

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제23권 제6호, 2018년 11월 (JBE Vol. 23, No. 6, November 2018)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.6.813>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

무선 환경에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 세그먼트 스케줄링 기법

김희광^{a)}, 정광수^{a)†}

Segment Scheduling Scheme for Efficient Bandwidth Utilization of UHD Contents Streaming in Wireless Environment

Heekwang Kim^{a)} and Kwangsue Chung^{a)†}

요약

끊김 없는 UHD 콘텐츠 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 많은 가용 대역폭이 필요하다. 기존의 HTTP 적응적 스트리밍 방식은 정상 상태에서 가용 대역폭보다 낮은 품질의 비디오 세그먼트를 주기적으로 요청하여 다운로드 받는다. 정상 상태에서는 가용 대역폭과 콘텐츠의 인코딩 율에 차이에 따라 On-Off 구간의 패턴이 반복되어 발생하고, 반복적인 Off 구간에 의해서 대역폭을 효율적으로 사용하지 못하는 문제점이 있다. 지연과 손실률이 높고 대역폭 변화가 심한 무선 환경에서는 네트워크의 가용대역폭을 부정확하게 측정하기 때문에 문제점이 심화된다. 본 논문에서는 무선 환경에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 HTTP 적응적 스트리밍의 세그먼트 스케줄링 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 Off 구간의 빈도수를 줄이기 위해 한 번의 요청 메시지에 여러 세그먼트를 동시에 요청하는 집단 세그먼트 방식이다. 실험을 통해서 제안하는 기법이 대역폭 이용율을 향상시키는 것을 확인 하였다.

Abstract

UHD content is characterized by higher bandwidth requirements to provide seamless playback. The existing HTTP adaptive streaming scheme periodically requests video segment of lower quality than the available bandwidth in the steady state. In the steady state, the On-Off pattern is repeated due to the difference of the available bandwidth and the encoding rate of the content. And the repeated Off interval is causing the problem that can not efficiently use the available bandwidth. In the wireless environment where the delay and loss rate are higher with large bandwidth fluctuations, this problem is exacerbated because the available bandwidth is estimated inaccurately. Therefore, in this paper, we propose a segment scheduling scheme for efficient bandwidth utilization of UHD contents streaming in wireless environment. Proposed scheme is a group segment that simultaneously requests multiple segments in one request message in order to reduce frequency of Off interval. Through simulation, Our scheme improves bandwidth utilization.

Keyword : Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH), Segment Scheduling, Wireless Network, Video Streaming, UHD Content Streaming

a) 광운대학교 전자통신공학과(Kwangwoon University, Dept. Electronics and Communications Engineering)

† Corresponding Author : 정광수(Kwangsue Chung)

E-mail: kchung@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5134

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0283-0900>

* 이 논문의 연구결과 중 일부는 “한국방송·미디어공학회 2018년 하계학술대회”에서 발표한 바 있음.

* 이 논문은 2018년도 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].

* This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2017-0-00224, Development of generation, distribution and consumption technologies of dynamic media based on UHD broadcasting contents)

· Manuscript received September 21, 2018, Revised November 19, 2018; Accepted October 19, 2018.

1. 서론

최근 네트워크 기술과 모바일 기기의 발달로 인해 비디오 스트리밍 서비스에 대한 수요가 증가하게 되었다. 시스코 (Cisco)에서는 전체 모바일 데이터 트래픽 중에서 비디오 트래픽이 차지하는 비율이 점점 늘어날 것으로 분석하고 있다. 이에 따라 네트워크를 효율적으로 사용하여 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해 적응적으로 전송률을 조절하는 HTTP (HyperText Transfer Protocol) 적응적 스트리밍 방식이 주목받게 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]. 상용화된 HTTP 적응적 스트리밍 서비스로는 Microsoft 의 Smooth Streaming^[2], Apple 의 HTTP Live Streaming^[3], 그리고 Adobe 의 Dynamic Streaming^[4] 이 있다. 다양한 형식의 상용화된 HTTP 적응적 스트리밍 서비스를 통합하기 위해서 MPEG (Moving Picture Experts Group) 에서 DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)라는 명칭으로 표준을 제정하였다^[5]. DASH 시스템을 이용한 상용화 서비스로는 Youtube, Netflix, 그리고 Hulu의 비디오 스트리밍 서비스가 있다^[6]. 각각의 상용화 서비스는 DASH 포맷을 이용하여 전송하지만 각각의 품질 조절 방식을 이용하여 사용자 체감 품질 (Quality of Experience)을 보장하는 서비스를 제공한다^[7].

HTTP 적응적 스트리밍 방식은 서버에 다양한 비트율로 인코딩 된 비디오를 일정 길이의 작은 세그먼트 (Video Segments)로 분할하여 저장한다. HTTP 적응적 스트리밍이 시작되면 클라이언트는 네트워크 가용 대역폭에 따라 품질을 선택하여 HTTP GET 메시지로 비디오 세그먼트를 요청하고 다운로드한다. 전송된 비디오 세그먼트는 클라이언트의 재생 버퍼 (Playout Buffer)에 저장되며, 비디오 세그먼트를 소비하고 다음 비디오 세그먼트를 요청함으로써 비디오 스트리밍 서비스를 수행한다^[8].

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^[9]. UHD 콘텐츠는 데이터의 크기를 줄이기 위해 기존 HD (High Definition) 콘텐츠에 비해 GoP (Group of Picture)의 길이가 긴 특징을 가지고 있지만, 여전히 HD 콘텐츠에 비해 적어도 4배 이상의 크기를 갖는다. 따라서 끊임 없는 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 HD 품질에 비해 많은 가용 대역폭이 필요하다.

