

Henryk Gut
H.Gut@itl.waw.pl
Jan Rogowski
J.Rogowski@itl.waw.pl
Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy
Dawid Juszka
juszka@kt.agh.edu.pl
Lucjan Janowski
janowski@kt.agh.edu.pl
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

IMPLEMENTACJA NIENATYWNEJ USŁUGI VIDEO NA ŻĄDANIE Z OBRAZAMI 2- LUB 3- WYMIAROWYMI, W SIECI „IPv6 QoS”

Streszczenie: Powszechnie dostępne aplikacje klienta i serwera VoD są tworzone z użyciem środowisk programistycznych odpowiednio *VLC Media Player* i *Live 555*. Aplikacje te są przystosowane do współpracy z obecnym Internetem, który nie gwarantuje jednak wymaganej jakości przekazu pakietów. W artykule opisano sposób integracji tych aplikacji z siecią RI IPv6 QoS, opartą na architekturach NGN i Diffserve. Jest ona zbudowana w ramach projektu Inżynieria Internetu Przyszłości i zapewnia wymaganą jakość przekazu. W artykule opisano także implementację modułu dla bieżącej oceny jakości realizowanych przekazów wideo w sieci RI IPv6 QoS oraz sposób integracji z tą siecią.

1. WPROWADZENIE

Usługa wideo na żądanie VoD (ang. Video on Demand) wysokiej rozdzielczości, z obrazami 2- lub 3-wymiarowymi, zwana dalej usługą VoD HD 2D/3D, jest jedną z telekomunikacyjnych usług multimedialnych, udostępnianych obecnie przez wielu dostawców usług i/lub operatorów telekomunikacyjnych dla szerokiego i ciągle powiększającego się grona odbiorców. Na ogół usługa ta jest tworzona z użyciem specjalistycznego oprogramowania dla terminali końcowych i serwerów strumieniujących, i jest udostępniana z wykorzystaniem sieci Internet. Ponieważ sieć ta nie gwarantuje jakości przekazu pakietów koniec-koniec, więc przy stosunkowo dużych wymaganiach na pasmo (do 50 Mbit) i dużych chwilowych zmianach intensywności pakietów przenoszonych strumieniowany materiał wideo HD 2D/3D, jakość prezentacji tego materiału postrzegana przez odbiorcę końcowego usługi silnie zależy od chwilowego przeciążenia Internetu. Przeciążenie to skutkuje bowiem wzrostem utraty pakietów i w konsekwencji – widocznym pogorszeniem jakości odbieranych audycji audio-wideo.

W celu rozwiązania powyższego problemu, od kilku lat na świecie poszukuje się nowych efektywnych i takich rozwiązań dla sieci Internet, które będą zaspokajały rosnące potrzeby użytkowników zarówno w zakresie ilości danych przesyłanych przez sieć, jak i możliwości świadczenia coraz to bardziej wyrafinowanych multimedialnych usług telekomunikacyjnych, wymagających gwarancji jakości przekazu pakietów przez sieć. Kilka takich rozwiązań proponowano w ramach projektu polskiego

p.t. „Inżynieria Internetu Przyszłości” (IIP) [1, 2]. Jednym z nich jest sieć Równoległego Internetu RI IPv6 QoS [3] oparta na protokole IP w wersji 6 (IPv6) oraz architekturach NGN i Diffserve [4]. Dla sieci tej opracowano także szereg aplikacji dostosowanych do specyfiki warstw przekazu danych i sterowania tej sieci, zwanych dalej aplikacjami natywnymi. Wyczerpujący opis tych aplikacji, z wbudowanymi mechanizmami rezerwacji zasobów sieciowych, można znaleźć w [5].

W ramach projektu IIP zwrócono także uwagę na potrzebę integracji istniejących na rynku, nienatywnych aplikacji klienta i serwera VoD z siecią RI IPv6 QoS, które nie mają zaimplementowanych mechanizmów rezerwacji zasobów sieciowych. W ramach IIP zaproponowano uzupełnienie tych aplikacji o te mechanizmy z zastosowaniem wirtualnych urządzeń pośredniczących, zwanych dalej adapterami. Opis tego rozwiązania jest przedmiotem niniejszego artykułu. W szczególności w rozdziale drugim artykułu zamieszczono krótki opis przedmiotowych aplikacji, zawierający: charakterystykę ogólną aplikacji, wykorzystane środowiska programistyczne, zastosowany stos protokołów komunikacyjnych, wymagane pasmo, charakter generowanego ruchu, a także – scenariusz użycia w sieci RI IPv6 QoS. Rozdział trzeci jest poświęcony zagadnieniom integracji tych aplikacji z siecią RI IPv6 QoS i jako taki zawiera opis funkcjonalny opracowanych rozwiązań wraz ze szczegółową specyfikacją scenariuszy sygnalizacyjnych dla faz zestawiania i rozłączania sesji VoD w sieci RI IPv6 QoS. W rozdziale czwartym omówiono sposób integracji adaptera strony klienta z modulem QoE (ang. *Quality of Experience*), umożliwiającego bieżącą ocenę jakości realizowanych przekazów wideo. Wnioski końcowe artykułu zebrano w rozdziale piątym.

2. NIENATYWNE APLIKACJE USŁUGI VoD

2.1. Charakterystyka ogólna aplikacji

Jedną z usług multimedialnych udostępnianych z wykorzystaniem sieci RI IPv6 QoS jest usługa wideo na żądanie (ang. *Video on Demand*), z obrazami dwu- lub trójwymiarowymi, zwana dalej usługą VoD 2D/3D. Usługa ta została zaimplementowana w oparciu o publicznie dostępne kody źródłowe dla aplikacji klienta i serwera VoD, utworzone z wykorzystaniem środowisk programistycznych odpowiednio *VLC Media Player* i

Live 555. Aplikacje te stosują algorytm kodowania/dekodowania obrazów zgodny z H.264 i jako takie są przystosowane do wymiany danych poprzez sieć IPv6. Wykorzystują stos protokołów komunikacyjnych RTSP/TCP/IPv6 do wymiany wiadomości sygnalizacyjnych „koniec-koniec” oraz – zestaw protokołów RTP/UDP/IPv6 dla strumieniowania treści multimedialnych 2D lub 3D z repozytorium.

