

論文 98-35S-8-9

# Wavelet Packet 기반 점진적 영상 전송 (Wavelet Packet-Based Progressive Image Transmission)

宋 準 鎬 \* , 李 基 憲 \* , 朴 來 弘 \*

(Joon Ho Song, Gi Hun Lee, and Rae-Hong Park)

## 요 약

본 논문에서는 다단계 양자기를 이용한 wavelet packet 변환 기반 영상의 점진적 전송기법을 제안하였다. 제안한 방법에서 각 양자화 단계에서의 양자기는 주어진 비트율에 대해 각각 최적화하였다. 스칼라 양자기와 벡터 양자기를 사용하였고 각각의 성능을 비교하였다. 양자화 단계후 전송이 결정된 부대역들은 전송을 위해 이들의 중요도에 따라 정렬된다. 또한 인간 시각 시스템 (human visual system) 특성을 가중값으로 사용함으로써 주관적인 화질 향상을 얻었다.

## Abstract

This paper proposes progressive image transmission (PIT) methods based on the wavelet packet transform, in which quantizers are optimized at each stage for the given bit rate. Scalar and vector quantizers are used and the performance of each quantizer is compared. After quantization, selected subbands are ordered by their priority for transmission. Subjective quality of the reconstructed image is improved by human visual system (HVS) weighting.

## I. 서 론

낮은 전송률을 갖는 전송선로에서 영상을 전송하는데 있어서 영상의 점진적 전송기법은 매우 유용한 방법이다. 점진적 전송은 첫 번째 전송단계에서 낮은 화질을 보이지만 인식 가능한 영상이 될 수 있는 한 적은 비트율만을 사용하여 전송한다. 이후의 전송에서는 화질개선을 위한 비트 스트림이 전송되고 이들에 의해 점점 더 개선된 화질의 복원영상을 얻게된다.

Wavelet packet은 wavelet 변환에 비하여 좀더 일반적인 공간-주파수상의 분해성을 갖고 있으며 wavelet 기저함수와 short-time Fourier transform (STFT)을 포함한 다양한 기저함수중에서 임의의 신호에 대한 최적의 기저함수를 선택한다.

다단계 양자화는 단일 양자기를 사용한 방법보다 많은 비트율을 요하는 문제가 있다. 이런 문제점은 각 양자화 단계에서의 양자기 설계시 전 단계 양자기를 함께 고려하는 embedding에 의한 방식으로 해결할 수 있다. 각 전송 단계에서의 최적의 양자기는 Lagrangian에 의한 방법<sup>[1]</sup>으로 선택될 수 있다. 또한 전송이 결정된 부대역들은 이들의 중요도에 따라 전송순서가 결정된다.

인간의 시각적 특성에 근거한 가중값을 이용하여 부대역의 전송 여부와 전송 순서를 결정할 수 있다. 인간의 시각적 특성을 주파수 영역에서 함수의 형태로 근사화한 것으로 modulation transfer function (MTF)가 있으며 이를 이용하여 wavelet packet 계수들의 주파수 영역에서의 가중치로 사용할 수 있다. 인간의 시각적 특성을 모델링하고 영상 압축에 사용하기 위한 여러 방법들이 제안되었다.<sup>[2]-[7]</sup> 인간의 시각적 특성을 이용함으로써 초기전송단계에서도 주관적으로 좋은 화질의 복원영상을 얻을 수 있다.

\* 正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Sogang University)

接受日字: 1998年3月6日, 수정완료일: 1998年6月19日

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 wavelet 변환의 특성과 이를 확장한 wavelet packet에 대해서 알아보고 III장에서 lattice 양자화기법에 대해서 간단히 알아본다. IV장에서는 기존의 wavelet packet 기반 점진적 전송기법과 제안한 방법에 대해서 설명한다. V장에서 컴퓨터 모의실험을 통한 점진적 전송기법들의 성능을 비교하였고 VI장에서 결론을 내렸다.

## II. Wavelet 변환 부호화

본 장은 wavelet 변환에 대해 알아보고 wavelet보다 진보된 형태인 wavelet packet과 이를 이용한 영상압축 알고리즘에 대해서 알아본다.

### 1. Wavelet 변환

Wavelet 변환은 같은 직교 (orthogonal) 특성을 갖지만 주파수 상에서만 신호를 해석할 수 있는 Fourier 변환과 달리 시간-주파수 상에서 신호를 해석할 수 있는 방법을 제시한다. 연속된 신호  $f(t)$ 에 대한 wavelet 변환식은

$$CWT_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

와 같이 정의된다. 여기서  $a$ 는 주파수상의 scaling을 나타내며  $b$ 는 시간상의 translation을 나타낸다. 함수  $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 를 wavelet이라 하고 함수  $\psi(t)$ 는 고정된 함수로서 mother wavelet이라고 한다. 매개변수  $b$ 를 변화시켜 시간상의 중심점을 변화시킬 수 있으며 이때  $\psi_{a,b}(t)$ 는  $t = b$  주변에 집중되어 분포한다. 또한 매개변수  $a$ 를 변화시켜 wavelet의 scale을 변화시켜 시간-주파수상의 배치를 변화시킬 수 있다.

