STUDIA INFORMATICA 2015
Volume 36 Number 2 (120)

Sławomir PRZYŁUCKI, Dariusz CZERWIŃSKI
Politechnika Lubelska

MOŻLIWOŚĆ ZAPEWNIENIA SPRAWIEDLIWEJ DYSTRUBUCJI ZASOBÓW SIECIOWYCH W USŁUDZE STRUMIENIOWEJ TRANSMISJI WIDEO REALIZOWANEJ WEDŁUG STANDARDU DASH

Streszczenie. Rosnąca ilość ruchu sieciowego, generowanego przez usługi strumieniowe wideo skłania do coraz powszechniejszego stosowania mechanizmów adaptacji, takich jak standard DASH. Artykuł przedstawia analizę możliwości uzyskania sprawiedliwej dystrybucji dostępnych zasobów klientom usług wykorzystujących DASH przy jednoczesnej maksymalizacji jakości wideo odbieranej przez pojedynczych odbiorców. Wynikiem tej analizy jest propozycja struktury systemu, który pozwoli na realizację tego zadania.

Słowa kluczowe: transmisja strumieniowa wideo, QoE, DASH, kodowanie SVC, sieci SDN, NaaS

THE ABILITY TO ENSURE A FAIR DISTRIBUTION OF NETWORK RESOURCES FOR VIDEO STREAMING SERVICES BASED ON DASH STANDARD

Summary. The increasing amount of the network traffic generated by video streaming services leads to more and more widespread use of adaptation mechanisms, such as the DASH. The article presents the analysis of the possibility of obtaining an fair distribution of available resources for DASH clients while maximizing the quality of video received by individual recipients. The result of this analysis is to propose the structure of the system, which will allow the implementation of this task.

Keywords: video streaming, QoE, DASH, SVC coding, SDN, NaaS

1. Wstęp

Rozwój urządzeń i aplikacji multimedialnych doprowadził do ogromnego zróżnicowania odbiorników pod względem ich parametrów technicznych. Konieczne staje się zatem dostarczanie treści multimedialnej nie tylko zgodnie ze statycznymi regułami zdefiniowanymi dla danej klasy ruchu sieciowego, ale również ze zmiennymi oczekiwaniami indywidualnych odbiorców. Wyjściem naprzeciw tym potrzebom jest standard DASH (ang. *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*) opublikowany przez IETF w roku 2012 [5]. Rozwiązanie to zawiera połączenie dwóch koncepcji: adaptacji przepływności strumienia wideo w celu minimalizowania czasu buforowania pakietów oraz kodowania danych wideo w kilku, predefiniowanych rozdzielczościach i przepływnościach bitowych. W ten sposób każdy klient DASH może „zamówić" najlepszą reprezentację materiału wideo, dostosowaną do wartości parametrów technicznych wykorzystywanego odbiornika i stanu sieci transmitującej dane. Decyzja o wyborze tej reprezentacji może zostać zmieniona w trakcie transmisji wideo [1].

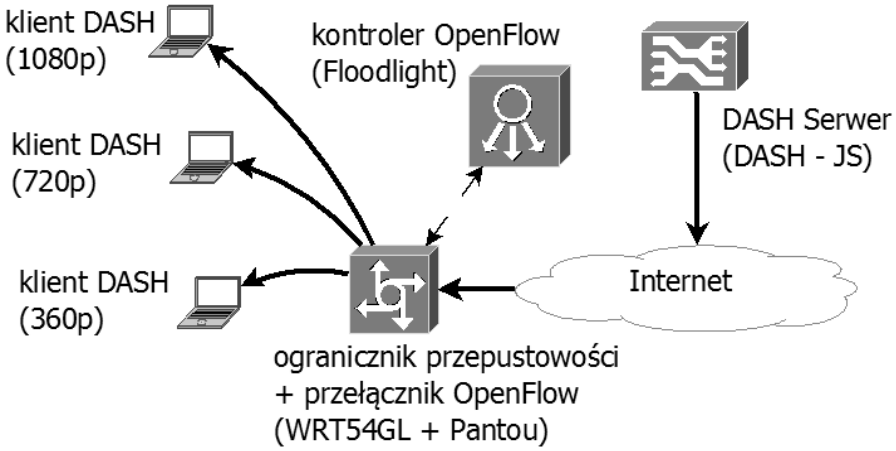
Gwałtowny wzrost popularności standardu DASH doprowadził do dostrzeżenia znaczenia zagadnienia sprawiedliwej dystrybucji dostępnych zasobów sieciowych pomiędzy poszczególne, konkurujące ze sobą, strumienie wideo. W przypadku braku możliwości spełnienia wymagań poszczególnych strumieni, pojęcie sprawiedliwości oznacza taki sposób dystrybucji dostępnej przepustowości, aby uzyskać równomierny stopień degradacji jakości odbieranego wideo dla wszystkich odbiorców. Powstaje zatem pytanie, czy współczesne mechanizmy zarządzania siecią w połączeniu ze standardem DASH mogą pozwolić na realizację systemu sieciowego o takich właśnie własnościach.

