

저 비트율 비디오를 위한 적응적 블로킹 현상 제거 기법

정희원 김종호*, 김해욱**, 정제창*

An Adaptive De-blocking Algorithm in Low Bit-rate Video Coding

Jongho Kim*, Haewook Kim**, Jechang Jeong* *Regular Members*

요 약

블록기반의 하이브리드 부호화기는 비디오 신호의 압축방식으로 가장 널리 쓰이는 구조이지만 무선환경과 같은 저 비트율의 응용에 대해서는 양자화에 의한 고주파 성분의 손실로 인해 블로킹 현상이 두드러져 화질열화의 주된 원인으로 지적되고 있다. 블로킹 현상은 블록 경계에서 원영상에 없던 고주파 성분이 나타나는 현상이므로 경계주위에 저역통과 필터를 적용하면 제거할 수 있다. 그러나, 단순히 저역통과 필터를 적용하면 원영상에 존재하는 에지와 같은 고주파 성분도 제거되어 또 다른 화질열화 및 번짐 현상을 야기하게 된다. 본 논문에서는 이러한 현상에 대해 경계주변의 픽셀영역의 특성을 고려하여 모드를 정하고 각 모드에 따라 다른 필터를 적용하는 적응적 디블로킹 필터링 방법을 제안한다. 실험결과 기존의 MPEG-4에서 제시한 방법에 비해 객관적, 주관적 화질이 향상됨을 확인할 수 있다.

Key Words : de-blocking filter; post-processing; MPEG-4 video; video compression.

ABSTRACT

Most video codecs including the international standards use the block-based hybrid structure for efficient compression. But for low bit-rate applications such as video transmission through wireless channels, the blocking artifacts degrade image quality seriously. In this paper, we propose an adaptive de-blocking algorithm using characteristics of the block boundaries. Blocking artifacts contain the high frequency components near the block boundaries, therefore the lowpass filtering can remove them. However, simple lowpass filtering results into blurring by removing important information such as edges. To overcome this problem, we determine the modes depending upon the characteristics of pixels adjacent to block boundary then proper filter is applied to each area. Simulation results show that proposed method improves de-blocking performance compared to that of MPEG-4.

1. 서론

최근 멀티미디어 데이터의 압축 방법으로 널리 쓰이는 H.261, H.263 및 MPEG-1, 2, 4와 같은 부호화기들은 블록 기반의 변환 및 양자화에 기반을 두고 있다^[1-4]. 영상 데이터의 특성상 대부분의 에너지는 저주파 대역에 분포하지만 에지(edge)와 같이

영상의 세밀한 정보는 고주파 대역에 존재하게 된다. 블록 단위의 양자화 기법을 통해 저주파 대역의 계수들에 대해서는 많은 비트를 할당하고 고주파 대역에는 상대적으로 적은 비트를 할당함으로써 압축 효율을 높이는 방법을 사용하고 있다. 이로 인해 수신기에서 영상을 복원하였을 때 고주파 성분의 부족으로 인해 블록 사이의 경계가 뚜렷하게 보이는 블로킹 현상(blocking artifact)이 발생하게 된다.

* 한양대학교 전자통신전공학과 영상통신 및 신호처리 연구실(angel@ece.hanyang.ac.kr),

** (주)LG 전자(woogy@lge.com)

논문번호 : 040030-0119, 접수일자 : 2004년 1월 26일

또한 이러한 부호화기들은 변환 및 예측 부호화를 통해 화면내의 중복성(redundancy)을 제거하지만 동영상의 경우 화면간에 존재하는 중복성을 줄이기 위해 움직임 예측 및 보상(motion estimation and compensation) 기법을 사용하는 하이브리드(hybrid) 부호화기의 구조를 가지고 있다. 움직임 예측 및 보상 기법 또한 복잡도를 고려하여 매크로블록(macroblock) 단위로 수행하기 때문에 이 과정에서 블록킹 현상이 발생하고 이는 화면간 예측과정에 의해서 다음 화면으로 전파되어 화질 열화의 주요 원인으로 작용하게 된다.

이러한 블록킹 현상으로 인한 화질 열화를 줄이기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 블록킹 현상이 발생하는 원인이 겹치지 않는 블록단위의 변환과 양자화 과정에 있으므로 이를 개선하기 위하여 블록을 서로 겹쳐 변환하고 양자화하는 LOT(Lapped Orthogonal Transform)가 제안되었다⁵⁾. 그러나 변환 알고리즘의 복잡도, 현존하는 동영상 부호화 알고리즘과의 호환성 문제로 인하여 시장에서 급속히 확산되기에 어려운 실정에 있다. 또한 블록 기반의 동영상 부호화기에서 움직임 예측 및 보상과정에서 발생하는 블록킹 현상을 제거하는 노력으로 OBMC(Overlapped Block Motion Compensation) 방법이 제안되었다⁶⁾. 이 기술은 저 비트율 부호화를 위한 H.263과 MPEG-4 표준에 채택되어 있으나 단독으로는 블록 단위의 변환 및 양자화에 의한 블록킹 현상을 제거하는데 한계가 있어 효과적인 블록킹 현상의 제거를 위해서는 후처리 기술과 병행하여 사용해야 한다. 따라서 복호된 영상에 대하여 후처리를 수행함으로써 블록킹 현상을 줄이는 방법이 꾸준히 연구되어 왔는데 단순히 블록의 경계부분에 저역통과 필터(lowpass filter)를 적용하는 방법보다는 영상의 특성을 반영한 처리방법이 더 효율적인 것으로 알려져 있다. 후처리 방법에서도 정지 영상의 블록킹 현상 제거에 대한 방법들은 많이 연구되어 왔으나, 이를 바로 동영상에 적용하기에는 동영상의 특성 및 복잡도 관점에서 무리가 있다⁷⁾.¹¹⁾ 따라서 본 논문에서는 영상의 특성을 적용적으로 반영한 블록킹 현상 제거 알고리즘을 제안하며, 제안한 알고리즘은 가로방향과 세로방향으로 각각 분리 적용하여 저 복잡도 특성을 가지는 동영상 복호기에 적용할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 블록킹 현상 제거 방법, 특히 다양한 분야에 응

