AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

KATEDRA INFORMATYKI

Praca dyplomowa magisterska

Strumieniowanie adaptacyjne danych multimedialnych z wykorzystaniem standardu DASH-MPEG

Autor: *Piotr Borowiec*
Kierunek studiów: *Informatyka*
Opiekun pracy: *dr inż. Łukasz Czekierda*

Kraków, 2014

Oświadczam, świadomy(-a) odpowiedzialności karnej za poświadczenie nieprawdy, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Serdecznie dziękuję ...

Spis treści

1. Wprowadzenie

- Cel pracy - skąd się wziął pomysł, dlaczego praca jest tworzona
- Struktura - krótki opis dotyczący kolejnych rozdziałów
- Zakres merytoryczny - ramy dla projektu
- Wkład własny - krótki opis co się zrobiło i jak przebiegały prace.

2. Zarys problemu

2.1. Wstęp

Poniższy rozdział zawiera opisy problemów związanych ze strumieniowaniem danych w sieciach komputerowych. Aplikacje przeznaczone do celów strumieniowania można zbudować na podstawie wielu protokołów i standardów. Rozdział skupia się na wadach istniejących rozwiązań w kontekście strumieniowania danych multimedialnych oraz danych interaktywnych.

2.2. Problem strumieniowania danych

Protokoły oparte o datagramy, takie jak User Datagram Protocol pozwalają na wysłanie strumienia danych jako serii pakietów. Takie rozwiązanie jest proste i wydajne, ale UDP nie daje żadnych gwarancji, że pakiety dotrą nienaruszone, w odpowiedniej kolejności i na czas do odbiorcy. Brak mechanizmów kontrolujących powyższe czynniki oznacza, że jakość strumienia może być słaba - dane przez niego przenoszone będą niepoprawne, spóźnione lub odbiorca nie otrzyma ich wcale. Część z tych problemów została rozwiązana w Datagram Congestion Control Protocol (zob. 3.3), który wprowadza kontrolę przeciążeń. Pozwala to na kompromis pomiędzy możliwością wykorzystania łącza (UDP wykorzystuje łącze w sposób bardziej agresywny niż TCP i DCCP), a adaptacją do zmieniającego się dostępnego pasma. UDP nie posiada mechanizmów adaptacji, TCP reaguje szybciej od DCCP na zmienność pasma. DCCP pozwala na kontrolowanie ilości utraconych pakietów w transmisji i jest TCP friendly, co oznacza, że może wykorzystać przepustowość nie większą niż dwukrotna przepustowość jaką wykorzystałoby TCP w tych samych warunkach. Protokoły datagramowe są dobrze przystosowane do transmisji interaktywnych w których utrata pojedynczych pakietów nie jest problematyczna, natomiast wymagane jest małe opóźnienie (np. gry komputerowe z trybem multiplayer).

Niezawodne protokoły (np. Transmission Control Protocol) gwaratują poprawność i kolejność danych. Zwykle mechanizmy zapewniające powyższe funkcjonalności są oparte na licznikach czasu i retransmisjach, co może powodować spore opóźnienia w transmisji. Strumienie oparte na takich protokołach są wrażliwe na zmnieniającą się dostępną przepustowość sieci i ilość danych, które dostarczają do odbiorcy, może być zmienna w czasie. Dlatego aplikacje oparte na technologiach tego typu zwykle implementują bufory, które pozwalają na zmniejszenie wpływu zmienności strumienia na działanie programu.

Jeżeli transmisja powinna zostać dostarczona do wielu odbiorców to wykorzystanie unicast'ów jest niewydajne. Pakiety przenoszące informacje muszą być powielane i adresowane do każdego z odbiorców osobno. W celu poprawy wykorzystania łącza możliwe jest skorzystanie z multicast'ów. Dzięki temu transmisja może dotrzeć do wielu odbiorców bez zbędnego przesyłania tych samych inforamcji wielokrotnie przez to samo łącze. Znaczącą wadą tego rozwiązania jest fakt, że Internet obecnie nie jest przystosowany do przesyłania multicast'ów na szeroką skalę. Implementacja multicast'ów zajmuje zasoby na urządzeniach sieciowych i potrzebuje protokołów routingu i kontrolowania położenia odbiorców w sieciach (np. PIM - Protocol Independent Multicast oraz IGMP - Internet Group Management Protocol). Kolejny problem w transmisji grupowej stanowi brak możliwości wyboru danych do strumieniowania po stronie klienta. Klient nie może ponownie odtworzyć fragmentu meczu, który dopiero obejrzał lub przewinąć części strumieniowanego filmu do przodu. Możliwe jest jednak udostępnienie klientowi tych funkcjonalności przy użyciu serwerów cache'ujących i odtwarzaczy buforujących otrzymywane dane.

Innym podejściem do strumieniowania danych charakteryzują się protokoły typu P2P (Peer-to-peer). W rozwiązaniach opartych na tej technologi nie ma "wąskich gardeł" w postaci centralnych serwerów. Dane znajdujące się u jednego lub więcej użytkowników mogą być bezpośrednio przesłane do odbiorcy. Każdy odbiorca może strumieniować dane od wielu użytkowników, co pozwala na rozłożenie obciążenia sieci i stacji wysyłających. To podejście również ma swoje wady w szczególności dotyczące bezpieczeństwa i jakości danych które odbiorca otrzymuje.

2.3. Podsumowanie

Każda z technologii ma zalety z których aplikacja może skorzystać oraz wady, które aplikacja powinna korygować lub zmniejszać ich wpływ na jakość strumieniowania. Bardzo istotny jest wybór odpowiedniej technologii na podstawie wymagań jakie powinna spełniać transmisjia.

3. Przegląd istniejących rozwiązań

3.1. Wstęp

Istnieje wiele podejść do zagadnienia jakim jest strumieniowanie danych. Najbardziej popularnym spośród opisywanych poniżej jest para protokołów: Real-time Transport Protocol i RTP Control Protocol [2]. W niniejszym rozdziale opisane zostaną również protokoły: Transmission Control Protocol [9], Datagram Congestion Control Protocol [4] oraz standard DASH-MPEG [10]. W każdym z powyższych przypadków zostną zaprezentowane metody pozwalające na adaptację tych protokołów/standardów do warunków panujących w sieci.