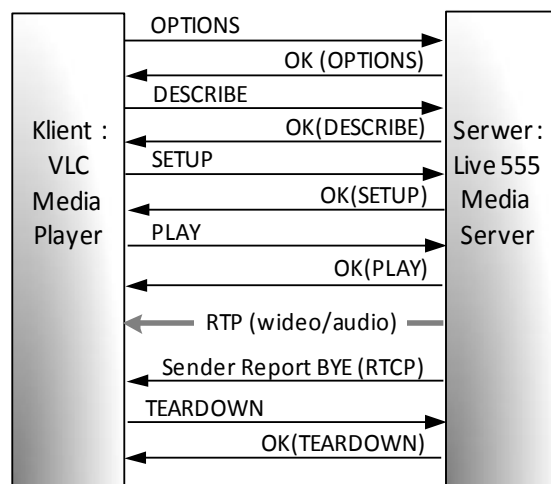
Aplikacja serwera wytwarza strumień pakietów o zmiennej szybkości przekazu VBR, który w przedziałach czasu pomiędzy kolejnymi ramkami video jest zamieniany na strumień CBR o szybkości przekazu zależnej od liczby pakietów RTP kodujących daną ramkę video. Przeciętna szybkość przekazu (wyznaczana za okres materiału video) w przypadku obrazów 2D nie przekracza 25 Mbit/s, zaś dla przekazu obrazów 3D szybkość ta wynosi ok. 50 Mbit/s.

Tab. 1. Zestaw wykorzystywanych wiadomości sygnalizacyjnych protokołów RTSP i RTCP

Wiadomość	Realizowane funkcje
OPTIONS	Dzięki tej wiadomości aplikacja klienta uzyskuje informacje od aplikacji serwera, jakie wiadomości protokołu RTSP obsługuje serwer.
DESCRIBE	Wiadomość ta jest wysyłana przez aplikację klienta w celu uzyskania od aplikacji serwera opisu żadanego materiału multimedialnego.
SETUP	Wiadomość ta powoduje utworzenie sesji RTSP i rezerwację zasobów serwera dla strumieniowania wybranego materiału video.
PLAY	Uruchamia proces strumieniowania materiału video po wcześniejszej komendzie SETUP.
TEARDOWN	Zwalnia zasoby serwera połączone ze strumieniem i zamyka sesję RTSP.
SENDER REPORT BYE	Wiadomość protokołu RTCP wysyłana przez serwer i informująca klienta o wyczerpaniu się materiału strumieniowanego.
RECEIVER REPORT BYE	Wiadomość protokołu RTCP wysyłana przez klienta i informująca aplikację serwera o przerwaniu strumieniowania na żądanie użytkownika.

Omawiane aplikacje do zdalnej aktywacji procesu strumieniowania, a następnie do sterowania tym procesem wykorzystują ograniczony zestaw wiadomości sygnalizacyjnych protokołów RTSP (*Real-Time Streaming Protocol*) [6] i RTCP (*Real-Time Control Protocol*) [7], zamieszczony w Tab. 1 powyżej. Protokół RTSP jest wykorzystywany do aktywacji, a następnie sterowania przekazem zarówno jednego, jak i wielu strumieni danych przenoszących zakodowane ruchome obrazy dwu- lub trójwymiarowe oraz sygnały audio zsynchronizowane z tymi obrazami. Protokół sam w sobie nie udostępnia mechanizmów do strumieniowania danych. Aplikacja serwera *Live 555*, tak jak większość serwerów RTSP stosuje w tym celu standardowy protokół transportowy, którym jest protokół RTP (*Real Transport Protocol*) [8]. Z użyciem wiadomości protokołu RTCP współpracujące aplikacje

klienta i serwera VoD informują się wzajemnie o zakończeniu procesu strumieniowania. Przykład wykorzystania wiadomości tych protokołów pokazano na rys. 1 poniżej. Na rysunku tym przedstawiono wymianę wiadomości sygnalizacyjnych zarówno w procesie nawiązywania sesji RTSP zakończonym sukcesem (kiedy serwer jest aktywny, żądany materiał wideo jest dostępny, itd.), jak i w procesie sterowania strumieniowaniem wybranego materiału wideo, a także – w fazie rozłączania sesji RTSP na żądanie serwera (wyczerpanie się materiału strumieniowanego – koniec filmu).

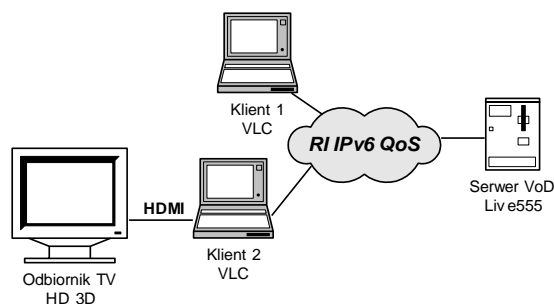


Rys.1. Przykład wymiany wiadomości sygnalizacyjnych protokołów RTSP i RTCP w procesie nawiązywania Sesji RTSP zakończonym sukcesem

2.2. Scenariusze użycia aplikacji w RI-IPv6 QoS

W projekcie IIP przyjęto możliwość realizacji dwóch scenariuszy wykorzystania wyżej opisanych aplikacji nienatywnych usługi VoD w sieci RI IPv6 QoS, a mianowicie: scenariusz podstawowy 2D oraz rozszerzony 3D. Według pierwszego z nich (Rys.2), wstępnie zakodowane treści wideo 2D z użyciem kodera H.264 są dostarczane z lokalnych repozytoriów do aplikacji serwera *VoD Live 555*, a następnie są tam przetwarzane i przesyłane z użyciem sieci RI IPv6 QoS do aplikacji klienta *VLC Media Player* ze średnią przepływnością do 25 Mbit/s. Dekodowanie i prezentacja odebranych treści audio-wideo jest dokonywana przez aplikację klienta.

Scenariusz 3D zakłada natomiast przesyłanie filmów stereoskopowych. W tym przypadku obrazy dla lewego i prawego oka są wstępnie łączone i kodowane, a następnie wysyłane przez serwer do sieci RI IPv6 QoS z podwojoną przepływnością do 50 Mbit/s. Strumień odbierany z sieci jest dekodowany przez odtwarzacz *VLC Media Player*, zaś obrazy 3D są wyświetlane na telewizorze 3D, który jest połączony z aplikacją klienta za pomocą interfejsu HDMI. W obu scenariuszach użytkownik może sterować procesem strumieniowania wybranego materiału wideo, wykorzystując w tym celu polecenia protokołu RTSP. Polecenia klienta i odpowiedzi serwera na te polecenia są cechowane klasą ruchu *Signalling* i jako takie są przesyłane z aplikacji klienta do aplikacji serwera i na odwrót z wykorzystaniem sieci RI IPv6 QoS.



