

스테레오스코픽 3차원 지상파 방송을 위한 합동 비트율 제어 연구

*장용준 **김문철

한국과학기술원

*yjchang@kaist.ac.kr

Joint Rate Control Scheme for Terrestrial Stereoscopic 3DTV Broadcast

*Chang, Yongjun **Kim, Munchurl

Korea Advanced Institute of Science and Technology

요약

최근 3차원 영상 콘텐츠와 디스플레이의 증가에 따라 지상파 방송사들의 3차원 텔레비전(3DTV) 방송을 위한 준비가 시작되고 있다. 하지만 현재 지상파 방송사들이 비디오 전송을 위하여 사용하고 있는 약 18Mbps의 대역폭 제한 내에서는 고품질의 3차원 스테레오스코픽 영상을 전송하는 데 한계가 있다. 따라서 보다 고품질의 3D 영상 방송 서비스를 제공하는 동시에, 기존 2DTV 시청자를 위한 호환성을 유지하기 위하여 좌영상은 현재 지상파 방송에서 채택하고 있는 MPEG-2 기반, 그리고 우영상은 보다 압축 효율이 높은 H.264/AVC 기반의 비디오 압축 및 전송 시스템이 고려되고 있다. 본 연구에서는 이러한 지상파 3DTV 방송 조건 하에서, 이중 부호화기에서 산출되는 비트스트림의 양을 대역폭 제한에 맞게 조절하는 합동 비트율 제어 방법을 제안한다. 제안하는 합동 비트율 제어 방법은 H.264/AVC의 비트율 제어 방법인 이차율-양자화 모델(quadratic rate-quantization model)을 MPEG-2 부호화 과정 내에 구현하여 압축된 두 비디오 비트스트림의 합이 대역폭 조건을 충족시키면서 화질왜곡을 최소화하는 양자화계수를 계산하도록 설계되었다. 또한 좌영상과 우영상의 화질의 차이가 일정하게 유지되도록 최적화 문제에서 제약식을 추가하여 양자화계수를 계산하였다. 실험결과 제안한 지상파 스테레오스코픽 3DTV를 위한 합동 비트율 제어 알고리즘은 목표 비트율을 맞추는 동시에, MPEG-2 및 H.264/AVC의 기존 비트율 제어 알고리즘 방법에 비하여 좌/우 영상의 평균 화질 합은 비슷한 수준을 나타내었고, 화질 절대차의 평균 및 변동은 큰 수준으로 감소시켰다.

Following the proliferation of three-dimensional video contents and displays, many terrestrial broadcasting companies prepare for starting stereoscopic 3DTV service. In terrestrial stereoscopic broadcast, it is a difficult task to code and transmit two video sequences while sustaining as high quality as 2DTV broadcast attains due to the limited bandwidth defined by the existing digital TV standards such as ATSC. Thus, a terrestrial 3DTV broadcasting system with heterogeneous video coding systems is considered for terrestrial 3DTV broadcast where the left image and right images are based on MPEG-2 and H.264/AVC, respectively, in order to achieve both high quality broadcasting service and compatibility for the existing 2DTV viewers. Without significant change in the current terrestrial broadcasting systems, we propose a joint rate control scheme for stereoscopic 3DTV service. The proposed joint rate control scheme applies to the MPEG-2 encoder a quadratic rate-quantization model which is adopted in the H.264/AVC. Then the controller is designed for the sum of two bit streams to meet the bandwidth requirement of broadcasting standards while the sum of image distortions is minimized by adjusting quantization parameter computed from the proposed optimization scheme. Besides, we also consider a condition on quality difference between the left and right images in the optimization. Experimental results demonstrate that the proposed bit rate control scheme outperforms the rate control method where each video coding standard uses its own bit rate control algorithm in terms of minimizing the mean image distortion as well as the mean value and the variation of absolute image quality differences.

