

변환영역에서의 에지활동도에 기반한 H.264/AVC 고속 인트라모드 선택 방법

정희원 서재성*, 김동형*

Fast Intra Mode Selection Algorithm Based on Edge Activity in Transform Domain for H.264/AVC Video

Jaesung Seo*, Donghyung Kim** *Regular Members*

요약

H.264/AVC 부호화 표준은 부호화 효율을 높이기 위해 1/4 화소 단위의 움직임 추정, 다중 참조 프레임, 인트라 예측, 루프 필터, 다양한 블록 크기의 지원 등과 같은 새로운 부호화 도구들을 사용한다. 이를 통해 이전의 비디오 부호화 표준들에 비해 율-왜곡(率-歪曲) 관점에서 높은 성능을 보이지만 그로 인해 부호기의 복잡도는 크게 증가하였다. 본 논문은 부호기 복잡도의 증가를 초래하는 주요 부호화 도구들 중 인트라 매크로블록 모드 선택의 복잡도 감소에 주안(主眼)점을 두며, 이에 대한 복잡도 감소 알고리즘을 제시한다.

고속 인트라 모드 선택을 위한 제안하는 방법은 변환 영역에서 에지 활동도를 산출하고, 이를 이용하여 intra4x4 및 색차블록에 대한 예측모드를 고속으로 선택함으로써 H.264/AVC 인트라프레임에 대한 고속 부호화를 수행한다. 실험 결과 제안하는 알고리즘은 참조소프트웨어와 비교하여 QCIF 및 CIF 영상에 대해서 각각 59.76% 및 65.03%의 속도향상을 가져오는 반면 비트율 증가 및 PSNR 감소는 매우 미미한 것으로 나타났다.

Key Words : H.264/AVC video; edge activity; prediction mode selection; encoder complexity

ABSTRACT

For the improvement of coding efficiency, the H.264/AVC standard uses new coding tools such as 1/4-pel-accurate motion estimation, multiple references, intra prediction, loop filter, variable block size etc. Using these coding tools, H.264/AVC has achieved significant improvements from rate-distortion point of view compared to existing standards. However, the encoder complexity was greatly increased due to these coding tools. We focus on the complexity reduction method of intra macroblock mode selection.

The proposed algorithm for fast intra mode selection calculates the edge activity in transform domain, and performs fast encoding of intra frame in H.264/AVC through the fast prediction mode selection of intra4x4 and chrominance blocks. Simulation results show that the proposed method saves about 59.76% for QCIF sequences and 65.03% for CIF sequences of total encoding time, while bitrate increase and PSNR decrease are very small.

I. 서론

H.264/AVC 표준은 ITU-T의 VCEG(Video Coding Experts Group)과 ISO/IEC의 MPEG(Moving Picture

Experts Group)의 공동 작업으로 제정되었다¹⁾. H.264/AVC 비디오 부호화 방식은 이전의 비디오 부호화 표준들(MPEG2, MPEG4 Part2, H.263)에는 없던 새로운 부호화 도구들이 추가되었으며, 이러한 도구

* 한라대학교 정보통신방송공학부(jsseo@halla.ac.kr, dhkim@halla.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-03-111, 접수일자 : 2009년 3월 15일, 최종논문접수일자 : 2009년 07월 28일

들은 H.264/AVC 부호화 표준이 이전의 비디오 부호화 표준과 비교하여 보다 높은 압축효율을 갖게 하였으며, 이러한 도구들에는 정수 변환 및 양자화, 엔트로피부호화, 인트라 예측부호화, 루프필터, 다중 참조영상 및 1/4 화소단위의 움직임 추정 기술 등이 포함된다²⁾.

다섯 장의 참조 프레임의 사용과 32 화소의 움직임 추정 영역을 사용하여 메인 프로파일로 부호화한 경우, H.264/AVC 표준은 MPEG-2와 비교하여 약 48~78%까지의 비트율 감소효과가 있다고 알려져 있다³⁾. 하지만 비트율 감소 효과와 더불어 부호화의 복잡도는 상당히 높아졌다. 특히 공간영역에서의 예측을 사용하는 인트라모드의 결정과정은 부호기 복잡도 증가의 주된 요인 중 하나이다.

실시간 H.264/AVC 부호화의 실현을 위해, 부호기의 복잡도 감소에 대한 연구는 2003년 H.264/AVC 부호화 표준이 제정된 이후 다각적으로 연구되어 왔다. Feng 등은 고속 인트라매크로블록 모드를 선택하기 위해서 1차 미분연산자인 소벨(Sobel) 연산자를 이용하여 각 방향에 대한 히스토그램을 산출하고 이를 이용하여 intra4x4모드에서 사용가능한 예측모드를 제한함으로써 고속화를 실현하였다⁴⁾. 또한 Park의 방법은 인트라모드들 중 상대적으로 적은 복잡도를 가지는 intra16x16모드 정보를 활용하여 intra4x4에서 예측모드 선택에 활용하였으며, 이는 색차블록에 대한 예측모드의 선택과정에서도 활용된다⁵⁾. 최근에 소개된 방법인 Jin의 방법은 인트라예측모드에서 나타나는 주파수 특성의 제약조건들을 이용하여 주파수 에러비용(frequency error cost)이라는 새로운 비용값을 정의하고 이에 따라 인트라예측모드를 결정하는 방법을 사용하였다⁶⁾. 하지만 상기의 방법들은 인트라예측에 사용되는 참조화소의 특성 즉, 양자화 계수에 따른 참조화소의 변화를 고려하지 않고 있어 블록내의 에지의 방향이 정확히 예측된 경우에도 비트율 증가 등과 같은 결과를 초래할 수 있다는 단점을 가진다.

본 논문에서는 인트라매크로블록 모드의 선택과정에서 변환영역에서의 에지활동도(edge activity)를 산출하고 이를 이용하여 휘도블록 중 intra4x4의 예측모드와 색차블록에서의 예측모드를 고속으로 선택함으로써 전체 인트라프레임에 대한 고속 부호화를 수행하는 알고리즘을 제안한다. 논문의 구성은 2장에서 현재 H.264/AVC 참조소프트웨어인 JVT model (이하 JM)에서의 인트라매크로블록 모드선택 방법을 소개하고 3장에서 제안하는 알고리즘을 기술한

다. 4장에서는 제안하는 알고리즘에 대한 성능평가를 하고, 마지막 절에서 결론을 맺는다.

II. H.264/AVC에서 인트라 매크로블록 모드의 선택

H.264/AVC 부호화 과정에서 인트라 매크로블록의 휘도블록은 intra16x16 또는 intra4x4 모드로 선택될 수 있으며, FRExt(Fidelity Range Extension)이 사용되는 경우에는 intra8x8이 추가적으로 사용 가능하다. H.264/AVC 표준에서는 intra16x16에서 4개의 예측모드를, intra8x8 및 intra4x4 모드에서는 9개의 예측모드를 사용하고 있으며, 율-왜곡 최적화(RDO: Rate-Distortion Optimization)기법이 사용되는 경우 모든 선택 가능한 조합 중에서 율-왜곡 비용함수(cost function) 측면에서 최적의 인트라모드와 해당 인트라모드에서의 최적의 예측모드를 사용하여 부호화를 수행한다. 색차블록 또한 intra16x16에서 사용되는 예측모드와 동일한 방식으로 예측을 수행하며(단, 예측모드의 순서가 서로 상이(相異)함), 역시 각 모드에 대한 율-왜곡 비용함수를 사용하여 최적의 예측모드를 결정한다.

