

---

# 웨이블릿 영역에서의 상위 부대역 탐색정보를 이용한 EBCOT의 연산량 감소 방법

최현준\* · 백영민\* · 서영호\*\* · 김동욱\*

Computation cost reduction method of EBCOT using upper subband  
search information in the wavelet domain

Hyun-Jun Choi\* · Yaeung-Min Paik\* · Young-Ho Seo\*\* · Dong-Wook Kim\*

---

이 논문은 2009년도 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

---

## 요 약

본 논문에서는 JPEG2000의 연산 시간을 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 웨이블릿 변환의 특성인 상관관계를 기반으로 상위 부대역에서 예측한 계수들의 정보를 이용하여 하위 부대역의 탐색 횟수를 줄인다. 이 방법은 컨텍스트 추출을 위한 연산량과 출력 데이터양이 줄어드나 화질의 열화가 심해지는 연산량과 화질 또는 데이터량간의 상보적 관계가 성립된다. 실험결과 제안한 알고리즘을 적용하였을 경우 표준에 비해 탐색 횟수가 35% 이상 감소함을 보여 수용할 만한 화질의 열화를 대가로 상당한 연산량 감소를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## ABSTRACT

This paper propose a method to reduce the calculation time in JPEG2000. That is, if a coefficient is estimate a upper-level subband and its descendants skip the scan process. There is a trade-off relationship between the calculation time and the image quality or the amount of output data, the calculation time and the amount of output data decreases, but the image degradation increases. The experimental results showed that in calculation time was 35% in average, which means that is ges. The ein calculation time and output data can be obtols ed with a cost of an acceptible image quality degradation.

## 키워드

JPEG2000, EBCOT, DWT, Digital Cinema

---

\* 광운대학교 3D Media Research Lab.

접수일자 2009. 02. 10

\*\* 광운대학교 교양학부

심사완료일자 2009. 03. 03

## I. 서 론

멀티미디어 기술의 이용 증가와 더불어, 영상 압축은 새로운 기능과 보다 나은 성능을 필요로 한다. 또한, 효율적인 압축과 방대한 데이터를 빠르게 처리하는 문제가 대두되고 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 정지영상에 대해서는 1992년 JPEG(joint photographic expert group)[1]이 국제 표준으로 채택되어 다양한 멀티미디어 분야에 적용되고 있고, 동영상에 대해서는 MPEG(moving experts group)[2], 그리고 화상회의 등의 양방향 동영상 통신을 위해서는 H.26x[3]가 국제 표준으로 채택된 바 있다.

이 중 JPEG은 구현이 쉬운 반면 저 비트율에서 뚜렷한 화질의 열화를 보이고, 잡음 환경에서 성능이 크게 저하된다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 2000년에 JPEG2000[4]이 새로운 정지영상 표준으로 채택되기에 이르렀다.

JPEG2000은 기존 JPEG보다 낮은 비트율에서 화질 저하는 적지만, 영상 압축 시 많은 연산 시간을 필요로 한다는 단점을 가진다. JPEG2000은 DCT(discrete cosine transform) 대신 DWT(discrete wavelet transform)를 기반으로 하며, 자연영상, 과학영상, 의료영상, 원격탐지영상, 문서영상, 그래픽영상 등과 같이 서로 다른 특성을 갖는 다양한 형태의 정지영상에서 압축효율이 뛰어난 방식이다.

전체 영상을 대상으로 하는 DWT 이외에 JPEG2000은 EBCOT(embedded block coding with optimized truncation)라는 특별한 엔트로피 부호화 방법을 채택하고 있다. 이 방법 중 Tier 1에 속해 있는 컨텍스트(context) 추출 알고리즘은 주위 데이터들과의 상관도에 따라 부호화하는 방법으로 그 효율성이 매우 뛰어나다. 전체 JPEG2000 연산의 50%를 차지할 만큼 많은 양의 연산이 필요하다[5].

