

# 무손실 · 손실 영상 압축을 위한 웨이브릿 기반 알고리즘에 관한 연구

論 文

55D-3-6

## A Study on the Wavelet Based Algorithm for Lossless and Lossy Image Compression

秋亨錫<sup>†</sup> · 安鍾久<sup>\*</sup>

(Hyung-Suk Chu · Chong-Koo An)

**Abstract** - A wavelet-based image compression system allowing both lossless and lossy image compression is proposed in this paper. The proposed algorithm consists of the two stages. The first stage uses the wavelet packet transform and the quad-tree coding scheme for the lossy compression. In the second stage, the residue image taken between the original image and the lossy reconstruction image is coded for the lossless image compression by using the integer wavelet transform and the context based predictive technique with feedback error. The proposed wavelet-based algorithm, allowing an optional lossless reconstruction of a given image, transmits progressively image materials and chooses an appropriate wavelet filter in each stage. The lossy compression result of the proposed algorithm improves up to the maximum 1 dB PSNR performance of the high frequency image, compared to that of JPEG-2000 algorithm and that of S+P algorithm. In addition, the lossless compression result of the proposed algorithm improves up to the maximum 0.39 compression rates of the high frequency image, compared to that of the existing algorithm.

**Key Words** : Wavelet Transform, Wavelet Packet, Lossless Compression, Lossy Compression, Quad-Tree Algorithm

### 1. 서 론

최근 웨이브릿은 공학적인 문제를 해결하기 위하여 많이 이용되고 있는데, 신호처리와 관련된 분야에서는 음성신호나 영상신호의 압축 그리고 잡음제거를 위한 목적으로 특히 많이 사용되고 있다. 웨이브릿을 이용하여 영상신호를 압축하면 DCT를 이용하여 압축하였을 때 나타났던 블록현상이 나타나지 않을 뿐만 아니라 MRA의 특성으로 영상신호에 국부적으로 영향을 주는 잡음의 에너지를 넓은 영역으로 분산시키기 때문에 잡음의 영향을 줄일 수 있다. 웨이브릿 변환은 에너지 압축성능이 매우 좋을 뿐만 아니라 신호를 시간-주파수 영역에서 동시에 표현할 수 있는 특성 때문에 영상 압축을 포함한 여러 응용분야에서 이용되고 있는데, 웨이브릿 기반 영상 압축 알고리즘이 제공하는 중요한 장점은 다중 분해능의 부밴드 영역값(subband samples)을 저장하고, 점진적 전송을 할 수 있다는 데에 있다. 무손실 압축 기법에는 선형 예측 코딩(linear predictive coding)이 JPEG에서 효율적인 방법으로 쓰였고, 컨텍스트 모델링 기반 예측 기법과 Markov state의 양자화 방법, 그리고 예측 에러의 엔트로피 코딩 등의 방법이 제안되었다.[1][2]

지금까지 웨이브릿을 이용한 무손실 영상압축을 위해 실수연산을 정수연산으로 대체하면서도 영상에너지 압축효율 또한 뛰어난 정수 웨이브릿(ICFB: Integer Coefficient Filter Bank) 변환 방식으로 가장 간단한 S-변환(Harr wavelet)으로부터 lifting scheme을 이용하는 방식 등 다양한 ICFB들이 제안되었다.[3][4] 손실 압축 기법에서는 서브밴드간에 계수의 쇠퇴성을 이용한 EZW의 경우는 POS(Positive Significant), NES(Negative Significant), IZ(Isolated Zero), ZTR(Zero-Tree Root), Z(Zero)의 기호를 사용하여 중요계수들의 위치정보를 나타내었다.[5] 그런데 EZW의 경우는 ZTR가 많이 나타나야 코딩효율이 좋은데 해상도를 높이기 위해 임계값을 낮게 하면, ZTR이 많이 나타나지 않아 코딩 효율이 떨어지는 단점이 있다. SPIHT는 계수의 쇠퇴성을 이용하여 트리구조를 만들어 코딩하였고, MRWD와 SLCC는 계수의 군집성을 이용하여 클러스터를 만들어 코딩하였다.[4][5] EZW와 SPIHT는 서브밴드간의 비중요계수들의 의존성을 이용하여 제로트리를 만드는 반면에, MRWD와 SLCCA는 서브밴드 내의 중요계수들의 군집성을 이용하여 마스크를 통한 클러스터링을 한다. 여기서 EZW와는 다르게 중요계수들의 의존성을 이용하여 서브밴드간의 중요계수를 엮어나가는 차이점을 보인다. 그 결과 복원된 영상의 PSNR을 비교해 보면 블록을 기반으로 한 변환 방법보다 1-3dB 정도 우수함을 알 수 있다.

