

HEVC 코덱의 영블록 검출 및 CU 조기 종료 부호화 기법

정재홍, 이범식, 김문철
한국과학기술원

jjh89@kaist.ac.kr, lbs@kaist.ac.kr, mkim@ee.kaist.ac.kr

An Early CU Termination Scheme using All Zero Block Detection in HEVC

Jaehong Jung, Bumshik Lee and Munchurl Kim

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

요 약

본 논문에서는 AZB (All-Zero Block) 검출을 이용한 조기 부호화 단위(Coding Unit, CU) 결정 방법을 제안한다. HEVC 영상 코덱의 하드웨어 구현에서 이산여현변환(DCT)는 많은 부호화 자원을 필요로 하는 과정으로 DCT 수행 이전에 블록 내의 모든 양자화 계수가 0 이 되는 영블록(All-zero Block)을 미리 검출하여 DCT 및 양자화 과정을 생략하고 CU 의 부호화 과정을 조기에 종료함으로써 부호화 복잡도를 크게 감소시키는 방법을 제안한다. 기존의 SAD (Sum of Absolute Difference) 또는 SATD (Sum of Absolute Transform Difference)에 기반하는 AZB 검출 방법은 HEVC 에서 새롭게 추가된 큰 크기의 16×16 와 32×32 DCT 에서 AZB 을 효율적으로 검출할 수 없는 한계가 존재한다. 본 논문에서는 DCT 변환 커널이 하다마드 변환 커널과 또 다른 정규 직교 변환 커널로 분할하여 표현할 수 있는 성질을 이용하여, 부화소 움직임벡터 추정 과정을 통해 생성된 하다마드 변환 계수에 DCT 를 생성하는 변환 커널을 곱하여 DCT 변환 커널을 생성한 후 양자화 계수를 이용하여 CU 단위의 AZB 을 검출하는 방법을 제안한다. 또한 AZB 검출과 움직임 벡터의 크기를 이용하여 현재 CU 의 부호화 과정을 조기에 종료하는 방법을 제안한다. 제안하는 AZB 검출과 CU 조기 종료 부호화 방법을 사용하면 평균적으로 34.7%의 부호화 시간을 감소시켜 부호화 복잡도를 크게 줄일 수 있다.

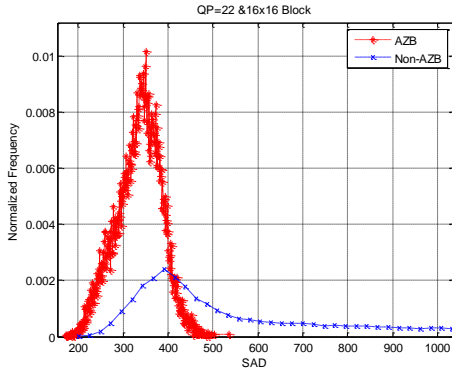
1. 서론

HD (High Definition) 및 UHD (Ultra High Definition) 영상의 등장으로 인해 기존의 비디오 압축 표준인 H.264/AVC [1]의 압축효율을 뛰어넘는 표준의 필요성이 대두되었고, 최근 ISO/IEC 의 MPEG 과 ITU-T 의 VCEG 로 구성된 JCT (Joint Collaborative Group)에 의해 새로운 표준 HEVC (High Efficiency Video Coding) [2]의 표준화가 완료되었다. H.264/AVC 보다 50% 이상 향상된 압축효율을 위해 HEVC 에서는 다양한 부호화 기술들이 채택되었다. H.264/AVC 의 매크로블록에 대응되는 기본 부호화 단위인 CU(Coding Unit)은 매크로블록이 고정된 블록 크기로 부호화되는 것과는 달리 가변 크기를 갖는 쿼드트리 형태로 분할되며 부호화된다.

