

최적 필터를 이용한 블럭 현상 제거 방법

김대희, 호요성
 광주과학기술원 정보통신공학과
 광주광역시 광산구 쌍암동 572 번지

Blocking Effect Reduction based on Optimal Filtering

Dae-Hee Kim and Yo-Sung Ho
 Dept. of Information & Communications, K-JIST
 572 Ssang-am Dong Kwang-san Gu, Kwang-ju, Korea
 dhkim@cvex.kjist.ac.kr

ABSTRACT

In block-based coding schemes, the input image is segmented into small blocks that are processed independently; therefore, blocking effects occur along block boundaries. Various methods have been developed to reduce such blocking effects. In this paper, we propose a new blocking effect reduction method based on optimal filtering, and we compare its performance with those of others.

1. 서론

영상 부호화의 주요 목적은 충분한 화질을 보장 하면서 영상을 가능한 적은 비트수로 표현하는 것이다. 이를 위해 여러 가지 알고리즘들이 개발되었으며, 최근 H.261/H.263 방식이나 MPEG-1/MPEG-2 방식의 국제 표준들이 등장하였다. 이러한 방식들은 영상을 작은 블럭으로 나누고, 각각의 블럭을 독립적으로 부호화한다. 그리고 수신기에서 전체 영상을 복원하기 위해 나누어진 각 블럭을 재배열한다. 변환 부호화(Transform Coding)는 영상을 블럭으로 나누어 처리하는 부호화 기술의 전형적인 예이다.

변환 부호화를 이용하여 낮은 비트율로 영상을 부호화할 때 블럭 경계 현상(Blocking Effect)이라는 고질적인 문제가 발생한다. 이런 현상은 각 블럭들을 독립적으로 처리하기 때문에 생기며, 복원된 영상은 블럭의 경계를 따라서 불연속성을 갖는다. 이러한 블럭 경계 현상은 대개 각 블럭의 변환 계수에 적용되는 양자화 오류에 기인한다. 이 경우 변환 영역(Transform Domain)에서 양자화되기 때문에 양자화 오류의 영향은 블럭 내의 전체 영역으로 확산된다. 이러한 현상은 비트율이 감소할수록 심각하게 나타난다.

이러한 블럭 경계 현상을 제거하기 위해서 블럭을 중복하여 처리하는 방법(Overlap Method), 후처리 방법(Post-Filtering), Lapped Orthogonal 변환 방법(LOT), 이단계 변환 부호화 방법(Two-Stage Transform Coding

Method) 등 다양한 방법들이 연구되어 왔다. 이중 블럭 중복 방법[1]은 중복된 영역을 가지는 각 블럭이 독립적으로 부호화되고, 디코더는 이 영역의 값을 평균하여 처리한다. 그러나 이 방법은 중복된 영역의 신호를 반복해서 처리하여 전송하므로 전송 효율이 감소될 수 있다.

Post-Filtering 을 이용하는 방법[1,2]은 영상의 블럭 현상을 제거하면서 비트율의 증가를 피하는 방법으로, 블럭 중복 방법의 결정적인 약점을 보완한 것이다. 후처리 방법에서는 디코더에서 복원한 영상에 필터를 적용하여 블럭 사이의 경계 현상을 줄인다. 즉, 블럭 경계에서의 불연속이 고주파 성분을 갖고 있다고 간주하여, 블럭의 경계를 따라 저대역 필터(LPF)를 적용한 것이다. 이 방법은 실시간으로 처리할 수 있는 장점이 있으나, 원래 영상의 윤곽선(Edge) 정보가 손상되는 문제가 발생할 수 있다.

LOT 방법[3,4,5]은 변환 계수의 블럭이 N 개의 기저 함수(Basis Functions)에 의해 N 개의 계수를 생성하며, 변환 공식에 입력되는 화소는 N 개보다 많다. LOT에서는 각 블럭이 $L(L > N)$ 개의 샘플을 가지며 이 웃하는 블럭과 $L \cdot N$ 개의 샘플을 중첩하게 된다. 블럭 중복 방법(Overlap Method)과는 달리, LOT 방법에서는 각 블럭의 L 개 샘플을 N 개 계수로 변환하기 때문에 데이터를 전송하는데 필요한 비트수를 증가시키지 않는다. 그러나 이 방법은 최적의 LOT를 수행하는 일반적인 고속 연산 알고리즘이 없다. 현재 개발된 고속 알고리즘은 블럭의 크기 N 이 작을 경우에만 최적의 LOT에 근사된다.