### 2. Wavelet Packet

Wickerhauser에 의해 처음 제안된 wavelet packet<sup>[8]</sup>은 wavelet 기저 함수와 STFT와 비슷한 구조를 포함하는 많은 수의 기저함수들로부터 신호에 가장 적합한 기저 함수를 찾아낼 수 있다. 이들 직교 함수들중 wavelet의 기저함수는

$$W_j = \{g_1^{(j)}[n-2^j k], g_2^{(j)}[n-2^j k], \dots, g_{2^j}^{(j)}[n-2^j k], g_0^{(j)}[n-2^j k]\}_{k \in \mathbb{Z}} \quad (2)$$

이다. 이때  $g_i^{(j)}[n]$ 은 깊이  $j$ 의 특정한 경로까지의  $i$ 번

째 필터를 의미한다.<sup>[9]</sup> 그림 1은 이진 트리 구조에서 세 가지 방식의 시간-주파수상의 배치를 보여주며 wavelet packet을 이용한 구조가 보다 더 적응적인 구조를 갖고 있다.

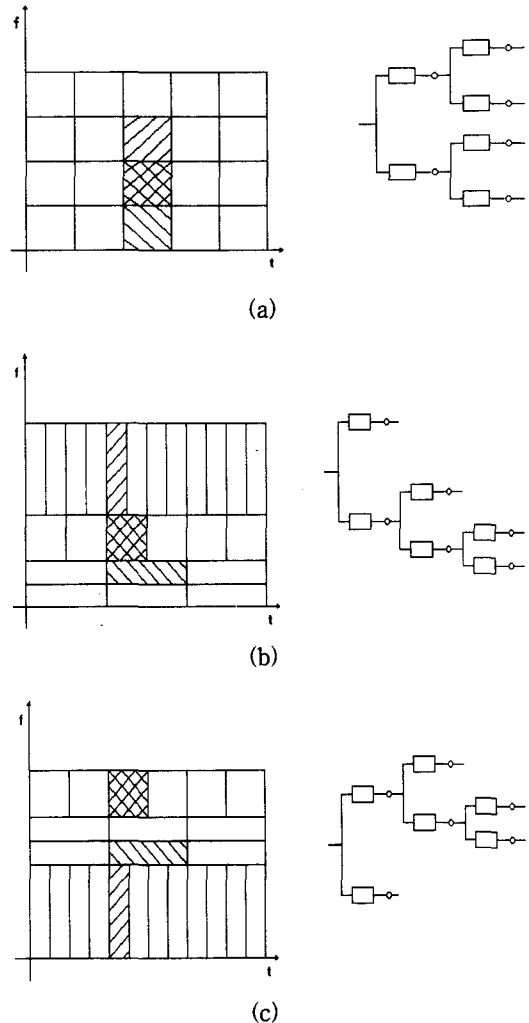


그림 1. 시간-공간상의 분할

(a) STFT (b) Wavelet (c) Wavelet packet

Fig. 1. Time-frequency localization.

(a) STFT (b) Wavelet (c) Wavelet packet

### 3. Wavelet Packet을 사용한 부호화

Ramchandran과 Vetterli는 rate-distortion 이론에 입각한 wavelet packet 알고리즘을 제안하였다.<sup>[10]</sup> 이들은 분할 영상의 부모노드와 자식노드들의 비용함수  $J = D + \lambda R$ 를 비교하여 특정한 대역의 분할 여부를 결정하며 주어진 비트율에 대한 최적의 기저함수를 구하도록 한다. 여기서  $D$ 는 왜곡,  $R$ 은 비트율,  $\lambda$

는 상수이다. 대역 분할 여부를 결정하기 위해서는 가지치기 알고리즘이 사용되었으며 최적의 성능계수  $\lambda^*$ 를 얻기 위해서 이분법에 의한 반복법을 사용하였다.

이 외에도 공간-주파수상의 분할을 고려한 이중 트리 알고리즘<sup>[11], [12]</sup>과 이의 여러 가지 변형 알고리즘들이 제안되었다.<sup>[13]-[16]</sup>

### III. Lattice Vector 양자기

Lattice VQ (Vector Quantization)는 정수형태의 부호책과 동일한 크기의 Voronoi 영역을 특징으로 한다. 또한 부호책을 저장하기 위한 저장공간이 필요하지 않고 다른 벡터양자화 기법에 비하여 비트율 조절이 용이하다는 장점이 있다. 그러므로 wavelet과 같은 다해상도 부호화 기법에 적합한 특징을 갖는다.

#### 1. Lattice의 정의

Lattice는  $n$ -차원에서 원점을 포함한 규칙적인 점의 배열로 이루어져 있다.  $n$ -차원의 실수 평면  $R^n$ 상에서의 lattice  $\Lambda$ 는 실수평면  $R^n$ 의 부분집합으로서

$$\Lambda = \{ \mathbf{y} \in R^n : \mathbf{y} = m_1 \mathbf{u}_1 + m_2 \mathbf{u}_2 + \dots + m_n \mathbf{u}_n \} \quad (3)$$

와 같이 정의된다. 이때  $m_i$ 는 임의의 정수이며  $\mathbf{u}_i$ 는 선형적으로 독립적인 벡터이며,  $1 \leq i \leq n$ 이다. 벡터들의 집합  $\{\mathbf{u}_i\}$ 를 generating set이라 한다. Lattice  $\Lambda$ 를 부호책으로 간주할 때 입력 벡터  $\mathbf{z}$ 의 Voronoi는

$$V = \{ \mathbf{x} : \|\mathbf{x} - \mathbf{z}\| \leq \|\mathbf{y} - \mathbf{z}\| \text{ for each } \mathbf{y} \in \Lambda \} \quad (4)$$

이다.

#### 2. 기존의 Lattices

Lattice의 generating matrix의 형태에 따라 정수 lattice  $Z_n$  ( $n > 1$ ),  $A_n$  ( $n \geq 1$ ),  $D_n$  ( $n \geq 3$ ),  $E_n$  ( $n = 6, 7, 8$ ) 그리고 Barnes-Wall  $A_{16}$  lattice 등이 제안되었다.

