

# HEVC 화면내 부호기를 위한 효율적인 변환 계수 부호화 방법

(Efficient Transform Coefficient Coding for the HEVC Intra Frame Coder)

최정아\*, 호요성\*\*  
(Jung A Choi, Yo Sung Ho)

## 요약

HEVC 표준에서 변환 계수 부호화 과정은 비트스트림에 포함되는 정보를 직접 부호화하는 핵심 부분으로 변환 계수 주사와 엔트로피 부호화를 포함한다. 최근, JCT-VC(Joint Collaborative Team on Video Coding)는 HEVC 위원회 초안(Committee Draft)을 완성했다. 본 논문에서는 HEVC 표준의 변환 계수 부호화 기술을 설명하고, 화면내 부호기에서의 변환 계수 발생 확률을 고려한 효율적인 변환 계수 부호화 기술을 제안한다. 제안하는 방법은 기존 HEVC 변환 계수 부호화 기술에 비해 평균 0.74%의 BD-Rate를 절약한다.

■ 중심어 : | HEVC | 변환 계수 부호화 | 엔트로피 부호화 | 화면내 부호화 |

## Abstract

In the HEVC standard, transform coefficient coding that affects the output bitstream directly is a core part of the encoder and it includes coefficient scanning and entropy coding. Recently, JCT-VC(Joint Collaborative Team on Video Coding) advances to HEVC Committee Draft (CD). In this paper, we explain HEVC transform coefficient coding and propose an efficient transform coefficient coding method considering statistics of transform coefficients in the intra frame coder. The proposed method reduces BD-Rate by up to 0.74%, compared to the conventional HEVC transform coefficient coding.

■ keywords : | HEVC | Transform coefficient coding | Entropy coding | Intra coding |

## 1. 서론

고화질 비디오에 대한 수요가 커짐에 따라, 많은 응용분야에서 고해상도 영상을 필요로 한다. 고해상도 영상은 데이터의 양이 많으므로 데이터를 효율적으로 저장하거나 전송하기 위한 압축 기술이 필수적이다. 이에 따라, 국제 표준화 단체인 VCEG(Video Coding Experts Group)과 MPEG(Moving Picture Experts Group)은 JCT-VC(Joint Collaborative Team on Video Coding)을 설립해 HEVC (High Efficiency Video Coding) 표준을 공동으로 제정하기로 했다 [1].

HEVC 표준은 아직 개발이 진행 중이며, 2010년 4월부터 2012년 2월까지 총 여덟 차례의 표준화 회의가 개최되었다 [2][3]. HEVC 표준은 지난 2월 위원회 초안(Committee Draft, CD)이 발행되었고, H.264/AVC보다 화면내 부호화에서만 20% 이상의 부호화 이득을 제공하는 것으로 보고되었다 [4].

HEVC 표준은 홈 시네마, 위성영상, 방송, 실시간 응용, 화상통

화, 화상회의, 모바일 스트리밍, 저장, 의료영상 등 다양한 응용분야에서의 활용을 목표로 하고 있다 [5][6]. 또한, 최근 주목받고 있는 스테레오 3D, 다시점 3D, SVC(Scalable Video Coding)에서도 광범위하게 이용될 것으로 예상된다 [7].

HEVC는 계층적 부호화 단위 및 구조, 최대 35가지 방향성을 고려한 화면내 예측, Merge 모드 및 AMVP(Advanced Motion Vector Prediction)을 이용한 인터 예측, 6탭 보간, DCT (Discrete Cosine Transform) 변환, ALF (Adaptive Loop Filter) 및 더블록킹 필터 등 다양한 새로운 부호화 알고리즘을 포함하고 있다.

이 중, 변환 계수 부호화에는 변환 계수 주사와 엔트로피 부호화 (entropy coding) 기술이 포함되며, 실제 출력되는 비트스트림과 직접적인 관련이 있으므로 부호화기의 핵심이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 HEVC 변환 계수 부호화 기술의 성능을 효율적으로 향상시키기 위해 계수 클리핑 및 고정길이 Golomb-Rice 코드를 이용한 새로운 변환 계수 부호화 방법을 제안한다.

\* 학생회원, 광주과학기술원 정보통신공학과

\*\* 정회원, 광주과학기술원 정보통신공학과

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. 2011-0030822).

