

블록 경계 영역 특성을 이용한 블록 부호화 영상에서의 양자화 잡음 제거

권 기 구[†] · 양 만 석^{**} · 마 진 석^{***} · 임 성 호^{****} · 임 동 선^{*****}

요 약

본 논문에서는 블록 기반으로 부호화된 영상에 대하여 블록 경계 영역 특성에 따른 적응적 필터링을 이용한 양자화 잡음 제거 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법에서는 블록 경계에 인접한 네 개 화소들의 통계적 특성을 이용하여 각 블록 경계 영역을 평탄 부영역(smooth sub-region)과 복잡 부영역(complex sub-region)으로 분류한 후, 인접 블록간 영역 특성을 이용하여 서로 다른 블록간 필터링을 수행한다. 먼저 인접 블록 모두 평탄 부영역인 경우에는 평탄 블록 경계 영역 중 블록화 현상이 발생하지 않은 영역도 존재하기 때문에 계산량을 줄이기 위하여 평탄 영역 중 블록화 현상이 발생한 영역만을 검출하여 필터링을 수행한다. 그리고, 두 부영역이 서로 다른 부영역인 경우에 대하여서는 기존의 방법들과는 달리 실제 에지 성분을 보존하면서 블록화 현상과 에지 주위에서 발생하는 링잉 현상을 동시에 제거하기 위하여 인접 블록의 영역 특성에 따라 적응적으로 일차원 필터링을 수행한다. 두 부영역이 모두 복잡 부영역일 경우에는 블록화 현상을 제거하면서 실제 에지를 보존하기 위하여 블록화 강도 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여 필터링을 수행한다. 모의실험 결과를 통하여 제안한 방법이 객관적 화질 및 주관적 화질 측면에서 기존의 방법보다 그 성능이 우수함을 확인하였다.

키워드 : 양자화 잡음, 블록화 현상, 블록 경계 분류, 단순 적응 필터

Quantization Noise Reduction in Block-Coded Video Using the Characteristics of Block Boundary Area

Kee-Koo Kwon[†] · Man-Seok Yang^{**} · Jin-Suk Ma^{***} · Sung-Ho Im^{****} · Dong-Sun Lim^{*****}

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel post-filtering algorithm with low computational complexity that improves the visual quality of decoded images using block boundary classification and simple adaptive filter (SAF). At first, each block boundary is classified into smooth or complex sub-region. And for smooth-smooth sub-regions, the existence of blocking artifacts is determined using blocky strength. And simple adaptive filtering is processed in each block boundary area. The proposed method processes adaptively, that is, a nonlinear 1-D 8-tap filter is applied to smooth-smooth sub-regions with blocking artifacts, and for smooth-complex or complex-smooth sub-regions, a nonlinear 1-D variant filter is applied to block boundary pixels so as to reduce the blocking and ringing artifacts. And for complex-complex sub-regions, a nonlinear 1-D 2-tap filter is only applied to adjust two block boundary pixels so as to preserve the image details. Experimental results show that the proposed algorithm produced better results than those of conventional algorithms both subjective and objective viewpoints.

Key Words : Quantization Noise, Blocking Artifacts, Block Boundary Classification, Simple Adaptive Filter

1. 서 론

최근 정지 영상 및 동영상 등의 정보를 포함한 다양한 멀티미디어 서비스가 제공되면서 영상 데이터의 압축은 멀티미디어

어 통신, HDTV, 주문형 비디오(video on demand, VOD), 및 영상 회의 등의 다양한 응용 분야에서 필수적으로 사용되고 있다. 특히, 높은 에너지 압축 및 빠른 계산이 가능한 블록 기반 이산 역현 변환(block-based discrete cosine transform, BDCT)을 이용한 영상 압축 방법은 JPEG, H.261, H.263, MPEG-2, 및 MPEG-4 등의 정지 영상 및 동영상 부호화 방법에서 공통적으로 이용되고 있다[1-7]. 그러나 BDCT 부호화 방법에서는 영상을 8×8 화소 크기의 블록으로 분할한 후, 각 블록의 DCT 계수들을 독립적으로 양자화(quantization)함으로써

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 선임연구원
 ** 정 회 원 : 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 연구원
 *** 정 회 원 : 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 선임연구원
 **** 정 회 원 : 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 책임연구원
 ***** 정 회 원 : 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 책임연구원(팀장)
 논문접수 : 2004년 6월 7일, 심사완료 : 2005년 3월 28일

써 화질의 열화가 발생할 수 있고, 특히 저비트율(low bit rate)로 부호화된 영상에서는 블록 경계 영역에 심각한 화질 열화인 블록화 현상(blocking artifacts)과 에지 주위에 링잉 현상(ringing artifacts) 등과 같은 양자화 잡음(quantization noise)이 발생한다[1-9].

블록화 현상은 격자 잡음(grid noise) 및 계단형 잡음(staircase noise) 등으로 나타난다. 격자 잡음은 평탄 영역 내의 블록간에 미소한 밝기 차이에 의하여 나타나고, 계단형 잡음은 서로 다른 블록에 속한 연속된 에지들이 블록 경계 영역에서 불연속하게 나타난다. 그리고 링잉 현상은 영상의 고주파 성분이 양자화에 의하여 부적절하게 절단됨에 따라 실제 에지 주위에 주기적인 유사 에지들이 나타나는 현상이다.

최근, 이와 같은 양자화 잡음을 효율적으로 제거하기 위한 많은 후처리(post-processing) 방법들이 연구되고 있는데, 이 방법들은 크게 영상 향상 방법[2-7] 및 영상 복원 방법[8-9]으로 나눌 수 있다. 영상 향상 방법에는 공간 영역에서의 필터링 방법[2-4], 주파수 영역에서 DCT 계수들을 추정하는 방법[5-6], 및 웨이블릿 변환을 이용하는 방법[7] 등이 있다. 그리고 영상 복원 방법에는 제약적 최소 자승(constrained least-square, CLS) 방법, 볼록 집합으로의 반복 투영(projection onto convex set, POCS) 이론을 이용한 방법, 및 최대 사후 확률(maximum a posteriori, MAP) 방법 등이 있다[8-9]. 이 중 영상 복원 방법은 반복 계산 과정을 거쳐야 하기 때문에 수행 시간이 길어지는 단점이 있고, 웨이블릿 변환을 이용한 방법에서는 웨이블릿 변환 및 역변환을 위한 추가적인 계산이 필요하기 때문에 수행 시간이 길어지는 단점이 있다.

