

論文99-36C-9-8

# 웨이블렛 계수의 효율적 전송에 따른 가변제로트리코더의 성능개선

## (Improvement of Flexible Zerotree Coder by Efficient Transmission of Wavelet Coefficients)

朱相顯\*, 申宰浩\*

(Sanghyun Joo and Jaeho Shin)

## 요약

Shapiro가 발표한 EZW에서는 한 대역의 부(父)계수가 유사방향의 인접 고주파대역에 4개의 자(子)계수들과 부자관계를 구성하는 고정트리를 기반으로 한다. 이러한 고정트리는 대역간의 계층적 상관관계를 고찰하는데는 적합할 수 있으나, 4개의 계수가 하나의  $2 \times 2$ 의 블록단위로 처리되기 때문에 대역내 인접계수들간에 존재하는 공간적 상관관계를 고찰하기에는 부적합하다. 이러한 대역간의 계층적 상관관계와 대역내의 공간적 상관관계의 동시에 고찰하기 위하여 가변트리가 제안되었다. 그러나 가변트리는 웨이블렛 계수들을 표현하는데 있어, 고정트리에 비해 많은 심볼들을 필요로 한다. 반면 심볼당 정보량(entropy)이 낮아지는 결과를 가져오기 때문에 고정트리에 비해 압축성능을 향상시킨다. 본 논문에서는 가변트리로 인한 심볼 수의 증가를 억제하는 두 가지 기법을 제안한다. 첫째, 무효계수에 대한 불필요한 스캔을 억제하기 위하여 각각의 유효 부계수에 대하여 유효 자계수의 소유여부를 미리 알려주는 1비트의 탐사비트(probing bit)를 발생시킨다. 둘째, 대역에 따라 필요로 하는 심볼 알파벳이 다르다는데 근거하여 대역별 특성을 고려한 심볼셋트를 새로이 정의한다. 이러한 두 가지의 기법에 의하여 발생하는 심볼의 수는 상당히 줄어들게 되고, 출력된 심볼들은 추가 엔트로피코딩을 하지 않고 그대로 전송되더라도 비교적 좋은 압축결과를 가져올 수 있다. 가변트리와 심볼수의 억제기법에 의하여 변형된 EZW 부호화방식은 적응산술부호화기를 포함한 모드와 포함하지 않은 모드의 두 가지 형태에서 제안된다. 본 논문에서 제안하는 부호화방식은 가변트리와 심볼발생억제 방식을 EZW에 적용시켜 성능향상을 피하며, 적용되어진 EZW와의 성능비교를 통하여 이러한 제안방식의 유효성을 점검해 본다.

## Abstract

EZW proposed by Shapiro is based on a zerotree constructed in a way that a parent coefficient in a subband is related to four child coefficients in the next finer subband of similar orientation. This fixed treeing based on 1-to-4 parent-child is suitable to exploit hierarchical correlations among subbands but not to exploit spatial correlations within a subband. A new treeing by Joo, et al. is suggested to simultaneously exploit those two correlations by extending parent-child relationship in a flexible way. The flexible treeing leads to increasing the number of symbols and lowering entropy comparing to the fixed treeing, and therefore a better compression can be resulted. In this paper, we suggest two techniques to suppress the increasing of symbols. First, a probing bit is generated to avoid redundant scans for insignificant coefficients. Second, since all subbands do not always require the same kind of symbol-set, produced symbols are re-symbolized into binary codes according to a pre-defined procedure. Owing to those techniques, all symbols are generated as binary codes. The binary symbols can be entropy-coded by an adaptive arithmetic coding.

Moreover, the binary symbol stream can give comparatively good performances without help of additional entropy coding. Our proposed coding scheme is suggested in two modes: binary coding mode and arithmetic coding mode. We evaluate the effectiveness of our modifications by comparing with the original EZW.

\* 正會員, 東國大學校 電子工學科

接受日字: 1999年1月13日, 수정완료일: 1999年8월19일

(Dept. Electronics Eng. Dongguk Univ.)

## I. 서 론

웨이블렛 분해에 따른 대역간 상관관계를 이용하는 EZW 부호화기<sup>[1]</sup>는 기존의 DCT 기반의 JPEG 성능을 훨씬 능가하며, 저 비트율에서 고 비트율에 이르기까지 전반적으로 좋은 압축성능을 보이고 있다. 이 부호화기의 중요한 특징은 영상의 점진적 전송과 인코더와 디코더가 원하는 시점에서 정지할 수 있고, 정지된 시점에서 최상의 화질을 얻을 수 있다는데 있다. 또한 정수 필터의 사용함으로써 무손실 압축도 쉽게 가능해 진다는 장점을 갖는다. 이와 동일한 특성을 갖는 부호화기로서 최근 발표된 SPIHT<sup>[3]</sup>는 EZW에 비해 독특한 트리처리방식을 취함으로써 빠르고 더욱 좋은 성능을 갖는 것으로 잘 알려져 있다. 성능면에서 SPIHT를 능가하는 부호화기로서 SFQ<sup>[4]</sup>는 rate-distortion의 측정에 의해 목표 비트율에서 최적의 성능을 얻을 수 있으나, 상기의 중요한 특성을 갖지 못하는 단점을 갖고 있다. 국내에서도 EZW를 변형하여 보다 나은 성능을 갖게 하는 연구가 이루어지고 있다<sup>[5]</sup>. EZW 부호화기는 주어진 임계치(threshold)보다 크기가 큰 계수(유효계수)를 전송하고 이들을 연속 근사화(successive approximation)에 의해 원래의 계수값에 점점 가깝게 복원해 나가는 방식을 채택하고 있다. 웨이블렛 계수들은 몇 개의 정해진 심볼들에 의해 표현되고 최종적으로 적응산술부호화기<sup>[6]</sup>에 의해 엔트로피코딩되어 스트림 형태로 전송되어진다.

