디지털 시네마 영상 무손실 부호화를 위한 잔차신호 변환

*한기훈 *이영렬

세종대학교 컴퓨터공학과

*yllee@sejong.ac.kr

Residual Signal Transform for Digital Cinema Sequences Lossless Coding

*Ki-Hun Han *Yung-Lyul Lee

Department of Computer Engineering, Sejong University

요약

H.264는 MPEG-2, MPEG-4 Part 2, H.263 등 기존의 비디오 압축 표준들에 비해 우수한 화질과 부호화 효율을 제공하여 차세대 비디오 압축 표준으로서 널리 사용될 전망이다. 현재 H.264표준화 그룹인 JVT에서는 디지털 시네마 영상을 위한 Advanced 4:4:4 프로파일에 대한 표준화가 진행 중이다. 이 프로파일은 기존의 프로파일과 달리 화소당 8-12비트의 영상을 지원하며, YUV 영상대신 RGB 영상을 입력영상으로 사용한다. 디지털 시네마 영상은 보통 HD급 이상의 화면 크기를 가지며 초당 24Hz의 프레임율을 가진다. 이러한 영상에서는 화소간의 공간적 유사성이 매우 높아지는 경향이 있으며, 30Hz 영상에 비해 시간적 유사성이 감소하는 경향이 있다. 그 결과 H.264로 디지털 시네마 영상 압축 시, 공간 예측을 통한 Intra 매크로 블록의 비율이 다른 테스트 영상들에 비해 월등히 높다는 것을 알 수 있다. 이는 디지털 시네마 영상 압축 시, 화면간 예측을 수행하는 ME/MC에 비해 공간 예측이 효율적이다는 것을 입증한다. 화면간 예측의 성능을 향상하기 위해 본 논문에서는 ME/MC 후 생성된 잔차 신호들을 간단히 변환하는 방법을 제안한다. 간단한 변환 기술이 추가되어 화면간 예측의 압축 성능이 향상됨은 물론, Inter 프레임에서 화면간 예측과 공간예측을 모두 사용하였을 때 전체적인 압축성능이 향상함을 실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

1. 서론

H.264[1]는 ITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication standardization sector)와 ISO/IEC (International Organization for Standardization /International Electrotechnical Commission)의 공동 작업으로 만들어졌으며, MPEG-4 part2[2], H.263[3], MPEG-2[4] 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 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.264는 손실(Lossy) 압축뿐만 아니라 무손실(Lossless) 압축도 지원한다. 손실 압축에서의 H.264의 우수한 성능이 잘 알려져 있는 반면 H.264 무손실 압축은 상대적으로 덜 알려져 있다. H.264의 무손실 압축은 PCM(*Pulse-Code Modulation*) 모드로 시작되었다. 그러나 PCM 모드의 부호화 효율은 그다지 높지 않았다. H.264 FREXt(*Fidelity Range Extensions*)[5] 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 있었다. 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[6]. 현재 H.264 표준화를 주관하는 JVT(Joint Video Team) 그룹에서는 디지털 시네마 영상 압축을 위해 Advanced 4:4:4 프로파일 표준화를 진행 중이다. 이 프로파일은 기존의 프로파일과 달리 화소당 8-12비트의 영상을 지원하며, YUV 영상대신 RGB 영상을 입력영상으로 사용한다. 디지털 시네마 영상은 보통 HD급 이상의 화면 크기를 가지며 초당 24Hz의 프레임율을 가진다. 이러한 영상에서는 화소간의 공간적 유사성이 매우 높아지는 경향이 있으며, 30Hz 영상에 비해 시간적 유사성이 감소하는 경향이 있다. 그 결과 H.264로 디지털 시네마 영상 압축 시, 공간 예측을 통한 Intra 매크로 블록의 비율이 다른 테스트 영상들에 비해 월등히 높은 것을 확인