2.1 인트라모드와 예측모드

앞서 언급한 바와 같이 인트라 매크로블록을 부호화하기 위해서 H.264/AVC는 FRExt을 사용하는 경우 intra16x16, intra8x8, 그리고 intra4x4모드를 사용하여 부호화를 수행한다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 intra16x16 모드는 16x16 블록크기 즉, 매크로블록단위로 예측을 수행하며, intra8x8은 8x8 블록크기로, 그리고 intra4x4 모드는 4x4 블록 크기 즉, 하나의 매크로블록을 16개의 블록단위로 나누어 예측을 수행한다.

또한 색차 블록의 경우 컬러형식(color format)에 따라 서로 다른 색차블록의 크기를 가지는데, 4:2:0의 컬러형식을 사용하는 경우 16x16 단위의 휘도성분마다 8x8크기의 Cb 블록과 8x8크기의 Cr 블록을

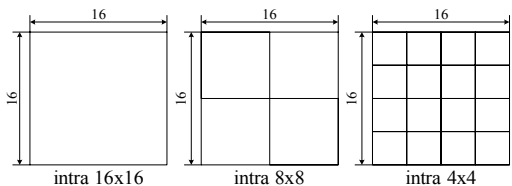


그림 1. 인트라매크로블록을 부호화하기 위한 intra16x16, intra8x8 및 intra4x4 모드의 예측블록단위

가지며, 두 색차블록 모두 8x8 블록단위로 예측을 수행한다.

취도 및 색차블록에서 사용되는 인트라모드는 서로 다른 예측모드를 사용하여 부호화 블록에 대한 예측을 수행하는데 그림 2는 취도블록의 부호화에 사용되는 intra16x16 및 intra4x4 모드에 대한 예측모드를 나타내고 있으며, intra8x8은 intra4x4와 동일한 예측모드를 사용한다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 intra16x16 모드는 4가지의 예측모드를 사용하고, intra8x8 및 intra4x4 모드는 9개의 예측모드를 사용한다.

H.264/AVC에서 사용되는 모든 예측번호의 순서는 통계적으로 높은 확률을 가지는 예측모드에 빠른 번호를 부여하며, 이는 이후 모드정보를 부호화하는 과정에서 모드정보에 대한 엔트로피를 최소화하기 위함이다. 색차블록의 경우 그림 2(a)의 intra 16x16 모드에서 사용되는 예측모드가 동일하게 사용되며, 모드의 순서만 서로 상이(색차블록의 경우 DC, Horizontal, Vertical, Plane)한데 이는 앞서 언급한바와 같이 취도블록과 색차블록의 예측모드에 대한 통계적 확률이 서로 다르기 때문이다.

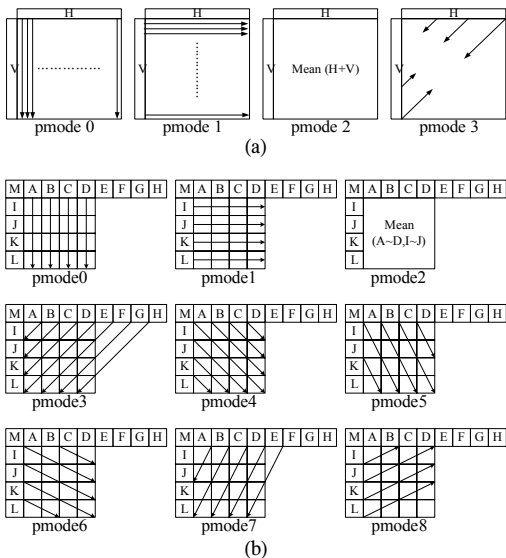


그림 2. 취도블록에 대한 인트라모드의 예측모드 (a) intra 16x16모드에서의 4개의 예측모드 (b) intra4x4에서 사용되는 9개의 예측모드

2.2 JM에서의 인트라모드 선택

JM은 ITU-T에서 권고하는 H.264/AVC 참조 소프트웨어를 가리키는 것으로 RDO 기법이 사용되는 경우 취도 및 색차블록에 대한 모든 가능한 예측모드 조합들의 윌-왜곡 비용값을 산출하여 최적의 인

트라모드와 해당 모드에서의 최적의 예측모드를 선정한다. 이때 윌-왜곡 비용함수는 식 (1)과 같으며, 여기에서 *Distortion* 및 *Rate*는 각각 실제 영상과 복원영상의 차이에 대한 오차자승합(SSD: Sum of Squared Difference)의 값과 부호화 블록의 예측오차에 대한 변환, 양자화, 엔트로피부호화를 거쳐 나오는 최종적인 비트량을 의미하고, λ 는 라그랑지안 계수(Lagrangian multiplier)를 나타낸다.

$$RDcost = Distortion + \lambda \cdot Rate \quad (1)$$

그림 3은 JM에서 인트라모드를 선택하는 과정을 도시한 것으로 여기에서 *Chromapmode(i)*, *Intra16x16pmode(i)*, 그리고 *Intra4x4pmode(i)*는 각각 색차블록 모드, *intra16x16* 그리고 *intra4x4*에서 사용되는 예측모드를 나타내며, 변수 *i*는 예측모드의 번호를 말한다. 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 하나의 인트라 매크로블록에 대한 최적의 인트라모드 결정을 위해서는 색차블록에 대한 4가지의 예측모드에 대해서 *intra16x16* 및 *intra4x4* 취도신호의 4가지 및 9가지의 모든 조합 가능한 예측모드에 대한 윌-왜곡 비용함수 계산과정이 필요하다. 식 (2)는 하나의 인트라매크로블록을 부호화하는데 사용되는 윌-왜곡 비용함수의 계산회수를 산정하는 수식으로 여기에서 *num(·)*함수는 인자에 포함된 원소의 개수를 나타낸다.

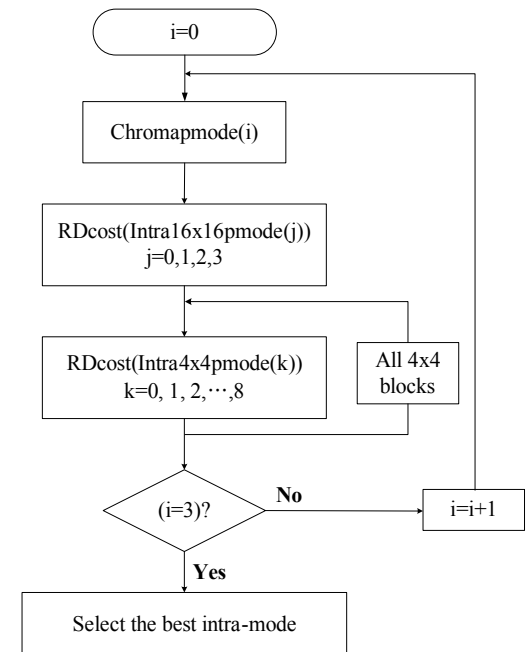


그림 3. JM에서의 인트라모드 선택과정

The num. of total RDcost computation per macroblock =
 num(Chromapmode) · num(luma prediction combination)

where,

$$\text{num(luma prediction combination)} = \text{Intra}16 \times 16 \text{pmode} + \text{num}(\text{Intra}4 \times 4 \text{pmode}) \cdot 16 \quad (2)$$

식 (2)에서 볼 수 있는 바와 같이 하나의 매크로 블록에 대해서 최적의 인트라모드 및 해당모드에서의 최적의 예측모드를 선택하기 위해서는 $4 \times (1 \times 4 + 16 \times 9) = 592$ 회의 율-왜곡 비용 함수 계산과정이 필요하다.