Niniejszy artykuł przedstawia mechanizmy i techniki, które pozwalają na pozytywną odpowiedź na tak postawione pytanie. Punktem wyjścia dla proponowanego rozwiązania są sieci SDN (ang. *Software Defined Networks*), których idea funkcjonowania została przedstawiona w rozdziale 2. W rozdziale tym znalazła się również dyskusja i testy laboratoryjne możliwości wykorzystania narzędzi SDN do dynamicznego zarządzania polityką dystrybucji zasobów w usługach, wykorzystujących standard DASH. Rozdział 3 poświęcony został specyfice zapewnienia sprawiedliwego dostępu do zasobów w typowej infrastrukturze teleinformatycznej operatora sieciowego. Rozdział ten zawiera również prezentacje struktury proponowanego systemu, który powstał w wyniku przeprowadzonych analiz. Ostatnią część artykułu stanowi podsumowanie przeprowadzonych dyskusji i testów wraz ze wskazaniem obszarów do dalszych badań.

2. Sieci definiowane programowo

Zapewnienie sprawiedliwej dystrybucji zasobów sieciowych, rozumiane tak jak to zostało zdefiniowane we wstępie, wymaga wiedzy o bieżącej wartości dostępnej przepustowości, jak i indywidualnych wymaganiach klientów DASH. Dynamika zmian warunków transmisji danych wymusza z kolei konieczność dysponowania narzędziami, pozwalającymi na rekonfigurację urządzeń sieciowych uczestniczących w tej transmisji. Umożliwi to adaptacyjne sterowanie dystrybucją zasobów sieciowych przy jednoczesnym wsparciu mechanizmów adaptacji DASH. System posiadający wymienione wyżej cechy powinien również zapewnić poprawne funkcjonowanie wszystkich pozostałych usług.

Wymienione wyżej warunki spełnia nowe podejście do sterowania procesem przekazywania pakietów, które jest określane jako sieci SDN [9]. Główną cechą tych sieci jest rozdzielenie płaszczyzny zarządzania i nadzorowania zasobami sieciowymi od płaszczyzny realizującej zadania przekazywania pakietów. Oznacza to zastąpienie sieci konfigurowanych statycznie rozwiązaniami programowymi, które dynamicznie modyfikują reguły przekazywania pakietów i wykorzystują mechanizmy rekonfiguracji uniwersalnych urządzeń sieciowych w celu wprowadzenia tych reguł w życie. Płaszczyzna zarządzania i nadzoru w sieciach SDN jest implementowana w postaci oprogramowania kontrolera SDN. Algorytm pracy kontrolera ma możliwość komunikacji z aplikacjami zewnętrznymi dzięki tzw. interfejsowi północnemu (ang. *northbound*). Sieci SDN oferują też mechanizmy przekazywania reguł obsługi pakietów z kontrolera do fizycznych urządzeń przełączających poprzez tzw. interfejs południowy (ang. *southbound*). W chwili obecnej największą popularnością wśród nich cieszy się protokół OpenFlow [9], [7].



