Edyta Biernacka
Jerzy Domżał
Robert Wójcik
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
ebiernac@agh.edu.pl
DOI: 10.15199/59.2019.7.28

KTII 2019
Wrocław, 26-28 czerwca 2019

ANALIZA UŻYTECZNOŚCI MECHANIZMU BYPASS DLA RUCHU PRIORYTETOWEGO W SIECIACH SDN IP/EON

INVESTIGATION OF BYPASSING MECHANISMS IN SDN IP/EON NETWORKS

Streszczenie: **Referat przedstawia analizę użyteczności mechanizmu bypass w sieciach wielowarstwowych IP/EON z centralnym sterownikiem. Mechanizm zakłada alokację niewidocznych dla IP zasobów w chwili wystąpienia przeciążenia. W ramach badań przeprowadzono symulacje dla dwóch topologii sieci NSF15 i UBN24. Wyniki wykazują zysk w postaci zmniejszonego prawdopodobieństwa blokady przepływności ruchu o wysokim priorytecie.**
Abstract: **The paper presents an analysis of bypassing mechanisms for multi-layer IP/EON networks with the central controller. The mechanism assumes the allocation of hidden resources for IP when congestions occur. Simulations were carried out for two network topologies: NSF15 and UBN24. Simulation results indicate reduction of bandwidth blocking probability of high priority traffic.**

Słowa kluczowe: **mechanizm bypass, wielowarstwowa sieć IP/EON**

Keywords: **bypassing method, multi-layer IP/EON**

1. WSTĘP

W ostatnich latach ilość generowanego ruchu internetowego gwałtownie rośnie. Aplikacje takie jak komunikacja wideo w wysokiej rozdzielczości i w czasie rzeczywistym, wideo na żądanie, przetwarzanie danych w chmurze itp. wymagają dużej przepustowości. Aby spełnić to wymaganie zaproponowano elastyczne sieci optyczne EON (*Elastic Optical Networks*) [3], [4], [7], [8]. Jednakże połączenie warstwy EON z warstwą protokołu IP (IP/EON) wymaga dodatkowych badań [10].

Jednym z niezbadanych zagadnień jest mechanizm bypass w sieci IP/EON. Implementacja mechanizmu może zapewnić jakość usług w warstwie IP, np. ruch o wysokim priorytecie może być przyjęty, nawet w warunkach dużego natężenia ruchu, w sytuacji występowania natłoku. Koncepcja bypass została już zbadana w technologii optycznej starszej niż EON, jednakże wciąż brakuje badań dotyczących przekierowania ruchu do warstwy EON.

Niniejszy referat przedstawia analizę użyteczności mechanizmu bypass w sieci IP/EON z centralnym sterownikiem SDN (*Software-Defined Network*) dla ruchu o wysokim priorytecie. Jako miarę użyteczności mechanizmu przyjęto prawdopodobieństwo blokady przepływności BBP (*Bandwidth Blocking Probability*). Podobnie jak w poprzednich pracach [1], [2] do zarządzania transmisją danych i komunikacji pomiędzy warstwami sieci wykorzystano centralny sterownik zgodny z ideą sieci sterowanych programowo SDN. Przeprowadzona analiza dotyczy dwóch topologii sieci: NSF15 i UBN24, dla kilku scenariuszy wielkości udostępnionych zasobów dla IP. Natomiast ruch jest generowany przez wybrane pary węzłów na podstawie długości ścieżek. Należy podkreślić, iż praca jest rozszerzeniem [1], [2]. Jednakże w [1] założenia o warstwie EON uproszczono, natomiast w [2] badana była jedna topologia sieci, a ruch generowany był przez odmienne węzły w sieci (ruch generowały węzły o najwyższym stopniu).

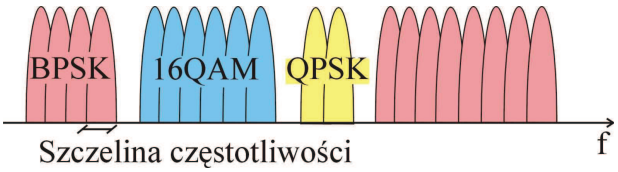
W dalszej części referatu przypomniano koncepcję EON, a następnie opisano mechanizm bypass (rozdział 2). Przy wykorzystaniu środowiska OMNeT++ przeprowadzono eksperymenty symulacyjne i dokonano oceny BBP w sieci IP/EON z i bez mechanizmu bypass. Wyniki badań symulacyjnych oraz analizę wyników zawarto w rozdziale 3. Na zakończenie podsumowano pracę w rozdziale 4.

