

Analiza usługi telewizji internetowej w Polsce

Agata Krempa (e-mail: akrempa@gmail.com)

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Telekomunikacji

STRESZCZENIE

W artykule przeanalizowano metody strumieniowania programów polskich telewizji internetowych. Ruch czasu rzeczywistego powinien być przesyłany z wykorzystaniem protokołów RTP/UDP i protokołu kontrolnego RTCP [10]. Przeprowadzona analiza pokazała, że jest to bardzo rzadki przypadek. Najczęściej spotykaną metodą transmisji jest wykorzystanie opcji RSTP Interleaved, która została zaproponowana na wypadek obecności zapór sieciowych blokujących ruch UDP i zakłada wykorzystanie protokołów RTP/RTSP/TCP [12]. Głównym zadaniem protokołu kontrolnego RTCP jest przesyłanie okresowych raportów na temat dostarczonych danych. W nielicznych przypadkach, w jakich zaobserwowano przesyłanie komunikatów RTCP, nie były to jednak okresowe komunikaty z raportami, a prośba o retransmisję zgubionych komunikatów RTP [5].

Słowa kluczowe: Telewizja Internetowa, IPTV, transmisja strumieniowa, RTP, RTCP, RTSP, RTSP Interleaved, retransmisje RTP

ABSTRACT

Analysis of the Polish Internet Television Services

Article shows different streaming methods used by Polish Internet Televisions. Real-time data should be sent with use of RTP/UDP protocol suite with RTCP control protocol [10]. Research on Polish Internet Televisions shows that use of those protocols is very rare. Streaming method that was seen the most often is the use of RSTP Interleaved option that uses RTP/RTSP/TCP protocol suite to send real-time data. It was proposed as a solution to firewalls filtering UDP traffic [12]. The main purpose of RTCP protocol is to send periodic reports on received data. In rare cases that RTCP datagrams were seen they were not periodic reports on received data but messages that triggered RTP retransmissions [5].

Key words: Internet television, IPTV, streaming media, RTP, RTCP, RTSP, RTSP Interleaved, RTP retransmission

Wstęp

Telewizja internetowa (IPTV) to usługa dostarczania sygnału telewizji cyfrowej poprzez sieć Internet. Wśród telewizji internetowych możemy wyróżnić takie, które rozpowszechniają swoje programy w tradycyjny sposób i oprócz tego również w sieci Internet oraz takie, które działają tylko w sieci Internet. Tradycyjne stacje często też przygotowują specjalny materiał dostępny odpłatnie tylko w sieci Internet lub odpłatny dostęp na żądanie do różnych programów. Gwałtownie rozwijają się szczególnie telewizje nadające w sieci Internet, gdyż na ich działalność nie jest wymagana żadna koncesja.

W pracy przedstawiono przykłady różnych metod strumieniowania programów telewizji internetowych na podstawie polskich portali internetowych realizujących usługę strumieniowania programów „na żywo”. W rozdziale 1 przedstawiono wymagania dla transmisji danych czasu rzeczywistego. Rozdział 2 to krótki opis najistotniejszych protokołów wykorzystywanych do strumieniowania danych. W rozdziale 3 przedstawiono opis wybranych telewizji internetowych i analizę sposobu, w jaki transmitują one swoje programy. Rozdział 4 podsumowuje przeprowadzone badania.

1. Transmisja danych czasu rzeczywistego

Sieci pakietowe, takie jak sieć Internet, zostały stworzone do transmisji danych, ale obecnie wykorzystywane są też do przesyłania głosu i wideo. Przesłanie w sieci Internet pliku danych wymaga bezbłędnej transmisji. Opóźnienia przesyłania i fluktuacje opóźnień nie są istotne z punktu widzenia użyteczności odbieranych danych. Inaczej jest w przypadku przesyłania głosu i wideo, czyli danych czasu rzeczywistego. Aby transmisja taka była zrozumiała dla użytkownika, wymagane są małe opóźnienia i małe fluktuacje opóźnień. Można natomiast zaakceptować pewien poziom strat (do 5%), który przy niewielkiej ilości zgubionych pakietów może być nawet niezauważalny dla użytkownika.

Do transmisji danych wykorzystywany jest protokół TCP (*Transmission Control Protocol*) [6], który zapewnia bezbłędność transmisji i uszeregowanie danych w odpowiedniej kolejności przed przekazaniem ich do warstwy aplikacji. Zapewnienie niezawodności okupione jest większymi opóźnieniami. TCP odbiorcy musi mieć poprawnie odebrane wszystkie segmenty, zanim może je uszeregować i przekazać warstwie

aplikacji. Jeżeli jeden z segmentów został zgubiony podczas transmisji bądź dotarł do odbiorcy z błędem, musi być retransmitowany, a to bardzo wydłuża czas dostarczenia danych do aplikacji. W transmisji danych czasu rzeczywistego bardziej preferowany jest protokół UDP (*User Datagram Protocol*) [7], który nie zapewnia niezawodności, ale za to szybciej przekazuje dane do warstwy aplikacji, przez co opóźnienia są mniejsze.

2. Transmisja strumieniowa

Telewizje Internetowe transmitują swoje programy poprzez sieć Internet. Artykuł [4] szczegółowo opisuje działanie usługi IPTV. Przedstawia ewolucję telewizji, opisuje sposób dystrybucji programów w sieci i protokoły preferowane w transmisji strumieniowej, a także przewidywane kierunki rozwoju usługi dystrybucji programu telewizji w sieci Internet.

