

압축영상의 화질향상을 위한 블록킹 현상 제거에 관한 연구

正會員 이주홍*, 김민구*, 정제창*, 최병욱*

Blocking Artifacts Reduction for Improving Visual Quality of Highly Compressed Images

Jooheung Lee*, Mingu Kim*, Jechang Jeong*, and
Byunguk Choi* *Regular Members*

※이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

요 약

블록 변환 부호화는 가장 널리 사용되고 있는 영상 압축의 한 방법이다. 한 예로 이산 여현 부호화는 MPEG-1, MPEG-2, JPEG, H.261과 같은 국제 표준에서 널리 사용되고 있다. 이러한 블록 단위의 변환 부호화에서, 특히 압축률이 높은 응용 분야에서는 그 변환 계수들의 양자화 에러가 커져 블록의 경계면을 따라 소위 블록킹 현상이 발생하여 화질 열화의 원인이 되고 있다. 본 논문에서는 고능률 변환 부호화 영상 압축에 있어서의 새로운 블록킹 현상 제거 기법을 제안한다. 블록킹 현상을 제거하기 위해, 수신측에서 복원된 영상에 블록단위로 적절한 보상항을 더하여 경계면의 불연속성을 감소시키고자 한다. 이때의 보상항은 경계면에서 직교인 28개의 기저영상의 선형 결합으로 이루어지는데, 이 28개의 경계 직교 기저 영상들을 구하기 위해, 블록 경계면 화소값들이 각각 선형 독립인 28개의 DCT 커널 함수들에 Gram-Schmidt 방법을 적용한다. 또한, 제안된 방법을 적용할 때 윤곽선이 흐려지는 것을 방지하기 위해 블록 불연속 임계치를 정의하여 적응적으로 제안된 방식을 적용한다. 또, 압축률의 변화에 따른 블록킹 현상의 효과적 제거를 위해 필요한 기저 영상의 개수를 고찰한다.

ABSTRACT

Block-transform coding is one of the most popular approaches for image compression. For example, DCT is widely used in the international standards such as MPEG-1, MPEG-2, JPEG, and H.261. In the block-based

*한양대학교 전자통신공학과
論文番號:96385-1213
接受日字:1996年 12月 13日

transform coding, blocking artifacts may appear along block boundaries, and they can cause severe image degradation especially when the transform coefficients are coarsely quantized.

In this paper, we propose a new method for blocking artifacts reduction in transform-coded images. For blocking artifacts reduction, we add a correction term, on a block basis, composed of a linear combination of 28 basis images that are orthonormal on block boundaries. We select 28 DCT kernel functions of which boundary values are linearly independent, and Gram-Schmidt process is applied to the boundary values in order to obtain 28 boundary-orthonormal basis images. A threshold of block discontinuity is introduced for improvement of visual quality by reducing image blurring. We also investigate the number of basis images needed for efficient blocking artifacts reduction when the compression ratio changes

I. 서 론

최근 다양한 형태의 멀티미디어와 정보고속도로를 주축으로 하는 정보화 사회의 실현을 눈앞에 두고, 영상정보의 능률적 저장 및 전송을 위한 MPEG-1, MPEG-2, JPEG, H.261과 같은 국제 표준 규격들이 차례로 제정되고 있다. 이러한 국제 표준들의 핵심요소로 자리를 잡고 있는 이산여현변환(DCT: Discrete Cosine Transform)과 같은 블록변환 부호화에 있어서 화질을 열화시키는 주요 요인은 이른바 블로킹 현상(Blocking Artifacts)으로서 이는 각 블록이 변환된 후, 고압축률을 얻는 과정에서 변환 계수들의 양자화 오류가 커짐으로써 블록 경계에서 불연속성이 마치 타일을 칸 것처럼 규칙적으로 나타나는 현상이다. 이러한 블로킹 현상을 감소시키기 위하여 그동안 많은 연구들이 보고되어 왔다. 접근 방식의 한 예로는 인접한 블록들을 부호화하는데 있어서 어느 정도의 상관성을 가질 수 있도록 하기 위하여 각 블록들을 어느 정도 겹쳐지도록(overlapped) 하는 것이다[1, 2]. 다른 접근 방식으로는 블로킹 현상의 가시도(可視度)가 블록 불연속 부분의 높은 공간 주파수에 기인함을 고려하여 블록 경계면들의 각 화소들에 저대역 통과 필터링을 하는 것이다[2-4]. 고주파 강조(High frequency emphasis)를 갖는 Gaussian 저대역 통과 필터가 가장 뛰어난 성능을 나타냄을 관찰하기 위하여 Jarske는 몇 가지 다른 필터들을 적용하였다[4]. 또한, POCS (projections onto convex sets) 이론에 기초한 방법[5]과 constrained least-square 방법[5, 6]이라는 두가지의 유사한 접근 방식이 보고되고 있다. 이러한 접근법들은 원 영상의 매끄러움(smoothness)에 관한 전(前) 정보(prior knowledge)를 사용하여 영상을 복원한다.

Yang은 크기가 제한된 양자화 변환 계수들(bounded quantized transform coefficients)에 관한 전(前) 정보와 블록 경계면들에 있어서의 화소차(pixel differences)들을 사용하였다[5]. 복원 영상은 선택적으로 이 전(前) 정보를 복원 영상에 가하는 반복적인 방법에 의하여 얻어진다. Zakhor는 constrained minimization 시도에서 양자화와 대역 제한 조건이라는 두 가지의 제한조건들을 사용하였다[6]. 최근에 개발되고 있는 또 다른 흥미로운 접근 방식으로는 블록 현상의 제거 [7, 8] 또는 예리 은닉[10, 11]을 위한 보상항들의 기저로써 DCT 커널 함수들을 사용하는 것과 블록의 경계면에 있어서의 불연속을 최소화하기 위한 보상항들의 DCT 계수들을 알아내는 것들이 있다. 또한, 최소자승 블록 불연속 기준(the least square block discontinuity criterion)을 바탕으로 하여 블로킹 현상을 감소시킬 수 있는 접근 방식을 제안하였던 연구[8, 9]에서는 k번째 블록에서의 블록 경계 불연속 D_k 라는 양을 정의하여 블로킹 현상이 발생하는 정도를 정량화할 수 있는 기준을 만들었으며, 이렇게 정의된 블록 경계 불연속을 최소화하기 위하여(즉, 블로킹 현상을 감소시키기 위하여) 블록 경계면에서 직교인(boundary orthogonal) 2차원 함수의 개념을 도입하였다. 이러한 2차원 함수들의 가중합은 각 블록의 경계면에서 발생하는 블록 불연속을 감소시키기 위하여 복호영상에 더해지게 되며, 경계 직교 2차원 함수들의 각 계수들은 블록 경계면에서의 내적 개념을 이용하여 쉽게 얻을 수 있음을 보였다. 그리고 컴퓨터 모의실험에서 실제 적용된 경계 직교 2차원 함수는 다음과 같은 2가지 종류의 간단한 보상항들이 사용되었다.

$$S_1(x, y) = x - x_0$$

$$S_2(x, y) = y - y_0 \quad (1)$$

$$S_3(x, y) = 1$$

$$S_1(x, y) = \frac{\sqrt{2}}{N} \text{COS} \frac{(2x+1)\pi}{2N}$$

$$S_2(x, y) = \frac{\sqrt{2}}{N} \text{COS} \frac{(2y+1)\pi}{2N} \quad (2)$$

$$S_3(x, y) = \frac{1}{N}$$

압축률이 높지 않은 영상에서는 위의 보상항들을 이용해서도 좋은 결과를 얻을 수 있었으나, 압축률이 높은 영상의 경우에는 효율적으로 블록킹 현상을 제거할 수 없는 단점이 있었다.