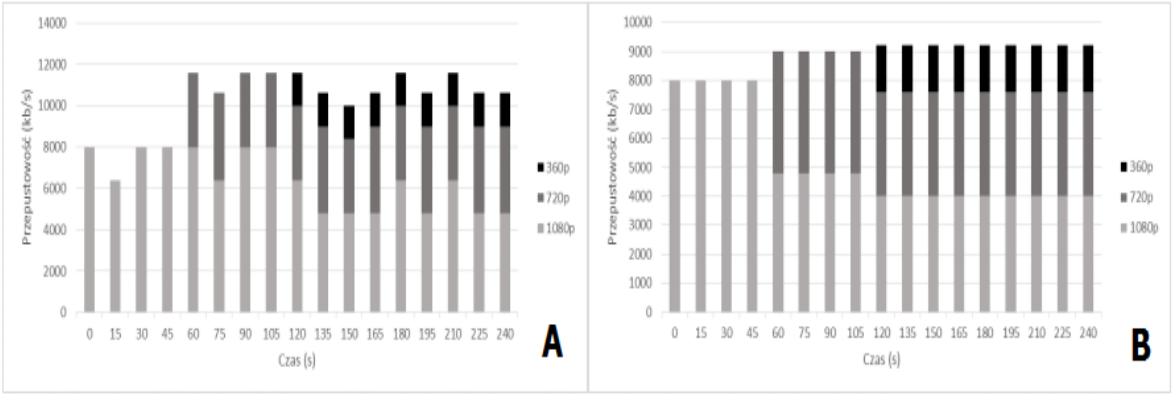
Rys. 1. Struktura sieci testowej do badania specyfiki dystrybucji zasobów w standardzie DASH oraz w sieci SDN

Fig. 1. The structure of the test network to study the features of the resources distribution in the DASH standard and the SDN network

W celu zbadania specyfiki dystrybucji dostępnych zasobów sieciowych w standardzie DASH oraz w sieci SDN przeprowadzone zostały dwie symulacje. Zostały one wykonane w środowisku testowym, którego strukturę przedstawia rysunek 1.

Serwer DASH został zaimplementowany na podstawie biblioteki DASH-JS [6]. Sieć odbiorcza zawierała trzech klientów transmisji strumieniowej wideo o maksymalnej rozdzielczości odbieranego wideo, odpowiednio: 1080p, 720p oraz 360p. Wszyscy klienci wykorzystywali odbiornik DASH w postaci aplikacji VLC z wtyczką DASH [6]. Przepustowość na łączu do sieci odbiorczej została ograniczona do 12Mb/s. Transmitowany strumień wideo stanowił animowany film „Elephants Dreams" [6]. Na serwerze DASH dostępne były wielokrotne reprezentacje tego wideo, odpowiednio dla rozdzielczości 1080p o przepływnościach: 8000 kb/s, 6400 kb/s, 4800 kb/s i 4000 kb/s, dla rozdzielczości 720p o przepływnościach: 4200 kb/s, 3600 kb/s i 2800 kb/s oraz dla najniższej rozdzielczości 360p o przepływnościach 1600 kb/s, 1200 kb/s i 800 kb/s. Test zakładał transmisję strumieni wideo przez 4 minuty. Odbiornik DASH 1080p odbierał dane przez cały czas testu, DASH 720p rozpoczął odbiór w 60 sekundzie testu, a DASH 360p w 120 sekundzie. Na kontrolerze OpenFlow skonfigurowany został algorytm równomiernej dystrybucji pasma. Algorytm ten zakładał, że całkowita dostępna przepustowość łącza będzie równo dzielona pomiędzy wszystkie obecne w danej chwili strumienie wideo.

Pierwszy test polegał na zastosowaniu wyłącznie mechanizmów adaptacji DASH (bez wykorzystania mechanizmów SDN). W drugim teście przyznawanie zasobów realizowane było za pomocą algorytmu równomiernej dystrybucji pasma. Wyniki dla obu testów, ilustrujące zestawienie wartości przepustowości strumieni wideo transmitowanych do poszczególnych odbiorników, przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Przepustowości strumieni wideo transmitowanych do odbiorników podczas testu mechanizmu dystrybucji zasobów:
a) na bazie standardu DASH, b) na bazie SDN

Fig. 2. Bit rates of the video streams transmitted to the receivers during the test of the mechanism of the resources distribution:
a) based on DASH standard, b) based on SDN

W przypadku adaptacji DASH, dystrybucja dostępnego pasma nie zapewniła równomiernego obniżenia wartości parametrów (przepływności bitowej) transmitowanych strumieni wideo. Całkowita przepustowość łącza (12000 kb/s) nie pozwalała na zapewnienie odbioru najlepszej reprezentacji wideo przez wszystkie odbiorniki. Wobec powyższego poszczególne odbiorniki DASH konkurowały pomiędzy sobą. Największa „strata" wystąpiła dla odbiornika DASH 1080p, który odbierał strumień o przepływności 4800 kb/s. Z kolei odbiornik DASH 360p mógł bez przeszkód odbierać strumień o największej oferowanej przepływności.

