

블록 기반 DCT 압축 영상의 화질 개선을 위한 후처리 필터링 알고리즘

A Postfiltering Algorithm for Enhancement in Block-based DCT Compressed Images

김용훈* · 정종혁*

Yong-Hun Kim, and Jong-Hyeog Jeong[†]

*경운대학교 항공정보통신공학과

[†] Department of Aviation Information and Comm. Engineering, Kyungwoon University

요 약

블록기반의 이산여현변환 압축 표준을 사용하는 저 비트율 압축 영상과 동영상에서 발생하는 블록킹 현상과 링잉 현상은 화질 열화의 주된 원인으로 지적되고 있다. 블록킹 현상과 링잉 현상은 블록 경계와 에지 경계에서 원 영상에 없던 고주파 성분이 나타나는 현상이므로 저역통과 필터를 적용하면 제거할 수 있다. 그러나 단순히 저역통과 필터를 적용하면 원 영상에 존재하는 에지와 같은 고주파 성분도 제거되어 또 다른 화질 열화 및 번짐 현상을 야기하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 주변 화소의 밝기 유사성에 기반한 가중치를 계산하고, 가우시안 저역 통과 필터의 계수에 이 가중치를 곱하여 필터링하는 방법을 제안한다. 실험 결과, 제안된 방법은 PSNR 측면에서 0.4~0.76dB 정도의 향상을 얻었을 뿐만 아니라, 주관적 화질면에서도 우수한 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

키워드 : 후처리 필터링, 블록킹 현상, 링잉 현상, 신호 적응 필터, 화질 개선.

Abstract

Blocking and ringing artifacts continue to be the most serious defects that occur in images and video streams compressed to low bit rates using block-based discrete cosine transform(DCT) compression standards. These artifacts contain the high frequency components near the block and the edge boundaries. Usually the lowpass filter can remove them. However, simple lowpass filter results into blur by removing important information such as edges at the same time. To overcome these problems, we propose a novel postfiltering algorithm that calculate the weight value based on the intensity similarity in the neighboring pixels and multiply this weight to the Gaussian lowpass filter coefficient. Experimental results show that the proposed technique provides satisfactory performance in both objective and subjective image quality.

Key Words : Post-Filtering, Blocking Artifact, Ringing Artifact, Signal Adaptive Filter, Image Enhancement.

1. 서 론

최근 멀티미디어 데이터의 압축 방법으로 널리 쓰이는 JPEG과 같은 정지 영상 부호화와 H.261, H.263 및 MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 등의 동영상 부호화에서는 블록기반 이산여현변환 과정을 거친 후 양자화 과정에서 압

축을 수행한다[1-2]. 영상 데이터에서 대부분의 에너지는 저주파 대역에 분포하지만 에지와 같이 영상의 세밀한 정보는 고주파 대역에 존재하게 된다. 블록 단위의 양자화 기법은 저주파 대역의 계수들에 대해서는 많은 비트를 할당하고, 고주파대역에는 상대적으로 적은 비트를 할당함으로써 압축효율을 높이는 방법을 사용하고 있다. 양자화 과정에서 압축률이 올라가면 영상의 블록 내부 및 블록 간 양자화 잡음이 커져서 링잉 현상과 블록킹 현상이 발생한다[3]. 링잉 현상은 양자화 과정에서 DCT 계수의 고주파 성분이 절단됨으로써 발생되고, 블록킹 현상은 평탄한 영역 내의 블록 경계면 화소 밝기값의 차이 때문에 주로 나타난다.