접수번호 : #2012-05-02-0019

접수일자 : 2012년 5월 2일

심사완료일 : 2012년 6월 27일

교신저자 : 호요성, e-mail : hoyo@gist.ac.kr

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, II장에서는 HEVC 시험 모델 (HM) 4.0의 변환 계수 부호화 방법을 소개한다 [8][9]. III장과 IV장에서는 제안한 방법을 설명하고, 성능 평가 결과를 보여준다. V장에서 결론을 맺고, 논문을 마무리한다.

## II. HEVC 변환 계수 부호화

### 1. 변환 계수 주사

기존의 비디오 부호화 표준인 H.264/AVC와 HEVC의 가장 큰 차이점 중 하나는 예측 단위의 크기와 화면내 예측 모드의 수이다 [10][11]. H.264/AVC에서는 최대 16×16 크기의 예측 단위와 4개 또는 9개의 예측 모드를 사용했지만, HEVC는 부호화 효율을 높이기 위해 더 큰 예측 단위를 사용하고, 화면내 화면에서 최대 34개의 예측 모드를 사용한다.

그림 1은 HEVC 화면내 예측 모드의 방향성, 표 1은 예측 단위 별 허용되는 화면내 예측 모드의 수를 보여준다. 허용되는 예측 모드의 수가 18이면 그림 1에서의 0번에서 17번까지의 예측 모드를 사용하고, 35이면 0번에서 34번까지의 예측 모드를 사용한다. 0번은 Planar 모드, 1번과 2번은 각각 수직 및 수평 모드, 3번은 DC 모드, 4번부터 34번까지는 Angular 모드를 나타낸다. 35번은 휘도 화소의 예측 방향성을 색차 화소의 예측에 사용하는 모드로 색차 화소에서만 허용된다.

예측 단위의 크기가 커질수록 참조 화소와 예측되는 화소 사이의 거리가 멀어져 예측 성능이 낮아진다. 하지만 예측 모드의 수가 증가하면 예측 모드 정보 전송에 필요한 헤더 정보(header information)가 증가한다. 예측 성능이 나쁠 때에는 헤더 정보의 증가가 부호화 성능을 크게 저하시키므로 크기가 큰 예측 단위에 대해서는 적은 수의 예측 모드를 허용해 헤더 정보의 비트량을 줄이는 것이다. 반대로 작은 크기의 예측 단위에 대해서는 헤더 정보가 늘어나더라도 예측의 방향성을 다양하게 해 예측 성능을 높이는 것이 유리하므로 많은 예측 모드를 사용한다.

4×4 변환 단위에 대해 35개가 아닌 18개의 예측 모드만을 사용하는 것은 가장 작은 예측 단위이므로 예측 방향성을 18개만 사용하더라도 충분히 높은 예측 성능을 보이고, 이보다 더 많은 예측 방향성을 사용하더라도 부호화 이득이 크게 늘지 않기 때문이다. 실험을 통해 오히려 예측 모드의 수를 줄이는 것이 헤더 정보가 증가하는 것을 막아 더 효율적이라는 결과를 얻었기 때문에 4×4 변환 단위는 18개의 예측 모드를 사용하기로 결정되었다.

HEVC 화면내 부호화에서는 모드 기반 계수 주사 방법(Mode Dependent Coefficient Scanning, MDCS)이 사용되는데, 여기에는 지그재그, 수평, 수직의 세 가지 주사 방법이 존재한다. 그림 2에 4×4 예측 단위에 대한 각 변환 계수 주사의 예가 나타나 있다. 세 가지 주사 방법 중 어떤 주사 방법을 사용할 지는 화면내 예측 모드와 변환 단위(Transform Unit, TU)에 의해 결정된다. 주사 방법

결정에는 그림 2의 룩업테이블(look-up table)이 사용된다. 룩업 테이블에서 0은 지그재그 주사, 1은 수평 주사, 2는 수직 주사를 의미하는데, 35번 모드를 제외한 각 예측 모드에 대해 실험을 통해 결정된 최적의 주사 방법이 할당되어 있다.