할 수 있었다. 이는 디지털 시네마 영상 압축 시, 화면간 예측을 수행하는 ME/MC에 비해 공간 예측이 효율적이다는 것을 입증한다. 또한 Advanced 4:4:4 프로파일은 무손실 부호화 시 인트라 잔차 신호변환 방법[7-8]을 사용하여 공간 예측 부호화의 성능을 더욱 향상 시켰다. 그 결과 무손실 부호화시 공간 예측 방법이 시간적 예측 방법인 ME/MC에 비해 더 나은 압축 성능을 보임을 실험을 통해 확인 할 수 있었다. 본 논문에서는 상대적으로 취약한 압축성능을 보이는 Inter 예측방법의 성능향상을 위한 잔차 신호변환 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 기존의 Advanced 4:4:4 프로파일에 채택된 인트라 잔차신호변환 방법을 Inter 예측으로 확장한 방법이다. 제안된 방법을 실험한 결과 Inter 예측방법에서 약 5%정도의 비트량을 절감할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

2. 기존 H.264 인트라 잔차신호변환

기존의 Advanced 4:4:4 프로파일에 채택된 인트라 잔차신호 변환은 공간예측 시 예측 모드가 Vertical 또는 Horizontal 모드일 때 적용되었다. 인트라 예측 후, 예측 모드가 Vertical 또는 Horizontal 모드일 때 예측 방향을 따라 한 row 또는 한 column 단위로 잔차 신호들을 DPCM(Differential Pulse Code Modulation)하는 방법이다.

X	A	B	C	D	E	F	G	H
I	a	b	c	d				
J	e	f	g	h				
K	i	j	k	l				
L	m	n	o	p				

그림 1. Intra4x4 모드 예측 시 사용되는 인근 화소와 현재블록

예로써, Intra4x4 모드의 Horizontal 예측 시 화소단위 예측방법은 다음과 같이 수행할 수 있다. 그림 1에서 첫 번째 row의 화소 a, b, c, d의 잔차는 다음과 같다.

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

식 (1)과 같이 잔차 신호를 얻은 후 잔차 변환은 다음과 같이 수평 방향으로 수행된다.

$$\begin{aligned} r_0' &= r_0 \\ r_1' &= r_1 - r_0 \\ r_2' &= r_2 - r_1 \\ r_3' &= r_3 - r_2 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 얻은 r′ 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r'_0 &= r_0 = I-a \\ r'_1 &= r_1-r_0 = (b-I) - (a-I) = b-a \\ r'_2 &= r_2-r_1 = (c-I) - (b-I) = c-b \\ r'_3 &= r_3-r_2 = (d-I) - (c-I) = d-c \end{aligned} \quad (3)$$

이는 화소들을 현재 블록 바깥의 화소로부터 예측한 것이 아니라 예측방향으로 바로 인접한 화소로부터 예측한것과 같은 잔차를 얻을 수 있음을 뜻한다.

부호화기는 r′ 신호들을 엔트로피 부호화한 후 복호화기로 전송한다. 복호화기는 엔트로피 복호화 후, r′ 신호들에 대해 역(Inverse)잔차 변환을 수행하여 잔차 신호 r을 얻을 수 있다. 복호화기에서 역잔차 변환은 다음과 같이 수행된다.

$$\begin{aligned} r_0 &= r'_0 \\ r_1 &= r'_0 + r'_1 \\ r_2 &= r'_0 + r'_1 + r'_2 \\ r_3 &= r'_0 + r'_1 + r'_2 + r'_3 \end{aligned} \quad (4)$$

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

제안된 잔차 변환 방법은 Intra4x4 압축모드 외에 Intra8x8, Intra16x16모드에도 같은 방법으로 적용된다. 인트라 잔차 변환은 공간 예측 부호화시 비트량을 약 12-13%정도 절감하는 것으로 나타났다. 그 결과 이 기술은 현재 Advanced 4:4:4 프로파일에 채택되었다. 표 1은 제안된 방법을 JM96 코덱에 적용하였을 때의 성능향상을 나타낸다. 인트라 잔차 변환은 JFVM 코덱[9] 개발 전에 이미 채택되어 JFVM과의 비교가 힘들기 때문에 JV96[10] 코덱과 성능을 비교하였다.