본 논문에서는 연구[8, 9]에서 제안한 경계 직교 함수의 개념을 바탕으로 다음과 같은 조건들을 고려하여 보다 효과적으로 블록킹 현상을 제거할 수 있는 특별한 부류의 2차원 함수들을 유도한다.

① 8×8 블록의 경계면을 이루는 28개의 화소들에서 발생하는 블록 경계 불연속을 충분히 보상하기 위해서는 경계면에서의 값들이 서로 선형 독립인 28개의 기저 영상들(basis images)이 필요하다.

② 화면에 불규칙하게 퍼져 있는 화소값들을 여러 주파수의 영상성분들로 분해하여, 에너지를 효율적으로 집중시킬 수 있는 이산 여현 변환의 기저 영상들을 이용한다. 단, 영상의 직교변환 후 저주파쪽으로 에너지가 집중되는 점을 고려하여 DC를 기준으로 경계에서의 값들이 서로 선형 독립인 28개의 기저 영상들을 선택한다.

③ 이산 여현 변환의 커널 함수들중에서 얻은 28개의 기저 영상들은 경계에서 서로 직교하지 않기 때문에 많은 계산량을 필요로 하는 단점을 가진다. 그러므로, 경계 직교인 기저 영상들을 만들어 주기 위해 Gram-Schmidt Process를 적용할 필요가 있다.

④ 블록 경계면에서의 보상이나 수행되면 경계면 안쪽의 새로운 화소값들에서 또다른 불연속이 발생하게 되므로 이를 방지하기 위해 경계 직교인 기저 영상들의 내부 화소들을 완만히 연결시켜줄 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 방법으로서 Gram-Schmidt Process, 이중선형 보간법, 선형 보간법등을 이용한다.

이러한 과정을 거쳐 만들어진 2차원 기저 영상들을 이용하여 압축률이 높은 영상에서도 효율적으로 블

록킹 현상을 제거하고자 하였으며, 블록 불연속 임계치를 정의하여 블록킹 현상을 제거하는 과정에서 발생할 수 있는 영상 에지의 손상을 방지하여 더욱 높은 화질의 향상을 얻고자 하였다. 또한, 압축률과 블록 불연속 크기와의 상관 관계를 알아 보며, 압축률이 높아질수록 심화되는 블록킹 현상을 효과적으로 제거하기 위하여 필요한 기저 영상의 개수들을 주관적 화질 평가를 통하여 고찰한다.

II. Boundary-orthonormal 함수

원 영상이 함수 $f(x, y)$ 에 의하여 표현되고 그 블록-변환된 계수들이 양자화를 거쳐 복호기로 전송된다고 하자. 복호기에서 복원된 (x, y) 좌표의 화소값을 $f_Q(x, y)$ 로 나타내면, $\epsilon(x, y)$ 으로 표현되는 원 영상과 복원된 영상과의 에러는 다음과 같이 주어진다.

$$\epsilon(x, y) = f(x, y) - f_Q(x, y) \quad (3)$$

만약 이 에러가 블록 경계면에 있어서 상당한 레벨의 불연속을 야기시킨다면 이것은 곧 수신측에서의 심각한 시각적인 장애요인이 됨을 의미한다. 블록킹 현상의 정도를 양으로 나타내기 위하여, 블록 불연속 크기는 네 개의 블록들의 경계면들에 있어서의 화소간의 차의 제곱의 합으로 정의된다[9]. 블록의 크기를 $N \times N$ 이라 할 때, k 번째 블록에 대한 블록 경계 불연속 D_k 는 다음과 같이 정의된다.

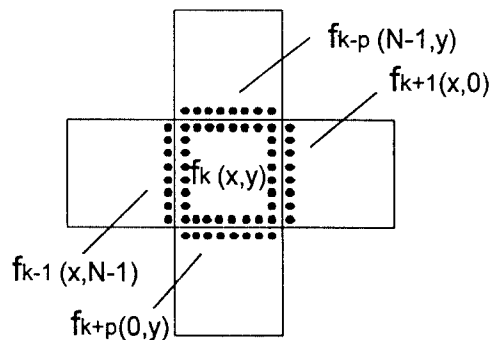


그림 1. k 번째 블록에 대한 블록 경계 불연속
Fig. 1. Block boundary discontinuity on the k -th block

$$\begin{aligned}
 D_k = & \sum_{y=0}^{N-1} [f_{k-\rho}(N-1, y) - f_k(0, y)]^2 \\
 & + \sum_{y=0}^{N-1} [f_{k+\rho}(0, y) - f_k(N-1, y)]^2 \\
 & + \sum_{x=0}^{N-1} [f_{k-1}(x, N-1) - f_k(x, 0)]^2 \\
 & + \sum_{x=0}^{N-1} [f_{k+1}(x, 0) - f_k(x, N-1)]^2
 \end{aligned} \tag{4}$$

그림 1의 $f_{k-\rho}, f_{k+\rho}, f_{k-1}, f_{k+1}$ 는 각각 k 번째 블록에 이웃하는 상좌우 블록들의 화소들을 나타낸다. 영상의 경계면을 따라 존재하는 블록들에 있어서는, 블록 경계 불연속은 이웃하는 유효한 블록들에 대해서만 고려를 한다. B 를 $N \times N$ 블록의 경계면에 존재하는 화소들의 집합으로 정의하면, 다음의 2차원 함수 $s(x, y)$ 와 $t(x, y)$ 에 대한 블록 경계면에서의 내적(inner product on the block boundaries)은, B 에 속하는 화소들에 대하여, $s(x, y)$ 와 $t(x, y)$ 의 화소간의 곱들의 가중치를 적용한 합으로써 정의한다[9].