2. MECHANIZM BYPASS

Celem zastosowania mechanizmu bypass jest zmniejszenie BBP, dzięki możliwości dynamicznego zestawiania dodatkowych ścieżek optycznych w chwili wystąpienia natłoku. Proponowane rozwiązanie jest omówione dla sieci IP/EON sterowanych programowo (więcej informacji w [1] i [2]).

2.1. Warstwa optyczna

Koncepcja elastycznej sieci optycznej łączy w sobie wykorzystanie optycznej modulacji wielu nośnych OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) [3] oraz drobnoziarnisty dostęp do zasobów widmowych zdefiniowanych w zaleceniu ITU-T G.694.1 [6]. W podzielonym na szczeliny widmie optycznym zostają ulokowane optyczne połączenia. Wielkość zajmowanego widma, wyrażona w liczbie sąsiednich szczelin, zależy od przepływności bitowej żądania, użytej siatki częstotliwości i wykorzystanej techniki modulacji (np. k-PSK, k-QAM). Przykład widma sieci EON z istniejącymi połączeniami przedstawia rys. 1.

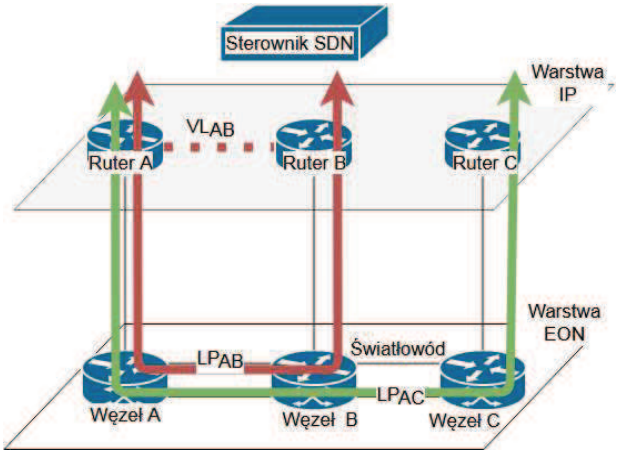


Rys. 1. Szczelinowy charakter widma optycznego.

Wybrany dla danego połączenia format modulacji jest określony przez współczynnik jakości transmisji QoT (*Quality of Transmission*). W [3] zauważono, że jedynym istotnym parametrem QoT jest długość optycznej ścieżki, czyli odległość, na jaką przesyłany jest sygnał, podczas gdy techniki modulacji wielopoziomowej są przeznaczone do transmisji na krótkich dystansach.

2.2. Mechanizm bypass dla IP/EON z centralnym sterownikiem

Zasoby EON mogą być widoczne dla IP w całości lub tylko w części. Optyczna ścieżka LP (*Lightpath*) zestawiona za pomocą widocznych zasobów IP jest łączem wirtualnym VL (*Virtual Link*), natomiast bypass używa zasobów ukrytych. Przykłady omawianych ścieżek ilustruje rys. 2. Ścieżka LP_{AB} odpowiada łączu VL_{AB}, gdyż LP_{AB} alokuje zasoby widoczne dla IP, natomiast LP_{AC} to bypass [2].



Rys. 2. Ścieżki optyczne w sieci SDN IP/EON

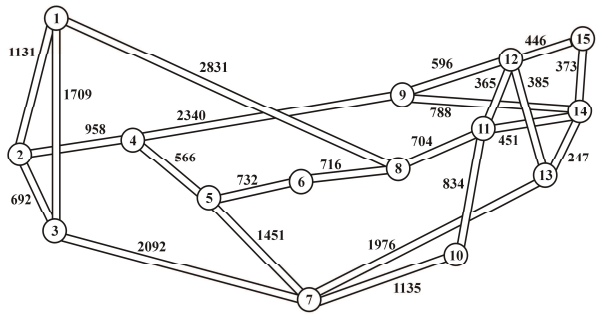
Dostępność tylko części zasobów dla warstwy IP jest założeniem mechanizmu bypass. Pozostała część zasobów (niewidoczna dla IP) jest alokowana w chwili natłoku. Podczas alokacji zasobów muszą być spełnione i zachowane warunki: ciągłości, styczności oraz nie nakładania się fragmentów widma.