3.2. Transmission Control Protocol

TCP jest protokołem o charakterze połączeniowym mającym sporo zastosowań. Należy do warstwy transportowej modelu ISO/OSI i jest wykorzystywany podczas wymiany poczty elektronicznej (SMTP, IMAP), przeglądania stron internetowych (HTTP, HTTPS), transferu plików (FTP) oraz pozwala na zdalny dostęp do zasobów (SSH) [12]. Oferuje dostarczanie informacji w sposób niezawodny; sprawdza dane pod względem poprawności (sumy kontrolne) oraz kolejności (numery sekwencyjne) [9].

Protokół TCP jest ukierunkowany na niezawodne i bezbłędne dostarczanie danych, co w pewnych przypadkach może powodować opóźnienia. Z tego powodu UDP (w połączeniu z RTP) jest uważane za lepszy wybór przy strumieniowaniu interaktywnych danych multimedialnych.

Mechanizmy kontroli przeciążeń i przepływu w TCP pozwalają strumieniom na szybkie dostosowanie się do zmienijących się warunków w sieci (zmiennej dostępnej przepustowości). Do regulacji wielkości strumieni wykorzystywane jest okno. Okno jest mechanizmem określającym jak wiele danych można wysłać bez otrzymania potwierdzeń odbioru. Wielkość okna TCP *W* jest obliczna w sposób następujący [12]:

$$W = min(cwnd, awnd)$$

gdzie:

- *cwnd (congestion window)* - wielkość okna obliczona na podstawie obciążenia sieci,
- *awnd (advertised window)* - wielkość okna obliczona na podstawie obciążenia odbiorcy (przesyłana w komunikatach *window update*,

Kontrola przepływu zapobiega przeciążeniu odbiorcy i może być oparta na regualcji wielkości okna TCP lub na ustaleniu górnej dopuszczalnej przepustowości dla stacji wysyłającej dane. Stacja odbierająca może zmieniać wielkość okna stacji wysyłającej za pomocą wiadomości *window update* [12]. Jeżeli stacja odbiorcza nie nadąża z przetwarzaniem pakietów, może zmniejszych wielkość okna ogłaszną w wiadomościach do wysyłającego. Zmniejszenie okna będzie równoznaczne ze spowolnieniem stacji wysyłającej - zmniejszona zostanie ilość pakietów, które można wysłać nie otrzymując ich potwierdzeń odbioru.

Kontrola przeciążeń zapobiega nadmiernemu zalaniu pakietami sieci znajdującej się pomiędzy stacjami końcowymi. TCP nie wykorzystuje jawnych metod wykrywania obciążenia sieci. Podstawną do założenia, że sieć może być przeciążona są ginące pakiety. Algorytm Slow Start wykorzystuje utracone pakiety jako wyznacznik obciążenia sieci. Jego zadaniem jest wykrycie dostępnej przepustowości bez narażania sieci na przeciążenie. W tym celu przesyła pewną ustaloną ilość segmentów i oczekuje na ich potwierdzenie. Z każdą transmisją zakończoną sukcesem ilość wysyłanych segmentów bez potwierdzania jest zwiększana wykładniczo aż do momentu w którym pakiety zaczną ginąć. Drugi algorytm - Congestion Avoidance - pozwala na wykrycie dodatkowego pasma po fazie powolnego startu. Zachowuje się podobnie jak algorytm Slow Start, ale ilość segmentów jest zwiększana liniowo. [9]

3.3. Datagram Congestion Control Protocol

Protokół DCCP należy do warstwy transportowej i wspiera dwukierunkowe połączenia typu punkt-punkt. Cechą charakterystyczną tego protokołu jest niezawodne nawiązywanie i zrywanie połączenia oraz negocjacja parametrów połączenia. Sama transmisja oparta jest na przesyłaniu datagramów bez potwierdzeń. DCCP posiada kilka mechanizmów kontroli przeciążeń.

Każdy ze wspieranych przez DCCP mechanizmów kontroli przeciążeń posiada identyfikator CCID (Congestion Control Identifier). W trakcie negocjacji parametrów połączenia stacje końcowe wymieniają posortowaną listę akceptowalnych CCID (od najbardziej pożądanego do najmniej pożądanego), a następnie wybierają mechanizm, którym będą posługiwać się w trakcie transmisji [6]. RFC standaryzuje dwa mechanizmy kontroli przeciążeń:

