

제로트리를 이용한 웨이블릿 기반 부호화기의 성능 분석

준회원 정영준*, 소현주**, 정회원 김남철***, 고종석****

Performance Analysis of Wavelet-Based Coders Using Zerotree

Young Jun Jung*, Hyun Joo So** *Associated Member,*

Nam Chul Kim***, Jong Seog Koh**** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 제로트리를 이용한 웨이블릿 기반 부호화기를 해석하고, 제시한 기준 비임베디드 부호화기와 대표적인 임베디드 부호화기인 EZW와 SPIHT들의 성능을 비교 분석하였다. 제로트리를 이용한 웨이블릿 부호화기는 웨이블릿 변환, 역치화 및 양자화, 무손실 부호화의 세 부분으로 분리하고, 각 부분을 윌콕 부호화 관점에서 고찰하였다. 해석 및 실험결과, 모든 부대역에서 유효계수에 대하여 동일한 간격의 균등 양자화기를 사용하고 이 양자화 간격과 동일한 역치를 사용한 것 즉 (Δ, Δ) 비임베디드 시스템 또는 그와 대응되는 임베디드 시스템이 간단하면서도 성능이 우수한 것으로 나타났다. 그리고, 웨이블릿 필터쌍에 따른 성능의 변화 정도와, 역치화 및 양자화 과정에서 얻어진 심볼맵을 문맥기반 적응 산술 부호화할 때 상관성이 미치는 영향의 정도를 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we analyze wavelet-based coding methods using zerotree and compare the performance of the typical embedded coders (EZW and SPIHT) and the nonembedded coder presented here. Wavelet-based coding systems consist of three subsystems, that is, wavelet transform, thresholding and quantization, and lossless coding, which are considered in rate-distortion sense. The analytic and experimental results show that the (Δ, Δ) nonembedded system or the corresponding embedded system using a threshold and a quantization step size of the same value for all the subbands has simple structure and superior performance. We confirm the extent of coding performance improvement by the pair of wavelet filters and the correlation of symbol maps to perform context-based arithmetic coding on the map.

1. 서론

디지틀 영상을 표현하는 데 필요한 데이터량은 매우 방대하여 전송을 느리게 하고 저장 단가를 높이는 요인이 된다. 따라서 영상에 존재하는 정보 중에서 중요한 핵심성분을 선별하여 부호화함으로써 데이터량을 축소시킬 필요가 있다. 이러한 영상 압축과정은 크게 변환, 양자화, 무손실 부호화 세 부분으로 나눌 수 있다^[1]. 변환이란 주어진 입력영상

을 기저함수들로의 투영을 통하여 주어진 기저함수의 기여도를 반영하는 계수(coefficient)로 변환하는 과정, 또는 주파수별 성분들로 분해하여 표현하는 것을 말한다. 이러한 변환으로 정지영상 압축의 표준인 JPEG^[2]에서 사용하는 DCT(discrete cosine transform)와 본 논문에서 사용할 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform; DWT)^{[3]-[5]}을 예로 들 수 있다. DCT은 단순히 공간영역상의 신호를 순수한 주파수 성분으로 변환하기 때문에 에지와

* LG전자(cloud@lgic.co.kr),

** 경북대학교 전자공학과 영상통신연구실(ufo24@palgong.knu.ac.kr),

*** 경북대학교 전자공학과 영상통신연구실(nckim@ee.knu.ac.kr), **** 한국통신 연구개발본부 가입자망연구소(jkoh@kt.co.kr)

논문번호 : 00135-0422, 접수일자 : 2000년 4월 22일

* 본 연구는 한국연구재단 '97목적기초 지원(97-0100-02-01-3)에 의하여 수행되었습니다.

같은 비정재적(nonstationary) 신호의 처리에는 적합하지 않으며, 블록기반 변환 부호화의 대표적인 결점인 블록화 현상(blocking artifact)이 발생한다. 반면에, 웨이블릿 변환에서 기저함수군을 구성하는 웨이블릿들은 공간 및 주파수 상에서 국부화된 모 웨이블릿(mother wavelet)이라 불리는 하나의 웨이블릿을 확장 또는 축소 및 이동시킴으로써 만들어진다. 따라서, 웨이블릿 변환은 기본적으로 다해상도 처리 및 비정재적 신호의 처리에 적합하며 점진적인 전송과 가변을 전송이 가능하다. 또한, 복원된 영상에서 블록화 현상은 발생하지 않는다.

일반적으로 웨이블릿 변환 과정을 거친 후의 변환 계수들을 제한된 비트율에서 부호화하기 위하여, 각 변환 계수의 전송 여부 즉, 유효도(significance)를 결정하고 유효계수값을 양자화하게 된다. 이 중에서 유효도의 이진결정에 의해 생성된 유효도 맵(significance map)은 웨이블릿 변환으로 인하여 주파수 및 공간상에 국부화되어 있고 자손들의 유효도가 부모계수의 유효도에 상당히 의존적인데, 이러한 특징을 효율적으로 표현할 수 있는 데이터 구조로 제로트리(zerotree)^[6]가 도입되었다. 제로트리 기법은 부모(parent) 노드에서 자손들(descendants)의 중요도를 나타낼 수가 있으므로, 부대역간에 의존적인 유효도 맵의 표현에는 상당한 효율성을 제공한다. 유효계수의 양자화에는 기존 스칼라 양자화나 연속 근사 양자화(successive approximation quantization; SAQ) 기법이 사용된다.

현재 이러한 제로트리 기반 웨이블릿 부호화는 멀티미디어 통신의 압축 표준 MPEG-4^[7]의 질감(texture) 부호화 및 새로운 정지영상 압축표준 JPEG2000^[8]의 기법으로 각광받고 있다. 이들은 비트플레인(bit-plane) 부호화^[9]와 유사한 방식으로 변환 계수들의 비트 표현에 대해서 중요도가 큰 정보 요소 단위로 전송할 것인지, 또는 스캐닝 순서의 변환 계수 단위로 전송할 것인지에 따라 임베디드(embedded)와 비임베디드(non-embedded) 방식으로 구분할 수 있다. 임베디드 부호화 방식의 전형적인 예로는 Shapiro의 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)^[6]와 Pearlman의 SPIHT(Set Partitioning in Hierarchical Tree)^[10]를 들 수 있으며, 비임베디드 부호화 방식의 예로 Orchard의 SFQ^[11]를 들 수 있다.

그런데, 지금까지 임베디드 웨이블릿 부호화 기법들의 성능을 윌왜곡 이론(rate-distortion theory)^[1]의 관점에서 정성적으로 분석하려는 시도가 거의

없었다. 따라서, 본 논문에서는 임베디드 방식을 포함하여 제로트리를 이용한 웨이블릿 부호화를 기능별로 나누어 각각의 특성을 조사하고, 웨이블릿 부호화 기법들 간의 성능 차이를 분석하고자 한다.

먼저 웨이블릿 부호화기를 이산 웨이블릿 변환, 역치화(thresholding) 및 양자화, 무손실 부호화의 세 블록으로 나눈 후, 주어진 비트율에서 웨이블릿 분해된 각 부대역 영상을 라플라시안(Laplacian) 확률분포로 근사화하여 윌왜곡 관점에서의 최적 역치 및 양자화 간격을 조사한다. 이때, 제로트리로 표현되는 유효도 맵의 상관성 형태에 따라 몇 가지 경우로 나누어 조사한다. 다음으로, 역치화 및 양자화 과정을 수행하면 유효도 맵, 사인 맵(sign map), 크기 맵 등의 심블들이 출력되는데, 이들 심블 맵의 상관성과 이를 이용한 무손실 부호화에 관하여 고찰한다. 이어서, 이러한 이론적 근거들을 실제로 검토하기 위한 성능 분석용 기준(prototype) 비임베디드 부호화기를 구현하여, 기준 비임베디드 부호화 방식과 기존 부호화 방식간의 성능을 비교 검토한다. 또한, 기존의 임베디드 부호화 방식인 EZW와 SPIHT의 성능차이의 원인을 윌왜곡 관점에서 이산 웨이블릿 변환, 역치화 및 양자화, 무손실 부호화 과정의 경우로 나누어 조사한다.

