JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 1 : 42~52 Jan. 2017

DASH시스템을 위한 유효 대역폭 측정 기법

김동현 · 정종민 · 허준환 · 김종덕*

Effective Bandwidth Measurement for Dynamic Adaptive Streaming over HTTP

Dong Hyun Kim · Jong Min Jung · Jun Hwan Huh · Jong Deok Kim*

School of Computer Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 46241, Korea

요 약

DASH는 네트워크 상황에 따라 클라이언트가 서버에게 멀티미디어 콘텐츠를 요청하고 이를 이용하여 멀티미디어 콘텐츠를 전송하는 적응형 스트리밍 기술이다. 이러한 구조에서 멀티미디어 콘텐츠 사용자에게 최선의 품질을 보장하기 위해서는 정확한 가용 대역폭 측정이 필요하다. 그런데 TCP의 전송 특성을 고려하지 않는 DASH는 이전 미디어 세그먼트 크기에 따라 측정된 가용 대역폭이 다르고 때문에 사용자에게 QoE를 보장하기 어렵다. 본 논문은 TCP Slow start구간을 가용 대역폭 측정에서 배제하여 가용대역폭 측정 오류를 줄이는 새로운 dash대역폭 측정 방법을 제안한다. 제안 방법은 이전 세그먼트 크기에 따라 가용 대역폭 측정의 결과가 달라지는 문제를 해결할 수 있다. 우리가 제안하는 가용 대역폭 측정 방법을 오픈 소스 기반 DASH시스템에서 구현하여 기존 대역폭 측정 방법과 성능을 비교 평가하였다. 성능 평가 결과 제안 방법은 기존 대역폭 측정 방법에 비해 정확도가 20% 향상되었다. 또 평균 세그먼트 서비스 품질, 세그먼트 품질 변경 횟수 등의 측면에서 사용자 QoE가 개선됨을 확인하였다.

ABSTRACT

DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) is an adaptive streaming technique that enables transmission of multimedia content when clients request the multimedia contents to server. In this system, to ensure the best quality of the content to satisfy users, it is necessary to precisely measure the residual bandwidth. However, the measured residual bandwidth by the DASH, which is not considering the transmission features of TCP, varies by the size of previous media segment, which makes it hard to ensure QoE to users. In this paper, we excluded the TCP Slow start range from measurement of residual bandwidth and suggested the new DASH bandwidth measuring method to decrease the error. Then, we realized the method in DASH system based on open source, and compared the existing measuring method. The new method showed that the accuracy of result has increased by 20%. Also, it could improve the QoE of users in terms of service quality and number of changes of segment quality.

키워드 : 방송시스템, DASH, TCP slow start, 대역폭 측정

Key word : Broadcasting System, DASH, TCP slow start, Bandwidth Measurement

Received 18 August 2016, **Revised** 22 August 2016, **Accepted** 09 September 2016

* **Corresponding Author** Jong Deok Kim(E-mail:kimjd@pusan.ac.kr, Tel:+82-51-510-3519
School of Computer Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 46241, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.1.42 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 스마트폰이나 태블릿 PC(Personal Computer), 노트북 등의 멀티미디어 서비스를 받을 수 있는 기기들의 수가 급증함에 따라 멀티미디어 스트리밍 서비스의 수요는 계속하여 증가하고 있다. 이로 인해 현재 멀티미디어 트래픽은 전체 인터넷 트래픽 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

모바일 환경처럼 종단 간 네트워크의 대역폭이 가변적인 환경에서의 멀티미디어 스트리밍은 클라이언트의 가변적인 대역폭 환경을 고려해야한다. 클라이언트의 가용 대역폭에 따라 인터넷 회선의 전송속도가 멀티미디어의 용량을 따라잡지 못해 재생 중에 일시적으로 영상이 멈추는 버퍼링(buffering) 현상을 발생시키거나 재생 가능한 품질보다 낮은 품질의 미디어를 수신하여 사용자의 QoE(Quality of Experience)를 낮출 가능성이 있다.

가변적인 네트워크 상황에 따라 버퍼링을 발생시키지 않는 선에서 가능한 최고 품질의 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 개별 사용자의 네트워크 상황에 따라 미디어 품질을 조절하는 사용자 맞춤형 스트리밍 기술이 필요하다.

DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)는 클라이언트 온 디맨드 방식으로 현재 가용 대역폭에 맞추어 적절한 미디어 품질을 실시간으로 조절하는 적응적 스트리밍 기술이다. DASH는 HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)를 통해 클라이언트가 현재 가용대역폭에서 재생할 수 있는 품질의 멀티미디어 조각(세그먼트)을 실시간으로 요청함으로써 적응적 스트리밍 서비스를 제공한다. 이러한 서비스를 실현하기 위해서는 DASH 클라이언트의 정확한 가용 대역폭 측정이 필수적이다[1].

DASH 오픈 소스 라이브러리인 libdash에서 클라이언트는 이전에 수신한 세그먼트의 평균 전송률로 가용 대역폭을 결정하고 이를 기반으로 다음에 재생될 세그먼트의 품질을 선택하여 요청한다. 하지만 이러한 가용 대역폭 측정은 TCP(Transmission Control Protocol)의 혼잡 제어 특성을 고려하지 않은 방법이다. DASH에서 HTTP를 통한 세그먼트의 수신은 TCP을 사용하여 수신된다. TCP는 혼잡 제어 알고리즘에 따라 TCP 전송 초기에 전송속도를 조금씩 증가시키는 특성이 있다. 우리는 TCP 전송 초기에 발생하는 TCP 전송속도가 혼잡 제어 알고리즘으로 인해 실제 네트워크의 가용 대역폭까지 도달하는 과정을 TCP Max Probing 이라고 부른다. 전송파일의 크기가 충분히 클 경우에는 TCP Max Probing 구간이 전송파일 전송률을 기초로 하는 대역폭 계산에 미치는 영향이 크지 않다. 하지만 DASH에서 사용되는 미디어 세그먼트의 크기는 가용 대역폭 측정 방법에서 TCP Max Probing으로 인한 영향을 무시할 만큼 충분히 크지 않다. 또한, 비디오 품질에 따라 세그먼트의 크기가 다르고 같은 품질의 세그먼트들 간에도 크기가 다양하여 TCP Max Probing 구간이 가용 대역폭 측정에 미치는 영향이 세그먼트의 크기마다 달라져 이전 세그먼트의 크기에 따라 측정되는 가용 대역폭이 달라질 수 있다.

