

인접 프레임 간 픽셀 명암도 변화량을 활용한 실시간 가변 비트레이트 트랜스코딩

김형석*, 박준석**

*인하대학교 컴퓨터정보공학과

**인하대학교 컴퓨터정보공학과

e-mail: *kimhs1608@hotmail.com

**joonseok@inha.ac.kr

Real-time Variable Bitrate Transcoding Using Pixel Intensity Variation between Adjacent Frames

Hyoungeok Kim*, Joonseok Park**

*Dept of Computer Engineering, Inha University

**Dept of Computer Engineering, Inha University

요 약

실시간 스트리밍 서비스에서 다양한 형태의 디바이스에 적합한 동영상을 서비스하기 위한 트랜스코딩 과정은 서버 측에 높은 계산 자원을 요구한다. 하지만 무분별한 트랜스코딩은 연산자원의 과부하, 네트워크 대역폭의 초과 등 중요한 이슈를 발생시킨다. 본 논문에서는 동영상의 움직임에 따른 서비스 이용자의 주관적 퀄리티 차이가 있음을 보이고, 실험결과를 바탕으로 트랜스코딩 과정에서 주관적 퀄리티 평가결과를 추정할 수 있는 영상처리 기법을 제시한다. 이 기법을 활용하여 적절한 비트레이트 변환 모델을 제안하고, 수행시간 측정실험을 통해 실시간 트랜스코딩 과정에서 사용가능함을 보인다.

1. 서론

최근 비디오 콘텐츠 서비스에 대한 요구가 급증함에 따라 실시간 스트리밍 기술이 중요한 이슈가 되었다. 실시간 스트리밍 서비스는 비디오 서버의 높은 계산 자원을 요구하는 트랜스코딩 작업을 필요로 한다. 때문에 비디오 서버의 부하관리를 위해서는 트랜스코딩 작업을 적절하게 관리할 필요가 있다. 현재의 HTTP 기반의 스트리밍 프로토콜인 DASH 기반의 스트리밍[3]은 네트워크 부하에 따른 가변 비트레이트 트랜스코딩을 적용함으로써 네트워크 부하를 관리할 수 있다. 하지만, 이는 서버 측에서 각 품질에 대한 미디어 세그먼트가 준비되어야 한다는 점에서 계산 자원을 관리하는 기법이 아닐뿐더러 서비스 이용자가 느낄 수 있는 영상의 화질저하문제는 고려하지 않는다. 또한, VBR 인코딩 기술을 사용하는 스트리밍 환경에서도 사용자 측면의 화질 수준을 고려하는 데 한계가 있다.

본 논문에서는 픽셀 명암도 변화량 측정 기법을 인접 프레임 간 명암도 비교 필터로 구현한다. 구현한 필터는 트랜스코딩과정에서 해당 영상의 움직임 정도를 측정하여 주관적 평가결과를 추정한다. 필터링 과정은 트랜스코딩이 끝나는 시점에 완료되기 때문에 그 결과는 즉시 재트랜스코딩을 수행하거나 다음 미디어 세그먼트에선 트랜스코딩 과정에 반영될 수 있다. 미디어 서버는 결과에 대한 적절한 임계값을 설정함으로써 매 세그먼트마다 적절한 화질 수준을 보장하면서 비트레이트를 변환할 수 있다. 이 필터를 통한 가변 비트레이트 방식은 트랜스코딩 시간에 비해

적은 약간의 추가 연산자원만을 요구한다. 이를 통해 서버는 가능한 화질수준을 보장하는 선에서 움직임이 적은 구간을 낮은 비트레이트로 트랜스코딩할 수 있다. 또한, 비디오 콘텐츠 서버는 연산자원의 관리가 필요할 경우 움직임이 적은 영상 서비스의 비트레이트를 우선적으로 낮출 수도 있다.

인접프레임 간 명암도 비교 필터가 주관적 평가결과를 추정 가능하고 가변 비트레이트 서비스를 제공할 수 있음을 확인하기 위하여 본 논문은 다음과 같이 구성된다.

2장에서는 트랜스코딩, 주관적 퀄리티 비교 실험결과, 명암도 변화량 측정 기법에 대해 설명한다. 이어서 3장에서 인접프레임 간 명암도 비교 필터를 적용한 시스템 모델을 소개한다. 4장에서 제안한 필터의 활용가능성을 보이기 위해 주관적 평가결과와 명암도 변화량 측정 결과의 비교, 실시간 트랜스코딩 과정에서 수행시간 측정실험결과를 보인다. 마지막으로 5장에서 제안한 명암도 비교 필터를 통한 실시간 가변 비트레이트 트랜스코딩 시스템에 대해 논의한다.

