

# HEVC 기반 4K UHD 실시간 부호화를 위한 다중 슬라이스 지원 윌 제어 방법

김대은<sup>1</sup>, 장용준<sup>1</sup>, 김재일<sup>2</sup>, 김문철<sup>1</sup>, 김희용<sup>3</sup>, 석진욱<sup>3</sup>

한국과학기술원 전기및전자공학부<sup>1</sup>, 한국정보통신기술협회<sup>2</sup>, 한국전자통신연구원 방송통신미디어연구소<sup>3</sup>

{kimde, yjchang, mkimee}@kaist.ac.kr<sup>1</sup>, jaeil0130@tta.or.kr<sup>2</sup>, {hykim5, jnwseok}@etri.re.kr<sup>3</sup>

## A Bitrate Control Scheme with Multiple Slices for 4K UHD Real-Time HEVC Encoders

Dae Eun Kim<sup>1</sup>, Yongjun Chang<sup>1</sup>, Jaeil Kim<sup>2</sup>, Munchurl Kim<sup>1</sup>

School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology<sup>1</sup>,  
Telecommunications Technology Association<sup>2</sup>

### 요 약

본 논문에서는 4K UHD 입력 영상에 대해 각 프레임에 대해 다중 슬라이스로 분할하고, 이를 병렬 처리를 통해 실시간으로 부호화를 수행하는 소프트웨어 기반 HEVC 인코더의 윌 제어 방법에 관한 연구이다. 이를 위하여 HEVC 가 지원하는 슬라이스를 적용하여 프레임에 독립적인 다중 슬라이스로 분할하였고, 각각의 슬라이스에 대해서는 기존에 제안된 몇 가지의 윌 제어 방법을 개선하여 적용하였다. 본 논문에서는 다중 슬라이스에 각각 독립적으로 적용한 윌 제어 방법에 대한 실험 결과를 통해 제안된 윌 제어 방법의 안정성을 확인하고, 향후 연구로서 각 슬라이스의 출력 비트율을 예측하고 다중 슬라이스에 효과적으로 할당하는 방법과 이를 통한 주관적 화질을 향상 하는 방법에 대해 논한다.

### 1. 서론

가장 최신의 비디오 부호화 표준인 HEVC (High Efficiency Video Coding)는 기존의 H.264 AVC (Advanced Video Coding)에 비해 동일 주관적 화질 대비 두 배 정도의 부호화 효율을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이같이 우수한 부호화 효율을 발휘하기 위하여 HEVC 표준이 지원하는 부호화 도구들은 매우 다양하다. 지원 가능한 부호화 도구를 충분히 활용하는 데 있어서 부호화 과정에서의 계산 복잡도 및 처리 시간 증가는 필연적이다. 더욱이 고화질 비디오에 대한 수요가 높아짐에 따라 1920×1080 의 full HD 는 물론 3840×2160 의 4K UHD 와 같은 초고해상도 영상이 일반화 되면서 HEVC 표준의 연산량 문제는 더욱 심화되었다. 이 같은 문제를 해결하기 위하여 [1]을 통해 다수의 코어가 탑재된 컴퓨터 시스템에서의 병렬 부호화 처리 방법이 제안된 바 있다.

한편 안정적인 대역폭 관리를 위하여 비트율 제어는 부호화기에 있어서 필수적인 요소인데, 다수의 코어를 통해 병렬적으로 부호화를 진행하는 경우에도 비트율을 안정적으로 출력해야 함은 물론, 이와 동시에 만족할 만한 화질을 제공할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이 같은 문제를 해결하기 위하여 [2]에서 제안된 윌 제어 구조에 [3]에서 제안된 HEVC 윌-양자화 모델을 적용하여 다중 슬라이스 구조를 지원하는 4K UHD 영상을 부호화를 위한 윌 제어 방법을 제안하였고, 실험을 통하여 제안 방법의 효과성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 기존 HEVC 의 다중 슬라이스 지원과 HEVC 의 비트율 제어에 대해 설명한다. 3 장에서는 본 연구에서 제안한 4K UHD 실시간 부호화를 위한 다중 슬라이스 지원 비트율 제어 방법을 설명한다. 4 장에서는 이에 대한 실험결과를 제시하고 마지막으로 5 장에서 이 논문의 결론을 짓는다.