공간 영역에서의 필터링 방법[2-4]은 알고리즘이 간단하여 하드웨어 구현이 용이하며, 우수한 주관적 화질을 나타내기 때문에 H.263+[2] 및 MPEG-4[3] 후처리 필터 방법에서 공통적으로 사용되고 있다. 즉, 저비트율 동영상 데이터 부호화 표준인 H.263+[2]에서는 블록화 현상을 제거하기 위하여 부호화기 루프 내에서의 루프 필터(loop filter) 및 복호화기에서의 후처리 필터 방법을 사용하고 있고, MPEG-4[3]에서는 복호화기에서의 블록화 현상 제거(deblocking) 필터와 링잉 현상 제거(deringing) 필터를 후처리 방법으로 사용하고 있다.

H.263+에서의 루프 필터 및 후처리 필터[2] 방법은 부호화기 및 복호화기에서 8×8 블록 경계 영역의 네 개 화소에 대하여 수평 및 수직 방향으로 필터링을 수행한다. 그러나 이 방법은 압축률이 높아질 경우 그 성능이 떨어지는 문제점이 있다. 즉, 압축률이 높아지게 되면 블록 경계 영역에서의 불연속성이 커지지만 단지 각 블록 경계에 인접한 두 화소에 대하여서만 필터링을 수행하기 때문에 블록화 현상이 완전히 제거되지 않고, 블록 경계 분류 없이 모든 블록 경계에 대하여 동일한 필터링 방법을 사용하기 때문에 블록화 현상을 효율적으로 제거할 수 없다.

그리고 MPEG-4 후처리 필터 방법[3] 중 블록화 현상 제거 방법은 블록 경계 영역의 인접한 10개의 화소값들의 차를 이용하여 DC 옵셋 모드 및 기본 모드로 구분한다. DC 옵셋 모드일 경우에는 블록 경계 영역의 8개 화소들에 대하여 9탭 일

차원 저역 통과 필터링을 수행하고, 기본 모드일 경우에는 4점(point) DCT를 이용하여 주파수의 특성에 따라 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여서만 적응적 평활화(adaptive smoothing)를 수행하게 된다. 그리고 링잉 현상 제거 방법에서는 8×8 블록에 대하여 화소들의 최소값 및 최대값을 이용하여 문턱치를 결정하고 이를 이용하여 이진맵을 구한 후, 3×3 이진맵에서의 인덱스가 모두 같으면 3×3 저역 통과 필터링을 수행하게 된다. 이 방법의 경우 평탄 영역에서의 블록화 현상은 어느 정도 제거할 수 있으나 복잡 영역의 경우에는 단지 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여서만 필터링을 수행하기 때문에 격자 잡음 및 계단형 잡음을 효율적으로 제거할 수 없다.

따라서 양자화 잡음을 효율적으로 제거하기 위하여서는 정확한 블록 경계 분류와 각 영역의 특성에 따라 블록화 현상과 링잉 현상을 동시에 제거할 수 있는 필터링 방법이 필요하다. 또한 실제 에지를 보존하면서 복잡 영역에서 발생하는 블록화 현상과 링잉 현상을 제거하기 위하여서는 영역의 특성을 정확히 예측한 후 인접 화소들간의 연속성 및 상관성을 고려하여 필터링을 수행하여야 한다. 또한 동영상 데이터 부호화 알고리즘에 적용하여 실시간 처리가 가능하도록 하기 위하여 빠른 수행 시간을 가지는 알고리즘이 필요하다. 따라서, 영상 복원 방법의 일종인 CLS 방법 및 POCS 방법 등과 웨이블릿 변환을 이용한 방법은 반복 계산 과정과 웨이블릿 변환 및 역변환을 위한 추가적인 계산이 필요하므로 H.263+ 및 MPEG-4 등과 같은 동영상 부호화 알고리즘에 적용하기 힘들다.

본 논문에서는 부호화된 영상이 각 블록의 DCT 계수들을 독립적으로 양자화함으로써 비선형적인 특성을 나타내기 때문에 비선형 필터인 단순 적응 필터(simple adaptive filter, SAF)를 이용하여 블록화 현상 및 링잉 현상을 동시에 제거할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 방법과는 달리 복잡 영역에서 대하여 영역 내의 인접 화소간의 특성을 이용하여 필터링 영역을 가변시킴으로써 복잡 영역에서 발생하는 양자화 잡음 제거에 효율적이다.

제안한 방법에서는 블록 경계에 인접한 네 개 화소들의 통계적 특성을 이용하여 각 블록 경계 영역을 평탄 부영역과 복잡 부영역으로 분류한 후, 인접 블록간 영역 특성을 이용하여 서로 다른 블록간 필터링을 수행한다.

먼저 인접 블록 모두 평탄 부영역인 경우에는 평탄 블록 경계 영역 중 블록화 현상이 발생하지 않은 영역도 존재하기 때문에 계산량을 줄이기 위하여 평탄 영역 중 블록화 현상이 발생한 영역만을 검출하여 필터링을 수행한다. 즉, 평탄 영역에서 발생하는 블록화 현상은 계단 함수 형태(step-wise function)로 나타나기 때문에 제안한 방법에서는 평탄 영역으로 분류된 영역 중 블록화 현상이 발생한 영역은 블록화 강도(blocky strength)를 이용한 단순한 일차원 필터링 방법을 이용하여 블록화 현상을 제거한다.

그리고, 두 부영역이 서로 다른 부영역인 경우에 대하여서는 기존의 방법들과는 달리 실제 에지 성분을 보존하면서 블록화 현상과 에지 주위에서 발생하는 링잉 현상을 동시에 제거하기 위하여 인접 블록의 영역 특성에 따라 적응적으로 일

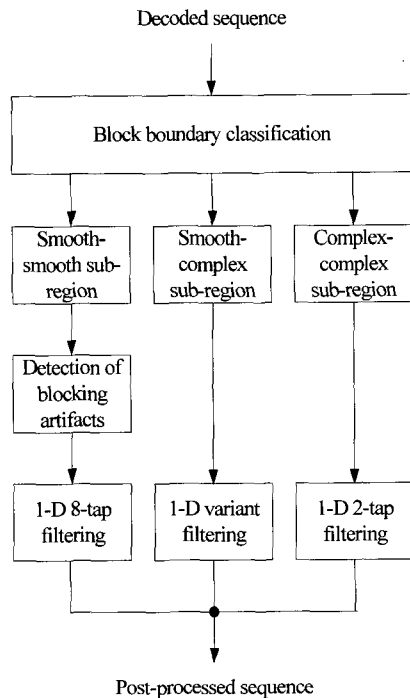
차원 필터링을 수행한다. 즉, 평탄 부영역과 복잡 부영역이 인접한 경우에는 복잡 부영역에 존재하는 실제 에지의 영향으로 평탄 부영역에 링잉 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 평탄 부영역의 경우에는 블록화 현상과 링잉 현상을 동시에 제거하기 위하여 인접 화소값의 특성 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 네 화소 모두에 대하여 필터링을 수행하고, 복잡 부영역의 경우에는 블록 경계에서 발생하는 블록화 현상만을 제거하기 위하여 블록화 강도 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계의 화소에 대하여서만 적응적으로 필터링을 수행한다.