이러한 양자화 잡음으로 인한 화질 열화를 줄이기 위하여 많은 방법들이 연구되고 있다[4-10]. 기존의 방법들을 크게 나누면, 부호화의 압축과정에서 양자화 잡음이 발생되지 않도록 부호화기를 설계하는 전처리 방법과 복호기측에서 영상신호를 복호한 다음에 양자화 잡음을 제거하는 후처

접수일자: 2013년 7월 4일

심사(수정)일자: 2013년 12월 26일

게재확정일자: 2013년 12월 27일

[†] Corresponding author

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

리 방법으로 나눌 수 있다. 전처리 방법으로는 블록킹 현상이 발생하는 원인이 겹치지 않는 블록 단위의 변환과 양자화 과정에 있으므로 이를 개선하기 위하여 블록을 서로 겹쳐 변환/양자화하는 LOT(Lapped Orthogonal Transform)가 제안되었다[4]. 그러나 이와 같은 전처리 방법은 변환 알고리즘의 복잡도와 특정한 부호화 방법을 염두에 두고 만들어진 것으로 표준화된 멀티미디어 시스템에서는 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 표준화된 멀티미디어 시스템에서는 복호된 영상에 대하여 후처리를 수행함으로써 블록킹 현상을 줄이는 방법이 꾸준히 연구되어 왔다[5-10]. Ramamurthi 등이 제안한 방법에서는 블록화 현상이 발생한 영상을 평면 블록과 에지 블록으로 분류한 후, 평면 블록에서는 2차원 저역 통과 필터를 적용하고, 에지 블록에서는 1차원 저역 통과 필터를 적용하였다[7]. 그러나 이 방법은 에지 블록과 평면 블록을 분류하는 방법이 정확하지 못하다는 단점이 있다. S. Kim 등은 블록 경계 영역에서 평탄한 영역과 복잡한 영역을 각각 평면 격자 모드와 기본 모드로 구분하여 평면 격자 모드에서는 1D 저역 통과 필터를 블록 경계 영역에 적용하고, 기본 모드에서는 복잡한 영역이므로 블록 경계의 주파수 정보에 따라 평탄화 강도를 제어하여 블록 경계를 필터링한다[8]. 이 방법은 영상의 세밀한 부분에서는 필터링을 취하지 않으므로 영상의 세밀함은 보존될 수 있으나, 에지 영역에서 나타나는 블록화 현상은 잘 제거되지 못하는 단점이 있다. ADEN(Advanced Detail Enhancement) 알고리즘은 링잉 현상을 감쇄하기 위한 선명도 향상 알고리즘으로 RGB 좌표계의 세 가지 컬러 값을 모두 사용하는 방법으로 3차원 거리 수식에 포함된 제곱과 제곱근 연산, 그리고 각 컬러별로 적용하는 헤닝 윈도우에 의해 많은 연산량이 요구된다[9]. Matthias Brüggemann 등은 영상을 Edge, Texture, Flat 세 영역으로 구분하고 각 영역의 분산도에 따라 방향성 필터 계수를 선정하고 필터링하는 방법을 제안하였으나 많은 연산량으로 인해 실시간 처리에는 문제가 있다[10].

본 논문에서는 양자화 잡음은 필터링하면서 에지 정보는 보존하기 위하여 주변 화소의 밝기 유사성에 기반을 둔 가중치를 계산하고, 이 가중치를 가우시안 저역 통과 필터의 계수에 곱하여 필터링하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 Baseline JPEG을 기반으로 부호화된 영상에 대해서 모의실험을 행하였고, 실험 결과로부터 제안된 방법은 시각적으로 만족스러운 결과뿐만 아니라 객관적 평가에서도 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

2. 주변 화소의 밝기 유사성에 기반을 둔 효율적인 후처리 필터링 알고리즘

블록 경계에서 발생하는 블록킹 현상과 에지 주변에서 발생하는 링잉 현상은 저역 통과 필터를 적용하면 제거할 수 있다. 그러나 단순히 저역 통과 필터를 적용하면 원영상에 존재하는 에지와 같은 고주파 성분도 제거되어 화질 열화 및 번짐 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 가우시안 저역 통과 필터에 주변 화소와의 밝기 유사성에 기반을 둔 유사도 가중치를 이용한 방법을 제안한다. 제안된 방법은 적은 연산량을 가지는 간단한 필터 처리로 구현되기 때문에 실시간처리에 적합하다.

