

논문 2008-45SP-1-8

H.264/AVC의 CABAC 엔트로피 부호기를 위한 변환 계수의 새로운 이진화 방법

(New Binarization Method of Transformed Coefficient for CABAC In
H.264/AVC)

김 대 연*, 이 영 렬**

(Dae-yeon Kim and Yung-lyul Lee)

요 약

H.264/AVC의 엔트로피 부호화 방법 중 하나인 CABAC은 CAVLC 보다 높은 압축율을 보이나 화면 내 예측 시 고비트율에서는 압축 성능이 좋지 않은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 고화질의 비디오 응용 분야를 위하여 고비트율에서도 CABAC이 CAVLC에 못지않은 압축 성능을 발휘할 수 있도록 양자화된 DCT 계수를 위한 새로운 이진화 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 양자화된 DCT 계수의 통계적 특성을 고려하여 4개로 분할된 DCT 영역과 QP에 독립적인 이진화 방법을 이용하는 것이다. 실험 결과, 제안된 양자화된 DCT 계수를 위한 이진화 방법은 기존의 H.264/AVC의 CABAC과 비교하여 고비트율에서 높은 압축 성능의 향상을 보였으며, CAVLC에 유사한 성능을 나타내었다.

Abstract

It is well-known that the coding efficiency of CABAC which is one of the entropy coding methods in H.264/AVC is lower than that of CAVLC at high bitrate in intra coding, even if CABAC shows higher coding efficiency than CAVLC. Therefore, for high quality video application, this paper proposes new binarization methods about the quantized DCT coefficients that are partitioned into four regions such that CABAC shows similar coding efficiency to CAVLC at high bitrate. The proposed binarization methods consist of separate binarization tables about the four partitioned DCT coefficients considering the statistical characteristics of the quantized DCT coefficients. The proposed binarization method for the quantized DCT coefficients shows higher coding efficiency than CABAC in H.264/AVC and shows very similar result to CAVLC at high bitrate.

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

I. 서 론

최근 디지털 신호처리, 광대역 통신망 및 전송 방식, 저장 매체 등의 급속한 발전과 보급으로 인하여 정지 영상 및 동영상 등의 정보를 포함한 다양한 멀티미디어 서비스가 가능하게 되었다. 이러한 발전과 더불어 동영상의 방대한 정보를 저장하고 전송하기 위한 압축 기술

들이 연구되어 왔으며, 디지털 동영상 정보의 부호화 및 저장에 관한 표준 규격의 필요성을 인식하여 ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)에서는 유/무선 통신망 환경에서 동영상 서비스를 위한 표준 규격인 H.261과 H.263을 제정해 왔고, ISO/IEC(International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission)는 다양한 응용 분야에서 멀티미디어 서비스의 제공을 위한 동영상 표준 규격인 MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4의 제정을 위해 노력해 왔다. H.263+와 MPEG-4 표준이 개발된 이후, 특히 이동 통신망과 같은 새로운 통신 채널의

* 학생회원, ** 정회원, 세종대학교 컴퓨터공학과
DMS 연구실
(Dept. of Computer Engineering, Sejong University,
DMS Lab)

* 본 논문은 서울시 산학연 협력사업(11098)의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2007년5월25일, 수정완료일: 2007년12월28일

급속한 보급에 따라, 기존 압축 방법에 비해 압축 효율이 더욱 향상된 동영상 부호화 방식의 필요성이 대두되었다. 이와 같은 흐름에 따라 ITU-T 표준화 기구는 H.26L로 명명된 차세대 부호화 방식에 대한 '기술 제안 요청서(Call for Proposal)'을 발표하였으며 각 기업체, 연구소 및 학계는 다각적인 연구를 시작하였다. 이후 ITU-T에서 H.264로 명명되어 표준으로 승인되었고, ISO/IEC에서는 MPEG-4 Part 10: AVC (Advanced Video Coding)으로 명명되어 승인되었다.(본 논문에서는 이하 H.264/AVC로 통일하여 기술한다.). 2003년 3월 표준 규격 최종 초안(FDIS)이 발행되면서 H.264/AVC의 표준화가 종료되었다.

H.264/AVC^[1~3]는 기존의 압축 표준과 비교하여 MPEG-2의 약 2배, MPEG-4 ASP(Advanced 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, 방향성을 띤 화면 내 예측 부호화, 향상된 디블로킹 필터, 향상된 엔트로피 부호화 등의 다양한 신기술로 인한 것이다. 특히 main 프로파일 이상의 프로파일에서 사용되는 CABAC (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) 엔트로피 부호화 기술은 CAVLC (Context-based Adaptive Variable Length Coding) 엔트로피 부호화 기술과 비교하여 30dB~38dB의 PSNR 범위에서 약 9%~14%의 비트율을 절약하는 것으로 보고되었다. 이러한 우수한 성능을 보이는 이유로 인해 현재 표준화 진행 중인 SVC (Scalable Video Coding) 과 MVC (Multiview Video Coding)의 엔트로피 부호화 기술로 채택되었다. 하지만 CABAC은 저비트율의 전송 속도를 대상으로 개발하였기 때문에 고비트율에서는 CAVLC와 비교하여 압축 성능이 매우 떨어지는 결과를 보인다. 특히 고비트율의 화면 내 예측 부호화(Intra coding) 시에 상당히 좋지 않은 결과를 보인다. 따라서 본 논문에서는 H.264/AVC 화면 내 예측 시 CABAC의 성능 향상을 위해 심볼의 통계적 특성을 고려한 분할된 DCT 영역 및 양자화 매개 변수(Quantization Parameter ; QP)에 따라 독립적인 새로운 이진화 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성된다. II장에서는 H.264/AVC의 CABAC에 대한 전체적인 구조와 이진화 방법에 대해서 설명한다. III장에서는 제안하는 DCT 영역 및 QP에 독립적인 이진화 방법을 자세히 설명한다.