즉,

$$\langle s, t \rangle = \sum_{(x, y)} c(x, y) s(x, y) t(x, y) \tag{5}$$

윗 식에서의 가중치 $c(x, y)$ 는 경계 화소들에 대해서는 1이 되며, 경계에 존재하지 않는 화소들에 대하여는 0이 된다. 즉, 블록 경계에 존재하는 화소들만을 내적 계산시에 고려한다는 것이다. 이 새롭게 정의된 내적은, 내적으로써 요구되는 다음의 세가지 성질들을 모두 만족한다는 점에서 타당성이 있음을 쉽게 알 수 있다. 즉,

$$\langle s, t \rangle = \langle t, s \rangle \tag{6}$$

$$\langle ar + bs, t \rangle = a \langle r, t \rangle + b \langle s, t \rangle$$

$\langle s, s \rangle \geq 0$, 단 등식이 성립하는 필요충분조건은 B 에 속하는 모든 (x, y) 에서 $s(x, y) = 0$ 일 때임.

2차원 함수의 내적에 기초하여 직교 기저가 정의된 것과 같은 방식으로, 블록 경계면에서의 내적을 바탕으로 하여 블록 경계면에서의 직교 함수, $\{s_m(x, y)\}$ 을 정의할 수 있다. 즉,

$$\langle s_m, s_n \rangle = c_m \delta_{mn} \tag{7}$$

여기서 c_m 은 m 에 의존하는 양의 상수이다. 블록 현상을 감소시키기 위한 보상항을 $\Delta f(x, y)$ 라 하자. 이 $\Delta f(x, y)$ 를 $\{s_m(x, y)\}$ 의 선형 결합으로 나타낼 수 있는데, 이 보상항을 역양자화된 수신 영상에 더했을 때 블록 경계에서의 불연속 크기가 최소화되도록 하는 것이 목표이다. 여기서, 직교성(orthogonality)을 이용하여 보상항들을 구하면 다음과 같다.

$$\hat{f}(x, y) = f_Q(x, y) + \Delta f(x, y) \tag{8}$$

$$\Delta f(x, y) = \sum_m a_m s_m(x, y) \tag{9}$$

$$a_m = \frac{\langle s_m, \Delta f \rangle}{\langle s_m, s_m \rangle} \tag{10}$$

식 9에서 $\Delta f(x, y)$ 는 $N \times N$ 크기의 에러 블록이다. 이 에러 블록의 경계면 화소들의 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta f(0, y) = -\frac{1}{2} \{f_k(0, y) - f_{k-\rho}(N-1, y)\} \tag{11}$$

$$\Delta f(N-1, y) = -\frac{1}{2} \{f_k(N-1, y) - f_{k+\rho}(0, y)\} \tag{12}$$

$$\Delta f(x, 0) = -\frac{1}{2} \{f_k(x, 0) - f_{k-1}(x, N-1)\} \tag{13}$$

$$\Delta f(x, N-1) = -\frac{1}{2} \{f_k(x, N-1) - f_{k+1}(x, 0)\} \tag{14}$$

$x, y = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 단, 블록의 네 모서리에서의 화소값은 다음과 같다.

$$\Delta f(0, 0) = -\frac{1}{2}$$

$$\left\{ f_k(0, 0) - \frac{1}{2} f_{k-\rho}(N-1, 0) - \frac{1}{2} f_{k-1}(0, N-1) \right\} \tag{15}$$

$$\Delta f(0, N-1) = -\frac{1}{2}$$

$$\left\{ f_k(0, N-1) - \frac{1}{2} f_{k-\rho}(N-1, N-1) - \frac{1}{2} f_{k-1}(0, 0) \right\} \tag{16}$$

$$\Delta f(N-1, 0) = -\frac{1}{2}$$

$$\left\{ f_k(N-1, 0) - \frac{1}{2} f_{k+\rho}(0, 0) - \frac{1}{2} f_{k-1}(N-1, N-1) \right\} \tag{17}$$

$$\Delta f(N-1, N-1) = -\frac{1}{2}$$

$$\left\{ f_k(N-1, N-1) - \frac{1}{2} f_{k+p}(0, N-1) - \frac{1}{2} f_{k+1}(N-1, 0) \right\} \quad (18)$$

여기서 어떤 블록(블록 k)에 있어서의 보상항이 이웃하는 4개의 블록과의 경계면에서의 차이값을 모두 갖지 않고 식 (11)~(14)와 같이 그 반만을 갖는 이유는 각각의 블록들이 보상항을 통해 화소값이 변화되었을 때 경계에서의 불연속성이 없어지려면 경계 양측에 있는 블록들이 각기 본래 차이값의 반씩만을 담당해야 하기 때문이다. 또한, 블록 k의 네 모서리에서는 해당 화소값과 인접하는 이웃 두 블록의 화소값의 평균과의 차이를 보상해야 하므로 식 (15)~(18)이 이용된다. 여기서, 블록 경계면에서의 내적은 경계면에 존재하지 않는 화소들은 제외한다는 점에 주목해야 한다. 경계 직교 함수들의 비경계면 화소들은 그러므로 “don't care”이지만, 각 경계 직교 함수의 경계면 화소들을 부드럽게 연결시키기 위하여 결정될 필요가 있다. 또한 경계 직교 함수들은 방정식 (10)의 분모가 사라지도록 하기 위하여 정규화되어야 할 수 있는데, 이 경우에 “boundary orthogonal”이라는 명칭은 “boundary orthonormal”로 대체되어야 한다. 블록킹 현

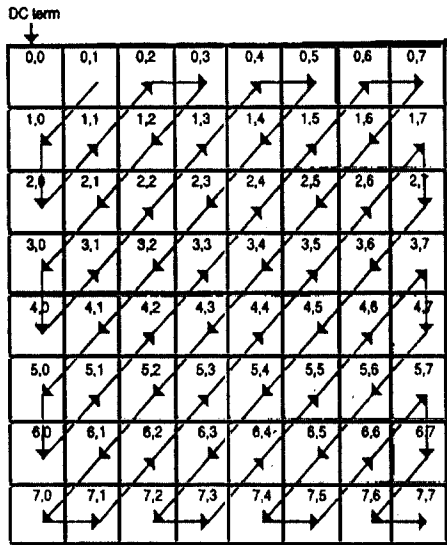
상의 감소를 위한 경계 직교 함수들을 사용하도록 제안된 이 방법은 계수들의 계산이 용이하여 실시간 응용에서도 쉽게 구현될 수 있다는 점에서 DCT에 기초한 방법[7, 8, 10, 11] 보다 유리하다. 제안된 2차원 함수들의 특별한 경우로서 8×8 DCT 커널 함수들 중에서 다음과 같이 DC를 포함한 가장 낮은 저주파 성분 3개를 사용할 수도 있다[9].

$$S_1(x, y) = \frac{\sqrt{2}}{N} \cos \frac{(2x+1)\pi}{2N}$$

$$S_2(x, y) = \frac{\sqrt{2}}{N} \cos \frac{(2y+1)\pi}{2N} \quad (19)$$

$$S_3(x, y) = \frac{1}{N}$$

이 세 함수는 boundary-orthonormal함을 쉽게 증명할 수 있다. 압축률이 높지 않아 블록킹 현상이 심하게 생기지 않는 경우에는 위의 3가지 경계 직교 함수들만을 사용하여도 대부분의 블록킹 현상을 없앨 수 있으나, 고압축률에 의하여 블록킹현상이 심화되는 경우에는 3개의 경계 직교 함수들만으로는 블록간



각 좌표는 u, v의 값을 나타낸다.