웨이블렛 분해된 대역간 계수들 사이에는 자기유사성이 존재하고 이러한 특성은 1대4의 부자관계를 이용하는 트리구조에 의해서 효율적으로 고찰되어진다. 즉, 주어진 대역의 한 계수(父)는 유사방향의 인접 고주파 대역에 4개의 계수(子)들과 부자관계를 맺는 고정트리를 구성한다. 이러한 트리방식은 대역간에 존재하는 계층적 상관관계를 효율적으로 고찰할 수 있지만, 4개의 자계수들이 2×2크기의 블록 단위로 처리되기 때문에 인접계수들간에 존재하는 공간적 상관관계를 이용하는 데는 다소 비효율적이다. 이러한 계층적 상관관계와 공간적 상관관계를 동시에 고찰하기 위한 가변트리가 제안되었으며<sup>[2]</sup>, 본 논문에서 제안할 부호화 방식에서는 이 가변트리를 이용한다. 가변트리는 유효계수들을 보다 적은 수의 트리에 소속시킴으로써 하위레벨로 갈수록

비대해 지는 구조를 가지며, 이것은 더욱 많은 심볼의 발생을 초래한다. 그러나, 전체적 심볼수의 증가와 함께 엔트로피의 저하를 동시에 가져옴으로써 결국 고정트리에 비해 좋은 압축결과를 가져온다.

본 논문에서는 가변트리의 채택에 따른 심볼수의 증가를 억제할 수 있는 두가지의 기법을 제안하고, 가변트리와 이들 기법들과의 결합에 대한 효과를 평가한다. 첫째, 무효계수에 대한 불필요한 스캔을 억제하기 위하여 각각의 유효 부계수에 대하여 유효 자계수의 소유 여부를 미리 알려주는 1비트의 탐사비트(probing bit)를 발생시킨다. 둘째, 웨이블렛 계수들을 표현하는데는 부호를 알리기 위한 심볼(POS 와 NEG)과 중요자식의 소유여부를 알리기 위한 심볼(ZTR 과 IZ)의 4개의 심볼 알파벳이 사용되지만 대역에 따라 이들 모두가 필요하지는 않다. 따라서, 대역별로 필요한 심볼만을 정의하는 심볼세트를 새로이 정의한다. 이러한 두가지의 기법에 의하여 발생하는 심볼의 수는 상당히 줄어들고, 출력된 심볼들은 추가 엔트로피코딩을 하지 않고 그대로 전송되더라도 비교적 좋은 압축결과를 가져올 수 있다.

EZW 부호화 방식은 상기의 접근방식에 의해 더욱 우수한 성능을 갖게 되고, 빠른 부호화/복호화를 가능케 하는 변형된 EZW 부호화방식으로 제안된다. 제안하는 부호화 방식은 적응산술부호화의 포함여부에 따라 두가지 형태로 구분되어지며, 원래의 EZW 부호화 방식과의 비교함으로써 제안한 방식의 유효성을 평가한다. 또한 부호화/복호화에 걸리는 실행시간을 두가지 모드에서 각기 비교함으로써 추가 엔트로피코딩의 생략효과도 검토해 본다.

## II. EZW 코더

EZW 부호화방식은 웨이블렛 계수의 효율적 전송을 위하여 복원 영상의 화질에 미치는 영향이 큰 계수를 우선적으로 전송함으로써 어떤 시점에서 복호화가 중단되더라도 최상의 화질을 얻을 수 있다. 우선 헤더정보로서는 영상의 크기, 칼라정보, 사용된 웨이블렛 필터와 스케일, 초기 임계치 등의 정보가 10바이트 내외로 전송되고, 이때 전체 계수들 중 가장 큰 값을 갖는 계수  $C$ 로부터 초기 임계치  $t_0 = 2^{\lceil \log_2 C \rceil}$ 가 구해진다. 여기서,  $\lceil x \rceil$  기호는  $x$ 를 넘지 않는 최대의 정수로 정의

