

논문 2009-46SP-5-9

1차원 및 2차원 정수 변환을 이용한 적응적 화면내 코딩 기법

(An Adaptive Intra Coding Technique Using 1-D and 2-D Integer Transforms)

박민철*, 김동원**, 문주희*

(Min-Cheol Park, Dong-Won Kim, and Joo-Hee Moon)

요 약

본 논문에서는 최신 압축 기술인 H.264/AVC의 화면내 부호화 효율을 향상시키기 위해 1차원 및 2차원 정수 변환을 이용한 적응적 화면내 부호화 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 부호화될 블록에 대해 예측모드에 따라서 1차원 정수 변환과 2차원 정수 변환을 수행한 후 가장 효과적인 예측모드와 정수 변환 방법이 선택된다. 1차원 정수 변환을 이용한 부호화를 수행할 경우에는 먼저 예측모드에 따라 4x4 블록을 1x4 또는 4x1의 서브블록으로 분할하고, 각각의 서브블록에 대해 예측을 수행한다. 이때 서브블록들에 대한 예측 신호는 이전의 재생된 서브블록을 이용하여, 예측 방향으로 가장 가까운 신호를 예측에 사용함으로써, 상관성의 활용을 극대화한다. 각각의 서브블록들은 생성된 예측 신호와의 뺄셈 과정을 통해 잔여신호를 생성하고, 1차원 정수 변환 및 양자화 과정을 통해 양자화된 신호를 생성한다. 양자화된 서브블록들은 다시 분할되기 이전의 4x4 블록 단위로 합쳐지고, 예측모드에 따라 DC에 우선 순위를 둔 스캐닝 패턴을 이용하여 1차원으로 정렬된다. 1차원 정수 변환을 사용하여 생성된 해당 블록의 비트스트림이 기존 2차원 정수 변환을 사용하여 생성한 비트스트림과 부호화 효율 측면에서 비교되어, 최종적으로 부호화될 예측모드와 변환 계수가 선택되어 전송된다. 제안 기술은 실험 결과를 통해 다양한 영상과 비트율에서 H.264/AVC보다 평균적으로 BD-PSNR을 0.34dB 향상 또는 BD-bitrate를 4.03% 감소시킴으로써, 기존의 H.264/AVC 부호화 효율을 크게 개선할 수 있음을 보여준다.

Abstract

In this paper, we propose a new adaptive intra coding technique using 1-D and 2-D integer transforms for improving coding efficiency of H.264/AVC. Proposed technique selects the most effective transform and prediction mode for each block after processing 1-D and 2-D transforms of all prediction modes. In case of using 1-D transform, 4x4 block is divided into four 1x4 or 4x1 subblocks and then each subblock is predicted and subtracted by using the decoded subblock located at the nearest position in the direction of prediction. After prediction error subblock is processed by 1-D transform and quantization, four subblocks are merged back into original 4x4 block and then, reordered as 1-D signal by a DC biased zigzag scanning pattern according to the prediction mode. Finally, comparing the coding efficiency between bitstreams based on 1-D transform and conventional 2-D transform, prediction mode and quantized coefficients for each block are decided and corresponding quantized coefficients are transmitted. Experimental results show that the proposed adaptive technique increases 0.34dB in BD-PSNR and decreases 4.03% in BD-Bitrate on the average compared with H.264/AVC

Keywords : H.264/AVC, Intra Coding, Mode Dependent Subblock, 1-D Integer Transform

I. 서 론

* 정희원, ** 학생회원, 세종대학교 정보통신공학과
정보통신연구소

(Information & Telecommunications Research
Institute, Dept. of Information & Communications
Engineering, Sejong University)

※ 이 논문은 서울시 산학연 협력사업(10557) 지원에
의한 논문임.

접수일자: 2009년5월13일, 수정완료일: 2009년8월13일

국제 동영상 표준화 단체의 대표적인 두 그룹인
MPEG(Moving Picture Experts Group)과 VCEG
(Video Coding Experts Group)은 합동으로 기존의
MPEG-4 Part 2^[1]와 H.263^[2] 표준보다 우수하고 뛰어난

비디오 압축 기술을 개발하였다. 이 새로운 표준은 MPEG-4 Part 10 AVC(Advanced Video Coding)와 ITU-T Recommendation H.264로 공동으로 발표되었으며^[3-5], H.264/AVC로 불리기도 한다.

H.264/AVC에서는 MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 Part 2 Visual 등 기존의 동영상 부호화와 관련된 국제 표준과는 다르게 화면내 부호화를 위해 공간 예측 부호화(Spatial Predictive Coding) 방법을 사용한다. 기존의 동영상 부호화 방법에서는 이산 코사인 변환 영역(DCT Domain: Discrete Cosine Transform Domain)^[6-7]에서 변환된 계수(Coefficient)값에 대한 화면내 예측(Intra Prediction)을 사용함으로써 부호화 효율 증대를 추구하지만, H.264/AVC에서는 변환 영역(Transform Domain)이 아닌 공간 영역(Spatial Domain)에서의 공간적 화면내 예측(Spatial Intra Prediction)을 기반으로 하는 부호화 방법을 채택하고 있다.

H.264/AVC의 공간적 화면내 예측을 기반으로 하는 부호화 방법은 이미 부호화가 완료되어 재생된 이전 블록의 화소들로부터 현재 부호화하려는 블록의 화소들을 예측한다. 부호화하려는 현재블록은 예측화소블록과의 차이 정보만을 부호화해서 복호기로 전송한다. 이때, 사용되는 부호화 블록 단위는 4x4, 8x8, 그리고 16x16이다. 그러나 위와 같은 다양한 블록 모드에도 불구하고, 4x4 블록모드로도 정확한 예측이 불가능한 복잡한 영역에서는 부호화 효율이 크게 저하하는 문제점이 발생한다.

전술한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 H.264/AVC 블록모드에 예측모드 의존형 서브블록모드(Mode Dependent Subblock Mode)를 추가한다. 추가된 서브블록모드는 예측모드에 따라 다수의 1차원 서브블록들로 분할되어 1차원 정수 변환된다. 최종적으로 기존의 블록모드와 추가된 서브블록모드 중에서 효율적인 블록모드가 선택되어 부호화가 이루어진다. 본 논문의 Section II에서는 기존의 H.264/AVC 4x4 블록모드의 화면내 부호화 과정에 대해 설명한다. Section III에서는 제안하는 1차원 서브블록모드의 부호화 과정을 설명하고, 기존의 H.264/AVC 4x4 블록모드와 제안하는 1차원 서브블록모드의 적응적인 선택 기법에 대해 자세히 설명한다. Section IV에서는 제안하는 기술의 부호화 효율을 실험 결과를 통해 나타낸다. 마지막으로 Section V에서는 결론을 맺도록 한다.

II. H.264/AVC의 4x4 화면내 부호화

H.264/AVC의 4x4 화면내 부호화 과정은 먼저 부호화할 4x4 현재블록 주위에 있는 재생된 화소들을 이용하여 4x4 예측블록을 생성한다. 생성된 예측블록과 현재블록을 이용하여 뺄셈 과정을 수행하고, 그 결과로 잔여블록을 생성한다. 이렇게 생성된 잔여블록은 2차원 정수 변환과 양자화 과정을 거쳐 양자화된 계수블록을 생성한다. 양자화된 계수블록은 지그재그 스캐닝을 통해 1차원 배열로 정렬되고, 엔트로피 부호화^[8]되어 비트스트림을 생성한다. 또한 양자화된 계수블록은 다음에 부호화될 4x4 블록의 예측을 위해 역양자화와 역변환을 거쳐 재생 화소를 생성한다. 다음에 각각의 과정에 대해 설명한다.

1. H.264/AVC의 4x4 화면내 예측

H.264/AVC의 4x4 화면내 예측에는 그림 1과 같이 9가지 예측모드가 존재한다. 각각의 모드에 따라 부호화할 4x4 현재블록의 예측블록이 재생된 주변화소들을 이용하여 그림 1의 화살표에 의해 나타난 방향으로 생성된다. 화살표가 지나가는 화소위치는 모두 동일한 값으로 예측되는 것을 의미한다.

예측모드 0번(Vertical)인 경우에는 부호화할 4x4 현재블록이 수직 방향으로 유사한 화소 값을 갖는 영역임을 가정하고, 4x4 현재블록의 위에 존재하는 4개의 화소(A, B, C, D)를 이용하여 각각의 수직 열 단위로 동일한 화소 값을 갖는 예측블록을 생성한다. 예측모드 1번(Horizontal)의 경우에는 부호화할 4x4 현재블록이 수평 방향으로 유사한 화소 값을 갖는 영역임을 가정하고, 4x4 현재블록의 왼쪽에 존재하는 4개의 화소(I, J, K, L)를 이용하여 각각의 행이 동일한 화소 값을 갖는 예측블록을 생성한다. 예측모드 2번(DC)의 경우에는 4x4 현재블록이 비교적 평평한 영역임을 가정하고, 4x4 현재블록 주위의 13개 화소(A~M) 평균값을 이용하여 16개의 화소가 모두 동일한 화소 값을 갖는 예측블록을 생성한다. 그 외의 예측모드들은 해당 예측 방향으로 유사한 화소 값을 갖는 영역임을 가정하고, 각각의 예측방향으로 동일한 화소 값을 갖는 예측블록을 생성한다. 예측에 필요한 값이 정수화소 위치인 경우에는 해당 정수화소를 중심으로 저대역 통과 필터([1/4 2/4 1/4])를 적용한 후 이용하고, 반화소 위치인 경우에는 정수화소를 보간하여 이용한다. 이렇게 생성된 예측블

록은 현재블록과의 뺄셈 과정을 수행하고, 그 결과로 잔여블록을 생성한다.

