

Załącznik nr 2
AUTOREFERAT ROZPRAWY HABILITACYJNEJ

Dr inż. Jordi Mongay Batalla

Warszawa, 5 kwietnia 2017 r.

1. Imię i nazwisko

Imię: Jordi

Nazwisko: Mongay Batalla

2. Wykształcenie

Urodziłem się w 1975 roku w Barcelonie (Hiszpania). W roku 2000 uzyskałem tytuł magistra inżyniera na Politechnice w Walencji (Hiszpania). Moją pracę magisterską, obejmującą temat sieci DiffServ, napisałem w Bolonii (Włochy) w Centro Nazionale di Astrofisica.

Po uzyskaniu tytułu magistra mieszkałem trzy lata we Florencji (Włochy) i pracowałem przez dwa lata w Dziale Jakości Azur della P.A.M.O.M. jako programista. Jednocześnie studiowałem podyplomowo na kierunku Socjologii na Instituto Mystici Corporis (Florencja, Włochy).

Następnie zamieszkałem w Polsce i podjąłem studia doktoranckie na Politechnice Warszawskiej w Zespole Technologii Sieciowych pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Wojciecha Burakowskiego. W trakcie trwania studiów pracowałem jeden rok w firmie Telcordia Poland (Ericsson R&D Co.) jako młody naukowiec.

Po ukończeniu studiów w roku 2010 pozostałem na Politechnice Warszawskiej na stanowisku Adiunkta Naukowego pracując w niepełnym wymiarze etatu. Aktualnie pracuję jako adiunkt naukowy na pół etatu.

W roku 2010 byłem zatrudniony na stanowisko adiunkta w Instytucie Łączności – Państwowym Instytucie Badawczym i od końca 2010 jestem kierownikiem Zakładu Technologii i Zastosowań Internetu, w którym badania prowadzi 10 osób.

Odbyłem również studia podyplomowe na kierunku Psychologii Stosowanej w Szkole Wyższej Psychologii Społecznej w Warszawie. Wyniki moich prac na temat psychologii stosowanej i Internetu opublikowane są w kilku międzynarodowych czasopismach psychologicznych.

	Stopień	Główny przedmiot	Uczelnia
1995–2000	Mgr inż.	Telekomunikacja (Specjalizacja: Komunikacja) Dyplom: Walencja, 4 kwietnia 2000 r.	Universidad Politecnica de Valencia (Walencja, Hiszpania)
2001-2002	Podyplomowe studia magisterskie	Nauki Społeczne	Instituto Mystici Corporis (Florencja, Włochy)
2004–2010	Dr inż.	Informatyka i Telekomunikacja. Specjalizacja: Telekomunikacja Dyplom: Warszawa, 26 stycznia 2010 r.	Politechnika Warszawska (Warszawa, Polska)
2010–2011	Podyplomowe studia magisterskie	Psychologia Stosowana Świadectwo: Warszawa, 4 czerwca 2011 r.	Szkoła Wyższa Psychologii Społecznej (Warszawa, Polska)

3. Doświadczenie zawodowe

	Stanowisko	Instytucja	Zadania
2000-2002	Programista	AZUR della P.A.M.O.M. (Florencja, Włochy)	Rozwój oprogramowania do automatyzacji pracy
2004-2010	Doktorant	Politechnika Warszawska, Instytut Telekomunikacji (Warszawa, Polska)	Praca przy projektach europejskich (m.in. projekt FP6 <i>EuQoS</i>)
2008-2009	Młody Naukowiec	Telcordia Poland (Ericson Co.)	Badania nad rozszerzeniami IPv6 proponowanymi w ramach projektu FP7 <i>Efipsans</i>
2010–obecnie	Adiunkt (niepełny etat)	Politechnika Warszawska, Instytut Telekomunikacji (Warszawa, Polska)	Badania w ramach różnych europejskich projektów
2010–obecnie	Adiunkt (Kierownik Zakładu)	Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy (Warszawa, Polska)	Praca w projektach badawczych i kontraktach rynkowych, koordynacja prac badawczych zespołu Zakładu (ok. 10 osób)

4. Wskazanie osiągnięcia wynikające 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.)

4.1. Tytuł

Jako naukowe osiągnięcie prezentuję serię 8 publikacji na temat „**Efektywny przekaz treści multimedialnej pomiędzy chmurą obliczeniową a urządzeniem mobilnym**”. Publikacje zawierają oryginalne mechanizmy i algorytmy służące poprawie transmisji multimediiów z sieci opartych na chmurze do urządzeń mobilnych w sieciach 3G/4G/5G lub sieciach domowych. Jestem wyłącznym autorem 2 spośród tych publikacji, głównym autorem 3 z nich, a do pozostałych trzech wniosłem znaczący wkład, opisany dalej w niniejszym referacie.

To podsumowanie osiągnięć zawodowych skupia się wyłącznie na latach po uzyskaniu tytułu doktora i wszystkie publikacje oraz badania prezentowane w niniejszym dokumencie odwołują się również do tego okresu.

Nota redakcyjna nr 1: Chciałbym przeprosić za fakt pisania tego dokumentu w pierwszej osobie liczby pojedynczej. Jestem świadomy, że może to skutkować monotonią pracy, jednak jest to umotywowane koniecznością jasnego wyrażenia mojego własnego wkładu w badaniach.

Nota redakcyjna nr 2: Tekst objęty szarymi ramkami nie jest bezpośrednio związany z listą publikacji prezentowanych w Autoreferacie, lecz uważam te adnotacje za wartościowe dla pełnego zrozumienia mojej naukowej aktywności po uzyskaniu tytułu doktora.

Adnotacje te mogą zawierać odniesienia do mojego dorobku w projektach badawczych i/lub moich publikacji nieuwzględnionych bezpośrednio w autoreferacie. Będą również wartościowe dla czytelnika chcącego dalej zgłębiać tematykę opisaną w tym dokumencie.

4.2. Lista publikacji

Lista publikacji przedstawia się następująco:

- [Auto-1] Tytuł: Adaptation of Cloud Resources and Media Streaming in Mobile Cloud Networks for Media Delivery
Autor/autorzy: J. Mongay Batalla
Rozdział w książce Resource Management of Mobile Cloud Computing Networks and Environments, IGI-Global Eds.
Tom: Wydanie: Strony:175-202 Rok: 2015
Web of Science: Nie SCOPUS: Tak
DOI: 10.4018/978-1-4666-8225-2.ch007
Strona internetowa: <http://www.igi-global.com/chapter/adaptation-of-cloud-resources-and-media-streaming-in-mobile-cloud-networks-for-media-delivery/125966>
- [Auto-2] Tytuł: Adaptive video streaming: rate and buffer on the track of minimum re-buffering
Autor/autorzy: J. Mongay Batalla, P. Krawiec, A. Bęben, P. Wiśniewski i A. Chydziański
Czasopismo: IEEE Journal on Selection Areas of Communications
Tom: 34 Wydanie: 8 Strony: 1-14 Rok: 2016
JCR: Tak (Lista MNiSW: 45 punktów)
DOI: 10.1109/JSAC.2016.2577360
Strona internetowa:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7485886>
- [Auto-3] Tytuł: Multiple Description-DASH: Pragmatic video streaming maximizing End-Users' Quality of Experience

Autor/autorzy: J. Bruneau-Queyreix, D. Négru, J. Mongay Batalla i E. Borcoci
Konferencja: IEEE International Conference on Communications ICC
Międzynarodowa/Narodowa: Międzynarodowa
Web of Science: Tak SCOPUS: Tak
Miasto: Kuala Lumpur Kraj: Malaysia Data konferencji: 23-27 Maj 2016
DOI: 10.1109/ICC.2016.7511205
Strona internetowa:
ieeexplore.ieee.org/iel7/7502491/7510595/07511205.pdf?arnumber=7511205

- [Auto-4] Tytuł: Efficient Entertainment Services Provision over a Novel Network Architecture
Autor/autorzy: Y. Kryftis, G. Mastorakis, C. Mavromoustakis, J. Mongay Batalla, E. Pallis i G. Kormentzas
Czasopismo: IEEE Wireless Communications
Tom: 23 Wydanie: 01 Strony: 14-21 Rok: 2016
JCR: Tak (Lista MNiSW: 50 punktów)
DOI: 10.1109/MWC.2016.7422401
Strona internetowa:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7422401>
- [Auto-5] Tytuł: Optimized decision algorithm for Information Centric Networks
Autor/autorzy: J. Mongay Batalla, A. Bęben i Y. Chen
Czasopismo: Telecommunication Systems Journal
Tom: 61 Wydanie: 2 Strony: 247-255 Rok: 2016
JCR: Tak (Lista MNiSW: 25 punktów)
DOI: 10.1007/s11235-015-9998-4
Strona internetowa: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11235-015-9998-4>
- [Auto-6] Tytuł: Evolutionary Multiobjective Optimization algorithm for multimedia delivery in critical applications through Content Aware Networks
Autor/autorzy: J. Mongay Batalla, C. X. Mavromoustakis, G. Mastorakis, D. Negru i E. Borcoci
Czasopismo: The journal of Supercomputing
Tom: Będzie Wydanie: Będzie Strony: 1-24 Rok: 2016
JCR: Tak (Lista MNiSW: 20 punktów)
DOI: 10.1007/s11227-016-1731-x
Strona internetowa: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11227-016-1731-x>
- [Auto-7] Tytuł: An Evaluation of Cloud-Based Mobile Services with Limited Capacity: A Linear Approach
Autor/autorzy: G. Skourletopoulos, C. X. Mavromoustakis, G. Mastorakis, J. Mongay Batalla i J. N. Sahalos
Czasopismo: Soft Computing
Tom: 02 Wydanie: 2016 Strony: 1-8 Rok: 2016
JCR: Tak (Lista MNiSW: 25 punktów)
DOI: 10.1007/s00500-016-2083-4
Strona internetowa: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00500-016-2083-4>
- [Auto-8] Tytuł: Advanced Multimedia Service Provisioning based on efficient interoperability of adaptive streaming protocol and High Efficient Video Coding
Autor/autorzy: J. Mongay Batalla
Czasopismo: Journal of Real-Time Image Processing

Tom: 12 Wydanie: 2 Strony: 443-454 Rok: 2016

JCR: Tak (Lista MNiSW: 25 punktów)

DOI: 10.1007/s11554-015-0496-4

Strona internetowa: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11554-015-0496-4>

4.3. Aktywność naukowa

Przedmiotem moich badań (po ukończeniu studiów doktoranckich) były metody zapewnienie efektywnego przekazu treści multimedialnych z wykorzystaniem sieci Internet. Internet jest miejscem, w którym można spotkać dużą różnorodność treści multimedialnych. Właśnie ta różnorodność, w połączeniu ze zróżnicowaniem dostępu do sieci powoduje, iż zapewnienie efektywnego przekazu treści jest istotnym wyzwaniem stawianym projektantom systemów dystrybucji treści.

Innym czynnikiem mającym wpływ na złożoność dostarczania multimedii drogą internetową jest fakt, że korzystanie z nich odbywa się coraz częściej na urządzeniach mobilnych, co nastęrcza nowych problemów, które mogą zakłócić transmisję.

Z drugiej strony, dostawcy treści multimedialnych zwracają się w stronę technologii stosowanych w sieciach chmurowych w celu rozwiązywania problemów natury magazynowania danych, a sieci chmurowe stają się najczęściej wykorzystywanym typem infrastruktury służącym do wydajnego dostarczania danych. W sieciach chmurowych lokalizacje fizyczne i logiczne nie są tożsame, co jest szczególnie interesujące w usługach dostarczania multimedii nad infrastrukturą (ang. Over-the-Top, OTT).

Biorąc pod uwagę powyższe spostrzeżenia, moje badania były skierowane na znalezienie rozwiązań strumieniowania multimedii z sieci chmurowych, jako rozwinięcie koncepcji sieci chmurowej do transmisji treści multimedialnych na urządzenia mobilne (ang. Mobile Media Cloud, MMC).

W MMC treści dostarczane są z chmury (która może być tradycyjnym rozwiązaniem chmurowym, siecią dystrybucji treści (ang. Content Distribution Network - CDN), lub jakimkolwiek innym typem architektury chmurowej) do urządzenia mobilnego użytkownika, a strumieniowaniem można zarządzać z samej chmury lub/i aplikacji klienta.

Nowatorskie mechanizmy, które zaproponowałem w ciągu ostatnich trzech lat były ukierunkowane na zwiększenie satysfakcji użytkowników podczas korzystania z multimedii przez zarządzanie transmisją zarówno po stronie aplikacji użytkownika, jak i przez system zarządzania chmurą, co było realizowane za pomocą kontroli transmisji i równoczesnym dostosowywaniu jej do stanu sieci.

4.3.1. Wprowadzenie

Dystrybucja treści multimedialnych (telewizja, filmy, muzyka) generuje obecnie znaczącą część światowego ruchu internetowego, osiągając poziom ponad 30 PB/miesiąc z całego ruchu Internetowego, który jest z rzędu 50 PB/miesiąc. Z uwagi na ogromny rozwój technologii multimedialnych w całym Internecie, jest niezbędnym opracowanie wydajnych, bezpiecznych i ujednoczonych rozwiązań zapewniających efektywny przekaz treści multimedialnych.