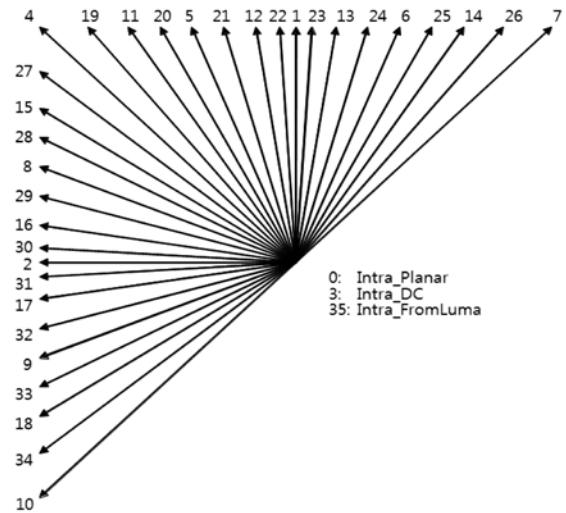


그림 1. 화면내 예측 모드의 방향성

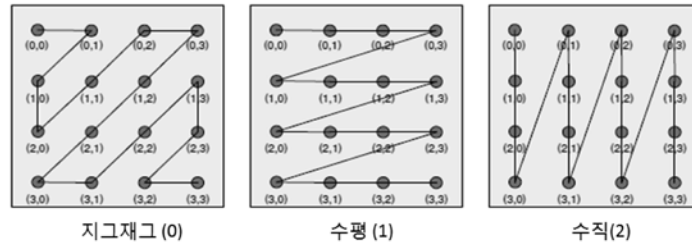
표 1. 예측 단위 별 허용되는 화면내 예측 모드의 수

예측 단위	화면내 예측 모드의 수
4×4	18
8×8	35
16×16	35
32×32	35
64×64	4

### 2. Golomb-Rice 코드를 이용한 이진화

HEVC의 변환 계수는 coeff\_abs\_level\_greater1\_flag, coeff\_abs\_level\_greater2\_flag, coeff\_abs\_level\_minus3, coeff\_sign\_flag 네 개의 구문 요소를 이용해 부호화된다. 앞의 두 구문 요소는 플래그 정보로 각각 계수의 절대값이 1보다 큰지, 계수의 절대값이 2보다 큰지를 나타낸다. 만약 계수의 절대값이 2보다 크면, 즉 앞에서 언급한 두 개의 플래그 정보가 '11'인 경우 coeff\_abs\_level\_minus3이 부호화된다.

HEVC에서는 엔트로피 코딩 방법으로 문맥 기반 적응적 이진 산술 부호화(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC)가 사용된다. 따라서 구문 요소들은 이진 산술 부호화를 위해 0과 1의 조합으로 이진화되어야 한다. 이진화에는 각 구문 요소의 특성을 고려해 선택된 다양한 이진화 방법이 사용되는데, 그 종류로는 고정길이 이진화, 단항 이진화, k-th order Exponential Golomb 이진화, Golomb-Rice 이진화 방법 등이 있다.



TU	모드																																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
32x32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16x16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8x8	1	2	0	0	1	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	
4x4	1	2	0	0	1	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	

그림 2. HEVC 화면내 블록을 위한 세 가지 변환 계수 주사 방법

실제 계수의 레벨 정보를 나타내는 구문요소인 coeff\_abs\_level\_minus3을 이진화하는 데에는 Golomb-Rice 코드가 사용된다 [12][13]. Golomb-Rice 코드를 이용한 이진화는 H.264/AVC에서는 사용되지 않은 새로운 방법이다.

Golomb-Rice 코드는 접두사(prefix)와 나머지(remainder) 부분으로 이루어지며, 접두사는 단항 코드(unary code), 나머지는 바이너리 코드(binary code)로 부호화된다. Golomb-Rice 코드는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$p = \left\lfloor \frac{s}{2^k} \right\rfloor \quad \text{where } r = s - p \cdot 2^k \quad (1)$$

여기서,  $p$ 는 접두사,  $r$ 은 나머지 부분을 의미하며,  $k$ 는 Rice 매개 변수를 의미한다. 단항 코드로 표현되는 접두사 부분은  $p$ 개의 '1'과 한 개의 '0'으로 이루어지므로 접두사 부분의 길이는  $p+1$ 이 된다. 또한, 나머지 부분은 나머지 값인  $r$ 을 바이너리 코드로 표현했을 때 LSB(Least Significant Bit)를  $k$ 개만큼 덧붙이므로 전체 Golomb-Rice 코드의 길이는  $k+1+p$ 가 된다.

