

웨이브릿 변환 영역에서 NNF를 이용한 블록 부호화 영상에서의 블록화 현상 제거

정회원 권기구*, 김병주*, 이석환*, 이종원*, 권성근*, 이건일*

Blocking Artifacts Reduction in Block-Coded Images Using NNF in Wavelet Transform Domain

Kee-Koo Kwon*, Byung-Ju Kim*, Suk-Hwan Lee*, Jong-Won Lee*, Seong-Geun Kwon*,
and Kuhn-Il Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 블록 기반으로 부호화된 영상에 대하여 웨이브릿 변환 영역에서 신경망 필터 (neural network filter, NNF)를 이용한 블록화 현상 제거 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법에서는 웨이브릿 변환된 신호를 이용하여 각 밴드에서 블록화 현상이 발생한 위치를 알 수 있으며, 수평 혹은 수직 블록화 현상을 구분할 수 있다는 특성을 이용하였다. 즉, 블록 부호화된 영상을 2-레벨 웨이브릿 변환을 한 후, 각 레벨의 특성에 따라 서로 다른 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 모의 실험 결과를 통하여 제안한 방법이 JPEG 부호화된 영상에 대하여 PSNR이 0.40~0.89 dB 정도 향상되었고 객관적 화질 및 주관적 화질 측면에서 기존의 방법보다 그 성능이 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a novel algorithm for reducing the blocking artifacts in block-based coded images is proposed using NNF in wavelet transform domain. In this algorithm, we used two characteristics, those are, knowing a location of occurring the blocking artifacts in each band and discriminating between the horizontal and vertical blocking artifacts by using the wavelet transformed signal. As such, after performing a 2-level wavelet transform of block-based coded image, according to the characteristics of each level a different NNF is used to reduce the blocking artifacts. Experimental results showed that the proposed algorithm improved the PSNR from 0.40 dB to 0.89 dB in JPEG decoded images, and produced better results than conventional algorithms both subjectively and objectively.

1. 서론

JPEG, H.263, 및 MPEG 등과 같은 블록 기반 DCT 부호화에서는 영상을 8×8 화소 크기의 블록으로 분할한 후, 각 블록의 DCT 계수들을 독립적으로 양자화함으로써 화질의 열화가 발생될 수 있고, 특히 저비트율로 부호화된 영상에서는 블록 경계 영역에 심각한 화질 열화인 블록화 현상

(blocking artifacts)이 발생한다.^[1] 블록화 현상은 격자 잡음 (grid noise) 및 계단형 잡음 (staircase noise) 등으로 나타난다. 격자 잡음은 평탄한 영역 내의 블록간에 미소한 밝기 차이에 의하여 나타나고, 계단형 잡음은 서로 다른 블록에 속한 연속된 에지들이 블록 경계에서 불연속하게 나타난다. 최근, 이와 같은 블록화 현상을 효율적으로 제거하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있다.^{[1][2]}

블록화 현상을 제거하기 위한 방법으로는 공간

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 오디오 및 비디오 시스템 공학 연구실(kwonkk@palgong.knu.ac.kr)

논문번호 : 020010-0108, 접수일자 : 2002년 1월 19일

영역에서의 필터링 방법,^[147] POCS (projection onto convex sets) 방법,^[81] 주파수 영역에서 DCT 계수를 조정하는 방법,^[9] 및 웨이브릿 변환을 이용하는 방법^{[10][12]} 등이 있다.

공간 영역에서의 필터링 방법 중 1986년 Ramamurthi 등^[11]이 제안한 방법에서는 영상의 각 블록을 평탄 블록과 에지 블록으로 분류한 후, 평탄 블록에는 2-D 저역 통과 필터를 적용하고, 에지 블록에는 에지의 방향에 따라 1-D 저역 통과 필터를 적용하였다. 그러나 이 방법에서는 에지 블록과 평탄 블록을 분류하는 방법이 정확하지 못하여 에지 블록이 평탄 블록으로 잘못 분류되는 경우 에지가 뭉뚱해진다.