정지영상을 압축하는 JPEG2000의 응용분야는 영상의 추출 후 사용까지 이러한 연산을 충분히 수행할 시간이 있는 분야도 있으나, 추출 즉시 압축하여 전송하여야 하는 등의 응용분야도 최근 들어 많이 고려되고 있어 과도한 연산량을 줄일 필요가 있다.

현재 진행되는 연구들은 대부분 EBCOT 알고리즘의 연산시간을 줄이는데 그 목적을 두고 있다. Chen은 컨텍스트 추출 알고리즘을 수행하는 과정에서 생기는 과정

(redundancy)을 줄이기 위해 Sample Skipping(SS), Group-of-column Skipping(GOCS), Multi Column Skipping (MCOLS)등의 방법들을 제안하였다[5]. SS 방법을 사용하였을 경우 연산량이 기존의 방법에 비해 약 22.2% 감소하고, GOCS를 사용하였을 경우는 약 55%가 감소한다. 그리고 두 가지 방법을 모두 사용(MCOLS)하였을 경우 60% 정도 연산량이 감소한다. 최근 Aguzzi는 Prediction Matrix를 이용해서 CUP Pass에서 발생되는 컨텍스트를 줄여 전체 문맥 정보량을 10% 감소시키는 방법을 제안하였다[6].

본 논문에서는 DWT된 계수들이 서로 대응되는 주파수 대역의 부대역에서 상관성이 높다는 특성[7]을 이용하여 Tier 1 과정의 비트 평면 코딩을 위한 탐색 횟수를 줄이는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 JPEG2000의 부호화 순서와 EBCOT 알고리듬을 설명하고, 3장에서는 웨이블릿 영역에서 상위 부대역들의 탐색 정보를 이용한 연산량 감소 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 방법에 대한 실험 및 결과를 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. JPEG2000 정지영상 압축 표준

본 장에서는 JPEG2000의 부호화 알고리듬에 대해 설명하고, 엔트로피 부호화 방법인 EBCOT 알고리듬을 소개한다.

### 2.1. JPEG2000의 부호화 순서

JPEG2000은 입력받은 영상을 각 구성 성분별로 사각형의 타일(tile)로 분해한 뒤 각 타일을 대상으로 DWT를 수행하게 된다. 타일은 여러 해상도의 레벨로 변환하게 되고 주파수 특성을 설명하는 부대역(subband) 계수로 구성되어 양자화를 거쳐 코드블록(code block)의 사각형 배열로 만들어지게 된다. 각 코드블록들은 독립적으로 EBCOT 통해 부호화된다[8].

그림 1은 각 타일에 대해 2D(2-dimensional) DWT을 수행한 후 최대  $64 \times 64$  화소크기의 코드블록으로 분할한 후 처음으로 '1'이 검색되는 위치를 찾는 과정을 보이고 있다. 이 과정은 양자화 된 각 DWT 부대역들을 코드블록으로 분할한 후 각각의 코드블록을 비트평면

(bit-plane)으로 변환한다. 이후 상위 평면(MSB, most significant bit)부터 하위 평면(LSB, least significant bit)까지를 검색하면서 처음으로 '1'이 나오는 비트평면을 검색하게 된다. 이런 과정을 거쳐 '1'이 검색된 비트평면부터 그림 1의 우측 하단과 같이 종방향(column)의 4비트 씩 부호화된다. 이 중 가장 먼저 컨텍스트가 추출되고 그에 따라 이미 정해진 결정 값(decision value)이 부가된다. 부호화의 순서는 4비트 단위로 열방향(stripe)으로 진행하며 한 stripe의 처리가 끝나면 다음 stripe의 맨 좌측부터 진행한다. 경계면에 대해서는 필요한 데이터가 '0'이라 간주한다.