– CCID 2 - TCP-like Congestion Control

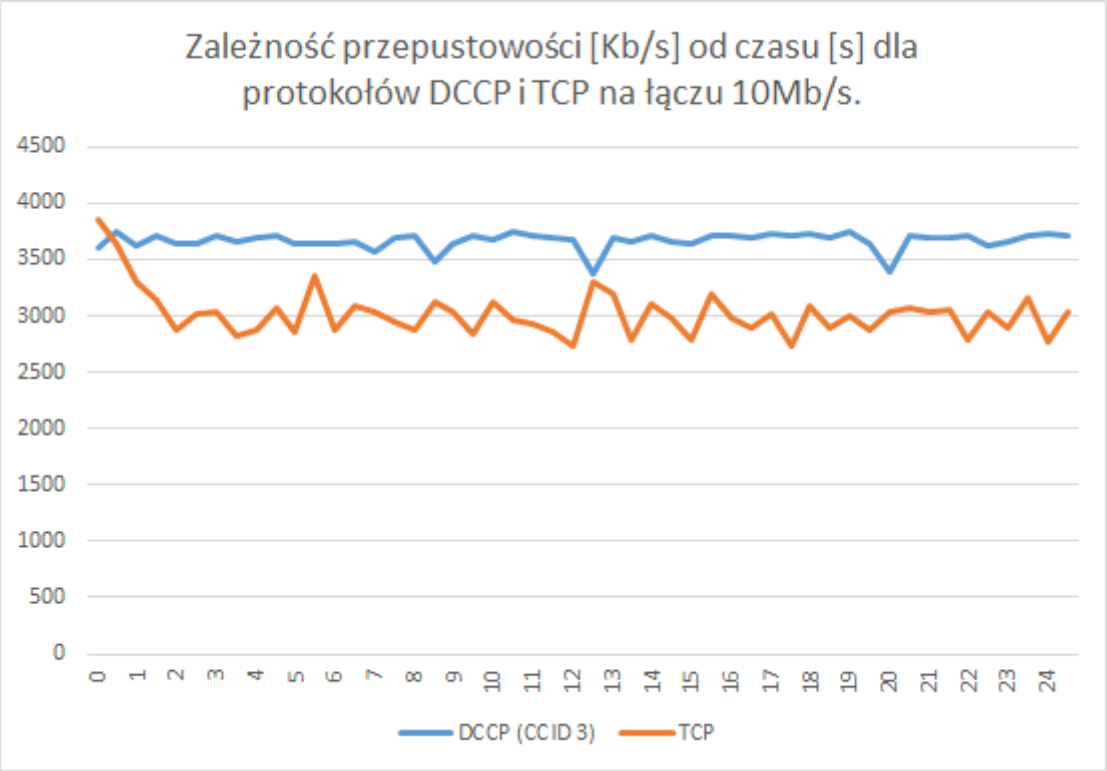
– CCID 3 - TCP-Friendly Rate Control

Pozostałe numery CCID (0-1 oraz 4-255) pozostają do tej pory niewykorzystane.

Mechanizm TCP-like Congestion Control korzysta z AIMD (Additive Increase/Multiplicative Decrease). Jeżeli TCP wykorzystuje AIMD to po otrzymaniu każdej poprawnej wiadomości ACK od odbiorcy, nadawca powiększa wielkość *cwnd* (wielkość okna) o $\frac{1}{cwnd}$. W razie utraty pakietów okno jest pomniejszane dwukrotnie [12]. Omawiany mechanizm zachowuje także liczniki czasu znane z TCP oraz algorytm Slow Start [11]. TCP-like Congestion Control powinno być wykorzystywane przez aplikacje

w których bardziej preferowane jest maksymalne wykorzystanie łącza od utrzymania stabilnego pasma (np. transfer plików) [5].

TCP-Friendly Rate Control jest mechanizmem uznawanym za niezachłanny przy dzieleniu łącza z innymi strumieniami o charakterze TCP. Niezachłanność tego mechanizmu oznacza, że wykorzystuje on przepustowość nie większą niż dwukrotna wartość przepustowości, która zostałaby wykorzystana przez TCP w tych samych warunkach. TCP-Friendly Rate Control charakteryzuje się także dużo mniejszą zmiennością wartości przepustowości w czasie w porównaniu do TCP, co sprzyja zastosowaniu DCCP z CCID 3 w strumieniowaniu danych multimedialnych. 'Wygładzenie' przepustowości transmisji jest okupione wolniejszą niż w TCP szybkością przystosowywania się strumienia do zmian w dostępnym paśmie [8].



Rysunek 3.1: Wykres zależności przepustowości od czasu dla protokołów TCP i DCCP.

Rysunek 3.1 przedstawia porównanie działania protokołów TCP i DCCP (CCID 3). W trakcie testu wykorzystano oprogramowanie D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator) [16]. Test został przeprowadzony z wykorzystaniem dwóch komputerów i przełącznicy Cisco Catalyst 3550 połączonych w jedną sieć LAN i polegał na jednoczesnym uruchomieniu dwóch strumieni (TCP i DCCP) pomiędzy stacjami końcowymi. Próbkowanie przepustowości przeprowadzono co $0,5s$. Na przełącznicy zaimplementowano politykę pozwalającą na ustalenie przepustowości pomiędzy stacjami na 10Mb/s (zob. Dodatek A).

Tabela z rysunku 3.2 przedstawia porównanie średniej przepustowości i odchylenia standardowego dla protokołów TCP i DCCP. Przeprowadzony test potwierdza zachowanie protokołu DCCP (CCID 3)

Protokół	Średnia przepustowość	Odchylenie Standardowe
TCP	3020 Kb/s	209
DCCP (CCID 3)	3703 Kb/s	74

Rysunek 3.2: Tabela porównawcza protokołów TCP i DCCP.

opisane w RFC 5348 [8].

3.4. Real-time Transport Protocol i RTP Control Protocol

RTP (Real-time Transport Protocol) pozwala na transport danych w systemach i aplikacjach czasu rzeczywistego wspierających interaktywne transmisje audio i video. Zwykle wykorzystuje UDP jako protokół transportowy, ale może działać nad innymi protokołami warstwy transportowej modelu ISO/OSI (DCCP, TCP - [2, 6]). Jeżeli sieć w której działa RTP wspiera multicasting to RTP pozwala na wysłanie danych do wielu odbiorców jednocześnie. RTP nie dostarcza mechanizmów QoS (Quality of Service), ani nie gwarantuje dostarczenia wysłanych danych na czas do odbiorcy.

Protokół RTCP (Real-time Control Protocol) stanowi protokół kontrolny dla RTP. Bazuje na okresowej transmisji pakietów kontrolnych do wszystskich uczestników sesji. Przekazuje informacje od odbiorców do nadawców na temat jakości transmisji. Pakiety RTCP zawierają indentyfikator źródła (Canonical Name) oraz pozwalają na ustalenie liczby uczestników sesji, co pozwala na obliczenie z jaką częstotliwością należy wysyłać pakiety kontrolne.

Nazwa	Typ	Zalecane pasmo
GSM	audio	13 Kb/s
G728	audio	16 Kb/s
G729	audio	8 Kb/s

Rysunek 3.3: Przykładowe typy pakietów RTP.

RTP przenosi dane, które zwykle wymagają ustalonej przepustowości. Dzięki temu prawdopodobieństwo, że strumień RTP będzie systematycznie zajmował coraz większe pasmo jest niewielkie. Z drugiej strony, strumień nie może też zostać ograniczony bez uszczerbku na jakości transmisji danych, szczególnie jeżeli transmisja ma charakter interaktywny. Pasmo potrzebne do sprawnej transmisji zależy od rodzaju przesyłanych danych. Rodzaj przesyłanych danych można identyfikować na podstawie pola Payload Type (zob. rysunek 3.3) w nagłówku pakietu RTP. Z każdym typem związany jest profil RTP opisujący parametry transmisji (w tym wymaganą przepustowość) [3]. Protokół RTP nie posiada odpowiednich mechanizmów kontroli przeciążeń, dlatego powinien korzystać z mechanizmów dostępnych w protokołach niższych warstw (np. DCCP CCID 3).

