

# HEVC에서 후보 모드 표를 이용한 화면내 모드 부호화

정회원 최 정 아\*, 종신회원 호 요 성\*

## Intra Mode Coding using Candidate Mode Table in HEVC

Jung-Ah Choi\* *Regular Member*, Yo-Sung Ho\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 후보 모드표를 이용한 새로운 화면내 모드 부호화 방법을 제안한다. 기존의 HEVC는 예측한 최고확률모드(most probable mode, MPM)가 현재 블록의 실제 모드와 동일하지 않을 경우 고정길이 부호(fixed length code, FLC)를 이용해 실제 모드 정보를 이진화한다. 하지만 HEVC는 화면내 블록은 많은 수의 모드를 사용하기 때문에 FLC를 이용해 이진화를 하면 코드워드의 길이가 길어진다. 본 논문에서는 예측한 MPM이 실제 모드와 동일하지 않은 경우 인접한 블록을 통해 생성한 후보 모드표를 이용해 부호화할 인덱스를 얻고, 이를 FLC 대신 통계적 특성을 고려한 Golomb-Rice 코드를 이용해 이진화하는 방법을 제안한다. 실험을 통해 제안한 방법이 기존의 HEVC 화면내 모드 부호화 방법에 비해 평균 약 0.5%의 비트 수를 감소시키는 것을 확인했다.

**Key Words** : HEVC, context-based adaptive binary arithmetic coding, Intra coding

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new intra mode coding method using the candidate mode table. In the conventional HEVC, if the predicted most probable mode (MPM) is not same with the current prediction mode, the current prediction mode is encoded using the fixed length code (FLC). However, since a large number of modes are used in HEVC, the codeword length of FLC gets longer. In this paper, we generate the candidate mode table from neighboring blocks and encode the obtained intra mode index using Golomb-Rice code instead of FLC, when the predicted MPM is not identical to the current mode. From the experiment, we verified that the proposed method reduces the BD-rate by 0.5% on average, compared to the HEVC intra mode coding method.

### I. 서 론

현재 표준화가 진행중인 HEVC<sup>[1]</sup>는 기존의 비디오 압축 표준인 H.264/AVC<sup>[2]</sup>와 비교해 부호화 효율을 두 배 이상 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 부호화 효율 향상을 위해 부호화 구조, 화면내 예측, 화면간 예측, 양자화, 변환, 보간 필터, 후처리 필터, 엔트로피 부호화 등 비디오 코덱 전반에 걸쳐 새로운 부호화 알고리즘들이 제안되었다.

HEVC 화면내 부호화에서는 예측 단위(prediction unit, PU)의 크기, 모드 개수, 주변 블록을 이용한

현재 블록의 모드 예측 방법이 변경되었다. H.264/AVC는 4×4, 8×8, 16×16 크기의 PU를 사용하고 최대 9개의 모드를 제공했지만, HEVC 화면내 부호화에서는 4×4에서 최대 32×32 크기의 PU를 사용하고 최대 34개의 모드를 제공한다. 또한, 많은 수의 모드를 효율적으로 부호화하기 위해 인접한 블록의 모드를 통해 최대 2개의 최고확률모드(most probable mode, MPM)를 예측해 부호화한다. 모드의 수가 늘어남으로써 보다 자세한 예측이 가능해 졌지만, 예측한 MPM이 실제 모드와 일치하지 않을 경우 고정길이 부호(fixed length code, FLC)를 사

\* 광주과학기술원 실감방송연구센터({jachoi, hoyo}@gist.ac.kr), (°: 교신저자)

논문번호 : KICS2011-08-345, 접수일자 : 2011년 8월 12일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 8일

용해 이를 이진화하므로 최대 7비트가 소모된다.

따라서, 본 논문에서는 인접한 블록의 모드를 이용해 후보 모드표를 만들고, 이 표를 이용해 현재 블록의 모드를 부호화하는 방법을 제안한다. 제안하는 후보 모드표는 발생할 가능성이 큰 후보 모드가 짧은 인덱스를 가진다. 실제 모드 대신 후보 모드표의 인덱스를 부호화하므로 부호화해야 할 정보의 통계적 특성이 변화한다. 이러한 통계적 특성 변화를 고려해, 기존 HEVC CABAC의 FLC 대신 Golomb-Rice 코드<sup>[3]</sup>를 이용해 발생 가능성이 큰 후보 모드에 더 짧은 코드워드를 할당한다. 이는 FLC를 이용해 이진화하는 기존 HEVC의 CABAC 방법에 비해 더 좋은 부호화 성능을 보인다.

