

# HEVC 실시간 소프트웨어 인코더를 위한 GOP 병렬 부호화를 지원하는 R-lambda 모델 기반의 율 제어 방법

김대은<sup>1</sup>, 장용준<sup>1</sup>, 김문철<sup>1</sup>, 임웅<sup>2</sup>, 김휘용<sup>2</sup>, 석진욱<sup>2</sup>

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

{kimde, yjchang, mkimee}@kaist.ac.kr<sup>1</sup>, {woong.lim, hykim5, jnwseok}@etri.re.kr<sup>2</sup>

## An R-lambda Model based Rate Control Scheme to Support Parallel GOP Coding for Real-Time HEVC Software Encoders

Dae Eun Kim<sup>1</sup>, Yongjun Chang<sup>1</sup>, Munchurl Kim<sup>1</sup>, Woong Lim<sup>2</sup>, Huiyong Kim<sup>2</sup>, Jinwuk Seok<sup>2</sup>

School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology<sup>1</sup>,  
Electronics and Telecommunications Research Institute, Realistic Broadcasting Media  
Research Department<sup>2</sup>

### 요 약

본 논문에서는 4K UHD 입력 영상을 실시간으로 부호화하기 위해 적용되는 GOP 단위 또는 IDR 주기 단위의 병렬 부호화 구조를 지원하도록 R-λ 모델 기반의 율 제어 방법을 개선하는 비트 분배(bit allocation) 방법을 제안한다. GOP 단위 또는 IDR 주기 단위의 병렬 부호화기 내에서 율 제어를 작동시키는 경우, 계층적 B 구조에서 같은 계층에 있는 프레임 간에는 상호간에 얼마만큼의 비트를 소모 하였는지에 대한 정보를 공유 할 수 없기 때문에 기존의 비트 분배 방식으로는 비트 예산(bit budget) 관리가 불가능하다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는, 기존의 R-λ 모델 기반 율 제어 방법을 개선하여 부호화 순서에 의한 시간 순서 방향의 비트 예산 갱신 기반 비트 분배하던 방식으로부터, GOP 마다 비트를 할당된 후 계층적 B 구조에서의 계층이 깊어지는 방향으로 비트 예산을 갱신하여 비트를 분배하는 방식으로 율 배분 방식을 개선하였다. 실험 결과를 통해 R-λ 모델 기반 율 제어의 기존 비트 분배 방식보다 제안 방법에 의한 목표 비트 율 달성 오차가 감소함을 확인하였다.

### 1. 서론

가장 우수한 압축 효율을 내는 것으로 알려져 있는 HEVC (High Efficiency Video Coding) 비디오 부호화 표준 [1]은 기존의 H.264 AVC (Advanced Video Coding) [2]와 비교하여 주관적 화질이 동일한 수준일 때 약 두 배 정도의 부호화 효율을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이같이 뛰어난 압축 성능을 발휘하기 위해서 HEVC 부호화기에는 기존 방법들에 비해 다양한 부호화 도구가 개발되어 적용되었고, 이에 따라 부호화 과정에 필요한 계산 복잡도 증가로 인해 처리 시간 또한 크게 증가하게 되었다. 더욱이 양질의 비디오 콘텐츠에 대한 수요가 증가하여 1920×1080 의 full HD 비디오뿐만 아니라 3840×2160 4K UHD(ultra HD)의 해상도를 갖는 초고해상도 영상이 보편화되어 부호화기의 처리 시간을 단축시키는 것은 이전보다 더욱 중요한 문제가 되었다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 컴퓨터 시스템의 다중코어를 이용한 병렬 부호화 처리 방법이 제안 되기도 하였다 [3].

한편 방송 시스템 등과 같이 고정된 대역폭 조건에서 안정적으로 비트스트림을 전송하기 위해서는 비트 율 제어가

부호화기에 반드시 필요하다. 이는 부호화가 다수의 코어에서 병렬처리 되는 상황에도 출력 비트 율을 안정적으로 제어할 수 있어야 한다. 그러나 기존에 제안된 율 제어 방법 [4] 으로는 GOP(Group of Picture) 및 IDR(Instantaneous Decoder Refresh) 주기로 병렬 부호화 처리가 설계된 부호화기에서는 여러 프레임을 동시에 부호화하는 상황에서 안정적인 출력 비트 율 제어가 어렵다. 이에, 본 논문에서는 이 같은 문제를 해결하기 위하여 [4] 에서 제안된 율 제어 구조를 개선 하여 GOP 및 IDR 주기 단위의 병렬화 부호화 구조에서도 안정적으로 출력 비트 율을 제어할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 병렬 구조가 적용된 부호화기 소프트웨어에 적용하여 4K UHD 영상에 대해 실험하여 제안 방법의 성능을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 GOP 및 IDR 주기 단위의 병렬 부호화기의 구조에 대해 설명하고, 3 장에서는 HEVC 의 R-λ 모델 기반 율 제어 방법을 설명한다. 4 장에서는 병렬 구조의 부호화기를 지원하기 위해 본 연구에서 제안하는 비트 분배 방법을 설명한다. 5 장에서는 이에 대한 실험결과를 제시하고 마지막으로 6 장에서 이 논문의 결론을 짓는다.

