

레터논문-07-12-4-09

무손실 동영상 압축을 위한 향상된 CABAC

김 대 연^{a)}, 최 진 수^{b)}, 이 영 렬^{a)†}

Improved CABAC for Lossless Video Compression

Dae-Yeon Kim^{a)}, Jin-Soo Choi^{b)} and Yung-Lyul Lee^{a)†}

요 약

본 논문에서는 H.264/AVC에서 무손실 압축을 위하여 향상된 CABAC 엔트로피 부호화 방법을 제안한다. H.264/AVC의 CABAC은 손실 압축을 지원하기 위해 개발되었기 때문에 무손실 압축에서 사용할 경우 압축 성능이 좋지 않다. 실제로 H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일의 무손실 압축을 위한 엔트로피 부호화에도 기존의 방법을 수정 없이 그대로 사용하고 있기 때문에 엔트로피 측면에서 비효율성을 노출하고 있다. 따라서 H.264/AVC Advanced 4:4:4의 무손실 압축을 위해 잔여 신호의 통계적 특성을 고려한 이진화 방법을 제안하였다. 실험 결과, 제안된 방법은 기존의 무손실 부호화와 비교하여 약 3.4%의 비트율을 절약할 수 있었다.

Abstract

In this paper, an improved CABAC is proposed for the lossless compression in H.264/AVC. CABAC in the lossless coding is not as efficient as that in the lossy compression since it was developed for lossy coding. CABAC for the lossless coding in H.264/AVC Advanced 4:4:4 Profile is applied without the change of the conventional binarization method. Thus, a binarization method considering the statistical characteristic of residual signals is proposed for the lossless coding in H.264/AVC Advanced 4:4:4 Profile. The experimental results show that the proposed method obtains approximately 3.4% bitrate reduction in comparison to that of the conventional lossless coding.

Keywords : H.264/AVC, CABAC, lossless coding, entropy coding

1. 서 론

최근 표준화가 완료된 H.264/AVC^{[1][2]}는 기존의 압축 표준과 비교하여 MPEG-2의 약 2배, MPEG-4 ASP(Ad-

vanced Simple Profile)의 약 1.5배의 압축 성능의 향상을 보인다. 이러한 압축 성능의 향상은 가변 블록 크기의 움직임 예측 및 보상, 정수 변환 및 양자화, 1/4 화소 단위의 화면 간 예측, 다중 참조 프레임 기반의 움직임 예측 및 보상, 향상된 디블로킹 필터, 향상된 엔트로피 부호화 등의 다양한 신기술로 인한 것이다. 특히 main 프로파일 이상의 프로파일에서 사용되는 CABAC(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)^{[3][4]}은 CAVLC(Context Adaptive Variable Length Coding)와 비교하여 약 9%~14%의 비트율을 절약하는 것으로 보고되었다. 이러한 우수한 성능을

a) 세종대학교 컴퓨터공학과 DMS 연구실
DMS Lab., Dept. of Computer Engineering, Sejong University

b) 한국전자통신연구원 전파방송연구단
Radio & Broadcasting Research Division, ETRI

† 교신저자: 이영렬(yllee@sejong.ac.kr)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술 개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S005-01, AV코덱 고도화를 통한 리치미디어 방송기술 개발]

보이는 이유로 CABAC은 현재 표준화 진행 중인 SVC (Scalable Video Coding) 및 MVC(Multiview Video Coding)에 채택되었다. 하지만 CABAC은 손실 압축을 지원하기 위해 개발되었기 때문에 무손실 압축에 사용될 경우 압축 성능이 좋지 않다. 실제로 H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일^[5]의 무손실 압축에도 기존 H.264/AVC main 프로파일의 CABAC을 수정 없이 그대로 사용하고 있기 때문에 엔트로피 측면에서 비효율성을 노출하고 있다. 따라서 본 논문에서는 H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일의 무손실 부호화의 성능 향상을 위해 잔여 신호 레벨의 통계적 특성을 고려한 이진화 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성된다. 2장에서는 CABAC에 대한 전체적인 구조와 이진화 방법에 대해서 설명한다. 3장에서는 무손실 부호화를 위해 제안된 방법을 설명한다. 그리고 4장에서는 제안한 방법과 기존의 CABAC을 사용한 H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일과의 압축 성능을 비교하며 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. CABAC

