

논문-98-3-2-01

영상 부호화에서 발생하는 블록경계 현상을 줄이는 방법

김 대 희*, 호 요 성*

Blocking Effect Reduction Techniques for Image Coding

Daehee Kim* and Yo-Sung Ho*



요 약

MPEG-2 표준 방식과 같이 DCT 변환을 사용하는 블록부호화 방법에서는 각 블록을 독립적으로 처리하기 때문에, 블록의 경계선에 따라 불연속성을 갖는 블록경계 현상이 나타난다. 본 논문에서는 이러한 블록경계 현상을 줄이기 위해 가변 양자화를 이용한 이단계 변환부호화 방법과 전체 영상을 고려한 최적 필터를 이용하는 방법을 제시한다. 기존의 방법들은 변환부호화의 구조를 바꾸는 방법과 복원된 영상을 후처리하는 방법 등으로 분류할 수 있지만, 이들의 성능을 비교하기는 쉽지 않다. 본 논문에서 제안한 새로운 알고리즘을 기존의 알고리즘들과 객관적으로 비교하기 위해 최적 비트할당 알고리즘을 적용하였다.

Abstract

Due to independent processing of image blocks, DCT-based block coding algorithms can produce the blocking effect which is gray-level discontinuity along block boundaries of the reconstructed image. In this paper, we have proposed two techniques to reduce the blocking effect: two-stage transform coding with variable quantizer and the globally optimum filtering. We have also compared performances of our algorithms and other conventional algorithms by applying optimal bit allocation.

I. 서 론

영상 부호화의 목적은 충분한 화질을 보장하면서 영상을 가능한 적은 비트수로 효율적으로 표현하는 것이다. 이를 위해 최근 H.261/H.263 방식이나 MPEG-1/MPEG-2 방식의 국제 표준들이 등장하였다. 이러한 방식에서는 영상을 작은 영상블록으로 나누고, 각각의 블록을 독립적으로 부호화한다. 수신기에서는 전체 영상을 복원하기 위해

나누어진 각 블록을 복원하여 재배열한다. DCT 변환부호화(Transform Coding)는 영상을 블록으로 나누어 처리하는 부호화 방법의 전형적인 예이다. 현재 널리 사용되고 있는 DCT 변환부호화는 영상을 낮은 비트율로 부호화할 때 영상 블록의 경계선을 따라 불연속성을 갖는 블록경계 현상(Blocking Effect)이라는 고질적인 문제가 발생한다. 이러한 블록경계 현상은 각 블록을 독립적으로 처리하기 때문에 발생한다.

본 논문에서는 인접한 블록의 상관(Correlation) 정보를 이용하여 블록경계 현상을 제거하는 방법을 제안하였으며, 블록경계 현상을 제거하기 위해 개발된 다른 방법들과 성능을 비교 평가하였다. 본 논문의 2장에서는 기존의 개발된 알고리즘을 간략히 살펴보고, 3장에서 블록경계 현상을 줄이기 위한 새로운 방법을 기술하였다. 그리고 4장에서 모의 실험 결과를 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

* 광주과학기술원 정보통신공학과
Dept. of Information & Communications, Kwang-Ju Institute of Science and Technology

* 이 논문은 광주과학기술원 초고속 광네트워크 연구센터를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

II. 블록경계 현상을 줄이기 위한 여러 가지 방법

1. 블록중복 방법(Overlap Method)

블록경계 현상은 블록의 영역이 서로 중복되는 부분이 없이 배타적으로 설정되어 독립적으로 처리되기 때문에 발생한다. 이를 제거하기 위해서 각 블록들을 그림 1처럼 중복시켜 처리하는 방법^[1]이 제안되었다. 이 방법에서는 중복된 영역을 가지는 각 블록을 독립적으로 부호화하고, 디코더는 중복된 영역의 값을 평균하여 처리한다. 그러나 이 방법에서는 중복된 영역의 신호가 반복해서 전송되므로 전송 효율이 감소할 수 있다.