### III. 제안하는 변환 계수 부호화 방법

그림 3은 제안하는 방법의 흐름도를 보여준다. 그림 3에서 검은색으로 그룹화된 부분은 엔트로피 부호화 과정을 보여준다. 제안하는 방법은 기존의 HEVC 변환 계수 부호화 방법에서 크게 두 부분이 수정되었다. 그림 3에서 회색으로 음영이 들어간 부분이 제안하는 방법에서 추가 또는 수정한 부분이다.

먼저, 제안한 방법에서는 변환 계수 주사 단계 이후이자 엔트로피 부호화 단계 이전에 불필요한 계수를 제거하는 계수 클리핑 단계를 추가하였다. 다음, 계수 레벨 정보의 통계적 특성을

고려해 엔트로피 부호화에서 계수의 레벨 정보를 이진화할 때 기존의 Golomb-Rice 코드가 아닌, 고정길이 Golomb-Rice 코드를 사용한다.

#### 1. 계수 클리핑

그림 4는 레벨 부호화에 이용되는 구문 요소 중 coeff\_abs\_level\_minus3의 확률 분포를 나타낸다. [0, 7]과 같이 크기가 작은 계수들은 기하급수적으로 감소하는 확률 분포를 띄지만, 그보다 큰 계수들은 이러한 확률 분포를 따르지 않고, 무작위적으로 발생함을 확인할 수 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 16, 19, 23과 같이 크기가 큰 계수들은 크기가 작은 계수에 비해 발생 빈도가 낮긴 하지만 분명히 존재한다. 이러한 큰 변환 계수들은 이진화 코드의 예상 확률 분포에 벗어나기 때문에 긴 코드워드가 할당되고, 부호화 성능을 저하시킨다.

크기가 큰 변환 계수들은 발생 빈도가 낮은 만큼 이를 제거한다 하더라도 복호 영상의 화질에 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 크기가 큰 변환 계수를 부호화하기 위해서는 많은 비트가 소모된다. 즉, 변환 계수가 가지는 중요도에 비해 너무 많은 비트가 할당되므로 제안한 방법에서는 엔트로피 부호화 이전에 이러한 계수를 강제로 제거한다.

$$\hat{c}(i, j) = \begin{cases} c(i, j), & \text{if } c(i, j) < 2^N \\ 2^N - 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

계수 클리핑은 식 (2)와 같이 정의된다. 여기서,  $i$ 와  $j$ 는 변환 단위에서의 해당 계수의 위치를 나타내고,  $c(i, j)$ 와  $\hat{c}(i, j)$ 는 각각 실제 계수와 클리핑된 계수를 의미한다. 식 (2)의  $N$ 은 다양한 실험 영상의 coeff\_abs\_level\_minus3의 분포를 분석해 3으로 결정했다. 즉, 클리핑에 사용되는 문턱값인  $2^N$ 은 8이다.