## II. HEVC 화면내 부호화

### 2.1 화면내 모드 예측

HEVC는 4×4에서 64×64까지 다양한 크기의 PU를 사용하며, 그림 1과 같이 다양한 수의 모드를 사용한다. 4×4 PU의 경우 17개, 8×8부터 32×32 PU의 경우 34개의 모드를 사용한다.

HEVC에서도 인접한 블록의 모드를 이용해 현재 블록의 모드를 예측하고, 그 예측된 값을 MPM이라 정의한다. HEVC에서는 두 개의 MPM 후보를 사용한다. 현재 블록에 인접한 좌측 블록을 A, 상단 블록을 B라 할 때, A와 B의 모드가 동일한 값일 경우 MPM은 인접 블록의 모드와 같다. 블록 A와 블록 B의 모드가 동일하지 않을 경우 A의 모드가 첫 번째 MPM, B의 모드가 두 번째 MPM이 된다.

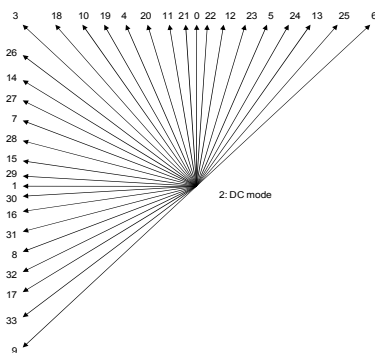


그림 1. 화면내 예측의 방향성  
Fig. 1. Intra prediction directions.

### 2.2 CABAC의 화면내 모드 이진화

HEVC의 CABAC에서는 화면내 모드를 부호화하

기 위한 구문요소로 prev\_intra\_luma\_pred\_flag, mpm\_idx, rem\_intra\_luma\_pred\_mode를 사용한다. prev\_intra\_luma\_pred\_flag는 MPM이 실제 모드와 동일한지 여부를 0(불일치)과 1(일치)로 나타낸다.

mpm\_idx는 prev\_intra\_luma\_pred\_flag가 1이고 두 개의 MPM이 사용되는 경우, 즉 좌측 및 상단 블록의 모드가 동일하지 않을 경우에만 부호화되고 두 블록의 모드 중 어느 것이 실제 모드와 일치하는지를 알려준다. mpm\_idx가 0인 경우 좌측 블록의 모드가, 1인 경우 상단 블록의 모드가 실제 모드와 일치함을 의미한다. rem\_intra\_luma\_pred\_mode는 예측한 MPM과 현재 블록의 실제 모드가 일치하지 않을 경우, 즉 prev\_intra\_luma\_pred\_flag가 0일 경우 부호화되며 FLC를 이용해 이진화된다.

## III. 제안하는 화면내 모드 부호화 방법

최근, 후보 모드표를 이용한 화면내 부호화 방법이 제안되었다<sup>[4]</sup>. 이 방법은 화면내 모드 예측의 정확도를 높이기 위해 주변 PU의 방향성을 이용해 현재 PU의 방향성으로 적합한 후보 모드들을 가장 발생할 가능성이 높은 순서대로 예측하는 방법이다. 이 방법은 높은 성능을 보이지만, 한 개의 MPM 사용하는 HEVC 시험 소프트웨어 HM 2.0을 기준으로 제안되어 두 개의 MPM을 사용하는 HM 3.0에는 적용할 수 없다. 따라서, 두 개의 MPM을 사용하는 경우에 적합하도록 알고리즘을 변경해야 한다.

현재 화면내 모드 부호화에서는 MPM이 실제 모드와 일치할 경우 1비트 또는 2비트를 부호화하고, 그렇지 않을 경우 실제 모드 정보인 rem\_intra\_luma\_pred\_mode를 FLC를 이용해 이진화한 후 부호화한다. 4×4, 8×8, 16×16, 32×32 PU는 모드의 수가 많으므로 rem\_intra\_luma\_pred\_mode를 FLC로 이진화했을 때, 비트 길이가 최대 7비트로 길어진다. 그러므로 MPM이 실제 모드와 일치하지 않는 경우가 많으면 부호화 효율이 낮아진다.

