

HEVC 의 계층적 부호화 구조를 고려한 LCU 단위의 비트율 제어 기법

박동일, 김재곤, 정대권, *김중호, *김휘용, *최진수

한국항공대학교, *한국전자통신연구원

{yoguembulnab, jgkim, dgjeong}@kau.ac.kr, *{pooney, hykim5, jschoi}@etri.re.kr

LCU-Level Rate Control for HEVC Considering Hierarchical Coding Structure

Dong Il Park, Jae-Gon Kim, Dae-Gwon Jeong, *Jongho Kim, *Hui-Yong Kim, *Jin Soo Choi
Korea Aerospace Univ., *ETRI

요 약

본 논문에서는 현재 표준화가 진행중인 HEVC 의 고정 비트율(CBR) 부호화를 위한 비트율 제어(rate control) 기법을 다룬다. HEVC 의 임의접근(Random Access: RA) 부호화 모드는 계층적-B 부호화 구조를 통해 높은 부호화 효율을 제공할 수 있다. 기존의 HEVC 를 위한 비트율 제어 방식으로는 2 차 비트율-왜곡 모델 기반의 시간계층 및 프레임 타입에 따른 비트율 특성을 반영한 프레임 레벨의 비트율 제어 기법이 제시되었다. 이 같은 기존의 프레임 레벨의 비트율 제어 기법은 임의접근 모드의 계층적-B 구조에서 동작 성능이 확인되었으나, HEVC 의 기본적인 부호화 단위(Coding Unit: CU)의 특성이 반영되지 않아 비트율 제어의 정확성이 제한되었다. 본 논문에서는 기존의 계층적 부호화 구조를 고려한 프레임 레벨의 비트율 제어 기법을 확장한 CU 레벨에서의 비트율 제어 기법을 제시하고 모의실험을 통해 제시된 기법의 비트율 제어 성능을 확인한다.

1. 서론

ISO/IEC MPEG 과 ITU-T VCEG 의 공동 작업반인 JCT-VC 에서는 초고해상도(UHD) 비디오 부호화를 주 목표로 한 HEVC(High Efficiency Video Coding) 표준화[1]를 진행하고 있다. 지난해 10 월 광주에서 개최된 3 차 회의에서는 HEVC 의 참조 소프트웨어인 HM(HEVC test Model) 1.0[2]에 포함될 기술이 결정되었고, 올해 3 월 제네바 5 차 회의에 걸쳐 HM 3.0 에 포함될 기술이 채택되었다. HM 에서는 부호화 모드로 Intra-only, 저지연(Low-Delay: LD), 그리고 임의접근(Random Access: RA)의 3 가지 모드를 정의하고 있다. 한편, HM 에서는 아직 고정 비트율(CBR: Constant Bit Rate) 부호화를 위한 비트율 제어를 제공하고 있지 않으며, 추후 비트율 제어 모듈이 추가될 것으로 예상된다.

본 논문에서는 HEVC 의 공통 실험조건[3]에서는 명시하는 RA 부호화 모드에서의 비트율 제어 기법을 제안한다. RA 모드는 방송 및 저장 응용 등에서 사용될 수 있도록 주기적으로 I 프레임 삽입하는 것을 특징으로 하며, LD 모드와 달리 역방향 예측이 허용되는 특징을 갖는다. LD 모드에서는 양방향 예측을 포함한 계층적-B(Hierarchical-B) 구조를 사용할 수 있으며, 부호화 효율을 최대화하고 시간적 스케일러빌리티를 지원할 수 있는 장점을 갖는다.

기존 H.264/AVC 의 JM(Joint Model)에서는 계층적 부호화 모드를 포함한 비트율 제어 기법이 제안 및 구현되어

있다[4][5]. 비트율 제어 단위를 기본단위(Basic Unit: BU)로 수행하며, BU 는 한 프레임으로부터 MB(Macroblock)까지 설정이 가능하다. 프레임 단위와 MB 단위의 유효성은 비트율 변동과 PSNR 간의 상충 관계를 갖는다. 프레임 단위의 비트율 제어는 높은 PSNR 과 큰 비트율 변동을 보이는 반면, MB 단위의 제어는 적은 비트율 변동과 약간의 PSNR 손실을 갖는다. 따라서, 효율적인 비트율 제어를 위해서는 적절한 BU 의 정의가 요구된다.

