

공간 적응적 영상복원을 이용한 블록화 현상 제거 기법

(The Technique of Blocking Artifacts Reduction Method Based on Spatially Adaptive Image Restoration)

金泰權*, 禹憲培*, 白俊基*

(Tae-Keun Kim, Hun-Bae Woo, and Joon-Ki Paik)

요 약

본 논문에서는 고속 적응적 영상 복원 필터를 소개한다. 이 필터는 압축된 영상의 복원 과정에서 발생하는 블록화 현상을 효율적으로 제거하기 위해 블록 분류라는 방법을 사용한다. 각 블록의 에지 방향은 이산 코사인 변환(DCT) 계수를 사용하여 분류되고 각 방향에 대응하는 제한적 최소 제곱(Constrained Least Square:CLS)필터는 블록의 복원에 사용된다. 이 복원 필터는, 일련의 코딩 과정에서 양자화 연산이 비선형이고 다대일 매핑 연산자라는 관찰에 근거한다. 다음으로, 비선형과 공간 가변적 열화 연산자를 제거하기 위해 제한적 최적화 기법을 소개한다. 그리고 본 논문에서 제안된 복원 필터는 실시간 처리를 위하여 생략형 FIR 필터의 형태로 구현된다. 이것은 HDTV, DVD 그리고 화상회의 시스템에서 복구 영상의 후처리 과정에 적합하다.

Abstract

In this paper we propose a fast adaptive image restoration filter using DCT-based block classification for reducing block artifacts in compressed images. In order to efficiently reduce block artifacts, edge direction of each block is classified by using the DCT coefficients, and the constrained least square (CLS) on the observation that the quantization operation in a series of coding process is a nonlinear and many-to-one mapping operator. And then we propose an approximated version of constrained optimization technique as a restoration process for removing the nonlinear and space-varying degradation operator. For real-time implementation, the proposed restoration filter can be realized in the form of a truncated FIR filter, which is suitable for postprocessing reconstructed images in HDTV, DVD, or video conference systems.

I. 서 론

영상통신에 대한 요구가 증가함에 따라 효율적인

* 正會員, 中央大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Chung-Ang University.)

※ 본 연구는 한국과학재단 주관의 특장기초연구과제 (96-0102-14-01-3) 연구지원비 지원 하에 수행되었습니다.

接受日字: 1997年11月5日, 수정완료일: 1998年8月26日

코딩과 영상 압축 기술이 발달되었고 또한 몇몇 기술들은 국제적인 표준으로까지 자리잡게 되었다. 특히 요즘은 비디오 화상회의, 비디오 폰, 대화식 TV 에 대응하는 응용에 있어서 저비트율의 통신에 관심이 모아지고 있다.

현재 블록 이산 코사인 변환(DCT)은 정지영상과 동영상의 압축과정에서 널리 사용되어 온 압축 기법이다. 일반적으로, 높은 압축율은 양자화 과정을 거치면서 이산 코사인 변환 계수의 상대적으로 중요하지 않은 고주파부분이 버려짐으로써 가능해진다. 다수의 국

제 표준(비디오폰 전화 회의를 위한 H.261, 정지 영상을 위한 JPEG, 동영상과 디지털 저장 미디어에 관련한 MPEG-1, 디지털 HD TV를 위한 MPEG-2)은 높은 에너지 압축율을 위해 블록 이산 코사인 변환을 사용한다^[1].

그러나 높은 압축율의 장점 이면에는 단점이 존재하는데 그것이 바로 블록들 사이에 불연속이 발생하는 블록화 현상이다. 이 블록화 현상은 인접된 화소간의 상관 관계를 고려하지 않는 독립적인 블록단위의 처리를 하기 때문에 발생한다^[2].

이러한 관찰에 근거하여 비트 율을 줄이지 않으면서 동시에 블록화 현상을 제거하기 위해 다음의 접근 방식들이 제안되었다.

- i) 블록사이 경계 면에 저주파 통과 필터링을 적용하는 방식^[3].
- ii) Projection Onto Convex Sets(POCS)와 제한적 최소 제곱(CLS) 이론에 근거한 복원 방식^[2,4].
- iii) 경계에 있는 인접 화소 사이에서 Mean Squared Difference of Slope(MSDS)를 사용하여 AC 계수를 추정하는 방식^[5].
- iv) 경계 직교 함수 방법에 근거한 최적화^[6,7].

저주파 통과 필터 접근은 어떤 추가적인 정보나 연산 없이 에지 부분을 부드럽게 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 고주파 성분이 줄어들음으로 인해 쓸데없이 영상이 흐려지게 된다. POCS 혹은 CLS 방법은 반복적 처리로 인해 처리 시간이 증가하게 된다. 그래서 실시간 처리에는 적합하지 않다. AC 예측 방법은 최적화 과정에 있어서 계산과정이 너무 복잡하여 처리 시간이 길어진다. 최적화 방법에 근거한 경계 직교 방법은 블록화 현상이 없어지는 반면 다른 형태의 왜곡을 가져올 수 있다.