2. 정수 변환과 양자화

화면내 예측 과정에 의해 생성된 잔여블록은 2차원 정수 변환을 이용하여 남아있는 상관성을 제거한 뒤 양자화된다. 기존의 과거 표준들에서 8x8 DCT가 사용되는 것과는 다르게 H.264/AVC에서는 계산량의 복잡성을 줄이기 위해서 변환 과정과 양자화 과정을 결합하여 4x4 정수 변환을 사용하고, 그에 따라 변형된 양자화 매개변수를 이용하여 양자화 과정을 수행한다.

먼저 4x4 DCT 수행 과정을 수식 (1)의 A를 이용하여 $Y = AXA^T$ 와 같이 표현할 수 있다. X는 잔여블록을 의미하고, Y는 DCT된 계수블록을 의미한다.

$$A = \begin{pmatrix} a & a & a & a \\ b & c & -c & b \\ a & -a & -a & a \\ c & -b & b & -c \end{pmatrix} \tag{1}$$

$$a = \frac{1}{2}, b = \sqrt{\frac{1}{2}}\cos\left(\frac{\pi}{8}\right), c = \sqrt{\frac{1}{2}}\cos\left(\frac{3\pi}{8}\right)$$

A에서 $\frac{c}{b} \cong \frac{1}{2}$ 를 가정하고, A를 수식 (2)와 같이 분리하여, $Y = E(CXC^T)E^T$ 로 표현할 수 있다.

$$A = EC = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{b}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{b}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{pmatrix} \tag{2}$$

Y는 수식 (3)의 P를 이용하여 $Y = (CXC^T) \otimes P$ 와 같이 핵심변환(Core Transform) 과정(CXC^T)과 후

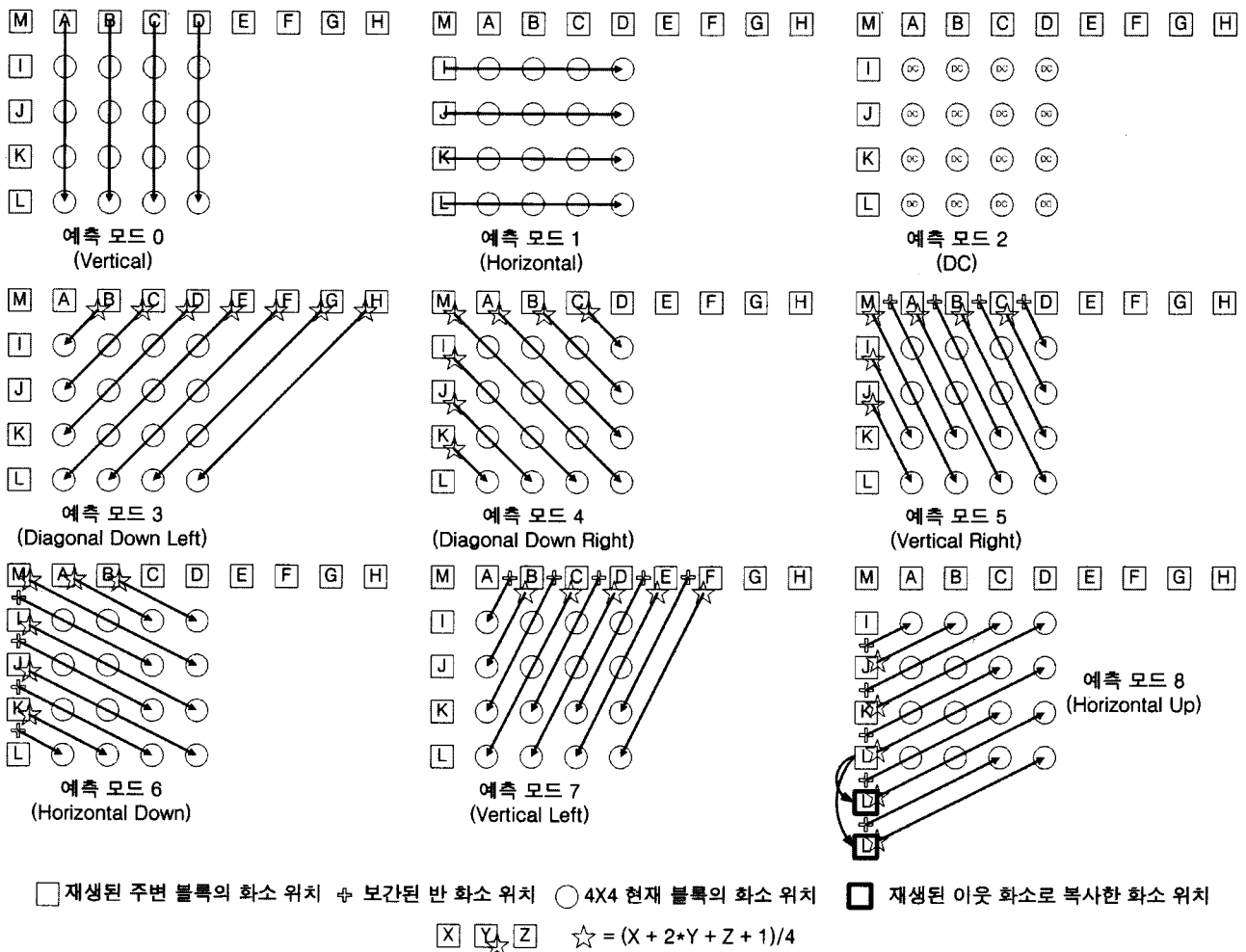


그림 1. H.264/AVC의 4x4 화면내 예측
Fig. 1. 4x4 Intra Prediction of H.264/AVC.

조정(Post Scaling) 과정($\otimes P$)으로 분리할 수 있다. \otimes 는 행렬내 원소들간의 곱셈 연산을 의미한다.

$$P = \begin{pmatrix} a^2 & \frac{ab}{2} & a^2 & \frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} & \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} \\ a^2 & \frac{ab}{2} & a^2 & \frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} & \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} \end{pmatrix} \quad (3)$$

분리된 두 개의 과정에서 핵심변환 과정은 정수변환 과정을 의미하고, 후조정 과정은 양자화 과정에 포함되어 양자화 매개변수를 조정한다.

수식 (4)는 일반적인 양자화 과정을 나타낸다. Qstep은 양자화 매개변수를 의미하고, Z_{ij} 는 양자화된 계수, Y_{ij} 는 DCT된 계수를 의미한다. 한편, round는 반올림 과정을 의미한다.

$$Z_{ij} = \text{round}(Y_{ij}/Qstep) \quad (4)$$

핵심변환된 계수 블록을 $W=[W_{ij}]$ 로 표현하고, 후조정 과정을 $P=[P_{ij}]$ 로 표현하면 수식 (4)는 수식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{ij} = \text{round}(W_{ij} \times (\frac{P_{ij}}{Qstep})) \quad (5)$$

QP가 6이 증가하면 Qstep이 2배 증가하는 특성을 갖도록 하고, $MF_{ij} = (\frac{P_{ij}}{Qstep} \ll 15)$ 를 이용하여 수식 (5)는 수식 (6)과 같이 표현 할 수 있다. floor는 버림 연산을 의미한다.

$$Z_{ij} = \text{round}((W_{ij} \times MF_{ij}) \gg (15 + \text{floor}(\frac{QP}{6}))) \quad (6)$$

표 1에 각각의 QP와 수식 (3)의 P_{ij} 위치에 따라서 사용되는 MF_{ij} 값이 정리되어 있다. %는 나머지 연산

표 1. P 행렬에서 위치에 따른 MF_{ij} 값
Table 1. The value of MF_{ij} according to position in P.

QP%6	a^2 의 위치	$b^2/4$ 의 위치	$ab/2$ 의 위치
0	13107	5243	8066
1	11916	4660	7490
2	10082	4194	6554
3	9362	3647	5825
4	8192	3355	5243
5	7282	2893	4559

을 의미한다.

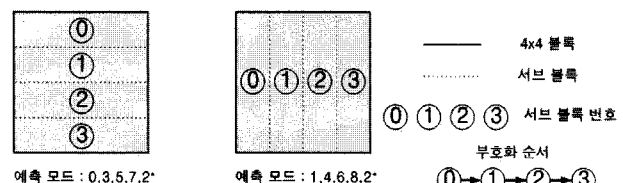
역정수 변환과 역양자화 과정은 정수 변환 및 양자화 과정과 유사하게 수행될 수 있으며, 본 논문에서는 설명을 생략한다.