HEVC 에서는 효율적인 부호화를 위해 초고해상도 콘텐츠를 이용하는 다양한 응용분야 및 장비 등을 지원하기 위해 기존 MB 를 확장한 다양한 블록 크기를 갖는 CU 구조를 정의[6]하고 있다. CU 는 적용 범위에 따라 최대 블록 크기와 최대 깊이 정보를 이용하여 16x16 이상의 블록 크기도 지원 가능하지만 복잡도와 성능에 따라 현재 LCU(Largest Coding Unit)를 64x64 크기로 설정하여 표준화가 진행 중이다. 효율적인 고정 비트율 부호화를 위해서 HM 에 기존의 MB 를 확장한 CU 를 기본단위로 고려한 비트율 제어 알고리즘이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 기본단위를 LCU 로 제안 및 구현하여 그 결과를 확인하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 LCU 단위의 비트할당 및 제안한 QP 결정 기법을 기술하고, 3 절에서는 프레임 단위의 비트율 제어 및 제안한 LCU 단위의 비트율 제어 실험결과를 보이고, 마지막으로 제 4 장에서 결론을 맺는다.

2. 비트할당 및 제안 QP 결정 기법

비트율 제어는 목표 비트량 할당과 비트율-왜곡 모델에 의한 QP 결정 과정으로 이루어진다. 비트량 할당은 GOP, 프레임, 그리고 LCU 단위 순으로 진행되며, 본 논문의 프레임 목표 비트할당은 계층적-B 부호화 구조를 고려한 스케일러블 비디오 부호화 비트율 제어방식[7]을 이용한다. 즉, 계층적-B 부호화 구조의 프레임 목표 비트할당은 다음 식 (1)에 의해 계산된다.

$$R_{sum} = (1-\alpha) \times R_1 + \alpha \times R_2 \quad (1)$$

여기서 α 는 0.75 이고, R_1 은 식 (2)와 같다.

$$R_1 = \frac{W}{f} + \beta \times (B_t - B_c) \quad (2)$$

β 는 0.5의 상수를 가지며, 이용 가능한 채널 대역폭 W , 프레임율 f , 목표 버퍼 점유도 B_t , 그리고 이전의 실제 버퍼 점유도 B_c 를 이용하여 R_1 을 구한다. 그리고, R_2 는 식 (3)과 같다.

$$R_2 = R_r \times \frac{w_k}{w_{sum}} \quad (3)$$

현재 프레임이 부호화되기 전의 GOP 내의 잔여 비트량 R_r , 현재 프레임의 시간계층 k 에서의 가중치 w_k , 그리고 남은 프레임들의 가중치 합 w_{sum} 을 이용하여 식 (3)을 통해 R_2 를 구한다. 할당된 프레임 목표 비트량을 이용하여 프레임 내에 존재하는 BU 들에 대해 목표 비트량을 할당한다. HM 에서는 최대 128x128 블록 크기의 CU 부터 최소 8x8 블록 크기의 CU 까지의 다양한 CU 크기를 지원한다. 본 논문에서는 HM 의 공통 실험조건에서 명시하는 LCU 크기인 64x64 를 BU 로 설정하였다. LCU 목표 비트량은 프레임 목표 비트량과 프레임 내의 LCU 들간의 MAD(Mean Absolute Difference)를 이용하여 식 (4)와 같이 할당한다.

$$b_l = T_r \times \frac{MAD_{pred,l}}{MAD_{pred,l} + N_{remainLCU} \times MAD_{mean}} \quad (4)$$

현재 프레임 내의 l 번째 LCU 의 선형예측에 의한 예측 MAD 값 $MAD_{pred,l}$, 부호화가 끝난 이전 LCU 까지의 MAD 평균값 MAD_{mean} , 현재 프레임 내의 남은 LCU 수 $N_{remainLCU}$, 그리고 현재 프레임에 할당된 남은 비트량 T_r 을 이용하여 현재 부호화하고자 하는 LCU 에 할당하는 목표 비트량 b_l 을 도출한다. 이 때, 이전 LCU 까지의 평균 MAD 값은 식 (5)와 같이 실제 발생된 왜곡값들의 평균이다.

$$MAD_{mean} = \frac{\sum_{k=1}^{l-1} MAD_k}{l-1} \quad (5)$$

즉, 이전 LCU 까지 발생된 왜곡값들의 평균값을 남은 LCU 의 수만큼 곱해주고 현재 예측된 왜곡값을 더한 전체 복잡도에 대해 현재 예측된 왜곡값 만큼의 비율로 현재 남은 프레임 목표 비트량에 대해 현재 LCU 의 목표 비트량을 할당한다.