된다. 이렇게 구해진  $t_0$ 보다 크거나 같은 계수들은 유효계수들로 분류되고 이들을 발견할 수 있도록 심볼들을 발생시킨다. 이것은 계수들을 이진수로 표현하였을 때,  $[\log_2 C] + 1$  번째 비트가 1인 계수들을 발견함을 의미한다. 이 과정은 dominant pass로 불리워지고 4개의 심볼이 사용된다. 먼저 유효계수로 발견되어질 계수들에 대해서는 그들의 부호에 따라 두 개의 심볼 POS(positive significant coefficient)와 NEG(negative significant coefficient)로 표현한다. 무효계수들은 유효자계수의 소유여부에 따라 ZTR(zerotree root)과 IZ(isolated zero)로 구분한다. 그림 1과 같이 저주파 대역에서 고주파 대역으로 스캔함으로써 전 대역에 존재하는 유효계수들이 이들 4개의 심볼에 의해 발견되어진다. 참고문헌 [7]에서는 대역내 스캔방식(raster, morton, piano)에 따라 성능에 차이가 있음을 보이고 있으며, 본 논문에서는 morton scan방식을 선택하였다. 여기서 유효부계수로서 발견된 계수와 IZ로 코드된 계수들에 대해서만 자식들을 스캔하고, ZTR로 코드된 계수에 대해서는 그의 서브트리를 스캔하지 않는다. 이 과정에 의해 수많은 무효계수들에 대한 스캔을 피할 수 있다. (주 : 심볼의 중복정의를 피하기 위하여 서브트리가 정의되지 않는 영역(최고 주파수 영역)의 무효계수들 역시 ZTR로 코드한다.)

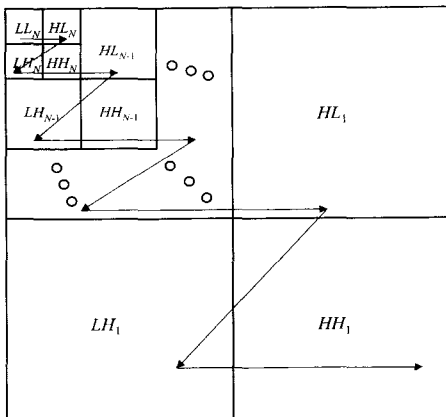


그림 1. N단 웨이블릿 분해에서 계수의 스캐닝순서  
Fig. 1. Scanning of coefficients in N-scale wavelet.

이 dominant pass에 의해 발견된 유효계수들은 임계치의 1.5배로 복원되어지고 부호는 전송된 심볼에 따라 정해진다. 이들의 복원오차를 줄이기 위해 복원된 값과 원래의 계수 값을 비교하여 HIGH 또는 LOW의 심볼

을 발생시키며, 디코더는 이 심볼을 받음으로써 임계치의 0.25배 값을 더하거나 빼줌으로써 점점 원래의 계수 값에 근사시킨다. 이 과정은 subordinate pass로 불리워진다. 그 다음은 임계치를 반으로 줄이고 dominant pass와 subordinate pass의 동일과정을 반복한다. 이러한 과정에서 발생하는 심볼들은 적응적으로 산술부호화되어 전송되고, 어느 시점에서 정지되더라도 그때까지 받은 정보만으로 영상의 복원이 가능하다. EZW의 전체적인 코딩과정은 그림 2에서와 같이 요약된다.

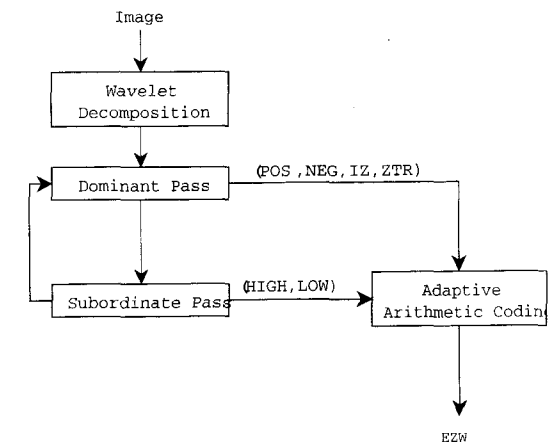


그림 2. EZW 부호화기의 전체 흐름도  
Fig. 2. Scheme of the EZW coder.

### III. FZW 부호화기의 특성

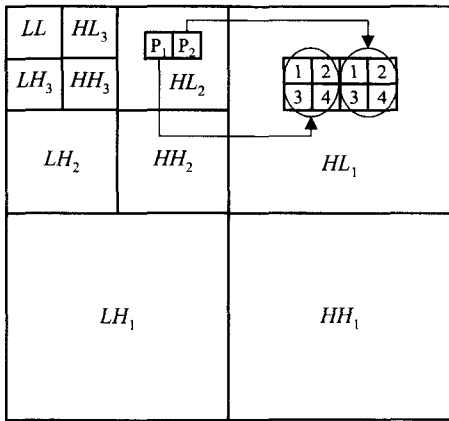
#### 1. 가변형 트리구조를 이용한 유효계수의 전송

##### 1) 가변형 부자관계

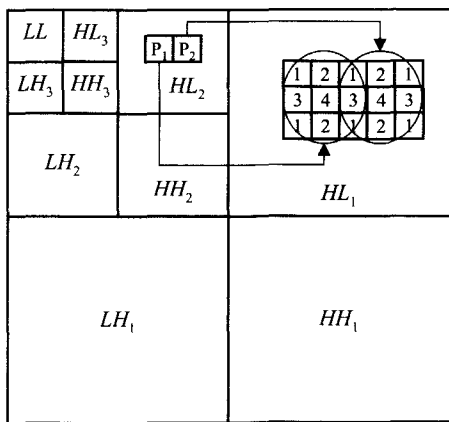
본 논문에서는 코더는 종래의 1:4의 부자관계를 확장한 가변형 부자관계를 이용한다. EZW, SPIHT 등에서 사용된 대역간 축소 수에 대응하는 1:4의 부자관계는 하나의 부계수에 대하여 4개의 자계수들을 정의함으로써 대역간에 존재하는 계층적 상관관계를 효율적으로 이용하고 있다. 그러나, 4개의 자계수를 2x2의 블록단위에서 처리하는 방식은 대역내 인접계수들간에 존재하는 공간적 상관관계를 고찰하기에는 부적절하다. 이러한 상관관계들을 동시에 고찰할 수 있도록 1:4의 고정형 부자관계를 1:(4+x)의 가변형 부자관계로 대체한다. 여기서 x는 확장된 자계수를 의미하며, 0과 5 사이에서 가변적으로 정의된다. 그림 3은 종래의 고정형 부자관계와 가변형 부자관계를 비교하고 있다. 그림