## 2. GOP 및 IDR 주기 단위의 병렬 부호화 구조

HEVC 소프트웨어 부호화기에서의 연산 복잡도로 인해 실시간 부호화를 위해 병렬적 부호화 구조 설계가 필수적인데, 본 장에서는 GOP 및 IDR 주기 단위의 병렬화 부호화 구조에 대해 설명한다. 그림 1 은 기존 부호화기의 부호화 순서와 병렬 처리 부호화기의 부호화 순서를 나타낸다.

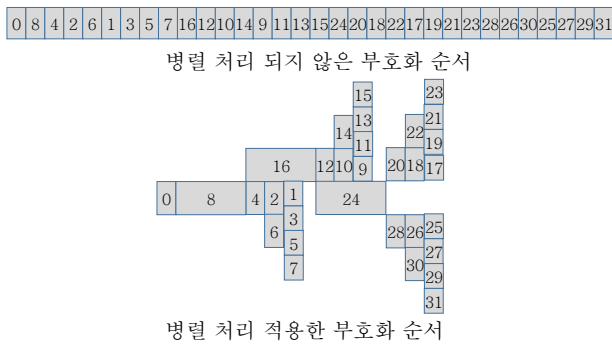


그림 1. 비(非)병렬 및 병렬 부호화의 프레임 처리 순서

GOP 의 크기가 8 인 계층적 B 구조인 경우 계층 2 보다 깊은 계층에 대해 상호간의 참조를 끊음으로써 병렬적으로 (즉, 독립적으로) 처리할 수 있는 프레임이 증가하여 그림 1 과 같은 구조가 가능하게 된다. 그림에서 GOP 간에 참조 관계가 있는 프레임은 8, 16 및 24 번 POC(Picture Order Count)뿐이다. 그 외의 프레임은 GOP 내에서만 참조 관계가 있고, GOP 경계를 넘어서는 참조는 허용되지 않는다. 이렇게 함으로써, 다중 코어를 사용한 병렬 부호화의 경우 부호화 시간을 단축할 수 있지만, 이전 프레임에서 비트를 얼마나 사용했는지에 대한 정보가 공유되지 않아 비트율을 제어하는데 어려움이 발생한다. 더욱이 그림 1 과 같은 IDR period 구조 역시 여러 코어에서 동시에 부호화되기 때문에 시퀀스(sequence)단위의 율 제어 역시 불가능 해진다.

## 3. HEVC 의 R-λ 모델 기반 율 제어 방법

### 3.1. R-λ 모델

HEVC 표준의 참조 S/W 인 HM 인코더에 채택된 R-λ 모델 기반 율 제어 알고리즘은 출력 비트 양과 λ와의 관계를 아래 식과 같이 모델링 하여 이용한다.

$$\lambda = \alpha \cdot bpp^\beta \quad (1)$$

여기서 α 와 β 는 모델 파라미터이다. 율 제어를 하고자 하는 프레임의 목표 비트가 bpp(bit per pixel)로 주어지면 모델 파라미터에 의해 λ 값이 계산되고 이 λ 값은 QP 를 결정하는데 사용되며 아래의 식과 같다.

$$QP = 4.2005 \ln \lambda + 13.7122 \quad (2)$$

이렇게 결정된 QP 를 이용하여 부호화가 수행된다.