기존의 HTTP 적응적 스트리밍 방식은 네트워크 변화에 반응하기 위해서 클라이언트가 측정된 가용 대역폭 보다 낮은 품질의 비디오 세그먼트를 지속적으로 요청하여 다운로드 받는다. 기존의 세그먼트 요청 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 요청하는 콘텐츠의 인코딩 율에 차이에 따라 다운로드 받는 구간 (On)과 다운로드를 받지 않고 버퍼만 소비하는 구간 (Off)으로 On-Off 패턴이 반복되어 발생한다^[10]. Off 구간은 데이터가 전송되지 않는 구간을 나타내며, Off 구간이 길수록 대역폭 이용율이 낮은 것을 의미한다. 기존의 세그먼트 전송 방식의 정상 상태에서 콘텐츠를 전송할 경우 서버에 구성된 콘텐츠의 품질과 클라이언트의 품질 조절 기법에 의해 주기적으로 Off 구간이 발생하게 된다. UHD 콘텐츠의 경우 다른 품질의 콘텐츠에 비해 높은 인코딩 율을 갖고 있기 때문에 가용 대역폭에 따라 대역폭 낭비가 심화되는 문제점을 가지고 있다.

무선 환경에서의 HTTP 적응적 스트리밍은 불필요한 품질 변경과 재생 끊김으로 인해 사용자 체감 품질이 저하되는 문제가 있다^[11]. 무선 환경에서는 클라이언트 간의 간섭과 페이딩 현상으로 인해 높은 지연과 손실이 발생하며, 네트워크 가용 대역폭이 빈번하고 급격하게 변한다. 지연과 손실이 높기 때문에 세그먼트 다운로드 시간의 변화로 인해 가용 대역폭을 정확하게 측정하기 어렵고, 대역폭이 빈번하고 급격하게 변하기 때문에 순간적인 네트워크의 변화에 따라 가용 대역폭을 잘못 측정한다. 따라서 잘못 측정된 대역폭을 이용해서 품질을 선택 할 경우 빈번한 품질 변화를 유발하며, 낮은 품질 선택으로 인한 Off 구간의 증

가로 대역폭 이용율이 낮아지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 무선 환경에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 세그먼트 스케줄링 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 집단 세그먼트 스케줄링 방식과 집단 세그먼트 품질 조절 기법으로 구성되어 있다. 집단 세그먼트 스케줄링 방식은 한 번의 요청 메시지에 여러 세그먼트를 동시에 요청하여 다운로드 받는다. 여러 세그먼트를 연속적으로 받음으로서 Off 구간의 발생 빈도를 감소시켜 대역폭 이용율을 향상시키는 것을 목적으로 한다. 집단 세그먼트 품질 조절 기법은 측정된 가용 대역폭과 버퍼 상태를 이용하여 한 번의 요청 메시지에 요청할 세그먼트의 수와 품질을 결정한다. 요청 세그먼트의 개수와 품질은 효율적인 전송을 위해 대역폭 이용율을 최대한으로 할 수 있는 품질을 결정한다.

II. 관련이론

1. HTTP 적응적 스트리밍

기존 비디오 스트리밍 서비스에서는 RTP (Real-time

Transport Protocol)와 RTCP (Real-time Transport Control Protocol)가 주로 사용되었다. RTP는 네트워크를 통해 비디오나 오디오 같은 실시간 데이터를 전송하는 기능을 제공한다. RTCP는 데이터의 전달 상황을 감시하며 제어 기능과 매체 식별 기능을 제공한다. 그러나 RTP는 UDP(User Datagram Protocol)를 기반으로 동작하기 때문에 방화벽이나 NAT(Network Address Translator)에 의해 서비스가 제한을 받는 문제점이 있다. 이러한 문제의 해결 방법으로 HTTP 기반의 적응적 스트리밍 기술이 주목 받고 있다. HTTP 적응적 스트리밍 시스템의 구조는 그림 1과 같다.

HTTP 서버는 비디오 세그먼트 (Media segments), 콘텐츠 정보 (Manifest file), 그리고 웹 동작 모듈 (HTTP module)로 구성되어 있다. 비디오 세그먼트는 다양한 비트율과 일정한 길이의 세그먼트로 분할되어 저장되어 있고, 각 세그먼트는 URI (Uniform Resource Identifier) 주소를 가지고 있다. 콘텐츠 정보는 비디오 콘텐츠의 특성 및 정보를 기술한 파일이다. 콘텐츠 정보는 다수의 Period로 구성되어 있으며, 하나의 Period는 비디오와 오디오를 구분하는 Adaptation Set이 구성되어 있다. 하나의 Adaptation Set은 영상에 대한 비트율, 해상도, 그리고 프레임율에 대한 정보가 명시되어 있는 여러 개의 Representation으로 구성되어