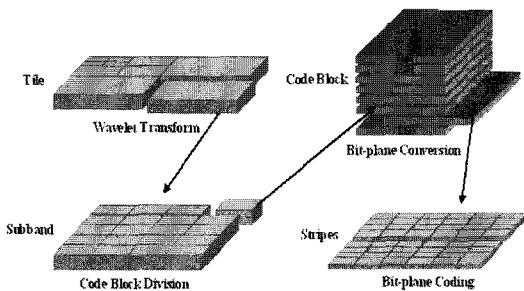


그림 1. JPEG2000의 부호화 순서  
Fig. 1. Coding procedure of JPEG2000

## 2.2. EBCOT

### 2.2.1. 컨텍스트 추출 알고리듬

EBCOT 알고리즘은 그림 2와 같이 크게 두 단계(tier)로 나뉜다. 첫 번째 단계(Tier 1)는 컨텍스트 추출 알고리즘과 MQ 부호화, 그리고 두 번째 단계는 저장, 전송을 위한 비트스트립 형성의 단계(Tier 2)다. Tier 1 과정에서는 코드블록 단위로 나뉜 계수 값을 부호 크기의 비트평면으로 표현하고, 각 코드블록이 독립적으로 비트평면 코딩을 수행한다. 또한 그림 2에서는 코딩을 위한 코드블록 계층적 구조를 보이고 있다. 코드블록은 비트평면으로 나뉘고, 각 비트평면은 줄(stripes)이라는 단위로 나뉜다. 그리고 줄은 열로 다시 나뉜다. 컨텍스트 추출 알고리듬은 이 열을 기본 단위로 이루어진다. 그림에서와 같이 EBCOT 과정은 많은 처리 과정과 상당한 연산량을 필요로 하고 있다.

코드블록을 비트평면으로 나누고, 처음으로 '1'을 찾게 되는 평면에서부터 세 가지 패스(pass)에 의한 코

딩이 수행된다. 컨텍스트를 추출하는 세 가지 패스는 중요 전달 패스(significance propagation pass, P1), 크기 정제 패스(magnitude refinement pass, P2), 정화 패스(clean up pass, P3)들이다. P1 패스에서는 제로 부호화(zero coding)와 부호 코딩(sign coding)에 의해 컨텍스트와 결정 값(decision)을 추출하고, P2 패스에서는 크기 정제 부호화(magnitude refinement coding), P3 패스에서는 런 길이 부호화(run length coding), 제로 부호화, 부호 부호화에 의해 컨텍스트와 결정 값 추출이 이루어진다. 4가지 부호화는 현재 비트와 이웃 비트들 간의 관계를 통해 19개의 컨텍스트와 이진수로 된 결정 값을 추출한다. 컨텍스트 추출을 위해 표 1과 같은 5개의 새로운 비트평면이 필요하다.

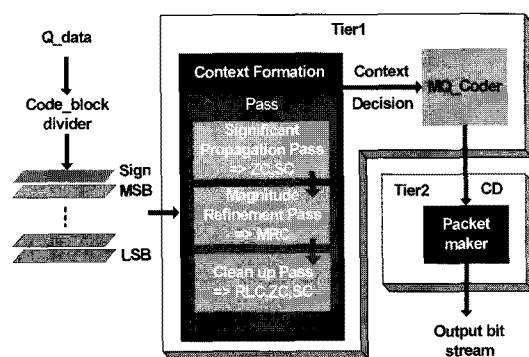


그림 2. EBCOT 알고리즘 구조  
Fig. 2. Structure of EBCOT algorithm

### 2.2.2. 산술부호화(MQ coding)

JPEG2000에 채택된 산술부호화 방식은 허프만 부호화 방식보다 더 정교한 대체 기법으로 0과 1 사이의 값을 표현하는 코드열(Decision)을 이용하여 데이터를 부호화하는 압축 기술이다. 허프만 부호화 방식과 비교할 경우 약 5%에서 10%의 압축률 향상을 얻을 수 있다. 반복되는 구간은 MQ 부호화 과정의 기본이다.

