

POCS를 이용한 효과적인 블록 현상 제거 기법

김윤, 정재한, 김재원, 고성제
고려대학교 전자공학과

Post-processing Technique based on POCS for Visual Enhancement

Yoon Kim, Jae-Han Jung, Jae-Won Kim, Sung-Jea Ko
Dept. of Electronics Engineering, Korea University

Abstract

In this paper, we propose a postprocessing technique based on the theory of projection on convex sets(POCS) to reduce the blocking artifacts in HDTV decoded images. In BDCT of HDTV, the image is divided into a grid of non-overlapped 8×8 blocks, and then each block is coded separately. A block which is located one pixel apart from the grid of BDCT will include the boundary of the original 8×8 block. If the blocking artifact is introduced along the block boundary, this block will have different frequency characteristic from that of the original block. Thus, a comparison of frequency characteristics of these two overlapping blocks can detect the undesired high-frequency components mainly caused by the blocking artifact. By eliminating these undesired high-frequency components adaptively, robust smoothing projection operator can be obtained. Simulation results with real image sequences indicate that the proposed method performs better than conventional algorithms.

I. Introduction

블록 이산 여현 변환(block discrete cosine transform, BDCT)은 JPEG [1], H.261 [2], 그리고 MPEG [3]와 같은 정지 영상 및 동영상 부호화 표준에 넓게 사용되고 있다. 디지털 HDTV 시스템에서도 영상 신호는 BDCT에 의해 압축되고, 방송 채널에 의해 전송된다. 그러나, 구현의 용이성을 위해 영상은 각각의 블록들로 나뉘고, 이 블록들은 블록 사이의 상관 관계가 고려되지 않은 채 독립적으로 압축된다. 이런 기법은 필연적으로 BDCT 복호 영상에서 두 가지 주요한 결점을 보여준다. 하나는 영상의 에지에서 나타나는 계단 잡음(staircase noise)이고, 다른 하나는 변화가 없는 영역에서 나타나는 격자 잡음(grid noise)이다(그림 1).

블록 현상들은 사람의 시각 구조에 크게 관련되어있다. 또한 공간 영역이나 주파수 영역에서 블록 현상을 분석하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 블록 현상이 저주파 성분이 아닌 고주파 성분을 증가시킨다는 것은 널리 알려져 있다. 복호된 영상의 주파수 성분 중, 특정 주파수 이상의 고주파 성분은 블록 현상에 기인한 것이

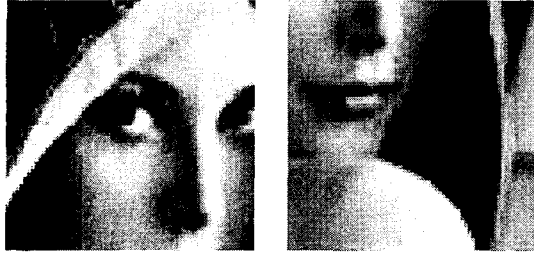
라는 연구도 발표되었다 [4].

후처리 방법은 코덱(codec)을 변형시키지 않고, 화질을 개선시킬 수 있다는 점에서 장점이 있다. 선형 저대역 통과 필터를 이용하는 후처리 방법이 구현의 단순함으로 인해 가장 많이 알려져 있다 [5]. 그러나, 저대역 통과 필터는 영상의 에지 성분을 흐리게 하고, 화질을 떨어뜨린다는 단점이 있다. 이 문제를 해결하기 위해, 좀 더 복잡한 비선형 공간 적응적 필터가 제안되었다 [6]. 이 기법은 영상 블록의 특성에 따라 블록마다 각기 다른 필터를 적용하였다. 또 다른 적응적 필터가 에지 및 블록 경계에 있는 잡음을 제거하기 위해 제안되었다 [7].

POCS 이론에 근거한 반복 기법들(iterative approaches)은 영상 복원(image restruction)의 특수한 경우라고 생각할 수 있다 [8]. POCS 이론에 근거한 복원 기법은 만약 제한 조건이 convex 집합과 결합될 수 있다면 많은 수의 *a priori* 제한 조건을 이용할 수 있다는 장점이 있다. 이런 반복 기법들은 블록 현상 제거 [9] 및 에러 오프셋 등에 쓰인다 [10].

