

HTTP 적응적 스트리밍에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 세그먼트 전송 기법

김희광, 정광수
광운대학교 전자통신공학과
hkkim@cclab.kw.ac.kr, kchung@kw.ac.kr

Segment Scheduling Scheme for Efficient Bandwidth Utilization of UHD Contents Streaming in HTTP Adaptive Streaming

Heekwang Kim, Kwangsue Chung
Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University

요 약

최근 네트워크 기술과 스마트 단말의 보급으로 인해 비디오 스트리밍 서비스에 대한 수요가 증가하게 되었다. 네트워크를 효율적으로 사용하여 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해 적응적으로 전송률을 조절하는 HTTP (HyperText Transfer Protocol) 적응적 스트리밍 서비스가 주목 받게 되었다. UHD (Ultra High Definition) 콘텐츠는 HD (High Definition) 콘텐츠에 비해 적어도 4 배 이상의 크기를 갖기 때문에 끊임 없는 UHD 콘텐츠 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 많은 가용 대역폭이 필요하다. 기존의 HTTP 적응적 스트리밍 방식은 정상 상태 (Steady State)에서 가용 대역폭보다 낮은 품질의 비디오 세그먼트를 일정 시간마다 주기적으로 요청하여 다운로드 받는다. 정상 상태에서는 가용 대역폭과 콘텐츠의 인코딩 율에 차이에 따라 On-Off 구간의 패턴이 반복되어 발생하고, 빈번한 Off 구간에 의해서 대역폭이 낭비되는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 HTTP 적응적 스트리밍에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 세그먼트 전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 Off 구간의 빈도수를 줄이기 위한 집단 세그먼트 전송 방식과 대역폭 낭비를 최소화 하기 위한 세그먼트 품질 조절 기법으로 구성되어 있다.

1. 서론

네트워크 기술과 스마트 단말의 보급으로 인해 비디오 스트리밍 서비스에 대한 수요가 증가하게 되었다. 이에 따라 네트워크 상태 변화에 적응적으로 전송률을 조절하여 사용자 체감 품질을 향상시키는 HTTP (HyperText Transfer Protocol) 적응적 스트리밍 서비스가 주목 받게 되었다. HTTP 적응적 스트리밍 서비스는 서버에 다양한 비트율로 인코딩 된 세그먼트로 구성되어 있고, 클라이언트의 요청에 따라 세그먼트를 전송하는 방식이다. 이 때 클라이언트는 네트워크 가용 대역폭을 측정하고 다음에 요청할 품질을 선택하여 세그먼트를 요청한다 [1].

최근 Youtube 나 Netflix 같은 멀티미디어 스트리밍 업체들은 UHD (Ultra High Definition) 콘텐츠 스트리밍 서비스를 제공하고 있다. UHD 콘텐츠의 특징은 ITU-R BT. 2020 과 SMPTE ST 2036-1 에 명시되어 있다 [2]. UHD 콘텐츠는 데이터의 크기를 줄이기 위해 기존의 HD (High Definition) 콘텐츠에 비해 GoP (Group of Picture)의 길이가 긴 특징을 가지고 있지만, 여전히 HD 콘텐츠에 비해 적어도 4 배 이상의 크기를 갖는다. 따라서 끊임 없는 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 HD 품질에 비해 많은 가용 대역폭이 필요하다.

HTTP 적응적 스트리밍 방식은 네트워크 변화에 반응하기 위해서 클라이언트가 측정된 가용 대역폭 보다 낮은 품질의 비

디오 세그먼트를 지속적으로 요청하여 다운로드 받는다. 기존의 세그먼트 전송 기법은 초기에 대역폭 낭비를 방지하고, 안정적인 버퍼의 양을 유지하기 위해 연속적으로 세그먼트를 요청하는 버퍼링 상태 (Buffering State)로 동작한다. 버퍼가 안정적인 상태가 되면 버퍼의 오버플로우를 방지하기 위해 주기적으로 세그먼트를 요청하는 정상 상태 (Steady State)로 동작한다. 정상 상태에서 가용 대역폭과 콘텐츠의 인코딩 율에 차이에 따라 다운로드 받는 구간 (On)과 버퍼를 소비하는 구간 (Off)으로 On-Off 패턴이 반복되어 발생한다 [3]. Off 구간은 데이터가 전송되지 않는 구간을 나타내며, 낭비된 대역폭을 의미한다. 기존의 세그먼트 전송 방식의 정상 상태에서 콘텐츠를 전송할 경우 서버에 구성된 콘텐츠의 품질과 클라이언트의 품질 조절 기법에 의해 주기적으로 Off 구간이 발생하고 대역폭이 낭비된다. UHD 콘텐츠의 경우 다른 품질의 콘텐츠에 비해 높은 인코딩 율을 갖고 있기 때문에 가용 대역폭에 따라 대역폭 낭비가 심화되는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 HTTP 적응적 스트리밍에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 세그먼트 전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 집단 세그먼트 전송 방식과 집단 세그먼트 품질 조절 기법으로 구성되어 있다. 집단 세그먼트 전송 방식은 한번의 요청 메시지에 여러 세그먼트를 동시에 요청하여 다운로드 받는다. 여러 세그먼트를 연속적으로 받으므로 Off 구간의 발생 빈도를 감소시켜 낭비된 대역폭을 줄인다. 집단 세그먼트 품질 조절 기법은 측정된 가용 대역폭과 버퍼 상태를 이용