1998년 Lee 등^[2]은 Sobel 연산자를 이용한 전역 에지맵 (global edge map)과 각 8×8 블록 내의 화소간 경사도의 절대값에 대한 평균과 분산을 이용한 국부 (local) 에지맵을 구한 후, 각 에지 맵에 따라 SAF (signal adaptive filtering) 방법에 의하여 블록화 현상을 제거하였다. 이 방법은 Ramamurthi 등^[11]이 제안한 방법보다 화질면에서는 우수하나 계단형 잡음을 효율적으로 제거하지 못한다.

1999년 Kim 등^[3]은 블록 경계 영역에서의 화소 값들의 차를 이용하여 평탄한 영역과 복잡한 영역을 각각 평면 격차 모드와 기본 모드로 구분하고, 평면 격차 모드에서는 1-D 저역 통과 필터를 블록 경계영역에 적용하고, 기본 모드에서는 블록 경계의 주파수에 따라 평탄화 강도를 제어하여 필터링을 수행시켰다. 이 방법에서는 영상의 세밀한 부분에 대하여서는 필터링을 수행하지 않기 때문에 영상의 세밀함은 보존될 수 있으나, 에지 영역에서 나타나는 블록화 현상은 제거되지 않는다.

또한 2000년 Qui^[6]는 순방향 신경망을 이용한 블록화 현상 제거 알고리즘을 제안하였다. 이 방법에서는 영상에서의 특징점을 검출한 후 순방향 신경망 필터를 이용하여 블록화 현상을 제거하였으나, 모든 블록 경계에 대하여 동일하게 신경망 필터를 적용하기 때문에 에지가 뭉뚱해진다.

이와 같은 공간영역에서의 필터링 방법은 구현이 간단하지만 저역 통과 필터에 의하여 급격한 밝기 변화를 갖는 블록화 현상과 배경 영역에서의 계단형 잡음은 거의 제거되지 않으며, 블록간에 걸쳐있는 에지들도 뭉뚱해지는 단점이 있다.

1995년 Yang 등^[8]이 제안한 POCS 방법은 convex 집합을 정의한 후, 시간 및 주파수 영역에 대하여 convex 집합으로 반복 투영 (iterative

projection)함으로써 블록화 현상을 제거하는 방법이다. 이 방법은 기존의 공간영역에서의 필터링 방법보다 그 성능은 우수하지만 좋은 결과를 얻기 위하여서는 전체 영상에 대하여 10회 이상의 반복 투영이 필요하므로 수행시간이 길어지는 단점이 있다.

따라서 블록화 현상을 빠른 시간에 효율적으로 제거하기 위하여서는 블록 경계 근방에서 신호의 국부적인 주파수 성분을 추출한 후 블록화 현상에 의한 고주파 성분만을 처리하는 것이 바람직하다. 최근, 신호의 국부적 주파수 성분들을 효율적으로 분석 및 처리하기 위하여 웨이브릿 변환을 이용하는 연구가 신호처리, 영상 부호화 등의 분야에서 활발히 수행되어 왔다.^{[10]-[14]} 웨이브릿 변환된 신호는 시간 및 주파수 영역에 대하여 국부적으로 표현될 수 있어서 비정상 과정을 가지는 영상신호를 해석하는데 유리하고, 변환 영역에서 영상신호를 인간의 시각 특성과 비슷한 다중 해상도 (multi-resolution)로 표현하는 장점을 갖는다.^[14]

이러한 웨이브릿 변환을 이용한 블록화 현상 제거 방법 중 1997년 Xiong 등^[10]이 제안한 방법에서는 영상 신호를 Mallat 등^[13]의 기법을 이용하여 다중 해상도로 웨이브릿 변환을 한 후, 웨이브릿 변환된 신호를 이용하여 에지를 검출하고 에지가 아닌 영역에 대하여 평균 필터 (median filter)를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 이 방법은 에지를 검출하기 위한 문턱값을 결정하는 방법이 정확하지 못하고, 단순한 평균 필터만 적용함으로써 블록화 현상을 효과적으로 제거하지 못하고 영상이 뭉뚱해진다.