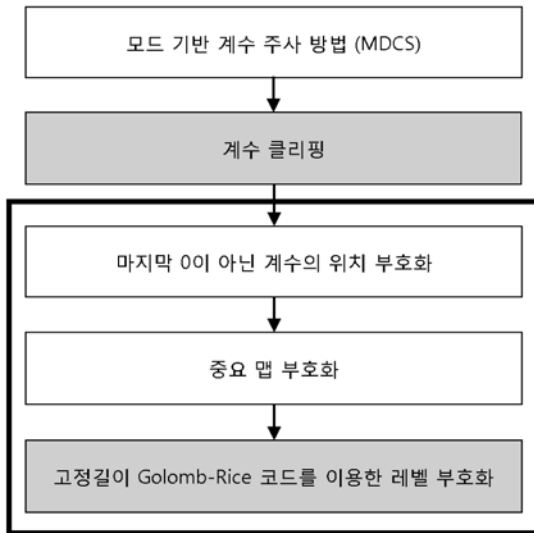


그림 3. 제안한 방법의 블록도

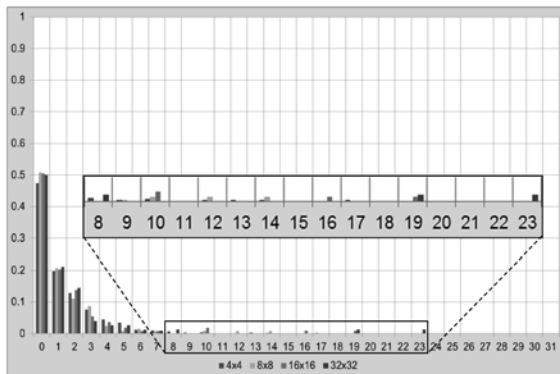


그림 4. coeff\_abs\_level\_minus3의 확률 분포

2. 고정길이 Golomb-Rice 코드를 이용한 이진화

Golomb-Rice 코드는 무한대이고, 기하급수적인 확률 분포를 가지는 심볼을 이진화할 때 최적의 성능을 보인다 [14]. 하지만, 클리핑을 한 후의 변환 계수들은  $[0, 2^N-1]$ 의 값을 가진다. 따라서, 제안한 방법에서는 이러한 변환 계수를 효율적으로 부호화하기 위해 Starosolski와 Skarbek이 제안한 고정길이 Golomb-Rice 코드를 사용한다 [15].

$$\pi_k = \min(2^K(l_{\max} - N), 2^N - 2^K) \quad (3)$$

고정길이 Golomb-Rice 코드는 유한한 심볼, 기하급수적인 확률 분포를 가지지 않는 심볼에 대해 기존의 Golomb-Rice 코드보다 더 높은 성능을 보이는 것으로 알려져 있다. 고정길이 Golomb-Rice 코드를 위해서는 먼저 정해진 Rice 매개변수  $(0 \leq k < N)$ 에 대해 식 (3)과 같이 문턱값을 결정한다. 여기서,  $l_{\max}$ 는 코

드워드의 허용가능한 최대 길이로 제안한 방법에서는 7을 사용했다.  $l_{\max}$ 가 7이므로 모든 코드워드의 길이는 7비트를 넘지 않는다.

코드워드는 다음과 같이 결정된다. 만약 심볼  $s$ 의 값이 문턱값  $\pi_k$ 보다 작으면 기존의 Golomb-Rice 코드와 동일한 코드워드를 사용하고,  $\pi_k$ 와 같거나 크면 식 (4)와 같은 코드워드를 사용한다.

$$\frac{\pi_k}{2^k} \overbrace{1 \dots 1}^M x_{M-1} \dots x_0 \quad (4)$$

$$M = \lceil \log_2(2^N - \pi_k) \rceil \quad (5)$$

식 (4)에서 볼 수 있는 것처럼, 코드워드는 접두사 부분과 접미사 부분으로 나뉜다. 접두사 부분은  $\pi_k/2^k$ 개의 '1'로 구성되고, 접미사 부분은  $(s - \pi_k)$ 의 바이너리 코드로 구성된다. 접미사는 바이너리 코드이므로 그 길이  $M$ 은 식 (5)와 같이 계산된다. Rice 매개 변수  $k$ 를 계산하는 방법은 HEVC에서 사용하는 것과 동일하다 [16].

IV. 실험 결과 및 분석

성능 평가를 위해 HM 4.0에 제안한 방법을 구현했다. 다양한 HEVC 실험 영상을 고효율 구조에서 화면내 부호화 한 후, 제안한 방법의 성능을 HM 4.0과 비교했다. 실험에 사용한 양자화 계수는 22, 27, 32, 37이다. 성능 평가에는 HEVC 표준화에서 사용하는 구간적 3차 보간 (piece-wise cubic interpolation) 기반 성능 평가 방법을 이용했다 [17].