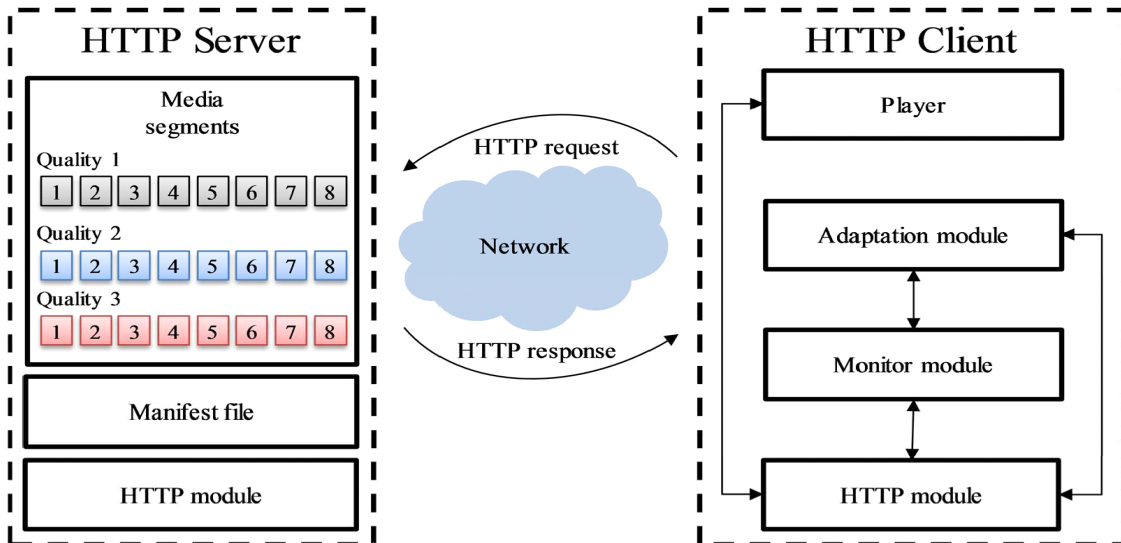


그림 1. HTTP 적응적 스트리밍 시스템의 구조
 Fig. 1. Architecture of HTTP adaptive streaming system

있다. 하나의 Representation은 여러 개의 Segment Info로 구성되어 있으며, Segment Info에는 해당 세그먼트의 재생 시간, URI 주소가 기술되어있다. 웹 동작 모듈은 HTTP 프로토콜을 이용하여 클라이언트의 요청에 따라 비디오 세그먼트를 전송한다.

HTTP 클라이언트는 미디어 플레이어 (Player), 품질조절 모듈 (Adaptation module), 네트워크 상태 측정 모듈 (Monitor module), 그리고 웹 동작 모듈 (HTTP module)로 구성되어 있다.

네트워크 상태 측정 모듈은 각 비디오 세그먼트를 다운로드 받는 동안의 처리량을 예측한다. 품질 조절 모듈은 예측된 처리량과 서버로부터 수신한 콘텐츠 정보를 분석하여 네트워크 상태에 적합한 품질을 선택한다. 웹 동작 모듈은 선택된 품질의 미디어 콘텐츠를 HTTP GET 메시지를 이용하여 서버에 요청하고 해당하는 비디오 세그먼트를 다운로드 받아서 재생 버퍼에 저장한다. 미디어 플레이어는 재생버퍼에 저장된 비디오 세그먼트를 재생한다.

2. 세그먼트 스케줄링 기법

HTTP 적응적 스트리밍은 대역폭 낭비를 방지하고 안정적으로 버퍼를 관리하기 위하여 버퍼링 상태와 정상 상태로 동작한다. 그림 2는 기존 HTTP 적응적 스트리밍 서비스의 세그먼트 요청 기법을 나타낸다.

비디오 스트리밍 초기에는 버퍼링 상태 (Buffering State)로 동작하며, 안정적으로 버퍼를 채우기 위해 버퍼 점유량

이 임계값에 도달하기 전까지 클라이언트는 세그먼트를 연속적으로 요청한다. 버퍼가 임계값에 도달한 후에는 버퍼 오버플로우를 방지하기 위해 주기적으로 세그먼트 길이 (Segment duration)마다 요청하는 정상 상태 (Steady State)로 동작한다. 정상 상태에서 가용 대역폭과 요청하는 콘텐츠의 인코딩 율에 차이에 따라 다운로드 받는 구간 (On)과 다운로드를 받지 않고 버퍼만 소비하는 구간 (Off)으로 On-Off 패턴이 반복되어 발생한다. Off 구간은 데이터가 전송되지 않는 구간을 나타내며, 기존의 세그먼트 스케줄링 방식의 정상 상태에서 콘텐츠를 전송할 경우 서버에 구성된 콘텐츠의 품질과 클라이언트의 품질 조절 기법에 의해 주기적으로 Off 구간이 발생하게 된다. On 구간에서는 세그먼트 처리량을 이용해서 대역폭 예측이 가능하며 Off 구간에서는 데이터 전송이 발생하지 않기 때문에 대역폭 예측이 불가능 하다^[12].

3. 무선 환경에서의 품질 조절 기법

그림 3은 무선 환경에서의 처리량 기반의 품질 조절 기법의 성능을 나타낸다. 기존의 HTTP 적응적 스트리밍은 수신한 세그먼트의 데이터양과 다운로드 시간을 이용해서 대역폭을 예측한다. 세그먼트 처리량은 세그먼트를 다운로드 하는 동안의 평균 처리량을 의미한다. 평균 처리량은 무선 환경에서 발생하는 빈번하고 급격한 네트워크 변화를 반영하지 못하기 때문에 실제 가용 대역폭과 차이가 발생한다. 가용 대역폭이 실제보다 높게 예측될 경우 높은 품질의 세

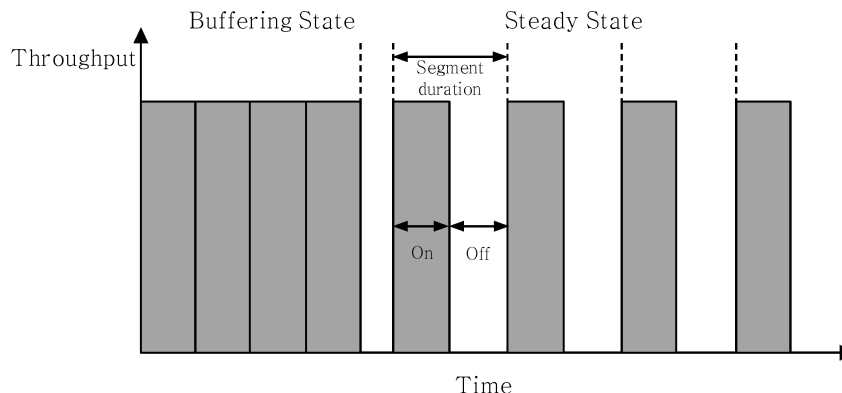


그림 2. HTTP 적응적 스트리밍 서비스의 세그먼트 스케줄링 기법
Fig. 2. Segment scheduling scheme of HTTP adaptive streaming system