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영역에서 NNF를 이용한 블록화 현상 제거 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법에서는 웨이브릿 변환된 신호를 이용하여 각 밴드에서 블록화 현상이 발생한 위치를 알 수 있고, 수평 혹은 수직 블록화 현상을 구분할 수 있다는 점을 이용하였다. 즉, 블록 부호화된 영상을 2-레벨 웨이브릿 변환을 한 후, 각 레벨의 특성에 따라 서로 다른 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 즉, HL₁ 및 HL₂ 밴드에 대하여서는 수직 방향의 블록화 현상이 뚜렷하게 보이므로 수평 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였고, LH₁ 및 LH₂ 밴드에 대하여서는 수평 방향의 블록화 현상이 뚜렷하게 보이므로 수직 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 그리고 HH₁ 및 HH₂ 밴드의 경우는 3-tap 메디안 필터를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다.

제안한 NNF는 다층 퍼셉트론 (multi-layer perceptron, MLP) 모델을 이용하였고, 오류 역전파 학습 알고리즘 (error back-propagation learning algorithm)을 이용하여 학습시켰다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 JPEG을 기반으로 부호화된 영상에 대하여 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험 결과를 통하여 제안한 방법이 객관적 화질 및 주관적 화질 측면에서 기존의 방법보다 그 성능이 유사하거나 혹은 우수함을 확인하였다.

II. 제안한 블록화 현상 제거 알고리즘

본 논문에서는 블록 부호화된 영상을 2-레벨 웨이브릿 변환을 한 후, 각 레벨의 특성에 따라 서로 다른 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 즉, HL₁ 및 HL₂ 밴드에 대하여서는 수직 방향의 블록화 현상이 뚜렷하게 보이므로 수평 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였고, LH₁ 및 LH₂ 밴드에 대하여서는 수평 방향의 블록화 현상이 뚜렷하게 보이므로 수직 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 그리고 LL₂ 밴드는 영상의 대부분의 정보가 모여있기 때문에 처리를 하지 않았고, HH₁ 및 HH₂ 밴드의 경우는 3-tap 메디안 필터를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다.

1. 웨이브릿 변환

웨이브릿 변환은 임의의 함수를 시간 및 주파수 영역에서 동시에 국부성을 갖는 웨이브릿 기저 함수의 선형 결합으로 표현하는 것이다.^[14] 웨이브릿 변환에서 기저 함수들은 원형 (proto-type) 웨이브릿 함수 $\psi(x)$ 의 신축 (contraction), 팽창 (dilation), 및 천이 (translation)에 의하여 생성된다. 즉,

$$\psi^{a,b}(x) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right), a \in R, b \in R \quad (1)$$

와 같다. 여기서 R 은 실수이고, a 는 원형 웨이브릿을 신축 및 팽창시키는 스케일 변수이며, b 는 천이 변수이다.

웨이브릿 기저 함수를 $\psi_{i,j}(x)$ 라 하고, 웨이브릿 변환된 함수를 $c_{i,j}(f)$, 그리고 f 를 입력 신호라 할 때 웨이브릿 분해 (decomposition)는

$$f = \sum c_{i,j}(f) \psi_{i,j} \quad (2)$$

$$c_{i,j}(f) = \langle \psi_{i,j}, f \rangle = \int \psi_{i,j}(x) f(x) dx \quad (3)$$

$$\psi_{i,j}(x) = \psi^{a_0^i b_0^j a_0^i}(x) = a_0^{-\frac{j}{2}} \psi(a_0^{-i} x - j b_0) \quad (4)$$

와 같다.

