H.264/AVC 무손실 화면내 부호화를 위한 향상된 CABAC

An Improved CABAC for H.264/AVC Lossless Intraframe Coding

허 진 · 호 요 성
Jin Heo · Yo-Sung Ho

H.264/AVC 비디오 압축 표준에서 엔트로피 부호화 방법의 하나인 문맥 기반 적응적 이진 산술 부호화(CABAC: Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)는 손실(lossy) 압축 부호화 환경에 적합하게 설계됐다. 또한 H.264/AVC 고급 프로파일(Advanced 4:4:4)에서 지원하는 비 변환 무손실 모드(transform-bypass lossless mode)의 경우 손실 부호화를 기반으로 설계된 CABAC을 무손실(lossless) 부호화에서 그대로 사용하므로 최적의 부호화 성능을 제공하지 못한다. 본 논문에서는 H.264/AVC의 손실 부호화와 무손실 부호화 환경에서 잔여신호의 통계적 특성에 분명한 차이가 있음을 확인하고 무손실 화면내 부호화 환경에서 잔여신호의 통계적 특성을 고려하여 향상된 CABAC 기반의 잔여신호 부호화 방법을 제안한다. 실험 결과로부터 무손실 화면내 부호화 환경에서 본 논문에서 제안하는 향상된 CABAC 방법이 기존의 CABAC 방법에 비해 평균적으로 약 19% 정도의 비트수를 감소시키는 것을 확인했다.

주제어: H.264/AVC, 무손실 부호화, 문맥 기반 적응적 이진 산술 부호화, 화면내 부호화

Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC) as the entropy coding tool in the H.264/AVC standard was originally designed for lossy video coding. Moreover, since the transform-bypass lossless mode supported in the current H.264/AVC high profile kept to use the original CABAC method designed for lossy video coding in lossless video coding, it might not provide the best coding performance for lossless video coding. In this paper, after we confirmed that there were significant differences in the statistics between residual data of lossy and lossless coding, we proposed an improved CABAC method for lossless intra coding by considering the statistical characteristics of residual data in lossless intra coding. Experimental results showed that the proposed method achieved bit saving by 19%, compared to the original CABAC for lossless intra coding.

Keywords: H.264/AVC, Lossless coding, Context-based adaptive binary arithmetic coding, Intra coding

I. 서 론

H.264/AVC 비디오 부호화 표준은 이전의 비디오 부호화 표준인 MPEG-2/4, H.263 등에 비해 높은 부호화 효율을 제공하는데 이는 가변 블록 기반의 움직임 보상, 복수의 참조 영상, 1/4 화소 단위 부화소 움직임 예측, 문맥 적응적 엔트로피 부호화와 같은 기술들이 사용되기 때문이다[1],[2].

지금까지 H.264/AVC 비디오 부호화 표준은 주로 손실(lossy) 부호화를 기반으로 연구되어 왔기 때문에 무손실(lossless) 부호화 환경에서는 기존의 무손실 부호화 방법인 Lossless Joint Photographic Experts Group(JPEG-LS)[3]에 비해 비교적 효율이 낮다. 따라서 H.264/AVC 표준은 최근 무손실 부호화의 효율을 높이기 위해 비 변환 무손실 모드(transform-bypass lossless mode)[4]를 지원하는 고급 프로파일

논문번호: TR10-089, 논문접수일자:2010.10.27, 논문수정일자:2011.05.24, 논문게재확정일자:2011.06.07
허 진, 호요성: 광주과학기술원

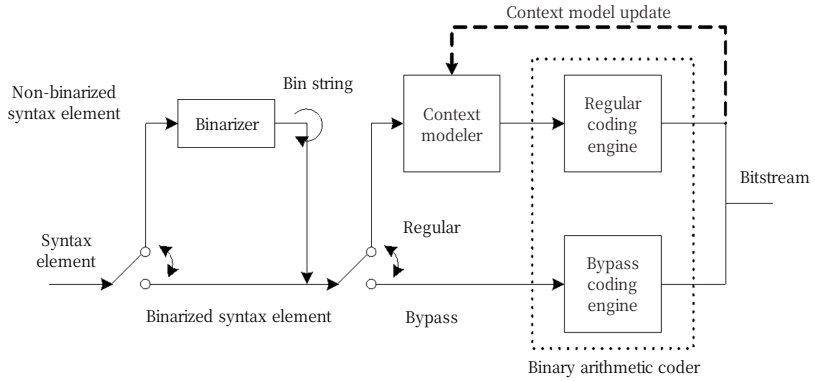

그림 1. CABAC의 부호화 구조

(FREXt: Fidelity Range Extensions)[5],[6]을 개발했다. 비 변환 무손실 모드는 변환(transform)과 양자화(quantization)[7] 과정을 수행하지 않고 단지 예측과 엔트로피 부호화만을 사용하여 무손실 부호화를 수행한다.

최근 무손실 부호화의 효율을 향상시키기 위한 새로운 화면내 부호화 방법들이 제안됐다[8],[9]. 제안한 방법은 화면내 예측 후 차분신호를 차동 펄스 부호 변조(DPCM: Differential Pulse-Code Modulation)하는 방법이다. 그 결과 제안한 화면내 부호화 방법들은 무손실 부호화의 효율을 향상시켰다.