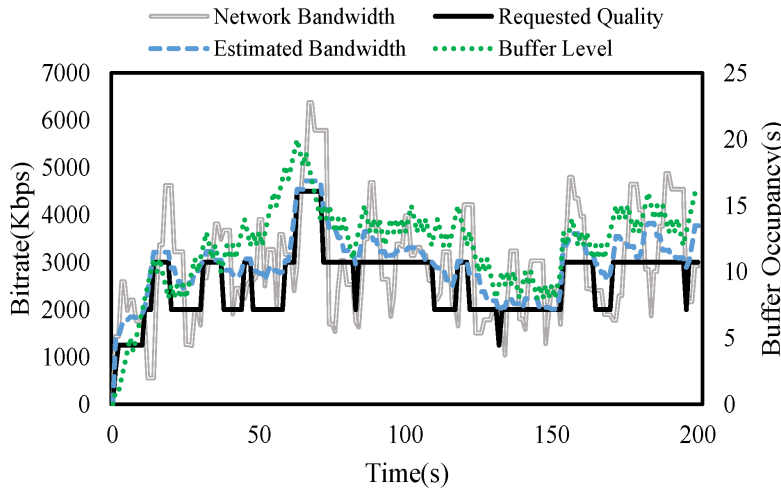


그림 3. 무선 환경에서의 처리량 기반 품질 조절 기법의 성능
 Fig. 3. Performance of quality adaptation scheme based on throughput in wireless environment

그먼트를 요청하기 때문에 Off 구간은 발생하지 않아 대역폭 이용을 재생 끊김이 발생한다. 반면에 가용 대역폭이 낮게 측정될 경우 낮은 품질을 요청하기 때문에 평균 비디오 품질이 저하되고 긴 Off 구간에 의해 대역폭 이용률이 낮아진다. 또한, 무선 환경에서 대역폭의 빈번한 변화에 따라 요청 품질이 빈번하게 변하면서 사용자 체감 품질을 저하시킨다.

이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 품질 적응 기법들이 제안되었다. 대표적인 처리량 기반의 품질 조절 기법으로는 EWMA (Exponential Weighted Moving Average)를 이용해서 가용 대역폭을 예측하는 Conventional 기법이 있다^[13]. EWMA는 과거의 처리량과 현재 측정된 처리량을 이용하여 예측하는 기법으로서 무선 환경에서의 노이즈와 대역폭의 급격한 변화로 인한 측정 오차를 최소화하는 가용 대역폭 예측기법이다. 처리량 기반의 품질 적응 기법은 EWMA를 이용해서 불필요한 품질 변화문제를 해결하였지만, 가용 대역폭보다 낮은 품질을 요청하기 때문에 평균 품질이 낮고 대역폭 이용률이 낮은 문제가 있다.

BBA (Buffer-Based Rate Adaptation)는 버퍼 기반의 품질 조절 기법으로 가용 대역폭을 측정하지 않고 버퍼 상태에 따라 품질 조절을 수행하는 기법이다^[14]. BBA는 버퍼 점유량이 높을 경우 높은 품질을 요청한다. 그러나, 고정된 임계값을 사용하기 때문에 버퍼 점유량이 임계값 근처에서

변할 경우 불필요하게 품질을 변경한다.

III. 제안하는 세그먼트 스케줄링 기법

1. 집단 세그먼트 스케줄링 기법

제안하는 집단 세그먼트 스케줄링 기법은 그림 4와 같다. 전송 초기에는 기존 기법과 같이 버퍼를 빠르게 채우기 위해 버퍼링 상태 (Buffering State)로 동작한다. 버퍼가 임계값에 도달하게 되면 클라이언트는 집단 세그먼트 전송 상태 (Collective State)로 동작한다. 집단 세그먼트 스케줄링 상태는 Off 구간의 빈도수를 줄이기 위해 요청 주기 (Request interval) T초 마다 세그먼트를 집단 단위로 요청한다. 요청 주기가 길면 Off 구간의 빈도수가 줄고 다운로드 받을 수 있는 데이터의 양이 많기 때문에 평균 비디오 품질과 대역폭 이용률을 향상시키는 장점이 있지만 네트워크 대역폭의 급격한 변화에 반응성이 낮은 문제점을 가지고 있다. 반면에 요청 주기가 짧으면 Off 구간의 빈도수가 늘어나고 다운로드 데이터의 양이 적기 때문에 평균 비디오 품질과 대역폭 이용률이 저하되지만, 네트워크 변화에 대한 반응성이 향상되는 장점을 가지고 있다. 요청 집단 세그먼트의 양과 품질은 가용 대역폭 예측 값과 버퍼 상태를 기반으로

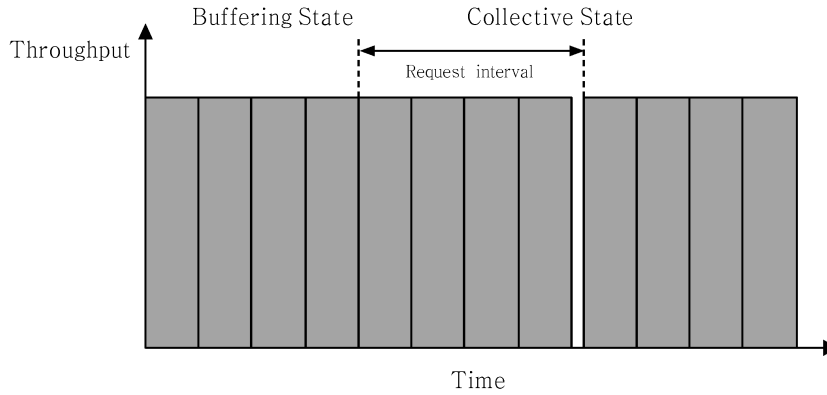


그림 4. 제안하는 세그먼트 스케줄링 기법
Fig. 4. Proposed segment scheduling scheme

대역폭 이용율이 최대가 되는 값을 결정한다. 다수의 세그먼트를 집단 형식으로 요청함으로써 Off 구간의 빈도수를 줄이고, 가용 대역폭과 버퍼 점유량을 기반으로 대역폭 이용율이 최대가 되는 세그먼트의 수와 품질을 결정함으로써 기존 기법에 비해 높은 품질을 요청할 수 있다.