◆ 정수 Lattice  $Z_n$ : Lattice  $Z_n$ 은 가장 간단한 구조를 갖는 lattice로서 모든 원소들이 정수로 이루어진  $n$ -차원 벡터들의 집합으로 정의된다.

◆ Lattice  $D_n$  ( $n \geq 3$ ): Lattice  $D_n$ 은 계수들의 합이 짝수인 정수벡터 즉  $D_n = \{ \mathbf{x} \in Z^n : \sum_{i=1}^n x_i = 0 \pmod{2} \}$ 으로 정의된다. 이중

lattice  $D_4$ 가 4-차원 공간상에서 가장 밀도 높은 lattice로서 많이 사용된다. Lattice  $D_n$ 은 더 복잡한 형태의 lattice인 Gosset  $E_8$ 과 Barnes-Wall  $A_{16}$ 의 기본 lattice로 사용되므로 중요한 lattice 구조이다.

◆ Lattice  $E_n$  ( $n = 6, 7, 8$ ): Lattice  $E_n$ 은 실수 평면상에서 존재하며 각 차원에서 다른 lattice보다 높은 밀도를 갖는다. 이중  $E_8$ 은 대칭적 구조이므로 양자화가 간단하여 많이 사용된다. Lattice  $E_8$ 은  $E_8 = D_8 \cup (D_8 + 1/2)$ 으로 정의된다. 이때  $1/2$ 은 모든 계수가  $1/2$ 인 벡터를 나타낸다.

◆ Barnes-Wall Lattice  $A_{16}$ : 16-차원에서 가장 밀도가 높은 Barnes-Wall lattice  $A_{16}$ 은  $2D_{16}$ 의 32개 coset들의 합집합  $A_{16} = \bigcup_{i=1}^{32} (c + 2D_{16})$ 으로 정의된다.

#### 3. 고속 양자화 기법

Conway와 Sloane은 lattice를 이용한 고속 양자화 및 부호화 기법을 제안하였다.<sup>[17]-[19]</sup> 이들은 lattice 구조의 규칙성을 이용한 간단한 연산을 이용하여 주어진 벡터를 효율적으로 양자화하는 기법을 제안하였으며 다른 벡터 양자화 기법에 비하여 현저히 빠른 양자화 속도를 보인다.

### IV. 영상의 점진적 전송기법

영상의 점진적 전송기법은 최소한의 비트율을 사용하여 영상의 중요한 정보를 먼저 전송하고 화질개선을 위한 정보를 점진적으로 전송하는 방법이다. 이 방법은 낮은 전송률을 갖는 전송선로에서의 상호작용을 요구하는 응용분야에 특히 적합한 방식이다. 즉 사용자는 초기에 전송된 영상으로부터 정보의 유용성을 판단하고 추후 전송여부를 결정할 수 있다. 그러므로 영상의 점진적 전송기법에 있어서는 전체적인 영상의 압축 성능뿐만 아니라 초기 전송단계에서의 압축성능 또한 매우 중요한 성능평가의 지표가 된다.

본 장에서는 영상의 점진적 전송을 위한 방법들중 wavelet packet을 기반으로 하는 영상의 점진적 전송 기법에 대하여 알아보고 제안한 wavelet packet 기반 영상의 점진적 전송기법에 대해 설명한다.

### 1. 기존의 점진적 전송기법

영상의 점진적 전송을 위한 알고리즘으로 여러 종류의 방법들이 제안되었다. DCT (Discrete Cosine Transform) 상에서 인간의 시각적 특성을 함께 고려한 방법<sup>[3]</sup>이 제안되었으며 피라미드구조상에서의 벡터 양자화를 이용한 방법<sup>[20]</sup> 또한 제안되었다. Silva 등은 wavelet과 벡터 양자화를 이용한 방법<sup>[21]</sup>을 제안하였다. 또한 Demaistre와 Labit은 wavelet packet을 기반으로 한 영상의 점진적 전송기법<sup>[22]</sup>을 제안하였다. 본 절에서는 이중 wavelet packet을 기반으로 한 영상의 점진적 전송 기법에 대해 알아본다.

#### 1) Progressive Selection of Subbands (PSSB)

PSSB 방법<sup>[22]</sup>은 wavelet packet 계수들 사이의 중요도를 이용하는 방법이다. 임의의  $i$ 번째 부대역을 전송함으로 인한 왜곡의 감쇄  $\Delta D_i$ 는  $\Delta D_i = P_i - D_i$ 이다. 이때  $P_i$ 는  $i$ 번째 부대역의 에너지이고  $D_i$ 는  $i$ 번째 부대역의 왜곡이다. 비트율을  $R_i$ 라 할 때 복원 영상의 화질을 최대한 향상시키기 위해서는 Lagrangian 값  $\lambda_i = \Delta D_i / R_i$ 가 큰 순서로 전송되어야 한다. 이 방법은 한 단계의 양자화과정만 존재하므로 전체적인 복원 성능은 좋은 반면 초기 전송단계의 화질이 다른 방법에 비해 떨어지는 단점이 있다.

