają odpowiednio Załącznik 4 oraz oświadczenia współautorów publikacji zamieszczone w Załączniku 3.

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Celem prac, które zostały podsumowane w ww. cyklu 20 publikacji, było zaprojektowanie, implementacja i przetestowanie sieci gwarantujących jakość przekazu ze szczególnym uwzględnieniem metod sterowania ruchem i aspektów architektury systemu. Należy uściślić, iż sieci gwarantujące jakość przekazu są to sieci, które gwarantują jakość przekazu na poziomie poszczególnych połączeń realizowanych przez sieć, tj., na poziomie mikro-przepływów (*microflow*). W szczególności, przedmiotem moich prac były rozwiązania dla dwóch rodzajów sieci: Sieci Następnej Generacji (*Next Generation Networks - NGN*) oraz Sieci Nowej Generacji (*New Generation Networks - NwGN*). Dlatego też, w niniejszym autoreferacie przedstawię uzyskane przeze mnie wyniki z podziałem na dwie części: I. Sieci Następnej Generacji, II. Sieci Nowej Generacji.

I. Sieci Następnej Generacji

Na świecie prace nad Sieciami Następnej Generacji o strukturze wielodomenowej trwały przez ostatnie 15 lat. Prace te dotyczyły m.in. wzbogacenia sieci IP (*Internet Protocol*) oraz sieci dostępowych (np. xDSL, LAN/Ethernet, UMTS, WiFi) o dodatkowe mechanizmy i funkcje, które pozwalają zapewnić jakość przekazu pakietów przez sieć dla wybranych połączeń (*Quality of Service - QoS*), w relacji „od końca do końca” (*e2e, end-to-end*), tj. od terminala do terminala, co jest niezmiernie ważne przy korzystaniu przykładowo z tzw. aplikacji/usług multimedialnych, VoIP (*Voice over IP*), VoD (*Video on Demand*), telewizji IP - IPTV (*Internet Protocol Television*), czy przekazu dużych zbiorów danych. Zasadnicze wyniki badań, które osiągnęłam w swoich pracach nad sieciami NGN, i które podsumowałam m.in. w publikacjach [1] – [13], to:

- Opracowanie metod sterowania ruchem w węzłach między-domenowych [1], [2], [3], [4];
- Opracowanie ogólnego schematu zapewnienia QoS (zwanego w dalszej części modelem QoS), architektury CAC (*Connection Admission Control*), oraz scenariuszy realizacji sygnalizacji [5], [6], [7];
- Ocena skalowalności sieci [8], [9], [10];
- Opracowanie systemu sygnalizacji dla sieci IP QoS opartej na zaleceniach ITU-T¹ [11], [12], [13].

Osiągnięte wyniki są ściśle związane z wynikami, które uzyskałam przy realizacji prac w ramach europejskich i krajowych projektów naukowo-badawczych, takich jak COST 279, EuQoS, PBZ-ZR oraz projektu badawczego własnego. Wyniki te stanowią również pewną kontynuację tematyki podjętej przeze mnie w rozprawie doktorskiej i poprzednio realizowanych projektach europejskich AQUILA i COST 257 (lata 1998 - 2004).

Opracowanie metod sterowania ruchem w węzłach między-domenowych

Od początku mojej pracy naukowo-badawczej zajmuję się metodami sterowania ruchem w sieciach, przede wszystkim w sieciach oferujących jakość przekazu. W rozprawie doktorskiej zaproponowałam dwie oryginalne metody różnicowania jakości obsługi w sieciach z komutacją pakietów [COST257], [AQUILA05]. Dalsze prace kontynuowałam nad kolejnymi kierunkami badawczymi dla sieci NGN, które były podejmowane na świecie w ostatnich 10 latach.

W [1] przedstawiono oryginalną metodę sterowania ruchem dla przypadku zagregowanej klasy usług *Real time*. Zadaniem tej klasy jest agregacja w węzłach między-domenowych sieci dwóch klas usług „od końca do końca” (nazywanych w dalszej części klasami usług e2e), tj. klasy *Telephony* dla obsługi połączeń VoIP oraz klasy *RT Interactive*, np. dla obsługi połączeń wideokonferencji. Taka agregacja klas usług była oczekiwana przez operatorów sieci ze względu na możliwość lepszego wykorzystanie

¹ ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector; www.itu.int/en/ITU-T

zasobów takich jak pojemność buforów i przepływność na łączu. Lepsze wykorzystanie zasobów uzyskuje się dzięki zastosowaniu wyższego stopnia multipleksacji strumieni pakietów, niż to ma miejsce w przypadku ustanowienia zasobów dla każdej klasy oddzielnie. Obie wspomniane klasy usług mają te same wymagania na jakość przekazu pakietów przez sieć w relacji e2e i obie klasy są dedykowane dla obsługi połączeń, w ramach których jest generowany tzw. ruch strumieniowy. Różnica pomiędzy tymi klasami polega na tym, iż np. aplikacje VoIP i aplikacje wideokonferencji wymagają istotnie innych szybkości transmisji, a także przekazują pakiety o różnych rozmiarach: pakiety związane z aplikacjami głosowymi są krótkie, o rozmiarze około 200 bajtów, zaś pakiety związane z przekazem obrazu wideo mogą mieć maksymalny dopuszczalny rozmiar, tj. około 1500 bajtów. W przypadku realizacji zagregowanej klasy usług *Real time*, strumienie pakietów o różnych rozmiarach korzystają ze wspólnych zasobów, czyli buforów (rozmiar bufora jest wyrażony w liczbie pakietów) i dostępnej szybkości bitowej na łączu. Współdzielenie zasobów przez pakiety o różnych rozmiarach powoduje wpływ obsługi pakietów o większym rozmiarze na jakość obsługi pakietów krótkich. Dlatego też, zastosowanie „wprost” metody wymiarowania zasobów na podstawie analizy systemu M/D/1/B, jak ma to miejsce np. dla klas usług o homogenicznym rozmiarze pakietów [1], nie prowadzi do zapewnienia gwarancji wymaganych założonych granicznych wartości parametrów QoS. Zależności, które zostały przedstawione w [1] dla zastosowania metody analizy dyskretnej systemu kolejkowego umożliwiają obliczenie tzw. górnej granicy dla założonego poziomu strat pakietów, dla różnych proporcji obciążenia obu klas usług e2e przez strumienie pakietów. W [1] zaproponowano również algorytm przyjmowania nowych wywołań (CAC), który z jednej strony pozwala na sterowanie obciążeniem klasy usług *Real time*, zaś z drugiej strony pozwala na sterowanie obciążeniem poszczególnych klas usług e2e, co umożliwia operatorowi sieci odpowiednie wymiarowanie zasobów dla klas usług. Wyniki badań symulacyjnych przedstawione w [1] potwierdzają efektywność zaproponowanej metody, czyli gwarancję przyjętych granicznych wartości dla poziomu strat pakietów dla wszystkich proporcji obciążenia ruchem i rozmiarów pakietów obu klas usług oraz pokazują różnice w porównaniu z zastosowaniem metody wymiarowania dla systemu M/D/1/B.

Kolejne badane zagadnienie związane ze sterowaniem ruchem w węzłach między-domenowych sieci, dotyczyło znalezienia rozwiązania dla agregacji klas usług e2e typu *Non-real time*. Dla przypomnienia, aplikacje korzystające z tych klas usług nie wymagają tzw. reżimu czasu rzeczywistego. Rozważane klasy usług e2e, to *MM Streaming* dla obsługi połączeń wideo na żądanie (VoD) i *High Throughput Data* (HTD) dla obsługi transmisji dużych zbiorów danych (np. aplikacja ftp). Wymienione usługi sieciowe mają zbliżone wymagania odnośnie poziomu strat pakietów, podczas gdy opóźnienia i zmienność opóźnienia przekazywanych pakietów nie są krytyczne (w odróżnieniu do klas usług typu *Real time*). Potrzeba znalezienia rozwiązania dla agregacji omawianych klas usług e2e w jedną połączoną usługę *Non-real time* wynika z faktu, że w ramach tych usług przekazywany jest ruch o różnych profilach. Ruch generowany przez aplikacje VoD jest ruchem strumieniowym ON/OFF sterowanym z wykorzystaniem protokołu UDP, zaś np. w ramach połączenia aplikacji ftp ruch pakietów jest ruchem o charakterze elastycznym (*elastic traffic*) i jest on sterowany przy pomocy protokołu TCP. Zgodnie z wcześniejszymi badaniami i stanem sztuki obsługa połączeń strumieniowych i elastycznych w ramach jednej klasy usług nie pozwala na zapewnienie ścisłych gwarancji QoS, w tym na zapewnienie gwarancji żądanej szybkości bitowej, która jest krytyczna dla obu klas usług e2e. Proponowane rozwiązanie przedstawione w [2] bazuje na założeniu, że w tym przypadku należy zastosować mechanizm kształtowania ruchu w węzłach brzegowych (*edge nodes*) sieci dla każdego pojedynczego połączenia TCP obsługiwanego przez klasę usług e2e HTD oraz należy zastosować algorytm przyjmowania nowych wywołań CAC dla zasobów w węzłach brzegowych oraz w punktach między-domenowych sieci. Jak to udowodniono w [2], dla tak zdefiniowanego systemu, zaproponowany sposób wymiarowania zasobów dla algorytmu CAC, dzięki analizie systemu M/D/1/B, zapewnia gwarancję założonego poziomu strat pakietów i żądanej szybkości bitowej. W tym przypadku przy wymiarowaniu zasobów można zastosować dłuższe bufory, ponieważ opóźnienia pakietów nie są, jak wspomniano, krytyczne. Wyniki badań symulacyjnych przedstawione w [2] obrazują skuteczność omawianej metody sterowania ruchem dla usługi sieciowej HTD, w porównaniu z obsługą ruchu bez zastosowania mechanizmu kształtowania ruchu w węzłach

brzegowych sieci. Badania zostały przeprowadzone dla szerokiego spektrum liczby obsługiwanych połączeń TCP, wartości szybkości bitowej mechanizmu kształtowania ruchu, oraz warunków panujących w sieci, np. czasu RTT (*Round Trip Time*). Jednocześnie forma opisu ruchu poprzez parametry żądanej szybkości bitowej i bufora mechanizmu kształtowania ruchu jest taka sama, jaką możemy przyjąć dla klasy usług *MM Streaming*. W konsekwencji, wyniki uzyskane w [2] pozwalają na agregację klas usług e2e, HTD z *MM Streaming*, w węzłach między-domenowych sieci i zapewnienie odpowiedniej jakości przekazu. Różnica pomiędzy metodą proponowaną przeze mnie w rozprawie doktorskiej [AQUILA05], a rozwiązaniem zaproponowanym w [2] polega na tym, iż w tym przypadku, aplikacja nie musi być uzupełniana o dodatkowe mechanizmy sterowania, tj. ustawienie okna odbiorczego TCP na poziomie uprzednio wyznaczonym analitycznie.

W ramach prac nad metodami sterowania ruchem w węzłach między-domenowych sieci dla klasy usług *Non-real time*, w [3] badałam również możliwości zastosowania nowego protokołu TFRC (*TCP Friendly Rate Control*) dla transmisji obrazów wideo aplikacji VoD (zamiast dotychczas stosowanego protokołu UDP) i połączeń TCP w ramach jednej zagregowanej klasy usług. Uzyskane wyniki badań symulacyjnych dla obsługi wybranych reprezentatywnych obrazów aplikacji VoD pokazują, że przy zachowaniu pewnych warunków związanych z liczbą połączeń i założeniem krótkiego bufora w węzłach sieci jest możliwe zapewnienie gwarancji QoS dla przekazu wideo. Jednakże biorąc pod uwagę, że profil ruchu połączeń TCP zależy od bardzo wielu parametrów (np. RTT, poziomu strat pakietów w sieci), nie wydaje się, aby istniała „prosta” metoda analizy systemu, która pozwoliłaby na sformułowanie zależności analitycznej dla opracowania dla tego przypadku odpowiednich algorytmów CAC.

Pozycja [4] przedstawia raport końcowy projektu COST 279². Problemy badawcze i rozwiązania przedstawione w [1], [2], i [3], podsumowałam w tym raporcie na tle stanu sztuki dla wielousługowej sieci IP i algorytmów przyjmowania nowych wywołań, w tym wcześniejszych rozwiązań projektu AQUILA³.

Opracowanie modelu QoS, architektury CAC oraz scenariuszy realizacji sygnalizacji

Moje dalsze prace [5], [6], i [7] były związane z projektowaniem kompletnego oryginalnego systemu gwarantującego jakość przekazu w heterogenicznych sieciach wielousługowych. Prace te były realizowane w ramach projektu EuQoS⁴. Opracowany system EuQoS realizuje następujące funkcje: (A) zarządzania zasobami i przeprowadzania pomiarów w sieci, (B) wymiarowania zasobów dla każdej klasy usług e2e i określenia ratingu, (C) przyjmowania nowych wywołań CAC i (D) obsługę pakietów w sieci w ramach każdej klasy usług e2e. Moje prace koncentrowały się na opracowaniu funkcji (C) i (D) dla systemu EuQoS. W szczególności moje prace dotyczyły: (1) opracowania tzw. modelu QoS (*QoS Framework*), który wiąże wszystkie elementy funkcjonalne systemu EuQoS poprzez wprowadzenie modelu klas usług e2e i ich odwzorowania na tzw. ścieżki QoS; (2) stworzenia architektury CAC, która ostatecznie stanowi „serce” architektury i systemu EuQoS opracowanych w projekcie; oraz (3) wypracowania scenariuszy sygnalizacji w ramach funkcji CAC dla realizacji żądań QoS generowanych przez aplikacje. W projekcie, omawiane metody sterowania ruchem zaproponowane w [1], [2] i [4] były podstawą realizacji funkcji CAC, a następnie rozwiązania zaproponowane w [5], [6], i [7] zostały zintegrowane z pozostałą częścią systemu EuQoS, czyli funkcjami (A) i (B).