손실 부호화에서 잔여신호는 양자화 변환된 값이지만 무손실 부호화에서 잔여신호는 변환과 양자화 과정을 수행하지 않으므로 단순히 원 영상과 예측된 영상의 차분값이다. 따라서 손실 부호화와 무손실 부호화의 잔여신호 사이에는 명확한 통계적 특성 차이가 존재한다. 이로 인해 본래 손실 부호화에서 양자화 변환된 잔여 신호의 통계적 특성에 적합하게 설계된 현재 H.264/AVC 표준의 두 엔트로피 부호화 방법: 문맥 기반 적응적 가변길이 부호화(CAVLC: Context-based Adaptive Variable Length Coding)[10],[11]와 문맥 기반 적응적 이진 산술 부호화(CABAC: Context-Based Adaptive Binary Arithmetic Coding)[12],[13]는 무손실 부호화에서 잔여신호 부호화에 적합하지 않다.

이전 연구에서 우리는 무손실 부호화를 위한 향상된 CAVLC 방법을 제안했다[14],[15]. 비록 CAVLC는 H.264/AVC의 모든 프로파일에서 이용 가능하지만 주로 베이스라인 프로파일에서 사용되며 휴대전화와 같은 무선 모바일 응용 시스템과 영상전화 또는 영상회의 시스템 등과 같은 실시간 및 양방향통신 응용 시스템을 위해 정의된다[16]. 이로 인해 CAVLC 방법은 방송 및 저장 매체 분야 등 대용량의 콘텐츠를 처리하는 응용 시스템에는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 무손실 부호화에서 잔여신호의 통계적 특성을 살펴본 후 이를 고려한 향상된 CABAC 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 H.264/AVC 표준의 CABAC 방법에 대해 설명한 후 III장에서 무손실 화면내 부호화를 위한 새로운 CABAC 방법을 제안한다. IV장에서 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위한 실험 환경과 실험 결과를 제시한 후 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. H.264/AVC의 CABAC 개요

1. CABAC 구조

CABAC의 부호화 과정은 크게 네 단계: 이진화, 문맥 모델링, 이진 산술 부호화, 확률 업데이트로 구성된다. 그림 1은 단일 신택스 요소를 부호화하기 위한 CABAC의 블록 다이어그램을 나타낸다.

첫번째 단계는 이진값이 아닌 신택스 요소를 이진화된 시퀀스로 매핑하는 과정이다. 만약 이진값을 갖는 신택스 요소가 입력신호로 주어지면 첫번째 단계인 이진화 과정은 생략된다. 두번째 단계는 문맥 모델링 과정이다. 정규 부호화 모드에서 실제 산술 부호화 과정을 수행하기 전에 이진화된 시퀀스의 각 이진값은 문맥 모델 단계로 들어간다. 여기서 이진값은 이진화 과정에서 생성된 이진 시퀀스의 각각의 비트를 의미한다. 문맥 모델링 단계에서는 현재 이진값에 대응하는 확률 모델을 이전에 부호화된 신택스 요소 혹은 이진값에 따라 선택한다. 확률 모델을 결정한 후 결정된 확률 모델과 주어진 이진값을 이용하여 이진 산술 부호화를 수행한다. 마지막으로 선택된 확률 모델을 업데이트한다.

2. CABAC의 잔여신호 부호화

그림 2는 4×4 하위 블록에서 양자화 변환된 계수의 CABAC 부호화 과정을 나타낸다. 먼저 주어진 하

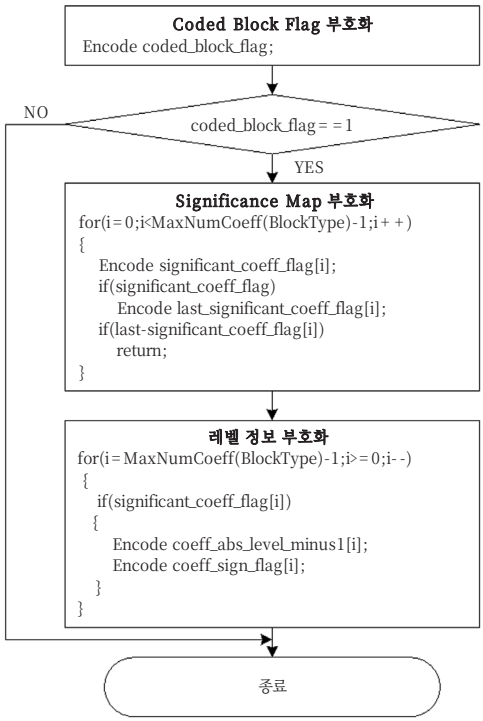

그림 2. 잔여신호에 대한 CABAC의 부호화 구조

위 블록의 부호화 블록 플래그(coded block flag)를 사용하여 현재 하위 블록 내에 0이 아닌 계수가 존재하는지를 나타낸다. 만약 부호화 블록 플래그값이 0이면 더 이상 전송할 정보가 없으므로 현재 하위 블록에 대한 부호화 과정을 종료한다. 반대로 부호화 블록 플래그 값이 1이면 significance map 부호화와 레벨 정보 부호화 과정을 수행한다.

부호화 블록 플래그의 부호화 과정에서는 각 4×4 하위 블록마다 1비트의 신택스 요소 coded_block_flag를 전송하여 현재 하위 블록이 0이 아닌 계수를 포함하고 있는지 여부를 나타낸다. 만약 coded_block_flag값이 0이면 더이상 전송할 정보가 없으므로 현재 하위 블록에 대한 잔여신호 부호화 과정을 종료한다. 만약 coded_block_flag값이 1이면 significance map과 레벨 정보 부호화 과정을 계속해서 수행한다.