그리고 두 부영역이 모두 복잡 부영역일 경우에는 블록화 현상을 제거하면서 실제 에지를 보존하기 위하여 블록화 강도 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여 필터링을 수행한다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 H.263+ 및 MPEG-4 부호화된 동영상에 대하여 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험 결과를 통하여 제안한 방법이 기존의 방법들에 비하여 에지를 잘 보존하면서 블록화 현상 및 링잉 현상을 효율적으로 제거할 수 있음을 확인하였고, 주관적 화질 및 객관적 화질 측면에서 기존의 후처리 필터 방법에 비하여 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

2. 제안한 양자화 잡음 제거 알고리즘

제안한 양자화 잡음 제거 방법은 (그림 1)에서와 같이 블록 경계 분류, 블록화 현상 검출 및 적응적 필터링의 세 과정으로 구성된다. 먼저 제안한 방법에서는 양자화 잡음을 효율적으로 제거하기 위하여 블록 경계 분류를 수행한다. 그리고 분류된



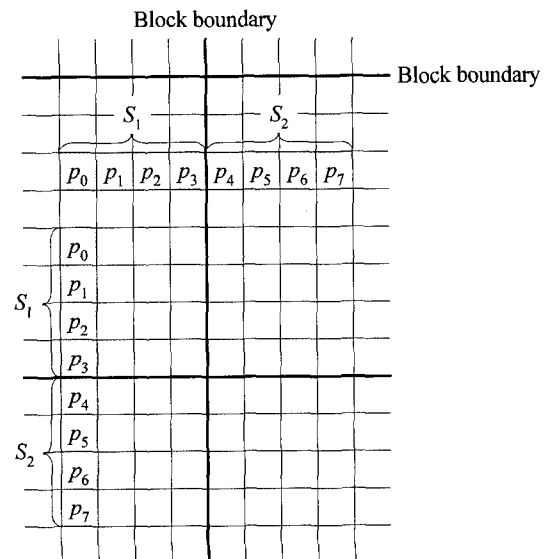
(그림 1) 제안한 방법의 블록도

각 영역에 따라 서로 다른 필터링 방법을 사용한다. 먼저 평탄 부영역으로 분류된 블록 경계에 대하여서는 블록화 현상이 발생한 블록 경계를 검출한 후 블록 경계 주위의 8개 화소에 대하여 일차원 필터링을 수행한다. 그리고 복잡 부영역으로 분류된 블록 경계에 대하여서는 영역 내에 실제 에지가 존재할 수도 있기 때문에 영역 특성에 따라 필터링 영역을 필터링 영역을 가변함으로써 실제 에지는 보존하고 양자화 잡음은 제거한다. 즉, 평탄 부영역과 복잡 부영역이 인접한 경우에는 복잡 부영역에 존재하는 실제 에지의 영향으로 평탄 부영역에 링잉 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 평탄 부영역의 경우에는 블록 경계 영역의 네 화소 모두에 대하여 필터링을 수행하고, 복잡 부영역의 경우에는 블록 경계에서 발생하는 블록화 현상만을 제거하기 위하여 블록 경계 영역의 화소에 대하여서만 적응적 필터링을 수행한다. 그리고 두 부영역이 모두 복잡 부영역일 경우에는 양자화 잡음을 제거하면서 실제 에지를 보존하기 위하여 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여 필터링을 수행한다.

2.1 블록 경계 영역 분류

일반적으로 블록화 현상은 영상의 복잡 영역에서보다 평탄 부영역에서 더 심각하게 보인다. 그리고 링잉 현상은 실제 에지 근처에서 나타난다. 따라서 두 영역에 대하여 동일한 필터링 방법을 사용하게 되면 블록화 현상 및 링잉 현상을 효율적으로 제거할 수 없다. 따라서 블록 경계 영역에 발생하는 블록화 현상과 블록 내부에 발생하는 링잉 현상을 효율적으로 제거하기 위하여서는 정확한 블록 경계 영역 분류가 필수적이다. 또한 평탄 블록 경계 영역 중 블록화 현상이 발생하지 않은 영역도 존재하기 때문에 계산량을 줄이기 위하여 평탄 부영역 중 블록화 현상이 발생한 영역만을 검출하여 필터링을 수행하여야 한다.

본 논문에서는 8×8 블록 경계 영역의 8개 화소값의 통계적 특성을 이용하여 블록화 현상의 발생 유무를 판별하고, 블록화



(그림 2) 블록 경계 분류 및 평탄 영역 필터링을 위한 8개 화소

현상이 발생한 블록 경계 영역을 두 가지 영역으로 분류한다. 먼저 (그림 2)에서와 같이 블록 경계 영역의 부영역 S_1 및 S_2 각각에 대한 분산 σ_1^2 및 σ_2^2 을 구한다. 그리고 σ_1^2 및 σ_2^2 가 문턱치 T_σ 보다 작으면 인접 블록의 특성이 서로 유사하다고 판단되기 때문에 평탄 영역으로 분류하고, 크면 복잡 영역으로 분류한다.

평탄 영역으로 분류된 영역에 대하여 블록 경계 영역의 두 화소값의 차의 절대치 $|p_3 - p_4|$ 가 문턱치 T_m 보다 같거나 크면 인접 블록간의 화소값의 밝기 차가 크다고 판단되기 때문에 블록화 현상이 발생한 블록 경계로 판단하고, 작으면 블록화 현상이 발생하지 않은 블록 경계로 판단한다.