용되고 있는 MPEG-4에서 사용된 방법을 중심으로 기술하고 이의 문제점을 언급한다. III 장에서는 블록 경계에서의 신호 특성에 따른 필터 설계 방법을 제안하고 이를 적용하는 조건에 대하여 기술한다. IV장에서는 경계 조건에 따른 모드 결정 방법과 실험 결과를 보이고 V장에서 결론을 맺는다.

II. MPEG-4에서의 블록킹 현상 제거 방법

MPEG-4를 비롯한 국제표준은 복호기만을 표준화의 대상으로 하기 때문에 후처리 기술인 블록킹 현상 제거 알고리즘은 규정하지 않는다. 그러나 서론에서 기술한 바와 같이 블록단위의 처리에 의한 블록킹 현상과 현재 MPEG-4 표준의 주요 응용 목표가 되고 있는 저대역폭 망에 의한 전송을 고려하면 디블록킹 필터(de-blocking filter) 및 각종 후처리의 중요성이 매우 증대되고 있다^{4, 9)}.

MPEG-4에 제시된 블록킹 현상 제거 방법은 그림 1과 같이 8×8 블록의 경계부분에 필터를 적용하여 가로방향의 블록경계와 세로방향의 블록경계에 대하여 각각 1차원 필터링을 수행한다.

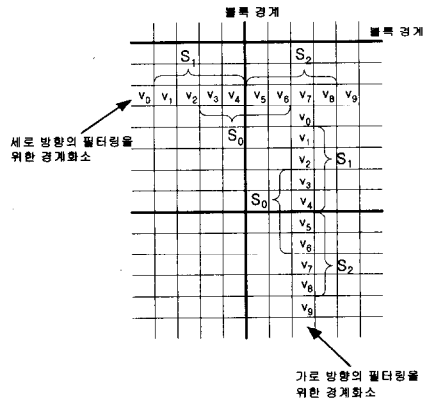


그림 5. MPEG-4에서 디블록킹 필터링을 위한 경계화소의 정의

Fig. 1. Definition of boundary pixel arrays for de-blocking filter in MPEG-4

MPEG-4에서는 블록경계에서 식 (1)의 조건을 검사하여 매우 평탄한 부분인지 혹은 복잡한 부분인지를 먼저 판단하여 각각의 경우에 대하여 다른 필터를 적용해 블록킹 현상이 아닌 실제 영상의 에지 혹은 영상의 세밀한 정보를 필터링하는 것을 방지하고 있다.

$$eq_cnt = \sum_{i=1}^9 \psi(v_{i-1} - v_i)$$

(1)

where, $\psi(\gamma) = \begin{cases} \text{if } \gamma \leq T_1 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

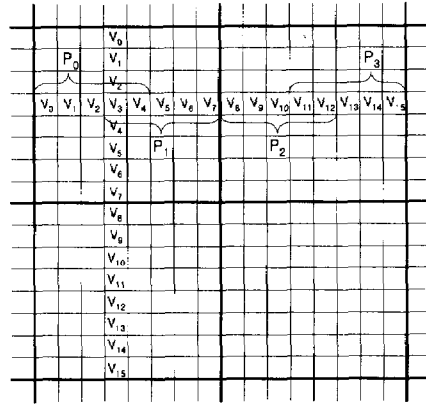
식 (1)에서 조건값(eq_cnt)이 구해지면 문턱값 T_2 와 비교하여 T_2 보다 작으면 세밀한 영역으로 판단하여 *Default mode*를 적용하고, T_2 보다 크거나 같으면 평탄한 영역으로 판단하여 *DC offset mode*를 적용한다. *Default mode*에서는 그림 1의 S_0, S_1, S_2 의 4-point DCT 커널을 이용한 주파수 특성에 따라 블로킹 경계의 두 화소(v_4, v_5)의 값을 변화시킴으로써 블로킹 현상을 제거한다. 반면, 블로킹 경계를 중심으로 블록내부가 매우 평탄한 영역에 대해서는 더욱 강한 필터링을 수행하는 *DC offset mode*를 적용하여 블로킹 현상을 효과적으로 제거하는 방법을 사용한다.