### 2. HEVC 다중 슬라이스 지원 및 비트율 제어

#### 2.1. HEVC 다중 슬라이스 지원

HEVC 표준은 이전 표준인 H.264/AVC 표준과 마찬가지로 슬라이스(Slice) 구조를 지원한다. 슬라이스란 연속된 CTU (Coding Tree Unit)들의 모임이며 하나의 프레임을 여러 개의 슬라이스로 나눔으로써 슬라이스 간에 독립적인 부호화 및 복호화를 가능하게 한다. 슬라이스 구조가 고안된 것은 슬라이스를 넘어 참조하지 않도록 하여 슬라이스 내에서 발생한 오류가 다른 슬라이스로 전이되지 않도록 하는 것이 본래의 목적이다. 그러나 독립적인 처리가 가능한 이 특성은 병렬 처리에도 적합하게 적용될 수 있다. 즉 하나의 프레임을 다중 슬라이스로 분할하여 각각의 슬라이스를 서로 다른 다수의 코어에서 독립적으로 부호화 하는 것이 가능하다. 이는 특히 소프트웨어 기반 실시간 인코더를 위한 병렬화 구조에 유리하다. 물론 다중 코어를 지원하는 하드웨어상에서의

슬라이드 병렬화 처리 구현시에도 유리하다. 본 논문에서는 울 제어 방법은 3840×2160 의 4K UHD 영상을 N 개의 다중 슬라이드로 분할하여 각각의 슬라이드를 독립적으로 처리하는 병렬화된 HEVC 인코더 구조를 대상으로 한다.

### 2.2. HEVC 비트율 제어

HEVC 참조 소프트웨어인 HM 에는 울 제어를 위한 양자화 파라미터(Quantization Parameter: QP) 결정 방법으로서 기존 코덱들의 울 제어 모델인 이차 울 제어 모델에 다양한 CU 크기를 고려한 Unified Rate-Quantization(R-q) 모델 [4] 및 부호화 과정에서 발생된 비트량 R 과 울-왜곡 최적화 과정에서 사용된 라그랑지안 계수 λ 값과의 관계를 모델링한 R-λ 모델 [5] 방법들이 구현되어 있다.

본 연구에서는 위 방법들 대신 DCT 잔차신호의 크기에 따라 low, medium, high 텍스처 CU 타입으로 분류하고 각 분류된 CU 에 대하여 다른 Laplacian 확률분포를 적용함으로써 엔트로피 기반 텍스처(texture) 비트율에 대한 모델 방법 [3]을 적용하였다.

$$R(q) = \alpha_l N_l H_l(q, \lambda_l) + \alpha_m N_m H_m(q, \lambda_m) + \alpha_h N_h H_h(q, \lambda_h) \quad (1)$$

위 식 (1)에서 첨자 l, m, h는 각각 low, medium, high 텍스처 CU 를 의미하며, N 은 각 텍스처 CU 타입 내의 픽셀 수를, H 는 각 텍스처 CU 타입의 엔트로피를, q 는 양자화 스텝 사이즈를, 그리고 λ는 Laplacian 확률분포의 파라미터를 의미한다. 위 R-q 모델의 모델 파라미터 α는 linear regression 에 의하여 업데이트된다.

또한 [3]에서는 보다 향상된 비트율 예측을 위하여 총 비(非) 텍스처(non-texture) 비트량  $\tilde{R}$  와 각 CU 타입의 주된 비 텍스처 비트량 사이의 선형관계를 이용한 비 텍스처 비트율 모델 (2)를 사용하였다.

$$\tilde{R}(q) = \beta_l \tilde{R}_l(mv + cbf) + \beta_m \tilde{R}_m(mv) + \beta_h \tilde{R}_h(mode) \quad (2)$$

위 식 (2)에서  $\tilde{R}_l(mv + cbf)$ 는 low 텍스처 CU 의 모션 벡터 mv 와 coded block flag (cbf) 정보에 대한 평균 비트량을,  $\tilde{R}_m(mv)$ 는 medium 텍스처 CU 의 모션 벡터 mv 에 대한 평균 비트량을,  $\tilde{R}_h(mode)$ 는 high 텍스처 CU 에 대한 평균 비 텍스처 비트량을 의미하며, β는 linear regression 에 의하여 업데이트 되는 모델 파라미터이다. 본 연구에서는 [3]의 프레임 비트율 제어 방법을 다중 슬라이드의 각 슬라이스 내에 적용함으로써 비트율 제어를 시도하였다.

### 3. 4K UHD 실시간 부호화를 위한 다중 슬라이스 지원 비트율 제어

본 연구에서는 다중 슬라이스 지원 비트율 제어를 분할된 각 슬라이스에 대해 적용 하기 위하여 [2]에서 제안된 GOP(Group Of Picture) 및 프레임별 목표 비트율 할당 방법을 적용하였다. 여기에 추가적으로 HEVC 의 울 발생을 보다 정확하게 예측하는 것으로 알려져 있는 [3]에서 제안된 울-모델을 적용하였다.