W sieciach IP/EON sterowanych programowo, dla nowego zgłoszenia sterownik SDN sprawdza czy są wystarczające zasoby w IP. Przykładowo, jeśli w warstwie IP, wykorzystany jest protokół rutingu OSPF, to dla danej pary węzłów sprawdzana jest tylko jedna trasa rutingu. Jeśli zasoby oryginalnej ścieżki w IP są wystarczające do przyjęcia zgłoszenia i współczynnik wykorzystania łączy jest mniejszy od zakładanej wartości progowej przeciążenia *th*, to ruch przesyłany jest w tej warstwie. W przeciwnym razie, sterownik angażuje zasoby ukryte do zestawienia bypassu. W ten sposób nadmiarowy ruch zostaje obsłużony dzięki przekierowaniu i przesłaniu nowymi ścieżkami bypass.

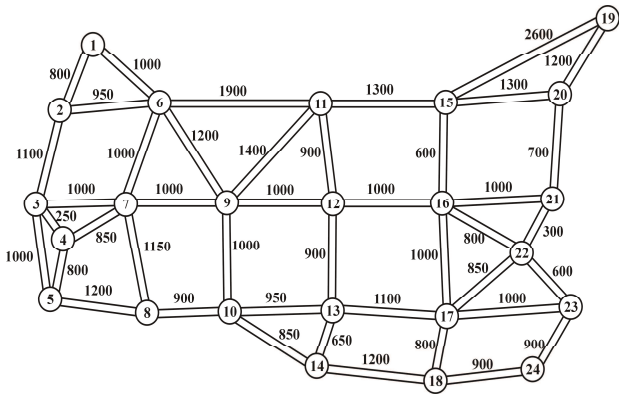
3. ANALIZA SYMULACYJNA

W tej części przedstawiono założenia eksperymentów symulacyjnych oraz wyniki wraz z analizą. W pierwszej kolejności przedstawione są założenia dotyczące warstwy EON, IP oraz generowanych zgłoszeń.

W przeprowadzonych symulacjach użyto topologii sieci NSF15 i UBN24. Dla wielowarstwowej sieci przyjęto daną topologię jako topologię warstwy IP oraz topologię warstwy optycznej. 15-węzłowa topologia NSF15 z 46 skierowanymi łączami przedstawiona jest na rys. 3, natomiast 24-węzłową topologię UBN24 przedstawia rys. 4.



Rys. 3. Topologia sieci NSF15.



Rys. 4. Topologia sieci UBN24

Dla warstwy optycznej założono siatkę częstotliwości zgodnie z zaleceniem ITU-T G.694.1 [6] o szerokości spektralnej pojedynczej szczeliny równej 12.5 GHz. Liczba szczelin przypadająca na optyczne łącze wynosiła 320. Do oddzielenia sąsiednich transmisji przeznaczono pasmo ochronne równe 1 szczelinie. Format modulacji wybrany dla zestawianych ścieżek optycznych wyznaczono na podstawie odległości, na jaką przesyłany jest sygnał. Podobnie jak [1], [2] dla modulacji BPSK przyjęto maksymalny zasięg 9600 km, dla QPSK 4800 km, dla 8QAM 2400 km, a dla 16QAM 1200 km.

Tab. 1. Parametry optycznej modulacji

Modulacja	*Zasięg optyczny*	*Przepustowość 12.5 GHz*
BPSK	9600 km	12.5 Gbit/s
QPSK	4800 km	25 Gbit/s
8QAM	2400 km	37.5 Gbit/s
16QAM	1200 km	50 Gbit/s