본 논문에서는 웨이브릿 변환을 기반으로 하여 무손실 압축 및 손실압축을 선택적으로 수행할 수 있는 영상압축시스템을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 두 단계로 구성된다. 첫

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 蔚山大 工大 電氣電子工學部 講義專擔教授

E-mail : hschu4@mail.ulsan.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 蔚山大 工大 電氣電子工學部 教授

接受日字 : 2005年 12月 15日

最終完了 : 2005年 2月 1日

번째 코딩 단계에서 best-basis 선택 알고리즘을 이용하는 웨이브릿 패킷 변환과 EZW(Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients) 알고리즘에서 쿼드트리 정보를 적용하는 쿼드트리 코딩을 하여 손실압축을 수행한다. 두 번째 단계에서는 웨이브릿 패킷 변환후 각 임계값을 만족한 계수들을 역 웨이브릿 패킷 변환을 하여 영상을 복원하고 복원된 영상과 원 영상간에 차이를 구한다. 여기서 원 영상과 복원된 영상의 차이가 생긴 부분을 다중 분해능 구조의 종속성과 예측에러의 피드백을 고려한 컨텍스트 모델링 예측과 정수 웨이브릿 변환을 이용하여 선택적으로 무손실 압축을 수행한다. 실험결과에서 보면 고주파 성분을 상대적으로 많이 갖는 영상에서는 제안한 알고리즘의 실험결과가 향상된 PSNR 성능을 보임을 확인하였다. 제안한 알고리즘은 영상을 다 분해능 구조의 표현과 점진적인 전송을 할 수 있고, 고정된 웨이브릿 필터를 대신하여 손실 압축 단계와 무손실 압축 단계에서 효율적인 웨이브릿 필터를 적용하여 향상된 압축 성능을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 제안한 웨이브릿 기반 무손실·손실 영상 압축 알고리즘의 전체적인 시스템 구조를 보였고, 3장에서 손실 압축과 무손실 압축을 위한 실험에 대하여 설명하고 제안한 알고리즘의 실험 결과를 기존 알고리즘의 실험 결과와 비교하였다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

## 2. 웨이브릿 기반 무손실·손실 영상 압축 알고리즘

### 2.1 시뮬레이션 시스템

그림 1에 제안한 영상압축 시스템을 보였다. 본 논문에서는 웨이브릿을 기반으로 하여 무손실 압축과 손실 압축을 동시에 처리하는 영상압축시스템을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 코딩 단계는 웨이브릿 패킷 변환과 쿼드트리 코딩을 이용하여 손실압축을 수행한다. 여기서 웨이브릿 패킷 변환을 위하여 [8]에서 제안한 best-basis 선택 알고리즘을 이용하였다. 웨이브릿 패킷 알고리즘은 실험을 통하여 정해진 기준값에 의하여 알고리즘의 계산량이 제한되고, top-down tree search를 이용하며 주어진 영상에 따라서 자식 서브밴드에서 상대적으로 에너지 분포가 많은 suboptimal base를 선택한다. 또한 EZW의 경우는 중요계수의 위치 정보를 제로트리라는 기호를 이용하여 코딩 효율을 높였지만, 해상도를 높이기 위해 임계값을 내리면 제로 트리 구조의 효율이 떨어짐을 보인다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 기존의 쿼드트리 정보를 계산하는 방법을 변형하여 주어진 임계값에서 중요계수의 위치를 구하고, EZW에서 제안한 방법을 이용하여 중요계수의 절대값과 부호를 결정하고 적응산술부호화를 이용하여 비트 스트림으로 전송하게 된다.[7][9] 두 번째 단계에서는 웨이브릿 패킷 변환 후 각 임계값을 만족한 계수들을 역 웨이브릿 패킷 변환을 하여 영상을 복원하고 복원된 영상과 원 영상간에 차이를 구한다. 여기서 원 영상과 복원된 영상의 차이가 생긴 부분을 다중 분해능 구조의 종속성과 예측에러의 피드백을 고려한 컨텍스트 모델링 예측과 정수 웨이브릿 변환을 이용하여 선택적으로 무손실 압축을 수행한다.[6]

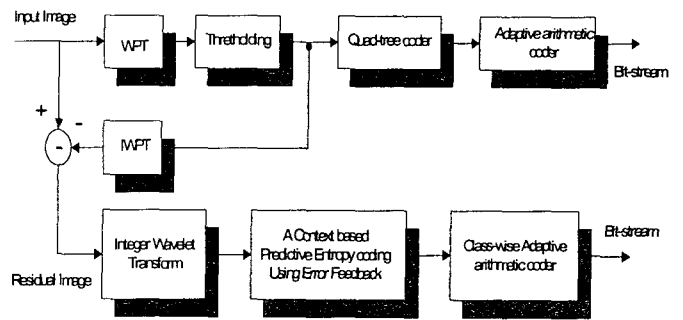


그림 1. 웨이브릿 기반 무손실·손실 영상압축 시스템

Fig. 1. A wavelet-based system for lossless and lossy image compression

### 2.2 웨이브릿 패킷 알고리즘

제안한 알고리즘은 실험을 통하여 정해진 기준값에 의하여 알고리즘의 계산량이 제한된다. 본 연구에서는 계산량 측정값을 4레벨의 octave 서브밴드로 분할하는 DWT일 때의 계산량으로 나누어 웨이브릿 패킷변환에 대한 상대적인 측정값을 하여 계산량을 나타내었고, 웨이브릿 패킷 변환은 4레벨의 DWT를 했을 때의 계산량 보다 작을 때까지 분해한다. 여기서 4레벨 이상으로 분해하였을 경우에 얻은 코딩성능이 4레벨까지의 성능과 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였다.[10] 그림 2에서 제안한 알고리즘의 순서도를 보였다. 본 연구에서는 트리 구조를 구성할 때 기존의 best-basis 선택 방법에서 이용된 bottom-up 탐색 방법 대신 메모리 사용량이 줄어들고, 계산시간이 단축되는 top-down 탐색 방법을 적용하였다. 여기서 부모 서브밴드의 cost와 자식 서브밴드들의 cost를 비교하여, 자식 서브밴드들의 cost의 합이 부모 서브밴드의 cost와 같거나 크면 부모 서브밴드 밑의 트리 구조를 삭제하고, 작으면 부모 서브밴드의 트리 구조를 자식 서브밴드로 확장시킨다. 또한 기존의 방법에서는 자식 서브밴드를 모두 확장했지만, 본 연구에서는 확장된 자식 서브밴드들을 에너지 분포 크기에 따라서 정렬하여 자식 서브밴드들 중 상대적인 에너지가 제일 많은 자식 서브밴드만을 그 다음 레벨에서 분해하였다. 이와 같이 상대적인 에너지가 제일 많은 자식 서브밴드만을 분해하였을 경우와 자식 서브밴드를 모두 확장했을 때에 계산량은 많이 줄어들지만 제안한 알고리즘의 코딩성능은 큰 차이를 보이지 않음을 실험을 통하여 확인하였다.[8]