이단계 변환 부호화 방법[6]은 입력 영상의 블럭들 사이의 독립성을 줄이기 위해 전체 영상을 부표본화(Subsampling)한 부분 영상을 가지고 블럭을 재구성하는 방법이다. 그러나 변환 계수의 양자화 오류가 전체 영상으로 확산되므로 이를 저지하는 방법이 필요하다.

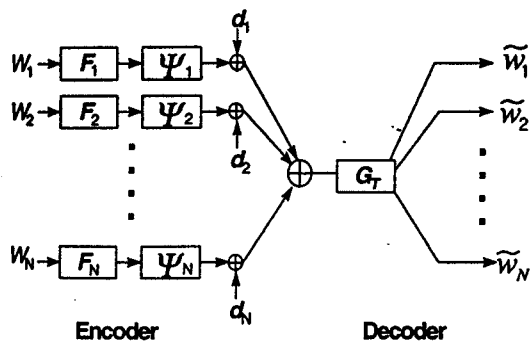
본 논문에서는 인접 블럭의 상관(Correlation) 정보를 이용하여 블럭 경계 현상을 제거하는 방법을 제안하였으며, 제안된 방법과 블럭 현상을 제거하기 위해

개발된 다른 방법들과의 성능을 비교 평가하였다.

2. 최적 필터(Optimal Filtering) 방법

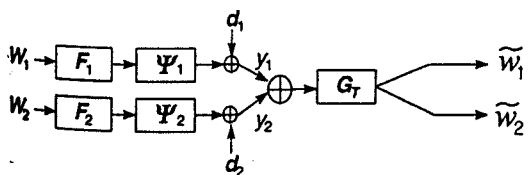
앞 절에서는 영상 블럭 자체나 블럭의 경계의 특성을 이용하여 블럭 경계 현상을 감소시키는 여러 가지 방법들을 살펴보았다. 이때 블럭 경계 현상을 제거하기 위해 단순히 국부 영역만을 고려하면 블럭 경계에서는 불연속성이 감소되지만 블럭 안의 정보들이 인접 블럭간에 서로 불연속성을 가질 수 있다. 따라서 이 절에서는 각 블럭의 국부 영역에서는 최적이지 않더라도 전체 영상에 대하여 최적인 필터에 대해 살펴보고자 한다.

<그림 1>은 전역 최적 필터를 포함한 영상 처리 시스템을 나타내고 있다. 여기서 w_i 는 N 차원 입력 벡터이고, d_i 는 양자화 오류에 대한 벡터를 나타내며, w_i 와 d_i 는 상관성(Correlation)이 없다고 가정한다. F_i 는 전치리기, Ψ_i 는 양자화를 위한 대각 행렬(Diagonal Matrix), \tilde{w}_i 는 전역 필터를 통과한 복원 영상이다.



<그림 1> 전역 최적 필터 G_T

위 그림에서 전체 영상을 여러 개의 작은 벡터로 나누고, 각 벡터는 서로 독립적인 부호기에서 별도로 처리된다. 그러나 디코더에서 전역 최적 필터(G_T)를 얻기 위해서는 각 부호화된 벡터들을 모두 모아서 처리한다. 이러한 시스템의 동작을 간단히 분석하기 위해 단지 2 개의 블럭을 고려한 간략화된 모델을 <그림 2>와 같이 설정하였다.



<그림 2> 간략화된 모델

부호기에서의 각 블럭과 전역 필터(G_T)는 서로 차원(Dimension)이 다르기 때문에, 각 영상 블럭과 전역 필터를 동시에 다루기 위해 다음과 같은 K_1 과 K_2 행렬을 도입하였다

$$K_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, K_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

원래의 전체 입력 신호 x 와 전체 복원 신호 \tilde{x} 는 다음과 같이 표기한다.

$$x = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}, \quad \tilde{x} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

블럭 w_1 과 w_2 는 행렬 K_1, K_2 와의 Kronecker Product 를 사용하여 차원을 확장할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ 0 \end{bmatrix} = K_1 \otimes w_1, \quad \begin{bmatrix} 0 \\ w_2 \end{bmatrix} = K_2 \otimes w_2 \quad (3)$$

부호기의 출력 신호 y_1, y_2 와 양자화 오류 벡터 d_1, d_2 는 다음과 같이 벡터로 표현된다.