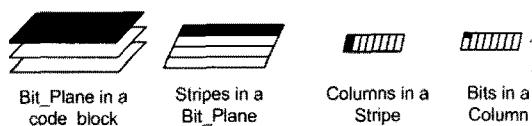


그림 3. 코드블록의 계층적 구조  
Fig. 3. Hierarchical structure of code-block

표 1. 코딩을 위한 비트평면들  
Table 1. Bit-planes for coding

Category	Plane	Description
Bit_plane data	X	sign bit_plane
	v	N-th magnitude bit_plane
Coding State	σ	significance state
	π	delayed significance state
	τ	visited bit_plane

각각의 결정값을 가지고 현재의 확률구간은 두 개의 구간들로 구분된다. 두 개의 구간 중에 현재 구간에서 더 확률이 높은 구간을 MPS(more probable symbol)라고 하고, 확률이 낮은 구간을 LPS(less probable symbol)라고 한다. 이러한 코딩의 결정은 심볼 MPS나 LPS가 0 또는 1로서 식별되어야 하기 때문에 LPS와 MPS 구간의 크기는 결정값을 코딩하기 위해 인식되어야 하며 각 컨텍스트를 위한 확률 근사과정은 부호화 과정에서 행해진다.

$$\begin{aligned} A &= A \times (1-q), & C &= C + A \times q \quad (\text{for the MPS case}) \\ A &= A \times q, & C &= C \quad (\text{for the LPS case}) \end{aligned}$$

위 식에서 현재의 구간  $A$ 의 범위는  $0.75 \leq A \leq 1.5$ 이며  $A$ 의 값이 0.75미만이 되면 그 값의 두 배를 해서 위와 같은 범위 내에 놓이게 만든다. 이렇게  $A$ 의 범위를 제한하면 그 값을 1로 근사화 시킬 수 있다. 따라서 다음과 같이 곱셈 연산을 생략할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} A &= A - Q, & C &= C + Q \quad (\text{for the MPS case}) \\ A &= Q, & C &= C \quad (\text{for the LPS case}) \end{aligned}$$

압축된 데이터는 바이트 단위로 출력되어, Tier 2 과정을 수행하게 된다. Tier 2 과정은 저장 혹은 전송을 위해 압축된 데이터를 패킷(packet) 단위로 나누고 헤더(header)를 붙이는 과정을 말한다.

### III. 상위부대역 탐색정보를 이용한 연산량 감소 방법

본 장에서는 DWT 후 주파수 영역에서 나타나는 부대역 계수들간의 상관관계와 트리구조에 대해 설명하고, 이 특성을 이용하여 EBCOT 과정의 탐색 횟수를 줄일 수 있는 알고리듬을 제안한다.

#### 3.1. 웨이블릿 영역에서의 특성

웨이블릿 변환은 주파수 영역에서 위치 정보와 주파수 정보를 표현함으로써 영상 압축을 위한 계층적인 부대역 구조를 제공한다. 저주파 부분으로 갈수록 웨이블릿 계수들의 크기는 커지고 계수들의 분산이 크다. 반면, 수직/수평 고주파수 부분으로 갈수록 웨이블릿 계수들의 크기가 작아지고 분산도 작아진다. 이 때, 저주파수 부분에 해당하는 부분을 “coarse”, 고주파수 부분에 해당하는 부분을 “finer”이라고 정의한다. 트리 구조는 웨이블릿 특성인 자기 상관성(self-similarity)에 기초한 이론이다.

그림 4에서는 DWT된 후 각 부대역의 상관관계를 나타내었다. 예를 들어 LH3 부대역에서 특정 계수의 크기가 정해진 문턱 값(threshold)보다 클 경우 LH2 부대역의 동일한 위치에 존재하는 4개의 계수 값들도 정해진 문턱 값보다 클 확률이 높다. 이 때, “coarse”계수를 “parent”라 하면, “parent”와 같은 방향, 같은 위치에 해당하는 바로 다음 레벨의 “finer”계수는 “children”이라고 정의한다.

