

## 에너지 효율적인 버퍼 기반 비디오 스트리밍 최적화 기법

### An Energy-aware Buffer-based Video Streaming Optimization Scheme

Young-myung Kang\*

\*Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Sungkyul University, Anyang, 14097 Korea

#### ABSTRACT

Video streaming applications such as Netflix and Youtube are widely used in our daily life. A DASH based streaming client exploits adaptive bit rate (ABR) method to choose the most appropriate video source representation that the network can support. In this paper we propose a novel energy-aware ABR scheme that adds the ability to monitor energy efficiency in addition to the linear quadratic regulator algorithm we previously introduced. Our trace-driven simulation studies show that our proposed scheme mitigates and shortens re-buffering, resulting in energy savings of mobile devices while preserving the similar QoE compared to the state-of-the-art ABR algorithms.

**Keywords** : DASH, ABR, LQ, Energy, Streaming

## I. 서론

현재 넷플릭스 및 유튜브와 같은 OTT (Over The TOP) 비디오 스트리밍은 인터넷 트래픽의 65% 이상을 차지하고 있다[1]. DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) [2]는 네트워크 트래픽 및 대역폭 변화가 심한 인터넷 환경에서 다양한 전송률로 비디오를 서비스하기 위해 제안된 표준 프로토콜이다. 가용 대역폭에 따라 가장 적절한 비트율로 비디오 스트리밍을 제공하기 위해 DASH 서버는 수초 길이 단위로 인코딩된 여러 버

전의 비디오 세그먼트를 제공한다. 세그먼트 관련 정보는 MPD (Media Presentation Description)에 수록되어 있고 클라이언트가 이 정보를 활용하여 현재 대역폭에 가장 적절한 세그먼트를 요청한다. 관련하여 다양한 적응적 비트율(ABR) 선택기법들이 제안되었다[3-7].

DASH 플레이어는 다음의 3단계 순서로 동작한다. (1) 스트리밍 시작과 동시에 버퍼의 최대 크기 (Bmax) 까지 버퍼를 채운다. (2) 초기 버퍼링이 완료될 때까지 영상 재생이 가능한 최소한의 버퍼가 차게 되면 재생을 시작하고 지속해서 다음 세그먼트를 찾아 버퍼를 채운다. (3) 버퍼의 최대 크기 이내에서 계속 다음 세그먼트를 내려받는다. 만일 버퍼를 모두 소진하여 영상 재생이 멈추면 리버퍼링 (Re-buffering)을 하게 된다. 버퍼가 완전히 차서 다운로드를 멈추는 상태를 OFF 상태, 그리고 버퍼를 사용함에 따라 다시 다운로드를 재시작하는 상태를 ON 상태라 하고, 영상을 재생하는 동안 이런 ON-OFF 상태는 번갈아 지속된다[8].

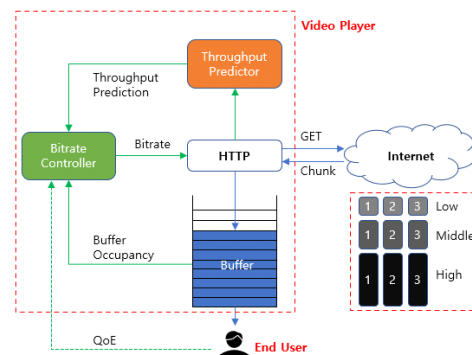


Fig. 1 Dash Client Players Abstraction Model

본 논문에서는 우리의 기존 연구 LQE [9] (Linear Quadratic Optimization Extension for ABR)를 확장하여 사용자의 QoE (Quality of Experience) 저하를 최소화하는 동시에 단말의 사용시간을 늘리는 방법을 소개한다. 리버퍼링이 발생하면 시청하지 않는 대역폭과 단말의

Received 26 August 2022, Revised 4 September 2022, Accepted 15 September 2022

\* Corresponding Author Young-myung Kang(E-mail:ykang@sungkyul.ac.kr, Tel:+82-31-467-8186)  
Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Sungkyul University, Anyang, 14097 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.10.1563>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

에너지를 낭비하게 되므로 LQE에 에너지 모니터링 모듈을 추가하여 대역폭을 고려하여 가장 적절한 ABR 알고리즘을 선택하여 작동한다.

II장에서 DASH 기본과 연구 배경에 관해 기술한다. III장에서 제안하는 기법에 대해서 설명한다. IV장에서는 성능 평가를 시행하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1. DASH 전송률 제어 참조모델

그림 1은 DASH 기반으로 동작하는 ABR 플레이어의 추상 모델이다[7]. 가장 중요한 동작은 대역폭 추정 (Throughput Prediction)과 버퍼의 점유 상태 (Buffer Occupancy) 정보를 기반으로 비트율 제어기 (Bitrate Controller)가 최적 비트율로 인코딩된 비디오 세그먼트를 서버에게 요청하는 부분이다. 실제 동작으로 설명하면 미디어 서버에는 다양한 비트율로 인코딩된 수초 분량의 동일 인덱스를 가진 세그먼트들이 있고 DASH 플레이어가 이 중 가장 적절한 비트율의 세그먼트를 다운로드한다.