Właściwie od momentu pojawienia się, technologia chmur obliczeniowych zmieniła sposób realizacji usług internetowych. Chmury obliczeniowe były początkowo wykorzystywane, jako środowisko działania aplikacji wymagających znaczącej mocy obliczeniowej. Na obecnym etapie rozwoju chmury obliczeniowe stały się lokalizacją zwirtualizowanych, a jednocześnie w pełni kompletnych systemów dystrybucji mediów dla dużej liczby użytkowników końcowych. W celu osiągnięcia wysokiej wydajności sieci, dzisiejsze chmury oparte są o centra danych

rozlokowane na całym świecie. W ten sposób dostawcy usług mogą oferować treści multimedialne niezależnie od fizycznej lokalizacji jej użytkowników.

Istnieją także inne nowe architektury chmur, które nie są oparte o centra danych. Przykładem takiej „nowej chmury” jest architektura **Media Home Gateway Cloud**. Media Home Gateway Cloud (MHGC) łączy wiele (setki) urządzeń tzn. Set-Top-Box (STB) zlokalizowanych u użytkowników końcowych i zarządzanych przez operatora sieci. Te urządzenia mają możliwość przechowywania danych oraz mogą działać jako serwery treści. MHGC może pracować w sieci wymiany danych (ang. peer-to-peer, p2p) lub w trybie bezpośredniego pobierania mediów. Operatorzy sieci preferują MHGC z uwagi na możliwość przechowywania treści, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów operacyjnych (ang. Operating Expenditures - OPEX) wynikającym z faktu, iż koszt energii elektrycznej potrzebnej do działania urządzeń pokrywają użytkownicy.

Podczas korzystania z klasycznych chmur, systemów CDN, lecz także **chmury domowej**, wyzwaniem wciąż pozostaje zapewnienie takiej jakości dostarczania treści, która jest wymagana przez użytkowników bez ponoszenia zwiększonych kosztów.

Proponowane rozwiązania wykorzystują „Techniki chmur obliczeniowych dla transmisji treści multimedialnej na urządzenia mobilne” (ang. Mobile Media Cloud, MMC). Rozwiązania te obejmują mechanizmy zapewniające efektywny przekaz multimediów (z chmury do urządzeń mobilnych) oraz ulepszające jakość przekazu z jednoczesnym uniknięciem dużych nakładów inwestycyjnych i przejścia na nowe architektury. Sieć chmurowa do transmisji treści multimedialnej na urządzenia mobilne była pierwotnie przedstawiona w publikacji [Auto-1].

MMC jest mocno związana z tzw. siecią chmurową w urządzeniach mobilnych (ang. Mobile Cloud Networking) lecz nie jest to samo. Sieć chmurowa w urządzeniach mobilnych jest podejściem, które zakłada, że złożone obliczeniowo zadania są przenoszone z urządzeń mobilnych do chmury obliczeniowej. W ten sposób nawet proste urządzenia mobilne mogą przeprowadzać także wszystkie skomplikowane operacje z użyciem zasobów chmury. Natomiast w rozwiązaniach MM, urządzenia końcowe (mobilne) przetwarzają treść multimedialną, której źródłem jest chmura obliczeniowa. Ponadto, chmura umożliwia wykorzystanie analizy i przetwarzania treści.

Nawet, gdy MMC i sieci chmurowe w urządzeniach mobilnych nie działają w ten sam sposób, oba rozwiązania stawiają te same (liczne) wyzwania związane ze szczególnym ograniczeniem zasobów sieci mobilnych, jak i przeciążeniem samych chmur. Poniżej opisane trudności dotyczą bezpośrednio kwestię dostarczania mediów i muszą być uwzględnione w momencie jej oferowania. Te kwestie to:

- Niska przepustowość w sieciach dostępowych. Nawet pomimo tego, że technologia 4G zwiększyła szybkość przekazu danych na urządzenia mobilne, ciągły wzrost zapotrzebowania aplikacji mobilnych wciąż stanowi wyzwanie dla sieci.
- Nadmierne opóźnienia w sieciach dostępowych spowodowane fizycznym opóźnieniem mediów. Opóźnienia spowodowane są ograniczoną łącznością ze stacjami bazowymi, a także opóźnieniami wprowadzonymi przez protokoły dostępu do mediów.
- Nieoptymalne zarządzanie zasobami sieci dostępowych. Zarządzanie zasobami powinno być efektywne w celu zmniejszenia opóźnienia w dostępie do sieci dostępowych, jak również by poprawnie zarządzać dostępną przepustowością łączy.

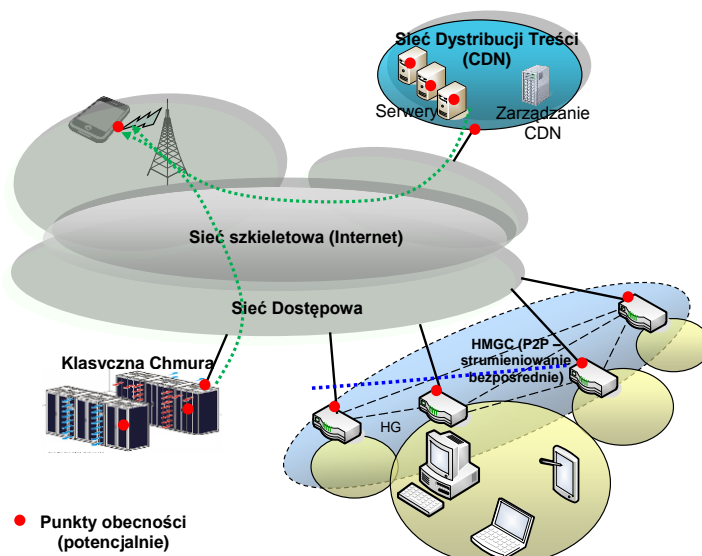
- Rozdrobnienie usług. Na dystrybucję mediów składa się wiele pojedynczych usług (m.in. dostarczanie treści, reklamy, publikowanie treści), które powinny być wzajemnie dopasowane w celu dostarczenia końcowym użytkownikom usługi wysokiej jakości.
- Ograniczenia zasobów urządzeń mobilnych, ze szczególnym uwzględnieniem ich zasilania i możliwości przechowywania danych. W przypadku aplikacji używających technologii wideo, kolejnym ograniczeniem są zazwyczaj niskiej jakości ekrany (w porównaniu do laptopów i telewizorów).
- Nieciągły charakter dostępu. By dostarczyć media ze źródła treści do końcowego użytkownika mobilnego powinna być zapewniona nieprzerwana łączność w połączeniu z odpowiednimi zasobami obliczeniowymi.

Ograniczenia przytoczone powyżej są dziedziczone przez MMC i trzeba się do nich odwołać, mając na myśli umożliwienie dostarczania mediów. Sieci mobilne powinny być przystosowane do zaspokojenia potrzeb usług dostarczających treści „z chmury”, a same chmury powinny ewoluować by rozpoznawać i eliminować ograniczenia sieci.

MMC jest systemem transmisji Over-the-Top (OTT). OTT odwołuje się do sposobu dostarczania treści (drogą internetową) przez dostawcę usług, który nie może kontrolować zasobów sieci. Innymi słowy, dostawca usług multimedialnych i dostawca samej sieci (ISP) nie jest tym samym podmiotem, co więcej nie ma między nimi żadnego porozumienia dotyczącego przesyłania treści.

MMC przewyższa inne rozwiązania OTT, ponieważ próbuje połączyć informacje o użytkowniku i o źródle dla usprawnienia transmisji treści. MMC zawiera zestaw mechanizmów i procedur ukierunkowanych na zwiększenie satysfakcji użytkowników podczas korzystania z multimedii. Dokładnie, MMC zawiera międzywarstwowe mechanizmy i instrukcje zarządzania współdzielone przez użytkownika końcowego i zarządcę chmury, które wspólnie mogą kontrolować zasoby i przystosowanie bieżącej transmisji mediów do aktualnej dostępności zasobów sieciowych. Proszę zauważyć, że w MMC dostarczanie mediów może być kontrolowane i zarządzane wyłącznie w chmurze lub w chmurze i na urządzeniu użytkownika, co pozwala uniknąć konieczności wdrażania nowych, złożonych modeli komunikacji. MMC działa jako „nakładka” (ang. „overlay”) z „punktami obecności” (ang. Points of Presence) przy źródle (serwerze treści lub punkcie dostępowym chmury) i w punkcie docelowym (urządzeniu użytkownika). Jako „punkty obecności” mamy na myśli punkty, w których transmisja może być mierzona, analizowana, sprawdzana w celu podejmowania dalszych działań, które zdecydują o pozostawieniu jej w obecnym kształcie lub poddaniu dalszym modyfikacjom, służącym zwiększeniu jej jakości. Będzie to miało finalnie wpływ na zwiększenie wskaźnika Quality of Experience (QoE) po stronie użytkownika.

Rys. 1 pokazuje schemat MMC. Jak można zauważyć, potencjalne punkty obecności są zlokalizowane wewnątrz chmury lub w punkcie jej przyłączenia do Internetu (klasycznej chmury/CDN), a także na urządzeniach użytkowników końcowych.



Rys. 1. Schemat Mobile Media Cloud (MMC) z potencjalnymi punktami obecności

Podmiotami biznesowymi zaangażowanymi w transmisję z użyciem MMC są: (1) dostawca usług, który dostarcza usługi treściowe do użytkowników, (2) użytkownicy końcowi, którzy korzystają z treści, a także (3) potencjalny dostawca treści, który jest jednocześnie jej właścicielem (MMC nie wchodzi w relacje biznesowe między dostawcami treści a dostawcami usług, bo jedynym przedmiotem jej zainteresowania pozostaje tylko właściwa transmisja).

Dostawca sieci (ang. Internet Service Provider - ISP) nie jest stroną transmisji, gdyż jest odpowiedzialny jedynie za dostarczenie samej infrastruktury. Jest to główna różnica między MMC a innymi architekturami służącymi do transmisji multimedialnych, takimi jak Sieci bazujące się na informacji przekazanej treści (ang. Information Centric Networks) lub Sieci świadome treści (ang. Content Aware Networks). Zarówno ICN, jak i CAN wymagają współpracy ze strony dostawcy sieci (ISP) i zawierają punkty obecności technologii na drodze transmisji mediów.

Oczywiście, możliwości dostrojenia transmisji z użyciem dwóch przytoczonych wyżej architektur są większe niż w przypadku korzystania z MMC. Jednak biorąc pod uwagę dzisiejszy stan Internetu, rozwiązania te wydają się niemożliwe do praktycznego zastosowania. Dla przykładu, Sieci bazujące się na informacji przekazanej treści używają adresowania opartego o nazwach treści przekazywanej, co jest rozwiązaniem nieskalowalnym. Z kolei Sieci świadome treści wymagają współpracy różnych podmiotów uczestniczących w tworzeniu środowiska przyjaznego lepszemu dostarczaniu mediów. Ta współpraca jest trudna do osiągnięcia, biorąc pod uwagę konflikt interesów różnych stron działających w obrębie tego rozwiązania.

Sieci chmurowe do transmisji treści multimedialnych na urządzenia mobilne zostały zaprezentowane w [Auto-1]. Ta długa publikacja zawiera definicję tego rodzaju sieci i szczegółowo porusza główne problemy związane z ich implementacją w obecnie istniejącym środowisku. Dodatkowo, [Auto-1] prezentuje jeden z mechanizmów MMC: „podwójną adaptację”, opisaną poniżej. Wszystkie inne publikacje przytoczone w tym Referacie są powiązane z konkretnym/-i mechanizmem/-ami wprowadzonymi dla ulepszenia tego rodzaju sieci.