본 논문은 위에 언급한 문제점들을 해결하기 위해 블록 이산 코사인 변환에 근거한 압축 영상에 발생하는 블록화 현상을 제거하기 위해 공간 적응적 고속 영상 복원 필터를 제안한다.

남은 부분 대강의 개요를 요약하면 다음과 같다. 2절에서는 블록화 현상에 대한 열화 모델을 기술하고, 3절에서는 적응적 영상 복원 알고리즘을 제안한다. 실시간 처리를 위한 FIR 구현은 4절에서 기술하고 실험 결과와 결론은 각각 5절, 6절에서 설명한다.

II. 블록화 현상의 열화 모델

아래는 제안된 알고리즘의 유도를 간단하게 하기 위해 $N \times N$ 영상을 $x(m, n)$ 의 일차원 벡터로 나타낸 것이다.

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_{\frac{N^2}{B^2}}], \quad (1)$$

여기서 $k = p(N/B) + q$ 인 x_k 는 그림 1에서와 같이 (p, q) 차 블록에서 사전 식으로 배열된 B^2 요소들을 나타낸 것이다.

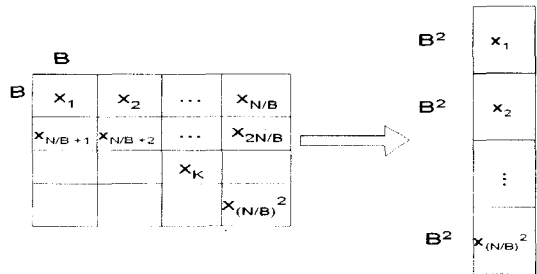


그림 1. $B \times B$ 크기 영상의 일차원 벡터 표현
Fig. 1. One-dimensional vector representation of an image for $B \times B$ block-based processing.

블록-이산 코사인 변환에 근거한 압축 복구 과정의 열화 모델은 아래와 같다.

$$y = C^{-1}D^{-1}QCx, \quad (2)$$

y 는 블록-이산 코사인 변환 계수의 양자화 때문에 블록화 현상이 발생한 복구 영상을 나타낸다. C 와 C^{-1} 는 이산 코사인 변환 계수와 역 이산 코사인 변환 계수이고 Q 와 D^{-1} 는 각각 양자화와 역 양자화 계수이다. 수식 (2)에 대응하는 블록 다이어그램을 그림 2에 나타냈다.

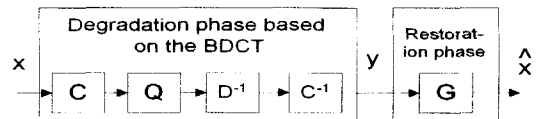


그림 2. 블록 이산 코사인 변환에 근거한 압축 복구 과정의 영상 열화 복구 모델을 위한 블록 다이어그램

Fig. 2. Block diagram of the image degradation-restoration model for the BDCT-based compression reconstruction process.

(2)에 주어진 영상 복원 모델에 근거하면 위에 언급한 행렬은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$C = \begin{bmatrix} [c] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & [c] & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & [c] \end{bmatrix} \quad \text{그리고}$$

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} [c]^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & [c]^{-1} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & [c]^{-1} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$[c]$ 와 $[c]^{-1}$ 은 각각 이산 코사인 변환 행렬, 역 이산 코사인 변환 행렬을 표현한 것이고 크기는 $B^2 \times B^2$ 이다. 그리고 (2)에서 Q 로 표현된 양자화 연산자는 나누기와 반올림의 연속 연산으로 나누어 질 수 있다.

$$Q = RD, \quad (4)$$

(4)에서 나누기 행렬 D 는 아래와 같이 표현된다.

$$D = \begin{bmatrix} [d_1] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & [d_2] & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & [d_{\frac{B^2}{B}}] \end{bmatrix}, \quad (5)$$

여기서 $[d_k]$ 는 직교 행렬이다. 행렬의 직교 성분은 아래의 수식에 의해 결정된다. 만약 그림 3에서 보인 JPEG 양자화 표를 사용한다면 $[d_k]$ 의 직교성분은 아래 식과 같다^[8].

$$d_k(i, j) = \frac{1}{k(i, j)},$$

$$l = (i-1) \cdot 8 + j \quad \text{그리고} \quad 1 \leq i, j \leq 8, \quad (6)$$

여기서 $k(i, j)$ 는 그림 3의 양자화 표에서 (i, j) 차 값을 나타낸 것이다.