III. 제안된 1차원 서브블록 부호화 및 부호화 모드 선택 기법

제안하는 1차원 서브블록모드는 먼저 각각의 4x4 예측 모드에 따라서 4x4 블록을 여러 개의 서브블록으로 분할하고, 각각의 서브블록들에 대해 순차적으로 예측을 수행한다. 분할된 서브블록에 대한 예측 신호는 이전에 재생된 서브블록을 이용하여, 예측 방향으로 가장 가까운 신호를 예측에 사용함으로써, 상관성의 활용을 극대화 한다. 예측이 수행된 잔여서브블록은 1차원 정수 변환을 이용하여 변환을 수행하고, 1차원 정수 변환에 의해 변형된, 양자화 매개변수를 이용하여 양자화를 수행한다. 이후 양자화된 서브블록들을 분할되기 이전의 블록 단위인 4x4 블록으로 합친다. 그리고 예측모드에 따라 DC에 우선순위를 둔 스케닝 패턴을 이용하여 1차원 배열로 정렬한 후에 엔트로피 부호화 한다. 이렇게 부호화된 1차원 서브블록 모드의 부호화 정보와 기존의 H.264/AVC 4x4 블록 모드의 부호화 정보를 윌-왜곡 비용(Rate-Distortion Cost : RDcost)^[9-11]의 측면에서 비교한다. 최종적으로 윌-왜곡 비용의 측면에서 유리한 모드가 결정되어 부호화된다. 다음에 각각의 과정을 상세히 설명한다.

1. 블록 분할과 서브블록 부호화 순서

블록 분할과정에서는 4x4 블록을 예측모드에 따라 수평 혹은 수직 직사각형 형태의 서브블록으로 분할한



* 2번 예측 모드는 (수직역상관도 < 수평역상관도)의 경우 4x1 선택, 그 외의 경우에는 1x4 선택
수평역상관도 = $\text{abs}(M-A) + \text{abs}(A-B) + \text{abs}(B-C) + \text{abs}(C-D)$
수직역상관도 = $\text{abs}(M-I) + \text{abs}(I-J) + \text{abs}(J-K) + \text{abs}(K-L)$

그림 2. 예측모드에 따른 서브블록 분할 형태 및 부호화 순서

Fig. 2. Subblock division and coding order according to prediction mode.

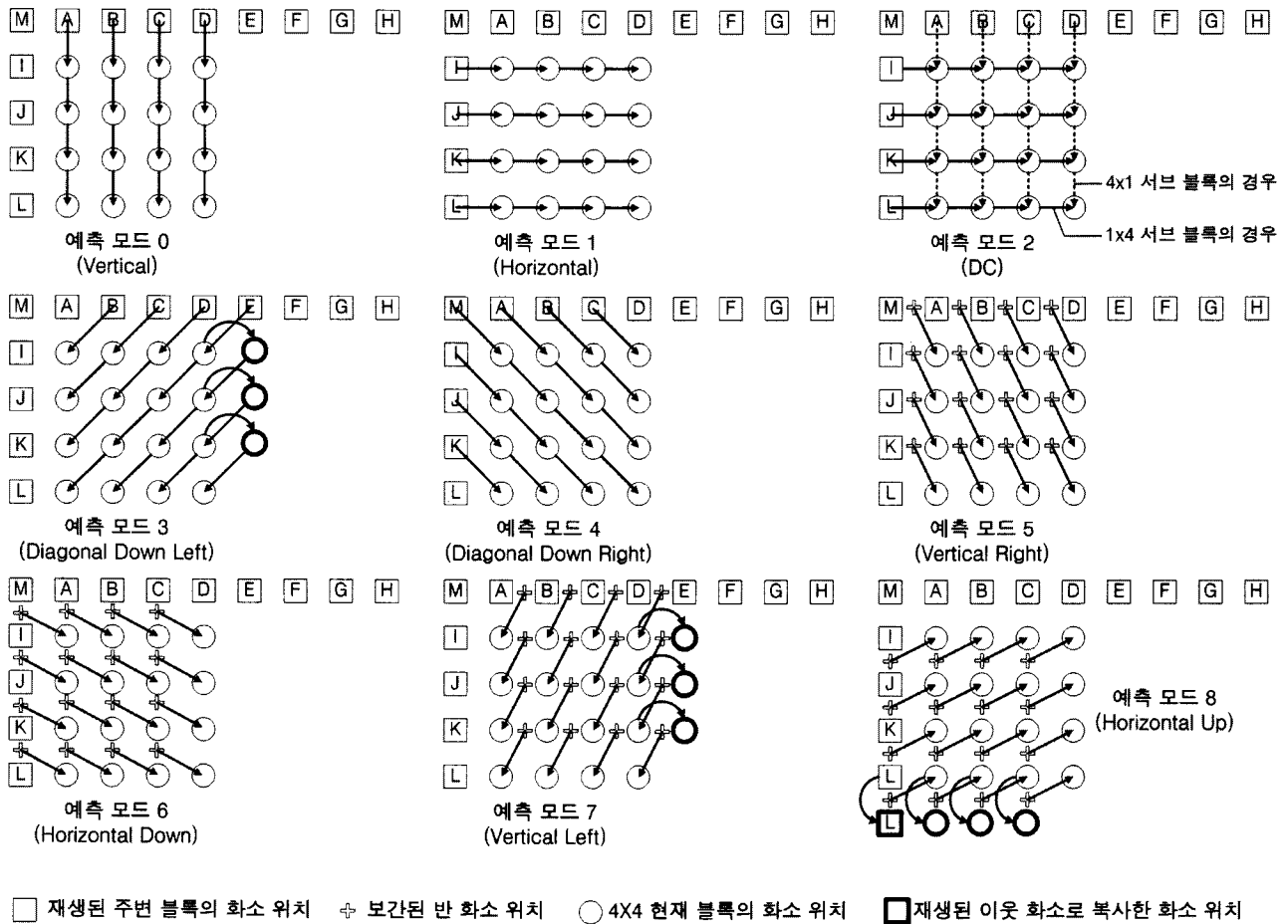


그림 3. 제안하는 1차원 서브블록모드 예측 방법
 Fig. 3. Proposed prediction method of 1-D subblock mode.

다. 그림 2는 예측 모드에 따른 서브블록 분할 형태 및 부호화 순서이다. 수직에 가까운 예측 방향인 0번 (Vertical), 5번 (Vertical Right), 그리고 7번 (Vertical Left)인 경우에는 4개의 4x1 서브블록으로 분할하고, 수평에 가까운 예측 방향인 1번 (Horizontal), 6번 (Horizontal Down), 그리고 8번 (Horizontal Up)인 경우에는 4개의 1x4 서브블록으로 분할한다. 예측모드 2번 (DC)은 주변 데이터에 따라 4x1과 1x4 서브블록을 적응적으로 사용하고, 대각 방향으로 관련이 있는 3번 (Diagonal Down Left)과 4번 (Diagonal Down Right)의 경우에는 각각 4개의 4x1과 4개의 1x4 서브블록으로 분할한다. 서브블록들의 부호화 순서는 0번, 3번, 5번, 그리고 7번 예측 모드인 경우에 4x4 블록의 첫 번째 행을 부호화 하고, 다음 두 번째, 세 번째, 그리고 네 번째 행을 순차적으로 부호화 한다. 예측모드 1번, 4번, 6번, 그리고 8번의 경우에는 첫 번째 열을 부호화 하고, 다음 두 번째, 세 번째, 그리고 네 번째 열을 순차적으로

부호화 한다.

2. 서브블록 예측 과정

그림 3에는 예측모드에 따른 1차원 서브블록들의 예측 과정을 나타낸다. 그림에서 보여지듯 현재 부호화할 서브블록의 예측을 위해 예측 방향을 기준으로 가장 가까운 재생된 정수화소를 이용하거나, 반화소 위치가 가까운 경우에는 재생된 정수화소들을 보간하여 이용한다. 반화소 위치를 사용하는 각 1차원 예측모드의 예측 방법을 구체적으로 설명하기 위해 그림 4에 5번 예측모드의 예를 이용하여 단계적인 수행 과정을 나타낸다. 먼저 이전 4x4 블록에서 재생된 화소(M, A, B, C, D)를 이용하여 반화소 위치의 화소들을 생성하고, 4x4 현재 블록의 첫 번째 행(P0, P1, P2, P3)에 대해 예측을 수행한다. 예측 과정을 제외한 나머지 1차원 정수 변환과 양자화 및 역과정을 통해 첫 번째 행에 대해 재생된 화소들(R0, R1, R2, R3)을 생성한다. 참고로 1차원 서브블

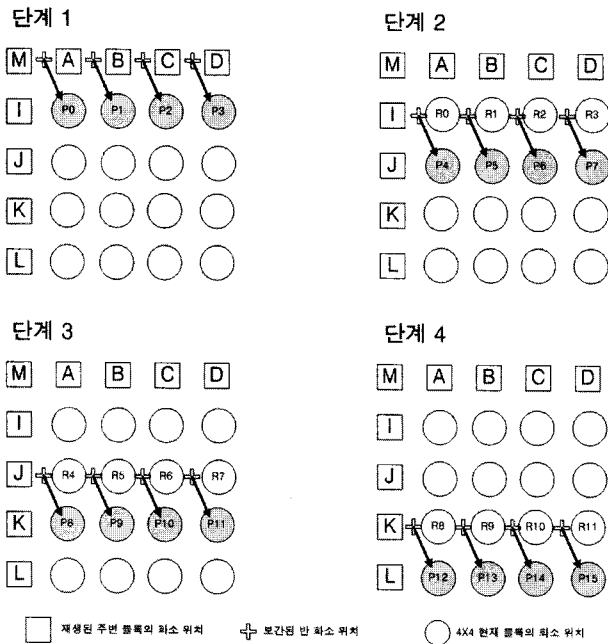


그림 4. 예측모드 5번의 단계적 예측 과정
Fig. 4. Step-by-step process of prediction mode 5.