그림 2는 다양한 양자화 계수에 대해 MPM과 실제 모드가 일치하는 확률을 보여준다. 즉,  $p(\text{MPM} = \text{실제 모드}, \text{MPM 개수} = 1)$ 과  $p(\text{MPM} = \text{실제 모드}, \text{MPM 개수} = 2)$ 를 도기한 것으로, MPM이 정확한 경우는 평균 20.95%로 그리 높지 않다. 약 79%의 PU에 대해 모드 정보를 부호화하기 위해 5비트에서 최대 7비트의 긴 코드워드를 부호화해야 함을 알 수 있다. 그러므로 MPM이 정확하지 않을 때 모드 정보를 효율적으로 부호화하는 방법이 필요하다.

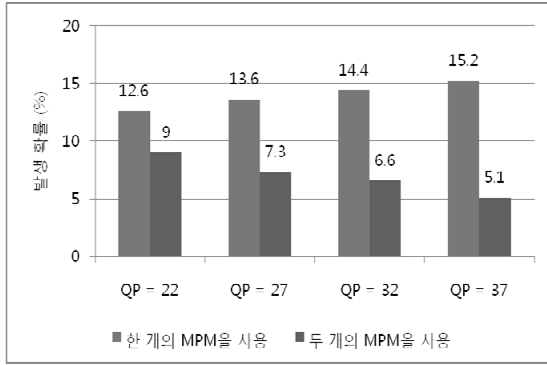


그림 2. MPM의 정확도 확인  
Fig. 2. MPM accuracy.

본 논문에서는 MPM과 실제 모드가 일치하지 않을 경우, 모든 모드에 동일한 비트를 할당하는 FLC를 사용하는 대신 인접 블록의 모드로 발생가능성이 큰 순서대로 나열해 후보 모드표를 생성하고 그 인덱스를 Golomb-Rice 코드로 이진화하는 방법을 제안한다. 이를 통해, 발생 가능성이 큰 모드에는 짧은 길이의 코드를, 그렇지 않은 모드에는 긴 길이의 코드를 할당할 수 있다. 세부 절에서 후보 모드표 생성 방법과 이 표의 인덱스를 TU로 이진화하는 방법을 설명한다.

### 3.1 후보 모드표 생성

후보 모드표를 생성하기 위해서는 먼저 발생 가능성이 큰 모드를 예측해야 한다. 영상의 상관성을 고려했을 때 인접 블록의 모드가 실제 모드와 정확히 일치하지 않더라도, 이와 비슷한 방향성을 가지는 모드가 실제 모드일 가능성이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 각 인접 블록의 모드와 비슷한 방향성을 가지는 모드 순으로 모드를 정렬한다.

후보 모드표 생성을 위해 먼저 모드 순서표를 메모리에 저장해 놓는다. 이는 표 1 및 표 2와 같이 DC

모드(모드 번호 = 2)를 제외한 모드들을 방향성에 따라 인덱스 번호를 다시 할당한 것으로, 복호 단계에서도 동일한 모드 순서표를 가지고 있어야 한다. 모드 순서표 저장을 위해 총 49 bytes의 메모리가 필요하다.

모드 순서표는 방향성 순서대로 재배열되어 있기 때문에 이를 이용하면, 각 상황에 따라 거리 유사성을 중심으로 후보 모드표를 손쉽게 생성할 수 있다. 실험 결과 MPM값이 모드 순서표 상으로  $i$ 번째 값인 경우, 후보 모드표를 생성할 때  $i+1$ 번째 모드를 우선으로 고려할지,  $i-1$ 번째 모드를 우선으로 고려할지는 결과값에 큰 차이를 보이지 않으므로 제안한 방법에서는  $i+1$  모드를 우선적으로 고려하기로 한다. 단, 후보 모드표를 생성할 때 일반적으로 가장 발생 확률이 큰 DC 모드는 항상 제일 먼저 고려한다.

실제 후보 모드표를 생성하는 방법은 크게 세 단계로 이루어진다. 좌측 PU 후보 모드표 생성, 상단 PU 후보 모드표 생성, 마지막으로 실제 부호화에 사용하는 참조 후보 모드표를 생성한다. 그림 3의 예를 통해 자세히 알아본다.