각 부대역의 정보는 같은 위치의 “parent”계수와 “children”계수 간에 상관성이 존재하게 되고, 보통 “parent”계수에서 “children”계수로 내려갈수록 계수의 값이 감소하는 특징을 가지게 된다. 따라서 “parent”계수의 값이 클 경우 “children”계수의 값이 클 확률이 높으며 “parent”계수의 값이 작은 경우 “children”계수의 값이 작을 확률이 높다[9]. JPEG2000은 입력받은 영상을 각 구성을 성분별로 분해하여 사각형의 타일로 분해한 뒤 각 타일에 웨이블릿 변환을 수행하게 된다. 타일은 여러 해상도의 레벨로 변환하게 되고 주파수 특성을 설명하는 부대역 계수로 구성되어 양자화를 거쳐 코드블록의 사각형 배열로 만들어지게 된다. 코드블록 내의 계수들은 EBCOT를 통해 부호화된다.

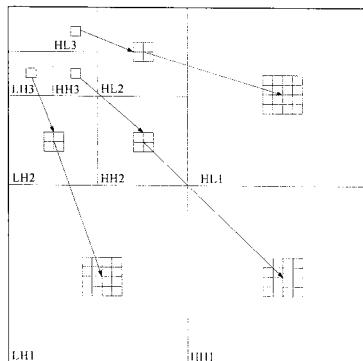


그림 4. 3-레벨 DWT 결과의 트리구조  
Fig. 4. The tree structure of the result from 3-level DWT

### 3.2. 웨이블릿 영역에서의 트리구조를 이용한 탐색 횟수 감소 기법

3.1절에서 언급하였듯이 DWT된 각 부대역의 계수들은 높은 상관도를 갖는다. 본 논문에서는 웨이블릿 영역에서 유사성을 가지는 부대역 간의 계수분포를 이용해서 상위 부대역에 존재하는 코드블록들의 MSB 위치 정보를 가지고 하위 부대역에 존재하는 코드블록들의 MSB 위치를 예측하는 방법이다. 이를 통해 하위 코드블록에서 MSB 위치를 찾기 위한 탐색 횟수를 줄일 수 있다.

그림 5에서는 제안한 알고리듬이 JPEG2000의 부호화 과정의 어느 위치에서 적용이 되는지를 보이고 있다. 제안한 알고리듬은 양자화 혹은 ROI 이후 EBCOT의 Tier-1 과정에서 비트평면 코딩 이전에 수행된다. 예를 들어  $512 \times 512$  화소의 영상을 5-레벨 DWT 후 각 부대역을  $16 \times 16$  화소의 코드블록으로 분할한 후 본 논문에서 제안한 알고리듬을 적용할 경우 이론적으로 약 1,020개의 코드블록에 대한 탐색 시간이 감소하게 된다. 실제로 제안한 알고리듬을 적용한 실험결과는 4장에서 설명한다.

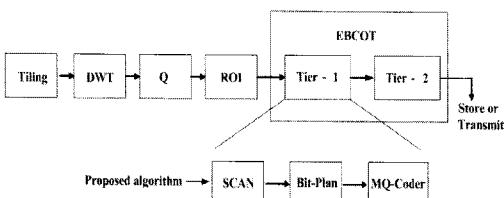


그림 5. 제안한 알고리듬의 적용 위치  
Fig. 5. Application position of proposed algorithm

먼저 제안한 알고리듬을 적용하기 위해 2-레벨 2D DWT를 수행 후 MSB 위치정보의 초기 예측을 위해 상위 부대역들(LH2, HL2, HH2)과 하위 부대역들(LH1, HL1, HH1)이 가질 수 있는 코드블록의 개수를 같은 배율로 나눈다. 예를 들어, 상위 부대역에서 가질 수 있는 코드블록에 개수가 4개일 경우 하위 부대역에서는 16, 64, 256... 개의 코드블록으로 나누게 된다.