가우시안 임펄스 응답을 가지는 저역 통과 필터는 식(1)과 같다.

$$H(x,y) = \frac{1}{Z} \exp\left[-\frac{(x^2+y^2)}{\sigma^2}\right] \quad (1)$$

여기서, Z 는 정규화 상수이고, σ 는 처리 윈도우 내의 표준 편차이다.

기존의 필터는 공간 좌표에 의해 계수가 결정되어 영상의 특성을 적응적으로 반영할 수가 없었다. 그러므로 평면 영역이나 에지 영역의 구별 없이 영상 전체에 동일한 필터링을 수행하여 에지와 같은 고주파 성분을 제거하는 문제를 발생시켰다. 비록, 평면 영역과 에지 영역을 구분하여 처리 하더라도 완만하게 변화되는 영역과 급격하게 변화되는 영역을 모두 에지 영역으로 판단하여 동일한 처리를 함으로써 영상의 특성을 제대로 반영하지 못하였다.

이러한 문제를 해결하기 위해 영상의 주변 화소와의 밝기 유사성에 기반을 둔 유사도 가중치를 이용하는 비선형 알고리즘을 제안한다. $f(i,j)$ 를 $(2w+1) \times (2w+1)$ 의 크기를 가지는 윈도우에서 중심화소의 위치가 (i,j) 인 화소의 밝기라고 두면, 중심화소와 윈도우 내의 모든 화소와의 밝기 차이는 식(2)와 같이 정의된다.

$$d(p,q) = |f(i,j) - f(p,q)| \quad (2)$$

여기서, $(p,q) = \{(i-w,j-w), \dots, (i,j), \dots, (i+w,j+w)\}$ 는 윈도우 내의 모든 화소를 의미한다.

식(2)의 모든 화소의 밝기 차이로부터 비선형 함수로 표현되는 유사도 가중치인 식(3)을 정의한다.

$$W(p,q) = \frac{1.0}{\exp[\lambda \times d^2(p,q)]} \quad (3)$$

여기서, $\lambda = 0.001$ 은 실험적으로 결정하였다.

화소의 밝기가 비슷한 평면 영역에서는 화소의 밝기 차이가 매우 작으므로 유사도 가중치 W 는 거의 1에 가깝게 되고, 화소의 밝기가 다른 에지 영역에서는 화소의 밝기 차이가 매우 크게 되므로 유사도 가중치 W 는 거의 0에 가깝게 된다. 화소의 밝기 차이에 따른 유사도 가중치의 값을 그림 1에 나타내었다.

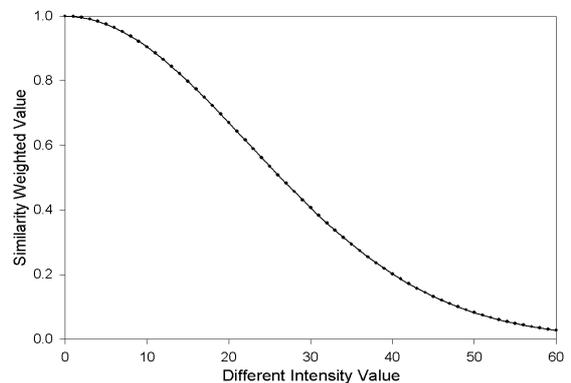


그림 1. 화소의 밝기 차이에 따른 유사도 가중치
Fig. 1. Similarity weight value for different intensity

식(3)의 화소의 밝기 차이에 따른 유사도 가중치를 식(1)의 가우시안 저역 통과 필터의 계수에 곱하여 식(4)와 같이 필터링한다.

$$f_{new}(i,j) = \frac{\sum_{(p,q)} W(p,q)H(p,q)f(p,q)}{\sum_{(p,q)} W(p,q)H(p,q)} \quad (4)$$

여기서, $f_{new}(i,j)$ 는 필터링에 의해 재구성된 영상이고, $W(p,q)$ 는 유사도 가중함수, $H(p,q)$ 는 가우시안 저역통과 필터이다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 정지영상에 대한 실험 결과

본 논문에서는 멀티미디어 시스템에서 발생하는 양자화 잡음을 제거하기 위한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 정지 영상에 대하여 모의실험을 행하였다. 정지영상으로는 256×256 화소 크기의 "lena", "cameraman" 영상을 Base-line JPEG으로 부호화하여 사용하였고, 윈도우의 크기는 7×7로 실험하였다. 원 영상인 "lena" 영상과 "cameraman" 영상을 그림 2에 나타내었다.