#### 2) Multistage Wavelet Packet Optimization (MSWPO)

MSWPO<sup>[22]</sup>는 각 전송단계에 주어진 비트율에 따라 적합한 대역분할과 양자기를 최적화하는 방법이다. 어떤 전송단계에서의 복원 영상과 원영상간의 차영상은 다음 전송단계를 위한 입력으로 사용된다. 오차영상에 대한 최적의 대역분할과 양자기를 위한 비용함수  $J^n(T, Q_T, \lambda)$ 는

$$J^n(T, Q_T, \lambda) = \sum_{i=1}^B \{D_i^n(q_i) + \lambda R_i^n(q_i)\} \quad (5)$$

와 같이 정의된다. 이때 위 첨자  $n$ 은 전송단계를,  $T$ 는 대역분할 트리를 의미하며  $B$ 는  $T$ 에 의한 부대역의 수를 의미한다. 또한  $Q_T$ 는 트리구조  $T$ 에 대한 양자기의 집합을 나타낸다. 이 방법은 초기 전송단계에서 상대적으로 좋은 화질을 보이는 장점이 있다. 그러나 각 전송단계에서의 부호화 파라미터들은 해당 전송단계에 대해서만 최적화되어 있으므로 전체적인 부호화 성능이 떨어지는 단점이 있다.

### 2. 제안한 점진적 전송기법

제안한 점진적 전송기법은 크게 다단계 양자화, 부

대역의 중요도에 따른 전송순서 결정, 그리고 인간의 시각적 특성에 의한 왜곡의 가중으로 구성된다.

#### 1) 다단계 양자화

다단계 양자화방법은 양자화 과정을 몇 개의 단계로 나누어서 양자화하는 방법이다. 제안한 알고리즘에서는 먼저 전체적인 부호화를 위한 wavelet packet 기저함수와 양자기를 구한다. 다음, 앞에서 구한 양자기를 순차적으로 근사화한다. 이때 모든 양자화 단계에서의 대역 분할은 처음 구해진 기저함수에 의한 대역분할로 고정한다.<sup>[23]</sup>

각 양자화 단계에서 Lagrangian에 의한 방법을 사용하여 주어진 비트율에 최적의 양자기를 선택할 수 있다. 다단계 양자화 과정을 vector-matrix 형태로 표현하기 위하여  $N$ 개의 전송 단계를 가정할 때 다음과 같이 행렬과 벡터를 정의한다.

$$A = \begin{bmatrix} (\Lambda^1)^T & 0 & \dots & 0 \\ 0 & (\Lambda^2)^T & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & (\Lambda^N)^T \end{bmatrix}, R(q) = \begin{bmatrix} R^1(q^1) \\ R^2(q^2|q^1) \\ \vdots \\ R^N(q^N|q^{N-1}) \end{bmatrix}$$

$$\Delta D(q) = \begin{bmatrix} (\Delta D^1)^T(q^1) \\ (\Delta D^2)^T(q^2|q^1) \\ \vdots \\ (\Delta D^N)^T(q^N|q^{N-1}) \end{bmatrix}$$

이때  $R^n(q^n|q^{n-1}) = [R_1^n(q_1^n|q_1^{n-1}), R_2^n(q_2^n|q_2^{n-1}), \dots, R_B^n(q_B^n|q_B^{n-1})]^T$ 는 비트율에 대한 벡터,  $\Delta D^n(q^n|q^{n-1})$ 는 왜곡의 감쇄에 대한 벡터이며  $B$ 는 대역분할에 의한 대역의 수를 나타낸다. 또한 위첨자  $n$ 과  $T$ 는 각각 양자화 단계와 transposition을 나타내며,  $q$ 는 양자기의 집합을 나타낸다. 양자화를 위한 비용함수를 정의하면

$$J(\Lambda, q) = -\Delta D(q) \Theta + \Lambda R(q) \quad (6)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $\Theta$ 는 부대역들의 주 파수 성분에 대한 가중값이다. 각 전송단계에 주어진 비트율에 대해 최적화된 행렬  $\Lambda$ 를 구하기 위해서는

$$\max_{\Lambda} W(\Lambda) = \max_{\Lambda} \left( \min_q J(\Lambda, q) - \frac{1}{B} \Delta R_{\max} \Lambda I \right) \quad (7)$$

과 같이 bias된 비용함수  $W(\Lambda)$ 가 최대가 되도록 한다. 여기서  $I$ 는  $N \times B$ 개의 1로 구성된 벡터  $[1 \ 1 \ \dots \ 1]^T$ 이고  $\Delta R_{\max}$ 는 전송단계마다의 최대 비트율이다.

식 (6)과 (7)에 의해 각 부대역들의 rate-distortion 특성에 적합한 양자기를 구할 수 있으며

이들 양자기는 입력 영상의 특성과 주어진 비트율에 따라 적응적으로 설정된다. 각 부대역들은 이와 같이 적응적으로 설정된 양자기에 의한 임계값에 의해 전송 여부가 결정된다. 그림 2는 총 여섯 전송단계중 초기 세번째 전송단계까지 전송을 위해 선택된 부대역을 나타낸다. 이때 회색으로 표시된 부분이 선택된 부대역을 나타낸다. 중요한 대역은 여러 전송단계에 걸쳐 반복적으로 개선됨을 알 수 있다.

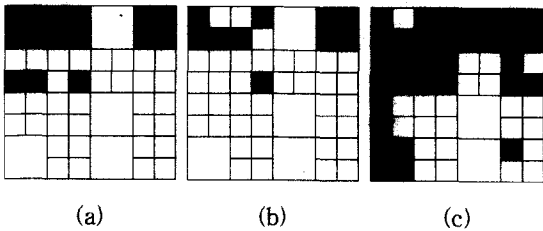


그림 2. 전송을 위해 선택된 부대역 (Lena 영상)  
 (a) 첫 번째 단계 (b) 두 번째 단계 (c) 세 번째 단계  
 Fig. 2. Selected subbands for transmission. (Lena image)  
 (a) First stage (b) Second stage (c) Third stage