그리고 IV장에서는 제안한 방법과 기존의 CABAC을 사용한 H.264/AVC와의 압축 성능을 비교하며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. CABAC

기존의 MPEG-2, H.263, MPEG-4와 같이 하이브리드 블록 기반의 동영상 부호화 표준들은 일반적으로 고정된 테이블을 사용하는 가변 길이 부호화(Variable Length Coding; VLC) 방식을 엔트로피 부호화 방법으로 사용하였다. 그리고 H.264/AVC의 baseline 프로파일에서도 가변 길이 부호화 방식을 사용하는 CAVLC 엔트로피 부호화 방법을 사용한다. 가변 길이 부호화 방식을 사용할 경우 계산 복잡도가 상당히 낮고 하드웨어 설계가 매우 용이하며 여러 환경에 강인한 장점이 있다. 하지만 가변 길이 부호화 방법은 0.5 보다 큰 확률을 갖는 사건에 대하여 효과적으로 표현할 수 없으며, 고정된 테이블을 사용하기 때문에 시공간적으로 변화하는 실제 소스의 심볼들의 확률에 대하여 적응적이지 못하다. 또한 각 구문 요소에 미리 할당된 가변 길이 테이블을 사용하기 때문에 심볼 간 중복성을 이용할 수 없는 단점들 때문에 최상의 부호화 효율을 기대하기 어렵다. 이러한 단점들을 해결할 수 있는 방법은 산술 부호화를 사용하는 것이다. 정지 영상 부호화의 표준 중 하나인 JPEG에서 산술 부호화를 사용하였으나 동영상 부호화에서는 H.264/AVC의 CABAC이 처음으로 산술 부호화를 사용하게 되었다. CABAC은 이전에 부호화된 정보를 이용하는 컨텍스트 기반(context-based)의 이진 산술 부호화를 사용하여 가변 길이 부호화가 갖는 단점들을 해결하여 높은 압축 성능을 보이고 있다^[4~7].

본 장에서는 CABAC의 전체적인 구조에 대해 설명하고 CABAC 프레임 워크 중에서 제안하고자 하는 방법이 적용될 이진화에 대해 자세히 설명한다.

1. CABAC의 구조

그림 1과 2는 CABAC 엔트로피 부호기의 블록 다이어그램을 나타낸다. CABAC 부호기의 전체적인 구조는 다음과 같이 3가지 단계로 나누어질 수 있다.

단계 1) 이진화 (Binarization)

단계 2) 컨텍스트 모델링 (Context modeling)

단계 3) 이진 산술 부호화 (Binary arithmetic coding)

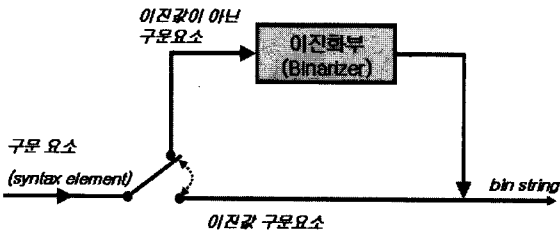


그림 1. CABAC 엔트로피 부호기의 이진화 과정
 Fig. 1. Binarization process of CABAC encoder.

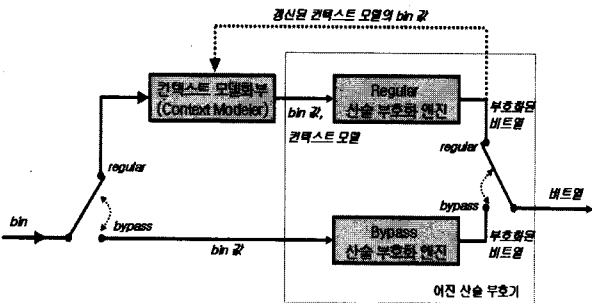


그림 2. CABAC 엔트로피 부호기의 컨텍스트 모델링과 산술 부호화 과정
 Fig. 2. Context modeling and arithmetic coder of CABAC encoder.

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.

이진화 과정에서는 구문 요소(syntax element)에 대하여 "bin string"으로 불리는 이진 값으로 표현하는 과정이다. 그림 1처럼 이진 값이 아닌 구문 요소가 입력되었을 경우에는 이진화부(binimizer)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 간주되어 다음 단계로 진행된다. 그리고 bin string의 각 bin들은 순서대로 regular coding mode 혹은 bypass coding mode로 진행된다. Regular coding mode에 해당하는 경우는 그림 2처럼 컨텍스트 모델링 단계가 수행된다. 컨텍스트 모델링에서 이전에 부호화된 구문 요소나 bin들의 정보를 이용하여 현재 부호화할 bin의 확률을 나타내는 컨텍스트 모델이 결정된다. 컨텍스트 모델은 구문 요소나 bin에 따라서 높은 확률을 갖도록 여러 가지 모델이 디자인되어있다. 이 단계에서 결정된 컨텍스트 모델과 bin은 regular 산술 부호화 엔진에 입력된다. regular 산술 부호화 엔진은 입력된 컨텍스트 모델에서 bin 값에 해

당하는 확률을 이용하여 산술 부호화를 진행한다. 산술 부호화를 통해서 최종 부호화된 비트들이 출력되고 bin 값에 대한 컨텍스트 모델이 갱신되어 컨텍스트 모델 부로 그 정보를 전달한다.

Bypass coding mode는 뚜렷한 확률을 갖지 않는 bin에 대하여 부호화 과정을 단순하게 하여 전체적인 부호화와 복호화 속도를 향상시키기 위하여 만들어진 모드이다. 이 모드는 컨텍스트 모델러가 생략되고 bypass 산술 부호화 엔진에서는 입력된 bin이 0.5의 확률을 갖는다고 고려하여 산술 부호화를 수행한다. 이 모드에 입력되는 구문 요소로는 변환 계수 레벨의 절대 값과 움직임 벡터의 차분 값들이 있다.