1. 서론

할리우드 영화 아바타를 계기로 3D 비디오 콘텐츠 및 디스플레이의 증가에 따라 현재 지상파 방송사들은 시험방송 등 본격적인 스테레오스코픽 3DTV 방송 송출 준비를 서두르고 있다. 스테레오스코픽 3DTV 지상파 방송은 현재 사용 중인 ATSC (Advanced Television

Systems Committee) 방송 규격을 그대로 유지하는 한, 기존의 비디오 전송 대역폭인 약 18Mbps를 유지하면서 좌영상과 우영상을 동시에 송출해야 한다[1]. 따라서 현재 MPEG-2 기반의 2D 고해상도 TV (High Definition TV) 수준의 화질을 맞추는 데 한계가 있다. 제한된 대역폭 내에 화질을 향상하기 위해서 MPEG-2보다 더 압축 효율이 높은 H.264/AVC와 같은 비디오 표준 방식을 좌/우 영상에 모두 사용하

는 방법을 고려할 수 있지만, 기존 2DTV 시청자들을 위한 호환성 측면에서 양안 영상 중 적어도 하나의 영상은 MPEG-2 방식으로 부호화하는 방식이 유지되어야 한다. 따라서 호환성을 유지하는 동시에 대역폭 제한 조건 하에서 화질을 최적화 하기 위한 3DTV 지상파 방송 방식으로서, 그림 1과 같이 좌영상은 기존 지상파 방송 비디오 압축 표준인 MPEG-2를 이용하고, 우영상은 MPEG-2에 비해 압축효율이 큰 H.264/AVC로 압축하여 두 비트스트림을 다중화해서 송신하는 방법이 고려되고 있다[2].

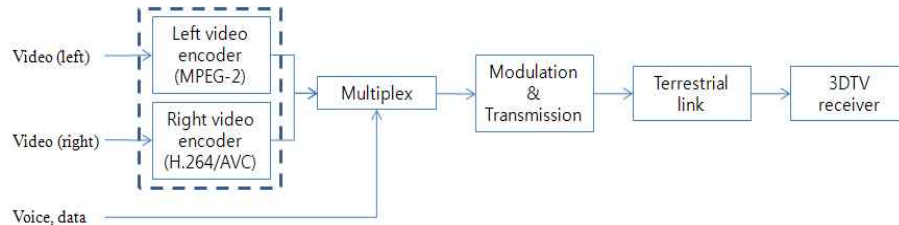


그림 1 본 연구에서 가정한 3DTV 지상파 방송 방식

이러한 방송 방식에 있어서 서로 다른 이중 부호화기로부터 산출되는 비트스트림은 서로 다른 신호적 특성을 보이기 때문에, 두 비트스트림을 동시에 고려하여 비트율 합이 대역폭 조건 내에서 화질의 합을 최대가 되게 하는 비트율 제어 방법의 연구가 요구된다. 본 연구에서는 H.264/AVC에서 사용하고 있는 2차 율-양자화 모델(quadratic rate-quantization model)[3][4]을 MPEG-2 부호화 과정 내에 구현하여 압축된 두 비디오 비트스트림의 합이 대역폭 조건을 충족시키면서 화질왜곡을 최소화하는 최적화 관점의 합동 비트율 제어 방법(joint bit rate control scheme)을 고안하였다.

한편, 인간이 인지하는 스테레오스코픽 3차원 영상의 주관적 화질은 근사적으로 좌/우 영상의 주관적 화질의 평균값과 유사하다고 알려져 있다[5]. 따라서 인간이 인지하는 3D 주관적 화질과 좌/우 영상의 2D 주관적 화질 간의 차이로 인해 발생하는 부정적 영향(예를 들면 안구 피로 등)을 최소화 하기 위해서는, 두 영상의 화질 차를 최소로 유지할 필요가 있다. 본 연구에서는 좌/우 영상의 화질 차이가 일정하게 유지되도록 최적화 문제에서 왜곡-양자화 모델(distortion-quantization model) 기반 제약식을 추가하여 양자화계수를 계산함으로써 이러한 문제를 해결하고자 하였다.