II. 제로트리를 이용한 웨이블릿 부호화

1. 이산 웨이블릿 변환

신호 변환은 원래의 표현공간에서 잘 드러나지 않는 신호의 특성을 알아내는 데 필요한 도구이다. 일반적인 변환은 기저 함수들 또는 기저 벡터들의 선형조합으로 표현되며 공간신호를 기저함수들의 기여도를 나타내는 계수들로 사상한다. 이러한 변환에 사용되는 각각의 기저함수들은 자기자신을 제외한 다른 기저함수와의 내적이 '0'이 되며 변환 영역에서 유일한 표현공간을 가지고 있다. 이러한 변환기법 중 웨이블릿 변환은 영상과 같은 비정재적 신호의 해석에서 공간 및 주파수 해상도를 제한적이거나 조절가능하고, 공간적으로 국부화된 신호들의 에너지 밀집능력이 우수하다.

웨이블릿 변환은 모 근사화 함수 $\phi(x)$ 에서 얻어진 최종 근사화 기저함수와 모 웨이블릿이라고 불리는 기저함수 $\psi(x)$ 를 확대, 축소 및 위치이동하여 얻어낸 기저함수군으로 신호를 투영하여 계수로 변환하는 것을 말하며 이때, 근사화 함수와 웨이블릿은 다음의 수식으로 얻어낸다^[3-5].

$$\phi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \phi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (1)$$

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (2)$$

여기서 $a \in \mathbb{R}^+$ 는 확대, 축소인자이고 $b \in \mathbb{R}$ 는 위치이동인자이다. 여기서 웨이브렛은 신호가 퍼지면서 급격히 '0'으로 감소하고 적분값이 '0'이 되어야 하는 허용 조건(admissibility condition)을 만족시키는 함수이다.

식 (1)과 (2)에 의한 기저함수군을 사용하는 연속 웨이브렛 변환(CWT)에서 변환된 계수내에는 상당한 중복계수들이 존재한다. 일반적으로, 영상 부호화에서는 이산 입력신호를 사용하고, 중복된 정보가 제거된 원래의 표현공간보다 적은 중요 계수들로의 변환이 요구되므로 확대, 축소 및 이동 인자들을 이산 집합으로 제한하고, 근사화 함수와 웨이브렛 함수간의 정의 수식에서 유도된 이산 웨이브렛 필터를 사용하여 변환하는 이산 웨이브렛 변환을 사용하게 된다.

이러한 웨이브렛 변환은 분해와 합성에서 사용될 기저함수쌍을 위한 모 근사화 함수와 모 웨이브렛 함수의 생성 조건에 따라서 정규직교(orthonormal) 웨이브렛 변환과 쌍직교(biorthogonal) 웨이브렛 변환으로 나눌 수 있다⁵⁾. 정규직교 웨이브렛 변환은 분해 및 합성에 사용된 모 근사화 함수와 모 웨이브렛 함수가 하나의 기준 함수에서 유도된 공액(conjugate) 함수를 사용하는 웨이브렛 변환으로 변환영역에서의 에너지가 보존되지만, 위상특성이 비선형적이므로 영상 복원시에 위상에 의한 복원 성능이 나쁘다. 이와는 대조적으로 쌍직교 웨이브렛 변환은 분해 및 합성에서 사용된 모 근사화 함수와 모 웨이브렛 함수가 서로 다른 변환으로, 변환계수들의 에너지가 보존되지 않는 단점이 있지만, 위상특성이 선형적이므로 위상정보에 민감한 영상의 복원 성능이 우수하다.

실제 영상과 같은 2차원 신호 x 의 웨이브렛 변환은 원하는 압축률을 얻기 위해서 이러한 분해과정을 여러번 수행하게 된다⁶⁾. 입력영상 x 는 편의상 S^0x 로 나타낼 수 있는데, 이를 반복적으로 ($n=0, \dots, N-1$) 2차원 분리적 웨이브렛 변환하여 다해상도 피라미드를 구성한다. 각 n 번째 웨이브렛 변환 블록에서는 입력 근사화 영상 $S^{n-1}x$ 에 수평방향(j)으로 저역 통과 필터 $h(m)$ 및 고역 통과 필터 $g(m)$ 을 통과시키고, 변환된 계수를 간축

(decimation)한다. 다음으로 수평방향으로 처리된 계수에 수직방향(i)으로 저역 및 고역 통과 필터를 통과시키고, 변환된 계수를 간축하면, 한 단계 더 근사화 된 영상 $S^n x$ 와 수직, 수평 및 대각선 방향의 상세영상($V_h^n x, V_v^n x, V_d^n x$)를 얻게된다. 그림 1에 기본적인 1 단계 웨이브렛 분해 과정도와 입력 및 웨이브렛 분해된 영상을 보인다.

2. 제로트리 기반 임베디드 에이브렛 부호화

제로트리 기반 임베디드 웨이브렛 부호화 방법으로는 Shapiro가 제안한 EZW와, Said와 Pearlman이 제안한 SPIHT 등이 있다. 이들 방법에서는 어떤 역치 T 보다 크기가 작은 계수를 무효계수, 크거나 같은 계수를 유효계수라고 한다. 역치를 단계마다 감소시키면서 유효계수와 무효 계수의 판별 후 유효도 맵을 구성하여 부호화하며, 유효계수의 크기를 연속 근사 양자화(SAQ)하는 방식을 사용한다. 또한, 각 과정에서 발생된 심플들의 무손실 부호화를 위해서 적응 산술부호화 기법¹²⁾을 사용한다.

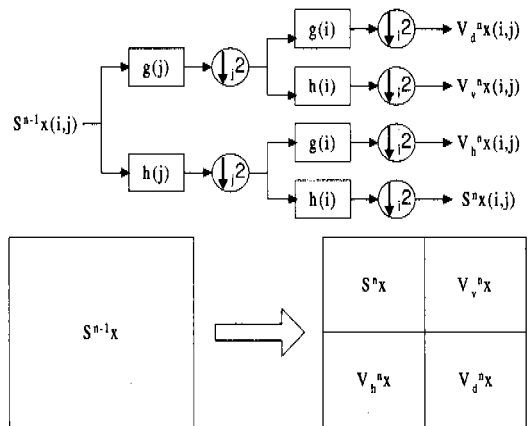


그림 1. 2차원 이산 웨이브렛 분해 블록도 및 분해영상

1) 유효도 맵의 부호화

웨이브렛 계수들은 대부분의 에너지가 저해상도 영역에 분포되어 있고, 각 부대역내에서 이들 에너지도 대부분 예지 근처에 모여 있다. 부대역 간의 계수들을 계층적인 데이터 구조로 나타낸 것을 트리라고 하고, 저해상도 부대역의 계수를 부모, 고해상도 부대역의 계수를 자손이라 한다. 그림 2(a)는 Shapiro가 사용한 트리 구조이며, 그림 2(b)는 Said와 Pearlman이 사용한 트리 구조이다. 그림 2에서 회색 부분은 기저 대역의 계수를 루트(root)로 하였을 때, 그에 대한 모든 자식들을 나타낸다. (a)에서

기저대역의 계수는 서로 다른 부대역(HL3, LH3, HH3)에서 1개씩을 직계 자손으로 갖고, (b)에서는 고해상도 대역에서처럼 기저 대역에서도 한 부대역에서 4개의 직계 자손을 갖는다. Shapiro는 임의의 트리에서 루트와 모든 자손들이 무효계수이면, 그 트리를 제로트리라고 하였다. 이러한 계층화된 트리 구조에서는 저해상도 부대역내의 어떤 계수가 무효인 경우, 같은 위치에 속해있는 고해상도 부대역에 속한 나머지 자손들도 무효화될 확률이 상당히 높다. 따라서, 트리 구조에 대한 무효 여부를 부호화하는 방식은 효율적으로 유효도 맵을 표현할 수 있다.