3.5. Podsumowanie

W powyższym rozdziale opisano kilka podejść do problemu strumieniowania danych multimedialnych. Opisane zostały protokoły TCP, DCCP, RTP/RTCP oraz standard DASH-MPEG. Szczególną uwagę poświęcono mechanizmom adaptacji do zmniennej przepustowości sieci i cechom jakie powinny posiadać protokoły przeznaczone do strumieniowania danych. Do cech tych należą:

- kontrola przeciążeń i przepływu (TCP)
- jednostajne wykorzystanie łącza (DCCP CCID3)
- kanał zwrotny przenoszący informacje na temat sesji (RTCP)
- możliwość dostosowana parametrów transmisji do warunków w sieci (DASH, TCP)

4. Standard DASH-MPEG

4.1. Wprowadzenie

Poniższy rozdział opisuje standard Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH). Po zarysie historycznym i odniesieniu do pokrewnych technologii zaprezentowany zostaje podrozdział 4.3 zawierający zwięzły opis działania systemów wspierających strumieniowanie danych multimedialnych z wykorzystaniem DASH. Kolejne podrozdziały skupiają się na wybranych aspektach i funkcjonalnościach tego standardu takich jak hierarchiczna struktura modelu danych multimedialnych, synchronizacja strumieni oraz profile.

4.2. Zarys historyczny

Dynamic Adaptive Streaming over HTTP jest adaptacyjną techniką strumieniowania danych w sieciach komputerowych. Jest to technologia spokrewniona z Microsoft Smooth Streaming [13], Adobe Systems HTTP Dynamic Streaming [14] oraz Apple Inc. HTTP Live Streaming [15].

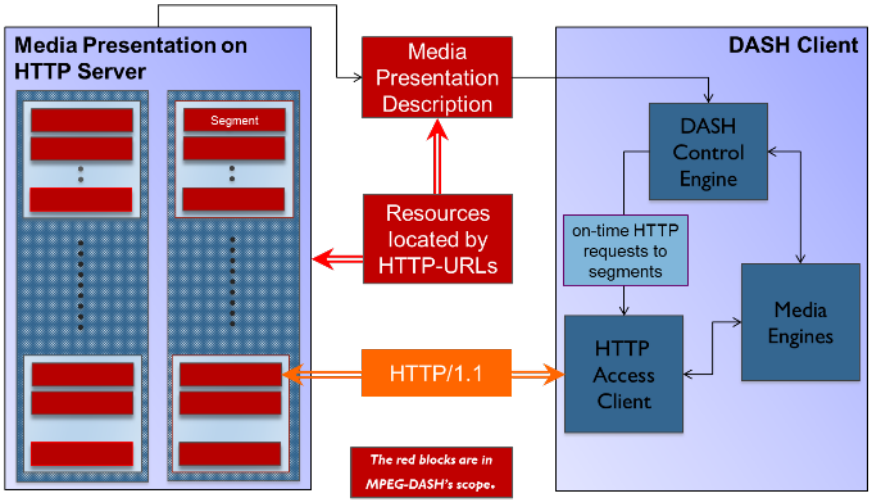
Prace nad standardem prowadzone przez grupę MPEG rozpoczęły się w 2010 roku. W 2011 standard DASH pojawił się jako draft, a międzynarodowym standardem stał się w kwietniu 2012 dzięki publikacji ISO/IEC 23009-1:2012 [10]. Pierwsza demonstracja na szerszą skalę systemów opartych na DASH miała miejsce podczas igrzysk w Londynie w 2012 roku. Wdrożony tam system pozwalał 1000 użytkowników na żywo śledzić wydarzenia sportowe za pomocą laptopów, smartfonów i tabletów. W lipcu 2013 wprowadzono do standardu poprawki.

Do obecnych implementacji DASH zaliczają się:

- DASH Player i wtyczka do VLC, które powstały na uniwerstytecie ITEC w Klagenfurt (październik 2011),
- biblioteki libdash (open-source) oraz bitdash (rozwiązanie komercyjne) należące do austriackiej firmy bitmovin GmbH (styczeń 2013),
- zestaw narzędzi do przetwarzania plików multimedialnych oraz zbiór odtwarzaczy (dla HTML5, Flash, Silverlight, Chromecast) należący do castLabs GmbH (marzec 2014).

4.3. Systemy implementujące DASH

W podejściu stosowanym w standardzie DASH logika strumieniowania zostaje w całości przeniesiona na aplikację klienta. Rolę serwera DASH może pełnić serwer HTTP (np. Apache lub Nginx) na którym umieszczone zostaną dane przeznaczone do strumieniowania.



Rysunek 4.1: Standard MPEG-DASH i przykładowa architektura klienta DASH, źródło: [17]

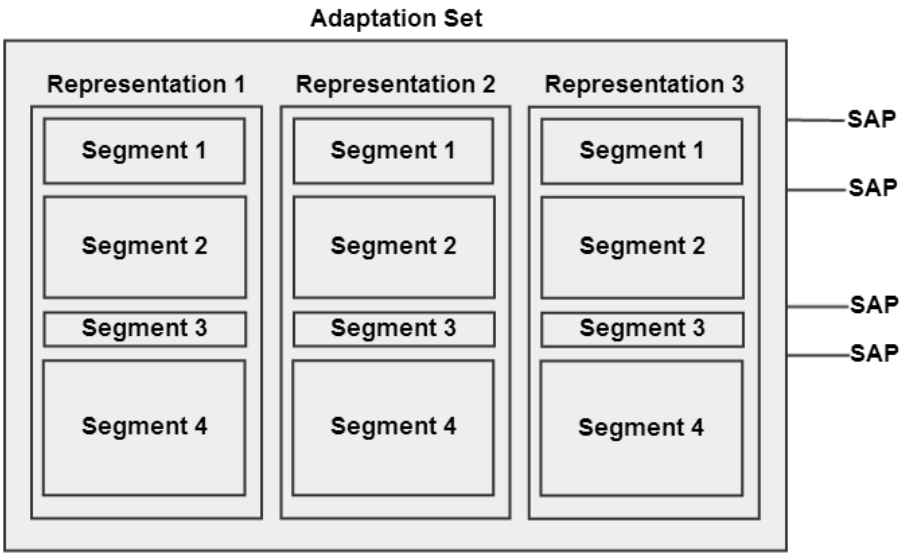
Dane multimedialne, które będą podlegały operacji strumieniowania, należy odpowiednio przygotować. Powinny one być dostępne w kilku wersjach[1] różniących się jakością (a co za tym idzie również wielkością). Każda kopia powinna zostać podzielona na ponumerowane części (segmenty), które razem tworzą spójną całość. Na rysunku 4.1 prostokąt po lewej stronie symbolizuje serwer WWW. Kopie pliku multimedialnego (niebieskie prostokąty wewnątrz serwera) składają się z segmentów (czerwone prostokąty).