2. 이진화 (Binarization)

가. 이진화의 개요

이진화는 이진 값이 아닌 값을 갖는 구문 요소에 대하여 bin string으로 불리는 이진의 스트림으로 표현하는 과정이다. 따라서 CABAC 엔트로피 부호화에 있어서 이진화 과정은 전체적인 성능에 직접적으로 영향을 미치는 매우 중요한 부분이다. 그 이유는 이진화 과정을 통해 출력되는 bin string의 길이가 짧고 각 bin의 발생 확률이 높을 경우에 최종적으로 산술 부호화를 통해 출력되는 부호화된 비트양이 적게 되기 때문이다. 따라서 이진화 과정은 구문 요소에 대한 통계적 특성에 적합하게 디자인되어야 한다. 물론 통계적 특성에 가장 적합한 방법은 호프만 부호화 방법을 사용하는 것이지만 호프만 부호화는 반드시 모든 심볼에 대한 확률을 알아야 최적의 부호어를 설계할 수 있으므로 실제 심볼의 통계치를 분석하는 과정과 이러한 통계치에 대하여 부호어를 생성하는 매우 복잡한 과정들이 필요하다. 이렇게 실제 심볼의 통계적 분포를 이용하는 방법은 많은 계산량을 필요로 할 뿐만 아니라 영상 부호화 시, 통계치 또는 부호어 테이블을 따로 전송해주어야 하기 때문에 엔트로피 부호화에 그대로 적용하기 어렵다. 따라서 실제 영상부호화에 호프만 부호화가 적용될 때에는 다양한 영상에 대하여 실험적으로 얻은 심볼의 통계적 특성을 기반을 두어 얻어진 부호어를 테이블에 저장하여 사용한다. 하지만 이렇게 실험적으로 얻은 심볼의 통계치를 가지고 생성한 부호어를 부호기와 복호기에 테이블로 저장하여 사용하게 되면 실제 통계치를 이용하는 경우보다 부호화 효율이 떨어지기 마련이다. 따라서 CABAC에서는 각 구문 요소의 통계적 특성을 고려하

기 위해 고정 길이 부호, truncated unary 부호, k^{th} order exponential Golomb 부호 방식 등 여러 가지 이진화 방식을 사용한다.

나. CABAC의 이진화

CABAC은 구문요소의 이진화를 위해 고정 길이 부호, truncated unary 부호, truncated unary 와 k^{th} order exponential Golomb 부호가 결합된 Unary/ k^{th} order exponential Golomb 부호 방식들을 구문 요소가 갖는 통계적 특성에 따라 다르게 사용한다. 예외적으로 매크로블록 타입과 하위 매크로블록 타입에 대한 이진화는 미리 정해진 테이블을 이용한다.

(1) 고정 길이 부호

고정 길이 부호 방법은 어떠한 구문 요소의 심볼의 수가 한정되어 있다고 가정되었을 경우에 사용한다. 이 방법은 심볼의 수가 N 개 일때 임의의 심볼에 대한 부호어의 길이 l 은 $l = \lceil \log_2 N \rceil$ 이며 모든 심볼들의 확률이 동일한 분포를 나타내는 구문 요소에 대한 이진화 방법으로 사용된다. 휘도 잔여 신호를 위한 CBP(Coded Block Pattern) 구문 요소가 이 부호 방법을 사용한다.

(2) Truncated unary 부호

Truncated unary 부호는 임의의 심볼 인덱스 x 에 대하여 x 개의 "1"과 하나의 종결 비트 "0"으로 표현되는 부호어를 생성한다. 이 방식은 심볼의 확률 분포가 기하 확률 밀도 함수 $p(x) = 2^{-(x+1)}$ 의 특성을 가질 때 가장 효율적인 부호 방법이며 부호기와 복호기에 고정된 테이블이 없이 심볼에 대한 부호어를 쉽게 생성할 수 있는 방법이다. 또한 이 방법은 부호어의 각 bin에 대하여 컨텍스트 모델을 사용하게 되면 산술 부호화시 최적의 확률로 갱신되기 때문에 더 효율적인 이진 산술 부호화가 이루어질 수 있다. 표 1은 최대 심볼이 10인 truncated unary 부호에 대한 예로써 0~10 까지의 심볼에 대한 부호어를 나타낸 것이다.

(3) k^{th} order exponential Golomb 부호

k^{th} order exponential Golomb(Exp-Golomb) 부호 방식은 효율적인 런-레벨 부호화를 위하여 Teuhola가 처음으로 소개하였다^[8]. k^{th} order Exp-Golomb의 심볼 x 에 대한 해당하는 부호어는 다음과 같이 생성된다. 먼저 접두어는 $l(x) = \lceil \log_2(x/2^k + 1) \rceil$ 의 값에 해당

표 1. 최대 심볼이 10인 truncated unary 부호의 부호어

Table 1. Truncated unary codeword when maximum symbol is 10.

심볼	부호어
0	0
1	10
2	110
3	1110
4	11110
5	111110
6	1111110
7	11111110
8	111111110
9	1111111110
10	11111111110

표 2. 0th order Exp-Golomb 부호의 부호어
Table 2. 0th order Exp-Golomb codeword.

심볼	부호어
0	0
1	100
2	101
3	11000
4	11001
5	11010
6	11011
7	1110000
8	1110001
9	1110010
10	1110011
⋮	⋮

하는 truncated unary 부호어로 나타내어지며, 접미어는 $k+l(x)$ 길이를 갖는 $x+2^k(1-2^{l(x)})$ 값의 이진화된 비트열로 표현된다. 표 2는 0th order Exp-Golomb의 심볼에 대한 부호어를 나타낸 것이다. 이러한 0th order Exp-Golomb 부호 방식은 확률 밀도 함수 $p(x) = \frac{1}{2(x+1)^2}$ (단, $x \geq 0$)의 특성을 나타낼 때 가장 효율적인 부호 방법이다. 이 방법도 truncated unary 부호와 마찬가지로 부호기와 복호기에 고정된 테이블이 필요가 없으며 심볼에 대한 부호어를 생성하는 것이 간단하다. 또한 영상 부호화에 있어 런-레벨 부호화에 효율적인 것으로 알려져 있다.