2. 배경지식

2.1 트랜스코딩과 FFmpeg-libavfilter 라이브러리

비디오 트랜스코딩 과정은 인코딩된 비디오 데이터를 변환하여 또 다른 인코딩 된 비디오 데이터로 가공하는 과정이다. 트랜스코딩 과정을 통해 원본 비디오 데이터의



(그림 1) 비디오 트랜스코딩 흐름도

코덱, 해상도 그리고 비트레이트와 같은 특성들을 변환할 수 있다.[4]

트랜스코딩과정은 크게 디코딩 과정, 전처리(필터링) 과정과 인코딩 과정으로 나눌 수 있다. 명암도 변화량 측정 기법은 디코더와 인코더 과정 사이의 전처리 과정에서 수행될 것이다.

오픈소스 프로젝트 FFmpeg 의 libavfilter 오디오/비디오 필터링 기능을 제공하는 라이브러리이다. 이 라이브러리를 통해 FFmpeg 트랜스코딩 과정에서 필터링을 수행할 수 있다.[2]

2.2 명암도 변화량 측정 필터

지역 영역에서의 명암도 변화량을 측정하기 위해 인접한 프레임 간 명암도를 비교하고, 각 영역의 변화량에 대한 전체 평균값을 추출한다.

$$r_{i,j} = \frac{1}{UV} \sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^V (I_1(m+u,n+v) - I_2(m+u,n+v)) \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{UV}{MN} \sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^V r_{k(u-1),k(v-1)}, k=8 \quad (2)$$

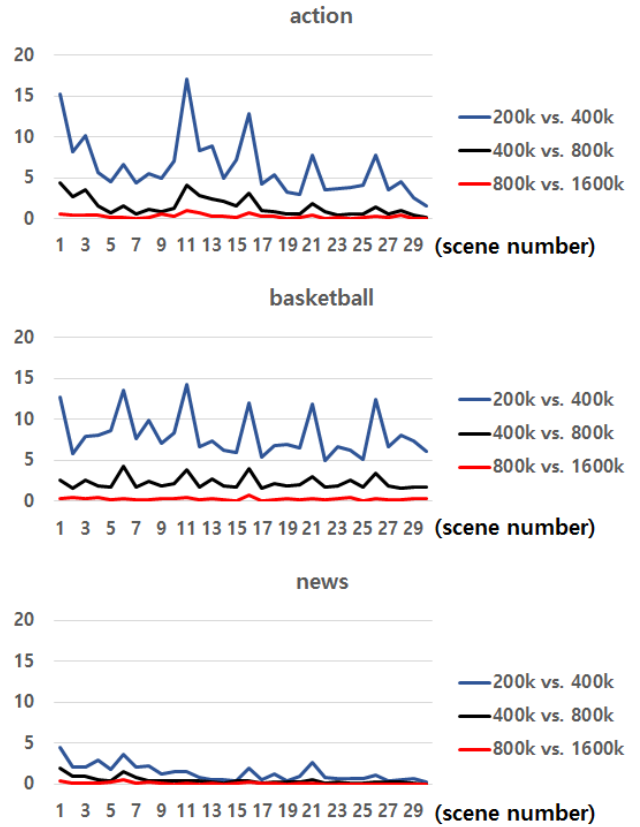
$r_{i,j}$ 는 프레임을 ij 개만큼의 그리드 형태의 지역 영역으로 분할했을 때 각 지역 영역에서의 명암도 변화량의 평균값이며, U, V, u, v 에서의 대문자는 각 블록의 가로, 세로 크기이고 소문자는 해당 블록에서 현재 처리하는 픽셀의 상대적인 위치를 나타낸다.

명암도 변화량 필터에서는 위 식의 프레임 I_1, I_2 는 동영상의 연속된 프레임이다.

2.3 주관적 품질 실험

서비스 이용자가 느끼는 서로 다른 비트레이트 영상 간의 화질측정 점수가 움직임 정도에 따라 차이가 있는지 확인하기 위해 주관적 실험을 수행하였다. 실험 비디오는 움직임 정도가 큰 액션 장르, 농구 장르와 움직임 정도가 적은 뉴스 장르를 사용하여 MSU CQE(MSU Continuous Quality Evaluation) 실험을 수행하였다[6].