본 연구에서 제안한 웨이브릿 패킷 알고리즘과 Coifman과 Wickerhauser가 제안한 best-basis 선택 알고리즘과의 차이점은 기존의 best-basis 선택 알고리즘의 경우 bottom-up 트리 탐색 방법을 이용하고 모든 자식 서브밴드에 대하여 트리 구조를 구성하는 방법이며, 본 연구에서 제안한 알고리즘은 Taswell의 실험에서 확인된 메모리 사용량이 줄어들고, 계산시간이 단축되는 top-down 트리 탐색 방법을 이용하였고 자식 서브밴드들 중에서 가장 많은 에너지를 갖는 자식 서브밴드만을 확장하여 계산량을 줄일 수 있었다.

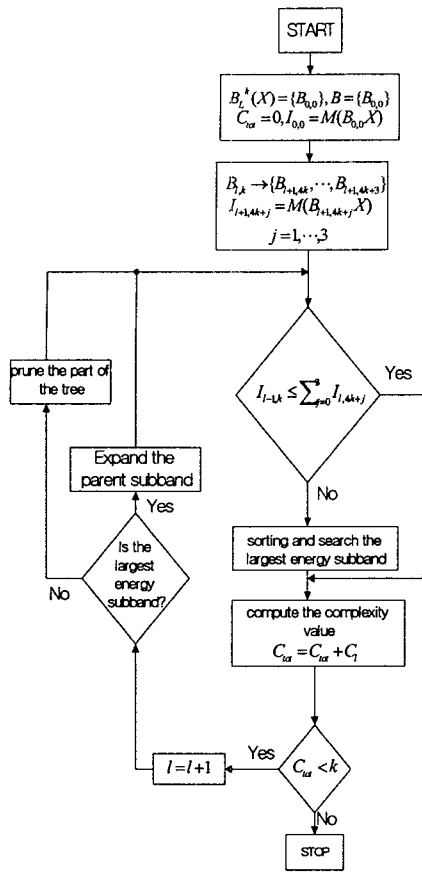


그림 2. 웨이블릿 패킷 알고리즘  
Fig. 2. Wavelet packet algorithm

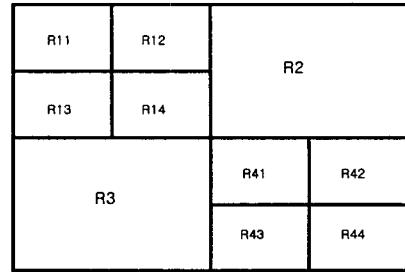
2.3 쿼드트리 이용 웨이블릿 계수의 코딩 알고리즘

쿼드트리(quad-tree)를 이용한 웨이블릿 계수의 코딩 알고리즘은 기존의 쿼드트리정보를 구하는 것을 변형하여 주어진 임계값(threshold value)에서 중요계수의 위치를 구하고, EZW에서 제안한 방법으로 중요계수의 절대값과 부호를 결정한다.[7]

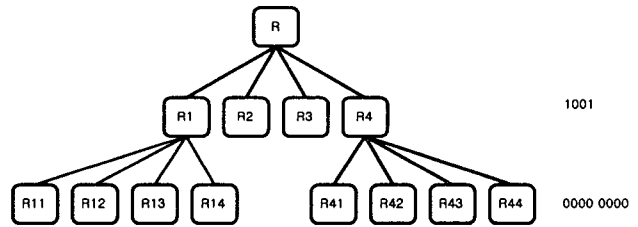
2.3.1 중요계수의 위치정보 추출

쿼드트리 알고리즘에서 중요계수들의 위치정보를 나타내기 위해 사용하는 쿼드트리[7]는 이미지 분석법의 하나인 영역 방향성 세그멘트기법(region-oriented segmentation)중에서 이미지를 분할할 때, 분할 정보를 나타내는 것이라 볼 수 있다. 그림 3에 간단한 이미지 분할에 대한 쿼드트리를 나타내었다. 그림 3에서 쿼드트리 정보를 bit-stream으로 나타내면 1 1001 0000 0000으로 나타낼 수 있다. 1은 분할이 가능함을, 0은 더 이상 분할이 불가능함을 나타낸다. 이와 같은 쿼드트리를 사용하여 중요계수의 위치를 나타내는 정보로 바꿀 수 있다. 이미지를 분할하는 조건은 분할 시 중요계수가 있으면 분할하고 없으면 분할하지 않는다. 이런 사실을 이용하여 위치정보를 나타내기 위해 본 논문에선 S(split), N(non-split), 그리고 C(significant coefficient)라는 심벌(symbol)을 사용하였다. 그림 4에 간단한 예를 16×16크기의 이미지에 대해 나

타내었다. 그림 4의 결과를 심벌로 나타내면, S NNNS SNNNS SNNN NNNC CNNC로 나타낼수 있다. S는 쿼드트리 정보의 1과 같이 분할이 가능함을, N은 0과 같이 분할이 불가능함을, 그리고 C는 중요계수를 나타낸다.