주파수 영역에서 선택된 28개의 2차원 DCT 커널 함수들	
$C_1(x, y) \leftarrow C_{0,0}(x, y)$	$C_{15}(x, y) \leftarrow C_{0,5}(x, y)$
$C_2(x, y) \leftarrow C_{0,1}(x, y)$	$C_{16}(x, y) \leftarrow C_{1,4}(x, y)$
$C_3(x, y) \leftarrow C_{1,0}(x, y)$	$C_{17}(x, y) \leftarrow C_{4,1}(x, y)$
$C_4(x, y) \leftarrow C_{2,0}(x, y)$	$C_{18}(x, y) \leftarrow C_{5,0}(x, y)$
$C_5(x, y) \leftarrow C_{1,1}(x, y)$	$C_{19}(x, y) \leftarrow C_{6,0}(x, y)$
$C_6(x, y) \leftarrow C_{0,2}(x, y)$	$C_{20}(x, y) \leftarrow C_{5,1}(x, y)$
$C_7(x, y) \leftarrow C_{0,3}(x, y)$	$C_{21}(x, y) \leftarrow C_{1,5}(x, y)$
$C_8(x, y) \leftarrow C_{1,2}(x, y)$	$C_{22}(x, y) \leftarrow C_{0,6}(x, y)$
$C_9(x, y) \leftarrow C_{2,1}(x, y)$	$C_{23}(x, y) \leftarrow C_{0,7}(x, y)$
$C_{10}(x, y) \leftarrow C_{3,0}(x, y)$	$C_{24}(x, y) \leftarrow C_{1,6}(x, y)$
$C_{11}(x, y) \leftarrow C_{4,0}(x, y)$	$C_{25}(x, y) \leftarrow C_{6,1}(x, y)$
$C_{12}(x, y) \leftarrow C_{3,1}(x, y)$	$C_{26}(x, y) \leftarrow C_{7,0}(x, y)$
$C_{13}(x, y) \leftarrow C_{1,3}(x, y)$	$C_{27}(x, y) \leftarrow C_{7,1}(x, y)$
$C_{14}(x, y) \leftarrow C_{0,4}(x, y)$	$C_{28}(x, y) \leftarrow C_{1,7}(x, y)$

그림 2. 주파수 영역에서 선택된 28개의 2차원 DCT 커널 함수들
Fig. 2. 28 DCT kernel functions selected in the frequency domain

의 불연속성을 충분히 제거할 수 없다. 그러므로, 각 블록에서의 불연속성을 충분히 제거하기 위해서는 좀 더 많은 경계 직교 함수들을 이용하여야 한다. 8×8 블록 경계면에서의 불연속성을 충분히 없애기 위해서는 경계 화소들의 개수가 28개이므로 최대 28개의 선형 독립인 2차원 함수들이 필요하게 된다. 즉, 28차원 벡터 공간에서 임의의 한 벡터를 구현하기 위해서는 28개의 선형 독립인 28차원 벡터들이 존재해야 한다. 본 논문에서는 우선 8×8 블록의 경계면에서 선형 독립인 함수들을 얻기 위하여 2차원 DCT 커널 함수 중 그림 2와 같이 저주파를 중심으로 하여 가로 방향, 세로 방향 각각 2줄씩 28개를 선택하여 사용한다.

$$C_{u,v}(x, y) = \alpha(u) \cdot \alpha(v) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right)$$

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{8}} & \text{for } u=0 \\ \sqrt{\frac{2}{8}} & \text{for } u=1, 2, \dots, 7 \end{cases} \quad (20)$$

실시간 구현 및 계산의 용이성등을 위해서 DCT 커널 함수들 중에서 얻은 28개의 선형 독립인 2차원 함수들은 다음과 같은 Gram-Schmidt 과정을 통하여 Boundary orthonormal 함수들로 만든다. 즉, 28개의 DCT 커널 함수들 $C_1(x, y), C_2(x, y), \dots, C_{28}(x, y)$ 은 식 (5)에서 정의된 블록 경계면에서의 내적을 이용하여,

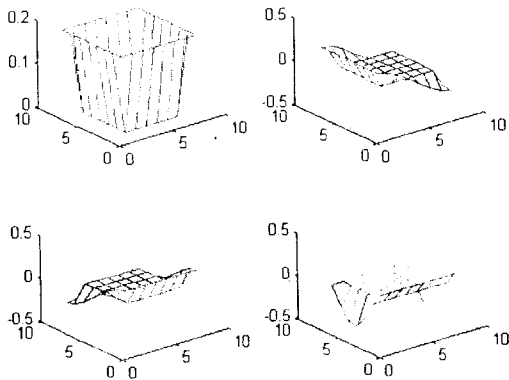


그림 3. DCT 커널 함수들로부터 얻은 Boundary-orthonormal 함수들의 4가지 예
Fig. 3. Four Boundary-orthonormal functions obtained from DCT kernel functions

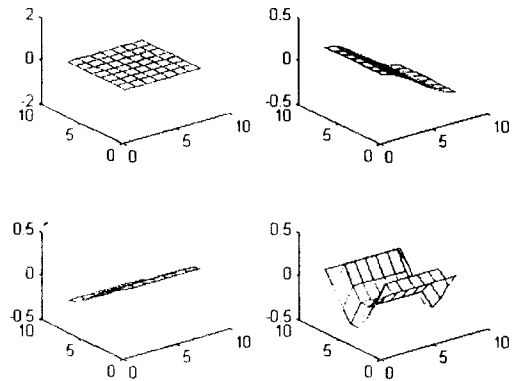


그림 4. Gram-Schmidt 과정을 이용하여 구한 기저 영상의 4가지 예
Fig. 4. Four basis images obtained using the Gram-Schmidt procedure

식 (21)로부터 다음과 같은 블록 경계면에서 서로 orthonormal한 28개의 2차원 함수들 $Q_1(x, y), Q_2(x, y), \dots, Q_{28}(x, y)$ 을 만들게 된다.

$$C'_j(x, y) = C_j(x, y) - \langle Q_1(x, y), C_j(x, y) \rangle Q_1(x, y) - \dots - \langle Q_{j-1}(x, y), C_j(x, y) \rangle Q_{j-1}(x, y)$$

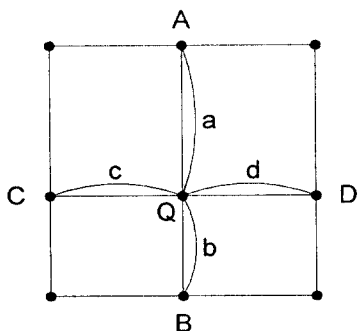
$$Q_j(x, y) = \frac{C'_j(x, y)}{\|C'_j(x, y)\|}, \quad j=1, 2, \dots, 28 \quad (21)$$

$x, y \in B$ (블록 경계면에 존재하는 화소들의 집합)

그림 3은 경계면에서의 Gram-Schmidt 과정을 통하여 얻은 28개의 Boundary orthonormal 함수들 중 저주파 영역의 함수 4개를 표현한 것이다. 단, 비경계면에 존재하는 화소들의 값은 0으로 표시되었다. 여기에서 Boundary-orthonormal 함수들의 비경계면 화소들은 경계면 화소들을 완만하게 연결시키도록 결정할 필요가 있다. 본 논문에서는 다음의 세가지 방법 즉, Gram-Schmidt 과정을 이용하는 방법, 이중선형 보간을 이용하는 방법, 선형 보간을 이용하는 방법등을 사용, 각 Boundary orthonormal 함수들의 경계면 값들로부터 비경계면 화소들의 값을 구하여 기저 영상들을 구성한다.