위에 기술한 바와 같이, MPEG-4에서 도입하고 있는 방법은 기존의 단순한 저역통과 필터링에 비해서 블로킹경계에서의 주파수 성분을 이용하여 신호의 특성에 따라 필터링함으로써 블로킹 현상을 제거하는데 좋은 성능을 보이고 있지만 블로킹 경계를 중심으로 픽셀영역의 특징을 대칭적으로 구분하여 모드를 두 가지로만 한정함으로써 더욱 다양한 블로킹 현상을 제거하는데 미흡한 점이 있다. 이에 본 논문에서는 MPEG-4에서 도입한 경계의 특성에 따른 필터링 모드를 더욱 세분화하여 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다.

III. 제안하는 신호의 특성을 고려한 적응적 블로킹 현상 제거 방법

본 논문에서는 블로킹 현상을 효과적으로 제거하기 위해서 총 4개의 필터링 모드를 제안한다. 각 모드는 블록 경계의 특성에 따라 구분되며, 모드 4를 제외한 다른 모드에서는 1차원 필터를 가로방향 및 세로방향으로 각각 적용한다. 모드를 올바르게 선택하기 위해서 전처리 과정을 거치는데 이 과정에서는 링잉현상(ringing artifact)을 제거한다. 링잉 현상은 블록내부의 에지 주위에 원하지 않는 고주파 성분을 만들어 모드 결정을 어렵게 하므로 저역통과 필터를 사용하여 제거한다. 전처리 과정 후에는 그

림 2와 같이 총 16개의 픽셀을 얻어 판별식에 따라 4개의 모드 중 하나를 결정하게 된다. 모드가 결정된 후에는 각각의 모드에 따라 적절한 필터링 방법을 적용함으로써 블로킹 현상을 제거하게 된다.



Index P_0, P_1, P_2, P_3 는 세로방향에 대해서도 동일함

그림 6. 제안한 방법에서 디블로킹 필터링을 위한 경계 화소의 정의

Fig. 2. Definition of boundary pixel arrays for de-blocking filter in proposed method

1. 전처리 과정

제안한 디블로킹 필터에서 사용하는 방법은 그림 2와 같이 가로방향 혹은 세로방향으로 픽셀들을 얻어 경계 주변의 픽셀들의 특성이 평탄한지 아닌지를 먼저 판별하고 그 정보를 이용하여 적절한 모드를 적용하여 블로킹 현상을 제거한다. 이러한 과정에 있어서 블록내부에 원 영상에 없던 고주파 성분이 생기는 링잉현상에 의해 모드를 잘못 판별하여 블로킹 현상의 효율을 떨어뜨릴 수 있으므로 이를 방지하기 위한 전처리 과정이 필요하다. 블로킹기반의 압축방식에서 링잉현상은 에지가 존재하는 블록에서 많이 발생하므로 그림 3과 같이 8×8 블록을 경계 확장하여 얻어진 10×10 블록의 각 화소 $x_{i,j}$ 에 대하여 식 (2)와 같이 가로방향의 고주파 성분의 양을 나타내는 D_1 과 세로방향의 고주파 성분의 양을 나타내는 D_2 를 정의한다.

$$D_1 = \sum_{i=0}^8 \sum_{j=0}^8 \Psi(x_{i,j+1} - x_{i,j}),$$

$$D_2 = \sum_{i=0}^8 \sum_{j=0}^8 \Psi(x_{j+1,i} - x_{j,i})$$

(2)

where $\Psi(\Delta) = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta \geq 2QP \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

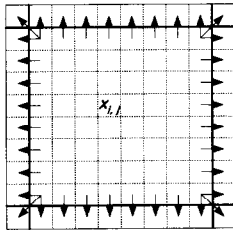


그림 7. 경계확장으로 얻어진 10x10 블록
Fig. 3. A 10x10 block obtained by boundary extension

식 (2)에서 QP 는 양자화 파라미터(Quantization Parameter) 이고, $D_1 + D_2 > 0$ 이면 그 블록에 링잉현상 혹은 에지 등에 의한 세밀한 부분이 존재하는 것으로 판단한다. 원 영상에 존재하는 에지는 보존하고 링잉현상에 의한 고주파 성분만을 없애야 하므로 조건 $D_1 + D_2 > 0$ 과 함께 식 (3)의 조건에 의해서 필터링 할 화소를 결정한다.

$$x_{i+1,j} - x_{i+1,j+1} \leq QP$$

$$x_{i+1,j+1} - x_{i+1,j+2} \leq QP, \text{ for } 0 \leq i, j < 8 \quad (3)$$

경계확장을 하여 얻어진 10x10 블록에 대해 식 (3)의 조건을 만족하는 화소에 대하여 식 (4)와 같이 저역통과 필터링을 수행하고 그 결과로 8x8 블록의 각 화소 v_{ij} 를 얻는다.

$$v_{ij} = \frac{1}{4} (x_{i+1,j} + 2x_{i+1,j+1} + x_{i+1,j+2}), \text{ for } 0 \leq i, j < 8 \quad (4)$$

2. 모드 결정

블록킹 현상을 제거하기 위해서는 주로 저역통과 필터를 사용하는데 실제 영상의 에지나 세밀한 부분에 저역통과 필터를 적용하면 번짐현상 등이 일어나 영상이 많이 훼손된다. 이러한 경우 블록킹 현상을 제거하는데 가장 중요한 점은 실제 에지와 블록킹 현상이 만들어진 블록경계를 정확히 구별해야 한다는 점이다. 따라서 효과적으로 블록킹 현상을 제거하기 위해서는 필터링을 위한 모드가 올바르게 선택되어야 한다.