W typowej transmisji stosuje się protokoły RTSP (*Real-Time Streaming Protocol*) [12] i RTP (*Real-time Transport Protocol*) [10]. Wybrany ze strony www program przeważnie jest strumieniowany do odbiorcy z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP. Protokół UDP zapewnia małe opóźnienia, a protokół RTP umożliwia wykrycie złej kolejności dostarczanych danych i kompensuje zmienność opóźnień. Protokół RTSP typowo nie jest wykorzystywany do aktualnego przesyłania danych, a do ustanawiania sesji, uzgadniania parametrów transmisji i sterowania strumieniem danych. Transmisja realizowana z wykorzystaniem protokołu RTP jest kontrolowana przez protokół RTCP (*Real-Time Control Protocol*). Głównym zadaniem tego protokołu jest monitorowanie jakości transmisji. W komunikatach RTCP przesyłane są statystyki nadawania i odbioru strumienia danych. Informacje te mogą posłużyć do zmiany transmitowanego strumienia na strumień o mniejszej przepływności. Każda transmisja RTP ma skojarzoną z nią transmisję RTCP. Transmisja RTP odbywa się na parzystym porcie UDP, a następny port jest zarezerwowany na skojarzoną z nią transmisję RTCP. Jeżeli transmitowany jest więcej niż jeden strumień (np. audio i wideo), to każdy strumień transmitowany jest w osobnym strumieniu RTP.

Przesyłanie informacji zwrotnej wiąże się z zajęciem określonego pasma. Przesyłanie zbyt dużej liczby komunikatów RTCP może spowodować, że pewna liczba pakietów RTP będzie miała większe opóźnienia lub zostanie zgubiona. Dlatego stosuje się mechanizmy ograniczające częstotliwość wysyłania komunikatów RTCP. W artykule [3] zaproponowano protokół do

agregacji informacji zwrotnych, co pozwala oszczędniej wykorzystywać pasmo.

Pole PT (*Payload Type*) w nagłówku pakietu RTP definiuje zawartość datagramu RTP pod względem metody kodowania i kompresji. Danej wartości w polu PT przypisana jest określona metoda kodowania i częstotliwość próbkowania. Wartościom pola PT od 96 do 127 metoda kompresji i kodowania przypisywana jest w sposób dynamiczny. Polega to na przesłaniu od nadajnika do odbiornika dodatkowej informacji mówiącej, jaka metoda kompresji i kodowania ma być powiązana z wykorzystywaną wartością pola PT.

Protokół RTSP służy do ustanawiania sesji i sterowania strumieniem danych, ale może być też wykorzystywany do przesyłania danych (opcja RTSP Interleaved). Informacje protokołu RTSP mogą być przesyłane z użyciem protokołu TCP bądź UDP. Typowo jednak stosowany jest protokół TCP. W przypadku gdy zadaniem protokołu RTSP jest tylko sterowanie strumieniem danych, nie narzuca on metody transportu danych strumieniowych. Inaczej jest, gdy protokół RTSP jest też wykorzystywany do przenoszenia danych strumieniowych (opcja RTSP Interleaved) – wtedy protokołem transportowym musi być protokół TCP. Opcja ta została wprowadzona, gdyż niektóre zapory sieciowe blokują datagramy UDP, przez co uniemożliwiają przesłanie danych strumieniowych przy pomocy zestawu protokołów RTP/UDP. Wykorzystanie tej opcji powoduje, że do transportu danych wykorzystywany jest zestaw protokołów RTP/RTSP/TCP. Datagram RTP przeważnie jest składany z zawartości kilku segmentów TCP, a w nagłówku RTP ustawiona jest flaga Marker, oznaczająca granicę ramki wideo. Stosowanie tej opcji nie jest zalecane, jeśli nie jest to absolutnie konieczne, gdyż wprowadza dużą nadmiarowość i komplikuje zadania nadajnika i odbiornika.

Do najważniejszych komend protokołu RTSP należą:

- **DESCRIBE** – wysyłane przez klienta żądanie przesłania informacji opisujących sesję. Zawiera sposób lub sposoby opisu sesji rozumiane przez klienta. Bardzo często jest to format SDP (*Session Description Protocol*) [2]. W odpowiedzi znajduje się opis wszystkich dostępnych strumieni z takimi informacjami jak nazwa, typ i przepływność strumienia.
- **SETUP** – określa sposób przesyłania danych strumieniowych m.in. to, czy do transportu wykorzystywany jest protokół TCP czy UDP, czy dane strumieniowane są w trybie unicastowym czy multikastowym i numery portów, które będą wykorzystywane do przesyłania danych. Typowo

komunikat SETUP Request wysyłany przez klienta określa wszystkie te parametry, a odpowiedź od serwera jedynie je potwierdza, ewentualnie uzupełnia. Jeżeli przesyłanych jest kilka strumieni, np. audio i wideo, dla każdego z nich parametry uzgadniane są w osobnych komunikatach SETUP. Komenda PLAY może pojawić się dopiero po uzgodnieniu wszystkich parametrów w fazie SETUP. Jest też możliwe ponowne pojawienie się komendy SETUP już podczas strumieniowania danych, aby zmienić metodę ich transmisji. Niekoniecznie jednak zmiana ta musi być zaakceptowana przez serwer.

- **PLAY** – powoduje, że strumień bądź strumienie zaczynają być odtwarzane.
- **TEARDOWN** – kończy sesję strumieniowania danych.