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}, \quad d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

<그림 2>에서 부호기의 출력은 입력 신호 w_i 와 양자화 오류 d_i 를 이용하여 다음 식으로 표현된다.

$$y_i = \Psi F_i w_i + d_i \quad (5)$$

구하려는 최적 필터의 기준은 다음의 MSE 를 최소화하는 것이다.

$$\xi_w = (2N)^{-1} \left\{ E \left[\left\| \tilde{x} - (K_1 \otimes w_1 + K_2 \otimes w_2) \right\|^2 \right] \right\} \quad (6)$$

식(3), 식(4), 식(5)를 사용하여 식(6)을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \xi_w = (2N)^{-1} \text{tr} \left\{ E \left[K_1 \otimes w_1 K_1' \otimes w_1' + K_1 \otimes w_1 K_2' \otimes w_2' \right. \right. \\ \left. \left. + K_2 \otimes w_2 K_2' \otimes w_2' + K_2 \otimes w_2 K_1' \otimes w_1' \right] \right. \\ \left. - 2G_T E \left[K_1 \otimes w_1 K_1' \otimes y_1' + K_1 \otimes w_1 K_2' \otimes y_2' \right. \right. \\ \left. \left. + K_2 \otimes w_2 K_1' \otimes y_1' + K_2 \otimes w_2 K_2' \otimes y_2' \right] \right. \\ \left. + G_T E \left[K_1 \otimes y_1 K_1' \otimes y_1' + K_1 \otimes y_1 K_2' \otimes y_2' \right. \right. \\ \left. \left. + K_2 \otimes y_2 K_1' \otimes y_1' + K_2 \otimes y_2 K_2' \otimes y_2' \right] G_T' \right\} \\ = (2N)^{-1} \text{tr} \left\{ G_T R_{yy} G_T' - 2G_T R_{yx} + R_{xx} \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

여기서 R 은 상관함수(Correlation Function)이다. 임의의 F_i 에 대해서 $F_1 = F_2$ 이라고 가정하면, 최적의 G_T 는 $\partial \xi_w / \partial G_T = 0$ 를 만족할 때 얻어지며 그 결과식은

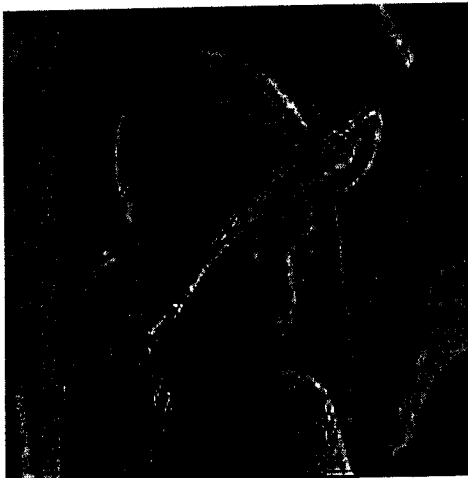
다음과 같다.

$$G_{Topi} = R_{xy} (R_{yy})^{-1} \quad (8)$$

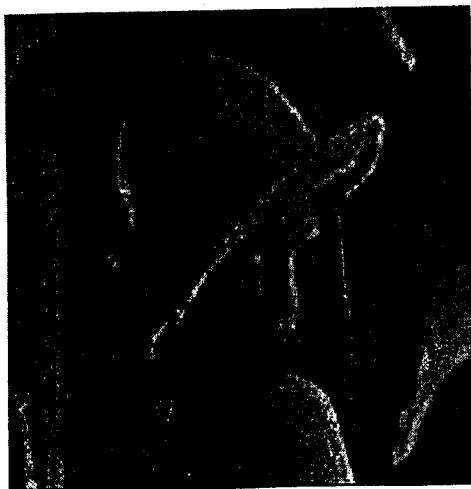
이 관계식은 Wiener 필터와 그 형태가 비슷하며, 이는 여러 경우의 영상 복원(Restoration)의 응용에서 최적의 해답으로 알려져 있어 본 결과의 타당성을 뒷받침해주고 있다.