먼저 식 (5)에서 정의한 함수를 사용하여 블록경계 영역인 P_1 과 P_2 가 평탄한 영역인지 아닌지를 판별한다.

$$F(P_k) = \begin{cases} \sum_{i=0}^3 \Omega(u_{i+3k} - u_{i+3k+1}), & \text{for } k=0,1 \\ \sum_{i=0}^3 \Omega(u_{i+3k+2} - u_{i+3k+3}), & \text{for } k=2,3 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{where } \Omega(\Delta) = \begin{cases} 1, & \Delta \leq T_1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 k 는 그림 2에서 정의한 각 화소영역의 인덱스이고, T_1 은 픽셀 사이의 평탄한 정도를 나타내기 위한 문턱값이다. 식 (5)에 의해 $F(P_k) > T_2$ 이면 그 영역을 평탄한 영역으로 판단한다. 평탄하지 않는 영역에 대해서는 MPEG-4에서 사용되고 있는 DCT 계수를 이용하여 블록경계의 화소값을 보정하는 방법을 사용한다^{4, 8}. 또한 P_1 과 P_2 중 최소값과 최대값의 차이인 $diff$ 를 정의하여 $diff < 2QP$ 이면 블록경계에서 발생한 블록킹 현상이며, 그 반대이면 영상의 실제 에지로 판단하여 필터링을 수행한다. 지금까지 주어진 정보에 의하여 모드를 결정하게 되는데 이렇게 모드를 나누어 필터링하는 이유는 에지와 같은 실제 영상의 중요한 정보와 블록킹 현상에 의한 고주파 성분을 정확히 구별하여 적용하기 위해서이다. 모드를 구별한 이후에는 다양한 필터링 방법으로 영상의 중요한 정보는 그대로 유지하면서 블록킹 현상만을 선택적으로 제거한다.

3. 모드 1

모드 1은 P_1 과 P_2 가 모두 평탄하고 블록경계에서 블록킹 현상이 발생하는 경우에 적용된다. 블록킹 현상이 평탄한 영역에서 발생하기 때문에 인간의 시각에 매우 두드러지게 보이는 부분이다. 경계에서 발생한 블록킹 현상은 실제 영상에는 없었던 신호이므로 식 (6)과 같은 9탭 저역통과 필터를 이용하여 제거한다. 탭수가 긴 강한 필터이므로 모드 구분이 정확하지 않으면 실제 영상의 중요한 부분이 손상되어 번짐현상이 발생한다.

$$v_n' = \frac{1}{16} \sum_{k=0}^8 b_k \cdot A_{n+k-4}, \quad 4 \leq n \leq 11$$

$$\{b_k : 0 \leq k \leq 8\} = \{1, 1, 2, 2, 4, 2, 2, 1, 1\} \quad (6)$$

위에서 A_n 은 필터링의 대상이 되는 화소를 나타내고, 표 1과 같이 P_0 와 P_3 의 평탄한 정도에 따라 구

분하여 적용한다. 즉, 필터의 대상이 되는 화소영역 P₁ 및 P₂에 대하여 영역이 속해있는 블록이 평탄하다면 원화소를 그대로 사용하고 그렇지 않다면 가 상 바깥쪽의 화소를 사용하여 필터링을 수행한다.

4. 모드 2

기존의 MPEG-4에서 적용하고 있는 블록킹 현상 제거기법은 블록경계를 중심으로 대칭적으로 적용하고 있다. 그러나 실제 블록킹 현상은 블록경계에 대해서 비대칭적으로 발생하는 경우가 많아 이를 고려한 모드를 추가하였다. 즉, 모드 2에서는 P₁ 혹은 P₂ 중 한 영역이 평탄한 경우에 적용하며 복잡한 부분으로 판단된 영역은 실제 영상의 고주파 부분으로 판단하여 평탄한 영역에 대해서만 식 (7)의 저역통과 필터링을 수행한다.

$$v_n' = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^2 b_k \cdot A_{n+k-1} \quad (7)$$

$$\{b_k : 0 \leq k \leq 2\} = \{1, 2, 1\}$$

여기서 필터링의 대상이 되는 화소의 범위를 나타내는 인덱스 n은 P₁이 평탄한 영역이고 P₂가 복잡한 영역이면 4 ≤ n ≤ 8의 범위를 가지고, P₁이 복잡한 영역이고 P₂가 평탄한 영역이면 7 ≤ n ≤ 11의 범위를 갖는다.

