

DCT 부호화된 영상에서 계단함수모형에 의한 구획잡음의 제거방법

正會員 양정훈*, 최혁*, 김태정*

Blocky Artifacts Reduction by Step-Function Modeling in DCT Coded Images

Jeonghun Yang*, Hyuk Choi* Taejeong Kim* *Regular Members*

요약

이 논문에서는 DCT를 사용하여 부호화된 영상으로부터 구획잡음을 제거하는 간단한 알고리즘을 제안한다. 구획잡음은 구획경계를 중심으로 반대칭의 형태로 나타나므로, 이 논문에서는 DCT 기저들을 이용한 1차원 반대칭 함수로서 구획잡음을 모형화한다. 제안된 잡음모형의 주파수 특성으로부터, 잡음모형의 고주파성분들을 계단함수에 의한 고주파 성분으로 근사한다. 제안된 알고리즘은 $N \times N$ 구획별로 부호화된 영상에 대해 $2N$ 차 DCT영역에서 계단함수에 의한 고주파 성분들을 제거하는 것이다. 또한 이 알고리즘이 공간영역에서 적은 계산량으로 간단히 수행될 수 있음을 보였다. JPEG 알고리즘을 사용하여 부호화된 영상에 대한 실험을 통하여 제안된 방법이 주관적, 객관적으로 우수한 화질을 보임을 알 수 있다.

ABSTRACT

A simple postprocessing algorithm is proposed to reduce the blocky artifacts of Block Discrete Cosine Transform (BDCT) coded images. Since the blocky noise is mostly antisymmetric relative to the block boundaries, we model the blocky noise as one-dimensional antisymmetric functions made by superposing DCT basis functions. Observing the frequency characteristics of the noise model, we approximate its high frequency components as those of step functions. Then the proposed postprocessing algorithm eliminates the carefully selected high frequency components of step functions in the one-dimensional $2N$ -point DCT domain, when the encoding block size is $N \times N$. It is shown that the proposed algorithm can also be performed in the spatial domain without computational burden of transforms. The experimental results show that the proposed algorithm well reduces the blocky artifacts in both subjective and objective viewpoints.

I. 서론

정지영상 또는 동영상에 대한 압축방법으로서 구획

별 DCT(이산코사인 변환)에 기초한 방법들이 많이 사용되고 있다. 그러나 이 압축방법은 구획별로 독립적인 DCT 계수의 양자화를 하므로 복호된 영상에서는 구획간 경계차가 눈에 보이는 구획잡음이 나타나게 된다. 구획잡음을 제거하기 위한 기존의 방법들은 구획간 경계차를 줄이도록 구획경계 화소값들을 보정

* 서울대학교 전기공학부
論文番號: 97318-0906
接受日字: 1997年 9月 6日

하거나 또는 저역필터링을 통하여 구획잡음에 의한 고주파성분들을 제거하는 방법 등으로 대표될 수 있다.

구획경계 화소들간의 차를 줄이는 방법[1][2][3]은 구획간의 경계차를 없애는 데효과적일 수는 있지만 각 구획내에 새로운 경계차를 유발함으로써 구획잡음을 완전히 제거하는데는 한계가 따른다. 저역필터링에 의한 방법[4][5][6][7]은 구획잡음에 의한 고주파 성분을 줄임으로써 평탄한 영상을 얻을 수 있지만, 영상의 모서리 성분 등 고주파 성분들에 대한 문드러짐이 나타나는 단점이 있다.

이 논문에서는 위에 언급된 두가지 문제점을 모두 보완하기 위한 간단한후처리 알고리즘을 제안한다. 구획잡음은 구획경계를 중심으로 반대칭의 형태로 나타나므로, DCT 계수들을 증첩한 1차원 반대칭 함수로 구획잡음을 모형화한다. 이 모형에서 DCT계수들에 대한 가중치는 부호화 과정에서 DCT계수에 들어간 양자화 오차들의 영향을 반영하게 된다. 그리고 구획잡음의 주파수 영역 특성에 대한 분석을 통하여, 구획잡음의 고주파 성분들을 계단함수의 고주파 성분으로 근사하는 간단한 모형을 제시한다. 이때 계단함수에 대한 계단의 크기는 구획경계에서 나타나는 구획간 경계차로서 구해지게 된다. 제안된 알고리즘은 $N \times N$ 구획별로 부호화된 영상에 대하여 $2N$ 차 DCT 영역에서 계단함수에 의한 고주파 성분들을 제거하는 것이다. 또한 계산량을 줄이기 위하여 공간영역에서 수행될 수 있음을 보인다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 구획잡음의 1차원적인 특성에 기초한 모형을 제시한다. 3장에서는 잡음모형의 특성에 기초한 구획잡음제거 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 실제 부호화된 영상의 잡음제거에 사용한 결과를 제시하고, 5장에서 제안된 알고리즘의 성능과 계산상 잇점을 분석하고 결론을 맺는다.