Od długości segmentów zależy szybkość przystosowywania się aplikacji DASH do zmieniających się warunków w sieci (np. przepustowości). Aplikacja klienta może dokonać przełączenia pomiędzy wersjami strumieniowanych danych tylko podczas tzw. *Stream Access Points* (SAP). Są to pozycje w strumieniu danych multimedialnych, które nie wymagają informacji zawartych we wcześniejszych segmentach w celu odtwarzania późniejszych segmentów. Zwykle te pozycje znajdują się pomiędzy kolejnymi segmentami w celu uproszczenia procedur adaptacyjnych i ich implementacji. Innym częstym zabiegiem upraszczającym strumieniowanie i odtwarzanie danych jest wyrównanie czasu trwania odpowiadających sobie segmentów dla całego zbioru (*Adaptation Set*) wersji danych multimedialnych (*Representation*)[2]. Powyższy przykład został zobrazowany na rysunku 4.2.

Przygotowane dane należy opisać za pomocą języka XML w postaci dokumentu MPD (Media Presentation Description). Plik MPD pozwala aplikacji klienta na poznanie struktury danych znajdujących się na serwerze. Zawiera adresy URL poszczególnych segmentów, czasy ich trwania, informacje na temat

[1] Akceptowalne jest przygotowanie tylko jednej wersji danych, ale uniemożliwi to operację strumieniowania adaptacyjnego.
[2] Elementy *Representation* oraz *Adaptation Set* zostały szerzej opisane w podrozdziale 4.4.

kodowania danych, rozdzielczości oraz minimalnych przepustowości potrzebnych do strumieniowania danych i ich odtwarzania w czasie rzeczywistym. Dokument MPD musi zostać dostarczony do aplikacji klienta, która następnie parsuje jego zawartość i rozpoczyna strumieniowanie danych. W trakcie strumieniowania, aplikacja klienta wybiera w sposób dynamiczny wersję danych i pobiera kolejne segmenty za pomocą protokołu HTTP.



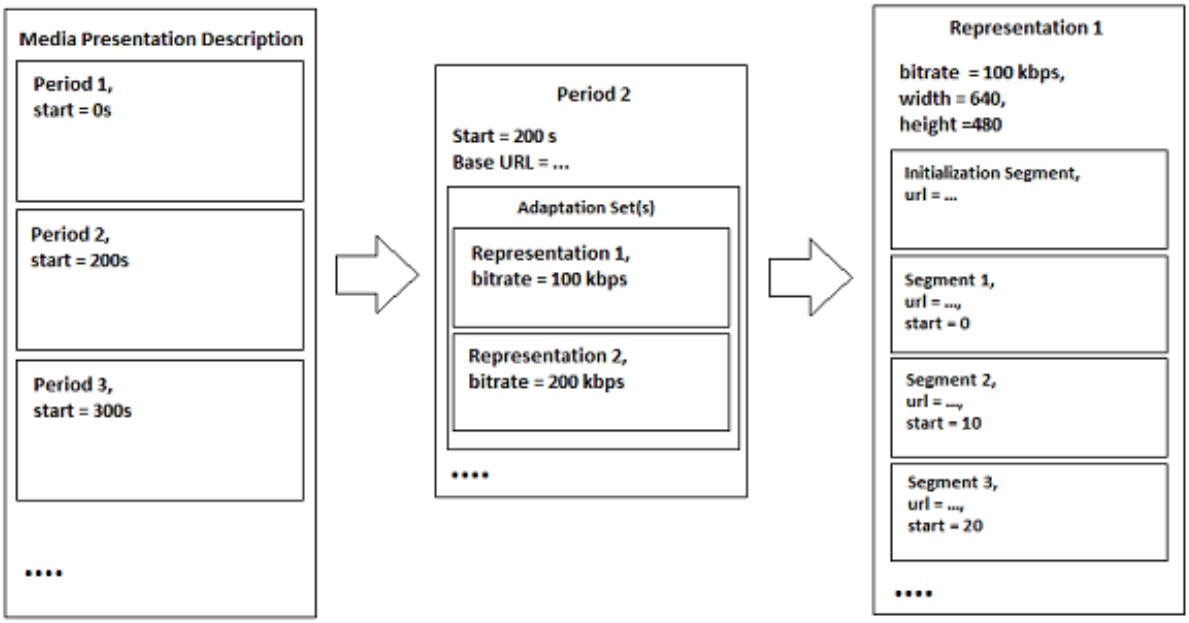
Rysunek 4.2: Wizualizacja struktury danych pozwalającej na efektywne strumieniowanie adaptacyjne.

Dzięki hierarchicznemu ułożeniu danych na serwerze i funkcjonalności logicznego odseparowania danych do osobnych strumieni możliwe jest dokonanie personalizacji przesyłanych danych. Przykładowo, jeżeli plik video znajdujący się na serwerze posiada kilka różnych wersji językowych napisów to możliwy jest automatyczny wybór odpowiednich napisów na podstawie preferencji klienta lub języka ustawionego na jego urządzeniu.

Standard DASH działa niezależnie od sposobu kodowania danych i jest łatwo implementowalny w Internecie, ponieważ jest oparty na stosie TCP/IP. Dzięki wykorzystaniu protokołu HTTP może również współpracować z istniejącą infrastrukturą w postaci filtrów, zapór, urządzeń NAT i cache [17].