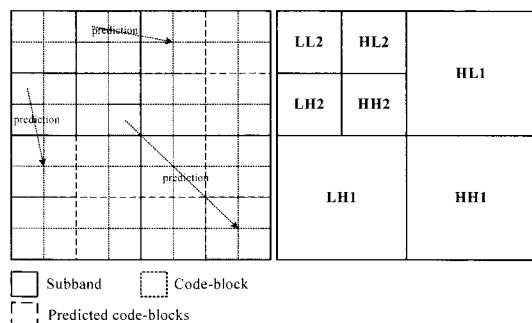


그림 6. 각 부대역의 코드블록별 상관관계  
Fig. 6. Code-block correlation of each subband

그림 6에서는 LH2, HL2, HH2 부대역에서 하나의 코드블록을 예로 들어 각각의 예측된 코드블록(predicted code-block)과의 상관관계를 보이고 있다. 이때 상위 부대역에서 MSB 위치정보의 탐색 대상이 되는 코드블록을 점선으로 표기하였고 상위 부대역의 예측된 정보를 이용하여 하위 부대역에서 예측된 코드블록들은 굵은 점선으로 표기하였다.

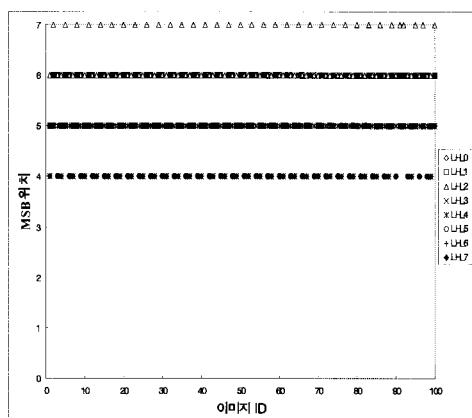


그림 7. 2D DWT 이후 LH 부대역들의 MSB 위치  
Fig. 7. MSB position of LH subband from 2D DWT

그림 7은 100장(512×512 화소)의 회색조 자연영상을 대상으로 2D DWT를 수행한 후 LH 부대역들을 대상으로 각 코드블록들이 갖는 MSB 위치정보를 보이고 있다. 그래프의 x축은 실험에 사용한 영상의 순서, y축은 탐색된 MSB 위치정보를 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 상위 부대역 코드블록의 MSB 위치정보와 하위 부대역의 코드블록이 갖는 MSB 위치정보는 상당히 유사하다. 이런 특성을 이용하여 하위 부대역 위치정보와 서 별도의 탐색 과정 없이 EBCOT 부호화를 수행할 수 있다.

#### IV. 실험 및 논의

본 장에서는 3장에서 설명한 상위 부대역의 MSB 위치정보를 이용해 하위 부대역의 MSB 위치를 예측하는 기법을 적용한 실험 결과를 보인다.

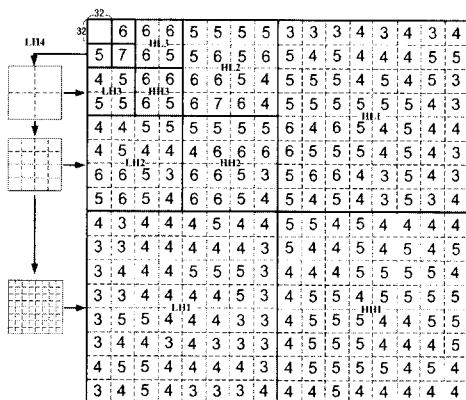


그림 8. 코드블록내의 MSB 정보  
Fig. 8. MSB information of code-block

그림 8은 Lena 영상을 4-레벨 DWT한 후 모든 부대역을 코드블록으로 분할한 후 각각의 코드블록들이 갖는 MSB 위치정보를 나타내었다. 이때, 상위 부대역 코드블록의 MSB 위치정보와 하위 부대역 코드블록들의 MSB 위치정보들은 상당히 유사함을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법의 검증을 위해 탐색과정과 상위 부대역에서의 MSB 위치정보 예측과정을 C언어로 구현하였고, JPEG2000 참조 소프트웨어인 JasPer 1.7 의 해당 위치에 삽입하였다.