2) 연속 근사 양자화

트리 구조로 구해진 각 유효계수들의 값을 임베디드 방식으로 부호화 하기 위해 계수의 사인은 따로 전송하고 각 유효계수의 크기만 유효도 순서에 따라 SAQ를 수행한다. 그리고 무효계수는 주어진 역치보다 작다는 것은 알고 있으나 사인이 전송되지 않았으므로 0으로 재생한다. 유효도 맵에는 유효 계수들이 주어진 역치보다 크다는 정보가 이미 포함이 되어 있으므로, 역치보다 큰 부분에 대해서 양자화 간격을 좁혀가면서 세밀하게 양자화하여 부호화한다. SAQ는 유효계수의 비트 플레인 부호화 방식과 유사하다. 이들 EZW와 SPIHT에서는 다음과 같이 단계적으로 역치와 양자화 간격을 낮추면서 SAQ 함으로써 영상을 점진적으로 전송한다.

$$T \leftarrow T/2, \quad \Delta \leftarrow \Delta/2 \quad (3)$$

3) EZW⁽⁶⁾

Shapiro가 제안한 EZW는 각 역치에 대해서 주요 단계(dominant pass)와 종속 단계(subordinate pass)의 두 과정을 반복하여 부호화한다. 먼저, 부호화 전에 모든 계수들을 주요 리스트에 삽입한다. 주요 단계에서는 주어진 역치에 대한 계수의 유효도 맵을 제로트리를 이용해서 표현한다. 유효도 맵을 부호화하기 위해서는 최저 대역에서부터 최고 대역까지 각 부대역별로 스캐닝을 한다. 이 때, 한 부대역내의 모든 계수들을 스캐닝 한 후에, 다음의 부대역을 스캐닝한다. 만약 계수가 유효이면, 계수의 부호에 따라 "POS"(positive)나 "NEG"(negative)의 심볼을 발생하며, 계수를 주요 리스트에서부터 종속 리스트로 옮긴다. 앞에서 스캐닝된 계수로 인한 제로트리에 포함되지 않은 무효계수인 경우에는, 그 계수의 자손들 중에 유효계수 존재 여부에 따라 "IZ"(isolated zero)나 "ZTR"(zerotree root) 심볼을

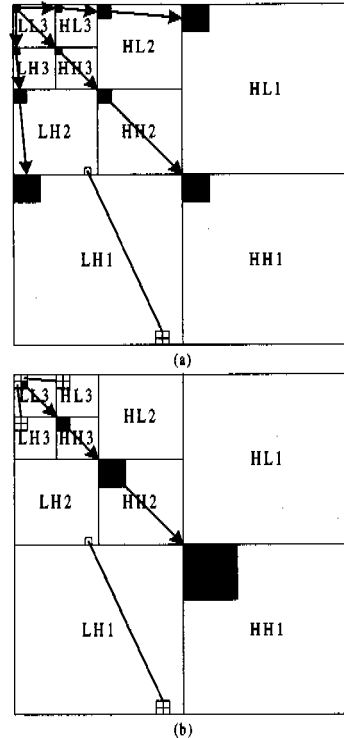


그림 2. 트리 구조에서 부모-자손간 의존관계 (a) Shapiro; (b) 공간지향 트리

발생한다. 그림 2(a)에서 부대역은 LL3, HL3, LH3, HH3, HL2, LH2, ...의 순서로 스캔된다. 그리고, 종속 단계에서는 종속 리스트의 계수들을 계수가 포함된 범위 내에서 하위 부분과 상위 부분으로 세밀화한다. 여기서, 각 범위들의 간격은 역치의 값과 같다.

이와 같은 과정을 역치화와 양자화 관점에서 살펴보면 그림 3-(a)와 같다. 그림 3-(a)는 n번째와 n+1번째 반복 과정에서의 재생값들을 보여준다. 역치 $T^{(n)}$ 을 가지는 n번째 반복 과정에서 유효가 된 계수의 크기를 c라고 하자. (3)식의 관계를 이용하면 c는 범위 $[T^{(n)}, 2T^{(n)}$ 내의 값을 가진다. 주요 단계(역치화 과정)에서는 이 계수가 유효가 되었다는 정보가 전송되면 $1.5T^{(n)}$ 로 재생된다. 그리고, 종속 단계 (양자화 과정)에서는 c가 $1.5T^{(n)}$ 보다 작으면 심볼 "0"을, 그렇지 않으면 심볼 "1"을 전송하며, 각각 $1.25 T^{(n)}$ 와 $1.75 T^{(n)}$ 로 재생한다. 다음으로, 역치 $T^{(n+j)} = T^{(n)}/2^j$ ($j=1,2,\dots$)을 가지는 n+j번째 반복 과정에서 이 유효계수는 종속 단계만 거친다. 여기에서는 c가 이전 재생값보다 작으면 심볼 "0"을, 그렇지 않으면 심볼 "1"을 전송하

고, 재생값을 세밀화 한다. 따라서, 각 반복 단계의 최종 재생값은 역치보다 큰 부분을 다음과 같은 양자화 간격으로 양자화한 값과 같다.

$$\Delta^{(i)} = 0.5T^{(i)}, \quad i=1,2,\dots \quad (4)$$

4) SPIHT^[10]

SPIHT는 EZW의 제로트리 구조를 개선시킨 집합 분할 정렬 알고리즘(set partitioning sorting algorithm)을 이용한다. 512×512 Lena영상의 경우에 SPIHT는 성능 면에서 EZW보다 PSNR 측면에서 0.9~1.0dB정도 성능이 향상된 임베디드 부호화 방식이다. SPIHT는 각 역치에 대해서 정렬 단계(sorting pass)와 정제 단계(refinement pass) 두 가지 과정을 반복적으로 수행한다. 부호화 전에 각 트리에 해당되는 집합을 구성하며, 각 반복 단계에서 이 집합들을 분할한다. 각 반복과정이 끝났을 때 남아 있는 집합내의 자손들은 모두 무효계수이다. 집합은 모든 자손들을 포함하는 A형과 직계자손들을 제외한 자손들을 포함하는 B형으로 구분된다. 그리고, 집합 분할 과정에서 무효계수인 루트들을 무효계수의 리스트에 추가하며, 포함된 자손이 없는 집합은 제거한다. 실제로 SPIHT는 유효도 맵을 산술 부호화할 때, 2×2 크기의 계수 블록을 하나의 심볼로 표현한다. 이 때, 무효상태에서 유효상태로만 천이가 가능하므로, 블록 내에서 몇 개의 계수가 상태를 변화했는지를 이용하면 코드 값의 범위를 한정시킬 수 있다. 또한, 이웃 유효계수의 개수를 조건으로 하여 조건부 적응 산술 부호화하여 이웃간 상관성을 이용하였다. 정렬 단계에서는 먼저, 무효계수의 리스트를 역치에 대해 유·무효 여부를 판별하여 “1”이나 “0” 심볼을 발생한다. 유효계수이면, “+”나 “-”의 부호 심볼을 발생하고 유효계수들의 리스트로 옮긴다. 그리고, 각 집합 내의 자손들 중

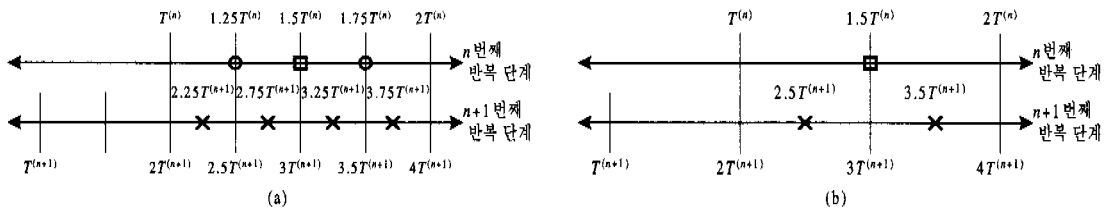
에 유효계수가 있는지 조사하여, “1”이나 “0” 심볼을 발생한다. A형 집합에서 유효계수인 직계 자손이 있으면, 직계 자손들의 유·무효 여부에 따라 “1”이나 “0” 심볼을 발생하고, 유효계수의 부호 심볼도 발생한다. 또한, 직계 자손들을 무효계수나 유효계수의 리스트에 포함시키고, B형으로 전환한다. B형 집합에서는 유효계수인 자손이 있으면, 현재 루트의 직계자손들을 루트로 하는 집합들로 분할한다. 집합에 포함된 자손들이 모두 무효계수가 될 때까지 루트의 유·무효 판별과 집합 분할을 계속한다. 정제 단계는 유효 계수를 세밀화한다.