(a) 분할된 이미지



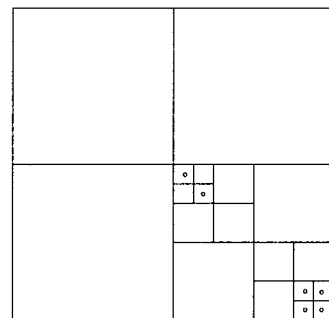
(b) 상응하는 quad-tree

그림 3. 분할 이미지와 쿼드트리 표현

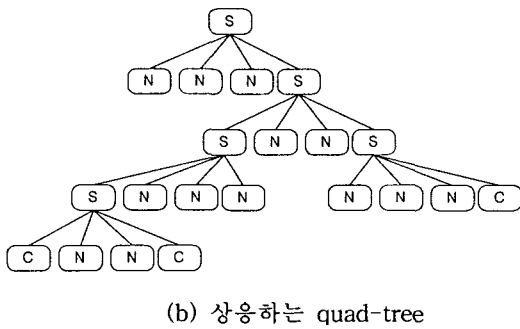
Fig. 3. Partitioned image and quad-tree representation

2.3.2 중요계수 값의 결정

여기서 설명할, 계수들의 값을 결정하는 방법은 EZW에서 소개한 것과 같다. 간단히 설명하면 어떤 임계값(T)의 범위에 들어가는 계수의 값을 결정하는 것인데, 이때 임계값을 T라고 하면 T와 2T사이에 있는 계수들을 significant coefficient라 두고, 이 계수가 2T와 (2T+T)/2 사이에 있으면 1, (2T+T)/2에서 T 사이에 있으면 0이라 둔다. 이렇게 구한 비트-스트림을 가지고 decoder에서 행렬(matrix)을 구성하여 업데이트 된 인터벌(interval)과 비교해서 값을 결정하는 것이다. 이런 방법으로 계수의 값을 결정하게 되면 임계값을 낮출수록 복원값이 압축 전의 값과 가까워져서 해상도가 높아진다. 그리고 마지막으로 부호비트(sign-bit)를 보내면 값을 결정할 수 있다.



(a) 16×16의 significant coefficient map



(b) 상응하는 quad-tree

그림 4. 16×16의 중요도 맵에 대한 예

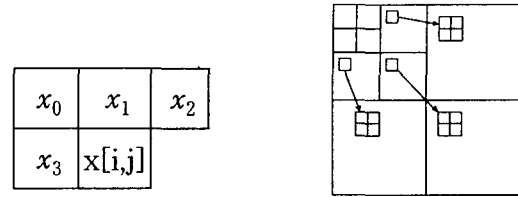
Fig. 4. An example of significant coefficient map with 16×16 image.

2.4 예측오차의 컨텍스트 모델링과 에러 피드백

무손실 압축을 위하여 고안된 수많은 방법들 중에서 예측 기법이 가장 간단하고 효율적이다. 여기에서 송·수단에서는 래스터 주사(raster scan)방식으로 영상을 처리하고, 이미 전송된 화소(pixel) 값들에서 현재 화소 값을 예측한다. 예측이 정확하게 수행되었다면 예측 오차의 분포는 거의 0 값에 집중되고, 원 영상보다 현저하게 낮아진 엔트로피 값을 얻을 수 있다. 예측 오차 값으로 구성된 영상이 i.i.d. (independent and identically distributed) source 이면 호프만(Huffman) 혹은 산술부호화(arithmetic coding)등의 엔트로피 코딩방법을 이용하여 효율적으로 부호화 할 수 있다. 그러나 가장 세밀한 예측방법을 적용하더라도 잔여 영상에는 i.i.d. 가정에서 벗어나는 구조를 갖기 때문에 예측오차를 효율적으로 부호화하기 위하여 예측한 후에 남은 구조를 처리할 모델이 필요하다. 대부분의 무손실 압축 기법에서는 컨텍스트 모델링이 에러 모델링 기법(error modelling technique)으로 이용되고 있고, 각 화소에서 예측 오차는 이미 부호화된 주위 화소 값들을 이용하여 계산된다.