Rys.2. Scenariusze użycia nienatywnych aplikacji klienta i serwera VoD w sieci RI IPv6 QoS

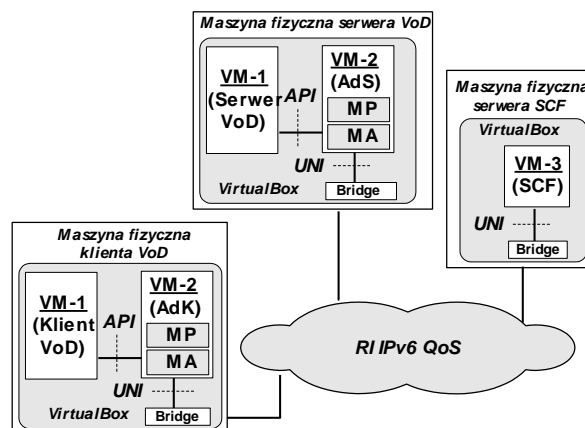
3. INTEGRACJA NIENATYWNEJ USŁUGI VoD Z SIECIĄ RI IPv6 QoS

3.1. Sposób rozwiązania

Wyżej opisane, nienatywne aplikacje klienta i serwera VoD, pomimo tego, iż stosują protokół IPv6 i jako takie są świadome sieci IPv6, nie mogą być w sposób bezpośredni dołączone do sieci RI IPv6 QoS. Nie mają bowiem wbudowanych funkcjonalności zarówno znakowania pól DSCP pakietów IPv6 znacznikiem odpowiedniej klasy usługi (*Signalling* i *MMStreaming*), jak i funkcjonalności związanych z rezerwacją i zwalnianiem zasobów dla strumieniowania wybranego materiału multimedialnego. Integracja tych aplikacji z siecią RI IPv6 QoS wymaga albo odpowiedniej modyfikacji ich kodów źródłowych w celu uzupełnienia tych brakujących funkcjonalności, albo ich dołączenia do sieci RI IPv6 QoS z użyciem dodatkowych urządzeń adaptujących, zwanych dalej adapterami. Sposób pierwszy jest rozwiązaniem możliwym, lecz pracochłonnym z uwagi na rozmiar kodów źródłowych tych aplikacji. Z tego względu zaimplementowano drugie rozwiązanie, wymagające opracowania niezbyt skomplikowanego fragmentu własnego oprogramowania dla aplikacji: Adaptera strony Klienta (AdK), Adaptera strony Serwera (AdS), a także – serwera SCF (ang. *Service Control Function*), sterującego funkcjami warstwy usługowej sieci RI IPv6 QoS dla usługi VoD udostępnianej przez tę sieć. Te dodatkowe elementy współpracują z nienatywnymi aplikacjami klienta i serwera VoD oraz siecią RI IPv6 QoS w sposób pokazany na rys. 3.

W opracowanym rozwiązaniu (rys. 3), w maszynach fizycznych klienta i serwera VoD świadomych sieci RI IPv6 QoS, z systemem operacyjnym gospodarza *Windows XP* lub *Linux Ubuntu* (preferowany) i zainstalowanym darmowym środowiskiem *VirtualBox*, są utworzone dwie maszyny wirtualne VM-1 i VM-2, z systemem operacyjnym gościa *Linux Ubuntu*. W maszynach VM-1 obu maszyn fizycznych są zainstalowane nienatywne aplikacje odpowiednio klienta *VLC Media Player* i serwera *Live 555 Server*, które są przystosowane do współpracy z siecią IPv6. W maszynie VM-2 z maszyny fizycznej klienta rezyduje aplikacja AdK. W maszynie VM-2 z maszyny fizycznej serwera rezyduje zaś aplikacja AdS. W maszynie wirtualnej VM-3 z trzeciej maszyny fizycznej pracuje oprogramowanie serwera SCF, obsługującego wywołania od wszystkich klientów VoD kierowane do danego serwera VoD. Maszyny wirtualne VM-1 oraz VM-2 są połączone między sobą łączem wirtualnym 1G Ethernet. Maszyny VM-2 oraz maszyna VM-3, z użyciem wirtualnego pomostu (oznaczonego na rysunku jako Bridge), mają

dotatkowo połączenie wirtualne z interfejsem fizycznym 1G Ethernet maszyn fizycznych, a poprzez ten interfejs – dostęp do odpowiednich portów z węzłów brzegowych sieci RI IPv6 QoS.



Rys.3. Sposób dołączenia nienatywnych aplikacji klienta i serwera usługi VoD do sieci RI IPv6 QoS. Oznaczenia wyjaśniono w tekście artykułu

W opracowanym rozwiązaniu, maszyny wirtualne VM-2 z zainstalowanymi aplikacjami AdK i AdS występują jako urządzenia pośredniczące, zwane także adapterami wirtualnymi. Adaptery te są dołączane do maszyn wirtualnych VM-1 z oprogramowaniem nienatywnego klienta i serwera VoD za pomocą programowalnego interfejsu aplikacyjnego API (ang. *Application Programming Interface*), zaś do węzła brzegowego sieci RI IPv6 QoS – z wykorzystaniem interfejsu sieciowego użytkownika UNI (ang. *User Network Interface*). W strukturze oprogramowania aplikacyjnego tych adapterów daje się wydzielić dwa główne bloki (moduły) funkcjonalne, takie jak: Moduł agenta Proxy (MP) oraz Moduł Adaptacyjny (MA).

Moduł agenta Proxy działa na poziomie warstwy aplikacji i wykonuje funkcje związane z obsługą żądania rezerwacji zasobów w sieci RI IPv6 QoS, niezbędnych dla strumieniowania wybranego filmu z aplikacji serwera VoD 2D/3D do aplikacji klienta inicjującej to żądanie. W zależności od lokalizacji (adapter strony klienta lub adapter strony serwera), moduł ten realizuje odmienne funkcjonalności, a mianowicie. W przypadku aplikacji AdS moduł ten uzupełnia jedynie wiadomość OK DESCRIBE protokołu RTSP, wysyłaną przez aplikację serwera VoD do aplikacji klienta, wartościami parametrów specyfikujących rezerwowane zasoby sieciowe (*peak bit rate* oraz *burst size*), niezbędne dla strumieniowania wybranego materiału wideo. Wartości tych parametrów są pobierane z lokalnej bazy danych adaptera, a wskaźnikiem do tych parametrów jest nazwa strumieniowanego pliku.