1. CABAC의 구조

CABAC의 전체적인 구조는 이진화 단계, 컨텍스트 모델링 단계, 이진 산술 부호화 단계로 구성된다. 그림 1은 CABAC 엔트로피 부호기에서의 이진화 과정에 대한 블록 다이어그램을 나타내며 그림 2는 이진화 과정 후에 수행되는 컨텍스트 모델링과 산술 부호화 과정을 나타낸 블록 다이어그램이다. 이진화는 구문 요소(syntax element)를 "bin string"으로 불리는 이진 값으로 표현하는 과정이다. 이진 값이 아닌 구문 요소가 입력되었을 경우에는 이진화부(binizer)에서 각 구문 요소에 미리 정의된 이진화 방식을 이용하여 입력된 값에 해당하는 bin string을 출력한다. 만약 입력된 구문 요소가 이진화된 값을 갖는 경우에는 이 과정이 생략되고 본래의 이진값이 bin string으로 간주된다. 그리고 bin string의 각 bin들은 regular coding mode 혹은 bypass coding mode로 진행된다.

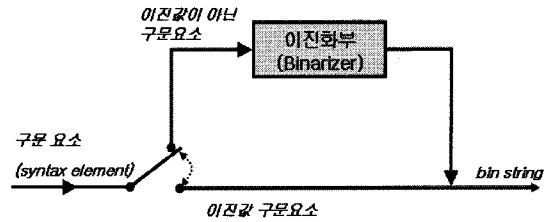


그림 1. CABAC 엔트로피 부호기의 이진화 과정
Fig 1. Binarization process of CABAC encoder

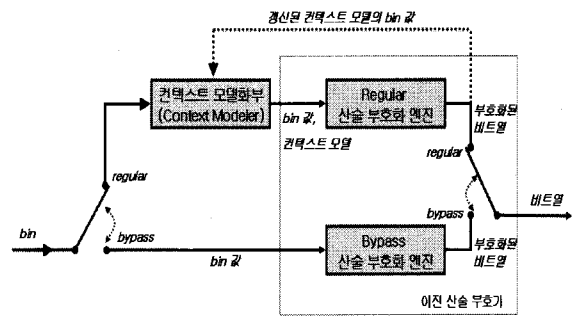


그림 2. CABAC 엔트로피 부호기의 컨텍스트 모델링과 산술 부호화 과정
Fig 2. Context modeling and arithmetic coder of CABAC encoder

2. 이진화(Binarization)

이진화 과정은 CABAC의 전체적인 성능에 직접적으로 영향을 미치는 매우 중요한 부분이기 때문에 각 구문 요소의 통계적 특성에 적합하게 디자인되어야 한다. CABAC에서는 각 구문 요소의 통계적 특성에 적합하면서 부호기와 복호기에서 테이블 없이 부호어를 생성할 수 있고 여러 환경에 강한 고정 길이 부호, truncated unary 부호, k^{th} order exponential Golomb 부호 방식 등을 이진화 과정에 이용한다. 특별히 움직임 벡터의 차분치와 변환 계수 레벨의 절대값(Absolute values of transform coefficient level; *abs_level*)에 대한 구문 요소에 대하여 작은 값의 심볼은 truncated unary 부호를 사용하고 큰 값의 심볼은 truncated unary와 k^{th} order Exp-Golomb이 연결된 부호(UEGk)를 사용한다. 이렇게 작은 값의 심볼에 대하여 truncated unary 부호를 접두어로 사용하는 이유는 부호어를 생성하는데 있어서 가장 간단하고 컨텍스트 모델링 과정에서 각 심볼들에 대하여 확률을 적용할 수 있기 때문에 부호화 효율을

높일 수 있기 때문이다. Exp-Golomb은 다양한 확률 분포를 갖는 구문 요소들에 대하여 각 구문 요소의 확률 분포에 적합하도록 차수(k)를 다르게 사용하여 부호어를 생성할 수 있는 장점이 있다. 만약 심볼의 확률 분포가 분산이 크고 꼬리가 넓게 나타나면 높은 차수(k)의 Exp-Golomb 부호를 사용하는 것이 효율적이다. *abs_level*의 UEG k 이진화는 그 값이 15 보다 작을 경우는 오직 truncated unary 이진화 방법을 사용하며 그 이상일 경우에 0th order Exp-Golomb 부호어를 접미어로 사용한다. 표 1은 1에서 19까지의 *abs_level* 값에 대한 bin string을 나타낸 표이다.