실험에 사용된 영상은 512×512 크기의 ISO 표준영상인 Lena, Goldhill을 사용하였다.

제안한 방법으로 탐색 횟수를 줄인 후 복원한 영상들을 그림 9에서 보이고 있다. 그림의 영상에서 Lena의 오른쪽 어깨, 모자, 깃털 등과 같은 고주파 성분이다수 포함되어 있는 부분에서 화질열화가 발생하였고, Goldhill 역시 지붕, 길바닥 등과 같은 부분에서 화질열화가 발생하였지만 전체적인 화질에는 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. PSNR을 이용한 객관적인 화질측정에서도 평균 34.8dB 이상의 비교적 높은 수치를 보였다.

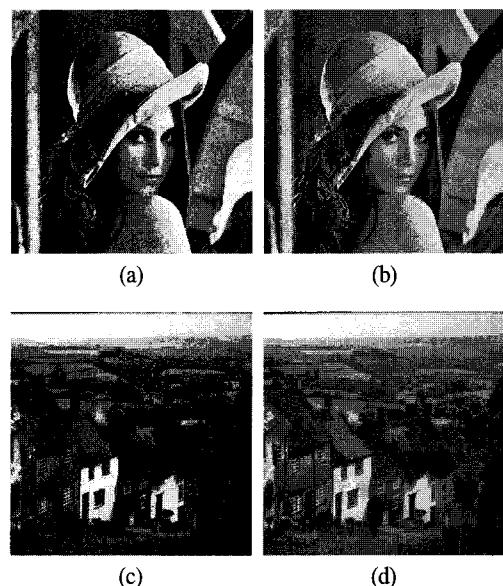


그림 9. 실험결과 (a)원 Lena 영상, (b) 복원된 Lena 영상, (c) 원 Goldhill 영상, (d) 복원된 Goldhill 영상  
Fig. 9. Experimental results (a) original Lena image, (b) reconstructed Lena image, (c) original Goldhill image, (d) reconstructed Goldhill image

표 2는 제안한 방법을 적용한 경우 각 부대역에서 예측되어 탐색과정이 생략되는 코드블록내의 비트평면 개수를 나타내었다. JasPer의 참조 소프트웨어에서 코드블록 단위로 MSB 위치를 탐색했을 경우보다 약 35%정도 횟수가 감소함을 확인 할 수 있다.

표 2. 감소되는 연산량  
Table 2. Reduction of computation cost

Subband	Reduction of computation cost	
	# of bit-plane	Ratio
LH3	9	28%
HL3	4	12%
HH3	5	15%
LH2	47	36%
HL2	29	22%
HH2	32	25%
LH1	253	49%
HL1	117	22%
HH1	208	40%
Total	708	35%

## V. 결론

본 논문에서는 정지영상 압축 기술의 새로운 표준인 JPEG2000의 EBCOT 알고리듬의 연산량을 줄이기 위해 웨이블릿 영역에서 상위 부대역 코드블록들의 MSB 위치정보로부터 하위 부대역 코드블록들의 MSB 위치를 예측하여 탐색 횟수를 줄이는 방법을 제안하였다.

제안한 방법은 웨이블릿 영역에서 나타나는 계수들의 트리구조에 기반을 두고 있다. 제안한 방법을 실제 자연영상에 적용하였을 경우 35dB 이상의 화질에서 탐색 횟수를 35% 이상 감소시켰다.

본 논문의 방법은 향후 고속 JPEG2000 영상 압축기의 H/W 설계 및 시스템 구성에 핵심적인 알고리즘으로 적용될 것이며, JPEG2000에서 문제가 되었던 EBCOT의 연산량을 줄이게 되어 휴대용 멀티미디어 개발에 좋은 해결책으로 사용될 것이다.