2. 집단 세그먼트 품질 결정 기법

제안하는 집단 세그먼트 품질 결정 기법은 대역폭 이용율을 최대로 하고 안정적으로 버퍼를 유지할 수 있는 요청 세그먼트의 양과 품질을 결정한다. 예측 가용 대역폭 $B_{est}[i]$ 는 무선 환경의 빈번한 품질 변경을 방지하기 위해 이전 요청 주기 동안 다운로드 받은 세그먼트의 집단 세그먼트 처리량과 각 세그먼트의 처리량을 이용하여 식 (1)과 같이 예측한다.

$$B_{est}[i] = (1 - \alpha)B_{group}[i-1] + \alpha B_{instant}[i-1] \quad (1)$$

B_{group} 은 전체 집단 세그먼트를 다운로드 받을 때의 처리량으로써 식 (2)와 같이 나타내고, $B_{instant}$ 는 요청 주기 동안 다운받은 각각의 세그먼트의 처리량을 의미하며 식 (3)과 같이 나타내고, 그리고 α 는 집단 세그먼트의 처리량과 세그먼트 처리량을 얼마만큼 반영할 것인지를 결정하는 평활화 계수이다. 집단 세그먼트 처리량은 요청 주기 동안 다운로드 받은 전체 데이터양과 전체 다운로드 시간을 이용하여 예측하는 요청 주기 동안의 평균 처리량을 의미한다.

전체 요청 주기 동안의 평균 처리량을 측정함으로써 무선 환경에서의 빈번하고 급격하게 변하는 가용 대역폭을 평활화 한다. 세그먼트 처리량은 네트워크 상태의 변동성을 반영한 처리량으로서 각 세그먼트의 데이터양과 세그먼트를 다운로드 하는데 걸리는 시간을 이용하여 측정하며 EWMA 방식을 이용하여 평활화 하였다. 세그먼트 처리량은 네트워크 전체 가용 대역폭의 급격한 감소 혹은 증가하는 환경에 빠르게 적응하기 위해서 예측한다. 제안하는 예측 가용 대역폭은 무선 환경에서 발생할 수 있는 노이즈와 측정 오차를 줄이기 위한 집단 세그먼트 처리량과 네트워크 반응성을 향상시키기 위한 세그먼트 처리량을 동시에 반영하여 가용 대역폭을 예측하였다.

$$B_{group}[i] = \frac{R[i-1] \times \tau \times N[i-1]}{t_{total}} \quad (2)$$

$R[i-1]$ 은 이전에 요청한 비디오 품질, τ 는 세그먼트 길이, $N[i-1]$ 는 이전에 요청한 집단 세그먼트의 양, 그리고 t 은 전체 집단 세그먼트를 다운로드 하는데 소요된 시간을 의미한다.

$$B_{seg}[i-1, j] = \frac{R[i-1] \times \tau}{t_{seg}[j]} \quad (3)$$

$$B_{instant}[i] = (1 - \beta)B_{seg}[i-1, j-1] + \beta B_{seg}[i-1, j]$$

$t_{seg}[j]$ 는 이전 요청 주기에서 다운로드한 j 번째 세그먼트의 다운로드 하는데 소요된 시간, 그리고 $B_{seg}[i-1, j]$ 는

이전 요청주기에서 j 번째 세그먼트의 세그먼트 처리량을 의미한다. EWMA 방식을 이용하여 평활화한 요청 주기의 세그먼트 처리량 $B_{instant}$ 은 평활화 계수 β 를 이용하여 결정한다. EWMA에서 β 는 네트워크의 안정성을 향상시키기 위하여 일반적으로 0.1의 값을 이용한다.

네트워크 상태의 변화에 따라 이전에 요청한 집단 세그먼트들을 요청 주기 내에 모두 수신하지 못했을 경우 지연된 시간 $t_d[i-1]$ 을 반영하여 다음 요청 주기 시간 $T_{expect}[i]$ 를 조절하며 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$T_{expect}[i] = T - t_d[i-1] \quad (4)$$

다음 요청 주기 시간 $T_{expect}[i]$ 는 다음 요청에 다운로드 가능한 시간을 의미하며, 예측한 가용대역폭을 이용하여 식 (5)와 같이 다음 요청 주기 동안 다운로드 할 수 있는 가용 다운로드 데이터 크기 $S_{avail}[i]$ 를 예측한다. 가용 다운로드 데이터의 크기는 다음 요청 주기에 요청할 집단 세그먼트의 양과 품질을 결정하는 수식에서 사용된다.

$$S_{avail}[i] = B_{est}[i] \times T_{expect}[i] \quad (5)$$

집단 요청 세그먼트의 양 $N[i]$ 의 범위는 버퍼 언더플로우와 오버플로우를 방지하기 위해 버퍼 점유량을 이용하여 식 (6)과 같이 결정한다. 요청 주기 동안 다운받을 집단 요청 세그먼트의 양이 적으면 높은 품질의 세그먼트를 요청할 수 있는 반면에 버퍼 소비량보다 충전량이 적어 버퍼 언더플로우가 발생하는 문제점이 있다. 집단 요청 세그먼트의 양이 많으면 가용 다운로드 데이터의 크기는 한정되기 때문에 버퍼는 안정적으로 유지할 수 있지만 평균 품질이 저하되는 문제점이 있다.

$$N_{th}^{low}[i] \leq N[i] \leq N_{th}^{high}[i] \quad (6)$$

$N_{th}^{low}[i]$ 는 버퍼 언더플로우를 방지하기 위해 타겟 버퍼 b_{target} 를 유지하기 위한 최소 필요 세그먼트의 수, 그리고 $N_{th}^{high}[i]$ 는 버퍼 오버플로우를 방지하기 위해 최대 버퍼의 양 b_{max} 에 도달하기 위해 필요한 세그먼트의 수를 의미한다.