II. 구획잡음의 특성

2.1 공간영역 특성

JPEG 등의 BDCT에 기반한 영상 부호화 알고리즘은 다음과 같은 DCT 기저를 사용한다.

$$C_N(k, m) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{if } k = 0 \\ \frac{2}{\sqrt{N}} \cos\left(\frac{(2m+1)}{2N} \pi k\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$k, m = 0, 1, \dots, N-1$$

부호화 과정은 먼저 $N \times N$ 구획별로 DCT계수를 구하고 그 계수들에 대한 양자화 과정을 거친다. 그림 1에 $N=8$ 인 경우의 DCT 기저를 보였는데, DC를 제외한 저주파 기저일수록 경계위치의 값이 상대적으로 커진다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 영상은 양자화에 의해 나타나는 오차도 대부분이 저주파 계수에 집중되므로, 구획경계화소에 대한 오차가 다른 부분보다 상대적으로 커지리라는 것을 예상할 수 있다. 즉 각 변환계수에 대한 오차의 평균을 0이라고 가정할 때, 분산을 $\sigma_c^2(m, n)$ 이라고 하고 각 오차에 대한 상관성이 없다고 가정하면 공간영역에서의 오차의 분산은

$$\sigma_c^2(m, n) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} \sigma_c^2(k, l) [C_N(k, m)]^2 [C_N(l, n)]^2, \quad (2)$$

$$m, n = 0, 1, \dots, N-1$$

이 되므로 경계에서의 기저의 값이 큰 저주파계수에 오차가 집중될 경우 구획경계화소에 대한 오차가 상대적으로 커진다. 이러한 현상에 의해 부호화된 영상에서 구획경계 위치에서 계단모양의 구획잡음이 나타나게 된다. 이러한 구획잡음은 구획간에 나타나는 것이므로 그림 1에 나타난 것과 같이 인접한 두 구획의 화소열 또는 화소행으로 구성된 벡터 $x = (x(0) \dots x(2N-1))^T$ 를 정하여 후처리에 이용한다[3]. 구획잡음이 나타나는 경우의 일반적인 화소값의 분포는 그림 3의 예와 같이 나타난다. 그림에서 구획경계 화소값의 오차가 커지며 또한 오차가 반대칭의 형태를 보임을 알 수 있다.

2.2잡음 모형

2.1절에서 구획잡음은 N 차 DCT의 저주파 계수들에 의한 오차에 의해 크게 좌우되며, 1차원적인 공간영역 잡음은 구획의 경계를 중심으로 반대칭 형태로 나타

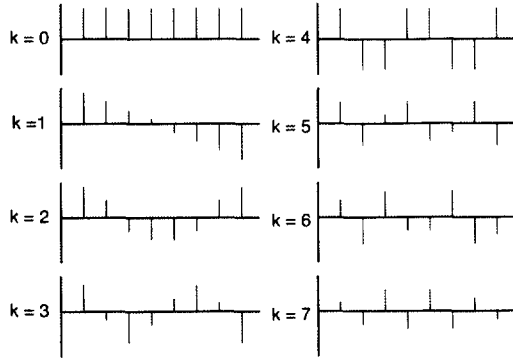


그림 1. 8차 DCT 기저함수
Fig. 1. 8-point DCT basis functions.

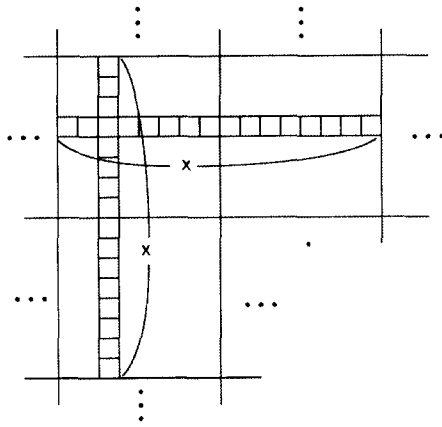


그림 2. 인접한 두 구획의 행 또는 열로부터 화소벡터의 구성.
Fig. 2 of pixel vectors form the rows and columns of two neighboring blocks.

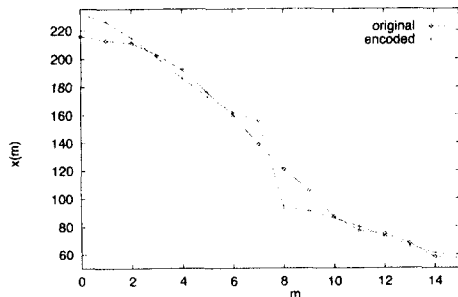


그림 3. 원영상과 8×8 DCT부호화된 영상의 화소벡터의 예.
Fig. 3 Typical pixel values in a vector from the original and its 8×8 DCT encoded version.