### 3.2. 기존의 비트 분배 방법

시퀀스 전체에 대한 목표 비트 율이 정해지면, 가장 먼저 목표 비트 율과 현재 버퍼 상태를 고려하여 GOP 에 대한 목표 비트  $T_{GOP}$  가 할당된다.

$$T_{GOP} = \left( R_{PicAvg} + \frac{R_{PicAvg} \cdot N_{coded} - R_{coded}}{SW} \right) \cdot N_{GOP} \quad (3)$$

여기서  $R_{PicAvg}$  는 시퀀스 전체에 대한 목표 비트 율을 단순히 프레임 율로 나눈 프레임당 평균 목표 비트이고,  $N_{coded}$  는 부호화 된 프레임의 수,  $R_{coded}$  는 부호화 된 비트 수,  $SW$  는 비트 율 제어에 고려할 프레임의 수이고,  $N_{GOP}$  는 GOP 의 크기이다. 그 다음 GOP 의 구조와 현재 프레임의 계층, 전체 목표 비트율을 고려하여 현재 프레임의 목표 비트  $T_{CurrPic}$  가 계산된다.

$$T_{CurrPic} = \frac{T_{GOP} - Coded_{GOP}}{\sum \omega_i} \cdot \omega_{CurrPic} \quad (4)$$

NotCodedPictures

여기서  $Coded_{GOP}$  는 현재 프레임이 포함된 GOP 에서 현재 프레임을 부호화하기 이전에 이미 사용된 비트 수이고,  $\omega_i$  는 GOP 의 구조에 따라 각 프레임마다 정해지는 중요도이다. 표 1 은  $\omega_i$  을 나타낸다.

표 1. 픽처 레벨에 따른  $\omega_i$

Level	bpp>0.2	0.2≥bpp>0.1	0.1≥bpp>0.05	그 외
1	15	20	25	30
2	5	6	7	8
3	4	4	4	4
4	1	1	1	1

이같이 기존의 목표 비트 분배 방법은 한 프레임씩 부호화를 진행해 감에 따라 목표 비트율과 현재의 비트율을 비교하여 현재 프레임의 목표 비트를 조정해가며 최종 목표 비트 율을 달성하였다.

그러나, 2 장에서 설명한 바와 같이 GOP 단위 및 IDR 주기 단위로 병렬 부호화가 적용된 경우, 여러 프레임이 동시에 부호화 되기 시작하기 때문에, 현재 프레임에 비트를 분배하기 위한 새로운 방법이 필요하다. 이에, 본 논문에서는 그림 1 의 병렬 구조를 지원하는 비트 분배 방법을 제안하고자 한다.

## 4. 제안하는 비트 분배 방법

현실적으로 율 모델의 정확도에는 한계가 있기 때문에, 프레임 마다 정해진 목표 비트에 대한 실제 출력 비트의 오차가 발생한다. 이 같은 오차를 기존의 방법에서는 부호화 순서에 따라 순차적으로 다음 프레임으로 넘겨서 그 다음 부호화 되는 프레임 들에서 해결하도록 하였다. 그러나 병렬 부호화 구조에서는 그와 같은 접근법을 적용할 수 없다.

이에, 본 논문에서는 병렬 부호화 구조를 지원하는 비트 분배 방법을 제안한다. 그림 2 는 제안 방법의 순서도를 나타낸다. 그림 2 와 같이 먼저 목표 비트 율을 단순히 프레임 율로 나눈 프레임당 평균 목표 비트에 IDR period 의 크기를 곱하여 IDR period 에 대한 목표 비트를 계산한다. IDR 프레임이 부호화 되고 나면 이 IDR period 의 목표 비트에서 IDR 프레임의 출력 비트를 제외한 나머지 비트를 4 개의 GOP 에 프레임 중요도를 고려하여 분배한다. 여기서 중요한 점은 GOP 마다 분배된 목표 비트는 한번 분배된 이상 상호간에 조정되지 않는다. GOP 마다 할당된 목표 비트는 표 1 에서

제시되는  $\omega_i$  에 따라 각 프레임마다 분배된다. 상술 했듯이, 모델의 부정확성으로 인해 목표 비트와 출력 비트에서 오차가 발생하는데, 이 오차를 기존 방법은 시간 축으로 전달했다면, 제안 방법은 level 축으로 전달한다. 최종 level4 에서 발생하는 오차는 무시한다.

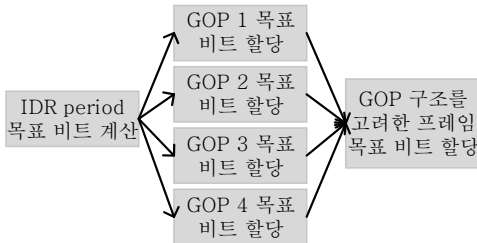


그림 2. 제안 방법의 순서도.

그림 3 은 제안 방법과 기존 방법의 오차 전달 방향을 보인다. 그림 3 과 같이 함으로써, GOP 및 IDR period 간 병렬화 구조를 지원할 수 있다.