4.3.2. Mechanizmy zapewnione w obrębie Mobile Media Clouds

Mój wkład w postępowanie w obszarze strumieniowania treści multimedialnych w chmurowych sieciach mobilnych był skupiony na następujących kwestiach:

- **Mechanizm podwójnej adaptacji (źródła zawartości i transmisji mediów) oparty o prawdopodobieństwo ponownego buforowania** [Auto-1], [Auto-2], [Auto-3], wywoływany na urządzeniach mobilnych użytkowników. Ten mechanizm powinien decydować zarówno o wyborze źródła zawartości, jak i o bitrate mediów, oddzielnie dla każdego bloku danych. Podwójna adaptacja jest krokiem naprzód w porównaniu z adaptacją bitrate istniejącą do tej pory. W nowym podejściu bitrate mediów jest ustalany na podstawie prawdopodobieństwa ponownego buforowania, a nie szybkości pobierania lub poziomu zajętości samego bufora. Do tej pory te dwie wartości (stosowane oddzielnie lub łącznie) były jedynymi parametrami używanymi do dopasowywania transmisji mediów do warunków sieci. W artykułach [Auto-1] i [Auto-2] zaproponowałem mechanizm podwójnej adaptacji twierdząc, że zdolność dopasowania transmisji powinna odwoływać się do możliwości wystąpienia sytuacji, w której bufor odtwarzacza będzie pusty, ponieważ jest to główna kwestia warunkująca jakość transmisji wideo. W [Auto-3] rozwinąłem możliwości adaptacji przewidziane w MMC przez rozwinięcie nowego protokołu, służącego do strumieniowania, zaprojektowanego specjalnie do wielowątkowej i wieloźródłowej transmisji. Protokół ten oparty jest o standard DASH (dynamicznie dostosowujące się strumieniowanie po HTTP, ang. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP - DASH) i wykorzystuje jego wydajność dzięki polityce transmisji w połączeniu z inteligentnym sposobem kodowania. Ten protokół został po raz pierwszy zaprezentowany na konferencji ICC w 2015 roku i jest obecnie rozwijany przez partnerów wspólnego projektu.
- **Nowe mechanizmy przewidujące użycie zasobów chmury** [Auto-4]. Kontrola zasobów w punkcie połączenia chmury z Internetem jest kluczowa dla części „chmurowej”, by zagwarantować dobrą transmisję multimedialnych. W przypadku, gdy połączenie między chmurą a Internetem jest przeciążone, transmisja multimedialnych ulega pogorszeniu, co powoduje dużą utratę jakości i niezadowolenie wśród odbiorców. Z tego powodu przewidywanie obciążenia połączenia na wyjściu z chmury jest kluczowe dla MMC. Zaproponowane mechanizmy są ukierunkowane na kontrolę poszczególnych połączeń (multimedialnych), w przeciwieństwie do obecnych algorytmów, traktujących ruch sieciowy jako całość (ang. aggregate). Zaproponowany algorytm przewidujący stosuje różne metody statystyczne i wybiera najlepszą opcję (metodą) w każdym stanie sieci. Zastosowanie algorytmu w grach komputerowych internetowych było zaprezentowane w [Auto-4], gdzie zawarto jego ogólną teoretyczną analizę. Jako że [Auto-4] jest artykułem ogólnego czasopisma (ang. magazine), rozwój tej teorii nie był tam szczegółowo opisany, poruszyłem jednak te kwestie w sposób kompletny w kilku innych miejscach, co przytoczę w następnym akapicie.
- **Algorytmy wybierające źródło treści** [Auto-5], [Auto-6]. Wybór źródła, z którego zawartość ma być przekazywana do użytkownika jest istotną kwestią. Obecnie systemy kierujące ruchem zapewniają różne algorytmy (oparte zazwyczaj o heurystykę), które skupiają uwagę tylko na niewielkiej liczbie parametrów. W chmurach (a w szczególności w dużych chmurach) mamy do czynienia z bardzo wieloma parametrami i obecne algorytmy nie są do tego celu wystarczające. Zaproponowałem wprowadzenie algorytmu wybierającego źródło, który jest konieczny do ustalenia najlepszego serwera dla danych treści. Algorytm ten działa wewnątrz systemu zarządzania chmurą w momencie, gdy pojawia się żądanie udostępnienia treści, jest oparty na uzyskanych pomiarach źródeł i

ich aktualnych możliwościach dostępowych do Internetu. Pomiary w punkcie połączenia chmury i sieci Internet są wyjątkowo ważne z powodu fizycznej dyslokacji danych (np. centrów danych). Algorytmy wyboru źródła zostały zaprezentowane w [Auto-5] i [Auto-6].

- **Zasoby obliczeniowe potrzebne do strumieniowania multimediów** [Auto-7], [Auto-8]. Czwartą i ostatnią kwestią, w której wniosłem innowacyjne podejście była analiza zasobów obliczeniowych w sieciach chmurowych. Kontrola i przewidywanie zasobów jest tak ważne, ponieważ operacje przeprowadzane w chmurze na potrzeby strumieniowania są nie tylko bardzo wymagające pod kątem przepustowości sieci, ale także mocy obliczeniowej. Przykładami tych operacji są: kodowanie i strumieniowanie (np. w LiveTV), transkodowanie i przechowywanie (np. treści wygenerowanych przez użytkowników) oraz transkodowanie w czasie rzeczywistym (np. reklam i innych treści zależnych od bieżącego kontekstu). Ponadto, telewizja internetowa (ang. IP Television, IPTV) wymaga dużej mocy obliczeniowej przez całą dobę. Publikacja [Auto-7] bada zbyt duże i niepełne wykorzystanie zasobów obliczeniowych w chmurze z użyciem liniowych modeli do obliczenia stopnia wykorzystywania zasobów w transmisji multimediów, natomiast publikacja [Auto-8] skupia się na oszczędzaniu tychże zasobów, przez jednoczesne użycie DASH i nowego kodeka o wysokiej skuteczności (High Efficient Video Coding – HEVC) przy strumieniowaniu Video na Żądanie (ang. Video on Demand -VoD) w czasie quasi-rzeczywistym.

4.3.3. Adaptacja źródła zawartości i transmisji mediów oparta o prawdopodobieństwo ponownego buforowania

Strumieniowanie multimediów przez Internet musi dostosowywać format danych i parametry transferu do charakterystyki sieci i urządzeń końcowych. Możemy zdefiniować adaptację jako wszystkie modyfikacje na którejkolwiek z warstw podjęte w celu polepszenia jakości mediów po stronie użytkownika, gdy warunki połączenia ulegną pogorszeniu.

W chmurach MMC czasowa niedostępność chmury może powodować przerwy w dostarczaniu mediów i, w rezultacie, poważne problemy z odtwarzaniem wideo. Celem uniknięcia przerw w dostępie do chmury, zaproponowałem dodanie mechanizmu dostosowania źródła treści wewnątrz aplikacji użytkownika. Dostosowanie źródła treści dotyczy możliwości wybrania źródła (np. serwera, z którego media są strumieniowane).

Obecne aplikacje mają wbudowaną adaptację mediów przez dostosowania ich bitrate do bieżącego stanu sieci. Ta adaptacja jest zaimplementowana w prawie wszystkich protokołach opartych o transmisję HTTP, na przykład w chronionych patentami rozwiązaniach jak Adobe Dynamic Streaming, HTTP Adaptive Live Streaming firmy Apple i w ISS Smooth Streaming firmy Microsoft, ale też w otwartych protokołach DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP). DASH stopniowo zyskuje popularność z powodu bycia standardem otwartym. Pomimo tego, że większość zaproponowanych mechanizmów była niezależna od użytego protokołu, zastosowanie algorytmu podwójnej adaptacji zaprezentowane w [Auto-1] i [Auto-2] było oparte o protokół DASH.

Podstawowym założeniem podwójnej adaptacji zaprezentowanym w [Auto-1] jest rozwinięcie możliwości adaptacji aplikacji przez stworzenie informacji zwrotnej zarówno po stronie chmury, jak i urządzenia mobilnego. Mechanizm przetwarza informacje i na ich podstawie dynamicznie (w czasie trwania transmisji) wybiera źródło, a także bitrate następnego fragmentu treści, który ma być pobrany.

Standard DASH proponuje podział całej zawartości na małe części (zazwyczaj od 2 do 15 sekund), które są zakodowane osobno i dostęp do nich jest niezależny od reszty, np. każda część filmu jest przechowywana w osobnym pliku z unikatowym identyfikatorem (URL). Każda część wideo jest nazywana kawałkiem (ang. chunk) lub segmentem (segment jest nazwą wywodzącą się z DASH, a „chunk” jest częściej używany przy innych protokołach strumieniujących zgodnych z HTTP). Każdy segment jest z kolei wielokrotnie zakodowany przy użyciu innych jakości (tzw. „reprezentacje”), tak, że powstaje wiele plików tego samego segmentu, każdy innej wielkości. Jako, że każdy z nich zawiera tę samą treść (jest tej samej długości), to konieczne do pobrania każdej reprezentacji tego samego segmentu jest również inne pasmo strumieniowania (ang. bitrate), które jest nazwane „pasmo reprezentacji mediów” (ang. Media representation bitrate).

Informacja o wszystkich segmentach i ich reprezentacjach a także ich adresach URL, jest zapisana przez dostawcę usługi w pliku manifestu MPD (ang. Media Presentation Description). Plik MPD jest wysyłany na początku transmisji i używany przez aplikację użytkownika do sukcesywnego żądania segmentów. Dla każdego z nich algorytm adaptacyjny w aplikacji wybiera właściwej reprezentacji fragmentu zależnie od bieżących warunków pobierania.

Algorytm podwójnej adaptacji, który zaprezentowałem w [Auto-1] decyduje po pierwsze o tym, czy bitrate reprezentacji mediów następnego segmentu ma ulec zmianie w porównaniu do obecnego segmentu oraz po drugie, czy ma nastąpić zmiana źródła zawartości (np. czy następny segment ma być pobrany z innego źródła niż obecny).

W ogólności, w momencie otrzymania przez urządzenie mobilne informacji (w czasie rzeczywistym) o niskiej jakości połączenia, może ono spowodować przełączenie transmisji do innego źródła (proponowanego przez dostawcę chmury) lub może wybrać następnym segmentów o innym bitrate (inna reprezentacja). Wybór jednej z tych opcji jest podejmowany w oparciu o pomiary brane przez urządzenie użytkownika. Celem rozwiązania tego problemu (nazywany problem dualny) jest opracowanie algorytmu, który wybierze zmianę serwera w przypadku obecności „wąskiego gardła” transmisji po stronie chmury lub wybierze adaptację bitrate w przypadku „wąskiego gardła” po stronie użytkownika. Aplikacja klienta musi zapisywać swoje poprzednie działania, by uniknąć efektu lawinowego, szczególnie w przypadku przełączania wielu połączeń na raz.

Podwójna adaptacja zakłada współpracę między dostawcą chmury a użytkownikiem końcowym. Dostawca udostępnia wiele adresów serwerów, pod którymi znajduje się żądana zawartość. Ponadto dostawca może dodać informację o obecnym lub/i średnim wykorzystaniu fizycznych/wirtualnych maszyn, na których ta zawartość jest zlokalizowana (te dodatkowe informacje są nieobowiązkowe w naszym rozwiązaniu, ponieważ mogą dotyczyć zbyt wrażliwych obszarów działalności usługodawcy).

Dane zgromadzone w MPD zawierają Multi-BaseURL (więcej niż jeden adres URL). Dostawca usługi generuje plik MPD i jest odpowiedzialny za jego aktualizowanie (może być używany dynamiczny MPD). Klient używa parametrów opisujących stan serwerów treści celem wybrania najlepszego z nich do dalszej transmisji. Informacja jest przetwarzana przez aplikację klienta (na urządzeniu mobilnym) do rozwiązania problemu dualnego i wyboru najlepszego serwera dla każdego z segmentów. Wybór źródła treści w oparciu o przekazane parametry może być problemem NP-zupełnym, którego rozwiązanie nie jest trywialne; był to powód do dalszych studiów nad algorytmami wybierającymi źródło treści (przedstawionych w podrozdziale 4.3.5).

Algorytm podwójnej adaptacji ma na celu utrzymanie bufora odtwarzacza o stabilnej wielkości. Bufor jest odpowiedzialny za wyrównywanie asynchronizmu między pobieraniem i odtwarzaniem wideo. Przez ustabilizowanie bufora unika się wielu zakłóceń mogących występować podczas odtwarzania, spowodowanych przez jego niezapełnienie. Sytuację, w której aplikacja odtwarzająca wideo nie może odtworzyć żadnego segmentu nazywa się ponownym buforowaniem (ang. rebuffering). Algorytm adaptacji powinien znaleźć reprezentację, która (miejmy nadzieję) utrzyma taką samą zajętość bufora odtwarzacza (czasy pobierania i odtwarzania będą takie same). Równanie 1 pokazuje zajętość bufora po pobieraniu segmentu i : $q(t_i)$, Ω jest czasem odtwarzania jednego segmentu (zakładamy równy czas odtwarzania wszystkich segmentów), t_i czasem pobierania segmentu i (ang. Segment Download Time, SDT):

$$q(t_i) = \begin{cases} \sum_{j=1}^i V_j \cdot \Omega - V_1 \cdot (t_i - t_1); & 0 \leq t_i - t_1 \leq \Omega \\ \sum_{j=2}^i V_j \cdot \Omega - V_2 \cdot (t_i - t_1 - \Omega); & \Omega \leq t_i - t_1 \leq 2\Omega \\ \vdots & \\ \sum_{j=k}^i V_j \cdot \Omega - V_k \cdot (t_i - t_1 - (k-1) \cdot \Omega); & (k-1) \cdot \Omega \leq t_i - t_1 \leq k \cdot \Omega \\ \vdots & \\ \max\{V_i \cdot (i \cdot \Omega - t_i + t_1); 0\}; & (i-1) \cdot \Omega < t_i - t_1 \end{cases} \quad (1)$$

Przez kontrolę zajętości bufora, aplikacja kliencka jest w stanie bardziej efektywnie reagować na zmiany bitrate transmisji. Matematyczna analiza i opis formalny tego algorytmu znajdują się w [Auto-1].