남을 보았다. 여기서는 저주파 \$P+1\$개의 \$N\$차 DCT 계수들이 구획간 경계차에 영향을 미친다고 가정하여, 구획잡음 모형 \$\delta(m)\$을 다음과 같이 \$N\$차 DCT 기저함수들을 반대칭으로 연결하여 정의한다.

$$\delta(m) = \begin{cases} \sum_{p=0}^P e(p)C_N(p, m) & m = 0, \dots, N-1 \\ -\sum_{p=0}^P e(p)C_N(p, 2N-m-1) & m = N, \dots, 2N-1 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 \$e(p)\$는 \$N\$차 DCT에서 \$p\$번째 계수에 대한 가중치(weight)를 나타내며, 각 부벡터의 계수들에 대한 양자화 오차로부터 구해질 수 있는 값이다. \$P\$는 구획잡음에 크게 영향을 주는 저주파 계수의 갯수로부터 구해지는 값으로서, 다음 절에서 자세히 설명하기로 한다. 식 3에 정의한 잡음의 모형 \$\delta(m)\$은 반대칭 함수들을 \$e(p)\$의 가중치를 가지고 일차결합(linear combination)한 것으로서 이 역시 반대칭임을 쉽게 알 수 있다. 위의 \$\delta(m)\$은 식 6의 반대칭 함수들을 이용하여 (4)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\delta(m) = \sum_{p=0}^P \beta(p)b(p, m), \quad m = 0, 1, \dots, 2N-1 \quad (4)$$

여기서

$$\beta(p) = 2e(p)C_N(p, N-1) \quad (5)$$

이고

$$b(p, m) = \begin{cases} \frac{C_N(p, m)}{2C_N(p, N-1)} & m = 0, \dots, N-1 \\ \frac{C_N(p, 2N-m-1)}{2C_N(p, N-1)} & m = N, \dots, 2N-1 \end{cases} \quad (6)$$

식 (4)의 \$b(p, m)\$들은 경계차들이 \$b(p, N-1)-b(p, N)=1, p=0, 1, \dots, N-1\$의 값을 가지도록 정규화(normalization)된 것이므로, 식(4)-(6)으로 정의된 잡음모형에 의해 \$D \triangleq \sum_{p=0}^P \beta(p)\$의 구획간 경계차가 나타남을 알 수 있다. 예를 들어 \$P=2\$인 경우, (4)의 잡음모형은 그림 4에 나타난 \$b(p, m)\$들의 일차결합으로 나타내어진다. 결국 함수 \$b(p, m)\$들은 구획잡음 모형에서 기저함수와 같은

역할을 함을 알 수 있다.

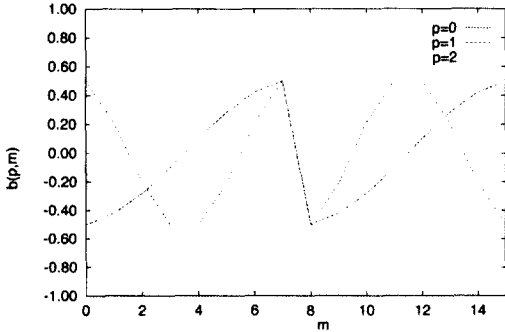


그림 4. $b(p,m)$ 의 예($N=8$).
Fig. 4 Example of $b(p,m)$'s ($N=8$).

III. 잡음모형에 의한 구획잡음제거 알고리즘

잡음모형을 이용하여 구획잡음 제거하기 위해서는 식 (4)에서 $\beta(p)$ 들의 값을 구하여야 한다. 그러나 부호화된 영상에는 DCT 계수들의 양자화 오차에 대한 정보가 나타나 있지 않기 때문에, $\beta(p)$ 의 값을 주어진 부호화 영상으로부터 정하는 것은 어렵다. 따라서 여기서는 함수 $b(p,m)$ 들의 주파수 특성으로부터 간단한 잡음모형을 만들고 이를 구획잡음제거에 이용한다.