우리는 이러한 현상을 가용 대역폭 측정오류라고 부른다. 수신 파일의 평균 전송률을 기초로 한 가용 대역폭 측정 방법은 TCP Max Probing 구간의 영향으로 인해 클라이언트의 실제 가용 대역폭에 미치지 못할 뿐만 아니라 이전 미디어 세그먼트 크기에 따라 측정되는 가용 대역폭이 달라질 수 있다. 가용 대역폭 측정 오류로 인해 클라이언트의 적절하지 못한 세그먼트 품질의 선택이나, 클라이언트의 실제 가용대역폭이 일정한 경우에도 측정되는 가용 대역폭이 달라져 불필요한 미디어 품질 변경이 발생함으로 인해 사용자의 QoE가 저하될 수 있다.

본 논문에서는 기존 상용 DASH 플레이어에서 쓰이는 가용 대역폭 측정 방법의 문제점을 분석하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 가용 대역폭 측정방법을 제안한다. 제안 방법은 가용 대역폭 계산에서 TCP Max Probing 구간 동안 측정되는 전송률을 배제하여 TCP Max Probing구간으로 인한 가용 대역폭 측정 오류를 최소화하였다. 우리는 제안한 방법을 오픈 소스 기반 DASH 시스템에 적용 및 구현 하고, 기존의 가용 대역폭 측정 방법과 성능을 비교 분석 하였다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 2장에서는 배경지식으로 DASH와 오픈소스 라이브러리인 libdash를 소개하고, DASH에서 세그먼트 선택을 위한 관련연구를 소개한다. 3장에서는 TCP Max Probing의 영향으로 일어나는 기존 대역폭 측정방법의 문제점을 분석한다. 4장에서는 분석한 문제점을 극복하기 위한 제안 방법을 소개한다. 5장에서는 성능 분석을 위해 구축한 오픈 소

스 기반 DASH 시스템을 소개하고 제안한 방법을 시스템에 적용하여 실험 및 기존의 방식과 성능을 분석한다. 6장에서는 논문의 결론을 맺고 앞으로 연구 방향에 대한 설명을 한다.

Ⅱ. 관련연구

2.1. DASH

DASH는 클라이언트가 온디맨드 방식으로 현재 네트워크 환경에 적절한 품질의 미디어를 선택하여 미디어 콘텐츠를 수신하는 적응적 스트리밍 기술이다.

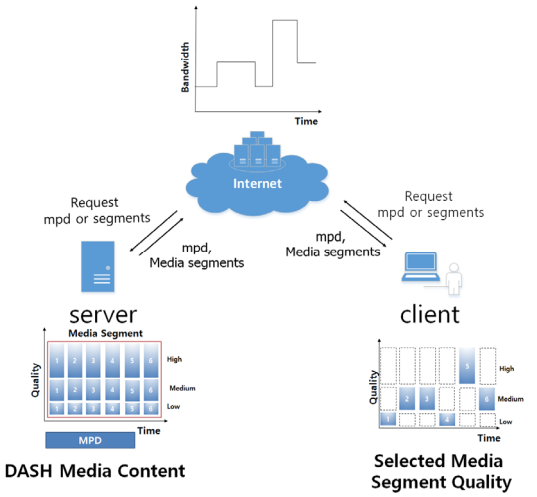

Fig. 1 DASH System Architecture

그림 1은 DASH 시스템의 구조를 나타낸다. DASH 서버는 다양한 품질의 세그먼트들과 세그먼트들의 정보를 가지고 있는 MPD(Media Segment Presentation Description)로 구성되어 있다. DASH 클라이언트는 MPD에 기재된 세그먼트 정보를 바탕으로 현재 네트워크 상황을 판단하여 적절한 품질의 세그먼트를 서버에게 요청한다.

DASH 클라이언트는 미디어 스트리밍 서비스를 받기 위해 먼저, 해당 미디어에 대한 MPD 파일을 HTTP GET 함수를 사용하여 DASH 서버에게 요청한다. DASH 클라이언트는 변화하는 네트워크 대역폭에 따라서 초기에 DASH 서버로부터 수신 받은 MPD 파일을 기반으로 미디어 버퍼링이 발생하지 않는 선에서 재생할 수 있는 최고 품질의 세그먼트를 선택하여 HTTP GET 함수를 사용하여 DASH 서버에게 요청한다. DASH 클라이언트는 실시간으로 장치의 상태나 사용자의 상황에 따라 요청하는 세그먼트의 품질을 조절하며 전체 스트리밍 세션을 통제할 수 있다[2,3].

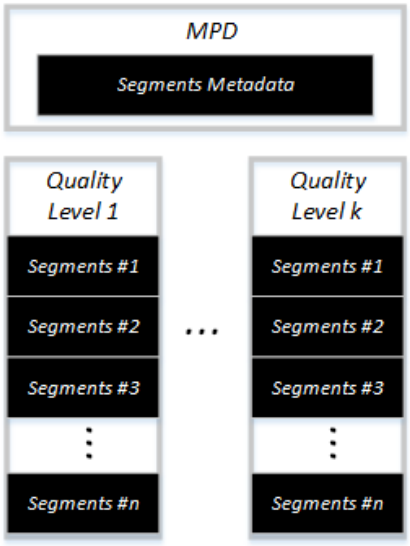

Fig. 2 DASH Dataset

실시간으로 사용자에게 적절한 품질의 스트리밍 서비스를 제공하기 위해 DASH 서버는 두 가지 형태의 파일형식이 필요하다. 하나는 다양한 품질의 미디어 콘텐츠를 짧은 재생시간별로 나눈 세그먼트들과 이 세그먼트들을 표현하는 MPD이다. 그림 2는 DASH 서비스를 위한 두 가지 형태의 파일형식을 나타낸 그림이다. 미디어 콘텐츠는 그림의 Quality level처럼 다양한 품질로 인코딩되어있고 각각의 품질의 미디어 콘텐츠는 세그먼트라는 짧은 재생 시간을 가지는 파일들로 구성되어 있다. MPD에는 클라이언트가 각각의 품질로 제공되는 세그먼트들에 접근하기 위한 메타데이터가 기술되어 있다.