본 연구에서는 일반적으로 스무스한 성질을 갖는 자연영상의 상관관계를 잘 제거하는 9/7 정수 웨이브릿 변환과 함께 자연영상들에서 생기는 에지(edge) 성분, 다시 말하면 상대적으로 고주파 성분을 갖는 자연영상들에 대한 엔트로피 코딩 효율을 향상시키기 위하여 컨텍스트 모델링을 기반으로 하는 예측과 에러 피드백 기법(error feedback mechanism), class-wise adaptive arithmetic coding scheme을 적절히 적용함으로써 고주파 성분의 코딩 효율을 개선하여 무손실 압축률을 높이는데 있다. 엔트로피 코딩을 위하여 먼저 [2]에서 제안된 MS-VLI 표현기법을 이용하여 변환하였다. 여기에서 모든 웨이브릿 계수들은 크기 세트(magnitude set), 부호 비트(sign bit), 크기 비트(magnitude bit) 등의 세 부분으로 분류된다. 코딩 효율을 높이기 위하여 사인 비트와 크기 비트는 계수간의 상관성이 없기 때문에 코딩하지 않고 산술 부호화하여 전송하고, 크기 세트에서는 각 부밴드 영역값에서 계수간의 상관성을 제거하고 레벨이 다른 부밴드간의 종속성을 고려한 컨텍스트를 구성하여 예측한다. 그림 5에 예측을 위한 컨텍스트를 나타내었다. MS-VLI 표를 이용하여 얻은 주위 화소의 크기 세트 값들에서 웨이브릿 변환된 영상의 지역적인 상관성을 제거하기 위한 주위 4개의 화소들과 계층적인

피라미드 구조의 다른 레벨 화소 값도 컨텍스트를 구성하는데 이용되었다.



(a) Adjacent pixels

(b) Parent pixels

그림 5. 예측을 위한 contexts

Fig. 5. Set of conditioning contexts.

식 (1)에 예측에 이용되는 컨텍스트를 나타내었다.

$$C = \{ x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 \} = \{x[i-1,j-1], x[i-1,j], x[i-1,j+1], x[i,j-1], x[i/2,j/2]\} \quad (1)$$

여기에서  $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4$ 는 그림 5에서 정의된다.

그림 5에서 화소  $x[i,j]$ 은  $x_0, x_1, x_2, x_3$ 와 부모 화소(parent pixel)  $x_4(x[i/2,j/2])$ 의 크기 세트의 평균값으로 예측값  $\hat{x}[i,j]$ 을 구한다. 그러나 크기 세트의 평균 값 만으로는 컨텍스트를 구성하는 화소들과 예측 값  $\hat{x}[i,j]$ 사이의 복잡한 관계를 제거하는 데에는 적절하지 못하다. 따라서 예측값과 주변 화소들의 관계에 대한 고려가 더 높은 압축률을 위해 영상의 텍스처 패턴(texture pattern)이나 국부 동작성(local activity)과 같은 특성들을 이용할 수 있게 해준다. 이와 같은 접근은 컨텍스트 사이에서 예측 바이어스(prediction bias)를 제거하는 에러 피드백 기법을 이용하여 엔트로피 코딩 전에 예측 값을 재고하여 볼 수 있도록 해준다.

본 연구에서 대부분의 큰 예측 오차는 부밴드의 에지(edge)에서 발생하기 때문에  $\hat{x}[i,j]$ 을 구한 후  $\hat{x}[i,j]$ 을 임계값으로 정하고 다시 컨텍스트를 구성하는 화소들과 비교하여 예측값  $\hat{x}[i,j]$ 이 주위 화소 값에 대한 영향을 나타내는  $\hat{e}[i,j]$ 을 계산하였다.[3]

식 (2)에서 예측값  $\hat{x}[i,j]$ 을 컨텍스트 C의 화소들과 비교하여  $B = b_4b_3b_2b_1b_0$ 와 같이 5 비트의 값으로 나타내었고, 식 (3)에서는 B값에서  $\hat{e}[i,j]$ 값을 구하는 과정을 보였다.

$$b_k = \begin{cases} 1 & \text{if } x_k \geq \hat{x}[i,j] \\ 0 & \text{if } x_k < \hat{x}[i,j] \end{cases} \quad (2)$$

$$\hat{e}[i,j] = \begin{cases} 0 & \text{if } B < T \\ 1 & \text{if } B \geq T \end{cases} \quad (3)$$

여기에서 T값은 실험을 통하여 얻은 적절한 임계값(thresholding value)이다. 따라서 주위 화소들의 평균값  $\hat{x}[i,j]$ 에  $\hat{e}[i,j]$ 을 더하여 예측값  $\hat{y}[i,j]$ 을 구한다.

$$\hat{y}[i,j] = \hat{x}[i,j] + \hat{e}[i,j] \quad (4)$$

### 3. 실험 및 결과

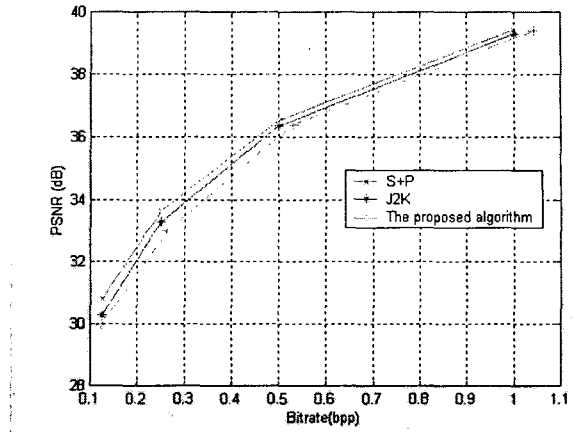
제안한 알고리즘의 실험을 위하여 손실 압축 단계에서는 웨이브릿 패킷 알고리즘을 적용하여 영상 변환을 수행하며, 쿼드트리 정보를 이용하여 중요계수의 위치, EZW(Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients)에서 제안한 방법으로 중요계수의 절대값, 그리고 부호를 결정하고, 적응산술부호화(adaptive arithmetic coding)를 이용하여 비트 스트림으로 전송한다. 무손실 압축 단계에서는 9/7 텀의 정수 웨이브릿 필터를 이용하여 6레벨의 웨이브릿 변환을 하였다. 코딩을 위하여 먼저 MS-VLI 표를 이용하여 웨이브릿으로 변환된 계수들을 크기 세트, 부호 비트, 그리고 크기 비트로 나누고, 크기 세트에 대하여 컨텍스트 모델링과 에러 피드백을 이용하여 예측하였고, 부호 비트와 크기 비트는 전송 효율을 높이기 위하여 코딩하지 않고 전송하였다. 여기서 비트 스트림으로 전송하기 위하여 각 부밴드에 대하여 블록을 정하고 블록의 평균값에 따라 4부류로 분류하여 각 블록에 대하여 적응산술부호화를 적용하였다.