4.4. Hierarchiczna struktura modelu danych

Struktura modelu danych multimedialnych jest opisywana plikiem Media Presentation Description za pomocą języka XML i ma charakter hierarchiczny (zob. rysunek 4.3). Lewy prostokąt symbolizuje plik MPD, który zawiera kilka elementów typu *Period* (środkowy prostokąt na rysunku 4.3) oraz może zawierać informacje na temat profilu (zob. 4.7). Elementy *Period* reprezentują ciągłą część danych multimedialnych, które charakteryzują się takim samym zestawem parametrów. Do zestawu tych parametrów mogą należeć:



Rysunek 4.3: Struktura modelu danych, na podstawie [10]

– zbiór dostępnych wersji plików multimedialnych,

– wersje językowe dla dźwięku,

– wersje językowe napisów,

– sposób kodowania danych,

– itd...

Parametry te pozostają niezmienne w pojedynczym elemencie *Period*, ale mogą występować różnice pomiędzy kolejnymi elementami tego typu. Wszystkie elementy *Period* posiadają znacznik czasowy pozwalający na ustalenie ich kolejności, a dane znajdujące się w kolejnych elementach tworzą ciągły strumień danych multimedialnych.

Dane znajdujące się w pojedynczym elemencie *Period* mogą zostać rozdzielone pomiędzy kilka elementów o nazwie *Adaptation Set*. *Adaptation Set* reprezentuje jedną lub kilka wersji komponentów danych multimedialnych. Przykładowo, możliwe jest odseparowanie danych video i audio poprzez przechowywanie ich w osobnych elementach *Adaptation Set*. Dane tekstowe (napisy) również mogą zostać wydzielone w podobny sposób. Rezygnacja z multipleksacji danych pozwala na wprowadzenie kilku wersji danych (audio lub napisy dostępne w różnych wersjach językowych).

Każdy *Adaptation Set* zawiera jeden lub kilka elementów typu *Representation* (prawy prostokąt na rysunku 4.3). Dane multimedialne w ramach *Representation* są wystarczające do odtworzenia pełnego i spójnego pliku multimedialnego zanim został podzielony na części (*Segments*). Typowo, dane multimedialne w poszczególnych elementach *Representation* różnią się jakością, co w rezultacie wpływa na ich wielkość. W trakcie strumieniowania aplikacja klienta może wybierać pomiędzy różnymi wersjami

danych na podstawie warunków panujących w sieci komputerowej (dostępna przepustowość, RTT[3]) lub innych czynników.

Dane multimedialne w ramach *Representation* są podzielone na wiele części typu *Segments*. Każdy *Segment* ma określony czas trwania odpowiadający czasowi odtwarzania danych w nim zawartych oraz znacznik czasowy pozwalający na ustalenie ich właściwej kolejności. Elementy *Segment* należące do tego samego *Representation* zwykle mają porównywalny czas trwania. Możliwy jest dalszy podział danych w obrębie pojedynczego elementu *Segment* na *Subsegments*. W celu umożliwienia synchronizacji podczas odtwarzania danych wykorzystywany jest *Segment index* dostarczający informacji o położeniu *Subsegments* na osi czasu prezentacji (zob. 4.5.1). *Segment index* ma znaczenie lokalne w obrębie pojedynczego elementu *Segment*. Aplikacja klienta ma możliwość pobrania *Segment index* i następnie wysłania zapytań HTTP dotyczących jedynie wybranych *Subsegments*.

4.5. DASH timelines

Standard DASH definiuje dwie osie czasu. Pierwsza z nich, opisana w sekcji 4.5.1 stanowi główny komponent standardu odpowiadający za synchronizację pobieranych danych multimedialnych. *Segment availability timeline* pozwala na sprawne zarządzanie dostępnością segmentów potrzać transmisji w czasie rzeczywistym.

4.5.1. Media presentation timeline

Pierwsza z dwóch osi czasu pozwala na synchronizację odtwarzania komponentów danych multimedialnych (audio/video/text). Metadane wymagane do synchronizacji można uzyskać z pliku MPD. Elementy *Period* oraz *Segment* posiadają atrybut *start* (zob. rysunek 4.3) pozwalający na określenie czasu w którym należy rozpocząć odtwarzanie zawieranych przez nie danych. W celu obliczenia bezwzględnego czasu w którym należy odtworzyć dany *Segment* należy obliczyć sumę składającą się z wartości atrybutu *start* elemntu *Period* do którego dany *Segment* należy oraz wartości atrybutu *start* dla danego elementu typu *Segment*.

4.5.2. Segment availability timeline

Druga z osi czasu jest wykorzystywana do wskazywania aplikacji klienta okien czasowych w jakich dostępne są dane multimedialne. Okna te nazywane są *Segment Availability Times*. Aplikacja klienta powinna sprawdzić dostępność danych (reprezentowanych przez *Segment* posiadający własny URL) przed próbą ich pobrania. W przypadku modelów “On Demand” takich jak VoD[4] plik MPD nie ulega zmianie i okna czasowe dla wszystkich danych multimedialnych są jednakowe. Takie podejście pozwala klientowi na odtwarzanie danych znajdujących się w dowolnym miejscu na osi czasowej (możliwość wprowadze-

[3]Round Trip Time - minimalny czas potrzebny na komunikację od nadawcy do odbiorcy i z powrotem.

[4]Video On Demand - usługa pozwalająca na odtwarzanie danych multimedialnych w wybranym przez użytkownika czasie, późniejszym niż czas emisji.

nia powtórek, przewijana transmisji do przodu lub do tyłu). Dla usług “na żywo”, gdzie plik MPD jest aktualizowany w czasie działania aplikacji klienckich, okna czasowe charakteryzują się ograniczonym czasem życia związanym z położeniem danych multimedialnych na osi czasu. Użytkownik ma wtedy możliwość pobrania jedynie najnowszych danych (możliwość pobrania starszych danych jest limitowana wielkością okna czasowego - *Segment Availability Time*).

4.6. Model referencyjny klienta dla metryki DASH

System zgodny z modelem referencyjnym dla metryki DASH posiada trzy punkty obserwacyjne (*Observation Points*) w których dokonywane są pomiary dotyczące jakości transmisji danych multimedialnych i pracy aplikacji (zob. rysunek 4.4).

