論文96-33B-5-10

웨이브렛 변환을 이용한 블록부호화 영상에서의 블록화 현상 제거

(Reduction of Blocking Effect in Block Coded Images Using Wavelet Transform)

張 益 熏 *, 金 大 鎬 *, 李 東 濬 *, 金 南 哲 *

(Ick Hoon Jang, Dae Ho Kim, Dong Joon Lee, and Nam Chul Kim)

요 약

본 논문에서는 웨이브렛 변환을 이용하여 블록 부호화의 재생영상에서 블록화 현상을 제거하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 블록화 현상이 영상의 수직 및 수평 방향으로 일차원적으로 나타난다는 특성으로 부터 모든 처리를 일차원적으로 수행하였다. 실험결과 제안된 방법의 경우 원래의 복호화 영상에 비해 PSNR 뿐만 아니라 주관적 화질도 상당히 개선됨을 볼 수 있었다.

Abstract

This paper describes a new method for reducing blocking effect in block coded images using wavelet transform. In this method, all processings are one-dimensionally executed based on the fact that blocking effect occurs both horizontal and vertical directions in image. Experimental results show that the proposed method yields PSNR improvement and better subjective quality.

I. 서 론

BTC(block truncation coding),[1] VQ(vector quantization),[2] JPEG(joint photographic experts group)[3] 등과 같은 정지 영상부호화에서는 영상을 4x4, 8x8 또는 16x16 크기의 블록으로 나눈 후 블록별로 부호화한다. 또한 ITU-T에서 초저속 동영상 부호화의 단기 표준화안으로 제출되어 검토중인 기존의 H.261을 개량한 TMN3(test model number 3)[4]에서도 영상을 일정한 크기의 블록으로 나눈 후 블록별로 부호화한다. 이러한 블록 기반 부호화에서는 각각의 블록들을 독립적으로 처리하기 때문에 압축률이 높아질수록 인접 블록간의 밝기의 연속성이 깨어지는 블록화 현상(blocking effect)이 심하게 발생한다. 블록화 현상은 영상의 질을 떨어뜨리는 중요한 요소이며, 영상 전반에 걸쳐 발생하는 불규칙 잡음들보다 눈에 훨씬 거슬린다.[5]

기존의 블록기반 영상 부호화에서 발생하는 블록화 현상을 제거하기 위한 방법들로는 공간 저역필터를 사용하는 방법[6-8]과 convex 집합으로의 반복 직교투영에 의한 방법[9,10] 등이 있다. Reeve 등[6]은 블록 경계 근방에서 3x3 가우시안 필터를 사용하여 블록화 현상을 제거하고자 하였다. 이 방법은 구현이 간단하지만 저역필터에 의해 급격한 밝기변화를 갖는 블록화 현상과 배경영역에서의 계단형 블록화 현상은 거의 제거되지 않으며,[7] 블럭간에 걸쳐있는 에지들도 몽롱화(blurring)되는 단점이 있다. Ramamurthi 등[8]은 영상의 모든 화소들을 평탄블록과 에지블록으로 나누어서 평탄블록에서는 2차원 저역필터를 적용하고 에지블록에서는 에지에 평행하게 1차원 필터를 적용하여 블록화 현상을 제거하고자 하였다. 이 방법은 영상을 작은 블록으로 구분하여 처리하므로 Reeve 방법보다

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National Univ.)

接受日字:1995年4月10日, 수정완료일:1996年4月26日

성능은 좋지만, 에지블록이 평탄블록으로 잘못 판단되면 이 블록에서 심하게 몽롱화되는 단점이 있다. 한편, 반복직교투영에 의한 방법은 convex 집합을 정의하여 이 집합으로 투영하는 것을 반복하여 블록화 현상을 제거하는 방법이다. 이 방법의 성능은 기존의 공간필터를 사용하는 방법들보다 우수한 반면, 좋은 결과를 얻기 위해서는 영상전체에 대하여 10회 이상의 반복 투영이 필요하므로 수행 시간이 길어지는 단점이 있다.

블록화 현상을 빠른 시간에 효과적으로 제거하기 위해서는 블록경계 근방에서만 제거 알고리듬을 적용하되 에지를 보존하면서 블록화 현상에 의한 성분만을 제거해야 한다. 이를 위하여 블록경계 근방에서 신호의 국부적인 주파수 성분을 추출하여 블록화 현상에 의한 고주파 성분과 실제 에지에 의한 고주파 성분을 구별하여 처리하는 것이 바람직하다. 최근에, 신호의 국부적 주파수 성분들을 효율적으로 분석 처리하기 위하여 웨이브렛 변환(wavelet transform)을 이용하는 연구가 신호처리, 컴퓨터비젼, 부대역 부호화 등의 분야에서 활발히 수행되어 왔다.[11-14]

웨이브렛 변환은 Fourier 변환과 같이 기저함수(basis function)들의 집합으로 신호를 분해하는 하나의 방법이다. 그러나, Fourier 변환과는 달리 국부적으로 에너지가 집중된 대역통과 신호인 웨이브렛들을 기저함수로 사용한다. 이러한 웨이브렛들은 모 웨이브렛(mother wavelet)이라 불리우는 하나의 원형 웨이브렛을 확장하거나 이동시켜 얻을 수 있는 특성이 있다. 웨이브렛 변환에서는 확장된 신호의 주파수를 언급하는 것보다 몇배로 확장했는가 하는 확장인자를 언급하며 이 인자를 스케일(scale)이라 부른다. 이때, 스케일의 값으로는 2배수가 주로 사용된다. 스케일이 증가할수록 주어진 스케일에서의 웨이브렛 변환 신호의 공간해상도는 떨어지고 낮은 주파수 대역의 성분을 나타내게 된다.

Mallat 등[12,13]은 가우시안 형태의 1차 도함수를 모 웨이브렛으로 하는 웨이브렛 변환의 다층 스케일 공간상에서 에지 및 특이점(singularity)들의 특성을 해석하여 영상압축 및 영상복원에 응용하는 연구를 수행한 바 있다. 이러한 연구의 핵심적인 결과를 요약하면, 에지 및 특이점들의 위치는 각 스케일상에서 웨이브렛 신호 절대치의 국부 최대치를 찾아 알 수 있고 그것이 에지인지 어떠한 특이점인지는 스케일에 따른 최대치의 변화를 조사하면 알 수 있다는 것이다.