그림 3은  $4 \times 4$  PU인 경우, 좌측 PU로부터의 MPM은 0이고, 상단 PU로부터의 MPM이 5인 경우이다. 먼저, 좌측 PU 후보 모드표 첫 번째 인덱스에 DC 모드를 의미하는 모드 2를 할당한다. 다음, 좌측 PU의 MPM이 0이므로 모드 순서표 상  $i = 12$ 가 되고,  $i+1, i-1, i+2, \dots$  순서, 즉 12, 11, 5, ... 순서로 좌측 PU 후보 모드표가 생성된다. 생성된 후보 모드표는 그림 4의 (A)와 같다.

동일한 방법으로, 상단 PU 후보 모드표를 생성한다. 먼저, 상단 PU 후보 모드표 첫 번째 인덱스에 DC 모드를 할당하고, 상단 PU의 MPM이 5이므로,  $i = 14$ 가 되고, 13, 12, 6, ... 순으로 상단 PU 후보 모드표가 생성된다. 생성된 후보 모드표는 그림 3의 (B)와 같다.

표 1. 모드 순서표 (모드 개수 = 17개)  
Table 1. Mode order table (The number of modes = 17)

순서	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
모드	9	8	16	1	15	7	14	3	10	4	11	0	12	5	13	6

표 2. 모드 순서표 (모드 개수 = 34개)  
Table 2. Mode order table (The number of modes = 34)

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

마지막으로, 참조 후보 모드표를 생성하는 방법을 설명한다. 참조 후보 모드표를 생성할 때는 영상의 수평 방향의 상관성이 크다는 가정 하에, 좌측 PU 후보 모드표에 우선 순위를 둔다. 따라서, 좌측 PU 후보 모드표에서 하나, 상단 PU 후보 모드표에서 하나씩 순서대로 모드를 가져와 혼합한다. 혼합할 때, 모드가 중복되지 않도록 표의 앞부분부터 중복 여부를 따져 결합한다. 따라서, 이미 참조 후보 모드표로 이동된 중복 모드 또는 MPM으로 예측되었던 모드는 고려하지 않는다.

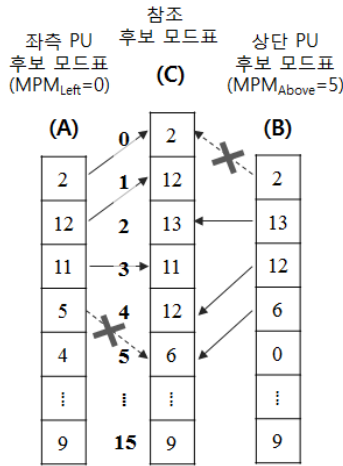


그림 3. 후보 모드표 생성의 예  
Fig. 3. The example of the mode table generation.

그림 3에서 점선으로 표시된 화살표는 중복되거나 MPM으로 예측되었던 모드이므로 후보 모드표로 이동되지 않는 것을 의미한다. 예를 들어, 그림 3에서 모드 2는 중복된 모드이므로 참조 모드표로 이동되지 않고, 모드 5는 상단 PU로부터의 MPM이므로 고려되지 않는다. 참조 후보 모드표 (C) 옆의 0부터 15까지의 수는 참조 후보 모드표의 인덱스로 실제로는 이 인덱스가 부호화된다. 즉, 전송해야 할 모드 정보가 13이면 제안한 방법에서는 참조 후보 모드표에서의 인덱스인 2를 부호화한다.

### 3.2 Golomb-Rice 코드를 이용한 이진화

기존의 HEVC에서는 MPM이 실제 모드와 후보 모드표를 이용하면, 부호화해야 할 정보가 rem\_intra\_luma\_pred\_mode가 아닌 후보 모드표의 참조 번호가 된다. 따라서 부호화해야 할 정보의 발생 확률이 통계적 특성이 변화한다. CABAC에서 각 구문 요소의 통계적 특성을 고려한 이진화 방식은 부호화 효율에 영향을 미치는 중요한 요소이므로, 부호화해야 할 신호의 통계적 특성을 파악하고 이에 맞는 이진화 코드를

결정하는 선행 연구들이 있었다 [5-7].

그림 4는 총 17개의 모드를 사용하는 4×4 PU에 대해 기존의 HEVC의 rem\_intra\_luma\_pred\_mode의 발생 확률과 제안한 방법에서 부호화해야 하는 후보 모드표 인덱스의 발생 확률을 비교한 것이다. 기존의 방법에서는 부호화해야 할 정보의 발생 확률이 랜덤한 특성을 보였으나, 후보 모드표를 이용하는 경우, 기존의 방법보다 부호화해야 할 정보가 작은 값으로 집중되는 것을 확인할 수 있다. 이 경우, FLC보다는 발생 확률에 따라 서로 다른 길이의 코드워드를 할당하는 Golomb-Rice 코드를 사용하는 것이 효율적이다.