2.2. libdash

libdash는 기본적인 DASH 기능을 제공하는 오픈소스 DASH 라이브러리이다[4]. 아래 그림 3은 libdash 라이브러리의 전체적인 구조를 나타낸 그림이다. 그림

에서 좌측의 서버는 MPEG-DASH(Moving Picture Experts Group-DASH) 표준에 따라 제공되는 여러 품질의 DASH 미디어 세그먼트 파일들과 MPD로 구성된다. 일반적인 구조에서 DASH 서버는 다양한 품질의 세그먼트를 제공한다. libdash기반 DASH 클라이언트는 libdash 라이브러리를 사용하여 초기에 DASH 서버로부터 MPD파일을 수신 받고 처리할 수 있다. 처리된 MPD 정보를 바탕으로 클라이언트는 libdash를 이용하여 각각의 미디어 세그먼트를 다운로드 받을 수 있다.

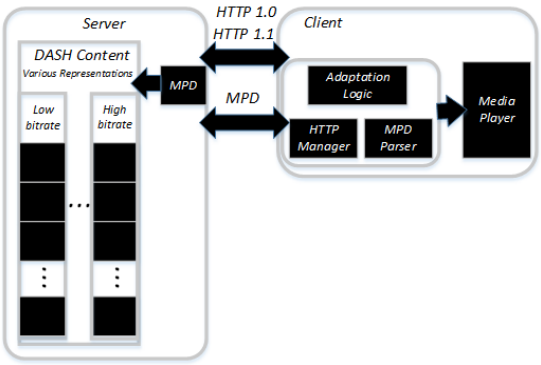

Fig. 3 libdash library structure

libdash는 적응적 스트리밍 서비스를 위한 인터페이스와 MPD파일 처리, HTTP 연결 관련 인터페이스를 제공한다. 또한, DASH 미디어를 재생하기 위한 웹 기반 미디어 재생기를 제공한다. libdash는 이전 세그먼트의 전송률을 기초로 한 대역폭 측정방법을 통해 다음 세그먼트의 품질을 정한다. 매 세그먼트가 수신이 완료될 때마다 측정된 해당 세그먼트 수신 시간과 수신한 세그먼트의 크기로 현재 가용 대역폭을 예측한다[5-7].

$$B = \frac{L}{T} \tag{1}$$

B은 측정된 가용 대역폭,T는 이전 세그먼트 수신시간, L은 수신한 세그먼트의 크기이다. libdash는 측정된 가용 대역폭 B와 MPD에 기재된 세그먼트 품질 별 대역폭을 비교하여 적합한 품질을 선택함으로써 적응적 스트리밍 서비스를 지원한다. 하지만 이러한 방식은 TCP Max Probing 구간의 영향으로 인해 이전 세그먼트의 크기에 따라 측정 대역폭이 달라질 수 있다. 예를 들면 실제 가용 대역폭이 동일한 상황에서 이전 세그먼트의 크기가 비교적 작았을 경우에 측정된 대역폭과 이전 세그먼트의 크기가 비교적 컸을 경우에 측정되는 대역폭의 차이가 있을 수 있다[8-10].

Ⅲ. 기본 대역폭 측정 방법의 문제점

오픈 소스 DASH 라이브러리인 libdash에서는 다음 미디어 세그먼트의 결정을 이전 세그먼트의 전송률을 기초로 한 가용 대역폭을 기준으로 한다. 이러한 방식은 TCP Max Probing 구간을 고려하지 않아 실제 가용 대역폭이 일정함에도 불구하고 세그먼트 크기에 따라 측정되어지는 대역폭이 달라지는 가용 대역폭 측정 오류가 발생 할 수 있다.

3.1. TCP MAX Probing

TCP Max Probing은 TCP의 전송속도가 TCP의 혼잡제어 알고리즘에 따라 TCP 전송 초기에 송신측의 CWND(Congestion Window)의 크기를 늘려 TCP의 전송속도가 실제 가용 대역폭까지 도달하는 과정이다. 그림 4는 TCP의 혼잡제어 알고리즘에 따라 변화하는 송신측의 CWND를 나타낸다. TCP의 혼잡제어는 혼잡 회피 알고리즘 과 Slow Start 알고리즘을 사용하여 이루어진다[11]. TCP Max Probing 구간은 그림에서 TCP Slow Start 구간과 TCP 혼잡 회피 알고리즘으로 인한 CWND 증가 구간을 모두 포함한 구간을 말한다.

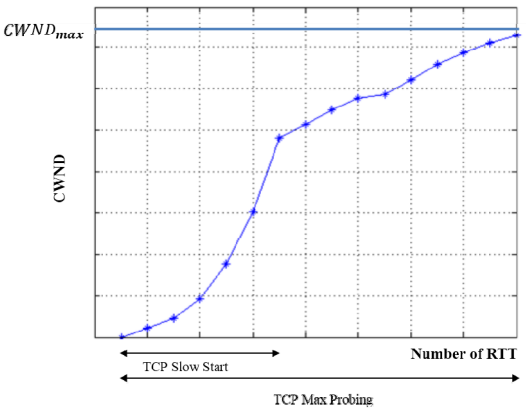

Fig. 4 TCP Max Probing

혼잡 회피 알고리즘은 네트워크의 수용치가 한계가 있을 때 TCP의 효율성을 높이기 위해 사용된다. 송신측이 이전에 보낸 패킷에 대한 ACK(Acknowledgement) 패킷을 수신하면 송신측은 망의 혼잡이 없다고 판단하여 CWND의 크기를 선형적으로 증가시킨다. 반대로 이전 패킷에 대한 ACK 패킷이 일정 시간 안에 송신측에 도달하지 않으면, 이를 망의 혼잡으로 인한 패킷 손실이라고 판단하여 CWND의 크기를 반으로 줄인다. 이 방식을 AIMD (Additive Increase Multiplicative Decrease) 라고 부른다. AIMD 방식은 네트워크 수용량 주변에서는 효율적으로 작동하지만 처음에 전송 속도를 올리는 데 걸리는 시간이 너무 길다는 단점이 있다.

