

비디오 코딩을 위한 선형성을 이용한 역변환 방법

송현주, 김명준, 이영렬

세종대학교

hjsong@sju.ac.kr, mjkim@sju.ac.kr, yllee@sejong.ac.kr

Inverse Transform Using Linearity for Video Coding

Hyeonju Song, MyungJun Kim, Yung-Lyul Lee

Sejong University,

요 약

비디오 압축 시 변환(transform)은 예측을 통해 만들어진 공간 영역에서의 잔차신호를 주파수 영역으로 변환함으로써 낮은 주파수 대역으로 에너지를 이동시켜 비디오 압축에서 중요한 역할을 수행한다. VVC(Versatile Video Coding)에서는 DCT-II(Discrete Cosine Transform-II), DST-VII(Discrete Sine Transform-VII), DCT-VIII(Discrete Cosine Transform-VIII)를 이용하여 잔차신호 변환을 수행한다. 본 논문에서는 DCT-II, DST-VII, DCT-VIII 가 모두 선형 변환(linear transform)이라는 점에서 착안하여 변환의 선형성을 이용하여 계산량을 감소시키는 역변환을 제안한다. 실험결과 변환 수행 시 약 12.7%의 시간이 감소되는 것을 확인하였다.

1. 서론

HEVC(High Efficiency Video Coding) 이후 차세대 비디오 코덱을 위해 ISO/ICE MPEG(Moving Picture Experts Group)과 ITU-T VCEG(Video Coding Experts Group)은 2015 년 10 월 공동으로 JVET(Joint Video Exploration Team)을 결성하여 VVC 를 공식적으로 시작하였다. VVC 는 2020 년 7 월 최종 확정되었다.

VVC 에서 변환 기술은 크게 주변환과 이차변환으로 나눌 수 있다. 이중 주변환은 기존에 HEVC 에서 사용되던 변환 기술로 기존에 사용되던 DCT-II 과 DST-VII 의 적용 범위가 늘어나고, 새롭게 DCT-VIII 이 도입되었다. 이차변환은 VVC 에서 새롭게 도입된 변환 기술로, 이미 주변환을 거친 일차변환계수들을 다시 한번 학습된 기저를 이용하여 변환하는 것이다.

VVC 의 주변환은 분리 가능한 변환으로 되어있다[1]. 2 차원 잔차신호를 효율적으로 압축하기 위하여 DCT-II, DST-VII, DCT-

VIII 1 차원 선형 변환을 가로 방향으로 한번, 세로 방향으로 한번 적용하여 에너지 압축을 수행한다. 변환된 잔차신호는 변환 계수라고 하며 저주파 부분에 더 많은 신호 에너지가 집중되기 때문에 압축 효율이 증가될 수 있다.

본 논문에서는 변환의 선형성을 이용하여 역변환 과정에서의 계산량을 줄이는 방법을 제안한다. 복호화 과정에서 역양자화 과정 및 역이차변환 과정 이후 역주변환 과정에서 선형성을 이용하여 0 이 아닌 값을 가지는 변환계수의 개수에 따라 기존의 방식대로 역변환을 할 지, 제안하는 방법을 이용하여 역변환을 할 지 결정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 제안하는 방법에 대해 설명하고, 3 장에서는 실험 방법 및 결과, 그리고 마지막으로 4 장에서 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 제안하는 방법

가로가 m , 세로가 n 인 크기의 변환 블록을 Z , 변환 기저를 A , 복원된 잔차신호를 X' 이라 할 때, 역변환은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X' = A_{n \times n}^T Z_{n \times m} A_{m \times m} \quad (1)$$

VTM8.2(VVC Test Model8.2)에 구현되어 있는 역변환의 경우 DCT-II, DST-VII, DCT-VIII 은 부분 버터플라이 구조를 사용하여 구현되어 있다[2][3].

변환 기저에 따른 역변환에 필요한 곱셈 연산의 총 개수는 아래 표와 같다.

<표 1>

		블록의 너비						
		1	2	4	8	16	32	64
블록의 높이	1	N\A	2	8	24	88	344	684
	2	2	8	24	64	208	752	1432
	4	8	24	64	160	480	1632	2992
	8	24	64	160	384	1088	3520	6240
	16	88	208	480	1088	2816	8320	13760
	32	344	752	1632	3520	8320	22016	32896
	64	684	1496	3248	7008	16576	43904	65664

<표 2>

		블록의 너비			
		4	8	16	32
블록의 높이	4	64	320	636	2608
	8	320	1024	2040	5984
	16	636	2040	4064	11952
	32	2736	7008	13984	29760

표 1 의 경우 가로, 세로 방향 모두 DCT-II 인 경우 역변환에 필요한 총 곱셈 연산의 개수를 나타내고, 표 2의 경우 가로, 세로 방향 모두 DST-VII 또는 DCT-VIII 인 경우 역변환에 필요한 총 곱셈 연산의 개수를 나타낸다.