본 논문에서는 웨이브렛 변환의 다층 스케일 공간상에서 에지 및 특이점들의 특성을 해석하는 Mallat 등의 기법을 도입하여 블록기반 부호화의 재생영상에서 블록화 현상을 효과적으로 제거하는 방법을 제안하였다.[15,16] 제안된 방법에서는 블록화 현상이 수평 방향 및 수직 방향의 블록경계들에서 각각 수평 방향 및 수직 방향으로만 나타나는 점에 착안하여 영상신호를 1차원 신호로 간주하고 웨이브렛 변환을 포함한 모든 처리를 수평, 수직 방향으로 분리적(separable)으로 수행한다. 일단, 블록경계에서 입력신호와 첫번째 스케일의 웨이브렛 변환 신호로 부터 그 블록경계가 평탄영역, 완만한 에지영역, 스텝 에지영역 중 어디에 속하는가를 구분한다. 다음, 첫번째 스케일 상에서는 평탄영역과 완만한 에지 영역인 경우에 1x3 크기의 메디안(median) 필터를 이용하여 불연속적인 블록화 성분을 제거하고, 2번째 스케일에서는 평탄영역인 경우에만 그 블록화 성분의 퍼짐 정도를 감안하여 제거한다. 그외의 경우에는 실제 에지 신호와 블록화 현상 성분을 쉽게 구별할 수 없으므로 처리를 하지 않는다. 끝으로, 블록화 성분이 제거된 신호에 대해 역 웨이브렛 변환을 수행하여 복원영상을 얻는다. 이와같이 제안된 방법을 블록기반 부호화 재생영상에 적용한 결과 에지들은 몽롱화되지 않고 블록화 현상이 잘 제거됨을 확인하였다.

Ⅱ. 웨이브렛 변환에 의한 신호의 다층 스케일 분리 및 합성

본 장에서는 Mallat 등[12]이 소개한 웨이브렛 변환과 디지틀 필터에 의한 이산 웨이브렛 변환에 대하여 살펴보기로 한다.

1. 웨이브렛 변환의 이론

$\psi(x)$를 가우시안과 같은 형태의 평활화 함수 $\theta(x)$의 1차 도함수 즉, $\psi(x)=d\theta(x)/dx$로 두면 $\theta(x)$는 $\int_{-\infty}^{\infty}\theta(x)\,dx=1$ 과 $\lim_{x\to\pm\infty}\theta(x)=0$의 성질이 있으므로 $\psi(x)$는 다음 식을 만족한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty}\psi(x)\,dx=0 \tag{1}$$

(1)식은 웨이브렛이 갖는 일반적인 성질을 나타내므로 $\psi(x)$는 웨이브렛이 될 수 있다. $\psi(x)$를 모 웨이브렛으로 하고 스케일 계수를 2^j로 놓으면, j번째 스케일에서의 웨이브렛 $\psi_j(x)$은 다음과 같이 표현된다.

$$\phi_j(x) = \frac{1}{2^j}\,\phi(\frac{x}{2^j}), \quad j \in Z \tag{2}$$

여기서 Z는 정수의 집합이다.

임의의 신호 $f(x)$의 스케일 j와 위치 x에서의 웨이브렛 변환은 다음과 같이 원신호와 웨이브렛과의 상승적분(convolution)으로 정의된다.

$$W_j f(x) = f * \psi_j(x) \tag{3}$$

여기서 $\psi(x) = d\theta(x)/dx$ 이므로 (3)식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} W_j f(x) &= f * \left(2^j \frac{d\theta_j}{dx}\right)(x) \\ &= 2^j \frac{d}{dx}(f * \theta_j)(x) \end{aligned} \tag{4}$$

따라서 스케일 j에서의 웨이브렛 변환 $W_j f(x)$는 $\theta_j(x)$로 평활화된 원신호를 미분하여 얻은 상세신호(detail signal)임을 알 수 있다. 여기서, $\theta_j(x)$는 $\psi_j(x)$의 정의와 같은 방식으로 $\theta(x)$로 부터 정의된다.

한편, $W_j f(x)$로 부터 원신호 $f(x)$는 다음과 같이 복원될 수 있다.

$$f(x) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} W_j f(x) * \chi_j(x) \tag{5}$$

이와같이 복원 웨이브렛 $\chi(x)$와 분해 웨이브렛 $\psi(x)$가 서로 다르고 그 주파수 특성이 다음과 같을 때의 변환을 쌍직교(biorthogonal) 웨이브렛 변환이라고 한다.

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} \hat{\psi}(2^j w)\,\hat{\chi}(2^j w) = 1 \tag{6}$$

여기서 $\hat{\psi}$ 및 $\hat{\chi}$는 각각 ψ 및 χ의 Fourier 변환을 나타낸다.

실제 관측된 영상 신호를 대상으로 할 경우, 이러한 실제 신호의 해상도에는 한정이 있다. 가장 해상도가 높은 스케일을 j=0 인 것으로 하면, 이때의 스케일 한계에 의한 효과를 표현하기 위해 주파수 특성이 다음과 같은 성질을 가지는 함수 $\phi(x)$를 정의할 수 있다.

$$|\hat{\phi}(w)|^2 = \sum_{j=1}^{\infty} \hat{\psi}(2^j w)\,\hat{\chi}(2^j w) \tag{7}$$

여기서 $\hat{\phi}$는 ϕ의 Fourier 변환을 나타낸다. 이 $\phi(x)$는 (6)식으로 부터 $|\hat{\phi}(0)| = 1$ 이 됨을 쉽게 증명할 수 있다. 따라서 $\phi(x)$는 적분이 1이 되므로 평활화 함수가 될 수 있다. j번째 스케일에서 평활화된 신호 $S_j f(x)$는 다음과 같이 $f(x)$와 $\phi_j(x)$의 상승적분으로 정의되는 개략신호(coarse signal)이다.

$$S_j f(x) = f * \phi_j(x) \tag{8}$$

여기서 $\phi_j(x)$는 다음과 같다.

$$\phi_j(x) = \frac{1}{2^j}\,\phi(\frac{x}{2^j}) \tag{9}$$

스케일 j가 커질수록 이러한 평활화로 인하여 $S_j f(x)$에는 $f(x)$의 더 많은 상세신호가 사라지게 된다.

한편, $S_0 f(x)$ 즉 $f(x)$는 다층 스케일로 분해된 상세신호들과 개략신호로 부터 다음과 같이 복원됨을 (5) - (7)식에 근거하여 증명할 수 있다.

$$\begin{aligned} f(x) &= S_0 f(x) \\ &= W_1 f(x) * \chi_1(x) + S_1 f(x) * \tilde{\phi}_1(x) \\ &= W_1 f(x) * \chi_1(x) + W_2 f(x) * \chi_2(x) + S_2 f(x) * \tilde{\phi}_2(x) \\ &= \cdots \\ &= \sum_{j=1}^{J} W_j f(x) * \chi_j(x) + S_J f(x) * \tilde{\phi}_J(x) \end{aligned} \tag{10}$$

여기서 $\tilde{\phi}$는 ϕ의 복소쌍을 나타내고, J는 $J \geq 1$인 임의의 스케일을 나타낸다.