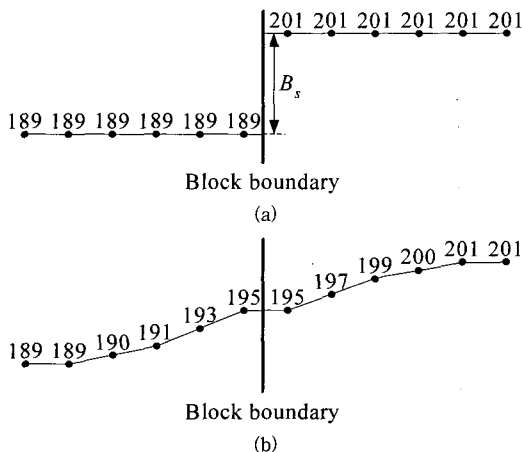
2.2 평탄 영역에서의 양자화 잡음 제거

평탄 영역에서 발생하는 블록화 현상은 (그림 3) (a)에서와 같이 계단 함수 형태로 나타나기 때문에 제안한 방법에서는 평탄 영역으로 분류된 영역 중 블록화 현상이 발생한 영역은 블록 경계 영역에 인접한 8개 화소에 대하여 블록화 강도에 따른 적응적 일차원 필터링 방법을 이용하여 블록화 현상을 제거한다. 즉, 블록 경계 영역 화소값 p_n 에 대하여 필터링 후의 화소값 \hat{p}_n 은

$$\hat{p}_n = p_n + \text{sign}(B_s) \frac{|B_s|}{\alpha_n}, \quad n=0, 1, \dots, 7 \quad (1)$$

와 같다. 여기서, $\alpha_n = \{8, 6, 3, 2, -2, -3, -6, -8\}$, $n=0, 1, \dots, 7$ 이고 $B_s = p_3 - p_4$ 는 블록화 강도를 나타낸다.

제안한 방법으로 평탄 영역에서의 블록화 현상을 제거한 후의 결과는 (그림 3) (b)에서와 같다. 이 그림에서와 같이 제안한 방법은 평탄 영역에서의 블록화 현상을 효율적으로 제거함을 볼 수 있다. 즉, 제안한 방법에서는 평탄 영역에서의 블록화 현상이 (그림 3) (a)에서와 같이 계단 함수 형태로 나타나기 때문에 블록화 강도를 이용하여 블록 경계 영역에 인접한



(그림 3) 블록화 강도 $B_s = 12$ 인 경우 (a) 평탄 영역에서의 블록화 현상 예 및 (b) 제안한 방법으로 필터링한 후의 결과

8개의 화소값을 조정함으로써 블록화 현상을 제거한다. 즉, 제안한 방법은 블록 경계 영역에서의 화소값의 불연속성을 줄여 줌으로써 블록화 현상을 제거할 수 있다.

2.3 복잡 영역에서의 양자화 잡음 제거

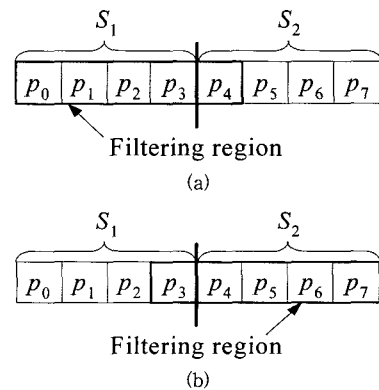
복잡 영역에서는 블록화 현상뿐만 아니라 에지 주위에 링잉 현상도 존재할 수 있다. 따라서 (그림 4)에서와 같이 각 부영역 S_1 및 S_2 가 평탄 부영역인지 또는 복잡 부영역인지에 따라 서로 다른 필터링 방법을 이용한다.

먼저 평탄 부영역과 복잡 부영역이 인접한 경우에는 복잡 부영역에 존재하는 실제 에지의 영향으로 평탄 부영역에 링잉 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 평탄 부영역의 경우에는 인접 화소값의 특성 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 네 화소 모두에 대하여 필터링을 수행하고, 복잡 부영역의 경우에는 블록 경계에서 발생하는 블록화 현상만을 제거하기 위하여 블록화 강도 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 화소에 대하여서만 적응적 필터링을 수행한다. 예를 들어 (그림 4) (a)에서와 같이 S_1 이 평탄 부영역이고 S_2 가 복잡 부영역일 경우에는 평탄 부영역의 화소 $p_0, p_1, p_2,$ 및 p_3 와 복잡 부영역의 화소 p_4 에 대하여 다음과 같이 필터링을 수행한다. 먼저, 블록 경계 영역의 두 화소값의 차의 절대치 $|p_3 - p_4|$ 가 $2 \times QP$ 보다 크면 인접 화소값의 차이가 크므로 실제 에지가 존재할 수도 있기 때문에 필터링을 수행하지 않고, 작으면

$$p_3 = p_3 + \text{sign}(B_s) \frac{|B_s|}{4} \quad (2)$$

$$p_4 = p_4 - \text{sign}(B_s) \frac{|B_s|}{4} \quad (3)$$

와 같이 인접 화소간의 화소값의 불연속성을 줄여준다. 그러나 위의 방법을 모든 블록 경계에 대하여 동일하게 적용하게 되면 블록 내부에 또 다른 블록화 현상이 발생할 수 있고 과도



(그림 4) (a) 평탄 부영역 S_1 과 복잡 부영역 S_2 가 인접한 경우 및 (b) 복잡 부영역 S_1 과 평탄 부영역 S_2 가 인접한 경우에 대한 필터링 영역

하게 평활화될 수 있기 때문에 위의 두 화소와 인접한 화소, 즉 p_2 및 p_5 와의 경계 특성을 이용하여

$$\Delta p_n = \frac{1}{2} [clip(p_n - p_{n-1}) + clip(p_n - p_{n+1})], n = 3, 4 \quad (4)$$

$$\widehat{p}_n = \widehat{p}_n - \Delta p_n, n = 3, 4 \quad (5)$$

와 같은 과정을 수행한다. 여기서 $clip(x)$ 함수는

$$clip(x) = \begin{cases} -T_c, & x < -T_c \\ x, & |x| \leq T_c \\ T_c, & x > T_c \end{cases} \quad (6)$$

와 같다. 제안한 방법에서 사용한 $clip(x)$ 함수는 블록 경계 영역에서 발생하는 불연속성이 실제 에지에 의한 것이라기 보다는 양자화 잡음에 의한 것일 확률이 높다는 점을 이용하였다. 즉, 양자화 파라미터 QP 값이 클 경우에는 불연속성이 양자화 잡음에 의한 것일 확률이 높기 때문에 문턱치 T_c 를 크게 하여 평활화를 많이 해주고, QP 값이 작을 경우에는 불연속성이 양자화 잡음에 의한 것일 확률이 낮기 때문에 T_c 를 작게 해준다. QP와 T_c 와의 관계는 <표 1>에서와 같다. 또한 평탄 부영역의 화소 $p_0, p_1,$ 및 p_2 에 대하여서도 동일한 방법으로 필터링을 수행한다. 그리고, (그림 4) (b)에서와 같이 S_1 이 복잡 부영역이고 S_2 가 평탄 부영역일 경우에는 $p_3, p_4, p_5, p_6,$ 및 p_7 화소들에 대하여 위와 유사한 방법으로 필터링을 수행한다.