(1) Gram-Schmidt Procedure를 이용하는 방법이 방법은 2차원 DCT 커널 함수들에서 28개의

< 8 × 8 BLOCK >



$$Q_1 = \frac{b \cdot A + a \cdot B}{a + b}$$

$$Q_2 = \frac{d \cdot C + c \cdot D}{c + d}$$

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

A, B, C, D : 블록의 경계 화소값

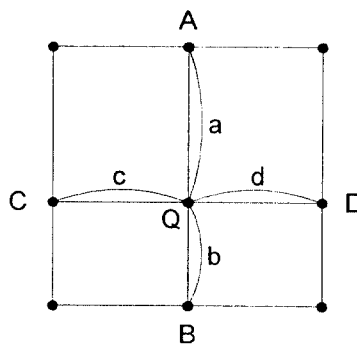
a, b, c, d : 화소간의 거리 간격

Q : 보간하여 구하고자 하는 값

그림 5(a). 이중 선형 보간 방법

Fig. 5(a). Bilinear interpolation

< 8 × 8 BLOCK >



$$Q = \frac{\frac{1}{a} \cdot A + \frac{1}{b} \cdot B + \frac{1}{c} \cdot C + \frac{1}{d} \cdot D}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}}$$

A, B, C, D : 블록의 경계 화소값

a, b, c, d : 화소간의 거리 간격

Q : 보간하여 구하고자 하는 값

그림 6(a). 선형 보간 방법

Fig. 6(a). Linear interpolation

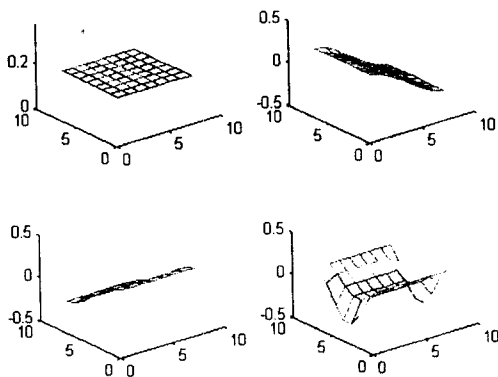


그림 5(b). 이중선형 보간법을 이용하여 구한 기저 영상의 4가지 예

Fig. 5(b). Four basis images obtained using the bilinear interpolation

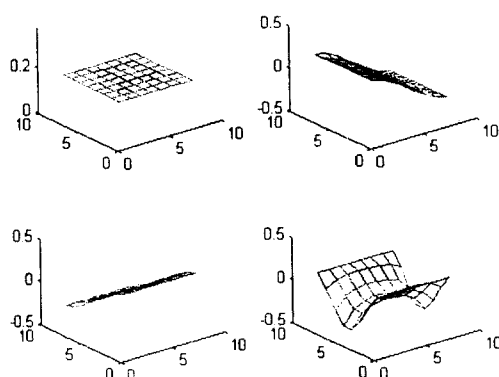


그림 6(b). 선형 보간법을 이용하여 구한 기저 영상의 4가지 예

Fig. 6(b). Four basis images obtained using the linear interpolation

Boundary-orthonormal 함수를 만들기 위해 Gram-Schmidt 과정을 사용할 때 단지 그 경계면의 값들에서만 적용을 하는 것이 아니라 그 블록의 비경계면에 존재하는 각 화소들에 대해서도 적용을 하여 경계면에 존재하는 화소들을 완만하게 연결시키는 방법이다. 그림 4는 이 과정을 이용하여 얻은 28개의 기저영상들 중 저주파 영역의 기저영상 4개를 나타낸다.

(2) 이중선형보간을 이용하는 방법

이 방법은 경계면에 존재하는 화소들의 값으로부터 그림 5(a)와 같은 이중선형보간 방법을 사용하여 비경계면에 존재하는 화소들의 값을 구하여 기저영상들을 만든다. 그림 5(b)는 저주파 영역의 기저영상 4개를 나타낸다.

(3) 선형 보간을 이용하는 방법

이 방법은 그림 6(a)에 의한 선형보간을 이용하여 기저 영상들을 만드는 방식이다. 그림 6(b)는 저주파 영역의 기저영상 4개를 나타낸다.

III. Boundary-orthonormal 기저 영상을 이용한 블록킹 현상의 제거

제안된 방식의 성능을 평가하기 위해 JPEG을 사용하여 영상을 압축한 후 블록킹 현상의 제거를 시도하였다. 영상의 압축에 사용되는 양자화 식은 다음과 같다.

$$F_Q(u, v) = \text{Integer Round} \left\{ \frac{F(u, v)}{\frac{QF}{Q_{PRECISION}}} \cdot Q(u, v) \right\} \quad (22)$$

- $F_Q(u, v)$: 양자화된 후의 주파수 영역의 변환 계수들
- $F(u, v)$: DCT 변환의 결과로 생성되는 주파수 영역 계수들
- $Q(u, v)$: 양자화 테이블
- QF : 압축의 정도를 제어하는 Quality Factor ($Q_{PRECISION} = 50$ 을 나타낸다.)

그림 7은 Lena 영상을 JPEG을 이용하여 압축한 결과(QF = 250)와 세 가지 종류 즉, Gram-Schmidt 과정,

이중 선형 보간법, 선형 보간법을 이용하여 만든 Boundary orthonormal한 5개의 기저 영상들을 사용하여 블록킹 현상을 없앤 결과를 나타낸다. 본 논문에서 제안한 방식을 적용한 경우 블록 불연속이 상당히 감소되지만 PSNR은 약간 낮게 나타난다. 그것은 블록간의 불연속성을 제거하기 위하여 각 기저 영상들이 압축된 Lena 영상에 더해질 때 블록 경계면의 내부에도 보상항들의 영향이 미치게 되어 어느정도의 흐려짐(blurring)을 발생시키기 때문이다. 실험 결과를 고찰하면, Gram-Schmidt 과정을 사용하여 만든 기저 영상들로 블록킹 현상을 제거한 경우보다는 보간법을 사용하여 만든 기저 영상들을 사용하는 것이 PSNR 측면에서는 조금 더 향상됨을 알 수 있다. 그것은 Gram-Schmidt 과정을 사용하여 만든 기저 영상들을 잘 관찰하여 보면 보간법을 사용하여 만든 기저 영상들보다 그 안에 더 많은 고주파 성분들을 포함하고 있기 때문이다. 그리고 이중선형 보간법이 선형 보간법을 이용하는 것보다는 PSNR 측면에서 조금 더 향상됨을 볼 수 있다. 그러나, PSNR의 크기가 반드시 시각적으로 느껴지는 영상의 질을 나타내는 것이 아님은 위의 실험 결과에서도 나타나고 있다.