III. 제안하는 알고리즘

제안하는 알고리즘은 변환영역에서의 에지활동도를 산정하고 이를 이용하여 휘도블록 중 **intra4x4** 예측모드 및 색차블록의 예측모드를 선택하는데 사용되는 연산량을 줄임으로써 부호화 속도를 향상시킨다. 제안하는 알고리즘은 휘도블록 중 **intra16x16** 블록에 대한 고속 예측모드 선택과정을 포함하지 않으며, 이는 식 (2)에서 볼 수 있는 바와 같이 **intra16x16**의 예측모드 선택과정이 율-왜곡 비용 함수의 전체 연산회수에서 차지하는 비중이 매우 적기 때문이다.

3.1 intra4x4 휘도블록에서의 고속 예측 모드 선택방법

휘도 블록 중 **intra4x4** 모드의 예측모드 결정과정에 사용되는 제안하는 고속 **intra4x4** 예측모드 선택 기법은 부호화 대상 블록에서의 예측오차에 대한 오차자승합과 에지활동도를 산정하고 이 결과에 따라 예측모드의 후보군을 선택하며, 이후 선택된 후보예측모드에만 한정하여 율-왜곡비용함수를 계산함으로써 부호화를 수행한다.

3.1.1 intra4x4 블록의 오차자승합

오차자승합은 예측오차의 제곱에 합을 의미하는 것으로 **intra4x4** 모드의 9가지 예측방법은 참조화소의 값이 동일하지 않은 경우 서로 다른 예측블록을 생성하며, 이는 서로 다른 예측오차가 발생함을 의미한다. 예측오차에 대한 오차자승합은 율-왜곡비용 함수의 왜곡의 값과 상관성을 가지고 있기 때문에, 예측모드의 후보선택과정에 효과적으로 사용될 수 있다. 식 (3)은 **intra4x4**의 9가지 예측모드에 대한 오차자승합의 산출식을 나타낸다.

$$SSD_{mode} = \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 (P_{x,y}^y - \bar{P}_{x,y}^y)^2 \quad mode = 0, 1, \dots, 8 \quad (3)$$

여기에서 x, y 는 부호화블록에 대한 상대좌표값을 의미하고, $P_{x,y}^y$ 와 $\bar{P}_{x,y}^y$ 는 각각 해당 휘도블록에 대한 원영상의 화소값과 예측블록의 화소값을 나타내며, SSD_{mode} 는 각 예측모드에서의 오차자승합을 나타낸다.

3.1.2 intra4x4 블록의 에지 활동도

에지 활동도는 부호화 대상블록 내에 포함된 에지성분의 활동도를 말하는 것으로 제안하는 방법에서는 부호화 대상블록에 대한 Walsh-Hadamard 변환(transform) 후 변환영역에서 에지활동도를 산정하였으며, 식 (4)는 부호화 블록에 대한 Walsh-Hadamard 변환식을 나타낸다. 여기에서 B_0 및 B_T 는 각각 부호화 대상블록과 변환된 블록을 나타내고, W_4 는 4×4 크기의 Walsh-Hadamard 커널(kernel)을 나타낸다. Walsh-Hadamard의 커널에서 볼 수 있는 바와 같이 변환과정에 사용되는 모든 연산은 가산기만으로 가능하다.

$$B_T = W_4 \cdot B_0 \cdot W_4^T \quad (4)$$

where

$$B_T = \begin{matrix} \text{Transformed Block} \\ (4 \times 4 \text{ size}) \end{matrix} \quad B_0 = \begin{matrix} \text{Coding Block} \\ (4 \times 4 \text{ size}) \end{matrix} \quad W_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

에지활동도는 변환영역의 계수의 위치에 따라 HA(Horizontal Activity), DA(Diagonal Activity), 그리고 VA(Vertical Activity)로 나누어 고려하며, 이는 각각 가로방향, 대각선방향, 그리고 세로방향의 에지활동도를 대변한다. 만일 변환된 4×4 블록(식 (4)의 B_T)이 그림 4와 같을 때 HA의 값은 DC 성분을 제외한 좌측에 위치한 세 개의 변환계수(transform coefficient)를 사용하여 산정하며, DA와 VA는 각각 대각 및 상측에 위치한 세 개의 변환계수를 이용하여 산정한다.

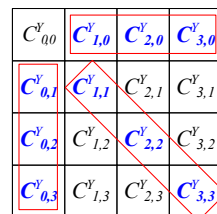


그림 4. **intra4x4** 블록에서 각 방향의 에지활동도를 산정하기 위해 사용되는 변환계수의 위치

식 (5)는 각각 세 개의 변환계수를 이용한 HA, DA, VA의 산정식을 나타내는 것으로, 여기서 $C_{x,y}^y$ 는 그림 4에 나타나있는 것처럼 상대좌표 (x, y) 에서의 변환계수를 말한다.

$$\begin{aligned} HA &= C_{0,1}^y + |C_{0,2}^y| + |C_{0,3}^y| \\ DA &= C_{1,1}^y + |C_{2,2}^y| + |C_{3,3}^y| \\ VA &= C_{1,0}^y + |C_{2,0}^y| + |C_{3,0}^y| \end{aligned} \quad (5)$$

3.1.3 intra4x4 예측모드의 선택

오차자승합과 에지활동도를 이용하여 제안하는 알고리즘은 먼저 식 (6)과 같이 예측모드 2 즉, 평균예측을 제외한 나머지 8개 예측모드에 대한 오차자승합 중 가장 적은 오차자승합을 가지는 모드를 MSSD(Minimum SSD)로 선택한다.

$$MSSD = \min_{mode=\{0,1,3,\dots,8\}} \arg SSD_{mode} \quad (6)$$

이후 에지활동도 값에 따라 해당 블록에 대한 예측모드후보군(prediction mode candidates)을 결정하는데 먼저 에지활동도의 총합(TotalELUMA)을 식 (7)과 같이 구하고, 이 값이 일정 임계값(threshold)보다 작은 경우 부호화 대상 블록내의 에지성분이 미비한 것으로 판단하며, 이 경우 intra4x4의 예측모드로서 예측모드2, MSSD 모드, 그리고 주변블록으로부터의 예측된 MPM(Most Probable Mode)만을 고려한다.

$$TotalE_{LUMA} = HA + DA + VA \quad (7)$$

반면, 활동도의 합이 임계값보다 클 경우에는 계산된 MSSD 모드, MPM 및 각 방향성분에 해당하는 에지 활동도 값에 따라 서로 다른 예측모드후보군을 선택하게 된다. 그림 5는 이러한 과정을 나타내고 있다.