록 부호화 모드는 엔트로피 부호화 과정만 4개의 서브블록들을 4x4 블록으로 모아 수행하므로 부호화 인과관계 문제(Causality Problem)가 없다. 다음은 현재블록의 첫 번째 행에 재생된 화소들(R0, R1, R2, R3)과 이전 블록의 재생된 화소인 I를 이용하여 두 번째 행(P4, P5, P6, P7)에 대해 예측을 수행하고, 부호화 및 복호화 과정을 통해 재생된 두 번째 행(R4, R5, R6, R7)을 생성한다. 재생된 두 번째 행(R4, R5, R6, R7)과 이전블록의 재생된 화소인 J를 이용하여 세 번째 행에 대해 예측을 수행하고, 부호화 및 복호화 과정을 통해 재생된 세 번째 행(R8, R9, R10, R11)을 생성한다. 마지막으로 재생된 세 번째 행(R8, R9, R10, R11)과 K를 이용하여 네 번째 행(P12, P13, P14, P15)에 대해 예측을 수행하고, 부호화 및 복호화 과정을 통해 네 번째 행을 재생한다.

위와 같이 예측을 수행할 경우, 평균적으로

$$\sqrt{\frac{5}{4}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + (1)^2}$$

화소 거리에 위치하는 화소들을 이용함으로써, 기존의 H.264/AVC에 비해 비교적 가까운 거리에 위치하는 화소들을 이용하여 예측을 수행할 수 있다.

3. 서브블록 모드의 정수 변환과 양자화

각각의 잔여 서브블록에 남아있는 상관성을 제거하기 위해 1차원 DCT를 H.264/AVC와 유사하게 변형하

표 2. 제안된 서브블록내 위치에 따른 MF_{ij}값

Table 2. The value of MF_{ij} according to position in proposed subblock.

QP%6	DC 모드	그 외 모드	
	모든 위치	a의 위치	b/2의 위치
0	52429	26214	16579
1	47663	23831	15072
2	40330	20165	12753
3	37449	18725	11842
4	32768	16384	10362
5	29217	14564	9211

여 정수 변환을 수행하고, 그에 따라 조정된 양자화 매개변수를 이용하여 양자화를 수행한다. 단, 비교적 평평한 영역에서 선택되는 2번(DC) 예측모드는 예측이 수행된 잔여 성분의 상관성이 거의 남지 않은 점을 감안하여 DCT를 적용하지 않고, 잔여서브블록에 양자화만을 수행한다.

먼저 1x4 서브블록의 DCT 수행과정을 수식 (1)의 A를 이용하여 $Y = AX$ 와 같이 표현할 수 있다. X는 잔여서브블록을 의미하고, Y는 DCT변환된 계수서브블록을 의미한다. A에서 $\frac{c}{b} \cong \frac{1}{2}$ 를 가정하고, 수식 (7)의 Q를 이용하여 $Y = (CX) \otimes Q$ 와 같이 1차원 핵심 변환(Core Transform)과정(CX)과 후조정(Post Scaling)과정($\otimes Q$)으로 분리할 수 있다.

$$Q = \begin{pmatrix} a & \frac{b}{2} & a & \frac{b}{2} \end{pmatrix}^T \quad (7)$$

분리된 두 개의 과정에서 1차원 핵심변환(Core Transform) 과정은 정수 변환 과정을 의미하고, 후조정(Post scaling) 과정은 양자화 과정에 포함되어 양자화 매개변수를 조정한다. 양자화 과정의 경우에는 기존의

$$MF_{ij} = \left(\frac{P_{ij}}{Q_{step}} \ll 15 \right)$$

값에서 P_{ij}를 수식 (7)의 Q로 대체한다. DCT를 제외하고 양자화 과정만 수행되는 예측 모드 2번(DC)은 $MF_{ij} = \left(\frac{1}{Q_{step}} \ll 15 \right)$ 를 사용한다.

표 2에 각각의 QP와 Q_i의 위치에 따라 사용되는 MF_{ij}값과 DC 모드에 대한 MF_{ij}값이 정리되어 있다. 기존 H.264/AVC 4x4 블록 모드가 1차원 정수 변환을 행과 열에 대해 두 번 수행하는 것과 비교하여, 제안된 서브블록모드는 행 또는 열에 대해 한 번만 수행하거나, DC모드의 경우에는 정수 변환을 수행하지 않음으

로 정수 변환의 계산 복잡성은 반 이상 감소될 수 있다.

4. 서브블록 부호화모드의 스캐닝 패턴

먼저 양자화 과정을 통해 출력된 각각의 서브블록들을 분할되기 이전의 4x4 블록으로 합친다. 그런 다음, DC에 신호가 집중되는 DCT의 특성을 이용하여 그림 5와 같이 예측모드에 따라 각각 스캐닝 패턴을 결정한다. DC, AC1, AC2, AC3은 4개의 서브블록들(①, ②, ③)에 대한 양자화된 변환 계수이며, QE0, QE1, QE2, QE3은 양자화된 잔여신호를 나타낸다. 결정된 스캐닝 패턴을 이용하여 양자화된 계수 블록을 1차원으로

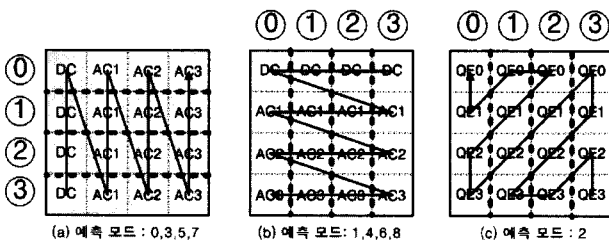


그림 5. 예측모드에 따른 스캐닝 패턴
Fig. 5. Scanning pattern according to prediction mode.

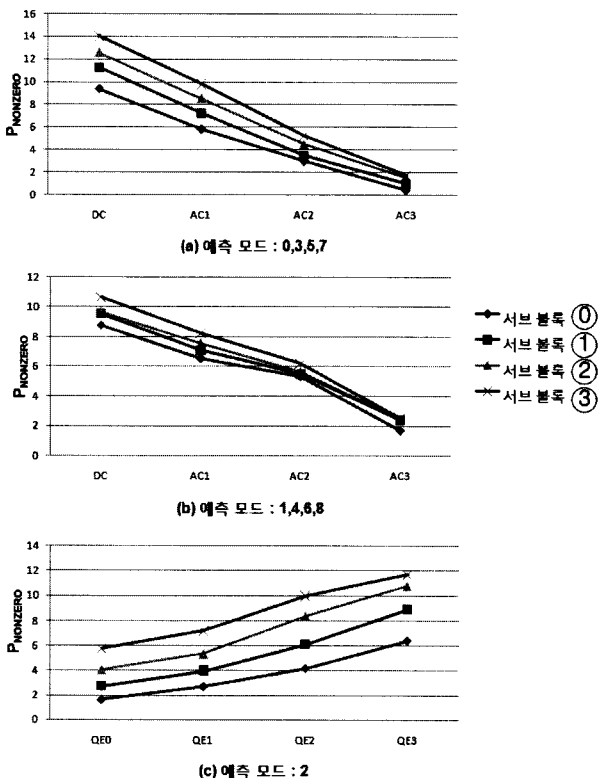


그림 6. 예측모드에 따른 0이 아닌 계수 발생 확률
Fig. 6. Probability of Non-zero coefficients according to prediction mode.

재정렬하고, 기존의 H.264/AVC 4x4 블록모드와 동일한 엔트로피 부호화를 수행한다.

