

적응형 스트리밍 알고리즘의 사용자 체감 품질 성능 분석

이제원, 현은희, 정준영

한국전자통신연구원

{jw_lee, ehhyun, jungjy}@etri.re.kr

Quality of Experience Performance Analysis of Adaptive Bitrate Algorithm in Video Streaming System

Jewon Lee, Eunhee Hyun, Joon-Young Jung

Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문은 비디오 스트리밍 시스템에서 사용자 체감 품질 QoE(Quality of Experience)를 최대화하기 위해 비디오 세그먼트 품질을 지속해서 조정하는 ABR(Adaptive BitRate) 알고리즘들을 소개하고 모의실험을 구성하여 QoE 성능을 비교 분석한다.

I. 서론

비디오 스트리밍 시스템에서 사용자 체감 품질 QoE(Quality of Experience)는 콘텐츠 제공 업체의 수익과 직결되기 때문에 매우 중요하다. QoE의 요소로는 재생 시작 지연시간, 재생 버퍼에 렌더링할 콘텐츠가 없어서 발생하는 리버퍼링, 평균 비디오 품질 및 변화가 있다. ABR(Adaptive BitRate) 알고리즘은 네트워크 처리량(Throughput)과 재생 버퍼 레벨을 기반으로 QoE를 최대화하기 위해서 비디오 세그먼트 품질을 지속해서 조정하는 역할을 한다.

ABR 알고리즘은 네트워크 처리량 또는 재생 버퍼 레벨만을 이용하거나 2가지를 모두 이용하여 적절한 비디오 세그먼트 품질을 선택한다. BOLA(Buffer Occupancy based Lyapunov Algorithm)는 대표적 재생 버퍼 레벨 기반 ABR 알고리즘이다[1]. MPC(Model Predictive Control)는 네트워크 처리량과 재생 버퍼 레벨을 기반으로 QoE를 최대화하는 비디오 세그먼트 품질을 선택하는 알고리즘이다[2]. Chao Yao 등 저자들은 멀티뷰 스트리밍 시스템에서 QoE 요소 중 평균 비디오 화질과 리버퍼링을 버퍼 레벨 관련 함수로 표현하여 QoE를 최대화하는 알고리즘을 제안하였다[3].

본 논문에서는 위에서 언급한 3가지 ABR 알고리즘을 소개하고 10개의 가변 비트레이트로 인코딩된 10분 길이의 비디오 영상과 86개의 3G 네트워크 트레이스를 이용한 모의실험을 통해서 QoE 결과를 비교 분석한다.

II. 적응형 스트리밍 알고리즘

II.1 BOLA-E(Enhancements to BOLA)

BOLA는 DASH 레퍼런스 플레이어 dash.js의 옵션으로 선택 가능한 ABR 알고리즘이다. BOLA는 Lyapunov 최적 제어를 활용하여 재생 버퍼의 레벨을 기반으로 적응적으로 비디오 화질을 결정하는 알고리즘으로 QoE 요소 중 비디오 화질과 리버퍼링 요소를 결합한 효용 함수(utility function) ρ 를 최대화한다.

$$\rho = \frac{Vv_m + V\gamma p - Q}{S_m}, 1 \leq m \leq M \quad (1)$$
$$v_m = \ln(S_m/S_{\min})$$

여기서 m, M, v_m, S_m, Q 는 비디오 화질 인덱스, 비디오 화질 수, 효용 값, 비트 단위 세그먼트 평균 크기, 초 단위 버퍼 크기를 의미하며 $V, \gamma p$ 는 BOLA 파라미터로 다음과 같이 계산된다.

$$V = \frac{Q_{\max} - Q_{\text{low}}}{v_{\max} - \alpha}, \gamma p = \frac{v_{\max} Q_{\text{low}} - \alpha Q_{\max}}{Q_{\max} - Q_{\text{low}}} \quad (2)$$
$$\alpha = \frac{S_{\min} v_{\min+1} - S_{\min+1} v_{\min}}{S_{\min+1} - S_{\min}}$$

여기서 Q_{\max} 는 최대 비디오 화질을 선택할 수 있는 버퍼 레벨, Q_{low} 는 그 반대를 의미한다.

