

압축 영상의 블록화 제거를 위한 적응적 고속 영상 복원 필터 An Adaptive Fast Image Restoration Filter for Reducing Blocking Artifacts in the Compressed Image

백종호¹, 이형호², 백준기², 원치선³
 중앙대학교 공과대학¹전기공학과, ²전자공학과
³동국대학교 공과대학 전자공학과

J. H. Paik¹, H. H. Lee², J. K. Paik², and C. S. Won³

Department of ¹Electrical, ²Electronics Engineering, Chung-Ang, University

³Department of Electronics Engineering, Dongguk, University

ABSTRACT

In this paper we propose an adaptive fast image restoration filter, which is suitable for reducing the blocking artifacts in the compressed image in real-time. The proposed restoration filter is based on the observation that 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.

We also propose a novel block classification method for adaptively choosing the direction of a highpass filter, which serves as a constraint in the optimization process. The proposed classification method adopts the bias-corrected maximized likelihood, which is used to determine the number of regions in the image for the unsupervised segmentation.

The proposed restoration filter can be realized either in the discrete Fourier transform domain or in the spatial domain in the form of a truncated finite impulse response (FIR) filter structure for real-time processing.

In order to demonstrate the validity of the proposed restoration filter experimental results will be shown.

1 서론

전송 대역이 제한된 공중파, 전화선, 및 ATM망 등을 이용하여 고해상도 영상을 실시간에 전송하기 위해서는 영상 압축이 불가피하다.

그런데, 이와 같은 영상 압축 기술은 구조 자체가 복잡한 계산량을 요구하기 때문에 실제 적용에 있어서는 부블록 단위의 정규적인 구조를 근간으로 발전하고 있다.

블록 기반의 영상 처리 기술 가운데 가장 대표적인 것으로 블록-DCT 영상 압축을 들 수 있는데, 이는 정지 영상 표준안인 joint photographic experts group (JPEG) [1], 동영상 압축 표준안인 moving pictures experts group (MPEG) [2]과

디지털 고선명 텔레비전(high definition television; HDTV) [3] 등에서 사용되고 있다.

그러나, 블록-DCT 기반의 영상 압축 기술은 많은 정보량을 압축할 수 있으며 복잡한 계산량을 줄일 수 있다는 장점이 있는 반면에, 전송률이 어느 정도 낮아지면 압축된 영상내에 블록화 현상(blocking artifacts)라는 현저한 화질 저하가 보여진다.

이러한 이유로, 본 논문에서는 압축된 영상내에 블록화 현상을 효율적으로 제거할 수 있는 적응적 고속 영상 복원 필터를 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2절에서는 블록-DCT 기반 압축-재생된 영상내에 존재하는 블록화 현상의 수학적 모델을 제시한다. 3절에서는 블록화 현상의 수학적 모델을 사용하여 본 논문에서 제안한 영상 복원 기법에 대하여 논의한다. 4절에서는 블록화 현상 제거의 실시간 구현을 위한 유한임펄스응답 영상 복원 필터에 대하여 논의한다. 그리고, 5절에서는 제안된 영상 복원 필터의 이론적 타당성을 입증할 수 있는 모의 실험 결과를 제시한다. 마지막으로 6절에서는 본 논문의 결론을 맺기로 한다.

2 블록화 현상의 열화 모델

블록-DCT 압축 기법에서 발생하는 열화요인으로는 크게 DCT 변환과 양자화 과정을 생각할 수 있는데, 이를 근거로 다음과 같은 열화 모델을 유도할 수 있다.

$N \times N$ 의 영상 $x(m, n)$ 을 $B \times B$ 블록 단위로 DCT 변환할 때

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

와 같이 1차원 벡터로 표시할 수 있다. 여기에서, x_k 는 $k = p(N/B) + q$ 일 때, (p, q) 번째 블록 사전적으로 나열한 B^2 의 크기를 갖는 1차원 벡터이다. 한 예로, 블록 단위로 배열된 입력 영상의 1차원 벡터 구조가 그림 1에서 보여진다.