3.1 간단한 잡음모형

함수 $b(p,m)$ 들에 대한 $2N$ 차 DCT 계수들 중 홀수번째 계수들이 그림5에 나타나 있다. $b(p,m)$ 들이 모두 반대칭이므로 짝수계수들은 모두 0이며, 따라서 그림에 나타나 있지 않다.) 이 그림으로부터 주파수가 증가함에 따라 $b(p,m)$ 의 계수들이 $b(0,m)$ 즉 계단함수의 계수들과 비슷한 분포를 나타냄을 알 수 있다. 실험적으로, $b(p,m)$ 들의 $2N$ -DCT 계수들 중 $2p+3$ 이상의 주파수를 갖는 홀수 계수들의 분포가 계단함수 $b(0,m)$ 의 계수분포와 거의 일치한다는 것을 알 수 있다. 따라서 $b(p,m)$ 의 $2N$ -DCT 계수들을 $B_p(k)$ 라고 한다면,

$$B_p(k) \approx B_0(k), k = 2p+3, 2p+5, \dots, 2N-1 \quad (7)$$

이라고 할 수 있다. 구획잡음은 고주파 성분들에 의한

것이라고 알려져 있으므로 [5][7], 식(4)의 구획잡음 모형은 (7)를 이용하여 $2N$ -DCT 영역에서 다음과 같이 간단하게 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\Delta}(k) &= \sum_{p=0}^P \beta(p)B_p(k) \\ &\approx \sum_{p=0}^P \beta(p)B_0(k) \\ &= DB_0(k), \quad k = 2P+3, 2P+5, \dots, 2N-1; \quad (8) \end{aligned}$$

여기서 구획간 경계차 D 는 부호화된 영상으로부터 추정되는 값이다. 식 (8)에서 정해지지 않은 계수 $\hat{\Delta}(k)$ 들은 저주파 성분들 또는 구획간 대칭성분을 나타내는 계수들로서 0으로 간주된다.

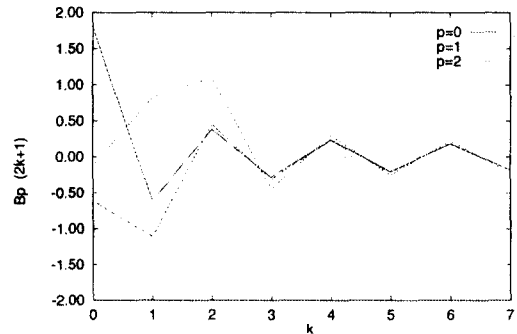


그림5. $b(p,m)$ 에 대한 $2N$ 차 DCT 홀수계수 ($N=8$).
Fig. 5 Odd-numbered $2N$ -point DCT coefficients of $b(p,m)$'s ($N=8$).

실제 부호화된 영상의 $2N$ -DCT 영역 계수들에 대한 잡음대 신호비(noise to signal ratios)가 그림6에 나타나 있다. 그림에서 주파수가 커질수록 홀수계수들에 대한 잡음의 비율이 커진다는 것을 알 수 있다. 어느 정도 이상의 고주파 성분들의 경우에 잡음의 크기가 신호의 크기보다 크며, DCT 영역에서 홀수계수들은 공간영역에서 구획간 반대칭인 성분들을 나타내므로, 이 그림으로부터 고주파 반대칭 성분들이 구획간 반대칭인 구획잡음에 크게 영향을 미침을 알 수 있다. 이는 식 (ref{eq:qerror})등에 대한 설명에서 구획잡음에 대한 저주파 계수의 영향이 크다는 것과는 잘 구별되어야 하는 것으로서 여기서 말하는 주파수는 $2N$ -

DCT 에서의 주파수이다. 이들 반대칭 성분들은 구획 잡음이 눈에 띄게 하는데 결정적인 역할을 하므로, 2N-DCT 영역에서의 고주파 홀수계수들에 대한 후처리가 구획잡음 제거에 반드시 필요함을 알 수 있다.

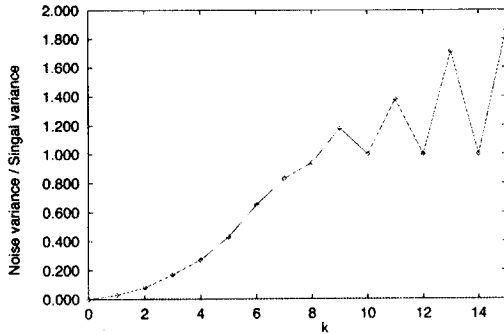


그림 6. 부호화된 영상의 2N차 DCT계수들에 대한 잡음대 신호비(N=8).

Fig. 6 Noise to signal ratios of 2N-DCT coefficients in an encoded image(N=8).