각 부대역을 양자화하는 방법으로 스칼라 양자기와 벡터 양자기가 사용될 수 있다. 스칼라 양자기를 사용한 방법은 비트 평면상에서 최적의 비트수를 선택하여 전송한다. 더 세밀한 양자기가 사용될 수도 있으나 계산량에 비하여 큰 성능향상을 기대하기는 어렵다.<sup>[24]</sup> 스칼라 양자기에서는 양자화될 계수의 크기만을 고려하지만 벡터 양자기의 경우 양자화될 벡터의 크기뿐만 아니라 방향성까지 고려해야하는 어려움이 있다. 그러나 lattice 벡터 양자기를 사용할 경우 셀 구조의 규칙성을 이용하여 방향성으로 인한 문제를 해결할 수 있다.<sup>[21]</sup>

2) 부대역의 중요도에 따른 전송

양자화후 전송이 결정된 부대역들은 복원화질 향상에 대한 중요도에 따라 전송순서가 결정된다. 어떤 양자화 단계에서 중요한 부대역이 먼저 전송되므로 영상의 전송중 전송이 중단되더라도 그 시점에서 최대의 복원 화질을 보장할 수 있다.

전송순서 결정시 두 가지 요소가 고려되었다. 첫 번째 요소는 전송단계  $k$ 에서  $i$ 번째 부대역의 Lagrangian multiplier  $\lambda_i^k = \Delta D_i^k / R_i^k$ 의 크기이다. 큰 값의 Lagrangian multiplier를 갖는 부대역은 비

트율 대비 왜곡의 감쇠가 크기 때문에 전송시 높은 우선권을 갖으며 작은 값을 갖는 부대역보다 먼저 전송된다. 두 번째 요소로는 양자화 단계마다 각 부대역에 적응적으로 할당되는 양자기에 의한 임계값으로 큰 임계값을 갖는 부대역에 더 높은 우선권이 주어진다.

3) 인간의 시각적 특성에 의한 가중

MTF는 인간의 시각적 특성을 주파수상에서 근사화한 함수이다. 이 함수는 CPD (Cycles per Degree)를 단위로 하는 변수를 사용하며 이 단위는 시각도당 sine 곡선의 수로서 정의된다. MTF  $H(f)$ 는

$$H(f) = a(b+cf)\exp(-cf)^d \tag{8}$$

과 같이 정의된다.<sup>[3]</sup> 이때  $a, b, c, d$ 는 주파수  $f$ 에 대해 인간의 시각적 특성을 정합시키기 위한 상수로서 여러 값들이 사용되었다. 또한 주파수 변수  $f$ 는 영상의 크기와 눈의 위치에 의해 최대값이 결정된다.

MTF는 CPD를 단위로 하여 정의되었으므로 실제 영상에서의 주파수에 대해서 적용하기 위해서는 변수  $f$ 에 대한 단위를 적절히 변환하여야 한다. Chitprasert와 Rao는 DCT상의 주파수에 따른 가중 값을 위해 변수  $f$ 를 영상 주파수 영역으로 변환하였다.<sup>[3]</sup> 본 논문에서도 이와 비슷한 방법을 사용하여 wavelet packet 계수들에 대한 가중값을 구하였다. CPD로 정의된 주파수 변수  $f$ 를 정규화된 주파수변수로 변환하기 위해서는 변환상수  $f_s$ 를 사용하여

$$f(\text{cycles/degree}) = f_n(\text{cycles/pixel}) f_s(\text{pixels/degree}) \tag{9}$$

와 같이 변환할 수 있다. 이때  $f_n$ 는 영상에 대해 정규화된 주파수 변수이며 변환상수  $f_s$ 는 sampling density라 불리며 영상을 보는 거리와 관계 있으며 실험을 위해서는 64 pixels/degree를 사용하였다.

식 (7)에서의 왜곡에 대한 가중값  $\theta_i$ 로 사용하기 위해서 각 부대역의 주파수 영역에서의 MTF의 적분 값을 대역폭  $SB_i$ 로 정규화한 값

$$\theta_i = \frac{\int_{SB_i} H(f) df}{\int_{SB_i} df} \tag{10}$$

를 사용하였다.

일차원 함수인 MTF를 이차원 공간에 대한 함수로 표현하는 것이 필요하다. 이를 위해서 isotropic 모델을 가정하면 MTF의 주파수 변수  $f = (f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$ 로

정의할 수 있다. 이때  $f_x$ 와  $f_y$ 는 각각 수직과 수평성분의 주파수 변수이다. 그러므로 이차원 MTF 함수에 대한 가중값은

$$\theta_{x,y} = \frac{\int_{SB_x} \int_{SB_y} H(f_x, f_y) df_x df_y}{\int_{SB_x} \int_{SB_y} df_x df_y} \quad (11)$$

과 같이 구할 수 있다. 이때  $SB_x$ ,  $SB_y$ 는 각각 수직과 수평성분의 주파수 대역폭이다.

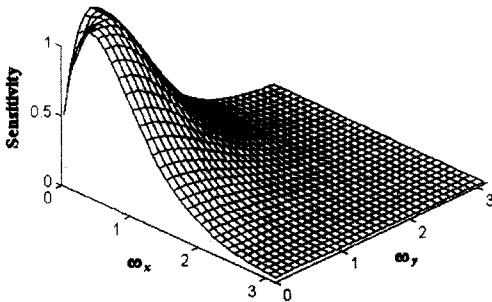


그림 3. 이차원 MTF  
Fig. 3. 2-dimensional MTF.

표 1. MTF에 의한 주파수 대역별 가중값  
Table 1. Weighting values of subbands by MTF.

