

### 3-D 블록분할을 이용하는 웨이브렛 기반 임베디드 비디오 부호화

양창모, 임태범, 이석필  
전자부품연구원 디지털미디어연구센터

## Wavelet based Embedded Video Coding with 3-D Block Partition

Chang-Mo Yang, Tae-Beom Lim and Seok-Pil Lee  
Digital Media Research Center  
Korea Electronics Technology Institute (KETI)  
E-mail: {cmyang, tblim, lspbio}@keti.re.kr

### Abstract

In this paper, we propose a low bit-rate embedded video coding scheme with 3-D block partition in the wavelet domain. The proposed video coding scheme includes multi-level three dimensional dyadic wavelet decomposition, raster scanning within each subband, partitioning of blocks, and adaptive arithmetic entropy coding. Although the proposed video coding scheme is quite simple, it produces bit-streams with good features, including SNR scalability from the embedded nature. Experimental results demonstrate that the proposed video coding scheme is quite competitive to other good wavelet-based video coders in the literature.

### I. 서론

H.26x 시리즈 권고안이나 MPEG 과 같은 기존의 표준에서는 영상을 일정한 크기를 가지는 블록으로 분할하여 이산여현변환(Discrete Cosine Transform)과 양자화를 수행하기 때문에 낮은 비트율에서 블록화 현상이 발생한다. 또한, 단일 압축 시스템에서 계위 부호화를 지원하기가 어렵다.

최근에는 이러한 문제점들을 해결하는 새로운 부호화 방법들이 연구되고 있다. 이러한 방법들 중 대표적인 것이 이산웨이브렛변환(Discrete Wavelet Transform)을 이용하는 부호화 방법이다.

이산웨이브렛변환을 이용하는 동영상 부호화기는 시간적 중복성을 줄이는 방법에 따른 크게 예측 부호화 방식과 3-D 대역 부호화 방식으로 분류된다.

움직임 보상을 이용하는 예측 부호화 방식은 움직임 예측 및 움직임 보상을 수행한 후, 잉여 양자화를 수행하는 방식이다. 대표적인 방법으로는 Lee 와 Oh 가 제안한 방법이 있다[1]. 이 논문에서는 이산웨이브렛변환 영역에서 움직임 예측 및 움직임 보상을 수행하는 다중 해상도 움직임 예측 및 움직임 보상(MRME/MRMC)[2] 방법을 이용하였다. 잉여 양자화 방법으로는 SPIHT[3] 부호화 방법을 이용하였다.

3-D 대역 부호화 방식에서는 입력되는 동영상 화면 집합에 3-D 웨이브렛 분해를 수행한 후에, 기존의 정지영상 부호화 방법을 3-D 로 확장하여 동영상상을 부호화한다. 대표적인 부호화기로는 Tham 이 제안한 3-D 동영상 부호화기[4]와 Kim 이 제안한 3-D SPIHT[5]이 있다. Tham 이 제안한 동영상 부호화기는 웨이브렛 변환 계수들을 TRI-ZTR 이라 일컬어지는 데이터 구조를 이용하여 양자화한다. 3-D SPIHT 은 기존에 정지영상을 부호화하기 위해 제안되었던 SPIHT[3] 부호화 방법을 3 차원으로 확장하여 양자화를 수행한다.

본 논문에서는 3-D 블록분할을 이용하는 새로운 이산웨이브렛변환 기반 임베디드 비디오 부호화기를 제안한다. 먼저, 일정 시간 연속되는 비디오 프레임에 3-D 이산웨이브렛변환을 취한다. 그런 후에, 3-D 블록분할 방식을 이용하여 웨이브렛 계수들을 양자화한다. 3-D 블록분할은 변환 계수의 지엽성을 이용하여 중요 계수들을 정렬 및 분할하기 위한 것이다. 3-D 블록분할 여부, 계수의 중요도, 계수의 부호는 적응적 산술 부호기(Adaptive Arithmetic Coder)를 이용하여 부호화 한다.

## II. Motivation

본 절에서는 블록분할을 이용하여 2-D 이미지를 부호화하는 방법을 설명한다. 이 개념은 다음절에서 비디오 부호화에 사용하기 위해 3-D로 확장된다.