50	60	70	70	90	120	255	255
60	60	70	96	130	255	255	255
70	70	80	120	145	255	255	255
70	96	120	145	255	255	255	255
90	130	200	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255

그림 3. JPEG 압축을 위한 양자화 표
Fig. 3. Quantization table used for JPEG-based compression.

(4)에서 R 로 표기된 반올림 연산은 전체 열화 과정이나 혹은 압축 복구 과정에서 비선형, 다대일 매핑 연산자이다. 그리고 이것은 입력 벡터의 각 요소에 반올림 연산을 수행하는 직교 성분을 가진 직교행렬로 표시될 수 있다. D^{-1} 로 표시된 역 양자화 행렬은 나눔 행렬 D 의 역행렬 표현이다.

III. 제안된 적응적 영상 복원

이 절에서는 앞절에서 기술한 열화모델에 근거한 적응적 영상 복원 알고리즘을 제안한다. 3.1절에서는 제안된 복원 알고리즘을 유도하고 3.2절에서는 블록 적응적 방향성 고주파통과 필터를 구현하기 위해 이산 코사인 변환 계수를 사용하는 블록 분류 알고리즘을 제안한다.

1. 제안된 알고리즘

$$H = C^{-1}D^{-1}QC \quad \text{라고 하면 (2)를}$$

$$y = Hx, \quad (7)$$

로 쓸 수 있다.

H 는 영상 열화 연산자로 볼 수 있다. 만약 열화 과정을 선형 공간 불변 혹은 H 가 정수 요소를 가지는 블록 순환 구조라면 선형 최소 제곱 에러(LMMSE) 혹은 제한적 최소 제곱 에러(CLS)형 필터를 사용하여 쉽게 해를 구할 수 있다^[9]. 다른 한편으로, 만약 열화 과정이 선형 공간 변화 혹은 H 가 상수 요소를 가졌지만 블록순환 구조가 아니라면 공간 적응 반복적 영상 복원 기법을 이용하여 충분한 수의 반복과정을 거치면 원 영상을 예측해 낼 수 있다^[10].

그러나 불행하게도 2절에서 설명된 것처럼 블록 이산 코사인 변환에 근거한 압축 복구 과정에서 열화 연산자 H 는 반올림 행렬 R 로 인해 비선형, 공간 가변 연산자임이 증명되었다. 이에 공간 가변, 비선형 열화인 블록화 현상을 없애기 위해서 POCS형 반복 영상 복원 알고리즘^[2,4,8,11] 혹은 변환 계수^[5]를 예측하는 최적화 알고리즘이 제안되어 왔다.

다른 말로, 블록화 현상을 발생시키는 열화의 역 변환에 대한 절대적인 형태의 해는 없다. 이것은 반복적 형태의 영상 복원이나 최적화 방법이 고려되어야만 하는 이유이다. 그리고 이러한 반복적 형태의 방법은 시간이 많이 걸린다는 것과 계산과정이 복잡하다는 이유

로 인해 JPEG과 같은 정지 영상을 위해 제안되어 왔다.

많은 블록-이산 코사인 변환에 근거한 동영상 압축 기법 즉 H.261, MPEG1, 그리고 MPEG2에서는 비트율이 어떤 한계치 이하가 되면 블록화 현상이 발생한다. 또 동영상이 정지영상보다 넓은 응용 분야를 가지고 있다. 그리고 블록화 현상이 급격한 장면 변화의 순간에 나타나는 이유로 인해, 블록화 현상이 동영상에서 더 심하게 영상의 질을 열화 시킨다고 말할 수 있다. 동영상에서 블록화 현상을 제거하기 위한 반복적 혹은 최적화에 근거한 형태의 복원 알고리즘은 느린 수렴 속도 때문에 적당하지 못하다. 심지어 정지영상의 응용에서조차도 이러한 느린 수렴 속도는 불리한 면으로 작용된다.

이러한 이유로 인하여 블록-이산 코사인 변환에 근거한 압축 영상에서 블록화 현상을 제거하기 위해 에지 분류의 제한적 최적화를 사용하는 고속 영상 복원 알고리즘을 제안한다.

제한적 최적화 접근 방법에 근거한 일반적인 영상 복원 과정은

$$\|A\hat{x}\|^2 \leq e^2, \tag{8}$$

을 조건으로

$$\|y - H\hat{x}\|^2 = 0, \tag{9}$$

을 만족하는 \hat{x} 를 찾는 것이다.