(그림 2)의 결과를 통해 비디오의 움직임에 따라 사용자가 비트레이트 간 차이를 느끼는 수준이 다르다는 점을 알 수 있다. 뉴스 영상의 경우 다른 비트레이트 영상 간의



(그림 2) 세 가지 장르(액션, 농구, 뉴스) 영상의 각 비트레이트 간 주관적 실험결과

품질 차이가 매우 적으므로 가장 낮은 비트레이트를 선택할 수 있다. 반면, 액션 또는 농구 영상은 각 신의 움직임 정도에 따라 높은 비트레이트와 낮은 비트레이트를 적절하게 선택해야할 필요가 있다.

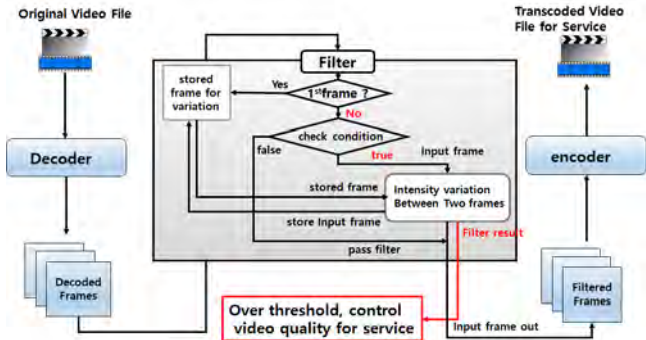
또한, 서버는 연산부하, 네트워크 과부하로 인해 모든 영상을 고화질로 제공할 수 없는 상황에서 품질 측정 결과를 활용하여 이용자의 만족도를 최대한 보장할 수 있다. 예를 들면, 두 명 이상의 클라이언트에 대한 서비스 환경에서 서버는 비디오(액션400kbps, 뉴스800kbps)를 서비스하는 것보다 비디오(액션800kbps, 뉴스400kbps)를 서비스함으로써 이용자의 만족도를 더 높여줄 수 있다.

하지만, 주관적 화질 평가는 실시간에 이루어질 수 없으므로 실시간 환경에서 비교결과를 추정할 수 있는 도구가 필요하다. 다음 장에서는 실시간 환경에서 비교결과를 추정하는 인접프레임 명암도 비교 필터와 그를 활용하여 적절한 비트레이트를 선택하는 트랜스 코딩 모델을 소개한다.

3. 가변 비트레이트 트랜스코딩 모델

3.1 명암도 변화량 측정 필터 흐름도

우리는 비디오 장르에 따른 주관적 품질 실험 결과



(그림 3) 명암도 변화량 측정 필터 흐름도

를 통해 움직임이 적은 비디오 시퀀스는 상대적으로 움직임이 많은 비디오보다 낮은 비트레이트로 서비스를 할 수 있다는 사실을 알았다. 이를 통해 서버는 적은 움직임을 가지는 비디오를 낮은 비트레이트로 트랜스코딩 함으로서 서버의 연산부하를 낮추고, 결과물인 낮은 용량의 비디오를 서비스함으로서 추가적으로 네트워크 부하도 낮출 수 있다. 하지만, 사용자의 주관적 평가실험은 실시간에 반영될 수 없다. 그러므로 영상의 움직임 정도를 트랜스코딩 서비스 중에 반영하기 위해서는 영상의 변화를 측정할 도구가 필요하게 된다.

이 논문에서는 스트리밍 환경에서 영상의 움직임을 측정하고 그 결과를 기반으로 적절한 비트레이트를 선택하기 위해 인접프레임 간 명암도 변화량 측정 기법을 제안하였다.

명암도 변화량 측정 필터의 흐름도는 (그림 3)에 자세히 나타나있다. 명암도 변화량 측정 필터는 동영상의 프레임이 순차적으로 트랜스코딩되는 과정에서 프레임을 복사해둔다. 저장된 프레임은 다음 프레임과 명암도 계산을 마친 후 교체되고, 이 과정을 반복한다. HLS 스트리밍 서버는 MPEG-TS 단위로 영상을 트랜스코딩하므로, 작은 프레임 단위로 결과를 도출할 수 있기 때문에 별도로 신 범위를 정할 필요가 없다.

실시간 스트리밍 환경에서 인접프레임 간 명암도 비교 필터링 과정의 연산부하를 최소화하기 위해서 오픈소스 FFmpeg 프로젝트 2.5버전의 libavfilter 라이브러리를 활용하여 구현하였다.