그림 6은 제안하는 서브블록모드로 부호화된 블록들에 대해서, 수식 (8)로 정의되는 서브블록 내 양자화된 계수 위치별 0이 아닌 계수 발생 확률($P_{NONZERO}$)을 나타낸다. 일반적으로 1차원으로 스캐닝된 계수블록에서 발생하는 부호화 데이터의 양은 0이 아닌 계수의 위치 분포에 의해서 크게 영향을 받으므로 0이 아닌 계수가 가능한 먼저 스캐닝 되도록 할 필요가 있다. 그림 6의 결과를 얻기 위해 사용된 테스트 영상은 Foreman QCIF이며, QP는 22를 사용하였다. 참고로 대부분의 영상에서 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

$$P_{NONZERO} = \frac{\text{해당위치의0이아닌계수발생빈도수}}{\text{해당모드의0이아닌계수발생빈도수}} \times 100 \quad (8)$$

그림 6의 (a)는 0번, 3번, 5번, 그리고 7번 예측모드로 부호화된 경우, 서브블록 내 양자화된 계수들(DC, AC1, AC2, AC3)의 0이 아닌 계수 발생 확률을 각각 표시한다. 그림에서 보여지듯 모든 서브블록에 대해 DC가 0이 아닐 확률이 가장 높으며, 각각의 계수 위치에 대해서는 서브블록③의 계수가 0이 아닐 확률이 가장 높다. 물론 서브블록③의 AC1 계수가 서브블록①의 DC 계수보다 0이 아닐 확률이 약간 높을 수도 있지만 복잡성을 고려하여 제안 방식에서는 그림 5 (a)에서와 같이 스캐닝 패턴이 선택되었다. 그림 6의 (b)는 1번, 4번, 6번, 그리고 8번 예측모드의 경우, 서브블록 내 계수들(DC, AC1, AC2, AC3)의 0이 아닌 계수 발생 확률을 각각 표시한다. 이 경우에도 계수들간에는 DC의 0이 아닌 계수 발생 확률이 가장 높으며, 각각의 계수 위치에 대해서 0이 아닌 계수 발생 확률은 서브블록의 부호화 역순서를 따른다. 이를 통해 제안된 그림 5 (b)의 스캐닝 패턴이 적합하게 적용될 수 있음을 알 수 있다. 한편, 그림 6의 (c)는 2번 예측모드의 경우를 나타내며, 0이 아닌 계수 발생 확률은 블록의 오른쪽과 아래쪽을 기준으로 왼쪽과 위쪽에 있는 계수 위치 방향으로 점점 감소함을 알 수 있다. 이를 통해 제안된 그림 5 (c)의 스캐닝 패턴이 적합하게 선택되었다는 것을 알 수 있다.

5. 적응적인 블록 부호화모드 선택 기법

그림 7에는 기존의 H.264/AVC 4x4 블록모드의 매크로블록 비트스트림 구성과 제안하는 매크로블록 비트스트림 구성을 나타낸다. 그림 7 (a)의 예측모드0~15는

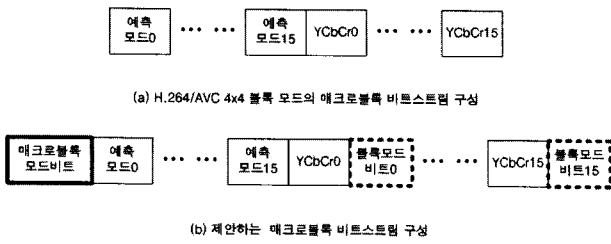


그림 7. 매크로블록 비트스트림 구성
Fig. 7. Bitstream structure of Macroblock.

매크로블록 내 16개의 4x4 블록들의 예측모드를 알리는 정보이고, YCbCr0~15는 각각의 4x4 블록 내 Y, Cb, 그리고 Cr 성분의 양자화된 계수들을 엔트로피 부호화한 정보이다. 기존의 H.264/AVC 4x4 블록모드와 제안된 1차원 서브블록모드를 적용적으로 사용하기 위해서 그림 7 (b)와 같이 매크로블록 단위로 매크로블록모드비트를 비트스트림에 추가하고, 블록 단위로 블록모드비트를 비트스트림에 추가한다. 매크로블록모드비트는 해당 매크로블록 내에 제안된 1차원 서브블록모드가 적용되는 블록이 적어도 한 개 이상 존재하는지를 나타내며 1비트로 구성된다. 매크로블록모드비트에 의해서 제안된 서브블록모드를 사용하는 경우로 결정되면, 16개의 4x4 블록들에 대해서 각각의 해당 4x4 블록이 제안된 서브블록모드를 사용했는지를 블록모드비트에 의해 알려준다. 블록모드비트는 0이 아닌 양자화된 계수가 하나 이상 존재하는 경우에만 비트스트림에 삽입되며, 양자화된 계수가 모두 0일 경우에는 블록모드비트를 삽입하지 않는다. 계수 데이터를 확인한 후에 블록모드비트 존재 유무를 판단할 수 있도록 블록모드비트는 해당 블록의 계수 뒤에 위치한다. 한편, 기존의 H.264/AVC 4x4 블록 모드로 부호화하는 경우에는 양자화된 계수가 모두 0이 되는 경우가 발생하지 않도록 한다. 그 이유는 복호기에서 블록모드비트를 전송받지 않고, 복호화가 가능하도록 하기 위해서이다. 제안하는 매크로블록 비트스트림을 구성하기 위한 부호화 모드 정보 선택 과정이 그림 8에 나타나 있으며, 다음과 같은 7개의 단계로 구성된다.

단계 1 임시버퍼1과 임시버퍼2를 초기화 한다. 임시버퍼1은 매크로블록 내 전체 16개의 4x4 블록들에 대해 기존의 H.264/AVC 4x4 블록모드로만 부호화한 비트스트림을 저장하기 위한 버퍼이다. 임시버퍼2는 제안하는 1차원 서브블록모드로 부호화한 비트스트림과 기존의 H.264/AVC 4x4 블록모드로 부호화한 비트스트림을 적

용적으로(4x4 블록 단위) 선택하여 저장하기 위한 버퍼이다.

단계 2 먼저 H.264/AVC 4x4 블록모드로 4x4 현재 블록을 부호화 하여, 그 비트스트림을(비트스트림1) 임시버퍼1에 저장하고, 그에 대한 RDcost(RDcost1)를 계산한다.

단계 3 제안하는 1차원 서브블록모드로 4x4 현재 블록을 부호화 하고(비트스트림2), 그에 대한 RDcost(RDcost2)를 계산한다.

단계 4 RDcost1과 RDcost2를 비교한다. RDcost1이 적고, 비트스트림1의 양자화된 계수가 하나라도 0이 아닐 경우에는 비트스트림1을 임시버퍼2에 저장하고, 그 외의 경우에는 비트스트림2를 임시버퍼2에 저장한다.

단계 5 단계 4에서 선택된 비트스트림 내의 양자화된 계수가 모두 0일 경우를 제외하고, 부호화된 신호를 구별하기 위해 임시버퍼2에 블록모드비트를 삽입한다.

단계 6 매크로블록내의 모든 4x4블록에 대해서 단계 1 에서 단계 5까지의 과정을 반복해서 수행하고, 매크로블록 단위로 임시버퍼1에 대한 총 RDcost(RDcostmb1)와 임시버퍼2에 대한 총 RDcost(RDcostmb2)를 계산한다.

단계 7 RDcostmb1과 RDcostmb2를 비교하고, 선택된 매크로블록모드비트와 해당 모드에 의해 발생되었던 매크로블록 비트스트림을 전체 부호화 비트스트림 버퍼에 최종적으로 저장하여 해당 매크로블록의 부호화를 완료한다.

그림 9는 1차원 정수 변환을 사용하는 서브블록모드로 부호화된 4x4 블록의 비율을 나타낸다. 즉, 전체 영상에서 제안된 1차원 서브블록모드가 선택되는 면적의 비율을 나타낸다. 그림 9를 통해 보여지듯 QP가 감소함에 따라 제안모드 선택률이 증가함을 알 수 있다. Akiyo QCIF 영상과 Foreman QCIF 영상의 제안모드 선택률을 비교하고, Foreman CIF 영상과 News CIF 영상의 제안모드 선택률을 비교하면, 영상의 복잡도가 증가하는 Foreman QCIF와 Foreman CIF에서 각각 제안모드 선택률이 증가함을 알 수 있다. 또한 Foreman QCIF 영상과 Foreman CIF를 비교하면 영상의 크기가 감소함에 따라 제안모드 선택률이 증가함을 알 수 있다. 이를 통해 제안된 서브블록모드가 복잡한 영상과 고화질의 영상 압축에 더욱 효과적임을 알 수 있다.