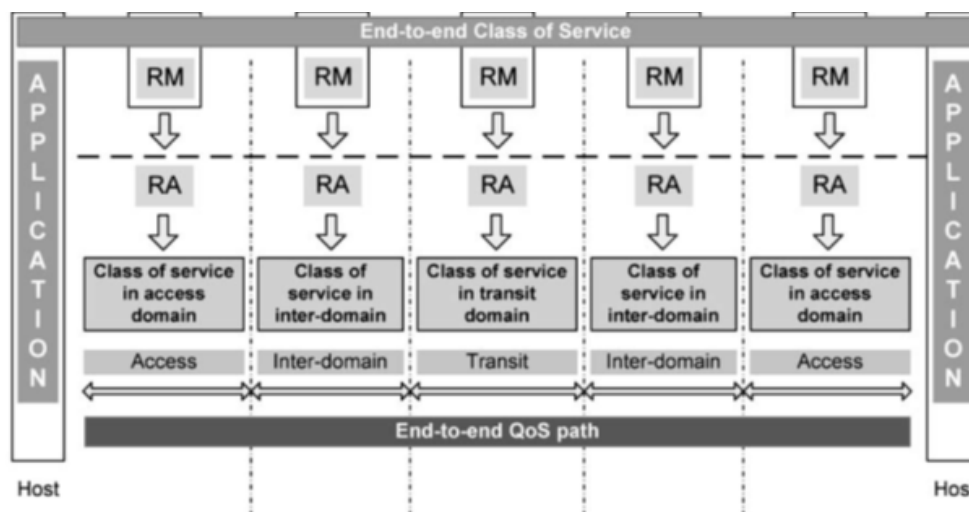
² COST 279 (2001-2005): Analysis and Design of Advanced Multiservice Networks Supporting Mobility, Multimedia and Interworking; Rola w projekcie: ekspert; http://www.cost.eu/COST_Actions/ict/Actions/279

³ AQUILA (2000-2003): Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-based Layered Architecture: IST-1999-10077; Rola w projekcie: wykonawca; <http://www-st.inf.tu-dresden.de/aquila/>

⁴ EuQoS (2004-2008): End-to-end Quality of Service support over heterogeneous networks: IST-2002-2.3.5, Research Networking Testbeds, Kontrakt: 004503; Rola w projekcie: wykonawca, kierownik grupy roboczej WP2.1; http://cordis.europa.eu/project/rcn/71874_en.html

W konsekwencji, na podstawie uzyskanych wyników badań dla metod sterowania ruchem opisanych w [1], [2] i [4], w [5] zaproponowałam odwzorowanie klas usług e2e na usługi w węzłach międzydomenowych (dalej nazywane klasami usług międzydomenowych) dla systemu EuQoS oraz ich pełne definicje. Definicje zagregowanych klas usług międzydomenowych obejmują: wymagania QoS, algorytmy CAC dla klas usług *Real time* i *Non-real time*, zasady wymiarowania zasobów, mechanizmy QoS: klasyfikacji i szeregowania pakietów dla zapewnienia szybkości bitowej na łączu dla poszczególnych klas usług międzydomenowych. Oprócz omawianych zagregowanych klas usług *Real time* i *Non-real time*, sieć w węzłach międzydomenowych wspiera międzydomenowe klasy usług dla obsługi ruchu sygnalizacyjnego – *Signalling*, generowanego w fazie przyjmowania nowych wywołań (CAC), a także usługę *Standard*, dla obsługi ruchu typu *best effort*. Klasy usług, *Signalling* i *Standard*, ze względu na charakter obsługiwanego ruchu wymagają jedynie odpowiedniego wymiarowania, gdyż w tym przypadku nie można stosować funkcji CAC.

Ostatecznie, w [5] przedstawiono oryginalny model QoS dla zapewnienia gwarancji jakości przekazu pakietów w heterogenicznych sieciach wielodomenowych. Model QoS obejmuje zbiór klasy usług e2e, wraz z wymaganiami QoS. Dla każdej z klas usług e2e zostało zaproponowane odwzorowanie wymagań aplikacji na wymagania wyrażone w formie wartości parametrów QoS dla przekazu pakietów w sieci, takich jak opóźnienia, zmienność opóźnienia, poziom strat pakietów, szybkość bitowa. Ponadto, model QoS zawiera ogólne zasady odwzorowania klas usług e2e na klasy usług w poszczególnych domenach, w tym w sieciach dostępowych i węzłach międzydomenowych na tzw. ścieżce QoS (*end-to-end QoS path*), jak przedstawia Rysunek 1. Przyjęty model QoS został zintegrowany również z funkcjami realizowanymi przez dwa główne moduły architektury EuQoS: RM (*Resource Manager*) i RA (*Resource Allocator*).

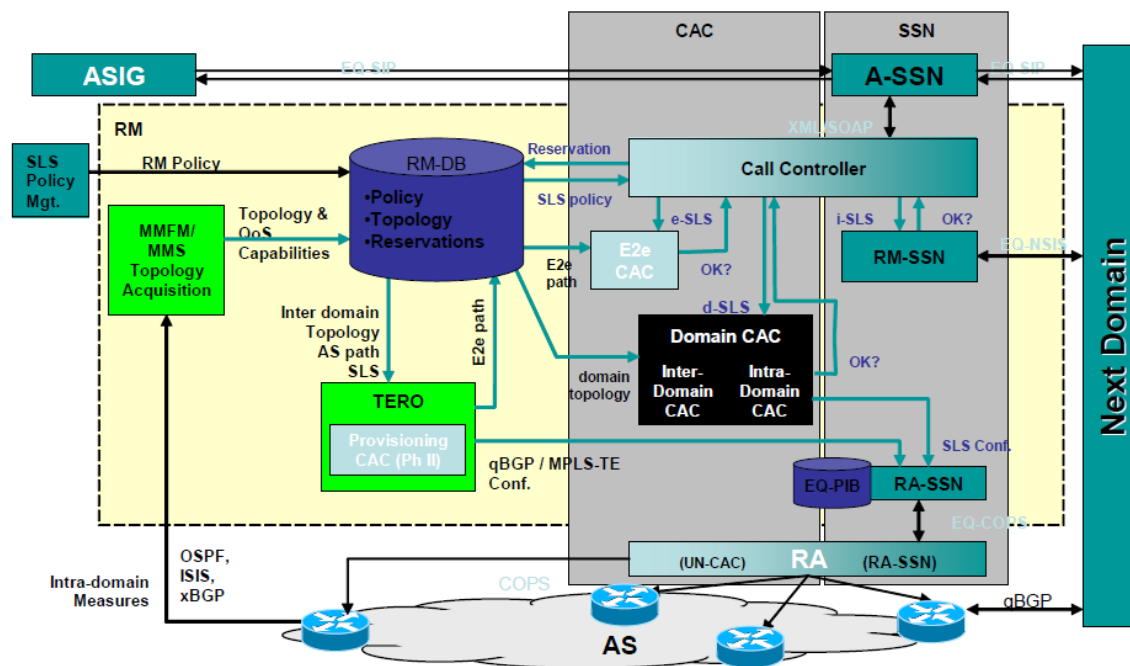


Rysunek 1. Koncepcja klas usług „od końca do końca” dla systemu EuQoS [5]

W [5] omówiono również wybrane wyniki badań symulacyjnych dla przykładowej klasy usług e2e *Telephony*, dotyczące opóźnień i poziomu strat pakietów. Badania zostały przeprowadzone z punktu widzenia pojedynczego połączenia aplikacji VoIP na ścieżce QoS oraz dla ruchu zagregowanego w węzłach międzydomenowych dla trzech punktów agregacji ruchu. W obu przypadkach otrzymane wyniki są poniżej założonych wartości granicznych przyjętych dla zastosowanej metody sterowania ruchem dla klasy usług *Real time*.

W [6] przedstawiono architekturę CAC (Rysunek 2), której wymienione elementy funkcjonalne są umieszczone w dwóch głównych modułach systemu EuQoS, czyli RM i RA. Architektura CAC jest pokazana z punktu widzenia elementów funkcjonalnych dla pierwszej domeny dostępowej i jej powiązania z pozostałymi funkcjami systemu EuQoS: zarządzania i pomiarów w sieci - MMFM (*Monitoring and Measurement and Fault Management*), wymiarowania i routingu - TERO (*Traffic Engineering and Resource Optimisation*), sygnalizacji w warstwie aplikacji ASIG (*Application Layer*

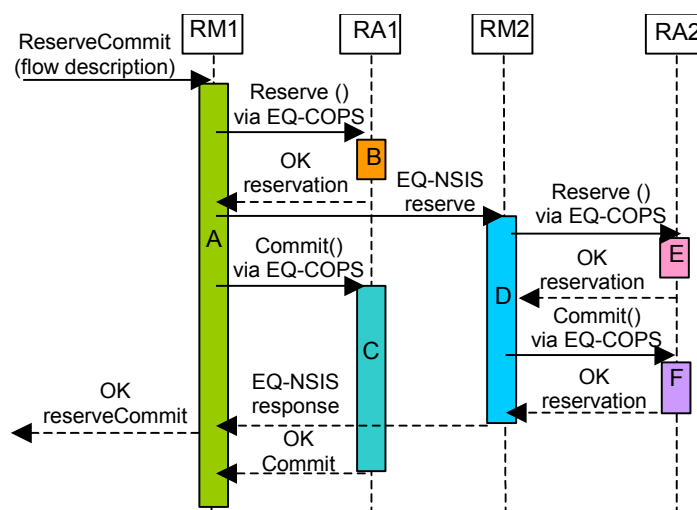
Signalling). Architektura CAC odpowiada za realizację funkcji przyjmowania nowych wywołań i składa się z następujących elementów: sterownik wywołań (*call controller*), e2e CAC, funkcja przyjmowania wywołań dla domeny (*domain CAC*), w tym funkcja CAC dla punktów między-domenowych, oraz funkcja CAC specyficzna dla danej techniki sieciowej (*UN-CAC*). Architektura CAC współpracuje z sygnalizacją aplikacji ASIG w fazie przyjmowania/odrzucania nowych wywołań. Nowe wywołania są zgłaszane właśnie przez system sygnalizacji z warstwy aplikacji do modułów CAC, w których są realizowane algorytmy CAC sterujące liczbą jednocześnie obsługiwanych połączeń w sieci tak, aby zagwarantować jakość przekazu pakietów dla poszczególnych klas usług e2e. Metody sterowania ruchem w węzłach między-domenowych zaproponowane w [1], [2], i [4] są bezpośrednio realizowane w module *Inter-domain CAC* i *UN-CAC* (*CAC algorithms*), wymagają również realizacji funkcji w węzłach brzegowych sieci poprzez moduł RA, odpowiedzialny za dalsze ustawienia np. parametrów kształtowania ruchu. W [6] przedstawiono ponadto ogólną propozycję scenariusza realizacji sygnalizacji pomiędzy elementami funkcjonalnymi architektury CAC, czyli modułami RM i RA. Dla każdej domeny są dedykowane osobne moduły RM i RA, w związku z tym moje dalsze prace były związane z opracowaniem scenariusza realizacji sygnalizacji dla żądania QoS (*QoS request*) w infrastrukturze wielo-domenowej, pomiędzy funkcjami CAC modułów RM dedykowanymi dla poszczególnych domen, jak również szczegółowym scenariuszem realizacji sygnalizacji między elementami funkcjonalnymi CAC modułów RM i RA dedykowanymi dla pojedynczej domeny.



Rysunek 2. Architektura CAC i jej powiązania z pozostałymi funkcjami systemu EuQoS [6]

Ostatecznie wypracowany i zbadany scenariusz realizacji sygnalizacji dla przypadku sieci wielodomenowej został przedstawiony w [7]. Scenariusz ten jest związany z realizacją funkcji CAC w systemie EuQoS, czyli procesu zestawienia połączenia (*invocation process*), i w związku z tym angażuje moduły funkcjonalne architektury CAC, RM i RA. Rysunek 3 przedstawia scenariusz dla procesu zestawienia połączenia/rezerwacji zasobów w sieci dwu-domenowej. W [7] przedstawiono również szczegółowy opis systemu EuQoS, który opracowaliśmy w projekcie, wraz z omawianymi rozwiązaniami zaproponowanymi w [1], [2], [4], [5], [6]. Należy podkreślić, że rozwiązania zaproponowane w [1], [2], [4], [5], [6] były ściśle powiązane z modułami TERO, MMFM i ASIG, a także formatem żądań QoS aplikacji, a w szczególności miały wpływ na wspierane klasy usług e2e w tych modułach. To zaś wymagało bezpośredniej współpracy ze wszystkimi zespołami zaangażowanymi w projekt, na wszystkich etapach realizacji projektu EuQoS. W szczególności w module wymiarowania TERO zostały przyjęte dwa podejścia do wymiarowania sieci *hard model* i *loose model* [7]. Przyjęte

modele miały wpływ na realizację scenariusza sygnalizacji. W przypadku podejścia *hard model*, wymiarowanie korzysta ze ścieżek MPLS, dlatego zaproponowany scenariusz dla sieci wielodomenowej sprowadza się do scenariusza, który przedstawia Rysunek 3. W przypadku *loose model*, scenariusz wymaga rozbudowy o sygnalizację dla węzłów między-domenowych o kolejne moduły RM i RA, dla których scenariusz jest podobny, jak dla modułów RM2 i RA2 (Rysunek 3). W uproszczeniu, w przypadku *hard model* wymagane są bardziej złożone zasady wymiarowania sieci i w praktyce jej przewymiarowania, w przypadku *loose model* wystarczą prostsze metody wymiarowania, możliwe jest lepsze wykorzystanie zasobów, ale zwiększa się liczba modułów RM i RA w procesie realizacji scenariusza sygnalizacji dla CAC. Scenariusze realizacji sygnalizacji dla obu podejść zostały zaimplementowane w prototypie systemu EuQoS. Ponadto, zostały zbadane za pomocą metod symulacyjnych i w sieci testowej. Wyniki przeprowadzonych badań zostaną omówione w dalszej części.