IV. 효율적 블록킹 현상 제거를 위한 압축률과 기저영상과의 상관 관계

DCT를 기반으로 하는 블록 변환 부호화에서는 양자화 스텝 사이즈를 크게 하여 압축률을 높일수록(JPEG에서의 QF를 증가시킬수록), 변환 부호화 계수들의 양자화 오류가 커짐에 의하여 블록간의 불연속성이 더욱 뚜렷이 나타나 그로 인한 블록킹 현상이 심화되는 경향을 보이게 된다. 그림 8은 Lena 영상에 있어서 QF와 블록 경계 불연속의 평균치와의 상관 관계를 나타내고 있다. 많은 영상을 대상으로 하여 실험한 결과 JPEG방식에 의한 영상압축에 있어서 평균 불연속성은 Quality Factor (양자화 스텝에 비례하는 양)와 선형관계를 이룸을 알 수 있었다. 즉, 평균 불연속성 = $C_1 \times \text{Quality Factor} + C_2$ 이고, Lena 영상의 경우에는 $C_1 \approx 8000$, $C_2 \approx 28$ 정도의 값이 얻어졌다. 주목할 것은 양자화 계수 하나하나의 평균 자승 양자화 에러나 이들이 결합되어 나타나는 화소당의 부호화 에러는 이론적으로 양자화 스텝의 제곱에 비

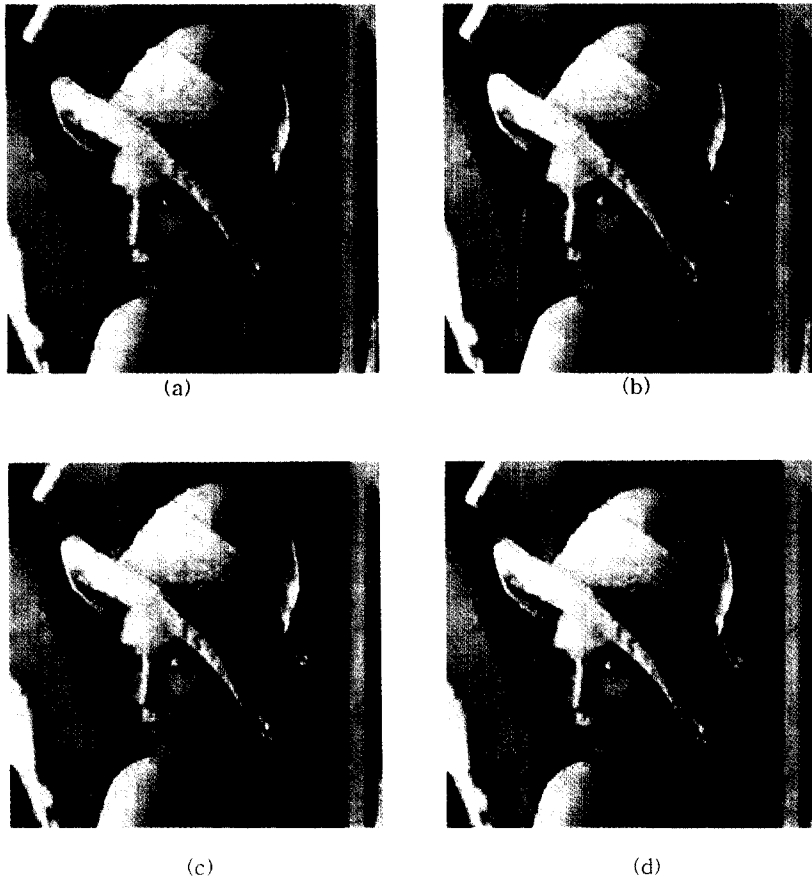


그림 7. 블록킹 현상을 보이는 Lena영상과 후처리를 한 Lena영상과의 비교

- (a) JPEG으로 압축된 Lena영상(QF = 250)
- (b) Gram-Schmidt 방법을 이용한 처리결과
- (c) 이중선형 보간방법을 이용한 처리 결과
- (d) 선형 보간 방법을 이용한 처리 결과

Fig. 7. Comparison between the blocky Lena image and the post-processed images

- (a) Lena compressed through JPEG(QF = 250)
- (b) Result by Gram-Schmidt procedure
- (c) Result by the bilinear interpolation
- (d) Result by the linear interpolation

레하나, 블록 불연속성은 이와달리 양자화 스텝에 선형적으로 증가한다는 점이다. 그림 8의 결과는 또한 압축률이 높아질수록 심화되는 블록간의 불연속성을 감소시키기 위해서 기저 영상의 갯수 또한 증가시켜야 함을 의미한다.

그림 9는 블록킹 현상의 제거를 위해 사용되는 기저 영상의 수를 증가시킬 때 블록 경계 불연속이 어느정도 감소하는지를 보여주며, 약 15개의 기저 영상들만을 사용하여도 블록 불연속성을 충분히 제거할 수 있음을 나타낸다. 단, 그림 9에서 사용되는 기저

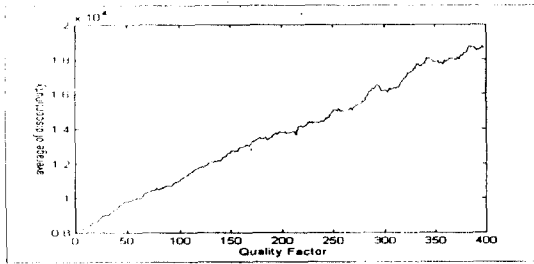


그림 8. QF와 블록 경계 불연속 평균치와의 상관 관계
Fig. 8. Relationship between the Quality Factor and the average block boundary discontinuity

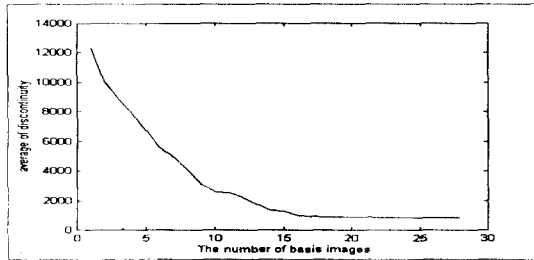


그림 9. 기저 영상의 수와 블록 경계 불연속 평균치와의 상관 관계(JPEG을 이용하여 약 22:1로 압축한 Lena 영상의 경우)
Fig. 9. Relationship between the number of basis images and the average block boundary discontinuity(When the Lena image is compressed by about 22:1 through JPEG)