### 3.1 2-D 이산웨이브렛변환

이산웨이브렛변환은 입력되는 영상 신호에 다상 분해를 수행하는 변환 방식이며, 일반적으로 Quadrature Mirror Filter(QMF)를 이용하여 구현된다. 이산웨이브렛 변환을 이용하여 영상의 수평 방향과 수직 방향으로 저주파 대역 필터와 고주파 대역 필터를 적용하고 2:1의 부표본화(Sub-sampling)를 수행하여 영상을 주파수 영역 별로 4 개의 대역으로 분할한다. 이러한 과정을 통해 얻어진 가장 낮은 주파수 대역에는 '영상의 대부분의 신호 에너지가 몰려있으므로, 이 주파수 대역에 앞서 설명한 분할 과정을 반복적으로 수행하여 다음 계층의 대역을 얻는다.

### 3.2 2-D 블록분할 부호화

영상에 이산웨이브렛변환을 가하게 되면, 대부분의 계수는 아주 작은 값을 가진다. 따라서, 이러한 계수들은 0으로 양자화해도 복원된 영상의 품질에 크게 영향을 미치지 않는다. 특히, 고주파 대역에서 비교적 큰 값을 가지는 계수의 발생 빈도는 매우 적으므로 이러한 계수에 대해서만 부호화를 수행하고, 그 위치정보를 수신측에 전송하는 것이 합리적이다.

이러한 처리를 수행하기 위해 일반적으로 대역간 상관관계가 이용된다. 대역간 상관관계를 이용하는 대표적인 웨이브렛 기반 부호화기에는 EZW[6]와 SPIHT[3]이 있다. 그러나 제로트리를 이용하는 이러한 부호화 방법은 고주파 대역에 비교적 큰 값을 가지는 계수들이 존재할 경우에는 매우 비 효율적이다. 이러한 경우에는, 제로트리를 이용하는 부호화 방법에서는 고주파 대역의 하나의 계수를 부호화 하기 위하여 많은 비트를 할당하여야 한다.

본 논문에서 제안하는 블록분할 부호화기는 SPIHT와 유사한 구조를 따른다. 제안되는 블록분할 부호화기는 지수적으로 감소하는 문턱치와의 비교를 통해 계수의 중요도를 결정한다. 그러나, 제안하는 블록분할 부호

화기에서는 대역내 상관관계를 이용하지 않는다. 대신에, 이산웨이브렛변환 계수들이 가지는 “대부분의 계수들은 매우 작은 값을 가지며, 큰 값을 가지는 계수들은 특정 공간에 집중된다”는 통계적인 특징을 이용하였다.

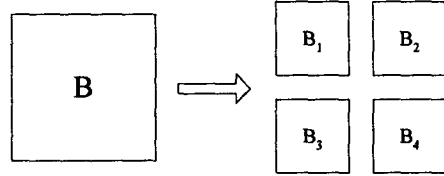


그림 1. 2-D 블록분할

제안하는 블록분할 부호화기에서는 입력되는 이미지에 이산웨이브렛변환을 가한 후, 각각의 부대역(Subband)을 블록으로 분할한다. 이렇게 구성된 블록 B는 주어진 문턱치와 비교하여 블록내에 중요한 계수가 있다고 판단될 때에, 그림 1과 같이 보다 작은 크기를 가지는 블록  $B_i (i \in \{1, 2, 3, 4\})$ 로 분할된다. 이러한 과정을 각 단계에서의 문턱치에 대해 더 이상 블록내에 중요한 계수가 없다고 판단될 때까지 반복하여 영상을 부호화한다. 이때, 블록 B의 중요도는 다음과 같은 수식을 이용하여 판단된다.

$$S_n(B) = \begin{cases} 1, & \text{if } 2^n \leq \max_{(i,j) \in B} |c_{i,j}| < 2^{n+1} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

위의 수식에서  $2^n$ 은 문턱치를 의미한다. 그리고, 1은 현재의 블록 B가 중요한 계수를 포함하고 있다는 것을 의미하며, 0은 중요한 계수를 포함하고 있지 않음을 의미한다. 유사한 방법을 이용하여, 좌표  $(i, j)$ 에 위치하는 계수  $c_{ij}$ 의 중요도는 다음과 같은 수식을 이용하여 판단한다.

$$S_n(c_{i,j}) = \begin{cases} 1, & \text{if } 2^n \leq c_{i,j} < 2^{n+1} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

## III. 3-D 블록분할 부호화

본 절에서는 앞 절에서 설명한 2-D 블록분할 부호화 방법을, 비디오 부호화에 사용하기 위해, 3-D로 확장하는 방법을 설명한다. 또한, 제안되는 비디오 부호화기에서 사용되는 엔트로피(Entropy) 부호화와 컬러(Color) 부호화 방식을 설명한다.