Rysunek 3. Scenariusz realizacji sygnalizacji dla procesu zestawiania połączenia/rezerwacji zasobów w sieci dwu-domenowej [7]

Ocena skalowalności sieci

Jako kierownik grupy roboczej WP2.1 (*Validation of the EuQoS system by simulation*) projektu EuQoS byłam odpowiedzialna m.in. za kierowanie pracami dotyczącymi oceny skalowalności architektury EuQoS i efektywności proponowanych klas usług e2e, w tym rozwiązań zaproponowanych w [1], [2], [4], [5], [6], i [7]. Zaproponowałam ogólny model systemu EuQoS [9] dla przeprowadzenia badań symulacyjnych dotyczący dwóch poziomów: (1) przekazu pakietów i (2) systemu sterowania. Dzięki warstwowemu modelowi architektury EuQoS, zaproponowałam dekompozycję modelu systemu sterowania na 3 procesy. Na tej bazie powstały modele szczegółowe, na podstawie których opracowaliśmy następujące narzędzia symulacyjne: symulator PTL (*Packet Transmission Level*) dla badania jakości przekazu pakietów klas usług e2e, oraz trzy programy symulacyjne CIL (*Call Invocation Level*) dla badań systemu sygnalizacji, tj. symulator SIM-EUQOS-SIP dla warstwy aplikacji, symulator SIM-EUQOS-SIG dla warstwy usługowej, symulator SIM-EUQOS-TI/TD dla warstwy transportowej.

W ramach prac własnych opracowałam szczegółowe modele symulacyjne i przeanalizowałam otrzymane wyniki badań dla następujących przypadków. W przypadku symulatora PTL [8], opracowałam model ogólny dla badań QoS klas usług e2e, zdefiniowałam modele napływu ruchu i mierzone parametry, a także model wielodomenowej sieci IP, uwzględniający poszczególne domeny i węzły między-domenowe. W przypadku symulatora SIM-EUQOS-TI/TD [9] opracowałam model scenariuszy dla realizacji sygnalizacji dla zestawiania/rozłączenia połączenia wraz z modelami napływu zgłoszeń, w celu zbadania skalowalności rozwiązania w wielodomenowej infrastrukturze sieciowej.

Szczegółowy model symulacyjny dla symulatora PTL [8] stanowi model sieci heterogenicznej złożonej z modeli sieci dostępowych xDSL, LAN/Ethernet, UMTS i WiFi, oraz z modelu wielodomenowej sieci IP. Symulator PTL służył dla zbadania gwarancji jakości przekazu pakietów dla klas usług e2e oraz aplikacji zaprojektowanych i zaimplementowanych w projekcie EuQoS. W [8] przedstawiono opis symulatora oraz przykładowe wyniki badań uzyskane dla sieci dostępowej WiFi i sieci szkieletowej IP. Szczegółowe wyniki badań wraz ze specyfikacją symulatora zostały podsumowane w raportach technicznych projektu. Symulator był udostępniony, jako narzędzie otwarte na stronach projektu. Wyniki badań prezentowane w [1], [2], [4], i [5] zostały również uzyskane za pomocą symulatora PTL. Ponieważ symulator składał się z modeli sieci heterogenicznych poszczególne zespoły były odpowiedzialne za moduły dla poszczególnych technik sieciowych. W projekcie odpowiadałam za opracowanie modelu dla wielodomenowej sieci IP, oraz za integrację poszczególnych modeli w ramach jednego narzędzia symulacyjnego. Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych opracowałam metodologię i testy referencyjne dla badań w sieci testowej.

Symulator SIM-EUQOS-TI/TD [9] służył dla zbadania skalowalności systemu sygnalizacji realizowanej w warstwach TI/TD. W symulatorze został zamodelowany system obsługi wiadomości sygnalizacyjnych związanych z obsługą tzw. żądań QoS. W scenariuszu obsługi ruchu sygnalizacyjnego wyróżniono dwa procesy. Pierwszy proces dotyczył obsługi sygnalizacji realizowanej w modułach RM i RA sieci dostępowej. Natomiast drugi proces dotyczył sygnalizacji realizowanej w modułach odpowiedzialnych za węzły między-domenowe. Za pomocą symulatora mierzono czasy obsługi wiadomości sygnalizacyjnych dla dwóch ww. procesów. Następnie w oparciu o badania symulacyjne, za pomocą przyjętego modelu analitycznego wyznaczono czasy zestawienia połączenia dla heterogenicznej sieci wielodomenowej. Przyjęty model służył również do porównania czasu zestawienia połączenia dla dwóch przyjętych przypadków wymiarowania sieci, czyli *hard model* i *loose model*. Przedstawione w [9], uzyskane przykładowe wyniki badań dla 2, 10 i 20 domen, wskazują, iż oba podejścia stanowią rozwiązanie skalowalne, zaś podejście przyjęte w modelu *loose*, czyli realizacja funkcji CAC dla węzłów między-domenowych wprowadza jedynie nieznaczny wzrost czasu zestawienia połączenia, gdyż nie wymaga konfiguracji ruterów.

Podsumowując, uzyskane wyniki badań symulacyjnych pokazały, że sieć działająca w oparciu o architekturę EuQoS zapewnia jakość przekazu w ramach klas usług e2e dla połączeń wybranych aplikacji, oraz rozwiązanie przyjęte dla systemu sygnalizacji jest rozwiązaniem skalowalnym. Wyniki te potwierdziły się podczas testowania rozwiązania prototypowego w europejskiej sieci testowej Geant⁵. Podsumowanie ww. analiz związanych ze skalowalnością proponowanych rozwiązań zostało przedstawione w [10]. Ponadto, w [10] przedstawiono szczegółowy opis systemu EuQoS z wyżej omawianymi elementami, czyli architekturą CAC, modelem QoS, a także scenariuszami realizacji sygnalizacji. W [10] omówiono również wybrane rozwiązania dla systemu EuQoS w kontekście rozwiązań opracowanych przez ITU-T dla sieci NGN. W konsekwencji można stwierdzić, iż architektura NGN jest rozwiązaniem skalowalnym i zapewniającym gwarancje QoS dla klas usług e2e.

⁵ Sieć Geant, strona domowa: <http://www.geant.net/Pages/default.aspx>

Przykład wykorzystania wyników przedstawionych w publikacjach [1] – [10]

Wyżej wymienione osiągnięte wyniki moich prac [1], [2], [4], [5], [6], [7], [10] zostały zaimplementowane w prototypie systemu EuQoS i zostały przetestowane w środowisku europejskiej sieci testowej Geant. Osiągnięcia projektu, w tym uzyskane przeze mnie wyniki prac, były również raportowane przez przedstawicieli projektu/operatorów m.in.: Orange - France Telecom i Telefonica na forum grupy roboczej ITU-T FGNGN (*Focus Group on Next Generation Networks*), m.in. [Dugeon06], i miały istotny wpływ na kształt obecnych wersji rekomendacji ITU-T dla architektury NGN, np.:

- Wymagania na ścisłe gwarancje QoS e2e dla wybranych grup aplikacji oraz zasady wymiarowania [5] mają swoje odzwierciedlenie w rekomendacjach [ITU-T Y.1540], [ITU-T Y.1541].
- Oryginalny ogólny schemat postępowania dla zapewnienia QoS w sieciach heterogenicznych (tzw. model QoS) [5] ma swoje odzwierciedlenie w rekomendacji [ITU-T Y.1542], Appendix V.
- Architektura i funkcje CAC [6] mają swoje odzwierciedlenie w architekturze NGN w postaci funkcji RACF (*Resource and Admission Control Function*) – rekomendacje [ITU-T Y.2012] oraz [ITU-T Y.2111].
- Model systemu sygnalizacji dla sieci wielodomenowej dla modelu wymiarowania *loose model* [7] ma swoje odzwierciedlenie w scenariuszu „*push mode*” architektury NGN [ITU-T Y.2111], [Song07].

Ponadto, opracowane narzędzia symulacyjne [8], [9] umożliwiły przeprowadzenie kompleksowych badań i opracowanie wyników dla dwóch faz projektu umożliwiając wybór najlepszych rozwiązań. Otrzymane wyniki opisujące opóźnienia, zmienność opóźnienia, oraz starty pakietów, a także np. czas zestawiania połączeń, poziom przyjętych/odrzuconych połączeń wykorzystaliśmy w raportach końcowych projektu EuQoS do rekomendacji proponowanych rozwiązań dla Komisji Europejskiej. Na podstawie otrzymanych wyników, dla prototypowej implementacji architektury EuQoS, sformułowaliśmy również wnioski związane z koniecznością standaryzacji interfejsów i protokołów dla realizacji architektury NGN. W konsekwencji ITU-T w ramach prac grupy roboczej FGNGN zdefiniowała rodzaje interfejsów, zaś grupy robocze IETF⁶ opracowały ostateczne propozycje protokołów dla realizacji architektury, np. protokół DIAMETER. Równoległe do prac projektu EuQoS pracowała grupa IPSphere Forum⁷, powołana przez firmę Juniper (firma Juniper była również oficjalnym obserwatorem projektu EuQoS), zajmująca się m.in. odwzorowaniem aplikacji na klasy usług w sieci. W spotkaniach grupy IPSphere Forum uczestniczyli przedstawiciele projektu (Red Zinc – członek IPSphere Forum i partner konsorcjum EuQoS), co pozwoliło nam na opracowanie odwzorowania aplikacji na klasy usług e2e w modelu QoS, zgodnie ze światowymi trendami. Późniejsze rekomendacje IETF [RFC4594] dla odwzorowania aplikacji na klasy usług e2e, oraz agregacji tych klas usług [RFC5127] są zgodne z naszymi propozycjami w projekcie. Należy również wskazać, iż np. realizacja konkretnych algorytmów przyjmowania nowych wywołań dla poszczególnych klas usług e2e, zależy od producentów konkretnych rozwiązań lub rozwiązań operatorów sieci i nie jest przedmiotem rekomendacji. Zaproponowane algorytmy CAC dla klas usług między-domenowych pozwalają na gwarancję jakości przekazu pakietów w wybranych węzłach i łączach sieci IP, zaś zaproponowany model QoS pozwala na gwarancje QoS dla klas usług e2e w sieci heterogenicznej. Bez tego typu algorytmów nie byłaby możliwa realizacja agregacji klas usług e2e, a tym samym powodowałoby to mniejsze wykorzystanie zasobów sieci.

Podsumowując, wyniki prac przedstawione głównie w [1], [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9], i [10] miały wpływ na kierunek rozwoju sieci NGN i kierunki prac wdrożeniowych u operatorów sieci. Omawiane wyniki pozwoliły na oszacowanie skalowalności sieci NGN oraz możliwości zapewnienia QoS w wielodomenowej sieci heterogenicznej. Rozwiązanie prototypowe w formie demonstratora zaprezentowaliśmy (byłam kierownikiem wystawy) na największym europejskim wydarzeniu

⁶ IETF – Internet Engineering Task Force; www.ietf.org

⁷ IPSphere, strona domowa:

<http://web.archive.org/web/20051124160110/http://www.ipsphereforum.org/home>

promującym wyniki Projektów Ramowych Unii Europejskiej – IST 2006 Exhibition Helsinki⁸, Finlandia. Wyniki projektu były omawiane również podczas prezentacji zapraszanych (rozdział 5). Ponadto, uzyskane wyniki prezentowałam m.in. na konferencji QoSIM 2008⁹ (współprzewodnicząca konferencji), którą współorganizowałam w ramach projektu EuQoS przy cyklicznej konferencji SIMUTOOLS (Marsylia, Francja 2008).

Należy również podkreślić, że sieć oparta na architekturze NGN jest obecnie wdrażana przez operatorów sieci telekomunikacyjnych w Europie i Japonii [Aoyama09], w tym operatorów biorących udział w projekcie EuQoS (Orange, Telefonica, Portugal Telecom, T-Mobile Polska), zaś węzły sieci telekomunikacyjnej (routery) wszystkich producentów wspierają mechanizmy QoS umożliwiające gwarancje QoS. Aspekty wielodomenowości są bardzo ważne dla zapewnienia QoS dla aplikacji VoIP, zwłaszcza przy przejściu operatorów z sieci PSTN do NGN, zaś aspekty heterogeniczności są bardzo istotne dla zastosowań aplikacji IPTV. W Polsce UKE (Urząd Komunikacji Elektronicznej) prowadzi prace nad wdrażaniem dyrektyw Unii Europejskiej związanych z monitorowaniem gwarancji QoS w sieciach operatorów świadczących klasy usług e2e. Wyniki otrzymane w projekcie EuQoS mogą efektywnie wspierać te prace, co zgłaszałam podczas otwartych spotkań UKE na forum konferencji KSTiT.

Opracowanie systemu sygnalizacji dla sieci IP QoS opartej na zaleceniach ITU-T

Moje dalsze prace [11], [12], [13] były kontynuowane w obszarze systemu sygnalizacji w oparciu o nowe, w porównaniu do wcześniejszych prac, zalecenia ITU-T dla architektury NGN. Ponadto, rozszerzyłam badania o system sygnalizacji w warstwie usługowej. Wyniki badań zostały uzyskane w ramach moich prac w dwóch projektach krajowych: projekcie PBZ-ZR¹⁰ oraz projekcie badawczym własnym¹¹.