### 2.2. QoE

비디오 스트리밍에 대한 사용자 경험, 즉 QoE는 주관적인 요소가 반영되지만, 다음의 요소들이 주요하게 고려된다.

- (1) 재생 버퍼가 비는 버퍼링 최소화 (Min. Buffering)
- (2) 가용 대역폭 내 가장 높은 비트율의 세그먼트 확보
- (3) 시작 지연시간 최소화 (Minimizing the Startup delay)
- (4) 비트율의 급격한 변화 최소화 (Smoothing)

네트워크의 대역폭은 정확한 추정이 어려운 근본적 한계를 가진다. 따라서, 버퍼 길이를 피드백 신호로 활용하는 인공지능 및 제어 이론 기반의 다양한 알고리즘들이 최근 많은 주목을 받고 있다. 다만, 변화가 심한 네트워크 상황을 고려하면 기법 간 성능 비교는 어려움이 따른다. 다음으로 최근 활발한 연구가 진행되고 있는 버퍼에 기반을 둔 DASH 행동 모델에 대해 설명한다.

### 2.3. 버퍼 기반 DASH 행동 모델

[7]은 버퍼 상태를 기반으로 DASH의 동작을 모델링하였다.  $L$ 은 세그먼트 길이,  $B_k$ 는  $i$  번째 세그먼트를 특

정 비트율  $R_i$ 로 다운로드를 시작할 때의 버퍼 크기라고 가정하자.  $D_k$ 는  $k$  번째 세그먼트를 다운로드 받는 데 걸린 시간이다. 그러면  $k$  번째 세그먼트를 다운로드한 다음 OFF 기간  $\delta_k$ 는 아래 식 (1)로 표현된다.

$$\delta_k = \max(\max(B_k - D_k, 0) + L - B_{\max}, 0) \quad (1)$$

$k$  번째 세그먼트를 다운로드 한 이후 리버퍼링 시간  $\gamma_k$ 는 식 (2)로 표현된다.

$$\gamma_k = \max(D_k - B_k, 0) \quad (2)$$

식 (1)-(2)를 기준으로 다음 버퍼의 크기  $B_{k+1}$ 를 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$B_{k+1} = \max(\max(B_k - D_k, 0) + L - \delta_k, 0) \quad (3)$$

## III. 제안하는 기법

본 절에서는 버퍼 상태 최적화에 기반을 둔 우리의 기존 연구를 먼저 소개하고 그 이후 에너지 측면을 고려하여 추가 개선된 LQE+ 기법을 제안한다.

### 3.1. LQ 최적화

우리의 기존 연구 LQE [8]에서는 이산 시간 선형 이차 최적화 기법 (Discrete-time Linear Quadratic Optimization)을 사용하여 최적의 전송 비트율을 선택하는 방식을 제안하였다. LQE의 핵심 동작은 현재 버퍼 크기를 피드백 신호로 입력받아 LQ 연산을 통해 결과를 출력하여 이를 기반으로 버퍼 크기를 목표로 하는 수준으로 유지하는 것이다. 그림 2는 제어 루프를 보여준다. LQ의 결과값  $u_k$ 를 기반으로 계산한  $k$  번째 세그먼트 다운로드를 위한 비트율을  $\hat{R}_k$ 라고 하자. 시스템이 지원하는 비트율은  $m$ 개가 있다고 하면 가용 비트율 집합은  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 가 된다. 단,  $v_1 < v_2 < \dots < v_m$ 를 만족한다. 이를 기준으로 LQ ABR은 식 (4)-(7)으로 정의된다. 표 1에 사용된 기호에 대한 의미를 정리하였다. 아래 식 (7)의  $F(x)$ 가 중요하며 누적된 에러를 가장 작게 만드는 함수다. 좀 더 자세한 내용은 [9]를 참고하도록 한다.