위 과정에서 전처리기(M)를 단위 행렬로 가정하여 그 기능을 무시하였지만 적절한 전처리를 설정한다면 보다 좋은 성능을 얻을 수 있다. 그러나 이 방법에서는 입력 신호의 스펙트럼 정보를 정확히 예측할 수 있어야 한다. <그림 3>은 DCT 변환 부호화 방법에 의해 부호화되고 복원된 영상이고, <그림 4>는 <그림 3>의 복원 영상에 최적 필터를 적용하여 얻은 영상이다.

이 방법은 서론에서 언급한 여러 가지 블럭 현상 제거 방법들보다 좋은 성능을 나타냈으며, 거의 1dB 정도 높은 SNR 값을 가졌다.



<그림 3> 변환 부호화의 복원 영상

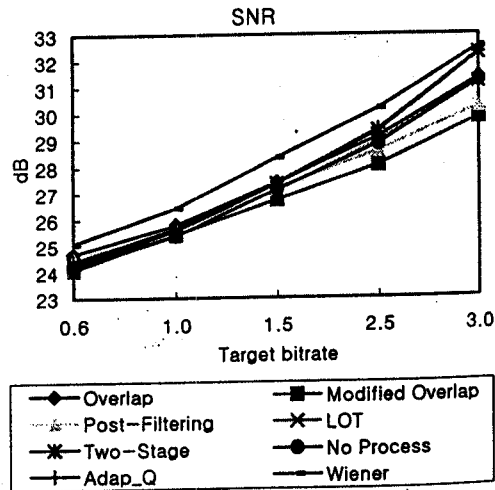


<그림 4> 최적 필터를 적용한 결과

3. 실험 및 결과

본 논문에서는 여러 종류의 블럭 현상 제거 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 각 알고리즘의 부호화된 계수의 통계적 특성에 기초하여 비트를 할당하는 방법을 사용하였다. 비트 할당은 각 알고리즘에 따라 다르지만, 전체적으로 사용된 비트수는 각 알고리즘과 상관없이 일정하게 유지하였다. 본 실험에서는 여러 알고리즘을 공정하게 비교하기 위해 각 알고리즘에서 변환 계수의 에너지에 비례하여 비트를 할당하였다. 이 경우 엔트로피 부호화는 사용하지 않았다.

<그림 5>는 LENA 영상에 대한 SNR 값을 비트율에 따라 도시한 것이다. 이 그림에서 Modified Overlap 방법은 Overlap 방법의 비트율의 증가를 다른 알고리즘과 동일한 비트율로 조절하기 위해 조정된 것이므로 Overlap 방법보다 나쁜 결과를 보인다. 여기서 SNR 값의 차이가 작은 것을 볼 수 있는데, 그 이유는 SNR 값이 블럭 경계 현상보다는 영상의 충실도를 측정하기에 적합한 값이기 때문이다. <그림 5>에 나타난 것과 같이, 전역 최적 필터가 가장 좋은 성능을 보였다.

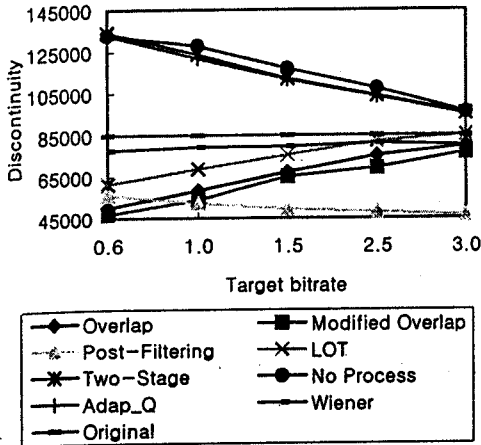


<그림 5> SNR 과 비트율

본 실험에서는 블럭 경계 현상을 측정하기 위해 불연속 정도를 영상 블럭의 경계를 따라 화소 차이의 절대값을 모두 더한 값으로 정의하였다. <그림 6>은 여러 알고리즘에 대해서 불연속 정도를 보여주고 있다.