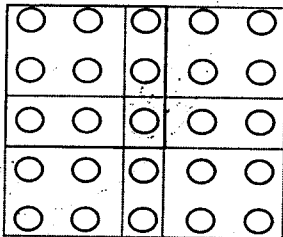


그림 1. 한 화소 중복 방법
Fig. 1. One Pixel Overlap Method

2. 후처리 방법(Post-Filtering Method)

후처리 방법^{[1][2]}은 영상의 블록경계 현상을 제거하면서 비트율의 증가를 피하는 방법으로, 블록중복 방법의 결정적인 약점을 보완한다. 이 방법에서는 디코더에서 복원된 영상에 필터를 적용하여 블록경계 현상을 제거한다. 즉, 블록 경계에서의 불연속이 고주파 성분을 갖고 있다고 간주하고, 블록의 경계선을 따라 적절한 저대역 필터(LPF)를 적용한다. 후처리 방법에서는 다양한 저대역 필터를 사용할 수 있지만, 원래 영상의 윤곽선(Edge) 정보가 손상되는 문제가 발생한다. 따라서 부가적으로 고주파 성분을 강조할 수 있으나, 이때 잡음이 부가될 우려가 있으므로 주의해야 한다.

3. LOT(Lapped Orthogonal Transform) 방법

LOT 방법^{[3][4][5][6]}은 비트율의 증가를 방지하면서, 기존의 DCT변환과 같이 낮은 주파수 영역의 몇 개의 변환 계수의 대부분의 신호 에너지를 집중시키고, 블록경계 현상을 제거할 수 있는 변환 공식을 유도하여 영상 부호화에 적용한다.

LOT는 변환 계수의 블록이 N개의 기저 함수들(Basis Functions)에 의해 N개의 계수를 생성하며, 변환 공식에 입력되는 화소는 N개보다 많다. LOT에서는 각 블록이 L(L>N)개의 샘플을 가지며, 이웃하는 블록과 (L-N)개의

샘플을 중첩한다. 블록중복 방법(Overlap Method)과는 달리, LOT 방법에서는 각 블록의 L개의 샘플을 N개의 계수로 변환하기 때문에 전송에 필요한 비트수를 증가시키지 않는다. LOT 변환은 식(1)과 같이 정의된다.

$$T = \begin{bmatrix} P_1 & & & 0 \\ & P_0 & & \\ & & P_0 & \\ 0 & & & P_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 P_0 는 $L \times N$ 의 행렬로 각 블록의 LOT 기저 함수로 구성된다. T 가 직교성(Orthogonality)을 가져야 하는 조건으로부터 최적의 LOT를 구하기 위해 최적에 근사하는 행렬 P 를 설정한다. 이때 P 는 실현 가능하고, 행렬 $P_0 = PZ$ 는 임의의 직교 행렬 Z 에 대해서 구현이 가능하다고 가정한다. 이에 따르는 관계식들은 다음과 같다.

$$P' P_0 = Z' P' P Z = Z' Z = I \quad (2)$$

$$P' W P_0 = Z' P' W P Z = 0 \quad (3)$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

이를 이용하여 근사화된 고속 LOT 알고리즘을 유도하면 식(4)를 얻을 수 있다.

$$p_0 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} D_s & D_o & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_s & D_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & I & 0 & 0 \\ I & -I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & I \\ 0 & 0 & I & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ I & I \\ I & -I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

그러나 이 방법은 N의 값이 작은 경우에만 최적의 LOT에 근사된다^{[4][5]}

4. 이단계 변환부호화 방법(Two-Stage Transform Coding Method)

이단계 변환부호화 방법은 영상을 쪼개서 처리하는 방법으로 두 번에 걸친 변환을 이용하여 영상을 부호화한다^[7].

그림 2는 이단계 변환부호화 방법의 동작을 나타낸다. 이 그림에서 블록 $S(i,j)$ 는 원래의 입력 영상을 부표본화(Subsampling)하여 얻은 화소들을 모아서 구성하기 때문

에, 이를 그대로 부호화한다면 화소간의 상관도가 감소하여 부호화 효율이 떨어진다.