Bardziej rozbudowany zbiór funkcjonalności realizuje moduł MP z aplikacji Adaptera strony klienta. Moduł ten jest bowiem odpowiedzialny za: 1) – tworzenie wiadomości z żądaniem rezerwacji i zwalniania zasobów, z wartościami parametrów wyznaczonymi w oparciu o dane pozyskane z wymienianych wiadomości RTSP na interfejsie API; 2) – komunikację z serwerem SCF związaną z obsługą procesów rezerwacji i zwalniania zasobów w sieci RI IPv6 QoS po odebraniu odpowiednio wiadomości PLAY oraz wiadomości TEARDOWN; 3) – przetrzymy-

wanie pakietu z wiadomością PLAY do czasu uzyskania odpowiedzi od serwera SCF i przekazywanie tego pakietu na interfejs UNI, w przypadku potwierdzenia przez SCF rezerwacji zasobów; 4) – inicjację procesu żądania rozłączenia sesji RTSP w przypadku odebrania od serwera SCF odpowiedzi negatywnej na żądanie rezerwacji zasobów sieciowych.

Moduł adaptacyjny funkcjonuje na poziomie warstwy przekazu danych, jest przeźroczysty dla wymiany wiadomości między współpracującymi aplikacjami VoD, ma wbudowaną funkcjonalność rozróżniania wiadomości protokołu RTSP i RTCP przekazywanych między aplikacjami oraz może obsługiwać wiele niezależnych sesji. Ponadto moduł ten realizuje operacje znakowania pakietów kierowanych na interfejs UNI, polegające na odpowiednim ustawianiu pól DSCP w tych pakietach. I tak, pola DSCP pakietów przenoszących wiadomości protokołów RTSP i RTCP są cechowane kodem klasy usługi *Signalling*, zaś w pakietach UDP, przenoszących ramki protokołu RTP z zakodowanymi danymi audio-wideo wybranego materiału multimedialnego, pola te są znakowane klasą usługi *MM Streaming*. W odwrotnym kierunku transmisji, tzn. od UNI do API, pola DSCP wszystkich pakietów są zerowane.

W przypadku aplikacji SdK zintegrowanej z modułem QoE wykorzystywanym do bieżącej oceny jakości strumieniowanego materiału multimedialnego (patrz rozdział 4 poniżej), moduł adaptacyjny ma wbudowaną dodatkową funkcjonalność. Polega ona na replikowaniu, w kierunku interfejsu wewnętrznego obsługiwanego przez ten moduł, ramek Ethernet, zawierających jedynie same nagłówki indywidualnych pakietów odbieranych na interfejsie UNI z danymi protokołu RTP. Inaczej mówiąc ładunkiem tych ramek jest ciąg bajtów złożony z nagłówków protokołów: IPv6, UDP i RTP zawartych w poszczególnych pakietach RTP. Informacje zawarte w tych nagłówkach są bowiem wystarczające dla poprawnego oszacowania przez moduł QoE jakości realizowanego przekazu multimedialnego.

Serwer SCF jest odpowiedzialny za sterowanie sygnalizacją specyficzną dla aplikacji oraz za przekazanie żądania od aplikacji do warstwy transportowej za pomocą interfejsu Rs.

Warstwa transportowa RI IPv6 QoS składa się z modułów PD-FE, TRC-FE i PE-FE [9]. Moduł PD-FE bierze udział w obsłudze scenariuszy takich, jak: rezerwacja zasobów, zwalnianie zasobów. Jest głównym modułem warstwy transportowej i jako taki jest odpowiedzialny za przekazanie do modułu SCF odpowiedzi na żądanie.

Moduł TRC-FE realizuje funkcję przyjmowania nowych wywołań do poszczególnych klas usług na podstawie informacji o zasobach dostępnych w węzłach brzegowych sieci. W oparciu o te informacje, podejmuje on decyzję o przyjęciu do realizacji lub odrzuceniu żądania otrzymanego od PD-FE. Moduł TRC-FE utrzymuje bazę dostępnych zasobów sieciowych dedykowanych dla poszczególnych klas usług w ramach sieci wirtualnych. Szczegółowy opis warstwy transportowej można znaleźć w pracy [9].

3.2. Scenariusze sygnalizacji

W opracowanym rozwiązaniu, wymiana wiadomości sygnalizacyjnych koniec-koniec protokołu RTSP pomię-

dzy aplikacjami klienta i serwera VoD (rezydującymi na maszynach wirtualnych VM-1 maszyn fizycznych klienta i serwera), prowadząca do strumieniowania wybranego materiału wideo, jest realizowana w identyczny sposób, jak w przypadku współpracy tych aplikacji ze zwykłą siecią IPv6 (rys. 1). Aplikacje adapterów, funkcjonujące w maszynach wirtualnych VM-2 maszyn fizycznych klienta i serwera, w odniesieniu do tych wiadomości dokonują jedynie: znakowania pakietów wysyłanych do sieci RI IPv6 QoS, przez ustawienie kodu klasy ruchu *Signalling* w polach DSCP tych pakietów oraz – zerowania pól DSCP we wszystkich pakietach odbieranych od sieci RI IPv6 QoS. Aplikacje te realizują także pewien zestaw funkcjonalności, który pozwala na dokonanie rezerwacji i zwolnienia zasobów sieci RI IPv6 QoS według dalej opisanych scenariuszy sygnalizacji. Z uwagi na ograniczoną pojemność referatu, poniżej omawia się jedynie podstawowe scenariusze sygnalizacji, związane z procesem rezerwacji zasobów sieci RI IPv6 QoS zakończonym sukcesem i odrzuceniem wywołania, a także scenariusz prowadzący do zwolnienia zarezerwowanych zasobów sieciowych.