만약 coded_block_flag가 현재 하위 블록 내에 0이 아닌 계수가 존재한다고 나타내면 significance map 부호화 과정에서는 이진값을 갖는 significance map을 부호화한다. 스캔 순서에 따라 각각의 계수에 대해 1비트 신택스 요소 significant_coeff_flag를 부호화한다. 만약 현재 스캔 위치에서 계수의 값이 0이 아니면 significant_coeff_flag값은 1이 되고 또다른 1비트 신택스 요소 last_significant_coeff_flag를 부호화한다. 이 신택스 요소는 현재 0이 아닌 계수가 하위 블록 내에서 마지막 계수인지 아닌지를 나타낸다.

레벨 정보 부호화 과정에서는 0이 아닌 계수를 두 신택스 요소: coeff_abs_level_minus1과 coeff_sign_flag를 사용하여 부호화한다. 여기서 신택스 요소 coeff_abs_level_minus1은 레벨의 절대값에서 1을 뺀 값을 의미한다. 이미 significance map 부호화 과정에서 0이 아닌 계수의 위치를 부호화했기 때문에 레벨 부호화 과정에서 레벨의 절대값에서 1을 뺀 값을 부호화하여 부호화 효율을 높일 수 있다. coeff_sign_flag는 1비트 심볼을 사용하여 레벨 부호의 부호화를 수행하고 coeff_abs_level_minus1의 값은 단항/0차 지수 Golomb(Unary/0^{th} order Exponential Golomb) 이진화 방법을 사용하여 부호화를 수행한다. 레벨의 부호화는 역으로 스캔된 순서에 따라 수행한다.

III. 무손실 화면내 부호화를 위한 향상된 CABAC

1. 무손실 환경에서 잔여신호의 통계적 특성

무손실 부호화에서 잔여 데이터는 양자화 변환된 계수가 아니고 원 영상과 예측된 영상의 차분 화소값이다. 따라서 손실 부호화와 무손실 부호화의 잔여 데이터 사이에는 통계적 특성 차이가 있다. 무손실 부호화에서 잔여 데이터의 통계적 특성은 다음과 같다.

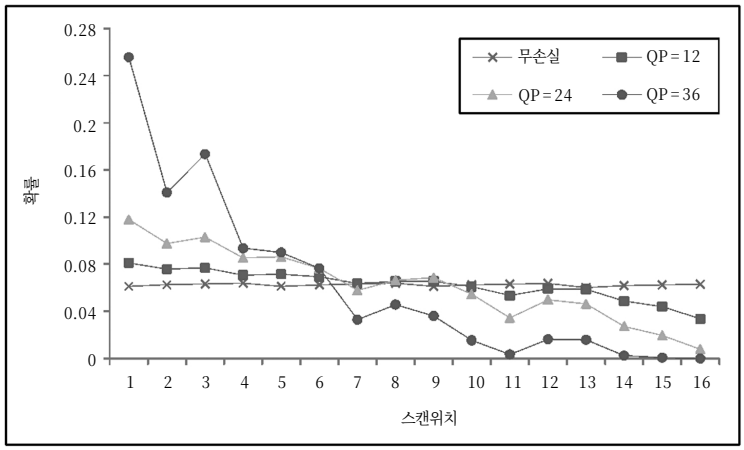

그림 3. 지그재그 스캔위치에 따른 0이 아닌 잔여 데이터의 확률분포

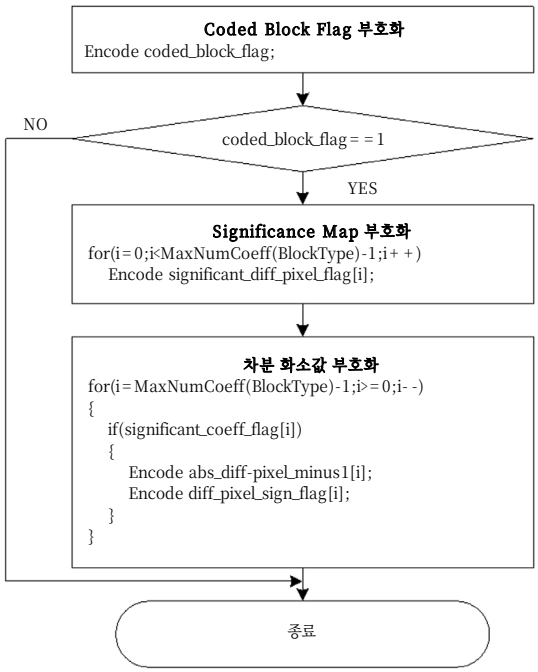

그림 4. 제안한 CABAC의 잔여 데이터 부호화 구조

① 0이 아닌 차분 화소의 확률분포는 스캔위치에 독립적이고 0이 아닌 차분 화소의 수는 일반적으로 손실 부호화에서 0이 아닌 계수의 수보다 많다.
② 0이 아닌 차분 화소의 절대값은 스캔위치가 커져도 (고주파 영역으로 이동) 작아지지 않는다. 즉 0이 아닌 차분 화소의 절대값은 스캔위치에 독립적이다.

그림 3은 스캔위치에 따른 0이 아닌 잔여 데이터의 확률분포를 나타낸다. 예상했던 대로 손실 부호화와 무손실 부호화의 잔여 데이터 사이에는 큰 통계적 특성 차이가 있음을 확인할 수 있다.

앞에서 언급한 무손실 부호화에서 잔여 데이터의 통계적 특성을 기반으로 무손실 화면내 부호화를 위한 향상된 CABAC 방법을 제안한다.