<표 1> 양자화 파라미터 QP와 문턱치 T_c 사이의 관계

QP	1~6	7~9	10~12	13~15	16~18
T_c	1	2	3	4	5
QP	19~21	22~24	25~27	28~30	31
T_c	6	7	8	9	10

두 부영역이 모두 복잡 부영역일 경우에는 양자화 잡음을 제거하면서 실제 에지를 보존하기 위하여 블록화 강도 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여 필터링을 수행한다. 즉, 블록 경계 영역의 두 화소값의 차의 절대치 $|p_3 - p_4|$ 가 $2 \times QP$ 보다 크면 필터링을 수행하지 않고, 작으면

$$p_3 = p_3 + sign(B_s) \frac{|B_s|}{8} \quad (7)$$

$$p_4 = p_4 - sign(B_s) \frac{|B_s|}{8} \quad (8)$$

$$\Delta p_n = \frac{1}{2} [clip(p_n - p_{n-1}) + clip(p_n - p_{n+1})], n = 3, 4 \quad (9)$$

$$\widehat{p}_n = \widehat{p}_n - \Delta p_n, n = 3, 4 \quad (10)$$

와 같이 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여서만 필터링을 수행한다.

3. 실험결과 및 고찰

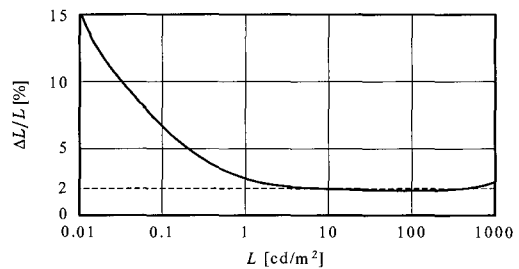
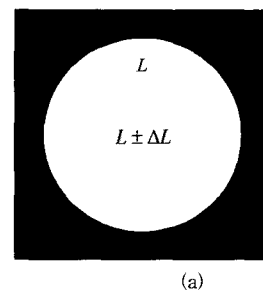
본 논문에서는 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에서는 H.263+ test model near-term version 10(TMN-10)[2] 및 MPEG-4 verification model 18(VM-18)[3] 기반으로 부호화된 QCIF(176×144) 및 CIF(352×288) 급의 영상들을 사용하였다. 제안한 방법에서는 각 영상을 고정된 H.263 양자화 파라미터를 사용하여 IPPP...P(첫 장은 I 프레임, 나머지는 P 프레임)의 형태로 부호화하였다. 각 영상은 300 프레임을 사용하였고 다양한 전송률(bit rate) 및 프레임률(frame rate)로 부호화하였다.

성능의 평가 기준으로는 주관적 화질과 객관적인 화질의 평가 기준인 PSNR을 사용하였다.

3.1 블록 경계 영역 분류 결과

제안한 블록 경계 영역 분류 방법에서는 $T_o = 0.5 \times QP$ 및 $T_m = 3$ 을 사용하였다. 즉, 문턱치 T_o 는 양자화 파라미터 QP를 이용하여 결정하였으며, T_m 은 상수값을 사용하였다.

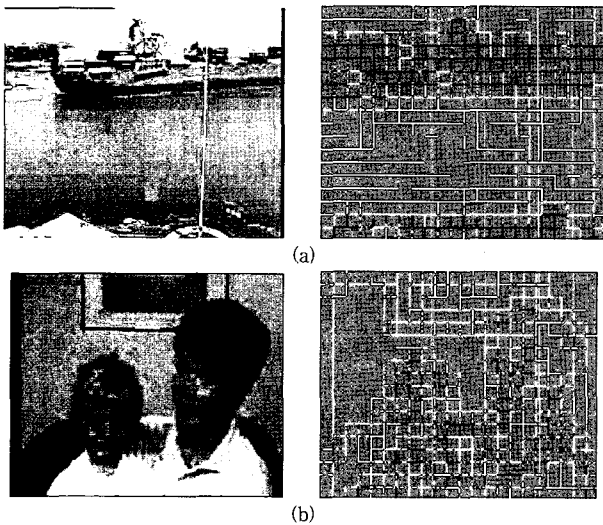
일반적으로 밝은 영역에서는 명암의 변별 능력이 우수하나 아주 어두운 곳에서는 명암의 변별 능력이 다소 떨어진다. 그러나 일상 생활에서의 밝기 범위인 $10 \sim 10^3 \text{ cd/m}^2$ 에서는 배경 휘도 L 에 대한 휘도차 변별 최소 휘도 변화량 ΔL 의 비는 약 2% 정도로 일정하다. 이를 웨버 법칙(Weber's law)이라고 한다[10]. 즉



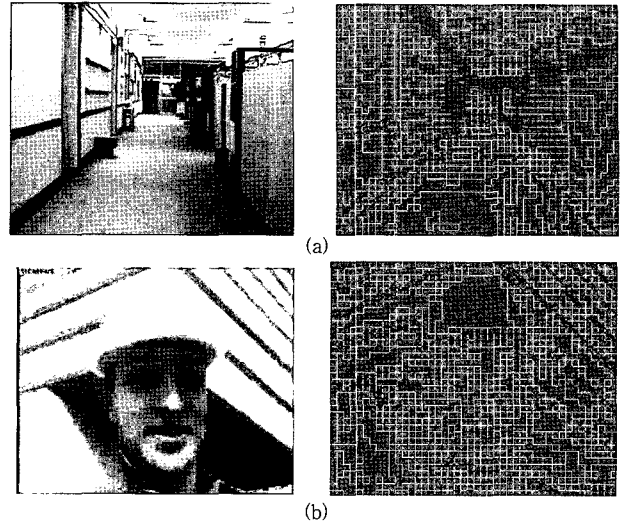
(그림 5) 웨버 법칙의 (a) 실험 환경 및 (b) 결과 특성 곡선

$$\frac{\Delta L}{L} \approx \text{constant} \quad (11)$$

이다. 여기서 ΔL 값을 JND(just-noticeable difference)라고 한다. 이 법칙을 그림으로 나타내면 (그림 5)에서와 같다. 제안한 블록 경계 영역 분류 방법에서 사용한 문턱치 T_m 은 평탄 영역에서의 블록화 현상 발생 유무를 판단하는데 사용되는데, 제안한 방법에서는 중간 정도의 밝기 값, 즉 8 비트 영상에서 밝기값 127을 가지는 경우 인간의 시각이 판단할 수 있는 휘도 변화량($127 \times 0.02 \approx 3$) 및 필터링 수행시의 계산량 등을 고려하여 결정하였다.