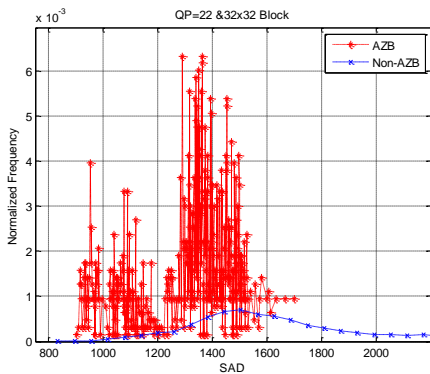
CU 는 움직임 예측 및 보상을 수행하는 PU (Prediction Unit)와 변환 블록의 단위인 TU (Transform Unit)로 구성되며, TU 는 CU 내에서 또 다른 쿼드트리 형태로 분할되는 특징을 가진다. 이 때 CU 또는 TU 의 분할 결정은 울-왜곡 최적화 과정을 통해 그 비용이 최소화되도록 결정한다. 이처럼 울-왜곡 최적화에 기반하여 최적의 CU 구조를 결정하기 위해서는 다양한 깊이의 CU 에 대하여 여러 가지 PU 모드와 TU 분할 과정을 통해 반복적인 울-왜곡 최적화 과정을 수행하기 때문에 HEVC 의 복잡도를 크게 증가시키는 원인이 된다. 특히, HEVC 에서 새롭게 추가된 변환 크기인 큰 크기의 16×16 와 32×32 DCT 는 정수로 근사화되었음에도 불구하고 하드웨어 구현에 있어서 많은 자원을 필요로 하는 부호화 과정중의 하나이다. 하드웨어 구현 시 많은 곱셈과 덧셈 연산을

필요로 하기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 변환 부호화 이전에 AZB (All-Zero Block)을 검출하는 연구들이 활발히 진행되어왔다. AZB 은 변환과 양자화를 거친 후 블록 내의 모든 계수들이 영이 되는 블록으로, AZB 을 변환과정 이전에 검출할 경우 변환, 양자화, 역양자화, 역변환을 생략 할 수 있으므로 연산량을 크게 줄일 수 있다. [3]에서는 화면간 예측에서 움직임 추정 이후 블록의 SAD (Sum of Absolute Difference) 값을 이용하여 SAD 값이 임계치 보다 작을 경우 AZB 으로 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 16×16, 32×32 와 같이 큰 크기의 DCT 에서는 AZB 을 효율적으로 검출할 수 없다는 단점이 존재한다. 그림 1 은 변환의 크기에 따라 non-AZB 과 AZB 의 SAD 에 대한 히스토그램을 나타낸 것이다. SAD 는 각 주파수 위치에서의 계수 정보가 아닌 블록의 왜곡을 나타내는 수치이므로 그림 1 에서 보는 것처럼 16×16 와 32×32 DCT 에서 SAD 만으로 AZB 을 검출할 경우 많은 에러가 발생하고 결과적으로 울-왜곡 최적화 성능의 저하를 초래한다.

본 논문에서는 화면간 예측의 움직임 추정 과정에서 발생하는 하다마드 변환 계수들을 이용하여 DCT 에 근사 하는 새로운 변환 커널을 정의한다. 본 커널을 통한 변환 수행 시 이미 부호화 과정에서 생성된 하다마드 변환 계수에 저 복잡도 연산을 이용하는 변환 커널만으로 DCT 변환을 수행하고 양자화



(a) 16x16 DCT 에서 SAD 에 대한 히스토그램



(b) 32x32 DCT 에서 SAD 에 대한 히스토그램

그림 1. 16x16, 32x32 DCT 에서 AZB 와 non-AZB 의 SAD 에 대한 히스토그램

과정을 거쳐 AZB 검출을 수행한다. 제안하는 DCT 변환 커널은 하마다드 계수와 정수 변환 커널의 곱을 이용하여 생성하기 때문에 하드웨어 구현에 매우 용이한 장점이 있다. AZB 블록이 검출되면 AZB 을 기반으로 조기 CU 결정을 수행하여 추가적으로 부호화 복잡도를 감소시키는 과정을 수행한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 제안하는 AZB 검출 방법과 이를 활용한 조기 CU 결정 방법에 대해 설명하고 3 장에서는 HM12.0 에 구현한 실험결과를 제시한다. 마지막으로 4 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 제안하는 조기 CU 결정 방법

$N \times N$ DCT 커널은 (1)과 같이 직교정규 기저들로 이루어진 두 개의 커널로 분해가 가능하다[4].

$$\mathbf{C}_N = \mathbf{A}_N \mathbf{H}_N \quad (1)$$

(1)에서 \mathbf{C}_N 은 $N \times N$ DCT 커널, \mathbf{A}_N 은 $N \times N$ 정규 변환 커널, \mathbf{H}_N 은 $N \times N$ 하마다드 변환 커널을 나타낸다. 8×8 에 대한 \mathbf{A}_N 과 \mathbf{H}_N 은 (2)와 같다.