그림 9. 기저 영상의 수와 블록 경계 불연속 평균치와의 상관 관계(JPEG을 이용하여 약 22:1로 압축한 Lena 영상의 경우)
Fig. 9. Relationship between the number of basis images and the average block boundary discontinuity(When the Lena image is compressed by about 22:1 through JPEG)

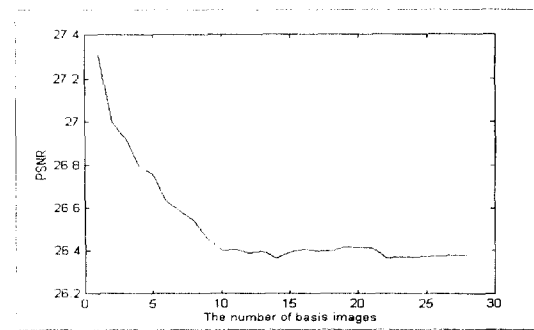


그림 10. 기저 영상의 수와 PSNR과의 관계
Fig. 10. Relationship between the number of basis images and PSNR

영상들의 개수가 28개일 경우에도 블록 불연속이 0이 되지 않는 이유는 각 블록의 네 모서리에서의 불연속치는 이웃하는 두 화소값과의 차이를 평균한 값으로 취하였기 때문이다. 또한, 블록 불연속을 제거하기 위해 기저 영상들의 수를 많이 사용할 경우 블록 경계면의 내부에도 보상항들의 영향이 커지게 되어 희미해짐의 정도가 점점 심해진다. 따라서 블록킹 현상 감소의 목적을 달성하기 위해서는 저주파항 몇 개만을 사용하는 것이 효과적이다.

그림 10은 JPEG을 이용하여 약 22:1로 압축한 Lena 영상에 Gram-Schmidt 과정을 이용하여 만든 기저 영상들을 이용하여 실험한 결과를 나타낸다. 즉, 블록 불연속의 제거 정도와 영상에 흐려짐이 생기는 정도사이에서 어느정도의 trade-off가 필요하게 된다. 블록킹 현상의 제거와 화질의 흐려짐 방지라는 두 가지 측면을 모두 살릴 수 있는 최적의 기저 영상 개수를 구하는 데는 다소 어려움이 따른다. 그것은 영상의 특성에 따라서 조금씩 달라질 수 있으며, 또한 흐려짐이 발생하는 정도가 기저 영상들의 개수가 증가함에 따라 서서히 발생하여 뚜렷한 선을 긋기가 힘들기 때문이다.

표 1은 Lena 영상의 압축률을 바꿔감에 따라 어느 정도의 기저 영상들을 사용하는 것이 적당한지를 실험을 통한 주관적 화질 평가를 통하여 결정한 것이다.

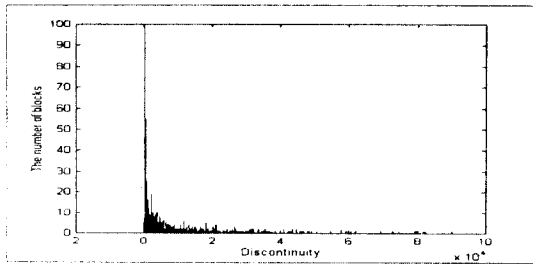
표 1. 주관적 화질 평가를 통한 압축률과 기저 영상 개수와의 관계

Table 1. Relationship between the Quality Factor and the number of required basis images: result of subjective evaluation

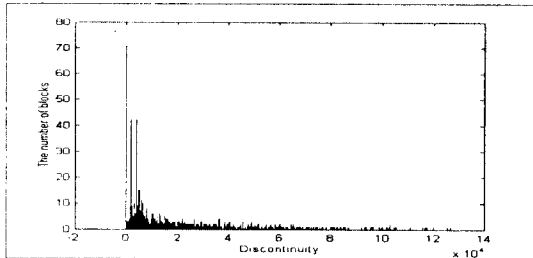
Quality Factor	100	150	200	250	300	350	400
Basis image들의 개수	0~1	2~3	3~4	4~5	5~7	7~9	8~10

V. 블록 불연속 임계치를 이용한 화질향상 기법

기저 영상을 이용한 방식은 블록킹 현상을 효과적으로 제거할 수 있다는 장점을 가지는 반면에 영상의 에지가 블록의 경계면에 걸쳐진 경우에는 블록 불연속의 제거시 에지를 완만하게 퍼지게 하여 전체적으로 화질을 열화시키는 단점이 있다. 그러므로, 여기서는 블록 불연속 임계치라는 양을 정의하여, 블록 불



(a)



(b)

그림 11. 블록 불연속 크기에 따른 블록 개수의 히스토그램
(a) Lena 원화의 히스토그램
(b) JPEG QF = 400으로 압축한 Lena 영상의 히스토그램

Fig. 11. Histogram of the number of the blocks vs the block discontinuity
(a) Original Lena
(b) Lena compressed through JPEG with QF = 400



(a)



(b)

그림 12. 블록 임계치를 적용한 Lena 영상의 실험 결과
(a) 블록 임계치가 ∞ 인 경우
(b) 블록 임계치가 22000인 경우

Fig. 12. Results when the block discontinuity threshold is applied to the compressed Lena
(a) Block discontinuity threshold = ∞
(b) Block discontinuity threshold = 22000

연속의 값이 이 임계치의 값보다 큰 값이 되었을 경우에는 압축으로 인한 불연속이라기 보다는 영상의 에지가 경계면에 걸쳐 있다고 생각하는 것이 보다 타당하므로, 그 블록은 제안된 블록킹 제거 방법을 생략함으로써 영상의 에지 부분을 보호한다. 본 실험에서는 256×256 Lena 영상을 사용하여 압축률이 증가할 때 불연속의 크기에 따른 블록의 개수가 어떠한 분포를 가지는지를 알아보았다.

그림 11의 (a)는 Lena 원화의 블록 불연속 크기에 따른 블록의 개수, (b)는 JPEG QF = 400으로 압축한 Lena 영상의 블록 불연속 크기에 따른 블록의 개수를 히스토그램으로 나타낸 것이다. 이 그림은 압축률이 증가할수록 블록 불연속은 점점 커지는 것을 나타내며, 또한 대부분의 블록들이 일정한 범위의 불연속치에 몰려 있음을 볼 수 있다. 즉, 압축률을 높임에 따라 오른쪽으로 이동하여 나타난 부분들은 대부분 블록킹 현상에 의한 결과라 생각할 수 있으며, 불연속이 아주 큰 소수의 블록들은 영상의 에지가 블록의 경계면에 걸쳐 있는 것이라 생각할 수 있다. 그러므로 이 히스토그램의 결과를 이용하여 가급적 영상의 에지부분들은 살리면서 블록킹 현상을 제거할 수 있



(a)



(b)

그림 13. 블록킹 현상을 보이는 Lena영상과 제안된 방식으로 처리된 Lena영상의 비교

(a) JPEG으로 압축된 Lena영상 (QF = 250)

(b) 5개의 기저 영상과 블록 임계치 20000을 사용하여 처리한 Lena영상

Fig. 13. Blocky Lena and the post-processed one using the proposed method

(a) Lena compressed through JPEG (QF = 250)

(b) Lena post-processed using 5 basis images and the block discontinuity threshold = 20000

는 블록 불연속 임계치를 결정하여 줄 수 있다.