#### 3.1 손실 영상 압축 결과

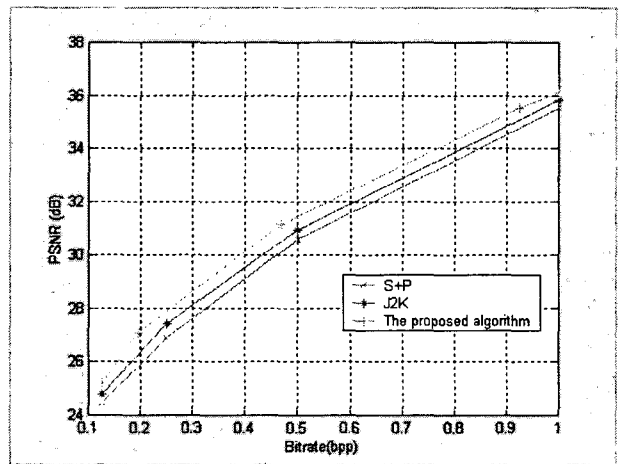
실험 영상으로는 512×512 크기의 그레이 레벨을 갖는 "LENA"영상, "BARBARA"영상, 그리고 "GOLDHILL"영상을 이용하여 실험하였다. 여기서 "LENA"영상과 "GOLDHILL"영상은 일반적으로 저주파 성분이 많고, "BARBARA"영상은 고주파 성분이 많은 영상으로 알려져 있다. 그림 6에는 제안한 알고리즘의 실험결과를 JPEG-2000과 S+P알고리즘의 실험결과와 비교한 결과를 나타내었다. 실험결과에서 보면 저주파 성분을 다른 표준영상과 비교하여 상대적으로 많이 갖는 "LENA" 영상과 "GOLDHILL" 영상의 경우, 제안한 알고리즘의 실험결과는 비트율이 0.6보다 작을 경우에 JPEG-2000과 S+P 알고리즘의 실험결과와 비교하여 0.25dB 정도의 PSNR이 낮았고, 비트율이 0.6보다 커질수록 JPEG-2000과 S+P 알고리즘의 실험결과와 비슷한 PSNR 성능을 보였다. 또한 "LENA"영상에서 S+P알고리즘의 실험결과가 JPEG-2000의 실험결과와 비교하여 전체 비트율 구간에서 PSNR값이 0.1dB 정도 높았고, "GOLDHILL" 영상에서는 비트율이 0.4보다 작을 경우에는 비슷한 성능을 보이나 0.4보다 커질수록 JPEG-2000이 0.1dB 정도 더 높은 PSNR값을 보였다. 반면에 고주파 성분을 상대적으로 많이 갖는 "BARBARA" 영상에서는 제안한 알고리즘의 실험결과가 S+P 알고리즘의 실험결과와 비교하여 전체 비트율 구간에서 1dB의 향상됨을 보였고, JPEG-2000의 실험결과와는 0.5dB의 PSNR 값이 높아짐을 확인하였다. 그림 7에 "LENA" 영상에 대한 각각의 임계값에서의 비트율과 복원된 영상을 보였다.

#### 3.2 무손실 영상 압축 결과

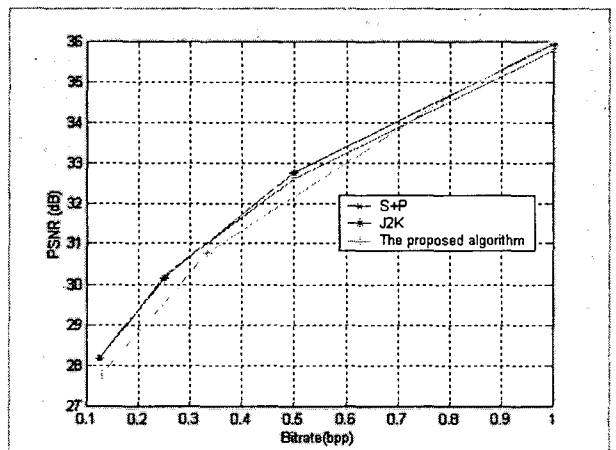
본 논문에서 제안한 무손실 영상 압축알고리즘의 실험을 위하여 그레이 레벨(gray level)을 갖고, 부밴드 영역에서 각각 다른 주파수 특성을 나타내는 512×512 크기의 표준영상들을 정하였다. 웨이브릿 변환은 영상 크기에 따라서 최저 밴드 영역의 수직 혹은 수평축의 화소수가 8보다 작을 때까지 실행하였다.