그러나 두 논문에 소개된 기존의 방법을 그대로 적용하는 경우 주어진 목표 비트율이 상대적으로 낮은 경우에는 부호화를 통해 얻어진 출력 비트율이 원하는 목표 비트율에 도달하지 못하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 개방 GOP(본 논문에서는 8 개 프레임 수로 구성됨) 내에서 첫 번째 프레임의 QP 값을 적절히 잘 결정하지 못해 발생하는 문제이다. 기존 [2]의 방법에서는 이전 GOP 에서 할당된 QP 들의 평균 값을 이용하도록 했는데, 이 경우 비트율이 부족한 상황에서는 상대적으로 많은 비트량을 현재 GOP 부호화 초기에 발생시킴으로써 적절한 비트율 제어를 달성할 수 없었다. 그림 1 은 이와 같은 상황을 도시한다.

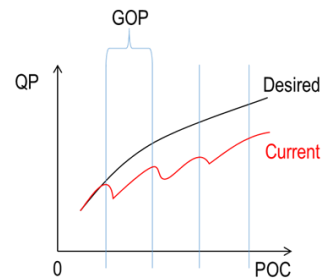


그림 1. 목표 비트율이 상대적으로 낮은 경우 나타나는 문제점

그림 1 에서 검정색 실선(Desired)은 각 GOP 를 부호화 하는 과정에서 QP 값을 지속적으로 증가시켜 발생 비트율을 줄여나가야 하는 상황에 대한 예이다. 빨간색 실선(Current)은 현재 HM 의 울 제어 방법이 각 GOP 의 첫번째 프레임에서의 QP 값 결정을 이전 GOP 내의 프레임들에서 사용된 QP 값들의 평균 값을 적용하여 나타나는 QP 곡선을 나타낸다. 그림 보듯이 기본 방법은 QP 값을 지속 적으로 증가시키지 못하는 단점을 가지고 있어, 입력 영상의 복잡도가 매우 커서 출력 비트율이 매우 크게 발생하는 경우 출력 비트율의 양을 효과적으로 제어하기 힘들게 된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 이전 GOP 를 부호화 할 때 출력된 비트율과 목표 비트율로부터 남은 비트율을 비교하여 비트율이 부족하다고 판단되는 경우에는 이전 GOP 의 마지막 프레임에 할당된 QP 값을 현재 GOP 내의 첫 번째 프레임 QP 로 할당하도록 했다.

### 4. 실험결과

본 연구에서는 4K UHD (3840×2190) 실시간 부호화를 테스트 하기 위하여 첫 50 프레임은 바닷가에서, 그리고 나머지 14 프레임은 파도 위에서 서핑을 하는 모습을 촬영한 실험영상(seashore/surfing)을 사용하였다. 따라서 51 번째 프레임에서 장면 전환이 발생하고, 파도 등 부호화 복잡도가 높은 환경에서도 제안한 울 제어 방법이 효과적으로 동작하는지를 확인하고자 하였다. 실험조건은 표 1 과 같다.

다중 슬라이스를 지원하기 위하여 실험영상의 각 프레임은 수평 방향의 8 개 슬라이스로 분할되었으며, 4K 해상도를 맞추기 위하여 최상단의 슬라이스는 3840×320, 최하단의 슬라이스는 3840×304, 그리고 나머지 슬라이스들은 3840×256 의 해상도로 이루어졌다. 총 20 Mbps 의 목표 비트율도 8 개의 슬라이스에 균등하게 배분하여 각 슬라이스 부호화 결과 비트율이 2.5 Mbps 에 맞추도록 울 제어

알고리즘을 설계하였다.

표 1. 실험조건

Sequence	Seashore/Surfing
Number of encoded frames	64
Open GOP size	8
Frame rate	60
Bit depth	10
YUV format	4:2:0
Max CU size	64x64
Profile	Main10
총 Target bitrate	20 Mbps
슬라이스 수	8
슬라이스당 Target bitrate	2.5 Mbps