Podwójna adaptacja jest podejściem, które zaproponowałem do wprowadzenia w projekcie FP7 ALICANTE. Alicante był programem w ramach 7-go programu ramowego Unii Europejskiej, którego celem było zwiększenie możliwości transmisji multimedialnych przez sieć dzięki współpracy wielu uczestników Internetu. Projekt skupiał się na dostosowaniu parametrów usług, ale nie brał pod uwagę adaptacji samej usługi (przez zmianę źródła usługi). Zaproponowałem włączenie takiego mechanizmu do projektu, w odpowiedzi na konkurs projektów „FP7-ICT-2011-7 ICT-7-11.3 Supplements to Strengthen Cooperation in ICT R&D in an Enlarged EU” które dotyczyło się trwających projektów. Moja propozycja rozszerzenia projektu została zaakceptowana i otrzymała finansowanie Komisji Europejskiej w latach 2011 - 2013. W załączniku 2A (str. 25) można znaleźć list dr Daniela Négru (koordynatora projektu FP7 IP ALICANTE) wyjaśniającego moje wysiłki skupione na dołączeniu do projektu po inicjatywie jego rozszerzenia, a także mój wkład w cały projekt.

Niekorzystną cechą tego algorytmu jest nieprecyzyjne określenie natury zmienności czasu pobierania segmentów. W szczególności, mogło się zdarzyć, że jeden z segmentów doznał znaczącego opóźnienia SDT, co w następstwie prowadziło do błędnego wyboru reprezentacji lub błędnie powodowało zmianę źródła treści. Zatem, koniecznym było wprowadzenie do algorytmu pewnego rodzaju „pamięci”, jak dokładny jest zbiór wartości SDT dla danego segmentu. To podejście zostało rozwinięte w [Auto-2], gdzie zaproponowałem obliczenie pierwszego i drugiego momentu rozkładu czasu pobierania segmentów SDT przez zapisywanie parametrów kilku ostatnich segmentów. Dzięki tej wiedzy (momentów Funkcji gęstości prawdopodobieństwa SDT), system jest w stanie rozróżnić anomalie odchylenia standardowego

i dzięki temu lepiej wiedzieć jak trwałe będą zmiany pasma co umożliwi lepszy wybór reprezentacji do pobrania dla każdego nowego segmentu.

Model zaprezentowany w [Auto-2] polegał na zebraniu informacji o dotarciu segmentów w losowej zmiennej $A(\Omega)$, opisującej liczbę segmentów, które dotarły do użytkownika w czasie Ω . $A(\Omega)$ oddaje złożoność procesu pobierania segmentów, przez uśrednienie różnych rozmiarów segmentów, zmiennego opóźnienia transmisji zależnego od chmury i warunków sieci (w szczególności połączenia bezprzewodowego urządzeń mobilnych). Jeśli po odtworzeniu segmentu bufor odtwarzania będzie pusty, zakłócenia staną się dostrzegalne dla użytkowników (rebuffering) i nie zostaną osiągnięte założone wcześniej poziomy QoE. W skrócie, $A(\Omega)$ i SDT są ściśle ze sobą związane, biorąc pod uwagę, że $A(\Omega)$ wyraża wartości procesu stochastycznego podczas SDT.

Kolejne segmenty są pobierane z bufora w określonych, stałych odstępach czasu Ω , który odpowiada czasowi ich odtwarzania. Skończona pojemność bufora implikuje skończoną liczbę segmentów, które mogą być jednocześnie przetwarzane.

Obecność segmentów w buforze ma krytyczne znaczenie w momencie zakończenia odtwarzania segmentu (po czasie Ω). W tym momencie stan systemu wyraża się liczbą segmentów pozostałych do odtworzenia użytkownikowi. Stany te, opisane powyżej, oznaczamy przez P_0, P_1, \dots, P_k . P_0 oznacza stan, w którym brak jest gotowych segmentów do odtworzenia i następuje przypadek rebufferingu. Nasz mechanizm wylicza prawdopodobieństwo zdarzenia rebufferingu rozpatrując kolejne zdarzenia jako łańcuch Markowa. P_0 zależy od rozkładu $A(\Omega)$, i zostało zaprezentowane w [Auto-2] dla rozkładu wykładniczego (przykład trywialny), rozkładu normalnego odgradzanego (ang. folded normal), rozkładu gamma i rozkładu jednostajnego.

Przez pomiar i analizę wartości SDT ostatnich k segmentów możemy zrozumieć naturę niestabilności sieci i, dzięki temu, wybrać właściwe pasmo reprezentacji dla następnych segmentów, celem zachowania zajętości bufora odtwarzania na odpowiednim poziomie.

Opracowany model precyzyjnie rozwiązuje postawiony problem. Opiera się on na wielu założeniach, których potwierdzenie wymagało znacznego nakładu pracy. Więcej informacji na ten temat zawarte jest w [Auto-2].

Lista artykułów opublikowanych przeze mnie dotyczących podwójnej adaptacji jest długa i zawiera publikacje w czasopiśmie naukowych oraz publikacje prezentowane na konferencjach: [JCR-6], [Czas-3], [Czas-5], [Czas-12], [Konf-3], [Konf-4], [Konf-10], [Konf-14], [Konf-22], [Konf-25], [Konf-26], (zob. *Załącznik 4. Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej*), spośród których część była prezentowana podczas znaczących konferencji międzynarodowych. [Konf-3] otrzymała nagrodę DASH Forum Award podczas konferencji Multimedia Systems MMSys'2016. Wspólnie z innymi autorami algorytmu podwójnej adaptacji wystąpiliśmy o patent do Urzędu Patentowego RP, zatytułowany „Sposób i urządzenie odbiorcze do adaptacyjnego pobierania treści multimedialnych” pod znakiem SP-1119/DOK-073-16/15/36.

Jednym ze środowisk, w którym podwójna adaptacja może być wykorzystywana na szeroką skalę, jest Media Home Gateway Cloud (MHGC). Z powodu asymetryczności łącz większości chmur domowych i ich ograniczonych możliwości wysyłania, prawdopodobieństwo przeciążenia MHGC jest dużo większe niż klasycznej chmury. Z tego powodu, jakość mediów strumieniowanych z chmur domowych może bardzo szybko ulegać pogorszeniu. W tym przypadku zmiana źródła na inną chmurę domową, która nie jest w danym momencie obciążona, zachowa jakość transmisji.

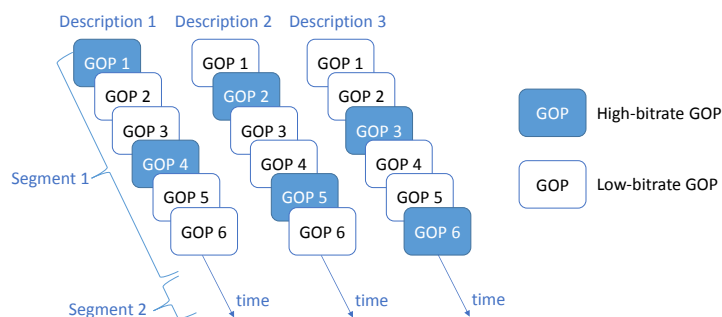
W przypadku MHGC zawartość może być pobierana jednocześnie z więcej niż jednego źródła (domowych bram sieciowych, ang. Home Gateway, HG). Zagregowana przepustowość wielu HG będzie wyższa, niż jednego (pozwolę sobie zaznaczyć, że w omawianym przypadku przepustowość pobierania danych, tj. downlink, jest zazwyczaj wyższa niż wysyłania, tj. uplink).

Mój udział w postępie w dziedzinie MMC polegał na zaproponowaniu i zdefiniowaniu wieloopisowego DASH (ang. Multiple Description-DASH, MD-DASH), które z powodzeniem zostało zaprezentowane niedawno w [Auto-3]. MD-DASH jest rozszerzeniem DASH (w pełni z nim kompatybilnym), które umożliwia dostarczanie mediów z wielu źródeł. W MD-DASH każde wideo jest zakodowane w wielu podstrumieniach zgodnych ze standardem DASH. Na żądanie klienta, wiele podstrumieni jest przesyłanych przez sieć z różnych domowych bram sieciowych (HG), a klient łączy je w całość, przedstawiając zrekonstruowaną strumień z możliwie jak najwyższą wartością QoE.

Pomysłem stojącym za MD-DASH jest zakodowanie treści w skuteczny sposób dla uzyskania wielu strumieni (zwanym opisami, ang. descriptions), które mogą być dekodowane osobno, lecz dających najlepszą jakość w przypadku dekodowania razem.

W MD-DASH przełamanie wąskiego gardła „jednego linku dla jednej pobieranej treści” pozwala klientom lepiej korzystać z ograniczonej przepustowości po stronie serwera. Podział treści na wiele mało angażujących pod względem wymaganej dla nich przepustowości strumieni pozwala na pracę na wielu linkach o niskich lub/i zmiennych możliwościach (np. przepustowość wysyłania w domowych bramach w architekturze MHGC).

Zaproponowałem wielopasmową, wieloopisową strategię kodowania opartą o kodowaniu grup obrazów (ang. Group of Pictures, GOP). Tworzenie opisu (treść kodowana) następujące po kodowaniu jest efektywne pod względem czasu i kosztów (ponowne kodowanie treści DASH nie jest już konieczne) i polega na łączeniu GOP z dwóch reprezentacji tej samej treści. W ten sposób całkowity rozmiar transmitowany opisu jest znacznie zmniejszony w porównaniu z rozmiarem oryginału, lecz zwalnia się z dostarczenia przez również innych opisów. Segment opisu opartego o strategię GOP jest pokazany na Rys. 2. Rekonstrukcja oryginalnej treści z wygenerowanych opisów jest jedynie kwestią wyboru i przygotowania we właściwej kolejności najlepszych GOP, spośród zbioru dostępnych. Jeśli opisom brakuje elementów i nie da się ich „wstawić”, zawartość jest ciągle możliwa do odtworzenia w jakości poniżej optymalnego poziomu (odpowiednio w czasie trwania każdego z rozpatrywanych GOP).



Rys. 2. Opisy MD-DASH oparte o GOP.

Analiza MD-DASH zawierająca opis protokołu, jak i przykłady zastosowań była także prezentowana w publikacji *J. Mongay Batalla, P. Krawiec, C. X. Mavromoustakis, G. Mastorakis, N. Chilamkurti, D. Négru, J. Bruneau-Queyreix and E. Borcoci, "Efficient media streaming with collaborative terminals for smart city environment"*, accepted for publication in IEEE Communications Magazine [JCR-1] (zob. Zał. 4. Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej). Opisałem tam protokół DASH i jego potencjalne użycie w sieciach 5G (środowisko inteligentnych miast, ang. Smart Cities). Publikacja ta nie jest częścią habilitacji z uwagi na fakt, że w momencie pisania tej pracy nie została jeszcze opublikowana. Inne publikacje na temat MD-DASH to [Rozd-5], [Konf-1], [Konf-18], [Konf-20] (zob. Zał. 4. Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej).

4.3.4. Oryginalne mechanizmy przewidujące wykorzystanie zasobów chmury

System zarządzania chmurą sterujący dostawą multimediów musi stworzyć prognozę zasobów potrzebnych do strumieniowania. Prognoza ta jest użyta do dwóch głównych celów: po pierwsze dostawca chmury powinien wydzielić dostęp do sieci i zasobów obliczeniowych dla każdej z działających usług, w celu zwiększenia ich ogólnej jakości. Prognoza taka jest wykonywana biorąc pod uwagę długi okres czasu i rozpatruje usługę jako całość (w przypadku multimediów, prognoza jest oparta o ich agregację). Po drugie, w MCC prognoza użycia zasobów przez jeden strumień może być użyta przez użytkowników, by wywołać odpowiednie działania jeszcze przed tym, jak transmisja ulegnie pogorszeniu. W tym przypadku, dostawca chmury, przewidując użycie zasobów powinien poinformować użytkowników końcowych o potencjalnym/przewidywanym pogorszeniu transmisji.

Usługi takie jak telewizja internetowa (ang. IP Television –IPTV) wymagają zdefiniowanych wcześniej zasobów, które ciężko zmienić w cyklu życia usługi. Inne usługi, jak np. wideo na żądanie (VoD) czy rozgrywki w sieci są trudno przewidywalne z uwagi na wiele istotnych czynników, które są poza kontrolą dostawcy chmury. Jednym z nich jest popularność treści. Modele prognozujące zapotrzebowanie na te treści, biorące pod uwagę ich popularność, obecność w społeczeństwie itp. są wyjątkowo rzadko spotykane, lecz mają niezwykle istotny wpływ na działanie MMC (dla usług na żądanie).