(그림 6) H.263+ 부호화된 QCIF 크기의 영상 및 그 영상에 대한 블록 경계 분류 결과: (a) Container ship(QP=17); (b) Mother & daughter(QP=15)



(그림 7) MPEG-4 부호화된 CIF 크기의 영상 및 그 영상에 대한 블록 경계 분류 결과: (a) Hall monitor(QP=12); (b) Foreman(QP=30)

제안한 블록 경계 영역 분류 방법은 고압축률의 영상뿐만 아니라 저압축률의 영상에서도 효과적으로 영역을 분류할 수 있다. 다양한 비트율의 H.263+ 및 MPEG-4 부호화 영상에 대한 실험 결과는 (그림 6) 및 (그림 7)에서와 같다. (그림 6) 및 (그림 7) (b) 및 (d)에서 흰색 실선은 평탄 영역에서 블록화 현상이 발생한 블록 경계를 나타내고 검은색 실선은 복잡 영역에서 양자화 잡음이 발생한 블록 경계를 나타낸다. 그리고, 회색 실선은 평탄한 부영역과 복잡한 부영역 인접한 블록 경계를 나타낸다. 다양한 비트율의 압축 영상에 대한 제안한 방법의 블록 경계 영역 분류 결과를 보면 저압축률 뿐만 아니라 고압축률의 영상에서도 효과적으로 블록을 분류하는 것을 볼

<표 2> H.263+ 부호화된 동영상에 대한 실험 결과

Bit rates, size, and frame rates	Sequences	QP	Average PSNR [dB]			
			H.263+ decoded	Annex J		Proposed SAF
				LF	LF+PF	
10 kbps, QCIF, 7.5 Hz	Container ship	17	29.30	29.19	29.16	29.50
	Mother & daughter	15	32.17	32.27	32.24	32.38
24 kbps, QCIF, 10 Hz	Container ship	9	33.09	33.04	32.94	33.27
	Foreman	24	27.81	27.84	27.82	27.97
	Mother & daughter	8	35.14	35.16	35.13	35.29
48 kbps, QCIF, 10 Hz	Foreman	13	30.76	30.91	30.91	30.94
	Table tennis	11	31.90	32.05	32.06	32.11
48 kbps, CIF, 10 Hz	News	19	31.00	31.07	31.07	31.22
	Hall monitor	15	32.69	32.77	32.76	33.04
112 kbps, CIF, 15 Hz	Foreman	29	28.67	28.60	28.58	28.87
	News	12	33.46	33.39	33.35	33.68

* LF: loop filter, PF: post filter

수 있다.

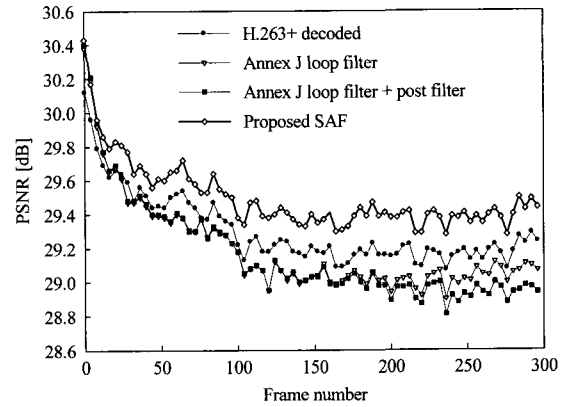
3.2 H.263+ 기반 부호화 영상에 대한 실험 결과

H.263+ 기반 부호화 영상에 대한 실험에서는 TMN-10 기 반[2]으로 부호화된 QCIF 및 CIF 크기의 영상들을 사용하였 다. 실험에서는 IPPP...P 구조의 예측 모드(prediction mode), H.263 양자화 모드, 그리고 ±16 크기의 움직임 탐색 영역을 사 용하였다. 각 영상은 300 프레임 을 사용하였고, 다양한 전송률 및 프레임률로 부호화하였다.

H.263+ 기반 부호화 영상에 대한 실험에서는 제안한 후처리 방법을 PSNR과 주관적 화질 측면에서 부호화기에서의 루프 필터만 사용한 방법과 부호화기에서의 루프 필터 및 복호화기 에서의 후처리 필터를 모두 사용한 방법을 비교함으로써 성능 을 평가하였다.

<표 2> 및 (그림 8)은 동영상 각각 300 프레임을 부호화한 영상에 대하여 제안한 방법 및 기존의 방법에 의해 후처리된 영상의 PSNR 성능 향상을 보여주고 있다. <표 2>로부터 제 안한 SAF 방법은 H.263+ 부호화 영상에 대하여 최대 0.35 dB 의 PSNR 성능 향상을 보이고, 기존의 방법보다 최대 0.34 dB 의 PSNR 성능 향상을 보임을 알 수 있다. 또한, (그림 8)에서 와 같이 기존의 방법은 과도한 필터링으로 인해 오히려 영상 에 따라 PSNR 면에서 손해를 보는 반면 제안한 방법은 모든 영상들에 대하여 PSNR 향상을 보이고 있다. 이는 압축률과 영상의 특성을 고려한 적응적인 양자화 잡음 제거가 이루어졌 기 때문이다.

Foreman 영상에 대한 후처리된 결과 영상들은 (그림 9)에 서와 같다. 이 그림에서와 같이 기존의 방법으로 후처리된 결 과 영상을 보면 블록화 현상은 많이 제거되었지만 실제 에지 주위의 링잉 현상 및 계단형 잡음이 여전히 존재함을 볼 수



(그림 8) QP=17, 10 kbps, 7.5 Hz로 H.263+ 부호화된 QCIF 크 기의 Container ship 영상에 대한 실험 결과

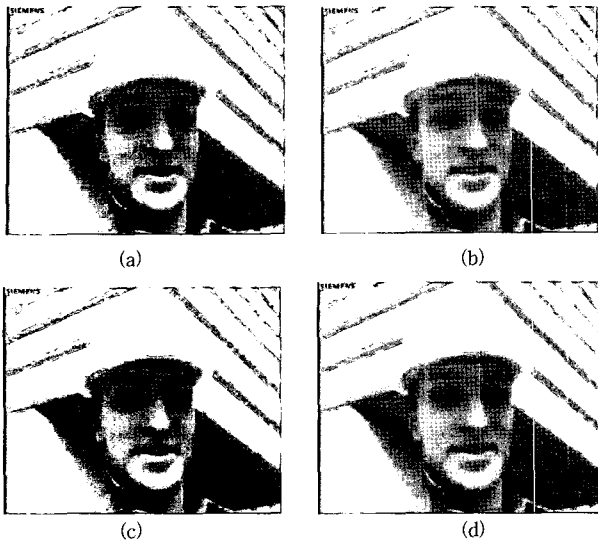
있다. 즉, 복잡 영역에서 발생하는 계단형 잡음 및 링잉 현상 은 효율적으로 제거하지 못함을 볼 수 있다. 이와 같이 기존의 방법은 블록 경계 주위의 4개의 화소에 대하여서만 필터링을 수행하기 때문에 블록화 강도가 큰 경우 블록화 현상이 완전 히 제거되지 않고 오히려 블록 내부에 또 다른 블록화 현상이 나타날 수 있다. 그러나 제안한 SAF 방법으로 후처리된 결과 를 보면 평탄 영역에서의 블록화 현상뿐만 아니라 복잡 영역 에서의 블록화 현상 및 링잉 현상이 많이 제거되었음을 볼 수 있다.