하여 한번의 요청 메시지에 요청할 세그먼트의 수와 품질을 결정한다. 요청 세그먼트의 수와 품질은 효율적인 전송을 위해 낭비된 대역폭이 가장 적은 품질을 결정한다.

2. 제안하는 세그먼트 전송 기법

2.1 집단 세그먼트 전송 기법

기존 세그먼트 전송 기법은 그림 1 과 같다. 전송 초기에 안정적인 버퍼 상태를 위해 버퍼링 상태로 동작한다. 버퍼링 상태는 버퍼를 안정적으로 관리하기 위해 빠르게 버퍼를 채우는 단계이다. 따라서 하나의 세그먼트가 다운로드 되면 바로 다음 세그먼트를 요청하여 빠르게 버퍼를 채운다. 버퍼가 일정 임계값에 도달하게 되면 클라이언트는 버퍼 오버플로우를 방지하기 위해 정상 상태로 동작하게 된다. 정상 상태에서는 주기적으로 세그먼트를 요청하고, 기존 기법에서는 세그먼트의 길이마다 다음 세그먼트를 요청한다. 주기적으로 세그먼트를 요청하기 때문에 다운로드 받은 콘텐츠의 품질과 가용 대역폭의 차이에 따라 데이터를 전송하지 않는 Off 구간이 빈번하게 발생한다. Off 구간은 가용 대역폭의 낭비를 의미하며 콘텐츠의 품질과 가용 대역폭의 차이가 클수록 많은 대역폭 낭비가 발생한다.

제안하는 집단 세그먼트 전송 기법은 그림 2 와 같다. 전송 초기에는 기존 기법과 같이 버퍼링 상태로 동작한다. 버퍼가 임계값에 도달하게 되면 클라이언트는 집단 세그먼트 전송 상태로 동작한다. 집단 세그먼트 전송 상태는 요청주기 T초 마다 세그먼트를 집단 단위로 요청한다. 요청 세그먼트 집단의 수와 품질은 가용 대역폭 예측값과 버퍼 상태를 기반으로 대역폭 낭비가 최소화 되는 값을 결정한다. 다수의 세그먼트를 집단 형식으로 요청 함으로서 Off 구간의 빈도를 줄이고, 대역폭 낭비가 최소화 되는 세그먼트의 수와 품질을 결정함으로써 기존 기법에 비해 높은 품질을 요청 할 수 있다.

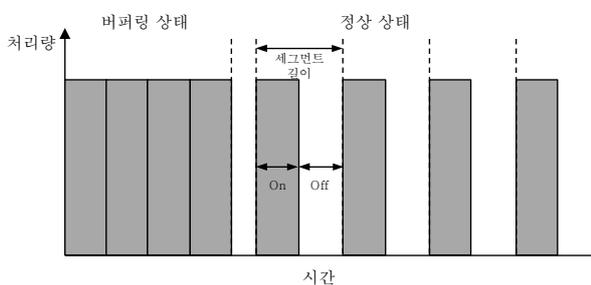


그림 1. 기존 세그먼트 전송 기법

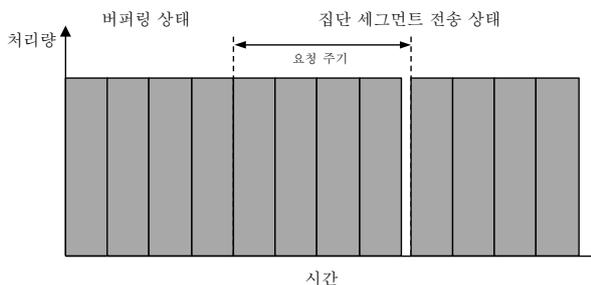


그림 2. 집단 세그먼트 전송 기법

2.2 집단 세그먼트 품질 결정 기법

제안하는 집단 세그먼트 품질 결정 기법은 낭비되는 대역폭을 최소로 하기위한 요청 세그먼트의 수와 품질을 결정한다. 예측 가용 대역폭 $B_{est}[i]$ 는 이전 요청 주기 동안 다운로드 받은 세그먼트들의 정보를 이용하여 식 (1)과 같이 예측한다.