W drugim teście algorytm równomiernego podziału pasma doprowadził do końcowego rozkładu strumieni, który okazał się dla odbiorników DASH 1080p oraz DASH 720p gorszy niż w przypadku pierwszego testu. Przykładowo, dla pierwszego z nich odbierany strumień wideo na końcu testu posiadał przepływność 4000 kb/s, podczas gdy dla testu z DASH był to strumień o przepływności 4800 kb/s. Należy jednak zauważyć, że w tym teście zredukowana zostało ilość przejść pomiędzy poszczególnymi reprezentacjami wideo. Wstępne wyniki przeprowadzonych testów prowadzą do następujących wniosku:

A. Mechanizmy adaptacji DASH nie zapewniają sprawiedliwej dystrybucji dostępnej przepustowości. Poszczególne strumienie konkurują ze sobą, a rywalizacja ta prowadzi do pogorszenia wartości metryk QoE dla części odbiorców treści wideo.
B. Sieci SDN pozwalają na efektywne zarządzanie transmisjami danych. Niestety, prosty algorytm równomiernej dystrybucji dostępnej przepustowości pomiędzy poszczególne strumienie nie daje zadowalającego wyniku z punktu widzenia sprawiedliwej dystrybucji zasobów sieciowych.

3. Specyfika implementacji standardu DASH w sieciach operatorów sieciowych

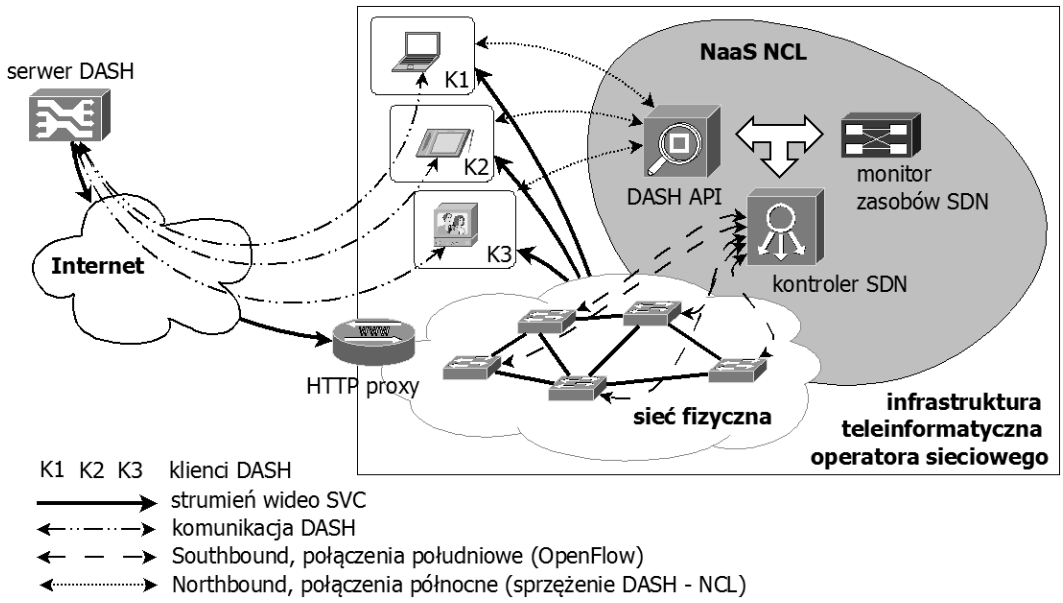
W przypadku implementacji usług bazujących na standardzie DASH w typowej sieci operatorskiej, przytoczone wyżej wnioski należy uzupełnić o dwa poniższe zagadnienia:

I. W ogólnym przypadku sieć łącząca serwer DASH z klientami nie będzie pracowała pod kontrolą pojedynczego kontrolera SDN. Tym samym zachowanie spójnej polityki przekazywania pakietów ograniczy się do urządzeń w sieci danego operatora.

II. Zasady adaptacji DASH bazują na pomiarach wartości parametrów transmisji na ścieżce pomiędzy klientem a serwerem. Z kolei polityka sprawiedliwej dystrybucji zasobów sieciowych dla poszczególnych odbiorców bazuje na wiedzy o aktualnym stanie sieci operatora [3]. W ogólnym przypadku, gdy serwer DASH znajduje się poza siecią operatora,

nie ma sprzężenia pomiędzy działaniem kontrolera SDN a stanem „konwersacji" na łączu serwer-klient DASH. Ten brak był podstawową przyczyną niezadowalających wyników drugiego z przedstawionych wyżej testów.