Przebieg sesji strumieniowania danych jest następujący:

Klient -> Serwer DESCRIBE
Serwer -> Klient Reply
Klient -> Serwer SETUP (jeden bądź więcej)
Serwer -> Klient Reply (na każdy SETUP)
Klient -> Serwer PLAY
Serwer -> Klient przesyłanie danych strumieniowych z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP bądź opcji RTSP Interleaved
Klient -> Serwer TEARDOWN

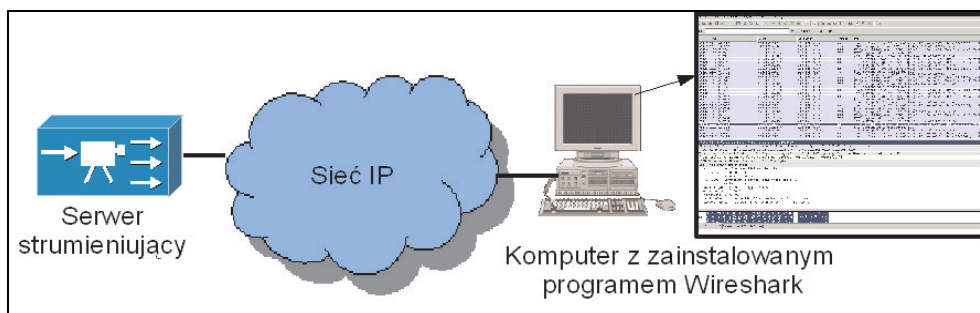
Korzystanie z protokołu UDP oznacza, że zgubione w sieci pakiety nie będą retransmitowane, ale dokument [5] przewiduje możliwość retransmisji straconych datagramów RTP. Wymaga to, by nadawca miał informację zwrotną od odbiorcy, jakie pakiety mają być retransmitowane. Informacja taka jest przesyłana w pakietach RTCP, a ewentualna retransmisja odbywa

się w osobnym strumieniu RTP. Korzystanie z mechanizmu retransmisji podczas strumieniowania danych wymaga zadeklarowania w fazie SETUP profilu AVPF (extended Audio Video Profile for rtcp Feedback) i uzgodnienia metody przesyłania informacji zwrotnej – przez pozytywne potwierdzenia ACK lub negatywne potwierdzenia NACK. W artykule [8] pokazano wpływ retransmisji na jakość odbieranej transmisji strumieniowej i na inne strumienie w przeciążonej sieci.

3. Analiza metod transmisji telewizji internetowych w Polsce

Celem pracy była analiza sposobu strumieniowania programów telewizji internetowych działających w Polsce. Do badań wykorzystano komputer z zainstalowaną wtyczką Windows Media i programem Wireshark. Wireshark to analizator sieciowy, którym przechwytywano pakiety należące do transmisji strumieniowej, a następnie analizowano ich zawartość oraz na ich podstawie wyznaczano statystyki transmisji. Miejsce podłączenia komputera do sieci Internet było zmieniane, ponieważ obecność w sieci zapór ogniowych może wpływać na wybór metody strumieniowania programu do użytkownika. Schemat sieci, w jakiej były wykonywane testy, przedstawiono na rysunku 1. Analiza była przeprowadzana od połowy 2008 roku do końca pierwszego kwartału 2010 roku.

Wśród telewizji internetowych w Polsce można wyróżnić takie, które nadają swoje programy w sposób tradycyjny i dodatkowo w sieci Internet (np. ITV) oraz takie, które dostępne są jedynie w sieci Internet. Do analizy wybrano telewizje: iTVP, InteriaTV, ITV, TV Mango, TVN Gra, Wapster TV, TV Trwam i Onet TV. Analizowano metody transmisji tylko programów nadawanych „na żywo”.



Rys. 1. Schemat sieci w jakiej wykonywano testy

iTVP

Telewizja iTVP (www.tvp.pl/www.itvp.pl) nadaje programy z różnych stacji TVP (TVP1, TVP2, TVP Info, TVP Sport). Są wśród nich programy informacyjne i publicystyczne, relacje sportowe, programy rozrywkowe, przyrodnicze i edukacyjne. Transmisja programu z iTVP odbywała się w trybie unicast. Do ustanowienia sesji i rozpoczęcia strumieniowania danych wykorzystywany był protokół RTSP. W odpowiedzi na żądanie klienta RTSP DESCRIBE, serwer przesyłał opis strumieni w formacie SDP. W obserwacjach prowadzonych w 2008 roku pojawiał się opis aż dziewięciu strumieni – czterech strumieni audio (o przepływnościach 135, 103, 71 i 23 kb/s), czterech strumieni wideo (o przepływnościach 538, 376, 174 i 104 kb/s) i jednego strumienia aplikacji (który jest wykorzystywany do przesyłania dodatkowych informacji). W ostatnim kwartale 2009 roku opis strumieni zawierał już tylko trzy strumienie – jeden audio, jeden wideo i jeden aplikacji. Podczas strumieniowania programów z iTVP udało się zaobserwować dwie metody transmisji. W pierwszej stosowana była opcja RTSP Interleaved i protokół TCP. W drugiej wykorzystywany był zestaw protokołów RTP/UDP, ale nie było informacji kontrolnych protokołu RTCP.

W przypadku transmisji z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP w fazie SETUP pojawiały się trzy komunikaty SETUP (po jednym dla strumieni audio, wideo i aplikacji), ale dane były przesyłane tylko w jednym strumieniu RTP.