W [Auto-4] zaproponowałem architekturę wyliczającą wykorzystanie zasobów w chmurze i w sieci dostępowej użytkownika. Nowością w porównaniu do innych systemów jest pozyskanie informacji o związku użycia zasobów w dwóch różnych miejscach sieci (w chmurze i u użytkownika). Architektura zakłada monitorowanie jednostek w powyżej przywołanych miejscach systemu, zwanych Miernikami Jakości Mediów (ang. Media Quality Meters) oraz Pośrednika Dystrybucji Mediów (ang. Media Distribution Middleware) – menedżera odbierającego dane o obecnym użyciu zasobów i podejmującego dalsze decyzje. Algorytm kontrolujący użycie posługuje się epidemicznymi modelami (ang. epidemic models) do prognozowania dalszego użycia. Pomiar, które można przeprowadzić w sieci, zależą od rodzaju badanej usługi: w przypadku IPTV, używającej protokołu UDP, mierzone są m.in. współczynnik straty pakietów oraz czas wymagany do przesłania sygnału w obu kierunkach (ang. Round Trip Delay). Dla połączeń opartych o TCP (większość usług wideo takich jak VoD, niektóre usługi IPTV, bezpośrednio pobieranie wideo) pomiary będą bazować natomiast na przepustowości łącza (chwilowej, średniej, szczytowej) dla poszczególnych i zagregowanych transmisji, jak również innych powiązanych wskaźnikach (np. Round Trip Delay). Ponadto, ustaliłem kompletny model komunikacji między maszyną tworzącą prognozę i zarządcą usługi (włączając w to usługi dostarczane z MHGC, klasycznej chmury, a także CDN). Zarządca usługi jest ostateczną instancją decydującą o użyciu i zarezerwowaniu zasobów do konkretnych celów. Model komunikacji zawiera potencjalną adaptację pojedynczych połączeń i podejmowanie decyzji zarówno u

użytkownika, jak i w chmurze. Komunikacja pomiędzy podmiotami odnosząca się do mierzenia stanu połączeń wideo bazuje na modelu push, tzn. jednostki mierzące wysyłają okresowo informacje do zarządcy usługi. Jedną z innowacyjnych cech architektury i modelu komunikacji, który przedstawiłem w [Auto-4], jest możliwość adaptacji zasobów (np. przepustowości sieci) na podstawie decyzji podejmowanych przez użytkownika końcowego. W tym celu aplikacja kliencka przekazuje „decyzję adaptacji” (zmianę reprezentacji) do Pośrednika Dystrybucji Mediów, który używa tych informacji do dokładniejszego przewidywania wymagań zasobów po stronie źródła (na łączu wychodzącym z chmury).

Jak pokazano w artykule, zaproponowana architektura może zwiększyć QoE podczas dostarczania usług wykorzystujących transmisję wideo przez zoptymalizowanie strumieniowania danych spośród wielu CDN, klasycznych usługodawców chmurowych i chmur domowych. Jednocześnie, zapewnia obsługę przyszłych systemów bezprzewodowej komunikacji 5G.

Architektura do kontroli i przewidywania zasobów chmury była rozwijana w ramach projektu DELTA, który był projektem europejskim finansowanym w ramach programu Eurostars (współfinansowanego przez Eureka i H2020).

Podczas planowania projektu zaproponowałem jego główną ideę, związaną z rozwojem koncepcji Mobilnej Chmury Mediowej i napisałem większość planu projektu, lecz z powodu tego, że projekty w ramach programu Eurostars muszą być kierowane przez partnerów przemysłowych, pełniłem w nim rolę koordynatora technicznego (zamiast koordynatora projektu). W zał. 2B (str. 28) czytelnik może znaleźć stronę formularza aplikacyjnego DELTA opisującego moje zadania jako koordynatora technicznego.

Celem DELTA było pełne zastosowanie MMC wraz z końcową instalacją u operatora telekomunikacyjnego.

Wszystkie mechanizmy MMC zostały z powodzeniem zastosowane w sieci Cablenet (operator telekomunikacyjny na Cyprze) i niektóre z nich działają w ich sieci komercyjnej. Projekt DELTA był owocem wysiłków 5 partnerów: Viotech Innovations (Francja), Instytut Łączności (Polska), Uniwersytet Nikozyjski (Cypr), SoftNet (Włochy) oraz Cablenet (Cypr). Działania w ramach projektu ukończono z sukcesem na początku 2016 roku.

Ponadto, [Auto-4] przedstawia algorytm przewidywania zasobów do przytoczonej wyżej architektury. Algorytm ten wykorzystuje modele epidemii, które uwzględniają skutki wzrostu popularności treści. Wartości wskaźników zastosowane do kontroli wykorzystania zasobów zostały wzięte wprost z rzeczywistych danych operatora telekomunikacyjnego (firmy Cablenet z Cypru), które były parametrami wejściowymi dla zastosowanych modeli. Efektywność zaproponowanego systemu została potwierdzona wynikami symulacji i wyników rzeczywistych.

Zamiarem modelu prognozującego użycie zasobów jest zdefiniowanie uczestników biorących udział w odbieraniu treści multimedialnych i oszacowanie wpływu ich działań na działania pozostałych z nich. Dla przykładu, użytkownik oglądający treść multimedialną może oznajmić o tym w sieci z określonym prawdopodobieństwem. Komunikat może być pozytywny (korzystny) lub negatywny (niekorzystny) dla treści (z różnym prawdopodobieństwem, będącym funkcją popularności treści), co, w rezultacie zwiększy lub zmniejszy jej końcową popularność. Cały proces można opisać łańcuchem Markowa.

Zaproponowane rozwiązanie rozszerza typowe modele oparte o popularność treści, ponieważ wykorzystuje dużo więcej danych, które posiada operator sieci. Są to, m.in.: licznosc populacji, ogólna aktywność użytkowników w sieciach społecznościowych, aktywność dotycząca treści wideo w sieciach społecznościowych, itp. Algorytm przewidywania zasobów, mogący prognozować przyszłe zapotrzebowanie, powinien brać pod uwagę obecne możliwości łączenia technologii medialnych i sieci społecznościowych. Sieci te odgrywają znaczącą rolę w dostarczaniu treści przez zapewnienie licznych sposobów integracji między użytkownikami w kontekście danego zasobu (treści multimedialnej), co może przyczynić się do jej

błyskawicznego rozprzestrzeniania się. Podsumowując, niektóre z wybranych parametrów należą do dziedziny wewnętrznej analizy operatora, a niektóre wymagają analizy zewnętrznej (śledzenie aktywności w sieciach społecznościowych). Ich całość została wybrana i przeanalizowana w rzeczywistym projekcie w ścisłej współpracy z operatorem (Cablenet). Ogromny wysiłek został położony na analizę treści wideo rozprzestrzeniających się w rzeczywistości w chmurze operatora (Cablenet Media Cloud), w zaproponowanym modelu uwzględniającym sieci społecznościowe.

W dziedzinie algorytmów prognozujących zaproponowałem użycie różnych metod statystycznych i dynamiczną zmianę modelu, która będzie prowadzić do lepszej adaptacji w momentalnie zmiennych warunkach sieci. Używanie modelu dynamicznego ma zastosowanie także w przypadku innych zewnętrznych czynników, takich jak np. sieci społecznościowe, tak długo jak system posiada tego rodzaju informacje dot. danych treści do wykorzystania w czasie rzeczywistym.

Połączenie wielu zmiennych czyni przewidywanie zasobów trudnym, dlatego zaproponowałem algorytm prognozujący bazujący na oryginalnym podejściu do wyboru modelu ze zbioru dostępnych metod statystycznych, który lepiej opisze każdą transmisję treści (w naszej implementacji użyliśmy metod ARMA, ARIMA, Theta oraz interpolacji funkcją sklejaną 3-go stopnia, jednak nie są one jawnie przytoczone w publikacji). Dodatkowo epidemiczny model zapewnia możliwość przewidywania nagłego wzrostu zapotrzebowania na daną treść o dużej wartości. Model dzieli populację na kilka podzbiorów, bazując na procentowym udziale każdego ze stanów. Te stany zawierają subskrybentów, którzy mogą pobrać wideo, aktualnie pobierających, użytkowników, którzy pobrali wideo i mogą je dalej rozesłać z użyciem sieci społecznościowych (jeśli wideo im się podobało), użytkowników, którzy pobierają wideo, ale nie rozsyłają go dalej (w ustalonym okresie czasu), wreszcie użytkowników, którzy skasowali wideo po jakimś czasie lub u których wideo usunęło się samoistnie (w przypadku scenariusza MHGC) po pewnym okresie czasu, a także użytkowników, którzy zdecydowali się odrzucić wideo i nigdy go nie pobiorą.

Analiza symulacji zaprezentowana w [Auto-4] pokazuje możliwość epidemicznych modeli do opisanego rozprzestrzeniania się kontentu w sieciach CDN, a także efektywność zaproponowanego silnika przewidywania zasobów do przepowiadania przyszłych wartości użycia zasobów sieci i ścieżek agregacji.

Zakończeniem artykułu jest propozycja dalszej pracy, której efektem będzie przewidywanie użycia zasobów z użyciem modeli rozproszonych, a także implementacji sieci 5G do aplikacji wykorzystujących wideo.

Ponieważ [Auto-4] jest artykułem ogólnego czasopisma (ang. magazine), zawarte tam informacje mają charakter jedynie informacyjny. Teoretyczny opis i analiza przewidywania użycia zasobów została rozwinięta w [JCR-3].

Jestem także współautorem zgłoszenia patentowego mechanizmu przewidującego nazwanego „A system and method for forecasting the demand for multimedia content and for selecting the optimal delivery methods (Forecasting Middleware Scheduler – FMS)”, zgłoszonego do Europejskiego Biura Patentowego pod nr. EP16186667.8.

Inne publikacje opublikowane przeze mnie na temat algorytmów przewidujących i rezerwacji przepustowości w chmurze to m.in.: [Rozd-10], [Konf-11], [Konf-13], [Konf-15], [Konf-24] (zob. *Zał. 4. Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej*).

4.3.5. Algorytmy wybierające źródło treści

Zazwyczaj każdy multimedialny podmiot biznesowy wykonuje zadania, które odnoszą się bezpośrednio do swoich celów. Dla przykładu, dostawca sieci są odpowiedzialni za przenoszenie ruchu sieciowego bez zgłębiania się w to, jakiego rodzaju to ruch (neutralność sieci jest obecnie wymagana). Usługodawcy budują po swojej stronie infrastrukturę sieci nakładkowej bez znajomości istniejących wewnątrz niej zasobów i jej dalszej charakterystyki (np. warunków dostępu do sieci od strony użytkowników). Na końcu użytkownicy próbują pobrać zawartość wideo w najlepszej możliwej jakości. Własne zasady różnych podmiotów nakładają poważne ograniczenia w wydajności dostarczania treści w sieci Internet.

W celu zwiększenia jakości transmisji z chmury (klasycznej, CDN lub MHGC) w architekturach nakładowych pierwszym sposobem jest stworzenie modelu współpracy między dostawcami chmury i użytkownikami końcowymi. Dostawca chmury udostępnia informacje o obecnym stanie chmury do użytkowników, by mogli oni dokonać wyboru serwerów, z których treść ma zostać pobrana. Informacje udostępnione przez chmurę odnoszą się do samych serwerów (domowych bram sieciowych w przypadku MHGC), lecz także do ich stanu połączenia z siecią (z chmury). W ten sposób aplikacja kliencka u użytkownika końcowego jest świadoma stanu chmury i może wybrać najlepszy serwer do uzyskania każdej żądanej treści.

Dane odpowiadające za „świadomość stanu chmury” są dostarczane do aplikacji klienta w pliku Media Presentation Description (MPD), jak zaprezentowano poniżej na Rys. 3. Obecna wersja standardu DASH zawiera MultiBase-URL (tzn. więcej niż jeden adres URL), ale nie pozwala na przedstawienie parametrów serwerów. Z tego powodu rozszerzyłem obecną wersję DASH, jednocześnie zachowując zgodność z obecnymi klientami DASH przez zachowanie wstecznej zgodności standardów. Przeszarżałe aplikacje, nie wykorzystujące dodatkowych parametrów mogą po prostu zignorować rozwinięcia tagów BaseURL i wybrać BaseURL z którego będą pobierać treść według tradycyjnych algorytmów (zazwyczaj z pierwszego URL na liście).

```
<?xml version="1.0"?>
<MPD
...
  <BaseURL capacity="975.2" bandwidth="9876"
  >http://cdn.server1.com/</BaseURL>
  <BaseURL capacity="930.1" bandwidth="8243"
  >http://cdn.server2.com/</BaseURL>
```

Rys. 3. Rozszerzenie pliku MPD

Informacja o chmurze zawarta w pliku MPD powinien odpowiadać wymogom standardu DASH. Z tego powodu, dodatkowe informacje powinny być zawarte jako atrybuty tagu BaseURL, jak pokazano na Rys. 3, w zgodzie ze schematem XML MPEG-DASH. Dostawca usługi zarządzający chmurą jest odpowiedzialny za aktualizowanie tych informacji (dynamiczny MPD może być stosowany). Klient używa parametrów opisujących stan serwerów chmury i ich dostęp do sieci, by wybrać najlepsze źródło pobierania treści.