### 3.1 3-D 이산웨이브렛변환

제안된 비디오 부호화기에서는 입력되는 일정 시간 연속되는 비디오 프레임(Group of Frame, GOF)에 3-D 이산웨이브렛변환을 가한다. 입력되는 GOF 는 시간적으로 1-D 이산웨이브렛변환되고, 그 결과는 다시 공간적으로 2-D 이산웨이브렛변환된다. 그림 2 는 입력되는 하나의 GOF 에 3-D 이산웨이브렛변환을 가하여 10 개의 공간 주파수 부대역과 4 개의 시간 주파수 부대역을 얻은 결과를 도시한 것이다.

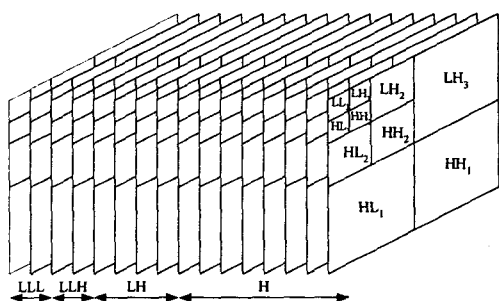


그림 2. 3-D 이산웨이브렛변환

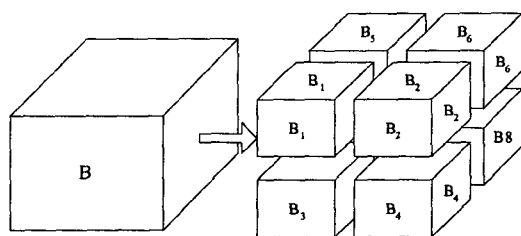


그림 3. 3-D 블록분할

### 3.2 3-D 블록분할 부호화

2-D 블록분할 부호화 방식은 비디오 부호화에 사용되기 위해 3-D 블록분할 부호화 방식으로 확장된다. 입력되는 GOF 에 3-D 이산웨이브렛변환을 취한 후, 각각의 3-D 부대역을 블록으로 분할한다. 그런 후에, 2-D 블록분할 방식과 마찬가지로, 각각의 블록 B 의 중요도를 판단한다. 만약, 주어지는 문턱치에 대해 블록 B 가 중요한 계수를 포함하고 있다고 판단되면, 그림 3 과 같이, 같은 크기를 가지는 보다 작은 블록  $B_i(i \in 1,2,3,4,5,6,7,8)$ 로 분할한다. 이러한 과정은 주어진 문턱치에 대하여 블록내에 더 이상 중요한 계수가 없을 때까지 반복된다.

### 3.3 엔트로피 부호화

제안된 비디오 부호화기는 블록분할 여부, 계수의 중요도, 계수의 부호를 적응적 산술 부호기를 이용하여 부호화 한다. 계수의 중요도 및 계수의 부호 부호화를 위해서는 그림 4 와 같이, 현재의 계수  $X_i^C$  의 동쪽, 서쪽, 남쪽, 북쪽에 위치한 4 개의 인접계수와 이전 및 이후 프레임의 같은 위치에 있는 계수의 중요도 및 부호가 확률모델로 이용된다. 블록의 분할 여부를 부호화하기 위해서는 고정된 하나의 확률모델을 이용한다.

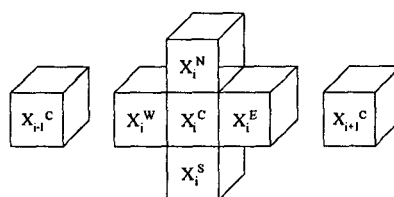
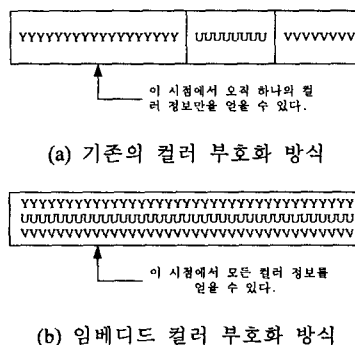


그림 4. 엔트로피 부호화를 위한 적용 모델

### 3.4 컬러 부호화

제안된 비디오 부호화 방식에서는 입력되는 컬러(Color) 비디오 시퀀스를 부호화하기 위해서, 3-D SPIHT[5]에서 제안한 컬러 부호화와 같은 방식을 사용하였다. 제안된 비디오 부호화에서는, 기존의 컬러 부호화와는 달리, 모든 컬러 정보가 동일하게 취급되어, 하나의 부호화 시스템에서 동시에 부호화된다. 그럼으로써, 컬러 부호화에서도 임베디드 특성이 유지된다. 그림 5 는 일반적인 컬러 부호화와 제안된 비디오 부호화에서 사용한 컬러 비디오 부호화의 차이점을 보여주고 있다.