표 1. IPPP Inter 모드 부호화 시 압축성능

Sequence	Compression Ratio		비트절감(%)
	JM96	인트라잔차변환	
AnalogTV	1.49	1.63	8.7
Bicycle	1.42	1.73	18
Dinner	1.37	1.60	14.4
Tomatoes	1.58	1.75	9.6
Average	1.47	1.68	12.68

$$Compression\ Ratio = \frac{\text{원본 파일 크기}(Bits)}{\text{압축 파일 크기}(Bits)} \quad (5)$$

$$\text{비트절감} = \frac{JFVMBits - proposed\ Bits}{JFVM\ Bits} \times 100 \quad (6)$$

표 1에서 Compression Ratio, 비트절감은 식 (5), (6)을 이용하여 계산되었다.

3. 제안하는 잔차신호변화

H.264는 P프레임, B프레임에서 화소의 시간적 중복성을 제거하기 위해 ME/MC를 수행한다. 그러나 디지털 시네마 영상은 화소당 비트수가 많고(10-12비트), HD급 이상의 큰 해상도를 가지고, 초당 24Hz의 프레임율을 가져, 일반적인 영상과 달리 시간적 중복성을 제거한 압축방법의 효율이 공간예측을 이용한 압축방법에 비해 떨어지는 경향이 있다. 본 장에서는 무손실 압축 시 시간적 중복성을 제거한 잔차신호들을 공간적으로 한 번 더 DPCM하여 압축효율을 향상하는 방법을 제안한다. 제안되는 방법은 ME/MC 후 생성된 16x16 블록 크기의 잔차 신호들을 수평적으로 또는 수직적으로 DPCM을 수행하는 방법이다.

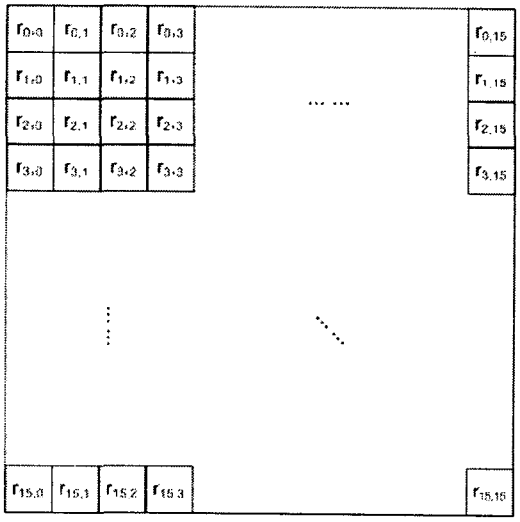

그림 2. 16x16 블록크기의 잔차신호

그림 2는 ME 후 생성되는 16x16 블록크기의 잔차신호를 보여준다. 매크로 블록의 부호화 모드가 16x8인 경우는 두 개의 16x8 블록의 잔차신호를 모아 16x16 블록의 신호를 생성할 수 있다. 8x16 모드인 경우도 역시 두 개의 블록을 모아 16x16 블록의 신호를 생성 할 수 있다. 제안되는 방법은 16x16, 16x8, 8x16 모드에만 적용된다. P8x8모드로 부호화 되는 경우는 매크로 블록 내부의 하위 블록들의 움직임이 너무 나뉘어져 잔차신호들의 공간적 유사성이 거의 없기 때문에 DPCM으로 인한 성능향상이 거의 없기 때문이다. 제안되는 방법은 잔차신호들을 수평방향 또는 수직방향으로 각각 DPCM 하여 그 중 신호 절대값 크기를 최소로 하는 방향으로 DPCM 방향을 결정하는 방식이다. 수평적 잔차 신호 변환은 다음과 같이 수행된다.