다. $N_{th}^{low}[i]$ 와 $N_{th}^{high}[i]$ 는 식 (7), (8)과 같이 결정한다.

$$N_{th}^{low}[i] = \max\left(\frac{b_{target} - b[i] + T_{expect}[i]}{\tau}, 2\right) \quad (7)$$

$$N_{th}^{high}[i] = \frac{b_{max} - b[i]}{\tau} \quad (8)$$

$b[i]$ 는 현재 버퍼 점유량을 의미한다. 최종적으로 다음 요청 주기에 요청할 집단 세그먼트의 양과 품질은 안정적인 버퍼 관리를 위한 세그먼트의 양의 범위와 서버에 저장된 비디오의 품질을 이용하여 대역폭 이용율을 최대화 하는 값을 식 (9)같이 결정한다.

$$(N[i], R[i]) = \arg \min (S_{avail}[i] - R[k] \times \tau \times N[l]) \quad (9)$$

IV. 실험

1. 실험 환경

제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해 NS-3 (Network Simulator) 네트워크 시뮬레이터로 그림 5와 같이 실험 환경을 구성하였다. AP (Access Point)와 HTTP 서버 사이의 유선 구간의 가용 대역폭은 무선 구간을 병목 구간으로 설정하기 위하여 100 Mbps의 대역폭으로 구성하였으며 클라이언트와 AP 사이의 무선 구간의 가용 대역폭은 20 Mbps의 대역폭으로 구성하였다. 콘텐츠의 품질은 각 품질 간의 인코딩 율의 큰 차이를 나타내기 위하여 700, 1400, 2800, 4500, 9000 Kbps, 그리고 UHD 콘텐츠로 18000Kbps 로 총 6개의 품질로 구성하였다. 실험은 총 300 초 동안 진행하였으며, 비교 세그먼트 스케줄링 기술로는 기존 DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)의 전송 기술과 제안 기법을 비교하였다. 제안하는 집단 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 비교하였다. Conventional과 BBA 방식은 기존 DASH의 세그먼트 스케줄링 기술을 적용하였고, 제안

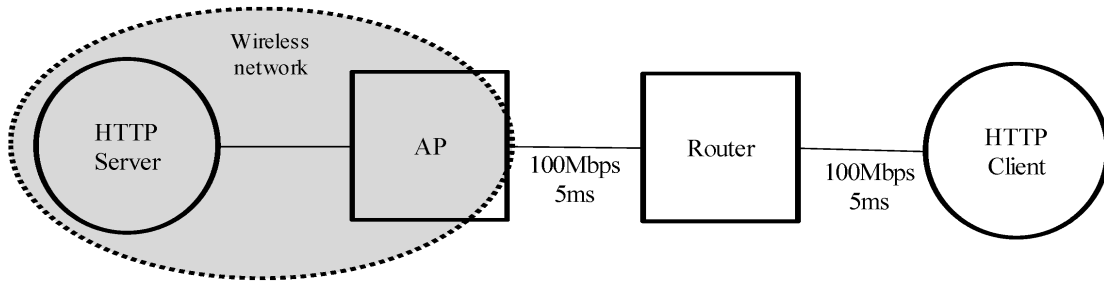


그림 5. 시뮬레이션 환경
Fig. 5. Simulation environment

기법 (Proposed)은 집단 세그먼트 스케줄링 기법을 적용하였다. 본 실험에서는 요청 주기 T 를 8초로 설정 하였으며, 타겟 버퍼 b_{target} 는 20초, 최대 버퍼의 양 b_{max} 는 30초, 집단 세그먼트 처리량과 세그먼트 처리량의 반영 비율 α 는 0.5, 세그먼트 처리량의 평활화 계수 β 는 0.1로 설정하였다.

2. 무선 환경에서 가용 대역폭 측정 성능 비교

그림 6은 기존 DASH에서 사용하는 가용대역폭 측정 기법 EWMA 방식과 제안기법의 가용대역폭 측정 방식의 예측 처리량을 나타낸다. EWMA는 각 세그먼트를 다운로드 할 때마다 수신한 데이터의 크기와 다운로드 시간을 이용해서 예측한다. 대역폭 반영률인 평활화 계수가 0.1로 고정되어 있기 때문에 대역폭이 빈번하고 급격하게 변동하면 평활화된 대역폭도 큰 폭으로 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 반면에 제안하는 대역폭 예측 기법은 요청 주기 (8초)

동안의 전체 다운로드 데이터와 다운로드 시간을 이용하여 평활화 된 평균 가용 대역폭과 각 세그먼트의 세그먼트 처리량을 동시에 반영하여 기존 기법에 비해 변동 폭이 적어 안정적인 가용대역폭을 예측 하는 것을 확인할 수 있다. 기존 EWMA에 비해 제안기법의 가용 대역폭이 높게 측정되는 이유는 집단 세그먼트 스케줄링으로 인해 요청 시간에 의한 처리량 손실이 발생하지 않기 때문이다. 기존 세그먼트 처리량 예측 방식에 사용되는 다운로드 시간은 클라이언트가 요청 메시지를 서버에 전송한 시간부터 다운로드가 완료된 시간을 의미한다. 실제적으로 데이터가 전송되는 시간은 서버가 클라이언트의 요청 메시지를 수신한 후 클라이언트에게 세그먼트 데이터를 전송한다. 따라서 클라이언트에서 전송되는 요청이 서버에게 전달되기까지의 시간 동안 데이터를 전송하지 않기 때문에 기존 EWMA 방식은 실제 가용대역폭보다 낮게 측정된다. 제안기법은 한 번의 요청에 다수의 세그먼트를 전송 받기 때문에 요청 시간에