(b) 임베디드 컬러 부호화 방식

그림 5. 컬러 부호화 방식

표 1. 평균 PSNR 비교

부호화 방법	Bit Rate	Mother and Daughter (YUV) dB			Hall Monitor (YUV) dB		
제안한 방법	30 kbps	34.77	41.11	41.78	33.61	37.60	40.10
	60 kbps	37.55	43.18	43.77	38.15	40.22	42.28
3-D SPIHT	30 kbps	32.71	-	-	32.95	38.15	40.68
	60 kbps	35.57	-	-	37.95	40.41	42.38

IV. 실험 결과 및 분석

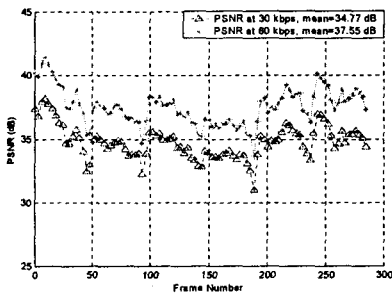
제안한 비디오 부호화의 이산웨이브렛변환에는 3 level 9/7-tap biorthogonal 선형위상 필터를 사용하였다. 성능평가를 위해서는 30 fps(frame per second), 4:2:0 형식으로 구성된 176x144 크기의 Mother and Daughter 와 Hall Monitor 비디오 시퀀스를 사용하였다. GOF 의 크기는 16 개의 프레임으로 하였고, 초기 블록은 부대역 자체를 사용하였다. 그림 6 은 제안된 비디오 부호화기를 이용하여 비디오 시퀀스를 10fps, 30 kbps 와 60 kbps 로 부호화 한 휘도(Luminance)의 PSNR 결과를 보여준다. 표 1 은 제안한 비디오 부호화 방법과 3-D SPIHT[5]를 비교한 결과를 보여준다. 표에서 알 수 있듯이, 제안한 비디오 부호화 방법은 3-D SPIHT 에 비해 다소 향상된 압축 효율을 제공한다.

V. 결론

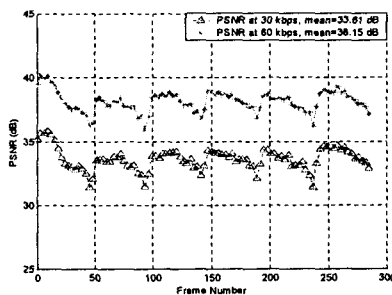
본 논문에서는 블록화 현상도 발생하지 않고 단일 압축 시스템에서 계위 부호화를 지원하기에도 용이한 이산웨이브렛변환을 이용하는 동영상 부호화기를 제안하였다. 제안된 동영상 부호화기는 3-D 이산웨이브렛 변환과 3-D 블록 분할, 엔트로피 부호화로 구성된다. 모의 실험을 통해 보인 것처럼, 본 논문에서 제안한 동영상 압축 부호화기를 이용하여, 임베디드 특성을 유지하면서도, 기존의 3-D SPIHT 에 비해 다소 향상된 압축 효율을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] J. Y. Lee, H. S. Oh and S. J. Ko, "Motion-Compensated Layered Video Coding for Playback Scalability", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 11, no. 5, pp. 619-628, May 2001.
- [2] S. Zafar, Y. Zhang, and B. Jabbari, "Multi-scale Video Representation using Multi-resolution Motion Compensation and Wavelet Decomposition", *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 11, no. 1, pp. 24-35, Jan. 1993.
- [3] A. Said and W. Pearlman, "A New, Fast and Efficient Image Codec based on Set Partitioning in hierarchical Trees", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 6, no. 3, pp. 243-250, June 1996.
- [4] J. T. Tham, S. Ranganath and A. A. Kassim, "Highly Scalable Wavelet-based Video Codec for Very Low Bit-Rate Environment", *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 16, no. 1, pp. 12-27, Jan. 1998.
- [5] B. J. Kim, Z. Xiang and W. A. Pearlman, "Low Bit-Rate Scalable Video Coding with 3-D Set Partitioning in Hierarchical Trees", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 10, no. 8, pp. 1374-1387, Dec. 2000.
- [6] J. Shapiro, "Embedded Image Coding using Zerotrees of Wavelet Coefficients", *IEEE Trans. on Signal Proc.*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.



(a) Mother and Daughter



(b) Hall Monitor

그림 6. 30 kbps 와 60 kbps 의 PSNR 결과