이 논문에서 우리는 복호된 영상의 블록 현상을 제거하기 위해 POCS에 근거한 후처리 영상 향상 기법을 제안한다. BDCT 기법에서 영상은 8×8 크기의 블록들로 겹치지않게 나뉘어서 각각 독립적으로 부호화된다. 만약 원래 영상의 블록에서 한 픽셀만큼 이동한 블록을 가정한다면 이는 원래 블록의 경계를 포함하게 될 것이다. 따라서 블록 경계에서 블록 현상이 나타난다면, 이 블록 경계를 포함한 블록의 주파수 특성은 원래 블록의 주파수 특성과는 다른 양상을 나타낼 것이다. 따라서 두 블록의 주파수 특성을 비교함으로써 블록 현상에 의해 생긴 고주파 성분을 찾아낼 수 있다. 지금까지 기술한 개념에 기반하여 우리는 새로운 closed convex sets과 그 투영자(projection operators)를 제안하며, 이는 블록 현상들을 효과적으로 제거할 수 있다. 이 논문은 다음과 같이 구성되어있다. 다음 절에서 POCS 이론에 근거한 기존의 후처리 기법들이 간단히 소개되어있다. 제안하는 후처리 기법은 III절에서 서술되어있고, IV절에서 실험 결과가 보여진다. 마지막으로 V절에서 결론을 서술한다.

II. POCS에 근거한 반복 기법들



(a) Grid noise. (b) Staircase noise
그림 1. JPEG 복호 영상의 블록 현상들.

POCS 이론에 근거한 후처리 기법은 두개의 조건을 만족시켜야 한다 [4], [9], [11] : 먼저, 닫힌 convex sets가 정의되어야 하는데, 이는 블록 현상이 없는 원래 영상에 가까운 영상의 특성을 찾아낸다. 두 번째는 convex sets로의 투영자를 만드는 것이다.

[4]에서 POCS 이론에 근거한 반복 기법이 BDCT 영상의 블록 현상을 없애기 위해 사용되었다. 이 기법은 압축 영상에 두개의 제한 조건, 즉 smoothness constraint (C_s)와 quantization constraint (C_q)을 사용한다 (그림 2).

Smoothness constraint는 수직, 수평 방향의 고주파 잡음을 제거하기 위하여 수직, 수평 방향으로 영상의 주파수 대역을 제한한다. Quantization constraint는 처리된 영상의 DCT 계수가 원래 양자화 영역에 남아 있도록 하는데, 이는 부호화된 영상이 복호화될 때 각 DCT 계수에 적용되는 양자화기의 결정 레벨이 이미 알려지기 때문에 가능하다. 만약 제한 조건들이 각각의 투영자를 가진 닫힌 convex sets로 정의될 수 있다면, POCS 이론은 복호된 영상이 convex sets의 교집합에 속하는 영상으로 수렴된다는 것을 보여준다 [8]. [12]에서 Paek 등은 smoothness constraint sets를 제안하고, [4]에서 제안한 quantization constraint sets를 사용하였다. 그들의 연구에 의하면 두개의 이웃한 블록의 전체 주파수 특성은 각각 블록의 주파수 특성과 매우 유사하고, 만약 두 블록 사이에 블록 현상이 나타난다면, 두 블록의 전체 주파수 특성과 각각 블록의 주파수 특성은 매우 다르다. 그러하여, 전체 주파수 특성과 각각의 주파수 특성을 비교한다면 블록 현상을 찾아낼 수 있다. 그러나, Paek의 연구는 매우 많은 계산량을 요구한다.

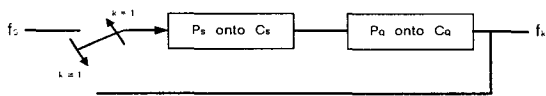


그림 2. POCS에 기반한 후처리 기법의 블록도

III. 블록 현상을 제거하기 위해 제안한 smoothness constraint sets과 투영자

이 절에서, 우리는 먼저 원래 블록과 한 픽셀 이동한 블록의 주파수 특성을 분석하고, POCS 반복 기법을 사용하기 위하여 DCT 영역에서의 smoothness constraint sets과 그 투영자를 제안한다.