표 1. 모드 1에 대한 필터링 조건
Table 1. The filtering conditions in mode 1

조건	n의 범위	A _n
P ₀ 와 P ₃ 가 모두 평탄한 경우	0 ≤ n ≤ 15	A _n = v _n
P ₀ 만 평탄한 경우	0 ≤ n ≤ 11	A _n = v _n
	12 ≤ n ≤ 15	A _n = v ₁₁
P ₃ 만 평탄한 경우	0 ≤ n ≤ 3	A _n = v ₄
	4 ≤ n ≤ 15	A _n = v _n
	0 ≤ n ≤ 3	A _n = v ₄
P ₀ 와 P ₃ 가 모두 평탄하지 않은 경우	4 ≤ n ≤ 11	A _n = v _n
	12 ≤ n ≤ 15	A _n = v ₁₁

5. 모드 3

P₁과 P₂가 모두 복잡한 영역으로 판단될 경우 적용하는 모드로, MPEG-4의 Default mode와 동일하다^{4, 8, 9}. 블록경계를 중심으로 두 영역 모두 실제 영상에 존재하는 고주파 성분으로 판단되어 식 (8)에 의해서 블록경계 상의 두 픽셀 v₇, v₈만을 보정한다.

$$v_7' = v_7 - d$$

$$v_8' = v_8 + d \quad (8)$$

여기에서 보정정도를 나타내는 d는 다음과 같이 구한다.

$$d = CLIP \left(\frac{c_2}{c_3} \cdot (a'_{3,1} - a_{3,1}), 0, \frac{(v_7 - v_8)}{2} \right) \quad (9)$$

식 (9)에서 CLIP(x, p, q)는 x가 p와 q 사이의 값을 갖도록 하는 함수이다. d는 블록경계에서의 주파수 성분에 의해 결정되는 값으로, 먼저 그림 2에서 화소영역 Q₁={v₆, v₇, v₈, v₉}에 대하여 주파수 성분 a_{0,1}, a_{1,1}, a_{2,1} 및 a_{3,1}을 식 (10)과 같이 정의한다.

$$\begin{bmatrix} a_{0,1} \\ a_{1,1} \\ a_{2,1} \\ a_{3,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_0 & k_0 & k_0 & k_0 \\ k_1 & k_3 & -k_3 & -k_1 \\ k_2 & -k_2 & -k_2 & k_2 \\ k_3 & -k_1 & k_1 & -k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_6 \\ v_7 \\ v_8 \\ v_9 \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 k_i는 4-point DCT 커널이다. 블록킹 현상이 가장 많이 연관된 성분은 가장 고주파 성분인 a_{3,1}로 이 성분을 보정하여 블록킹 현상을 효과적으로 제거할 수 있고, 식 (11)에 의하여 보정한다.

$$a_{3,1}' = \begin{cases} a_{3,1} \frac{\min(a_{3,0}, a_{3,1}, a_{3,2})}{a_{3,1}}, & a_{3,1} \neq 0 \\ 0, & a_{3,1} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

식 (10)에서 a_{3,1}을 정의한 바와 같이 식 (11)에서 a_{3,0}은 Q₀={v₄, v₅, v₆, v₇}의 고주파 성분이고, a_{3,2}는 Q₂={v₈, v₉, v₁₀, v₁₁}의 고주파 성분이다. MPEG-4에서는 각 화소영역의 고주파 성분 a_{3,k}를 구하기 위하여 DCT 커널에 관계된 상수 c₁, c₂ 및 c₃를 정의하여 식 (9) 및 식 (12)에 적용한다.

$$a_{3,k} = \frac{1}{c_3} (c_1 v_{2k+4} - c_2 v_{2k+5} + c_2 v_{2k+6} - c_1 v_{2k+7}), \quad 0 \leq k \leq 2 \quad (12)$$

본 논문에서 적용한 상수 c_i는 IV장에서 기술한다.

6. 모드 4

위에서 언급한 방법으로 블록킹 현상을 제거하더라도 영상의 대각선 에지 부분에 블록의 모서리가

위치하는 경우에 블록킹 현상이 두드러지게 남아있게 된다. 모드 4는 이러한 경우에 적용하기 위해 2차원 윈도우를 이용하여 필터를 설계한다. 이는 변형된 미디언 필터(median filter)^[10]의 특성을 이용하여 필터링하는 방법으로 미디언 필터에 선형 필터의 개념을 도입하여 필터를 설계하였다. 우선 블록 경계에서 픽셀 v_7 이 블록의 모서리에 해당하는 경우에 블록킹 현상이 일어났는지 여부를 판단하기 위해 그림 4에서와 같은 3x3 윈도우에 대하여 식 (13-1)과 (13-2)와 같이 조건값 A와 B를 정의한다.

$$A = \sum_{k=0}^8 \Lambda(x_4 - x_k)$$

$$\text{where } \Lambda(\Delta) = \begin{cases} 1, & \Delta \geq 2QP \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13-1)$$

$$B = \sum_{k=0}^8 \Psi(x_4 - x_k)$$

$$\text{where } \Psi(\Delta) = \begin{cases} 1, & \Delta = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13-2)$$

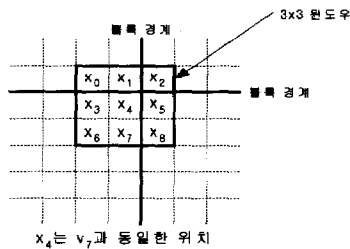


그림 9. v_7 에 대하여 모드 4를 적용하기 위한 2차원 윈도우

Fig. 4. A 2-D window for applying mode 4 to the pixel v_7

즉, A가 크면 클수록, B가 작을수록 윈도우 영역이 복잡하고 이에 따라 필터링의 강도가 달라진다. 또한 더욱 정확한 필터링을 위하여 식 (14)와 같이 정의된 블록의 경계를 중심으로 한 차이값을 필터링 조건으로 추가한다.