이러한 압축-재생에 근거한 블록-DCT 열화 모델은

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

와 같이 정의할 수 있다. 여기에서, y 는 블록 현상이 존재하는 재생 영상을 의미한다. 그리고, C 와 C^{-1} 는 각각 $N^2 \times N^2$ 크기의 순방향과 역방향 블록 DCT 행렬을 나타내고, Q 와 D^{-1}

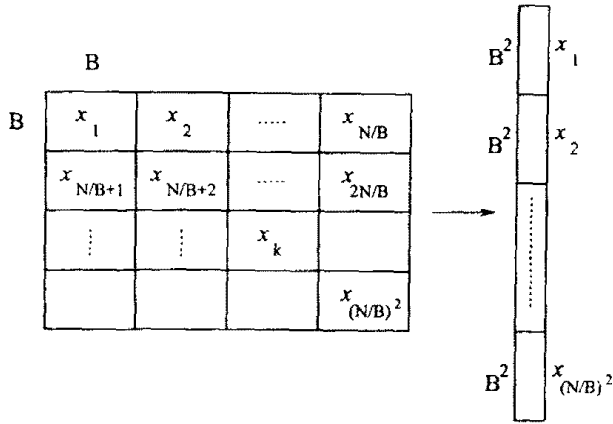


그림 1: $N \times N$ 의 영상 $x(m, n)$ 을 $B \times B$ 블록 단위로 재구성하여 만든 1차원 벡터

는 각각 $N^2 \times N^2$ 크기의 양자화와 역양자화 행렬을 나타낸다. 이러한 블록-DCT 기반 시스템의 열화 모델 블록도가 그림 2에서 보여진다.

식 (2)의 열화 모델에 근거하면 순방향 및 역방향 DCT 행렬은 각각

$$C = \begin{bmatrix} [c] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & [c] & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & [c] \end{bmatrix} \text{ and} \quad (3)$$

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

와 같이 표현할 수 있으며, $[c]$ 와 $[c]^{-1}$ 는 각각 사전적으로 배열된 $B \times B$ 의 블록 영상에 해당되는 $B^2 \times B^2$ 크기의 순방향과 역방향 DCT 행렬을 나타낸다. 그리고, 식 (2)에서 Q 라고 정의한 양자화 행렬은

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

와 같이 나누어 나타낼 수 있다. 여기에서 D 는

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

이고, 대각화된 부행렬 $[d_k]$ 는 대각 행렬이며, 각 행렬의 대각 원소는 양자화 계수의 역수를 의미한다. 그리고 R 은 비선형 연산인 반올림을 행렬로 나타낸 것이다.

3 영상 분할 기반 적응 영상 복원

A. 적응적 영상 복원 필터

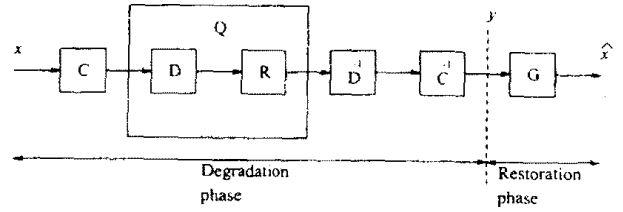


그림 2: 블록-DCT 기반 시스템의 열화 모델

식 (2)에서 $H = C^{-1}D^{-1}QC$ 라고 정의하면

$$y = Hx, \quad (6)$$

와 같이 단순화된 형태의 열화 모델을 얻을 수 있다. 만일 H 가 선형-공간 불변(linear space invariant)이라고 가정하면, 즉 H 가 블록 순환의 구조이면, 식 (6)의 해인 x 는 이산푸리에변환 영역에서 선형최소제곱오차, 또는 제약적최소제곱오차 필터를 사용하여 쉽게 구할 수 있다. 실령, H 가 블록 순환 구조를 가지지 않더라도 반복적 영상 복원 기법을 적응적으로 사용하여 구할 수도 있다.