System sygnalizacji dla sieci NGN możemy podzielić, zgodnie z zaleceniami ITU-T [ITU-T Y.2012], na sygnalizację w warstwie usługowej (*service stratum*) i na sygnalizację w warstwie transportowej (*transport stratum*). Sygnalizacja w warstwie usługowej, która jest typowa dla usług VoIP i IPTV, jest związana z realizacją sygnalizacji z użyciem protokołu SIP (*Session Initiation Protocol*). Natomiast, sygnalizacja w warstwie transportowej odnosi się do realizacji funkcji przyjmowania nowych wywołań, CAC.

W [11] przedstawiono zaproponowaną architekturę jednodomenowej sieci IP QoS, wraz z definicjami klas usług dla tej sieci. Rozwiązanie to bazuje na najnowszych wówczas zaleceniach ITU-T dla interfejsów architektury NGN [ITU-T Y.2111] (wersja 2.0 11/2008) oraz rekomendacjach IETF dla protokołów sygnalizacyjnych (głównie protokół DIAMETER). Ponadto, w projekcie zdefiniowaliśmy również uniwersalny interfejs komunikacyjny między warstwą transportową a warstwą usługową, umożliwiającą dołączanie nowych usług. W [12] przedstawiono scenariusze realizacji sygnalizacji w warstwie transportowej dla architektury zdefiniowanej w [11]. Scenariusze te polegają na rezerwacji zasobów dla przyjmowanych wywołań tylko w urządzeniach brzegowych wejściowych sieci, w odróżnieniu do wcześniejszych rozwiązań (np. architektury AQUILA, EuQoS), w których rezerwacja zasobów i związane z tym mechanizmy monitorowania poszczególnych połączeń były realizowane również w ruterach brzegowych wyjściowych. W ten sposób zmniejszana jest liczba wiadomości

⁸ Plan wydarzenia IST 2006 Exhibition Helsinki: <http://eta.ktl.mii.lt/~mask/FP6-FP7/IST-2006.pdf>, str. 83-94

⁹ QoSIm 2008 Workshop, strona domowa QoSIm 2008: <http://www.qosim.org/2008/index.shtml>

¹⁰ Projekt PBZ-MNiSW-02-II/2007 – PBZ-ZR (01.01.2008 - 30.03.2011); „Usługi i sieci teleinformatyczne następnej generacji - aspekty techniczne, aplikacyjne i rynkowe”. Grupa GT-04: „Zarządzanie ruchem w sieciach”; Projekt Badawczy Zamawiany; Nr projektu: PBZ-MNiSW-02-II/2007; Konsorcjum krajowe, Grupa GT-04: 6 partnerów; Rola: główny wykonawca; Strona domowa: https://pbz.itl.waw.pl/o_projekcie.html

¹¹ Projekt Badawczy Własny MNiSW (14.04.2009 - 13.12.2011); „Modelowanie i analiza sygnalizacji dla sieci QoS Internet”; Projekt Badawczy Własny MNiSW, Nr projektu: N N517 385836; Rola: kierownik

sygnalizacyjnych w scenariuszu realizacji sygnalizacji. Należy podkreślić, iż te oryginalne rozwiązania stanowią jeden z możliwych sposobów implementacji sygnalizacji dla rekomendowanej architektury NGN. Takie rozwiązanie dla scenariusza realizacji sygnalizacji jest możliwe dzięki zaproponowanemu w [11] oryginalnemu rozwiązaniu dla wymiarowania zasobów. Jednakże, to nowe podejście wymaga odpowiedniej alokacji zasobów dla poszczególnych klas usług dla wszystkich ścieżek wychodzących z danego ruteru brzegowego do pozostałych ruterów brzegowych (*point-to-any*). Jest to oryginalne rozwiązanie dla wymiarowania zasobów w jednodomenowej sieci IP QoS. W konsekwencji, biorąc pod uwagę czas potrzebny na zestawienie nowego połączenia w ruterach brzegowych, takie podejście pozwala na krótszy czas zestawienia połączenia przy takim samym poziomie napływu zgłoszeń w porównaniu z wcześniejszymi propozycjami. W [12] przedstawiono wyniki czasu zestawienia połączenia dla badań prototypu zaprojektowanego systemu sygnalizacji w sieci testowej. Badania zostały przeprowadzone dla dwóch modeli napływu zgłoszeń, które zostały zaimplementowane w ramach projektu w specjalnym generatorze/analizatorze wywołań. Na potrzeby tej pracy przeprowadziłam analizę modeli ruchu. W szczególności zostały porównane wyniki dla modelu typowego dla sieci PSTN z modelem dla sieci z usługą VoIP, w którym czas trwania połączenia opisany jest rozkładem GPD (*Generalized Pareto Distribution*). Wyniki oszacowania wydajności systemu sygnalizacji dla warstwy transportowej w wersji prototypowej wskazują, iż model napływu zgłoszeń dla sieci z usługą VoIP ma istotny wpływ na czas zestawiania połączeń w sieci IP QoS.

Prace nad rozwiązaniami dla systemu sygnalizacji w warstwie usługowej kontynuowałam w projekcie badawczym własnym [13]. W [13] zaproponowałam mechanizm zapobiegania przeciążeniom w systemie sygnalizacji z protokołem SIP, który stanowi rozwinięcie algorytmu zapobiegania przeciążeniom typu koniec-koniec. W tym podejściu, w poszczególnych węzłach sygnalizacyjnych system kolejkowy obsługuje wiadomości o przeciążeniu z najwyższym priorytetem. Propozycje realizacji mechanizmu zostały zbadane symulacyjnie dla wielu topologii testowych pod kątem skalowalności proponowanego rozwiązania. Uzyskane wyniki badań symulacyjnych dla liczby obsługiwanych połączeń, sprawiedliwego podziału zasobów, czasu zestawienia połączenia dla reprezentatywnych topologii testowych potwierdzają skuteczność zaproponowanej metody dla zapobiegania przeciążeniom typu koniec-koniec.

Przykład wykorzystania wyników przedstawionych w publikacjach [11], [12], [13]

Rozwiązanie prototypowe systemu dla sieci IP QoS [11], [12] w formie demonstratorów Systemu IP QoS ze scenariuszami użycia przedstawialiśmy na dwóch wystawach krajowych: KSTiT 2010 – Wrocław 2010 (byłam kierownikiem wystawy), seminarium końcowe projektu PBZ-MNiSW-02-II/2007 – Warszawa 2011 (byłam kierownikiem wystawy). Ponadto, wnioski z uzyskanych wyników [11], [12], [13] prezentowałam m.in. na 3 wykładach zapraszanych (rozdział 5). Przedstawiona architektura, usługi i system sygnalizacji dla sieci NGN zostały również udokumentowane raportami technicznymi projektu PBZ-ZR i projektu badawczego własnego.

Proponowane rozwiązania dla sieci NGN na tle badań światowych

Główny kierunek badań w obszarze sieci telekomunikacyjnych Internetu ostatnich 15 lat to wielousługowe sieci IP z gwarancją jakości przekazu pakietów dla aplikacji/usług takich, jak VoIP, VoD, IPTV, przekaz dużych zbiorów danych. Prace te zostały zainspirowane przez rekomendacje IETF dla architektury DiffServ i ostatecznie doprowadziły do powstania Sieci Następnej Generacji [Song07]. Jak już wspomniano, architekturę sieci NGN definiowano w ramach grupy roboczej ITU-T FGNGN (*Focus Group on Next Generation Networks*). W tym czasie powstały również rekomendacje IETF dla klas usług (*Classes of Service - CoSs*) QoS [RFC4594], [RFC5127] i protokołów sygnalizacyjnych dla sieci NGN. Zarówno prace ITU-T, jak i IETF były ukierunkowywane przez wyniki wielu projektów badawczych, w tym projektów 5. (1998-2002) i 6. (2002-2006) Programu Ramowego Unii Europejskiej¹², a także projektów z grupy COST¹³. Spośród tych projektów, jak już wspomniano

¹² Strona domowa Programów Ramowych Unii Europejskiej: cordis.europa.eu

¹³ COST - European Cooperation in Science and Technology, strona domowa: www.cost.eu

wcześniej, brałam udział w projektach AQUILA, EuQoS, COST 257¹⁴, i COST 279. W szczególności, powstanie grupy roboczej FGNGN w ramach ITU-T (czerwiec 2003) było zainspirowane wynikami trzech projektów badawczych 5. Programu Ramowego Unii Europejskiej [ISTP03]. Akronimy tych projektów to AQUILA (rola w projekcie: główny wykonawca), CADENUS¹⁵ i TEQUILA¹⁶. Projekty były poświęcone opracowaniu rozwiązań prototypowych dla sieci IP QoS bazującej na architekturze DiffServ. Wyniki prac w ramach projektów AQUILA, TEQUILA i CADENUS były na tyle obiecujące, że na ich podstawie rozpoczęto prace standaryzacyjne nad architekturą sieci NGN. Prace te obejmowały definicję architektury sieci NGN, funkcje, protokoły, klasy usług oraz mechanizmy QoS, w tym mechanizmy CAC przyjmowania nowych wywołań. Równolegle, w ramach 6. Programu Ramowego Unii Europejskiej, zaakceptowano i uruchomiono projekty badawcze i eksperymentalne, których celem było zbudowanie systemów prototypowych oraz określenie głównych wymagań dla funkcji i protokołów heterogenicznych sieci wielousługowych z gwarancją QoS w oparciu o wymagania aplikacji i możliwości technologiczne urządzeń sieci dostępowych i szkieletowych, a także oczekiwania operatorów sieci i użytkowników końcowych. Należy wymienić dwa ważne projekty dla sieci NGN w ramach 6. Programu Ramowego Unii Europejskiej: projekt EuQoS (rola w projekcie: główny wykonawca, kierownik grupy roboczej - WP2.1: *Validation of the EuQoS system by simulation*) i DAIDALOS¹⁷. Projekt EuQoS miał na celu definicję architektury dla wielousługowych sieci heterogenicznych (IP, UMTS, WiFi, LAN/Ethernet, xDSL) z gwarancją QoS e2e, oraz jej prototypową implementację, a także testy rozwiązania w sieci rozległej poprzez europejską sieć badawczą Geant. Natomiast projekt DAIDALOS zajmował się usługami dla sieci z użytkownikami mobilnymi. Konsorcja wymienionych projektów EuQoS i DAIDALOS były złożone, m.in. z głównych operatorów europejskich sieci telekomunikacyjnych, i tym samym projekty te miały wpływ na proces standaryzacji architektury sieci NGN w organizacji ITU-T. Ważnymi projektami w obszarze sieci NGN, które wniosły wkład teoretyczny, były dwa projekty COST 257 (rola w projekcie: ekspert) i COST 279 (rola w projekcie: ekspert). Ostatecznie powstała architektura sieci NGN [Song07], [ITU-T Y.2012], [ITU-T Y.2111], która stanowi rozwiązanie bazujące na protokole IP (Internet Protocol), wzbogacone o nowe mechanizmy i funkcje, które pozwalają na zapewnienie jakości przekazu pakietów dla klas usług e2e dla wybranych połączeń w heterogenicznej wielodomenowej telekomunikacyjnej infrastrukturze sieciowej.

Sieci NGN są obecnie wdrażane przez operatorów, m.in. w Europie i w Japonii [Aoyama09]. W pierwszym etapie wdrażania, sieć ma umożliwić operatorom telekomunikacyjnym przeniesienie dotychczasowych usług telefonicznych z sieci PSTN do sieci NGN bazującej na protokole IPv6, a następnie na połączenie tych usług w jednej infrastrukturze sieciowej z przekazem danych w ramach usług multimedialnych, takich jak VoD, IPTV.

¹⁴ Cost 257 (1998-2000): Impact of new services on the architecture and performance of broadband networks; Rola w projekcie: ekspert; <http://www3.informatik.uni-wuerzburg.de/cost/Final/index.html>

¹⁵ CADENUS: Creation and Deployment of End-User Services in Premium IP Networks: IST-1999-11017, http://cordis.europa.eu/project/rcn/53591_en.html

¹⁶ TEQUILA: Traffic Engineering for Quality of Service in the Internet, at Large Scale: IST-1999-11253; <https://www.ist-tequila.org/>

¹⁷ DAIDALOS: Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services, phase I: IST-2002-506997, phase II: IST-2005-026943; <http://www.ist-daidalos.org/>

II. Sieci Nowej Generacji

Moje dalsze prace dotyczyły i dotyczą Sieci Nowej Generacji – NwGN (nazwa nadana przez ITU-T), które są obecnie przedmiotem prac badawczych na świecie. Sieci te są również określane, jako Internet Przyszłości (Europa), Internet 3.0 (USA) lub ostatnio sieci 5G (5-tej Generacji). Nowa generacja sieci oznacza, że proponowane rozwiązania bazują zarówno na nowych technikach sieciowych, tj. wirtualizacja, programowalność sieci (*Software Defined Networking - SDN*), jak i nowych protokołach, tzw. protokołach *post-IP*, oraz powinny sprostać wymaganiom dołączenia do sieci telekomunikacyjnych Internetu nowych zastosowań aplikacyjnych. Obecnie wymieniane są następujące nowe zastosowania: aplikacje Internetu Rzeczy (*Internet of Things - IoT*), transmisje obrazów 3D wysokiej rozdzielczości, efektywny dostęp do serwerów treści, dużych zbiorów danych (*Big Data*), chmur obliczeniowych, mobilność użytkowników. Konsekwencją prac nad Sieciami Nowej Generacji są tzw. rozwiązania ewolucyjne, które powinny pozwolić na przejście od sieci NGN do sieci NwGN, m.in. poprzez włączenie sieci IP, jako jednego z rozwiązań w wirtualnej infrastrukturze sieciowej. Wyniki badań, które uzyskałam w obszarze sieci NwGN i podsumowałam w publikacjach [14] – [20], to:

- Opracowanie architektury Internetu Przyszłości, opartego na wprowadzeniu Równoległych Internetów oraz opracowanie modelu węzła umożliwiającego wirtualizację [14], [15];
- Opracowanie ewolucyjnego rozwiązania dla integracji sieci NGN z Systemem IIP w wirtualnej infrastrukturze sieciowej [16], [17];
- Opracowanie architektury i mechanizmów dla Równoległego Internetu IPv6 QoS dla nowych zastosowań, m.in. dla Internetu Rzeczy [18], [19], [20].