활동도의 총합이 임계값보다 큰 경우 즉, 그림 5에 포함된 조건이 참이 되는 경우 제안하는 알고리

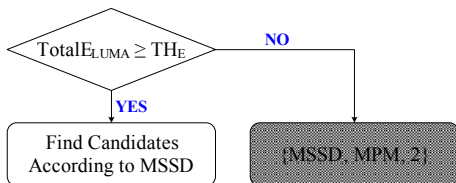


그림 5. 전체 활동도와 임계값 비교를 통한 인트라 예측모드 후보군 선정

즘은 이미 계산된 MSSD의 값 및 에지활동도의 값에 따라 서로 다른 예측모드 후보를 선정한다. 그림 6은 MSSD 및 에지활동도에 따라 후보모드를 선택하는 과정을 나타내고 있다. MSSD가 예측모드 0의 값을 가지는 경우에는 수평에지활동도 HA와 대각 에지활동도 DA의 합을 수직에지활동도 VA로 나눈 값을 임계값 TH_0 로 선정하고 그 임계값이 0.5보다 작은 경우 VA의 에지성분이 충분히 크다고 판단하여 {MSSD, MPM, 2}만을 예측모드로서 고려한다. 만일 MSSD모드와 MPM이 모두 예측모드2의 값을 가진다면 1개의 예측모드만을 고려하게 되며, 모두 상이할 경우 3개의 예측모드가 사용된다. 반면 TH_0 이 0.5보다 크고 2.0과 같거나 작은 값을 가지는 경우에는 수평이외에 대각방향의 에지성분이 어느 정도 포함된 것으로 간주하여 수직방향으로의 대각성분인 예측모드 5와 예측모드 7을 추가적으로 고려한다. 따라서 이 경우 예측모드후보군은 {MSSD, MPM, 2, 5, 7}이 된다. 마지막으로 TH_0 가 2.0보다 큰 경우는 수직방향의 성분보다는 대각 및 수평성분에 에지활동도가 큰 것으로 간주하여 예측모드후보군은 대각 및 수평대각성분을 고려하여 {MSSD, MPM, 2, 3, 4, 6, 8}로 선택한다. 나머지 MSSD 값 및 각 방향의 에지활동도에 따른 예측모드 후보군 역시 이와 유사한 방법을 적용한 것이며, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 제안하는 알고리즘은 최소 1개의 예측모드(전체 예측모드 9개와 비교하여 11%에 해당)부터 최대 7개의 예측모드(전체 예측모드 9개와 비교하여 78%에 해당) 후보를 사용한다.

3.2 색차블록의 예측 모드 선택방법

색차블록에 대한 고속 예측모드 선택방법은 앞서 기술한 intra4x4에서의 고속 예측모드 선택방법과 두 가지 면에서 차이점을 가진는데, 첫 번째는 색차블록의 경우 부호화 대상이 되는 원영상의 색차블록에 대한 에지 활동도만을 사용하여 예측모드후보군을 결정한다. 이는 YCbCr 컬러형식으로 변환되는 과정에서 이미 색차블록은 색정보의 차이값을 저장하고 있기 때문에 원영상의 색차블록과 예측색차블록의 차이값에 대한 오차자승합은 윤-왜곡 비용값과 다소 낮은 상관성을 가지기 때문이다. 두 번째 차이점은 에지의 활동도를 산정함에 있어 Cb 및 Cr 두 개의 색차블록을 함께 고려하고 있다는 점이다.

3.2.1 색차블록의 에지 활동도

색차블록 역시 부호화 대상블록에 대한 Walsh-

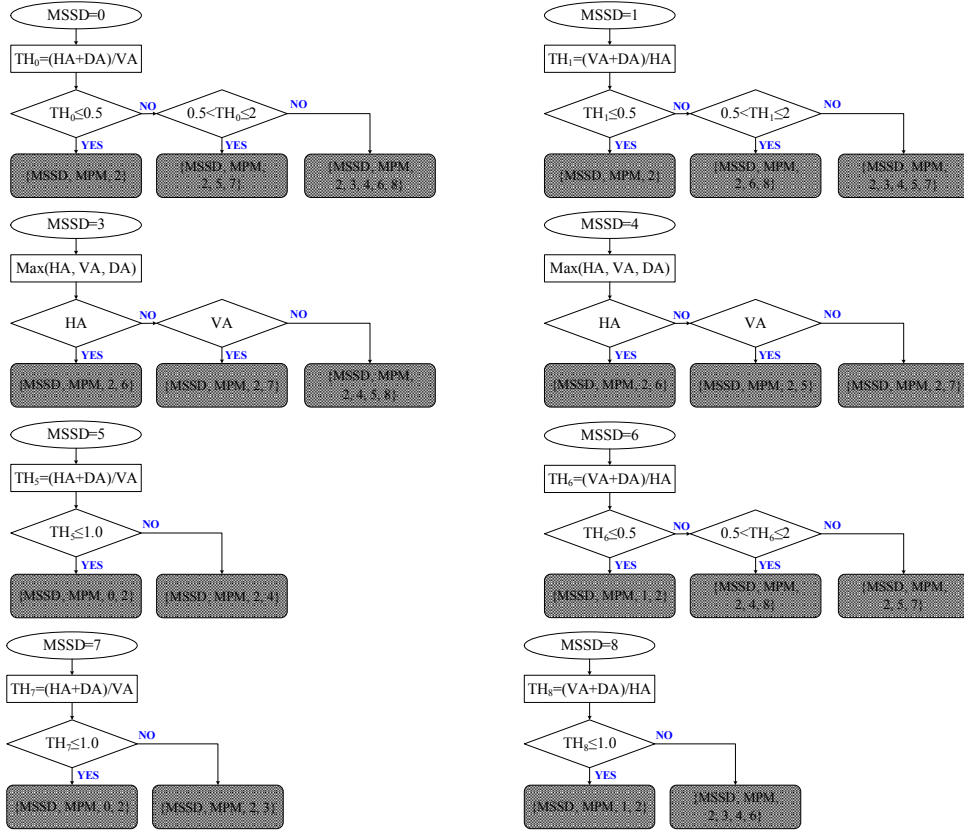


그림 6. MSSD 및 방향에지활동도(directional edge activity)에 따른 intra4x4 예측모드후보군

Hadamard 변환영역에서 에지활동도를 산정하며, 식 (8)은 색차 블록에 대한 Walsh-Hadamard 변환식을 나타낸다. 이때 변환은 Cb 색차블록과 Cr 색차블록에 독립적으로 적용되며, 각 블록의 크기는 8x8 즉, 4:2:0 컬러 형식인 것으로 고려하였다. 여기에서 B_T 는 Cb 및 Cr에 대해서 각각 산정되며, W_8 은 8x8 크기의 Walsh-Hadamard 커널을 나타낸다.

$$B_T = W_8 \cdot B_o \cdot W_8^T \quad (8)$$

where

$$B_T = \begin{matrix} \text{Transformed Block} \\ (8 \times 8 \text{ size}) \end{matrix} \quad B_o = \begin{matrix} \text{Coding Block} \\ (8 \times 8 \text{ size}) \end{matrix} \quad W_8 = \begin{bmatrix} W_4 & W_4 \\ W_4 & -W_4 \end{bmatrix}$$

각 색차 블록에 대한 변환영역에서의 에지활동도는 색차성분 및 변환계수의 위치에 따라 HA^{Cb} , DA^{Cb} , VA^{Cb} 및 HA^{Cr} , DA^{Cr} , VA^{Cr} 나누어 고려하며, 이는 각각 Cb 및 Cr 색차블록에서의 가로방향, 대각선방향, 그리고 세로방향의 에지활동도를 대변하는 것으로 색차블록의 변환영역(B_T)에서 에지활동도를 산정하기 위해 사용되는 변환계수의 위치는 그림 7과 같다.