여기서 A 는 고주파 통과 필터를 그리고 식 (9)는 에너지의 나머지를 나타낸다. H 는 다대일 매핑 연산자이므로 (9)에서는 일반적인 여러 해가 나올 수 있다. 열화가 없는 원영상 x , 블록화 현상이 있는 복구 영상 y , 그리고 많은 다른 영상들이 (8)에 의해 정의된 해의 요소가 될 수 있다. 여러 가지 중 원 영상 x 와 가까운 것을 고르기 위해서는 (9)에서 보이는 것처럼 블록 경계에서의 분산이 어떤 특정 값보다 작게 유지되어야 한다.

이 절에서 이미 언급한 것처럼 (9)식의 절대적인 해는 없다. 왜냐하면 H 는 비선형 연산이기 때문이다. 이러한 관점에서 제한적 최적화의 추정 기법을 제안한다. 이 기법은 아래 두 가정하에서

$$\|A_E \hat{x}\|^2 \leq e^2, \tag{10}$$

를 조건으로 하는 \hat{x} 에 대해

$$\|y - H_L \hat{x}\|^2, \tag{11}$$

을 최소화하는 방법이다.

가정 1 H_L 은 공간 불변 저주파통과 필터이다.

가정 2 A_E 는 블록 적응적 방향성 고주파 통과 필터로써 그 방향은 블록 분류된 에지 정보에 의해 결정된다

가정 1은 이산 코사인 변환 계수에서 고주파성분이 더 많이 양자화 된다는데 주목한 것이다. 따라서 H 를 간단한 저주파 통과 필터 H_L 로 볼 수 있다. 추가적으로 (9)의 최소화는 영상에서 경계가 아닌 부분 즉 블록화 현상이 없는 영상의 과도한 평탄화를 억제할 수 있다.

가정 2는 방향성 에지를 보존하면서 동시에 블록 경계를 선택적으로 평탄화시키는 것을 보장한다. 여기서 방향성 에지는 블록 코딩의 열화 과정의 결과는 아니다. 제안된 블록 분류 기법의 자세한 과정은 다음 절에서 기술한다.

2. 블록에 근거한 에지 분류

이 절에서는 (10)에서 블록 적응적 방향성 고주파 통과 필터를 구현하기에 적합한 노벨 블록 분류기법을 기술한다.

$B \times B$ 영상을 고려할 때, 이산 코사인 변환 계수는 (12)와 같이 표현된다.^[12]

$$C_x(k_1, k_2) = \begin{cases} \sum_{n_1=0}^{B-1} \sum_{n_2=0}^{B-1} 4x(n_1, n_2) \cos \frac{\pi}{2N_1} k_1(2n_1+1) \\ \quad \times \cos \frac{\pi}{2N_2} k_2(2n_2+1) \\ \quad , 0 \leq k_1 \leq B-1, 0 \leq k_2 \leq B-1 \\ 0 \quad , otherwise \end{cases} \tag{12}$$

블록의 크기가 8×8 일 때 64개의 기본 함수로부터 64개의 이산 코사인 변환 계수가 발생한다. 그러나 여기서 $C(0,1)$ 과 $C(1,0)$ 계수만을 사용한다. 이것은 각각 수평 수직 에지를 나타낸다. 이 계수는 다음과 같이 주어진다.

$$C_{ver} = C(0,1) = \sum_{n_1=0}^{B-1} \sum_{n_2=0}^{B-1} 4x(n_1, n_2) \times \cos \frac{\pi}{2 \cdot 8} (2n_2+1),$$

$$C_{hor} = C(1,0) = \sum_{n_1=0}^{B-1} \sum_{n_2=0}^{B-1} 4x(n_1, n_2) \times \cos \frac{\pi}{2 \cdot 8} (2n_1+1), \tag{13}$$

이 두 계수를 사용하여 각 블록의 에지 방향을 결정한다. 더 자세히 말하면 에지의 8×8 블록은 각각 단조, 수평, 수직, $0^\circ \sim 45^\circ$, $45^\circ \sim 90^\circ$, $90^\circ \sim 135^\circ$ 그리고 $135^\circ \sim 180^\circ$ 에지로 분류된다. 에지를 분류하는 알고리즘은 그림 4에 도시되어 있다.