0.5686	0.0772								
0.0772	0.0154								
0.9597	0.5185	0.1558	0.0361						
0.5185	0.2779	0.0934	0.0237						
0.1558	0.0934	0.0366	0.0107						
0.0361	0.0237	0.0107	0.0036						
0.9875	1.0000	0.7068	0.4173	0.2221	0.1105	0.0523	0.0238		
1.0000	0.8511	0.5936	0.3561	0.1930	0.0975	0.0467	0.0215		
0.7068	0.5936	0.4212	0.2610	0.1462	0.0760	0.0373	0.0176		
0.4173	0.3561	0.2610	0.1684	0.0982	0.0530	0.0269	0.0130		
0.2221	0.1930	0.1462	0.0982	0.0598	0.0335	0.0177	0.0088		
0.1105	0.0975	0.0760	0.0530	0.0335	0.0196	0.0107	0.0055		
0.0523	0.0467	0.0373	0.0269	0.0177	0.0107	0.0088	0.0032		
0.0238	0.0215	0.0176	0.0130	0.0088	0.0055	0.0032	0.0018		

그림 3은 이에 의한 이차원 MTF에 의한 수직/수평 주파수에 대한 인간시각의 민감도에 대한 곡선을 보인다. 이때 주파수 평면상의 변수  $f$ 를  $\omega$ 로 변환하여 보였다.

표 1은 MTF에 의한 각 부대역별 가중값을 나타낸다. 모든 부대역의 왜곡은 부대역의 주파수 영역과 대역폭에 따라 표와 같이 가중값이 주어진다. 이때 표 1의 모든 가중값들은 식 (11)을 사용하여 구하였으며

최대값으로 정규화하여 사용하였다. L은 저주파 대역을 H는 고주파 대역을 나타내며 각 대역을 반복적으로 분할했을 때 L과 H를 중복하여 표기하였다.

V. 실험결과 및 토의

점진적 전송을 위한 방법들의 컴퓨터 모의실험을 위한 실험영상으로는 512×512 크기를 갖는 Lena, Barbara, Zelda, Boats, 그리고 Gold hill 영상을 사용하였다. 비트율과 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)를 성능 평가를 위한 지표로 사용하였으며 비트율은 엔트로피를 사용하여 화소당 비트수를 단위로 하여 표기하였다.

제안한 점진적 전송기법은 스칼라 양자기를 사용한 방법과 벡터 양자기를 사용한 방법으로 분류되며 인간의 시각적 특성을 함께 고려한 방법을 또한 제안하였다.

표 2(a)와 2(b)는 각각 Lena와 Barbara 영상에 대한 여섯 가지 점진적 전송방법들의 컴퓨터 모의 실험 결과를 PSNR과 누적된 비트율을 사용하여 보았다. 또한 그림 4에서 그래프를 통하여 성능을 비교하였다. 실험결과, 제안한 방법은 초기 전송단계와 최종 전송단계에서 기존의 방법들의 최적점 이상의 성능을

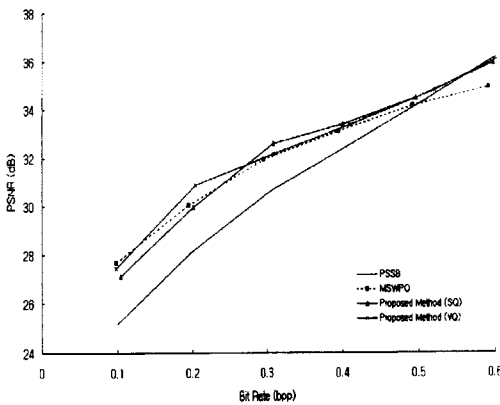
표 2. 컴퓨터 모의 실험결과  
(a) Lena 영상 (b) Barbara 영상

Table 2. Computer simulation results.  
(a) Lena image (b) Barbara image

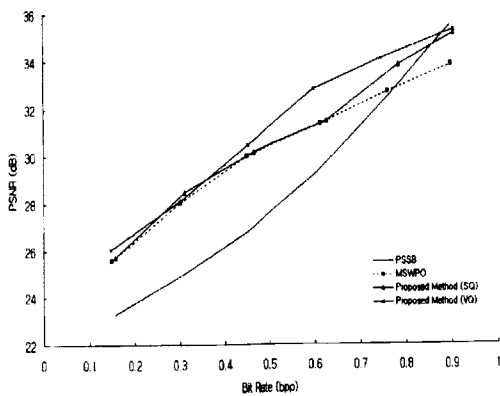
		단계 1	단계 2	단계 3	단계 4	단계 5	단계 6
PSSB	비트율 (bpp)	0.100	0.198	0.303	0.404	0.504	0.601
	PSNR (dB)	25.19	28.12	30.61	32.48	34.36	36.25
MSWPO	비트율 (bpp)	0.098	0.195	0.295	0.394	0.492	0.591
	PSNR (dB)	27.69	30.08	31.97	33.14	34.21	34.97
제안한 방법 (SQ)	비트율 (bpp)	0.104	0.201	0.308	0.400	0.496	0.597
	PSNR (dB)	27.14	29.98	32.62	33.44	34.53	36.00
제안한 방법 (SQ, HVS)	비트율 (bpp)	0.099	0.198	0.305	0.412	0.483	0.588
	PSNR (dB)	27.34	29.50	31.79	32.66	33.51	35.66
제안한 방법 (VQ)	비트율 (bpp)	0.098	0.204	0.309	0.409	0.520	0.629
	PSNR (dB)	27.46	30.90	32.18	33.39	34.84	36.60
제안한 방법 (VQ, HVS)	비트율 (bpp)	0.099	0.192	0.308	0.399	0.507	0.589
	PSNR (dB)	27.53	28.85	31.17	33.54	34.38	36.43

(b)