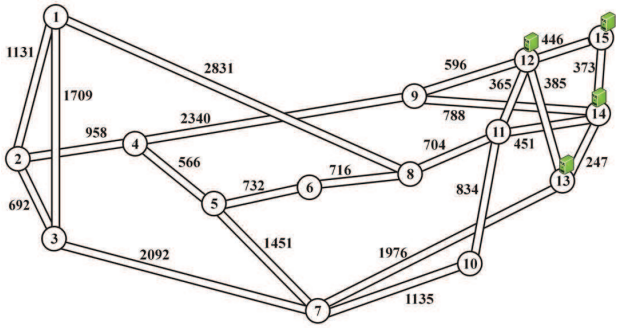
Dla mechanizmu bypass do rozwiązania problemu rutingu i alokacji spektrum użyto metody rutingu SPF (*Shortest Path First*) i metody przypisania spektrum FFSA (*First Fit Slot Allocation*). Podczas szukania zasobów bypass liczba analizowanych ścieżek wynosiła 10. Liczbę N sąsiednich szczelin zajmowanego widma przez bypass obliczono na podstawie (1) [1], [2]:

$$N = \left\lceil \frac{bw_{demand}}{M_p \cdot C_{FS}} \right\rceil + GB \tag{1}$$

gdzie: bw_{demand} [Gbit/s] – żądana przepływność; M_p [bit/s/Hz] – efektywność widmowa modulacji wybranej dla ścieżki *bypass*; C_{FS} [Gbit/s] – pojemność szczeliny dla modulacji BPSK; GB – liczba szczelin przeznaczona do oddzielenia sąsiednich transmisji optycznych. Możliwe było zestawienie ścieżki bypass o długości jednego skoku IP.

W warstwie IP użyto protokołu rutingu OSPF. Próg przeciążenia *th* ustawiono na 0.7. Zestawiono wirtualne łącza zgodnie z wielkością udostępnionych zasobów. Rozważono 4 przypadki wielkości udostępnionych zasobów dla IP i jeden referencyjny („tylko IP"). Przypadek 1 zakłada dostępność 280 szczelin dla IP, przypadek 2 – 240, przyp. 3 – 200, przyp. 4 – 160 a referencyjny dostępność wszystkich szczelin dla IP – 320.

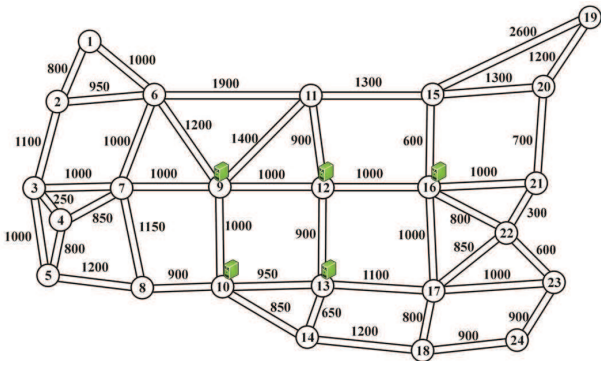
Założono ruch tła (stały) i ruch o wysokim priorytecie (zmienny). Ruch tła generowany był przez każdą parę węzłów w sieci i wynosił odpowiednio 200 Gbit/s dla NSF15, 80 Gbit/s dla UBN24. Ruch priorytetowy był generowany dynamicznie pomiędzy wybranymi węzłami, dla których średnia długość najkrótszych ścieżek do dowolnego innego węzła jest najmniejsza. Na rys. 5 zaznaczono węzły generujące ruch priorytetowy w NSF15 (węzły o numerach V={12,13,14,15}), na rys. 6 dla sieci UBN24 (V={9,10,12,13,16}).



Rys. 5. Węzły generujące ruch o wysokim priorytecie w NSF15

Aby ocenić użyteczność mechanizmu bypass, porównano prawdopodobieństwo blokady przepustowości BBP dla ruchu priorytetowego w sieci z i bez implementacji mechanizmu bypass. Metrykę BBP dla ruchu priorytetowego obliczono jako iloraz sumy przepustowości odrzuconych zgłoszeń do całkowitej żądanej przepustowości.