$$\mathbf{A}_8 = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.91 & 0.00 & 0.38 & 0.00 & -0.08 & 0.00 & 0.18 \\ 0.00 & 0.00 & 0.92 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.38 & 0.00 \\ 0.00 & -0.32 & 0.00 & 0.77 & 0.00 & 0.51 & 0.00 & 0.21 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.21 & 0.00 & -0.51 & 0.00 & 0.77 & 0.00 & 0.32 \\ 0.00 & 0.00 & -0.38 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.92 & 0.00 \\ 0.00 & -0.18 & 0.00 & -0.08 & 0.00 & -0.38 & 0.00 & 0.91 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_8 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2)의 \mathbf{A}_8 은 정수로 구현하기 위하여 스케일링 할 수 있으며 각 행 벡터에 대하여 서로 다른 norm 을 가질 수 있다. 이는 양자화 과정에서 정규화시킬 수 있다. 또한 부호소 움직임 벡터 예측 시 사용되어 발생한 하마다드 변환 계수에 추가적으로 \mathbf{A}_N 만을 곱하여 DCT 변환 계수를 생성할 수 있으므로 매우 적은 추가 연산만으로 DCT 를 수행할 수 있다. 하마다드와 \mathbf{A}_N 의 곱셈 연산 수행 시 \mathbf{A}_N 은 버티플라이 구조로 분해가 가능하여 시프트와 덧셈 만으로 DCT 를 구현할 수 있다 [4].

$N \times N$ 잔차신호 블록, \mathbf{x}_N 에 대한 변환 \mathbf{X}_N 은 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_N &= \mathbf{C}_N \mathbf{x}_N \mathbf{C}_N^T \\ &= \mathbf{A}_N (\mathbf{H}_N \mathbf{x}_N \mathbf{H}_N^T) \mathbf{A}_N^T \end{aligned} \quad (3)$$

즉, $N \times N$ DCT 는 $N \times N$ 하마다드 변환을 수행한 결과에 변환 \mathbf{A}_N 을 취한 것과 동일하다. 화면간 예측의 움직임 추정과정에서 부호소의 특성을 고려하여 SATD (Sum of Absolute Transform Difference)를 최소화하는 블록으로 움직임 벡터를 추정하게 되므로, 움직임 추정 이후에 변환 \mathbf{A}_N 을 해주면 DCT 보다 작은 자원을 이용하여 DCT 와 동일한 결과를 얻을 수 있다.

HEVC 에서는 PU 의 크기에 따라 2×2 , 4×4 , 8×8 하마다드 변환이 사용되는데, 제안하는 AZB 검출 방법에서는 PU 분할 모드에서 움직임 추정을 통해 얻은 4×4 , 8×8 하마다드 변환 계수 블록들에 대하여 각각 \mathbf{A}_4 , \mathbf{A}_8 변환과 이에 맞는 양자화를 취해줌으로써 DCT 에 근사한 계수를 얻을 수 있다. 따라서 현재 CU 의 화면간 예측 모드 (INTER_2N×2N, INTER_N×2N, INTER_2N×N)로 부호화했을 때 AZB 가 될지를 미리 예측할 수 있다. 예를 들어, 32×32 CU 의 INTER_2N×2N PU 에 대해서는 16 개의 8×8 하마다드 변환 계수 블록이 존재하고, 이에 대해 \mathbf{A}_8 변환과 양자화를 거친 후 16 개의 8×8 블록의 모든 계수가 0 이면, AZB 으로 검출한다.

그림 2 는 제안하는 조기 CU 결정 방법을 나타낸다. 제안하는 CU 조기 결정 방법은 그림 2 와 같이 AZB 검출을 이용하여 계층적으로 구성된다. 먼저, Skip 모드와 Merge 모드를 정상적으로 수행한 후, INTER_2N×2N, INTER_N×2N, INTER_2N×N 모드에서 AZB 검출을 수행한다. 즉, CU 내의 4×4 또는 8×8 블록들의 모든 계수가 0 일 때 AZB 로 검출되고, 이 경우 나머지 화면간 예측 모드들은 생략된다. INTER_2N×2N 에서 AZB 가 검출될 경우, INTER_N×2N, INTER_2N×N, AMP (Asymmetric Motion Prediction)까지 생략된다. 단, 화면 내 예측 모드들까지 생략하기 위해서는 추가적인 조건이 필요하다.