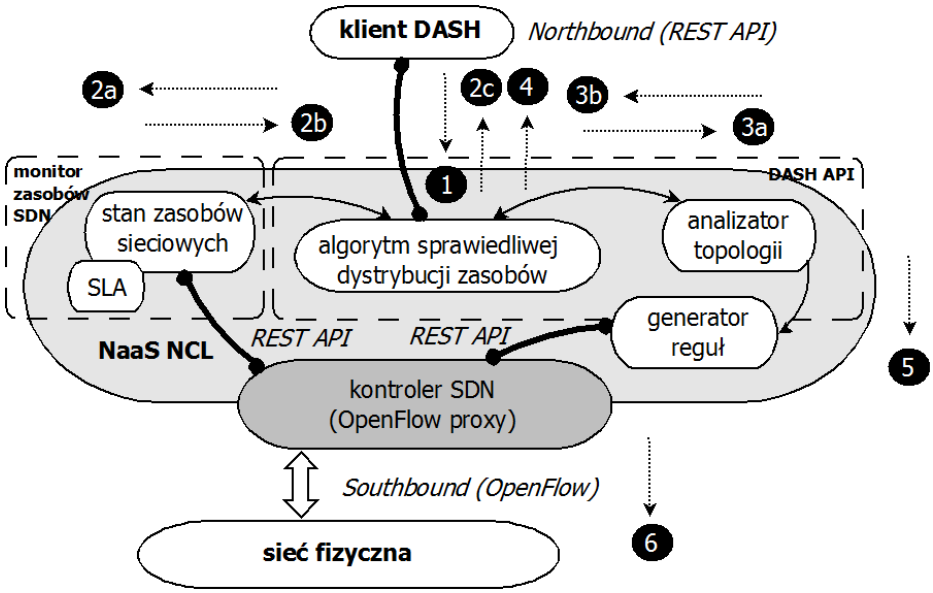
Na rysunku 3 przedstawiona jest propozycja struktury systemu sieciowego, który zapewnia możliwość rozwiązania przedstawionych wyżej problemów. W systemie tym wykorzystywane jest kodowanie SVC (ang. *Scalable Video Coding*). Strumień SVC dzięki swojej hierarchicznej budowie zapewnia skalowalność reprezentacji wideo [10]. Innymi słowy, strumień SVC zawiera w sobie informacje, które pozwalają odbiorcom na dekodowanie wideo z parametrami o wartościach dopasowanych do wartości parametrów technicznych wykorzystywanych odbiorników. Zakres skalowalności oferowany przez SVC (adaptacja rozdzielczości, ilości klatek na sekundę oraz jakości w rozumieniu SNR) jest szerszy niż ten określony przez reprezentacje wideo w ramach standardu DASH. Dzięki jednoczesnej transmisji danych dla wszystkich odbiorców, w jednym strumieniu, zmniejsza się obciążenie serwerów DASH oraz, co szczególnie istotne, zwiększają się wydajności serwerów pośredniczących HTTP. Serwer tego typu może być umieszczony na brzegu sieci operatora i pełnić funkcję repozytorium danych wideo dla sieci SDN. Taka koncepcja rozwiązania problemu z punktu I wymusza jednak konieczność podjęcia badań nad nowym rozwiązaniem pomiarów dostępnej przepustowości przez klientów DASH [8].



Rys. 3. Proponowana struktura systemu strumieniowania video DASH
Fig. 3. The proposed structure of the DASH video streaming system