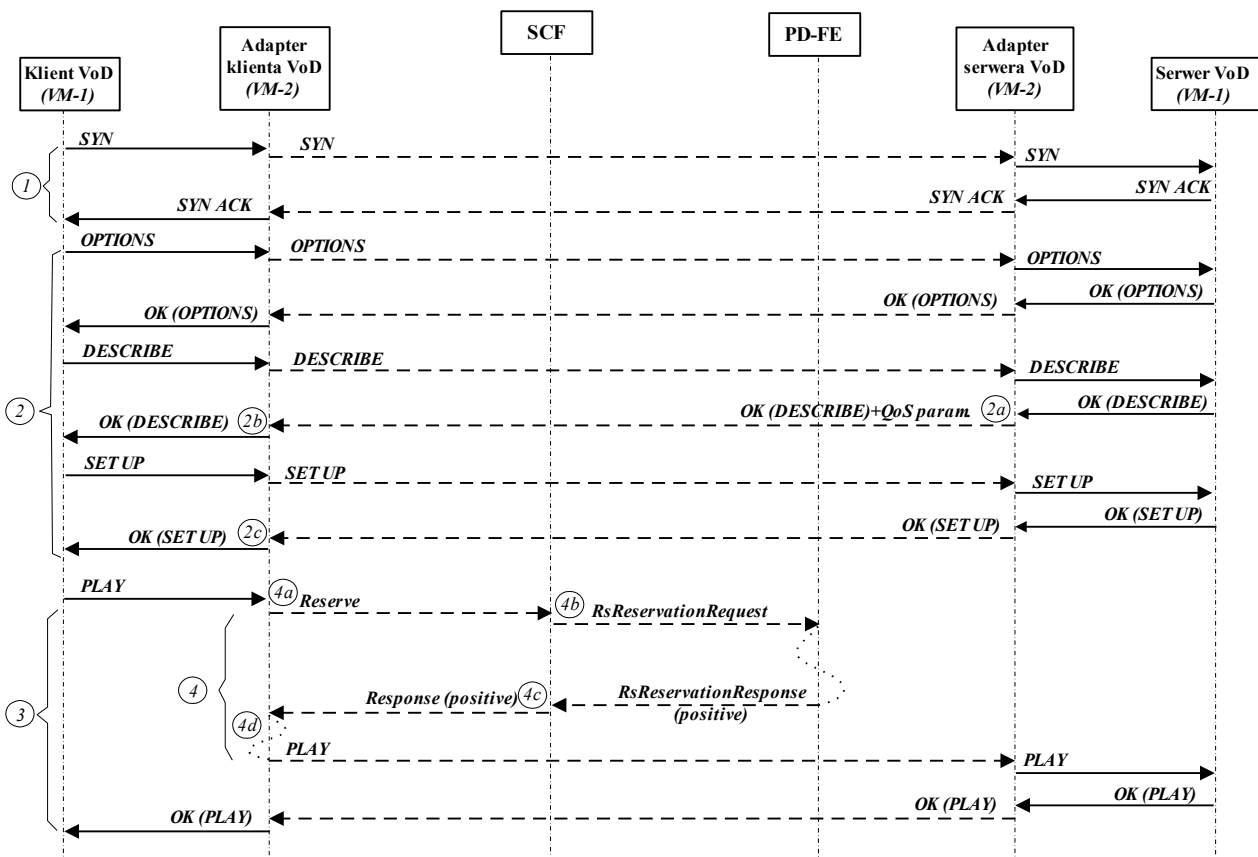
Scenariusz rezerwacji zasobów w sieci RI IPv6 QoS zakończony sukcesem jest zilustrowany na rys. 5. Na rysunku tym, sekwencja „1” odpowiada otwarciu sesji TCP/IPv6 pomiędzy aplikacjami klienta i serwera VoD, zaś w sekwencji „2” ustalane są warunki strumieniowania wybranego materiału wideo. Odebranie wiadomości OK (SET UP) przez aplikację klienta oznacza, że aplikacja serwera VoD jest gotowa do rozpoczęcia strumieniowania wybranego materiału wideo (wybrany plik wideo istnieje w zasobach serwera oraz serwer ma zasoby, aby strumieniować wybrany materiał). W odpowiedzi aplikacja klienta VoD wysyła polecenie PLAY (sekwencja „3” scenariusza), które jest przetrzymywane przez aplikację adaptera strony klienta do czasu zakończenia się sukcesem procesu rezerwacji zasobów w sieci RI IPv6 QoS (sekwencja „4”). Aplikacja adaptera strony klienta dekodując polecenie PLAY zna adresy źródłowy i docelowy dla strumieniowanego materiału, a także wartości parametrów rezerwacji, które adapter strony serwera pobrał ze swojej bazy danych i przekazał adapterowi strony klienta (sekwencja „2a”), jako uzupełnienie wiadomości OK (DESCRIBE). Ten ostatni odebrane parametry dołącza do tworzonego rekordu rezerwacji (sekwencja „2b”), następnie usuwa je z końca odebranej wiadomości OK (DESCRIBE) i tak zregenerowaną wiadomość przesyła na interfejs API do aplikacji klienta VoD. Dodatkowo z odpowiedzi na wiadomość SETUP przez adapter strony klienta pobierane są pozostałe parametry rekordu rezerwacji, takie jak: nazwa pliku, numery portów UDP, numer sesji itd. Na rys. 4 działania te zaznaczono symbolem „2c”. Dysponując tymi danymi, aplikacja adaptera strony klienta, po odebraniu wiadomości PLAY, wysyła do serwera SCF wiadomość *Reserve* (sekwencja „4a”), która przez serwer jest przetwarzana do formatu *żądaniem rezerwacji zasobów RsReservationRequest* i w takiej postaci jest przekazywana dalej do modułu PD-FE za pomocą interfejsu Rs (sekwencja „4b”). Zadaniem warstwy transportowej, do której to dla serwera SCF moduł PD-FE udostępnia interfejs Rs, jest wykonanie mechanizmów przyjmowania nowych wywołań i w przypadku możliwości spełnienia wymagań QoS żądania – zestawienie odpowiednich me-

chanizmów sieciowych na węzle brzegowym sieci [9]. Adapter strony klienta przechodzi do stanu oczekiwania na odpowiedź od serwera SCF. W przypadku odebrania odpowiedzi pozytywnej (sekwencja „4c”), co oznacza możliwość obsługi wywołania przez sieć, przetrzymywany pakiet z wiadomością PLAY jest znakowany klasą *Signalling* i jest wysyłany do węzła brzegowego sieci RI IPv6 QoS. Pakiet ten przechodzi przez sieć RI IPv6 QoS i dociera do aplikacji serwera VoD. Ta ostatnia odpowiada wysłaniem wiadomości OK (PLAY) i rozpoczyna (z niewielkim opóźnieniem) strumieniowanie wybranego materiału wideo. Pakiety IPv6 przenoszące zakodowany materiał wideo i wiadomości protokołu RTP w aplikacji adaptera strony serwera są znakowane kodem klasy usługi *MMStreaming* i są przenoszone przez sieć RI IPv6 QoS w kierunku do aplikacji klienta, z wykorzystaniem zarezerwowanych zasobów sieciowych, gwarantujących wymaganą jakość przekazu dla strumieniowanego materiału multimedialnego.