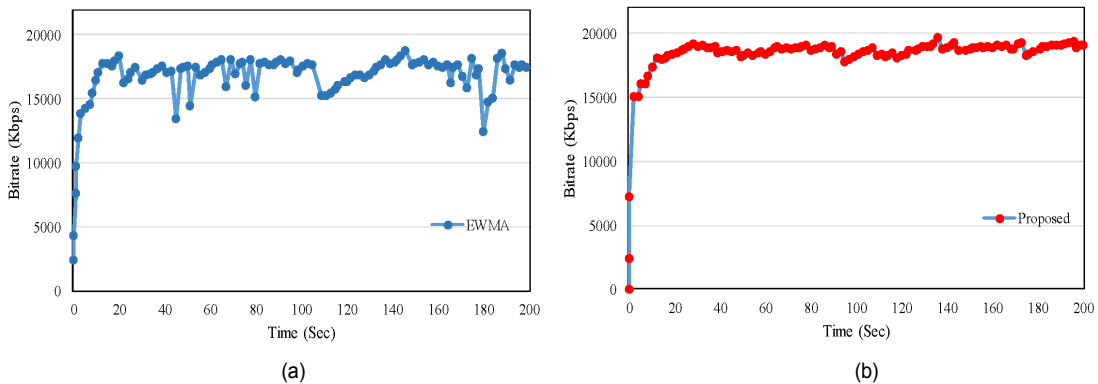


그림 6. 가용 대역폭 측정 기법 성능 비교 (a) EWMA 기법, (b) 제안기법
Fig. 6. Performance comparison of available bandwidth measurement (a) EWMA scheme (b) Proposed scheme

의한 데이터 전송 시간의 손실이 줄어들기 때문에 EWMA 보다 높게 가용대역폭이 추정된다.

3. 비디오 품질 및 버퍼 점유량 성능 비교

그림 7은 제안 기법과 비교 기법의 요청 품질과 버퍼 점유량을 나타낸다. 처리량 기반의 품질 조절 기법은 정상 상태에서 측정된 가용대역폭 보다 낮은 품질의 콘텐츠를 주기적으로 요청한다. 따라서 9000 Kbps의 품질을 주기적으로 요청하며, Off 구간에 데이터를 전송하지 않기 때문에 평균 비디오 품질이 낮은 것을 확인할 수 있다. 버퍼 기반의 품질 조절 기법은 버퍼 점유량의 고정된 임계값을 기준으로 버퍼 상태에 따라 품질을 변경한다. 가용 대역폭 보다 낮은 품질의 세그먼트를 요청하면 빠르게 다운로드를 받기 때문에 높은 품질을 요청하고, 가용 대역폭 보다 높은 품질의 세그먼트를 요청하면 세그먼트 길이보다 다운로드 시간이 길기 때문에 버퍼 점유량이 감소하여 낮은 품질을 요청한다. 고정된 임계값을 사용하기 때문에 9000, 18000 Kbps의 품질을 교차하며 요청하고, 이에 따라 빈번한 품질 변경이 발생하여 사용자 체감 품질을 저하시킨다. 제안기법은 집단 세그먼트 스케줄링 기법에 의해 Off 구간의 빈도수를 감소시켰으며, 품질 조절 기법으로 인해 가용 대역폭의 이용율을 최대화 하는 품질을 결정하였기 때문에 빈번한 품질 변화가 발생하지 않으며 평균 비디오 품질이 높은 것을 확인할 수 있다. 버퍼 점유량이 낮아지면 빠르게 낮은 품질로 많은 세그먼트를 다운받기 때문에 버퍼가 안정적으로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

4. 대역폭 이용율 비교

표 1은 대역폭 이용율 성능 비교를 나타낸다. 비교 메트릭으로는 클라이언트의 요청 횟수, 전체 다운로드 데이터, 그리고 대역폭 이용율을 비교하였다. 전체 다운로드 데이터는 실험 시간동안 각 기법별로 클라이언트가 수신한 데이터의 크기를 의미하며, 대역폭 이용율은 전체 다운로드 가능 데이터 대비 실제 다운로드한 데이터의 양을 의미하며 식 (10)과 같이 계산한다.

$$\text{Bandwidth utilization} = \frac{\text{Total download data}}{\text{Available download data}} \quad (10)$$

기존 세그먼트 스케줄링 기법을 이용하는 처리량 기반의 품질 조절 기법과 버퍼 기반의 품질 조절 기법은 세그먼트마다 요청을 해야 하기 때문에 제안 기법에 비해 많은 요청수를 보이는 것을 확인할 수 있다. 요청 주기마다 발생하는 Off 구간의 의해 기존 기법은 전체 데이터 다운양이 낮은 것을 확인할 수 있고, 대역폭 이용율이 45.3%, 62.7%로

표 1. 대역폭 이용율 성능 비교

Table 1. Performance comparison of bandwidth utilization

Metric	Comparative Scheme		
	Conventional	BBA	Proposed
Number of requests	168	157	48
Total download data (Mbyte)	3,333.6	4614.06	6446.43
Bandwidth utilization(%)	45.3	62.7	87.6