(a) LENA



(b) BARBARA



(c) GOLDHILL

그림 6. 제안한 무손실·손실 압축 알고리즘의 성능 비교  
Fig. 6. Comparison of the performance of the proposed Lossy/Lossless Coding scheme

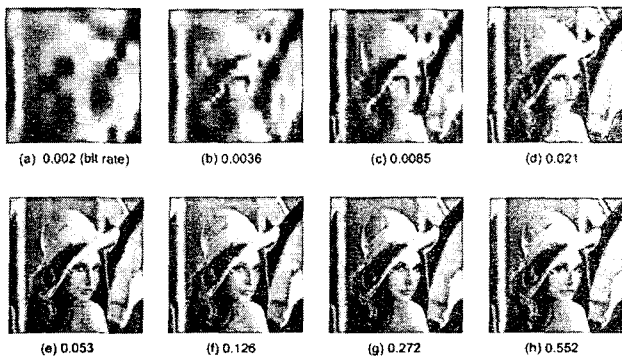


그림 7. 압축 비트율에 대한 복원 영상  
Fig. 7. The reconstructed image according to the bit rate

실험결과는 S+P변환을 이용한 결과[2][3]와 제안한 알고리즘의 9/7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 필터와 S+P변환을 이용한 결과와 비교하여 표 1에 나타내었다. S+P변환을 이용한 Said 와 Pearlman은 MS-VLI 표를 이용하여 변환하고 예측하고자 하는 주변 크기 세트 화소들의 평균값과 부모 화소의 상태에 따라서 적절한 컨텍스트 모델을 선택하였고, 여기에 적응 산술 부호화를 적용하여 비트 스트림으로 전송하는 엔트로피 코딩 방법을 제안하였다. M.G. Strintzis는 S+P변환과 MS-VLI 표를 이용한 변환과 함께 적절한 컨텍스트 모델을 선택하는데 있어서 가중값 최소자승(weighted least square) 방법을 이용하여 컨텍스트 모델의 선택에 좀더 적응성을 주었고 여기에 적응산술부호화를 적용하는 방법을 제안하였다.[2]

실험 결과에서 M.G. Strintzis의 결과 값이 Said 와 Pearlman의 실험 결과와 비교하여 전체적으로 향상된 결과를 보여주고 있다. 제안한 알고리즘을 이용한 9/7 ICFB와 S+P 변환의 결과는 실험영상들이 각각 다른 영상정보를 가지면서 공간적 혹은 주파수 성질이 다르기 때문에 모든 영상에 최적인 성능을 나타내지는 않지만, "PEPPERS", "BOAT", "AIRPLANE" 영상들과 같이 X·Y축의 고주파 성분을 많이 갖는 영상에 대하여는 M.G. Strintzis와 Said 와 Pearlman의 실험 결과와 비교하여 향상된 결과를 보였고, 상대적으로 저주파 성분이 많은 "LENA", "BRIDGES"의 영상에서는 성능이 떨어짐을 확인하였다. 이와 같은 결과는 부밴드 에지 영역에서 발생하는 예측 오차값을 고려한 컨텍스트 모델링과 에러 피드백 기법의 제안한 알고리즘이 부밴드 영역에서 에지 값을 잘 예측하고 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

3.3 손실 및 무손실 영상 압축 결과

그림 8에서는 표준영상들에 대하여 본 논문에서 제안한 웨이브릿을 기반으로 한 영상압축 시스템의 첫 번째 단계에서 손실 압축을 하고 두 번째 단계에서 잔여영상에 대한 무손실 압축을 수행한 결과를 보였다. 실험결과를 보면 손실압축단계에서 비트율이 커질수록 두 번째 단계인 무손실 비트율은 낮아짐을 확인할 수 있다.

표 1. 제안한 알고리즘과 S+P변환에 의한 무손실 압축률  
Table 1. Lossless compression rates (B/PIXEL) obtained with the proposed coding method, and methods proposed by Said & Pearlman [2], M.G. Strintzis [3].

Image	Proposed Algorithm		S+P Trans ( Said & Pearlman )	S+P Trans (M.G. Strintzis )
	9/7 ICFB	S+P Trans		
lena	4.58	4.505	4.17	4.14
peppers	4.19	4.162	4.58	4.54
crowd	4.37	4.340	4.00	3.97
boat	4.19	4.147	4.31	4.26
airplane	3.84	3.842	3.91	3.87
bridges	6.05	6.025	5.58	5.53
barbara	4.60	4.586	4.55	4.49
couple	4.02	4.020	3.87	

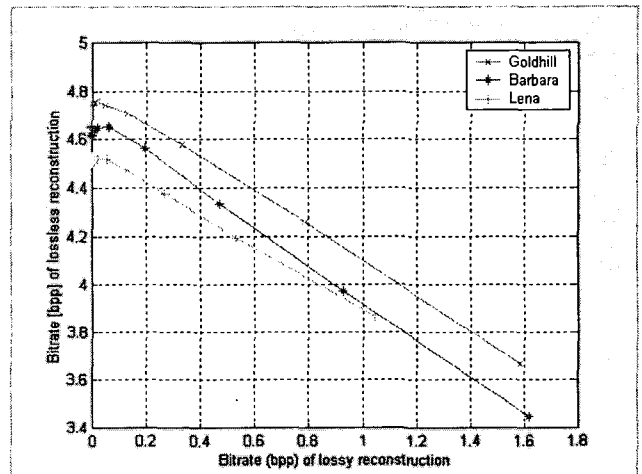


그림 8. 제안한 알고리즘의 무손실·손실 압축 성능 결과  
Fig. 8. Lossless coding performance and lossy coding rates obtained by the proposed algorithm