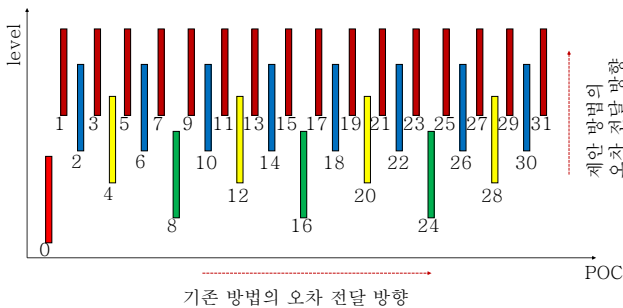


그림 3. 제안 방법과 기존 방법의 오차 전달 방향

### 5. 실험결과

본 연구에서는 4K UHD (3840x2190) 실시간 부호화를 위한 병렬 구조 인코더에서의 윌 제어 성능을 테스트 하였다. 총 10 종의 시퀀스에 대해 각 4 개의 목표 비트 윌에 대해 테스트 하였다. 표 2 는 더 상세한 실험 조건을 나타낸다.

표 2. 실험조건

Sequence	10 종
Number of encoded frames	32
GOP size	8
Frame rate	60
Bit depth	10
YUV format	4:2:0
Max CU size	64x64
Profile	Main10

표 3 에서는 표 2 에서 제시한 실험 조건으로 실험한 결과 각 영상에 대한 목표 비트 윌과 출력 비트 윌을 제시한다.

표 3. 제안한 비트율 제어 알고리즘 실험결과

영상	목표 (kbps)	출력 (kbps)	오차 (%)	목표 (kbps)	출력 (kbps)	오차 (%)	목표 (kbps)	출력 (kbps)	오차 (%)	목표 (kbps)	출력 (kbps)	오차 (%)
1	34183	29755	13	11779	7777	34	6629	5201	22	3942	3670	7
2	44924	53022	18	21553	24883	15	3942	3670	7	4256	4480	5
3	38810	34054	12	16229	16802	4	44924	53022	18	4533	4689	3
4	38119	38527	1	18104	19000	5	21553	24883	15	4660	4047	13
5	41088	49059	19	21749	26546	22	10071	11134	11	4670	5081	9
6	39927	38167	4	18283	16988	7	4256	4480	5	3939	3459	12
7	37277	36365	2	16960	17864	5	38810	34054	12	3670	4852	32
8	39086	27737	29	12684	8803	31	16229	16802	4	3960	3692	7
9	53409	57761	8	30951	32921	6	8165	7846	4	5374	7150	33
10	6261	6695	7	3383	3781	12	4533	4689	3	1005	2434	142

표 3 에서 볼 수 있듯이 대부분의 영상에서 오차가 10 %내외의 임을 볼 수 있다. 이를 통해 제안하는 비트 분배 방식이 효과적으로 작동한다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 오차가 20 %이상 발생하는 영상들이 있는데, 이 같은 오차가 발생하는 이유 중 하나는 32 프레임으로 매우 짧은 데다가, 부호화가 동시에 시작되는 프레임이 많기 때문에 R-λ모델의 모델 파라미터가 거의 초기값으로 사용되어 모델의 정확도가 낮았기 때문으로 보인다.

### 6. 결론

본 연구에서는 GOP 및 IDR period 단위의 병렬화 구조가 적용된 HEVC 부호화에 대해 R-λ모델 기반의 윌 제어를 위한 윌 분배 방법을 제안한다. R-λ모델 기반의 윌 제어에서 적용되던 기존의 윌 분배 방식은 병렬화 구조에 적용되는 데에 제약 사항이 존재하기 때문에 이를 극복하기 위해 GOP 별로 비트를 할당하고 오차 전달 방향을 부호화 순서가 아닌 계층적 B 구조의 level 방향으로 전환함으로써 해결할 수 있었다. 실험 결과를 통해 본 제안 방법의 타당성을 검증하였다.

### 감사의 글

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0101-16-0295, 초고품질 콘텐츠 지원 UHD 실감방송/디지털 시네마/사이니지 융합 서비스 기술 개발)

### 참고문헌

[1] B. Bross, W.-J. Han, G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, and T. Wiegand, *High Efficiency Video Coding (HEVC) Text Specification Draft 9*, document JCTVC-K1003, ITU-T/ISO/IEC Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC), Oct. 2012.

[2] *Advanced Video Coding for Generic Audio-Visual Services*, ITU-T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10 (AVC), ITU-T and ISO/IEC JTC 1, May 2003 (and subsequent editions).

[3] 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.

[4] B. Li, et al., “Rate control by R-lambda model for HEVC,” document JCT-VC K0103 (m26387), Shanghai, CN, Oct. 2012.