2. 디지틀 필터에 의한 이산 웨이브렛 변환

원신호가 이산신호일 경우에는 디지틀 필터를 사용하여 (4), (8) 및 (10)식에서와 같은 동일한 효과를 얻을 수 있다. 그림 1의 (a)는 디지틀 필터를 사용하여 일차원 신호를 2번째 스케일까지 이산 웨이브렛 변환을 수행하는 과정이고, (b)는 이들 신호로 부터 역 이산 웨이브렛 변환을 수행하는 과정이다. 여기서 사용되는 디지틀 필터 $H(n)$, $G(n)$, 그리고 $K(n)$은 각각 분해 저역필터, 분해 고역필터, 그리고 복원 고역필터이며, $\tilde{H}(n)$은 분해 저역필터 $H(n)$의 복소쌍으로서 복원 저역필터이다. 그리고 $H(n/2)$, $G(n/2)$, $K(n/2)$ 및 $\tilde{H}(n/2)$은 전자의 필터들과 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$X(n/2) = \begin{cases} X(m), & n = 2m \\ 0, & n = 2m+1 \end{cases} \tag{11}$$

여기서 $X \in \{H, G, K, \tilde{H}\}$ 이다.

이러한 디지틀 필터들의 계수는 각각 $\hat{\phi}(2w)$, $\hat{\psi}(2w)$

및 $\hat{\chi}(2w)$들과 $\hat{\phi}(w)$와의 관계식으로 부터 유도되며, $\phi(x)$가 compact support한 quadratic spline일때 표 1과 같은 필터 계수를 갖는다. 표 1의 필터들의 특성을 살펴보면 $H(n)$은 신호를 부드럽게 평활화하는 효과를 가지며 $G(n)$은 신호를 미분하는 효과를 가진다는 것을 알 수 있다.

표 1. 이산 웨이브렛 변환을 위한 필터 계수들

Table 1. Filter coefficients for discrete wavelet transform.

n	H(n)	G(n)	K(n)
-3			0.0078125
-2			0.054685
-1	0.125		0.171875
0	0.375	-2.0	-0.171875
1	0.375	2.0	0.054685
2	0.125		-0.0078125

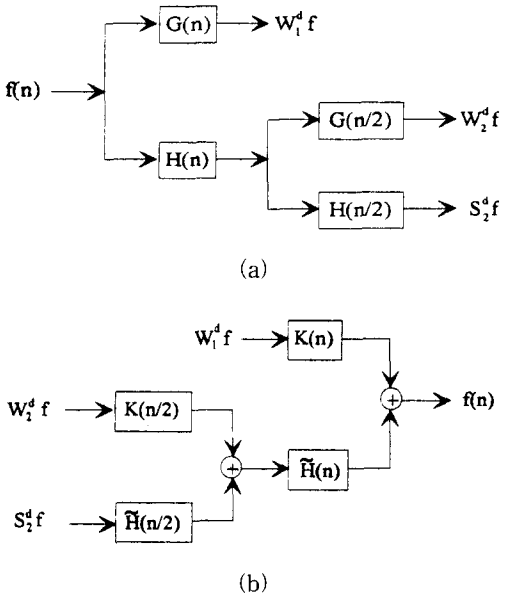


그림 1. 이산 웨이브렛 변환의 블록도

Fig. 1. Block diagram of discrete wavelet transform.

그림 1에서와 같이 이산 웨이브렛 변환을 수행하면 트리구조의 일반적인 부대역(subband) 분해 방식과 달리 변환된 신호에 대해 간축(decimation) 및 보간(interpolation)을 하지 않고 수행하기 때문에 각 스케일의 변환신호가 원래의 크기(개수)대로 유지된다. 이렇게 각 스케일의 변환신호가 같은 크기로 유지되면 블록화 현상에 의한 신호성분의 위치가 각 스케일마다 동일하게 되고 그것의 스케일별 전파특성을 고려하여 제거할 수 있다.

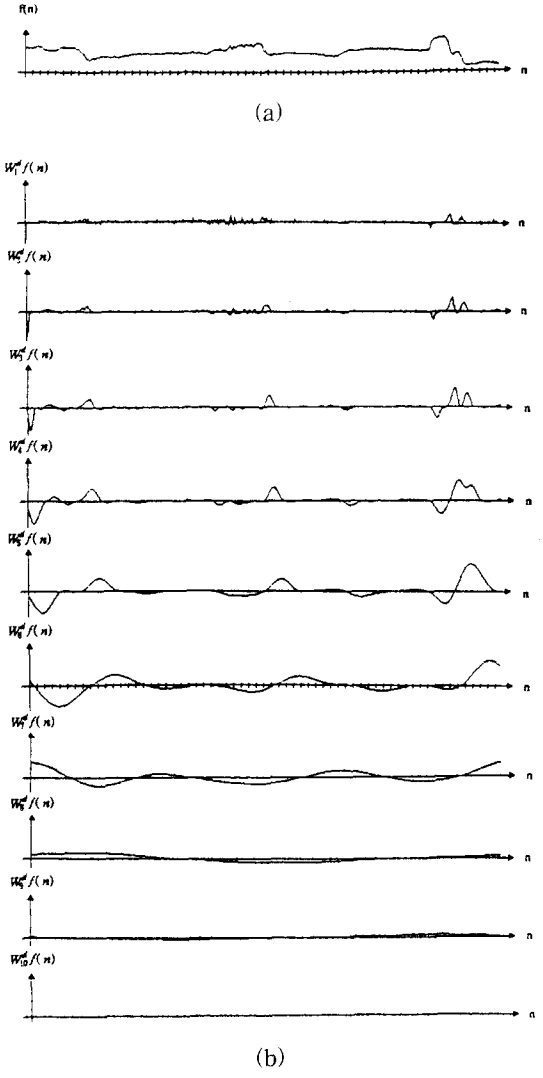


그림 2. 512 크기의 1차원 원신호와 그것의 상세신호들

Fig. 2. Original signal of 512 samples and its detail signals.

그림 2는 그림 1의 (a)와 같은 방법을 9번째 스케일까지 확장하여 실제 영상의 1차원 신호를 각 스케일별로 이산 웨이브렛 변환을 수행한 그림으로 스케일에 따른 신호의 해상도 및 성분변화를 알 수 있다. 여기서 원신호의 크기는 1x512이고 각 스케일의 상세신호들의 크기는 모두 1x512로서 웨이브렛 변환된 신호는 해상도에 관계없이 같은 개수를 유지한다. j번째 스케일까

지 변환하면 공간해상도가 2j로 되기 때문에 원신호가 1x512 크기일때 나타날 수 있는 스케일 j는 9이며 그보다 큰 스케일의 상세신호는 그 값이 모두 0이 된다.