2. 합동 비트율 제어 알고리즘

가. 2D 비디오 비트율 제어 알고리즘

각 비디오 압축 표준들은 압축 효율을 높이기 위하여 서로 구별되는 많은 기술들을 포함하고 있다. 예를 들어 최근 표준으로 제정된 H.264/AVC의 경우 부호화 과정 내에 율-왜곡 최적화, 가변 블록 크기 움직임 예측, 1/4 화소 움직임 예측, 다중 참조프레임, 4x4 블록 DCT 기반 정수 변환, 그리고 향상된 엔트로피 코딩 등 다른 표준과 차별되는 특징을 갖는다[6]. 따라서 서로 다른 압축 과정들을 거쳐 산출된 이중 부호화기 비트율을 역시 서로 구별되는 신호적 특성을 갖게 된다. 이러한 산출 비트율을 미리 정해진 목표 비트율에 최대한 근사시키기 위하여 각 비디오 압축 표준들마다 권장하는 비트율 제어 알고리즘들을 참조 소프트웨어 내에 구현하고 있다. 본 연구에서 고려하는 비디오 압

축 표준인 MPEG-2 비트율 제어의 경우 픽처 타입과 복잡도에 따라 할당 비트량을 정하고, 목표 비트량 및 버퍼 충만도에 의한 매크로블록 단위의 양자화계수 결정 과정을 거쳐, 공간적인 복잡도와 왜곡 크기에 따라 양자화계수 값을 조정해주는 적응적 과정을 거친다[7]. H.264/AVC의 경우 MPEG-4에서 제안된 2차 율-양자화 모델에 잔차 신호의 평균절대차합(mean absolute difference: MAD) 예측 등 다른 조건을 추가한 비트율 제어 알고리즘이 사용되고 있다. 이 알고리즘은 우선 유동트래픽모델 및 선형추적이론에 기반해 GOP (group of pictures) 단위와 프레임 단위의 비트량을 할당하고, 이 목표 비트율을

이용한 2차 율-양자화 모델을 도입함으로써 비트율 제어를 위한 양자화계수 값을 계산한다. 이때 이전 프레임의 MAD 정보로부터 예측된 현재 프레임의 MAD 값을 이용하게 된다[4]. H.264/AVC의 비트율 제어 알고리즘에서 사용하고 있는 2차 율-양자화 모델은 다음과 같다[3].

$$\frac{a}{q} + \frac{b}{q^2} = R_T \quad (1)$$

식(1)에서 q 는 양자화계수(MPEG-2에서는 mquant, H.264/AVC에서는 Qstep), R_T 는 목표 비트율, 그리고 a, b 는 모델 파라미터를 의미한다. 이 모델 파라미터 a, b 는 선형회귀모델을 이용하여 비디오 컨텐트에 따라 적응적으로 업데이트 된다. 위 식 (1)에서 구한 양자화계수를 이용하여 H.264/AVC 프레임 단위 비트율 제어가 실행된다.

나. 제안 스테레오스코픽 3D 비디오 비트율 제어 방법

제안하는 스테레오스코픽 3DTV 방송을 위한 비트율 제어 방법은 식 (2)에서와 같이 좌영상, 우영상 각각의 비트율의 합이 목표 비트율을 넘지 않는 조건 하에서, 목적함수로 주어지는 복호화 된 좌/우 영상들의 왜곡 합을 최소화하는 최적화 문제로 접근하였다.

$$\begin{aligned} \min D_1 + D_2 \\ \text{s.t. } R_1 + R_2 \leq R_T \end{aligned} \quad (2)$$

위 식 (2)에서 D_i 는 i 번째 영상의 왜곡, 즉 MSE (Mean Squared Error), R_i 는 i 번째 영상의 비트율을 나타내며, $i=1$ 은 좌영상 부호화기 MPEG-2를, $i=2$ 은 우영상 부호화기 H.264/AVC를 의미한다. 이제 위 최적화 문제 (2)를 비트율 제어 변수인 양자화계수 q_i 에 대하여 풀기 위하여, 식(2) 내에 식 (1)의 2차 율-양자화 모델과 선형 왜곡-양자화 모델 $D_i = \alpha_i q_i$ (α_i 는 모델 파라미터로서 영상에 따라 적응적으로 결정됨)를 다음 식 (3)과 같이 도입하였다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2 \\ \text{s.t.} \quad & \frac{a_1}{q_1} + \frac{b_1}{q_1^2} + \frac{a_2}{q_2} + \frac{b_2}{q_2^2} \leq R_T \end{aligned} \quad (3)$$