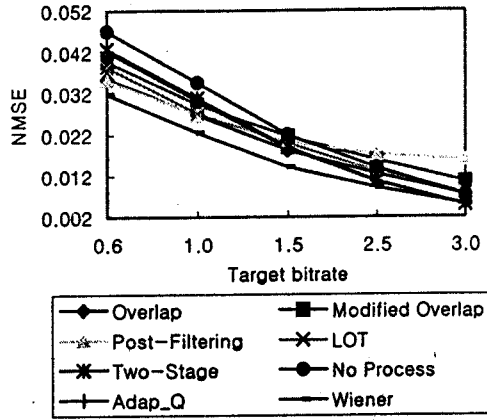
그러나 불연속성만을 고려한 블럭 경계 현상 제거 알고리즘은 저대역 필터처럼 윤곽선을 손상시키는 문제를 발생시킬 수 있다. 시각적인 블럭 현상은 Overlap 방법보다 Modified Overlap 방법에서 두드러지게 나타나지만, Overlap 방법의 불연속 값이 Modified Overlap 방법보다 더 크다. 복원 영상의 불연속성은 원 영상의 불연속성과 관련이 있다. 이러한 점에서 복원 영상의 불연속성이 원 영상의 불연속성에 접근할수록 좋은 화질을 갖는다고 말할 수 있으며, 그러한 비교에서 최적 필터와 LOT가 좋은 성능을 보인다.

Discontinuity along Boundaries



<그림 6> 불연속정도와 비트율

NMSE along Boundaries



<그림 7> 블럭 경계에서의 NMSE와 비트율

본 실험에서는 블럭 경계 현상을 제거하는 여러 가지 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 기존의 SNR이나 MSE와는 다른 평가 방법을 도입하였다. 이는 아래 식(9)에서 정의한 것처럼 MSE 값을 블럭 경계에 있는 원 영상의 화소 값으로 정규화한 것으로 NMSE (Normalized MSE)라고 이름하였다.

$$NMSE = \frac{\sum_{n_1, n_2} [f(n_1, n_2) - f^*(n_1, n_2)]^2}{\sum_{n_1, n_2} f(n_1, n_2)^2} \quad (9)$$

여기서 $f(n_1, n_2)$ 과 $f^*(n_1, n_2)$ 는 각각 원 영상과 복원 영상에서의 화소 값을 나타낸다. <그림 7>에 블럭의 경계에서 NMSE의 실험값들을 도시하였다. 이 그림으로부터 최적 필터가 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 블럭 기반의 영상 부호화에서 자주 발생하는 블럭 경계 현상을 제거하는 여러 가지 알고리즘을 살펴보고, 전체 영상에 대하여 최적인 필터를 유도하였다. 본 논문에서 제시한 최적 필터는 Wiener 필터와 유사하다. 본 논문에서는 여러 블럭 현상 제거 방법들을 S/W로 구현하여 그들의 성능을 비교하였다. 특히 각 알고리즘의 변환 계수의 상이한 통계적 특성을 고려하기 위해 엔트로피 부호화 방법을 사용하지 않고 계수의 에너지에 비례하여 비트를 할당하는 방법을 사용하였다. 또한 본 논문에서는 블럭 경계 현상을 측정하는 다른 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 최적 필터는 고려된 세 가지 블럭 경계 현상 측정 방법(SNR, 불연속 정도, NMSE)에서 가장 좋은 결과를 나타내었다.

5. 참고문헌

- [1] H. C. Reeve III and J. S. Lim, "Reduction of blocking effects in Image Coding," J. Optical Engineering, vol.23, no.1, pp.34-37, Jan./Feb. 1984.
- [2] T. Jarske, P. Haavisto, and Il. Defe'e, "Post-Filtering methods for reducing blocking effects from coded images," IEEE Int. Conf. Consumer Electronics, pp.218-219, 1994.
- [3] H. S. Malvar and D. H. Staelin, "The LOT: transform coding without blocking artifacts," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol.37, no.4, pp.553-559, Apr.1989.
- [4] H. S. Malvar, "Optimal pre- and post-filters in noisy sampled-data systems," Ph.D. dissertation, Dept. Elec. Eng., Mass. Inst. Technol., Aug. 1986.
- [5] P. M. Cassereau, D. H. Staelin, and G. D. Jager, "Encoding of images based on a lapped orthogonal transform," IEEE Trans. Communications, vol.37, no.2, Feb. 1989.
- [6] A. Tran, "Block-effect reduction in transform coding," SPIE Visual Communications and Image Processing, vol.707, pp.182-187, 1986.