Poniżej przedstawiono przykładowy opis strumieni, które zostały wybrane do strumieniowania:

Strumień audio:

Media Description, name and address (m): audio 0 RTP/AVP 96
Bandwidth Information (b): AS:135
Media Attribute (a): rtpmap:96 x-asf-pf/1000
Media Attribute (a): control:stream=1

Strumień aplikacji:

Media Description, name and address (m): application 0 RTP/AVP 96
Bandwidth Information (b): RS:0
Media Attribute (a): rtpmap:96 x-wms-rtx/1000
Media Attribute (a): control:rxt

Strumień wideo:

Media Description, name and address (m): video 0 RTP/AVP 96
Bandwidth Information (b): AS:538
Media Attribute (a): rtpmap:96 x-asf-pf/1000
Media Attribute (a): control:stream=5

Strumieniom audio i wideo dynamicznie została przypisana metoda kompresji i kodowania o nazwie x-asf-pf i częstotliwości próbkowania 1000. Strumie-

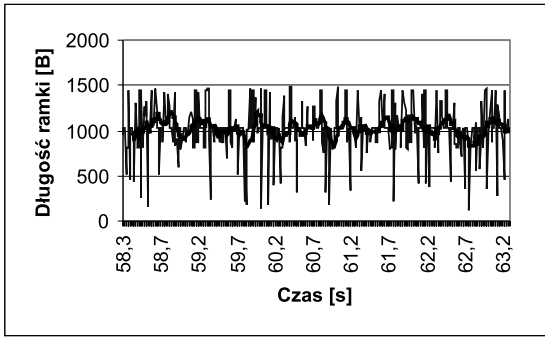
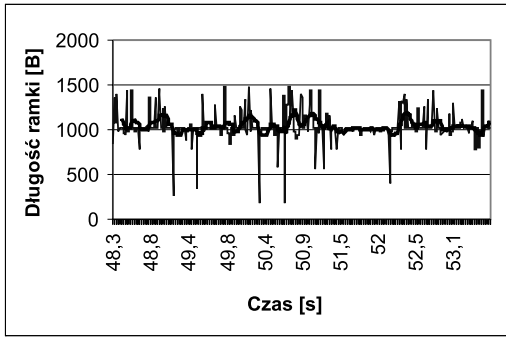
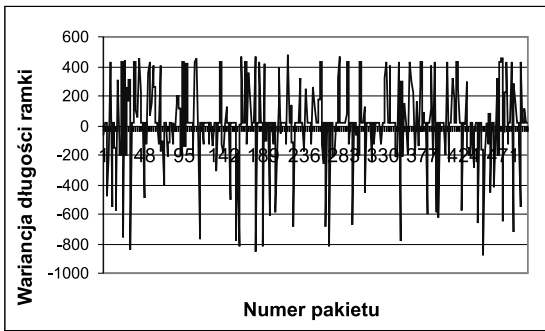
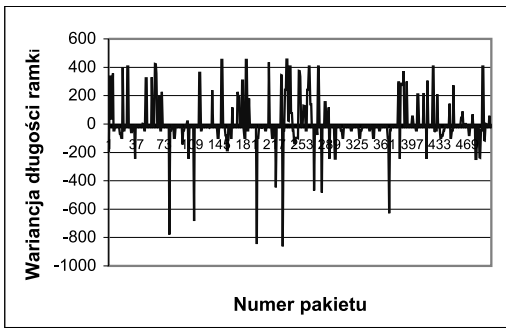
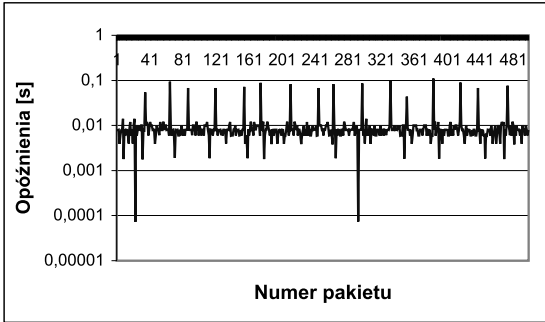
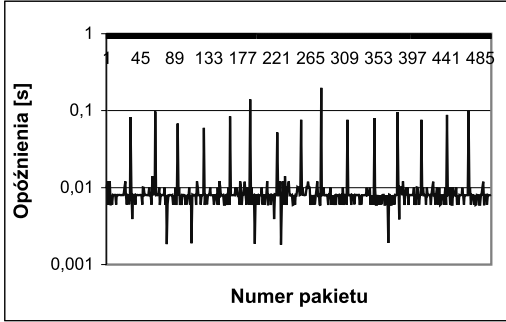
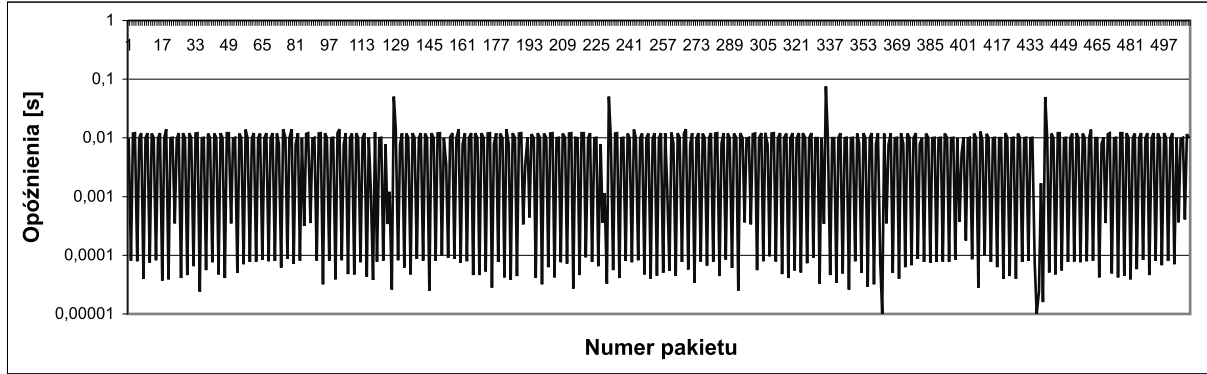
niowi aplikacji został przypisany typ o nazwie x-wms-rtx. Oba te typy nie są zarejestrowane jako standardy, ale nazwa typu x-wms-rtx wskazuje, że może być on związany z typem rtx, który opisuje format danych, dla retransmisji RTP. W takim przypadku strumień aplikacji byłby przeznaczony do retransmitowania zgubionych pakietów. Brak jednak komunikatów RTCP, które wywołują retransmisję i deklarowany profil to AVP (Audio/Video Profile), a nie AVPF (wykorzystywany, gdy mamy do czynienia z retransmisjami), więc opcja retransmisji najprawdopodobniej nie była wykorzystywana.