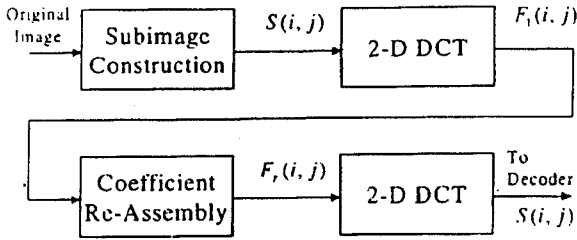


그림 2. 이단계 변환부호화
Fig. 2. Two-Stage Transform Coding

그러므로 상관도의 감소에 따르는 부호화 비트수의 증가를 막기 위해, 첫 번째 변환에서 생성된 계수를 동일한 주파수성분을 갖는 계수들끼리 모아 다시 블록을 형성한다. 그리고 두 번째 단계의 변환을 수행하여 압축 부호화한다. 이것으로부터 복원된 영상은 블록의 경계에서 발생하는 블록경계 현상의 잡음을 블록의 전체 영역으로 확산시키는 효과를 가진다. 따라서 블록의 크기가 클수록 경계 현상에 의한 잡음은 블록 전체 영역으로 확산되어 잡음의 양이 블록 크기에 반비례하여 줄어든다.

본 논문에서는 Tran이 제시한 이단계 변환부호화 방법^[7]을 수정하여 개선하였다. 이단계 변환부호화 방법을 사용하면 전영역에 비교적 커다란 양자화 오류가 확산되어 블록경계 현상은 제거되었으나, 가우스 잡음이 발생한다. 이단계 변환부호화에서의 변환 계수는 다른 방법과 달리, DC 계수의 값이 나중에 처리되는 블록일수록 그 값이 급격히 감소되는데, 이를 이용하여 가변 양자화 기술을 적용하였다.

III. 최적 필터(Optimal Filtering) 방법

앞 절에서 우리는 블록 자체나 블록의 경계의 특성을 이용하여 블록경계 현상을 감소시키는 방법들을 살펴보았다. 이때 블록의 경계에서 불연속성을 감소시키기 위해 변형된 값이 블록의 경계에서 양자화 오류에 의한 블록경계 현상을 개선시키지만, 블록 내부의 원래 값들과 개선된 값들 사이에 불연속성을 보일 수 있고, 이는 주관적인 영상의 화질 검사에 나쁜 결과를 초래할 수 있다. 더구나 블록의 경계 값들은 경계 주변의 블록 내부의 값들과 상관도(Correlation)가 상당히 높다. 따라서 이 절에서는 각 블록의 국부 영역에서는 최적이지 아니더라도, 전체 영상에 대하여 최적인 필터에 대해 살펴보려고 한다.

그림 3은 전역 최적 필터를 포함한 영상처리 시스템을 나타내고 있다. 그림 3의 전개는 1차원 신호를 가정하였으나, 2차원 영상 신호는 1차원 신호의 경우를 확장하여 생

각할 수 있다. 여기서 w_i 는 각 블록의 화소를 나타내는 N차원 벡터이고, d_i 는 각 블록에 독립적으로 부가되는 양자화 오류에 대한 벡터로서, w_i 와 상관성(Correlation)이 없다고 가정한다.

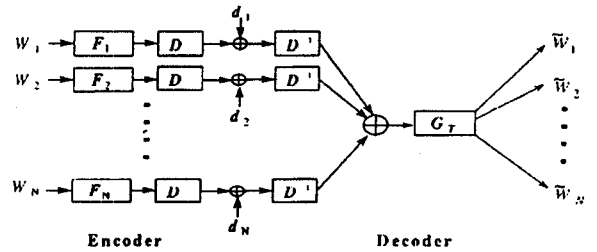


그림 3. 전역 최적 필터 G_T
Fig. 3. Globally Optimal Filter G_T

그림 3에서 D 는 DCT 변환 행렬이고, D^{-1} 은 IDCT 행렬이다. F_i 는 전처리기로써, 일반적인 영상 부호기에서 각 블록마다 블록경계 현상을 제거하기 위해 적용하는 전처리가 설정되어 있지 않으므로, 본 논문에서는 이를 단위 행렬(Identity Matrix)로 가정하였다. \hat{w}_i 는 전역 필터를 통과한 복원 영상이다. 그림 3에서 전체 영상을 여러 개의 작은 벡터로 나누고, 각 벡터를 서로 독립적인 부호기에서 별도로 처리한다. 그러나 디코더에서 전역 최적 필터(G_T)를 얻기 위해서 각 부호화된 벡터를 모아서 처리한다. 이러한 시스템의 동작을 간단히 분석하기 위해 단지 2개의 블록을 고려한 간략화된 모델을 그림 4와 같이 설정하였다.