By uzyskać rozeznanie chmury po stronie użytkownika w MCC, wyzwaniem jest wybór ze wszystkich potencjalnych parametrów opisujących serwery i nadawców (chmury) podzbiór, który ma największy wpływ na jakość danego typu treści i połączenie go z akceptowalnym modelem finansowania systemu. Pomimo wielości i różnorodności obecnie istniejących narzędzi monitorujących, mierzenie serwerów i sieci jest wciąż niełatwym zadaniem. Dodatkowo,

poszczególne wskaźniki są ze sobą powiązane i to powiązanie jest, ogólnie rzecz biorąc, niemożliwe do odwzorowania.

Z uwagi na wielość parametrów opisujących stan źródeł zawartości (np. pojemność źródła treści, jego zajętość, zagregowane bitrate treści wysyłanych, itp.) potrzebny jest wielowymiarowy algorytm decyzyjny. Wielowymiarowe problemy decyzyjne są, w ogólności, problemami NP-zupełnymi (dokładniej: problem jest NP-zupełny, tylko wtedy, kiedy nie jest rozwiązywalny z punktu widzenia wielomianowej rozwiązywalności). Dla problemów NP-zupełnych zazwyczaj używa się heurystyki do uzyskania rozwiązań nieoptymalnych.

Prowadziłem długookresowe badania w dziedzinie problemu optymalizacji wyboru źródła treści zarówno pod kątem samego źródła, jak i w czasie adaptacji (zmiany źródła „w locie”). W obydwu sytuacjach wymagana jest odpowiednia selekcja serwera źródłowego, by zapewnić najwyższą jakość transmisji. Zaprezentowałem dwa podejścia w publikacjach [Auto-5] i [Auto-6]. Zaproponowane rozwiązania mogą być zastosowane zarówno w przypadku MMC, jak i Sieci świadomej treści, ponieważ algorytmy zachowują się tak samo w obu środowiskach (a jedynie w przypadku MMC dysponuje się mniejszą liczbą dostępnych parametrów). Nie mniej jednak, w chwili pisania tych publikacji preferowano sieci CAN z powodu ich ówczesnej innowacyjności i rosnącej popularności. Pozwolę sobie również nadmienić, że ich dalszy dynamiczny rozwój został zahamowany przez problemy towarzyszące współpracy ISP z dostawcami usług.

W [Auto-5] przeanalizowaliśmy wielowymiarową optymalizację wyboru źródła treści. Na optymalizację wykorzystującą wiele parametrów składa się znalezienie najbardziej efektywnego rozwiązania między grupą dostępnych i niezdominowanych rozwiązań (optymalizację Pareto), z których każde rozwiązanie jest wektorem m zmiennych decyzyjnych (m kryteriów). Najpopularniejszym rozwiązaniem heurystycznym jest redukcja wektora do skalara przez użycie odpowiedniej funkcji kosztu. W publikacji rozwinąłem klasyczny algorytm decyzyjny bazujący się na poziom referencyjny (ang. reference-level decision algorithm), który proponował wagi zmiennych i ($i=1..m$), które zależały od krańcowych wartości wektora $V_i=[v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{is}]$. Rozwiązanie to nie uwzględnia jednak dystrybucji wartości V_i między $\max[v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{is}]$ i $\min[v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{is}]$. Zaproponowałem zatem obniżenie wagi w decyzji dla zmiennych, których zbiór dostępnych rozwiązań charakteryzuje się najmniejszą wariancją. Powodem tego postulatu była obserwacja, że w przypadku, gdy wszystkie rozwiązania mają równą wagę dla danej zmiennej decyzyjnej i , wtedy zmiana którejkolwiek z nich nie ma wpływu na stan systemu po podjęciu decyzji (wszystkie z nich obciążają system w analogiczny sposób w odniesieniu do λ). Stąd, zmienna ta powinna być zignorowana (mieć mniejszą wagę) w algorytmie decyzyjnym. Innymi słowy, po bieżącym wyborze serwera, dalsze żądania treści odnajdą się w tym samym stanie sieci/serwerów jaki miał miejsce przed wyborem, więc nasze rozwiązanie nie powinno się opierać o zmienną i , która nie jest decydująca w dziedzinie ogółu operacji systemu. Podsumowując, zmienne decyzyjne z niską wariancją (w zbiorze dostępnych i niezdominowanych rozwiązań) powinny mieć mniejszą wagę w algorytmie decyzyjnym.

W przypadku wielu serwerów z różnymi typami dostępu możemy rozpatrzyć obciążenie serwera: CPU (np. średnią wartość w ostatniej godzinie) i użycie przepustowości kanału wysyłania (np. szczytową wartość w ciągu ostatniej doby) do wyboru najlepszego serwera. Zakładając, że użycie CPU jest podobne dla wszystkich serwerów, mój algorytm degraduje wagę tego parametru i skupia się tylko na dostępnej przepustowości przy wyborze źródła.

Wnioski zaprezentowane w [Auto-5] pokazują niewielki wzrost wydajności systemów w związku ze wzrostem zrównoważenia obciążenia, przy jednoczesnym spadku wskaźnika

przeciążenia konkretnych elementów systemu. Wyniki są oparte o rzeczywiste pomiary szczegółowo modelowanej rozległej sieci CDN służącej obsłudze usług VoD, którą zaprojektowałem i wdrożyłem. Symulacja modelu systemu CDN dużej skali wymagała założeń wyciągniętych z doświadczeń największych dostawców tego rodzaju usług (Level3, Global Crossing, Akamai, LimeLight, AT&T, Comcast and Google) dot. topologii sieci, technicznych cech serwerów, a także ich lokalizacji (są to publiczne dane). Ponadto, użytkownicy w tym modelu są również umieszczeni zgodnie z ich aktualnym rozmieszczeniem w Internecie. Przeprowadziłem analizę wszystkich założeń i zbudowałem model symulacyjny od podstaw. Model topologii sieci został zaczerpnięty z danych publikowanych corocznie przez CAIDA, a liczebność użytkowników danej domeny była proporcjonalna do długości prefiksów udostępnionych przez domenę. Serwery zawierały różne pliki, których parametry były zaczerpnięte ze strony filmweb. Do replikacji treści założyłem, że liczba kopii danego materiału zależy od jego popularności i odpowiada prawu Zipfa, ze współczynnikiem równym 0,2, co jest powszechnie akceptowane dla dystrybucji wideo w Internecie. W moim modelu rozpoczęcie symulacji nastąpiło w momencie zażądania przez użytkowników treści. Dla każdego żądania algorytm decyzyjny przetwarzał informacje o systemie i wybierał serwer odpowiedzialny za dostarczenie treści (spośród wszystkich dostępnych rozwiązań).

Symulacje przedstawione w [Auto-5] miały na celu zbadanie przeciążenia serwerów dla zwiększającej się liczby żądań użytkowników. Jak przytoczono powyżej, wyniki symulacji pokazały, że sytuacje przeciążenia systemu występowały dla wyższych wartości żądań (liczonych w żądaniach/sekundę) niż w przypadku referencyjnego algorytmu decyzyjnego.

Teoretyczne badania nad mechanizmami MMC były przeprowadzone w ramach projektu DISEDAN. Projekt został przeze mnie przedstawiony w 2012 roku i otrzymał finansowanie w ramach programu Chist-Era II, który był inicjatywą ERA-Net poświęconą wspieraniu badań w wymagających obszarach telekomunikacji. Pełniłem rolę Koordynatora Projektu, a także Głównego Naukowca (zob. Zał. 2-C na str. 30 – adresowany do mnie list potwierdzający dopuszczenie projektu do finansowania), który prowadzony był z dwoma innymi ośrodkami naukowymi oprócz Politechniki Warszawskiej: Uniwersytetem w Bordeaux – LaBRI z Francji oraz Uniwersytetem Politechnica z Bukaresztu – Rumunia. W projekcie badaliśmy algorytmy i mechanizmy służące poprawie wydajności aplikacji klienckich (przez algorytm adaptacji) i zarządzaniu systemem chmury (wybór źródła treści). DISEDAN zakończył się z powodzeniem w kwietniu 2016 roku.

W mojej drugiej propozycji nt. wyboru źródła treści [Auto-6] zaproponowałem dwufazowy algorytm decyzyjny wykorzystujący podejście ewolucyjnej optymalizacji wielowymiarowej (ang. Evolutionary Multiobjective Optimization, EMO). Poszczególne fazy algorytmu odpowiadają (1) początkowej częściowej selekcji źródła po stronie dostawcy usługi (właściciela chmury) i (2) ostatecznemu wyborowi przeprowadzanemu przez aplikację kliencką, który jest oparty na wcześniejszej częściowej selekcji i danych przekazanych przez dostawcę usługi. Dwufazowy algorytm EMO zaprezentowany w [Auto-6] zakłada, że dostawca chmury dokonuje po swojej stronie wyboru potencjalnych źródeł treści spośród wszystkich serwerów multimediiów zawierających najpopularniejsze treści (co jest wykonywane offline z powodu małej skalowalności), a klient dokonuje ostatecznego wyboru źródła treści spośród zaproponowanych przez dostawcę usługi (co następuje na początku transmisji, czyli wtedy, gdy żądanie zawartości z aplikacji użytkownika dociera do dostawcy chmury, który przedstawia listę potencjalnych źródeł). Ponadto, aplikacja kliencka może wybrać wiele serwerów (ze zbioru Pareto), z których będzie mogła korzystać na potrzeby adaptacji transmisji.

Za stosowaniem algorytmu EMO na potrzeby wyboru źródła w MMC przemawiają 3 główne powody: (1) front Pareto może przedstawiać różne kształty, może być wklęsły lub być nieciągły, co stawia wyzwania dla tradycyjnych matematycznych technik optymalizacyjnych, (2) EMO zapewnia więcej niż jedno rozwiązanie. W przypadku etapu chmury, końcowy wybór należy do aplikacji użytkownika. Po (3), końcowe rozwiązania mogą być zastosowane na przestrzeni całego frontu Pareto, czego nie da się osiągnąć przy użyciu wielowymiarowych algorytmów decyzyjnych. Pragnę również podkreślić, że zakresem działania algorytmu EMO nie jest tu znalezienie teoretycznie optymalnego zbioru Pareto, lecz zbioru quasi-optymalnych źródeł, rozłożonych na przestrzeni całego frontu Pareto.

Wyniki symulacji przeprowadzonych przeze mnie i zaprezentowanych w [Auto-6] pokazują znaczącą poprawę wydajności w porównaniu do losowego wyboru serwera (co jest dość oczywiste), lecz także w porównaniu do wielowymiarowej optymalizacji. Powodem tego może być brak elastyczności algorytmów wielowymiarowych, wybierających w pierwszym etapie zawsze to samo n serwerów treści. EMO, dla odmiany, wybiera n różnych serwerów ze zbioru Pareto, uzyskując w ten sposób lepsze zrównoważenie obciążenia.

Inne publikacje w czasopiśmie, a także prezentowane podczas konferencji naukowych, które napisałem w ramach projektu DISEDAN to: [JCR-5], [JCR-10], [Czas-2], [Czas-4], [Czas-8], [konf-1], [konf-3], [konf-5], [konf-7], [konf-8], [konf-11], [konf-16], [konf-22], [konf-39] itp. (zob. Zał. 4. Wykaz publikacji i osiągnięć z pracy naukowej).

4.3.6. Zasoby obliczeniowe do strumieniowania multimedialnych

Na rynku pojawiają się wciąż nowe usługi wykorzystujące transmisję wideo, lecz wszystkie działają na jeden z dwóch sposobów: są to usługi na żądanie lub usługi dostarczające wideo w trybie ciągłym (telewizja na żywo, ang. Live TV). Wideo na Żądanie jest dostarczane w jednym z trzech schematów: (1) subskrypcji VoD (klient otrzymuje dostęp do biblioteki treści po uiszczeniu opłaty, np. Netflix), (2) Push VoD płatnego każdorazowo (ang. pay-per-view) oraz darmowego VoD (dla bezpłatnych treści). Darmowe Wideo na Żądanie jest technicznie najłatwiejszym do implementacji, ponieważ wymaga jedynie infrastruktury OTT. Usługi oferujące telewizję na żywo mogą, lecz nie muszą wchodzić w interakcję z użytkownikami. Rozwiązaniem pomiędzy Live TV i VoD jest Catch-TV, która po emisji programu u użytkownika pozwala na jego obejrzenie jeszcze przez pewien określony okres czasu (godzin lub dni). Ta usługa jest bardzo podobna do usługi Push VoD, ale w tym przypadku treściami wysyłanymi do użytkowników są jedynie popularne materiały (Catch-TV jest wykorzystywane przez nadawców do optymalizacji wydajności ich własnej infrastruktury). Prostsza wersją Catch-TV jest tzw. start-over TV, gdzie treści są nagrywane jedynie podczas trwania programu telewizyjnego i krótko po nim, co umożliwia użytkownikom odtworzenie programu od początku.