BOLA는 버퍼 레벨을 기반으로 비디오 화질을 선택하는 알고리즘으로 버퍼가 비어있는 상태 또는 비디오 탐색 시에 QoE가 감소하는 문제점이 발생한다. 또 다른 문제점으로는 실제 버퍼 크기가 작을 때 비디오 화질 선택을 위한 버퍼 레벨 간격이 좁아져 잘못된 비디오 화질 전환이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 BOLA 알고리즘에 Placeholder, Insufficient Buffer 기능을 추가한 BOLA-E가 개발되었다. Placeholder는 재생 버퍼 레벨이 낮을 때 측정된 처리량을 기반으로 다운로드 가능한 최대 세그먼트의 화질을 BOLA가 선택할 수 있도록 재생 버퍼의 레벨 값을 조절하는 기능을 한다. Insufficient Buffer는 가상의 재생 버퍼 크기를 사용하여 잘못된 비디오 화질 전환 문제점을 해결하는 기능을 한다.

II.2 MPC

MPC는 제어 이론을 기반으로 처리량과 버퍼 레벨을 사용하여 QoE를 최대화하는 비디오 화질을 선택하는 알고리즘이다. MPC에서 사용하는 QoE는 평균 비디오 화질, 전환, 리버퍼링 및 시작 지연으로 구성되며 식 (3)과 같이 표현된다.

$$QoE = \sum_{k=1}^K q(R_k) - \lambda \sum_{k=1}^{K-1} |q(R_{k+1}) - q(R_k)| - \mu \sum_{k=1}^K \left(\frac{d_k(R_k)}{C_k} - B_k \right) - \mu_s T_s \quad (3)$$

여기서 $k, K, q(R_k), d_k(R_k), C_k, B_k, T_s$ 는 세그먼트 인덱스, 전체 세그먼트 크기, 비디오 화질 함수, 비트 단위 세그먼트 크기, 측정된 처리량, 재생 버퍼 레벨, 시작 지연을 의미하며 λ, μ, μ_s 는 비디오 화질 전환, 리버퍼링, 시작 지연시간에 대한 가중치 값이다.

MPC는 현재 버퍼 레벨 B_k , 이전 비디오 화질 R_{k-1} , 처리량 예측 $\hat{C}_{[t_k, t_{k+N}]}$ 을 고려하여 식(3)을 최대화하는 현재 세그먼트 화질 R_k 를 선택한다. 이것을 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$R_k = f_{MPC}(R_{k-1}, B_k, \hat{C}_{[t_k, t_{k+N}]}) \quad (4)$$

여기서 $\hat{C}_{[t_k, t_{k+N}]}$ 은 현재 시간 t_k 부터 N 개의 세그먼트를 다운로드할 때까지 걸리는 시간 t_{k+N} 동안 처리량 예측값을 의미한다.

MPC는 처리량 예측값의 오차로 인한 리버퍼링 및 낮은 화질 선택 등으로 인한 QoE 저감 문제가 발생한다. Robust MPC는 처리량 예측 시 예측 오차 값을 반영하여 QoE 감소 문제를 해결한 알고리즘이다. 또한 MPC는 미래의 N 개의 세그먼트 다운로드 시 모든 선택 가능한 세그먼트 화질에 대한 QoE를 계산 후 최적의 R_k 를 선택하기 때문에 계산 복잡도 문제에 대한 해결이 필요하다. Fast MPC는 테이블 열거 방식을 이용하여 MPC의 계산 복잡도 문제를 해결하였다.

III.3 QoE optimization model over multiview streaming system

Chao Yao 등 저자들은 멀티뷰 스트리밍 시스템에서 QoE 요소 중 평균 비디오 화질과 리버퍼링을 버퍼 레벨 관련 함수로 표현하고 QoE를 최적화하는 적절한 버퍼 레벨을 구하는 방법을 제안하였다. 구해진 버퍼 레벨을 기반으로 R_k 를 선택하는 방법은 식(5)와 같다.

$$R_k = \operatorname{argmin}_{R_k} \left| B_k + d - \frac{R_k d}{C_k} - B^* \right| \quad (5)$$

여기서 d, B^* 는 세그먼트 당 재생 시간, QoE 최대화를 위해서 유지되어야 하는 버퍼 레벨을 의미한다. 본 논문에서는 해당 ABR 알고리즘을 QOM(QoE Optimization Model)이라 명한다.