에서와 같이, 고정형 부자관계에서는  $HL_2$ 에 존재하는 부계수  $P_1$ 과  $P_2$ 가 각각 4개의 자계수를 갖는데 반해, 가변형 부자관계에서는 각각 최대 9개의 자계수를 가질 수 있다. 그림 4는 가변형 부자관계에서 하나의 부계수에 대하여 그의 자계수를 정의하는 규칙을 보여주고 있다. 그림 3(b)의  $P_1$ 에 대한 9개의 자계수가 그림 4에 표시되어져 있다. 여기서 자계수 1, 2, 3, 4는 고정형 부자관계에서 정의된 자계수와 동일하며 그룹1 ( $G_1$ )으로 표시한다. 가변형 부자관계의 가변성은  $G_1$ 에 속해 있는 자계수 2, 3, 4에 의해 결정된다. 이들 2, 3, 4번째 계수들은 각각  $G_2, G_3, G_4$ 를 정의하는 역할을

하며, 이들 계수가 유효계수인 경우에 한해 각각의 그룹을 정의한다. 예를 들어, 2번째의 자계수가 유효계수인 경우  $G_2$ 가 정의되며, 이 경우  $P_1$ 에 대한 자계수로서  $G_1$ 과  $G_2$ 가 정의된다. 결국,  $P_1$ 은 1, 2, 3, 4, (5), (6)의 여섯 개의 자계수를 소유하게 된다. 여기서 (5)와 (6)의 자계수는  $P_1$ 에 대하여 정의된 번호이며, 이들은  $P_2$ 에 1, 3의 자계수로서 다시 정의되어진다. 즉, 이들 자계수들은  $P_1$ 과  $P_2$ 에 의해 공유된다. 다시 말해, 가변형 부자관계에서는 하나의 자계수가 복수의 부계수에 의해 소유될 수 있으며, 유효자계수가 유효부계수에 소속되도록 트리구성을 유도하는 방식이 된다.



(a)



(b)

그림 3. 고정된 부자관계와 유동적 부자관계의 비교  
(a) 고정형 부자관계  
(b) 가변형 부자관계

Fig. 3. Comparison between fixed and flexible relationships in parent-child.

- (a) Fixed parent-child relationship.
- (b) Flexible parent-child relationship.

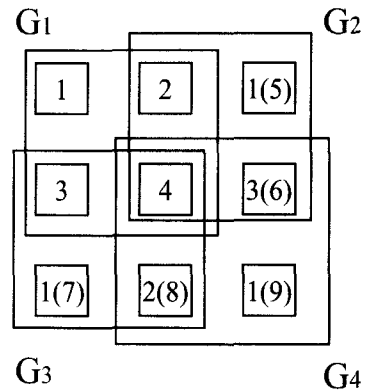


그림 4. 그림 3(b)에 정의된 유동적 부자관계의 이해  
Fig. 4. Illustration of the flexible relationship in Fig. 3(b).

2) 유효그룹으로 정의된 그룹원의 전승

가변형 부자관계에서는 하나의 부계수에 대하여 최대 4개의 그룹이 정의될 수 있고 이들은  $G_1$ 의 그룹원 2, 3, 4에 의하여 정의된다고 설명하였다. 일단 한번 정의된 그룹은 부호화가 끝날 때까지 정의된 상태로 놓이게 된다. 왜냐하면 그들 그룹들의 정의는 유효계수(2, 3, 4)에 의해 정의된 그룹이기 때문에 유효계수를 포함할 확률이 높다는데 근거한 것이다. 현재  $n$ 번째의 Dominant Pass(DP(n))를 전승한다고 하자. 그리고 이때 몇 개의 그룹이 정의되었다고 하자. 이들 그룹의 그룹원은 무효계수이거나 유효계수이고, 유효계수는  $DP(n)$ 에서 모두 전승되어질 것이다. 그러면 그룹내의 무효계수들은 언제 전승할 것인가? 이들은 그룹외의 다른 무효계수보다 더 빨리 유효계수가 될 확률이 높다고 전제한다면, 이들은 당연히  $DP(n+1)$ 이전에 전승되어

저야 한다. 따라서 정의된 그룹내에서 유효계수로서 전송되지 못한 무효계수들은  $DP(n+1)$ 을 전송하기 이전에 처리한다. 이 단계를 Pre-dominant Pass ( $PDP(n+1)$ )라고 부르기로 한다. 이들 계수들이  $PDP(n+1)$ 에서도 유효계수으로써 전송되지 못할 경우  $PDP(n+2)$ ,  $PDP(n+3)$ , ...에서 유효계수으로써 전송될 때까지 반복되는 스캔을 하게 된다.