그림 4는 무손실 부호화에서 잔여 데이터의 통계적 특성을 고려한 새로운 CABAC 방법을 나타낸다. 제안

스캔위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
양자화 변환계수	9	0	-5	3	0	-7	4	0	8	-11	-6	0	3	1	0	0
significant_coeff_flag	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1		
last-significant_coeff_flag	0		0	0		0	0		0	0	0		0	1		

그림 5. 손실 부호화에서 significance map 부호화 예

표 1. 한 하위 블록에서 마지막 0이 아닌 잔여 데이터의 평균위치

영상 \ QP	0(무손실)	12	24	36
News(QCIF)	14.55	9.84	6.63	4.05
Foreman(QCIF)	14.77	12.55	6.99	2.83
Mobile(CIF)	14.79	12.85	10.45	6.29
Tempete(CIF)	14.79	12.46	9.04	3.81
City_corr(HD)	14.78	10.41	5.67	2.31
Night(HD)	14.57	8.79	4.68	2.59
Crowdrun(HD)	14.82	13.60	6.67	2.62
Parkjoy(HD)	14.79	13.35	7.37	3.14

한 방법의 부호화 순서는 다음과 같다.

① 1단계: 현재 하위 블록이 0이 아닌 차분 화소를 포함하고 있는지를 부호화한다(coded_block_flag).
② 2단계: 처음부터 마지막 스캔위치까지 각 스캔위치에서 차분 화소의 값이 0인지 아닌지를 부호화한다(significant_diff_pixel_flag).
③ 3단계: 제안한 이진화 방법을 사용하여 차분 화소의 절대값을 부호화한다(abs_diff_pixel_minus1).
④ 4단계: 차분 화소값의 부호를 부호화한다. (diff_pixel_sign_flag)

2. Significance Map 부호화

손실 부호화에서는 주어진 하위 블록 내의 0이 아닌 계수의 위치를 효율적으로 부호화하기 위해 두 신택스 요소 significant_coeff_flag와 last_significant_coeff_flag를 동시에 사용한다. 그림 3에서 보듯이 일반적으로 손실 부호화에서 0이 아닌 계수의 발생 확률은 스캔위치가 증가할수록(고주파 영역으로 이동) 감소한다. 따라서 마지막 0이 아닌 계수는 스캔위치에서 앞쪽에(저주파 영역) 존재할 확률이 크다. 이와 같은 경우, last_significant_coeff_flag는 효율적인 significance map 부호화를 위해 매우 중요하다.

그러나 무손실 부호화에서는 변환과 양자화 과정을 수행하지 않으므로 그림 3에서 보듯이 0이 아닌 차분 화소의 발생 확률은 스캔위치에 독립적이다. 이것은 무손실 부호화에서 마지막 0이 아닌 차분 화소는 스캔 위치의 뒤쪽에(고주파 영역) 존재할 확률이 크다는 것을 의미한다.

표 1은 한 하위 블록 내에서 마지막 0이 아닌 잔여 데이터가 존재하는 평균위치를 나타낸다. 무손실 부호화에서 마지막 0이 아닌 차분 화소가 존재하는 위치는 평균 14.7로 손실 부호화에서 마지막 0이 아닌 계수가 존재하는 평균위치보다 훨씬 더 뒤쪽에(고주파 영역) 위치한다. 이러한 경우 significance map 부호화 과정에서 last_significant_coeff_flag를 부호화하는 것은 무손실 부호화 압축 효율을 저하시킨다.

따라서 제안한 significance map 부호화 과정에서는 효율적인 무손실 부호화를 위해 last_significant_coeff_flag 부호화 과정을 제거하고 하위 블록 내 모든 스캔위치(스캔위치 1부터 16까지)에서 significant_diff_pixel_flag를 부호화한다.

그림 5는 손실 부호화에서 significance map 부호화 예를 나타낸다. 이때 마지막 0이 아닌 계수의 스캔위치는 14이다. 따라서 그림 5에서 회색으로 표시한 significant_coeff_flag와 last_significant_coeff_flag는 significance map 부호화 과정에서 모두 부호화한다.

그림 6은 무손실 부호화에서 significance map 부호화 예를 나타낸다. 앞에서 언급했듯이 무손실 부호화의 significance map 부호화 과정에서는 last_significant_coeff_flag 부호화 과정을 제거했기 때문에 significant_diff_pixel_flag를 마지막 스캔위치까지 모든 스캔위치에서 부호화한다. 따라서 그림 6에서 회색으로 표시한 significant_diff_pixel_flag는 제안한 significance map 부호화 과정에서 모두 부호화한다.

스캔위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
차분 화소값	9	0	-5	3	0	-7	4	0	8	-11	-6	0	3	1	0	0
significant_diff_pixel_flag	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0

