

특집논문-06-11-2-03

H.264 무손실 부호화를 위한 Intra residual DPCM

한기훈^{a)}, 이영렬^{a)†}

Intra residual DPCM for H.264 lossless coding

KI-Hun Han^{a)} and Yung-Lyul Lee^{a)†}

요 약

ITU-T와 ISO/IEC의 공동 작업으로 제정된 H.264/MPEG-4 AVC는 기존 비디오 표준들에 비해 동일한 화질에서 약 30%~70%의 비트량을 절감할 수 있으며, 동일한 비트량으로 PSNR이 2~3dB 가량 우수한 영상을 제공할 수 있다. H.264/MPEG-4 AVC는 손실압축 뿐만 아니라 무손실 압축도 지원한다. 본 논문에서는 H.264/MPEG-4 AVC의 무손실 부호화 효율을 향상하기 위한 방법을 제안한다. 제안한 방법은 Intra 예측 후 잔차 신호들을 DPCM 하는 방법으로, 공간적으로 최인접 화소로부터 예측하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 또한 제안한 방법은 최인접 화소로부터 예측 시, 복호화기에서 파이프라인이 깨지는 문제를 유발하지 않으므로 하드웨어 구현이 용이하다는 장점이 있다. 실험결과 제안한 방법은, Intra 무손실 부호화 시 비트량을 약 12% 정도 절감할 수 있었다. 그 결과 제안한 방법은 현재 표준화중인 H.264/MPEG-4 AVC Advanced 4:4:4 프로파일에 채택되었다.

Abstract

H.264/MPEG-4 AVC is jointly developed by ITU-T and ISO/IEC. It provides efficient coding efficiency compared with previous video standards. It reduced the bit rate by approximately 30%~70% while providing the same or better image quality. And, H.264/MPEG-4 AVC supports not only lossy coding but also lossless coding. In this paper, we suggest a method to improve lossless coding efficiency. Proposed method is based on Intra residual DPCM, it has same effect with the prediction from spatially nearest pixel. Also, proposed method does not broken decoder pipe-line. Experimental results, the method reduced the bit rate by approximately 12% in comparison with the H.264 Intra lossless coding. As a result, it is adopted into the H.264/MPEG-4 AVC Advanced 4:4:4 profile.

Keywords : H.264/MPEG-4 AVC, Lossless Coding, DPCM, Intra Prediction

I. 서론

H.264/MPEG-4 AVC(Advanced Video Coding)^[1-4]는 ITU-T(International Telecommunication Union-Telecom-

munication standardization sector)와 ISO/IEC(International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission)의 공동 작업으로 만들어졌으며, MPEG-4 part2^[5], H.263^[6], MPEG-2^[7] 등과 같은 기존의 비디오 표준들과 비교하여, 동일한 화질의 영상을 제공할 때 비트량을 약 30~70% 정도 절감할 수 있으며, 같은 비트량으로 압축 시 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)이 2~3dB 가량

a) 세종대학교 컴퓨터공학부

Dept. of Computer Engineering, DMS Lab., Sejong University,

† 교신저자 : 이영렬(yllcc@sejong.ac.kr)

우수한 영상을 제공할 수 있어 향후 비디오 관련 응용장치에 널리 사용될 것으로 예상된다. 더욱이 0~51까지 총 52단계의 양자화 계수(Quantization Parameter)에 따른 양자화스텝을 제공하여 저비트율에서 고비트율까지 다양한 압축을 가능하게 하였다. 또한 H.264/MPEG-4 AVC는 손실(Lossy) 압축뿐만 아니라 무손실(Lossless) 압축도 지원한다. 손실 압축에서의 H.264/MPEG-4 AVC의 우수한 성능이 잘 알려져 있는 반면 H.264/MPEG-4 AVC 무손실 압축은 상대적으로 덜 알려져 있다. H.264/MPEG-4 AVC의 무손실 압축은 PCM(Pulse-Code Modulation) 모드로 시작되었다. 그러나 PCM 모드의 부호화 효율은 그다지 높지 않았다. H.264/MPEG-4 AVC FRExt(Fidelity Range Extensions)^[8] 표준화 시 좀 더 효율적인 무손실 압축 기술이 채택 되었다. FRExt에서 채택된 방법은 데이터 손실을 피하기 위해, 단순히 변환(Transform)과 양자화를 수행하지 않는 방법으로 이루어졌다. 다시 말해, 공간 예측 및 움직임 추정을 통해 구해진 잔차(residual) 신호들을 변환, 양자화 하지 않고 바로 엔트로피(Entropy) 부호화함으로써 무손실 압축을 수행하였다. FRExt 무손실 부호화기는 그림 1과 같다. Intra 예측(공간예측) 과 움직임 추정을 수행하여 기존의 PCM 모드에 비해 우수한 압축 효율을 얻을 수 있