Ⅲ. 제안된 블록화 현상 제거 방법

본 논문에서는 Ⅱ장에서 언급한 웨이브렛 변환의 성질을 이용하여 블록화 현상을 효과적으로 제거하는 방법을 제안하였다. 블록화 현상은 영상의 블록 경계에서 수평, 수직 방향으로만 나타나는 특징을 가지므로 1차원 웨이브렛 변환을 분리적(separable)으로 사용하여 모든 처리를 1차원적으로 하였다. 먼저 NxN 크기의 영상에서 1xN 크기의 각 수평신호에 1차원 웨이브렛 변환을 수행하여 2개의 스케일로 신호를 분리한다. 이렇게 하면 2개의 상세신호와 1개의 개략신호를 얻게 되는데 2개의 상세신호상의 블록 경계 위치에서 블록화 성분만을 제거한다. 세번째 스케일 이상에서는 신호들이 점점 퍼져서 나타나기 때문에 블록화 현상에 의한 신호성분과 실제 에지에 의한 성분이 서로 섞여 있어서 정확히 구분하기가 어렵기 때문에 두번째 스케일까지만 처리를 한다. 이렇게 처리한 다음 역 웨이브렛 변환을 수행하여 각 수평 신호를 다시 복원한다. 이어서 각 수직신호들에 대해서도 똑같은 과정을 수행한다. 각각의 스케일상에서 블록화 성분을 효과적으로 제거하기 위해서 먼저 블록화 현상을 해석하고 블록화 성분의 제거에 적합한 방법을 제안한다.

1. 블록화 현상의 해석

블록화 현상이 있는 복호화된 신호 $f_b(n)$은 부호화하기 전의 원신호 $f(n)$과 양자화 잡음 $e(n)$의 합으로 표현할 수 있는데, 이때 양자화 잡음 $e(n)$은 다시 블록경계에서의 불연속성을 나타내는 블록화 잡음 성분 $e_b(n)$과 그 나머지 양자화 잡음 성분 $e_q(n)$으로 나누어 생각할 수 있다.

$$f_b(n) = f(n) + e(n)$$

$$= f(n) + e_q(n) + e_b(n) \quad (12)$$

블록기반 부호화에서 압축률이 높아질수록 블록내부의 고주파 성분은 거의 사라지고 DC 또는 DC에 가까운 저주파 성분만이 남게 되므로 블록경계에서 인접 블록간에 밝기값의 연속성이 깨어진다.

그림 3을 보면 실제로 JPEG으로 부호화 및 복호화된 영상의 블록경계에서 블록화 현상이 있는 신호와 부호화하기 전의 원신호를 서로 비교해 볼 수 있다.

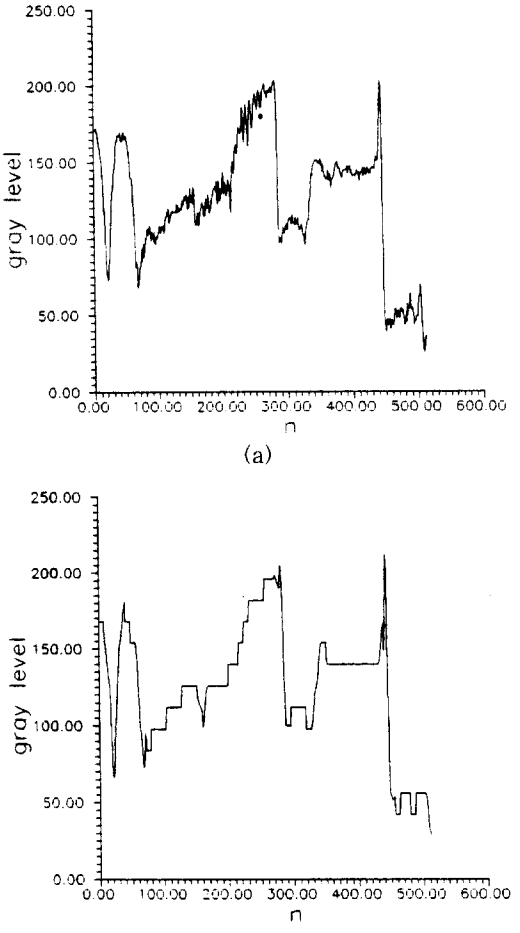


그림 3. 원영상과 JPEG 복호화 영상의 1차원 신호
(a) $f(n)$ (b) $f_b(n)$

Fig. 3. 1D signals of Original image and its JPEG reconstructed image.
(a) $f(n)$ (b) $f_b(n)$

복호화된 신호 (b)에는 원신호 (a)에 없었던 계단형의 불연속 성분들이 블록경계에서 흔히 나타나고 있음을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 복호화된 신호 $f_b(n)$에서 이러한 계단형의 불연속성을 나타내는 블록화 잡음 $e_b(n)$을 제거하고자 한다. 이때, 나머지 양자화 잡음 $e_q(n)$까지 제거하는 것은 거의 불가능하므로, 결과적으로는 다음과 같은 신호 $f_r(n)$을 얻고자 하는 것이 된다.

$$f_r(n) = f(n) + e_q(n) \quad (13)$$

이 식을 (12)식에 대입하면 복호화된 신호 $f_b(n)$은 다음과 같이 이상적으로 블록화 잡음이 제거된 신호 $f_r(n)$과 블록화 잡음 $e_b(n)$의 합으로 간단히 표현된다.

$$f_b(n) = f_r(n) + e_b(n) \tag{14}$$

그림 4는 계단형의 불연속성을 나타내는 블록화 현상의 한 예($e_q(n) \approx 0$)에서, 블록경계에서의 블록화 현상이 있는 신호와 이것이 이상적으로 제거된 거의 원신호에 가까워진 신호 및 이들사이의 오차신호를 나타낸 것이다.

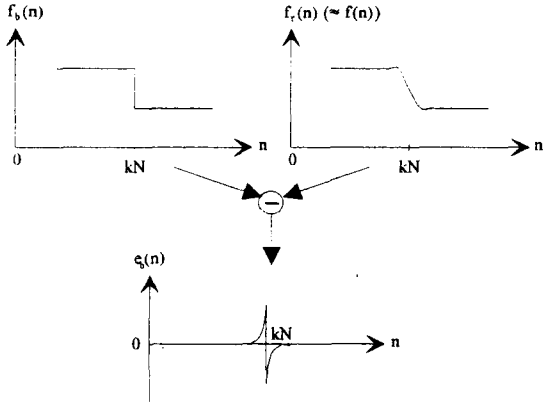


그림 4. 계단형 불연속성을 나타내는 블록화 현사어의 예

Fig. 4. Example of block artifact which yields staircase discontinuity.