그림 6. 무손실 부호화에서 significance map 부호화 예

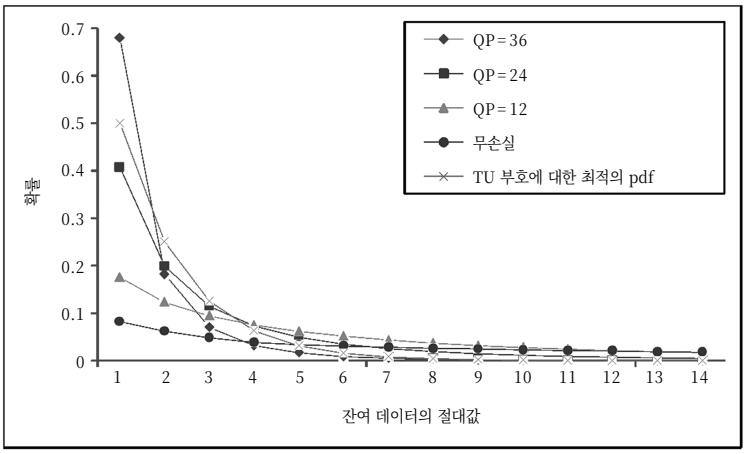

그림 7. 잔여 데이터의 절대값의 확률분포와 TU 부호의 최적의 pdf

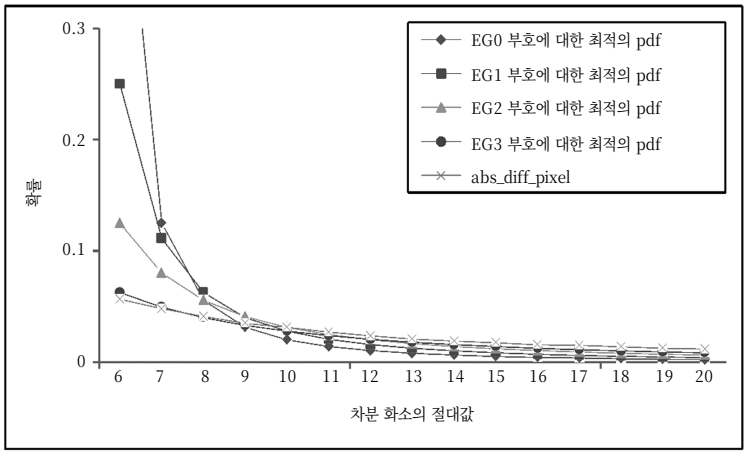

그림 8. k = 0, 1, 2, 3의 EGk에 대응하는 최적의 pdf의 확률분포와 차분 화소의 절대값의 확률분포

3. 차분 화소값의 이진화 방법

손실 부호화에서 양자화 변환된 계수의 절대값(abs_level)은 단항/k차 지수 Golomb 이진화 (UEGk: Unary/k^{th} order Exponential Golomb) 방법을 사용하여 이진화를 수행한다. 이 이진화 방법에서 작은 절대값의 계수는 절삭형 단항(TU: Truncated Unary) 부호를 사용하여 이진화를 수행하므로 가장 간단한 부호어를 사용하여 구현상의 복잡도를 줄일 수 있고 문맥 모델링 과정에서 각 심볼에 대하여 확률을 적용할 수 있다. 그러나 TU 이진화 방법은 작은 절대값의 계수는 정확하게 부호화하지만 큰 절대값의 계수를 정확하게

표 2. 제안한 UEG3 이진화

abs_diff_pixel	이진 시퀀스	
	TU 접두사	EG3 접미사
1	0	
2	1 0	
3	1 1 0	
4	1 1 1 0	
5	1 1 1 1 0	
6	1 1 1 1 1	0 0 0 0
7	1 1 1 1 1	0 0 0 1
8	1 1 1 1 1	0 0 1 0
9	1 1 1 1 1	0 0 1 1
10	1 1 1 1 1	0 1 0 0
11	1 1 1 1 1	0 1 0 1
12	1 1 1 1 1	0 1 1 0
13	1 1 1 1 1	0 1 1 1
14	1 1 1 1 1	1 0 0 0 0 0
15	1 1 1 1 1	1 0 0 0 0 1
…	…	…
	1 2 3 4 5	6 7 8 9 10 11 …

부호화하는 데는 한계가 있다. 따라서 큰 절대값의 계수는 TU 부호와 지수 Golomb 부호를[17] 결합하여 이진화를 수행한 후 부호화한다.

abs_level의 UEGk 이진화는 cutoff 값이 14인 TU 부호어를 접두사로 0차 지수 Golomb(EG0) 부호어를 접미사로(UEG0) 사용한다. 즉 abs_level 값이 14보다 작으면 TU 부호어를 접두사로 사용하여 부호화를 수행하고 그 이상이면 TU 부호어와 EG0 부호어를 각각 접두사와 접미사로 결합하여 부호화를 수행한다. Golomb 부호어는 기하학적 분포를 갖는 심볼을 부호화하는데 매우 효율적이기 때문이다[18]. 특히 EG0은 식 (1)에 나타낸 확률밀도함수(probability density function, pdf)에 최적화된 부호이다.

$$p(x) = 1/2 \cdot (x+1)^{-2} \; with \; x \geq 0 \qquad (1)$$

이론적으로 부호화의 성능은 할당된 부호어의 통계적 특성이 부호화할 심볼의 분포 특성에 얼마나 근접하는가에 달려있다. 그러므로 잔여 데이터의 통계적 특성과 현재 이진화에 사용되는 TU 부호와 EG0 부호의 통계적 특성을 비교하면 부호화 성능을 확인할 수 있다.

무손실 부호화에서 차분 화소의 절대값(abs_diff_pixel)의 통계적 특성은 손실 부호화에서 abs_level의 통계적 특성과 큰 차이가 있다. 손실 부호화에서 abs_level의 통계적 분포는 작은값으로 집중된다. 그러나 무손실 부호화에서 abs_diff_pixel의 통계적 분포는 그림 7에서 보듯이 전 영역에 넓게 분포한다. 또한 그림 7로부터 TU 부호는 abs_level의 통계적 분포에 적합하게 설계된 부호인 반면 abs_diff_pixel의 통계적 분포에는 적합하지 않다는 것을 확인할 수 있다.