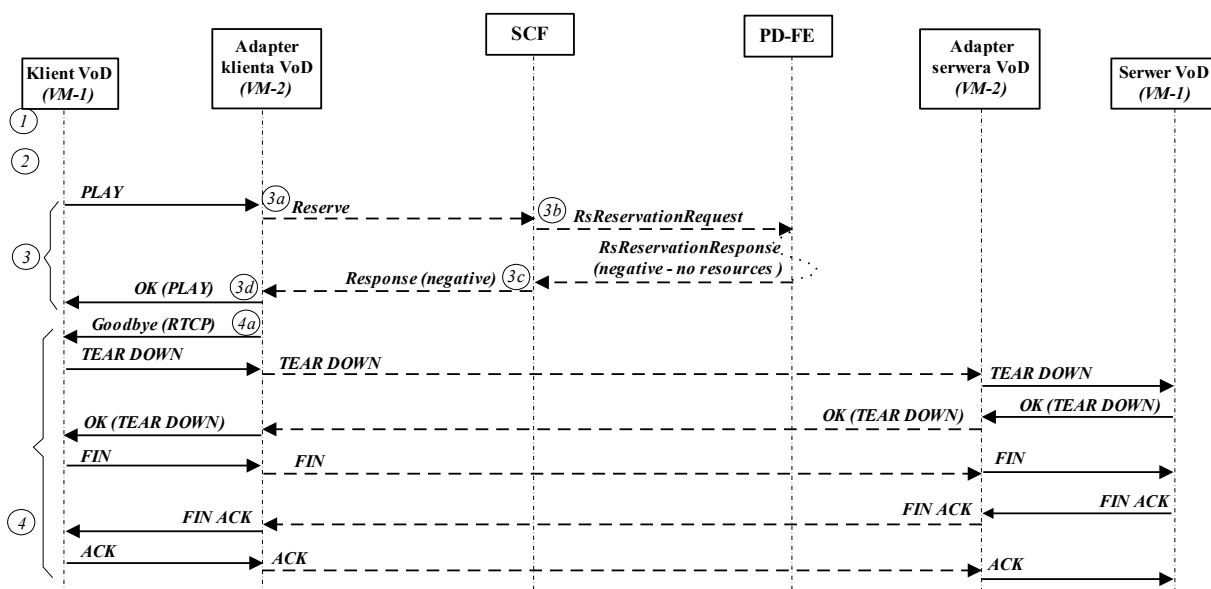
W przypadku braku zasobów sieciowych niezbędnych dla strumieniowania wybranego materiału wideo (rys. 5), serwer SCF na wiadomość *Reserve* żądania rezerwacji (sekwencja „3a”) odpowiada wiadomością *Response (negative)* (sekwencja „3c”). Po odebraniu odpowiedzi negatywnej adapter strony klienta nie wysyła do serwera VoD przetrzymanej wiadomości PLAY, lecz „udając” ten serwer wysyła do aplikacji klienta VoD wiadomość OK (PLAY) (sekwencja „3d”) i zaraz po niej wiadomość „Goodbye” protokołu RTCP (sekwencja

„4a”). Ta ostatnia powoduje aktywację procesu zamknięcia sesji TCP/IPv6 przez aplikacje klienta i serwera VoD (sekwencja „4”) oraz przejście aplikacji adapterów do stanu gotowości do obsługi nowego wywołania.

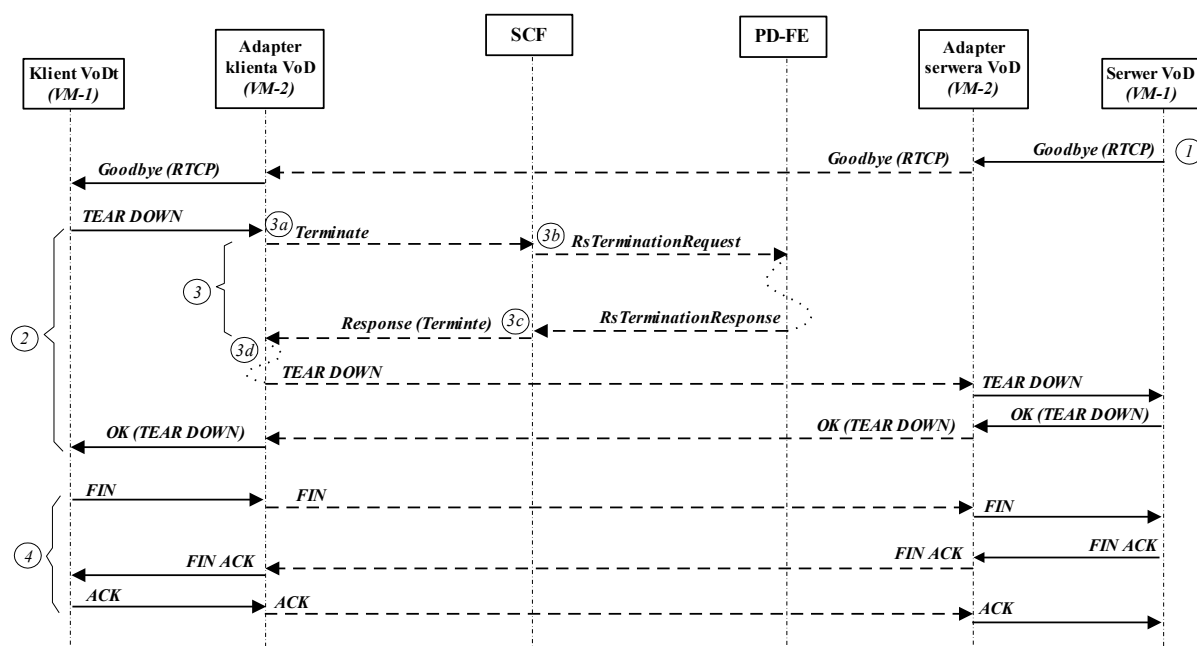
Scenariusz zwalniania zasobów sieciowych na żądanie serwera VoD, np. po zakończeniu się strumieniowania wybranego materiału wideo, jest pokazany na rys. 6. N rysunku tym, serwer VoD wysyła wiadomość BYE (*Goodbye*) protokołu RTCP (sekwencja „1”), która dla aplikacji klienta VoD sygnalizuje fakt zakończenia się procesu strumieniowania przez serwer wybranego materiału wideo. W odpowiedzi klient VoD wysyła wiadomość TEARDOWN (sekwencja „2” scenariusza). Wiadomość ta nie jest natychmiast przekazywana na interfejs UNI, lecz jest przetrzymywana przez adapter strony klienta do czasu odebrania odpowiedzi *Response Terminate* (sekwencja „3c”) od serwera SCF na żądanie *Terminate* (sekwencja „3a”) zwolnienia zarezerwowanych zasobów sieciowych. Kiedy to nastąpi, adapter strony klienta wysyła na interfejs UNI przetrzymaną wiadomość TEARDOWN. Wiadomość jest przenoszona przez sieć RI IPv6 QoS w klasie *Signalling* i dociera do aplikacji serwera VoD. Serwer po odebraniu tej wiadomości zakańcza proces strumieniowania materiału wideo i wysyła do aplikacji klienta pakiet IPv6 z wiadomością OK (TEARDOWN). Aplikacje klienta i serwera VoD zamykają sesję TCP/IPv6 (sekwencja 4), zaś aplikacje adapterów przechodzą do stanu oczekiwania na obsługę nowego wywołania.