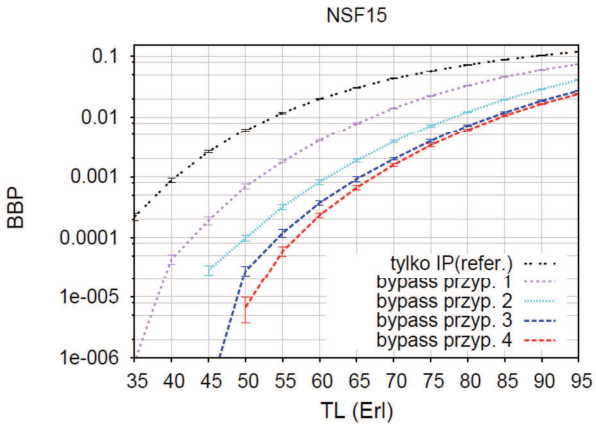
Zgłoszenia priorytetowe o żądanej przepływności BW (*Bandwidth*) napływają do sieci zgodnie z rozkładem Poissona, ze średnią intensywnością λ zgłoszeń na jednostkę czasu. Wartość przepływności dla zgłoszenia jest zmienną losową o rozkładzie jednostajnym w zbiorze: 50 Gbit/s, 1 Tbit/s z krokiem co 50 Gbit/s. Zgłoszenia te są równomiernie rozłożone wśród skierowanych par węzłów ruchu priorytetowego sieci. Dla czasu trwania transmisji IP zastosowano rozkład wykładniczy o średniej 1/μ, a obciążenie sieci TL (*Traffic Load*) jest równe λ/μ.



Rys. 6. Wybrane węzły generujące ruch o wysokim priorytecie w sieci UBN24

Dla 5000 zgłoszeń sieć osiągnęła stabilny stan pracy. Wynik otrzymano z pomiaru 10^6 zgłoszeń. Dla każdego punktu pomiarowego symulacje powtórzono 30 razy i wyznaczono przedział ufności przy pomocy rozkładu normalnego na poziomie ufności 95%. Korzystając z dyskretnego dziennika zdarzeń środowiska OMNeT++ [8] wykonano symulacje dla dynamicznego scenariusza pracy sieci.

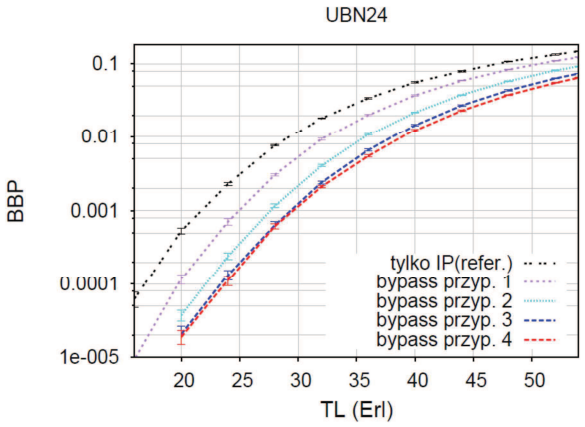
Rysunki 7 i 8 przedstawiają wyniki symulacji mierzonego parametru prawdopodobieństwa blokady przepustowości (BBP) dla sieci NSF15 (rys. 7), dla sieci UBN24 (rys. 8).



Rys. 7. Wyniki symulacji BBP w funkcji obciążenia sieci (TL) dla sieci NSF15

Zgodnie z rys. 7, zastosowanie mechanizmu bypass pozwoliło zmniejszyć BBP w sieci w porównaniu do referencyjnego modelu „tylko IP". Wartości BBP są mniejsze dla wszystkich analizowanych przypadków (1-4) w porównaniu do „tylko IP". Dla przypadku „tylko IP" i przyp. 1, pierwsza blokada w sieci wystąpiła dla tej samej wartości TL równej 35 Erl, jednakże wartość BBP dla „tylko IP" jest większa niż dla przyp. 1. Dla przyp. 2 i 3 odrzucone zgłoszenia w sieci pojawiają się dopiero od 45 Erl. Warto zauważyć, że dla przyp. 4 blokada

pojawiła się najpóźniej dla TL równego 50 Erl. Można stwierdzić, iż w sieci NSF15 wraz ze zmniejszeniem wielkości zasobów widocznych dla IP wzrasta użyteczność mechanizmu bypasss. Wraz ze wzrostem TL, BBP dla „tylko IP" pozostaje nadal największe.