3.3 MPEG-4 기반 부호화 영상에 대한 실험 결과

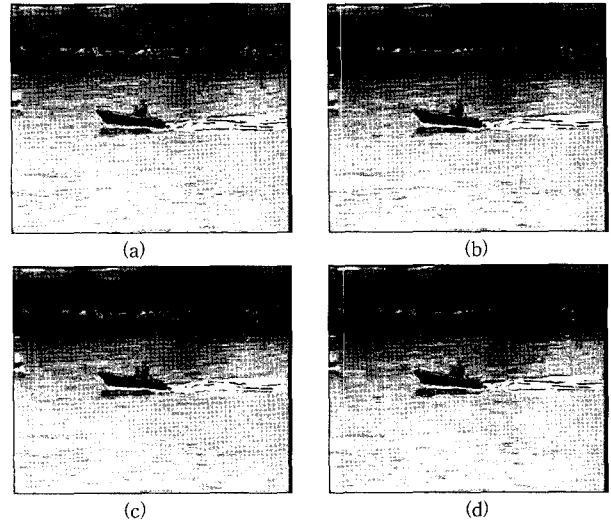
MPEG-4 기반 부호화 영상에 대한 실험에서는 Microsoft MPEG-4 Video Reference Software에서 제공되는 Microsoft FPDAM1 1.0 000403을 이용하여 VM-18 기반[3]으로 부호화

<표 3> MPEG-4 부호화된 동영상에 대한 실험 결과

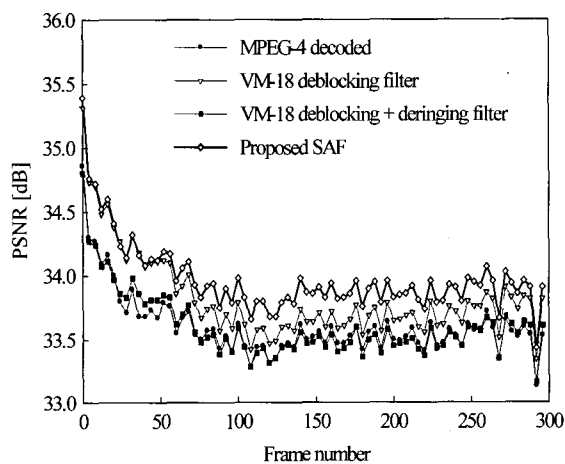
Bit rate, size, and frame rate	Sequences	QP	Average PSNR [dB]			
			MPEG-4 decoded	VM-18 post filter		Proposed SAF
				Deblocking only	Both filtering	
10 kbps, QCIF, 7.5 Hz	Container ship	17	29.53	29.78	29.71	29.74
	Mother & daughter	15	32.28	32.42	32.44	32.47
24 kbps, QCIF, 10 Hz	Container ship	10	32.78	32.96	32.89	32.94
	Mother & daughter	8	35.32	35.38	35.28	35.46
48 kbps, QCIF, 10 Hz	Foreman	13	30.96	31.10	31.04	31.10
	Coastguard	14	29.08	29.11	28.96	29.08
	Silent voice	7	34.42	34.59	34.63	34.62
48 kbps, CIF, 7.5 Hz	News	18	31.26	31.45	31.37	31.49
	Mother & daughter	10	36.10	36.12	36.01	36.23
	Hall monitor	12	33.60	33.82	33.60	33.97
112 kbps, CIF, 15 Hz	News	11	34.16	34.35	34.27	34.40
	Foreman	30	28.43	28.55	28.53	28.58
	Coastguard	29	26.53	26.55	26.37	26.46



(그림 9) CIF 크기의 Foreman 영상에 대한 (a) QP=29, 112 kbps, 15 Hz로 H.263+ 부호화된 영상과 (b) 기존의 루프 필터 방법, (c) 루프 필터 및 후처리 필터 방법, (d) 제안한 SAF 방법에 의하여 후처리된 결과 영상들



(그림 11) CIF 크기의 Coastguard 영상에 대한 (a) QP=29, 112 kbps, 15 Hz로 MPEG-4 부호화된 영상과 (b) VM-18 블록화 현상 제거 필터 방법, (c) VM-18 블록화 현상 제거 필터 및 링잉 현상 제거 필터 방법, 및 (d) 제안한 SAF 방법에 의하여 후처리된 결과 영상들



(그림 10) QP=12, 48 kbps, 7.5 Hz로 MPEG-4 부호화된 CIF 크기의 Hall monitor 영상에 대한 실험 결과

된 영상들을 사용하였다. 실험에서는 프레임당 하나의 VOP (video object plane), IPPP...P 구조의 예측 모드, H.263 양자화 모드, 그리고 ± 16 크기의 움직임 탐색 영역을 사용하였다. 각 영상은 300 프레임을 사용하였고, 다양한 전송률 및 프레임률로 부호화하였다.

MPEG-4 기반 부호화 영상에 대한 실험에서는 제안한 후처리 방법을 PSNR과 주관적 화질 측면에서 복호화기에서의 블록화 현상 제거 필터만을 사용한 방법과 블록화 현상 제거 필터 및 링잉 현상 제거 필터를 모두 사용한 방법을 비교함으로써 성능을 평가하였다.

<표 3> 및 (그림 10)는 동영상 각각 300 프레임을 부호화한 영상에 대하여 기존의 방법 및 제안한 방법에 의해 후처리된 영상의 PSNR 성능 향상을 보여주고 있다. 이 표에서 보는 바와 같이 제안한 SAF 방법은 MPEG-4 부호화 영상 및 기존

의 방법보다 최대 0.37 dB의 PSNR 성능 향상을 보임을 알 수 있다. 그리고 (그림 10)에서 보는 바와 같이 제안한 방법이 대부분의 프레임에 대하여 기존의 방법보다 그 성능이 우수함을 볼 수 있다.