$$av = \frac{1}{5} \left(\sum_{k=3}^7 v_k \right) - \left(\sum_{k=8}^{12} v_k \right) \quad (14)$$

필터링은 식 (14)에서 얻어진 av 가 $2QP$ 보다 크거나 같을 경우에만 수행하며, 실험에 의해 A가 5이고 B가 4인 경우에는 식 (15-1)를, A가 5를 제외한 4

이상이고 B가 3일 경우에는 식 (15-2)를 적용할 때 가장 효과적으로 블록킹 현상을 없앨 수 있다. 식 (15-1)은 윈도우 내부가 비교적 평탄한 경우에 적용하며, 두 픽셀 v_6 과 v_7 을 필터링한다. v_6 을 필터링하기 위해서는 v_6 의 위치를 윈도우의 x_4 에 일치시킨 윈도우를 이용하여 적용한다.

$$v_6 = \frac{1}{8} \left(\sum_{k=0}^8 x_k - x_4 \right),$$

$$v_7 = \frac{1}{8} \left(\sum_{k=0}^8 x_k - x_4 \right) \quad (15-1)$$

또한, 식 (15-2)는 윈도우 내부가 비교적 복잡한 경우로 판단되어 모서리에 위치한 v_7 만을 필터링한다.

$$v_7 = \frac{1}{8} \left(\sum_{k=0}^8 x_k - x_4 \right) \quad (15-2)$$

IV. 실험 및 결과

1. 실험방법

제안한 방법의 성능평가를 위하여 표 2에 정리한 방법으로 각 모드를 적용하여 필터링을 수행하였고, 성능비교를 위한 기준 디블록킹 필터는 MPEG-4 검증모델(verification model)에서 권고하고 있는 방법을 이용하였다^[4, 9].

표 2. 각 필터링 모드를 적용하기 위한 조건
Table 2. The conditions for applying each filtering mode

조건		모드
$diff < 2QP$	P_1 과 P_2 가 모두 평탄한 경우	mode 1
	P_1 또는 P_2 중 한 영역만 평탄한 경우	mode 2
$a_{3,7} < QP$		mode 3
otherwise		mode 4

실험에 사용된 테스트 시퀀스는 표 3과 같다. class A는 공간적으로 저 복잡도를 가지고 움직임도 비교적 적은 영상이고, class B는 공간적으로 중간정도의 복잡도를 가지고 움직임은 적은 영상이다. 양자화 파라미터(QP)를 달리 적용하여 부호화된 영상에 대하여 부호된 영상에 MPEG-4 방식의 디블록킹 필터와 제안한 디블록킹 필터를 각각 적용하

여 결과를 비교하였다. 앞서 기술한 바와 같이 링잉 현상의 제거를 위한 전처리 과정을 거친 후, 모드 1, 2, 및 3은 1차원 필터로 가로방향 후 세로방향으로 필터링을 수행하고, 모드 4는 2차원적으로 필터링을 수행하였다.

표 3. 실험에 사용된 테스트 시퀀스
Table 3. Test sequences used for the simulation

class	sequence	frame size	total frames	frame rate(Hz)	format
A	Hall Monitor	QCIF	330	30	yuv4:2:0
A	Mother & Daughter	QCIF	225	30	yuv4:2:0
B	Foreman	QCIF	300	25	yuv4:2:0
B	News	QCIF	300	30	yuv4:2:0
B	Coastguard	QCIF	300	30	yuv4:2:0

2. 실험결과 및 고찰

본 논문에서는 디블록킹 필터의 객관적 성능을 평가하기 위해 PSNR을 기준으로 하였다. 모드 3에서 사용된 식 (9)와 (12)에서 c_1 , c_2 및 c_3 는 각각 2, 5, 8로 고정하고, T_1 과 T_2 는 MPEG-4에서와 같이 2, 6으로 각각 설정하여 실험 결과의 비교를 용이하게 하였다.

실험에 대한 결과는 표 4와 표 5에 보이고 있다. 표 4는 양자화 파라미터를 17로 설정한 경우이고, 표 5는 양자화 파라미터를 22로 설정한 경우이다. Class A 영상에 대해서 필터를 적용했을 경우 평균 0.4~0.7dB의 화질 향상이 일어나고, class B 영상에 대해서는 평균 0.1~0.4dB의 화질 개선이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

표 4. 디블록킹 필터 수행 결과 (QP=17)
Table 4. Proposed de-blocking filtering results for QP=17

sequence	PSNR(dB)		
	No filtering	MPEG-4's method	Proposed method
Hall Monitor	30.27	30.48	30.69
Mother & Daughter	32.04	32.48	32.65
Foreman	30.09	30.13	30.30
News	29.89	29.98	30.28
Coastguard	28.50	28.48	28.55

표 5. 디블록킹 필터 수행 결과 (QP=22)
Table 5. Proposed de-blocking filtering results for QP=22

sequence	PSNR(dB)		
	No filtering	MPEG-4's method	Proposed method
Hall Monitor	28.84	29.09	29.25
Mother & Daughter	30.84	31.30	31.46
Foreman	28.81	28.88	29.02
News	28.46	28.60	28.79
Coastguard	27.36	27.40	27.52