$$\begin{aligned} r'_{y,0} &= r_{y,0} && 0 \le y \le 15 \\ r'_{y,x} &= r_{y,x} - r_{y,x-1} && 0 \le y \le 15,\ 1 \le x \le 15 \end{aligned} \quad (7)$$

부호기에서는 r′ 신호들을 엔트로피 코딩 하여 복호기로 전송하며, 복호기에서는 식(8)과 같이 역잔차변환을 수행하여 원래의 잔차신호인 r신호들을 생성할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_{y,0} &= r'_{y,0} \\ r_{y,1} &= r'_{y,0} + r'_{y,1} \\ r_{y,2} &= r'_{y,0} + r'_{y,1} + r'_{y,2} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ r_{y,15} &= r'_{y,0} + \ldots + r'_{y,15}, && 0 \le y \le 15 \end{aligned} \quad (8)$$

r 신호들을 생성한 후 MC를 통해 복호기에서 원영상을 완벽히 복원할 수 있다. 수직적 잔차변환도 수평적 잔차변환과 유사한 방법으로 수행된다. 수직으로 인접한 잔차신호들을 DPCM 하여 공간적 유사성을 제거하여 압축성능을 향상시키는 방법이다. 부호기에서는 수직적, 수평적 잔차신호 변환을 모두 수행하여, 압축성능이 유리한 방법을 선택하여 압축을 수행한다. 압축성능은 잔차변환 후 생성된 r′신호들의 절대값 크기를 모두 더하여 크기가 작은 쪽을 압축성능이 나은 것이라 판단하였다. 무손실 압축에서는 정수변환과 양자화가 수행되지 않고 잔차신호들을 바로 엔트로피 코딩하기 때문에 잔차신호의 크기가 엔트로피 코딩 시 소요되는 비트량과 비례하기 때문이다. 제안된 방법을 Advanced 4:4:4 프로파일에 적용하기 위해서는 제안된 잔차신호변환을 사용하였는지 여부를 나타내는 1비트 DPCM 플래그와, 수평으로 잔차변환을 수행하였는지, 수직으로 잔차변환을 수행하였는지 여부를 나타내는 1비트 DPCM_Mode 플래그, 매크로 블록당 2비트의 추가정보가 필요하다.

4. 실험결과

제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 Advanced 4:4:4 프로파일의 참조 코덱인 JFVM1.0 코드를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험영상은 JVT에서 권고하는 AnalogTV, Bicycle, Dinner, Tomatoes 등 4가지 영상이며, 실험영상은 RGB4:4:4 포맷으로 이루어졌으며, 화소당 10비트로 이루어져 있다. 해상도는 Bicycle영상이 1920x896이며, 나머지 영상들은 모두 1920x1088로 이루어져 있다. JFVM 코덱과 압축성능을 비교하였으며 JFVM의 비트량을 100이라 하였을 때 제안된 방법

을 사용하였을 때의 상대적인 비트 절감량을 비교하였다. 표 2와 표 3은 IPPP 구조와 IBBP 구조에서 실험하였을 때 P프레임과 B프레임에서 공간적 예측모드를 사용하지 않고 Inter 모드로만 부호화 하였을 때의 압축성능을 비교한다.

표 2. IPPP Inter 모드 부호화 시 압축성능

Sequence	Compression Ratio		Relative Bits(%)
	JFVM	Proposed	
AnalogTV	1.41	1.53	7.8
Bicycle	1.74	1.77	1.3
Dinner	1.50	1.55	3.8
Tomatoes	1.58	1.65	4.8
Average	1.56	1.62	4.4

표 3. IBBP Inter 모드 부호화 시 압축성능

Sequence	Compression Ratio		비트절감
	JFVM	Proposed	
AnalogTV	1.43	1.56	8.6
Bicycle	1.73	1.79	3.0
Dinner	1.51	1.59	4.7
Tomatoes	1.57	1.68	6.2
Average	1.56	1.66	5.6