었다. 실제로 PCM 모드로 부호화시 비트량이 원본 영상에 비해 조금 늘어나는 현상을 보였지만, Intra 예측과 움직임 추정을 수행하여 QCIF(176x144)와 CIF(352x288)와 같은 작은 영상에서 평균 2.8:1 정도의 압축률을 얻을 수 있었다^[9].

본 논문에서는 FRExt 에 소개된 무손실 압축 기술의 성능을 향상하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 Intra 예측 후, 잔차 신호들을 DPCM(Differential Pulse Code Modulation)하는 방법으로, 공간적으로 제일 인접한 화소로부터 예측하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 또한 제안된 방법은 공간적으로 제일 인접한 화소로부터 예측 시, 복호화기에서 파이프라인(Pipe-line)이 깨지는 문제를 유발하지 않으므로 하드웨어 구현이 용이하다는 장점이 있다. 그 결과 제안된 방법은 현재 표준화 중인 H.264/ MPEG-4 AVC Advanced 4:4:4 프로파일^[10]에 채택 되었다. 이하에서는 H.264/MPEG-4 AVC 대신 H.264로 표기하겠다. 본 논문의 II장에서는 H.264의 Intra 예측 방법을 설명하고, III장에서 Intra 잔차 DPCM을 제안하고, IV장에서 실험을 통하여, 제안된 방법과 기존의 방법의 성능을 비교하여 보겠다. 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺으려 한다.