Rozwiązanie problemu wskazanego w punkcie II polega na eliminacji egoistycznej polityki wykorzystywania dostępnej przepustowości przez poszczególnych klientów DASH [3]. W systemie z rysunku 3, dla każdego z klientów DASH sieć i jej zasoby stanowią

specyficzną usługę. Żądania zmiany odbieranej reprezentacji wideo, przysyłane przez DASH API (łącze northbound), są konfrontowane z danymi zawartymi w monitorze zasobów SDN. W odpowiedzi klienci otrzymują informacje, czy adaptacja jest w danej chwili możliwa czy też nie. Funkcjonalnie takie rozwiązanie jest zgodne z koncepcją NaaS (ang. *Network as a Service*) [4]. NaaS stanowi rozszerzenie koncepcji sieci SDN. Można je traktować jako zestaw narzędzi i metod rozbudowujących obsługę połączeń northbound. Wszystkie one razem tworzą oddzielną warstwę kontroli sieci (ang. *NaaS Network Control Layer*) [2]. Konfiguracja tej warstwy pozwala na realizację sprzężenia zwrotnego pomiędzy klientami DASH a kontrolerem SDN, o którym była mowa w punkcie II tego rozdziału. Strukturę NaaS NCL przystosowaną do potrzeb realizacji sprawiedliwej dystrybucji zasobów w usługach wykorzystujących standard DASH przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Struktura i funkcje warstwy NaaS NCL
Fig. 4. The structure and functions of the NaaS NCL layer

Żądanie zmiany wartości parametrów odbieranego strumienia wideo, generowane przez danego klienta DASH, trafia za pośrednictwem interfejsu REST [11] do warstwy NaaS NCL (1). Treść żądania jest weryfikowana w monitorze zasobów SDN (2a). Sprawdzane jest, czy nie zostały przekroczone wartości graniczne parametrów strumienia, określone w kontrakcie SLA. Jeżeli kontrakt SLA jest spełniony, to następuje potwierdzenie dostępności zasobów sieciowych (za pośrednictwem danych zebranych w monitorze zasobów) w rozumieniu dostępnej przepustowości, jaka jest niezbędna do realizacji żądania. Monitor zasobów posiada bieżące dane o stanie sieci dzięki ciągłej komunikacji z kontrolerem SDN i pobieraniu za jego pośrednictwem statystyk dostępnych za pomocą protokołu OpenFlow. Końcowy wynik weryfikacji jest przesyłany do modułu realizującego algorytm sprawiedliwej

dystrybucji zasobów (2b). Jeżeli jest on negatywny, to informacja o odrzuceniu żądania jest przekazywana do klienta DASH (2c). W przeciwnym wypadku sprawdzane jest, czy żądana zmiana wartości parametrów strumienia wideo nie wpłynie na jakość usług opartych na standardzie DASH, realizowanych przez pozostałych klientów. W razie konieczności, modyfikowane są wartości parametrów żądania, tak by zachowana była sprawiedliwa dystrybucja zasobów. W kolejnym kroku (3a) ostateczna wartość przepustowości jest przekazywana do modułu analizatora topologii. Jest to element opcjonalny, a jego wykorzystanie i sposób działania są zależe od rodzaju wykorzystywanych mechanizmów wyznaczania ścieżek transmisji w sieci danego operatora. Moduł ten może odrzucić żądanie lub je potwierdzić (3b). Jest to ostateczna decyzja NaaS NCL i jest ona przekazywana do klienta DASH (4). Jeśli ustalona została ścieżka transmisji strumienia, generowany jest zestaw reguł dla wykorzystywanych na ścieżce urządzeń przekazujących pakiety (5). Reguły te przekształcane są na komunikaty OpenFlow (6) i te nowe reguły są wprowadzane do konfiguracji urządzeń.

Generacja reguł może być elementem kontrolera SDN lub stanowić oddzielny moduł komunikujący się z zewnętrznym kontrolerem SDN (w takim przypadku pełni on rolę OpenFlow proxy) za pomocą interfejsu REST. To ostatnie rozwiązanie jest przedstawione na rysunku 4 i odpowiada strukturze wewnętrznej pakietu OpenNaaS, który wykorzystany będzie do implementacji całego zaproponowanego systemu.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawione zostało zagadnienie sprawiedliwej dystrybucji zasobów sieciowych, rozumianych jako dostępna przepustowość, w usługach realizowanych na podstawie standardu DASH. Zaproponowane rozwiązanie opiera się na koncepcji sieci SDN i sieci jako usługi NaaS. Umożliwia to izolację mechanizmów obsługi klientów DASH od podstawowej infrastruktury SDN. Dzięki temu warstwa NaaS NCL może zostać wdrożona jako pełny system wraz z kontrolerem SDN lub też może współpracować z istniejącą już infrastrukturą SDN danego operatora sieciowego. Pozwala to na realizację wszystkich pozostałych usług zgodnie z ich wymaganiami, dając jednocześnie możliwość optymalizacji zasad funkcjonowania usług strumieniowych wideo opartych na DASH. Ze względu na wyodrębnienie modułu stanu zasobów sieciowych oraz modułu analizy topologii, operator może dowolnie określić, jak usługi oparte na standardzie DASH będą wykorzystywać dostępną infrastrukturę sieciową i jakie zasoby powinny być im udostępnione.