표 1. *abs_level*에 사용되는 UEG0 이진화
Table 1. UEG0 binarization for coding of *abs_level*

<i>abs_level</i>	Bin string	
	Truncated Unary	0 th order Exp-Golomb
1	0	
2	10	
3	110	
4	1110	
5	11110	
6	111110	
7	1111110	
8	11111110	
9	111111110	
10	1111111110	
11	11111111110	
12	111111111110	
13	1111111111110	
14	11111111111110	
15	11111111111111	0
16	111111111111111	100
17	1111111111111111	101
18	11111111111111111	11000
19	111111111111111111	11010

III. 무손실 압축을 위한 잔여 신호의 이진화

1. 기존 이진화 방법의 문제점

H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일은 무손실 부호화를 지원하며, residual DPCM 방법^[6]이 추가되면서 약 1.9 대 1의 높은 압축률을 보이고 있다. 하지만 엔트로피 부호기에서 기존의 *abs_level* 부호화 방법을 *residual_level* 부호화에 그대로 적용하기 때문에 비효율적이다. 그림 3은 Analog TV 영상에 대하여 손실 부호화(QP=12)를 했을

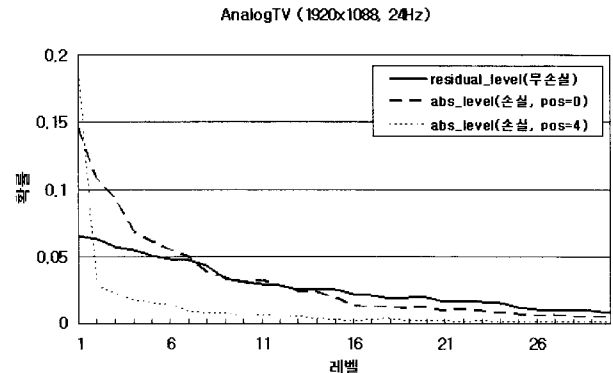


그림 3. Analog TV 영상에 대해 무손실 및 손실 부호화 레벨의 확률 분포
Fig 3. Probability distribution of level in lossy coding and lossless coding in AnalogTV sequence

때의 *abs_level*에 대한 확률 분포와 무손실 부호화를 했을 때의 *residual_level*에 대한 확률 분포를 비교한 그래프이다. 모두 화면 내 예측 프레임으로 부호화하였고 CABAC을 사용하였다. 그리고 *abs_level*에 대한 확률 분포는 DCT 영역의 위치에 따라 확률 분포 특성이 많은 차이를 보이기 때문에 DC(pos=0)와 AC(pos=4) 성분의 확률 분포를 모두 나타내었다. 그림을 통해 무손실 부호화를 했을 때와 손실 부호화를 했을 때의 심볼들의 확률 분포는 매우 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 무손실 부호화의 레벨의 확률 분포 특성에 적합한 새로운 이진화 방법이 필요하다.

2. 제안된 잔여 신호를 위한 이진화

그림 3에서 나타난 것처럼, *residual_level*의 전체적인 확률 분포가 분산이 상당히 크고 꼬리가 매우 넓게 나타나기 때문에 낮은 확률을 보이는 *residual_level*에 대해서는 기존의 0th order Exp-Golomb가 아닌 보다 큰 차수의 Exp-Golomb 이진화 방법을 사용하는 것이 더 효율적이다. 또한 무손실 부호화의 레벨의 확률 분포는 높은 확률을 갖는 레벨이 넓게 분포한다. 이렇게 높은 확률을 보이는 레벨에 대해서는 truncated unary를 상위 많은 수의 레벨에 대해서 사용하면 부호어의 각 bin에 대한 확률을 나타내는 컨텍스트 모델을 사용할 수 있기 때문에 부호화 과정 중 최적의 확률이 갱신되어 보다 효율적인 이진 산술 부호화가 이루어

표 2. 실험에 사용된 실험 조건

Table 2. Experimental condition and sequences

영상	부호화된 프레임 수	실험 조건
Analog TV (1,920x1,088)	58 (24Hz)	울-왜곡 최적화 사용, CABAC 엔트로피 부호화, 화면 내 예측 프레임만 사용
Bicycle (1,920x896)	58 (24Hz)	
Cardtoss (1,920x1,088)	58 (24Hz)	
Dinner (1,920x1,088)	58 (24Hz)	
Restaurant (1,920x896)	58 (24Hz)	
Tomatoes (1,920x1,088)	58 (24Hz)	