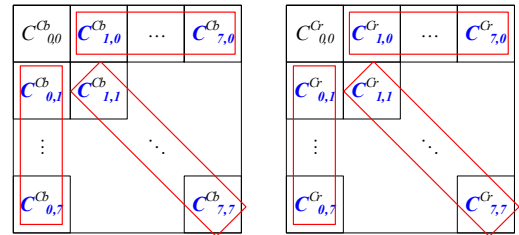


그림 7. Cb (좌측) 및 Cr (우측) 색차블록에서 각 방향으로의 에지활동도를 산정하기위해 사용되는 변환계수의 위치

이들 변환 계수를 이용한 Cb 및 Cr 색차블록에서의 에지활동도는 각각 식 (9-1) 및 식 (9-2)와 같으며, 여기서, $C_{x,y}^{Cb}$ 및 $C_{x,y}^{Cr}$ 은 그림 7에서 보는 바와 같이 8x8 크기를 갖는 Cb 및 Cr 색차블록내 상대 좌표 (x, y)에서의 변환계수를 말한다.

$$\begin{aligned} HA^{Cb} &= |C_{0,1}^{Cb}| + |C_{0,2}^{Cb}| + \dots + |C_{0,7}^{Cb}| \\ DA^{Cb} &= |C_{1,1}^{Cb}| + |C_{2,2}^{Cb}| + \dots + |C_{7,7}^{Cb}| \\ VA^{Cb} &= |C_{1,0}^{Cb}| + |C_{2,0}^{Cb}| + \dots + |C_{7,0}^{Cb}| \end{aligned} \quad (9-1)$$

$$\begin{aligned}
 HA^{Cr} &= C_{0,1}^{Cr} + |C_{0,2}^{Cr}| + \dots + |C_{0,7}^{Cr}| \\
 DA^{Cr} &= C_{1,1}^{Cr} + |C_{2,2}^{Cr}| + \dots + |C_{7,7}^{Cr}| \\
 VA^{Cr} &= C_{1,0}^{Cr} + |C_{2,0}^{Cr}| + \dots + |C_{7,0}^{Cr}|
 \end{aligned}
 \tag{9-2}$$

3.2.2 색차블록에 대한 예측모드의 선택

색차블록에 대한 에지활동도가 산정되면 제안하는 알고리즘은 이를 이용하여 선택가능한 예측모드 후보군을 선택하는데, 먼저 Cb 및 Cr 색차 블록에 대한 에지활동도 총합의 평균(*TotalE_{CHROMA}*)을 식 (10)과 같이 산정한다.

$$\begin{aligned}
 TotalE_{CHROMA} &= \\
 (HA^{Cb} + DA^{Cb} + VA^{Cb} + HA^{Cr} + DA^{Cr} + VA^{Cr} + 1) &\gg 1
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

만일 식 (10)에서 산정된 두 개의 색차블록에 대한 에지활동도 총합의 평균이 일정 임계값보다 작은 경우 부호화 대상 블록내의 에지성분이 미비한 것으로 판단하며, 이 경우 색차블록에 대한 예측모드로서 예측모드 0(DC)만을 사용하여 부호화를 수행한다. 반면, 활동도의 합이 임계값보다 큰 경우에는 각 방향을 대변하는 에지활동도 크기의 대소 관계에 따라 서로 다른 예측모드후보군을 선택하게 되는데, 식 (11)은 각 방향으로의 에지활동도 중 가장 큰 값을 가지는 방향을 산정하는 수식을 나타낸다.

$$E_{max} = \max_{i \in \{HA, DA, VA\}} \arg (i^{Cb+Cr})
 \tag{11}$$

where

$$HA^{Cb+Cr} = HA^{Cb} + HA^{Cr}, DA^{Cb+Cr} = DA^{Cb} + DA^{Cr}, VA^{Cb+Cr} = VA^{Cb} + VA^{Cr}$$

식 (11)에서 만일 $E_{max}=HA^{Cb+Cr}$ 가 선택된 경우에는 두 개의 색차블록에 평균적으로 가로 방향의 에지성분이 있는 것으로 판단하며, 이 경우 색차블록에 대한 예측모드로서 {0, 1}을 고려한다. 한편 $E_{max}=VA^{Cb+Cr}$ 가 선택된 경우에는 두 개의 색차블록에 평균적으로 세로 방향의 에지성분이 있는 것으로 판단하여 색차블록에 대한 예측모드로서 {0, 2}만을 고려한다. 마지막으로 만일 $E_{max}=DA^{Cb+Cr}$ 가 선택되는 경우에는 해당 색차블록내부에 대각선 에지가 주요한 것으로 판단하여 예측모드로서 {0, 3}을 고려한다. 따라서 제안하는 방법은 색차블록에서 대해서 1개 또는 2개의 예측모드만을 고려하여 색차블록에 대한 부호화를 수행한다. 그림 8은 이상의 과정을 나타낸다.

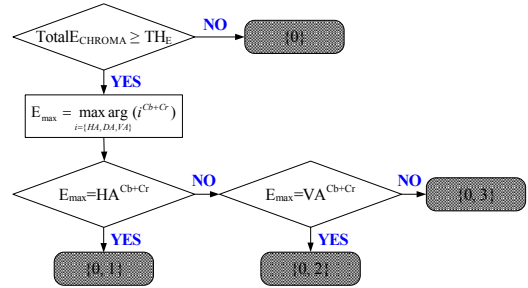


그림 8. 방향에지활동도(directional edge activity)에 따른 색차블록에서의 예측모드후보군

IV. 실험 및 결과

알고리즘의 성능평가를 위해 제안한 방법을 JM12.4^[9] 상에 구현하였으며, 휘도블록 중 intra4x4 모드에서의 고속 예측모드 선택방법과 색차블록에서의 고속 예측모드 선택방법을 독립적으로 적용한 경우와 이를 모두 적용한 경우의 실험결과를 함께 기술하였다. 실험에 사용된 실험환경은 다음과 같다.

▶ 실험 환경

- CPU : 인텔 펜티엄 4 3.2 GHz
- 메모리 : 1,024 MByte
- 운영체제 : Windows XP Pro.
- 적용 코덱 : JM 12.4
- 부호화 구조 : I-frame Only
- 양자화 파라미터 : 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44
- 율-왜곡 최적화 : 사용

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능 평가는 16개의 QCIF(176x144) 영상과 17개의 CIF(352x288) 영상 즉 33개의 영상을 대상으로 실험하였으며, 이중 8개의 QCIF 크기 영상 (Carphone (300 frames), Grandma (300 frames), Highway (300 frames), Miss America (150 frames), News (300 frames), Salesman (300 frames), Silent (300 frames), Suzie (150 frames)) 및 8개의 CIF 크기 영상(Akiyo (300 frames), Bus (150 frames), Coastguard (300 frames), Container (300 frames), Football (90 frames), Foreman (300 frames), Paris (300 frames), Table (300 frames))에 대한 실험결과를 기술하였다. 영상의 선택은 CIF의 경우 제안하는 알고리즘의 보다 객관적인 비교를 위해 Jin[6]의 논문에서 사용된 영상을 모두 포함하도록 선택하였으며, QCIF 영상은 CIF와 겹치지 않은 영상으로 선정하여 비교 평가하였다. 사용된 양자화 계수 역시 Jin의 논문과 동일

하게 20부터 44까지 4의 간격으로 적용하였으며, 비교를 위해 모든 고려한 양자화 계수에서의 부호화 성능에 대한 평균값을 기술하였다.