Rysunek 4.4: Model referencyjny klienta dla metryki DASH, źródło: [10]

Pierwszy punkt obserwacyjny znajduje się na styku połączenia sieciowego z komponentem aplikacji klienta odpowiedzialnym za zgłaszanie zapotrzebowania na dane i ich pobierania. W trakcie pracy tego komponentu monitorowane są:

– połączenia TCP - docelowy adres IP, czas rozpoczęcia, trwania i zakończenia połączenia,

– sekwencja przesłanych wiadomości HTTP - czas transmisji, zawartość, połączenie TCP związane z transmisją,

– odpowiedzi HTTP - czas otrzymania, zawartość nagłówka.

Drugi z punktów obserwacyjnych znajduje się pomiędzy komponentem odpowiedzialnym za pobieranie danych, a komponentem przetwarzającym otrzymane dane. Przetwarzanie danych może polegać na ich demultipleksowaniu (audio/video) lub dekodowaniu. W tym punkcie obserwacyjnym zbierane są informacje na temat kodowanych danych takie jak:

– typ danych - video, audio, tekst, itd...,

– czas dostarczenia danych,

– czas dekodowania danych,

– poziom zapełnienia bufora dla pobieranych danych,

– numer identyfikacyjny elementu *Representation* z którego dane pochodzą.

Ostatni z punktów obserwacyjnych znajduje się pomiędzy komponentem przetwarzającym dane oraz komponentem, który prezentuje przetworzone dane użytkownikowi.

– typ danych,

– czas prezentowania danych wynikający z metadanych pliku MPD,

– czas rzeczywisty prezentowania danych (timestamp),

– numer identyfikacyjny elementu *Representation* z którego dane pochodzą.

Tabele przedstawiające dokładną specyfikację metryk można znaleźć w specyfikacji standardu DASH-MPEG ([10]) w dodatku D.

4.7. DASH profiles

Standard DASH definiuje kilka różnych profili identyfikowanych poprzez URN[5] i dopuszcza możliwość zdefiniowania własnego profilu identyfikowalnego za pomocą URN lub URL. Pojęcie profilu DASH jest konceptualnie podobne do profilu RTP/RTCP (zob. 3.4) - jest to zestaw parametrów określających transmisję. Profile DASH mogą definiować ograniczenia lub wymogi odnoszące się zarówno do danych multimedialnych jak i do struktury tych danych znajdującej się na serwerze. W przypadku danych multimedialnych profil może określać np: obsługiwane kodeki[6], kontenery[7] oraz rozdzielczość. Ograniczenia nałożone na strukturę danych dotyczą zawartości plików MPD: ilości reprezentacji (*Representation*), czasu trwania i wielkości segmentów, dostępnych bitrate, itp. Poniżej opisane zostały dwa z sześciu profili zdefiniowanych przez standard DASH. Specyfikacje pozostałych profili można znaleźć w [10].

4.7.1. On Demand profile

Ten profil został stworzony w celu dostarczenia podstawowych funkcjonalności w modelach On Demand. Cechą charakterystyczną tego profilu jest wymóg, by każdy element *Representation* dostarczał pojedynczy *Segment* podzielny na wiele elementów *Subsegment*. Początek każdego z elementów typu *Subsegment* powinien stanowić *Stream Access Point*. Oznacza to, że aplikacja klienta może bez przeszkód rozpocząć odtwarzanie danych multimedialnych od dowolnego wybranego elementu *Subsegment*.

[5] Uniform Resource Name - jednolity format nazewnictwa zasobów.

[6] urządzenie lub program, który potrafi przekształcić strumień danych. Służy do kodowania i dekodowania strumieni danych. Przykłady: MP3, H.263, MPEG-2.

[7] kontenery multimedialne poza danymi zawierają metadane potrzebne do właściwego odtwarzania danych multimedialnych. Przykłady: AVI, OGG, MKV.

Aplikacja klienta może wcześniej zostać zainicjalizowana metadanymi znajdującymi się w odpowiednim *Initialization Segment* lub każdy z *Media Segments* może posiadać własne dane inicjalizujące.

Profil narzuca również pewne ograniczenia dotyczące struktury danych multimedialnych. Plik MPD nie może ulegać aktualizacjom w trakcie strumieniowania (tak jak to ma miejsce w przypadku transmisji na żywo). Wszystkie elementy *Representation* muszą posiadać swoje *Base URL* oraz posiadać parameter *subsegmentStartWithSAP* ustawiony na wartość true. Ponadto dla dowolnych dwóch elementów *Representation* w tym samym *Adaptation Set* żadne dwa elementy *Segment* nie mogą na siebie zachodzić (pod względem czasu odtwarzania) jeżeli ich numery sekwencyjne są różne (paramter *segmentAlignment* ustawiony na true).

Wprowadzenie powyższych ograniczeń pozwala na skalowalne i wydajne wykorzystanie serwerów HTTP oraz ułatwia przełączanie pomiędzy wersjami danych multimedialnych w trakcie strumieniowania.

4.7.2. Live profile

Profil Live przeznaczony jest do obsługi strumieniowania danych multimedialnych na żywo. Wymogiem profilu jest krótki czas trwania elementów typu *Segment*, standard nie precyzuje jednak tego wymogu za pomocą mierzalnych wartości. Od długości elementów *Segment* zależeć będzie opóźnienie z jakim aplikacje klienckie będą otrzymywać dane. Im dłuższy *Segment*, tym dłużej będzie trwało zebranie danych, ich zakodowanie, a następnie przesłanie do klientów.

Podobnie jak w przypadku profilu On Demand, profil Live nakłada ograniczenie, dzięki któremu przełączanie pomiędzy różnymi wersjami tych samych danych jest ułatwione (*segmentAlignment*). Ponadto, każda reprezentacja musi zawierać jeden *Initialization Segment* oraz co najmniej jeden *Media Segment*.

4.8. Podsumowanie

DASH oferuje bogatą funkcjonalność w zakresie strumieniowania danych multimedialnych. Może zostać wykorzystany zarówno w systemach On Demand jak i do transmisji na żywo. Jako standard nie definiuje żadnych algorytmów strumieniowania adaptacyjnego, ale opisuje środowisko w którym takie algorytmy znalazły zastosowanie. Stos protokołów, który wykorzystuje decyduje o jego zaletach i wadach. Wykorzystanie protokołu TCP może powodować spore opóźnienia w transmisji, co zmniejsza przydatność DASH przy transmisjach na żywo. Zastosowanie protokołu HTTP pozwala na łatwe wdrożenie implementacji opartych na DASH w infrastrukturach sieciowych.