제안한 율 제어 알고리즘을 기반으로 실험한 결과 표 2 와 같이 총 8 개의 슬라이스에 대하여 화질(Y-PSNR)의 경우 최소 30.2 dB, 최대 45.5 dB, 평균 35.9 dB 이었으며, 목표 비트율과 실제 발생한 비트율과의 목표 비트율에 대한 상대적인 오차는 최소 0.3 %, 최대 6.2 %, 평균 2.0 %로 나타났다. 그림 2 는 슬라이스 #2 의 부호화 과정에서 발생하는 평균 비트율을 나타낸 것으로서, 제안한 알고리즘의 경우 초기 I 프레임에서 급격한 비트율이 발생하지만 약 4~6 프레임부터 목표 비트율에 빠르게 도달함을 알 수 있다. 본 실험에서는 8 개의 슬라이스들에 대해 동일한 목표 비트율을 할당하였는데, 영상의 복잡도에 따라 이를 적응적으로 달리 적용함으로써 전체 사용 가능한 비트율을 다중 슬라이스에 효과적으로 할당 사용하여 전체 프레임의 주관적 화질 향상이 필요하다.

표 2. 제안한 비트율 제어 알고리즘 실험결과

슬라이스 번호	Y-PSNR (dB)	발생 비트율 (bit/sec)	목표 및 발생 비트율 오차 (%)
1	45.5	2448743	2.1
2	39.1	2508195	0.3
3	31.4	2475593	1.0
4	30.6	2476253	0.9
5	30.2	2430293	2.8
6	36.0	2470185	1.2
7	38.0	2460975	1.6
8	36.3	2345708	6.2
평균	35.9	2451993	2.0

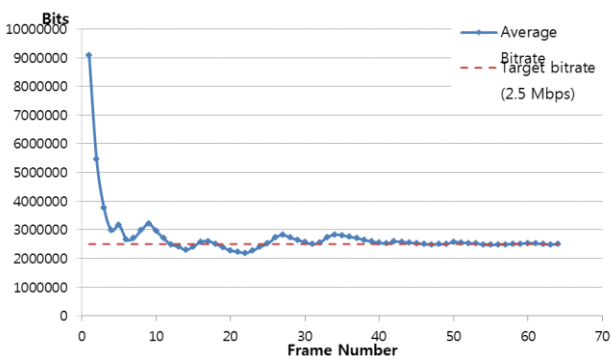


그림 2. 슬라이스 #2 의 부호화 중 발생하는 평균 비트율 변화

## 5. 결론

본 연구에서는 4K UHD 영상의 HEVC 실시간 부호화의 비트율 제어를 위하여 텍스처 및 비 텍스처 율 모델 기반 다중 슬라이스 지원 율 제어 방법을 제안하였다. 실험에서는 실험 영상의 sequence 들 총 8 개의 가로방향 (3840x256, 3840x320 또는 3840x304) 슬라이스로 분할하였으며, 각 슬라이스의 목표 비트율은 프레임 목표 비트율의 1/8 에 해당하는 값을 배정하였다. 그 결과 평균 35.9 dB 의 화질과 목표비트율로부터 2.0 %의 비트율 오차를 달성하였다. 그러나 실제 영상에서는 복잡한 관심영역이 대부분 화면의 중앙에 위치하기 때문에, 정적인 배경 영상이 부호화될 확률이 높은 최상단 및 최하단의 슬라이스에 비하여 관심영역에 해당하는 슬라이스들에 더 높은 목표 비트율을 할당함으로써 주관적 화질 향상을 기대할 수 있다. 따라서 현재 또는 이미 부호화된 슬라이스들의 영상 복잡도(MAD 등)를 고려한 보다 정확한 목표 비트율 할당 방법들을 차후 연구할 예정이다.

## 감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0101-15-295, 초고품질 콘텐츠 지원 UHD 실감방송/디지털시네마/사이니지 융합 서비스 기술 개발)

## 참고문헌

- [1] 김연희, 석진욱, 정순홍, 김휘용, 최진수, “ 타일 및 프레임 수준의 HEVC 병렬 부호화,” 방송공학회논문지, 제 20 권, 제 3 호, pp. 388-397, 5 월, 2015 년.
- [2] Z. G. Li , F. Pan , K. P. Lim and S. Rahardja “ Adaptive rate control for H.264,” *Proc. IEEE Int. Conf. Image Process.*, pp.745 -748 2004.
- [3] B. Lee, et al., “ Frame-level rate control scheme based on texture and nontexture rate models for HEVC,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 24, No. 3, pp. 465-479, Mar. 2014.
- [4] H. Choi, et al., “ Rate control based on unified R-Q model for HEVC,” document M23088 (JCTVC-H0213), San Jose, CA, Feb. 2012.
- [5] B. Li, et al., “ Rate control by R-lambda model for HEVC,” document JCT-VC K0103 (m26387), Shanghai, CN, Oct. 2012.