Wszystkie przytoczone wyżej usługi stawiają liczne wyzwania dla systemów chmurowych, ponieważ wymagają dużych zasobów do przygotowania końcowego wideo dla użytkowników (a zwłaszcza przestrzeni dyskowej i mocy obliczeniowej do zakodowania/przekodowania materiałów wideo), jednak spośród nich wszystkich usługi na żywo wymagają tak dużej zdolności systemu w zakresie kodowania i strumieniowania, że wiele współczesnych systemów chmurowych nie jest w stanie zapewnić wydajnych usług LiveTV przez całą dobę.

Z drugiej strony, wysoka liczba możliwych scenariuszy strumieniowania wideo (z klasycznej chmury, CDN czy MHGC) daje szerokie spektrum potencjalnych rozwiązań dla żądanej

usługi. CDN jest w ogólności wykorzystywany do usług w czasie quasi-rzeczywistym, podczas gdy jedynie chmura zlokalizowana w infrastrukturze ISP (w bezpośredniej bliskości użytkowników) może oferować IPTV. MHGC jest używane do strumieniowania p2p, lecz natrafia na liczne ograniczenia w strumieniowaniu widea wysokiej jakości.

Zróżnicowanie usług i systemów strumieniujących powoduje konieczność jasnego rozplanowania kosztów, by ustalić które z nich są ekonomicznie uzasadnione i pod jakimi warunkami.

Z tego powodu w [Auto-7] zaproponowałem nowe liniowe modele do obliczania wewnątrzchmurowych kosztów strumieniowania wideo z oraz bez ograniczeń (np. rozpatrując lub nie ograniczenie pojemności chmury). Ponadto, problem „enkodera” i „modułu strumieniującego” jest wzięty pod uwagę przy zaawansowanej metodzie kodowania (HEVC) i z użyciem opartego na protokół strumieniujący DASH. W [Auto-8] zaproponowałem system kodowania, który przez wprowadzenie synergii między enkoderem i modułem przygotowującym ciąg informacji do strumieniowania (tzn. moduł strumieniowania) usprawnia ogólną wydajność systemu. System rozpatruje operacje przeprowadzane przez enkoder HEVC i moduł strumieniowania DASH i próbuje czerpać korzyści z wykorzystania możliwych miejsc współpracy między standardami.

[Auto-7] rozwija temat różnorodnych usług medialnych w chmurze ze szczególnym uwzględnieniem ograniczeń ich zasobów. Jednym z przykładów tych ograniczeń jest koszt dodatkowej pamięci, wykorzystywanej do przetwarzania treści wideo. Mając to na uwadze, mój oryginalny liniowy model środowiska obliczeniowego chmury mobilnej [Auto-7] wyraża punkt widzenia operatora chmury, skupiając uwagę na koszcie wytworzonym przez nieużywane zasoby. Model i jego formuła algorytmiczna opierają się na analizie kosztu utraconych korzyści z powodu nieoptymalnego (poniżej całkowitych możliwości) użycia usługi w chmurze. Ponadto, wśród dalszych wniosków płynących z badań jest to, że na założenia inwestycji oraz wybór chmury wpływa także coroczny wzrost (tj. założono jego symetryczny oraz liniowy wzrost) zapotrzebowania na zasoby, biorąc pod uwagę maksymalną liczbę użytkowników, których mogłaby obsługiwać usługa mobilna. Decyzja o opuszczeniu/zawieszeniu usługi przez klienta lub przejściu do konkurencji jest rozpatrywana w [Auto-7] jako zawsze prowadząca do kumulujących się, dodatkowych kosztów w przyszłości. To jest zgodne z założeniami prowadzonymi przez firmę Seidor S.A.. Seidor S.A. jest globalnym dostawcą usług chmurowych z centralą w Hiszpanii.

Oprócz tego, w [Auto-7] została zaprezentowana analiza skalowalności usługi oparta o prawdopodobieństwo sytuacji przeciążenia systemu (zbyt dużej liczby użytkowników), lecz także zmarnowanych zasobów (niewystarczająco dużej liczby użytkowników i działaniu systemu poniżej jego możliwości), przy założeniu liniowego wzrostu liczby korzystających z usługi. Nowością (w porównaniu do obecnych modeli) jest użycie niektórych zmiennych uwzględniających zmiany kosztów usługi w czasie (między kolejnymi miesiącami), spowodowanych nieoptymalnym użyciem zasobów i zmienną liczbą użytkowników pobierających treści. Zmiany liczby użytkowników pozwalają połączyć ten model z modelem zaprezentowanym w 4.3.4. Lista zmiennych używanych w modelu z [Auto-7] jest następująca:

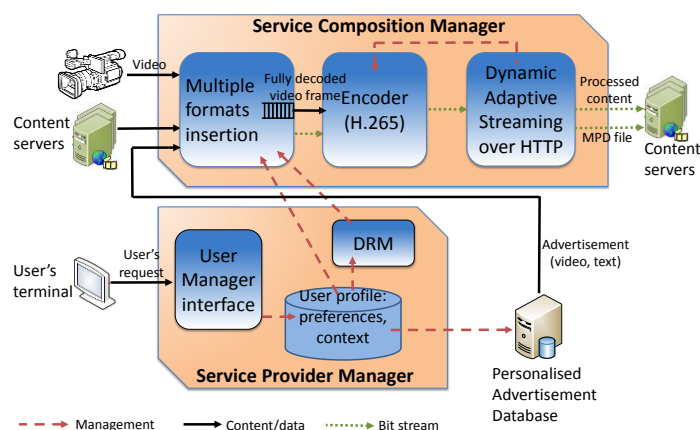
- Koszt powierzchni dyskowej treści
- Koszt usług bieżącej konserwacji i utrzymania.
- Koszt sieci.
- Koszt usług In/Out na żądanie.

- Koszty operacyjne.
- Koszt serwera.
- Koszty pomocy technicznej.
- Procentowe odchylenie od średniej miesięcznego kosztu powierzchni dyskowej.
- Procentowe odchylenie od średniej kosztów utrzymania i konserwacji w danym miesiącu.
- Procentowe odchylenie od średniej miesięcznego kosztu usług In/Out na żądanie.
- Procentowe odchylenie od średniej miesięcznych kosztów operacyjnych.
- Procentowe odchylenie od średniej miesięcznego kosztu serwera.
- Procentowe odchylenie od średniej miesięcznych kosztów pomocy technicznej.
- Przestrzeń dyskowa zajęta w pierwszym roku działania usługi w ciągu 1 - lat, pod warunkiem, że odchylenie od średniej ma miejsce.
- Procentowe odchylenie od średniej wartości zajętej przestrzeni dyskowej w pierwszym roku działania usługi.
- Przestrzeń dyskowa zajęta w drugim roku działania usługi w ciągu 1 - lat, pod warunkiem, że odchylenie od średniej ma miejsce.
- Procentowe odchylenie od średniej wartości zajętej przestrzeni dyskowej w drugim roku działania usługi.

Ostatnie zmienne zostały zaczerpnięte rzeczywistego modelu biznesowego dostawcy chmury, z którym współpracowaliśmy, tj. firmy Seidor S.A.. W ciągu badań zasugerowali oni wzięcie również tych parametrów pod uwagę, ponieważ w czasie pierwszych dwóch lat działania usługi jest ono zauważalnie odmiennie od okresu późniejszego.

Oczywiście, model ten lepiej stosuje się do usług typu VoD niż do strumieniowania w czasie rzeczywistym, jako że strumieniowanie w czasie rzeczywistym wymaga stałych (dla ciągłej transmisji) zasobów obliczeniowych w chmurze.

W końcu, [Auto-8] porusza także problem zasobów serwerów w chmurze potrzebnych do obróbki treści w wysokiej rozdzielczości. W szczególności, przedstawiłem tam zaawansowany menedżer usługi, integrujący reklamy skierowane do konkretnych użytkowników oraz system zarządzania prawami cyfrowymi (DRM). Menedżer usług multimedialnych (Rys. 4.) przygotowuje treści do strumieniowania treści multimedialnej adresowanej do konkretnego klienta przy użyciu DASH.



Rys. 4. Zaawansowany menedżer usług multimedialnych wykorzystujący reklamy profilowane oraz system DRM

[Auto-8] rozpatruje wydajność enkodera jako najważniejszego elementu w systemie usługodawcy i uzasadnia dlaczego jedynie enkodery o wysokiej wydajności mogą być użyte w środowisku produkcyjnym, w szczególności wobec kodeków wideo wysokiej rozdzielczości. Szczególnym fragmentem tej publikacji jest propozycja modelu synergii między HEVC i DASH. Poszczególne moduły zaproponowane są odpowiedzialne m.in. za komunikowanie się enkodera HEVC i modułem odpowiedzialnym za tworzenie formatu DASH. Moduły te umożliwiły ulepszoną kompresję, głównie ze względu na koordynację prognozowania ruchu obiektów (ang. motion compensation) z formatowaniem DASH. Podejście to wymaga inteligentnego podziału klatek filmu w sposób, w który żaden z segmentów DASH nie posiada zawartości z różnych scen. Jest to możliwe, ponieważ standard DASH dopuszcza różnicę w długości poszczególnych segmentów wynoszącą aż do 50%.

Zaprezentowane moduły są zasadniczo implementacją kompatybilnych elementów standardów między enkoderem HEVC i protokołem strumieniowania DASH, która w momencie publikacji [Auto-8] jeszcze nie istniała. Ustandaryzowane były jedynie tzw. wytyczne dla wdrożeń standardu DASH/AVC-264 (opis elementów kompatybilnych między DASH i kodekiem AVC-264).

DASH Industry Forum rozwinęła równoległe do DASH jego elementy kompatybilne z innymi systemami. Ich ustandaryzowanie jest dużym krokiem naprzód do uzyskania jednolitej końcowej implementacji DASH. Opis elementów współpracy DASH to wytyczne dla programistów celem wdrażania spójnych rozwiązań dostarczających wideo opartych o DASH, przez określenie, m.in., w jaki sposób implementacja powinna brać pod uwagę dany kodek, w jaki sposób umieszczać materiały reklamodawców i jak opisywać je w pliku MPD, które z rozwiązań DRM są wspierane, a także jak przekazywać oś czasu materiałów, jak sygnalizować brak sygnału, identyfikatory danych treści i inne. Dzięki współpracy z innymi standardami, DASH umocnił swoją pozycję i spowodował ułatwienie jego praktycznego wdrożenia w środowiskach produkcyjnych. Jak przytoczono wyżej, w czasie pisania publikacji punkty współpracy nie były zdefiniowane dla HEVC i DASH i moja praca była jedną z pierwszych podejmujących tą tematykę.

Ponadto, w [Auto-8] zaproponowano model współpracy między HEVC i DASH wyszukujący nowe podobne punkty kodowania dla przyspieszenia procesu (dla zawartości HEVC-DASH). W szczególności, zaproponowano równoległe kodowania dla różnych segmentów DASH i różnych reprezentacji DASH.

Inne publikacje na konferencjach naukowych poruszające temat modelowania kosztów MMC to [Konf-2], [Konf-3], [Konf-5], [Konf-9] (zob. Zał. 4. Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej).

4.3.7. Wnioski

Koncepcja MMC uzyska szeroką aprobatę ze względu na dwa główne czynniki: po pierwsze elastyczność MMC, która wynika z braku wymagań odnośnie podmiotów zaangażowanych w strumieniowaniu mediów czyni wdrożenie mechanizmów prostszymi i, z drugiej strony, niskie koszty inwestycyjne (ang. Capital Expenditures –CAPEX), dlatego że nie istnieje konieczność stworzenia wielkiej infrastruktury) umożliwiają zastosowanie mechanizmów MMC w systemach dostarczania mediów. Zasadniczo, niektóre z mechanizmów przedstawionych w publikacjach zostały już zaimplementowane w komercyjnych systemach (np. silnik przewidywania zasobów w sieci firmy Cablenet).

Ważne jest podkreślać różnicę między MMC i systemami OTT. Nawet jeśli traktować MMC jako rodzaj systemu OTT, MMC wprowadza wiele mechanizmów umożliwiających współpracę

między źródłem i miejscem przeznaczenia mediów (chmurą i użytkownikiem), co pozwala na polepszenie dostarczania mediów. Ceną tego ulepszenia jest konieczna współpraca, która często oznacza przymus udostępniania przez chmurę jej wewnętrznych parametrów do użytkowników końcowych.

Podsumowując, MMC pokonuje OTT dzięki współpracy chmury i użytkownika końcowego, jednocześnie nie osiągając tak dobrych wyników jak architektura typu Sieci świadomej treści, ponieważ nie zakłada udziału we współpracy ze strony dostawcy Internetu.

Cykl publikacji będący podstawą wniosku o przyznanie stopnia dra habilitowanego łącznie z oświadczeniami współautorów jest zaprezentowany w Zał. 3. Referatu.

5. Inne osiągnięcia naukowe

Technologie i Zastosowania Internetu Rzeczy

W czasie moich badań nad zasobami chmur obliczeniowych oraz potencjalnymi modelami biznesowymi zdałem sobie sprawę, że większość koncepcji dot. zarządzania zasobami chmur w dostarczaniu wideo może być również zaadaptowana do popularnej idei Internetu Rzeczy, w szczególności przy rozpatrywaniu połączenia bezprzewodowych sieci sensorowych z chmurą. Zapewnienie efektywnych metod/mechanizmów? łączenia sensorów z chmurą wydaje się być decydujące dla przyszłości Internetu Rzeczy.