## 2. 심볼증가의 억제제를 위한 기법

웨이블렛 계수들을 가변트리에 의해 표현할 때, 유효계수들은 적은 수의 거대한 트리에 의해 표현되고 무효계수들은 적은 수의 효율적인 제로트리루트(ZTR)에 의해 표현될 수 있다. 이러한 가변트리에 의해 웨이블렛 계수를 전송하는데는 4개의 심볼(ZTR, IZ, POS, NEG)이 사용된다. 그러면 각 심볼의 발생 확률을 분석하여 보자. 우선 POS와 NEG의 심볼수는 화질을 결정하는 유효계수로서 고정되어 있다고 할 때, 가변트리의 특성상 유효자계수가 유효부계수에 소속될 확률이 높아지므로 IZ 심볼의 수는 감소함을 알 수 있다. 따라서 가변형 트리가 얼마나 효율적인가는 ZTR의 수에 달려 있다. 그러나 하나의 유효부계수에 대하여 많은 자계수를 정의하는 것은 스캔할 대상의 증가를 의미하며, 이것은 곧 발생하는 심볼의 수가 증가한다고 볼 수 있다. 참고문헌 [2]의 발생 심볼수와 엔트로피에 대한 실험 결과에서 알 수 있듯이, 가변트리는 IZ 심볼의 감소와 ZTR 심볼의 증가를 초래한다 ( $N_{IZ} \ll N_{ZTR}$ ). 결국 전체 심볼수는 증가하게 되고 엔트로피는 저하되어, 이들 심볼들을 엔트로피코딩한 결과 고정트리에 비해 좋은 압축결과를 가져온다. 본 논문에서는 이러한 가변트리의 사용에 따른 심볼의 증가를 억제하는 두가지 기법을 제안한다.

### 1) 유효 자계수의 소유여부를 알려주는 탐사비트

가변트리에 의해 웨이블렛 계수들을 표현할 경우, 고정트리에 비해 IZ심볼의 감소와 ZTR심볼의 증가를 가져온다. 이러한 ZTR의 증가는 유효 부계수에 소속된 자계수의 수가 증가함에 따른 것이며, 이들 자계수들 중 많은 수가 ZTR로 표현되어짐을 의미한다. 따라서 이러한 무효 자계수(ZTR)들에 대한 불필요한 스캔을 억제하기 위하여 유효 부계수가 유효 자계수를 소유하는지를 알려주는 탐사비트를 출력한다. 이 탐사비트는 하나의 유효 부계수에 대하여 1비트씩 출력되며, 이 비트가 ON('1' 출력)인 경우에만 자계수를 스캔하고

OFF('0' 출력)인 경우에는 자계수를 무효계수로 간주하고 스캔하지 않는다. 이 탐사비트에 의해 수 많은 무효 자계수들이 ZTR로 코드되는 것을 피할 수 있다. 이러한 탐사비트의 시도는 ZTE<sup>[8]</sup>에서도 비교적 저비트율 부호화를 요하는 동영상의 응용을 위해 유사하게 사용되어졌다. 그러나 ZTE에서 사용된 방식은 무효자계수의 존재유무를 부가정보에 의해 알리는 것이 아니라, 계수에 대한 심볼자체에 존재유무를 포함시키는 시도로서, 본 논문에서 제안하는 탐사비트와는 구성 자체가 다르다. 또한 탐사비트의 유효성은 특정비트율에서만 나타나는 것이 아니라 저비트율에서 고비트율까지 전 비트율에서 고르게 유효하게 작용하는 것을 목표로 한다.

### 2) 대역별 특수성을 고려한 심볼셋트의 정의

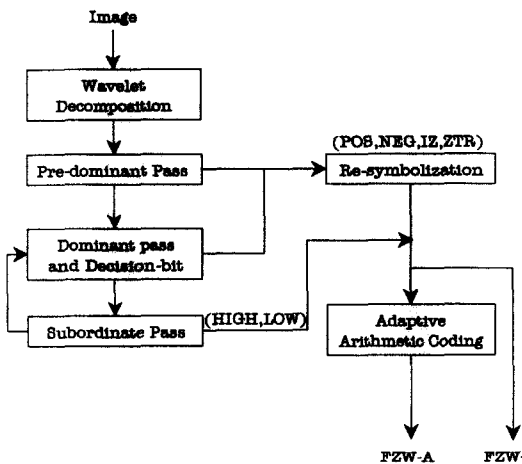
웨이블렛 계수들은 4개의 심볼(ZTR, IZ, POS, NEG)에 의해 표현되어지며, 대역에 따라 이들 심볼알파벳중 필요없는 심볼이 있다. 즉, 화소값의 DC성분이 들어있는 LL영역에서는 부의 계수가 존재하지 않기 때문에 NEG심볼의 정의가 불필요하다. 따라서 이 영역에서는 NEG를 제외한 3개의 심볼알파벳만을 정의한다. 또한 전체영역의 3/4을 차지하는 최고주파수대역( $HL_1$ ,  $LH_1$ ,  $HH_1$ )의 계수들은 자계수를 갖지 않는 계수들로서, 이 대역에서는 IZ심볼을 제외한 나머지 3개의 심볼알파벳만을 정의한다. 결국, 주어진 대역에 따라 3개 또는 4개의 각기 다른 심볼알파벳이 사용되며 이들에 대한 2진심볼 비트할당은 표 1에서와 같이 정의된다. 결국, Dominant Pass 와 Pre-dominant Pass는 2진심볼열을 출력하게 되며, Subordinate Pass에서도 2진심볼을 출력하기 때문에 전체적으로 2진심볼열을 출력하게 된다.