이와 같은 과정을 역치화과 양자화 관점에서 살펴보면 그림 3-(b)와 같다. 역치 $T^{(n)}$ 을 가지는 n 번째 반복 과정의 정렬 단계(역치화 과정)에서 유효가 된 계수는 정제 단계(양자화 과정)는 거치지 않으며 $1.5 T^{(n)}$ 로 재생된다. 다음으로, 역치 $T^{(n+1)} = T^{(n)}/2^j(j=1,2,\dots)$ 을 가지는 n+1번째 반복 과정의 정제 단계에서는 c가 재생값보다 작으면 심볼 “0”를, 그렇지 않으면 심볼 “1”을 전송한다. 따라서, 각 반복 단계의 최종 재생값은 역치보다 큰 부분을 다음과 같은 양자화 간격으로 양자화한 값과 같다.

$$\Delta^{(i)} = T^{(i)}, \quad i=1,2,\dots \quad (5)$$

III. 제로트리를 이용한 웨이브렛 부호화기의 해석

1. 제로트리를 이용한 웨이브렛 부호화기의 구성
기존 임베디드 부호화기를 포함한 웨이브렛 기반 부호화기를 기능적 측면에서 살펴보면 이들 부호화기는 공통적으로 그림 4와 같이 세 부분으로 구분할 수 있다. 첫번째 부분에서는 영상신호를 계층적인 부대역 영상으로 분해하는 2차원 이산 웨이브렛 변환을 수행한다. 두번째 부분에서는 변환 계수들에



- : n번째 과정의 주요[정렬] 단계에서의 재생값
- : n번째 과정의 종속 단계에서의 재생값
- × : n+1번째 과정의 종속[정제] 단계에서의 재생값

그림 3. n과 n+1번째 반복 과정에서 재생값 (a) EZW; (b) SPIHT

대하여 역치화 및 양자화 과정을 수행하는데, 이때 왜곡이 발생하게 되며 최종 복원된 영상의 품질이 결정된다. 임베디드 방식은 이 과정을 계수의 비트 표현에서의 중요도 순서에 따라서 수행하며, 비임베디드 방식은 이 과정을 계수 단위로 수행한다. 마지막 부분에서는 역치화 및 양자화 과정에서 발생된 심볼들, 즉 유효계수들의 사인과 크기 맵, 그리고 유효도 맵에 대한 제로트리를 무손실 부호화하여, 비트열(bit stream)을 생성한다. 웨이브렛 필터쌍이 주어진 경우, 부호화의 성능은 복원 영상의 품질을 결정하는 역치 및 양자화 간격의 설정 방식과, 최종 비트열의 크기를 결정하는 심볼들의 무손실 부호화 방식에 의해 좌우된다.

2. 라플라시안 모델의 왜곡 기반 최적 양자화기
 이 절에서는 웨이브렛 분해된 부대역 영상의 확률분포를 라플라시안 분포로 모델링하여 역치 및 양자화기에 의한 왜곡 및 비트율과의 관계를 수식적으로 구하고, 역치와 제로트리에 의해서 주어지는 유효도 맵의 정보량을 모델링하여 최적의 역치와 양자화 간격을 구하고자 한다.

1) 최적화 수식의 유도

영상을 웨이브렛 분해하여 얻은 부대역 중, 편의상 기저대역은 최적화 문제에서 제외하기로 한다. 그리고 i 번째 부대역의 확률밀도함수 $p_{X_i}(x)$ 는 각각 평균이 '0'이고 분산이 σ_i^2 인 라플라시안 분포로 근사화하고, 각 부대역내의 유효계수는 부대역별로 균등 양자화한다고 하자^[1]. 여기서, 복원된 영상의 품질에 대한 객관적인 척도로는 평균자승오차(MSE)를 사용하기로 한다. 그리고, 웨이브렛 필터로는 합이 $\sqrt{2}$ 인 정규 직교 또는 쌍직교 필터를 사용하기로 한다.

그러면, i 번째 부대역의 왜곡 D_i 는 주어진 역치 T_i 보다 크기가 작은 무효 계수들이 0으로 재생됨으로써 발생하는 역치화 왜곡 D_i^T 와 유효 계수들을 간격이 Δ_i 인 균등 스칼라 양자화기로 양자화함으로

서 발생하는 양자화 왜곡 D_i^Q 의 합으로 주어진다. 그리고, i 번째 부대역의 부호화 비트율 R_i 는 유효도 맵에 대한 비트율 R_i^T 과, 유효계수의 양자화로 인한 비트율 R_i^Q 의 합이다. 전체 평균 왜곡 D 와 전송 비트율 R 은 D_i 과 R_i 의 가중치 합으로 다음과 같이 표현된다^[1].

$$D = \sum_i w_i D_i = \sum_i w_i (D_i^T + D_i^Q) \tag{6}$$

$$R = \sum_i w_i R_i = \sum_i w_i (R_i^T + R_i^Q) \tag{7}$$

여기서, w_i 는 i 번째 부대역 영상의 계수 개수와 전체 영상의 화소 개수와의 비를 나타낸다. 그리고, 부대역내의 유효계수와 무효 계수의 확률을 각각 $P_{i,1}$ 와 $P_{i,0}$ 이라고 하면, 양자화에 의한 왜곡과 비트율은 다음의 식으로 표현된다.

$$P_{i,1} = 2 \int_{T_i}^{\infty} p_{X_i}(x) dx = \exp\left(-\sqrt{2} \frac{T_i}{\sigma_i}\right) \tag{8}$$

$$P_{i,0} = 1 - P_{i,1}$$

$$D_i^T = P_{i,1} \rho_i \tag{9}$$

$$R_i^Q = P_{i,1} h_i \tag{10}$$

여기서, ρ_i 와 h_i 는 간격 Δ_i 을 가지는 일반적인 균등 스칼라 양자화기에 의한 왜곡과 비트율이다.

최종적으로, 주어진 비트율 R_b 의 제한조건에서 왜곡이 최소가 되도록 하는 문제를 풀기 위하여 라그랑지 (Lagrange) 비용함수 $J = D + \lambda(R - R_b)$ 로부터 T_i 및 Δ_i 에 대한 도함수를 구하고 이 결과가 '0'이 되도록 하면 다음과 같은 식을 얻게 된다.

$$(T_i^2 - \rho_i - \lambda h_i) \frac{\sqrt{2}}{\sigma_i} P_{i,1} + \lambda \frac{\partial R_i^T}{\partial T_i} = 0 \tag{11}$$

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial \Delta_i} = -\lambda \frac{\partial h_i}{\partial \Delta_i} \tag{12}$$

(12)식을 λ 에 관하여 풀면 다음과 같이 정리된다.

$$\lambda = \left[1 + \cosh \sqrt{2} \frac{\Delta_i}{\sigma_i} - \sqrt{2} \frac{\sigma_i}{\Delta_i} \sinh \sqrt{2} \frac{\Delta_i}{\sigma_i} \right] \times \frac{\sigma_i^2 \ln 2}{2} \tag{13}$$

(11) 및 (12)식에 대한 해 또는 (11) 및 (13)식에 대한 해는 일반적으로 반복적 탐색에 의해서 구해 질 수 있다.