표 3. mvd 에 사용되는 UEG3 이진화Table 3. UEG3 binarization for coding of mvd .

$ mvd $	Bin string	
	Truncated Unary	3 rd order Exp-Golomb
0	0	
1	10	
2	110	
3	1110	
4	11110	
5	111110	
6	1111110	
7	11111110	
8	111111110	
9	111111111	0000
10	111111111	0001
11	111111111	0010
12	111111111	0011
13	111111111	0100
14	111111111	0101
15	111111111	0110
16	111111111	0111
17	111111111	100000
18	111111111	100001
⋮	⋮	⋮

(4) Unary / k^{th} order exponential Golomb 부호 (UEG k)

CABAC은 심볼의 수가 가장 많은 움직임 벡터의 차분치와 변환 계수 레벨의 절대값에 대한 구문 요소에 대하여 작은 값의 심볼은 truncated unary 부호를 사용하고 큰 값의 심볼은 k^{th} order Exp-Golomb 부호를 사용한다. 이렇게 작은 값의 심볼에 대하여 truncated unary 부호를 접두어로 사용하는 이유는 truncated unary 부호가 부호어를 생성하는데 있어서 가장 간단하고 컨텍스트 모델링 과정에서 각 심볼들에 대하여 확률을 적용할 수 있기 때문에 부호화 효율을 높일 수 있다는 점 때문이다. 큰 값의 심볼의 경우는 Exp-Golomb 부호 방법이 그 확률 분포에 매우 적합하기 때문에 Exp-Golomb를 접미어로 사용하며 이 경우 bin 의 확률 분포가 동일하기 때문에 bypass coding mode를 사용하여 부호기의 속도를 향상시킬 수 있다. 또한 이 방법은 다양한 확률분포를 갖는 구문 요소들에 대하여 각 구문 요소의 확률 분포에 적합하도록 차수(k)를 다르게 사용하여 부호어를 생성할 수 있는 장점이 있다. 만약 심볼의 통계적 확률 분포가 분산이 크고 꼬리가 넓게 나타

표 4. abs_level 에 사용되는 UEG0 이진화Table 4. UEG0 binarization for coding of abs_level .

abs_level	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	11111111111111	100
17	11111111111111	101
18	11111111111111	11000
19	11111111111111	11001
⋮	⋮	⋮

나면 높은 차수(k)의 Exp-Golomb 부호를 사용하는 것이 효율적이다. 따라서 CABAC에서는 움직임 벡터의 차분치의 확률 분포가 분산이 크고 꼬리가 넓게 나타나기 때문에 UEG3를 이진화에 이용하고 변환 계수 레벨의 절대값은 분산이 작고 대부분 0에 가까운 값을 갖기 때문에 UEG0를 이진화에 이용한다.

움직임 벡터의 차분치(Motion Vector Differences; MVD)의 UEG k 이진화에 대한 자세한 방법은 다음과 같다. MVD의 요소(x축 방향의 벡터 혹은, y축 방향의 벡터)를 나타내는 mvd 의 절대값은 그 값이 9 보다 작을 경우는 오직 truncated unary 부호를 사용한다. 만약 mvd 의 값이 9 이상일 경우에는 $|mvd-9|$ 값에 대한 3rd order Exp-Golomb 부호어가 접미어가 된다. 그리고 mvd 의 부호에 대한 정보를 보내기 위해 음수일 경우에는 “1”, 양수일 경우에는 “0”의 부호어가 추가된다. 표 3은 mvd 의 0~18 까지의 값에 대한 $bin\ string$ 을 나타낸 표이다.

변환 계수 레벨의 절대값(Absolute values of transform coefficient level ; abs_level)의 UEG k 이진화는 그 값이 14 보다 작을 경우는 오직 truncated

unary 이진화 방법을 사용하며 그 이상일 경우에 0th order Exp-Golomb 부호어를 접미어로 사용한다. 심볼은 0일 경우에는 significance map으로 부호화되기 때문에 실제로 이진화 과정에 입력되는 값은 $abs_level - 1$ 이 이진화된다. 표 4는 abs_level 에 대한 1~19 까지의 값에 대한 bin string을 나타낸 표이다.

III. 제안한 DCT 영역 및 QP에 독립적인 이진화

기존의 H.263 표준의 경우에는 56Kbps 이하의 초저속 전송 채널에서의 응용을 목표로 하였기 때문에 가변 길이 부호화를 이용한 호프만 부호화 기법을 적용하더라도 엔트로피 부호화 효율이 크게 떨어지지 않았다. 그러나 H.264/AVC의 경우에는 더 광범위한 비트율을 대상으로 하기 때문에 특정 비트율에 최적화된 부호화 기술을 사용할 수가 없다. 실제 abs_level 의 통계적 특성은 여러 가지 요소에 따라 달라질 수 있지만 그 가운데 중요한 변수로 작용하는 것이 DCT 영역에서의 abs_level 의 위치와 QP이다. 이 변수들에 대해 최적의 부호화 방법을 원한다면 지금까지 사용되어온 고정된 테이블을 사용하는 것은 그 해답이 될 수 없다. 그러므로 이러한 변수들을 모두 고려하여 높은 부호화 효율을 갖는 새로운 엔트로피 부호화 기법이 요구된다. CABAC은 저비트율에서 나타나는 abs_level 의 통계적 특성에 적합한 이진화 방법을 사용하고 있기 때문에 고비트율에서 엔트로피 부호화 효율이 크게 떨어진다. 따라서 abs_level 구문요소에 대하여 이진화하는 과정에서 DCT 영역을 여러 개로 분할하여 각 영역의 abs_level 의 확률 분포 특성에 적합한 이진화 방법을 사용하여 압축률을 높이려 한다.