표 2는 제안한 방법의 성능을 평가한 결과이다. 실험을 통해, 제안한 방법이 기존 HEVC와 비교해 동일한 화질을 유지하면서 평균 약 0.74%의 BD-Rate를 절약함을 알 수 있다. 이를 통해, 계수 클리핑 및 고정길이 Golomb-Rice 코드를 이용해 변환 계수 부호화 모듈의 부호화 효율을 효율적으로 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

고정길이 Golomb-Rice 코드는 유한한  $2^N$  개의 심볼을 부호화하는 경우 기존의 Golomb-Rice 코드에 비해 같거나 더 짧은 코드워드를 할당하므로 부호화 향상의 한 요인이다. 또한, 실험 결과를 살펴보면 실험 영상에 따라 최저 0.33%, 최고 1.68%의 비트량이 감소되었음을 알 수 있는데, 특히 PeopleOnStreet, Kimono, BQSquare 영상에서 제안한 방법의 효율이 두드러진다. 이러한 영상들은 다른 영상들에 비해 상대적으로 영상의 복잡도가 높다. 화면내 부호화는 주변 화소값을 이용해 현재 블록을 예측하므로 복잡도가 높은 영상은 예측의 정확도가 떨어져 양자화 이후에도 큰 값의 계수들이 많이 발생한다. 따라서 제안한 방법 중 클리핑이 적용되는 빈도가 높아 부호화 효율을 얻을 수 있다. 이는 클리핑이 복호화 화질을 크게 저하시키지 않도록 합리적인 문턱값을 설정했을 때 얻을 수 있는 결과이다.

#### IV. 결론

고화질 영상에 대한 수요가 늘어나고 있지만, 이를 압축하는 작업은 결코 쉬운 일이 아니다. 본 논문에서는 HEVC 표준에서 변환 계수를 효율적으로 부호화 하는 방법을 개발했다. 제안한 방법에서는 계수 클리핑을 통해 불필요한 계수를 제거하고, 이를 통해 유한한 범위를 갖게 되는 변환 계수를 고정길이 Golomb-Rice 코드를 이용해 이진화한다. 제안한 방법은

HEVC 표준에 정의된 구문 요소를 수정하지 않고, 간단한 연산으로 고화질 영상을 보다 효율적으로 압축할 수 있다는 장점을 가진다. 실험을 통해 제안하는 방법이 HEVC 표준에 비해 더 우수한 압축 성능을 제공함을 확인했다. 제안한 방법은 화면내 부호화 환경에서 양자화된 변환 계수의 확률적 특성을 고려해 설계한 것이다. 화면간 부호화의 경우, 화면내 부호화와 다른 확률적 특성을 보일 것이다. 향후 화면내 뿐 아니라 화면간 부호화까지 고려해 제안한 방법을 확장할 계획이다.

표 2. 제안한 방법의 성능

해상도	영상	QP	HM 4.0		제안한 방법		BD-Rate (%)
			Bitrate (kbps)	PSNR (dB)	Bitrate (kbps)	PSNR (dB)	
2560×1600	Traffic	22	105091.39	43.58	104194.51	43.57	-0.57
		27	58653.22	40.41	58367.88	40.40	
		32	33158.50	37.37	33097.37	37.37	
		37	18630.84	34.31	18651.26	34.32	
	PeopleOnStreet	22	106933.01	43.49	105528.53	43.48	-0.88
		27	62037.02	40.09	61625.86	40.09	
		32	35094.34	37.01	35014.10	37.00	
		37	20326.22	34.19	20319.17	34.18	
1920×1080	Kimono	22	18946.94	43.13	18475.70	43.12	-1.68
		27	10787.19	41.79	10635.53	41.78	
		32	6433.82	39.92	6393.20	39.92	
		37	3797.78	37.49	3786.53	37.48	
	BQTerrace	22	184930.46	42.93	183549.26	42.95	-0.66
		27	98704.94	37.92	98406.48	37.93	
		32	53768.45	34.66	53720.93	34.65	
		37	29540.54	31.69	29503.20	31.69	
832×480	BasketballDrill	22	20326.08	41.88	20261.36	41.89	-0.41
		27	10755.96	38.50	10782.80	38.52	
		32	5672.56	35.61	5658.40	35.61	
		37	3111.04	33.05	3112.08	33.05	
	BQMall	22	29012.93	41.75	28841.04	41.76	-0.33
		27	17879.71	38.65	17848.90	38.65	
		32	10754.98	35.33	10747.54	35.33	
		37	5989.10	31.89	5985.74	31.90	
416×240	BQSquare	22	12986.50	41.57	12800.35	41.59	-1.00
		27	8490.14	37.17	8438.21	37.16	
		32	5404.99	33.41	5389.06	33.39	
		37	3342.91	29.83	3343.92	29.82	
	RaceHorses	22	5225.86	42.48	5203.92	42.49	-0.34
		27	3256.82	38.39	3247.30	38.37	
		32	1856.11	34.32	1855.06	34.34	
		37	987.41	30.85	986.30	30.84	
1280×720	Vidyo3	22	22477.30	44.30	22124.02	44.29	-0.76
		27	13244.78	42.08	13158.48	42.08	
		32	8123.81	39.55	8111.52	39.54	
		37	4864.08	36.59	4863.46	36.59	
평균							-0.74