표 3. JFVM과 제안된 방법의 압축 성능 비교

Table 3. The comparison of compression performance with JFVM

영상	원본 영상의 비트량(A)	사용된 방법	전체 비트량(B)	압축률 (A/B)	비트절약 (%)
Analog TV	3,760,128,000	JFVM	2,268,014,304	1.658	0
		Proposed	2,134,022,128	1.762	5.908%
Bicycle	3,096,576,000	JFVM	1,692,078,472	1.830	0
		Proposed	1,673,041,936	1.851	1.125%
Cardtoss	3,760,128,000	JFVM	2,285,219,440	1.645	0
		Proposed	2,190,949,160	1.716	4.125%
Dinner	3,760,128,000	JFVM	2,297,972,104	1.636	0
		Proposed	2,175,198,672	1.729	5.343%
Restaurant	3,096,576,000	JFVM	1,586,256,840	1.952	0
		Proposed	1,555,267,920	1.991	1.954%
Tomatoes	3,760,128,000	JFVM	2,082,221,512	1.806	0
		Proposed	2,036,897,120	1.846	2.177%
Average		JFVM		1.755	0
		Proposed		1.816	3.439%

어질 수 있다. 따라서 기존의 상위 14개의 레벨에 대해 truncated unary를 사용하는 것보다 더 많은 수의 레벨에 대해서 사용하는 것이 더 효율적이다. 상위 몇 개의 레벨에 대하여 truncated unary를 사용할 것인지에 대한 임계값을 정하기 위하여 여러 임계값을 후보로 하여 다수의 영상에 대한 무손실 부호화 실험을 하였다. 그 결과, 상위 32개의 레벨에 대해서는 truncated unary를 사용하고, 그보다 큰 레벨들은 UEG3를 사용할 때 가장 높은 효율을 보였다. 따라서 제안된 방법은 이 임계값을 사용하여 실험을 하였다.

IV. 실험 결과

실험을 위해 MPEG에서 권장하는 10 bits depth를 갖는 RGB 4:4:4 포맷의 영상을 사용하였다. 그리고 H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일의 참조 소프트웨어인 JFVM

1.10^[7]을 이용하여 성능을 평가하였다. 실험 영상과 실험 조건에 관한 자세한 설명은 표 2에 나타내었다. 표 3에서 제안된 방법이 JFVM과 비교하여 최저 1.13%, 최고 5.91%의 비트량이 절약되었으며 평균 3.44%의 비트량이 절약되는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 H.264/AVC Advanced 4:4:4의 무손실 압축의 성능 향상을 위해 잔여 신호 레벨의 통계적 특성에 적합한 이진화 방법을 제안하였다. 실험 결과, 기존의 H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일의 무손실 부호화와 비교하여 약 3.44%의 비트율을 절약할 수 있었다. 본 논문을 통해 제안된 방법은 H.264/AVC Advanced 4:4:4 프로파일 뿐만 아니라 CABAC이 이용되는 무손실 압축에서 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] "Advanced Video Coding for Generic Audio visual Services", ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10, May, 2003.
- [2] Thomas Wiegand, et al, "Overview of the H.264/AVC video coding standard", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.13, No.7, pp560-576, July 2003.
- [3] D. Marpe, et al., "Context-Based Adaptive Binary Arithmetic Coding in the H.264/AVC Video Compression Standard," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.13, No.7, pp620-636, July 2003.
- [4] D. Marpe, et al., "Adaptive Codes for H.26L"; ITU-T Telecommunications Standardization Sector: Video Coding Experts Group Document; Document VCEG-L13; Twelfth Meeting: Eibsee, Germany, Jan. 9-12, 2001.
- [5] 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; Oct, 2005.
- [6] Y.L. Lee and K.H.Han, "Complexity of prop. lossless intra for 4:4:4"; ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16 Joint Video Team; Document JVT-Q035; the 74th Meeting, Nice, France Oct. 10-17, 2005.
- [7] http://mpeg.nist.gov/mpeg/docs/75_Bangkok/wg11/w7794.zip