본 논문에서는, QP 결정을 위해 H.264/AVC 의 2 차 비트율-왜곡 모델[4]을 확장하여 시간계층 l , 프레임 타입 t 를 반영한 식 (6)의 비트율-왜곡 모델을 제시한다.

$$\frac{R_{sum}^{l,t}}{MAD_{l,t}} = \frac{X_1^{l,t}}{Q_{l,t}} + \frac{X_2^{l,t}}{Q_{l,t}^2} \quad (6)$$

위의 식 (4)에서 도출한 LCU 의 목표 비트량 b_l 을 2 차 비트율-왜곡 모델식 (6)에 적용하여 현재 LCU 의 QP 를 결정한다.

3. 실험결과

본 실험에서는 제안된 비트율 제어 기법을 HM 2.0[8]에 구현하였다. 테스트 시퀀스는 Full-HD(1920x1080) 해상도의 Kimono, ParkScene(24 fps), BasketballDrive(50 fps), BQTerrace(60 fps)와 3DTV 용 1920x544 해상도의 KBS2, MBC2(60 fps)를 사용하였다. HEVC 표준화의 공통 실험조건에 의한 계층적-B 부호화 구조인 RA 모드를 사용하였고, 추가 비트 깊이가 정보는 0 으로 설정하여 내부 비트 깊이를 8로 부호화하였으며, 부호화 길이는 5 초로 설정하였다. 비트율 제어는 프레임 단위와 LCU 단위의 QP 결정 방법을 사용하였다. 실험결과는 표 1, 표 2, 그림 1 과 같다.

표 1 은 프레임 단위의 평균 비트율 결과와 비트율의 정확도를 나타낸 것이고, 표 2 는 LCU 단위의 결과를 보여준다. 본 논문에서는 기존 JM[4][5]과 달리, 모든 시간계층에 대해 비트율-제어 모델을 이용하여 QP 를 결정하기 때문에 목표 비트율에 가까운 평균 비트율을 얻을 수 있음을 확인하였다. 추가적으로, 프레임 단위의 정확도를 측정하기 위해, 식 (7)에 의해 프레임 단위의 평균 오차율 m_E 과 표준 편차 σ_E 를 사용하였다.

$$E = \sum_{i=1}^{N_{data}} \frac{|T_i - S_i|}{T_i} \quad (7)$$

T_i 는 프레임 단위의 목표 비트 할당량, S_i 는 율제어에 의해 발생하는 실제 발생 비트량을 나타낸다. 표 1 과 표 2 를 비교해보면 LCU 단위로 율제어를 수행한 결과의 평균 오차율과 표준 편차가 프레임 단위로 수행한 결과보다 개선된 것을 확인할 수 있다.

그림 1 은 LCU 단위로 비트율 제어를 수행했을 때, 초당 발생하는 비트량(kBis/sec)을 나타낸 것으로 발생하는 초당

부호화 비트량이 목표 비트량에 근접하게 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

제안한 방법을 이용한 율제어 기법은 기존 JM 의 방법과 다르게, P 프레임뿐만 아니라 I, B 프레임에 대해서도 모든 시간계층에 대해 비트율-제어 모델을 적용하여 QP 를 결정한다. 또한, 프레임 단위의 QP 할당방식에 추가적으로 LCU 단위까지 목표 비트량을 할당하고 QP 를 결정함으로써 프레임 단위의 발생 비트량이 목표 비트량에 대해 평균적으로 5% 정도의 정확도가 향상되었지만 0.12dB 의 PSNR 손실이 있음을 확인하였다. 이는 목표 비트량에 도달하기 위해 LCU 단위로 QP 를 조절함으로써 나타나는 상충 관계임을 확인하였다. 따라서, 추후 HM 의 비트율 제어 알고리즘에서의 효율적인 비트율 제어의 적절한 기본단위(BU)를 모색하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

표 1. 프레임 단위 비트율 제어 실험결과

Sequence (IntraPeriod)	Target Bitrate [kbps]	Actual Bitrate [kbps]	Bitrate Diff. (m_E/σ_E)	PSNR(Y) [dB]
Kimono(24)	920	925.24	0.26/0.29	35.40
ParkScene(24)	2525	2531.82	0.52/0.55	33.96
BasketballDrive(48)	2970	2976.88	0.18/0.17	34.89
BQTerrace(64)	3000	3050.12	0.52/0.78	33.85
KBS2(64)	5500	5500.45	0.63/2.48	34.23
MBC2(64)	3000	3017.67	0.29/0.41	43.33
Average			0.4/0.78	35.94