$mN \times nN$ 입력 영상과 그 픽셀을 각각 f 와

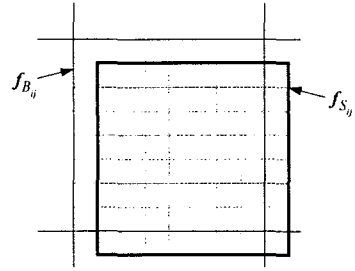


그림 3. $f_{B_{ij}}$ 와 $f_{S_{ij}}$ 의 예시

$f(a,b)$ 로 정의하고, 여기서 (a,b) 는 픽셀 좌표를 나타낸다. 또한, $f_{B_{ij}}$ 와 $f_{S_{ij}}$ 는 각 블록의 $N \times N$ 원소를 나타내는 $N \times N$ 벡터로서, 다음과 같이 나타낸다.

$$f_{B_{ij}} = \{b_{ij}(0,0), \dots, b_{ij}(N-1, N-1)\}, \quad (1)$$

$$f_{S_{ij}} = \{s_{ij}(0,0), \dots, s_{ij}(N-1, N-1)\}, \quad (2)$$

여기서, $b_{ij}(x,y) = f(iN+x, jN+y)$, $s_{ij}(x,y) = f(iN+x+1, jN+y+1)$, $i=0, \dots, (m-2)$ 그리고 $j=0, \dots, (n-2)$ 이다.

그림 3에서 보는 것처럼 $f_{S_{ij}}$ 은 원래의 블록 $f_{B_{ij}}$ 에서 한 행과 열씩 우측으로 이동한 블록으로 $f_{B_{ij}}$ 의 오른쪽과 아래쪽의 경계를 포함한다.

이를 간단히 표현하기 위해서, b_{ij} 와 s_{ij} 는 각각 b 와 s 로 나타낸다. $B(u,v)$ 와 $S(u,v)$ 는 $b(x,y)$ 와 $s(x,y)$ 의 DCT한 결과라고 하면,

$$B(u,v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} b(x,y) \times \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right], \quad (3)$$

$$S(u,v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} s(x,y) \times \cos \left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right], \quad (4)$$

여기서,

$$\alpha(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & k = 0, \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

복호된 영상에서, zig-zag scan 순서로 R 의 0이 아닌

계수가 나타나는 위치가 S 의 0이 아닌 계수가 나타나는 위치보다 더 멀리 있다면, 이 계수들은 블록간의 급격한 밝기의 변화, 즉 블록 현상이라고 생각할 수 있다. 위의 개념에 의해 우리는 블록 현상을 줄이기 위한 방법으로 smoothness constraint sets과 그 투영자를 제안한다.

$(m-1) \times (n-1)$ 의 닫힌 convex sets을 $C_{S_{ij}}$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$C_{S_{ij}} = \left\{ f \mid f_{S_{ij}} \subset f, NZ(S_{ij}) \leq NZ(B_{ij}) + T(V_{S_{ij}}) \right\} \quad (6)$$

여기서, $NZ(\cdot)$ 는 zig-zag scan 순서로 0이 아닌 DCT 계수가 나타나는 마지막 위치를 나타내고, $T(V_{S_{ij}})$ 는 영상의 자연스러움을 살리기 위해 남기는 S 의 DCT 계수의 위치를 나타낸다. $V_{S_{ij}}$ 은 $f_{S_{ij}}$ 의 분산을 추정된 것으로, S 의 처음 다섯 개의 AC 계수의 절대 값의 합으로 계산한다.

작은 $V_{S_{ij}}$ 을 가진 블록 $f_{S_{ij}}$ 은 변화가 없는 영역으로 생각할 수 있다. 따라서, $T(V_{S_{ij}})$ 는 작은 값을 갖고, 더 많은 고주파 계수가 없어진다. 반면에, 큰 $V_{S_{ij}}$ 을 갖는 블록 $f_{S_{ij}}$ 은 에지를 포함하고 있는 영역으로 판단할 수 있고, 큰 값을 갖는 $T(V_{S_{ij}})$ 는 에지를 보존하는 역할을 한다.

위에서 정의한 smoothness constraint sets을 관찰하면, 이 sets들로의 투영자를 다음과 같이 찾아낼 수 있다. 미리 결정된 $NZ(B_{ij}) + T(V_{S_{ij}})$ 보다 멀리 있는 위치에 있는 S_{ij} 의 0이 아닌 DCT 계수를 없애는 방법에 의해 투영된 요소 \tilde{S}_{ij} 를 얻을 수 있다.