		단계 1	단계 2	단계 3	단계 4	단계 5	단계 6
PSSB	비트율 (bpp)	0.155	0.310	0.456	0.604	0.761	0.896
	PSNR (dB)	23.26	24.99	26.87	29.32	32.52	35.53
MSWPO	비트율 (bpp)	0.148	0.302	0.450	0.612	0.760	0.898
	PSNR (dB)	25.58	28.05	30.03	31.40	32.75	33.85
제안한 방법 (SQ)	비트율 (bpp)	0.156	0.311	0.465	0.626	0.784	0.903
	PSNR (dB)	25.74	28.50	30.21	31.52	33.86	35.18
제안한 방법 (SQ, HVS)	비트율 (bpp)	0.152	0.300	0.457	0.607	0.752	0.902
	PSNR (dB)	24.09	26.29	27.27	30.47	32.27	35.19
제안한 방법 (VQ)	비트율 (bpp)	0.146	0.303	0.452	0.597	0.744	0.903
	PSNR (dB)	26.06	28.14	30.50	32.84	34.11	35.32
제안한 방법 (VQ, HVS)	비트율 (bpp)	0.150	0.295	0.449	0.600	0.744	0.901
	PSNR (dB)	24.74	25.72	26.89	30.73	31.74	34.10



(a)



(b)

그림 4. 점진적 전송기법들의 성능비교  
(a) Lena 영상 (b) Barbara 영상  
Fig. 4. Performance comparison of PIT methods.  
(a) Lena image (b) Barbara image

보이는 것을 알 수 있다. 또한 벡터양자기를 사용한 방법이 스칼라양자기를 사용한 방법보다 좋은 성능을 보인다. 다른 영상에 대한 실험 또한 이와 비슷한 결과를 보인다.

MSWPO에 의한 방법은 초기 전송단계에서는 좋은 성능을 보이지만 이후 전송단계에서는 다른 방법보다 좋지 않은 결과를 보인다. 이 방법은 각 전송단계 내에서의 국부적으로 최적의 양자화 파라미터만을 구하므로 전송단계가 계속됨에 따라 전역적으로 최적의 파라미터와는 다른 파라미터를 구하게 된다.

PSSB는 전체 비트율에 대해 구해진 파라미터를 사용해 단일 양자기를 사용하고 대역들의 중요도에 따른 전송순서만을 이용하여 영상을 점진적으로 전송하기 때문에 전체적인 성능은 좋으나 각 전송단계에 대한 고려가 없으므로 초기 전송단계의 성능이 다른 방법에 비하여 떨어지는 단점이 있다.

제한한 점진적 전송을 위한 방법은 먼저 전역적 성능을 고려한 양자기와 대역분할을 선택한다. 각 전송단계에서의 양자기는 전역적 양자기에 기초하여 국부적인 파라미터를 구함으로써 제안한 방법은 초기 전송단계에서 MSWPO와 비슷한 성능을 보이면서 전체적인 부호화 효율의 저하 또한 방지할 수 있다.

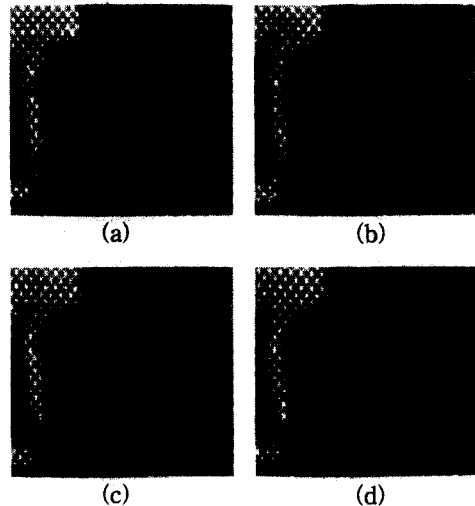


그림 5. 첫 번째 전송단계에서 확대된 복원영상 (Lena 영상)  
(a) PSSB (b) MSWPO (c) 제안한 방법 (SQ)(d) 제안한 방법 (VQ)  
Fig. 5. Zoomed image reconstructed at the first transmission stage (Lena image).  
(a) PSSB (b) MSWPO (c) Proposed method (SQ) (d) Proposed method (VQ).