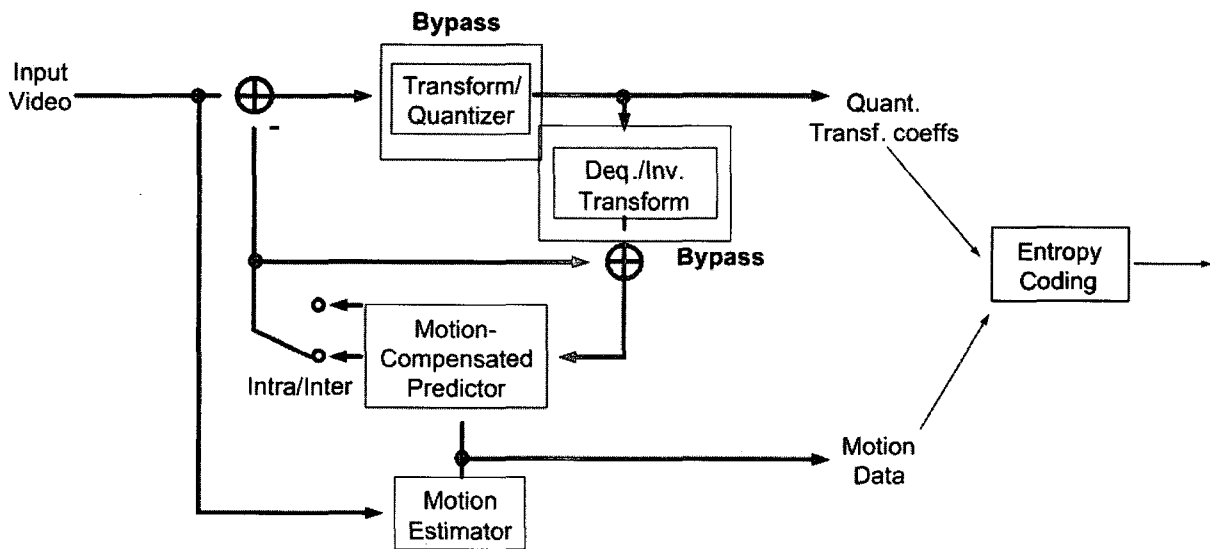


그림 1. FRExt 무손실 부호화기
Fig. 1. FRExt Lossless encoding block-diagram

II. H.264의 Intra 예측

H.264는 Intra16x16, Intra8x8, Intra4x4, IntraChroma 등 4가지 종류의 Intra 압축 모드를 가지고 있다. Intra16x16, Intra8x8, Intra4x4 압축 모드는 Luma 신호 압축에 사용되고, 각각 16x16, 8x8, 4x4 블록 단위로 예측이 수행된다. IntraChroma 모드는 Chroma 신호 압축에 사용되고 매크로 블록 전체를 한 번에 예측한다. 영상의 컬러 포맷에 따라 Chroma 신호의 매크로블록 크기가 달라지는데 4:2:0 영상의 경우 8x8으로 결정되며, 4:2:2의 경우 8x16으로 결정되고, 4:4:4의 경우 16x16으로 결정된다. H.264에서 지원하는 Intra 압축모드와 예측모드는 표 1과 같다. Intra16x16 모드는 Vertical, Horizontal, DC 그리고 Plane 등 4 가지의 예측 모드를 가지며, 부호화기는 율-왜곡 (Rate-Distortion)을 고려하여 가장 효율적인 예측모드로 압축을 수행한다. Vertical 예측모드와 Horizontal 예측 모드는 매크로 블록에 수직 또는 수평방향으로 인접해 있는 이미 복호화 된 화소들로부터 예측을 수행한다. DC 예측모드는 매크로 블록에 수직 또는 수평으로 인접한 32개의 화

소들의 평균값으로 매크로 블록내의 모든 화소들을 예측한다. Plane 예측 모드는 3 parameter curve-fitting equation 을 사용하여 매크로 블록 인근 화소들로부터 예측을 수행한다. IntraChroma 모드는 컬러 포맷에 따라 예측 블록의 크기가 달라지는 것 외에는 Intra16x16 모드와 같은 방법으로 예측되어진다. Intra4x4와 Intra8x8 모드는 9가지 방향 별 예측 모드를 가지며 예측 블록의 크기만 다를 뿐 같은 방법으로 예측이 수행된다. 그림 2는 Intra4x4와 Intra8x8 모드의 9가지 예측모드의 방향을 나타낸다. 2번 예측 모드의 방향이 나타나지 않았는데, 2번은 주변 화소들의 평균값 으로부터 예측을 수행하는 DC 모드이다. 부호화기에서 9 가지 예측 방향 중 율-왜곡을 고려하여 가장 압축효율이 뛰

표 1. H.264 Intra 압축모드
Table 1. H.264 Intra Coding Modes

압축모드	예측모드 번 호	예측모드명
Intra4x4 / Intra8x8	0	Vertical
	1	Horizontal
	2	DC
	3	Diagonal_Down_Left
	4	Diagonal_Down_Right
	5	Vertical_Right
	6	Horizontal_Down
	7	Vertical_Left
	8	Horizontal_Up
Intra16x16	0	Vertical
	1	Horizontal
	2	DC
	3	Plane
IntraChroma	0	DC
	1	Horizontal
	2	Vertical
	3	Plane

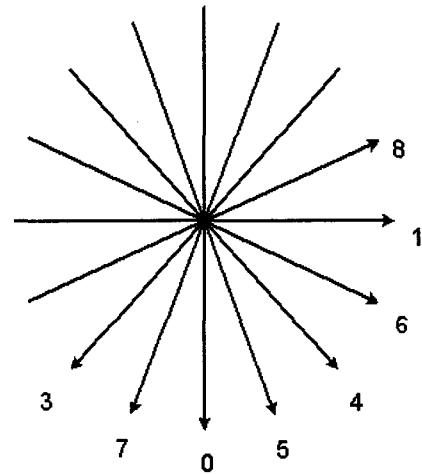


그림 2. Intra4x4와 Intra8x8 모드의 9가지 예측방향
Fig. 2. 9 prediction direction in Intra4x4 and Intra8x8 modes