표 3. 실험 환경

실험 변수	값
ProfileIDC	244 (High4:4:4)
IntraPeriod	1(Only intra)
QPISlice	0(Lossless)
SymbolMode	1(CABAC)
ContextInitMethod	1(Adaptive)
LosslessCoding	1(Lossless)

무손실 부호화에서 abs_diff_pixel을 효율적으로 부호화하기 위해 UEG0 이진화에서 TU 부호어의 cutoff 값을 변경해야 한다. 그림 7에서 보듯이 TU 부호에 대한 최적의 pdf 곡선과 무손실 부호화에서 abs_diff_pixel의 확률분포 곡선은 잔여 데이터의 절대값이 5인 곳에서 만난 후 잔여 데이터의 절대값이 증가함에 따라 TU 부호와 abs_diff_pixel 사이의 통계적 차이는 점차 증가한다. 따라서 제안한 이진화 방법에서는 접두사로 사용하는 TU 부호어의 cutoff값을 5로 결정한다.

표 4. 제안한 방법과 기존 방법의 성능 비교

영상	원 영상 크기(bits)	방법	전체 비트수(bits)	압축율	비트수 이득(%)
News(QCIF, 176×144) 100frames	30412800	H.264/AVC	13941080	2.1815	0
		방법 1	12563136	2.4208	9.884
		방법 2	12197216	**2.4934**	**15.639**
Foreman(QCIF, 176×144) 100frames	30412800	H.264/AVC	14344176	2.1202	0
		방법 1	12857928	2.3653	10.361
		방법 2	12572368	**2.4190**	**12.352**
Stefan(QCIF, 176×144) 100frames	30412800	H.264/AVC	22032608	1.3804	0
		방법 1	20533296	1.4811	6.805
		방법 2	16202112	**1.8771**	**26.463**
Mobile(CIF, 352×288) 100frames	121651200	H.264/AVC	91371512	1.3314	0
		방법 1	85034984	1.4306	6.935
		방법 2	68152408	**1.7850**	**25.412**
Tempete(CIF, 352×288) 100frames	121651200	H.264/AVC	79063136	1.5387	0
		방법 1	72756080	1.6720	7.977
		방법 2	60830560	**1.9998**	**23.061**
Flowergarden(CIF, 352×288) 100frames	121651200	H.264/AVC	89969768	1.3521	0
		방법 1	84104624	1.4464	6.519
		방법 2	65517600	**1.8568**	**27.178**
City_corr(HD, 1280×720) 100frames	1105920000	H.264/AVC	565080864	1.9571	0
		방법 1	507403880	2.1796	10.207
		방법 2	470393024	**2.3511**	**16.757**
Night(HD, 1280×720) 100frames	1105920000	H.264/AVC	455951136	2.4255	0
		방법 1	411091016	2.6902	9.839
		방법 2	408736112	**2.7057**	**10.355**
Crowdrun(HD, 1920×1080) 100frames	2488320000	H.264/AVC	1250235376	1.9903	0
		방법 1	1120777696	2.2202	10.355
		방법 2	1047171240	**2.3762**	**16.242**
Parkjoy(HD, 1920×1080) 100frames	2488320000	H.264/AVC	1283550664	1.9386	0
		방법 1	1155350512	2.1537	9.988
		방법 2	1043186200	**2.3853**	**18.727**
평균		H.264/AVC		1.8216	0
		방법 1		2.0060	8.887
		방법 2		**2.2249**	**19.219**

변형된 TU 부호어를 기반으로 무손실 부호화 효율을 더욱 높이기 위해 EGk 부호어에 대한 적합한 매개변수 k 값을 결정한다. 심볼 x에 대한 EGk 부호어는 다음과 같이 생성된다. 먼저 접두사는 $l(x) = \lfloor \log_2(x/2^k + 1) \rfloor$의 값으로 표현되며 접미사는 $k + l(x)$ 길이를 갖는 $x + 2^k(1\text{-}2^{l(x)})$값의 이진 비트열로 표현된다. 매개변수 k에 따라 최적의 부호를 갖는 각각의 EGk 부호의 pdf는 식 (2)를 이용하여 계산한다.

$$p_k(x) = 1/2^{k+1} \cdot (x/2^k + 1)^{-2} \quad with\ x \geq 0 \tag{2}$$

여기서 $p_k(x)$는 EGk 부호의 최적의 pdf를 나타낸다.

그림 8은 매개변수 k 값이 0, 1, 2, 3일 때 $p_k(x)$의 확률분포와 6 20사이의 abs_diff_pixel의 확률분포를 나타낸다. 여기서 5까지의 abs_diff_pixel은 앞에서 언급한 TU 부호를 사용하여 이진화한다. 그림 8에서 보듯이 매개변수 k값이 3인 $p_3(x)$의 확률분포가

abs_diff_pixel의 확률분포와 가장 근접한 것을 알 수 있다. 이 결과는 EG3 부호가 무손실 부호화에서 6~20 사이의 abs_diff_pixel을 부호화하는데 가장 이상적인 코드라는 것을 의미한다.

이러한 결과로부터 우리는 무손실 부호화에서 효율적으로 abs_diff_pixel을 부호화하기 위한 새로운 이진화 방법을 개발했다. 제안한 abs_diff_pixel의 UEGk 이진화는 cutoff값이 5인 TU 부호어를 접두사로 3차 지수 Golomb(EG3) 부호어를 접미사로(UEG3) 사용한다. 표 2는 제안한 UEG3 이진화를 나타낸다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 H.264/AVC 표준 소프트웨어 JM 16.2 [19]를 이용하여 실험했다. 제안한 알고리즘의 효율성을 평가하기 위해 3개의 QCIF급, 3개의 CIF급, 4개의 HD급 해상도를 갖는 4:2:0 칼라 포맷 비디오 영상을 이용하여 무손실 화면내 부호화 환경에서 실험했다. 자세한 실험 환경은 표 3에 나타낸다.