3.2 구획간 경계차

2.2절에서 정의된 구획간 경계차 D 는 $2N$ 크기의 벡터 내에서 경계화소간 차이가 구획잡음에 의해 커지는 정도를 나타내는 양이다. 부호화된 영상에서의 벡터가 주어져 있다면, 구획간 경계차는 각 부벡터내의 인접화소간 기울기에 비하여 경계화소간에 나타나는 기울기가 얼마나 커지는가에 따라 달라진다고 생각할 수 있다. 각각의 화소벡터 x 에 대하여 경계화소의 기울기 d_{N-1} 는 $x(N-1)-x(N)$ 이고, 내부화소들간의 기울기는 $x(m)-x(m+1)$, $m=0, \dots, N-2, N, \dots, 2N-2$ 이므로, 구획 내부 화소들간의 기울기가 부호화 과정에서 잘 보존되어 있다고 가정할 경우, 구획간 경계차를 다음의 식 9과 같이 구할 수 있다.

$$D = d_{N-1} - \frac{s_r + s_l}{2}, \quad (9)$$

여기서 $\frac{x(0)-x(N-1)}{N-1}$ 과 $s_r = \frac{x(N)-x(2N-1)}{N-1}$ 들은

그림 7에 보인 바와 같이 주어진 화소벡터에 대한 각 부벡터 x_l 과 x_r 내의 화소들에 대한 평균기울기를 각각 나타낸다.

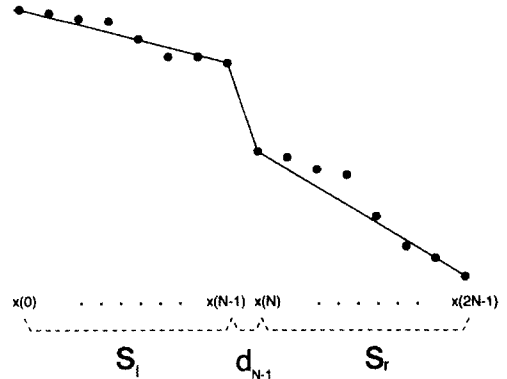


그림 7. 개계화소간 기울기와 내부화소간 기울기.

Fig. 7 The of boundary pixel slope and internal pixel slopes.

3.3 구획잡음제거 알고리즘

이 절에서는 3.1절에서 설명한 구획잡음 모형을 이용한 구획잡음제거 알고리즘을 제안한다. $X = (X(0), \dots, X(2N-1))$ 를 다음의 식 (10)과 같이 벡터 x 에 대한 2N-DCT 계수벡터라고 하자.

$$X(k) = \sum_{m=0}^{2N-1} x(m)C_{2N}(k, m), k = 0, \dots, 2N-1. \quad (10)$$

여기서 제안하는 알고리즘은 2N-DCT 영역에서 식 (8)로 주어진 계단함수형태의 고주파 성분들을 다음과 같이 제거한다.

$$\hat{X}(k) = \begin{cases} X(k) - DB_0(k), & k = 2P+3, 2P+5, \dots, 2N-1 \\ X(k), & otherwise \end{cases} \quad (11)$$

여기서 D 는 후처리되는 현재의 입력벡터에 대해 식 (9)에 의해 구해진다. 식 (11)의 알고리즘이 실제 부호화된 영상의 주파수 영역에 어떤 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 식 (10)을 대입하면,

$$\hat{X}(k) = \begin{cases} \sum_{m=0}^{2N-1} x(m)C_{2N}(k, m) - D \sum_{m=0}^{2N-1} b(0, m)C_{2N}(k, m), & k = 2P+3, 2P+5, \dots, 2N-1 \\ \sum_{m=0}^{2N-1} x(m)C_{2N}(k, m), & otherwise \end{cases}$$

$$\tilde{x}(m) = \begin{cases} \sum_{k=0}^{2N-1} \tilde{x}(m) C_{2N}(k, m), k=2P+3, 2P+5, \dots, 2N-1 \\ \sum_{k=0}^{2N-1} x(m) C_{2N}(k, m), otherwise \end{cases} \quad (12)$$

를 얻을 수 있고, 여기서

$$\tilde{x}(m) = \begin{cases} x(m) - \frac{D}{2}, m=0, \dots, N-1 \\ x(m) + \frac{D}{2}, m=N, \dots, 2N-1 \end{cases} \quad (13)$$

임을 알 수 있다. 식 (12)로부터 부호화된 벡터의 후처리에 의해 나타나는 고주파 성분들은 중간단계의 벡터 $\tilde{x} = (\tilde{x}(0), \dots, \tilde{x}(2N-1))$ 에 대한 2N-DCT 계수들에 해당함을 알 수 있다. 그런데 이 중간단계의 벡터 \tilde{x} 은 각 부벡터 x_n, x_{n+1} 에서 DC 성분만이 변화한 것이므로, x_n, x_{n+1} 내의 모든 AC 성분들은 후처리된 고주파 계수들에 충실히 반영된다는 것을 알 수 있다. 따라서 여기서 제안된 후처리 알고리즘이 구획잡음을 제거하면서도 영상의 모서리 성분과 같은 고주파 성분들을 보존하는 데 효과적임을 알 수 있으며, 이는 실제 부호화된 영상에 대한 구획잡음제거 실험을 통하여 잘 확인할 수 있다.