Rys.4. Wymiana wiadomości sygnalizacyjnych – proces zestawiania połączenia zakończony sukcesem. Oznaczenia wyjaśniono w tekście artykułu



Rys.5. Wymiana wiadomości sygnalizacyjnych – proces zestawiania połączenia zakończony odrzuceniem wywołania z powodu braku zasobów sieciowych. Oznaczenia wyjaśniono w tekście artykułu



Rys.6. Wymiana wiadomości sygnalizacyjnych – proces rozłączania połączenia wymuszony przez serwer VoD po zakończeniu się procesu strumieniowania (np. koniec filmu). Oznaczenia wyjaśniono w tekście artykułu

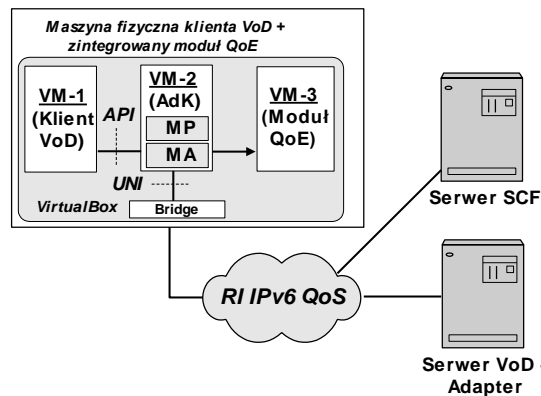
4. INTEGRACJA ADAPTERA STRONY KLIENTA Z MODUŁEM QoE

Zadaniem modułu QoE jest monitoring jakości przekazu materiału multimedialnego postrzeganej przez użytkownika. Zauważmy, że jeżeli dostarczone pakiety idealnie odpowiadają temu co zostało wysłane to nie konieczne, pomimo idealnego działania sieci, użytkownik będzie zadowolony. Wynika to z silnego wpływu samej dostarczanej treści, która już na wyjściu może być słaba jakościowo. Dodatkowo nawet ten sam strumień wideo, posiadający taki sam procent strat pakietów, z punktu widzenia użytkownika może być bardzo różnie postrzegany pod względem jakości. Zależy to nie tylko

od liczby, lecz także od typu utraconych pakietów. Ponieważ użytkownicy są końcowymi odbiorcami usług, więc monitoring jakości postrzeganej przez użytkowników jest istotnym elementem nowoczesnej sieci.

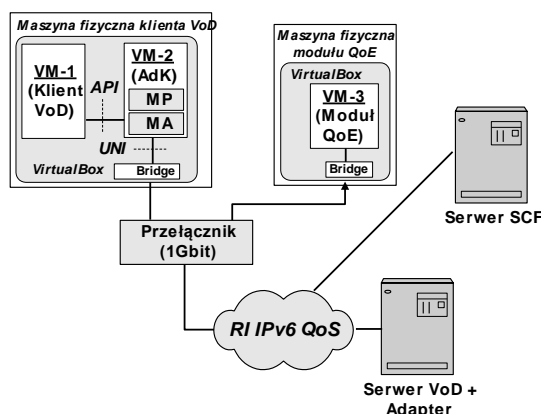
W zależności od mocy obliczeniowej maszyny fizycznej klienta VoD, zaproponowano dwa scenariusze integracji aplikacji podsystemu QoE z siecią RI IPv6 QoS. W przypadku maszyn fizycznych klienta VoD z dostatecznie dużą mocą obliczeniową (np. PC z procesorem 4-rdzeniowym) istnieje możliwość alokacji aplikacji modułu QoE w środowisku maszyny wirtualnej VM-3, w sposób jak pokazano na rys. 7. W rozwiązaniu tym aplikacja adaptera AdK, rezydująca na maszynie wirtualnej VM-2, w stosunku do tejże aplikacji typowej dla

klienta VoD, jest wzbogacona o funkcjonalność zwrotnego przekazywania tylko nagłówków pakietów RTP odebranych z interfejsu UNI (poprzez jednokierunkowe połączenie lokalne) w kierunku do aplikacji QoE.



Rys.7. Integracja modułu QoE w środowisku maszyny fizycznej klienta VoD. Oznaczenia wyjaśniono w tekście artykułu

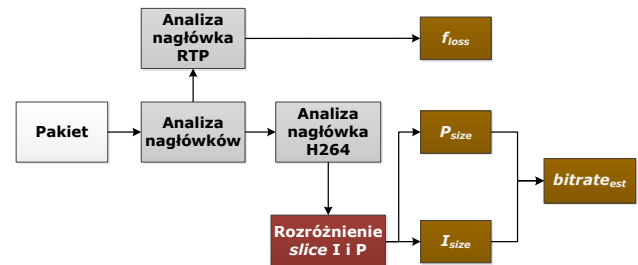
W przypadku maszyn fizycznych o średniej wydajności obliczeniowej (typowe PC z procesorem jedno- lub dwu-rdzeniowym), z uwagi na możliwość zakłócania przez aplikację QoE pracy aplikacji klienta VoD i tym samym wpływania na jakość wyświetlanych treści wideo, zakłada się całkowitą niezależność – autonomiczność tych aplikacji. Według tego scenariusza aplikacje klienta VoD i modułu QoE rezydują na oddzielnych maszynach fizycznych, które są dołączone do sieci RI IPv6 QoS za pośrednictwem przełącznika ethernetowego, z funkcjonalnością tzw. portów lustrzanych (ang. *port mirroring functionality*) w sposób, jak pokazano na rys. 8. Według tego scenariusza aplikacja klienta VoD świadoma sieci RI IPv6 QoS zestawia połączenie w sieci dla strumieniowania wybranego testowego materiału wideo. Dane odbierane z sieci RI IPv6 QoS (wiadomości RTSP i RTP) poprzez przełącznik są kierowane także do maszyny fizycznej z autonomiczną aplikacją podsystemu QoE, gdzie są analizowane i odpowiednio przetwarzane przez tę aplikację.