웨이브렛 변환 필터 G(n)이 이산 신호를 미분하는 효과를 가지므로, 그림 4와 같은 계단형의 불연속성을 나타내는 블록화 현상은 첫번째 스케일의 블록경계에서 임펄스 형태로 나타난다. 본 논문에서는 이러한 임펄스는 블록화 잡음 $e_b(n)$으로 부터 발생한 것이라고 가정한다.

$$W_1^d e_b(n) = a(k)\,\delta(n-kM) \tag{15}$$

여기서 W_1^d는 첫번째 스케일에서의 이산 웨이브렛 변환, M은 블록의 크기를 나타내며 $a(k)$는 각 블록경계 n=kM에서 발생하는 임펄스의 크기를 나타낸다. 따라서 (15)식의 임펄스를 발생시킨 $e_b(n)$ 성분을 제거하면 이상적으로 블록화 잡음이 제거된 신호 $f_r(n)$을 얻을 수 있다.

신호 $f_b(n)$에 이산 웨이브렛 변환을 가하면 (14)식으로 부터 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$W_1^d f_b(n) = W_1^d f_r(n) + W_1^d e_b(n)$$

$$W_2^d f_b(n) = W_2^d f_r(n) + W_2^d e_b(n) \tag{16}$$

$$S_2^d f_b(n) = S_2^d f_r(n) + S_2^d e_b(n)$$

여기서 $W_1^d e_b(n) = G(n) * e_b(n)$의 관계가 있는 $W_1^d e_b(n)$은 (15)식으로 부터 블록경계에서 임펄스가 되고 $W_2^d e_b(n) = G(n/2) * H(n) * e_b(n)$의 관계가 있는 $W_2^d e_b(n)$은 평활필터인 H(n)으로 한번 평활화된 신호에 대해 미분하여 얻는 신호이기 때문에 블록 경계에서 약간 퍼진 형태로 나타나며, 표 1의 필터를 사용할 경우 다음과 같은 파형이 됨을 쉽게 증명할 수 있다.

$$\begin{aligned} W_2^d e_b(n) &= a(k) \cdot \gamma(n) \\ &= a(k)\ [\ 0.125\,\delta(n-kM+1) + 0.5\,\delta(n-kM) + 0.75\,\delta(n-kM-1) \\ &\quad + 0.5\,\delta(n-kM-2) + 0.125\,\delta(n-kM-3)\ ] \end{aligned} \tag{17}$$

여기서 $\gamma(n)$은 (15)식의 임펄스의 크기가 1이 되는 경우의 블록화 성분이 두번째 스케일에 퍼져 나타나는 신호를 말한다. 그리고 $S_2^d e_b(n) = H(n/2) * H(n) * e_b(n)$의 관계를 갖는 $S_2^d e_b(n)$은 연속적으로 평활화가 되어 전체에 미치는 영향력이 적으므로, 여기서는 거의 0에 가까운 값을 갖는다고 보고 무시하기로 한다. 그림 5는 $f_b(n)$, $W_1^d f_b(n)$ 그리고 $W_2^d f_b(n)$을 예로서 나타낸 것이다. 여기서, 그림 5(a)는 스텝 에지영역, 평탄영역, 그리고 완만한 에지영역의 각 부분에 그림 4의 블록화 잡음 성분 $e_b(n)$이 있는 것으로 가상하여 합성한 신호이다. 그림 5 (b)에서 알 수 있듯이 웨이브렛 변환된 신호는 평탄영역에서는 블록화에 의한 임펄스만 존재하고, 완만한 에지영역에서는 블록화에 의한 임펄스가 순수한 에지에 의한 구릉성분에 올라가 있다. 그리고 스텝 에지영역에서는 블록화에 의한 임펄스와 원신호 성분에 의한 임펄스가 함께 섞여 나타난다. 즉, 블록경계가 속해 있는 영역에 따라 임펄스의 형태가 다르게 나타난다. 그러므로 (16)식에 근거하여 임펄스를 발생시킨 블록화 잡음을 제거할 때, 블록경계가 평탄영역, 완만한 에지영역 또는 스텝 에지영역들 중 어디에 속하느냐를 구분하여 각 영역별로 달리 처리할 필요가 있다.

2. 각 블록경계의 분류 및 처리 방법

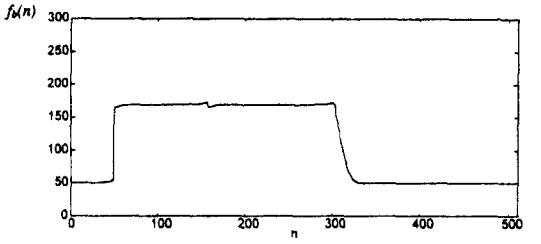
그림 5(a)에서 보면 스텝 에지영역에서는 복호화 신

호 $f_b(n)$의 해당 블록경계 사이에서 값의 변화가 매우 크므로, 블록경계 사이의 변화가 작은 경우에는 완만한 에지이나 평탄영역인 것으로 분류하고 그렇지 않은 경우에는 스텝 에지영역인 것으로 분류한다. 그리고, 그림 5(b)의 완만한 에지영역에서는 원신호의 에지에 의한 구릉성분으로 인하여 첫번째 스케일의 변환계수의 절대값이 좌우의 인접한 변환계수의 절대값에 비해 두드러지게 크지 않다. 따라서, 블록경계 사이의 변화가 작으면서 블록경계 인접 변환계수들의 절대값들의 비율이 큰 경우에는 평탄영역인 것으로 분류하고 그렇지 않은 경우에는 완만한 에지영역인 것으로 분류한다.

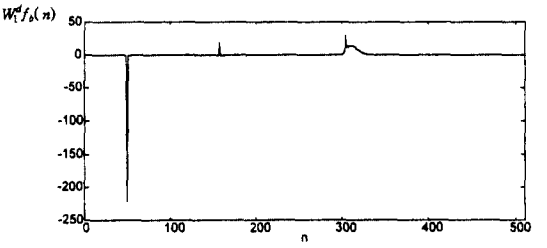
$$
\begin{aligned}
&IF\ |f_b(kM) - f_b(kM-1)| < Th,\\
&\quad |W_1^d f_b(kM)|/|W_1^d f_b(kM+1)| \geq Th1,\\
&\quad and\ |W_1^d f_b(kM)|/|W_1^d f_b(kM-1)| \geq Th1\\
&THEN\ SHADE\ REGION\\
&IF\ |f_b(kM) - f_b(kM-1)| < Th\\
&\quad and\ (|W_1^d f_b(kM)|/|W_1^d f_b(kM+1)| < Th1,\\
&\qquad or\ |W_1^d f_b(kM)|/|W_1^d f_b(kM-1)| < Th1\ )\\
&THEN\ SMOOTH\ EDGE\ REGIOIN\\
&IF\ |f_b(kM) - f_b(kM-1)| \geq Th\\
&THEN\ STEP\ EDGE\ REGION
\end{aligned}
$$