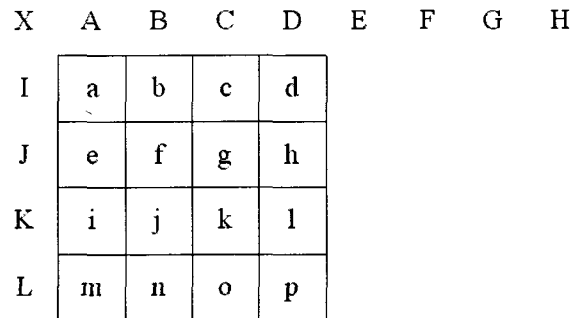


그림 3. Intra4x4 모드 예측 시 사용되는 인근 화소와 현재블록
Fig. 3. Boundary samples and inside samples for the Intra4x4 prediction

어난 방향을 예측 모드로 결정한다. 그림 3은 Intra4x4 예측 시 사용되는 주변화소와 현재 블록을 나타낸다. 화소 A-X는 이미 복호화 된 화소로 예측방향에 따라 어떤 화소가 사용될 지 결정된다. 예를 들어, 예측방향 1번 Horizontal 예측 시 그림 3의 a, b, c, d 화소들의 잔차 신호는 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} r_0 &= a - I \\ r_1 &= b - I \\ r_2 &= c - I \\ r_3 &= d - I \end{aligned} \tag{1}$$

나머지 e-p 화소들의 잔차 신호도 각각 J, K, L 화소로부터 예측된다. 부호화기는 잔차 신호 r_0, r_1, r_2, r_3 신호를 엔트로피 부호화 하여 복호화기로 전송하며, 복호화기는 잔차 신호를 복호화한 후 이미 복호화 된 I, J, K, L 화소를 이용하여 a, b, c, d 화소를 복원한다. 다른 예측 모드도 같은 방법으로 그림 2에 있는 화살표 방향으로 인접한 화소를 이용하여 예측을 수행한다.

III. Intra 잔차 DPCM

II장에서 H.264의 Intra 압축모드들의 예측방법을 살펴 보았다. 각각의 모드들은 예측 블록의 크기가 틀릴 뿐, 인근 화소들을 이용하여 4가지 또는 9가지 방향별 예측 모드를 사용한다. 또한 모든 예측 모드들은 현재 예측하려는 블록 외부에 있는 인근화소, 즉 이미 복호화 된 화소들을 이용하여 블록 단위의 예측을 수행한다. 이는 H.264의 압축기술인 변환과 양자화가 모두 블록 단위로 이루어지므로 부호화기와 복호화기간에 양자화 손실로 인한 불일치를 피하기 위함이다. 그러나 1장에서 언급했듯이 무손실 압축 시는 변환과 양자화를 수행하지 않으므로, 기존의 H.264의 압축 모드와 예측 모드를 모두 유지하면서 블록단위의 예측방법 대신 공간적으로 제일 인접한 화소로부터 예측을 수행하는 화소단위 예측방법이 가능하다. 예로써, Intra4x4 모드의 Horizontal 예측 시 화소단위 예측방법은 다음과 같이 수행

할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_0 &= a - I \\ r_1 &= b - a \\ r_2 &= c - b \\ r_3 &= d - c \end{aligned} \tag{2}$$