1. 기존 이진화 방법의 문제점

H.264/AVC 표준안에 따르면, 변환 계수 블록을 최대한 짧은 1차원의 배열로 나타내기 위해 지그재그 스캔(zig-zag scan)을 수행한 후, 런-레벨의 쌍으로 나타내어 런과 레벨을 독립적으로 CABAC 엔트로피 부호기에서 최종적으로 부호화한다. 앞 장에서 설명하였듯이 abs_level 값은 UEGO 부호를 사용하여 부호어를 생성한다. 그러나 DCT를 기반으로 하는 동영상 부호화 장치는 DCT 수행 후 레벨 값의 분포가 DC 쪽으로 큰 레벨 값이 몰리게 되는 현상이 뚜렷하게 나타난다^[9]. 그림 3은 Bridge 영상에 대하여 8x8 DCT를 수행하였을 경우에 나타나는 변환 계수 블록에 대하여 각

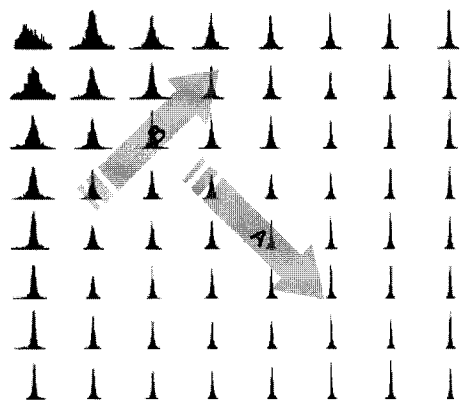


그림 3. Bridge 영상의 DCT 계수들의 히스토그램
Fig. 3. Histogram of DCT coefficients in Bridge sequence.

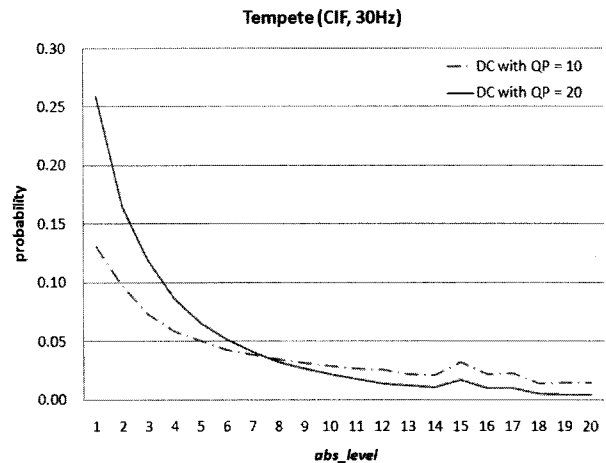


그림 4. Tempete 영상에서의 DC 위치의 abs_level 의 확률 분포
Fig. 4. Probability distribution of DC "abs_level" value in Tempete sequence.

계수의 확률 분포를 DCT 영역에 나타낸 그림이다. 그림 3을 통해 알 수 있듯이 DCT 영역에서 레벨 값의 확률 분포는 그림에 표시된 A 방향으로 갈수록 분산이 작아지고 0 근처의 확률이 높아지는 분포를 갖는다. 따라서 DCT와 양자화 된 블록 내의 모든 레벨에 대해서 동일한 이진화 방법을 사용하는 것은 확률 분포를 고려하지 못하기 때문에 비효율적이다. 또한 abs_level 의 확률 분포는 QP에 대한 영향을 매우 크게 받는다. 그림 4는 Tempete 영상에 대해서 화면 내 예측 시 QP가 10일 때와 20일 때의 DC에 위치한 abs_level 의 확률 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 QP가 다르면 확률 분포가 크게 차이가 나기 때문에 모든 QP에 대하여 동일한 이진화 방법을 사용하는 것은 비효율적임을 알 수 있다.

2. 화면 내 예측시 DCT 영역 및 QP에 독립적인 변환 계수 레벨의 이진화 방법

제안하는 방법은 화면 내 예측 시 변환 계수 블록 내에서 *abs_level*의 통계적 확률 분포가 유사한 위치를 동일 영역으로 만들고 그에 따라 DCT 영역을 *N*개의 영역으로 분할하여 영역 별로 서로 다른 이진화 방법을 사용하는 것이다. 그림 5는 QP가 20 일 때 화면 내 예

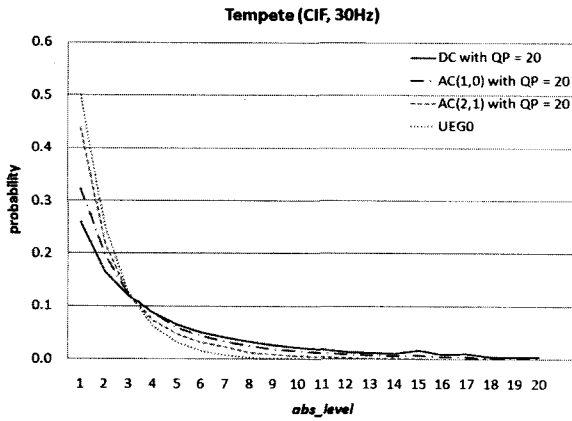


그림 5. Tempete 영상의 변환 계수 위치에 대한 *abs_level*의 확률 분포
Fig. 5. Probability distribution of *abs_level* for each transformed coefficient's position in Tempete.