TCP Slow Start 알고리즘은 초기에 TCP 전송속도를 올리는데 걸리는 시간이 너무 길다는 문제점을 해결하기 위한 알고리즘이다. Slow Start 알고리즘에서는 TCP 전송 초기에 송신측이 이전에 보낸 패킷에 대한 ACK 패킷을 받을 때 마다 CWND의 크기를 두 배씩 올려 한 번에 송신하는 데이터의 양을 두 배씩 늘려 보낸다. 다시 말해서, TCP를 사용한 데이터의 전송은 처음부터 최대 가용 대역폭으로 이루어지지 않고 아래 그림 5처럼 데이터 전송속도가 매 RTT(Round Trip Time)단위마다 지수 곱으로 증가하게 된다. 만약 이전 패킷에 대한 ACK 패킷이 송신측에 일정 시간 안에 도착하지 않으면 TCP는 이를 망의 혼잡으로 인한 패킷 손실로 판단하고 CWND의 값을 초기화 하여 망의 혼잡을 최소화하여 충돌을 회피한다. 따라서 TCP 초기 전송속도는 Slow Start 알고리즘에 따라 아래의 그림 5의 그래프처럼 지수 함수 꼴로 증가한다.

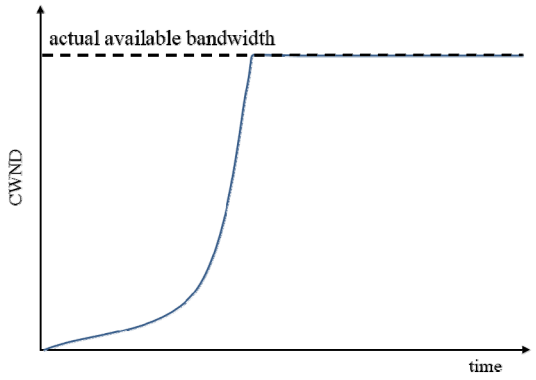

Fig. 5 TCP Slow Start

3.2. DASH 가용 대역폭 측정 오류

TCP를 사용하여 파일 전송을 할 때, TCP의 혼잡제어 알고리즘과 Slow Start 알고리즘으로 인해 TCP 전송 초기에 필연적으로 가용 대역폭에 도달하기까지 일정 시간, 즉 TCP Max Probing 구간이 발생한다.

TCP Max Probing 구간은 일반적으로 대역폭 측정에 큰 문제가 되지 않지만, DASH 시스템에서 사용되는 세그먼트의 크기는 이전세그먼트 전송률을 기초로 한 대역폭 측정에 있어서 TCP Max Probing 구간을 무시할 만큼 크지 않다. DASH 미디어 세그먼트의 크기에 따라 세그먼트 수신에 걸리는 시간에서 TCP Max Probing 구간이 차지하는 비율이 달라진다. 이는 곧 미디어 세그먼트 전송률 계산에서 실제 가용 대역폭과 차이가 커질 수 있다. 우리는 이 현상을 DASH 가용 대역폭 측정 오류라고 부른다.

그림 6은 세그먼트 크기에 따라 측정되는 대역폭을 나타낸다.

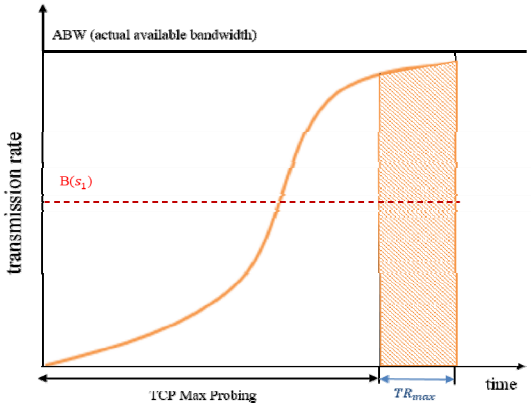

Fig. 6 Bandwidth measurement according to segment size

위의 그림 6에서 ABW(Available Bandwidth)는 시스템의 실제 가용 대역폭을 나타낸다. $TR_{\max}$는 TCP Max Probing 구간 이후에 세그먼트가 수신되는 구간이다. $TR_{\max}$구간에 도달해야만 세그먼트의 전송은 실제 가용 대역폭에 근접한 속도로 이루어질 수 있다. 세그먼트 S_1의 전송률을 기초로 한 측정대역폭 $B(S_1)$은 세그먼트 S_1이 수신되는 동안 변화하는 전송률의 평균으로 계산되어 진다. 이 때 계산되는 $B(S_1)$은 TCP

Max Probing 구간의 전송률을 포함하므로 ABW보다 현저히 낮게 측정이 되는 것을 그림을 통해 확인할 수 있다.

Ⅳ. 제안 알고리즘

DASH는 클라이언트 온디맨드 방식으로 클라이언트가 이전 미디어 세그먼트의 전송률을 기초로 현재 가용 대역폭을 측정하고 적절한 품질의 다음 미디어 세그먼트를 요청하여 서비스 받는 적응형 스트리밍 기술이다. 버퍼링을 발생 시키지 않는 최선의 품질을 얻기 위해서는 정확한 가용 대역폭 측정이 필요하다. 그런데 기존의 DASH 가용 대역폭 측정 방법은 TCP 혼잡 제어 특성을 고려하지 않아 정확도가 떨어진다. 더구나 DASH에서는 미디어 세그먼트 크기가 다양하여 실제 가용 대역폭은 동일해도 이전 미디어 세그먼트 크기에 따라 측정되는 대역폭이 달라지는 문제가 있다. 우리는 이번 장에서 TCP Max Probing 구간으로 인해 세그먼트의 크기에 따라 측정되는 대역폭이 달라지는 가용 대역폭 측정 오류를 해결하기 위한 유효 대역폭 측정 방법을 제안한다.