W przypadku gdy wykorzystywana była opcja RTSP Interleaved w fazie SETUP przesyłane były dwa komunikaty SETUP (audio i wideo) i dla każdego z nich rezerwowane były po dwa kanały (strumień RTP i informacje kontrolne protokołu RTCP). Dane były jednak przesyłane w jednym strumieniu RTP, a każdy pakiet RTP był składany z kilku segmentów TCP.

Do analizy wybrano trzy transmisje – mecz piłki nożnej (transmisja z wykorzystaniem protokołów RTP/UDP), relację ze studia Wielkiej Orkiestry Świątecznej Pomocy (transmisja z wykorzystaniem protokołów RTP/UDP) i koncert (transmisja z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved). Na wykresach (rys. 2–5) przedstawiono wielkość odbieranych pakietów (linią pogrubioną zaznaczono wartość średnią), wariację wielkości pakietów i opóźnienia dla transmisji, w których wykorzystywany był zestaw protokołów RTP/UDP. Na wykresach (rys. 2–5) można zauważyć, że wielkość pakietów znacznie się zmieniała, odzwierciedlając dynamikę zmian strumieniowanego programu. Większe zmiany wielkości pakietów można zauważyć podczas transmisji meczu piłki nożnej niż podczas bardziej statycznej relacji ze studia. Również średnie wartości wielkości pakietów zmieniały się w zależności od rodzaju strumieniowanego programu. Większe wartości średnie i większe zmiany wartości średniej można zauważyć w bardziej dynamicznej transmisji meczu piłki nożnej. W transmisjach z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved wielkość pakietu była stała (nie zamieszczono wykresu).

Analiza przechwyconych w programie Wireshark pakietów pokazała, że podczas transmisji z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP ramki wideo o zmiennej długości były enkapsulowane w datagramy UDP o zmiennej długości. Większa ramka wideo była składana z kilku datagramów UDP. Gdy wykorzystywana była opcja RTSP Interleaved, ramki wideo również były zmiennej długości, ale umieszczane były w segmentach TCP o stałej wielkości (1452[B]), więc w jednym segmencie TCP mogły znajdować się dane więcej niż jednej ramki wideo.

Na wykresach (rys. 6–8) przedstawiono opóźnienia pomiędzy kolejnymi pakietami. Dla transmisji z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved opóźnienia są wyraźnie mniejsze niż w przypadku transmisji, w której wykorzystywany był zestaw protokołów RTP/UDP.

<p style="text-align: center;">Mecz piłki nożnej (RTP/UDP)</p> 	<p style="text-align: center;">Relacja ze studia WOŚP (RTP/UDP)</p> 
<p>Rys. 2. Długość odbieranych ramek w funkcji czasu</p>	<p>Rys. 3. Długość odbieranych ramek</p>
	
<p>Rys. 4. Wariancja długości ramki</p>	<p>Rys. 5. Wariancja długości ramki</p>
	
<p>Rys. 6. Opóźnienia pomiędzy kolejnymi pakietami</p>	<p>Rys. 7. Opóźnienia pomiędzy kolejnymi pakietami</p>
<p>Koncert (RTSP Interleaved)</p>	
	
<p>Rys. 8. Opóźnienia pomiędzy kolejnymi pakietami</p>	

Interia TV

Telewizja Interia TV (www.interia.tv) nadaje bez przerw jeden program na żywo. Wśród nadawanych audycji dominują programy rozrywkowe (głównie klipy muzyczne), ale w Interia TV można również zobaczyć wywiady, rozmowy w studio i programy informacyjne. W przypadku tej telewizji w większości zaobserwowanych przypadków strumień danych był przesyłany z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved. W fazie SETUP przesłane były trzy komunikaty SETUP (dla strumieni audio, wideo i aplikacji), a dla każdego ze strumieni rezerwowane były po dwa kanały. Transmisja danych odbywała się w trybie unicast w jednym strumieniu RTP.