III. 모의실험

비디오는 재생 시간 10분짜리 Big Buck Bunney 영상을 사용하였다. 표 1은 가변 비트레이트(Variable Bitrate) 인코딩된 세그먼트의 평균 및 표준편차를 나타낸다. 여기서 단위는 Mbps다.

표 1. 가변 비트레이트 인코딩된 세그먼트

평균	6.00	5.03	2.96	2.06	1.43	0.99	0.69	0.48	0.33	0.23
표준 편차	1.08	0.89	0.56	0.39	0.28	0.18	0.12	0.10	0.05	0.04

모의실험을 위한 3가지 ABR 알고리즘의 재생 버퍼의 크기는 25초, 세그먼트 당 재생 시간은 3초로 설정하였다. MPC, BOLA-E, QOM의 경우 추가적인 설정이 필요하다. MPC에서 N 을 0으로 설정하였다. BOLA-E에서는 최소 버퍼 레벨, 화질 당 간격, 처리량 가중치 초깃값, 처리량 가중치 수렴 값을 10초, 2초, 0.9, 0.5로 설정하였다. QOM에서는 B^* 을 23초로 설정하였다.

네트워크 트레이스는 처리량 지속시간, 처리량, 지연시간으로 구성되며 버스, 지하철, 트램 등 여행할 때 3G/HSDPA 연결을 사용하여 노르웨이에서 수집한 86개를 사용하였다[1].

QoE 계산을 위해서 $q(R_k), \lambda, \mu, \mu_s$ 을 MPC 알고리즘에서 제시한 값을 이용하여 $R_k, 1, 4.3, 0$ 으로 설정하였다. 그림 1은 MPC, BOLA-E, QOM의 QoE 사분위 결과를 보여준다. MPC, BOLA-E, QOM의 사분위 중앙값은 -0.292, 0.758, 0.445이다. 모의실험 설정값 기준으로는 BOLA-E가 MPC와 QOM과 비교해서 가장 좋은 QoE 결과를 보였다.

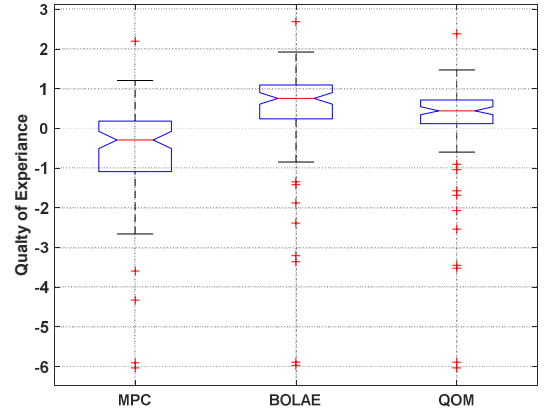


그림 1. ABR 알고리즘 QoE 사분위 결과

IV. 결론

본 논문은 ABR 알고리즘으로 BOLA-E, MPC, QOM을 소개하였으며 모의실험을 통해서 QoE를 비교 분석하였다. 모의실험 결과 BOLA-E가 가장 좋은 QoE 결과를 보여줬으나 이는 해당 모의실험 환경에서만 유효하다. 즉, 모의실험 환경에 따라서 가장 좋은 QoE 성능을 보이는 ABR 알고리즘이 달라질 가능성이 존재한다. 따라서 좀 더 다양한 모의실험 환경에서 ABR 알고리즘의 QoE 성능 평가가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020- 0-00920, 중대형 공간용 초고해상도 비정형 플랜옵틱 영상 저장/압축/전송 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] Spiteri, K., Sitaraman, R., and Sparacio, D., "From theory to practice: Improving bitrate adaptation in the DASH reference player," ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM), 15(2s), pp. 1-29, July 2019.
- [2] Yin, X., Jindal, A., Sekar, V., and Sinopoli, B., "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, pp. 325-338, Aug. 2015.
- [3] Yao, C., Xiao, J., Zhao, Y., and Ming, A., "Video streaming adaptation strategy for multiview navigation over DASH," IEEE Transactions on Broadcasting, 65(3), pp. 521-533, Sept. 2018.