실험결과에 포함된 객관적 화질은 휘도블록 및 색차블록에 대한 객관적 화질을 함께 고려하기 위해서 Jin의 방법과 동일하게 휘도 및 색차블록의 객관적 화질에 대한 가중평균(weighted average)을 취하여 산정하였으며, 이는 식 (12)과 같다. ([6]의 식 (37) 및 (38)과 동일)

$$AvgPSNR = \frac{4 \times PSNR_Y + PSNR_{Cb} + PSNR_{Cr}}{6} \quad (12)$$

또한 실험결과에 포함되어 있는 ΔBitrate, ΔAvgPSNR, ΔEnc.Time은 각각 JM을 기준으로 하였을 때의 비트증가율, 평균 PSNR 증가율, 그리고 부호화 시간의 증가율을 나타내며, 이에 대한 수식은 식 (13)에서 볼 수 있는 바와 같이 JM을 기준으로 산정하였다. 각 측정치는 모두 증가율을 나타내고 있기 때문에 해당 값에 대해서 음수는 그 값이 감소가 되었음을 의미한다. 식 (13)에 포함되어 있는 첨자 JM은 JM12.4의 실험결과를 나타내며 첨자 METHOD는 제안하는 알고리즘을 포함하여 실험에 사용된 고속 부호화 방법의 실험결과를 나타낸다.

$$\Delta Bitrate = \frac{Bitrate_{METHOD} - Bitrate_{JM}}{Bitrate_{JM}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\Delta AvgPSNR = AvgPSNR_{METHOD} - AvgPSNR_{JM} \quad (dB) \quad (13)$$

$$\Delta Enc.Time = \frac{Enc.Time_{METHOD} - Enc.Time_{JM}}{Enc.Time_{JM}} \times 100 \quad (\%)$$

표 1 및 2는 각각 QCIF 및 CIF 영상에 대해서 제안한 방법을 휘도블록 또는 색차블록에만 독립적으로 적용한 경우에 JM을 기준으로 한 성능을 나타내고 있다. 표 1의 결과에서 보듯이 QCIF 영상에 대해서 제안하는 방법을 intra4x4에 대해서만 적용한 경우(표 1의 intra4x4), JM과 비교하여 비트율은 0.20% 감소하였고 평균 PSNR은 0.05 dB 감소하였으며, 전체 부호화 시간은 32.20% 단축할 수 있었다. 한편 제안하는 방법을 색차블록에만 적용한 경우(표 1의 chromaintra), JM과 비교하여 비트율은 0.40% 증가하였고 평균 PSNR은 0.01 dB 증가하였으며, 전체 부호화 시간은 40.79% 단축할 수 있었다. 표 2에 나타나 있는 CIF의 결과에서도 QCIF와 유사한 성능을 보이며, 제안하는 방법을 intra4x4에

표 1. QCIF 테스트 영상에 대해서 제안하는 방법을 intra4x4에만 적용한 경우(intra4x4)와 색차블록에만 적용한 경우(chromaintra)에 대한 독립적인 성능평가

Sequences (QCIF)	intra4x4 (3장 1절)			chromaintra(3장 2절)		
	M1*	M2*	M3*	M1	M2	M3
Carphone	-0.04	-0.04	-33.24	0.33	0.01	-42.54
Grandma	-0.24	-0.05	-30.78	0.47	0.02	-43.31
Highway	-0.47	-0.04	-33.22	0.55	0.00	-37.86
Miss America	-0.28	-0.05	-31.91	0.64	0.01	-38.37
News	0.04	-0.05	-33.38	0.31	0.00	-43.00
Salesman	-0.13	-0.06	-31.45	0.21	0.01	-37.94
Silent	-0.14	-0.05	-30.93	0.22	0.01	-37.87
Suzie	-0.34	-0.06	-32.71	0.46	0.00	-45.42
Average	-0.20	-0.05	-32.20	0.40	0.01	-40.79

*M1: ΔBitrate, M2: ΔAvgPSNR, M3: ΔEnc.Time

표 2. CIF 테스트 영상에 대해서 제안하는 방법을 intra4x4에만 적용한 경우(intra4x4)와 색차블록에만 적용한 경우(chromaintra)에 대한 독립적인 성능평가

Sequences (CIF)	intra4x4 (3장 1절)			chromaintra(3장 2절)		
	M1*	M2*	M3*	M1	M2	M3
Akiyo	-0.33	-0.04	-34.97	0.83	-0.02	-51.26
Bus	-0.09	-0.06	-33.75	0.20	0.00	-45.03
Coastguard	-0.35	-0.06	-34.51	0.17	0.00	-52.96
Container	-0.26	-0.05	-35.20	0.37	0.00	-51.72
Football	-0.45	-0.05	-34.82	0.37	0.00	-45.16
Foreman	-0.25	-0.05	-33.78	0.33	0.00	-46.50
Paris	-0.02	-0.05	-35.42	0.30	0.01	-43.09
Table	-0.25	-0.05	-34.02	0.24	0.00	-47.24
Average	-0.25	-0.05	-34.56	0.35	0.00	-47.87

*M1: ΔBitrate, M2: ΔAvgPSNR, M3: ΔEnc.Time

만 적용한 경우 비트율은 0.25% 감소하였고, PSNR은 0.05 dB 감소하였으며, 전체부호화 시간은 34.56% 단축하였다. 또한 제안하는 방법을 CIF 영상의 색차블록에만 적용한 경우에는 비트율은 0.35% 증가하였고, PSNR은 평균적으로 변화가 없었으며, 전체 부호화 시간은 47.87% 단축시킬 수 있었다.

표 3 및 4는 휘도블록 중 intra4x4 및 색차블록에 대한 고속 예측모드 선택기법을 함께 적용한 제안한 방법과 Jin의 방법의 비교성능을 나타내고 있다. 표의 결과를 살펴보면, 먼저 QCIF의 경우 Jin의 방법은 1.63%의 비트율 증가와 0.03 dB의 PSNR 감소, 그리고 63.19%의 부호화 속도향상이 있었으며, 제안하는 방법은 0.21%의 비트율 증가와 0.05 dB의 PSNR 감소, 그리고 59.76%의 부호화 속도향상이 있었다. 한편 CIF의 경우에는 Jin의 방법을 사용한 경우 1.82%의 비트율 증가와 0.03 dB의 PSNR 감소, 그리고 64.33%의 부호화 속도향상이 있었으며, 제안하는 방법은 0.10%의 비트율 증가와 0.05 dB의 PSNR 감소, 그리고 65.03%의 부호화 속도향상이 있었다.