Rys. 8. Wyniki symulacji BBP w funkcji obciążenia sieci (TL) dla sieci UBN24

Zgodnie z rys. 8, zastosowanie mechanizmu bypass w sieci UBN24 również pozwoliło zmniejszyć BBP w porównaniu do referencyjnego modelu „tylko IP". Wartości BBP są mniejsze dla wszystkich analizowanych przypadków (1-4) w porównaniu do „tylko IP". Dla przypadku 2, 3 i 4 pierwsza blokada pojawiła się później dla TL równego 20 Erl, w porównaniu do „tylko IP". Wraz ze wzrostem TL, BBP dla „tylko IP" pozostaje nadal największe. Można stwierdzić, że również dla UBN24 wraz ze zmniejszeniem wielkości zasobów dla IP zostaje zmniejszone BBP.

Korzystanie z jednej trasy w warstwie IP prowadzi do problemu zbyt małej przepustowości łączy w stosunku do zapotrzebowania. Proponowany mechanizm bypass pozwala dynamicznie zestawić ścieżki dla przeciążonych łączy, korzystając z zasobów, które nie są widoczne dla warstwy IP.

4. WNIOSKI

W pracy przedstawiono analizę mechanizmu bypass dla sieci IP/EON z centralnym sterownikiem. Symulacje obejmowały dwie topologie: NSF15 i UBN24. Poddano ocenie użyteczność mechanizmu bypass w sieci dla ruchu o wysokim priorytecie.

Analiza wykazała zysk w postaci zmniejszonego BBP w sieci z mechanizmem bypass. Co więcej pokazano, że zwiększenie ilości zasobów dla mechanizmu bypass kosztem zasobów widocznych dla IP, prowadzi do zwiększenia wspomnianego zysku oraz opóźnienia pojawienia się pierwszych blokad w sieci. Dla sieci NSF15 z mechanizmem bypass, dla którego zarezerwowano 160 szczelin pierwsza blokada pojawia się dla 50 Erl, podczas gdy pierwsze blokady zaobserwowano od 35 Erl dla „tylko IP". Natomiast w sieci UBN24 dla „tylko IP" blokady pojawiają się od 16 Erl, a dla mechanizmu bypass z rezerwacją 80, 120 i 160 szczelin blokady pojawiają się od 20 Erl. Dalsze prace będą obejmować weryfikację proponowanego mechanizmu dla innych parametrów.

PODZIĘKOWANIA

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu „Inteligentne sterowanie ruchem w wielowarstwowych sieciach sterowanych programowo" finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w ramach programu OPUS. Nr projektu: DEC-2017/25/B/ST6/02186.

LITERATURA

[1] Biernacka Edyta, Domżał Jerzy, Jurkiewicz Piotr, Wójcik Robert. 2017. „Model wielowarstwowej współpracy sieci IP z elastyczną siecią optyczną". *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne* nr 8-9 s. 984–987.

[2] Biernacka Edyta, Domżał Jerzy, Boryło Piotr. 2018. „Mechanizm bypass dla dynamicznego ruchu przesyłanego pomiędzy centrami danych w sieciach IP/EON". *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne*, nr 8–9, s. 764–767.

[3] Christodoulopoulos K., Tomkos I., Varvarigos E. A. 2011. „Elastic bandwidth allocation in flexible ofdm-based optical networks". *Journal of Lightwave Technology* 29 (9) (2011) 1354-1366.

[4] Gerstel O., Jinno M., Lord A., Yoo S. J. B. 2012. „Elastic optical networking: a new dawn for the optical layer? ". *IEEE Communications Magazine* 50 (2) s12-s20.

[5] Goścień Róża, Walkowiak Krzysztof. 2015. "Comparison of different data center location policies in survivable elastic optical networks". *7th International Workshop on Reliable Networks Design and Modeling (RNDM)*, 2015, pp. 48-55.

[6] ITU-T, Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid (G.694.1), iTU-T Recommendation G.694.1.

[7] Jinno M. 2017. „Elastic optical networking: Roles and benefits in beyond 100-gb/s era". *Journal of Lightwave Technology* 35 (5) 1116-1124.

[8] Lord A., Wright P., Mitra A. 2015, „Core networks in the flexgrid era". *Journal of Lightwave Technology* 33 (5) 1126-1135.

[9] Omnet++ http://www.omnetpp.org

[10] Savi M., Rozić C., Matrakidis C., Klonidis D., Siracusa D., Tomkos I. 2017. „Benefits of multilayer application-aware resource allocation and optimization". *European Conference on Networks and Communications (EuCNC),* 2017, pp. 1-5.