IV. 실험 결과

1. 실험 환경

제안 기술의 성능을 평가하기 위해서 JM11.0^[12]에 제안 기술을 구현하고, 7개의 CIF 영상과 9개의 QCIF 영상을 이용하여 원래의 JM11.0과 제안 기술이 구현된 Modified_JM11.0의 부호화 효율을 비교한다. 표 3에는 전체적인 실험 조건을 나타낸다. 실험 영상으로는 비교적 복잡한 영역이 빈번히 발생하는 Paris, Mobile, Foreman, Ice CIF 영상과 Mobile, Foreman, Ice, Hall objects QCIF 영상이 포함되고, 영상 내 대부분의 영역이 단순한 Akiyo, News, Irene CIF 영상, Akiyo, News, Claire, Container, Irene QCIF 영상이 함께 사용되었다^[13~14]. 신뢰할 수 있을 만한 데이터를 얻기 위해 각각의 영상을 150장씩 부호화하며, 150장 모두 화면내 부호화한다. Baseline 프로파일^[15]에서 비교하기 위해 엔트로피 부호화는 CAVLC를 사용하고, 8x8변환은 사용하지 않는다. 블록모드와 예측모드는 RDO(Rate-Distortion Optimization)를 사용하여 결정하고, 다양한 비트율(Bitrate)에서 비교하기 위해 QP는 22, 27, 32, 37을 사용한다. 참고로 VCEG에서는 부호화 효율 비교를 위한 QP 설정을 22, 27, 32, 37로 권고하고 있다^[16].

표 3. 기본 실험 조건

Table 3. Basic experimental conditions.

항 목	선택된 조건
부호화 프레임 수	150
엔트로피 부호화	CAVLC
8x8 변환	사용 않함
QP	22, 27, 32, 37
Deblocking Filter	사용
코딩 구조	화면내 부호화
RDO	사용

2. 실험 결과

표 4에 원래의 JM11.0과 제안 기술이 적용된 modified_JM11.0의 실험 결과가 나타나 있다. 실험 영상 별로 QP 변화에 따른 PSNR-Y와 비트율이 나타나 있으며, 각각의 영상에 대한 전체적인 종합 성능은 BD-PSNR(Bjontegaard-Delta PSNR)과 BD-Bitrate(Bjontegaard-Delta Bitrate)^[17~18]를 이용하여 나타낸다. BD-PSNR은 전체 비트율 구간에서 평균적인 PSNR차이를 의미하고, BD-Bitrate는 전체 PSNR구간에서 평균적인 비트율 차이를 의미한다. 표 4에서 H.264는 원

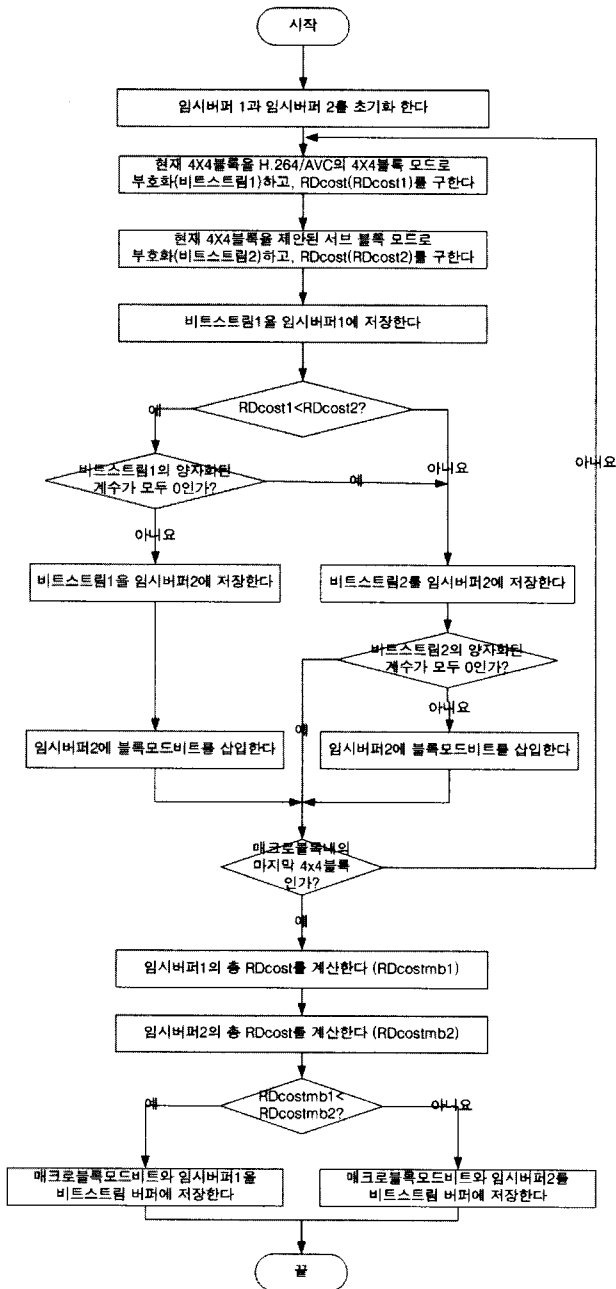


그림 8. 매크로블록 부호화 흐름도

Fig. 8. Encoding flowchart of Macroblock.

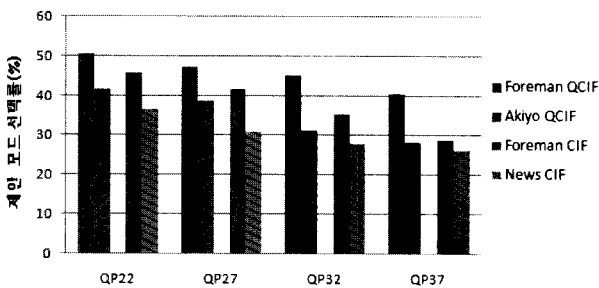


그림 9. 제안된 서브블록모드 선택률

Fig. 9. The section ratio of proposed subblock modes.

표 4. 기존 H.264/AVC 및 제안 기술의 부호화 효율
Table 4. Coding efficiency of H.264/AVC and proposed technique.

			QP=22		QP=27		QP=32		QP=37		BD- Bitrate (%)	BD- PSNR (dB)
			H.264	Proposed	H.264	Proposed	H.264	Proposed	H.264	Proposed		
QCIF	Akiyo	PSNR-Y(dB)	43.47	43.56	39.71	39.70	35.95	36.02	32.71	32.64	0% - 3.3	0.29
		Bitrate(kbps)	464.77	449.59	309.70	299.07	201.07	195.17	129.01	126.33		
	Claire	PSNR-Y(dB)	45.09	45.21	41.49	41.63	37.91	38.06	34.81	34.83	5% - 4.2	0.35
		Bitrate(kbps)	319.28	307.94	209.68	203.32	136.09	132.49	87.27	86.09		
	Irene	PSNR-Y(dB)	42.91	43.00	38.91	39.01	35.11	35.14	31.84	31.80	2% - 3.7	0.29
		Bitrate(kbps)	552.41	535.00	348.07	338.05	210.23	203.83	127.56	123.59		
	News	PSNR-Y(dB)	42.48	42.58	38.50	38.53	34.58	34.68	30.97	30.94	8% - 4.1	0.41
		Bitrate(kbps)	638.97	613.19	433.13	417.68	288.43	277.72	186.13	180.37		
	Container	PSNR-Y(dB)	41.71	41.77	37.89	37.98	34.37	34.43	30.99	30.94	6% - 3.7	0.30
		Bitrate(kbps)	643.58	623.87	414.86	402.42	262.36	254.15	162.48	157.78		
	Ice	PSNR-Y(dB)	44.18	44.32	40.53	40.72	36.83	36.94	33.43	33.47	3% - 5.5	0.51
		Bitrate(kbps)	380.11	362.90	255.57	244.77	168.33	161.51	111.56	107.96		
	Mobile	PSNR-Y(dB)	40.61	40.77	35.72	35.98	31.14	31.28	27.14	27.29	3% - 4.1	0.48
		Bitrate(kbps)	4 1599.6	1 1557.2	7 1143.3	0 1116.8	769.81	747.11	486.85	478.45		
Foreman	PSNR-Y(dB)	41.56	41.69	37.79	37.91	34.31	34.30	31.04	31.06	3% - 6.5	0.51	
	Bitrate(kbps)	606.38	568.84	381.31	359.17	237.92	223.94	151.19	143.74			
Hall object	PSNR-Y(dB)	42.29	42.35	38.83	38.91	35.07	35.10	31.44	31.33	8% - 4.7	0.43	
	Bitrate(kbps)	561.15	535.25	374.72	358.26	245.63	234.73	159.15	152.46			
CIF	Akiyo	PSNR-Y(dB)	43.97	43.97	40.99	40.93	37.82	37.73	34.80	34.65	0% - 1.6	0.11
		Bitrate(kbps)	0 2303.3	4 2239.7	3 1469.8	7 1430.2	939.16	914.22	614.35	602.30		
	News	PSNR-Y(dB)	43.04	43.09	39.62	39.62	36.08	35.97	32.76	32.69	4% - 2.4	0.20
		Bitrate(kbps)	3 3411.9	2 3320.2	3 2243.3	2 2183.0	6 1449.9	3 1402.2	947.23	913.38		
	Irene	PSNR-Y(dB)	43.28	43.34	39.99	40.06	36.70	36.69	33.62	33.59	4% - 2.4	0.16
		Bitrate(kbps)	9 2968.3	7 2898.5	8 1808.4	0 1774.2	2 1098.1	8 1072.7	654.26	642.17		
	Foreman	PSNR-Y(dB)	41.75	41.89	38.29	38.42	35.21	35.24	32.42	32.42	5% - 6.0	0.38
		Bitrate(kbps)	6 3820.6	5 3639.8	3 2235.6	0 2134.3	8 1314.2	8 1245.9	806.29	768.11		
	Ice	PSNR-Y(dB)	44.61	44.63	41.58	41.64	38.34	38.39	35.28	35.29	1% - 4.5	0.33
		Bitrate(kbps)	4 2015.9	0 1928.4	7 1275.1	9 1225.6	825.76	792.62	548.19	528.97		
	Mobile	PSNR-Y(dB)	41.03	41.16	36.39	36.59	31.95	32.04	27.97	28.04	6% - 3.1	0.36
		Bitrate(kbps)	29 10377.	85 10145.	3 7347.7	3 7217.1	1 4974.3	6 4859.3	7 3199.2	1 3139.5		
	Paris	PSNR-Y(dB)	41.58	41.66	37.45	37.55	33.50	33.49	29.89	29.88	4% - 4.1	0.40
		Bitrate(kbps)	6 6655.9	9 6407.2	0 4532.8	0 4372.1	9 2971.3	5 2847.9	6 1892.3	3 1832.6		
Average Value	QCIF										7% - 4.4	0.40
	CIF										8% - 3.4	0.28
	Total										3% - 4.0	0.34