나머지 e-p 화소들도 화소 J, K, L로부터 예측하는 기존의 방법대신, 모든 화소를 공간적으로 제일 인접한 화소로부터 예측하는 것이 가능하다. 이는 공간적으로 인접한 화소들의 유사성이 높다는데 착안한 것으로 화소 단위의 예측을 수행하였을 때 압축효율이 약 12%~13% 정도 향상됨을 확인할 수 있었다. 그러나 화소단위의 예측방법은 소프트웨어 구현 시에는 별 어려움이 없지만, 하드웨어 구현 시, 복호화기의 파이프라인이 깨진다는 문제가 있다. 모든 화소들을 공간적으로 인접한 순서대로 순차적인 복호화를 진행해야 하기 때문이다. 예를 들어 그림 3에서 화소 d를 복호화하기 위해서는 화소 c가 복호화 될 때까지 기다려야 한다. 화소 c가 복호화 되기 전에는 화소 d가 절대로 복호화 될 수 없다. 공간적으로 인접한 화소단위 예측의 성능을 살리면서 복호화기의 파이프라인 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 Intra 잔차 DPCM 을 제안한다. 제안한 방법은 화소단위 예측방법과 같이 기존의 H.264의 압축모드와 예측방법을 그대로 유지하면서, 블록단위의 예측방법도 유지한다. Intra 예측 수행 후, 잔차 신호들을 예측 방향에 따라 DPCM 함으로써, 화소단위 예측을 수행하였을 때와 같은 효율을 얻을 수 있다. 예를 들어 Intra4x4 압축모드의 Horizontal 예측 시, 식 (1)과 같이 잔차 신호를 얻은 후 잔차 DPCM은 다음과 같이 수평 방향으로 수행된다.

$$\begin{aligned} r_0' &= r_0 \\ r_1' &= r_1 - r_0 \\ r_2' &= r_2 - r_1 \\ r_3' &= r_3 - r_2 \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)에서 얻은 r' 신호들은 화소단위 예측을 수행하였을

때와 동일한 잔차 신호이다. 식 (1)을 참조하면, r' 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r'_0 &= r_0 = I-a \\
 r'_1 &= r_1-r_0 = (b-I) - (a-I) = b-a \\
 r'_2 &= r_2-r_1 = (c-I) - (b-I) = c-b \\
 r'_3 &= r_3-r_2 = (d-I) - (c-I) = d-c
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

부호화기는 r' 신호들을 엔트로피 부호화한 후 복호화기로 전송한다. 복호화기는 엔트로피 복호화 후, r' 신호들에 대해 역(Inverse)잔차 DPCM 을 수행하여 잔차 신호 r 을 얻을 수 있다. 복호화기에서 역잔차 DPCM은 다음과 같이 수행된다.

$$\begin{aligned}
 r_0 &= r'_0 \\
 r_1 &= r'_0 + r'_1 \\
 r_2 &= r'_0 + r'_1 + r'_2 \\
 r_3 &= r'_0 + r'_1 + r'_2 + r'_3
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

역잔차 DPCM 후, 잔차 신호와 예측에 사용된 I 화소를 더하여 화소 a, b, c, d 를 완벽하게 복원할 수 있다. 다른 화소들도 이와 같은 방법으로 잔차 DPCM 을 수행하여 화소단위 예측을 수행하였을 때와 같은 효과를 얻을 수 있다. Vertical 예측 시에도 같은 방법으로 잔차 DPCM을 수행할 수 있다. 다만 잔차 DPCM 과 역잔차 DPCM이 수직 방향으로 수행된다.

제안된 잔차 DPCM 방법은 Intra4x4 압축모드 외에 Intra8x8, Intra16x16, IntraChroma 모드에도 같은 방법으로 적용될 수 있다. 제안된 방법은 기존의 H.264의 압축모드와 블록단위 예측방법을 그대로 유지하여 복호화기의 파이프라인 문제를 해결하면서도 화소단위 예측을 수행하였을 때와 동일한 압축효율을 얻는 장점이 있다. 또한 제안한 방법을 Vertical과 Horizontal 예측 방향에만 적용하면 H.264의 Syntax에 아무런 변화도 요구하지 않는다. 그 결과 제안된 방법은 현재 표준화중인 H.264/MPEG-4 AVC Advanced 4:4:4 프로파일에 채택되었다.

IV. 실험결과

III장에서 제안된 잔차 DPCM은 복호화기의 파이프라인을 유지하면서, 공간적으로 제일 인접한 화소로부터 예측할 때와 동일한 효과를 나타내는 것을 확인하였다. 제안된 방법의 성능을 확인하기 위한 실험을 수행하였다.