4.1. 순간 전송률 측정

유효 대역폭 측정을 위해 먼저 세그먼트 수신시 측정되는 순간 전송률 측정이 필요하다.

$$TR_i = \frac{L(i)}{RTT} \qquad (2)$$

수식 2에서 TR_i는 i 번째 RTT(Round Trip Time) 단계에 측정되는 순간 전송률이다. $L(i)$는 i 번째 RTT 동안 수신한 데이터양이다. 세그먼트가 수신되는 동안 매 RTT 시간 마다 수신 받은 데이터양을 측정하여 순간 전송률 TR_i을 계산한다. 여기서 사용하는 RTT는 세그먼트를 요청하는 시점에서 요청한 세그먼트가 수신이 시작되는 시점까지 걸리는 시간을 말한다. 매 세그먼트를 요청할 때 마다 클라이언트는 RTT를 측정하고 측정된 RTT는 순간 전송률 측정 방법에서 사용된다.

4.2. 유효 순간 전송률 추정 알고리즘

TCP Max Probing 구간으로 인해 이전 세그먼트의 크기에 따른 가용 대역폭 측정 오류를 최소화하기 위해서는 TCP Max Probing 구간에 측정된 값을 추려내는 과정이 필요하다. 이번 장에서는 4.1장에서 소개한 순간 전송률 측정 방법을 통해 측정된 TR들의 유효성을 판단하고 추려내기 위한 유효 전송률 추정 알고리즘을 설명한다.

그림 7은 유효 대역폭 측정의 전체적인 개념을 나타낸 그림이다. 그림에서 세그먼트가 수신되는 동안 매 RTT 시간마다 측정되는 TR을 확인할 수 있다. 우리는 제안 방법을 통해 TCP Max Probing 구간이 아닌 구간에서 측정된 순간 전송률을 추려낸다.

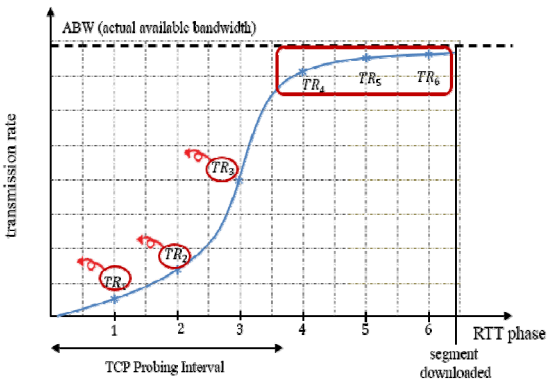

Fig. 7 Concept of available bandwidth measurement

측정된 순간 전송률들 중에서 유효 가용 대역폭 측정을 위해 유효한 순간 전송률을 걸러내는 작업이 필요하다. 유효 순간 전송률 추정 알고리즘에서는 유효 대역폭 계산을 위해 TCP Max Probing 구간에서 측정된 순간 전송률들을 배제하여 실제 가용 대역폭에 근접한 순간 전송률들만 추려낸다. 유효 순간 전송률 추정 알고리즘에서는 측정된 순간 전송률의 변화율을 기반으로 측정된 순간 전송률의 유효성을 판단한다. 다시 말하면, 본 논문에서 제안하는 유효 대역폭 측정 방법은 TCP 혼잡 제어 알고리즘으로 인한 특성인 TCP Max Probing 구간에 의해 발생 하는 DASH 대역폭 측정 오류를 최소화하기 위해 원인이 되는 TCP Max Probing 구간의 측정값들을 배제하여 TCP Max Probing 구간으로 인해 세그먼트 크기에 따라 측정되는 대역폭을 최소화 한다.

$$RC_i = \frac{TR_i}{TR_{i-1}} \quad (3)$$

수식 3에서 RC_i는 이전 순간 전송률과 비교한 TR_i의 변화율이다. 유효 순간 전송률 추정 알고리즘에서는 계산된 변화율을 가지고 해당 순간 전송률이 측정된 시점이 TCP Max Probing 구간 이였는지를 판단한다.

유효 대역폭은 유효 전송률 추정 알고리즘을 통해 유효성이 검증된 순간 전송률들의 평균으로 계산된다.

$$EB = \frac{\sum_{i=0}^{n} ETR_i}{n} \quad (4)$$

수식 4는 유효 대역폭 측정 방법에 대한 수식이다. 수식에서 EB(Effective Bandwidth)는 측정된 유효대역폭, ETR(Effective Transmission Rate)은 유효 전송률 추정 알고리즘으로 유효성이 검증된 유효 전송률이다.

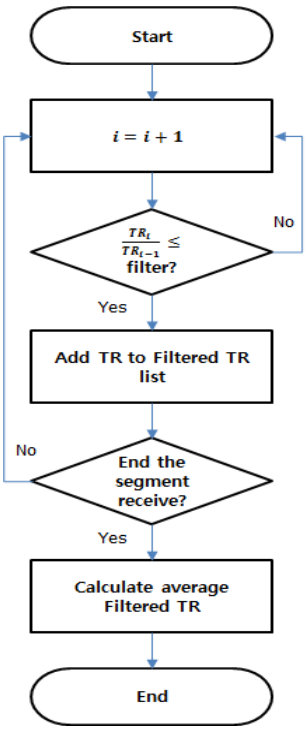

Fig. 8 Estimation algorithm for available transmission rate

그림 8은 유효 전송률 추정 알고리즘의 순서도이다. 이전 세그먼트를 수신하면서 매 RTT시간 마다 순간 전송률 TR_i를 측정한다. 측정된 TR_i와 이전에 측정된 TR_{i-1}으로 전송률의 증가율을 계산한다. 계산되어진 전송률의 증가율이 사전에 정의한 비교 수치보다 높으면 TR_i가 TCP Max Probing 구간에 측정된 값이라고 보고 다음 TR_{i+1}에서 같은 과정을 반복한다. 반대로 계산되어진 전송률의 증가율이 사전에 정의한 비교 수치보다 낮으면 TR_i가 TCP Max Probing 구간이 아닌 가용 대역폭 계산에 유효한 값으로 판단하여 리스트에 추가한다. 위의 과정을 세그먼트의 수신이 종료 될 때까지 반복한다. 세그먼트 수신이 종료된 이후 리스트에 저장된 유효 순간 전송률들의 평균으로 유효 대역폭을 계산한다.