그러나, 2절에서 설명한 H 는 반올림 연산 행렬 R 의 성질 때문에 비선형성을 가진다. 즉, 블록 현상을 유발하는 열화 모델을 의미하는 H 는 1대1 대응연산이 아니기 때문에 식 (6)의 해도 유일하게 결정되지 않는다. 따라서, 적응적인 반복적 영상복원 기법이나 최적화 기법에 근거하여 여러개의 해들로 구성된 집합으로부터 적절한 제약조건을 적용하여 원하는 해를 선택하는 방식이 요구된다. 따라서, 이러한 비선형적이고 공간 가변적인 열화인 블록 현상을 제거하는데 projection onto convex sets (POCS)에 근거한 반복적 영상 복원 기법이나 변환 계수를 추정하는 최적화 기법 등이 제안된 바 있다 [4, 5, 6, 7, 8, 9].

앞서 언급한 JPEG, MPEG과 HDTV 등의 시스템과 같은 블록 단위 DCT 기반의 압축을 수행할 경우, 전송률이 어느 정도 이상 낮아지면 블록 현상이 발생하며 이것은 영상의 화질을 크게 저하시킨다. 특히 동영상에서 움직임이 급격히 변화하면 블록 현상에 의한 화질 열화는 더욱 심각해지게 된다. 이와 같은 경우 반복적 방식에 근거한 기존의 블록 현상 제거 기술들은 수렴속도가 낮아서 적합하지 못하다.

본 절에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 적응적 제약적 최적화에 근거한 고속 블록 현상 제거 알고리즘을 제안하고자 한다.

식 (6)의 해를 일반적인 제약적 최적화 영상복원 방법에 근거하여 구하기 위한 한 방법으로서

$$\|A\hat{x}\|^2 \leq \epsilon^2, \quad (7)$$

을 만족하면서

$$\|y - H\hat{x}\|^2 = 0, \quad (8)$$

를 만족하는 해 \hat{x} 를 구할 수 있다 [10]. 여기에서 A 는 일반적으로 고주파통과 필터를 의미한다. 그런데, 식 (7)과 (8)에서 보면, H 가 비선형 성질을 가지고 있기 때문에 원영상, 열화된 영상, 그리고 많은 다른 영상들이 식 (8)을 만족하는 집합에 속하게 된다. 그리고, 원영상에 보다 가까운 영상을 찾기 위해서는 블록들의 경계에서 분산값이 식 (7)에서 주어진 상수값보다 작아야함을 의미한다.



(a) 패턴 1, (b) 패턴 2, (c) 패턴 3, (d) 패턴 4, (e) 패턴 5

그림 3: 다섯 종류의 가능한 블록 패턴

이러한 관계에서 앞서 제시한 일반적인 제약적 최적화 방법을 다음과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$\|AE\hat{x}\|^2 \leq \epsilon^2 \quad (9)$$

을 만족하면서

$$\|y - H_L\hat{x}\|^2 \quad (10)$$

을 최소로 하는 해 \hat{x} 를 찾는다.

이때, H_L 과 AE 에 대하여 다음과 같은 가정을 하기로 한다.

가정 1 H_L 은 공간 불변의 저주파통과 필터이다.

가정 2 AE 는 블록별로 분류된 윤곽 정보로 방향이 결정된 블록 적용적인 고주파통과 필터이다.

가정 1은 고주파 성분을 가진 DCT 계수가 저주파 성분의 DCT 계수에 비해 더 성기게 양자화된다는 관찰에서 기인하고, 가정 2는 영상의 윤곽 성분의 방향성을 고려하는 필터를 구현하기 위한 것이다.