표 1. 대역특성을 고려한 심볼셋트  
Table 1. Symbol set according to the properties of subbands.

대역 \ 심볼	ZTR	IZ	POS	NEG
LL	0	10	11	N/A
$HL_1, LH_1, HH_1$	0	N/A	10	11
기타	0	10	110	111

상기 설명한 두 가지의 제안기법은 출력되는 심볼열의 길이를 상당히 줄일 수 있으며, 추가의 엔트로피코

딩의 도움 없이도 좋은 압축성능을 보일 수 있다. 사실, 엔트로피코딩에 걸리는 시간은 결코 무시될 수 없다. 특히, 더욱 빠른 인코딩/디코딩을 위해서는 엔트로피코딩과정을 생략할 수도 있기 때문에 제안하는 방식의 짧은 심볼열을 출력하는 것은 새로운 기능을 제공할 수 있다. 또한 출력되는 심볼들을 엔트로피 코딩함으로써 보다 높은 압축률을 기대할 수 있다. 따라서 제안하는 부호화방식은 그림 5와 같이 FZW-A(산술부호화 모드)와 FZW-B(이진부호화 모드)중 선택적으로 사용될 수 있다.



FZW-A : Flexible Zerotree Wavelet coder(arithmetic coded mode)  
 FZW-B : Flexible Zerotree Wavelet coder(binary coded mode)  
 그림 5. 제안 부호화기(FZW-A, FZW-B)의 전체 흐름도  
 Fig. 5. Scheme of the proposed coder(FZW-A, FZW-B).

IV. 시뮬레이션 및 검토

본 논문에서 제안하는 부호화기의 성능을 확인하기 위하여 Barbara 와 Lena 의 실험영상을 사용한다. 실험에는 9/7 쌍직교 필터<sup>[9]</sup>와 6단의 웨이블릿 분해를 이용한다. 헤더정보로서는 사용된 필터, 웨이블릿 스케일, 초기 임계치, 영상의 크기 등 7바이트가 소요되었다. 본 논문에서는 여러 측면에서 EZW와 비교를 하기 위하여 직접 EZW부호화기를 프로그래밍하였고, 적응산술부호화에 입력되는 심볼들을 무기억정보원(memoryless source)으로써 인코딩한 것을 제외하고 원래의 EZW부호화기와 동일하게 프로그래밍 하였다. 참고로 기억정

보원(memory source)으로써 인코딩하는 경우 성능이 더욱 향상될 수 있으나, 그에 따른 계산량의 증가를 초래한다. EZW부호화기는 적응산술부호화기의 포함여부에 따라 EZW-A와 EZW-B의 두가지 모드에서 설계하였다. 또한 EZW-B에서는 발생하는 심볼들에 대해 대역특성을 고려한 심볼화 과정(Table 1 참조)을 적용하였다. 본 실험에서는 조건을 동일하게 하기 위하여 FZW-A에서도 무기억정보원을 동일하게 사용하였다.

표 2는 FZW-A와 EZW-A의 저비트율에서 고비트율까지의 성능을 비교한 것이다. Barbara와 Lena영상에 대한 실험 결과로부터 FZW-A는 EZW-A보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있으며, 이러한 성능향상은 가변적 부자관계와 유효 부계수에 대한 유효자계수의 소유 유무를 미리 알려주는 탐사 비트에 의한 것으로 볼 수 있다. 표 2에서는 SPIHT 부호화기의 성능도 비교데이터로써 함께 제시하였다. FZW-A는 SPIHT에 비해 약 0.5 dB정도 성능이 떨어지고 있으나, 이는 FZW-A가 무기억정보원에 의해 코딩되어졌음을 감안할 때 그다지 큰 성능차이로 보여지지는 않는다. 더우기 FZW-A는 SPIHT를 변형한 형태가 아닌 EZW를 변형한 부호화기로서, 변형에 사용된 방식이 SPIHT에 적용되어질

표 2. FZW-A와 EZW-A, SPIHT의 성능비교 (dB)

Table 2. Performance comparisons among FZW-A, EZW-A, and SPIHT.(in dB)  
 (a) Lena (512×512×8, 원영상 : 262, 144Bytes)

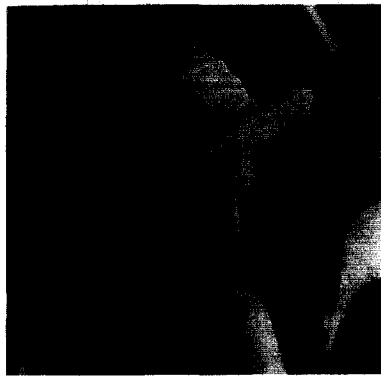
부호화기 비트율	FZW-A	EZW-A	SPIHT
0.125	30.70	30.07	31.10
0.250	33.73	32.99	34.11
0.500	36.83	36.07	37.21
0.750	38.65	38.04	39.04
1.000	40.01	39.30	40.41

(b) Barbara (512×512×8, 원영상 : 262, 144Bytes)