그림 12는 QF = 300으로 압축한 Lena 영상을 보간 방법을 이용하여 만든 7개의 기저영상을 사용하여 블록 불연속을 없앤 결과로서 그림(a)는 모든 블록을

처리한 경우이고 그림(b)는 블록 임계치를 22000으로 줄 경우의 결과를 나타낸다. 임계치를 적용하는 경우 에지가 흐려지지 않기 때문에 Lena 영상의 눈주위에 서 볼 수 있듯이 주관적인 화질면에서 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 인간의 시각적 특성이 에지에 민감하다는 사실을 고려할 때 이 블록 임계치를 처리 조건으로 부여함으로써 화질의 향상에 크게 기여할 것으로 보인다.

그림 13은 블록킹 현상을 나타내는 Lena 영상 (QF = 250)에 이중 선형 보간법을 이용하여 얻은 5개의 기저 영상들과 임계치 20000을 처리 조건으로 주었을 경우의 결과를 나타낸다.

이상으로부터, 제안된 방식이 고능률 압축 영상에서 나타나는 블록킹 현상을 효과적으로 감소시키고 있음을 알 수 있다.

VI 결 론

본 논문에서는 2차원 DCT 커널 함수들에 Gram-Schmidt 과정을 적용하여 만든 boundary-orthonormal 한 경계면을 가지는 함수들을 기초로 Gram-Schmidt 과정, 이중선형 보간법, 선형 보간법들을 이용하여 28개의 boundary-orthonormal 기저 영상들을 만들었다. 기저 영상을 사용하여 블록킹 현상을 제거하고자 시도하였으며, 압축률이 높아질수록 심화되는 블록킹 현상을 효과적으로 제거하기 위하여 필요한 boundary-orthonormal 기저 영상들의 개수들을 주관적 화질 평가를 통하여 고찰하였다. 그리고, 제안된 화질의 향상을 더욱 얻기 위하여 블록 불연속 임계치를 정의하여 영상의 에지를 보호하였다. 제안된 방식을 압축 영상에 적용한 결과 비교적 에지를 잘 보존하면서 블록킹 현상을 효과적으로 감소시켰음을 알 수 있었다. 제안된 블록킹 현상의 제거 방법은 영상의 전송 및 저장 응용 분야(HDTV, VOD, Digital Broadcasting, CD-ROM 영상 저장)에서 특히 압축률이 높아 화질 열화가 발생할 때의 화질 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. H. S. Malvar and D. H. Staelin, "The LOT: trans-

form coding without blocking artifacts", IEEE Trans. Acoust. Speech. Signal Process. vol.37, no.4, pp.553-559, Apr. 1989.

2. H. C. Reeve III and J. S. Lim, "Reduction of Blocking artifacts in Image Coding", J. Optical Engineering, vol.23, no.1, pp.34-37, Jan./Feb. 1984.

3. B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear Space-Variant Post processing of Block Coded Image", IEEE Trans. Acoust. Speech. Signal Process., vol. 34, no.5, pp.1258-1268, Oct. 1986.

4. T. Jarske, P. Haavisto and I. Defe'e, "Post-Filtering Methods for Reducing Blocking artifacts from Coded Images", IEEE Int. Conf. Consumer Electronics, pp.218-219, 1994.

5. Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized Reconstruction to Reduce Blocking artifacts of Block Discrete Cosine Transform Compressed Images", IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol.3, no.6, pp. 421-432, Dec. 1993.

6. A. Zakhor, "Iterative procedures for reduction of blocking artifacts in transform image coding", IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol.2, no.1, pp.91-95, Mar. 1992.

7. C. -N. Tien, H. -M. Hang, "Transform-domain post processing of DCT-coded images", SPIE Visual Communications and Image Processing, vol. 2094, pp.1627-1638, Nov. 1993.

8. B. Jeon, J. Jeong, and J. Jo, "Blocking artifacts reduction in image coding based on minimum block boundary discontinuity", Visual Commun. Image Processing '95, pp. 198-209, May. 1995.

9. J. Jeong and B. Jeon, "Use of a class of two-dimensional functions for blocking artifacts reduction in image coding", IEEE International Conference on Image Processing, pp.478-481, Oct. 1995.

10. Y. Wang, Q. F. Zhu. and L. Shaw, "Maximally Smooth Image Recovery in Transform Coding", IEEE Trans. Communication. vol.41, no.10, pp. 1544-1551, Oct. 1993.

11. J. W. Park, D. S. Kim, and S. U. Lee, "On the Error Concealment Techniques for DCT based Image Coding", IEEE Int. Conf. Acoust. Speech. Signal Process., vol.3, pp.293-296, 1994.

12. G. Strang, Linear Algebra and Its Applications, Harcourt Brace Jovanovich, ch. 3.4, 1988.

13. W. B. Pennebaker, J. L. Mitchell, JPEG Still Image Data Compression Standard, Van Nostrand Reinhold, appendix A, 1993.

14. A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, ch. 5, 1989.

15. K. Lim, K. Chun, and J. Ra, "Improvement on image transform coding by reducing interblock correlation", IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, no.8, pp.1146-1150, Aug. 1995.

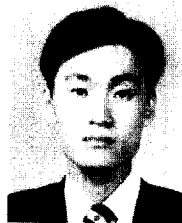
16. R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley, ch. 3, 1993.

17. H. Sun and W. Kwok, "Concealment of damaged block transform coded images using projections onto convex sets", IEEE Trans. Image Processing, vol.4, pp.470-477, Apr. 1995.



이 주 흥(Jooheung Lee) 정회원
1972年 9月 14日生
1996年 2月:인하대학교 공과대
학 전자공학과 공학
사
1996年 3月~현재:한양대학교 대
학원 전자통신공학
과 석사과정

※주관심분야:신호 및 영상처리, 영상압축, 멀티미디어 통신



김 민 구(Mingu Kim) 정회원
1973年 4月 2日生
1996年 2月:한양대학교 공과대
학 전자통신공학과
공학사
1996年 3月~현재:한양대학교 대
학원 전자통신공학
과 석사과정

※주관심분야:신호 및 영상처리, 영상압축, 멀티미디어 통신

정 제 창(Jechang Jeong)
제22권 제5호 참조

정 회원

최 병 옥(Byunguk Choi)
제22권 제5호 참조

정 회원