일단, 이와같이 블록경계가 분류되면 각 영역별로 블록경계 근처를 달리 처리한다. 그림 5(b)에서 보면 스텝 에지영역에서는 원신호에 의한 임펄스와 블록화에 의한 임펄스를 구분하기 어렵고, 블록화에 의한 임펄스의 크기가 상대적으로 원신호에 의한 임펄스보다 훨씬 작아 무시하더라도 큰 영향이 없으며, 또한 섣불리 처리를 하면 에지를 몽롱화 시킬 수 있다. 따라서, 이러한 영역에서는 아무 처리를 하지 않는 것이 좋다. 그러나, 그림 5(b)의 완만한 에지영역이나 평탄영역에서의 블록화에 의한 임펄스 성분은 메디안 필터와 같은 임펄스 제거 필터 등을 사용하여 제거하는 것이 가능하다. 그림 5(c)에서 보면 두번째 스케일의 변환계수들에는 블록화에 의한 성분이 평활화된 임펄스의 형태로 나타나므로, 첫번째 스케일에서와 같이 간단히 제거하는 것은 용이하지 않다. 그러나, 첫번째 스케일에서 블록화에 의한 임펄스의 크기를 정확히 알 수 있다면 웨이브렛 필터의 성질로 부터 평활화된 임펄스의 형태를 추정해 낼 수 있다. 이러한 내용에 근거한 각 영역별 처리방법을 설명하면 다음과 같다.

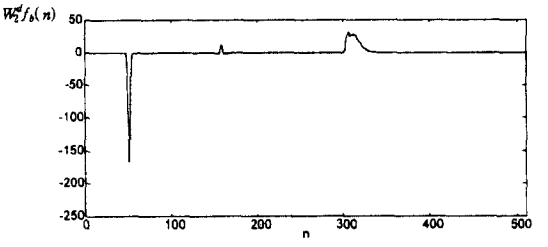
먼저, 평탄영역에서는 첫번째 스케일과 두번째 스케일의 웨이브렛 변환 신호로부터 블록화 현상 성분을 제거한다. 첫번째 스케일에서는 각 블록 경계 n=kM에서 다음과 같이 임펄스 제거 능력이 우수한 1x3 메디안 필터로 제거한다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 원신호와 그것의 상세신호들
(a) $f_b(n)$ (b) $W_1^d f_b(n)$ (c) $W_2^d f_b(n)$

Fig. 5. Original signal and its detail signals.
(a) $f_b(n)$ (b) $W_1^d f_b(n)$ (c) $W_2^d f_b(n)$

$$W_1^d \hat{f}_r(kM) = median\ [\ W_1^d f_b(kM-m)\ ] \qquad (18)$$

$$m \in [-1,1]$$

여기서 $W_1^d \hat{f}_r(kM)$은 $W_1^d f_b(kM)$의 블록화 현상 성분이 제거된 첫번째 스케일에서의 값이다. 두번째 스케일

에서는 블록화 현상 신호가 k번째 블록경계 근처에서 (17)식과 같이 나타나므로 그 영향을 제거하기 위해 다음과 같이 처리한다.

$$W_2^d \hat{f}_r(n) = W_2^d f_b(n) - W_2^d \hat{e}_b(n)$$
$$= W_2^d f_b(n) - \hat{\alpha}(k) \cdot \gamma(n) \quad (19)$$

이때 임펄스의 크기 $\alpha(k)$는 (15), (16) 및 (18)식의 관계에 근거하여 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{\alpha}(k) = W_1^d f_b(kM) - W_1^d \hat{f}_r(kM) \quad (20)$$

한편, 완만한 에지영역에서는 첫번째 스케일에서 블록화에 의한 임펄스가 실제 에지에 의한 구릉성분에 섞여 나타나는데, 이러한 블록화에 의한 임펄스는 평탄영역에서와 같이 (18)식의 메디안 필터를 사용하여 제거한다. 그런데, 이때 (20)식에 근거하여 임펄스의 크기를 추정할 경우 구릉성분과 섞인 상태에서 얻어진 결과이므로 정확도가 다소 떨어진다고 볼 수 있다. 따라서, 두번째 스케일에서는 (19)식과 같은 처리를 할 경우 추정오차가 주위로 파급될 수 있으므로 이와같은 처리를 하지 않는다.

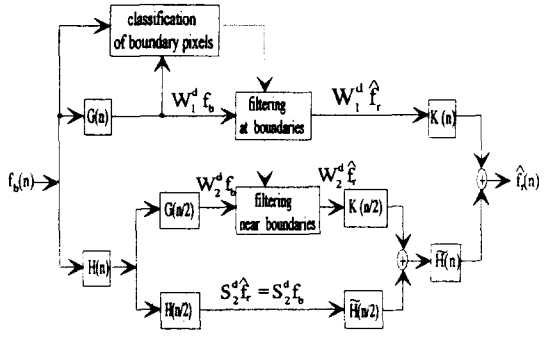
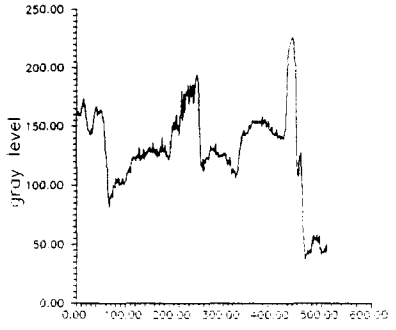


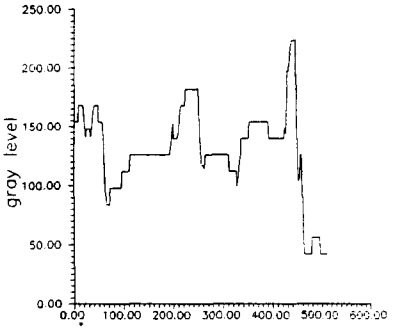
그림 6. 제안된 후처리 블록도
Fig. 6. Block diagram of the proposed post-processing.

또한 스텝 에지영역에서는 블록화에 의한 임펄스의 크기가 상대적으로 원신호에 의한 임펄스보다 훨씬 작아 무시하더라도 큰 영향이 없으며, 또한 섣불리 (18), (19)식과 같은 처리를 하면 에지를 몽롱화 시킬 수 있다. 따라서, 스텝 에지영역에서는 어떠한 처리도 하지 않는다. 그림 6은 지금까지 설명한 블록화 현상을 제거하는 과정을 블록도로 나타낸 것이다. 이렇게 처리한 다음 역 웨이브렛 변환을 수행하여 블록화 현상 성분이 제거된 신호를 얻는다.