표 3에서 '*LosslessCoding*'은 변환과 양자화 과정을 생략하고 곧바로 엔트로피 부호화 과정을 통해 잔여 신호를 부호화하는 무손실 부호화를 위한 설정변수이다. 단, 위 설정변수는 양자화 변수(QPISlice)값을 0(무손실)으로 설정했을 경우에만 유효하다.

제안한 방법의 효율을 증명하기 위해 두가지 실험을 수행했다. 첫번째 실험에서는 제안한 CABAC과 기존의 CABAC의 성능을 비교했다. 이때 무손실 화면내 부호화에서 제안한 방법 각각의 효율성을 평가하기 위해 다음과 같이 각 방법에 대한 성능 평가를 수행했다.

① 방법 1: 제안한 significance map 부호화
② 방법 2: 방법 1+제안한 차분 화소값의 이진화 부호화

두번째 실험에서는 제안한 방법(방법 2)을 기존의 무손실 부호화 방법인 JPEG-LS와 비교했다. 이때 JPEG-LS 프로그램은 JPEG 사이트[20]에서 다운로드했다. 각 실험 영상은 한 영상(첫번째 영상)만을 부호화한 후 결과를 비교했다.

제안한 방법과 H.264/AVC 참조 소프트웨어 방법의 성능 비교를 위해 압축율과 비트수 이득을 각각 식 (3)과 식 (4)를 사용하여 비교했다. 그리고 제안한 방법과 JPEG-LS 방법의 성능 비교는 식 (3)의 압축율을 이용하여 수행했다.

$$\text{압축율} = \frac{\text{비트수}_{\text{원영상}}}{\text{비트수}_{\text{제안한 방법}}} \quad (3)$$

표 5. 제안한 방법과 JPEG-LS의 압축율 비교

영상	방법	압축율
News	JPEG-LS	2.0872
	제안한 방법	**2.4934**
Foreman	JPEG-LS	1.8179
	제안한 방법	**2.4190**
Stefan	JPEG-LS	1.5575
	제안한 방법	**1.8771**
Mobile	JPEG-LS	1.4865
	제안한 방법	**1.7850**
Tempete	JPEG-LS	1.6556
	제안한 방법	**1.9998**
Flowergarden	JPEG-LS	1.6201
	제안한 방법	**1.8568**
City_corr	JPEG-LS	1.9079
	제안한 방법	**2.3511**
Night	JPEG-LS	2.2583
	제안한 방법	**2.7057**
Crowdrun	JPEG-LS	1.6802
	제안한 방법	**2.3762**
Parkjoy	JPEG-LS	1.8664
	제안한 방법	**2.3853**
평균	JPEG-LS	1.7938
	제안한 방법	**2.2249**

$$\text{비트수 이득} = \frac{\text{비트수}_{H.264/AVC} - \text{비트수}_{\text{제안한 방법}}}{\text{비트수}_{H.264/AVC}} \times 100 \quad (4)$$

표 4의 실험 결과로부터 제안한 CABAC 방법이 기존의 H.264/AVC의 CABAC 방법과 비교하여 QCIF급 영상의 경우 약 18%, CIF급 영상의 경우 약 25%, HD급 영상의 경우 약 15%의 비트수를 감소시킴을 확인할 수 있다. 또한 표 5의 실험 결과를 통해 제안한 방법이 기존의 무손실 부호화 방법인 JPEG-LS보다 뛰어난 압축율을 제공함을 알 수 있다.

본 논문에서는 무손실 화면간(inter) 부호화를 고려하지 않고 무손실 화면내(intra) 부호화만을 고려하여 제안한 방법을 개발했다. 무손실 부호화는 변환과 양자화 과정을 수행하지 않으므로 잔여 데이터의 통계적 특성은 예측 성능에 크게 영향을 받는다. 일반적으로 비디오 영상은 공간적 중복성보다 시간적 중복성이 크기 때문에 화면간 예측의 정확도가 화면내 예측의 정확도보다 높다. 따라서 무손실 화면간 부호화와 무손실 화면내 부호화 사이에는 큰 통계적 특성 차이가 발생한다. 이러한 큰 통계적 특성 차이를 고려하여 무손실 비디오

부호화(화면내 부호화와 화면간 부호화)를 위한 효율적인 엔트로피 부호화 방법을 개발하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 무손실 화면내 부호화를 위한 효율적인 엔트로피 부호기 개발에 초점을 맞추었다.