H.264 표준화 그룹에서 권고하는 실험영상[11]과 참조코덱인 JM(Joint Model)96[12]을 이용하여 실험하였다. 실험영상은 RGB 4:4:4 포맷이며, 1920x1080 또는 1920x896 해상도이고 화소당 10비트로 구성되었다. 실험영상은 필름 노이즈를 포함하고 있는 디지털 시네마 응용에 널리 쓰이는 포맷이다. 구체적인 실험조건은 표 2와 같다. 제안한 잔차 DPCM을 Intra4x4, Intra8x8, Intra16x16, IntraChroma 모드의 Vertical과 Horizontal 예측 모드에 적용하고 나머지 예측모드들은 H.264의 방법을 그대로 유지한 것과 기존 H.264 방법으로 압축한 결과를 비교하였다. 실험결과는 표 3과 같다. 표 3에서 압축률(Compression Ratio)과 비트절감은 각각 식 (6), (7)과 같이 계산하였다.

표 2. 실험조건
Table 2. Experimental Condition

Sequence	해상도	Coding Options
AnalogTV	1920x1088	부호화 프레임: 60장 울-최적화 사용 CABAC 부호화 Intra 프레임만 사용
Bicycle	1920x896	
Cardtoss	1920x1088	
Dinner	1920x1088	
Restaurant	1920x896	
Tomatoes	1920x1088	

$$\text{압축률} = \frac{\text{원본 파일 크기 (Bits)}}{\text{압축 파일 크기 (Bits)}} \tag{6}$$

$$\text{비트절감} = \frac{H.264\text{Bits} - \text{proposed Bits}}{H.264\text{Bits}} \times 100 \tag{7}$$

표 3에서 제안된 방법은 기존 H.264와 비교할 때 무손실 압축 시 비트량을 평균 12.5% 정도 절감할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 H.264의 압축률이 평균 1.4816:1인

표 3. 제안된 방법과 H.264 의 압축 성능 비교
 Table 3. The Comparison of Compression Performance with H.264

Sequence	원본 파일 크기 (Bits)	Method	압축 파일 크기	압축률	비트 절감 (%)
AnalogTV	3,760,128,000	H.264	2,518,834,712	1.4928	0
		Proposed	2,298,983,728	1.6355	9.73
Bicycle	3,096,576,000	H.264	2,179,857,952	1.4205	0
		Proposed	1,788,283,944	1.7315	17.97
Cardtoss	3,760,128,000	H.264	2,798,812,144	1.3434	0
		Proposed	2,389,957,168	1.5733	14.61
Dinner	3,760,128,000	H.264	2,746,950,496	1.3688	0
		Proposed	2,352,419,568	1.5984	14.37
Restaurant	3,096,576,000	H.264	1,844,150,024	1.6791	0
		Proposed	1,661,276,392	1.8639	9.92
Tomatoes	3,760,128,000	H.264	2,372,234,640	1.5850	0
		Proposed	2,144,700,368	1.7532	9.59
Average		H.264		1.4816	0
		Proposed		1.6926	12.53

데 반해 제안된 방법은 평균 1.6926:1의 압축률을 보인다. 이와 같은 실험결과를 볼 때 제안된 잔차 DPCM은 기존의 H.264 무손실 부호화의 성능을 더욱더 향상시켜 주는 것을 확인할 수 있다.

일에 채택되었다. 제안된 방법은 예측 블록의 크기에 상관 없이 어떤 Intra 예측 모드에도 적용이 가능하며, H.264 뿐만 아니라 향후 새로운 비디오 표준 제정 시에도 유용한 기술이 될 것으로 전망된다.