그림 5는 총 여섯 단계의 전송단계들중 첫 번째 전송단계까지의 복원 영상을 보인다. 이때 비교의 용이성을 위해서 각 영상의 특정 부분을 4배 확대하여 보였으며 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 주관적으로 좋은 화질을 보이는 것을 확인할 수 있다. 표 2에서 첫 번째 전송단계에서 MSWPO에 의한 복원영상의 PSNR이 가장 높은 것을 볼 수 있다. 그러나 제안한 방법에 의한 복원영상이 더 좋은 주관적인 화질을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 제안한 방법에서 인간의 시각적 특성을 고려하였을 때 그렇지 않은 경우보다 약간 낮은 PSNR을 보이지만 보다 좋은 주관적 화질을 보인다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 wavelet packet 분할 방법을 기반으로 한 다단계 양자화 기법과 대역별 중요도를 이용한 점진적 영상 전송 기법을 제안하였다. 먼저 전체적인 부호화 성능을 위한 대역 분할과 양자기를 선택하였고 이를 기초로 하여 각 전송단계를 위한 부호화 파라미터를 구하였다. 즉 전체적인 부호화 효율을 최적화하는 동시에 각 전송단계에서의 효율 또한 최적화하였다. 다단계 양자화를 위해서 Lagrangian을 이용한 방법을 사용하였으며 각 부대역의 Lagrangian 값을 이용하여 전송순서를 결정하였다. 스칼라 양자기와 벡터 양자기를 사용하였으며 벡터 양자기가 스칼라 양자기에 비하여 좋은 부호화 성능을 보인다. 또한 인간의 시각적 특성을 가중값으로 사용한 결과 가중값을 사용하지 않을 때 보다 낮은 PSNR 결과를 보이지만 더 좋은 주관적인 화질을 갖는 복원영상을 얻을 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Shoham and A. Gersho, "Efficient bit allocation for an arbitrary set of quantizers," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-36, pp. 1445-1453, Sept. 1988.
- [2] N. Jayant, J. Johnston, and R. Safranek, "Signal compression based on models of human perception," *Proc. IEEE*, vol. 81, pp. 1385-1422, Oct. 1993.
- [3] B. Chitprasert and K. R. Rao, "Human visual weighted progressive image transmission," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-38, pp. 1040-1044, July 1990.
- [4] C. H. Chou and C. W. Chen, "A perceptually optimized 3-D subband codec for video communication over wireless channels," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. CSVT-6, pp. 143-156, Apr. 1996.
- [5] X. Ran and N. Farvardin, "A perceptually motivated three-component image model - Part I: Description of the model," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-4, pp. 401-415, Apr. 1995.
- [6] K. N. Ngan, K. S. Leong, and H. Singh, "Adaptive cosine transform coding of images in perceptual domain," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-37, pp. 1743-1750, Nov. 1989.
- [7] 장종환, 정재길, 박두영, 양우석, "Fractal과 human visual system을 이용한 세그멘테이션 영상코더의 성능분석과 구현문제에 관한 연구," 한국통신학회 논문지, 제 20권, pp. 915-927, 1995년 4월
- [8] M. V. Wickerhauser, "Acoustic signal compression with wave packets," in *Wavelets: A Tutorial and Applications*. C. K. Chui, Ed., Academic Press, New York, pp. 679-700, 1992.
- [9] A. Cohen and J. Kovačević, "Wavelets: The mathematical background," *Proc. IEEE*, vol. 84, pp. 514-522, Apr. 1996.
- [10] K. Ramchandran and M. Vetterli, "Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-2, pp. 160-175, Apr. 1993.
- [11] C. Herley, J. Kovačević, K. Ramchandran, and M. Vetterli, "Tilings of the time-frequency plane: Construction of arbitrary orthogonal bases and fast tiling algorithm," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-41, pp. 3341-3359, Dec. 1993.
- [12] C. Herley, J. Kovačević, K. Ramchandran, and M. Vetterli, "Time-varying orthonormal tilings of the time-frequency



- plane," in *Proc. Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing 93*, pp. 205-208, Minneapolis, MN, Apr. 1993.
- [13] J. R. Smith and S. F. Chang, "Frequency and spatially adaptive wavelet packets," in *Proc. Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing 95*, pp. 2233-2236, Detroit, MI, May 1995.
- [14] Z. Xiong, C. Herley, K. Ramchandran, and M. T. Orchard, "Space-frequency quantization for a space-varying wavelet packet image coder," in *Proc. Int. Conf. Image Processing 95*, pp. 614-617, Washington, D.C., Oct. 1995.
- [15] 김용규, 김종식, 이임진, 정현민, 박규태, "웨이브렛 패킷과 왜곡 비트율 이론을 이용한 영상 부호화," 한국통신학회 논문지, 제 20권, pp. 1015-1029, 1995년 4월
- [16] 김세웅, 김홍렬, 백정훈, 한수영, 임제탁, "웨이브렛 패킷을 이용한 정지영상 신호 부호화," 제 9 회 신호처리 합동 학술대회 논문집, pp. 957-960, 아주대학교, 1996년 10월
- [17] J. H. Conway and N. J. A. Sloane, "Voronoi regions of lattices, second moments of polytopes, and quantization," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-28, pp. 211-232, Mar. 1982.
- [18] J. H. Conway and N. J. A. Sloane, "Fast quantizing and decoding algorithms for lattice quantizers and codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-28, pp. 227-232, Mar. 1982.
- [19] J. H. Conway and N. J. A. Sloane, "A fast encoding method for lattice codes and quantizers," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-29, pp. 820-824, Nov. 1983.
- [20] L. Wang and M. Goldberg, "Progressive image transmission using vector quantization on images in pyramid form," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-37, pp. 1339-1349, Dec. 1989.
- [21] E. Silva, G. Sampson, and M. Ghanbari, "A successive approximation vector quantizer for wavelet transform image coding," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-5, pp. 299-310, Feb. 1996.
- [22] N. Demaistre and C. Labit, "Progressive image transmission using wavelet packets," in *Proc. Int. Conf. Image Processing 96*, pp. 953-956, Lausanne, Switzerland, Sep. 1996.
- [23] J. H. Song, G. H. Lee, and R.-H. Park, "Wavelet packet-based progressive image transmission by prioritized subband selection and multistage quantization," in *Proc. Int. Conf. Image Processing 97*, pp. 590-593, Santa Barbara, CA, Oct. 1997.
- [24] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-41, pp. 3445-3462, Dec. 1993.

저 자 소 개

宋 準 鎭(正會員)

1971년 2월 28일생. 1996년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(학사). 1998년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(석사). 1998년 3월 ~ 현재 현대전자 정보통신연구소 기반기술 연구실 연구원. 주관심분야는 영상압축, 영상통신 등임.

李 基 憲(正會員) 第 31卷 B編 參照

1998년 3월 ~ 현재 LG 정보통신 선임 연구원. 주관심 분야는 비디오 코딩, 영상통신, CDMA 시스템, smart antenna등임.

朴 來 弘(正會員) 第 33卷 B編 第 9號 參照