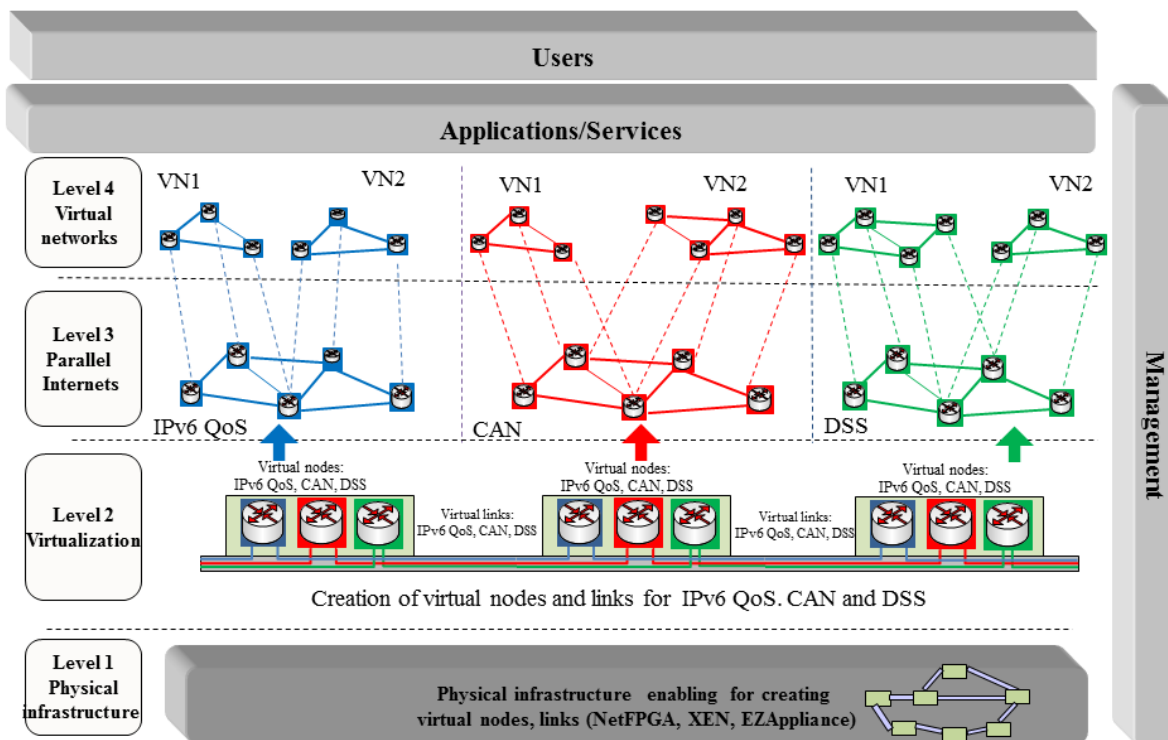
Wyżej wymienione wyniki moich prac nad siecią NwGN były ściśle związane z kierunkami prac, które zdefiniowałam i realizowałam w projekcie POiG „Inżynieria Internetu Przyszłości¹⁸” (IIP).

Opracowanie architektury Internetu Przyszłości, opartego na wprowadzeniu Równoległych Internetów oraz opracowanie modelu węzła umożliwiającego wirtualizację

W [14] przedstawiono oryginalną, skalowalną architekturę Internetu Przyszłości, tzw. architekturę IIP. Architektura ta została zaprojektowana z myślą o rozszerzeniu funkcjonalności obecnej sieci o możliwość wprowadzenia nowych rozwiązań *post-IP*. Architektura IIP zakłada wirtualizację infrastruktury sieciowej oraz współdziałanie tzw. Równoległych Internetów. Architektura IIP (Rysunek 4) obejmuje cztery warstwy: infrastrukturę fizyczną (*Physical Infrastructure*), wirtualizację (*Virtualization*), Równoległe Internety (*Parallel Internets*), oraz sieci wirtualne (*Virtual Networks*). „Sercem” architektury IIP są tzw. Równoległe Internety. W ramach projektu opracowaliśmy wymagania poszczególnych aplikacji testowych, i na ich podstawie opracowane zostały mechanizmy i algorytmy dla 3 Równoległych Internetów: IPv6 QoS, CAN (*Content Aware Networking*) i DSS (*Data Stream Switching*). Każdy z Równoległych Internetów działa w oparciu o inny stos protokołów. Jedynie IPv6 QoS jest oparty o stos protokołów TCP/IP i został wprowadzony po to, aby zachować współpracę z siecią IP i NGN. Równoległe Internety są dedykowane odpowiednio dla następujących grup aplikacji: IPv6 QoS – aplikacje IoT, CAN – przekazywanie treści multimedialnych, DSS – transmisja wideo 3D. Wymaga się, aby Równoległe Internety działały w izolacji, co oznacza, że obsługa ruchu w jednym Równoległym Internecie, nie wpływa na jakość obsługi ruchu w innych Równoległych Internetach. Architektura IIP proponuje dwa poziomy wirtualizacji, pierwszy na warstwie 2 (Level 2), na której są tworzone wirtualne węzły i łącza dla Równoległych Internetów w urządzeniach infrastruktury sieciowej,

¹⁸ Projekt Inżynieria Internetu Przyszłości – IIP (01.01.2010 - 31.06.2013); Program POiG na lata 2007-2013, nr POIG.01.01.02-00-045/09-00; Konsorcjum krajowe, 9 partnerów, lider projektu - Politechnika Warszawska; Rola: członek Komitetu Sterującego, główny wykonawca, kierownik grupy roboczej - Równoległy Internet IPv6 QoS (grupa robocza około 30 inżynierów z 6 wiodących ośrodków krajowych); Strona domowa: <https://www.iip.net.pl/>

drugi na warstwie sieci wirtualnych (Level 4), na której dla poszczególnych Równoległych Internetów mogą być tworzone topologie logiczne na bazie wirtualnych węzłów i łączy. Każdy poziom architektury jest powiązany z systemem zarządzania, który dostarcza również interfejsy współpracy między poszczególnymi poziomami. System oparty o architekturę IIP, możemy w łatwy sposób rozbudowywać o kolejne specjalizowane Równoległe Internety, o ile będzie taka potrzeba.



Rysunek 4. Architektura IIP, VN – sieć wirtualna (Virtual Network), IPv6 QoS (Quality of Service), CAN - Content Aware Networking, DSS - Data Stream Switching [14]

Podstawowe rozwiązanie dla realizacji architektury IIP stanowi oryginalny model idealnego węzła umożliwiającego wirtualizację [14]. Zaproponowany model węzła składa się z następujących oryginalnych elementów funkcjonalnych: formatu przekazywanych danych, klasyfikatora, wirtualnych węzłów i wirtualnych łączy dla Równoległych Internetów, dwupoziomowego mechanizmu szeregowania, który na poziomie 2 (wirtualizacji) jest oparty o cykl czasowy zapewniający izolację wirtualnych łączy pomiędzy strumieniami danych przekazywanych w ramach poszczególnych Równoległych Internetów.

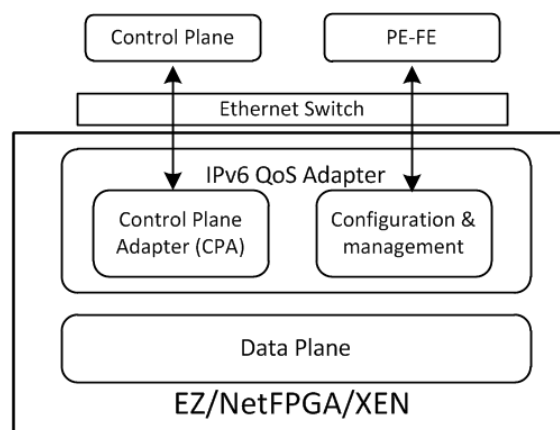
Na bazie zaproponowanej architektury IIP został opracowany System IIP (Level 1/Level 2) i jego rozwiązanie prototypowe, z którym zostały zintegrowane rozwiązania dla poszczególnych Równoległych Internetów (Level3/Level4). Dla prototypu Systemu IIP wybrano trzy reprezentatywne platformy technologiczne, tj.: sprzętową (karty NetFPGA), programistyczno-sprzętową (programowalny procesor sieciowy NP-3 EZAppliance), oraz programistyczną (XEN). Zaproponowany idealny model węzła umożliwiającego wirtualizację został odwzorowany na tzw. model implementacyjny węzła, który mógł być zaimplementowany w ww. platformach technologicznych. Następnie, rozwiązanie prototypowe dla Systemu IIP, z odwzorowaniem wszystkich warstw architektury IIP, w tym systemu zarządzania oraz dwóch Równoległych Internetów IPv6 QoS i CAN

zostały zbadane w rozległej krajowej sieci testowej PL-LAB [15], którą zbudowaliśmy w projekcie na potrzeby badania Systemu IIP. Sieć testowa PL-LAB [15] stanowi oryginalne rozwiązanie, polegające na wydzielaniu autonomicznych urządzeń i pasma dla realizacji eksperymentu. Przedstawiona architektura IIP i System IIP oraz model węzła umożliwiającego wirtualizację zostały również udokumentowane raportami projektu IIP i innymi publikacjami, w których są raportowane m.in. szczegółowe specyfikacje ww. rozwiązań, procesów integracyjnych prototypu systemu, jak również testów w sieci PL-LAB.

W projekcie IIP pracowałam nad wszystkimi wymienionymi rozwiązaniami dla Systemu IIP (Level1/Level2) i sieci PL-LAB w fazie koncepcji, specyfikacji, integracji i testowania.

Opracowanie ewolucyjnego rozwiązania dla integracji sieci NGN z Systemem IIP w wirtualnej infrastrukturze sieciowej

Jednym z zaproponowanych Internetów dla Systemu IIP jest Równoległy Internet IPv6 QoS. W projekcie IIP byłam kierownikiem grupy roboczej - Równoległy Internet IPv6 QoS i również pracowałam nad wszystkimi rozwiązaniami dla tego Równoległego Internetu w fazie koncepcji, specyfikacji, integracji i testowania. Równoległy Internet IPv6 QoS należy do rozwiązań ewolucyjnych, które umożliwiają integrację sieci NGN w wirtualnej infrastrukturze sieciowej Systemu IIP z innymi Równoległymi Internetami. W [16], [17] przedstawiono diagram modułów funkcjonalnych węzła Systemu IIP zintegrowanych z modułami dla poszczególnych Równoległych Internetów, w tym dla Równoległego Internetu IPv6 QoS. Podejście to zostało zaimplementowane, jako oryginalne rozwiązanie dla sieci programowalnych, w którym w węźle wirtualnym Równoległego Internetu IPv6 QoS są wydzielone płaszczyzny danych i sterowania, i zintegrowane z Systemem IIP. Ponadto, w warstwie transportowej zastosowaliśmy koncepcję sieci wirtualnych dla poszczególnych zastosowań aplikacyjnych oraz tunelowanie IPv6 w IPv6. Wykorzystanie protokołu IPv6 z dużą pulą adresów w proponowanym rozwiązaniu pozwala na przyłączenie elementów Internetu Rzeczy do Równoległego Internetu IPv6 QoS. Rysunek 5 przedstawia zaproponowany oryginalny model prototypu wirtualnego węzła Równoległego Internetu IPv6 QoS. Zaproponowany model węzła umożliwił realizację architektury Równoległego Internetu IPv6 QoS, która będzie omówiona w dalszej części autoreferatu. W [16], [17] omówiono specyfikację mechanizmów rozwiązania prototypowego dla platformy technologicznej NP-3 EZAppliance. Omówienie specyfikacji rozwiązań prototypowych dla pozostałych dwóch platform technologicznych oraz szczegółowa specyfikacja rozwiązania jest udokumentowana w formie raportów technicznych projektu IIP, została omówiona również w innych publikacjach (Załącznik 4).



Rysunek 5. Model prototypu wirtualnego węzła Równoległego Internetu IPv6 QoS [16], [17]

W porównaniu z pracami w projektach EuQoS, PBZ-ZR, projekcie badawczym własnym, a także stanem sztuki (np. [Lee13]), przedstawione rozwiązanie stanowi podejście ewolucyjne do rozwoju Internetu Przyszłości, czyli w oparciu o protokół IPv6 oraz nowe techniki sieciowe, w tym wirtualizację

i programowalność sieci, może być zastosowane dla sieci NwGN. Ponadto, wykorzystaliśmy możliwości protokołu IPv6 [Jara13] dla tunelowania adresów IPv6 w IPv6 dla celów tworzenia sieci wirtualnych dla poszczególnych zastosowań aplikacji IoT. W porównaniu z istniejącymi ruterami IP, zaprojektowaliśmy nowe węzły sieciowe Równoległego Internetu IPv6 QoS uwzględniające rozdział funkcji przekazu danych od sterowania, jest to również zgodne z kierunkiem przedstawionym w obecnych rekomendacjach ITU-T [ITU-T Y.3300] i IETF [RFC7426] dla sieci programowalnych, które zostały opublikowane odpowiednio w 2014 r. i 2015 r. W proponowanym rozwiązaniu nie zastosowaliśmy popularnego dla sieci programowalnych protokołu Open Flow, gdyż nie obsługiwał on funkcji związanych z gwarancją QoS i wirtualizacją płaszczyzny przekazu danych.