주변에서 사용되는 변환 기저인 DCT-II, DST-VII, DCT-VIII 은 모두 선형 변환이기 때문에 다음과 같은 성질을 가진다.

$$T(x + y) = T(x) + T(y) \quad (2)$$

변환 블록 Z 에서 총 N 개의 0 이 아닌 값을 가지는 계수가 존재하는 경우, 변환 블록 Z 를 0 이 아닌 값을 오직 하나만 가지는 서브 블록들의 합으로 표현할 수 있다.

$$Z = z_0 + z_1 + \dots + z_{N-1} \quad (3)$$

식(1)과 식(2)를 이용하여 역변환을 다시 표현하면 아래와 같다.

$$X' = \sum_{k=0}^{N-1} A^T z_k A \quad (4)$$

$A^T z_k A$ 는 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 A^T z_k A &= [v_0 \quad \dots \quad v_n] \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ \vdots & x_{ij} & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_0^T \\ \vdots \\ v_m^T \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & v_{i0} * x_{ij} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & v_{in-1} * x_{ij} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_0^T \\ \vdots \\ v_m^T \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} v_{i0} * x_{ij} * v_j^T \\ \vdots \\ v_{in-1} * x_{ij} * v_j^T \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (5)$$

v_i 는 i 번째 기저벡터이고, v_{ix} 은 i 번째 기저벡터의 x 번째 원소이다.

z_k 에 대해 역변환을 수행할 때 곱셈 개수는 $(n + n \times m)$ 개이고, Z 에 대하여 역변환을 수행하는 경우 총 곱셈 개수는 $N \times (n + n \times m)$ 가 된다. 따라서 변환 블록의 크기에 따라 $N \times (n + n \times m) \leq$ 기존 곱셈 개수 를 만족하는 최대의 N 을 임계 값으로 하여, 0 이 아닌 값을 가지는 계수가 N 개 이하인 경우 선형성을 이용한 역변환 방법을 사용한다.

변환 블록의 크기에 따른 임계 값은 가로, 세로 방향의 변환 기저에 따라 다르게 설계되었으며, 상세한 값은 아래 표와 같다.

<표 3>

		블록의 너비							
		1	2	4	8	16	32	64	
블록의 높이	1	N\A	1	2	3	5	10	10	
	2	1	1	2	3	6	11	11	
	4	2	2	3	4	7	12	11	
	8	3	2	4	5	8	13	12	
	16	5	4	6	7	10	15	13	
	32	10	7	10	12	15	20	15	
	64	10	7	10	12	15	20	15	

<표 4>

		블록의 너비			
		4	8	16	32
블록의 높이	4	3	8	9	19
	8	8	14	15	22

	16	7	14	14	22
	32	17	24	25	28

표 4 는 변환 기저가 가로, 세로 방향 모두 DST-VII 또는 DCT-VIII 인 경우, 변환 블록 크기 별 임계 값이다. 표 5 는 표 4 의 경우를 제외한 모든 가로, 세로 방향의 변환 기저 조합에 대한 변환 블록 크기 별 임계 값이다.

3. 실험 방법 및 결과

제안하는 방법은 VTM8.2 에서 구현 및 테스트 하였다. RA configuration 에 맞추어 실험을 진행하였다[3]. QP 는 {22, 27, 32, 37}을 사용하였으며, 실험에 사용된 시퀀스들은 클래스 B, C, D 이다.

<표 5>

QP		22	27	32	37
Y	변환 스킵이 적용된 블락(%)	3.5	2.8	2.3	2.1
	기존의 역변환이 적용된 블락(%)	67.8	54.2	48.5	47
	제안한 방법이 적용된 블락(%)	28.7	43	49.2	50.9
Cb	변환 스킵이 적용된 블락(%)	1.3	1.1	0.6	0.2
	기존의 역변환이 적용된 블락(%)	52.6	45.1	39.1	33.7
	제안한 방법이 적용된 블락(%)	46.1	53.8	60.4	66.1
Cr	변환 스킵이 적용된 블락(%)	1.5	1.1	0.6	0.2
	기존의 역변환이 적용된 블락(%)	51.3	45.3	38.8	33.4
	제안한 방법이 적용된 블락(%)	47.2	53.7	60.6	66.5

<표 6>

Class	DecT	DecT_transform
B	98%	88%
C	88%	85%
D	83%	89%

표 5 는 0 이 아닌 값이 존재하는 변환 블록에 대해 각 변환 방법 별로 적용되는 비율을 나타낸다.

표 6 은 제안하는 방법의 실험 결과를 보인다. 제안하는 방법은

VTM8.2 와 성능을 비교하였으며, DecT 와 DecT_transform 은 다음과 같다.

$$DecT = \frac{\text{proposed 디코딩 시간}}{VTM \text{ 디코딩 시간}} \times 100 \% \quad (6)$$

$$DecT_{transform} = \frac{\text{proposed 역주변환 시간}}{VTM \text{ 역주변환 시간}} \times 100 \% \quad (7)$$

4. 결론

본 논문에서 제안하는 변환 블록에서 0 이 아닌 값을 가지는 변환 계수의 개수에 따라 선형성을 이용하여 역변환을 적용하는 방법은 VTM8.2 대비 평균적으로 약 10%의 복호화 시간 감소를 보이고, 평균적으로 약 12.7%의 역주변환 시간 감소를 보인다.

VVC 에서는 변환 과정이 끝난 후 16bit precision 에 맞추기 위해 가로, 세로 방향 변환이 끝난 후 반올림과 클리핑 연산을 하는 데 반해, 선형성을 이용하여 역변환을 하는 경우 모든 변환이 끝난 후 한번에 반올림과 클리핑 연산을 하는 데서 오는 결과값의 차이를 극복하는 것이 다음 연구의 과제가 될 것이다.

감사의 글

이 논문의 일부는 2021 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF2018R1D1A1B07045156)

참고문헌

[1] X. Zhao et al., "Transform Coding in the VVC Standard," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 31, no. 10, pp. 3878-3890, Oct. 2021, doi: 10.1109/TCSVT.2021.3087706.

[2] Z. Zhang et al., "Fast DST-VII/DCT-VIII With Dual Implementation Support for Versatile Video Coding," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 31, no. 1, pp. 355-371, Jan. 2021, doi: 10.1109/TCSVT.2020.2977118.

[3] VVC Reference Software VTM(VVC Test Model)

https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jvet/VVCSoftware_VTM

[4] VTM common test conditions and software reference configurations for SDR video

https://jvet-experts.org/doc_end_user/current_document.php?id=10545