$$B_{est}[i] = \frac{R[i-1] \times \tau \times N[i-1]}{t_{down}} \quad (1)$$

t_{down} 은 이전 요청 주기 동안 다운로드 받는데 소요된 시간, $R[i-1]$ 은 이전에 요청한 콘텐츠의 품질, τ 는 세그먼트 길이, 그리고 $N[i-1]$ 은 이전에 요청한 세그먼트의 수를 의미한다. 전체 세그먼트를 다운로드 받는데 소요된 시간과 다운로드 받은 데이터의 양을 이용하여 가용대역폭을 예측한다. 다음 요청 주기동안 다운로드 할 수 있는 예상 시간 $T_{expect}[i]$ 는 식 (2)와 같이 계산한다.

$$T_{expect}[i] = T - t_{delay}[i-1] \quad (2)$$

t_{delay} 는 다운로드 시간과 요청주기의 차이를 의미한다. 이전 요청에 의해 세그먼트를 다운로드 하는 도중 대역폭이 감소하여 다운로드 시간이 요청 주기보다 길어질 경우 다음 요청주기에서 보상하기 위해 다운로드 시간을 조절한다. 예측한 가용 대역폭과 다운로드 할 수 있는 예상 시간을 이용하여 식 (3)과 같이 가용 다운로드 데이터 크기 $S_{avail}[i]$ 를 예측한다.

$$S_{avail}[i] = B_{est}[i] \times T_{expect}[i] \quad (3)$$

요청 세그먼트의 수 $N[i]$ 의 범위는 버퍼 언더플로우를 방지하기 위해 버퍼 상태 정보와 가용대역폭을 이용하여 식 (4)와 같이 결정한다.

$$N_{th}^{low}[i] \leq N[i] \leq N_{th}^{high}[i] \quad (4)$$

$N_{th}^{low}[i]$ 는 타겟 버퍼 b_{target} 를 유지하기 위한 최소 필요 세그먼트의 수, $N_{th}^{high}[i]$ 는 오버플로우를 방지하기 위해 최대 버퍼 b_{max} 에 도달하기 위해 필요한 세그먼트의 수를 의미한다. $N_{th}^{low}[i]$ 와 $N_{th}^{high}[i]$ 는 식 (5), (6)과 같이 계산한다.

$$N_{th}^{low}[i] = \max\left(\frac{b_{target} - b[i]}{\tau}\right) \quad (5)$$

$$N_{th}^{high}[i] = \frac{(b_{max} - b[i])}{\tau} \quad (6)$$

$b[i]$ 는 현재 버퍼 점유량을 의미한다. 최종적으로 요청 세그먼트의 품질과 요청 세그먼트의 수는 요청 세그먼트의

수의 범위와 콘텐츠의 품질 $R[k]$ 를 이용하여 낭비되는 대역폭이 최소로 되는 값을 결정하고, 식 (7)과 같이 계산한다.

$$(N[i], R[i]) = \operatorname{argmin} (S_{\text{avail}}[i] - R[k] \times \tau \times N[i])$$

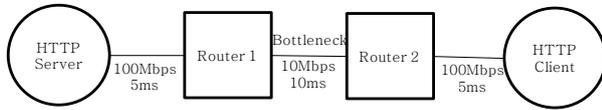


그림 3. 네트워크 환경

3. 실험

제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해 NS-3 (Network Simulator) 네트워크 시뮬레이터로 그림 3 과 같이 실험 환경을 구성하였다. HTTP 서버와 HTTP 클라이언트 사이의 병목 구간은 10 Mbps 의 대역폭으로 구성하였다. 콘텐츠의 품질은 각 품질 간의 인코딩 율의 큰 차이를 나타내기 위하여 700, 1400, 2800, 4500, 그리고 9000 Kbps 로 총 5 개의 품질로 구성하였다. 실험은 총 300 초 동안 진행 하였으며, 비교 세그먼트 전송 기술로는 기존 DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)의 전송기술과 제안기법을 비교하였다. 제안하는 세그먼트 품질 조절 기법의 성능을 평가하기 위해서 비교 품질 조절 기법으로는 처리량 기반의 품질 조절 기법 (Conventional)과 버퍼 기반의 품질 조절 기법 BBA (Buffer Based rate Adaptation) 방식을 이용하여 비교를 진행 하였다. 본 실험에서는 요청 주기 T 를 8 초로 설정 하였으며, 타겟 버퍼 b_{target} 는 20 초, 최대 버퍼의 양 b_{max} 는 30 초로