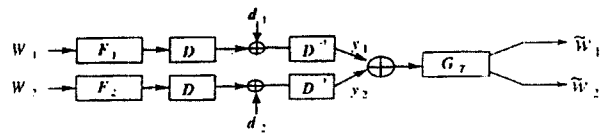


그림 4. 간략화된 모델
Fig. 4. Simplified Model

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

$$K_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad K_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

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

$$x = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}, \quad \tilde{x} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \\ \tilde{w}_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

입력 신호 x 와 블록 w_1 과 w_2 는 행렬 K_1 과 K_2 와의 Kronecker Product^[8]를 사용하여 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ 0 \end{bmatrix} = K_1 \otimes w_1, \quad \begin{bmatrix} 0 \\ w_2 \end{bmatrix} = K_2 \otimes w_2 \quad (7)$$

$$x = K_1 \otimes w_1 + K_2 \otimes w_2$$

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

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}, \quad d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

그림 4에서 부호기의 출력은 입력 신호 w_i 와 양자 오류 d_i 를 이용하여 식(9)로 표현된다.

$$y_i = F_i w_i + D^{-1} d_i \quad (9)$$

이때 구하려는 최적 필터의 기준은 입력과 출력의 평균 제곱오차(MSE)를 최소화하는 것이다.

$$\zeta_w = (2M)^{-1} \{ E [\| \tilde{x} - x \|^2] \} \quad (10)$$

식(7), 식(8), 식(9)를 사용하여 식(10)을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \zeta_w = & (2N)^{-1} \text{tr} \{ E [K_1 \otimes w_1 K_1' \otimes w_1' + K_1 \otimes w_1 K_2' \otimes w_2' + K_2 \otimes w_2 K_1' \otimes w_1' + K_2 \otimes w_2 K_2' \otimes w_2'] \\ & - 2G_T E [K_1 \otimes w_1 K_1' \otimes y_1' + K_1 \otimes w_1 K_2' \otimes y_2' + K_2 \otimes w_2 K_1' \otimes y_1' + K_2 \otimes w_2 K_2' \otimes y_2'] \\ & + G_T E [K_1 \otimes y_1 K_1' \otimes w_1 + K_1 \otimes y_1 K_2' \otimes w_2 + K_2 \otimes y_2 K_1' \otimes w_1 + K_2 \otimes y_2 K_2' \otimes w_2] \} \\ & - (2N)^{-1} \text{tr} \{ G_T R_{xx} G_T' - 2G_T R_{xy} + R_{yy} \} \quad (11) \end{aligned}$$

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

$$G_{\text{Opt}} = R_{xy} (R_{yy})^{-1} \quad (12)$$

이 관계식은 Wiener 필터와 그 형태가 비슷하며, 이는 여러 경우의 영상 복원(Image Restoration)의 응용에서 최적의 해답으로 알려져 있어, 본 결과의 타당성을 뒷받침해 주고 있다. 일반적인 Wiener 필터는 주어진 전체 영상 또

는 단위 블록 단위로 구성된 모델에서 유도되었다. 그러나 본 논문에서는 서로 다른 양자화 오류 벡터가 독립적으로 각각의 블록에 영향을 주는 상황을 모델링하는 접근 방법을 이용하여 산출하였다.

이상의 과정에서 우리는 변환 계수의 양자화 오류가 블록마다 독립적으로 부가되더라도 Wiener-Hopf 방정식이 블록의 경계 현상을 제거하는 최적의 해가 됨을 밝혔다. 그리고 위의 결과를 2차원으로 확대하여 결과를 적용하였다. Wiener-Hopf 방정식은 식(12)처럼 입력과 출력의 상호 상관도(Cross-Correlation)와 출력의 자기상관도(Auto-Correlation)로 구성된다. 그리고 위 과정에서 전처리기(F)를 단위 행렬로 가정하여 그 기능을 고려하지 않았다. 이 방법은 본 논문에서 언급한 여러 가지 블록경계 현상 제거 방법들보다 거의 1dB정도 높은 SNR 값을 가졌다.