Rys.8. Integracja modułu QoE z użyciem autonomicznej maszyny fizycznej. Oznaczenia wyjaśniono w tekście artykułu

Moduł QoE służy do estymacji oceny jakości subiektywnej na podstawie obiektywnych parametrów ekstrahowanych ze strumienia danych. Analizowane są

wszystkie pakiety, które otrzymuje klient. Wykrywane i estymowane są straty pakietów, estymowana jest również przepływność i dynamika treści. Ta ostatnia jest dokonywana za pomocą porównania rozmiarów ramek P oraz I, co jest uzasadnione charakterystyką kodeka opartego na predykcji ruchu. Schemat ideowy przedstawiony jest na Rys. 9.



Rys.9. Schemat działania modułu QoE

Estymacja przepływności dokonywana jest na podstawie wyznaczenia rozmiarów ramek I (I_{size}) oraz P (P_{size}). Ich rozróżnienie odbywa się na podstawie analizy nagłówka strumienia H.264. Straty pakietów obliczane są na podstawie analizy nagłówka protokołu RTP (f_{loss}).

Estymacja oceny jakości odbywa się w dwóch trybach: 1) online, gdy analizowany jest transmitowany strumień; 2) offline, gdy analizowany jest zadany plik pcap. Ponadto praca modułu QoE została podzielona na dwa wątki – jeden odpowiadający za analizę wyników funkcji ekstrahujących kolejne parametry ze strumienia oraz drugi odpowiadający za ich prezentację.

Centralnym elementem modułu QoE jest metryka jakości, która została wyznaczona na podstawie przeprowadzonych badań subiektywnych [10]. Ze względu na duży zakres przepływności (1 Mbit/s, 2 Mbit/s, 3 Mbit/s, 4 Mbit/s, 5 Mbit/s oraz 50 Mbit/s), metryka została wyznaczona odrębnie dla dwóch grup: przepływności mniejszych od 4 Mbit/s oraz przepływności większych od 4 Mbit/s.

5. ZAKOŃCZENIE

W artykule daje się wyróżnić dwie główne części. Część pierwsza to krótka charakterystyka nienatywnych aplikacji klienta i serwera VoD 2D/3D, z użyciem których możliwe jest tworzenie usługi VoD w środowisku sieci RI IPv6 QoS, z wykorzystaniem mechanizmów gwarancji jakości przekazu, udostępnianych przez tę sieć. W tej części artykułu omówiono wykorzystywane wiadomości sygnalizacyjne protokołów RSTP i RTCP, scenariusze użycia tych aplikacji w sieci RI IPv6 QoS, funkcje podstawowe tzw. adapterów, wykorzystywanych do podłączania tych aplikacji do tej sieci, a także trzy podstawowe scenariusze powiązania sygnalizacji koniecznie z sygnalizacją rezerwacji i zwalniania zasobów w sieci RI IPv6 QoS.

W części drugiej opisano moduł QoE służący do bieżącej oceny jakości przekazu materiału multimedialnego poprzez sieć RI IPv6 QoS. Zaproponowano dwa sposoby integracji tego modułu z aplikacjami klienta VoD, w zależności od wydajności maszyn fizycznych z zaimplementowanym oprogramowaniem klienta VoD.

Opisane rozwiązania dla aplikacji adapterów AdK i AdS oraz – serwera SCF zostały sprawdzone w środowi-

sku sieci testowej RI IPv6 QoS, utworzonej z wykorzystaniem zasobów sieci PL-LAB [11, 12]. Przeprowadzone badania wykazały, iż aplikacje te dają możliwość prostego przyłączenia do sieci RI IPv6 QoS nienatynnych aplikacji klienta i serwera usługi VoD. Opisany sposób integracji tych aplikacji z siecią RI IPv6 QoS może być zastosowany także w odniesieniu do innych, nienatynnych usług, takich jak np.: wideo-konferencja, telewizja internetowa, itd. W ten sposób sieć RI IPv6 QoS, może być wykorzystywana zarówno przez usługi natynne, jak i nienatynne, co w przyszłości może skutkować znaczącym poszerzeniem obszaru jej zastosowań.

Wiadomości Telekomunikacyjne) SIGMA NOT, 2012, nr 8-9, t. CD-ROM, s. 1409-1417.

SPIS LITERATURY

- [1] W. Burakowski, H. Tarasiuk, A. Bęben, P. Zwierko, *Future Internet architecture based on virtualization and co-existence of different data and control planes*, 5th Workshop on Future Internet Cluster, 15 June, Warszawa 2011.
- [2] W. Burakowski, H. Tarasiuk, A. Bęben, *Architektura systemu IIP*, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 8-9, str. 720-722, 2011.
- [3] H. Tarasiuk, W. Góralski, J. Granat, J. M. Batalla, W. Szymak, P. Świątek, S. Hanczewski, R. Szuman, M. Giertych, K. Gierłowski, M. Natkaniec, J. Gozdecki, *Architektura i mechanizmy równoległego Internetu IPv6 QoS*, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 8-9, str. 944-954, 2011.
- [4] S. Blake i inni. *An Architecture of Differentiated Services*, Internet RFC 2475, 10/1998.
- [5] A. Grzech i inni, *Aplikacje w projekcie Inżynieria Internetu Przyszłości*, Inżynieria Internetu Przyszłości, Część 1, Oficyna wydawnicza PW, ISBN 978-83-7814-042-9, Warszawa 2012, str. 117-126.
- [6] H. Schulzrinne, A. Rao, R. Lanphier, *RFC 2326: Real Time Streaming Protocol (RTSP)*, April 1998.
- [7] N. VanHaute, i inni, *RTP/RTCP protocols*, strona [www: http://en.kioskea.net/contents/internet/rtcp.php3](http://en.kioskea.net/contents/internet/rtcp.php3)
[Ostatni dostęp: 2013-04-06]
- [8] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, *RFC 3550: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, July 2003.
- [9] H. Tarasiuk, J. Rogowski, *On the Signaling System in the IPv6 QoS Parallel Internet*, In Proc. of CSNDSP 2012, Poznan 2012.
- [10] D. Juszka, L. Janowski, Z. Papir, „Ocena jakości wideo 3D-HD zniekształconego przez kompresję i straty pakietów”, Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne, ISSN 1230-3496/2012 R. 85 nr 4 s. 294–297.
- [11] R. Krzywania, Ł. Dolata, P. Krawiec, W. Latoszek, A. Szymański, J. Wszolek, *PL-LAB: Polish Future Internet distributed laboratory* (12th IEEE International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR), Cartagena, Spain, 4 - 6 July 2011) IEEE, 2012, pp. 666-671
- [12] Ł. Dolata, R. Krzywania, M. Dębowiak, D. Czapka, P. Krawiec, *System Zdalnego Dostępu do Sieci Eksperymentalnej PL-LAB* (Przegląd Telekomunikacyjny i