B. 블록 기반의 윤곽 분류

본 절에서는 앞서 제안하였던 블록 적용적 방향성 고주파통과 필터를 구현하기에 적합한 새로운 블록 분류 기법을 제시하기로 한다.

주어진 영상의 블록의 특성을 결정하기 위해서 모델 일치(model-fitting) 기준을 적용하였다. 보다 구체적으로, 제안된 방식은 그림 3에 보인 것과 같은 다섯 종류의 분류 가능한 형태의 블록을 정의한 후, 그들 중 주어진 블록과 가장 일치하는 하나를 선택하는 과정으로 설명될 수 있다. 이때, 일치 기준으로는 unsupervised 영상 분할에서 많이 사용되는 bias-corrected maximized likelihood를 적용하였다. 블록내의 영역 k 에 해당하는 영상이 평균 r_k 와 분산 σ_k^2 갖는 independent and identically distributed (iid) 가우시안 분포라 가정할 때, 영역 k 에 해당되는 joint PDF는 다음과 같이 표현된다.

$$P_k(X) = \prod_{(i,j) \in R_k} \frac{1}{2\pi\sigma_k^2} \exp\left\{-\frac{(x(i,j) - r_k)^2}{2\sigma_k^2}\right\}, \quad (11)$$

여기에서, R_k 는 해당 영역내의 모든 화소의 집합을 나타낸다. 식 (11)에서 미지의 (r_k, σ_k^2) 에 대한 maximum likelihood (ML) 추정치는 다음과 같이 결정된다.

$$\hat{r}_k = \frac{1}{|R_k|} \sum_{(i,j) \in R_k} x(i,j), \quad (12)$$

그리고,

$$\hat{\sigma}_k^2 = \frac{1}{|R_k|} \sum_{(i,j) \in R_k} \{x(i,j) - \hat{r}_k\}^2, \quad (13)$$

여기에서, $|R_k|$ 는 영역 k 내에 존재하는 화소수를 의미한다. 위에서 구한 평균과 분산을 joint PDF를 결정한 식 (11)에 대입하면 영역 k 에 대해서 다음과 같은 maximum log-likelihood 주어진다.

$$\ln P_k(X) = -\frac{|R_k|}{2} \ln \hat{\sigma}_k^2 + C, \quad (14)$$

이때, C 는 적당한 상수를 나타낸다. 그림 3의 첫번째 패턴은 $\ln P_1(X) = \ln P(X)$ 가 되지만 나머지 패턴들은 각기 두 영역으로 다시 분리되어 $\ln P_k(X) = \ln P(X_1) + \ln P(X_2)$ 와 같이 표현할 수 있다. 그렇게 한 후, 다섯 종류의 패턴들 중 log-likelihood를 최대화 시키는 가장 적합한 패턴을 나타내는 i^* 는

$$i^* = \arg \max_{i \in \{1, \dots, 5\}} \{\ln P_i(X) - M^c m(i)\}, \quad (15)$$

와 같이 결정되고, $m(i)$ 는 추정하고자 하는 독립된 모델 매개변수의 갯수를 나타낸다. iid 가우시안 모델을 적용할 경우, 사전에 분류된 패턴들에 있어서 $m(1) = 2$, $m(i) = 4$, for $i = 2, \dots, 5$ 가 된다. 또한, log-likelihood 함수에서 상수 C 는 0.5 ~ 0.6의 값이 적당한 것으로 알려져 있다 [11].