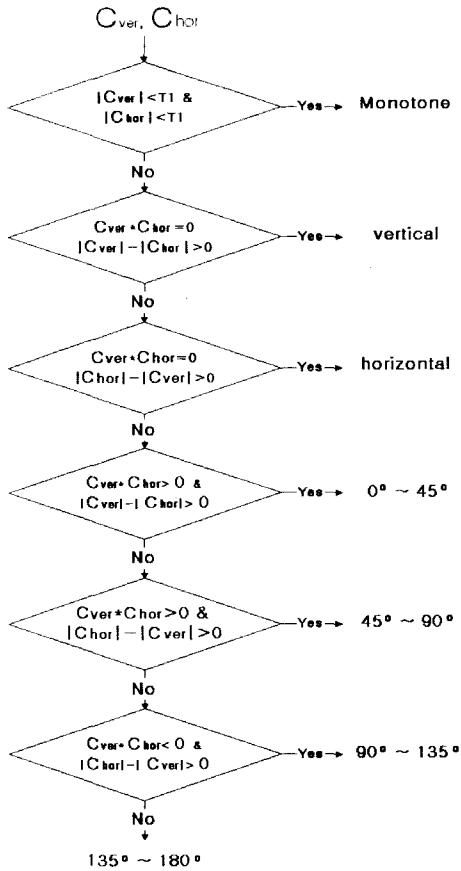


그림 4. 이산 코사인 변환 계수를 사용하여 에지를 분류하는 알고리즘
 Fig. 4. The algorithm classifying edge using DCT coefficients.

IV. 실시간 처리를 위한 FIR 구현

3.1절에 주어진 두 가정에 따라서 H_L 을 구하기 위해 8×8 블록 내부에 계단형 에지가 존재한다고 가정 한뒤 이를 식 (2)에 나타난 열화 모델에 적용해 열화 과정을 수행하여, 역 변환을 하면 선형적인 H_L 을 구할 수 있는데, 이는 그림 6 (a), (b), (c)에 나타나 있다.

다양한 영상복원 분야중에서 CLS 필터는 계산량의 부담이 많지 않고, 단순한 제약조건만을 이용하여 복원과정을 수행하므로 널리쓰인다. 그러므로 여기에서는 아래첨자 E 로 표기된 어떤 에지 형태의 특정 블록에 대해 주파수 응답의 방향성 CLS 필터를 아래와 같이 구현하였다.

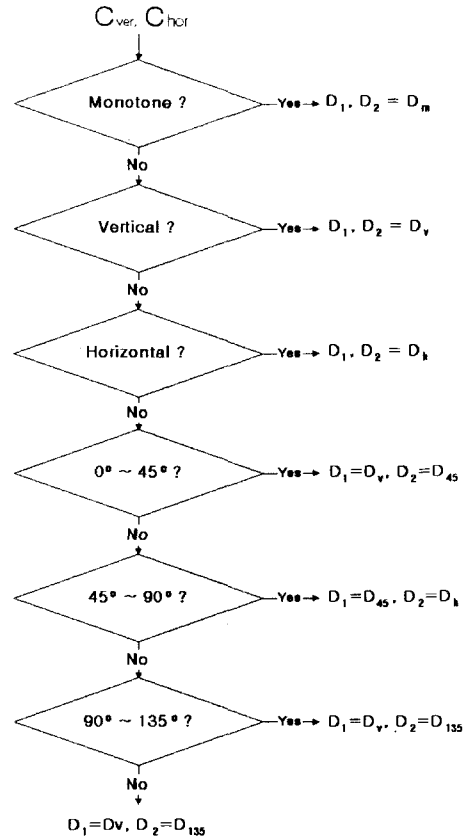


그림 5. 고주파 통과 필터를 분류하는 알고리즘
 Fig. 5. The algorithm classifying highpass filter.

$$G_E(k, l) = \frac{H_L^*(k, l)}{|H_L(k, l)|^2 + \lambda |A_E(k, l)|^2}, \quad (14)$$

여기서 방향성 고주파통과 필터 A_E 는 다음과 같은 과정을 거쳐 결정된다. 먼저 다섯 개의 방향성 고주파 통과 필터를 정의한다. 각각은 단조, 수직, 수평, 45° 그리고 135°의 참조방향에 해당한다. 다섯 개의 방향성 고주파통과 필터는 방향에 따라 블록의 에지를 강조할 수 있도록 다음과 같은 필터를 적용하였다.

$$D_m(m, n) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad D_v(m, n) = \frac{1}{48} \begin{bmatrix} -1 & -10 & -1 \\ 0 & 24 & 0 \\ -1 & -10 & -1 \end{bmatrix},$$

$$D_h(m, n) = \frac{1}{48} \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -10 & 24 & -10 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad D_{45}(m, n) = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$D_{135}(m, n) = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

V. 실험 결과

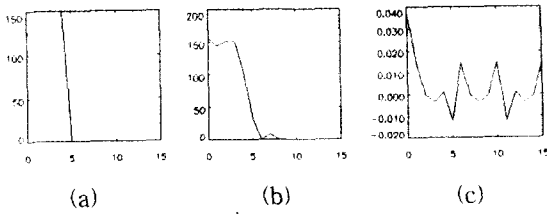


그림 6. 고주파 통과 필터를 분류하는 알고리즘
Fig. 6. The algorithm classifying highpass filter.