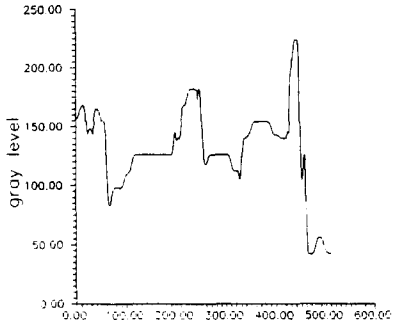
Ⅳ. 실험 결과 및 고찰



(a)



(b)



(c)

그림 7. 1차원 신호의 후처리 결과 (a) 원신호 (b) 복호화된 신호 (c) 후처리 신호
Fig. 7. Result of post-processing for 1D signal. (a) original signal (b) reconstructed signal (c) resultant signal

본 실험에서는 먼저 512x512 크기의 정지영상에 대해 제안된 방법을 적용하여 성능을 조사하였고 Reeve의 방법과도 비교하였다. 또한 TMN3 재생영상에 대

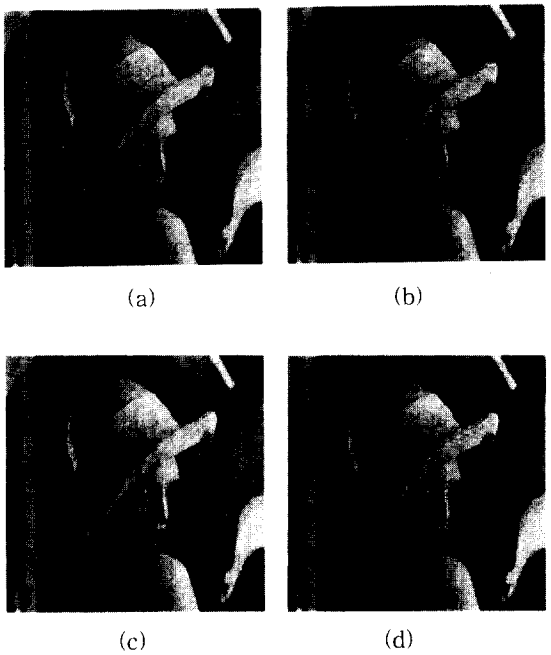
한 성능을 알아보기위해서 QCIF의 30Hz Claire 연속 영상을 실험영상으로 사용하여 8Kbits/s급 전송속도에서 TMN3 부호화하여 재생된 영상에 대해서 실험하였다.

객관적 화질비교의 척도로써 사용된 PSNR은 다음과 같다.

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{N^2}\sum_m \sum_n [X(m,n) - \hat{X}(m,n)]^2} \text{ [dB]} \quad (21)$$

여기서 $X(m,n)$은 NxN 크기의 원 영상이고 $\hat{X}(m,n)$은 처리후의 영상이다.

그림 7은 실제 영상의 일차원 신호에 대해서 제안된 방법으로 블록화 현상 성분이 제거된 것을 보여준다. 이 그림에서 보듯이 높은 압축률로 인하여 블록내부의 질감이 많이 없어졌으며 블록화 현상 성분에 의해서 블록 경계에서 신호가 불연속적으로 변하는 것을 볼 수 있다. 블록화 현상 성분이 제거된 신호를 보면 원래 영상의 블록내부의 질감을 복구하지는 못하나 블록 경계에서의 블록화 현상 성분은 잘 제거하여 원신호에 가깝게 바뀐 것을 볼 수 있다.



(a) (b)

(c) (d)

그림 8. 정지 영상에 적용한 결과 (a) Lena 영상 (b) JPEG 영상 (c) Reeve 방법 (d) 제안된 후처리 방법

Fig. 8. Result for Lena image. (a) original image (b) JPEG result (c) Reeve method (d) proposed method

표 2. 정지 영상들에 대한 후처리 결과

Table 2. Results of the post-processing for still images.

test image	compression ratio (bit rate)	PSNR [dB]		
		JPEG result	Reeve method	proposed method
Lena	30:1 (0.266 bpp)	31.21	31.85	31.91
	40:1 (0.2 bpp)	28.98	29.83	30.02
Pepper	30:1 (0.266 bpp)	30.86	31.35	31.51
	40:1 (0.2 bpp)	28.67	29.44	29.74

표 2에서는 512x512 크기에 256 밝기값을 갖는 Lena 영상과 Pepper 영상을 JPEG을 사용하여 30:1과 40:1로 압축한 다음 Reeve의 방법과 제안한 방법과의 PSNR 이득을 서로 비교하였다. 이때 제안된 방법에서 사용된 문턱값은 실험적으로 구하였는데 Th=Th1=100 이다. 그리고 그림 8은 512x512 크기의 Lena 원영상과 이를 JPEG을 사용하여 40:1로 압축한 재생영상과 이것을 바탕으로 Reeve의 방법으로 후처리를 한 결과영상 그리고 제안된 방법으로 후처리를 한 결과영상을 나타낸다. 표 2에서 보면 제안된 방법으로 후처리를 한 경우 약 0.7-1.1 dB의 개선이 있음을 볼 수 있다. Reeve의 방법으로 후처리를 한 경우에 비해 PSNR은 약 0.2 dB 정도 개선되지만, 그림 8에서 보듯이 주관적 화질은 훨씬 더 우수함을 알 수 있다. Reeve의 경우 블록화 현상이 여전히 눈에 뜨이고 있으나, 제안된 방법의 경우 블록화 현상이 거의 눈에 뜨이지 않음을 볼 수 있다.

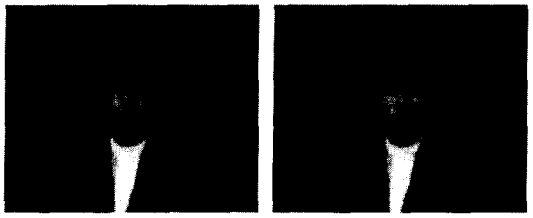
표 3. 8Kbits/s급에서의 실험 결과

Table 3. Results of computer simulation at the bit rate of about 8Kbits/s.

	TMN3	proposed method
bit rate	8.03 Kbps	8.03 Kbps
average lum. PSNR	33.05 dB	33.24 dB
average chr. PSNR	36.65 dB	36.81 dB

표 3은 8Kbits/s급 전송속도를 기준으로 Claire 연속영상을 0~89번째까지 90장을 5Hz로 샘플링해서 TMN3 재생영상에 제안된 방법을 적용했을때의 결과

이다. 이때 문턱값은 각각 Th=70, Th1=30이다. 동영상에 대해서도 에지의 몽롱화 현상없이 블록화 현상이 잘 제거되어 주관적 화질이 개선됨을 볼 수 있다.