Golomb-Rice 코드는 truncated unary (TU) 접두사와 Rice 접미사가 결합된 코드로, 0차에서 3차까지의 코드가 있는데 차수에 따라 서로 다른 확률 분포를 띈다. 0차 Golomb-Rice 코드는 작은 값이 자주 발생할 때 더 효율적이며, 3차로 갈수록 좀 더 큰 값이 자주 발생할 때 더 효율적이다. 다양한 영상을 이용한 실험 결과, 17개의 모드를 사용할 때, 제안한 후보 모드표를 사용한 화면내 모드 부호화 방법이 좀 더 정확한 결과를 제공하므로 더 작은 값이 더 자주 발생했으며, 34개의 모드를 사용할 때에는 그보다 큰 값도 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 실험적으로 17개의 모드를 사용할 때에는 2차, 34개의 모드를 사용할 때에는 3차 Golomb-Rice 코드를 사용하도록 결정했다.

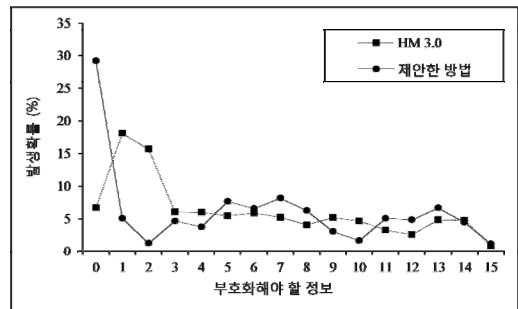


그림 4. 부호화해야 할 정보의 통계적 특성 비교  
Fig. 4. Probability distribution of table index.

## IV. 실험 결과 및 분석

성능 비교 실험을 위해 제안한 방법을 HEVC 시험 소프트웨어 HM 3.0에 구현했다. 제안한 방법의 효율을 증명하기 위해, 다양한 HEVC 실험 영상을 화면내 부호화한 후, 제안한 방법의 성능을 비교했다. 양자화 계수는 22, 27, 32, 37을 사용했다. 구조 성능 비교에는 구간적 3차 보간 (piece-wise cubic interpolation) 기반 성능 평가 방법[8]을 이용했다.

표 3. 제안한 방법의 성능 평가  
Table 3. Performance of the proposed method

크기	영상	Y BD-rate (%)				
		[4]	[9]	[10]	[11]	제안한 방법
2560 × 1600	Traffic	-0.2	-0.6	0	-0.4	-0.3
	PeopleOnStreet	-0.5	-0.6	0	-0.4	-0.5
1920 × 1080	Cactus	-0.4	-0.3	0	-0.3	-0.2
	BasketballDrive	-0.7	-0.4	0	-0.4	-0.4
416 × 240	RaceHorses	-0.3	-0.2	-0.1	-0.5	-0.8
	BasketballPass	-0.2	-0.1	0	-0.4	-0.4
1280 × 720	Vidyo1	-0.8	-0.3	0	-0.5	-0.4
	Vidyo4	-0.5	-0.1	0.1	-0.6	-0.6
평균		<b>-0.5</b>	<b>-0.3</b>	<b>0</b>	<b>-0.4</b>	<b>-0.5</b>

표 4. 제안한 방법의 복잡도 평가  
Table 4. Complexity of the proposed method

크기	영상	복잡도 증가 (%)			
		QP = 22	QP = 27	QP = 32	QP = 37
2560 × 1600	Traffic	9.8	10.9	9.9	11.4
	PeopleOnStreet	8.9	10.1	9.6	10.3
1920 × 1080	Cactus	1.2	1.1	2.0	0.8
	BasketballDrive	1.5	1.8	2.5	2.1
416 × 240	RaceHorses	1.4	0.9	2.3	2.4
	BasketballPass	1.4	0.9	1.4	2.8
1280 × 720	Vidyo1	1.9	1.6	1.1	1.6
	Vidyo4	1.3	1.4	1.4	0.4
평균		<b>3.4</b>	<b>3.6</b>	<b>3.8</b>	<b>4.0</b>