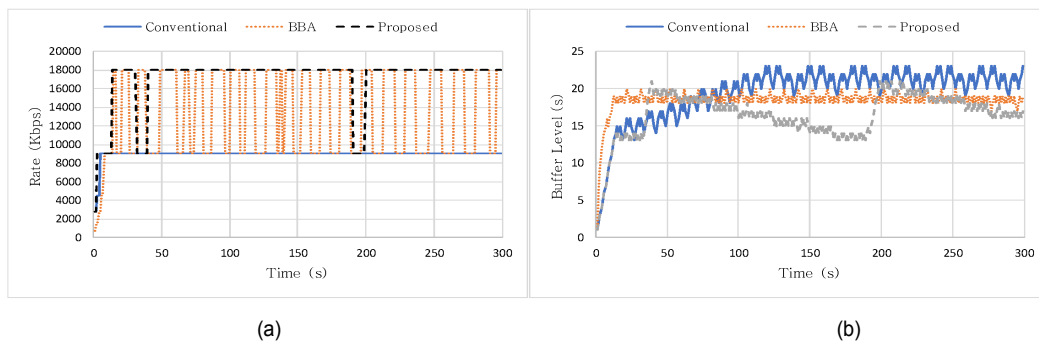


그림 7. 비디오 품질 및 버퍼 점유량 성능 비교 (a) 비디오 품질 (b) 버퍼 점유량

Fig. 7. Performance comparison of video quality and buffer occupancy (a) Video quality (b) Buffer occupancy

낮은 것을 보여주고 있다. 반면에 제안 기법은 집단 세그먼트 요청과 품질 조절 기법으로 인해 Off 구간의 빈도수를 줄였으며 대역폭 이용율이 87.6% 로 기존 기법에 비해 높은 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 환경에서 UHD 콘텐츠의 효율적인 대역폭 활용을 위한 세그먼트 스케줄링 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 집단 세그먼트 스케줄링 방식과 집단 세그먼트 품질 조절 방식으로 구성되어 있다. 집단 세그먼트 스케줄링 방식은 요청 주기 동안 다수의 세그먼트를 연속적으로 다운로드 받는 방식으로 기존 정상 상태에서의 Off 구간의 발생 빈도수를 감소시켜 대역폭 이용율을 향상 시키는 것을 목적으로 한다. 집단 세그먼트 품질 조절 기법은 요청 주기에 효율적인 전송을 위해 측정 가용 대역폭과 버퍼 점유량을 이용하여 대역폭 이용율을 최대화 하는 품질과 집단 요청 세그먼트의 양을 결정한다. 무선 환경에서 빈번하고 급격한 대역폭 감소로 인해 가용 대역폭 예측의 오차를 줄이기 위해서 요청 주기의 평균 처리량과 각 세그먼트의 처리량을 이용하여 평활화 하였다. 실험을 통해서 기존 가용 대역폭 측정 방식에 비해 무선 환경에서 평활화 되는 것을 확인하였으며, 제안하는 세그먼트 스케줄링 기법이 기존 기법에 비해 높은 평균 비디오 품질을 제공하며 안정적인 버퍼를 점유하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] O. Oyman, and S. Singh, "Quality of Experience for HTTP Adaptive Streaming Services," *IEEE Communications Magazine*, Vol.50, No.4, pp.20-27, Apr. 2012.
- [2] Microsoft, Smooth Streaming, [Online]. Available: <http://www.iis.net/downloads/smooth-streaming/>
- [3] Apple, HTTP Live Streaming, [Online]. Available: <http://developer.apple.com/resources/http-streaming/>
- [4] Adobe, HTTP Dynamic Streaming, [Online]. Available: <http://www.adobe.com/products/httpdynam-streaming/>
- [5] T. Stockhammer, "Dynamic Adaptive Streaming over HTTP-Standards and Design Principles," *Proceeding of the ACM Conference on Multimedia Systems*, San Jose, USA, pp. 133-144, 2011.
- [6] T. Y. Huang, N. Handigol, B. Heller, N. McKeown, and R. Johari, "Confused, Timid, and Unstable: Picking a Video Streaming Rate is Hard," *Proceeding of the ACM Conference on Multimedia Systems*, Boston, USA, pp. 225-238, 2012.
- [7] R. K. P. Mok, W. Li, and R. K. C. Chang, "iRate: Initial Video Bitrate Selection System for HTTP Streaming," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.34, No.6, pp.1914-1928, Apr. 2016.
- [8] C. Liu, I. Bouazizi, and M. Gabbouj, "Rate Adaptation for Adaptive HTTP Streaming," *Proceeding of the ACM Conference on Multimedia Systems*, San Jose, USA, pp. 169-174, 2011.
- [9] ITU-R Recommendation BT.2020, "Parameter Values for UHD System for Production and International Programme Exchange," Aug. 2012.
- [10] 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, Mar. 2017.
- [11] H. Du, Q. Zheng, W. Zhang and X. Gao, "A Bandwidth Variation Pattern-Differentiated Rate Adaptation for HTTP Adaptive Streaming Over and LTE Cellular Network," *IEEE Access*, Vol.6, pp.9554-9569, Dec. 2017.
- [12] S. Bae, D. Jang, and K. Park, "Why Is HTTP Adaptive Streaming So Hard?," *Proceeding of Asia-Pacific Workshop on Systems*, Tokyo, Japan, 2015.
- [13] Z. Li, X. Zhu, J. Gahm, R. Pan, H. Hu, A. C. Began, and D. Oran, "Probe and Adapt: Rate Adaptation for HTTP Video Streaming At Scale," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.32, No.4, pp.719-733, Apr. 2014.
- [14] T. Huang, R. Johari, N. McKeown, M. Trunnell, and M. Waston, "A Buffer-based Approach to Rate Adaptation: Evidence from a Large Video Streaming Service," *Proceeding of ACM Conference on SIGCOMM*, Chicago, USA, pp. 187-198, 2014.

[1] O. Oyman, and S. Singh, "Quality of Experience for HTTP Adaptive

저 자 소 개



김 희 광

- 2015년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 학사
- 2015년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자통신공학과 석·박사통합과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2263-041X>
- 주관심분야 : 인터넷 QoS, 멀티미디어 스트리밍, 스트리밍 프로토콜



정 광 수

- 1981년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1983년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 2월 : University of Florida 전기공학과 박사
- 1982년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-0283-0900>
- 주관심분야 : 인터넷 QoS, 유·무선 비디오 스트리밍, 센서 네트워크