Coastguard 영상에 대한 후처리된 결과 영상은 (그림 11)에서와 같다. 이 그림에서와 같이 기존의 방법으로 후처리된 결과 영상을 보면 블록화 현상은 많이 제거되었지만 복잡 영역에서의 계단형 잡음 및 에지 주위의 링잉 현상이 여전히 존재함을 볼 수 있다. 그러나 제안한 방법으로 후처리된 결과를 보면 전체 영상에 대하여 블록화 현상이 제거되었고, 에지의 불연속성과 같은 계단형 잡음이 많이 제거되었음을 볼 수 있다. 특히 복잡 영역에서의 블록화 현상이 기존의 방법에 비하여 많이 제거되었음을 볼 수 있다. 이상의 실험 결과로부터 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 객관적 화질 및 주관적 화질 측면에서 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 블록 경계 분류와 적응적 필터링을 이용한 저비트율 부호화 영상에서의 양자화 잡음 제거 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 각 블록 경계를 인접 블록간의 통계적 특성을 이용하여 평탄 영역과 복잡 영역으로 분류한 후, 각 영역에 대하여 양자화 잡음이 발생하였다고 분류된 영역에 대하여 적응적인 블록간 필터링을 수행한다.

먼저 인접 블록 모두 평탄 부영역인 경우에는 평탄 블록 경계 영역 중 블록화 현상이 발생하지 않은 영역도 존재하기 때문에 계산량을 줄이기 위하여 평탄 영역 중 블록화 현상이 발생한 영역만을 검출하여 필터링을 수행한다. 즉, 평탄 영역에서 발생하는 블록화 현상은 계단 함수 형태로 나타나기 때문

에 제안한 방법에서는 평탄 영역으로 분류된 영역 중 블록화 현상이 발생한 영역은 블록화 강도를 이용한 단순한 일차원 필터링 방법을 이용하여 블록화 현상을 제거한다.

그리고, 두 부영역이 서로 다른 부영역인 경우에 대하여서는 기존의 방법들과는 달리 실제 에지 성분을 보존하면서 블록화 현상과 에지 주위에서 발생하는 링잉 현상을 동시에 제거하기 위하여 인접 블록의 영역 특성에 따라 적응적으로 일차원 필터링을 수행한다. 즉, 평탄 부영역과 복잡 부영역이 인접한 경우에는 복잡 부영역에 존재하는 실제 에지의 영향으로 평탄 부영역에 링잉 현상이 발생할 수 있다. 따라서, 평탄 부영역의 경우에는 블록화 현상과 링잉 현상을 동시에 제거하기 위하여 인접 화소값의 특성 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 네 화소 모두에 대하여 필터링을 수행하고, 복잡 부영역의 경우에는 블록 경계에서 발생하는 블록화 현상만을 제거하기 위하여 블록화 강도 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계의 화소에 대하여서만 적응적으로 필터링을 수행한다.

그리고 두 부영역이 모두 복잡 부영역일 경우에는 블록화 현상을 제거하면서 실제 에지를 보존하기 위하여 블록화 강도 및 양자화 파라미터에 따라 블록 경계 영역의 두 화소에 대하여 필터링을 수행한다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 H.263+ 및 MPEG-4 부호화된 동영상에 대하여 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험 결과를 통하여 제안한 방법이 에지를 잘 보존하면서 블록화 현상 및 링잉 현상을 제거할 수 있음을 확인하였고, 주관적 화질 및 객관적 화질 측면에서 기존의 H.263+ 및 MPEG-4 후처리 필터 방법에 비하여 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] ITU-T Recommendation H. 263 Version 2, "Video Coding for Low Bit Rate Communication," Draft, Feb., 1998.
 [2] ITU-T Recommendation H. 263, "Video Codec Test Model Near-term, Version 10(TMN 10)," Draft 1, Apr., 1998.
 [3] MPEG Video Group, "MPEG-4 Video Verification Model Version 18.0," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3908, Jan., 2001.
 [4] 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 Systems Video Technol., Vol.9, No.1, pp.156-160, Feb., 1999.
 [5] H. Paek, R. C. Kim, and S. U. Lee, "A DCT-Based Spatially Adaptive Post-Processing Technique to Reduce the Blocking Artifacts in Transform Coded Images," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol.10, No.1, pp.36-41, Feb., 2000.
 [6] Y. Luo and R. K. Ward, "Postprocessing Technique for Blocking Artifacts Reduction in DCT Domain," Electronics Letters, Vol.40, No.19, pp.1175-1176, Sept., 2004.
 [7] Z. Xiong, M. T. Orchard, and Y. Q. Zhang, "A Deblocking Algorithm for JPEG Compressed Images Using Over-

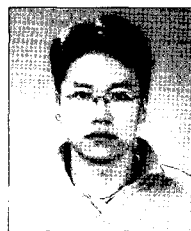
complete Wavelet Representations," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol.7, No.2, pp.433-437, Apr., 1997.
 [8] Y. Yang, N. Galatsanos, and A. Katsagelos, "Projection-Based Spatially Adaptive Reconstruction of Block-Transform Compressed Images," IEEE Trans. Image Processing, Vol.4, No.7, pp.896-908, July, 1995.
 [9] J. J. Zou and H. Yan, "A Deblocking Method for BDCT Compressed Images based on Adaptive Projections," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol.15, No.3, pp. 430-435, March, 2005.
 [10] A. K. Jain, 'Fundamentals of Digital Image Processing', Prentice Hall, New York, 1990.



권 기 우

e-mail : kwonkk@etri.re.kr
 1997년 인제대학교 전자공학과(학사)
 2000년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
 2004년 경북대학교 전자공학과(공학박사)
 2004년~현재 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 선임연구원

관심분야: 영상처리, 영상통신, 임베디드시스템, 지능형 로봇, 텔레매틱스 등



양 만 석

e-mail : msyang@etri.re.kr
 2002년 한국외국어대학교 정보통신공학과(학사)
 2004년 한국외국어대학교 정보통신공학과(공학석사)
 2004년~현재 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 연구원

관심분야: 임베디드시스템, 지능형 로봇, 텔레매틱스 등



마 진 석

e-mail : jsma@etri.re.kr
 1995년 경북대학교 전자공학과(학사)
 1997년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
 2000년 경북대학교 전자공학과(공학박사)
 2001년~현재 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 선임연구원

관심분야: 임베디드시스템, 무선인터넷플랫폼 등



임 성 호

e-mail : shim@etri.re.kr

1986년 전북대학교 전기공학과(학사)

1988년 전북대학교 전기공학과(공학석사)

1988년~현재 한국전자통신연구원 임베디

드S/W연구단 책임연구원

관심분야: 멀티미디어, 임베디드시스템, 지

능형 로봇, 텔레매틱스 등



임 동 선

e-mail : dslim@etri.re.kr

1986년 숭실대학교 전산학과(공학사)

1996년 KAIST 정보 및 통신공학과(공학석사)

1986년~현재 한국전자통신연구원 임베디

드S/W연구단 책임연구원(팀장)

관심분야: 임베디드시스템, 실시간시스템, 지능형 로봇, 텔레매

틱스 등