$$e_i = B_i - q_0 \quad i = 1 \dots k \quad (4)$$

$$S_k = \sum_{i=1}^{k-1} e_i$$

$$u_k = -K_P e_k - K_I S_k$$

$$\hat{R}_k = F\left(\min\left(\frac{1}{1(u_k > 0)u_k}, v_m\right)\right)$$

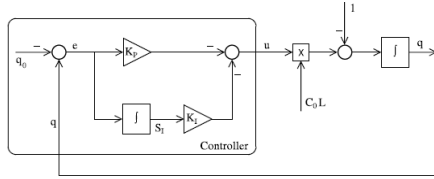


Fig. 2 LQE Control Loop

Table. 1 LQE notations

Term	Description
$q_0$	Reference buffer level in seconds
$B_k$	Buffer level in seconds
$e_k$	Error b.t.w. the buffer level and $q_0$
$u_k$	LQ output
$\hat{R}_k$	LQ Controller estimated bit rate for $k$ -th chunk
$K_P$	Proportional gain
$K_I$	Integral gain

### 3.2. Energy-aware LQE (LQE+)

모바일 기기는 배터리 유지시간이 사용자의 만족도에 큰 영향을 미친다. 이러한 고려사항을 반영하기 위해 우리는 기존 LQE에 에너지 보존에 대한 알고리즘을 추가하여 ABR을 선택하는 방법인 LQE+를 제안한다. 그림 3은 LQE+를 구성하는 주요 모듈을 보여준다. LQE Original이라고 표현된 것은 기존 모듈이며, 추가된 모듈은 배터리 잔존량을 감시하고 ABR Controller에게 관련 정보를 제공하는 Energy Monitor 부분이다. Energy Monitor 동작은 현재 에너지 레벨( $E_k$ )과 예측되는 리버퍼링 정보를 입력받아  $\hat{R}_{k+1}$ 를 결정하는 함수로 표현된다.

$$\hat{R}_{k+1} = LQE+(E_k, \text{estimatedRebuffering})$$

여기서  $\hat{R}_{k+1}$ 는 아래 식 (8)의 두 가지 조건을 동시에 만족하면 예측한  $\hat{R}_{k+1}$ 를 선택하고, 그렇지 않으면 가능한 비트 전송률 중 예측한  $\hat{R}_{k+1}$ 보다 낮은 비트율 증가

용한 최대 전송 비트율을 선택한다.

(5)

$$E_{k+1}^t(w) \geq \hat{E}_{k+1} \text{ AND } (\hat{R}_{k+1} \times L/\hat{C}) > q_0 \quad (8)$$

(6)

식 (8)의 첫 번째 조건은  $\hat{R}_{k+1}$ 의 기대 에너지 잔량

(7)

$\hat{E}_{k+1}$  이 목표 에너지 수준  $E_{k+1}^t$  보다 크거나 같음을 나타내고, 두 번째 조건은  $\hat{R}_{k+1}$ 의 결과가 목표 버퍼 길이 제약(즉, 리버퍼링 수준)을 만족하는지를 의미한다.

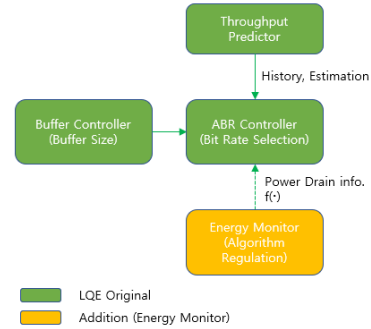


Fig. 3 An Energy-aware ABR Selection Framework for Video Streaming

## IV. 성능 평가

### 4.1. 실험 환경 설정

우리는 LQE+의 성능 확인을 위해 버퍼 기반의 유력 기법인 Tian [6], BBA [3]를 비교하였다. Tian은 예측되는 처리량 (Throughput)과 동향을 기반으로 재생 버퍼를 특정 지점으로 유지하는 방법을 사용한다. BBA는 버퍼가 차 있는 수준을 기준으로 비트율  $\hat{R}_k$ 를 선택한다. 실험을 위해 공개된 85개의 셀룰러 대역 데이터 [10]를 사용하였고 다양한 형태의 대역폭을 생성하기 위해 데이터의 조합으로 복합적인 시나리오를 생성하여 그 중 랜덤으로 결정된 두 개의 데이터 셋을 선택하여 비디오 스트리밍 클라이언트가 입력으로 받아들이도록 하였다. 스트리밍 서버는 144p (0.27M)부터 1080p (8.9M) 사이의 값으로 인코딩된 6개의 비디오를 가지며 하나의 비디오 길이는 1300초에 해당한다. 세그먼트 크기는 5 초, 최대 버퍼 크기는 100으로 고정하였다. 위에서 설명한 시나리오를 기준으로 에너지 소모량(J), K를 전체 세그먼트 개수라고 했을 때 평균 비트 전송률  $\left(\sum_{k=1}^K R_k / K\right)$ ,

그리고 리버퍼링 회수 (# of rebuffering)을 [7]의 스트리밍 행동 모델에 따라 측정하였다. 목표 에너지 수준  $E_k^t$ 는 0.95로 설정하였다.