Ⅴ. 실험 및 성능분석

5.1. 성능 평가 지표

DASH 시스템의 성능 평가는 사용자 QoE 측면에서 측정 가용 대역폭의 정확도, 네트워크 효용성, 세그먼트 품질의 변화 수로 그 성능을 평가할 수 있다.

측정 가용 대역폭의 정확도는 DASH 가용 대역폭 측정 알고리즘으로 측정된 대역폭이 실제 가용 대역폭을 제대로 측정하였는지를 수치화한 값이다. 측정 가용 대역폭의 정확도는 실제 환경의 가용 대역폭과 측정된 가용 대역폭의 비로 나타난다.

$$Accuracy = \frac{B_{measured}}{B_{reality}} \quad (5)$$

수식 5에서 $Accuracy$는 측정 가용 대역폭의 정확도이다. $B_{measured}$와 $B_{reality}$는 각각 측정 가용대역폭과 실제 환경의 가용 대역폭이다. DASH 클라이언트가 현재 네트워크 상황에 따라 다음 세그먼트의 품질을 결정하므로 높은 정확도는 곧 DASH 사용자의 QoE를 향상시킬 수 있다.

네트워크 효용성은 선택된 미디어 세그먼트의 품질이 현재 네트워크 환경에서 수용할 수 있는 최고 품질인지를 판단하는 지표이다.

세그먼트 품질 변화 횟수는 DASH 클라이언트에서 미디어가 스트리밍 되는 동안 세그먼트 품질 변화 횟수이다. 미디어 스트리밍 중에 계속적인 품질 변화는 사용자 QoE를 떨어트릴 수 있다.

5.2. 실험 환경

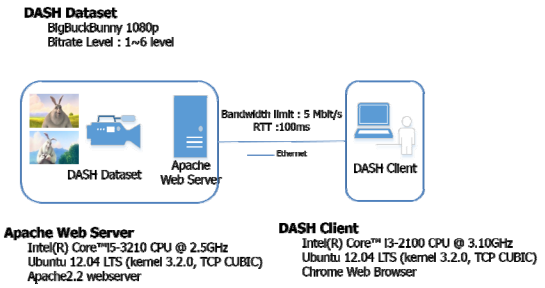

Fig. 9 Experience environment Estimation algorithm for available transmission rate

제안한 유효 대역폭 측정 방법의 성능을 평가하기 위해 그림 9와 같은 실험환경을 구성하였다. DASH 서버는 Apache2로 구축한 웹서버를 사용하였다. DASH 서버의 하드웨어 구성은 다음과 같다. Intel Core(TM) i5-3210 CPU를 사용하는 데스크톱을 사용하였다. DASH 클라이언트는 Intel Core(TM) i3-2100 CPU를 사용하는 노트북으로 실험을 진행하였다. 실험환경의 대역폭은 5Mbps로 제한하였으며 RTT를 100ms로 설정하였다. DASH 클라이언트는 libdash를 사용하여 chrome 웹 페이지로 구현하였다.

Table. 1 Media segment information

Name	Big Buck Bunny
Source Quality	1080p
Length	09:46
Segment Length	2s
Segment Quality (bitrate)	2.5M, 3.0M 4.0M, 5.0M 6.0M, 8.0M
Number of Segment	299

실험 환경에서 사용한 DASH 미디어 세그먼트 정보는 표 1과 같다. ITEC-DASH(Institute of Information Technology-DASH)에서 제공하는 “Big Buck Bunny” 미디어 세그먼트를 사용하였다[12, 13]. 실험에 사용한 미디어 세그먼트는 1080p 품질로 인코딩된 소스를 사용하였다. 각 세그먼트는 2초 단위의 미디어 재생 시간을 가진다. 제공되는 세그먼트의 품질은 2.5M bitrate, 3.0M bitrate, 4.0M bitrate, 5.0M bitrate, 8.0M bitrate으로 모두 6단계의 품질 레벨을 지원한다. 성능을 표현하는 비디오의 품질을 고려하여 Segment 품질은 임의로 6가지로 구분하였다.

5.3. 성능 평가

그림 10은 실험 환경에서 제안한 유효 대역폭 측정 방법을 적용했을 때 DASH 클라이언트가 미디어를 재생하는 동안 측정된 가용 대역폭 측정 결과이다. 실험 환경에서 제안한 방법으로 측정된 유효 대역폭은 평균 4.6Mbps로써 실험 환경의 대역폭이 5Mbps로 제한되었다는 점을 감안할 때 이는 약 92%에 근접한 결과이다.

그림 11은 기존의 대역폭 측정 방법을 적용 했을 때의 대역폭 측정 실험 결과와 제안한 유효 대역폭 측정 방법을 적용 했을 때의 대역폭 측정 실험결과를 비교하여 나타낸 그래프이다. 기존의 대역폭 측정 방법에 비해 측정된 대역폭의 정확성면에서 17%가량 향상된 결과를 보여준다.