화질의 평가는 객관적, 주관적 화질 평가 이외에 인간의 시각 특성을 이용한 다양한 정량적 화질 평가[11]가 있지만 주관적 평가는 개인의 특성에 따라 평가가 달라지는 관계로 본 논문에서는 객관적 화질 평가의 척도가 되는 식(5)와 같이 PSNR(peak signal-to-noise ratio)을 사용하였다.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left[\frac{255 \times 255}{\frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \{f(i,j) - \hat{f}(i,j)\}^2} \right] \quad (5)$$

여기서 $f(i,j)$ 는 원영상이고, $\hat{f}(i,j)$ 은 압축된 영상과 제안된 방법으로 처리된 영상이다.



그림 2. 실험에 사용된 원 영상
 (a) "lena" 영상 (b) "cameraman" 영상
 Fig 2. Original images used in the experiment
 (a) "lena" image (b) "cameraman" image



그림 3. "lena" 영상에 대한 결과
 (a) JPEG 영상 (0.730bpp) (b) 제안된 방법
 (c) 영상 (a)의 확대 영상 (d) 영상 (b)의 확대 영상
 Fig. 3. The result image of "lena"
 (a) JPEG compressed image (0.730bpp)
 (b) restored image using proposed postfilter
 (c) detailed portion of (a) (d) detailed portion of (b)



그림 4. "cameraman" 영상에 대한 결과
 (a) JPEG 영상 (0.500bpp) (b) 제안된 방법
 (c) 영상 (a)의 확대 영상 (d) 영상 (b)의 확대 영상
 Fig. 4. The result image of "cameraman"
 (a) JPEG compressed image (0.500bpp)
 (b) restored image using proposed postfilter
 (c) detailed portion of (a) (d) detailed portion of (b)

그림 3에 "lena" 영상의 실험 결과를 나타내었다. 그림 3(a)는 0.730bpp(bit per pixel)로 압축된 JPEG 영상이고, 그림 3(b)는 그림 3(a)에 대한 제안된 방법으로 후처리 한 영상이다. 제안된 방법으로 후처리 한 영상은 모자 장식과 같은 에지 영역은 거의 보존하면서 배경과 어깨와 같은 평면 영역의 블록킹 현상이나 모자와 어깨선과 같은 에지 주위에 발생하는 링잉 현상을 효과적으로 제거됨을 알 수 있다. 그림 3(c)와 그림 3(d)는 각각 그림 3(a)와 그림 3(b)의 부분 확대 영상이다. 그림 3(c)에서는 어깨 영역에서 블록킹 현상과 어깨선과 머리카락 주위에 링잉 현상이 많이 발생하는데 비하여, 제안된 방법의 후처리 영상에서는 블록킹 현상과 링잉 현상이 많이 개선되었음을 보인다. 이러한 블록킹 현상과 링잉 현상의 제거로 인해 제안된 방법으로 후처리 한 영상이 인간 시각의 주관적인 화질면에서 매우 향상됨을 알 수 있다.

그림 4는 "cameraman" 영상에 대한 실험 결과이다. 그림 4(a)는 0.500bpp로 압축된 JPEG 영상이고, 그림 4(b)는 그림 4(a)인 JPEG 영상에 대한 제안된 방법으로 후처리 한 영상이다. 제안된 방법은 배경과 같은 평면 영역의 블록킹 현상을 없애고, 머리카락, 카메라 주위에 발생하는 링잉 현상을 매우 효과적으로 제거함을 알 수 있다. 그림 4(c)와 그림 4(d)는 부분 확대 영상이다. 그림 4(d)에서는 배경의 블록킹 현상과 에지 주위의 링잉 현상이 개선되었음을 알 수 있다.