Opracowanie architektury i mechanizmów dla Równoległego Internetu IPv6 QoS dla nowych zastosowań, m.in. dla Internetu Rzeczy

W Równoległym Internecie IPv6 QoS [18], [19], [20] oprócz podstawowych klas usług multimedialnych opracowanych np. w projekcie EuQoS, PBZ-ZR, zaproponowane zostały usługi dla przekazu strumieni pakietów generowanych przez nowe grupy aplikacji, czyli aplikacje IoT. Zaprojektowana architektura Równoległego Internetu IPv6 QoS [18] bazuje na architekturze NGN i stanowi kontynuację moich wcześniejszych prac. Architektura ta obejmuje warstwę usługową i transportową, a także warstwę aplikacji i system zarządzania. W celu realizacji wymagań wspomnianych grup aplikacji IoT zastosowaliśmy rozszerzenia architektury NGN o nowe oryginalne elementy funkcjonalne w warstwie usługowej. Dla każdej z grup aplikacji zaproponowaliśmy oryginalne dedykowane moduły funkcji usługowych (*Service Control Function - SCF*), które uwzględniają właściwy dla danej grupy aplikacji model sterowania i komunikacji, oraz protokoły z tym związane. W odróżnieniu od aplikacji multimedialnych, które stosują w warstwie usługowej protokoły SIP (*Session Initiation protocol*), dla aplikacji IoT zaproponowaliśmy prostsze protokoły, np. XMPP (*Extensible Messaging and Presence Protocol*). Dla zapewnienia jakości przekazu pakietów w warstwie transportowej zaprojektowaliśmy system sygnalizacji [18] zarówno dla połączeń napływających dynamicznie, jak i połączeń planowanych (np. dla krytycznych aplikacji e-zdrowie). Zaproponowane zostały również algorytmy CAC przyjmowania nowych wywołań, oraz mechanizmy QoS na poziomie przekazu pakietów, takie jak szeregowanie pakietów, klasyfikatory, monitorowanie i oznaczanie pakietów, itd. Podstawą realizacji rozwiązań dla warstwy transportowej jest model węzła zaproponowany w [16], [17]. Integralnym elementem funkcjonalnym architektury jest zaproponowany system zarządzania [19], który komunikuje się zarówno z warstwą usługową, jak i transportową, a także warstwą wirtualizacji Systemu IIP. Ewolucyjne podejście do realizacji architektury NGN w wirtualnej infrastrukturze sieciowej pozwoliło na zaproponowanie nowego oryginalnego modelu biznesowego [19] dla następujących grup operatorów: Operatora Sieci Wirtualnej (*Virtual Network Operator - VNO*), Dostawcy Sieci Wirtualnych (*Virtual Networks Provider - VNP*), Operatora Równoległego Internetu (*Parallel Internet Operator - PIO*), Dostawcy Infrastruktury Wirtualnej (*Virtual Infrastructure Provider - VIP*).

Przykładowe aplikacje, które zintegrowaliśmy z Równoległym Internetem IPv6 QoS i zbadaliśmy w sieci testowej PL-LAB, to aplikacje e-zdrowie: eAsthma, eDiab, SmartFit [20], monitorowanie i bezpieczeństwo publiczne: MobiWatch; zarządzanie energią: HomeNet Energy; oraz aplikacje przeznaczone do zdalnego nauczania: aplikacja zdalnego nauczania: E-learning, która ma wbudowany system wideo-konferencji w jakości HD (*High Definition*) i aplikacja umożliwiająca zdalne obliczenia na rozproszonych serwerach obliczeniowych: Online Lab. Aplikacje zostały zaprojektowane i zaimplementowane przez poszczególne zespoły projektu. W [20] omówiono integrację systemu sygnalizacji dla specjalizowanych modułów SCF dla trzech aplikacji testowych e-zdrowie: eAsthma, eDiab, SmartFit. Aplikacje te składają się ze złożonych modułów aplikacyjnych, tzw. aplikacji cząstkowych. Na potrzeby tych aplikacji zostało zaproponowane odwzorowanie aplikacji cząstkowych na klasy usług e2e, a także odwzorowanie klas usług e2e na klasy usług dla sieci IP.

Przykład wykorzystania wyników przedstawionych w publikacjach [14] – [20]

Wszystkie zaproponowane przeze mnie rozwiązania w pracach [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20] zostały zaimplementowane przez projekt w formie demonstratora Systemu IIP i Równoległego Internetu IPv6 QoS i zintegrowane z aplikacjami testowymi zaimplementowanymi w projekcie. W grupie roboczej Równoległy Internet IPv6 QoS skupiliśmy się na zaproponowaniu nowych rozwiązań uwzględniających nowe propozycje węzłów sieciowych oraz gwarancje QoS dla aplikacji IoT. Proponowane rozwiązanie jest otwarte na dalsze rozszerzenia w obszarze aplikacji i zastosowań. Jest ono obecnie rozszerzane przez twórców aplikacji, np. e-zdrowie w obszarach związanych z przetwarzaniem danych w chmurze, a także analizą kontekstową danych, co jest zgodne z pracami ITU-T [Lee13] w tym obszarze. Na uwagę zasługuje fakt, iż testowane aplikacje zostały stworzone m.in. przy współpracy zespołów projektu z ośrodkami medycznymi z Krakowa (eAsthma), Wrocławia (eDiab), a także Policją (MobiWatch), stanowią część systemu zdalnego nauczania na Politechnice Wrocławskiej (Online Lab), czy Politechnice Gdańskiej (E-learning), czy też zdalnego systemu monitorowania sportowców w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu (SmartFit). Równoległy Internet IPv6 istotnie rozszerza funkcje NGN w warstwie usługowej o zastosowania dla aplikacji IoT, podobnie jak w kierunku przedstawionym w [Smith12].

Rozwiązania proponowane w projekcie IIP poprzez ich prezentacje na ważnych forach europejskich miały wpływ na dyskusję o architekturze Internetu Przyszłości i jej wyniki. Wybrane platformy sprzętowe i programistyczne, a także opracowana sieć testowa PL-LAB cieszyły się dużym zainteresowaniem w innych ośrodkach badawczych. Omawiane wyniki dla architektury IIP i modelu węzła umożliwiającego wirtualizację przedstawialiśmy w formie prezentacji i demonstratorów podczas ważnych wydarzeń krajowych, europejskich i światowych, od początku dyskusji nad architekturą dla Internetu Przyszłości w Europie, w tym na sesjach konferencji FIA dotyczących standaryzacji z udziałem m.in. przedstawicieli ITU-T oraz ETSI. Prezentacje zapraszamy wygłosiliśmy podczas następujących konferencji organizowanych przez Komisję Europejską: FIA Ghent 2010 (sesja poświęcona standaryzacji architektury dla Internetu Przyszłości), FIA Budapeszt 2011 (sesja FIRE poświęcona infrastrukturom badawczym), Future Internet Week (FIA) Poznań 2011, eChallenges 2010 Warszawa, Future Network & Mobile Summit Warszawa 2011. Na uwagę zasługuje również, że dzięki powyższym prezentacjom, Politechnika Warszawska na zaproszenie szefa pionu Future Internet Komisji Europejskiej gościła konferencję 5th Future Internet Cluster Workshop on "Future Network Architectures"¹⁹, na której dyskutowaliśmy zagadnienia dotyczące architektury Internetu Przyszłości. Ponadto, zostałam zaproszona do zaprezentowania w imieniu projektu rozwiązania dla Równoległego Internetu IPv6 QoS na forum konferencji FIA, Aalborg, Dania Maj 2012 (sesja: *IoT applications and business models*), podczas sesji poświęconej zastosowaniom Internetu Rzeczy, a także na seminarium w Dagstuhl w Niemczech, „Future Internet for eHealth”, Maj 2012, które zgromadziło środowisko lekarzy i inżynierów zarówno z Europy, jak i USA. Wyniki prezentowałam także podczas „Seminarium IPv6” organizowanego w Warszawie przez projekt IIP, w którym uczestniczyli zarówno przedstawiciele organizacji rządowych, jak i operatorów sieci w Polsce. Dyskutowaliśmy zagadnienia związane z koniecznością przyspieszenia wprowadzenia protokołu IPv6 w Polsce.

Rozwiązanie prototypowe Systemu IIP zintegrowanego z Równoległym Internetem IPv6 QoS i CAN oraz z aplikacjami w formie demonstratorów prezentowaliśmy podczas następujących wydarzeń: Seminarium Końcowe Projektu IIP – Warszawa czerwiec 2013, CeBIT 2013 - Hannover 2013 (byłam kierownikiem wystawy), 24th International Teletraffic Congress ITC24 Kraków 2012 (byłam kierownikiem wystawy), KSTiT 2012 Warszawa, Future Internet Week (FIA) Poznań 2011.

Możemy podsumować, iż wyniki projektu miały i mają wpływ na kierunki badań zarówno w ośrodkach krajowych, jak i kilku projektach 7. Programu Ramowego oraz Horyzont 2020, w których uczestnikami są przedstawiciele projektu.

¹⁹ Raport po konferencji: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/6/216366/080/deliverables/001-EuroNFDeliverableDSEA725textonly.pdf>

Ponieważ prace nad Internetem Przyszłości trwają, rozwijane są również otwarte narzędzia zarówno programistyczne (np. Open vSwitch²⁰, które stanowi rozwinięcie platformy XEN), jak i sprzętowe (urządzenia typu *bar metal*, procesory sieciowe z opcją DPDK²¹), prace nad omawianymi zagadnieniami będą kontynuowane. W tym celu rozszerzyliśmy sieć testową PL-LAB do sieci PL-LAB 2020²² (rola w projekcie: członek Komitetu Sterującego, główny wykonawca) poprzez wzbogacenie o specjalizowane laboratoria m.in.: wirtualizacji i sieci programowalnych SDN, jak również prowadzimy prace nad przyłączeniem sieci PL-LAB do federacji europejskich sieci testowych FED4FIRE²³.

Proponowane rozwiązania dla sieci NwGN na tle badań światowych

Najliczniejszym forum dyskusyjnym na świecie nad Sieciami Nowej Generacji była konferencja FIA²⁴ (*Future Internet Assembly*) organizowana w ramach 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej. Konferencja ta odbywała się cyklicznie dwa razy do roku w latach 2008-2014. Zaś w Programie Ramowym Horyzont 2020 kontynuatorką konferencji FIA jest konferencja Net Futures²⁵. Obie edycje konferencji stworzyły miejsce dla spotkań i dyskusji w ramach projektów i zespołów naukowo-badawczych Unii Europejskiej, a także m.in. takich państw, jak Japonia, Chiny, Brazylia, Korea i USA. Na uwagę zasługują również inicjatywy projektów strategicznych w poszczególnych krajach europejskich, w tym krajowych sieci testowych, a także współpraca w ramach projektów Unia Europejska - Japonia – Chiny, - Brazylia, - Korea. W ramach prac grupy *Future Internet Architecture* (FIArch) powołanej przez FIA podsumowano najważniejsze ograniczenia sieci Internet oraz wskazano główne kierunki rozwoju dla Internetu Przyszłości, czyli sieci NwGN [FIArch11]. Problemy związane z dalszym rozwojem sieci Internet i ograniczenia protokołu IP były sygnalizowane również w wielu wcześniejszych dyskusjach oraz publikacjach, m.in. [Jain06]. Dlatego też, mimo sukcesu sieci NGN, która stanowi następną generację w rozwoju sieci IP, rozpoczęto prace nad nowymi, przyszłościowymi rozwiązaniami, które umożliwią podobnie jak sieć Internet rozwój sieci telekomunikacyjnych Internetu dla nowych zastosowań na kolejne dziesięciolecia.

Należy podkreślić, iż zgodnie z mapą drogową Komisji Europejskiej dla sieci 5G (Internet Przyszłości/NwGN) [EC15] prace nad tą siecią są w fazie początkowej, pierwsze rekomendacje ITU-T na bazie wyników działających projektów są oczekiwane w roku 2020.

Dotychczas, w ramach ITU-T [Matsu13] powstały m.in. następujące trzy główne dokumenty określające:

- założenia oraz cele projektowe dla przyszłych sieci [ITU-T Y.3001] (05/2011),
- ogólne ramy dla wirtualizacji sieci [ITU-T Y.3011] (01/2012),
- ogólne ramy dla sieci programowalnych SDN [ITU-T Y.3300] (06/2014).

Główną techniką wspierającą rozwój sieci NwGN, która jest wymieniana w powyższych dokumentach jest technika wirtualizacji, a także programowalność sieci. Obie te techniki powinny w istotny sposób ułatwić sterowanie w Sieciach Nowej Generacji. Zgodnie z założeniami technika wirtualizacji [ITU-T Y.3001], [ITU-T Y.3011] powinna pozwolić na równoległe działanie wielu aplikacji i niezależnych protokołów transportowych (IP oraz *post-IP*) gwarantując im izolację zasobów w sieci oraz jakość przekazu przez sieć. Efektem końcowych prac nad Sieciami Nowej Generacji mają być rekomendacje dla nowej architektury sieci. Również w ramach IETF są prowadzone prace nad sieciami programowalnymi [RFC7426].