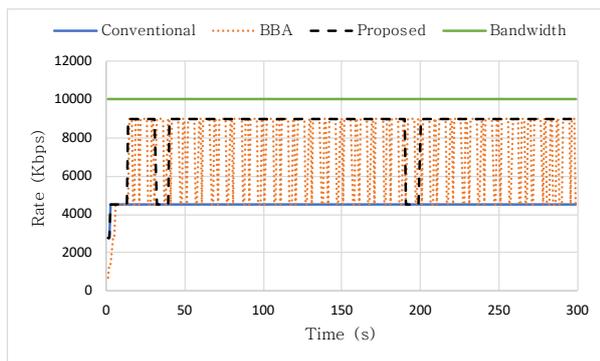


그림 4. 비디오 품질 성능 비교

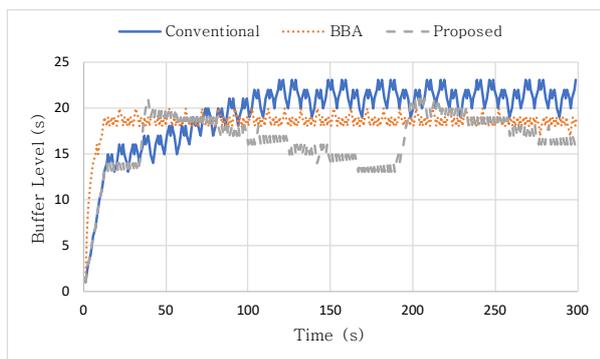


그림 5. 버퍼 점유량 성능 비교

설정하였다.

그림 4 와 그림 5 는 제안 기법과 비교 기법의 요청 품질과 버퍼 점유량을 나타낸다. 처리량 기반의 품질 조절 기법은 정상 상태에서 측정된 가용 대역폭 보다 낮은 품질의 콘텐츠를 주기적으로 요청한다. 따라서 4500 Kbps 의 품질을 주기적으로 요청 하며, Off 구간에 데이터를 전송하지 않기 때문에 평균 비디오 품질이 낮은 것을 확인할 수 있다. 버퍼 기반의 품질 조절 기법은 버퍼 점유량의 고정된 임계값을 기준으로 품질 변경을 한다. 고정된 임계 값에 의해서 4500, 9000 Kbps 의 품질을 요청하며, 빈번한 품질 변경으로 인해 평균 품질은 항상 되었지만 사용자 체감 품질 (Quality of Experience)이 낮아지는 문제가 발생한다. 반면에 제안 기법은 세그먼트 전송 기법에 의해 Off 구간의 빈도수를 감소시켰으며, 품질 조절 기법으로 인해 가용 대역폭의 낭비를 최소화 하는 품질을 결정하였기 때문에 높은 평균 비디오 품질이 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 버퍼 점유량이 낮아 지면 빠르게 낮은 품질로 많은 세그먼트를 다운받기 때문에 버퍼가 안정적으로 유지되는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 HTTP 적응적 스트리밍에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 세그먼트 전송 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 한번의 요청 메시지에 여러 세그먼트를 동시에 전송하는 집단 세그먼트 전송 방식과 낭비된 대역폭이 가장 적은 품질과 세그먼트의 수를 결정하는 집단 세그먼트 품질 조절 기법으로 구성되어 있다. 제안하는 세그먼트 전송 방식은 Off 구간의 빈도를 줄여주고, 제안하는 품질 조절 기법에 의해 낭비된 대역폭을 최소화 하여 효율적으로 데이터를 전송할 수 있다. 또한 버퍼 상태에 따라 요청 세그먼트의 수를 결정함으로써 버퍼를 안정적으로 관리 할 수 있다. 실험을 통해서 기존 기법에 비해 제안 기법이 높은 평균 비디오 품질을 제공하며 안정적인 버퍼를 점유하는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2018 년도 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017-0-00224, UHD 방송콘텐츠 기반 지능형 Dynamic Media 생성, 분배 및 소비 기술 개발)

참고 문헌

- [1] M. Seufert, S. Egger, M. Slanina, T. Zinner, T. Hobfeld, and P. Tran-Gia, "A Survey on Quality of Experience of HTTP Adaptive Streaming," *IEEE Communications Survey and Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 469-492, March 2015.
- [2] ITU-R Recommendation BT. 2020 "Parameter Values for UHD System for Production and International Programme Exchange," August 2012.
- [3] J. Kua, G. Armitage, and P. Branch, "A Survey of Rate Adaptation Techniques for Dynamic Adaptive Streaming over HTTP," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 1842-1866, March 2017.