이는 class A와 같은 평탄한 영역이 많은 영상일수록 양자화로 인한 고주파 성분의 손실이 적게 일어나고 강력한 필터를 사용함으로써 블록경계에서 나타나는 고주파 성분을 효과적으로 제거할 수 있기 때문에 나타나는 현상이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 실제 필터링 과정을 수행하기 전 디링잉 필터를 사용하여 에지 주위에 임의로 발생한 고주파 성분을 제거함으로써 모드 선택이 잘못되어 발생할 수 있는 성능저하를 방지하였다. 또한 그림 6의 *Hall Monitor* 영상과 같이 뚜렷한 대각선 방향의 에지가 존재하는 경우, 대각선 에지와 블록의 모서리가 만나는 부분에서 화질열화가 심각하다. 이러한 부분의 화질열화를 개선하기 위하여 모드 4를 도입하였고, 영상 전체에 비해서 모드 4가 적용되는 부분은 상당히 적은 영역이기 때문에 PSNR 수치로는 미미한 개선 효과를 보이나 주관적 화질 면에서는 상당히 개선된 성능을 보여주고 있다. 그림 7과 그림 8은 제안한 필터를 *Hall Monitor* 영상과 *Foreman* 영상에 각각 적용한 결과를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 디블록킹 필터는 동영상 수신기에 적용하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 복잡도도 중요한 요소로서 작용하는데 제안하는 방법은

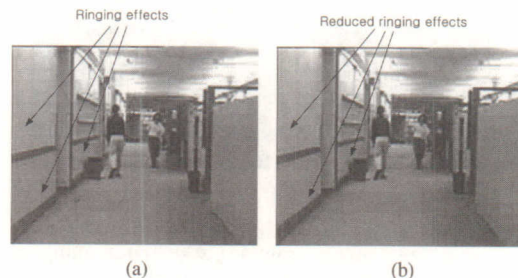


그림 5. 전처리 과정을 거친 영상 (a) 블록킹 현상이 발생한 영상 (b) 링잉현상을 제거한 영상
Fig. 5. A result of pre-processing (a) an image with artifacts (b) an image of reducing ringing artifacts

곱셈과 나눗셈 연산이 없고 모드 4를 제외한 다른 모드에서의 필터링은 1차원 필터를 사용하기 때문에 실시간 구현을 위한 부담이 거의 없다.

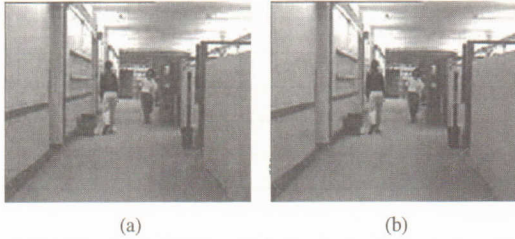


그림 6. 대각선 에지와 블록의 모서리가 만나는 지점에서의 블로킹 현상 제거 (a) 블로킹 현상이 발생한 영상 (b) 모드 4를 적용한 영상
Fig. 6. The de-blocking at the crosspoint of diagonal edge and block corner (a) an image with artifacts (b) the result of mode 4

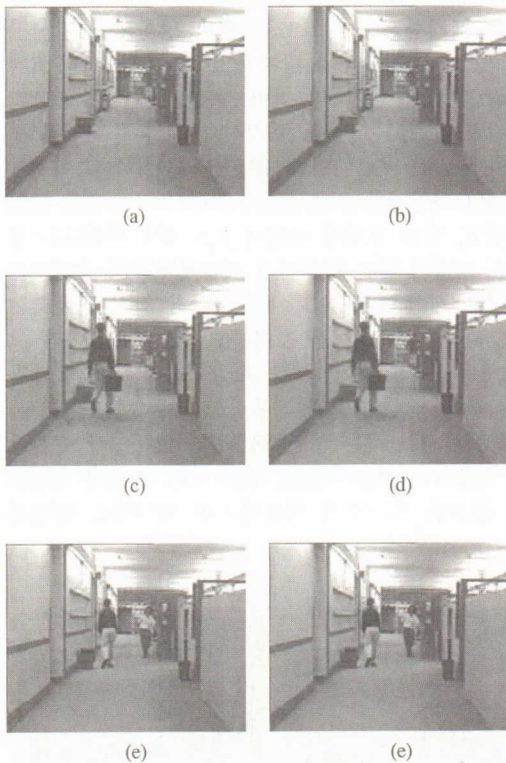


그림 7. Hall Monitor 영상에 대한 디블로킹 수행 결과 (a), (c), (e) 첫 번째, 50번째 150번째 블로킹 현상이 일어난 프레임 (b), (d), (f) 제안한 디블로킹 필터링 결과
Fig. 7. The de-blocking results for Hall Monitor sequence (a), (c) and (e) are the first, fiftieth and one-hundred-fiftieth frames with artifacts, respectively (b), (d) and (f) are de-blocking results