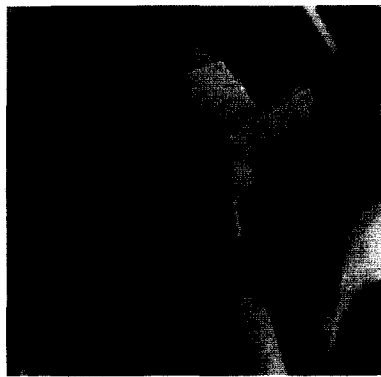
부호화기 비트율	FZW-A	EZW-A	SPIHT
0.125	24.23	23.83	24.80
0.250	27.32	26.43	27.61
0.500	31.37	30.41	31.55
0.750	34.15	33.27	34.49
1.000	36.33	35.17	36.82



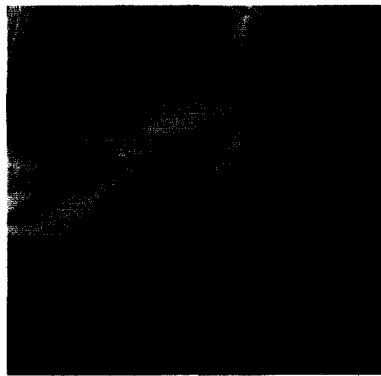
(a)



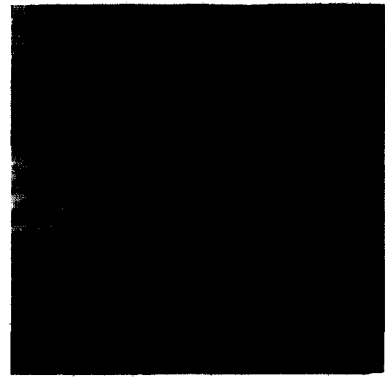
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

그림 6. EZW와 FZW에 의해 복원된 화질비교

- (a) 원영상 (Lena :  $512 \times 512$ )
- (b) 복원된 영상 (EZW at 0.25bpp, 32.99dB)
- (c) 복원된 영상 (FZW at 0.25bpp, 33.73dB)
- (d) 원영상 (Barbara :  $512 \times 512$ )
- (e) 복원된 영상 (EZW at 0.25bpp, 26.43dB)
- (f) 복원된 영상 (FZW at 0.25bpp, 27.32dB)

Fig. 6. Reconstructed image with EZW and FZW.

- (a) Original image (Lena :  $512 \times 512$ )
- (b) Reconstructed image (EZW at 0.25bpp, 32.99dB)
- (c) Reconstructed image (FZW at 0.25bpp, 33.73dB)
- (d) Original image (Barbara :  $512 \times 512$ )
- (e) Reconstructed image (EZW at 0.25bpp, 26.43dB)
- (f) Reconstructed image (FZW at 0.25bpp, 27.32dB)

경우 SPIHT의 성능을 압도할 것으로 보여지며 현재 연구가 진행되어지고 있다<sup>[10]</sup>. 그림 6는 EZW-A와 FZW-A에 의해 0.25bpp에서 각각 복원된 화질을 보여 주고 있으며, Lena영상에서는 그차이가 별로 보이지 않

지만 Barbara영상에서는 그 차이가 뚜렷이 보임을 알 수 있다. 또한 EZW-A와 FZW-A모두 DCT와 같은 블록 단위의 처리를 하지 않기 때문에 JPEG에서와 같은 블로킹현상(Blocking artifact)도 일으키지 않음을 알 수 있다.

표 3은 적응산술부호화기가 생략된 형태의 비교로서 FZW-B와 EZW-B에 대한 성능을 비교한 것이다. 이 비교에서 FZW-B의 성능은 EZW-B를 훨씬 능가하며 오히려 적응산술부호화기를 적용한 EZW-A의 성능과 비슷하거나 우수하다. 표 4에서는 FZW-A, FZW-B, EZW-A에 대한 실행시간을 비교한 것으로, 부호화와 복호화에 대한 시간을 분리하여 비교하였다. 여기서 임계치는 이 값에 대한 Subordinate Pass까지 전송되었음을 의미한다. 즉 동일화질이 얻어졌음을 의미한다. 부호화기의 실행시간을 정확히 측정, 비교하는 것은 다소 무리가 있을 수 있다. 이러한 측정, 비교를 위해서는 동일한 프로그래머가 동일한 실력으로 프로그래밍을 한 경우에 한해서 신뢰할 수 있으며 절대적인 기준은 될 수 없다. 본 실험에서 산술부호화에 걸리는 시간은 전체 부호화/복호화 시간의 약 20-30% 정도가 소요되었다. EZW-A에 비해, FZW-A는 약 5-10%정도 더 복잡한 것으로 나타난 반면 FZW-B는 8-15% 덜 복잡한

것으로 나타났다. 이러한 실험결과를 종합해 볼 때 FZW-B는 EZW-A에 비해 비슷하거나 나은 성능을 보이면서도 고속 부호화/복호화가 가능하다는 장점을 갖는다고 할 수 있다.

표 3. 적응산술부호화기가 생략된 형태의 성능 비교

Table 3. Performance comparisons without adaptive arithmetic coding.