식 (12)으로 표현된 구획잡음제거 알고리즘에서 파라미터 P 는 몇개의 고주파 성분이 (11)의 처리를 거치는가를 결정하는 값으로서, 2.2절에서 설명되었듯이 구획잡음에 큰 영향을 미치는 N-DCT 계수들의 갯수들로부터 다음과 같이 결정된다.

각각의 $N \times N$ 구획의 DCT 계수들에 대한 양자화 과정에서 작은 값을 가지는 대부분의 고주파 성분들은 제거되므로, 전송된 $N \times N$ 구획의 DCT 계수들은 소수의 0이 아닌 계수들만 남아 있게 된다. 이러한 0이 아닌 계수들에 대한 양자화 오차가 전체 오차의 대부분을 차지하므로, 구획잡음은 이들 계수들에 대한 양자화 오차에 의해 결정된다고 생각할 수 있다. 이를 자세히 설명하기 위하여 부벡터 x_n 와 x_{n+1} 에 대한 N차 DCT 계수벡터를 각각 x_n 과 x_{n+1} 이라 하자. P_1 과 $P_2 (\leq N-1)$ 를 각각 x_n 과 x_{n+1} 에서 0이 아닌 값을 가지는 계수들 중 최고 주파수 계수의 지수(index)들이라고 할 경우, N차 DCT 영역에서 $P = \max(P_1, P_2)$ 째 계수는 x_n 내의 구획

잡음을 일으키는 최고주파수 성분이라고 할 수 있다. 이 파라미터 P 는 구획간 경계차 D 와 같이 현재 후처리되는 입력벡터에 대해 구해지는 것이 아니라, 전체 영상에 대한 후처리를 위해 모든 화소벡터에 대해 미리 구해져야 한다.

3.4 공간영역에서의 처리

앞 절에서 설명된 구획잡음제거 알고리즘은 2N차 DCT 영역에서 행해지는 것이다. 그런데, 식 (8)으로 주어진 구획잡음 모형이 계단함수에 대한 몇 개의 주파수 성분 계수들로 이루어져 있으므로, 이러한 주파수 성분을 갖는 공간영역 함수를 구하여 이를 공간영역에서의 처리에 사용할 수 있다. 이를 알아보기 위하여 후처리된 \hat{x} 에 상응하는 공간영역 벡터를 $\tilde{x} = (\tilde{x}(0), \dots, \tilde{x}(2N-1))$ 라고 할 경우,

$$\begin{aligned} \tilde{x}(m) &= \sum_{k=0}^{2N-1} \hat{X}(k) C_{2N}(k, m) \\ &= \sum_{k=0}^{2N-1} \hat{X}(k) C_{2N}(k, m) - D \sum_{k=2P+3, odd}^{2N-1} B_0(k) C_{2N}(k, m) \end{aligned} \quad (14)$$

이므로,

$$\begin{aligned} B_0(k) &= \sum_{m'=0}^{2N-1} b_0(m') C_{2N}(k, m') \\ &= \sum_{m'=0}^{N-1} C_{2N}(k, m'), k \neq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

의 관계를 이용하면

$$\begin{aligned} \hat{x}(m) &= x(m) - D \sum_{k=P+1}^{N-1} \sum_{m'=0}^{N-1} C_{2N}(m', 2k+1) C_{2N}(m, 2k+1) \\ &= x(m) - DS(P, m), m=0, 1, \dots, 2N-1, \end{aligned} \quad (16)$$

임을 알 수 있다. 식 (16)에서 이중합을 나타내는 $S(P, m)$ 들은 2N-DCT 기저함수들만으로부터 계산되는 값들이므로, 그림 8에 나타난 것과 같이 알고리즘과 무관하게 미리 계산되어 저장할 수 있다. 따라서 부호화된 영상이 주어질 경우, 식 (11)으로 주어진 후처리

알고리즘은 영상의 공간영역에서 간단하게 수행될 수 있으며, 이 경우 식 (11)을 수행하기 위해 필요한 $2N$ 차 DCT 또는 IDCT의 과정이 불필요하므로, 계산량을 상당히 줄일 수 있다. 물론 P 값들은 N 차 DCT 계수들로부터 구해지지만, 다음의 절에서 보였듯이 별도의 부가적인 처리과정이 없이 전송되어 온 $N \times N$ DCT 구획으로부터 구해질 수 있다. 결과적인 후처리 알고리즘은 식 (16)의 처리를 그림 2에 나타난 모든 인접구획의 열 또는 행으로 구성되는 모든 화소벡터에 대하여 행하는 것이다. 이 경우 한 구획에 대해서 네 개의 인접구획이 있으므로, 구획내 각 화소들은 식 (16)의 처리를 네 번 거치게 되며, 한 번의 처리에 의해서 변한 값들이 다음의 처리에 순차적으로 사용되게 된다.