W kilku przypadkach zaobserwowano, że program był strumieniowany z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP. W komunikacie DESCRIBE protokołu RTSP prezentowane były cztery strumienie – jeden audio, jeden wideo i dwa strumienie aplikacji. W fazie SETUP przesyłane były trzy komunikaty SETUP (dla strumieni audio, wideo i jednego strumienia aplikacji). Opis tych strumieni jest podobny do opisu strumieni w telewizji iTVP. Wykorzystywane są takie same dynamicznie przypisane metody kompresji i kodowania. Również pojawia się strumień, którego nazwa sugeruje, że może być to strumień przeznaczony na retransmisję RTP, ale podobnie jak w iTVP nie zostało zadeklarowane korzystanie z profilu AVPF. W odróżnieniu od iTVP pojawiały się przypadki kiedy były przesyłane informacje kontrolne protokołu RTCP, ale nie było to regułą. Poniżej przedstawiono przykładowy opis strumieni, które zostały wybrane do strumieniowania:

Strumień audio:

Media Description, name and address (m): audio 0 RTP/AVP 96

Bandwidth Information (b): AS:50

Media Attribute (a): rtpmap:96 x-asf-pf/1000

Media Attribute (a): control:audio

Strumień aplikacji:

Media Description, name and address (m): application 0 RTP/AVP 96

Bandwidth Information (b): RS:0

Media Attribute (a): rtpmap:96 x-wms-rtx/1000

Media Attribute (a): control:rtx

Strumień wideo:

Media Description, name and address (m): video 0 RTP/AVP 96

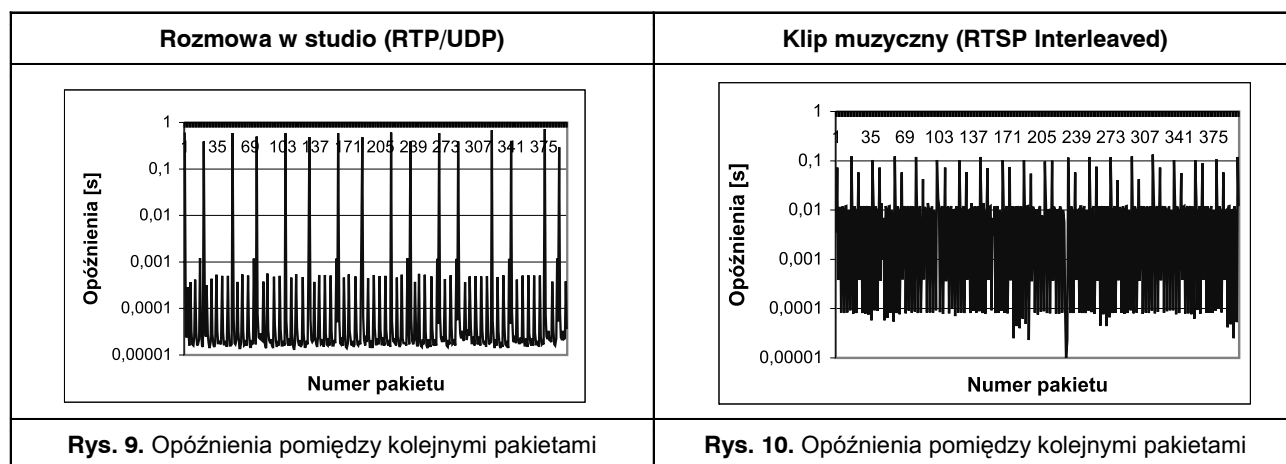
Bandwidth Information (b): AS:433

Media Attribute (a): rtpmap:96 x-asf-pf/1000

Media Attribute (a): control:stream=5

W Interia TV, gdy transmisja odbywała się z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved, ramki wideo o stałej wielkości były składane z zawartości czterech segmentów TCP – trzy segmenty miały długość 1452 [B], a w ostatnim była przenoszona pozostała część ramki wideo. Transmisja z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP odbywała się w pakietach o stałej wielkości 1236 [B].

Można przyjąć, że strumieniowanie programów z Interia TV odbywało się ze stałą długością pakietów, ale wielkość pakietów była różna w zależności od tego, czy transmisja odbywała się z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved, czy zestawu protokołów RTP/UDP. Wielkość pakietów nie zmieniała się też w zależności od typu strumieniowanego programu. Wielkość opóźnień, podobnie jak w przypadku iTVP, różniła się w zależności od metody transmisji (rys. 9–10). W przypadku transmisji z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved opóźnienia były zbliżone do obserwowanych podczas strumieniowania programów z iTVP. Gdy wykorzystywany był zestaw protokołów RTP/UDP, opóźnienia były mniejsze niż obserwowane w iTVP.



ITV

Telewizja ITV (www.itv.net.pl) emituje programy o tematyce rozrywkowej – głównie klipy muzyczne, ale w programie tej telewizji można znaleźć również audycje o tematyce muzycznej, o grach komputerowych, wróżby, a także telezakupy. Dwie zaobserwowane metody transmisji programów z ITV to wykorzystanie zestawu protokołów RTP/UDP oraz opcji RTSP Interleaved.

W przypadku opcji RTSP Interleaved w fazie SETUP przesyłane były dwa komunikaty SETUP – dla strumieni audio i wideo. Transmisja danych odbywała się w jednym strumieniu RTP w trybie unicast.

Przesyłanie strumienia danych z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP poprzedzało przesłanie trzech komunikatów SETUP (strumienie audio, wideo i aplikacji). Transmisja odbywała się w trybie unicast, w postaci jednego strumienia RTP. Obecne też były informacje kontrolne protokołu RTCP.

Poniżej przedstawiono przykładowy opis strumieni, które zostały wybrane do strumieniowania:

Strumień audio:

Media Description, name and address (m): audio 0 RTP/AVP 96

Bandwidth Information (b): AS:35

Media Attribute (a): rtpmap:96 x-asf-pf/1000

Media Attribute (a): control:audio

Strumień aplikacji:

Media Description, name and address (m): application 0 RTP/AVP 96

Bandwidth Information (b): RS:0

Media Attribute (a): rtpmap:96 x-wms-rtx/1000

Media Attribute (a): control:rtx

Strumień wideo:

Media Description, name and address (m): video 0 RTP/AVP 96

Bandwidth Information (b): AS:254

Media Attribute (a): rtpmap:96 x-asf-pf/1000

Media Attribute (a): control:video

Transport danych z ITV, podobnie jak z Interia TV, odbywał się w pakietach o stałej długości, ale wielkość pakietu była mniejsza – 780 B. Opóźnienia pomiędzy kolejnymi pakietami były bardzo zbliżone do opóźnień obserwowanych podczas strumieniowania programu z Interia TV.