²⁰ Open vSwitch strona domowa: <http://openvswitch.org/>

²¹ DPDK - Data Plane Development Kit strona domowa: <http://dpdk.org/>

²² PL-LAB 2020 strona domowa: <http://www.pllab.pl/>

²³ FED4FIRE: <http://www.fed4fire.eu/testbeds/>

²⁴ Konferencja FIA – Future Internet Assembly; <http://www.future-internet.eu/home/future-internet-assembly.html>

²⁵ Konferencja Net Futures; <http://netfutures2015.eu/>

Podsumowując, zaproponowane rozwiązania [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20] bardzo dobrze wpisały się w ww. badania europejskie i światowe nad Internetem Przyszłości [Matsu13], [Aoyama09], [Papa09] i wychodzą naprzeciw obecnie formułowanym wymaganiom dla sieci NwGN [ITU-T Y.3001]. Należy podkreślić, że architektura IIP jest obok architektury Akari [Akari], [Haider09] jedną z dwóch architektur Internetu Przyszłości zaprojektowanych i zintegrowanych implementacyjnie, w tym z aplikacjami. W ramach projektu IIP zorganizowaliśmy wraz z projektem Akari sesję specjalną w Kyoto, na której dyskutowaliśmy obie architektury. Wnioski z dyskusji były następujące, iż wówczas (rok 2012) w odróżnieniu do koncepcji sieci programowalnych opartych o protokół Open Flow, zarówno projekt IIP, jak i Akari proponują rozwiązania dla sieci programowalnych oparte na wirtualizacji zarówno warstwy przekazu danych, jak i sterowania. Wymagania na ten kierunek wirtualizacji są również mocno akcentowane w dokumentach ITU-T [ITU-T Y.3001], [ITU-T Y.3011]. Proponowana architektura IIP jest zgodna z ogólną koncepcją architektury zarysowaną w dokumencie [ITU-T Y.3011], który został opublikowany w styczniu 2012 roku. Podsumowując, dotychczas określono założenia i główne cele dla Sieci Nowej Generacji. Cały czas otwartym pytaniem pozostają konkretne rozwiązania dla techniki wirtualizacji, a także protokoły sterowania dla urządzeń programowalnych, jak i architektura Sieci Nowej Generacji. Zagadnienia te są przedmiotem wielu projektów badawczych na świecie.

III. Podsumowanie

Uzyskane przeze mnie wyniki prac omówione w cyklu wybranych 20 publikacji dobrze wpisały się w rozwój zarówno sieci NGN, jak i NwGN. Dla każdej z tych sieci opracowałam rozwiązania od szczegółowych metod sterowania ruchem, algorytmów i mechanizmów przyjmowania nowych wywołań, poprzez modele i rozwiązania architektoniczne. W szczególności zaproponowałam następujące rozwiązania.

Dla sieci NGN:

- Metody sterowania ruchem w węzłach między-domenowych sieci wielodomenowej [1], [2], [3], [4];
- Model QoS, architektura CAC (*Connection Admission Control*), oraz scenariusz realizacji sygnalizacji [5], [6], [7];
- Ocena skalowalności sieci [8], [9], [10];
- System sygnalizacji dla sieci IP QoS opartej na zaleceniach ITU-T [11], [12], [13].

Dla sieci NwGN:

- Architektura Internetu Przyszłości, opartego na wprowadzeniu Równoległych Internetów oraz opracowanie modelu węzła umożliwiającego wirtualizację [14], [15];
- Ewolucyjne rozwiązanie dla integracji sieci NGN z Systemem IIP w wirtualnej infrastrukturze sieciowej [16], [17];
- Architektura i mechanizmy dla Równoległego Internetu IPv6 QoS dla nowych zastosowań, m.in. dla Internetu Rzeczy [18], [19], [20].

Zaproponowane rozwiązania w większości stanowią kluczowe elementy funkcjonalne systemów i powstałych na ich bazie demonstratorów, które stanowiły wyniki prac projektów międzynarodowych i krajowych, w których brałam udział. Były również przeze mnie prezentowane podczas ważnych wydarzeń krajowych, europejskich i światowych. Demonstratory Systemu EuQoS (projekt EuQoS), Systemu IP QoS (projekt PBZ-ZR), oraz Systemu IIP z Równoległym Internetem IPv6 QoS (projekt IIP) są oryginalnymi osiągnięciami projektowymi udokumentowanymi również raportami technicznymi projektów i innymi publikacjami, jak przedstawiono w Załączniku 4.

Literatura

- [AQUILA05] C. Brandauer, W. Burakowski, M. Dabrowski, B. Koch, H. Tarasiuk, "AC algorithms in Aquila QoS IP network", *European Transaction on Telecommunications*, Wiley InterScience, Vol. 16, No. 3, May-June 2005, pp. 225-232 (w bazie JCR, IF=0,202).
- [COST257] W. Burakowski, H. Tarasiuk, "On New Strategy for Prioritising the Selected Flow in Queueing System", COST 257 Technical Document (00)03, Spain, 01.2000.
- [ISTP03] G. Eichler, B. F. Koch (Eds), et al., "IST Premium IP Cluster", Version 5, AQUILA, TEQUILA, CADENUS, March 31, 2003, pp. 1-79.
- [Dugeon06] O. Dugeon, "End to End QoS Control over heterogeneous network", ITU-T Workshop on "End to End QoE/QoS", Geneva, 14-16 June 2006, EuQoS project presentation.
- [Jain06] R. Jain, "Internet 3.0: Ten Problems with Current Internet Architecture and Solutions for the Next Generation", *Proc. of IEEE Military Comm. Conf., Milcom 2006*, Washington 2006, pp.1-9.
- [Song07] J. Song, M. Y. Chang, S. S. Lee, J. Joung, "Overview of ITU-T NGN QoS Control", *IEEE Comm. Mag.*, Sept. 2007, pp. 116-123.
- [Aoyama09] T. Aoyama, "A New Generation Network: Beyond the Internet and NGN", *IEEE Comm. Mag.*, May 2009, pp. 82-87.
- [Haider09] A. Haider, R. Potter, A. Nakao, "Challenges in Resource Allocation in Network Virtualization", *In Proc. of 20th ITC Specialist Seminar*, Vietnam, May 2009, pp. 1-9.
- [Papa09] P. Papadimitriou, O. Maennel, A. Greenhalgh, A. Feldmann, L. Mathy, "Implementing Network Virtualization for a Future Internet", *In Proc. of 20th ITC Specialist Seminar*, Vietnam, May 2009, pp. 1-8.
- [Akari] AKARI Architecture Design Project, "New Generation Network Architecture AKARI Conceptual Design (ver2.0)", May 2010, pp. 1-108.
- [FIArch11] EC FIArch Group, "Fundamental Limitations of current Internet and the path to Future Internet", 1 March 2011, pp. 1-15.
- [Smith12] I. G. Smith (Ed.), "The Internet of Things 2012: New Horizons", Halifax, UK 2012©.
- [Matsu13] D. Matsubara, et al., "Toward Future Networks: A Viewpoint from ITU-T", *IEEE Comm. Mag.*, March 2013, pp. 112-118.
- [Jara13] A. J. Jara, L. Ladid, A. Skarmeta, "The Internet of Everything through IPv6: An Analysis of Challenges, Solutions and Opportunities", *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, Vol. 4, No. 3, 2013, pp. 97-118.
- [Lee13] C. Lee, G. M. Lee, W. S. Rhee, "Standardization and Challenges of Smart Ubiquitous Networks in ITU-T", *IEEE Comm. Mag.*, Oct. 2013, pp. 102-110.
- [ITU-T Y.1540] Recommendation ITU-T Y.1540, "Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters", (03/2011), pp. 1-52.
- [ITU-T Y.1541] Recommendation ITU-T Y.1541, "Network performance objectives for IP-based services", (12/2011), pp. 1-66.
- [ITU-T Y.1542] Recommendation ITU-T Y.1542, "Internet protocol aspects – Quality of service and network performance", (06/2010), pp. 1-30.
- [ITU-T Y.2012] Recommendation ITU-T Y.2012, "Functional requirements and architecture of next generation networks", (04/2010), pp. 1-96.
- [ITU-T Y.2111] Recommendation ITU-T Y.2111, "Resource and admission control functions in next generation networks", (11/2011), pp. 1-214.
- [ITU-T Y.3001] Recommendation ITU-T Y.3001, "Future networks: Objective and design goals", (05/2011), pp. 1-26.

- [ITU-T Y.3011] Recommendation ITU-T Y.3011, "Framework of network virtualization for future networks", (01/2012), pp. 1-28.
- [ITU-T Y.3300] Recommendation ITU-T Y.3300, "Framework of software-defined networking", (06/2014), pp. 1-22.
- [RFC4594] J. Babiarz, K. Chan, F. Baker, „Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes”, IETF RFC 4594, August 2006, pp. 1-57.
- [RFC5127] K. Chan, J. Babiarz, F. Baker, “Aggregation of DiffServ Service Classes”, IETF RFC 5127, February 2008, pp. 1-19.
- [RFC7426] E. Haleplidis, K. Pentikousis (Eds), et al., “Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology”, IETF RFC 7426, January 2015, pp. 1-35.
- [EC15] European Commission, “The 5G infrastructure Public Private Partnership: the next generation of communication networks and services”, July 2015, <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Prace w obszarze sieci NwGN, które opisałam w rozdziale 4. były kontynuowane w projekcie PL-LAB 2020²⁶. Projekt ten dotyczył rozszerzenia infrastruktury badawczej PL-LAB o nowe laboratoria, kierując się obecnie dostępnymi rozwiązaniami technologicznymi. W projekcie stworzyliśmy sieć operacyjną PL-LAB 2020, a także zbudowałam nowoczesnego laboratorium dla sieci wirtualnych i programowalnych SDN na Politechnice Warszawskiej, oraz brałam udział w połączeniu infrastruktury badawczej PL-LAB 2020 z federacją europejskich sieci testowych FED4FIRE.

Pozostałe osiągnięcia naukowo - badawcze w formie publikacji oraz prezentacji zapraszanych po doktoracie są ściśle związane z celem naukowym omówionym w rozdziale 4. Tabela zestawienia publikacji po doktoracie i do doktoratu, analiza cytowań, a także lista prezentacji zapraszanych zostały przedstawione w punkcie a). Punkt b) zawiera tabelaryczne zestawienie projektów po doktoracie i do doktoratu. Punkt c) zawiera podsumowanie udziału w komitetach programowych czasopism i konferencji, recenzje artykułów w czasopismach.

Szczegółową listę publikacji oraz syntetyczne zestawienie innych osiągnięć naukowo-badawczych, w tym działalności dydaktycznej i organizacyjnej po doktoracie i do doktoratu zawiera Załącznik 4.

²⁶ Projekt PL-LAB 2020 (01.09.2014 – 31.12.2015); „PL-LAB2020: Infrastruktura badawcza dla badań w obszarze programu Horyzont 2020”, Program POiG, nr POIG.02.03.01-00-104/13-00; Konsorcjum krajowe, 6 partnerów; Rola: członek Komitetu Sterującego, główny wykonawca; <http://www.pllab.pl/>

a) zestawienie publikacji, analiza cytowani, prezentacje i wystąpienia zapraszane

ZESTAWIENIE PUBLIKACJI PO DOKTORACIE (lata 2005-2015)

Recenzowane publikacje w czasopismach o zasięgu międzynarodowych (w tym indeksowane w bazie JCR)	4 (4)
Recenzowane rozdziały w książkach o zasięgu międzynarodowym (w tym indeksowane w bazie WoS)	6 (2)
Recenzowane publikacje wygłoszone na konferencjach międzynarodowych i opublikowane w materiałach konferencyjnych (w tym indeksowane w bazie WoS)	9 (4)
Recenzowane publikacje w czasopismach krajowych o zasięgu międzynarodowym	2
Rozdziały w książkach o zasięgu krajowym	9
Recenzowane publikacje w czasopismach krajowych	17
Recenzowane publikacje wygłoszone na konferencjach krajowych i opublikowane w materiałach konferencyjnych	7
Prezentacje zapraszane na konferencjach międzynarodowych	12
Prezentacje zapraszane na konferencjach krajowych	3
Raporty techniczne - projekty międzynarodowe	10
Raporty techniczne - projekty krajowe	33
Suma (w tym indeksowane w bazach JCR i WoS)	112 (10)

ZESTAWIENIE PUBLIKACJI DO DOKTORATU (lata 1997-2004)

Recenzowane publikacje w czasopismach o zasięgu międzynarodowych (w tym indeksowane w bazie JCR)	2 (2)
Recenzowane rozdziały w książkach o zasięgu międzynarodowym (w tym indeksowane w bazie WoS)	3 (2)
Recenzowane publikacje wygłoszone na konferencjach międzynarodowych i opublikowane w materiałach konferencyjnych (w tym indeksowane w bazie WoS)	6 (1)
Książki o zasięgu krajowym	1
Recenzowane publikacje w czasopismach krajowych o zasięgu międzynarodowym	2
Recenzowane publikacje wygłoszone na konferencjach krajowych i opublikowane w materiałach konferencyjnych	10
Raporty techniczne - projekty międzynarodowe	5
Raporty techniczne - projekty krajowe	4
Suma (w tym indeksowane w bazach JCR i WoS)	33 (5)

ANALIZA CYTOWAŃ**Na podstawie analizy Biblioteki Głównej PW²⁷, na dzień 28.08.2015**

W bazie Web of Science Core Collection:

- 81 cytowań
- Indeks Hirscha – 5
- Wartość IF=2,391

W bazie SCOPUS:

- 108 cytowań
- Indeks Hirscha – 4

W bazie PoP (Publish or Perish – nakładka na Google Scholar):

- 289 cytowań
- Indeks Hirscha – 8

Ponadto, sumaryczny IF (z uwzględnieniem analizy Biblioteki Głównej PW na dzień 03.08.2015 oraz publikacji [17])=3,096

PREZENTACJE I WYSTĄPIENIA ZAPRASZANE PO DOKTORACIE²⁸**PREZENTACJE ZAPRASZANE NA KONFERENCJACH MIĘDZYNARODOWYCH**

- 128.H. **Tarasiuk**, et al., "Successful integration of IoT test applications with the IPv6 QoS network", Future Internet Assembly (FIA), 10 – 11 May 2012, Aalborg, Denmark.
- 129.H. **Tarasiuk**, "Integration of test e-health applications with the virtualized IPv6 QoS network", Dagstuhl Seminar, Future Internet for eHealth, 3-6 June 2012. In Report from Dagstuhl Seminar 12231, Dagstuhl Reports, Vol. 2, Issue 2, pp. 41.
- 130.H. **Tarasiuk**, J. Rogowski, "Overload Control Mechanisms in Signalling System with SIP Protocol", "NGN Signalling Evolution Forum", Berlin, January 2012, Invited Talk.
- 131.H. **Tarasiuk**, „Signalling System in IP QoS Networks”, „Signalling Systems for Future Telecom Networks”, Amsterdam, January 2011, Invited Talk.
- 132.W. Burakowski, et al., "The IIP System: Architecture, Parallel Internets, Virtualization and Applications", International Conference, Future Network & Mobile Summit 2011, 15-17 June 2011 – Warsaw – Poland.
- 133.W. Burakowski, H. Tarasiuk, A. Beben, P. Zwierko, „Future Internet architecture based on virtualization and co-existence of different data and control planes”, International Conference, 5th Future Internet Cluster Workshop on "Future Network Architectures", 14 June 2011, Warsaw, Poland.
- 134.J. Sliwiński, J. Mongay Batalla, W. Burakowski, H. Tarasiuk, A. Bęben, "PL-LAB: Polish initiative to develop laboratory infrastructure for testing Future Internet solutions" Proceedings of 11th Wuerzburg Workshop on IP: Joint ITG and Euro-NF Workshop "Visions of Future Generation Networks", 2011, ss. 41-43.
- 135.J. Sliwinski, et al., "Future Internet Experimentation in Poland", International Conference, FIRE research workshop, 16 May 2011, Budapest, Hungary.
- 136.H. **Tarasiuk**, „Architectures for Future Internet”, ITU Centres of Excellence Workshop on The Networks of the Future, 16-17 November 2010, Warsaw, Poland.