표 3. QCIF 테스트 영상에 대해서 Jin의 방법과 intra4x4 및 색차블록에 함께 적용한 제안하는 방법에 대한 성능비교

Sequences (QCIF)	Jin's			Proposed		
	M1*	M2*	M3*	M1	M2	M3
Carphone	1.21	-0.02	-63.09	0.27	-0.04	-61.59
Grandma	1.30	-0.02	-62.92	0.21	-0.04	-60.66
Highway	1.46	-0.02	-59.62	0.12	-0.04	-58.02
Miss America	3.69	-0.01	-63.83	0.39	-0.04	-57.71
News	1.58	-0.04	-64.03	0.35	-0.05	-61.67
Salesman	0.87	-0.04	-62.82	0.07	-0.05	-57.89
Silent	1.27	-0.04	-63.13	0.09	-0.05	-57.83
Suzie	1.68	-0.04	-66.07	0.15	-0.06	-62.73
Average	1.63	-0.03	-63.19	0.21	-0.05	-59.76

표 4. CIF 테스트 영상에 대해서 Jin의 방법과 intra4x4 및 색차블록에 함께 적용한 제안하는 방법에 대한 성능비교

Sequences (CIF)	Jin's			Proposed		
	M1*	M2*	M3*	M1	M2	M3
Akiyo	4.08	-0.04	-67.05	0.52	-0.05	-66.96
Bus	0.90	-0.05	-65.09	0.10	-0.06	-63.13
Coastguard	0.70	-0.03	-63.21	-0.18	-0.05	-68.52
Container	1.69	-0.03	-63.12	0.12	-0.05	-67.60
Football	2.12	-0.03	-62.97	-0.08	-0.05	-63.18
Foreman	1.26	-0.03	-64.25	0.08	-0.05	-63.74
Paris	2.39	-0.01	-65.38	0.29	-0.04	-62.85
Table	1.44	-0.04	-63.60	0.00	-0.05	-64.30
Average	1.82	-0.03	-64.33	0.10	-0.05	-65.03

이상의 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 부호화 속도 측면에서는 제안하는 방법과 Jin의 방법은 유사한 성능을 가지며, PSNR 측면에서는 Jin의 방법이, 그리고 비트율 측면에서는 제안하는 방법이 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 따라서 비트율과 PSNR을 함께 고려하여 전체 부호화 효율을 객관적으로 비교할 수 있는 실험 결과로서 Jin의 방법과 제안하는 방법을 사용한 경우, JM을 기준으로 하였을 때의 BDPSNR과 BDRATE를 표 5와 표 6에 나타내었다. Bjontegaard metric^{[7],[8]}을 통해 계산되는 이 두 가지의 측정치는 현재 ITU-T/SG16/Q6 VCEG에서 가칭 H.265 표준화를 위한 사전 스터디(study) 작업을 진행하면서 각 기관에서 제안된 기술을 비교 평가하는데 사용되고 있는 비교 측정치로서 BDPSNR은 동일한 비트율에서의 PSNR 차이를 나타내는 값이며, BDRATE는 동일한 PSNR에서의 비트율의 차이를 나타낸다. 또한 BDRATE 및 BDPSNR의 오차를 최소화하기 위해서 실험에 사용된 양자화의 범위를 (20, 24, 28, 32)와 (32, 36, 40, 44)와 같이 2단계로 구분하여 각 비트율 구간에 대해서 BDPSNR과 BDRATE를 산정하고 이에 대한 평균을 구함으로써 최종적인 BDPSNR과 BDRATE를 계산하였다.

표 5. QCIF 테스트 영상에 대해서 Jin의 방법 및 제안하는 방법을 사용한 경우 JM을 기준으로 한 BDRATE (%) 및 BDPSNR (dB) 비교

Sequences (QCIF)	QP ranges	Jin's		Proposed	
		N1*	N2*	N1	N2
Carphone	22~32	1.59	-0.12	1.04	-0.08
	32~44	2.07	-0.12	0.67	-0.04
Grandma	22~32	1.94	-0.13	1.23	-0.08
	32~44	2.13	-0.08	0.86	-0.03
Highway	22~32	2.20	-0.09	1.52	-0.07
	32~44	2.90	-0.10	0.23	-0.01
Miss America	22~32	4.14	-0.24	1.53	-0.09
	32~44	5.70	-0.32	1.12	-0.06
News	22~32	2.15	-0.20	1.25	-0.12
	32~44	2.11	-0.14	0.61	-0.04
Salesman	22~32	1.44	-0.11	1.02	-0.07
	32~44	1.59	-0.06	0.39	-0.02
Silent	22~32	2.02	-0.15	1.21	-0.09
	32~44	2.07	-0.08	0.17	-0.01
Suzie	22~32	2.57	-0.15	1.81	-0.10
	32~44	3.42	-0.14	0.29	-0.01
Average		2.50	-0.14	0.93	-0.06

*N1: BDRATE(%), N2: BDPSNR(dB)

표 6. CIF 테스트 영상에 대해서 Jin의 방법 및 제안하는 방법을 사용한 경우 JM을 기준으로 한 BDRATE (%) 및 BDPSNR (dB) 비교

Sequences (CIF)	QP ranges	Jin's		Proposed	
		N1*	N2*	N1	N2
Akiyo	22~32	4.33	-0.27	1.58	-0.10
	32~44	6.01	-0.36	1.39	-0.09
Bus	22~32	1.72	-0.15	1.10	-0.09
	32~44	1.33	-0.06	0.43	-0.02
Coastguard	22~32	1.63	-0.12	1.22	-0.09
	32~44	0.53	-0.02	-0.97	0.04
Container	22~32	2.24	-0.16	1.15	-0.08
	32~44	2.28	-0.11	0.39	-0.02
Football	22~32	2.72	-0.17	1.13	-0.07
	32~44	3.34	-0.13	0.30	-0.01
Foreman	22~32	2.00	-0.12	1.34	-0.08
	32~44	2.12	-0.09	0.19	-0.01
Paris	22~32	2.63	-0.25	0.91	-0.09
	32~44	2.85	-0.17	0.66	-0.04
Table	22~32	1.96	-0.13	1.02	-0.07
	32~44	3.14	-0.14	0.67	-0.03
Average		2.55	-0.15	0.78	-0.05

*N1: BDRATE(%), N2: BDPSNR(dB)

표의 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 QCIF 영상에 대해서 Jin의 방법이 JM과 비교하여 2.50%의 BDRATE 증가율과 0.14 dB의 BDPSNR 감소를 가지는 반면, 제안하는 방법은 0.93%의 BDRATE 증가율과 0.06 dB의 BDPSNR 감소를 가짐으로써 상대적으로 높은 부호화 효율을 가지는 것으로 나타났다. 또한 CIF의 경우에도 Jin의 방법이 2.55%

및 0.15 dB의 BDRATE 증가 및 BDPSNR 감소를 가지는 반면 제안하는 알고리즘은 0.78% 및 0.05 dB의 BDRATE 증가 및 BDPSNR 감소를 가짐으로서 Jin의 방법과 비교하여 평균 0.1 dB의 객관적 화질 향상이 있는 것으로 나타났다.

마지막으로 그림 9는 QCIF 및 CIF 각각 3개의 영상에 대해서 JM, Jin, 그리고 제안하는 방법의 율-왜곡 곡선(rate-distortion curve)을 비교하여 나타내고 있다. 여기에서 모든 율-왜곡 곡선은 PSNR이 36 ~ 43 dB의 범위로 통일하여 도시하였다. 표 5 및 표 6의 결과에서와 마찬가지로 율-왜곡 곡선에서도 제안하는 방법이 Jin의 방법과 비교하여 JM의 율-왜곡 곡선에 더욱 근접하여 있는 것을 확인할 수 있으며, 율-왜곡 곡선에 포함되지 않은 다른 테스트 영상에 대해서도 유사한 성능을 확인할 수 있었다.