4 적응적 FIR CLS 영상 복원 필터의 실시간 구현

3절에서 제시한 근사화된 제약적 영상 복원 필터를 구현하기 위하여, 가정 1에 맞추어 다음과 같은 아주 간단한 저주파통과 필터를 사용한다.

$$h(m,n) = \frac{1}{22} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 10 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

그리고, 가정 2에 근거하면 AE 는 블록별로 분류된 윤곽 정보에 따라 고주파통과 필터를 적용적으로 변화시킬을 의미한다. 따라서, 열화된 영상의 8×8 블록별 윤곽 정보를 찾아 monotonic, texture, 45° 대각선, 그리고 135° 대각선 방향의 블록으로 분류를 한다. 이렇게 분류된 블록의 윤곽 정보에 따라 서로 다른 고주파통과 필터 C_E 를 사용하여

$$G_E(k,l) = \frac{H^*(k,l)}{|\mathcal{H}(k,l)|^2 + \lambda |C_E(k,l)|^2}, \quad (17)$$

과 같은 제약적최소제곱오차 필터를 구현할 수 있다. 여기에서 C_E 는 고주파통과 필터 C_E 의 이산푸리에변환을 의미한다.

본 논문에서는 블록의 윤곽 정보를 얻기위하여 앞서 3.B절에서 제안한 블록 기반의 윤곽 분류 기법을 사용하였으며, 각각의 블록 윤곽 정보에 따라 다음과 같은 네 종류의 고주파통과 필터를 사용하였다.

$$C_{mono} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, C_{text} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 4 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

$$C_{d45} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C_{d135} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

블록 윤곽 정보에 따른 각각의 고주파 통과 필터를 사용하여 주파수 영역에서 식 (17)의 영상 복원 필터를 구성할 수 있다. 이와 같이 구성된 영상 복원 필터를 공간 영역에서 실시간으로 처리하기 위하여, 각각의 영상 복원 필터를 역 이산푸리에 변환한 후, raised cosine window를 사용하여 적응적 유한임펄스응답 영상 복원 필터를 구성한다 [12].

5 실험 결과

실험영상으로는 512×512 lena 영상으로 부가적 잡음은 인가되지 않은 것으로 가정하였다. 블록-DCT 기반 압축은 [1]에서 제시한 방법을 사용하였다. 원 영상과 블록-DCT 기반 압축-재생된 영상의 일부가 그림 4a와 b에서 차례대로 보여진다.

그림 4b의 영상에 대하여 앞서 제안한 블록 기반 윤곽 분류 기법으로 분류된 네 종류의 결과가 그림 5에 보여진다.

블록-DCT 기반 압축-재생된 영상에 대하여 4절에서 제안한 적응적 무한임펄스응답 영상 복원 필터를 사용하여 복원된 영상의 일부가 그림 4c에서 보여진다. 이때, 윤곽 정보에 따른 영상 복원 필터의 λ_{mono} , λ_{text} , λ_{d45} , 그리고 λ_{d135} 는 각각 230, 10, 30과 10으로 결정하였다. 또한, 블록화 현상의 실시간 제거를 위하여 공간 영역에서 13×13 유한임펄스응답 복원 필터로 복원된 영상의 일부가 그림 4d에서 보여진다.

그림 4b와 c에서 보면 적응적 무한임펄스응답 영상 복원 필터로 복원된 영상은 블록-DCT 기반 압축-재생된 영상에 비해 객관적 지표인 PSNR은 다소 떨어지지만, 평탄한 영역과 방향성이 존재하는 영역에서 블록화 현상이 현저하게 제거되어 인간의 주관적인 시각적 특성에는 부합하는 것으로 보여진다.

그리고, 그림 4d에서 보여지는 13×13 탭 유한임펄스응답 적응적 필터로 복원된 영상은 그림 4c에 비하여 PSNR값은 떨어지지만 인간의 주관적인 시각특성으로는 별차이가 보이지 않으며 효율적인 하드웨어 구현을 통해 실시간 영상 복원이 가능함을 보여준다.

6 결론

본 논문에서는 블록-DCT 기반의 압축-재생 영상내에 존재하는 블록화 현상을 효율적으로 제거할 수 있는 적응적 고속 영상 복원 필터를 제안하였다. 또한, 블록 적응적 방향성 고주파 통과 필터를 구현하기에 적합한 새로운 블록 분류 기법을 제안하였다.