Dalsza część pracy skupia się na zagadnieniach algorytmów strumieniowania adaptacyjnego, testach ich skuteczności oraz problematyce pomiarów warunków panujących w sieciach komputerowych. Pomiary wykonywane w trakcie działania aplikacji nie mogą wpływać na sie. Niesie to za sobą konieczność oparcia tych pomiarów na parametrach transmisji wykorzystywanych do pobierania niewielkich segmentów danych multimedialnych.

5. Opis projektu i implementacji

- Krótka prezentacja algorytmu zaimplementowanego z artykułu
- Prezentacja własnego algorytmu lub poprawek do algorytmu z punktu poprzedniego
- Opis implemententacji programu klienta (diagram klas, sekwencji...)
- Przedstawienie ewentualnych problemów przy implementacji i zastosowanych rozwiązań

5.1. Opis algorytmu

5.2. Implementacja

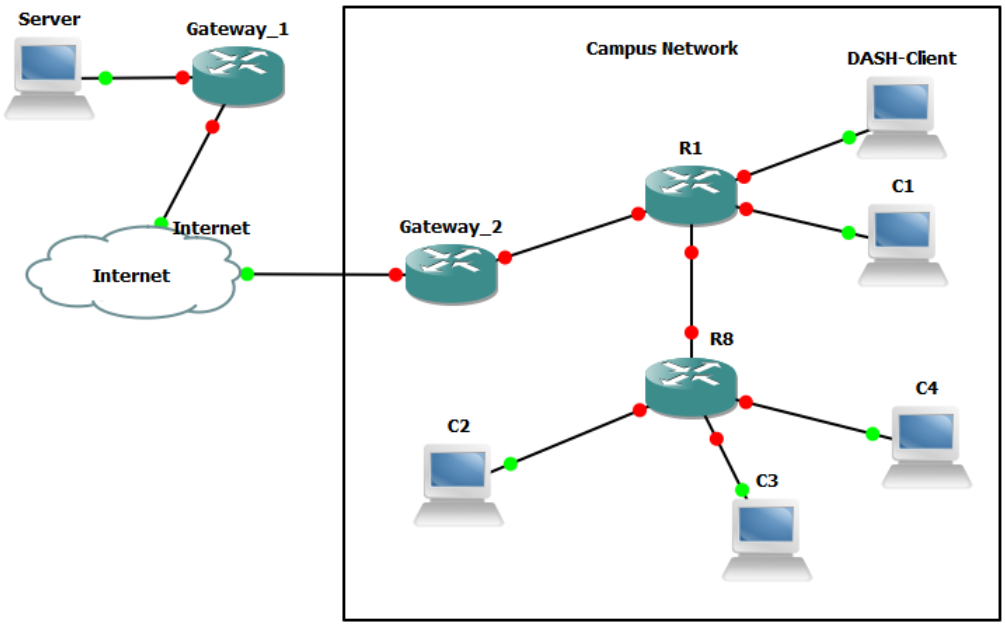
5.3. Problemy i rozwiązania

6. Wdrożenie i testy

– Opis instalacji i uruchamiania programu klienta

– Opis przeprowadzonych testów działania/testów porównawczych

– Pokazanie w jaki sposób skonfigurować sieć lokalną (multicasty) w celu zmniejszenia jej obciążenia przy transmisjach jeden-do-wielu. Tylko klient DASH łączy się do serwera. Pozostałe komputery w sieci kampusowej odbierają transmisję od klienta DASH.



7. Podsumowanie

- Podsumowanie pracy - co się udało, co się nie udało
- Podkreślenie wkładu własnego
- Dalsze możliwości rozwijania pracy

A. Konfiguracja przełącznicy

Poniżej znajduje się konfiguracja przełącznicy wykorzystywanej do testów. Pominięta została konfiguracja interfejsów FastEthernet 3-24 oraz interfejsów GigabitEthernet.

```
!
version 12.2
no service pad
service timestamps debug uptime
service timestamps log uptime
no service password-encryption
!
hostname Switch
!
!
no aaa new-model
ip subnet-zero
!
mls qos aggregate-policer aggpolicer 10000000 8000 exceed-action drop
mls qos
!
no file verify auto
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id
!
!
!
vlan internal allocation policy ascending
!
class-map match-all tcpmap
  match access-group 145
!
```

```
!
policy-map test
  class tcpmap
    police aggregate aggpolicer
!
!
!
interface FastEthernet0/1
 switchport mode dynamic desirable
 service-policy input test
!
interface FastEthernet0/2
 switchport mode dynamic desirable
 service-policy input test
!
interface Vlan1
 no ip address
 shutdown
!
ip classless
ip http server
!
!
!
!
access-list 145 permit tcp any any
!
control-plane
!
!
line con 0
line vty 5 15
!
!
end
```

Bibliografia

[1] Guibin Tian, Yong Liu *Towards Agile and Smooth Video Adaptation in Dynamic HTTP Streaming*. Polytechnic Institute of New York University

[2] Request For Comment 3550: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications

[3] Request For Comment 3551: RTP: RTP Pro

le for Audio and Video Conferences with Minimal Control

[4] Request For Comment 4340: Datagram Congestion Control Protocol

[5] Request For Comment 4341: Profile for Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) Congestion Control ID 2: TCP-like Congestion Control

[6] Request For Comment 5762: RTP and the Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)

[7] Request For Comment 5681: TCP Congestion Control

[8] Request For Comment 5348: TCP Friendly Rate Control (TFRC): Protocol Specification

[9] Request For Comment 793: Transmission Control Protocol

[10] Information technology — Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) Part 1: Media presentation description and segment formats

[11] Request For Comment 2581: TCP Congestion Control

[12] TCP/IP Illustrated, Volume 1, Second Edition Kevin R. Fall, W. Richard Stevens

[13] http://www.microsoft.com/silverlight/smoothstreaming

[14] http://www.adobe.com/pl/products/hds-dynamic-streaming.html

[15] https://developer.apple.com/streaming/

[16] http://traffic.comics.unina.it/software/ITG/

[17] http://dashif.org/mpeg-dash/