## 참고 문헌

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Terms of Reference of the Joint Collaborative Team on Video Coding Standard Development," MPEG document, N11112, Kyoto, JP, Jan. 2010.
- [2] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "WD4: Working Draft 4 of High-Efficiency Video Coding," JCT-VC document, F803, Torino, IT, July 2011.
- [3] 호요성, 허진, 최정아, *차세대 비디오 압축 기술(HEVC 알고리즘 이해와 프로그램 분석)*, 진샘미디어, 2011.
- [4] 심동규, "차세대 비디오 표준 압축 기술 HEVC," *IDEC Newsletter*, 4-9쪽, 2011년 7월.
- [5] 호요성, 최정아, "스마트폰을 위한 동영상 압축 기술," *한국통신학회 학회지*, 제29권, 제4호, 22-29쪽, 2012년 3월.
- [6] Y.S. Ho and J.A. Choi, "Advanced Video Coding Techniques for Smart Phones," *Proc. of International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT)*, pp. 112-113, Jan. 2012.
- [7] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Samsung Comments on HEVC Extension," JCT-VC document, G1019, Geneva, CH, Nov. 2011.
- [8] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "HM4: HEVC Test Model 4 Encoder Description," JCT-VC document, F802, Torino, IT, July 2011.
- [9] <https://hevc.kw.bbc.co.uk/git/w/jctvc-a124.git/>, HEVC test model (HM) software version 4.0.
- [10] G. Sullivan, P. Topiwala, and A. Luthra, "The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions," *Proc. of SPIE conference, Special Session on Advances in the New Emerging Standard: H.264/AVC*, Aug. 2004.
- [11] 호요성, 김승환, *H.264/AVC 알고리즘 이해와 프로그램 분석*, 두양사, 2009.
- [12] S. Golomb, "Run-length Encodings," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 12, no. 3, pp. 399 - 401, July 1966.
- [13] T. Nguyen, D. Marpe, H. Schwarz, and T. Wiegand, "Reduced-complexity Entropy Coding of Transform Coefficient Levels using Truncated Golomb-Rice Codes in Video Compression," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Brussels, BE, pp. 753 - 756, Sept. 2011.
- [14] R. Gallager and D. Voorhis, "Optimal Source Codes for Geometrically Distributed Integer Alphabets," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 21, no. 2, pp. 228 - 230, March 1975.
- [15] R. Starosolski and W. Skarbek, "Modified Golomb-Rice Codes for Lossless Compression of Medical Images," *Proc. of Int. Conf. on E-health in Common Europe*, Cracow, PL, pp. 423-437, June 2003.
- [16] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "CE11: Coding of Transform Coefficient Levels with Golomb-Rice Codes," JCTVC-E253, Geneva, CH, March 2011.
- [17] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "On BD-rate Calculation," JCTVC-F270, Torino, IT, July 2011.

## 저자 소개



최정아

2007년 한국항공대학교 전자공학과 학사

2008년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사

2008년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : 영상신호 처리 및 압축, H.264/AVC, HEVC>



호요성

1981년 서울대학교 전자공학과 학사

1983년 서울대학교 전자공학과 석사

1989년 University of California Santa Barbara, 전기전산공학 박사

1983년~1995년 한국전자통신연구소 선임연구원

1990년~1993년 미국 Philips 연구소 Senior Research Member

1995년~현재 광주과학기술원 정보기전공학부 정보통신공학과 교수

2003년~현재 광주과학기술원 실감방송연구센터 센터장

<주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호처리 및 압축, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송, H.264/AVC, HEVC>