Analiza pakietów RTCP

Pakiety RTCP, które udało się zaobserwować, były przesyłane tylko od odbiornika do nadajnika. Zawierały trzy składowe: Receiver Report (RR), Source Description i Generic RTP Feedback. Wszystkie ode-

brane pakiety RTCP miały długość niezgodną z zadeklarowaną w nagłówku.

Standardowe, okresowo przesyłane komunikaty RTCP z informacjami na temat jakości odbieranych/nadawanych strumieni nie były wysyłane. Komunikaty, które zaobserwowano, związane są z przesyłaniem do nadajnika informacji zwrotnych o stratach pakietów, o czym mowa w dokumencie [5]. Takie informacje nie są przesyłane okresowo, lecz wyzwalane zdarzeniem – stratą pakietu. To, czy informacja zwrotna może być wysłana do nadajnika bezpośrednio po wykryciu straty, czy z pewnym opóźnieniem, zależy od pasma przyznanego na komunikaty RTCP, wielkości pakietów RTCP i liczby odbiorców (w przypadku transmisji multikastowej).

Istotne jest, że w obserwowanych przypadkach nadajnik nie deklarował profilu AVPF i tym bardziej nie przesyłał informacji na temat możliwej metody przesyłania informacji zwrotnej (ACK, NACK). Odbiornik przesyłał informacje zwrotne bez uzgodnienia tego z nadajnikiem. Dokument [5] przewiduje taką możliwość, ale nadajnik może takie informacje ignorować.

Informacje zwrotne przesyłane są w zbiorczych pakietach RTCP. Taki pakiet musi zawierać raport RR i opis źródła SDES (dokładnie w takiej kolejności) i jako trzeci składnik może się wtedy znaleźć informacja zwrotna o zgubionych pakietach. Obserwowane pakiety RTCP z informacją zwrotną zgadzają się z tym wymogiem. Części raportu RR i opisu źródła SDES są okrojone (np. nie ma informacji o jakości odbieranego strumienia), tak, aby długość pakietu była możliwie mała i by w ramach dostępnego dla RTCP pasma można było przesłać możliwie dużo pakietów z informacją zwrotną.

W omawianym przypadku, wysyłane do nadajnika informacje zwrotne to wiadomości zwrotne warstwy transportowej. Jedynym typem takiej wiadomości zwrotnej zdefiniowanym w dokumencie [3] jest *Generic NACK* (FMT(*Feedback Message Type*)=1). W takiej wiadomości zwrotnej przenoszony jest numer sekwencyjny zgubionego pakietu RTP i liczba pakietów jakie zostały zgubione bezpośrednio po wskazanym.

W omawianym przypadku pakiety z informacjami zwrotnymi warstwy transportowej miały FMT=17. Jest to wartość nieprzypisana żadnemu typowi wiadomości zwrotnej. Każdy pakiet miał też inną długość niż zadeklarowana w nagłówku. Mimo to, po każdym wysłaniu pakietu RTCP z informacją zwrotną warstwy transportowej następowała retransmisja wcześniej nieodebranych pakietów RTP. W przypadku telewizji Interia TV retransmitowane pakiety miały źródłowy adres IP inny niż pakiety ze strumienia. Retransmisje dla ITV odbywały się z tego samego adresu IP.

Inne telewizje

Analizowano również metodę transmisji programu telewizji TV Mango (www.mango.pl), TVN Gra (www.tvngra.pl - program zakończył emisję), Wapster TV (www.wapster.pl), Onet TV (www.onet.tv), Ezo TV (www.ezotv.pl) i TV Trwam (www.tv-trwam.pl). Najczęściej obserwowaną metodą transmisji było wykorzystanie protokołów RTP/RTSP/TCP i opcji RTSP Interleaved. W fazie SETUP przesyłane były dwa komunikaty SETUP (dla audio i wideo) i dla każdego z nich rezerwowane były po dwa kanały. Dane przesyłane były w trybie unicast w jednym strumieniu RTP. Każdy pakiet RTP ma ustawiony znacznik M i jest składany z kilku segmentów TCP. Oprócz tego w przypadku Ezo TV zaobserwowano metodę transmisji wykorzystującą zestaw protokołów RTSP/TCP (bez protokołu RTP), a telewizja Trwam zmieniła metodę strumieniowania z RTP/RTSP/TCP z wykorzystaniem opcji RTSP Interleaved na zestaw protokołów HTTP/TCP (stan na początek 2010 roku). Również telewizja Mango TV zmieniła metodę transmisji na zestaw protokołów RTMP (Real Time Messaging Protocol)/TCP. Protokół RTMP to zastrzeżony przez firmę Adobe protokół do transmisji danych strumieniowych.

Do analizy metod transmisji telewizji Internetowych wykorzystywany był komputer z zainstalowaną wtyczką Windows media. Zainstalowanie wtyczki Silverlight spowodowało, że nawet programy, które wcześniej były strumieniowane z wykorzystaniem zestawu protokołów RTP/UDP, były strumieniowane z wykorzystaniem protokołów HTTP/TCP. Zaletą takiego rozwiązania jest wysoka dostępność. Protokół HTTP przeważnie nie jest blokowany nawet w sieciach o bardzo rygorystycznych politykach bezpieczeństwa. Rozwiązanie to ma też oczywiste wady wynikające z wykorzystywania protokołu TCP do transmisji danych czasu rzeczywistego.