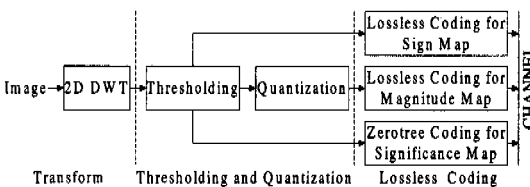


그림 4. 웨이브렛 기반 부호화의 일반적인 블록도

2) 유효도 맵의 확률모델을 이용한 고 비트율에서의 최적해 유도

유효도 맵의 엔트로피 R_i^T 은 역치 T_i 의 함수로서 실제 영상에서 제로트리 부호화방식으로 전송할 경우 그에 대한 이론적 계산이 쉽지 않다. 본 논문에서는 유효도 맵의 엔트로피 R_i^T 을 계산할 때, 유효도 맵의 상관성의 유무에 따라서 유효도 맵의 확률을 두 가지 모델로 근사화하여 사용하기로 한다.

(1) 고 비트율 근사화와 무상관 모델의 유효도 맵

주어진 비트율이 높은 경우, 최적의 역치 및 양자화 간격을 간단히 구하기 위하여 다음과 같은 고 비트율 근사화 조건을 사용하기로 한다.

$$\Delta_i/\sigma_i \ll 1, T_i/\sigma_i \ll 1 \quad (14)$$

이 조건하에서 (12)식으로부터 다음과 같은 결과를 얻는다¹¹⁾.

$$\lambda \approx \frac{\Delta_i^2}{6} \ln 2, \quad \Delta_i = \sqrt{\frac{6}{\ln 2} \lambda} = \Delta \quad (15)$$

결국, 이식은 최적의 양자화 간격은 각 부대역의 균일 양자화기에서 모두 동일하다는 것을 말해주고 있다.

무상관 모델에서는, 주어진 부대역내의 유효도 맵은 인접 부대역간에 서로 상관성이 없고 동일 부대역내 인접계수간에도 상관성이 없다고 가정한다. 따라서, 각 부대역의 유효도 맵 엔트로피는 다음과 같이 주어진다.

$$R_i^T = -(P_{i,0} \log_2 P_{i,0} + P_{i,1} \log_2 P_{i,1}) \quad (16)$$

최적의 역치를 구하기 위하여 (11)식에 (15)식과 (16)식을 비롯하여, h_i 와 ρ_i 의 고해상도 근사식¹¹⁾을 대입하여 풀면, 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$T_i = \Delta_i/2 = \Delta/2 \quad (17)$$

최종적으로 이 식은 유효도 맵 내에 또는 유효도 맵 간에 상관성이 전혀 없는 경우, 최적의 역치도 부대역에 관계없이 동일하며, $T = \Delta/2$, 즉 데드존(deadzone)이 없는 균등 양자화기가 고 비트율에서 최적이라는 것을 말해준다. 고 비트율 근사화가 어느 정도 정확한 지를 알아보기 위하여, (13), (16)식을 (11)식에 대입하여 컴퓨터 계산으로 구한 최적의 역치를 조사해보면 광범위한 비트율에서 $T/\Delta=0.5$

에 근접함을 확인할 수 있다. 이러한 사실은 데드존 균등 양자화에 대한 고 비트율에서의 성능을 컴퓨터로 계산한 결과¹¹⁾와도 일치한다.

(2) 고 비트율 및 마르코프(Markov) 모델의 유효도 맵

유효도 맵간에는 상관성이 없지만 유효도 맵 내에서는 유효 계수와 무효 계수의 이진 발생이 마르코프 확률과정 특성을 갖는 경우를 생각하자. 이때, 상태 천이 확률들이 각각 $q_{i,0}$ 과 $q_{i,1}$ 이라고 할 때 유효도 맵의 비트율은 다음과 같이 구해진다¹⁴⁾.

$$R_i^T = -P_{i,0}[P_{i,1}q_{i,0} \log_2 P_{i,1}q_{i,0} + (1-P_{i,1}q_{i,0}) \log_2 (1-P_{i,1}q_{i,0})] - P_{i,1}[P_{i,0}q_{i,1} \log_2 P_{i,0}q_{i,1} + (1-P_{i,0}q_{i,1}) \log_2 (1-P_{i,0}q_{i,1})] \quad (18)$$

여기서 $q_{i,0} = q_{i,1} = 1$ 이면, (18)식은 (16)식과 같다. 그리고, 유효계수 또는 무효계수간 상관성이 클수록 $q_{i,0}$ 과 $q_{i,1}$ 의 값은 작아진다. 계산상의 복잡도를 줄이기 위해 $q_i = q_{i,0} = q_{i,1}$ 라 하자. 그런데, 이와 같은 마르코프 확률모델을 이용하여 유효도 맵의 엔트로피를 평가할 경우에는 고 비트율 근사화가 용이하지 않으므로, 컴퓨터로 계산하기로 한다. (13), (18)식을 (11)식에 대입하여 계산한 최적의 역치와 양자화 간격의 비를 해상도 Δ/σ 와 q 의 평면에서의 등고선으로 나타내면 그림 5와 같다. 그림에서 고해상도에서는 최소한 $T/\Delta > 0.5$ 이며, 상관성이 높을수록 즉 $q \rightarrow 0$ 에 따라 $T/\Delta \rightarrow 1$ 로 가는 것으로 나타났다.

3) 심블 맵의 상관성과 무손실 부호화

역치와 양자화 과정을 거치면, 유효계수들의 사인파 크기 맵, 그리고 유효도 맵 등의 심블맵이 발생하게 된다. 그림 6은 크기가 512x512 화소인 Lena 영상을 9/7탭 쌍직교 필터로 5레벨까지 분해한 후,

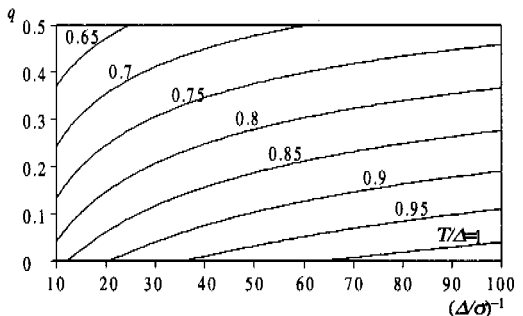


그림 5. 마르코프 모델에 의한 유효도 맵의 상관성을 고려한 경우 역치와 양자화 간격의 최적비 T/Δ 의 등고선.

역치를 변화시키면서 상관계수를 구한 결과를 보여 준다. 그림 6-(a)는 부모-자식간의 유효도에 대한 상관계수로서, 다소 큰 상관성이 균일하게 나타난다. 이 결과는 다른 분해 필터나 레벨에서도 거의 동일하다. 또한 다른 영상들에서도 유사한 결과를 얻을 수 있다. 그림 6-(b)는 이웃한 계수들과의 유효도에 대한 상관계수로서, 역치에 대하여 값들의 변화가 다소 크지만, 대체로 상관계수의 값이 크다. 따라서, 유효도를 이용한 문맥기반 산술 부호화 (context-based arithmetic encoding; CAE) 기법이 일반적인 산술 부호화보다 더 효율적이다. 그림 6-(c)는 부모-자식간의 유효계수에서의 사인에 대한 상관도로서, 그 변화폭이 너무 크다. 그리고, 그림 6-(d)는 이웃간의 유효계수에서의 사인에 대한 상관도로서, 상관계수의 크기가 작지만, 그 변화폭이 그리 크지 않다.

유효계수의 크기 맵은 유효 계수의 양자화 인덱스를 직접 무손실 부호화하거나, 비트플레인 단위로 무손실 부호화 할 수가 있다. 직접 무손실 부호화 방식에서는 제한된 비트율에서 심볼 수가 많은 경우 실제로 사용되지 않은 심볼이 많아 효율이 떨어진다. 반면에 최상위 비트가 유효도 결정에 영향을 미치기 때문에, 비트플레인 방식에서는 최상위 비트의 위치를 유효도 맵과의 상관성을 이용하여 먼저 부호화한 후 나머지 비트들에 대해서만 부호화하므로 실제로 부호화 할 심볼들의 수가 줄어든다. 그리고, 이러한 나머지 비트들에 대해서는 상관성이 거

의 존재하지 않기 때문에 EZW나 SPIHT에서처럼 하나의 히스토그램으로 산술 부호화 하는 것이 좋다.