래의 JM11.0을 의미하며, Proposed는 제안된 기술이 적용된 modified_JM11.0을 의미한다.

실험 결과를 살펴보면, 먼저 CIF 영상의 경우에는 CIF 영상 전체에 대해 평균적으로 0.28dB의 BD-PSNR이 향상되고, 3.48%의 BD-Bitrate가 감소한다. 영상 내 대부분의 영역이 단순한 Akiyo, News CIF 영상의 경우에는 각각 0.11dB와 0.20dB의 BD-PSNR이 향상되고,

1.60%와 2.44%의 BD-Bitrate가 감소한다. 영상 내 비교적 복잡한 영역이 빈번히 발생하는 Paris, Foreman CIF 영상의 경우에는 각각 0.40dB와 0.38dB의 BD-PSNR이 향상되고, 4.14%와 6.05%의 BD-Bitrate가 감소한다. 이를 통해 제안 기술은 복잡한 영역에서 더욱 더 효과적으로 적용됨을 알 수 있다. CIF 영상과 비교하여 4x4 블록의 복잡도가 커지는 QCIF 영상의 경우

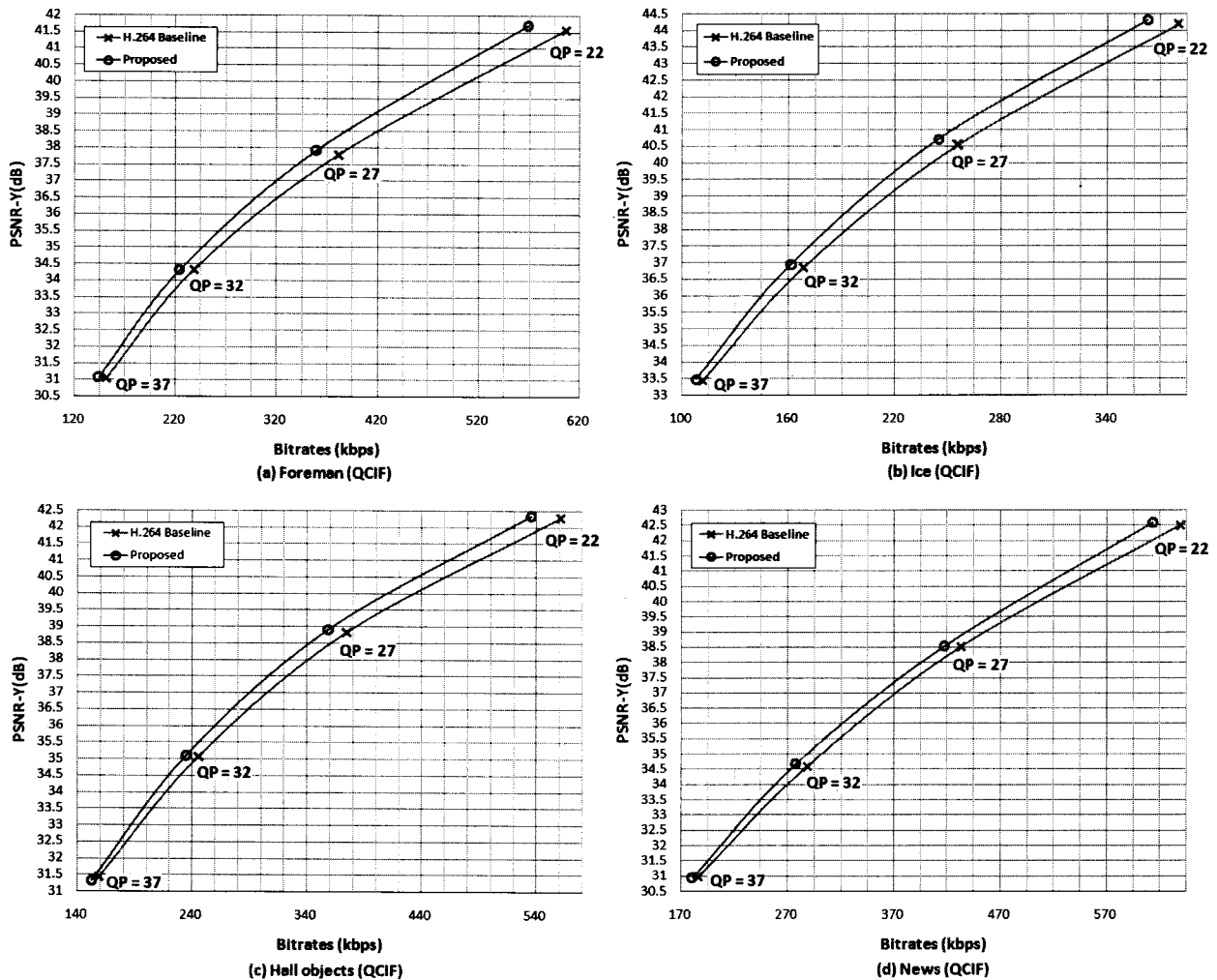


그림 10. 제안 기술과 H.264/AVC의 울-왜곡 곡선(QCIF)

Fig. 10. Rate-distortion curves of H.264/AVC and proposed technique(QCIF).

에는 QCIF 영상 전체에 대해서 평균적으로 0.40dB의 BD-PSNR이 향상되고, 4.47%의 BD-Bitrate가 감소한다. 이를 CIF 영상의 전체 평균과 비교하면, 제안 기술이 복잡한 영역에서 효과적으로 적용되었음을 다시 한번 알려준다. 결론적으로 실험에 사용된 전체 영상에 대해 평균적으로 0.34dB의 BD-PSNR이 향상되고, 4.03%의 BD-Bitrate가 감소하며, 이를 통해 제안 기술이 다양한 영상과 비트율에서 H.264/AVC의 부호화 효율을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 각각의 비트율 구간에서 부호화 효율을 비교하기 위해 몇 가지 영상에 대한 울-왜곡 곡선(Rate-Distortion Curve)을 살펴보면, 그림 10 및 그림 11과 같다. BD-Bitrate High, BD-Bitrate Low^[19]를 이용하여 각 구간에서의 특성을 분석하기로 한다. BD-Bitrate High는 QP가 22

일 때와 27일 때의 비트율 구간에 대한 평균적인 비트율 차이를 의미하며, BD-Bitrate Low는 QP가 32일 때와 37일 때의 비트율 구간에 대한 평균적인 비트율 차이를 의미한다. 즉, BD-Bitrate High와 BD-Bitrate Low는 각각 높은 비트율과 낮은 비트율 구간에서의 평균적인 비트율 차이를 의미한다. 그림 10을 살펴보면 Foreman QCIF 영상의 경우에는 BD-Bitrate High는 7.56% 감소하며, BD-Bitrate Low는 5.35% 감소한다. News QCIF 영상의 경우에는 BD-Bitrate High는 4.21% 감소하며, BD-Bitrate Low는 4.00% 감소한다. 이를 통해 제안 기술은 비교적 높은 비트율에서 더욱 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한, 그림 11을 살펴보면 Ice CIF 영상의 경우에는 BD-Bitrate High는 4.71% 감소하며, BD-Bitrate Low는 4.19% 감소한다.