측 시 Tempete 영상에 대하여 변환 계수의 위치에 대한 *abs_level*의 확률 분포와 UEGO의 확률 분포 모델을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 DCT 영역에서 오른쪽 하단에 가까운 계수의 확률 분포는 UEGO 확률 분포 모델과 매우 유사하지만 왼쪽 상단에 가까운 계수는 UEGO 확률 분포 모델과 매우 다른 분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 앞 절의 그림 3을 참고하면 변환 계수의 확률 분포가 B 방향과 동일한 위치의 *abs_level*들은 확률 분포가 유사하기 때문에 B 방향의 동일선상에 있는 *abs_level*들은 같은 이진화 방법을 사용할 수 있다. 이러한 확률 분포의 특성을 이용하여 그림 6과 같이 DCT 영역을 4개의 영역 (A, B, C, D 영

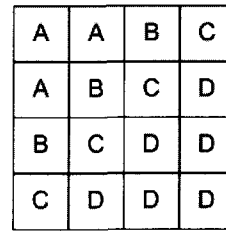


그림 6. 4개의 영역(A, B, C, D)으로 분할된 DCT 영역
Fig. 6. DCT domain partitioned into four regions (A,B,C,D).

표 5. QP 20에서 사용되는 분할된 DCT 영역에 대한 *abs_level*의 부호어
Table 5. Codeword of *abs_level* for each DCT domain part when QP is 20.

A 영역		B 영역		C 영역		D 영역	
<i>abs_level</i>	부호어	<i>abs_level</i>	부호어	<i>abs_level</i>	부호어	<i>abs_level</i>	부호어
1	0	1	0	1	0	1	0
2	10	2	10	2	10	2	10
3	110	3	110	3	110	3	110
4	1110	4	1110	4	1110	4	1110
5	11110	5	11110	5	11110	5	11110
6	111110	6	111110	6	111110	6	111110
7	1111110	7	1111110	7	1111110	7	1111110
8	111111000	8	1111110	8	1111110	8	1111110
9	111111001	9	111111100	9	11111110	9	11111110
10	111111010	10	111111101	10	111111110	10	111111110
11	111111011	11	1111111000	11	1111111100	11	1111111110
12	11111110000	12	1111111001	12	1111111101	12	11111111110
13	11111110001	13	1111111010	13	111111111000	13	111111111110
14	11111110010	14	1111111011	14	111111111001	14	1111111111110
15	11111110011	15	111111110000	15	111111111010	15	11111111111110
16	11111110100	16	111111110001	16	111111111011	16	1111111111111100
17	11111110101	17	111111110010	17	11111111110000	17	1111111111111101
18	11111110110	18	111111110011	18	11111111110001	18	11111111111111000
19	11111110111	19	111111110100	19	11111111110010	19	11111111111111001
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

표 6. DCT 영역과 QP를 모두 고려하여 설계된 UEGk 방법을 나타낸 표 (T는 truncated unary 부호만 사용이 되는 최대 심볼, k는 Exp-Golomb 부호의 차수를 나타냄, D 영역은 모두 T=14, k=0으로 이진화함)

Table 6. Proposed UEGk method considering DCT domain and QP (where T is a maximum symbol that use only truncated unary code, k is a degree of Exp-Golomb code. And part D uses T=14, k=0).

QP 영역	0~4	5~10	11~16	17~22	23~28	28~51
A	T=3, k=3	T=6, k=3	T=7, k=2	T=7, k=2	T=8, k=1	T=14, k=0
B	T=5, k=2	T=7, k=2	T=7, k=2	T=8, k=1	T=8, k=1	T=14, k=0
C	T=8, k=1	T=8, k=1	T=8, k=1	T=10, k=1	T=10, k=1	T=14, k=0

역)으로 분할하여 각 영역의 *abs_level*에 대하여 서로 다른 이진화 방법을 사용하였다.

기본적으로 각 영역에 대해 제안하는 이진화 방법은 각 영역에 나타나는 *abs_level*의 통계적 확률 분포에 따라 가장 적합한 UEGk 방법을 사용하였다. 표 5에 화면 내 예측 부호화 시 QP가 20일 때, 각 영역에서 사용한 이진화 방법을 나타낸 것이다. 표를 보면, QP 20에서 영역 A는 truncated unary를 *abs_level* 값이 1~7 일 때 사용하였고 8 이상의 값에 대해서는 UEG2를 사용하였다. 영역 B는 truncated unary를 *abs_level* 값이 1~8 일 때 사용하였고 9 이상의 값에 대해서는 UEG1를 사용한 것을 알 수 있다. 영역 C는 truncated unary를 *abs_level* 값이 1~10일 때 사용하였고 11 이상의 값에 대해서는 UEG1를 사용하였다. 그리고 영역 D는 기존의 이진화 방법과 동일하게 truncated unary를 *abs_level* 값이 1~14 일 때 사용하였고 15 이상의 값에 대해서는 UEG0를 사용하였다.

앞서 기술한 높은 비트율에서 나타나는 엔트로피 측면에서의 문제를 해결하기 위해 각 QP에 따라 나타나는 *abs_level*의 통계적 특성에 적합한 이진화 방법을 사용해야 한다. 본 논문에서는 앞 절에서 제안한 분할된 DCT 영역에 독립적인 이진화 방법을 이용하면서 동시에 QP에 따라 다른 UEGk를 사용하는 방법을 제안한다. 각 QP와 *abs_level*의 위치에 따라 나타나는 심볼의 통계적 확률 분포를 참고로 하여 실험적으로 설계한 UEGk를 표 6에 나타내었다. 제안된 방법을 화

면 내 예측 부호화 시 변환 계수의 이진화 과정에서 이용하였다.

IV. 실험

본 장에서는 제안한 이진화 방법을 사용한 코덱을 기존의 CABAC을 사용한 H.264/AVC와 실험을 통해 비교 및 분석하였다. 또한 CAVLC를 사용한 H.264/AVC와의 비교를 통해 고비트율에서 제안한 방법을 이용한 CABAC이 CAVLC와 비슷한 성능을 보이는 것을 입증하고자 한다.

1. 실험 영상 및 실험 조건

실험을 위해 MPEG에서 권장하는 YUV 4:2:0 포맷의 영상 6개를 사용하였다. 그리고 H.264/AVC와의 성능 비교를 위해 H.264/AVC 참조 소프트웨어인 JM10.2^[10]에 제안된 방법을 구현하여 성능을 평가하였다. 실험 영상과 실험 조건에 관한 자세한 설명은 표 7에 나타났다. 참고로 QP 28 이상에서는 기존의 CABAC에서 사용하는 이진화 방법이 그대로 사용되기 때문에 QP 30 이하의 고비트율에서 실험을 하였다.