4) 기준 비임베디드 부호화기

기존의 임베디드 부호화기를 분석하고 그 성능 비교하기 위하여 성능해석이 용이한 기준 비임베디드 부호화기를 구현하였다. 구현된 기준 부호화기는 그림 4의 블록도에 나타난 것처럼 먼저 영상을 웨이브렛 분해한 후에 역치화 및 양자화한다. (15)식에 의하여 유효 계수들에 대하여 모든 부대역들에서 동일한 균등 양자화기를 사용하기로 한다. 기저대역은 나머지 부대역 계수들과 동일한 역치와 양자화 간격을 사용하여 같은 방법으로 부호화한다. 이때, 편의상 역치가 T 이고 양자화 간격이 Δ 인 부호화기를 (Δ, T) 시스템이라고 나타내자. 다음으로 역치화 및 양자화 과정에서 생겨난 유효도 맵, 유효 계수의 사인 맵 및 크기 맵을 무손실 부호화한다. 이 때, 주변 및 부모와의 상관도를 이용하기 위해서 문맥기반 적응 산술부호화를 수행한다.

그림 7은 구현된 비임베디드 부호화기에서 채택한 각 맵내의 상관성을 이용하기 위한 계수 배치를 나타낸다. 좀 더 구체적으로, 유효도 맵의 경우 전송하는 계수에서 최측과 상측 및 좌상측의 유효 계수의 개수와 부모의 고립 제로(isolated zero) 여부를 판별하여 8가지 히스토그램 중 하나를 선택한다. 사인 맵의 경우 좌측과 상측계수의 사인을 이용하여 4가지 히스토그램 중 하나를 선택한다. 크기 맵에서는 최상위 비트위치가 주변과의 상관성이 있으므로 이미 전송한 유효도 맵에서 다음과 같이 인접한 8개의 유효도를 이용하여 하나의 히스토그램을 선택한다^[15].

$$k = \begin{matrix} x_{n-1,m} + x_{n,m-1} + x_{n+1,m} + x_{n,m+1} \\ \{ (x_{n-1,m-1} \vee x_{n+1,m+1}) \\ \wedge (x_{n+1,m-1} \vee x_{n-1,m+1}) \} \end{matrix} \quad (19)$$

여기서, x 는 계수의 유효도를 나타내는 '0'이나 '1'의 값이고 \vee 는 논리적 합, \wedge 은 논리적 곱을

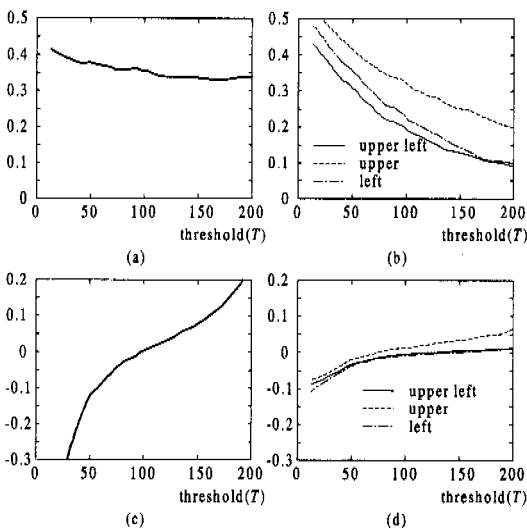


그림 6. 9/7맵 쌍직교 필터로 5레벨까지 분해된 Lena 영상에서의 상관 계수; (a) 부모-자식간 유효도; (b) 이웃간 유효도; (c) 부모-자식간 사인; (d) 이웃간 사인

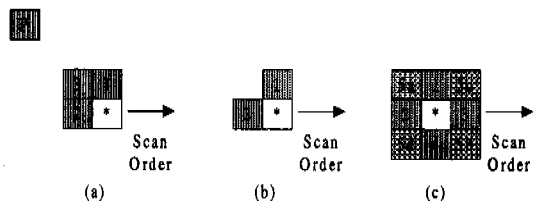


그림 7. 문맥기반 산술 부호화를 위한 계수구성; (a)유효도 맵; (b)사인 맵; (c)크기 맵

나타낸다. 그리고, 나머지 비트들은 하나의 히스토그램으로 산술 부호화 한다.

웨이브렛 기반 부호화기의 성능은 웨이브렛 변환 필터가 동일한 경우, 역치화 및 양자화 과정과 무손실 부호화 과정에서 결정된다. 즉, 복원 영상의 화질을 결정하는 왜곡은 역치 및 양자화 과정에서 결정되며, 부호화 비트열의 크기는 각 심볼맵을 무손실 부호화하는 과정에서 결정된다. 임베디드 방식과 비임베디드 방식의 부호화 성능을 비교하기 전에 먼저 이들의 부호화 과정에서의 차이점을 이해해야 한다. 임베디드 부호화기는 단계별로 감소하는 일련의 역치에 의한 각 비트플레인 별로 유효도 맵과 양자화 과정을 반복하는 반면에, 비임베디드 부호화기는 변환계수 단위로 역치와 양자화 과정을 수행한다. 따라서, 전송 정보순서에서 차이가 나므로 임의의 비트율에서 임베디드 부호화기와 완전히 등가적인 비임베디드 부호화기를 구현할 수는 없다. 다만 이러한 차이점을 감안하여 다음과 같이 제한적으로 비교하기로 한다. 즉, 임베디드 부호화기가 어떤 특정 사이클의 마지막까지 부호화를 수행한 후, 그 때 사용된 역치 및 양자화 간격을 비임베디드 부호화기에 적용시켜 성능을 비교한다.

(4)식에 의하면 EZW에서 한번의 사이클(주요단계 및 종속단계)을 수행한 후에는 역치가 양자화 간격의 2배가 된다. 따라서, EZW는 (4,2d) 비임베디드 부호화기에 대응된다고 할 수 있다. 또한, (5)식에 의하면 SPIHT에서 한번의 사이클(정렬단계 및 정제단계)을 수행한 후에 역치와 양자화 간격은 같은 값을 가지게 된다. 따라서, SPIHT는 (4,1) 비임베디드 부호화기에 대응된다고 할 수 있다.

IV. 실험 결과 및 고찰

역치와 양자화 간격과의 관계 및 심볼맵의 상관성 이용 여부의 측면에서 기존의 웨이브렛 부호화기와 구현된 기준 비임베디드 웨이브렛 부호화기의 성능을 비교 검토한다. 실험에 사용된 영상은 8비트의 512 × 512 화소인 Lena 및 Goldhill이다. 복원된 영상의 화질을 평가하기 위한 객관적 측도로는 PSNR을 사용하였다.

그림 8은 EZW, SPIHT 및 기준 비임베디드 부호화의 성능을 Lena 및 Goldhill 영상에 대해서 보여주고 있다. 보다 우수한 웨이브렛 필터 쌍, (4,1)의 관계를 적용하고 더 좋은 심볼 맵의 상관성을 이용하는 기준 비임베디드 부호화기와

SPIHT는 유사한 성능을 보이고 있으나, 그렇지 않은 EZW는 Lena 영상에 대해서는 0.7~1.2 dB, Goldhill 영상에 대해서는 0.9~2.3 dB 정도의 열등한 성능을 보이고 있다. 먼저 웨이브렛 필터 쌍에 따른 성능 변화 정도를 조사하였다. 원래의 EZW와 SPIHT에서는 9탭 QMF필터와 9/7탭 쌍직교 필터가 각각 사용되고 있는데, 그림 8에는 EZW에 대하여 웨이브렛 필터 쌍에 따른 성능 변화를 조사한 결과가 나타나 있다. 그림에서 9탭 QMF필터보다 9/7탭 쌍직교 필터를 사용하는 것이 Lena의 경우 PSNR 측면에서 0.2~0.6dB 정도, Goldhill의 경우 0.6~0.9dB 정도 향상되는 것으로 나타났다.