"cameraman" 영상에서 128행의 프로파일을 그림 5에 나타내었다. 원기호가 있는 실선은 원영상의 실제 데이터이고 사각형은 압축된 영상의 데이터, 삼각형은 제안된 방법으로 처리된 영상의 데이터이다. 40열에서 50열 사이와 140열과 160열 사이를 보면 원영상과 달리 압축된 영상에서는 큰 에지 주위에 링잉 현상이 발생하지만 제안된 방법은 링잉 현상을 효과적으로 제거하면서 원영상과 큰 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. 또한 제안된 방법은 기본적인 저역통과 필터가 가지고 있는 에지를 뭉롱화하는 현상을 발생시키지 않고 에지를 잘 보존함을 알 수 있다. 50열과 120열 사이는 큰 변화가 없는 평면 영역으로 압축된 영상에서는 블록킹 현상이 눈에 띄지만 제안된 방법은 블록킹 현상을 제거하면서 원영상과 비슷함을 알 수 있다.

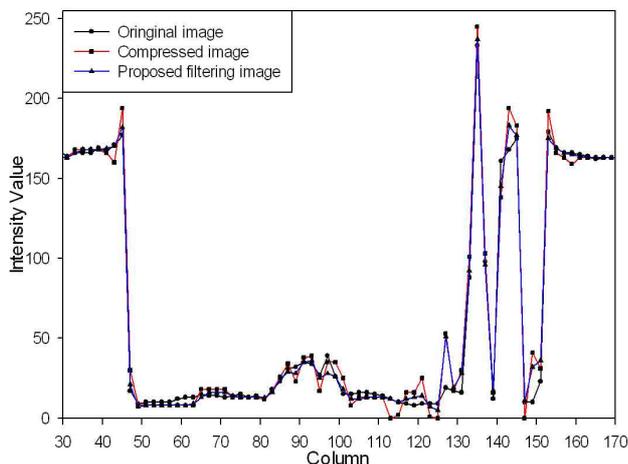


그림 5. "cameraman" 영상의 프로파일(row=128)
Fig. 5. Profiles of "cameraman" images(row=128)

표 1. JPEG 영상과 제안된 방법의 PSNR 비교
Table 1. PSNR comparison between JPEG compressed images and restored images using proposed postfilter

Image (bpp)	PSNR of JPEG Image	PSNR of proposed postfilter
lena(0.380)	26.480	27.168
lena(0.570)	28.297	28.879
lena(0.730)	29.417	29.935
lena(0.827)	30.282	30.722
lena(1.010)	31.005	31.416
cameraman(0.335)	26.471	27.138
cameraman(0.500)	28.591	29.355
cameraman(0.643)	29.937	30.648
cameraman(0.756)	30.894	31.524
cameraman(0.875)	31.744	32.172

표 1에 영상의 압축율에 따른 JPEG 영상과 제안된 방법의 후처리 영상의 PSNR을 나타내었다. "lena" 영상에서 압축율이 높은 0.380bpp인 경우, JPEG 영상의 PSNR은 26.480dB이고, 제안된 방법으로 후처리된 영상의 PSNR은 27.168dB로서 0.688dB가 개선됨을 알 수 있다. 반대로, 압축율이 상대적으로 낮은 1.010bpp에서 JPEG 영상은 31.005dB이고, 제안된 방법의 후처리 영상은 31.416dB로 0.411dB가 개선되었다. "cameraman" 영상에서는 압축율이 높은 0.335bpp인 경우, JPEG 영상의 PSNR은 26.471dB이고, 제안된 방법으로 후처리된 영상의 PSNR은 27.138dB로서 0.667dB가 개선됨을 알 수 있다. 또한, 압축율이 낮은 0.875bpp에서 JPEG 영상은 31.744dB이고, 제안된 방법의 후처리 영상은 31.172dB로 0.428dB가 개선되었다. 전체적으로 제안된 방법으로 후처리 한 영상은 압축된 JPEG 영상에 비해 대략 0.4~0.76dB 정도의 개선 효과가 있음을 알 수 있다.