3.2 비트레이트 변환 시나리오

i 번째 신 구간에서 명암도 비교 필터에 의해 측정된 측정값 x_i 에 대하여 임의로 결정된 임계값 ρ_1 을 넘을 경우 가장 높은 화질로 트랜스코딩을 수행하며, 넘지 않을 경우 식(3)에 의해 각 임계값 ρ_i 와 측정결과를 비교하여 비트레이트를 선택한 후, 재트랜스코딩 한다. B 는 서비스 할 비트레이트 레벨로 1600kbps, 800kbps, 400kbps, 200kbps 중 하나의 값을 갖는다. 임계값을 변환함으로서 서버가 보장하는 화질수준을 조절할 수 있다.

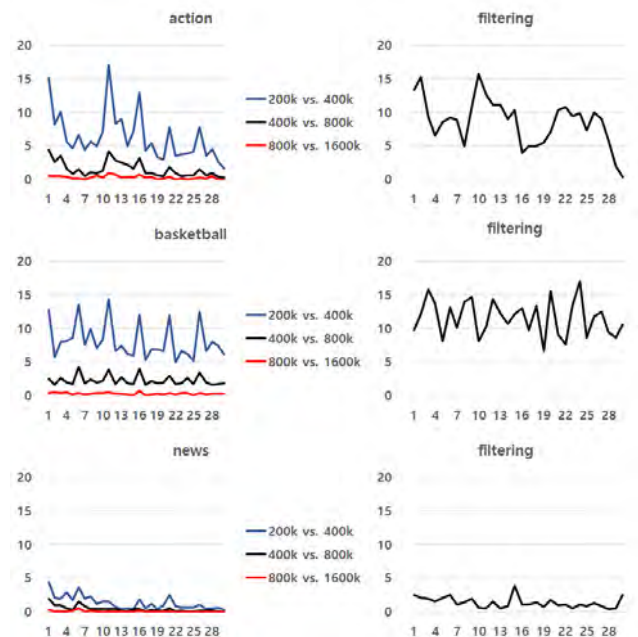
$$B = \begin{cases} 1600 & \text{if } x_i > \rho_1 \\ 800 & \text{if } \rho_2 < x_i < \rho_1 \\ 400 & \text{if } \rho_3 < x_i < \rho_2 \\ 200 & \text{if } x_i < \rho_3 \end{cases} \quad (3)$$

이 때, 선택된 비트레이트가 이미 트랜스코딩 된 영상의 비트레이트보다 낮을 경우 다음 신 구간에 대해 해당 비트레이트를 적용하여 트랜스코딩을 수행한다.

4. 실험결과

4.1 주관적 실험과 필터 결과 비교

영상의 움직임 정도에 따라서 비트레이트 간 사용자 인지화질수준 차이가 다르다는 사실을 2장의 주관적 실험을 통해 알 수 있었다. 본 논문에서 제안한 인접프레임 간 명암도 비교 필터가 가변 비트레이트 모델에 따라서 적정 비트레이트를 선택할 수 있음을 보이기 위해서는 필터의 측정결과가 사용자의 주관적 평가 결과를 반영할 수 있음을 실험을 통해서 확인할 필요가 있다. 위 (그림 4)은 세 가지 장르의 영상에 대한 주관적 품질 비교 실험결과와 필터링 결과를 그래프로 나타낸 것이다.



(그림 4) 장르 별 30개 신 구간에서 주관적 비교 평가결과와 필터링 결과

명암도 비교 필터의 수행결과, 주관적 평가 실험결과에서 높은 화질차이를 보였던 구간들을 추정할 수 있었다. 비트레이트 변환 시나리오에 따르면, 임계값 ρ_3 를 5로 정했을 때, 서버는 뉴스 영상의 30개 신을 모두 200kbps로 트랜스코딩하여 서비스할 것이다. 그리고 서버가 얻을 수 있는 연산측면의 이점에 비해 사용자가 느낄 화질수준저하는 매우 적을 것이라 예상할 수 있다. 액션 장르의 경우

ρ_2 를 10으로 가정하면, 서버는 첫 번째 신부터 3번째 신, 10번째 신부터 16번째 신 구간에서 800kbps로 트랜스코딩 할 것이다. 그리고 그 외의 신 구간을 400kbps 로 트랜스코딩 할 것이고 주관적 실험결과와 비교해 봤을 때, 사용자는 큰 화질저하를 느끼지 않을 것이라 예상할 수 있다.

농구 장르의 경우, 일부 추정 값이 정확하지 않은 부분은 대체적으로 주관적 평가결과보다 더 높은 결과 값을 추정하였다. 높은 결과 값은 변환 시나리오에서 높은 비트레이트를 선택하기 때문에 사용자 측면의 화질저하를 발생시킬 개연성이 적다.