표 7. 실험에 사용된 영상과 실험 조건

Table 7. Experimental conditions and sequences.

영상	부호화된 프레임 수	실험 조건
Foreman (176x144)	150 (30Hz)	울-왜곡 최적화 사용 ^[11] , CABAC 엔트로피 부호화, 화면 내 예측 프레임 부호화, QP (0,4,8,12,16,20,24, 28)
Container (176x144)	150 (30Hz)	
Stephen (176x144)	150 (30Hz)	
Tempete (352x288)	150 (30Hz)	
Paris (352x288)	150 (30Hz)	
Mobile&Calendar (352x288)	150 (30Hz)	

2. 실험 결과

그림 7~12는 여러 영상에 대하여 CABAC, CAVLC, 그리고 제안된 CABAC으로 부호화하였을 때의 비트율 대비 화질(휘도 성분)을 나타낸 그림이다. 모든 영상의 약 50dB 이상의 화질에서 CABAC의 성능이 CAVLC 보다 매우 떨어지는 것을 볼 수 있다. 하지만 제안된 CABAC은 CAVLC의 성능과 매우 비슷한 것을 볼 수 있다. 기존의 CABAC과 비교하여 Tempete와 Stephen

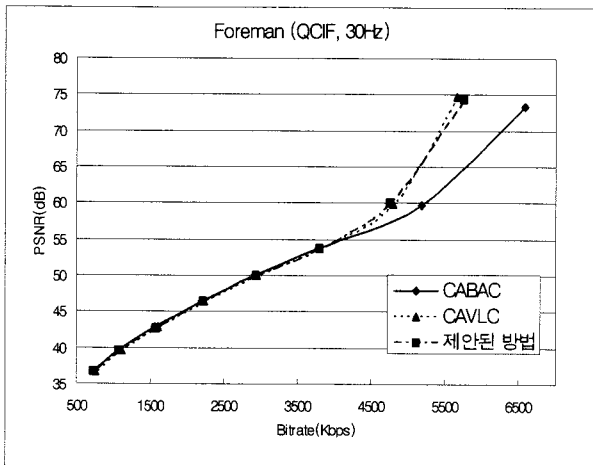


그림 7. Foreman(QCIF) 영상에 대한 올-왜곡 곡선
Fig. 7. R-D curves of the Foreman(QCIF) sequence.

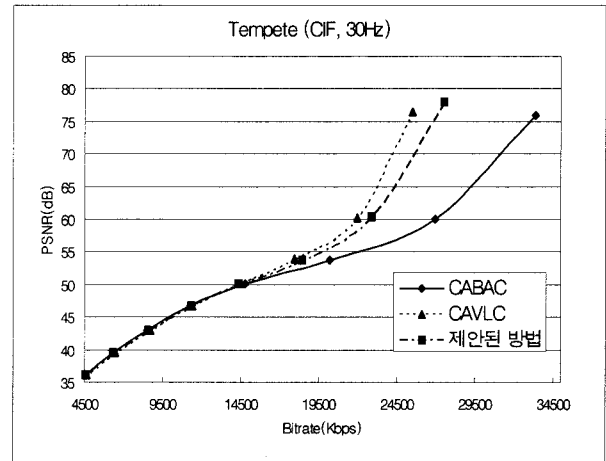


그림 10. Tempete(CIF) 영상에 대한 올-왜곡 곡선
Fig. 10. R-D curves of the Tempete(CIF) sequence.

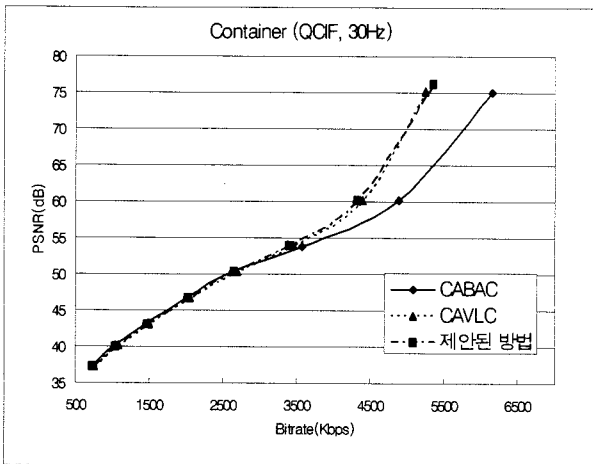


그림 8. Container(QCIF) 영상에 대한 올-왜곡 곡선
Fig. 8. R-D curves of the Container(QCIF) sequence.

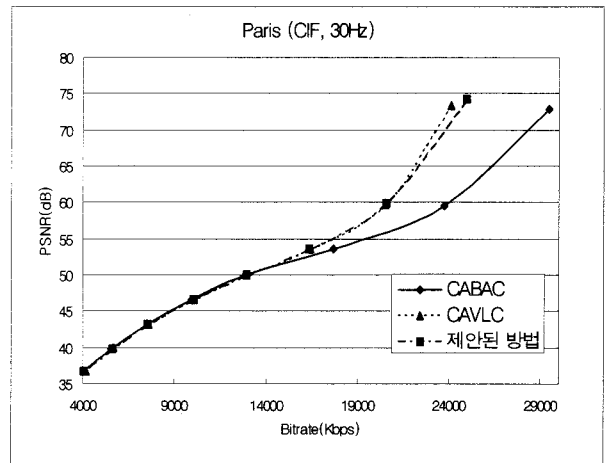


그림 11. Paris(CIF) 영상에 대한 올-왜곡 곡선
Fig. 11. R-D curves of the Paris(CIF) sequence.