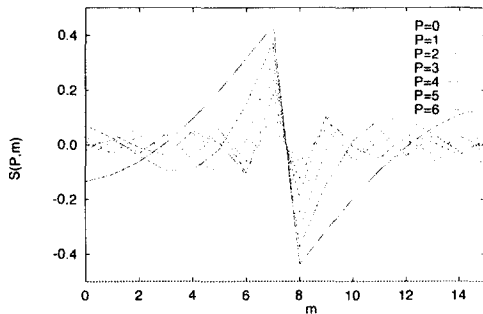


그림 8. 공간영역 처리를 위한 $S(P,m)$ 의 값($N=8$).
Fig. 8 $S(P,m)$'s for spatial domain processing($N=8$).

IV. 실험결과

제안된 후처리방법의 성능을 검증하기 위하여, JPEG 알고리즘을 사용하여 부호화된 512×512 크기의 Lenna 영상을 대상으로 하여 구획잡음제거 실험을 하였다.

표 1에 세 가지 후처리 방법에 대한 객관적인 성능을 비교하였으며, 제안된 알고리즘에 의한 결과가 가장 우수함을 알 수 있다. 기존의 두 방법은 POCS 기법을 사용한 반복처리 방법에 의한 것으로서, 알고리즘의 기본적인 동작으로서 각각 DCT 영역에서의 LPF(Paek의 방법[7])과 구획경계 화소간 가중합(Yang의 방법[1])에 기초한 것이다. 그림9에는 세 가지 처리

방법에 의한 결과영상을 부분확대하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 제안된 방법에 의한 영상이 구획잡음을 잘 제거하면서 모서리 성분들을 가장 잘 보존하고 있음을 알 수 있다.

표1. 여러가지 후처리 방법에 대한 성능비교
Table 1. Performance comparison of post-processing methods

Algorithm	PSNR
No Processing	29.81dB
Yang's[1]	30.61dB
Paek's[7]	30.74dB
Proposed	30.86dB

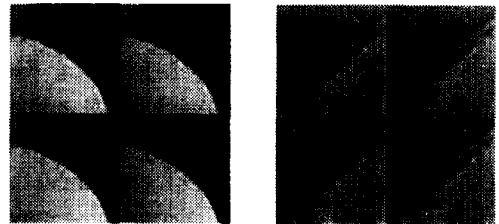


그림9. 왼쪽 위로부터 시계방향:부호화영상, Yang의 알고리즘 [1], Paek의 알고리즘[7] 그리고 제안된 알고리즘.

Fig. 9 Clockwise from top-left: no processing, Yang's[1], Paek's[7] and the proposed algorithm.

4.1 간단한 파라미터 P 를 이용한 잡음제거

부호화된 영상이 전송되었을 경우, 후처리를 위해서는 부호화된 각 $N \times N$ 구획의 DCT 계수들을 역양자화 (dequantization)하고, 역변환(inverse transform)을 하여야 한다. 이 때 3.3절에서와 같이 하나의 화소벡터에 대한 P 를 구하기 위해서는 각 부벡터에 대해 N 차 DCT를 하여 P_1 과 P_2 값을 구해야 한다. 여기에서는 이에 드는 계산량을 줄이기 위해서 이러한 파라미터들을 역양자화된 $N \times N$ 구획의 DCT 계수들로부터 바로 구해내는 방법을 다음과 같이 제안한다.

전송된 영상의 각 $N \times N$ DCT 구획에 대하여, 수평과 수직 방향으로 0이 아닌 최솟값 계수의 인덱스를 각각 P_h 와 P_v 라고 하여 저장하자. 두 개의 $N \times N$ 구획으로부터 화소벡터를 구하는 경우, P_1 과 P_2 의 값은 두 구획간 행으로부터 벡터가 정해지는 경우는 각 부벡터가 속한 구획의 수평 인덱스로부터, 그리고 열로부

터 벡터가 정해지는 경우는 각 부벡터가 속한 구획의 수직 인덱스로부터 정해지게 된다.