Z tego powodu zainicjowałem badania nad połączeniami Internetu Rzeczy z chmurami, które zaowocowały wydaniem dwóch książek, których jestem współautorem (publikacje [Book-1] i [Book-2] przedstawione w Zał. 4. *Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej*) oraz projektem badawczym realizowanym pod moim przewodnictwem przez zespoły z Polski i Luksemburga (projekt PolLux II IDSECOM). Projekt ten zakończy się w 2017 roku. Jako zespół badawczy odnieśliśmy już w jego ramach znaczące sukcesy, potwierdzone publikacjami w ważnych czasopiśmie takich jak ACM Computing Surveys oraz IEEE Wireless Communications (zob. [JCR-2], [JCR-4], [JCR-7], [JCR-8] oraz [JCR-11] w Zał. 4. *Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej*) oraz innymi publikacjami, m.in. [konf-2], [konf-4], [konf-6], [konf-37] oraz [konf-38] (zob. Zał. 4. *Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej*). Ponadto, edytowaliśmy (ja pełniłem rolę głównego edytora) wydanie specjalne numeru czasopisma International Journal of Network Management pt.: Management of the Internet of Things i Big Data.

Osobiście zaproponowałem i byłem odpowiedzialny za implementację głównych modułów systemu IDSECOM, który zawiera nowe metody dla połączenia sieci sensorowych z Internetem i dalej z chmurą obliczeniową.

Innowacja w „softwarzowaniu” Sieci Przyszłości

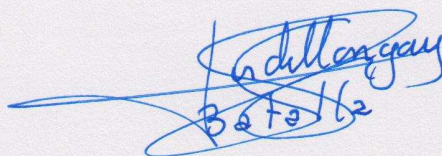
Niektóre idee związane z MMC nie mogły być zaimplementowane we współczesnych sieciach dlatego że infrastruktura chmury jest umiejscowiona zbyt daleko od użytkowników. Dwoma przykładami są: wspólne strumieniowanie wideo w sieciach 5G [JCR-1], które charakteryzuje się obniżoną wydajnością gdy inteligencja strumieniowania jest ulokowana w chmurze znacznie oddalonej od użytkowników; oraz zarządzanie funkcjonalnością warstwy pośredniej w IoT [JCR-8], [JCR-11], które mogłoby być łatwo zaimplementowane w sieci dostępowej, zwiększając w ten sposób efektywność w obszarze bezpieczeństwa i elastyczności.

Razem z University of Nicosia, Polytechnic University of Bucharest oraz Seidor S.A. zaimplementowaliśmy otwartą i zmodularyzowaną platformę sieciową gdzie, na poziomie sieci, możliwa jest kompozycja usług tworzonych przez użytkowników w czasie rzeczywistym. Idea polega na umożliwieniu użytkownikom uruchamianie własnego kodu (funkcjonalności) pracujący nad danymi, które to dane są wprowadzane do sieci razem z kodem. Obecnie system jest w fazie testowania.

Moje zadania w ramach tej pracy koncentrowały się na specyfikacji systemu, co wymagało opracowania propozycji rozwiązań przewyższających obecny stan sztuki, a zarazem połączenia ich z tradycyjnymi rozwiązaniami w obszarze łańcucha usług w sieci.

Wynikami niniejszej pracy były, oprócz samego systemu, jedna publikacja w IEEE ICC oraz edycja (jestem głównym edytorem) specjalnego wydania w czasopiśmie IEEE Communications Magazine. Tytuł wydania specjalnego brzmi: *Advances in Network Services Chain* (<http://www.comsoc.org/commag/cfp/advances-network-services-chain>).

Na końcu prezentacji moich aktywności naukowych pozwolę sobie podkreślić, że moje inne zainteresowania w dziedzinie nauk humanistycznych są skupione w szczególności na obszarach nauk społecznych i psychologii. Współpracowałem z grupą badawczą Wydziału Psychologii Uniwersytetu Warszawskiego i jestem współautorem kilku publikacji na temat konsekwencji obecności nadmiaru informacji spowodowanego powstaniem Internetu ([JCR-9] i [czas-20], zob. *Zał. 4. Wykaz publikacji i osiągnięć w pracy naukowej*). Jestem zdania (podobnie jak Gustaw Flaubert w roku 1872), że studia interdyscyplinarne (mając na myśli studia humanistyczne i techniczne) są bardzo ważne dla uzyskania równowagi i umiejętności odczytania znaczenia postępu technicznego dla nadchodzących lat.



Załącznik 2-A

List dra Daniela Négru (koordynatora projektu FP7 IP ALICANTE)
wyjaśniającego moje wysiłki skupione na dołączeniu do projektu,
a także mój wkład w cały projekt (w jęz. angielskim)



Centre National de
la Recherche Scientifique



Laboratoire Bordelais de
Recherche en Informatique

Dr. Daniel Négru
Associate Professor
CNRS-LaBRI lab., University of Bordeaux

Bordeaux, June 10th, 2013

To Whom It May Concern.

As the coordinator of the ALICANTE European project, I have had the opportunity of working together with Dr. Jordi Mongay Batalla for the last two years.

Dr. Mongay Batalla joined the ALICANTE project after obtaining funding (from European Commission) in the enlargement call. In fact, Jordi Mongay Batalla wrote the ALICANTE - Enlarged EU proposal, which was accepted for funding with the Grant Agreement Nr.: 287757 in the Call: FP7-ICT-2011-7 ICT-7-11.3 - Supplements to Strengthen Cooperation in ICT R&D in an Enlarged EU.

From this moment, he and his team started working under ALICANTE umbrella and comfortably integrated into the ALICANTE Consortium. He has successfully demonstrated leadership ability for providing innovative research and integrating the implementation work in the general system.

ALICANTE is an FP7 Integrated Project that heads towards the deployment of a "Media Ecosystem", by proposing a comprehensive architecture with in-depth innovations and evolutions within and between each environment. The ALICANTE concept aims to provide Content-awareness to the Network Environment, Network- and User Context -awareness to the Service Environment, and adapted services/content to the End User for his best service experience possible.

Dr. Mongay Batalla centered his research in adaptation of Content source for adaptive streaming as well as Content source selection. He developed investigation, specification and implementation tasks, completing the issues assigned to Content Provider environment and some tasks in Service environment. Dr. Jordi Mongay Batalla demonstrated a high experience in this telecommunication area (Multimedia streaming and Content Aware Networks) as well as a deep knowledge in mathematics for analyzing and solving problems related with these issues.

During the project duration, Dr. Jordi Mongay Batalla wrote and presented several papers in national and international conferences. Some of them were published in international journals. Almost all these papers were written together with other partners of the project in a fluid and fruitful collaboration.



Centre National de
la Recherche Scientifique



Laboratoire Bordelais de
Recherche en Informatique

The investigation provided by Dr. Jordi Mongay Batalla has proved to be innovative and has resulted in an outstanding value for ALICANTE project. He led one of the seven Innovation Areas inside the project and conducted research together with other FP7 projects in the same research area, i.e., Content Aware Networking. Moreover, he completed dissemination tasks as, e.g., discussion with polish stakeholders and presentation of ALICANTE project in Future Internet Assembly Conference.

Briefly, I consider that the research provided by Dr. Jordi Mongay Batalla inside the project is top-level, his leadership ability is excellent and the fruitful collaboration with him may be recognized with unconcealed glee.

Respectfully yours.

Daniel Négru, Ph.D., ALICANTE Project Coordinator

Załącznik 2-B
Formularz aplikacyjny DELTA
opisujący moje zadania jako koordynatora technicznego
(w jęz. angielskim)

4. Participant

4.6 Contribution to the project (CONFIDENTIAL)

Note: the information in this section will be treated as confidential.

4.6.1 Technical contribution

Jordi Mongay Batalla is project's technical co-ordinator of the project and leader of WP2. As mentioned on NIT webpage [www.nit.eu/z3], our expertise is related with new architectures of telecommunication networks (Next Generation Networks, and Future Internet), their protocols and applications. Therefore, we are able to lead the work on the overall architecture of the DELTA system. Specifically, tasks performed by NIT and related to the architecture will be: the general architecture specification with special attention on the high-level architecture of the system; the recognition of the requirements from the knowledge obtained in other projects, specially ALICANTE [FP7 project ALICANTE: Media Ecosystem Deployment through Ubiquitous Content-Aware Network Environments. Webpage: <http://www.ict-alicante.eu/public/>] and polish-funded FIE [Future Internet Engineering homepage: <https://www.iip.net.pl/en/project/>]; deep overview on the current proposed solutions in order to obtain valuable approaches for DELTA system; specification of solutions for IPTV platform in the MDM, specially for multicast adaptation and zap-time reduction; development of HTTP/ WebRTC solution for Multiple Program Transport System in IPTV system (to be implemented in the Media Advanced Streamer); specification of IPTV system (in cooperation with Mint Media partner).

We will put effort in the implementation of several blocks of the system, such as the implementation of Resource Prediction Engine for unicast/multicast streams, the development of MDM Resource Management for IPTV system in CDN and Conventional Cloud, the implementation of MAS for WebRTC and MPEG-DASH, with special attention to IPTV-dedicated blocks, the implementation of Multi-level video platform (together with Mint Media partner) and will cooperate in the development of Media QoE Meter.

Moreover, the experience of NIT's workers in testing solutions for Future Internet networks has been demonstrated during the test process of PL-LAB, which is an extensive national-wide research network grouping together 8 national research centres and universities. This experience will result crucial for performing the tasks performed by NIT and related to WP4, which are the analysis of scenario for validation and interoperability tests of DELTA system; the specification of performance measurements and analysis of expected results of DELTA tests, the development of trials and demonstration of integration of multi-level video platform with other DELTA elements; the performance of tests of the algorithms and functional blocks implemented by NIT; and the performance of integration tests.

At last, the backup personnel of NIT will help in preparation of workshops (in the framework of WP5), whose thematic of the Call for Papers will be the same as in the project. The scientific results of the NIT work will be presented in major conferences, at least 3 papers to journals and/or peer reviewed academic conferences and applied industrial in the area of telecommunications will be submitted. At last, two public presentations will be conducted in Poland, in order to give relevance to the DELTA project's outcomes.

4.6.2 Goal in project participation

The knowledge obtained by carrying out the presented project will be crucial for NIT to gain position in Future Internet research. Expertise in Media Networks together with Over-The-Top solutions will be key issues to expand the services offered by telecommunication platforms. NIT intends to be a support in expertise for ICT firms, since the most of ICT firms in Poland are closing its own R&D departments. NIT is convinced that research and development in the area of Networked Media Control Planes, in particular in the adaptation of media services to users' needs, will strengthen its position in this field.

NIT will use the DELTA outcomes to provide active contribution to conferences and journals by solid publications, confirming, in this way, the leading position into the ICT investigation area. The co-operation with other European R&D centers will open the possibilities to more extending co-operation in future calls of the EU Programmes paving the way for strategic partnerships in view of gaining access to knowledge and developing interoperable solutions.

Moreover, a closer cooperation with SMEs involved in introducing own products in the market offers to NIT the opportunity of reducing the gap between pure research and market necessities.

4.6.3 Detailed cost contribution in €

Describe the main participant's detailed contribution costs in €.

Attachment 2-C
List potwierdzający dopuszczenie do finansowania
projektu Chist-Era Call 2012 DISEDAN (prowadzonego przeze mnie)
(w jęz. angielskim)



chist-era

CHIST-ERA Call 2012

CHIST-ERA Joint Secretariat

Jordi Mongay Batalla

Contact person

Politechnika Warszawska

Mathieu Girerd

Chargé de mission

Tel: +33 1 7354 8213

mathieu.girerd@agencerecherche.fr

Paris, 20th of June 2013

Dear Sir,

We thank you for the submission of the research proposal entitled *DISEDAN* in the framework of the Call 2012 of the CHIST-ERA ERA-Net for the topic *Context- and Content-Adaptive Communication Networks*.

We are pleased to inform you that your proposal has been recommended for funding, upon decision of the Call Steering Committee. We kindly invite the partners in the project to contact their national contact points within their respective national funding organisations to arrange completion of contract negotiations.

For your information, 15 proposals were submitted for the topic. Out of them, 10 were above the quality cut-off, and among these 3 were selected by the Call Steering Committee taking into account the available budgets.

The decision made was based on the scientific evaluation of the proposals by an international Evaluation Panel in accordance with the criteria and the procedure presented in the Call Announcement. The Panel was chaired by *Professor Laurent Mathy* and co-chaired by *Professor Alba Pagès-Zamora*.

Please find attached the consensus report consolidating the peer-review reports and the views of the rapporteurs together with the subsequent discussion with the Evaluation Panel.

Yours sincerely,

Dr. Edouard Geoffrois

CHIST-ERA Coordinator

French National Research Agency

Tel: +33 1 7354 8149

edouard.geoffrois@agencerecherche.fr

www.chistera.eu