표 2와 표 3에서 IPPP 구조와 IBBP 구조에서 각각 4.4%, 5.6%의 비트량을 절감할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. Inter 모드들의 성능 향상이 Inter 모드와 공간예측 모드를 모두 사용하였을 때의 성능향상에 미치는 영향 또한 실험하였다. 표 4와 5는 P 프레임과 B 프레임에서 공간예측모드를 사용하였을 때의 성능을 비교하였다. IPPP 구조와 IBBP 구조에서 각각 0..22%, 0.47%의 비트를 절감할 수 있음을 확인할 수 있었다. 전체적인 성능에는 큰 향상이 없었지만 시간적 중복성을 제거하는 Inter 모드 부호화에서는 향상이 있음을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

표 4. IPPP Inter 모드 부호화 시 압축성능

Sequence	Compression Ratio		Relative Bits(%)
	JFVM	Proposed	
AnalogTV	1.64	1.64	0.08
Bicycle	1.80	1.80	0.23
Dinner	1.61	1.62	0.60
Tomatoes	1.76	1.76	-0.02
Average	1.70	1.71	0.22

표 5. IBBP Inter 모드 부호화 시 압축성능

Sequence	Compression Ratio		비트절감
	JFVM	Proposed	
AnalogTV	1.62	1.63	0.26
Bicycle	1.81	1.82	0.57
Dinner	1.61	1.63	1.02
Tomatoes	1.76	1.76	0.04
Average	1.70	1.71	0.47

5. 결론

현재 JVT에서는 디지털 시네마 영상을 위한 Advanced 4:4:4 프로파일에 대한 표준화를 진행 중이다. 디지털 시네마 영상은 기존 영상들과 달리 RGB 4:4:4 포맷을 가지며 화소당 비트수도 10-12비트로 많은 비트를 가진다. 또한 공간적인 해상도가 HD급 이상으로 높은 반면 초당 프레임율은 24Hz로 30Hz 영상에 비해 공간적 중복성은 높지만 시간적인 중복성은 떨어지는 경향이 있다. 본 논문에서 H.264 Advanced 4:4:4 프로파일의 Inter 부호화에 적용될 수 있는 잔차신호 변환을 제안하였다. 제안된 잔차신호 변환 방법은 기존에 제안된 인트라 잔차신호변환을 Inter 모드로 확장한 방법이다. 제안된 방법을 적용하기 위해서는 매크로 블록당 2비트의 추가 비트가 필요하다. 제안된 방법을 적용한 결과 Inter 예측모드의 성능을 크게 향상함을 확인할 수 있었다. 그러나 공간예측모드와 Inter 예측모드를 모두 사용하였을 경우는 공간예측모드의 뛰어난 압축성능으로 전체적인 성능향상은 미세함을 알 수 있었다. 그러나 제안된 방법은 Inter 예측 모드의 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 다른 기술들과 결합하여 향후 JFVM 코덱의 전체적인 압축성능을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

6. 참고문헌

[1] ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10, "Advanced Video coding for generic audiovisual services", May 2003

[2] ISO/IEC 14496-2 "Information Technology -Coding of Audio Visual Objects Part 2: Visual", December. 1998

[3] ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG), "Video Codec Test Model Near-Term, Version 10 (TMN10) Draft 1", April 1998

[4] ITU-T Recommendation H.262 and ISO/IEC 13818-2, "Information technology - Generic coding of moving picture and associated audio information: Video", July, 1995

[5] 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.

[6] 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.

[7] Y.L.Lee and K.H.Han, "Complexity of the proposed lossless intra for 4:4:4", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16 Joint Video Team document JVT-Q035r1, Oct, 2005.

[8] Y.L.Lee, K.H.Han,and S.C.Lim "Lossless intra Conding for Improved 4:4:4", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16 Joint Video Team document JVT-P016, Jul, 2005.

[9] "http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/2005_10_Nice/JVT-Q207r1.zip"

[10] "http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/jm96.zip"