다음으로 그림 6에 보인 알고리즘에 의하여 두 개의 임의 고주파통과 필터 D_1 과 D_2 를 결정한다. 마지막으로 방향성 고주파통과 필터는 연속적인 방향으로 에지를 강조할 수 있도록 (16)식을 통해서 구현될 수 있다.

$$A_e = \frac{|C_{vert}| \cdot D_1 + |C_{hor}| \cdot D_2}{|C_{vert}| + |C_{hor}|}, \quad (16)$$

여기서 결정된 A_e 를 식 (14)에 적용하게 되는데, 여기서 λ 의 값은 일반적으로 양자화 계수의 2배값으로 정의한다.

역 이산 푸리에 변환을 사용하여 (14)의 복원 필터에 대응하는 공간영역 임펄스 응답을 구할 수 있다. 임펄스 응답은 2차원 올림형 코사인 윈도우를 사용하여 임펄스 응답을 적당한 크기로 자른다. 예로써 임펄스 응답, 7×7 올림형 코사인 윈도우 그리고 단조블록을 위한 제안된 복원 필터의 잘려진 임펄스 응답을 각각 그림 7 (a), (b), 그리고 (c)에 보인다.

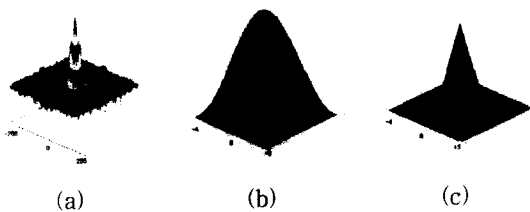


그림 7. (a) 로그 스케일로 표시한 전체 크기의 임펄스 응답 (b) 7×7 크기의 올림형 코사인 윈도우 (c) 모노블록에 대해 제안된 복원 필터의 잘려진 임펄스 응답

Fig. 7. (a) the log-scaled impulse response with full support (b) the 7×7 raised-cosine window (c) the correspondingly truncated impulse of the proposed restoration filter for monotone block.

512×512 레나 영상은 그림 2의 열화 모델에 따라 컴퓨터 실험으로 압축된 후 복구된다. 그림 8(a)와 8(b)은 원 영상과 압축된 영상을 보인 것이다. 열화 과정에서 그림 3의 JPEG 양자화 표가 사용되었다. 그림 9는 열화된 영상의 에지 분류 결과다. 제안된 복원 알고리즘에 따라 열화된 영상은 공간 적응 제한적 최소 제곱 복원 필터에 의해 처리된다. 이 필터는 7×7 크기의 올림형 코사인 윈도우에 의해 잘려진다. 마지막으로 그림 9에 보인 블록 분류 결과에 따라 서로 달리 복원된 이미지의 각 블록을 모은다. 그림 10은 블록화 현상이 현저히 준 결과 영상이다.

제안된 복원 이미지와 기존의 두가지 블록화 현상 제거 방법을 비교해 보자. 그림 11은 Reeve가 제안한 저주파통과 필터링 방법으로 처리된 영상이다^[3]. 그림에서 보인 것과 같이 블록화 현상이 완전히 제거되지 않았는데 그것은 필터링 영역이 블록 경계에 제한되기 때문이다. 그림 12는 Rosenholtz의 POCS 방법에 근거한 반복적 과정을 사용하여 블록화 현상을 줄인 영상이다^[8]. 반복적 방법에 근거한 POCS는 각 블록 경계 안쪽에서 영상이 쓸데없이 흐려지지 않으면서도 블록화 현상을 효율적으로 줄일 수 있다. 그러나 이 방법은 시간을 너무 많이 소모하는 단점으로 인하여 실시간 블록화 현상 제거에는 적합하지 않다.

그림 10, 11, 12에서 주관적인 영상의 질을 서로 비교해보면 그림 10의 복원 영상이 블록화 현상도 더 많이 제거되었고 에지도 잘 보존되었다는 것을 알 수 있다. 계산량을 비교하면, Reeve의 방법이 제일 효율적인 반면 제안한 알고리즘은 상당한 양의 추가적인 계산 과정이 필요하다는 것을 알 수 있다. 더 자세히 얘기하면 각각의 방법에서 덧셈과 곱셈 계산량은 아래와 같다.