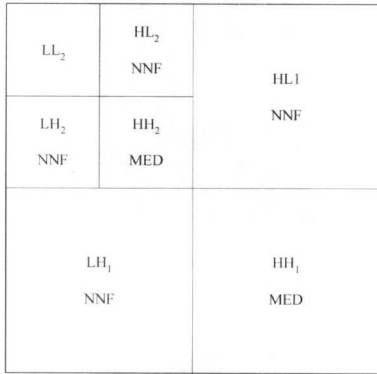
이와 같이 웨이브릿 변환된 신호는 시간과 주파수 영역에 대하여 국부적으로 표현될 수 있어서 비정상 과정을 가지는 영상신호를 해석하는데 유리하고, 변환 영역이 인간의 시각 특성과 비슷한 다중 해상도로 영상신호가 표현되는 장점을 갖는다. 또한 웨이브릿 변환된 신호를 이용하여 각 밴드에서 블록화 현상이 발생한 위치를 알 수 있고, 수평 혹은 수직 블록화 현상을 구분할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 웨이브릿 변환의 특성을 이용하여 각각의 밴드에 대하여 서로 다른 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다.

2. NNF 설계

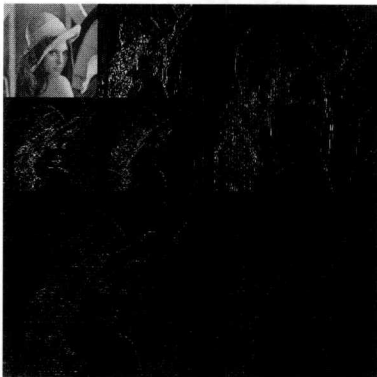
본 논문에서 사용한 MLP 신경망을 학습하기 위하여 오류 역전파 학습 알고리즘^[15]을 이용하였다. 오류 역전파 학습 알고리즘은 주어진 입력에 대하여 목표값을 제시하는 지도학습 (supervised learning)으로서, 학습시켜야 할 모든 벡터에 대하여 각각에 대한 기대되는 출력 (target output)과 실제로 신경망이 산출해 낸 실제 출력 (actual output)과의 차이를 학습하기 위하여 연결 가중치 (connection weight)를 조절한다. 즉, 입력층의 각 노드에 입력 벡터들이 입력되면, 이 신호는 각 노드에서 변환되어 은닉층 (hidden layer)에 전달되고 최후에 출력층에서 신호를 출력하게 된다. 이 출력값과 기대값을 비교하여 차이를 줄여나가는 방향으로 연결 가중치를 조절하고, 상위층에서 역전파하여 하위층에서는 이를 근거로 다시 자기층의 연결 강도를 조절해 나간다.

3. NNF를 이용한 적응적 필터링

본 논문에서는 웨이브릿 변환된 신호를 이용하여 각 밴드에서 블록화 현상이 발생한 위치를 알 수 있으며, 수평 혹은 수직 블록화 현상을 구분할 수 있다는 점을 이용하여 블록화 현상을 제거하였다. 제안한 방법에서는 그림 1에서와 같이 블록 부호화된 영상을 2-레벨 웨이브릿 변환을 한 후, 각각의 밴드의 특성에 따라 서로 다른 NNF를 설계하였다. 즉, 그림 1 (b)에서와 같이 HL₁ 및 HL₂ 밴드에서는 수직 방향의 블록화 현상이 뚜렷하게 보이므로 수



(a)



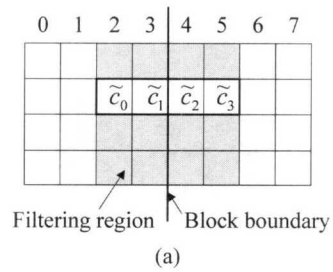
(b)

그림 1. (a) 2-레벨 웨이브릿 분해 및 (b) JPEG 부호화된 LENA 영상에 대한 2-레벨 웨이브릿 분해 결과

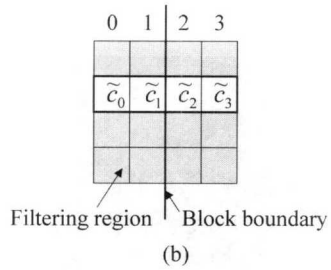
평 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였고, LH₁ 및 LH₂ 밴드에서는 수평 방향의 블록화 현상이 뚜렷하게 보이므로 수직 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 그리고 LL₂ 밴드는 영상의 대부분의 정보가 모여있기 때문에 처리를 하지 않았고, HH₁ 및 HH₂ 밴드의 경우는 3-tap 메디안 필터를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다.

각각의 밴드에 대한 NNF는 다음과 같이 수행한다. 먼저 HL₁, LH₁, HL₂, 및 LH₂ 밴드의 경우에는 각각 4×4, 4×4, 2×2, 및 2×2의 블록 크기를 가지므로 입력층이 3이고 출력층이 4인 NNF를 설계하였다.

먼저 HL₁ 및 HL₂ 밴드에 대한 블록화 현상 제거 방법을 보면, 각각의 밴드에 대한 NNF를 학습하기 위하여 그림 2에서와 같이 수평 방향으로 인접한 화소들간의 웨이브릿 변환 계수들의 차 x_n 을 구한



(a)



(b)

그림 2. (a) HL₁ 밴드 및 (b) HL₂ 밴드에 대한 필터링 방법

다. x_n 은

$$x_n = |\hat{c}_{n+1}(f) - \hat{c}_n(f)|, \quad n = 0, 1, 2 \quad (5)$$

와 같다. 여기서 $\hat{c}_n(f)$ 은 블록 부호화된 영상에 대한 웨이브릿 변환 계수를 나타낸다. 이 값을 NNF의 입력으로 사용한다. 은닉층은 한 개를 사용하였고, 목표치 t_n 은

$$t_n = c_n(f) - \hat{c}_n(f), \quad n = 0, 1, \dots, 3 \quad (6)$$

와 같다. 여기서 $c_n(f)$ 은 원영상의 웨이브릿 변환 계수를 나타낸다. 즉, 목표치로는 원영상과 블록 부호화된 영상의 웨이브릿 계수의 차를 사용하였다. 제안한 신경망은 주어진 입력에 대하여 원영상과 블록화 현상이 발생한 영상의 웨이브릿 계수의 차 성분을 출력하도록 신경망을 학습함으로써, 신경망을 통과한 출력을 블록화 현상이 발생한 영상의 웨이브릿 계수에 더함으로써 블록화 현상을 제거할 수 있다. LH₁ 및 LH₂ 밴드에 대하여서는 수직 방향으로 인접한 화소들간의 웨이브릿 변환 계수들의 차를 구한 후 위의 방법과 같은 방법으로 블록화 현상을 제거한다.

그리고, HH₁ 및 HH₂ 밴드의 경우는 3-tap 메디안 필터를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 즉 HH₁ 및 HH₂ 밴드에 대하여 3-tap 메디안 필터를

$$\hat{c}_n(f) = \text{median}[\hat{c}_{n-1}(f), \hat{c}_n(f), \hat{c}_{n+1}(f)] \quad (7)$$

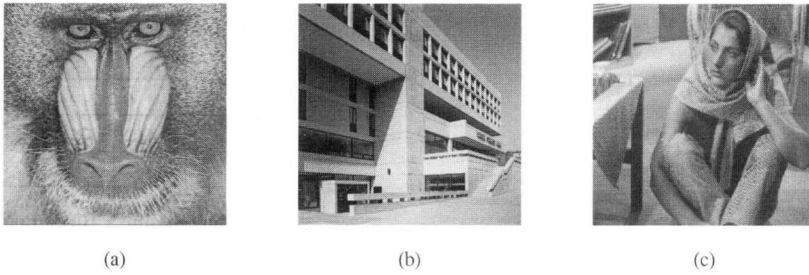


그림 3. 신경망 학습에 사용된 (a) BABOON, (b) BANK, 및 (c) BARBARA 영상

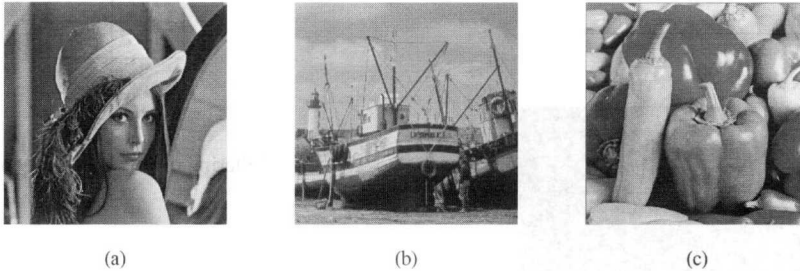


그림 4. 성능 평가를 위하여 사용된 (a) LENA, (b) BOAT, 및 (c) PEPPERS 영상

와 같이 수평 및 수직 방향에 대하여 수행한다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 먼저 신경망을 학습시키기 위하여 512×512 화소 크기의 JPEG 부호화된 BABOON, BANK, 및 BARBARA 영상을 사용하였으며, 성능 평가를 위한 테스트 영상으로는 LENA, BOAT, 및 PEPPERS 영상에 대하여 각각 서로 다른 비트율로 부호화된 영상을 사용하였다. 즉, 제안한 NNF의 일반화 (generalization)를 위하여 서로 다른 특성을 가지는 영상들을 이용하여 NNF를 학습하였으며, 객관성을 평가하기 위하

여 학습에 사용하지 않은 영상을 이용하여 제안한 신경망 필터의 성능을 평가하였다. 실험에 사용된 각 영상은 그림 3 및 그림 4에서와 같다.

웨이브릿 변환에는 Antonini 등^[14]이 제안한 9/7-tap 쌍직교 필터 (biorthogonal filter)를 이용하였다.

각 영상에 대한 실험 결과는 표 I에서와 같다. 이 표로부터 제안한 방법은 JPEG 부호화된 영상에 대하여 0.40~0.89 dB의 화질 개선이 있음을 볼 수 있고, 기존의 방법에 비하여서는 PSNR 측면에서 유사하거나 우수함을 볼 수 있다. 즉, 기존의 방법은 블록화 현상은 어느 정도 감소하나 PEPPERS 영상과 같이 고주파 성분이 많은 영상에 대하여서는 효율적으로 블록화 현상을 제거하지 못함을 알

표 1. JPEG 부호화된 영상에 대한 후처리 실험의 PSNR

Test images	bit rate [bpp]	PSNR [dB]						
		JPEG	Lee	Kim	Qui	Yang	Xiong	Proposed
LENA	0.208	30.41	31.04	30.72	30.94	31.05	31.22	31.25
	0.271	31.95	32.49	32.15	32.36	32.45	32.57	32.64
	0.324	32.96	33.34	33.03	33.23	33.34	33.39	33.52
BOAT	0.258	28.13	28.54	28.32	28.57	28.57	28.62	28.70
	0.350	29.53	29.85	29.66	29.87	29.88	29.80	29.98
	0.420	30.49	30.68	30.56	30.73	30.76	30.60	30.89
PEPPERS	0.212	30.13	30.86	30.49	30.55	30.62	30.75	31.02
	0.272	31.53	32.16	31.77	31.80	31.88	31.80	32.06
	0.325	32.43	32.97	32.54	32.58	32.66	32.64	32.87

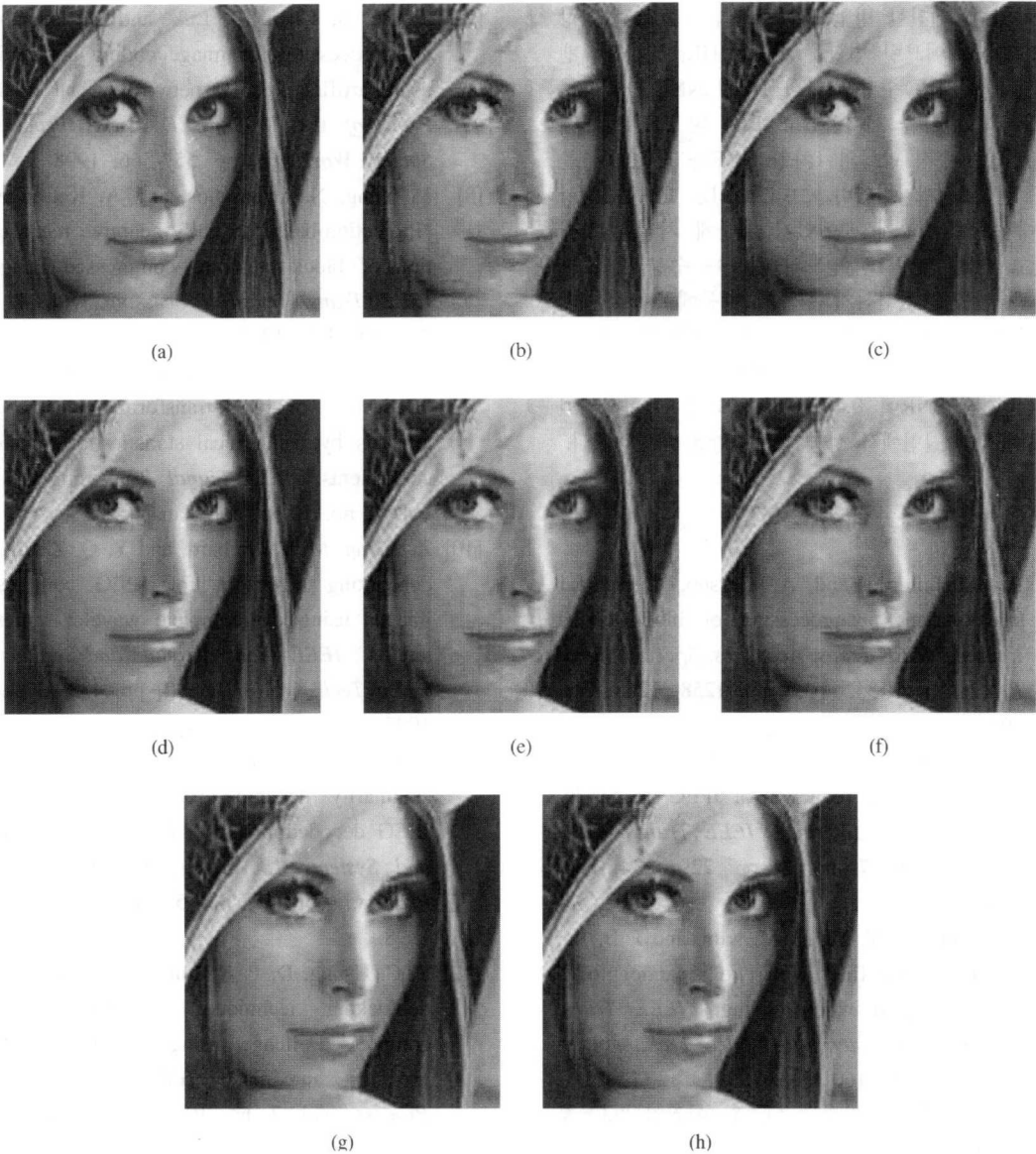


그림 5. (a) LENA 원영상, (b) JPEG 부호화된 영상과 (c) Lee 등의 방법, (d) Kim 등의 방법, (e) Qui의 방법, (f) Yang 등의 방법, (g) Xiong 등의 방법, 및 (h) 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 영상들

수 있다. 그리고 0.271 bpp의 비트율을 가지는 JPEG 부호화된 LENA 영상은 그림 5에서처럼 높은 압축률로 인하여 격자 잡음 및 에지 영역 부근에서 계단형 잡음이 눈에 띄게 나타남을 볼 수 있다. Kim 등^[2] 및 Xiong 등^[9]의 방법에 의한 결과 영상에서는 블록화 현상은 제거되었으나 영상이 전체적으로 몽롱해짐을 볼 수 있고, Qui^[5]가 제안한 방법에 의한 결과 영상에서는 평탄한 영역뿐만 아니라 영상의 턱, 눈 주위, 및 모자 부분의 블록화

현상이 여전히 눈에 보임을 알 수 있다. 그러나 제안한 방법의 결과 영상에서는 블록화 현상이 효율적으로 제거됨을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 블록 부호화된 영상을 웨이브릿 변환을 한 후, 각 레벨의 특성에 따라 서로 다른 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하는 방법을

제안하였다. 제안한 방법에서는 블록 부호화된 영상을 2-레벨 웨이블릿 변환을 한 후, HL₁ 및 HL₂ 밴드에 대하여서는 수평 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였고, LH₁ 및 LH₂ 밴드에 대하여서는 수직 방향의 1차원 NNF를 적용하여 블록화 현상을 제거하였다. 그리고 LL₂ 밴드는 영상의 대부분의 정보가 모여있기 때문에 처리를 하지 않았고, HH₁ 및 HH₂ 밴드의 경우는 수평 및 수직 블록화 현상을 판단하기 힘들기 때문에 3-tap 메디안 필터를 이용하여 블록화 현상을 제거하였다. 실험 결과로부터 제안한 방법은 JPEG 부호화된 영상에 대하여 PSNR이 0.40~0.89 dB 정도 향상되었고 주관적 화질면에서 성능이 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Process.*, vol. 34, no. 5, pp. 1258- 1268, Oct. 1986.
- [2] Y. L. Lee, H. C. Kim, and H. W. Park, "Blocking effect reduction of JPEG images by signal adaptive filtering," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 7, no. 3, pp. 229- 234, Feb. 1998.
- [3] S. D. Kim, J. Y. Yi, H. M. Kim, and J. B. Ra, "A deblocking filter with two separate modes in block-based video coding," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 9, no. 1, pp. 156-160, Feb. 1999.
- [4] 이승진, 이석환, 권성근, 이종원, 이진일, "블록분류와 적응적 필터링을 이용한 후처리에서의 양자화 잡음 제거 기법," *대한전자공학회 논문지*, 제 38 권 SP편, 제 4 호, pp. 118-128, 2001년 7월.
- [5] 권기구, 이종원, 권성근, 반성원, 박경남, 이진일, "오류 역전파 학습 알고리즘을 이용한 블록경계 영역에서의 적응적 블록화 현상 제거 알고리즘," *한국통신학회 논문지*, 제 26 권, 제 9B 호, pp. 1292-1298, 2001년 9월.
- [6] G. Qui, "MLP for adaptive postprocessing block-coded images," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 10, no. 8, pp. 1450-1454, Dec. 2000.
- [7] Z. He, S. Chen, B. Luk, and R. Istepanian, "Postprocessing for image coding applications using artificial neural network visual model," *Proc. of the 1998 IEEE Signal Processing Society Workshop*, pp. 557-566, 1998.
- [8] Y. Yang, N. Galatsanos, and A. Katsaggelos, "Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 896-908, July 1995.
- [9] S. S. O. Choy, Y. H. Chan, and W. C. Siu, "Reduction of block-transform image coding artifacts by using local statistics of transform coefficients," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 4, no. 1, pp. 5-7, Jan. 1997.
- [10] Z. Xiong, M. T. Orchard, and Y. Q. Zhang, "A deblocking algorithm for JPEG compressed images using overcomplete wavelet representations," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 7, no. 2, pp. 433-437, Apr. 1997.
- [11] T. C. Hsung and D. P. K. Lun, "Application of singularity detection for the deblocking of JPEG decoded images," *IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Process.*, vol. 45, no. 5, pp. 640-644, May 1998.
- [12] T. C. Hsung, D. P. K. Lun, and W. C. Siu, "A deblocking technique for block-transform compressed image using wavelet transform modulus maxima," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 7, no. 10, pp. 1488-1496, Oct. 1998.
- [13] S. Mallat and W. L. Hwang, "Characterization of signals from multiscale edge," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 7, pp. 710-732, July 1992.
- [14] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [15] S. Haykin, *Neural Networks, A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.