표 3의 실험 결과로부터, 제안한 방법이 기존 HEVC의 CABAC와 비교해 동일한 화질을 유지하면서 최저 0.2%, 최고 0.8%의 비트량을 절약함을 알 수 있다. 전체 영상에 대해, 평균 0.5%의 비트량이 절약되었다. 이를 통해 후보 모드표를 이용한 화면내 부호화 방법<sup>[4]</sup>을 부호화 효율을 유지하면서 현재 HEVC 시험 소프트웨어에 적합하도록 변경했음을 확인할 수 있다. 또한, 제안한 방법의 부호화 효율을 최근의 화면내 모드 부호화 JCT-VC 기고서들<sup>[9-11]</sup>과 비교한 결과 표 3에 나타낸 것과 같이 제안한 방법이 평균적으로 가장 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

제안한 방법은 기존의 HEVC와 동일한 화질을 제공하면서 평균 약 0.5%의 비트율을 감소시킬 수 있지만, 각 상황에 따라 거리 유사성을 중심으로 참조 후보 모드표를 생성해야 하므로 복잡도가 증가한다. 제안한 알고리즘의 복잡도 측정을 위해 부호화 시간을

측정한 결과가 표 4에 나타나있다. 제안한 알고리즘은 평균 약 3.7%의 부호화 시간을 증가시킨다.

## V. 결 론

본 논문에서는 HEVC를 위한 향상된 화면내 모드 신호 전달 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 인접한 블록의 모드 정보를 이용해 발생 가능성이 큰 모드 순으로 정렬된 후보 모드표를 생성하고, 부호화하는 구문 요소의 통계적 특성을 분석해 확률 분포에 맞는 차수의 Golomb-Rice 코드를 사용해 후보 모드표의 인덱스를 이진화해 이를 전송한다. 실험 결과로부터 본 논문에서 제안하는 화면내 모드 신호 전달 방법이 현재 HEVC의 화면내 모드 부호화 방법에 비해 평균 약 0.5%의 비트 수를 감소시켜 더 우수한 압축율을 제공함을 확인했다.

참 고 문 헌

[1] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "WD3: Working Draft 3 of High Efficiency Video Coding," JCTVC-E603, Geneva, CH, March 2011.

[2] 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.

[3] 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.

[4] G. Wallendael, S. Leuven, J. Barbarien, J. Cock, P. Lambert, A. Munteanu, and R. Walle, "Improved Intra Mode Signaling for HEVC," *Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, pp. 001-006, July 2011.

[5] D. Kim, J. Choi, and Y. Lee, "Improved CABAC for Lossless Video Compression," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 12, no. 4, pp. 377-380, July 2007.

[6] J. Heo and Y. Ho, "Improved CABAC Method for Lossless Image Compression," *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 36, no. 6, pp. 355-360, June 2011.

[7] J. Choi and Y. Ho, "Improved CABAC Design for Near Lossless Depth Coding in HEVC," *Proc. of the Korean Society of Broadcast Engineers Conference*, pp. A4-1(1-2), Nov. 2011.

[8] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "On BD-rate Calculation," JCTVC-F270, Torino, IT, July 2011.

[9] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Modified Intra Mode Coding," JCTVC-F269, Torino, IT, July 2011.

[10] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Utilisation of CABAC Equal Probability Mode for Intra Modes Coding," JCTVC-F376, Torino, IT, July 2011.

[11] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Parsing Friendly Intra Mode Coding," JCTVC-F459, Torino, IT, July 2011.

최 정 아 (Jung-Ah Choi)

정회원



2007년 한국항공대학교 항공 전자 및 항공전자공학과 졸업 (학사)  
 2008년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (석사)  
 2008년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 디지털 영상처리, H.264/AVC, HEVC

호 요 성 (Yo-Sung Ho)

중신회원



1981년 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)  
 1983년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)  
 1989년 Univ. of California, Santa Barbara, Dept. of Electrical and Computer Engineering.(박사)

1983년~1995년 한국전자통신연구소 선임연구원  
 1990년~1993년 미국 Philips 연구소, Senior Research Member

1995년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 교수  
 003년~현재 광주과학기술원 실감방송연구센터 센터장

<관심분야> 디지털 신호처리, 영상 신호 처리 및 압축, 디지털 TV와 고선명 TV, 멀티미디어 시스템, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송, H.264/AVC, HEVC