본 논문에서 유도된 식은 입력 신호의 스펙트럼 정보를 추정해야 한다. 이를 위해 입력 영상에 대한 정보를 추정하여 최적 필터에 근사화된 필터를 얻기 위해 다음과 같은 절차를 취하였다. 위의 결과식에서 입력 영상과 잡음이 서로 직교성(Orthogonality)이 존재한다고 가정하여 Wiener-Hopf 방정식을 주파수 영역에서의 관계식으로 표현하면 식(13)의 형태가 된다^[8].

$$G_{\text{Opt}}(jw_1, jw_2) = \frac{S_{xx}(jw_1, jw_2)}{S_{xx}(jw_1, jw_2) + S_{dd}(jw_1, jw_2)} \quad (13)$$

위의 식에서 S_{xx} 는 입력 영상의 전력 스펙트럼이고, S_{dd} 는 각 블록의 양자화에서 발생하는 잡음 벡터로 구성된 전체 잡음 벡터 ($D^{-1}d_1, D^{-1}d_2, \dots, D^{-1}d_N$)의 전력 스펙트럼이다. 여기서 입력 영상의 전력 스펙트럼을 가장 잘 표현하는 정보는 복원된 영상의 전력 스펙트럼 S_{yy} 이다. 이것을 S_{xx} 로 대체하고 S_{dd} 를 구하기 위해 본 논문에서는 영상 처리에 사용되는 전형적인 영상들을 가지고 각각의 비트율에서의 잡음 전력 스펙트럼을 구하였다. 그리고 각 비트율에서의 잡음 전력 스펙트럼의 평균을 S_{dd} 로 대체하였다. 일반적인 상황을 고려하여 본 논문에서는 전처리를 생략하였으나, 적절한 전처리를 사용하면 최적 필터에서 입력 스펙트럼에 대한 추정에 다소 오류가 있더라도 그 성능의 변화가 적다^[4].

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 여러 종류의 블록경계 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 일정

하게 유지하였다. 본 실험에서는 여러 알고리즘을 공정하게 비교하기 위해 각 알고리즘에서 변환 계수의 에너지에 비례하여 비트를 할당하였다. 또한 각 알고리즘에 종속적인 엔트로피 부호화는 사용하지 않았다. 그 이유는 알고리즘마다 생성되는 계수의 통계적 특성이 다르고, 엔트로피 부호화가 무손실 부호화 방법(Lossless Coding Method)이기 때문이다. 본 실험에서 나타나는 결과가 일반적인 부호화 방법보다 비트율이 높게 나타난다. 이는 무손실 부호화 방법인 엔트로피 부호화를 사용하지 않았기 때문이다. 참고로 아래 표 1, 표 2, 표 3에서 비트율이 1.0bpp일 때 블록 경계 현상을 제거하는 알고리즘을 적용하지 않은 방법(No_Process)은 일반적인 JPEG 알고리즘을 수행시킬 때의 비트율 0.28bpp에 해당한다. 그리고 실험에 사용된 영상의 크기는 256x256이다.

표 1은 LENA 영상에 대한 SNR 값을 비트율에 따라 나열한 것이다. 이 표에서 Modified Overlap 방법은 Overlap 방법의 비트율의 증가를 다른 알고리즘과 동일한 비트율로 조절하기 위해 조정된 것이므로 Overlap 방법보다 나쁜 결과를 보인다. 그리고 표 1에 나타난 Adaptive Scheme(Adap_Q)은 이단계 변환부호화 방법에서 발생하는 양자화 오류로 인한 영상의 급격한 화질 저하를 막고자 본 논문에서는 가변 양자화 방법을 적용하였다. 이 방법은 비트율이 아주 낮을 때에만 Adaptive Scheme이 적용되지 않은 이단계 부호화에 비해 그 성능이 개선됨을 관찰할 수 있다. Post-Filtering으로 명시된 것은 후처리

필터로 가우스 필터를 사용하여 블록경계 현상 제거를 시도한 방법이다^[1]. 여기서 SNR 값의 차이가 적게 나타나는 이유는 SNR 값이 블록경계 현상보다는 영상의 충실도를 측정하기에 적합한 값이기 때문이다. 표 1에 보듯이, 전역 최적 필터가 가장 좋은 성능을 보였고, ES_OPT로 명시된 근사화된 최적 필터의 결과가 최적 필터 다음의 좋은 성능을 보이고 있다.