Reeve의 방법은 각 $B \times B$ 블록에서 $9 \times (4B - 4)$ 만큼의 실수 곱셈과 실수 덧셈 과정이 필요하다. $N \times N$ 크기의 영상에서는 $(\frac{N}{B})^2$ 개의 블록이 있으므로 총 실수 곱셈과 실수 덧셈의 계산량은 $9 \times (4B - 4) \times (\frac{N}{B})^2$ 이 된다. Rosenholtz의 계산량을 구하기 위해 수렴을 위한 반복과정은 10이라고 가정한다. 각 반복과정에서 저주파통과 필터링 과정에 필요한 실수 덧셈과 실수 곱셈의 계산량은 $9 \times N^2$ 이다. 블록 이산 코사인 변환

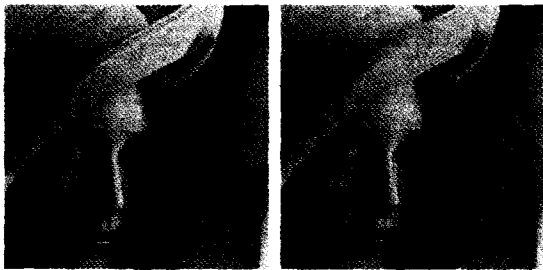
에 사용되는 실수 곱셈의 계산량은 $N^2 \log_2 B$ 이고 실수 덧셈의 계산량은 $3N^2 \log_2 B - N^2 + \frac{N^2}{B}$ 이다. 제안된 알고리즘은 블록 이산 코사인 변환에 대하여 실수 곱셈량 $N^2 \log_2 B$, 실수 덧셈량 $3N^2 \log_2 B - N^2 + \frac{N^2}{B}$ 이 필요하고 제한적 최소 제곱 필터링 계산과정에서는 실수 곱셈량과 실수 덧셈량이 같이 $49 \times N^2$ 만큼 필요하다. 위에 언급한 각각의 계산량은 표 1에 정리되어 있다.

표 1. Reeve, Resenholtz 그리고 제안된 방법의 총 계산량

Table 1. Computational complexities of Reeve's, Rosenholtz', and the proposed method.

Blocking artifacts reduction method	Computational cost	
	multiplications	additions
Reeve's method	$9 \times (4B - 4) \times (\frac{N}{B})^2$	$9 \times (4B - 4) \times (\frac{N}{B})^2$
Rosenholtz' method	$10 \times (9 \times N^2 + N^2 \times \log_2 B)$	$10 \times (9 \times N^2 + 3N^2 \log_2 B - N^2 + \frac{N^2}{B})$
The proposed method	$49 \times N^2 + N^2 \log_2 B$	$49 \times N^2 + 3N^2 \log_2 B - N^2 + \frac{N^2}{B}$

이러한 결과를 분석해보면, 제안된 복원 필터는 계산량이 많이 감소되었음에도 불구하고, 에지 방향이 잘 보존됨과 동시에 블록화 현상이 현저히 제거되었다는 것을 알 수 있다.

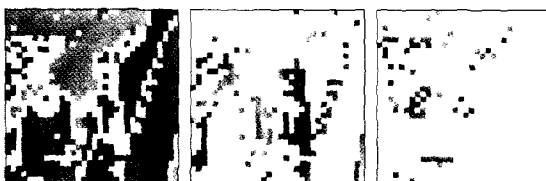


(a) (b)

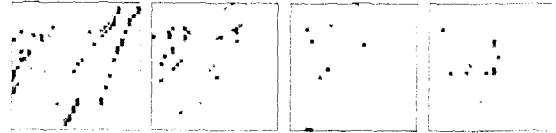
그림 8. (a) 512×512 레나 원 영상

(b) 압축된 512×512 레나 영상

Fig. 8. Parts of (a) the original and (b) the compressed 512×512 Lena images.



(a) (b) (c)



(d) (e) (f) (g)

그림 9. 0° ~ 180° 각도에서 연속적으로 분포한 에지 분류 (a) 모노 블록, (b) 수직 블록, (c) 수평 블록, (d) 0° ~ 45° 블록, (e) 45° ~ 90° 블록, (f) 90° ~ 135° 블록, (g) 135° ~ 180° 블록

Fig. 9. Edge classification result by the continuously distributed directions in the range 0° ~ 180° (a) monotone block, (b) vertical edge block, (c) horizontal edge block, (d) 0° ~ 45° edge block, (e) 45° ~ 90° edge block, (f) 90° ~ 135° edge block, (g) 135° ~ 180° edge block.

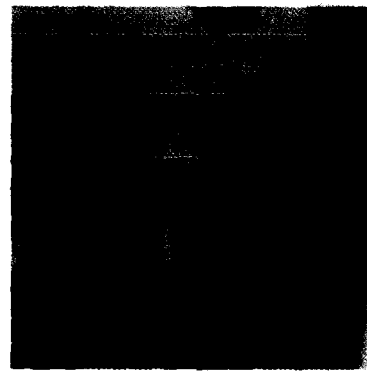


그림 10. 제안된 복원 필터를 사용하여 블록화 현상을 제거한 영상

Fig. 10. The block artifacts reduced image by using the proposed restoration filter.