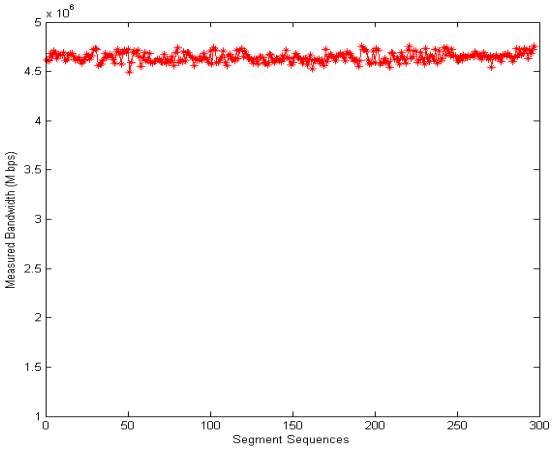

Fig. 10 Result of bandwidth measurement by available bandwidth measurement

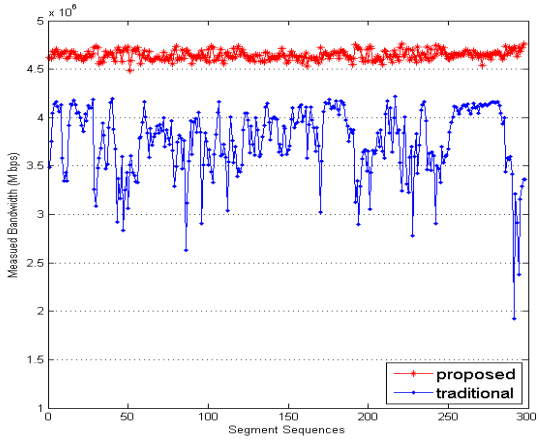

Fig. 11 The comparison of suggested method and existing method - measurement bandwidth

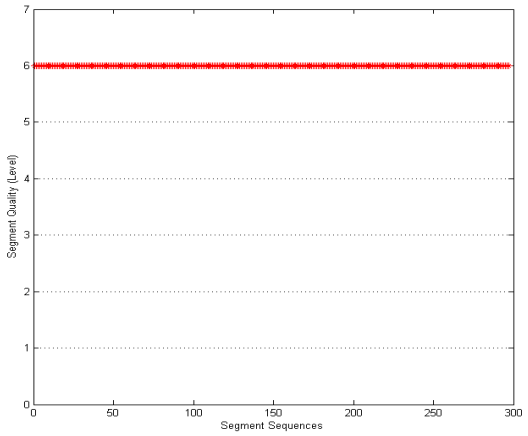

Fig. 12 Selected Segment quality after appling available bandwidth measurement

뿐만 아니라 기존 대역폭 측정 방법을 적용 했을 때의 대역폭 측정 실험 결과는 실험 환경의 실제 가용 대역폭의 변화가 없음에도 불구하고 미디어가 재생되면서 측정되어 지는 대역폭의 변화가 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 미디어 세그먼트의 파일 크기가 균일하지 못해 그에 따라 대역폭 측정 오류가 발생한 결과이다. 그림 11의 결과는 제안한 유효 대역폭 측정 방법은 기존의 대역폭 측정 방법에 비해 가용 대역폭 측정의 정확도가 높아졌음을 보여준다.

그림 12는 실험 환경에서 제안한 유효 대역폭 측정 방법을 적용했을 때 DASH 클라이언트가 미디어를 재생하는 동안 선택된 미디어 세그먼트의 품질을 나타낸다. 실험 환경에서 제안한 유효 대역폭 측정 방법을 통해 선택된 세그먼트의 평균 품질은 6레벨이다. 이 수치는 실험 환경의 실제 가용 대역폭이 5Mbps인 것을 감안했을 때 MPD에 기재된 내용에 근거하여 재생 가능한 최고 수준의 품질이 선택되었음을 알 수 있다.

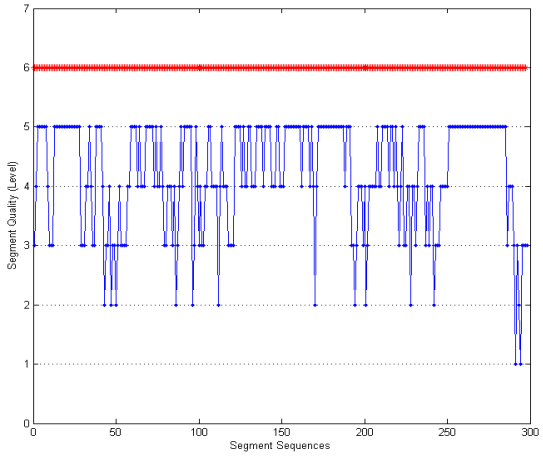

Fig. 13 The comparison of suggested method and existing method - Segment quality

그림 13은 기존의 대역폭 측정 방법을 적용 했을 때 선택되는 세그먼트 품질과 제안한 유효 대역폭 측정 방법을 적용 했을 때 선택되는 세그먼트 품질을 비교하여 나타낸 그래프이다. 기존의 방법에 비해 선택된 세그먼트의 평균품질이 42%가량 향상된 결과를 보여준다. 가용 대역폭 결과가 향상함에 따라 재생되는 미디어의 전체 품질 또한 증가하였다. 뿐만 아니라 가용 대역폭의 측정이 안정적으로 됨에 따라 재생되는 세그먼트의 품질의 변화가 크게 감소했다. 성능평가표는 표 2에 정리하였다.

Table. 2 Performance evaluation table

factor	Traditional method	Proposed method
Average of measured bandwidth (bps)	3.7M	4.6M
Average of selected segment quality (level)	4.3	6
Number of changes in quality (count)	124	0

Ⅵ. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존의 상용 DASH 플레이어에서 다음 세그먼트 선택을 위해 사용하는 가용 대역폭 측정 방법의 문제점을 제기하고 이를 해결하기 위한 새로운 가용 대역폭 측정 방법을 제시하였다. 기존의 상용 DASH 플레이어들이 사용하는 이전 세그먼트의 평균 전송률을 기반으로 하는 가용 대역폭 측정 방법은 TCP Max Probing구간의 영향으로 인해 실제 가용 대역폭이 일정함에도 불구하고 세그먼트의 크기에 따라 측정되는 가용 대역폭이 달라지는 가용 대역폭 측정 오류가 발생할 수 있다. 우리는 이러한 현상이 실제 DASH 시스템에서 미칠 수 있는 영향을 실험을 통해 검증하고 이러한 기존의 가용 대역폭 측정 방법의 문제점을 해결하기 위해 대역폭 측정 과정에서 TCP Max Probing 구간의 측정값을 제안한 알고리즘을 통해 걸러내어 세그먼트 크기에 따른 가용 대역폭 측정 오류를 최소화하는 가용 대역폭 측정 방법을 제안하고, 제안한 유효 대역폭 측정 방법을 오픈 소스 DASH 라이브러리인 libdash을 사용하여 구현하였다.