본 실험에서는 블록경계 현상을 측정하기 위해 불연속 정도를 영상 블록의 경계를 따라 화소 차이의 절대값을 모두 더한 값으로 정의하였다. 이를 원래 영상의 불연속 정도와 복원된 영상의 불연속 정도를 각기 구하여 그 결과를 비교하였다.

표 2는 여러 알고리즘에 대해서 불연속 정도를 보여주고 있으며, 원래 영상이 가지고 있는 불연속 정도 85007에 근접할수록 좋은 성능을 갖는다고 할 수 있다. 이는 불연속성의 제거만을 고려한 블록경계 현상 제거 알고리즘은 저대역 필터처럼 윤곽선을 손상시키는 문제를 발생시킬 수 있기 때문이다. 복원 영상의 블록경계 현상은 원 영상의 불연속성과 관련이 있다. 이러한 점에서 복원 영상의 불연속성이 원 영상의 불연속성에 접근할수록 좋은 화질을 갖는다고 말할 수 있으며, 이는 실질적으로 블록경계 현상을 수치적으로 나타내주는 척도라고 할 수 있다. 여기서 최적 필터와 LOT가 좋은 성능을 보이고 있으며, 근사화된 최적 필터 역시 LOT보다 좋은 블록 경계 현상 제거 특성을 갖고 있다.

표 1. 신호대잡음비(SNR)과 비트율
Table 1. SNR versus bitrate

비트율	Modified Overlap	Post-Filtering	LOT	Two-Stage	No_Process	Adap_Q	Wiener	ES_OPT
0.5	24.08	24.50	24.11	24.33	24.22	24.41	25.09	24.50
1.0	25.42	25.62	25.59	25.57	25.38	25.66	26.44	25.74
1.5	26.75	27.19	27.10	27.35	27.13	27.39	28.34	27.55

표 2. 불연속 정도와 비트율 (원래 영상이 가지고 있는 불연속 정도:85007)
Table 2. Discontinuity versus bitrate (The discontinuity of original image:85007)

비트율	Modified Overlap	Post-Filtering	LOT	Two-Stage	No_Process	Adap_Q	Wiener	ES_OPT
0.5	46887	56178	61442	134148	132729	132738	77726	73757
1.0	53943	52276	68848	123666	127847	121787	79357	78669
1.5	65109	49346	75622	112060	116922	111601	79701	82058

표 3. 블록경계에서의 NMSE와 비트율
Table 3. NMASE along the block boundaries versus bitrate

비트율	Modified Overlap	Post-Filtering	LOT	Two-Stage	No_Process	Adap_Q	Wiener	ES_OPT
0.5	0.0397	0.0353	0.0384	0.0428	0.0471	0.0422	0.0318	0.0363
1.0	0.0293	0.0269	0.0272	0.0308	0.0346	0.0301	0.0226	0.0267
1.5	0.0217	0.0203	0.0200	0.0190	0.0220	0.0188	0.0142	0.171

본 실험에서는 블록경계 현상을 제거하는 여러 가지 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 기존의 SNR이나 MSE와는 다른 평가 방법을 도입하였다. 아래 식(14)는 일반적인 NMSE(Normalized MSE)이나, 이를 전체 영상이 아닌 블록의 경계를 따라서 적용하였다. 이렇게 함으로써 블록의 경계에서 원래 영상에 대한 변화의 정도를 고려할 수 있다.

$$NMSE = \frac{\sum_{n_1, n_2} [f(n_1, n_2) - \hat{f}(n_1, n_2)]^2}{\sum_{n_1, n_2} f(n_1, n_2)^2} \quad (14)$$

여기서 $f(n_1, n_2)$ 과 $\hat{f}(n_1, n_2)$ 는 각각 원 영상과 복원 영상에서의 화소 값을 나타낸다. 표 3에 블록의 경계에서 NMSE의 실험값들을 나열하였다. 이 표로부터 최적 필터가 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 근사화된 최적 필터는 저속의 비트율에서 가우스 필터를 사용한 후처리 방법과 비슷한 성능을 보이고 있다.