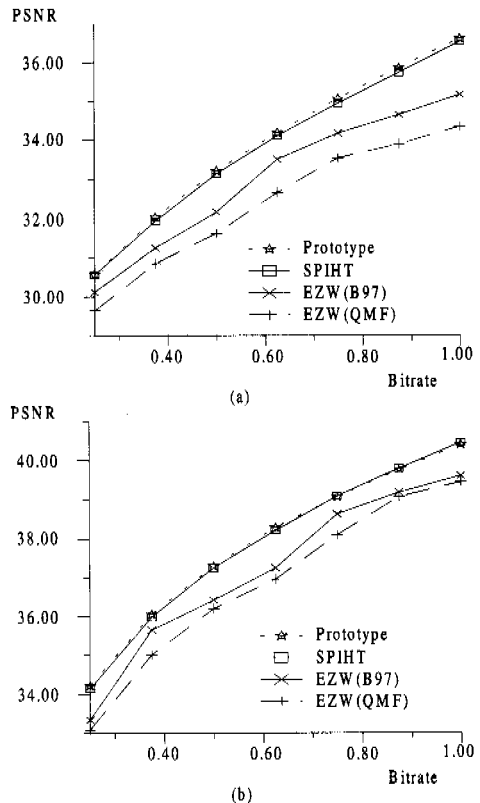


그림 8. 각 웨이브렛 부호화기의 성능: (a) Lena; (b) Goldhill

그림 9는 (4, T)의 기준 비임베드 부호화기를 실제영상에 대하여 적용한 경우에 가장 좋은 성능을 내는 역치와 양자화 간격의 비가 얼마인지를 보여주고 있다. Lena 및 Goldhill 영상에 대해서 가장 좋은 성능을 가지는 T/Δ는 1.0bpp의 고 비트율뿐만 아니라 0.25bpp의 저 비트율에 걸쳐서 0.8에서 1.0 사이에 있음을 알 수 있다. 또한, 다른 시험영상

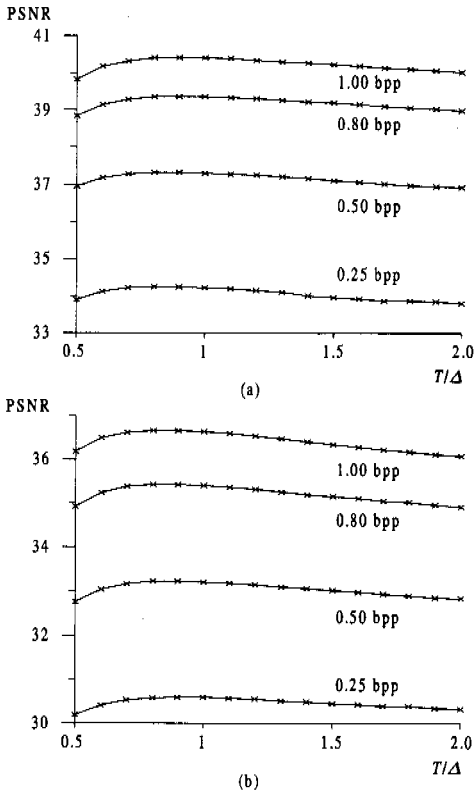


그림 9. 역치와 양자화 간격의 비율에 대한 기준 비임베디드 부호화의 성능: (a) Lena; (b) Goldhill

들에 대해서도 유사한 결과를 얻었다. 이러한 사실은 실제영상들에 대해서는 일반적으로 웨이브렛 부호화기 중에서 (Δ, Δ) 시스템이 $(\Delta, \Delta/2)$ 나 $(\Delta, 2\Delta)$ 시스템보다 성능이 우수하다는 것을 말해준다.

다음으로 동일한 웨이브렛 변환 필터를 사용하는 경우, 역치화 및 양자화 과정과 무손실 부호화 과정에서의 차이로 인한 성능 차이를 살펴보기로 한다.

이때, 웨이브렛 필터는 모두 9/7 탭 쌍직교 필터를 사용한다. 먼저 역치와 양자화의 효과를 알아보기로 한다. 이때, 비임베디드 부호화기에서는 문맥기반 적응 산술부호화는 하지 않고 일반적인 적응 산술부호화를 하였다. Lena 영상에 대해서 EZW 부호화기와 $(\Delta, 2\Delta)$ 비임베디드 부호화기의 성능을 비교해 본 결과는 표 1과 같다. 표에서 EZW와 비임베디드 부호화기는 유효도 맵을 부호화하는 방식은 다소 다르지만 각 사이클마다 거의 유사한 PSNR과 비트율을 나타낸다. 또한, Lena 영상에 대해서 SPIHT 부호화기와 (Δ, Δ) 비임베디드 부호화기의 성능을 비교해 본 결과는 표 2와 같다. 여기서 SPIHT의 Uncoded는 무손실 부호화에서 산술 부호

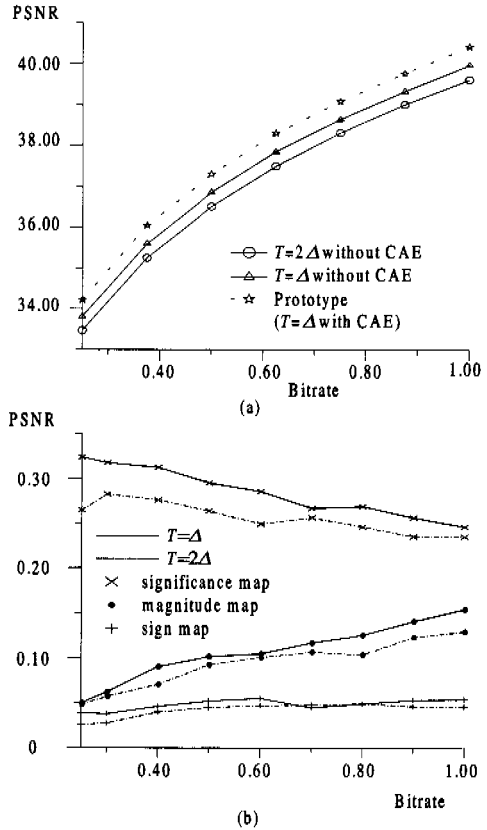


그림 10. Lena 영상에서의 문맥의 사용으로 인한 기준 비임베디드 부호화기의 성능 향상; (a) T/Δ 와 문맥의 사용 여부에 따른 성능; (b) T/Δ 와 맵에 따른 성능

화 하지 않고 이진 부호화 하는 경우를 나타낸다. 표에서 각 사이클마다 SPIHT와 비임베디드 부호화기가 거의 유사한 성능을 나타냄을 볼 수 있다.

다음으로 심플 맵의 상관도가 실제 부호화기 성능에 얼마나 영향을 주는지를 기준 비임베디드 부호화기를 사용하여 조사한 결과는 그림 10과 같다. 그림 10-(a)에서는 먼저 역치와 양자화 간격의 비에 따른 부호화기의 성능이 Lena 영상의 경우에 (Δ, Δ) 비임베디드 부호화기가 $(\Delta, 2\Delta)$ 비임베디드 부호화기보다 PSNR 측면에서 약 0.4dB 정도 향상되는 것으로 나타났다. 또한, 심플 맵의 상관성을 이용하여 문맥기반 산술부호화를 하면 그렇지 않은 경우보다 0.4dB 정도 더 향상되었다. 그림 10-(b)에서 일반적인 각 맵에서 산술 부호화 방식에 대한 문맥기반 산술부호화로 인한 성능 향상 정도를 보면, (Δ, Δ) 이 $(\Delta, 2\Delta)$ 보다 모든 맵에서 더 우수하다. 유효도 맵과 크기 맵은 계수들간의 유효도에 대한 상관성을 사용하기 때문에 성능 향상 정도가 크

다. 그러나, 그림 6(d)에서 나타난 것처럼 사인에 대한 상관성은 그리 크지 않으므로, 그림 10에서 성능 향상 정도가 가장 작다.