즉, 위 식 (3)과 같은 최적화 문제를 정의함으로써 두 부호화기에서 산출되는 비트스트림의 비트율 합이 정해진 비트율보다 작거나 같은 조건 하에서 두 복원 영상의 화질 왜곡 합이 최소가 되게 하는 양자화계수를 계산하도록 설계되었다. 또한 서론에서 설명한 바와 같이 3D 영상과 2D 영상 간의 화질 차이로 인한 부작용을 최소화 하기 위하여 좌/우 영상의 화질 차이 $D_1 - D_2 = \alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2$ 를 0으로 하는 조건을 식 (3)에 추가하여 최종적으로 다음과 같은 최적화 문제 (4)를 도입하였다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2 \\ \text{s.t.} \quad & \frac{a_1}{q_1} + \frac{b_1}{q_1^2} + \frac{a_2}{q_2} + \frac{b_2}{q_2^2} \leq R_T \\ & \alpha_1 q_1 - \alpha_2 q_2 = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

위 최적화 문제의 두번째 조건식을 목적함수와 첫번째 조건식에 대입함으로써 위 식 (4)의 최적해는 이차 율-양자화 모델 (1)의 해를 구하는 방법과 동일하게 구할 수 있다. 본 연구에서는 식 (4)에서 구한 최적해를 이용한 프레임 단위 비트율 제어를 실시하여, 비트율 제한 조건과 양안 화질 차 최소화 조건 하에서 복호된 영상의 화질을 최적화 하도록 하였다.

3. 실험결과

본 연구에서는 객관적 화질 지표인 MSE 또는 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)이 주관적 화질을 대표할 수 있다는 전제 하에, 다양한 영상에 대하여 두 부호화기(MPEG-2, H.264/AVC)에서의 압축 성능을 비교 하였다. 실험에서 사용된 부호화 조건은 표 1과 같다.

표 1. 실험조건

| | MPEG-2 | H.264/AVC |
|--------------|------------------------------------|-----------|
| profile | Main | Baseline |
| level | 4 | 40 |
| GOP 구조 | IPPP | |
| GOP 크기 | sequence 전체 | |
| 영상 | Mother&Daughter, Foreman, Football | |
| 영상 해상도 | CIF | |
| 프레임 수 | 50 | |
| 목표 비트율 | 750 kbps | |
| 그의 부호화기 파라미터 | 디폴트 값 | |

첫번째 실험은 위 실험 조건 하에서 총 750 kbps중 500 kbps를 MPEG-2 비트스트림에 할당하고 나머지 250 kbps를 H.264/AVC에 할당한 후, 각 부호화기 내에 구현된 기존 비트율 제어 알고리즘을 이용하여 부호화를 실시하였다. 그 결과 두 부호화기에서 산출된 영상 화질의 차이에 있어서, 한 영상 내에서 뿐만 아니라 영상의 종류에 따라 서로 큰 차이가 있음을 그림 2로부터 알 수 있다.

그림 3은 제한한 3DTV 합동 비트율 제어 방법을 적용하였을 때

두 부호화기로부터 산출되는 화질을 나타낸다. 그림 2와 비교하여 그림 3의 좌/우 영상 화질은 거의 유사하게 함께 움직이고 있음을 알 수 있다. 표 2는 두 부호화기에서 산출된 평균 PSNR의 평균 및 좌/우 영상 화질 절대차의 평균과 표준편차에 대하여, 기존 비트율 제어 알고리즘과 제안한 합동 비트율 제어 알고리즘 간의 결과를 비교한 결과이다. 참고로 실험결과 기존의 비트율 제어 방법 및 합동 비트율 제어 방법 모두 매우 정확한 수준으로 목표 비트율에 도달 하였다.