V. 결론

H.264/AVC 비디오 부호화 방식은 다양한 부호화 도구의 사용으로 이전의 비디오 부호화 표준들(MPEG2, MPEG4 Part2, H.263)과 비교하여 보다 높은 압축 효율을 가지지만 그로 인해 부호기의 복잡도는 크게 증가하였다. 특히 인트라매크로블록의

부호화 과정에서의 공간적인 예측기법사용은 부호기 복잡도 증가의 주된 요인이 되고 있다.

본 논문은 H.264/AVC 인트라프레임의 고속 부호화를 위해 변환영역에서의 에지활동도를 이용하여 intra4x4 및 색차블록의 예측모드를 고속으로 선택함으로써 인트라프레임의 전체 부호화 속도를 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다.

실험결과 QCIF 영상에 대해서 제안하는 알고리즘은 JM과 비교하여 59.19%의 부호화 속도향상을 보였으며 이는 63.19%의 속도향상을 가지는 Jin의 방법보다 다소 낮은 속도증가량을 나타낸다. 반면 CIF 영상에 대해서는 JM과 비교하여 제안하는 알고리즘이 65.03%의 부호화 속도를 향상시킴으로서 64.33%의 속도향상을 가지는 Jin의 방법보다 다소 높은 부호화 속도를 보였다.

한편 부호화 비트율 및 PSNR을 함께 고려함으로써 전체 부호화효율을 가늠할 수 있는 JM을 기준으로 산정된 BDRATE 및 BDPSNR 측면을 살펴보면, QCIF의 경우 제안하는 방법은 Jin의 방법과 비교하여 BDRATE를 1.57% 감소시키는 것으로 나타났으며, BDPSNR은 0.08 dB 향상시키는 것으로 나타났다. CIF의 경우에도 Jin의 방법과 비교하여 1.77%의 BDRATE 감소 및 0.10 dB의 BDPSNR 증가를 가져오는 것으로 나타났으며, 향상된 결과는

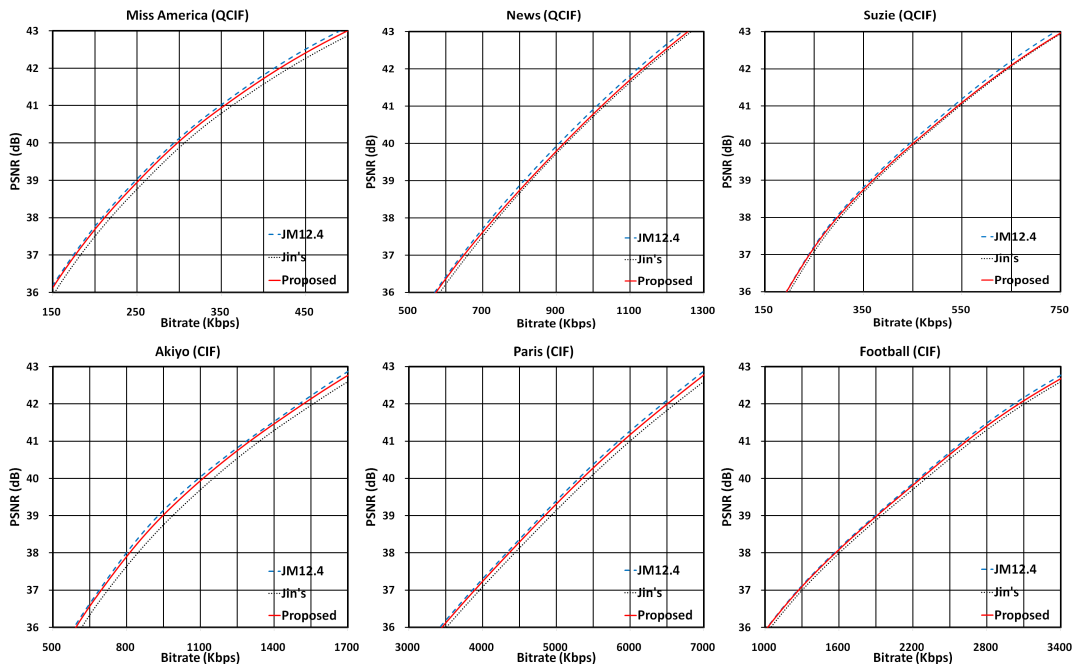


그림 9. 객관적 화질(PSNR)이 36~43 dB를 갖는 영역에서 (a) QCIF 영상(Miss America, News, Suzie) 및 (b) CIF 영상(Akiyo, Paris, Football)에 대한 율-왜곡 곡선 (rate-distortion curve)

율-왜곡 곡선을 통해서도 확인 할 수 있었다.

본 논문에서의 성능평가는 모든 매크로블록이 인트라매크로블록으로 부호화 되는 인트라프레임을 대상으로 비교하였으나, 예측 프레임은 가지는 구조 (IPPP 등)에서도 효과적인 것으로 생각되며, 최근의 여러 고속 움직임 추정 기법들과 함께 사용함으로써 보다 향상된 실시간 H.264/AVC 부호화를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] JVT G050r1, "Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification (ITU-T Rec. H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC)," May 2003.

[2] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, pp. 560-576, July 2003.

[3] Thomas Wiegand, Heiko Schwarz, Anthony Joch, Faouzi Kossentini, "Rate-Constrained Coder Control and Comparison of Video Coding Standard," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, pp. 688-703, July 2003.

[4] Feng Pan, Xiao Lin, Susanto Rahardja, Keng Pang Lin, Z.G. Li, Dajun Wu, and Si Wu, "Fast mode decision algorithm for intraprediction in H.264/AVC video coding," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 15, no. 7, pp. 813-822, July 2005.

[5] Jun-Sung Park and Hyo Jung Song, "Selective intra prediction mode decision for H.264/AVC Encoders," *Trans. Engineering, Computing and Technology*, vol. 13, pp. 51-55, May 2006.

[6] 진순중, 박상준, 정제창, "주파수 특성의 제약 조건들을 이용한 H.264/AVC를 위한 고속 화면내 모드 선택 방법", *한국통신학회*, vol. 33, no. 4, April 2008.

[7] VCEG M-33, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves (ITU-T Prop)," April 2001.

[8] VCEG AE-07, "An excel add-in for computing Bjontegaard metric and its evolution (ITU-T Prop.)," Jan. 2007.

[9] JVT Model downloaded from <http://bs.hhi.de/~suehring/tml/download/jm124.zip>, accessed 2009.

서 재 성 (Jaesung Seo)

정회원



1981년 2월 전북대학교 전기공학과 공학사
 1984년 8월 전북대학교 전기공학과 공학석사
 1995년 2월 전북대학교 전자공학과 공학박사

1984년 11월 국방과학연구소 선임연구원

1996년 3월~현재 한라대학교 정보통신방송공학부 부교수

<관심분야> 영상압축, 영상인식

김 동 형 (Donghyung Kim)

정회원



1999년 2월 충북대학교 전자공학과 공학사
 2001년 8월 충북대학교 전자학과 공학석사
 2007년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 공학박사
 2007년 8월 한양대학교 BK21

Post Doc.

2008년 8월 한국전자통신연구원 선임연구원

2008년 8월~현재 한라대학교 정보통신방송공학부 전임강사

<관심분야> 영상처리, 영상압축