3.2 동영상에 대한 실험 결과

본 논문에서 블록킹 현상과 링잉 현상을 제거하기 위해 제안된 후처리 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 동영상 실험에 사용된 동영상은 CCITT 601 포맷의 720×480 크기를 갖는 "MBCL" 동영상으로 전체 136프레임을 사용하였고, 동영상의 압축은 3.5 Mbps의 압축율로 초당 25프레임의 MPEG-2 표준 압축 알고리즘(TM-5)을 사용하여 압축하였다. 제안된 후처리 방법에서 가우시안 윈도우의 크기는 7×7로 실험하였다. 화질의 객관적인 평가 척도는 식(5)와 같이 PSNR을 사용하였다.

실험에 사용된 "MBCL" 동영상에서 50번째 프레임의 원 영상을 그림 6(a)에 나타내었다. MPEG-2 표준 압축 알고리즘으로 압축된 "MBCL" 동영상의 50번째 프레임의 부분 확대 영상을 그림 6(b)에 나타내었고 제안된 후처리 방법의 의해 압축된 동영상을 처리한 결과의 부분 확대 영상을 그림 6(c)에 나타내었다.

그림 6(b)의 압축된 동영상의 부분 확대 영상을 보면, 배경 영역에서 블록킹 현상이 발생하고 숫자 주변에서 링잉 현상이 많이 발생함을 알 수 있다. 그러나 제안된 후처리 방법을 적용한 그림 6(c)에서는 영상의 경계를 보존하면서 평면 영역의 블록킹 현상과 숫자 주변의 링잉 현상이 상당히 개선됨을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. "MBCL" 동영상의 50번째 프레임

(a) 원영상 프레임

(b) MPEG 영상의 확대 영상 (c) 제안된 방법의 확대 영상

Fig. 6. The 50th frame of "MBCL" sequence

(a) Original frame

(b) detailed portion of compressed sequence

(c) detailed portion of using proposed postfilter

제안된 후처리 필터링의 성능을 객관적으로 평가하기 위해 "MBCL" 동영상을 MPEG-2 표준 압축 알고리즘으로 압축한 동영상과 압축된 동영상을 제안된 후처리 필터로 처리한 결과의 PSNR을 그림 7에 나타내었다. MPEG-2 표준 압축 알고리즘으로 압축된 "MBCL" 동영상의 136프레임 평균 PSNR은 27.20dB이고, 압축된 "MBCL" 동영상을 제안된 후처리 필터로 처리한 결과의 PSNR은 평균 27.45dB이다. 제안된 후처리 필터 방법에 의해 평균 0.25dB의 개선 효과효과를 보임으로써 제안된 후처리 필터가 블록킹 현상과 링잉 현상을 제거하여 동영상의 품질 개선에 효과적임을 알 수 있다.

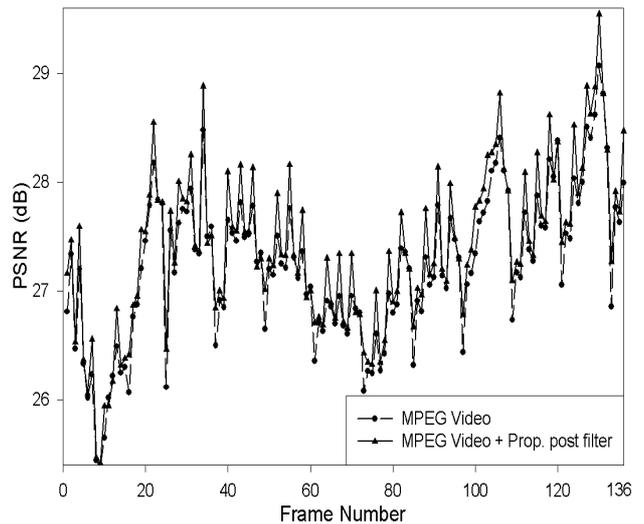


그림 7. "MBCL" 동영상의 MPEG 압축된 동영상과 제안된 방법의 PSNR

Fig. 7. PSNR for "MBCL" according to compressed sequence and proposed postfilter

4. 결론

본 논문에서는 멀티미디어 시스템에서 양자화 과정으로 생기는 잡음을 가우시안 저역 통과 필터에 주변 화소와의 밝기 유사성에 기반을 둔 유사도 가중치를 적용한 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 중심화소와 주변화소의 밝기 성분 에 따라 적응적으로 유사도 가중치를 계산하여 단순한 저역통과 필터링에 의한 화질 열화 및 영상의 번짐 현상을 방지하고, 효과적으로 블록킹 현상과 링잉 현상을 효과적으로 제거하였다.