(a) Lena (512×512×8, 원영상 : 262,144Bytes)

부호화기 비트율	FZW-B	EZW-B	SPIHT-B
0.125	30.51	29.53	30.72
0.250	32.38	32.38	33.70
0.500	36.41	35.38	36.84
0.750	37.84	37.01	38.56
1.000	39.54	38.67	39.98

(b) Barbara (512×512×8, 원영상 : 262,144Bytes)

부호화기 비트율	FZW-B	EZW-B	SPIHT-B
0.125	24.23	23.81	24.48
0.250	27.16	26.30	27.27
0.500	30.91	29.70	31.11
0.750	33.16	31.63	33.96
1.000	35.66	34.09	36.31

표 4. 실행시간 비교(단위 : 초)

Table 4. Execution time comparisons. (in seconds)

coders	thresholds	FZW-A	EZW	FZW-B
Encoder	8	4.2	4.0	3.2
	16	3.6	3.4	2.8
Decoder	8	3.0	2.6	1.9
	16	2.5	2.1	1.5

### V. 결 론

웨이블렛 분해된 영상의 대역간 계층적 상관관계와 대역내 공간적 상관관계를 동시에 고찰할 수 있는 가변트리를 사용함으로써 EZW의 성능을 피하였다. 가변트리의 특성은 고정트리에 비해 출력 심볼수의 증가와 엔트로피의 저하라는 특성을 가지며, 본 논문에서는 이러한 심볼수의 증가를 억제하기 위한 방법을 제시하였다. 가변트리와 심볼발생 억제기법은 EZW에 적용되어지며, 그 효용성은 원래의 EZW와의 비교를 통하여 검증하여 보았다.

첫째, 유효부계수에 대하여 유효자계수의 소유를 알려주는 탐사비트를 출력함으로써 수많은 무효계수의 스캔을 억제하였다. 둘째, 대역별로 사용되는 심볼셋을 새롭게 정의함으로써 출력되는 심볼들을 보다 간결(compact)하게 2진코드화 하였다. 이러한 시도는 출력되는 심볼열의 길이를 상당히 줄일 수 있었으며, 이들 심볼들이 추가의 엔트로피부호화의 도움없이 그대로 전송되더라도 비교적 좋은 성능을 보였다. 특히 엔트로피부호화의 생략효과는 더욱 빠른 부호화/복호화를 원하는 경우 사용자에게 의해 선택적으로 사용될 수 있다는 장점을 갖는다.

본 논문에서 제안하는 부호화기는 FZW-A(산술부호화모드)와 FZW-B(이진부호화모드)의 두 가지의 형태로 제안되었으며, EZW 부호화기와 성능비교를 통하여 제안하는 방식의 유효성을 확인하였다. EZW역시 산술부호화기의 포함여부에 따라 두 가지 형태를 비교하였으며, 적응산술부호화기의 포함여부에 관계없이 전부 EZW보다 나은 성능을 보였고, 특히 FZW-B는 적응산



술부호화기를 포함한 EZW보다 유사한 성능을 보이면 서도 고속 부호화/복호화가 가능함을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients", IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [2] S. Joo, H. Kikuchi, S. Sasaki, and J. Shin, "A flexible zerotree coding with low entropy," Proc. of ICASSP, vol. 5, pp. 2685-2688, May 1998.
- [3] A. Said and W. A. Pearlman, "A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 6, no. 3, pp. 243-250, Jun. 1996.
- [4] Z. Xiong, K. Ramchandran, and M. T. Orchard, "Space-Frequency Quantization for Wavelet Image Coding," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 5, pp. 677-693, May 1997.
- [5] 김영로, 홍원기, 고성제, "웨이블렛 변환 계수의 비트 플래인을 이용한 정지영상부호화," 한국통신학회 논문지, 제22권, 제4호, pp. 714-725, Jun. 1997.
- [6] H. Witten, R. Neal, and J.G. Cleary, "Arithmetic coding for data compression," Communication ACM, vol. 30, no. 6, pp. 520-540, Jun. 1987.
- [7] V. R. Algazi and R. R. Estes, "Analysis based coding of image transform and subband coefficients," Proc. of SPIE, vol. 2564, pp. 11-21, 1995.
- [8] S. A. Martucci, I. Sodagar, T. H. Chiang, and Y. Q. Zhang, "A Zerotree Wavelet Video Coder," IEEE Trans. on Circuit and System for Video Technology, vol. 7, no. 1, pp. 109-118, Feb. 1997.
- [9] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [10] A. Watanabe, S. Joo, H. Kikuchi and S. Sasaki, "Extended SPIHT coder for the Flexible Treeing," Proc. of IEICE DSP Symposium, vol. 13, pp. 77-81, Nov. 1998.

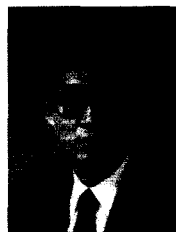
### 저 자 소 개



朱相顯(正會員)

1989년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 일본 니이가타 대학 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년~1996년 생산기술연구원 근무.

주관심분야는 디지털 신호처리, 영상처리, 웨이블렛



申宰浩(正會員)

1952년 8월 29일생 1979년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1987년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1983년~1988년 명지대학교 전자공학과 조교수. 1992년~1993년 일본 니이가타 대학 전기공학과 객원교수. 1988년~현재 동국대학교 전자공학과 교수. 주관심분야는 디지털 신호처리, 오디오신호처리, 멀티미디어 정보보호