그림 11은 EZW, SPIHT 및 기준 비임베디드 부호화기를 사용하여 Lena영상을 비트율 0.25bpp로 복원한 영상이다. PSNR측면에서 SPIHT와 비임베디드 부호화기가 EZW보다 약 1dB정도 앞서 있으나, 주관적인 화질 측면에서 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

표 1. Lena영상에 대한 유사조건상의 EZW와 비임베디드 부호화기의 성능 비교

Turns	Step size	PSNR(dB)		Bitrate(bpp)	
		EZW	(Δ, Δ) system	EZW	($\Delta, 2\Delta$) system
9	15.50	32.85	32.85	0.22	0.22
10	7.30	36.05	36.05	0.44	0.44
11	3.70	39.25	39.25	0.90	0.90

표 2. Lena영상에 대한 유사조건상의 SPIHT(Uncoded)와 비임베디드 부호화기의 성능 비교

Turns	Step Size	PSNR(dB)		Bitrate(bpp)	
		SPIHT	(Δ, Δ) system	SPIHT	(Δ, Δ) system
8	32.0	32.47	32.47	0.19	0.18
9	16.0	35.67	35.67	0.37	0.37
10	8.0	38.84	38.84	0.76	0.76

V. 결론

본 논문에서는 제로트리를 이용한 웨이브렛 기반 부호화기를 해석하고, 제시한 기준 비임베디드 부호화기와 대표적인 임베디드 부호화기인 EZW와 SPIHT들의 성능을 비교 분석하였다. 먼저, 제로트리 기반 웨이브렛 부호화기를 세 부분으로 분리하고 각 부분을 올웨곡 부호화 관점에서 고찰하였다. 각 부대역 영상이 라플라시안 분포를 갖는 것으로 모델링하여 수식적인 해석을 전개한 결과 및 실제 영상에 대한 실험결과에 의하면, 모든 부대역에서 유효계수에 대하여 동일한 간격의 균등 양자화기를 사용하고 이 양자화 간격과 동일한 역치를 사용한 것, 즉 (Δ, Δ) 시스템이 간단하면서도 성능이 우수한 것으로 나타났다. 그리고 웨이브렛 필터쌍에 의한 성능의 변화 정도도 확인하였다. 또한, 역치화 및 양자화 과정에서 얻어진 심블맵의 상관성의 특성을 이용한 문맥기반 적응 산술 부호화를 수행하면 더욱 부호화 성능을 높일 수 있음도 알 수 있었다. 이러한 분석을 토대로, SPIHT와 EZW의 성능 차이의 요인은 웨이브렛 필터쌍의 선택, 양자화 간격과 역치의 비의 선택, 그리고 심블맵의 상관성의

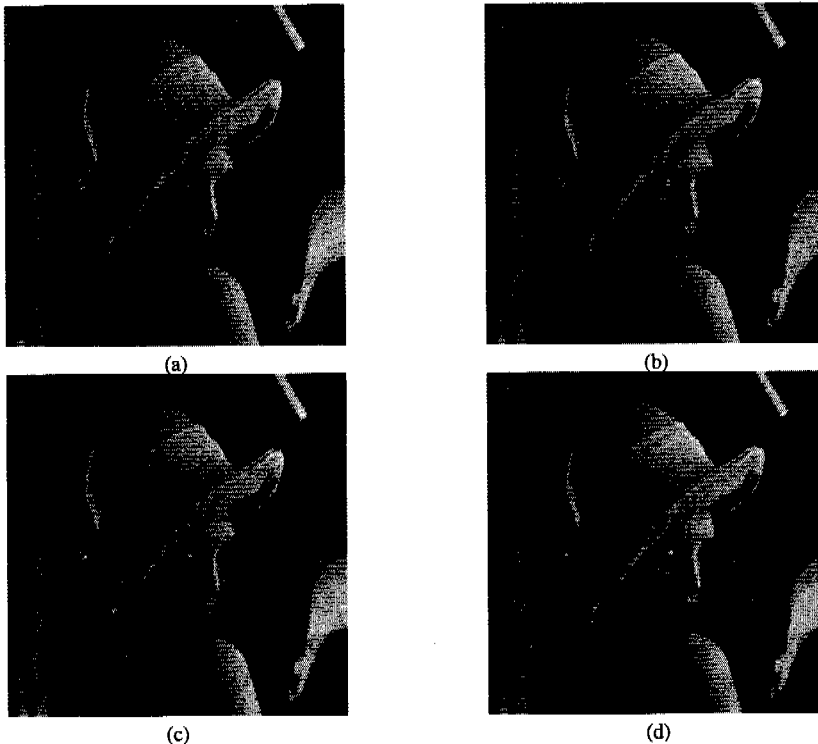


그림 11. 비트율 0.25bpp에서 복원한 영상(Lena) (a) 원 영상; (b) EZW(33.17dB); (c) SPIHT(34.14dB); (d) 비임베디드(34.22dB).

이용 여부에 있음과 그들이 미치는 영향의 정도를 기준 비임베디드 부호화기를 매개로 하여 확인하였다.

참고 문헌

[1] A. Gersho and R. M. Gray, *Vector Quantization and Signal Compression*, Kluwer Academic Publishers, 1992.

[2] W. B. Pennebaker and J. L. Mitchell, *JPEG Still Image Data Compression Standard*, Van Nostrand Reinhold, NY, 1993.

[3] I. Daubechies, "Orthonormal bases of compactly supported wavelets," *Commun. Pure Appl. Math.*, vol. 41, pp. 909-996, 1988.

[4] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 11, pp. 674-693, July 1989.

[5] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. IP*, vol. 1, pp. 205-220, Apr. 1992.

[6] J. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. SP*, vol. 41, pp. 3445-3462, Dec. 1993.

[7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "MPEG-4 video verification model ver. 11.0," MPEG98 N2172, Mar. 1998.

[8] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, "JPEG200 requirements and profiles ver. 5.04.1," Mar. 1999.

[9] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, Sep. 1993.

[10] A. Said and W. Pearlman, "A new fast and efficient image codec based on setpartitioning in hierarchical trees," *IEEE Trans. CSVT*, vol. 6, pp. 243-250, June 1996.

[11] Z. Xiong, K. Ramchandran, and M. Orchard, "Space-frequency quantization for wavelet image coding," *IEEE Trans. IP*, vol. 6, pp. 677-693, May 1997.

[12] I. Witten, R. Neal, and J. Cleary, "Arithmetic coding for data compression," *Comm. ACM*, vol. 34, pp. 30-44, Apr. 1991.

[13] G. Calvagno, C. Ghirardi, G. Mian, and R. Rinaldo, "Modeling of subband image data for

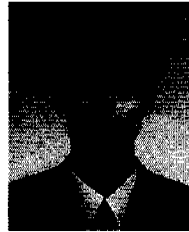
buffer control," *IEEE Trans. CSVT*, vol. 7, pp. 402-408, Apr. 1997.

[14] N. Jayant and P. Noll, *Digital Coding of Waveforms*, Englewood Cliffs, NJ; PrenticeHall, 1984.

[15] D. Marpe and H. Cycon, "Efficient precoding techniques for wavelet based image compression," *Proc. PCS97*, pp. 45-50, 1997.

정 영 준(Young Jun Jung)

준회원



1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1998년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1998년 9월~현재 : LG 전자 IMT-2000 RAN SW실 주임 연구원

<주관심 분야> 영상처리, 영상압축

소 현 주(Hyun Joo So)

준회원

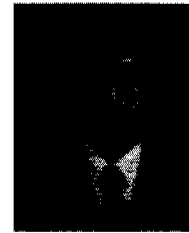


1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1999년 3월~현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 영상처리, 영상압축

김 남 철(Nam Chul Kim)

정회원



1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1980년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1984년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1984년 3월~현재 : 경북대학교 전자전기공학부 교수
 1990년 1월~1994년 12월 : 생산기술연구원 HDTV 신호처리분과위원
 1994년 1월~1996년 12월 : 한국통신학회 편집위원