표 2. 두 부호화기에서 산출된 화질 차의 평균, 표준편차 및 향상도

| | 시험영상 | 기존 비트율 제어 | 제안 비트율 제어 |
|---|-----------------|-----------|-----------|
| 평균 좌/우 PSNR의 평균 $\overline{PSNR} = \frac{\sum_{n=1}^N \{PSNR_1(n) + PSNR_2(n)\}}{2N}$ n: frame number (n=1,...,N), N=50 | Mother&Daughter | 40.79 | 41.88 |
| | Foreman | 34.56 | 34.59 |
| | Football | 29.83 | 29.56 |
| 절대차의 평균 $\overline{\Delta PSNR} = \frac{\sum_{n=1}^N PSNR_1(n) - PSNR_2(n) }{N}$ | Mother&Daughter | 1.20 | 0.49 |
| | Foreman | 2.08 | 0.33 |
| | Football | 1.12 | 0.64 |
| 절대차의 분산 $\frac{\sum_{n=1}^N (PSNR_1(n) - PSNR_2(n) - \overline{\Delta PSNR})^2}{N}$ | Mother&Daughter | 1.80 | 0.34 |
| | Foreman | 0.18 | 0.09 |
| | Football | 1.29 | 0.28 |

4. 결론

본 연구에서는 지상파 스테레오스코픽 3DTV 방송을 위하여 좌/우 영상의 비트율 합을 목표 비트율에 맞추는 동시에 양안 영상의 화질 차를 최소화 하는 조건 하에서 복호화 된 두 영상의 화질 합을 최대화하는 합동 비트율 제어 방법을 최적화 문제 관점으로 접근하였다. 표 4에 따르면 제안한 방법이 기존 비트율 제어 방법을 각 부호화기에 적용한 경우보다 좌/우 영상의 화질 왜곡 합은 비슷한 수준을 유지했고, 화질 절대차의 평균은 42~84%, 분산은 50~81% 감소하는 효과를 나타냈다. 비록 이 실험결과는 2D 영상에서 얻어진 것이지만, 스테레오스코픽 영상에서 좌/우 영상이 매우 유사하다는 가정 하에 제안한 합동 비트율 제어 방법이 서로 다른 이중 부호화기에서 산출되는 스테레오스코픽 3DTV 방송을 위한 비트율 제어 방법으로서 유용할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다(NIPA-2010-(C1090-1011-0003)).

참고문헌

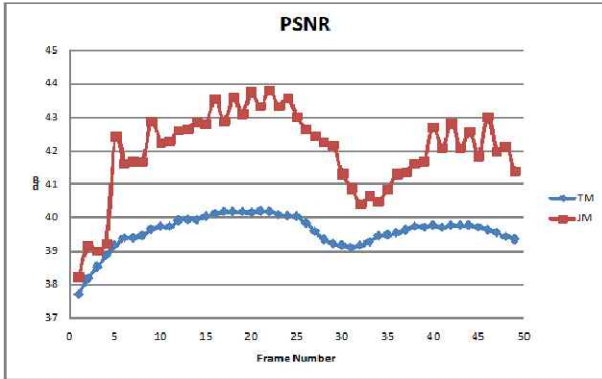
- [1] M. S. Richer, G. Reitmeier, T. Gurley, G. A. Jones, J. Whitaker, and R. Rast, "The ATSC digital television system," *Proceedings of the IEEE*, Special Issue on Global Digital Television: Technology and Emerging Services, pp.37-43, Jan. 2006.
- [2] 최병호, 김용환, 김계우, 박지호, "스테레오 3D 방송을 위한 비디오 부호화 기술", 방송공학회지, 15권 1호, pp.24-36, 2010.
- [3] H.-J. Lee, T. Chiang, and Y.-Q. Zhang, "Scalable rate control for MPEG-4 video," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, pp. 878-894, Sept. 2000.
- [4] Z. G. Li, F. Pan, K. P. Lim, G. Feng, X. Lin and S. Rahardja, "Adaptive basic unit

layer rate control for JVT," JVT-G012-r1, 7th Meeting, Pattaya II, Thailand, Mar. 2003.

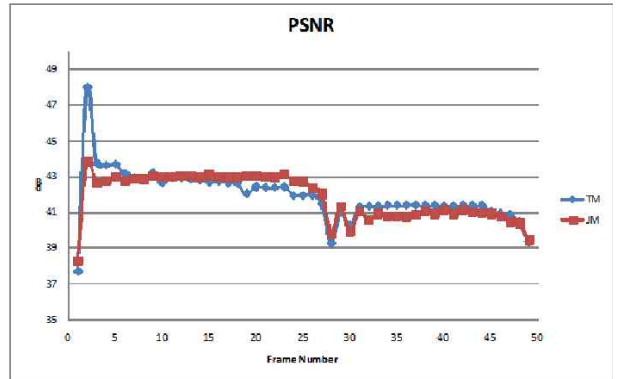
[5] Lew B. Stelmach and W. James Tam, "Stereoscopic image coding: Effect of disparate image-quality in left- and right-eye views," *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 14, pp. 111-117, 1998.