V. 결 론

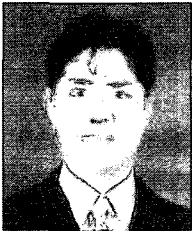
ITU-T와 ISO/IEC의 공동 작업으로 만들어진 H.264는 손실 압축 뿐 아니라 무손실 압축도 지원한다. 본 논문에서 H.264 무손실 압축의 성능 향상을 위해 Intra 잔차 DPCM 방법을 제안 하였다. 제안된 방법은 기존 H.264의 압축 모드와 블록단위의 예측방법을 그대로 유지하면서 Intra 예측 후, 잔차 신호들을 DPCM 하는 방법이다. 제안된 방법으로 공간적으로 제일 인접한 화소로부터 예측 하는 화소단위 예측방법과 같은 효과를 얻을 수 있고, 실험결과 기존 H.264 무손실 압축에 비해 평균 12% 이상의 비트량을 절감할 수 있었다. 또한 화소단위 예측이 하드웨어 구현 시 파이프라인을 깬다는 문제가 있는데 반해 제안된 방법은 파이프라인을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 제안된 방법의 성능과 파이프라인을 유지할 수 있다는 장점을 인정받아 현재 표준화가 진행 중인 H.264 Advanced 4:4:4 프로파

참 고 문 헌

- [1] ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10, "Advanced Video coding for generic audiovisual services", May 2003
- [2] Ajay Luthra, Gary J. Sullivan and Thomas Wiegand, "Introduction to the special issue on the H.264/AVC video coding standard", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., pp. 557-559, July 2003.
- [3] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjontegaard, and Ajay Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., pp. 560-576, July 2003.
- [4] Gary J. Sullivan and Thomas Wiegand, "Video compression - from concepts to the H.264/AVC standard", Proc. IEEE, pp. 18-31, January 2005.
- [5] ISO/IEC 14496-2 "Information Technology -Coding of Audio Visual Objects Part 2: Visual", December. 1998
- [6] ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG), "Video Codec Test Model Near-Term, Version 10 (TMN10) Draft 1", April 1998
- [7] ITU-T Recommendation H.262 and ISO/IEC 13818-2, "Information technology - Generic coding of moving picture and

- associated audio information: Video", July, 1995
- [8] Gary J. Sullivan, Tom McMahon, Thomas Wiegand and Ajay Luthra, "Draft Text of H.264/AVC Fidelity Range Extensions Amendment to ITU-T Rec. H.264|ISO/IEC 14496-10 AVC", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16 Joint Video Team document JVT-L047, July, 2004.
- [9] Shijun Sun, "Lossless Coding and QP Range Selection", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16 Joint Video Team document JVT-C023r1, May, 2002.
- [10] Haoping Yu, "Draft Text of H.264/AVC Advanced 4:4:4 profile amendment to ITU-T Recommendation H.264|ISO/IEC 14496-10 AVC", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16 Joint Video Team document JVT-Q209, October, 2005.
- [11] T. Suzuki, "Ad-Hoc Group Report: Study of 4:4:4 functionality ", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16 Joint Video Team document JVT-P010, July, 2005.
- [12] "http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/jm96.zip"

저 자 소 개



한 기 훈

- 2003년 2월 : 세종대학교 컴퓨터공학과 학사과정 졸업
- 2005년 2월 : 세종대학교 인터넷공학과 석사과정 졸업
- 2005년 3월~현재 : 세종대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학
- 주관심분야 : Image Processing, Image/Video Coding, Compression Algorithm, Lossless Coding, Image Analysis, H.264, MPEG Video Coding, Transcoding, Multimedia Systems, Future Video Coding.



이 영 렬

- 1985년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사과정 졸업
- 1987년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사과정 졸업
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기·전자공학과 박사과정 졸업
- 1987년 1월~1994년 2월 :삼성전자 R&D 센터 Digital Media Lab.
- 1999년 3월~2001년 8월 :삼성전자 R&D 센터 Digital Media Lab. 수석연구원
- 2001년 9월~현재 : 세종대학교 전자정보대학 컴퓨터공학부 인터넷공학과 부교수
- 주관심분야 : Multi-view video coding, MPEG Video Compression, Multimedia(MPEG) Systems, H.264, Image Compression, Image Processing, Multimedia Data(A/V/System) over IP, Embeded System for A/V Transport, Transcoding, Watermarking