3.3에서 설명한 방법과는 달리 이렇게 하여 구해진 P_1 과 P_2 값들은 한 구획내에서는 동일한 값으로서 벡터에 따라 달라지지 않는다. 또한 이렇게 구한 P_1 과 P_2 값들은 각 부벡터에 대한 N 차 DCT를 통하여 얻은 값보다 같거나 크게 되므로, $P = \max(P_1, P_2)$ 로 정해지는 값 역시 3.3에서 구한 값보다 같거나 크게 된다. 이렇게 구해진 P 값들을 사용하여 구획잡음 제거를 할 경우, 벡터에 따라 다른 P 값들을 사용하는 경우와 거의 같은 결과를 보였다.

V. 검토 및 결론

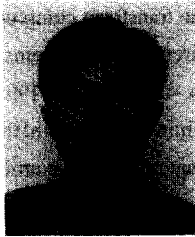
본 논문에서는 간단하면서도 매우 좋은 구획잡음제거 성능을 보이는 후처리 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 기본적인 개념은 구획잡음 모형의 주파수 특성을 이용하는 것이다. 구획잡음은 대부분 구획경계를 중심으로 반대칭 형태로 나타나므로, 본 논문에서는 DCT 기저함수들을 적절히 중첩한 반대칭 함수로 구획잡음을 모형화하였다. 모형의 주파수 특성으로부터, 고주파 DCT 계수들을 계단함수의 계수들로 근사화함으로써 간단한 모형을 제시하였고, 이를 구획잡음 제거에 사용하였다. 제안된 알고리즘에 의한 구획잡음 제거는 $2N$ 차 DCT 영역의 고주파 성분들에서 계단함수의 고주파 성분을 제거하는 것으로 행해진다. 또한, 공간영역에서의 처리가 가능하므로 적은 계산량으로 간단하게 구획잡음을 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

부호화된 영상에 대한 구획잡음 제거실험을 통하여, 제안된 알고리즘이 주관적, 객관적으로 우수한 성능을 보였다. 특히 제안된 알고리즘이, 고주파 성분들을 효율적으로 보존하므로, 모서리 성분들을 잘 표현함으로써 주관적 화질이 기존의 방법들보다 매우 우수함을 알 수 있었다. 이러한 실험결과들로부터 이 논문에서 제안한 구획잡음모형이 실제 부호화 과정에서 들어간 구획잡음을 잘 나타내고 있다고 생각된다. 또한 제안된 후처리 방법은 기존의 POCS 등에 기반한 반복적 알고리즘들에 비하여 상당히 간단하므로 실시간 처리에도 매우 유리하다는 장점을 가진다.

참고 문헌

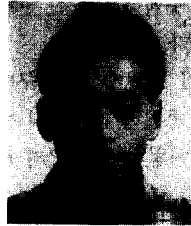
1. Y. Yang, N. Galatsanos, and A. Katsaggelos, "Regularized reconstruction to reduce blocking effects of block discrete cosine transform compressed images," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 3, pp. 421-432, Dec. 1993.
2. M. Crouse and K. Ramchandran, "Nonlinear constrained least squares estimation to reduce artifacts in block transform-coded images," *Proc. International Conference on Image Processing*, pp. 462-465, 1995.
3. J. Yang, H. Choi and T. Kim, "Blocky artefact reduction using an adaptive constrained least squares method," *Electronics Letters*, pp. 854-855, vol. 33, no. 10, May 1997.
4. B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 34, pp. 1258-1267, October 1986.
5. R. Rosenholts and A. Zakhor, "Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 2, pp. 91-95, March 1992.
6. S. J. Reeves and S. L. Eddins, "Comments on 'Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding'," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 3, pp. 439-440, December, 1993.
7. H. Paek and S-U. Lee, "A projection-based post-processing technique to reduce blocking artifact using it a priori information on DCT coefficients of adjacent blocks," *Proc. International Conference on Image Processing*, pp. 53-56, 1996.
8. A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice-Hall:Englewood Cliffs, NJ, 1989.
9. H. Choi and T. Kim, "Blocky noise reduction in block-coded images using wavelet-based subband

decomposition," Submitted for publication in *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*



양 정 훈(Jeong Hun Yang) 정회원
1967년 11월 8일생
1990년 2월: 서울대학교 전자공
학과(공학사)
1992년 2월: 서울대학교 전자공
학과(공학석사)
1992년 3월~현재: 서울대학교 전
자공학과 박사과정

*주관심분야: 영상신호처리
yjh@pine.snu.ac.kr.



최 혁(Hyuk Choi) 정회원
1971년 2월 12일생
1994년 2월: 서울대학교 전자공
학과(공학사)
1996년 2월: 서울대학교 전자공
학과(공학석사)
1996년 3월~현재: 서울대학교 전
기공학과 박사과정

*주관심분야: 영상신호처리
camel@pine.snu.ac.kr

김 태 정(Tae Jeong Kim) 정회원
통신학회 논문지 제21권 제6호 참조
pkim@snu.ac.kr