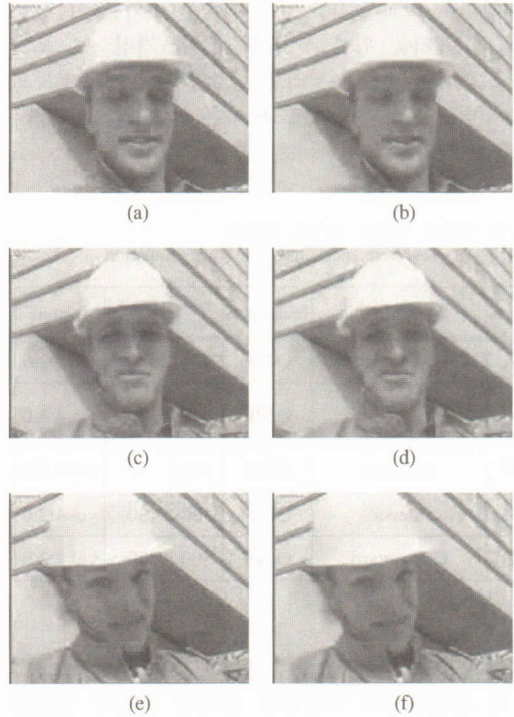


그림 8. Foreman 영상에 대한 디블로킹 수행 결과 (a), (c), (e) 첫 번째, 50번째 150번째 블로킹 현상이 일어난 프레임 (b), (d), (f) 제안한 디블로킹 필터링 결과
Fig. 8. The de-blocking results for Foreman sequence (a), (c) and (e) are the first, fiftieth and one-hundred-fiftieth frames with artifacts, respectively (b), (d) and (f) are de-blocking results

V. 결론

본 논문에서는 블로킹계에서의 신호의 특성에 따른 적응적 디블로킹 필터의 설계 및 적용방법을 제안했다. 블로킹 현상 제거기법은 후처리 기술의 한 분야로 특히 저 비트율의 비디오 전송응용 분야에 대해서 중요한 기술이다. 제안한 디블로킹 방법은 블로킹계에서의 신호의 특성에 따라 필터의 설계 및 적용방법을 구분하여 단순한 저역통과 필터링에 의한 화질열화 및 영상의 번짐 현상을 방지하고 효과적으로 블로킹 현상을 제거한다. 또한 대각선 에지와 블로킹계가 만나는 곳에서의 두드러진 블로킹 현상을 감소시켜 주관적 화질을 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 블로킹 현상 제거기법은 영상에 따라 평균 0.7dB까지 화질개선 효과를 보이면서도 곱셈과 나눗셈 연산이 없어 복잡도가 거의 늘지 않아 실시간 응용에 전혀 부담이 없다.

참고 문헌

[1] K. R. Rao and J. J. Hwang, *Techniques and Standards for Image, Video and Audio Coding*, Prentice-Hall, Inc., 1996.

[2] ITU-T Recommendation H.263, "Video Coding for Low Bitrate Communication," Draft, May 1996.

[3] ISO/IEC 13818-2, "Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio: Video," 1995.

[4] ISO/IEC 14496-2, "Coding of Audio-Visual Objects: Visual," 1998.

[5] H. S. Malvar and D. H. Staelin, "The LOT: Transform coding without blocking effect," *IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing*, vol. 37, pp. 553-559, Apr. 1989.

[6] M. T. Orchard and G. J. Sullivan, "Overlapped block motion compensation: An estimation-theoretic approach," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 3, pp.693-699, Sep.1994.

[7] T. Kim, J. Paik, C. Won, Y. Choe, J. Jeong and J. Nam, "Blocking effect reduction of compressed images using classification-based constrained optimization," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 15, pp. 869-877, 2000.

[8] S. Kim, J. Yi, H. Kim and J. Ra, "A deblocking filter with two separate modes in block-based video coding," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 9, pp. 156-160, Feb. 1999.

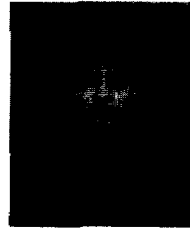
[9] ISO/IEC N3908, "MPEG-4 video verification model v.18," Jan. 2001.

[10] I. Pitas, *Digital Image Processing Algorithms and Applications*, Wiley, Inc., 2000.

[11] 이주홍, 김민구, 정제창, 최병욱, "압축영상의 화질향상을 위한 블로킹 현상 제거에 관한 연구", *한국통신학회 논문지*, vol. 22, no. 8, pp. 1677-1690, Aug. 1997.

김종호(Jongho Kim)

정회원



1998년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업
 2000년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 석사
 2000년 3월~현재 : 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정

<관심분야> 영상처리 및 영상압축

김해욱(Haewook Kim)

준회원

2002년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
 2004년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 석사
 2004년 3월~현재 : (주)LG전자 연구원

<관심분야> 영상처리 및 영상압축

정제창(Jechang Jeong)

정회원



1980년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 1982년 2월 : KAIST 전기전자공학과 석사
 1990년 : 미국 미시간대학 전기공학과 공학박사

1980~1986 : KBS 기술연구소 연구원 (디지털 TV 및 뉴미디어 연구)

1990~1991 : 미국 미시간대학 전기공학과 연구교수 (영상 및 신호처리 연구)

1991~1995 : 삼성전자 멀티미디어 연구소 (MPEG, HDTV, 멀티미디어 연구)

1995~현재 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수 (영상통신 및 신호처리 연구실)

1998년 11월 27일 : 과학기술자상 수상

1998년 12월 31일 : 정보통신부장관상 표창

<관심분야> 영상처리 및 영상압축