#### 4.2. 실험 결과

실험 결과는 표 2에 정리하였다. 사용자 경험에 중요한 지표로 사용되는 리버퍼링 회수를 보면 Tian, BBA, LQE에 비해 LQE+가 가장 좋은 성능을 보였다. LQE+는 LQE에 비해서도 리버퍼링 회수가 7.9에서 2.9로 현저히 줄었음을 알 수 있다. 단말의 에너지 소모 부분에서도 LQE+는 Tian과 LQE에 비해 5%, BBA에 비해서는 14% 향상되었음을 알 수 있다. 이러한 결과는 단말의 에너지 잔량을 최대한 보존하기 위해 차기 전송 비트율을 다소 보수적으로 결정하였고 이로 인해 리버퍼링 회수 또한 줄이는 결과를 가져온 것으로 해석된다. 다만, LQE+의 평균 전송 비트율이 LQE에 비해 2.04에서 2.01로 1%정도 줄어들었는데 이 또한 에너지 효율을 위해 알고리즘이 다소 안정적인 전송 속도를 선호한 결과로 판단된다.

**Table. 2** Experiment Results

ABR	Energy(J)	AVG.rate(mbps)	# of rebuffering
Tian	915.7	1.97	9.2
BBA	1013	2.28	8.1
LQE	916.8	2.04	7.9
LQE+	872.8	2.01	2.9

## V. 결론

본 논문에서는 DASH를 기반으로 하는 ABR 기술에 에너지 효율을 고려한 새로운 기법인 LQE+ 기법을 소개하였다. LQE+는 버퍼의 길이를 목표하는 수준으로 유지하면서 에너지의 잔존량을 고려하여 ABR을 적극적으로 선택하여 성능 향상을 도모한다. 다양한 시나리오로 성능 평가를 시행한 결과 전송 비트율 측면에서는 기존 기법에 비해 비슷한 수준의 평균 전송 속도를 유지하면서 사용자의 QoE에 크게 영향을 주는 리버퍼링 회수는 최소화됨을 보였다. 동시에 단말의 에너지 효율 또한 5~14%까지 개선됨을 보였다. 향후 연구에서는 단말의 연산 능력을 고려하여 실시간 계산량을 줄일 수 있는 ABR 선택 알고리즘 최적화를 진행할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] Sandvine. The Mobile Internet Phenomena Report, 1H 2020 [Internet]. Available: <https://www.sandvine.com/download-report-mobileinternet-phenomena-report-2020-sandvine>.
- [2] T. Stockhammer, "Dynamic Adaptive Streaming over HTTP - Standards and Design Principles," in *Proceeding of the second annual ACM conference on Multimedia systems*, San Jose: CA, USA, pp. 133 - 144, 2011.
- [3] T. Y. Huang, R. Johari, N. McKeown, M. Trunnell, and M. Watson, "A Buffer-based Approach to Rate Adaptation: Evidence from a Large Video Streaming Service," in *Proceeding of the ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Chicago: IL, USA, vol. 44, no. 4, pp. 187-198, 2014.
- [4] B. O. Turkkan, T. Dai, A. Raman, T. Kosar, C. Chen, M. F. Bulut, J. Zola, and D. Sow, "GreenABR: Energy-Aware Adaptive Bitrate Streaming with Deep Reinforcement Learning," in *Proceeding of the ACM Multimedia Systems Conference*, Athlone, Ireland, pp. 150-163, 2022.
- [5] Y. Kang, "A Novel Bit Rate Adaptation using Buffer Size Optimization for Video Streaming," *International Journal of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 12, no. 4, pp. 166 - 172, Dec. 2020.
- [6] G. Tian and Y. Liu, "Towards Agile and Smooth Video Adaptation in Dynamic HTTP Streaming," in *Proceeding of the ACM CoNEXT*, Nice, France, pp. 109-120, 2012.
- [7] X. Yin, A. Jindal, V. Sekar, and B. Sinopoli, "A Control-Theoretic Approach for Dynamic Adaptive Video Streaming over HTTP," in *Proceedings of the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication*, London, UK, pp. 325-338, 2015.
- [8] Y. Lim, "Cost-Efficient Framework for Mobile Video Streaming using Multi-Path TCP," *KSII Transactions on Internet and Informations Systems*, vol. 16, no. 4, pp. 1249-1265, Apr. 2022.
- [9] Y. Kang and Y. Lim, "Bit Rate Adaptation Using Linear Quadratic Optimization for Mobile Video Streaming," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 99, Dec. 2020.
- [10] H. Riiser, P. Vigmostad, C. Griwodz, and P. Halvorsen, "Commuter Path Bandwidth Traces from 3G Networks: Analysis and Applications," in *Proceeding of the ACM Multimedia Systems Conference*, pp. 114 - 118, Oslo, Norway, pp. 114-118, 2013.