컴퓨터의 모의실험 결과로부터 제안한 방법은 정지영상의 경우, 인간 시각의 주관적인 화질면에서 매우 향상되었을 뿐만 아니라, PSNR에서도 0.730bpp로 압축된 "lena" 영상에서는 0.518dB, 0.643bpp로 압축된 "cameraman" 영상에서는 0.711dB가 개선되었고, 전체적으로는 0.4~0.76dB 정도의 화질 개선효과를 보임을 알 수 있었다. 또한 동영상에서도 평균 0.25dB의 개선효과를 보임으로써 제안된 후처리 필터가 블록킹 현상과 링잉 현상제거에 효과적이고 연산량도 적어 실시간 처리에 적합함을 알 수 있었다.

References

- [1] William B. Pennebaker, Joan L. Mitchell, *JPEG: Still Image Data Compression Standard*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1992.
- [2] A. Murat Tekalp, *Digital Video Processing*, Prentice Hall PTR, 1995.
- [3] A. Katsaggelos and N. Galatsanos, *Signal recovery techniques for image and video compression and transmission*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.
- [4] H. S. Malvar and D. H. Staelin, "The LOT: Transform coding without blocking effect," *IEEE Trans. Acoustic, Speech and Signal Processing*, vol. 37, no. 4, pp. 553-559, Apr. 1989.
- [5] Y. Zhang, R. Pickholtz, M. Loew, "A new approach to reduce the blocking effect of transform coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, pp. 299-302, Feb. 1993.
- [6] Dong-Jin Kwon, Sung-Pil Ryu, Nae-Joung Kwak, Jae-Hyeong Ahn, "The Improved Deblocking Filter for Low-bit Rate H.264/AVC Video," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 284-289, 2008.
- [7] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," *IEEE Trans. Acoustic, Speech, and Signal Processing*, vol. 34, no. 5, pp. 1258-1267, 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] W. Jang, H. Han, W. Choi, G. Lee, and B. Kang, "Improvement of ringing artifact reduction using a K-means method for color moving picture," *IEICE Trans. on Fundamentals*, vol. E93-A, no. 1, pp. 348-353, Jan. 2010.
- [10] Matthias Brüggemann, et al., "Adaptive directional filter kernels for ringing and staircase artifact reduction," *Electronic Media Technology (CEMT), 2011 14th ITG Conference on*, pp. 1-6, 2011.

- [11] Tae-Yun Chung, Sung-Wook Park, "Blind Measurement of Blocking Artifacts in Block-based DCT Image Coder," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 39-45, 2004.

저 자 소 개



김용훈(Yong-Hun Kim)

1999년 : 영남대학교 전자공학과 공학사
 2001년 : 영남대학교 전자공학과 공학석사
 2006년 : 영남대학교 전자공학과 공학박사
 2010년~현재 : 경운대학교 항공정보통신공학과 교수

관심분야 : 신호처리, 영상통신
 Phone : +82-54-479-1313
 E-Mail : yhkim@ikw.ac.kr



정종혁(Jong-Hyeog Jeong)

1992년 : 부경대학교 전자공학과 공학사
 1994년 : 동아대학교 전자공학과 공학석사
 1999년 : 한국해양대학교 전자통신공학과 공학박사
 2000년~현재 : 경운대학교 항공정보통신공학과 교수

관심분야 : 신호처리, USN, 전파통신
 Phone : +82-54-479-1314
 E-Mail : jhjeong@ikw.ac.kr