4. Podsumowanie

Najbardziej zalecaną metodą transportu danych dla transmisji strumieniowej jest wykorzystanie zestawu protokołów RTP/UDP z okresowymi komunikatami RTCP i opcjonalnie retransmisjami zgubionych datagramów. Protokół UDP zapewnia małe opóźnienia dzięki szybkiemu przekazywaniu danych do warstwy aplikacji, a protokół RTP zapewnia odpowiednią synchronizację i kompensuje zmienność opóźnień. Komunikaty RTCP zawierają statystyki nadawania i odbioru i służą do monitorowania jakości transmisji. Badając metody transmisji polskich telewizji Internetowych, nie zaobserwowano takiej metody transmisji.

Zaobserwowane metody transmisji:

- Wykorzystanie zestawu protokołów RTP/UDP bez okresowych komunikatów RTCP
- Wykorzystanie zestawu protokołów RTP/UDP bez okresowych komunikatów RTCP, ale z wyzwalanymi komunikatami RTCP, które wywoływały retransmisję zgubionych datagramów
- Wykorzystanie zestawu protokołów RTP/RSTP/TCP – transmisja z opcją RTSP Interleaved
- Wykorzystanie protokołów RSTP/TCP (bez protokołu RTP)
- Wykorzystanie protokołów RTMP/TCP
- Wykorzystanie protokołów HTTP/TCP

Oprócz różnic w wykorzystywanych protokołach, zaobserwowano dwa podejścia do przesyłania danych – w pakietach o stałej długości albo w pakietach, których wielkość się zmieniała w zależności od ilości danych warstwy aplikacji, jakie były do przesłania. Niektóre z telewizji oferowały też wybór przepływności strumieni.

Mimo, że protokół UDP jest lepszy do transmisji danych czasu rzeczywistego, to wykorzystywany jest rzadziej niż protokół TCP. Może być to związane z obecnością zapór sieciowych, które mogą blokować ruch UDP. Nawet, gdy do transmisji wykorzystywany jest protokół TCP, a transmisja jest na tyle poprawna, że nie ma dużej liczby retransmisji, to opóźnienia i zmienność opóźnień mogą zostać skompensowane przez protokół RTP.

Brak obecności protokołu RTP, oprócz niepoprawnej częstotliwości odtwarzania ramek wideo, może mieć też inne konsekwencje. W sieciach z wdrożonymi mechanizmami zapewniania jakości (Quality of Service) wrażliwy na opóźnienia ruch czasu rzeczywistego jest traktowany z priorytetem. Klasyfikowanie danych do takiego ruchu na podstawie obecności protokołu UDP nie sprawdza się, bo realnie do transmisji danych czasu rzeczywistego wykorzystywany jest i protokół UDP i TCP (protokół TCP jest nawet wykorzystywany częściej). Możliwa jest jednak klasyfikacja na podstawie protokołu RTP. W takim przypadku obie metody strumieniowania (wykorzystanie protokołów RTP/UDP oraz RTP/RSTP/TCP z opcją RTSP Interleaved) będą poprawnie zaklasyfikowane jako ruch czasu rzeczywistego. Korzystanie z zastrzeżonych protokołów do transmisji danych strumieniowych jak RTMP może zapewnić odpowiednią synchronizację, ale strumień taki może nie zostać zaklasyfikowany do ruchu czasu rzeczywistego i nie mieć zapewnionej odpowiedniej obsługi w węzłach sieci.

Literatura

- [1] Casner S.: *Session Description Protocol (SDP) Bandwidth Modifiers For RTP Control Protocol (RTCP) Bandwidth*. RFC 3556, lipiec 2003
 - [2] Handley M., Jacobson V.: *SDP: Session Description Protocol*. RFC 2327, kwiecień 1998
 - [3] Komosny D., Moravek P., Burget R., Ganeshan K.: *Feedback Transmission in Large-Scale IPTV Sessions*. 9th International Symposium on Communications and Information Technology, wrzesień 2009
 - [4] Montpetit M.-J., Mirlacher T., Ketcham M.: *IPTV: An End to End Perspective*. Journal of Communications, tom. 5, numer. 5, maj 2010
 - [5] Ott J., Wenger S., Sato N., Burmeister C., Rey J.: *Extended RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol (RTCP)-Based Feedback (RTP/AVPF)*. RFC 4585, lipiec 2006
 - [6] Postel J.: *Transmission Control Protocol*. RFC 793, wrzesień 1981
 - [7] Postel J.: *User Datagram Protocol*. RFC 768, sierpień 1980
 - [8] Prins, M.J. Brunner, M. Karagiannis, G. Lundqvist, H. Nunzi, G.: *Fast RTP Retransmission for IPTV – Implementation and Evaluation*. Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2008, listopad 2008
 - [9] Rey J., Leon D., Miyazaki A.: *RTP Retransmission Payload Format*. RFC 4588, lipiec 2006
 - [10] Schulzrinne H., Casner S., Frederick R., Jacobson V.: *RTP: A Transport Protocol For Real-time Application*. RFC 1889, styczeń 1996
 - [11] Schulzrinne H.: *RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control*. RFC 1890, styczeń 1996
 - [12] Schulzrinne H., Rao A., Lanphier R.: *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*. RFC 2326, kwiecień 1998
 - [13] <http://www.iana.org/assignments/rtp-parameters>
 - [14] <http://www.iana.org/assignments/media-types/>
-