우리는 실험을 통해 기존방법에 비해 측정된 대역폭과 실제 가용 대역폭과 비교했을 때 17%가량 정확도가 증가함을 확인 할 수 있었다. 그에 따라 재생되는 미디어의 품질이 향상되었으며 불필요한 품질의 변화가 크게 감소함을 확인할 수 있었다.

제안방법은 TCP Max Probing구간으로 인한 세그먼트 크기 차이에 따른 가용 대역폭 측정 오류를 최소화하기 위해 대역폭 측정 과정에서 TCP Max Probing구간의 전송률을 무시하는 방법을 취했다. 하지만 이러한 방법은 무선 환경과 같이 최대 가용 대역폭이 수시로 변화하는 불안정한 환경에서는 제안한 방법으로 선택된 세그먼트를 한정된 시간 안에 수신을 완료하지 못할 수 있다. 즉 다시 말하면 세그먼트의 품질 선택이 현재 상황에 수용하지 못할 만큼의 선택을 할 수 있다. 이러한 현상은 미디어 스트리밍 중에 비디오 버퍼링을 발생시키고 사용자 QoE를 크게 감소시킬 수 있다.

따라서 향후 연구로는 최대 가용 대역폭이 수시로 변화하는 불안정한 환경에서 버퍼링을 발생시키지 않으면서 미디어 세그먼트의 품질 선택의 네트워크 효용성을 최대화 하는 기법을 진행 할 것이다. 또한 본 연구를 진행하면서 우리는 DASH에서 하나의 또 다른 문제점을 발견하였다. DASH 미디어 세그먼트의 크기가 품질에 따라 다양할 뿐만 아니라 동일한 품질에 대해서도 세그먼트에 따라 매우 다양하다는 것이다. 이러한 세그먼트 파일 크기의 다양성은 가용 대역폭 측정과 별개로 다음 세그먼트를 선택할 때 다음 세그먼트의 크기도 고려해야함을 의미한다. 우리는 향후 연구에서 이러한 DASH 미디어 세그먼트의 특성을 고려한 세그먼트 선택 알고리즘에 대한 연구를 진행 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

"This work was supported by a 2-year Research Grant of Pusan National University"

"This work was supported by BK21PLUS, Creative Human Resource Development Program for IT Convergence."

REFERENCES

[1] S. Lederer, et al., "Adaptive streaming over content centric networks in mobile networks using multiple links," in *Proceedings of the Communications Workshops (ICC), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 677-681, 2013.

[2] T. Stockhammer, "Dynamic adaptive streaming over HTTP--: standards and design principles," in *Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems*, pp. 133-144, 2011.

[3] ISO/IEC DIS 23009-1.2, *Information technology — Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) — Part 1: Media presentation description and segment formats*, ISO/IEC, 2012.

[4] C. Mueller, et al., "Demo paper: Libdash-An open source software library for the MPEG-DASH standard," in *Proceedings of the Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 1-2, 2013.

[5] C. Liu, I. Bouazizi, and M. Gabbouj, "Rate adaptation for adaptive HTTP streaming," in *Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems*, pp. 169-174, 2011.

[6] D. Y. Yun, K. S. Chung, and J. P. Hong, "Efficient

Bandwidth Estimation for HTTP adaptive streaming," in *Proceedings of the Information Networking (ICOIN), 2014 International Conference on*, pp. 464-468, 2014.

[7] D. E. Suh, I. S. Jang, and S. H. Pack, "QoE- enhanced adaptation algorithm over DASH for multimedia streaming," in *Proceedings of the Information Networking (ICOIN), 2014 International Conference on*, pp. 497-501, 2014.

[8] Y. H. Kim, J. T. Shin, and J. H. Park, "Design and Implementation of a Network-Adaptive Mechanism for HTTP Video Streaming," *ETRI Journal*, vol. 35, no. 1, pp. 27-34, Feb. 2013.

[9] S. Akhshabi, A. C. Begen, and C. Dovrolis, "An experimental evaluation of rate-adaptation algorithms in adaptive streaming over HTTP," in *Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems*, pp. 157-168, 2011.

[10] H. Riiser, et al., "A comparison of quality scheduling in commercial adaptive http streaming solutions on a 3G network," in *Proceedings of the 4th Workshop on Mobile Video*, pp. 25-30, 2012.

[11] S. T. Ha, I. J. Rhee, and L. S. Xu, "CUBIC: a new TCP-friendly high-speed TCP variant," *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, vol. 42, no. 5, pp 64-74, Jul. 2008.

[12] A. Alexander, et al., "Host-to-host congestion control for TCP," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, no.3, pp. 304-342, THIRD QUARTER 2010.

[13] S. Lederer, C. Müller, and C. Timmerer, "Dynamic adaptive streaming over HTTP dataset," in *Proceedings of the 3rd Multimedia Systems Conference*, pp. 89-94, 2012.

김동현(Dong Hyun Kim)

2013년 8월 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사 졸업.
2013년 11월 ~ 현재 부산대학교 IT기반 융합산업 창의인력양성사업단 박사후연구원
※관심분야 : 이동통신, 멀티미디어 전송, 무선통신망 성능분석

정종민(Jong-Min Jung)

2013년 부산대학교 전기컴퓨터공학과 졸업(학사).
2015년 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 졸업(석사).
2015년 ~ 현재 텔코웨어 재직중
※ 관심분야: 무선 이동 통신, 라우팅, 사물인터넷, 무선 멀티미디어, All IP-based network

허준환(Jun-Hwan Huh)

2015년 부산대학교 전기컴퓨터공학과 졸업(학사).
2015년 ~ 현재 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 통합 과정
※ 관심분야: 무선 이동 통신, 라우팅, LPWAN, 사물인터넷, 무선 멀티미디어

김종덕(Jong-Deok Kim)

1994년 서울대학교 계산통계학과 졸업(학사).
1996년 서울대학교 전산과학과 졸업(석사).
2003년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사).
2004년~현재 부산대학교 전기컴퓨터공학부 교수
※관심분야: 무선통신, 라우팅, 사물인터넷, 무선 멀티미디어 방송 시스템