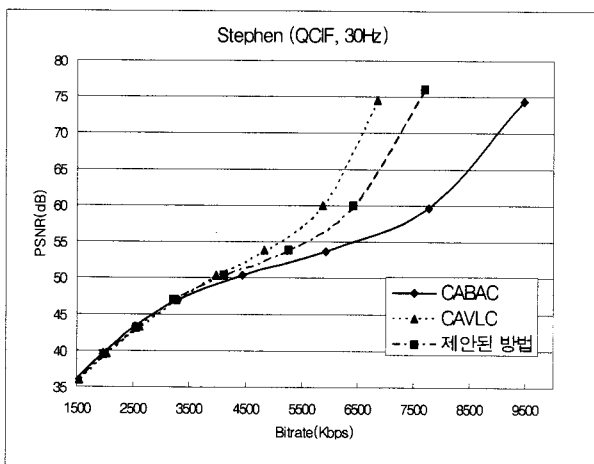


그림 9. Stephen(QCIF) 영상에 대한 올-왜곡 곡선
Fig. 9. R-D curves of the Stephen(QCIF) sequence.

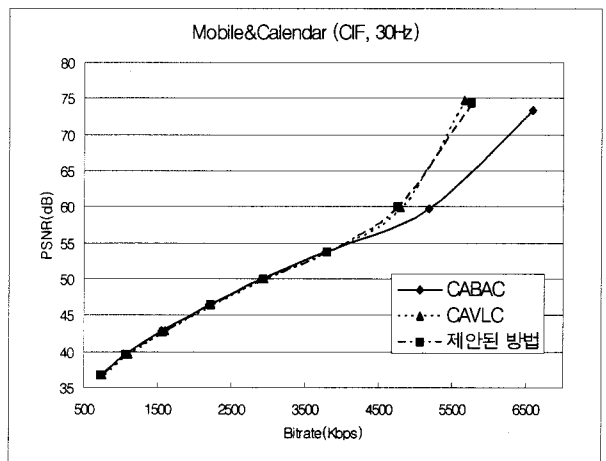


그림 12. Mobile&Calendar(CIF) 영상에 대한 올-왜곡 곡선
Fig. 12. R-D curves of the Mobile&Calendar(CIF) sequence.

영상의 경우엔 약 45~50dB 화질 이상에서 PSNR이 상승하며, 그 외의 영상에서는 55dB 이상의 화질에서 PSNR이 약 0dB~15dB 향상되었다.

V. 결 론

본 논문에서는 높은 비트율의 고화질의 동영상을 요구하게 될 차세대 비디오 코덱을 위하여 화면 내 예측 부호화 시 고비트율에서 CABAC의 압축 성능을 높이기 위한 이진화 방법을 제안하였다. CABAC은 저비트율의 전송 속도를 대상으로 개발하였기 때문에 고비트율에서는 CAVLC와 비교하여 압축 성능이 매우 떨어지는 결과를 나타낸다. 따라서 심볼의 통계적 특성을 고려한 분할된 DCT 영역 및 QP에 독립적인 이진화 방법을 제안하였다. 실험 결과, 기존의 CABAC과 비교하여 50dB 이상의 화질에서 0dB ~ 15dB의 화질 향상을 보였다. 제안된 방법은 고비트율을 대상으로 하는 고화질 영상 압축 코덱에 응용되어 높은 압축 성능의 향상을 보일 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10, Advanced Video Coding for Generic Audio visual Services, May, 2003.
- [2] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjøntegaard, and Ajay Luthra, "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] J. Ostermann, J. Bormans, and P. List, et al., "Video coding with H.264/AVC: tools, performance, and complexity," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, Vol.4, No.1, pp7 - 28, First Quarter 2004.
- [4] 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.
- [5] D. Marpe et al., "Adaptive Codes for H.264"; ITU-T Telecommunications Standardization Sector; Video Coding Experts Group Document; Document VCEG-L13; Twelfth Meeting; Eibsee, Germany, Jan. 9-12, 2001.
- [6] D. Marpe et al., "Further Results for CABAC entropy coding scheme"; ITU-T Telecommunications Standardization Sector; Video Coding Experts Group Document; Document VCEG-M59; Thirteenth Meeting; Austin, Texas, USA Apr. 2-4, 2001.
- [7] Marpe, Detlev, et al; "Improved CABAC"; ITU-T Telecommunications Standardization Sector; Video Coding Experts Group Document; Document JVT-C060; 3rd Meeting; Fairfax, Virginia, USA, May 6-10, 2002.
- [8] J. Teuhola, "A Compression Method for Clustered Bit-Vectors", *Information Processing Letters*, Vol. 7, No.6, pp308-311, Oct. 1978.
- [9] E. Lam, J. A. Goodman, "A Mathematical Analysis of the DCT Coefficient Distributions for Images" in *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.9, No.10, pp1661-1666 Oct, 2000.
- [10] http://bs.hhi.de/~suehring/tml/download/old_jm/jm10.2.zip
- [11] Gary J. Sullivan and Thomas Wiegand, "Rate-Distortion Optimization for Video Compression", *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE*, Vol.15, No.6, pp74-90, Nov, 1998.

 저 자 소 개



김 대 연(학생회원)
 2005년 세종대학교 인터넷학과
 학사 졸업
 2005년~현재 세종대학교 컴퓨터
 공학과 석박통합 과정
 <주관심분야 : H.264/AVC,
 MPEG video compression,
 Future video coding, Entropy
 coding, Transcoding>



이 영 렬(정회원)
 1985년 서강대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1987년 서강대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1999년 한국과학기술원 전기·전자
 공학과 박사 졸업
 1987년~1994년 삼성전자 R&D 센터 DM lab.
 1999년~2001년 삼성전자 R&D 센터 DM lab.
 수석연구원
 2001년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <주관심분야 : Multi-view video coding, MPEG
 video compression, Multimedia(MPEG) systems,
 H.264/AVC, Image compression, Image
 processing, Multimedia data over IP, Embeded
 system for A/V transport, Transcoding>