Pełna implementacja proponowanego systemu wymaga opracowania i weryfikacji algorytmu sprawiedliwej dystrybucji zasobów sieciowych, który uwzględniałby strukturę zaproponowanego systemu, a jednocześnie był zgodny ze specyfiką zasad adaptacji w transmisjach DASH-SVC. Zagadnienie to jest przedmiotem obecnych badań autorów.

BIBLIOGRAFIA

1. Akhshabi S., Begen A., Dovrolis C.: An Experimental Evaluation of Rate-adaptation Algorithms in Adaptive Streaming over HTTP. Proc. 2nd annual ACM Conference on Multimedia Systems, 2011.
2. Bueno I., Aznar J. I., Escalona E., Ferrer J., Antoni Garcia-Espin J.: An OpenNaaS Based SDN Framework for Dynamic QoS Control. IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS), 2013, p. 1-7.
3. Egilmez H.E., Civanlar S., Tekalp A.M.: An optimization framework for qos-enabled adaptive video streaming over openflow networks. Multimedia, IEEE Transactions on, Vol. 15, No. 3, 2013, p. 710-715.
4. Gorlatch S., Humernbrum T., Glinka F.: Improving QoS in real-time internet applications: from best-effort to Software-Defined Networks, International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), 2014, p. 189-193.
5. ISO-IEC 23009-1:2012, Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH), 2012.
6. ITEC – Dynamic Adaptive Streaming over HTTP, http://www-itec.uni-klu.ac.at/dash/
7. McKeown N., Anderson T., Balakrishnan H., Parulkar G., Peterson L., Rexford J., Shenker S., Turner J.: OpenFlow: Enabling innovation in campus networks, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 38, No. 2, 2008, p. 69-74.
8. Müller C., Lederer S., Timmerer C.: A proxy effect analysis and fair adaptation algorithm for multiple competing dynamic adaptive streaming over HTTP clients. Proc. Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2012.
9. ONF: Open Networking Foundation Software-Defined Networking (SDN) Definition. https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-definition
10. Reichel J., Schwarz H., Wien M., Vieron J.: Joint Scalable Video Model 9 of ISO/IEC 14496-10:2005/AMD3 Scalable Video Coding. JVT, Docs. JVT-X202, 2007.
11. Zhou W., Li L., Luo M., Chou W.: REST API Design Patterns for SDN Northbound API, 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2014, p. 358-365.

Abstract

The increasing amount of the network traffic generated by video streaming services leads to more and more widespread use of video adaptation mechanisms, such as the DASH. Adaptive streaming is a way to increase decoded video quality (QoE) and maximize connection utilization for each individual DASH recipient. This leads to a situation in which multiple clients (multiple video streams) compete with each other for access to resources (mostly bandwidth). This behavior obviously leads to unfairness and in most cases results in the lower QoE for all recipients. The article presents the alternative approach which aims to provide a user-centric fair-share of network resources while the user QoE is maximized for all DASH clients in a network. The analysis of the adaptation mechanisms inside DASH along with a discussion of possible extensions of this standard were the basis for defining the structure of the system which can allow the implementation of the aforementioned approach. The system consists of the standard DASH elements (server and clients) and the new components, whose roles are discussed in separate chapters of the article. Among them the most important are Scalable Video Coding (SVC), Software Defined Networks (SDN) and Network as a Service (NaaS), respectively. The use of the SVC coding offers all video representations embedded in one stream which, combined with the use of proxy servers can significantly reduce the network load. In turn, the use of the SDN allows for decoupling control layer and data forwarding. This makes it possible to define rules of the fair resources distribution on the SDN software controller and transfer these rules to data forwarding layer (physical network) using the OpenFlow protocol. Finally, using the ideas of NaaS, the proposed system performs feedback between DASH clients and the SDN mechanisms responsible for the supervision of the use of network resources.

Adresy

Sławomir PRZYŁUCKI: Politechnika Lubelska, Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, Polska, s.przylucki@pollub.pl
Dariusz CZERWIŃSKI: Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, Polska, d.czerwinski@pollub.pl