일반적으로 손실 부호화에서 부호화 효율은 다양한 스캔패턴(scanning pattern)에 따라 달라진다. 손실 부호화에서 잔여 데이터는 양자화 변환된 계수이고 이 계수의 통계적 분포는 작은 값에 집중된다. 따라서 만약 통계적 특성을 고려하여 적합한 스캔 패턴을 결정하면 부호화 효율을 높일 수 있다. 그러나 무손실 부호화에서 잔여 데이터의 통계적 분포는 전 영역에서 넓게 분포하며 스캔위치에 독립적이다. 이러한 경우에 대해 지그재그 스캔패턴을 포함한 다양한 스캔패턴을 사용하여 실험을 해본 결과 무손실 부호화를 위한 최적의 스캔패턴을 결정하는 것은 어렵다는 사실을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 손실 부호화와 무손실 부호화 환경에서 잔여신호의 통계적 특성 차이를 분석하고 이를 기반으로 무손실 부호화 환경에 적합한 향상된 문맥 기반 적응적 이진 산술 부호화(CABAC: Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) 기반의 잔여신호 부호화 방법을 제안했다. 제안한 방법은 무손실 부호화에서 차분 화소를 효율적으로 부호화하기 위해 significance map 부호화 방법과 차분 화소의 이진화 방법을 새롭게 제안했다. 실험 결과로부터 무손실 부호화의 경우 본 논문에서 제안하는 CABAC 방법이 현재 H.264/AVC의 CABAC 방법에 비해 평균적으로 약 19% 정도의 비트수를 감소시키는 것을 확인했다.

[참고문헌]

[1] A. Luthra, G. J. Sullivan, and T. Wiegand, "Introduction to the special issue on the H.264/AVC video coding standard," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 7, Jul. 2003, pp. 557-559.

[2] G. J. Sullivan and T. Wiegand, "Video compression-from concepts to the H.264/AVC standard," Proceedings of the IEEE, Vol. 93, issue 1, Jan. 2005, pp. 18-31.

[3] M. J. Weinberger, G. Seroussi, and G. Sapiro, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 9, No. 8, Aug. 2000, pp. 1309-1324.

[4] S. Sun, Intra Lossless Coding and QP Range Selection, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q.6/SG16 Joint Video Team Document JVT-C023, May 2002.

[5] G. J. Sullivan, T. McMahon, T. Wiegand, and A. 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 Q.6/SG16 Joint Video Team Document JVT-L047, Jul. 2004.

[6] G. J. Sullivan, P. Topiwala, and A. Luthra, "The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions," SPIE conference, Special Session on Advances in the New Emerging Standard: H.264/AVC, Aug. 2004.

[7] H. Malvar, A. Hallapuro, M. Karczewicz, and L. Kerofsky, "Low-Complexity transform and quantization in H.264/AVC," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, Jul. 2003, pp. 598-603.

[8] Y.-L. Lee, K.-H. Han, and G. J. Sullivan, "Improved lossless intra coding for H.264/MPEG-4 AVC," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, No. 9, Sep. 2006, pp. 2610-2615.

[9] J.-H. Nam, D.-G. Sim, Y.-L. Lee, S.-J. Oh, C.-B. Ahn, J.-I. Seo, K.-O. Kang, and K.-H. Kim, "Lossless Video Coding Based on Selective Residual DPCM," PCS 2006, Apr. 2006.

[10] Context-Adaptive VLC (CVLC) Coding of Coefficients, Document JVT-C028.doc, Joint Video Team of ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16, May 2002.

[11] I.E. G. Richardson, "H.264/MPEG-4, part 10," in H.264 and MPEG-4 Video Compression, New York: Wiley, 2003.

[12] D. Marpe, H. Schwarz, and T. Wiegand, "Context-based adaptive binary arithmetic coding in the H.264/AVC video compression," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 7, Jul. 2003, pp. 620-636.

[13] 호요성, 허진, "H.264/AVC 표준의 CAVLC/CABAC 알고리즘 이해 및 분석," 두양사, 2009.

[14] J. Heo and Y.-S. Ho, "Efficient level and zero coding methods for H.264/AVC lossless intra coding," IEEE Signal Processing Letters, Vol. 17, No. 1, Jan. 2010, pp. 87-90.

[15] J. Heo, S.-H. Kim, and Y.-S. Ho, "Improved CAVLC for H.264/AVC lossless intra-coding," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 20, No. 2, Feb. 2010, pp. 213-222.

[16] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding

standard," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 7, Jul. 2003, pp. 560-576.
[17] J. Teuhola, "A compression method for clustered bit-vectors," Information processing letters, Vol. 7, Oct. 1978, pp. 308-311.
[18] R.G. Gallager and D.C. Van Voorhis, "Optimal source codes for geometrically distributed integer alphabets," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 21, No. 2, Mar. 1975, pp. 228-230.
[19] Joint Video Team, Reference Software Version 16.2 http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/jm16.2.zip, Joint Video Team, Reference Software Version 16.2.
[20] http://www.t2-project.org/packages/jasper.html

허 진
(Jin Heo)

2004. 8: 광운대학교 전기공학과 학사
2006. 8: 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2006. 9 ~ 현재: 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
관심분야: 디지털 신호 처리, 영상신호 처리 및 압축, 비디오 부호화, 고화질 비디오 부호화
E-mail: jinheo@gist.ac.kr
Tel: +82-62-970-2258
Fax: +82-62-970-3164

호 요 성
(Yo-Sung Ho)

1981. 2: 서울대학교 전자공학과 학사
1983. 2: 서울대학교 전자공학과 석사
1989. 12: University of California, Santa Barbara Department of Electrical and Computer Engineering 박사
1983. 3 ~ 1995년 9월: 한국전자통신연구소 선임연구원
1990. 1 ~ 1993. 5: 미국 Philips 연구소 Senior Research Member
1995. 9 ~ 현재: 광주과학기술원 정보통신공학과 교수
2003. 8 ~ 현재: 광주과학기술원 실감방송연구센터 센터장
관심분야: 디지털 영상신호 처리, 영상 압축 및 전송, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송
E-mail: hoyo@gist.ac.kr
Tel: +82-62-970-2211
Fax: +82-62-970-3164