본 논문에서 논의된 모든 알고리즘은 블록경계 현상을 제거하는 방법으로 사용될 수 있다. 그러나 이러한 알고리즘은 나름대로의 장단점을 가지고 있으므로, 응용 분야에 적합한 알고리즘을 선택하여야 한다. 실험 결과로부터 논의된 모든 방법 중에서 전역적으로 최적인 필터가 가장 좋은 성능을 보인다. 또한 각 비트율에서 각각의 알고리즘



(e) Two-Stage Transform Coding

(f) Adaptive Scheme



(g) Globally Optimal Filter

(h) Approximated Globally Optimal Filter

그림 5. 복원 영상들 (블록 크기 : 16x16)
Fig. 5. Recovered images (Block Size : 16x16)



(a) 변환부호화의 복원영상

(b) Modified Overlap Method



(a) 변환부호화의 복원영상

(b) LOT



(c) Post-Filter

(d) LOT



(c) Globally Optimal Filter

(d) Approximated Globally Optimal Filter

그림 6. 복원 영상들 (블록 크기 : 8x8)
Fig. 6. Recovered images (Block Size : 8x8)

에 대해 주관적인 시각 테스트를 병행하였다. 그 결과는 최적 필터, 근사화된 최적 필터, 가변 양자화를 사용한 이 단계 부호화 방법의 순으로 좋은 성능을 보였다. 그림 5는 각각의 알고리즘에 대한 복원 영상이고, 그림 5(a)는 블록 경계 현상을 제거하기 위한 알고리즘을 적용하지 않았을 때의 복원 영상이다.

그림 6은 블록의 크기를 8x8로 하였을 때의 결과이다.

V. 결 론

본 논문에서는 블록경계 현상을 제거하기 위한 최적 필터를 Wiener-Hopf 방정식의 형태로 유도하였으며, 기존의 블록경계 현상을 제거하는 여러 가지 알고리즘을 구현하여 성능을 상호 비교하였다. 이러한 비교로부터 제안된 최적 필터의 성능이 탁월함을 보였는데, 이는 블록경계 현상을 제거하기 위해서는 블록의 주변 뿐만 아니라 전체적인 영상의 통계적 특성을 고려하여야 함을 나타내고 있다. 특히 각 알고리즘의 변환 계수의 상이한 통계적 특성을 고려하여 공정한 비교를 수행하기 위해 엔트로피 부호화 방법을 사용하지 않고 계수의 에너지에 비례하여 비트를 할당하는 방법을 사용하였다. 또한 본 논문에서는 블록경계 현상을 측정하는데 있어 SNR은 물론 불연속 정도와 블록 경계에서의 NMSE등을 정의하여 비교하였다. 이렇게 함으로써 블록경계 현상 제거를 위해 고려해야 할 다양한 요소를 살펴보았다. 본 논문에서 제안한 최적 필터는 고려된 세가지 블록경계 현상 측정 방법에서 가장 좋은 결과를 나타내었다. 또한 최적 필터에 근사화된 필터 역시 다른 알고리즘들보다 좋은 성능을 보였다.

참 고 문 헌

- [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 H. 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] J. Makhoul, "On the eigenvectors of symmetric Toeplitz matrices," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-29, pp. 868-872, Aug. 1981.
- [7] A. Tran, "Block-effect reduction in transform coding," *SPIE Visual Communications and Image Processing*, vol. 707, pp. 182-187, 1986.
- [8] A. K. Jain, *Fundamentals of digital image processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.

저 자 소 개



김 대 회

1995년 2월 서울시립대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
 1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(공학석사)
 1997년 3월 ~ 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
 주관심분야 : 디지털 영상처리, 비디오 신호처리, 영상분할



호 요 성

1981년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1983년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1990년 3월 University of California at Santa Barbara 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)
 1983년 ~ 1995년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1990년 ~ 1993년 미국 필립스연구소, 선임연구원
 1995년 ~ 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수
 주관심분야 : DTV/HDTV 시스템, 디지털 신호처리, 디지털 영상처리, 영상신호 압축, 멀티미디어 통신 시스템