제안된 적응적 고속 유한임펄스응답 필터를 사용하여 복원 영상은 블록-DCT 기반의 영상내에 존재하는 블록화 현상을 현저하게 줄일 수 있었으나, 복원 영상의 해상도는 다소 떨어짐을 볼 수 있었다. 이는 블록-DCT 기반 압축 영상을 블록별로 분류하여 적응적으로 처리하기때문에 블록 분류의 방법과 밀접한 관계가 있다.

따라서, 블록-DCT 기반 압축 영상의 해상도를 향상하기 위해서는 영상내의 윤곽 특성에 부합하는 블록 기반 윤곽 분류 기법에 대한 연구가 향후 논의되어야 할 것이다.

참고 문헌

[1] *Information technology-digital compression and coding for continuous-tone still images, Part I: Re-*

quirements and guidelines, International Standard ISO/IEC IS 10918-1, September 1992.

- [2] *Information technology-Generic coding of moving pictures and associated audio information: video*, International Standard ISO/IEC IS 13818-2, November 1994.
- [3] *Grand Alliance HDTV System Specification*, ACATS Technical Subgroup Draft Document, February 1994.
- [4] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-invariant postprocessing of block coded images," *IEEE Tran. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 34, pp. 1258-1267, October 1986.
- [5] Y. 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 Syst. Video Technol.*, vol. 3, no. 6, pp. 421-432, December 1993.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Y. Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, no. 7, pp. 896-908, July 1995.
- [9] 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.
- [10] H. C. Andrews and B. R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice-Hall, 1977.
- [11] C. S. Won and H. Derin, "Unsupervised segmentation of noisy and textured images using Markov random fields," *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, vol. 54(4), pp. 308-328, 1992.
- [12] 백종호, 문준일, 백준기, 양원영, "영상복원을 위한 제약적최소제곱에러 필터에 관한 연구," 제 7회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, vol. 7, pp. 149-156, 1995년 2월.