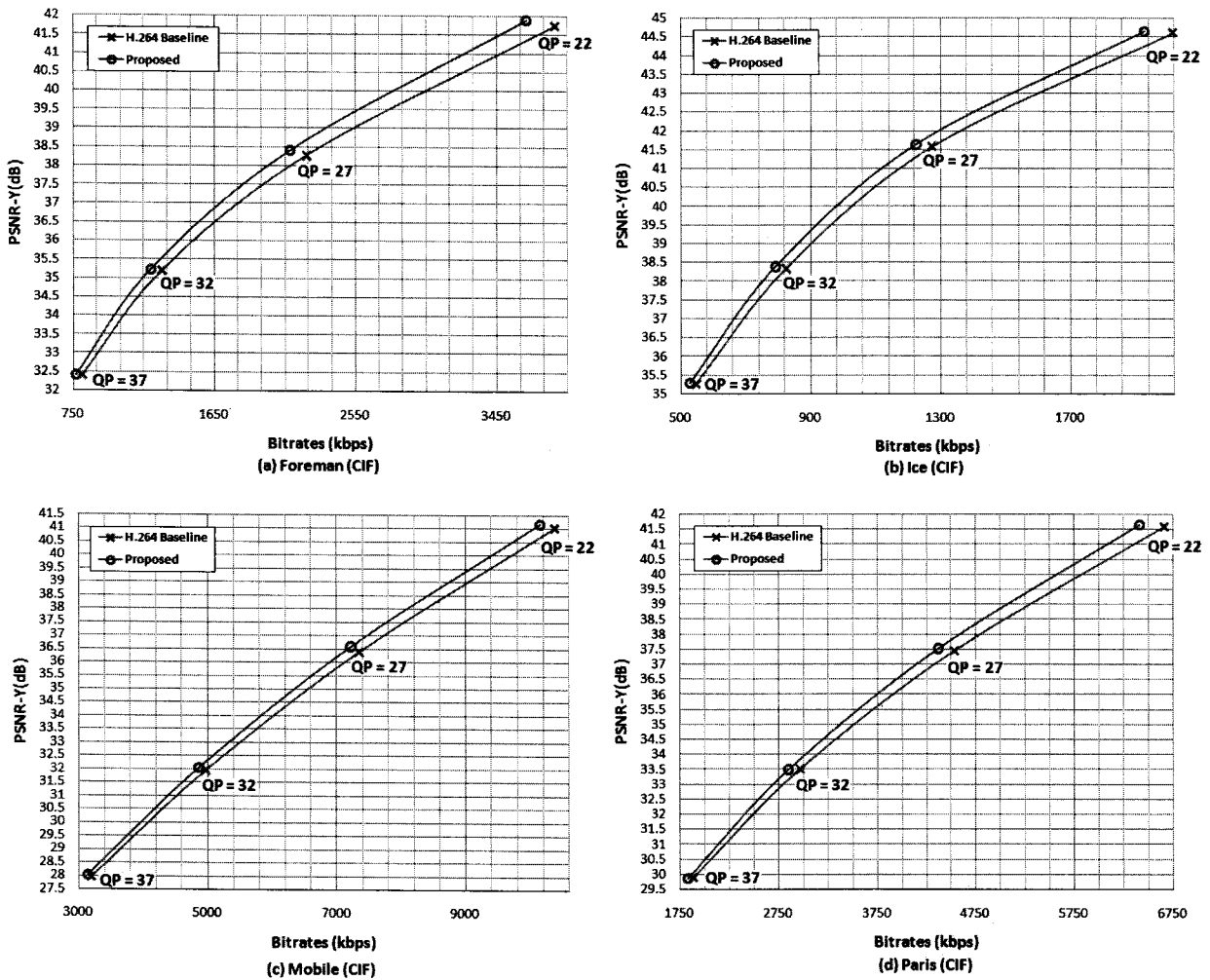


그림 11. 제안 기술과 H.264/AVC의 울-왜곡 곡선(CIF)
 Fig. 11. Rate-distortion curves of H.264/AVC and proposed technique(CIF).

Paris CIF 영상의 경우에는 BD-Bitrate High는 4.48% 감소하며, BD-Bitrate Low는 3.57% 감소한다. 다른 영상들에 대해서도 유사한 특성을 보임을 알 수 있고, 이를 통해 QCIF 영상과 마찬가지로 높은 비트율에서 제안 기술이 효과적임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 H.264/AVC의 화면내 부호화 효율을 향상시키기 위해서 부호화하려는 4x4 블록을 예측 모드에 따라 수평 혹은 수직의 1차원 서브 블록으로 나누어 부호화하는 1차원 서브블록모드를 제안한다. 또한, 1차원 서브블록모드와 기존의 4x4 블록모드의 적응적인 선택 기법을 제안한다. 실험 결과를 통해서, 제안 기술은 H.264/AVC와 비교하여 전체 영상에 대해 평균적

으로 0.34dB의 BD-PSNR 증가 또는 4.03%의 BD-Bitrate를 감소시킴으로써, H.264/AVC의 부호화 효율을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 제안된 기술은 영상의 특성이 복잡한 경우 더욱 뛰어난 성능을 보이는데, 이는 제안된 서브블록 예측 방법이 가까운 화소를 이용하여 효과적으로 중복성을 제거할 수 있기 때문이다. 또한 제안된 방식은 QP가 작은 경우 더욱 우수한 성능을 나타내는데, 향후 수요가 급증할 것으로 예상되는 고화질 영상 압축 응용에 효과적으로 사용될 수 있을 것이다. 추후 다양한 프로파일과 다양한 크기의 영상 압축에 제안 기술이 응용될 수 있도록 8x8 블록과 16x16 블록에 대해서도 1차원 서브블록모드를 구현 적용해 볼 수 있을 것이다. 그리고 부호기의 계산 복잡성을 효과적으로 줄일 수 있는 고속 알고리즘 개발이 필요하며, 마지막으로 저화질 비디오 압축에서 1차원

서브블록모드를 사용하는 경우에는 기존의 더블록킹 필터로 처리할 수 없는 주관적 화질 열화 문제가 발생할 수 있는데 이에 대한 고찰이 필요하다.

참고 문헌

- [1] ISO/IEC 14496-2:2004, "Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 2 : Visual," ISO/IEC, 2004. 11.
- [2] ITU-T Rec. H.263, "Video coding for low bit rate communication," ITU-T, 2005. 1.
- [3] ITU-T Rec. H.264, "Advanced video coding for generic audiovisual services," ITU-T, 2005. 3.
- [4] ISO/IEC 14496-10:2004, "Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10 : Advanced Video Coding," ISO/IEC, 2004. 10.
- [5] Iain E Richardson, "H.264 and MPEG-4 Video Compression," John Wiley & Sons, pp159-224, 2003. 12.
- [6] Henrique S. Malvar, "Low-Complexity Length-4 Transform and Quantization with 16-Bit Arithmetic," ITU-T Q.6/SG16 Document VCEG-N44, 2001. 10.
- [7] Antti Hallapuro, Marta Karczewicz, "Low Complexity Transform and Quantization Part I: Basic Implementation," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6 Document JVT-B038, 2002. 1.
- [8] Gisle Bjøntegaard, Karl Lillevold, "Context-adaptive VLC (CVLC) coding of coefficients," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6 Document JVT-C028, 2002. 5.
- [9] A. Ortega and K. Ramchandran, "Rate-distortion methods for image and video compression," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 15, no. 6, pp23 - 50, 1998.
- [10] Gary J. Sullivan and Thomas Wiegand, "Rate-Distortion Optimization for Video Compression," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp74~90, 1998. 11.
- [11] T. Wiegand, and B. Girod, "Lagrangian Multiplier Selection in Hybrid Video Coder Control," in *IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP)*, pp542-545, 2001. 10.
- [12] ITU, H.264/AVC Reference Software ver. JM 11.0 Available at http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/jm11.0.zip
- [13] <http://media.xiph.org/video/derf/>
- [14] <http://trace.eas.asu.edu/yuv/cif.html>
- [15] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 7, 2003. 7.
- [16] TK Tan, G. Sullivan, T. Wedi, "Recommended Simulation Conditions for Coding Efficiency Experiments," ITU-T SC16/Q6 Document VCEG-AE10r1, 2007. 1.
- [17] G. Bjøntegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves," ITU-T Q.6/SG16 Document VCEG-M33, 2001. 4.
- [18] Stéphane Pateux, "Calculation An excel add-in for computing Bjøntegaard metric and its evolution," ITU-T Q.6/SG16 Document VCEG-AE07, 2007. 1.
- [19] G. Bjøntegaard, "Improvements of the BD-PSNR model," ITU-T Q.6/SG16 Document VCEG-A111, 2008. 7.

저 자 소 개



박민철(정회원)
 2004년 세종대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
 2006년 세종대학교 정보통신 공학과 석사 졸업.
 2006년~현재 세종대학교 정보통신공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축>



김동원(학생회원)
 2008년 세종대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 학사 졸업.
 2008년~현재 세종대학교 정보통신공학과 석사 과정.

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축>



문주희(정회원)
 1985년 서강대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.
 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

1992년~1994년 한국과학기술원 전자정보연구소

1994년~1999년 현대전자 정보통신연구소 수석 연구원

1999년~현재 세종대학교 정보통신공학과 부교수

<주관심분야 : Data compression, Image coding & transmission, Information theory, Digital TV, MPEG>