4. 결 론

본 논문에서는 웨이브릿을 기반으로 하여 무손실 압축과 손실 압축을 동시에 처리하는 영상압축시스템을 제안하였다. 첫 번째 코딩 단계는 웨이브릿 패킷 변환과 쿼드트리 코딩을 이용하여 손실압축을 수행한다. 두 번째 단계에서는 다중 분해능 구조의 중속성과 예측에러의 피드백을 고려한 컨텍스트 모델링 예측과 9/7 탭을 갖는 정수 웨이브릿 변환을 이용하여 선택적으로 무손실 압축을 수행한다. 실험결과에서 보면 손실 압축 단계에서 비트율이 커질수록 두 번째 단계인 무손실 비트율은 낮아짐을 알 수 있다. S+P 알고리즘과 JPEG-2000의 실험결과와 비교하여 저주파 성분을 상대적으로 많이 갖는 영상의 경우에 제안한 알고리즘의 실험결과는 비슷하거나 0.25dB 정도 PSNR 성능이 떨어짐을 보였고, 고

주파 성분을 상대적으로 많이 갖는 영상에서는 제안한 알고리즘의 실험결과가 전체 비트율 구간에서 향상된 성능을 보였다.

무손실 압축 단계에서 제안한 알고리즘의 다양한 영상에 대한 실험에서 각 실험 영상들은 공간적 특성과 주파수 특성이 다르기 때문에 제안한 알고리즘은 모든 실험 영상에 대하여 최적인 결과를 낼 수 없음을 알 수 있었고, 실험결과에서 보면 상대적으로 고주파 성분을 많이 갖는 몇 개의 영상에 대하여는 최적인 성능을 보여주고 있다. 앞으로 양자화와 코딩 방법의 최적화에 대한 연구를 수행하여 제안한 알고리즘의 코딩성능을 보완하고, 또한 무손실 압축에서 국부적인 영상정보의 성질에 맞추어 적응적으로 웨이브릿 필터를 적용하는 방법, 정수 웨이브릿 필터에 예측을 적용하는 방법과 블록에 대한 확률적인 성질을 이용하는 방법 등에 대한 연구가 더 필요할 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] Ilanko Balasingham, John M. Lervik, Tor A. Ramstad. "Lossless image compression using integer coefficient filter banks and class-wise arithmetic coding". proceedings of the IEEE ICASSP, volume 3, v.3, May. 1998.
- [2] A. Said and W. A. Pearlman. "An image multiresolution representation for lossless and lossy image compression". IEEE Trans. Image Processing, Vol. 5, Sept. 1996.
- [3] G. A. Triantafyllidis, M. G. Strintzis. "A context based adaptive arithmetic coding technique for lossless image compression". IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS. vol. 6, NO. 7, JULY 1999.
- [4] D. Marpe, G. Blattermann, J. Rieke, P. MaaB, "A Two-Layered Wavelet-Based Algorithm for Efficient Lossless and Lossy Image Compression", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 7, October 2000.
- [5] R.R. Coifman, M.V. Wickerhauser, "Entropy-Based Algorithms for Best Basis Selection", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 38, No. 2, March 1992.
- [6] 추형석, 서영천, 전희성, 이태호, 안종구, "9/7탭을 갖는 정수 웨이브릿 변환을 이용한 무손실 정지영상 압축", 한국 신호처리시스템 학회 논문지 제1호 1-1호 2000.10 pp.82-88.
- [7] 김성탁, 추형석, 전희성, 이태호, 안종구, "웨이브릿 계수의 쿼드트리 이용 영상 압축", 신호처리시스템 학회 논문지 제 2권 1호 2001.1 pp.63-70.
- [8] 안종구, 추형석, 박제선, "영상압축을 위한 웨이브릿 기반 Best-Basis 알고리즘의 개선에 관한 연구", 전기학회논문지 52D권 10호 2003.10 pp.591-597.
- [9] 안종구, 추형석, "쿼드트리 알고리즘을 이용한 비디오 서브밴드 코딩", 신호처리시스템 학회 논문지 제6권 3호 2005.7 pp.120-126.
- [10] D. Marpe, H.L. Cycon, W.Li, "Complexity-constrained best-basis wavelet packet algorithm for image compression", IEEE Proc.-Vis. Image Signal Process, Vol. 145, No. 6, December 1998.

저 자 소 개



추형석 (秋亨錫)

1971년 12월 16일생. 1997년 울산대학교 전자공학과 졸업. 1999년 울산대학교 전자공학과(공학석사). 2003년 울산대학교 전자공학과(공학박사). 2004년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 강의전담 교수

Tel : 052-259-1282

Fax : 052-259-1686

E-mail : hschu4@mail.ulsan.ac.kr



안종구 (安鍾久)

1953년 7월 7일생. 1977년 서울대 전기공학과 졸업. 1979년 한국과학기술원 전기및 전자공학과(공학석사). 1989년 Univ. of Texas at Austin (공학박사). 1979~1980년 현대중공업주식회사 1980~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수

Tel : 052-259-2183

Fax : 052-259-1686

E-mail : ckan@mail.ulsan.ac.kr