[6] T. Wiegand et al., "Overview of H.264/AVC Video Coding Standard", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 13, No. 7, pp. 560 - 576, July 2003.

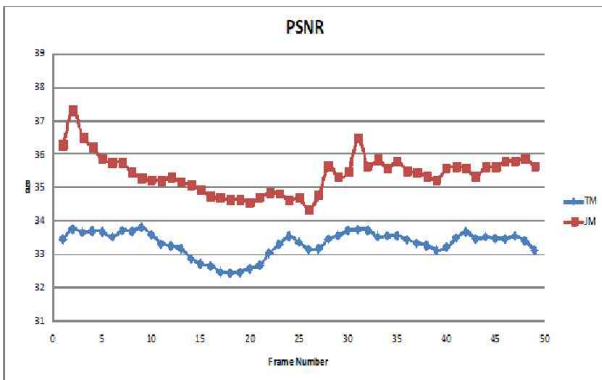
[7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Test model 5, 1993.



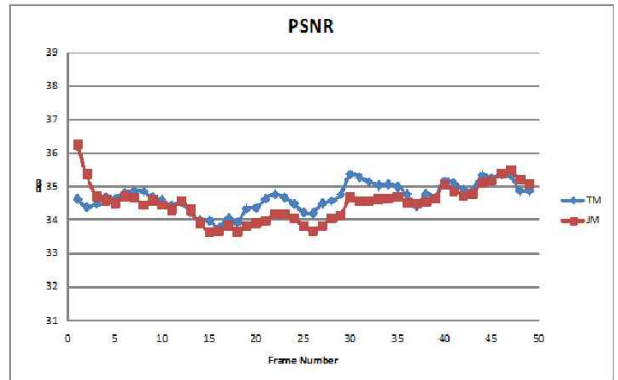
(a) Original bit rate control for *Mother&Daughter*



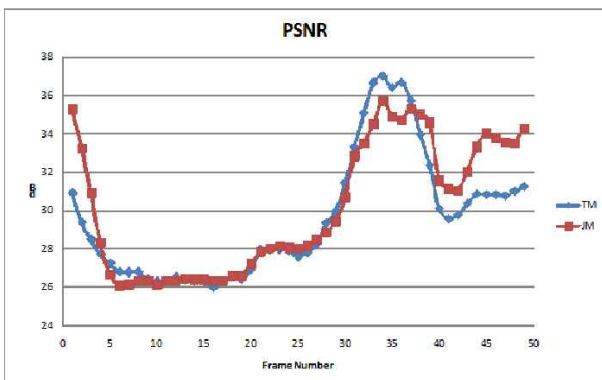
(a) Proposed bit rate control for *Mother&Daughter*



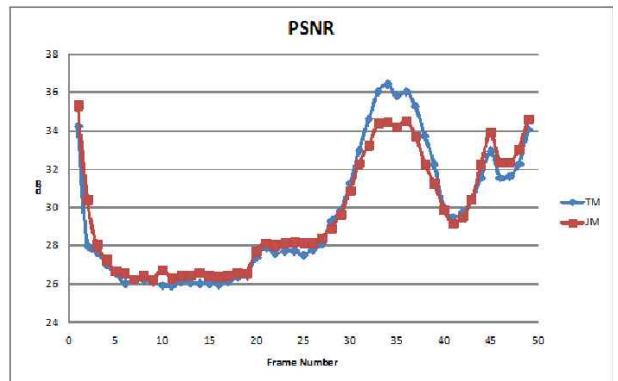
(a) Original bit rate control for *Foreman*



(b) Proposed bit rate control for *Foreman*



(c) Original bit rate control for *Football*



(c) Proposed bit rate control for *Football*

그림 2. 기존 비트율 제어 알고리즘
(MPEG-2: 500kbps, H.264/AVC: 250kbps)

그림 3. 제안 비트율 제어 알고리즘
(MPEG-2 + H.264/AVC: 750kbps)