표 2. LCU 단위 비트율 제어 실험결과

Sequence (IntraPeriod)	Target Bitrate [kbps]	Actual Bitrate [kbps]	Bitrate Diff. (m_E/σ_E)	PSNR(Y) [dB]
Kimono(24)	920	923.68	0.28/0.28	35.11
ParkScene(24)	2525	2536.19	0.53/0.80	33.89
BasketballDrive(48)	2970	2963.64	0.21/0.33	34.73
BQTerrace(64)	3000	3031.21	0.58/1.09	33.62
KBS2(64)	5500	5518.27	0.29/0.37	34.32
MBC2(64)	3000	3006.66	0.23/0.31	43.23
Average			0.35/0.53	35.82

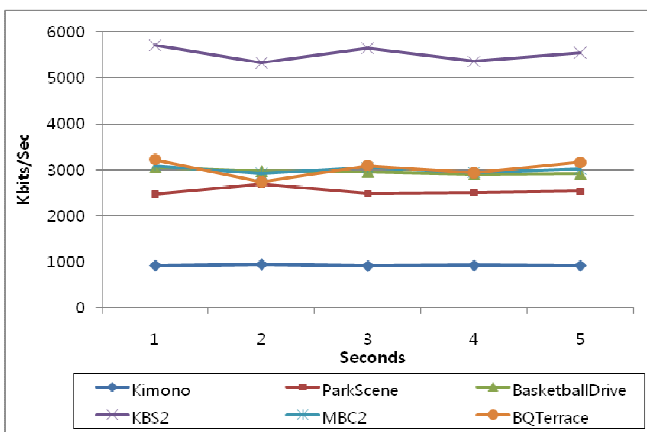


그림 1. 초당 발생하는 비트량

4. 결론

본 논문에서는 계층적-B 부호화 구조를 갖는 HEVC 의 RA 모드에서의 비트율 제어 알고리즘 구현 및 성능을 기술하였다. 계층적-B 부호화 구조의 시간계층 및 프레임 타입을 반영하여 기존의 H.264/AVC 에 제안된 2 차 비트율-왜곡 모델을 확장한 양자화 파라미터 결정 기법을 제시하였다. 또한, 프레임 단위와 LCU 단위의 비트율 제어 기법을 HM 에 구현하여 모의실험을 통해 HEVC RA 모드에서 비교적 정확한 비트율 제어가 가능함을 확인하였다.

또한, 제안하는 LCU 단위의 비트율 제어 기법은 프레임 단위의 비트율 제어 대비 평균적으로 5 % 정도의 정확도 향상을 보였고 0.12 dB 의 PSNR 손실을 보임을 확인하였다. 이와 같은 비트율 제어의 정확도와 화질열화 간의 상충 관계가 최소가 되는 기본단위의 설정에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 방송통신위원회의 ETRI 연구지원 사업[KCA-2011-(11921-02001), 무안경 다시점 3D 지원 UHDTV 방송 기술개발] 및 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업[NIPA-2011-(C1090-1111-0001)]의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] "Joint Call for Proposals on Video Compression Technology," ITU-T Q6/16 VCEG 39th meeting, VCEG-AM91, Kyoto, Japan, 17-22 Jan., 2010.
- [2] T. K. Tan, Gary, J. Sullivan and Jens-Rainer Ohm, " The summary of HEVC working draft 1 and HEVC test model (HM)," JCTVC-C405, JCT-VC 3rd meeting, Guangzhou, 7-15 Oct., 2010.
- [3] JCT-VC, " Common test conditions and software reference configurations," JCTVC-E700, JCT-VC 5th meeting, Geneva, Mar., 2011.
- [4] Z. Li, W. Gao, F. Pan and K. Pang, " Adaptive Basic Unit Layer Rate Control for JVT," Joint Video Team of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-G012, 7th meeting, Pattaya II, Thailand, 7-14 Mar., 2003.
- [5] A. Leontaris and A. M. Tourapis, " Rate Control reorganization in the Joint Model (JM) reference software," Joint Video Team of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-W042, 23rd meeting, San Jose, California, USA, 21-27 Apr., 2007.
- [6] JCT-VC, " WD3: Working Draft 3 of High-efficiency video coding," JCTVC-E603, JCT-VC 5th meeting, Geneva, Mar., 2011.
- [7] Y. Liu, Z. G. Li and Y. C. Soh, " Rate Control of H.264/AVC Scalable Extension," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 17, no. 5, pp. 517-529, May 2007.
- [8] https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags