

다중스케일 웨이블릿 변환영역에서의 특이점 검출 및 Lipschitz 정칙 상수를 이용한 블록화 현상 제거

정희원 이석환*, 권기규*, 김병주*, 권성근*, 이종원*, 이건일*

Blocking artifact reduction using singularities detection and Lipschitz regularity from multiscale edges

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

요약

본 논문에서는 다중스케일 웨이블릿 변환영역에서의 특이점 검출 및 Lipschitz 정칙 상수를 이용한 블록화 현상 제거 방법을 제안하였다. 블록 부호화된 영상에서 블록화 현상 및 에지와 같은 특이점들은 다중스케일 웨이블릿 변환 영역에서 국부 계수 최대치 (local modulus maxima)로 검출된다. 제안한 방법에서는 국부 계수 최대치의 Lipschitz 정칙 상수를 이용하여 블록화 현상 및 에지의 특이점들을 구분하고, 웨이블릿 변환 영역에서 블록화 현상에 의한 특이점들을 영역에 따라 스케일별로 제거한다. 실험 결과로부터 제안한 방법은 기존의 방법에 비하여 PSRN이 0.046~0.423 dB 향상되었고, 복잡한 영역에서 에지의 불연속성이 제거되므로 객관적 화질 및 주관적 화질 측면에서 성능이 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

The current paper presents an effective deblocking algorithm for block-based coded images using singularity detection in a wavelet transform. In block-based coded images, the local maxima of a wavelet transform modulus detect all singularities, including blocking artifacts, from multiscale edges. Accordingly, the current study discriminates between a blocking artifact and an edge by estimating the Lipschitz regularity of the local maxima and removing the wavelet transform modulus of a blocking artifact that has a negative Lipschitz regularity exponent. Experimental results showed that the performance of the proposed algorithm was objectively and subjectively superior.

1. 서론

블록 기반 DCT (discrete cosine transform) 부호화 기법은 높은 에너지 압축 성질 및 빠른 계산량으로 인하여 디지털 영상 압축 표준인 JPEG,^[1] H.263,^[2] 및 MPEG,^{[3],[4]} 등에 널리 이용된다. 그러나 블록 기반 부호화에서는 영상을 8×8 화소 크기의 블록으로 분할한 후, 각 블록의 DCT 계수들을 독립적으로 양자화함으로써 블록 내 및 블록들 간

에서 화질의 열화가 발생할 수 있다. 특히 저비트율에서는 급격한 양자화 스텝 크기에 의하여 심각한 화질의 열화가 발생된다. 이러한 대표적인 화질 열화에는 블록 경계에서 발생하는 블록화 현상이 있다. 블록화 현상에는 평탄한 영역 및 배경 부근에서 미소한 화소 밝기값의 차이로 나타나는 격자 잡음과 인접한 블록들 간에 속해 있는 연속적인 에지들이 불연속하게 나타나는 계단형 잡음이 있다.

블록화 현상을 제거하기 위하여 부호 비트율 및

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 오디오 및 비디오 시스템 공학 연구실(skylee@palgong.knu.ac.kr)
논문번호 : 020311-0718, 접수일자 : 2002년 7월 18일

부호 처리 과정이 부가되지 않는 후처리 방법이 많이 제안되어지고 있다. 기존의 후처리 방법으로는 공간 영역^{[7]-[10]} 및 주파수 영역^[11] 상에서의 필터링 방법, POCS (projection of convex set) 방법,^[12] 및 웨이블릿 영역 상에서의 필터링 방법^{[13]-[15]} 등이 있다. Ramamurthi 등^[7]은 공간 영역 상에서 영상의 각 블록을 평탄 블록과 에지 블록으로 분류한 후, 평탄 블록에는 이차원 필터를 적용하고, 에지 블록에는 에지의 방향성에 따라 일차원 필터를 적용하였다. 그러나 이 방법은 에지 블록과 평탄 블록을 분류하는 방법이 정확하지 못하다. Yang 등^[12]은 블록 경계 주변의 각 화소들을 공간 적응적인 몽롱화 제약 집합으로 반복 투영하므로써 블록 간의 불연속성을 제거하였다. 그러나 좋은 화질의 영상을 얻기 위하여 5회 이상의 반복 수행이 필요하므로, 수행 시간이 길어지는 단점을 가진다. MPEG-4 VM (verification model)^[4]에서는 저비트율의 동영상에 대하여 블록화 현상 및 링잉 현상을 제거하는 후처리 필터가 권고되어 있다. 그러나 이 후처리 필터는 강한 평탄화 작용으로 인하여 영상이 심하게 몽롱해지고, 에지 주위의 계단형 잡음을 제거하지 못한다. 그러므로 후처리 방법에서는 에지를 보존하면서 블록화 현상을 효과적으로 제거하기 위하여 원 신호에서 블록화 현상에 의한 신호만을 정확하게 추출해야 한다.

Mallat 등^{[5],[6]}에 의하여 소개된 웨이블릿 변환에서는 신호의 국부적인 변화 특성이 다층스케일 상에서 나타난다. 그러므로 Mallat 등은 다층스케일 상에서 신호의 에지 및 특이점 (singularity)의 특성을 해석하였다. 최근에는 이러한 Mallat 웨이블릿 변환의 특성을 이용하여 다층스케일 상에서 에지 및 블록화 현상을 분류한 후, 블록화 현상에 의한 웨이블릿 신호를 제거하는 방법이 제안되어지고 있다.^{[13]-[14]} Xiong 등^[14]은 첫 번째 및 두 번째 스케일 상에서 동일한 위치에 있는 웨이블릿 계수들의 곱을 이용하여 에지 및 블록화 현상에 의한 신호를 검출하였다. 그러나 첫 번째 스케일 상에서의 웨이블릿 계수들은 다층 스케일 상의 원추영향 범위 내에 퍼져서 나타난다. 그러므로 위의 방법은 복잡한 영역에서의 에지 및 블록화 현상에 의한 신호를 구별하지 못하고, 에지 주위의 계단형 잡음을 제거하지 못하는 단점을 가진다.

한편, 블록 부호화된 영상의 에지 및 블록화 현상과 같은 특이점들은 다층스케일의 수평 및 수직 웨이블릿 변환 영역에서 국부 계수 최대치로 나타난다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서

Lipschitz 정칙 상수를 이용하여 원 신호에서 블록화 현상에 의한 신호를 추출하여 이를 제거하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 국부 계수 최대치의 Lipschitz 정칙 상수를 이용하여 블록화 현상과 같은 비정규적인 구조를 갖는 특이점들을 실제 에지들과 구분한다. 그리고 블록화 현상에 해당하는 웨이블릿 변환 계수들을 인접한 계수 분포에 따라 적응적으로 제거하므로써, 에지의 몽롱화없이 블록화 현상만을 효과적으로 제거한다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 JPEG 및 MPEG-4 기반으로 부호화된 영상에 대하여 모의 실험을 행하였으며, 이 결과로부터, 제안한 방법이 객관적 화질 및 주관적 화질면에서 기존의 방법들에 비하여 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

II. 다층스케일 웨이블릿 변환 영역에서의 국부 계수 최대치 및 Lipschitz 정칙 상수

Mallat 등^{[5],[6]}은 신호의 국부적인 Lipschitz 상수가 스케일에 따른 웨이블릿 변환 계수들의 변화율로써 정의되는 이론을 제시하였다. 그리고 다층스케일 공간상에서 웨이블릿 변환 계수의 국부 계수 최대치는 신호의 모든 특이점 및 비정규적인 (irregular) 구조를 검출할 수 있음을 확인하였다. 여기서, Mallat 등이 제시한 다층스케일 웨이블릿 변환에서의 국부 계수 최대치 및 Lipschitz 정칙 상수에 대한 이론을 본 장에서 살펴보기로 한다.

1. 다층스케일 웨이블릿 변환 및 국부 계수 최대치

실수 함수 $\theta(x)$ 는 $\theta(x) = O(1/(1+x^2))$ 이고 $\int_{-\infty}^{\infty} \theta(x)dx \neq 0$ 을 만족하는 평활화 함수이다. 그리고 j 번째 스케일에서의 평활화 함수 $\theta_{2^j}(x)$ 는 $\theta_{2^j}(x) = (1/2^j)\theta(x/2^j)$ 이고, $f(x)$ 는 $L^2(\mathbf{R})$ 를 만족하는 실수 함수이다. $f(x)$ 의 j 번째 스케일 상에서의 에지들은 $\theta_{2^j}(x)$ 에 의하여 평활화된 신호 $f(x) * \theta_{2^j}(x)$ 에서 급격한 밝기 변화를 가지는 곳이다. 그리고 $\psi(x)$ 을 평활화 함수 $\theta(x)$ 의 1차 도함수 $\psi(x) = d\theta(x)/dx$ 로 두면, $\psi(x)$ 는 $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x)dx = 0$ 을 만족하므로 웨이블릿이 될 수 있다. $\psi(x)$ 를 모웨이블릿 (mother wavelet)으로 하는 $f(x)$ 의 j 번째 스케일에서의 웨이블릿 변환 $Wf(2^j, x)$ 은

$$\begin{aligned} W\mathcal{F}(2^j, x) &= f(x) * \psi_{2^j}(x) \\ &= 2^j \frac{d}{dx} (f(x) * \theta_{2^j}(x))(x) \end{aligned} \quad (1)$$

으로 정의된다. 위 식을 살펴보면, 웨이블릿 변환 $W\mathcal{F}(2^j, x)$ 은 $\theta_{2^j}(x)$ 에 의하여 평활화된 $f(x)$ 가 x 에 대하여 미분되어 얻어진 상세신호 (detail signal)임을 알 수 있다. 여기서, j 번째 스케일 상에서 x_0 위치의 웨이블릿 변환 계수 $W\mathcal{F}(2^j, x_0)$ 가 $|W\mathcal{F}(2^j, x_0)| \geq |W\mathcal{F}(2^j, x_0 + 1)|$ 이고 $|W\mathcal{F}(2^j, x_0)| \geq |W\mathcal{F}(2^j, x_0 - 1)|$ 이면, 이 계수를 국부 계수 최대치라 한다.

2. Lipschitz 정칙 상수 이론

다중스케일 상의 국부 계수 최대치를 이용하여 각 특이점들의 Lipschitz 정칙 상수를 구하는 이론은 다음과 같다. 먼저, 웨이블릿 $\psi(x)$ 은 1차 미분 가능하며, 컴팩트한 받침 (compact support)을 갖고, 평활화 함수의 1차 도함수라 가정한다.

[이론] 함수 $f(x)$ 는 구간 $[a, b]$ 상에서 정의된 웨이블릿 변환 영역을 가지는 조절된 초함수 (tempered distribution)이고, x_0 는 구간 $[a, b]$ 상에 속한다. 그리고 $x \in [a, b]$ 및 $2^j < 2^k$ 에 대하여, $f(x)$ 의 웨이블릿 변환 $W\mathcal{F}(2^j, x)$ 의 모든 국부 계수

최대치가 $(2^j, x)$ 의 원추영향 (cone influence) 범위

$$|x - x_0| \leq C \cdot 2^j \quad (2)$$

에 속하는 상수 C 및 스케일 2^k 가 존재한다. 이때, $x_1 \in [a, b]$ 이고, $x_1 \neq x_0$ 인 점 x_1 의 주변에서 $f(x)$ 는 균등한 Lipschitz 상수 1를 가진다. 그리고, $f(x)$ 가 점 x_0 에서 Lipschitz 정칙 상수 α 를 가질 필요충분조건은 위 식에서 정의된 원추영향 범위에 속하는 모든 국부 계수 최대치들이

$$|W\mathcal{F}(2^j, x)| \leq A \cdot 2^{j\alpha} \quad (3)$$

을 만족하는 상수 A 가 존재하는 것이다. 그리고 식 (3)을 로그 형태로 바꾸면

$$\log |W\mathcal{F}(2^j, x)| \leq \log(A) + \alpha \log(2^j) \quad (4)$$

와 같다.

III. 제안한 블록화 현상 제거 방법

제안한 블록화 현상 제거 방법의 전체 블록도는 그림 1에서와 같이 수평 및 수직 웨이블릿 변환 영역에서 국부 계수 최대치 검출, Lipschitz 정칙 상

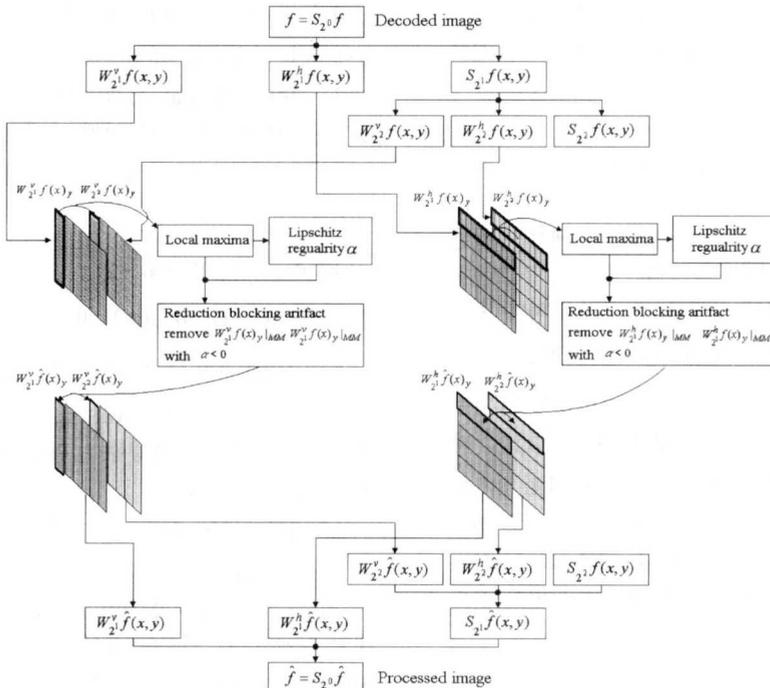


그림 1. 제안한 블록화 현상 제거 방법의 블록도

수에 의한 블록화 현상 판별, 그리고 블록화 현상 제거의 3단계로 구성된다.

1. 웨이블릿 변환 영역에서의 국부 계수 최대치 검출

블록 부호화된 영상 $f(x, y)$ 의 2-D 웨이블릿 변환을 Mallat 등에 의하여 소개된 빠른 웨이블릿 변환 알고리즘^[5]을 이용하여 두 번째 스케일까지

$$\{S_{2^j} f(x, y), (W_{2^j}^h f(x, y))_{1 \leq j \leq 2}, (W_{2^j}^v f(x, y))_{1 \leq j \leq 2}\}_{1 \leq x \leq NH, 1 \leq y \leq NV} \quad (5)$$

와 같이 수행하여 평활화된 신호 S_{2^j} , 수평 및 수직 성분에 대한 웨이블릿 변환 신호 $W_{2^j}^h$ 및 $W_{2^j}^v$ 을 각각 얻는다. 여기서 x 및 y 는 공간 영역 상에서의 수평 및 수직 축이고, NH 및 NV 는 영상의 수평 및 수직 해상도 크기이다. 세 번째 스케일 상에서부터의 웨이블릿 변환 영역에서는 인접한 블록 경계의 블록화 현상들이 서로 영향을 받으면서 확장된다. 그러므로, 제안한 방법에서는 블록화 현상에 대한 Lipschitz 정칙 상수를 구하기 위하여 두 번째 스케일까지 웨이블릿 변환을 수행한다.

수평 웨이블릿 변환 신호 $W_{2^j}^h$ 는 평활화된 $f(x, y)$ 가 x 축에 대하여 편미분된 것으로, $f(x, y)$ 의 x 축 방향에 대한 특이점들을 각 스케일 별로 검출한다. 그러므로, 수평 웨이블릿 변환 신호 $(W_{2^j}^h f(x, y))_{1 \leq j \leq 2}$ 는

$$(W_{2^j}^h f(x, y))_{1 \leq j \leq 2} = \sum_{y=1}^{NV} (W_{2^j}^h f(x)_y, W_{2^j}^v f(x)_y) \quad (6)$$

와 같이 첫 번째 및 두 번째 스케일 상에서 동일한 위치의 열에 대한 웨이블릿 변환 쌍으로 구성된다. 여기서, j 번째 스케일 상에서 (x_0, y) 위치의 수평 웨이블릿 변환 신호 $W_{2^j}^h f(x_0)_y$ 가 $|W_{2^j}^h f(x_0)_y| \geq |W_{2^j}^h f(x_0-1)_y|$ 이고 $|W_{2^j}^h f(x_0)_y| \geq |W_{2^j}^h f(x_0+1)_y|$ 을 만족하면, 이를 국부 계수 최대치 $|W_{2^j}^h f(x_0)_y|_{LM}$ 라 한다. 마찬가지로, 수직 웨이블릿 변환 신호 $W_{2^j}^v$ 는 평활화된 $f(x, y)$ 를 y 축에 대하여 편미분된 것이다. 그러므로, $f(x, y)$ 의 y 축 방향에 대한 특이점들을 각 스케일 별로 검출한다. 수직 웨이블릿 변환 신호 $(W_{2^j}^v f(x, y))_{1 \leq j \leq 2}$ 는

$$(W_{2^j}^v f(x, y))_{1 \leq j \leq 2} = \sum_{x=1}^{NH} (W_{2^j}^h f(x)_y, W_{2^j}^v f(y)_x) \quad (7)$$

와 같이 첫 번째 및 두 번째 스케일 상에서 동일한 위치의 행에 대한 웨이블릿 변환 쌍으로 구성된다. 여기서, j 번째 스케일 상에서 (x, y_0) 위치의 수직 웨이블릿 변환 신호 $W_{2^j}^v f(y_0)_x$ 가 $|W_{2^j}^v f(y_0)_x| \geq |W_{2^j}^v f(y_0-1)_x|$ 이고 $|W_{2^j}^v f(y_0)_x| \geq |W_{2^j}^v f(y_0+1)_x|$ 을 만족하면, 이를 국부 계수 최대치 $|W_{2^j}^v f(y_0)_x|_{LM}$ 라 한다. 제안한 방법에서는 웨이블릿 변환 쌍의 단위로 국부 계수 최대치를 각 스케일별로 검출한 후, 첫 번째 스케일 상에서의 국부 계수 최대치에 대한 Lipschitz 정칙 상수를 이론에 근거하여 구한다.

2. Lipschitz 정칙 상수에 의한 블록화 현상 판별

제안한 방법에서는 수평 및 수직 웨이블릿 변환 쌍의 단위로 블록화 현상을 제거하므로, 본 절 및 다음절에서는 y 번째 열의 수평 웨이블릿 변환 쌍 $(W_{2^j}^h f(x)_y, W_{2^j}^v f(x)_y)$ 에서 Lipschitz 정칙 상수에 의한 블록화 현상 판별 및 블록화 현상 제거 방법에 대하여 살펴보기로 한다.

첫 번째 스케일 상에서 국부 계수 최대치로 검출된 계수들의 Lipschitz 정칙 상수를 구하기 위하여 먼저 식 (2)에 의하여 정의된 원추영향 범위가 결정되어야 한다. 식 (2)을 살펴보면, 첫 번째 스케일 상에서 x_0 위치의 웨이블릿 계수는 두 번째 스케일 상에서의 원추영향 범위 $[x_0 - 2^2 C, x_0 + 2^2 C]$ 를 가진다. 그러나, Mallat 등에 의하여 소개된 이산 필터^[5]를 사용할 경우, 첫 번째 스케일 상에서 x_0 위치의 웨이블릿 계수 $W_{2^j}^h f(x_0)_y$ 는 두 번째 스케일 상으로

$$\begin{aligned} & [W_{2^j}^h f(x_0-3)_y, W_{2^j}^h f(x_0-2)_y, \\ & W_{2^j}^h f(x_0-1)_y, W_{2^j}^h f(x_0)_y, W_{2^j}^h f(x_0+1)_y] \quad (8) \\ & \approx [0.125, 0.5, 0.75, 0.5, 0.125] \times W_{2^j}^h f(x_0)_y \end{aligned}$$

와 같이 퍼져 나간다. 그러므로, 두 번째 스케일 상에서 x_0 위치의 원추영향 범위는 위 식에 의하여 $[x_0-3, x_0+1]$ 이다.

x_0 에서의 Lipschitz 정칙 상수 a 는 식 (4)에서와 같이 $(\log(2^j), \log|W(2^j, x)|)$ 상에서 두 점을 잇는 직선들의 최대 기울기이다. 그러므로 첫 번째 스케일 상에서 x_0 위치의 웨이블릿 계수가 국부 계수 최대치 $|W_{2^j}^h f(x_0)_y|_{LM}$ 를 가지면, 이 위치에서의 Lipschitz 정칙 상수 a 는

$$\alpha = \frac{\log_2 X - \log_2 |W_{2^j}^h f(x_0)|_{LM}}{\log_2 2^2 - \log_2 2^1} \quad (9)$$

이다. 여기서, X 는

$$X = \max_{x \in [x_0 - 3, x_0 + 1]} |W_{2^j}^h f(x)|_{LM} \quad (10)$$

이며, 두 번째 스케일 상에서 원추영향 범위에 속하는 국부 계수 최대치 중 최대값을 나타낸다. 식 (9)를 살펴보면, α 는 첫 번째 스케일 상에서의 국부 계수 최대치와 두 번째 스케일 상에서 원추영향 범위에 속하는 국부 계수 최대치들 사이의 변화율 중, 최대 변화율을 나타낸다. 여기서 α 가 음의 실수값을 가지면, 스케일이 증가할수록 원추영향 범위에 속하는 국부 계수 최대치의 크기가 감소함을 알 수 있다. 그리고, 첫 번째 스케일 상에서 국부 계수 최대치가 아닌 위치에서는 Lipschitz 정칙 상수 이론에 의하여 α 가 1이다.

블록 부호화된 영상에서 블록화 현상 및 에지와 같은 특이점들은 첫 번째 스케일 상에서 국부 계수 최대치로 나타난다. 첫 번째 스케일 상에서의 국부 계수 최대치가 스케일이 증가할수록 크기가 감소하면, 이 위치에서의 Lipschitz 정칙 상수 α 는 식 (9)에 의하여 음의 실수값을 가진다. 본 논문에서는 이를 비정규적인 특이점 (irregular singularity)이라 한다. 블록 부호화된 영상에서 비정규적인 특이점들은 블록화 현상에 의한 불연속성으로 인하여 나타난다.

JPEG 부호화된 LENA 영상의 120번째 열에 대한 화소 밝기값, 첫 번째 스케일 상의 국부 계수 최대치 $|W_{2^j}^h f(x_0)|_{LM}$, 그리고 Lipschitz 정칙 상수 α 는 그림 2의 (a)에서와 같다. 그리고, 첫 번째 및 두 번째 스케일 상의 웨이블릿 변환 신호 $|W_{2^j}^h f(x_0)|_{120}$ 및 $|W_{2^{j+1}}^h f(x_0)|_{120}$ 은 각각 그림 2의 (b) 및 (c)에서와 같다. 블록화 현상에 의한 비정규적인 특이점들은 그림 2에서와 같이 두 가지 형태로 나타난다.

첫 번째 형태는 평탄한 영역의 블록 경계에서 나타나는 격자 잡음의 단위 계단 형태이다. 이는 그림 2에서의 8, 88, 104, 그리고 112 위치에서와 같이 입력 영상의 화소 밝기값에서는 단위 계단 함수로 나타나고, 첫 번째 스케일 상의 웨이블릿 변환 영역에서는 델타 (delta) 함수로 나타난다. 첫 번째 스케일 상에서 이 위치에 인접한 웨이블릿 계수는 모두가 0이다. 그리고 두 번째 스케일 상의 원추영향 범위에 속하는 모든 웨이블릿 계수들은 이 위치에서

의 특이점들이 식 (8)에 의하여 퍼져 나간 것이다. 두 번째 스케일 상에서 원추영향 범위에 속하는 국부 계수 최대치 중 최대값은 식 (8)에서와 같이 첫 번째 스케일 상의 웨이블릿 계수값의 0.75배이다. 그러므로, 이 위치에서의 Lipschitz 정칙 상수 α 는 식 (9)에 의하여 $0.5 \times \log_2 0.75 = -0.2075$ 값을 갖는다.

두 번째 형태는 에지 주위의 블록 경계에서 나타나는 계단형 잡음의 경사 계단 형태이다. 이는 그림 2에서의 24, 32, 40, 56, 그리고 64 위치에서와 같이, 주변 위치에서 화소 밝기값의 변화를 가지므로 첫 번째 스케일 상의 웨이블릿 계수가 존재한다. 그리고 첫 번째 스케일 상에서 이 위치에서의 웨이블릿 계수값이 인접한 웨이블릿 계수값보다 매우 크다. 그러나, 첫 번째 스케일 상에서의 인접한 웨이블릿 계수들과 서로 영향을 받으면서 두 번째 스케일 상의 원추영향 범위 내에 퍼져 나간다. 이 위치

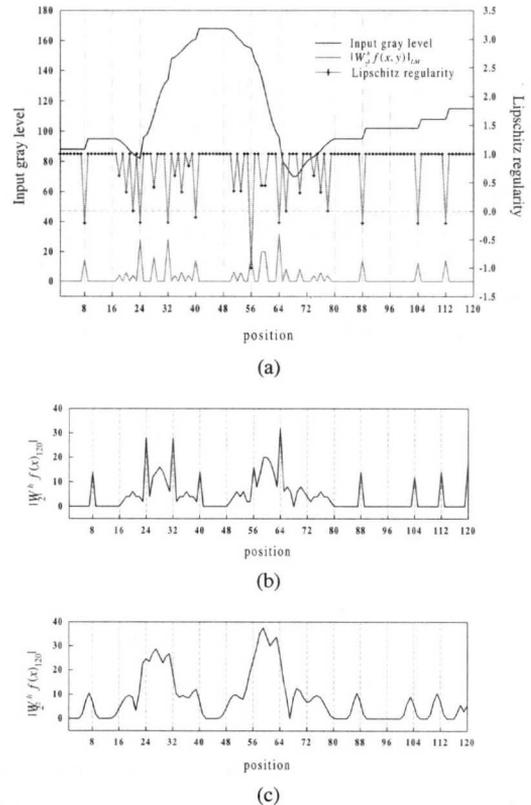


그림 2. JPEG 부호화된 영상의 120번째 열에 대한 (a) 화소 밝기, 국부 계수 최대치 $|W_{2^j}^h f(x_0)|_{LM}$, 그리고 Lipschitz 정칙 상수 α , (b) 첫 번째 스케일 상의 $|W_{2^j}^h f(x_0)|_{120}$ 그리고 (c) 두 번째 스케일 상의 $|W_{2^{j+1}}^h f(x_0)|_{120}$.

에서의 Lipschitz 정칙 상수는 식 (9)에 의하여 $-1 < \alpha < 0$ 범위의 값을 가진다.

x 번째 행의 수직 웨이블릿 변환 쌍 $(W_{2^i}^h f(y))_x, W_{2^i}^v f(y)_x$ 에서도 위와 같은 방법으로 블록화 현상을 판별한다.

3. 블록화 현상 제거

본 절에서는 y 번째 열에 대한 수평 웨이블릿 변환 쌍 $(W_{2^i}^h f(x))_y, W_{2^i}^v f(x))_y$ 에서 블록화 현상을 제거하는 방법에 대하여 살펴본다. 먼저, 첫 번째 스케일 상에서 국부 계수 최대치이고, 음의 실수값인 Lipschitz 정칙 상수를 가지는 웨이블릿 변환 계수 $W_{2^i}^h f(x)_y$ 들을 두 가지 형태의 비정규적인 특이점으로 분류한다.

3.1 단위 계단 형태의 특이점 제거

첫 번째 스케일 상의 x 위치에서 웨이블릿 계수 $W_{2^i}^h f(x)_y$ 가 Lipschitz 정칙 상수 $\alpha < 0$ 이고, 인접한 웨이블릿 계수 $W_{2^i}^h f(x-1)_y$ 및 $W_{2^i}^h f(x+1)_y$ 가 모두 0이면, 이를 단위 계단 형태의 특이점으로 분류한다. 단위 계단 형태의 특이점들은 첫 번째 스케일 상의 웨이블릿 계수가 인접한 웨이블릿 계수들에 영향을 받지 않고 두 번째 스케일 상으로 퍼져 나간다. 그러므로 원추영향 범위 안에 속하는 두 번째 스케일 상의 모든 웨이블릿 계수들은 단위 계단 형태의 특이점들이다. 이러한 특이점들은 첫 번째 스케일 및 원추 영향 범위 안에 속하는 두 번째 스케일 상에서 다음과 같이 제거된다.

$$\begin{aligned} & \text{IF } \{ \alpha < 0 \text{ and } W_{2^i}^h f(x-1)_y = 0 \text{ and } W_{2^i}^h f(x+1)_y = 0 \} \\ & W_{2^i}^h \hat{f}(x)_y = 0 \\ & \text{FOR } i \in [-3, 1] \\ & \quad \text{IF } W_{2^{i+2}}^h f(x+1)_y > 0 \\ & \quad \quad W_{2^{i+2}}^h \hat{f}(x+i)_y = W_{2^{i+2}}^h f(x+i)_y \\ & \quad \quad \quad - C[i] \times |W_{2^i}^h f(x)_y| \\ & \quad \text{ELSE } W_{2^{i+2}}^h \hat{f}(x+i)_y = W_{2^{i+2}}^h f(x+i)_y \\ & \quad \quad \quad + C[i] \times |W_{2^i}^h f(x)_y| \end{aligned}$$

여기서, $C[i]_{i \in [-3, 1]}$ 는 $[0.125 \ 0.5 \ 0.78 \ 0.5 \ 0.125]$ 이다. 이것은 식 (14)에서처럼 첫 번째 스케일 상의 웨이블릿 계수가 두 번째 스케일 상으로 퍼져 나가는 정도를 나타낸다.

3.2 경사진 계단 형태의 특이점 제거

첫 번째 스케일 상의 웨이블릿 계수 $W_{2^i}^h f(x)_y$ 가 Lipschitz 정칙 상수 $\alpha < 0$ 이고, 인접한 웨이블릿 계수 $W_{2^i}^h f(x-1)_y$ 또는 $W_{2^i}^h f(x+1)_y$ 가 0이 아니면, 이를 경사진 계단 형태의 특이점으로 분류한다. 첫 번째 스케일 상에서 0이 아닌 인접한 웨이블릿 계수가 존재하므로, 블록화 현상에 특이점과 인접한 웨이블릿 계수가 서로 영향을 받으면서 두 번째 스케일 상으로 퍼져 나간다. 그러므로 경사진 계단 형태의 특이점들은 첫 번째 스케일 상에서 메디안 (median) 필터를 이용하여 다음과 같이 제거된다.

$$\begin{aligned} & \text{IF } \{ \alpha < 0 \text{ and } \\ & \quad (|W_{2^i}^h f(x-1)_y| = 0 \text{ or } |W_{2^i}^h f(x+1)_y| = 0) \} \\ & W_{2^i}^h \hat{f}(x)_y = \text{median } (W_{2^i}^h f(x-1)_y, \\ & \quad W_{2^i}^h f(x)_y, W_{2^i}^h f(x+1)_y) \end{aligned}$$

모든 열에 대한 수평 웨이블릿 변환 신호 및 모든 행에 대한 수직 웨이블릿 변환 신호에서도 위와 같은 방법으로 블록화 현상을 제거한다.

JPEG 부호화된 LENA 영상에 대한 첫 번째 스케일 상의 수평 웨이블릿 변환 신호의 절대치 $|W_{2^i}^h f(x, y)|$ 및 국부 계수 최대치 $|W_{2^i}^h f(x, y)|_{LM}$ 는

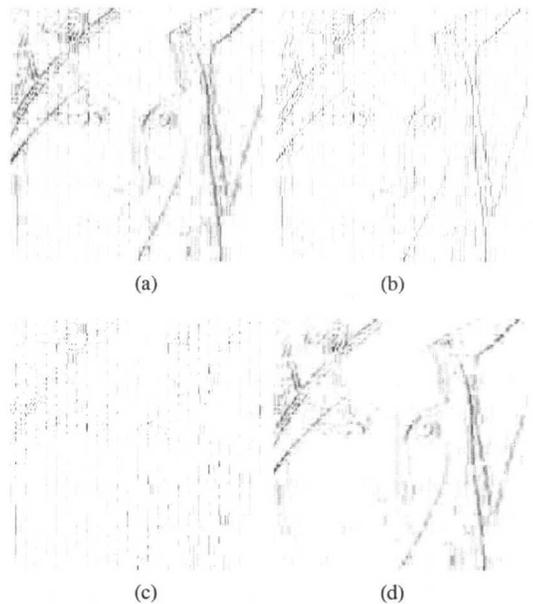


그림 3. JPEG 부호화된 LENA 영상에 대한 (a) 첫 번째 스케일 상의 수평 웨이블릿 변환 $|W_{2^i}^h f(x, y)|$, (b) 국부 계수 최대치 $|W_{2^i}^h f(x, y)|_{LM}$, (c) Lipschitz 정칙 상수가 음의 실수값인 국부 계수 최대치, 그리고 (d) 제안한 방법에 의하여 블록화 현상이 제거된 첫 번째 스케일 상의 $|W_{2^i}^h \hat{f}(x, y)|$.

그림 3의 (a) 및 (b)에서와 같다. 여기서, 각 계수의 크기들을 8비트 회색 준위로 반전시켜 나타내었다. 즉, 계수의 크기가 클수록 검게 나타난다. 국부 계수 최대치 $|W_{2^j}^h \hat{f}(x, y)|_{LM}$ 인 그림 3의 (b)에서 살펴보면, 수평 블록 경계에서의 블록화 현상 및 수평 에지들이 모두 검출됨을 알 수 있다. 그리고 Lipschitz 정칙 상수가 음의 실수값을 가지는 국부 계수 최대치는 그림 3의 (c)에서와 같다. 수평 에지들을 제외한 모든 비정규적인 특이점에 해당하는 블록화 현상들이 나타남을 이 그림에서 알 수 있다. 제안한 방법에 의하여 수평 블록 경계에서의 블록화 현상들이 제거된 첫 번째 스케일 상의 $|W_{2^j}^h \hat{f}(x, y)|$ 은 그림 3의 (d)에서와 같다. 이 그림에서 살펴보면, 첫 번째 스케일 상의 수평 웨이블릿 변환 신호인 그림 3의 (a)에서 비정규적인 특이점에 해당하는 그림 3의 (c)에서의 웨이블릿 계수들만 제거되었음을 알 수 있다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 후처리 방법의 성능을 평가하기 위하여 정지영상 및 동영상에 대한 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 본 실험에서는 성능 평가 기준으로 객관적인 화질 평가인 PSNR과 주관적인 화질 평가를 사용하였다.

정지영상에 대한 실험에서는 Independent JPEG Group에서 제공된 JPEG 프로그램을 이용하여 8 비트 회색 준위를 가지는 512×512 크기의 LENA 영상들을 각각 부호화하였다. 여기서 다양한 비트율로 부호화된 영상을 얻기 위하여 화질 인자 (quality factor)를 2에서 25까지 가변하였다. JPEG 부호화된 LENA 영상에 대하여 기존의 방법 및 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 영상의 PSNR 결과는 그림 4에서와 같다. 이 그림에서 살펴보면, Yang의 방법^[12]은 높은 비트율에서 좋은 성능을 가진 반면, Xiong의 방법^[14] 및 MPEG-4 VM 후처리 필터^[4]는 낮은 비트율에서 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다. 그러나, 제안한 방법이 모든 비트율에서 기존의 방법들에 비하여 0.1~0.423 dB 정도 향상됨을 확인할 수 있다. 그리고 0.26 bpp로 JPEG 부호화된 LENA 영상은 그림 5의 (a)에서와 같이 높은 압축율로 인하여 블록화 현상이 매우 심하게 나타난다. Yang 및 Xiong의 방법에 의하여 후처리된 결과 영상에서는 그림 5의 (b) 및 (c)에서처럼 평탄한 영역

에서의 격자 잡음이 제거됨을 볼 수 있다. 그러나, 복잡한 영역에 속하는 얼굴에서의 코, 눈 그리고 입 부분, 모자의 테두리 부분, 및 오른쪽 배경의 머리

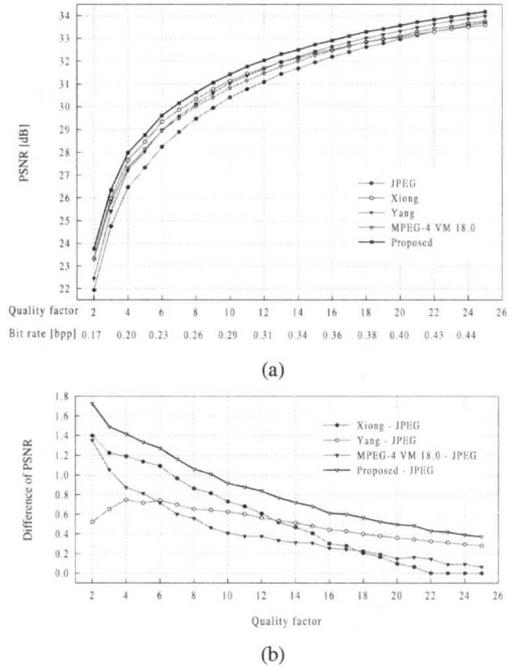


그림 4. JPEG 부호화된 LENA 영상에 대한 (a) 후처리 실험의 PSNR 결과 및 (b) JPEG 부호화된 영상의 PSNR과 후처리된 영상의 PSNR의 차.

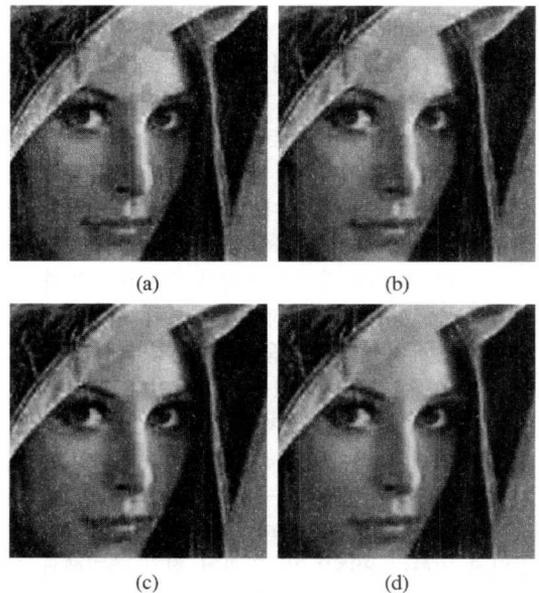


그림 5. (a) 0.26 bpp로 JPEG 부호화된 LENA 영상 및 (b) Yang의 방법, (c) Xiong의 방법, 그리고 (d) 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 영상.

부분의 블록 경계에서 계단형 잡음이 여전히 나타남을 볼 수 있다. 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 영상에서는 그림 5의 (d)에서와 같이 전체 영역에서의 블록화 현상이 제거되었고, 특히 복잡한 영역에서 에지의 불연속성이 향상됨을 확인할 수 있다.

동영상에 대한 실험에서는 Microsoft MPEG4 Video Reference Software에서 제공되는 버전 Microsoft FPDAM1 1.0 000403을 이용하여 CIF 영상의 300 프레임을 부호화하였다. 실험에 사용된 조건으로는 프레임 당 하나의 VOP, IPPPP 구조의 예측 모드, H.263의 양자화 모드, 그리고 ± 16 크기의 움직임 탐색 영역이다. 그리고 각 영상들을 표 I에서와 같이 비트율, 영상의 표시 주기 (frame rate), 그리고 QP에 따라 각각 부호화하였다. MPEG 부호화된 영상과 VM 후처리 필터 및 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 영상의 평균 PSNR은 표 I에서와 같다. 이 표에서 살펴보면, 제안한 방법의 평균 PSNR이 MPEG 부호화된 영상에 비하여 0.090~0.194 dB 향상되었고, VM 후처리 필터에 비하여 0.046~0.155 dB 향상됨을 확인할 수 있다. 그리고 Hall monitor 및 Silent voice 영상에 대한 프레임별 PSNR은 그림 6에서와 같다. 마찬가지로 이 그림에서 제안한 방법이 VM 후처리 필터에 비하여 모든 프레임에서의 PSNR이 0.080~0.259 dB 향상됨을 확인할 수 있다. MPEG 부호화된 Hall monitor 영상에 대하여 VM 후처리 필터 및 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 프레임은 그림 7에서와 같다. 이 그림에서 살펴보면, MPEG 부호화된 프레임에서는 높은 압축률로 인하여 평탄한 영역 및 움직임이 큰 영역에 대하여 블록화 현상이 나타남을 볼 수 있다. 그리고 에지 영역의 블록 경계에서도 에지의 불연속성이 나타남을 볼 수 있다. VM 후처리 필터에 의하여 후처리된 결과 프레임에서는 평탄한 영역에서의 블록화 현상이 제거되었지만, 에지 영역 및 움직임 큰 영역에서 에지의 불연속성이 여전히 나타남을 볼 수 있다. 그러나 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 프레임에서는 전체 영역에 대하여 블록화 현상이 제거되었고, 에지의 불연속성이 개선됨을 볼 수 있다.

이상의 실험 결과로부터 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 PSNR 및 주관적 화질 측면에서 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

표 I. MPEG 부호화된 영상에 대하여 VM 방법 및 제안한 방법에 의하여 후처리 된 영상의 평균 PSNR.

Sequence (CIF)	Average PSNR [dB]		
	MPEG-4	VM postfilter	Proposed
Container ship (112kbps,15Hz,10QP)	33.186	33.334	33.350
Foreman (112kbps,15Hz,30QP)	28.427	28.490	28.600
Hall monitor (48kbps,7.5Hz,12QP)	33.602	33.630	33.738
Mother & daughter (48kbps,7.5Hz,10QP)	36.104	36.170	36.216
6News (48kbps,7.5Hz,18QP)	31.259	31.314	31.349
Silent voice (112kbps,15Hz,14QP)	31.130	31.169	31.324

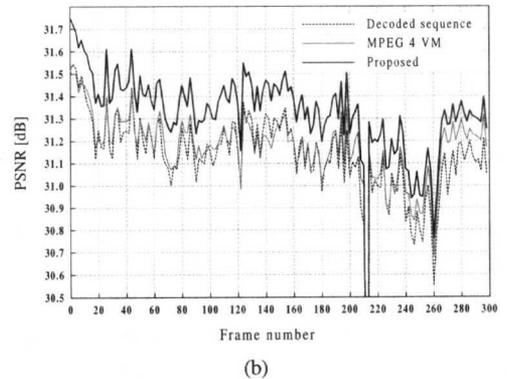
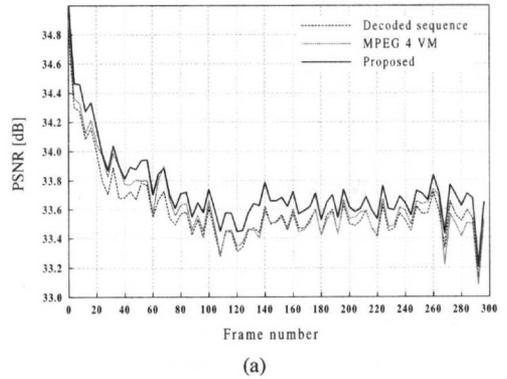


그림 6. MPEG4로 부호화된 (a) Hall monitor 및 (b) Silent voice 영상에 대한 후처리 실험의 프레임별 PSNR.

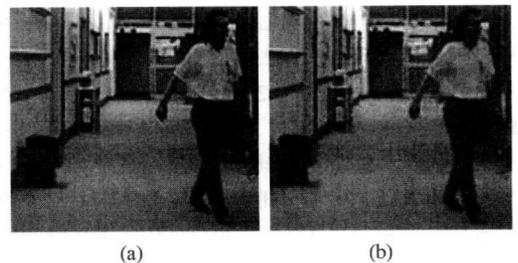




그림 7. (a) Hall monitor 영상의 280번째 프레임, (b) 48kbps, 75Hz으로 MPEG 부호화된 프레임, 그리고 (c) VM 후처리 필터 및 (d) 제안한 방법에 의하여 후처리된 프레임.

V. 결론

본 논문에서는 다중스케일 웨이블릿 변환 영역에서의 특이점 검출 및 Lipschitz 정칙 상수를 이용하여 블록 부호화된 영상의 블록화 현상을 제거하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 다중스케일 상의 웨이블릿 변환 영역에서 국부 계수 최대치를 이용하여 블록화 현상 및 에지들을 검출하였다. 그리고 첫 번째 스케일 상의 국부 계수 최대치의 Lipschitz 정칙 상수를 이용하여 블록화 현상에 의한 특이점들을 구분한 후, 이러한 특이점들을 두 가지 형태에 따라 각 스케일별로 제거하였다. 정지영상 실험결과로부터 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 PSNR이 0.1~0.423 dB 향상되었고, 블록 경계 부분에서 왜곡의 감소와 에지의 연속성을 나타내므로 객관적 화질 및 주관적 화질면에서 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 동영상에 대한 실험 결과로부터, 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 평균 PSNR이 0.046~0.155 dB 정도 향상되었다. 그리고 움직임이 크고 평탄한 영역에 대하여 블록화 현상이 잘 제거되었고, 복잡한 영역에서 에지의 불연속성이 제거되므로 주관적 화질면에서 성능이 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 38, no. 1, pp. xviii-xxiv, Feb. 1992.
 [2] ITU-T Recommendation H.263, "Video coding for low bit rate communication."
 [3] Motion Picture Experts Group, "MPEG test model 5 draft revision 2," ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11/602, Nov. 1993.

[4] MPEG-4 Video Verification Model version 18.0 (VM 18.0), ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11, N3908, 2001.
 [5] S. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 14, pp. 710-732, July 1992.
 [6] S. Mallat and W. L. Hwang, "Singularity detection and processing with wavelets," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 38, no. 2, pp. 617-643, March 1992.
 [7] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. ASSP-34, no. 5, pp. 1258-1268, Oct. 1986.
 [8] 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 Syst. Video Technol., vol. 9, pp. 156-160, Feb. 1999.
 [9] H. W. Park and Y. R. Lee, "A postprocessing method for reducing quantization effects in low bit-rate moving picture coding," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 9, no. 1, pp. 161-171, Feb. 1999.
 [10] 이승진, 이석환, 권성근, 이종원, 이건일, "블록분류와 적응적 필터링을 이용한 후처리에서의 양자화 잡음 제거 기법," 대한전자공학회 논문지, 제 38권 SP편, 제 4호, pp. 118-128, 2001년 7월.
 [11] T. Kasezawa, "Blocking artifacts reduction using discrete cosine transforms," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 43, no. 1, pp. 48-55, Feb. 1997.
 [12] 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.
 [13] N. C. Kim, I. H. Jang, D. H. Kim, and W. H. Hong, "Reduction of blocking artifact in block-coded images using wavelet transform," IEEE Trans. Circuits Sys, Video Technol., vol 8. no. 3, pp. 253-257, June 1998.
 [14] Z. Xiong, M. T. Orchard, and Y. Q. Zhang,