²⁷ Raport z analizy przeprowadzonej przez Bibliotekę Główną PW stanowi integralną część Załącznika 4 do Wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. Ponadto, analiza zawiera szczegółową listę cytowań w bazie Web of Science Core Collection.

²⁸ Numeracja zgodna z Załącznikiem 4 do Wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. W tym 7 prezentacji ogłoszonych przez autorkę Autoreferatu (zaznaczone pogrubioną czcionką)

- 137.W Burakowski, et al., „Future Internet Engineering”, International Conference, eChallenges e-2010, Warsaw, 27-29 October 2010.
- 138.W. Burakowski, H. Tarasiuk, A. Beben, „System IIP for supporting “Parallel Internets (Networks)”, International Conference, Future Internet Conference Week 2010 – Future Internet Assembly, Ghent, Belgium, 2010.
- 139.W. Burakowski, H. Tarasiuk, "Towards the QoS Internet", 7th Würzburg Workshop on IP: Joint EuroFGI and ITG Workshop on "Visions of Future Generation Networks", EuroView2007, Wuerzburg, July 23-24, 2007, Germany, Invited Talk.

PREZENTACJE ZAPRASZANE NA KONFERENCJACH KRAJOWYCH

- 140.H. Tarasiuk, “QoS guarantees in NGN networks”, Polish Teletraffic Symposium, Zakopane, Poland 2012, Invited Talk.
- 141.H. Tarasiuk, „IPv6 QoS”, Seminarium IPv6, “Wsparcie techniczne dla wdrożenia IPv6 w krajowych sieciach publicznych i e-administracji”, Warsaw, Poland, February 2012.
- 142.W. Burakowski, H. Tarasiuk, "On providing QoS in the Internet", Proc. of Polish Teletraffic Symposium, PTS 2007, Zakopane, September 20-21, 2007, pp. 7-8, Keynote Talk.

b) Zestawienie projektów i prac (lata 1998-2015)²⁹

ZESTAWIENIE PROJEKTÓW I PRAC PO DOKTORACIE (2004-2015)³⁰

Lp.	Akronim	Tytuł	Rola	Okres realizacji
1.	COST 279	Analysis and Design of Advanced Multiservice Networks Supporting Mobility, Multimedia and Internetworking	ekspert	od 2004 do 30.06.2005
2.	EuQoS 6. PR UE	End-to-end Quality of Service support over heterogeneous networks	główny wykonawca kierownik grupy roboczej (około 10 osób)	od 01.09.2004 do 30.03.2008
3.	PBZ-ZR MNIŚW	Usługi i sieci teleinformatyczne następnej generacji - aspekty techniczne, aplikacyjne i rynkowe". Grupa GT-04: „Zarządzanie ruchem w sieciach”.	główny wykonawca	od 01.01.2008 do 30.03.2011
4.	Własny MNIŚW	Modelowanie i analiza sygnalizacji dla sieci QoS Internet	kierownik	od 14.04.2009 do 13.12.2011
5.	IIP POiG	Inżynieria Internetu Przyszłości	członek Komitetu Sterującego główny wykonawca kierownik grupy roboczej (około 30 osób)	od 01.01.2010 do 31.06.2013
6.	PL-LAB 2020 POiG	PL-LAB2020: Infrastruktura badawcza dla badań w obszarze programu Horyzont 2020	członek Komitetu Sterującego główny wykonawca	od 01.09.2014 do 31.12.2015

²⁹ Pełną listę raportów technicznych prac i projektów zawiera Załącznik 4.

³⁰ Projekt COST 279 był realizowany przed i po doktoracie, dlatego został ujęty w dwóch tabelach z uwzględnieniem okresu udziału.

ZESTAWIENIE PROJEKTÓW I PRAC DO DOKTORATU (1998-2004)

Lp.	Akronim	Tytuł	Rola	Okres realizacji
1.	COST 257	Impacts of new services on the architecture and performance of broadband networks	ekspert	od 1998 do 09.2000
2.	Grant KBN MNiSW	Taktyczna sieć ATM: aplikacje, protokoły i usługi sieciowe	wykonawca	od 1998 do 2000
3.	AQUILA 5. PR UE	Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-based Layered Architecture	główny wykonawca	od 01.01.2000 do 31.03.2003
4.	Grant KBN MNiSW	Mechanizmy Sterowania Ruchem w Sieci IP QoS	główny wykonawca	od 01.04.02 do 31.12.03
5.	Prace wykonane na zlecenie TP S.A.	Badanie sieci pilotowej ATM zbudowanej w oparciu o sprzęt firmy Siemens Metodologia badania sprzętu ATM	główny wykonawca	2000
6.	Praca wykonana na zlecenie firmy Polpager	Model ruchowy dostępowego systemu radiowego „Polpager”	główny wykonawca	06.2002
7.	COST 279	Analysis and Design of Advanced Multiservice Networks Supporting Mobility, Multimedia and Internetworking	ekspert	od 01.07.2001 do 2004

c) udział w komitetach programowych czasopism i konferencji, recenzje, organizacja konferencji, wystawy demonstratorów

PO DOKTORACIE

Członkostwo w komitetach programowych czasopism

- *Elsevier, Computer Communications, TPC Member* (od 2014)

Członkostwo w komitetach programowych konferencji/recenzje/przewodniczenie:

- *The Eighth International Conference on Advances in System Simulation, SIMUL 2016, August 21 - 25, 2016 - Brussels, Belgium*
- *The First International Workshop on QoS and Energy-aware Algorithms and Protocols in Wireless and Mobile Communications - QoSE WMC 2016, November 13 - 17, 2016 - Barcelona, Spain*
- *International Workshop on Future Internet and Smart Networks - FI&SN*
 - *FI&SN 2015, 7-9 October 2015, Guimarães, Portugal*
 - *FI&SN 2016, 12-13 September 2016, London, United Kingdom*
- *Special Session on Internet of Things, Big Data and Cloud Computing at 7th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (ACIIDS 2015) - IoT 2015, 23-25 March, Bali, Indonesia*
- *IoT Workshop at World CIST 2015 – 3rd World Conference on Information Systems and Technologies, 1-3 April, Azores, Portugal*
- *International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications - SIMULTECH*
 - *SIMULTECH 2015, 21-13 July, Colmar, Alsace, France*
 - *SIMULTECH 2016, 29-31 July, Lisbon, Portugal*
- *1st International Workshop on Wireless Solutions for Healthcare Applications - Concerto 2014, 8-10 September, Rome, Italy*
- *IEEE International Conference on the Internet of Things - IoT*
 - *IoT 2014, 1-3 September, Taipei, Taiwan*
 - *IoT 2015, 26-28 October, Seoul, Korea*

- *IEEE International Workshop on Service Science for e-Health - SSH*
 - *SSH 2013, 9-12 October 2013, Natal, Brazil*
 - *SSH 2014, 15-18 October, Lisbon, Portugal*
 - *SSH 2015, 14-17 October, Boston, USA*
- *8th IEEE, IET Int. Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing - CSNDSP 2012, 18-10 July, Poznań, Poland (recenzent)*
- *International Symposium on Computer and Information Sciences - ISCIS*
 - *ISCIS 2010, 22-24 September, 2010, London, UK*
 - *ISCIS 2011, 26-28 September 2011, London, UK*
 - *ISCIS 2012, 3-4 October, 2012, Paris, France*
 - *ISCIS 2013, 28-29 October, 2013, Paris, France*
 - *ISCIS 2014, 27-28 October, 2014, Kraków, Poland*
 - *ISCIS 2015, 23-25 September, Imperial College, London, UK*
- *ACM Symposium on Applied Computing Track on Networking - SAC NETS*
 - *SAC NETS 2010, 22-26 March, 2010, Sierre, Switzerland*
 - *SAC NETS 2011, 21-24 March, 2011, Taichung, Taiwan*
 - *SAC NETS 2012, 25-29 March, 2012, Riva del Garda (Trento), Italy*
- *1st International Workshop on the Evaluation of Quality of Service through Simulation in the Future Internet in conjunction with 8th EAI International Conference SIMUTOOLS - QoSSim 2008, 3 March, 2008, Marseil, France (współprzewodnicząca)*
- *International Workshop "Towards the QoS Internet" To-QoS'2006 in conjunction with 2006 IFIP Networking Conference, 19 May 2006, Coimbra, Portugal*

Członkostwo w komitetach organizacyjnych konferencji:

- *3rd International Workshop on Internet Performance, Simulation, Monitoring and Measurement, IPS-MoMe 2005, March 14-15, Warsaw, Poland 2005 (członek Komitetu Organizacyjnego)*

Recenzje w czasopismach:

- *Horizon Research Publishing Corporation, Universal Journal of Communications and Network (od 2015)*
- *Springer, Annals of Telecommunications (2014-2015)*
- *Scientific Online Publishing, Open Journal of Communications and Software (2014)*
- *Biuletyn PAN (2014)*
- *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (2013)*
- *Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Telekomunikacja i Techniki Informacyjne (2013)*
- *Elsevier, Computer Networks (2012)*
- *Polish Academy of Sciences, International Journal of Electronics and Telecommunications (2012)*
- *Future Internet - Open Access Journal (2011)*
- *Springer, Wireless Networks (2010-2011)*
- *Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Journal of Telecommunications and Information Technology (JTIT) (2010-2014)*
- *Elsevier, Computer Communications (od 2009)*
- *Wiley, European Transactions on Telecommunications (2009)*
- *IEEE, Journal of Communications and Networks (2008)*

Recenzje dla Polskiego Towarzystwa Informatycznego:

- *Konkurs prac magisterskich 2012-2014*

Recenzje projektów:

- *CHIST-ERA European Coordinated Research on Long-term Challenges in Information and Communication Sciences & Technologies ERA-Net (2013)*

Sesje specjalne na konferencjach:

- *XXIX Krajowe Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki - KSTiT 2013: Sesja specjalna – Inżynieria Internetu Przyszłości 1 (organizator)*
- *XXVIII Krajowe Sympozjum Telekomunikacji i Teleinformatyki - KSTiT 2012: Sesja specjalna - Projekty FP7 (współorganizator)*
- *8th IEEE, IET Int. Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing - CSNDSP 2012: Sesja specjalna– Future Internet (współorganizator)*

Organizacja wystaw związanych z demonstratorami:

- *CeBIT 2013 - Hannover 2013 – Projekt Inżynieria Internetu Przyszłości – demonstrator prototypu Systemu IIP i Równoległych Internetów (Kierownik wystawy, osoba odpowiedzialna za opracowanie scenariuszy demonstracyjnych i organizację wystawy)*
- *ITC 2012 Kraków, Projekt Inżynieria Internetu Przyszłości – demonstrator prototypu Systemu IIP i Równoległych Internetów (Kierownik wystawy, osoba odpowiedzialna za opracowanie scenariuszy demonstracyjnych i organizację wystawy)*
- *KSTiT 2012, Warszawa - Projekt Inżynieria Internetu Przyszłości – demonstrator prototypu Systemu IIP i Równoległych Internetów (Kierownik wystawy, osoba odpowiedzialna za opracowanie scenariuszy demonstracyjnych i organizację wystawy)*
- *KSTiT 2010 - Wrocław, Projekt PBZR-ZR, demonstrator Systemu IP QoS, (Kierownik wystawy, osoba odpowiedzialna za opracowanie scenariuszy demonstracyjnych i organizację wystawy)*
- *Konferencja końcowa projektu PBZ, Warszawa 2010 - Projekt PBZR-ZR, demonstrator Systemu IP QoS, (Kierownik wystawy, osoba odpowiedzialna za opracowanie scenariuszy demonstracyjnych i organizację wystawy)*
- *IST 2006 Exhibition Helsinki – Projekt EuQoS – demonstrator prototypu Systemu EuQoS, (Kierownik wystawy, osoba odpowiedzialna za opracowanie scenariuszy demonstracyjnych i organizację wystawy)*

DO DOKTORATU

Recenzje artykułów na konferencjach:

- *IEEE INFOCOM 2002, The Conference on Computer Communications, 25-27 June 2002, New York, USA - recenzent*

Członkostwo w komitetach organizacyjnych konferencji:

- *Workshop on Architectures for Quality of Service in the Internet jointly held with the Final AQUILA IST Seminar, Art-QoS 2003, 14-15 March, Warsaw, (przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego)*

Warszawa, 14.03.2016

Miejscowość, data

Tarasiuk

Podpis