## 참고문헌

- [1] JPEG2000 Final Part I: Final Draft International Standard. ISO/IEC 15444-1, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1855, Aug. 2000.
- [2] ISO/IEC 14496-1 MPEG-4 "Coding of Audio-Visual Objects - Part 2 : Visual", Aug. 2002.
- [3] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1. "Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification(ITU-T Rec. H.264 ISO/IEC 14496-10 AVC)", Joint Video Team(JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-G050, March 2003.
- [4] JPEG2000 Final Part I: Final Draft International Standard. ISO/IEC FDIS 15444-1, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1855, Aug. 2000.
- [5] C. Lian, K. Chen, and L. Chen,"Analysis and Architecture Design of Block-Coding Engine of EBCOT in JPEG2000" IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology, Vol.13, No. 3, March 2003
- [6] M. Aguzzi, M. Grazia Albanesi, and M. Martelli,"A new algorithm for the embedding of a prediction mechanism into the JPEG2000 coding chain", The Journal of The Pattern Recognition Society, vol. 39, Issue 8, pp. 1492-1508, Aug. 2006
- [7] 최현준, 서영호, 김동욱, "DWT 계수의 트리구조를 이용한 네트워크-적응적 JPEG2000 컨텍스트 추출 방법", 한국통신학회 논문지 Vol. 30, No. 9C, pp. 939-948, 2005. 9.
- [8] 주동현, 김두영, "분할 정렬 알고리즘의 개선을 통한 JPEG2000 정지영상 부호화에서의 압축 효율 개선", 한국해양정보통신학회 논문지 Vol. 9, No. 5, pp. 1025-1030, 2005. 8.
- [9] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficient", IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 41, No. 12, pp. 3445-3463, Dec. 1993.

### 저자소개



최현준(Hyun-Jun Choi)

2003년 2월 : 광운대학교 전자재료  
공학과 졸업(공학사)  
2005년 2월 : 광운대학교 일반대학  
원 졸업(공학석사)  
2009년 2월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)  
2009년 3월~현재 : 광운대학교 융합미디어연구소  
박사후 연구원

※ 관심분야: 영상압축, 워터마킹, 암호학, **FPGA/ASIC**  
설계, 디지털 홀로그래피



김동욱(Dong-Wook Kim)

1983년 2월 : 한양대학교 전자공학  
과 졸업(공학사)  
1985년 2월 : 한양대학교 대학원  
졸업(공학석사)  
1991년 9월 : Georgia공과대학 전기공학과 졸업  
(공학박사)  
1992년 3월~현재 : 광운대학교 전자재료공학과정교수  
2009년 3월~현재 : 광운대학교 융합미디어연구소장  
※ 관심분야: 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP  
설계, Wireless Communication



백영민(Yaeung-Min Paik)

2007년 2월 : 강원대학교 전기전자  
공학과 졸업(공학사)  
2008년 3월~현재 : 광운대학교  
전자재료공학과 석사과정

※ 관심분야: JPEG2000, Stereo Matching, **FPGA/ASIC**



서영호(Young-Ho Seo)

1999년 2월 : 광운대학교 전자재료  
공학과 졸업(공학사)  
2001년 2월 : 광운대학교 일반대학  
원 졸업(공학석사)

2000년 3월~2001년 12월 : 인티스닷컴(주) 연구원  
2004년 8월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)  
2003년 6월~2004년 6월 : 한국전기연구원 연구원  
2004년 12월~2005년 8월 : 유한대학 연구교수  
2005년 9월~2008년 2월 : 한성대학교 전임강사  
2008년 3월~현재 : 광운대학교 교양학부 조교수  
※ 관심분야: 2D/3D 영상 및 비디오 처리, 디지털 홀로  
그램, SoC 설계, 워터마킹/암호화