4.2 실시간 수행가능성

실제로 FFmpeg 트랜스코더에 구현된 명암도 변화량 측정 기법의 실시간 적용 가능성을 파악하기 위해 특정 비디오 시퀀스에 대해 필터링 수행 시간을 측정하였다.

실험환경은 Intel Core i7-2600k CPU, 8GB 램, Ubuntu 12.04 LTS 운영체제를 사용하였다. 실험은 1080p 해상도, 8000kbps, 30fps의 비디오 시퀀스를 1000kbps 로 트랜스코딩 하는 과정에서 측정하였다.

<표 1> 액션 장르에 대한 트랜스코딩 및 필터링 시간

every 10sec	001 ~ 300	301 ~ 600	601 ~ 900	901 ~ 1200	1201 ~ 1500	평균 (단위: ms)
total	6787	6717	6717	6707	6723	6730.2
filter	1013	1171	1125	1143	1116	1113.6
%	14.9	17.4	16.7	17.0	16.6	16.5

<표 2> 뉴스 장르에 대한 트랜스코딩 및 필터링 시간

300 10sec	001 ~ 300	301 ~ 600	601 ~ 900	901 ~ 1200	1201 ~ 1500	평균 (단위: ms)
total	6046	6100	6004	6024	6100	6054.8
filter	1025	1017	995	1009	1017	1012.6
%	17.0	16.7	16.6	16.7	16.7	16.7

영상 장르에 관계없이 실시간 적용이 가능함을 보이기 위해 영상의 변화가 많은 액션장르와 변화가 적은 뉴스 장르에 대해서 실험을 하였다. 명암도 변화량 측정에 걸리는 시간을 포함하여 트랜스코딩에 걸린 시간은 각각 5회씩 측정하고 평균을 정리한 결과는 <표 1,2>과 같다.

측정결과, 고해상도(1080p) 동영상에 대해서 영상의 장르에 관계없이 실시간 명암도 변화량 측정(1000 ms 이하)

이 가능하므로 충분히 실시간 트랜스코딩 환경에서 명암도 변화량 측정필터를 활용할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 동영상의 움직임 정도에 따른 사용자측면의 비디오 화질수준 차이를 확인하고, 그 차이를 실시간에 추정할 수 있는 방법으로 인접프레임 간 명암도 비교 필터를 제안하여 필터링 결과가 사용가능함을 보였다.

실시간 스트리밍 환경에서 명암도 비교 필터가 사용가능할 때, 제시된 가변비트레이트 기법은 주어진 임계값에 따라 화질수준을 보장할 것이다. 필터링 결과 값이 작은 비디오 시퀀스일수록 서버는 많은 연산자원을 아낄 수 있다. 또한, 다양한 사용자에 대한 서비스 환경에서 서버가 부하관리를 위해 필터링 결과 값이 가장 작은 비디오 서비스의 비트레이트를 먼저 낮추도록 우선순위를 관리할 수 있다. 명암도 비교 필터를 이용한 가변 비트레이트 모델을 더 많은 종류의 비디오 콘텐츠에 대해 실험하고, 본 논문에서 제시한 필터를 적용한 스트리밍 환경에서 서버의 트랜스코딩 작업량과 스트리밍 결과물인 비디오 서비스의 화질수준을 기존의 스트리밍 환경과 비교하는 것이 향후 연구진행 목표이다.

논문 사사(acknowledgement)

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 한국연구재단의 기초 연구사업 지원(과제번호 NRF-2011-0024909)과 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 지원(10041971, 상황대응형 분산트랜스코딩 기술을 이용한 저전력 고성능 멀티미디어 콘텐츠 관리기술 개발)으로 수행하였음.

참고문헌

- [1] Apple HLS, available at <https://developer.apple.com/streaming>
- [2] FFmpeg project, available at <https://www.ffmpeg.org/>
- [3] Thomas Stockhammer, "Dynamic adaptive streaming over HTTP - Design Principles and Standards" In proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems, pp.133-144, 2011.
- [4] Xin, Jun, Chia-Wen Lin, and Ming-Ting Sun. "Digital video transcoding." Proceedings of the IEEE 93.1, pp.84-97, 2005.
- [5] Gonzalez, Rafael C., Richard Eugene Woods, "Digital image processing, 3rd." Pearson Prentice Hall, 2008.
- [6] MSU video quality measurement tool, available at http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html.