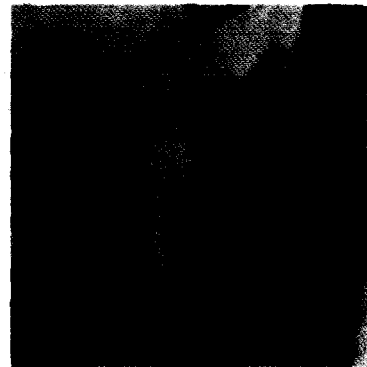


그림 11. Reeve의 방법을 사용하여 블록화 현상을 제거한 영상

Fig. 11. The block artifacts reduced image by using the Reeve's method.

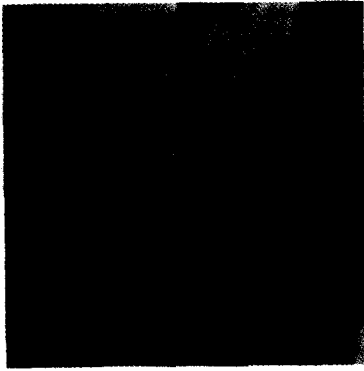


그림 12. Rosenholtz의 방법을 사용하여 블록화 현상을 제거한 영상

Fig. 12. The block artifacts reduced image by using the Rosenholtz' method.

VI. 결 론

본 논문에서는 블록-이산 변환 기반의 압축-재생 영상 내에 존재하는 블록화 현상을 효율적으로 제거할 수 있는 고속 적응적 영상 복원 필터를 제안하였다. 제안된 FIR 필터는 블록-이산 코사인 변환에 기반한 영상의 블록화 현상을 효율적으로 제거할 수 있다. 그러나 영상의 해상도는 원영상보다 다소 떨어지는데 이것은 적응적 블록 분류 방법 때문이다. 따라서 블록 분류나 분할의 더욱 효율적인 알고리즘이 연구되어야 할 것이다. 그리고 제안된 방식은 특히 내용기반 압축 방식에 더욱 효과적으로 적용될 수 있으며, 또한 처리된 영상에 대한 응용으로서 영상 확대 등 다양한 방법들이 제안되어 있다¹³⁾.

이 필터는 디지털 VCR, VOD, 쌍방향 TV 그리고 HDTV 시스템 같은 응용에서 디코더의 후처리 과정으로 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] J. Jeong, Y. Park, J. M. Yim, H. Moon, S. Kim, P. Yu, H. Kang, and W. Ahn, "Development of an experimental full-digital HDTV system: algorithm and implementation", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.40, no.3, pp.234-242, August 1994.

[2] Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K.

Katsaggelos, "Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images", *Trans. Image Processing*, vol.4, no.7, pp.896-908, July 1995.

- [3] H. Reeve and J. S. Lim, "Reduction of blocking effects in image coding", *Optical Engineering*, vol.23, no.1, pp.34-37, January 1984.
- [4] Y. Yang, H. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete cosine transform compressed images", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.3, no.6, pp.421-432, December 1993.
- [5] S. Minami and A. Zakhor, "An optimization approach for removing blocking effects in transform coding", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.5, no.2, pp.74-82, April 1995.
- [6] B. Jeon, J. Jeong, and J. Jo, "locking artifacts reduction in image coding based on minimum block boundary discontinuity", *Visual Commun. Proc. 1995, Image Processing*, pp. 198-209, May. 1995.
- [7] J. Jeong and B. Jeon, "Use of a class of two-dimensional functions for blocking artifacts reduction in image coding", *Proc. 1995 Int. Conf. Image Processing*, pp.478-481, Oct. 1995.
- [8] R. Rosenholtz and A. Zakhor, "Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.2, no.1, pp.91-94, March 1992.
- [9] H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice-Hall, 1977.
- [10] A. K. Katsaggelos, "Iterative image restoration algorithms", *Optical Engineering*, vol.28, no.7, pp.735-748, July 1989.
- [11] S. J. Reeves and S. L. Eddins, "Comments on iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding" *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.3, no.6, pp.439-440, December 1993.

[12] A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1989.

개선에 관한 연구”, 방송공학회논문지, 제2권 제2호, pp 169~181, 1997.

[13] 김태근, 신정호, 백준기, “MPEG-4 영상의 화질

저 자 소 개



金泰權(正會員)

1997년 2월 중앙대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 영상 압축 및 복원, 영상통신 하드웨어 구현



禹憲培(正會員)

1998년 2월 중앙대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 영상 복원, 웨이블릿 변환



白俊基(正會員)

1984년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 1987년 6월 Northwestern Univ. 전기공학 석사. 1990년 6월 Northwestern Univ. 전기공학 박사. 현재 중앙대학교 전자전기공학부 부교수. 주관심분야는 신호 및 영상처리, VLSI 구현 등