(a) (b)

그림 9. 8Kbps급 Claire 연속 영상에 적용한 결과
(a) TMN3 재생 영상 (b) 후처리 영상

Fig. 9. Result for Claire sequence at the bit rate of about 8Kbps.
(a) TMN3 result (b) after post-processing

그림 9는 Claire 연속영상을 8Kbits/s급의 전송속도에서 TMN3로 부호화한 결과 영상과 제안된 방법을 적용한 결과영상을 나타낸다. 그림 9에서 보듯이 블록화 현상이 잘 제거되고 블록화 현상이 제거된 후에도 영상의 몽롱화 현상이 심하지 않음을 볼 수 있다.

다른 영상에 대한 실험 결과에서도 유사한 성능을 얻을 수 있었고, DCT를 기반으로한 블록 부호화 재생영상 뿐만 아니라 프랙탈 기반 재생영상과 영역 기반 재생영상에도 제안된 방법을 적용해 본 결과 전자의 경우와 성능이 유사하거나 그 이상인 것을 알 수 있었다.[17]

V. 결 론

본 논문에서는 웨이브렛 변환을 이용하여 블록기반 영상 부호화에서 블록화 현상을 효과적으로 제거하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 영상의 몽롱화 현상이 발생하지 않게 하기위하여 블록 경계를 세부분으로 분류한 뒤 웨이브렛 변환 영역에서 블록화 현상의 특성을 고려하여 각각 제거한다. 먼저 블록화 현상이 있는 영상의 1차원 신호를 웨이브렛 변환을 한 다음 각 블록 경계가 평탄 영역, 완만한 에지 영역, 스텝 에지 영역 중 어디에 속하는 가를 구분한다. 이때 각 영역의 구분은 원신호와 첫번째 스케일의 웨이브렛 변환 신호가 블록경계에서 값의 변화가 영역마다 다르게 나타나는 점을 이용한다. 각 영역의 특징을 이용하여 웨이브렛 변환 영역의 첫번째 스케일과 2번째 스케일의 상세신호로부터 블록화 현상 성분만을 제거한 다음 역 웨이브렛 변환을 하여 블록화 현상이 제거된 영상을 얻는다.

제안된 방법을 JPEG 재생 영상과 TMN3 재생 영상에 대해서 실험해 본 결과 블록 경계에서 블록화 현상을 상당히 잘 제거하여 처리 후의 주관적 화질이 우수하고 객관적 화질 척도인 PSNR도 각각 0.7-1.1 dB와 0.2 dB 정도 개선되었다. 본 논문에서 앞으로 남은 과제는 각 영역을 구분하는 데 사용되는 문턱값들을 영상의 압축률에 관계없이 자동적으로 결정할 수 있는 알고리듬의 개발이다. 이렇게 하기 위해서는 압축률에 따른 에지 신호와 블록화 현상 신호의 특성을 좀더 주의 깊게 관찰해야 할 것이다. 또한, 원신호 자체에 계단형의 불연속성(스텝에지라고 분류될 정도로 급격하지는 않은 변화)이 바로 블록경계에 걸쳐 있을 경우에는 제시한 방법에 의해 몽롱화가 발생할 수 있어, 이에 대한 세심한 대책도 추후 연구될 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] E. J. Delp and O. R. Mitchell, "Image compression using block truncation coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, pp. 1335-1142, Sep. 1979.

[2] A. Gersho and R. M. Gray, Vector quantization and signal compression, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1992.

[3] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," *IEEE Trans. Consum. Elect.*, vol. 38, no. 1, pp. xviii-xxxiv, Feb. 1992.

[4] ITU-T Study Group 15, Working Party 15/1 Expert's Group on Very Low Bitrate Visual Telephony, Video Codec Test Model TMN3, July 1994.

[5] M. Miyahara and K. Kotani, "Block distortion in orthogonal transform coding -analysis, minimization, and distortion measure," *IEEE Trans. Commun.* vol. COM-33, no.1, pp.90-96, Jan. 1985.

[6] H. C. Reeve III and J. S. Lim, "Reduction of the blocking effects in image coding," *Optical Eng.*, vol. 23, no. 1, pp. 34-37, Jan.

1984.

[7] 김근형, 박래홍, "인간 시각 모델을 이용한 블럭 부호화에서의 경계 현상의 제거", *대한전자공학회 논문지*, 제25권 제6호, pp. 73-81, 1988년 6월

[8] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant post-processing of block coded images," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, no. 5, pp. 1258-1268, Oct. 1986.

[9] R. L. Stevenson, "Reduction of coding artifacts in transform image coding," *Proc. ICASSP*, vol. 5, pp. 401-404, 1993.

[10] Y. Yang and N. P. Galatsanos, "Iterative projection algorithms for removing the blocking artifacts of block-DCT compressed Images," *Proc. ICASSP*, vol. 5, pp. 405-408, 1993.

[11] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and signal processing," *IEEE Signal Processing Mag.*, pp. 14-38, Oct. 1991.

[12] S. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signal from multiscale edges," *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Inte.*, vol. PAMI-14, no. 7, pp. 710-732, July 1992.

[13] S. Mallat and W. H. Hwang, "Singularity detection and processing with wavelets," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-38, no. 2, pp. 617-643, Mar. 1992.

[14] M. Antonini, M. Barlaud P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. Image. Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.

[15] 김대호, 홍원학, 김남철, "다층 스케일 에지 특성을 이용한 블록 부호화 영상의 블록화 현상제거," *제6회 신호처리 합동 학술대회 논문집*, pp. 590-595, 1993년. 9월

[16] N. C. Kim, D. H. Kim, and W. H. Hong, "Reduction of blocking effect in block coded images using wavelet transform," *Proc. PCS-94*, pp. 456-458, Sep. 1994.

[17] 김대호, 웨이브렛 변환을 이용한 블록 부호화 영상의 블록화 현상 제거, 경북대학교 석사학위논문, 1993년 12월

저 자 소 개

張 益 熏(正會員)

1963년 10월 2일생. 1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 1988년 2월 ~ 1994년 2월 국방과학연구소 연구원. 주관심 분야는 영상처리, 영상부호화, 컴퓨터 비전 등임.

李 東 濬(正會員) 1970년 7월 15일생. 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 2월 ~ 현재 한국방송공사 기술연구소 연구원. 주관심 분야는 영상처리, 영상부호화 등임.

金 大 鎬(正會員) 1966년 10월 5일생. 1989년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1989년 1월 ~ 1990년 7월 금성정밀 사원. 1994년 2월 ~ 현재 대우통신 종합연구소 연구원. 주관심 분야는 영상처리, 영상부호화 등임.

金 南 哲(正會員) 第 32卷 B編 第 12號 參照
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수