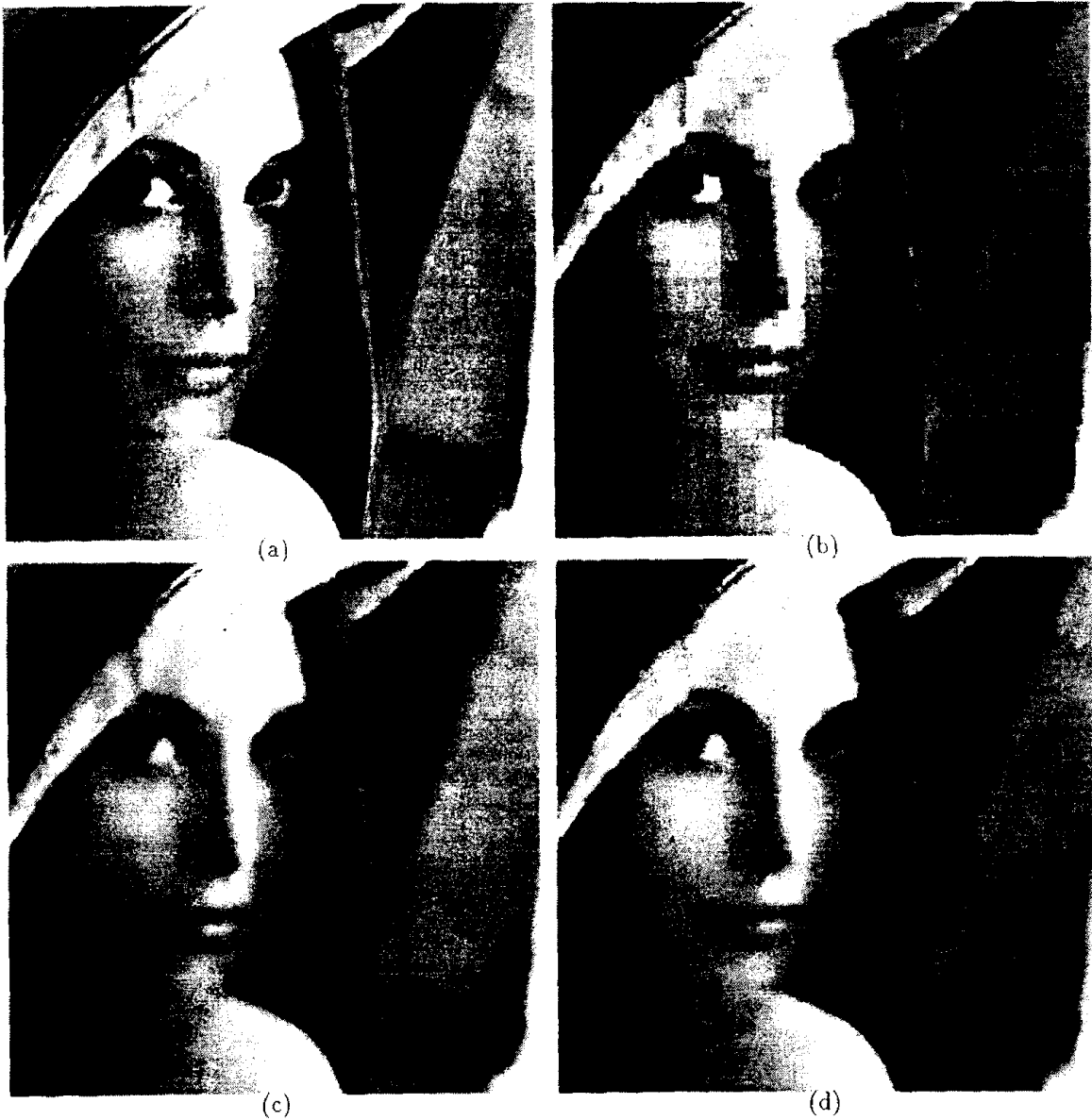


그림 4: (a) 원 영상, (b) JPEG 압축-재생 영상, (c) 적응적 IIR 복원 필터로 복원한 영상, (d) 13×13 탭 FIR 복원 필터로 복원한 영상

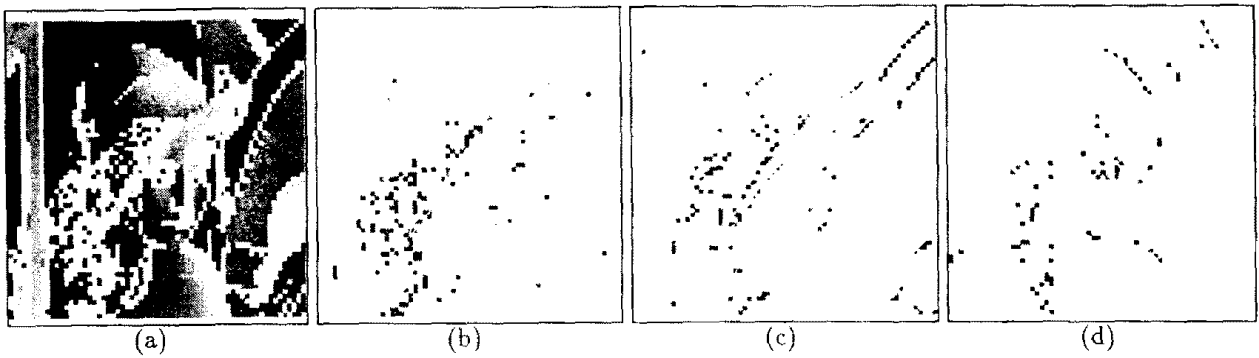


그림 5: (a) monotonic 불투, (b) texture 불투, (c) 45° 불투, (d) 135° 불투