화면간 예측에서 AZB 이 검출되었다더라도 최적 모드의 움직임 벡터의 크기가 클 경우에는 화면 내 예측 모드가 윗-좌측 최적화 측면에서 선택될 확률이 크므로 (4)와 같이 움직임 벡터에 대한 임계치를 적용한다.

$$|MV| < Th \quad (4)$$

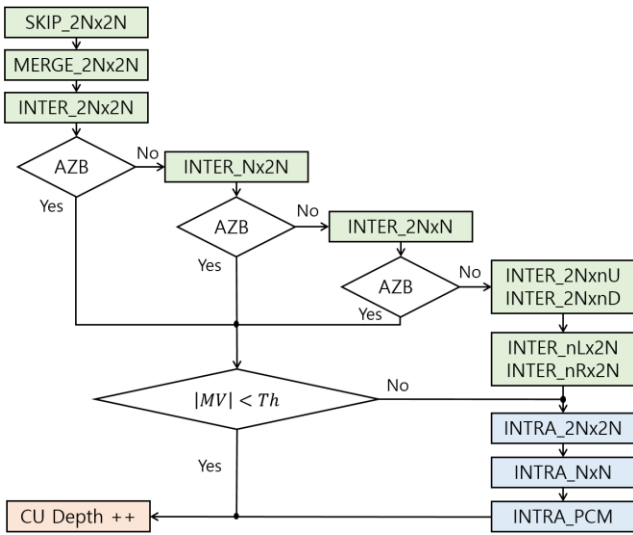


그림. 2 계층적 AZB 검출 기반의 조기 CU 결정 알고리즘

(4)에 따라 움직임벡터의 크기가 임계치 보다 작은 경우에만 화면 내 예측 모드를 생략하게 된다. 실험에 사용한 임계치, Th 는 반복실험을 통해 도출한 실험치 이다.

3. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 HM12.0 에 구현하여 HM12.0 원본과의 윌-왜곡 성능 및 부호화 시간을 비교하였다. Low delay P main 설정에서 네 개의 QP={22, 27, 32, 37}에 대하여 실험하였다. 총 8 개의 영상에 대하여 BDBR (BD Bitrate)와 원본 대비 부호화 시간을 측정하여 비교하였다.

표 1 은 윌-왜곡 성능 및 부호화 시간 감소를 나타낸다. 표 1 에서 보는 것처럼, 평균적으로 BDBR 은 1.9% 증가했고, 부호화 시간은 34.7% 감소한 것을 알 수 있다.

영상이 다소 정적일 경우, AZB 이 많이 발생하고 검출 또한 많이 되므로 부호화 시간의 감소가 증가하는 경향을 보인다. 그리고 높은 QP 에서 AZB 이 많이 발생하기 때문에 낮은 QP 에 비해서 부호화 시간의 감소가 더 큰 특징을 보인다.

Sequences		BDBR	Time Saving
Class B	Kimono	2.0%	38.2%
	ParkScene	1.9%	40.2%
Class C	BasketballDrill	1.9%	35.7%

	BQMall	2.0%	33.7%
Class D	BasketballPass	1.8%	31.8%
	BlowingBubbles	1.9%	28.5%
Class F	BasketballDrillText	2.0%	36.0%
	ChinaSpeed	1.8%	33.8%
Average		1.9%	34.7%

표 1. 제안하는 방법의 윌-왜곡 성능 및 부호화 시간 감소

3. 결론

본 논문에서는 화면간 예측의 움직임 추정 과정에서 발생하는 하다마드 변환 계수와 저 복잡도 직교정규 변환 커널을 이용하여 AZB 을 검출하고 이를 활용하여 조기 CU 결정 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법은 하다마드 변환 블록에 저 복잡도 변환을 추가적으로 수행함으로써 16x16, 32x32 의 DCT 에 대해서도 효율적으로 AZB 검출이 가능하며, AZB 검출을 조기 CU 결정에 활용하였을 때, 평균 34.7%의 부호화 시간 감소를 달성할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2014R1A1A1007363)

참고문헌

- [1] Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services, ITU-T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10, Mar. 2005.
- [2] "JCT-VC WD5: Working draft 5 of high-efficiency video coding", in Proc. JCTVC-G1103, JCT-VC Meeting, Geneva, Switzerland, Nov. 2011.
- [3] Pai-Tse Chiang and Tian Sheuan Chang, "Fast Zero Block Detection and Early CU Termination for HEVC Video Coding", 2013 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp. 1640-1643, May 2013.
- [4] 이범식, 김문철, "하다마드 변환을 이용한 하드웨어 HEVC 코덱 윌-왜곡 최적화 기법", 제 27 회 신호처리합동학술대회, 2014 년 9 월 26 일, 서울대학교.