표 I. 양자화 테이블

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	66
14	13	16	24	40	57	69	57
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	36	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

IV. 실험 및 결과

앞에서 언급했던 후처리 기법들 중 Zakhor [4]와 Paek [12]의 방법과 제안한 기법을 "Lena", "Girl", "Baboon", 그리고 "Bridge" 정지영상에 적용하여 각각의 성능을 비교하였다. 블록 현상을 가진 네 개의 복호된 영상은 JPEG [1]로 압축되었으며, 표 I에서 보이는 양자화 테이블을 사용하였다.

원래 영상 $f(x, y)$ 과 후처리한 영상 $g(x, y)$ 사이의 유사도를 측정하기 위해 peak signal-to-noise ratio (PSNR)을 사용한다. 그림 4는 반복 횟수에 따라 제안한 알고리즘과 Zakhor와 Paek의 기법의 PSNR을 비교한 것이다. 그림 4에서 보여지는 것처럼, 제안한 기법은 입력 영상에 상관없이 한번의 처리만으로도 수렴하는 것을 알 수 있다. 반면, Zakhor의 기법은 수렴하지 못한다. 또한, 제안한 기법의 성능은 Paek 기법의 성능보다 우수하다. 이 실험은 제안한 기법이 입력 영상에 상관없이 수렴하고 성능 향상을 가져올 수 있다는 것을 알려준다.

실제적인 화질의 비교를 위해서, 그림 5에 Lena 영상의 일부분을 확대해서 보여준다. 비록 Zakhor의 기법이 블록 현상을 없애기는 하지만, 일반적인 low-pass filter를 사용하기 때문에 영상이 흐려지게 된다. 제안한 기법은 다른 두 기법보다 블록 현상을 효과적으로 제거하고, 에지는 잘 보존하는 것을 볼 수 있다. 비슷한 결과가 다른 실험 영상에서도 얻어진다.

표 II에서 제안한 기법의 PSNR 성능이 다른 두 기법의 성능과 비교되어 보여진다. 제안한 기법이 다른 두 기법보다 우수한 PSNR 성능을 나타냄을 알 수 있다.

표 II. 각 기법에 따른 PSNR 비교

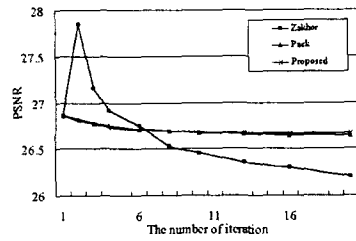
영상	Lena	Girl	Baboon	Bridge
JPEG	30.58	32.83	26.86	27.47
Zakhor 기법	29.98	32.33	23.93	26.20
Paek 기법	30.11	32.48	24.45	26.64
제안한 기법	30.27	32.64	25.21	26.67

V. 결론

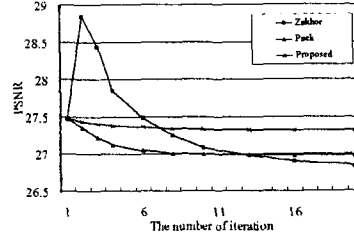
본 논문에서는 POCS 이론에 근거하여 HDTV 복호 영상에서 나타나는 블록 현상을 제거하는 후처리 화질 개선 기법을 제안하였다. 우리는 두개의 한 픽셀을 이동하여 겹쳐진 블록을 사용하여, 블록 현상에 의해 야기된 원치않는 고주파 성분을 추정하고, 제안한 smoothing 투영자에 의해 이를 제거하였다. 실험 결과는 제안한 기법이 기존의 다른 후처리 기법보다 성능이 뛰어나다는 것을 보여준다.

참고문헌

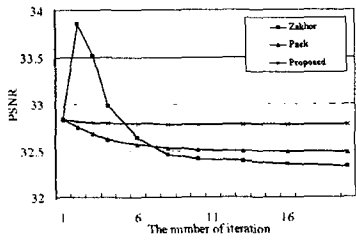
- [1] ISO/IEC/JTC1/SC1/WG8. JPEG technical specification, Revision 8, 1990.
- [2] ITU-T. Video codec for audiovisual services at px64kbps. Recommendation H.261, 1993.
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29, Coding of moving pictures and association audio, Recommendation H.262: ISO/IEC 13818, 1993.
- [4] A. Zakhor, "Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 2, pp. 91-95, Mar. 1992.
- [5] M.Liou, "Overview of the px64kbit/s video coding," Commun. ACM, vol. 34, pp. 46-58, Apr. 1991.
- [6] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. ASSP-34,



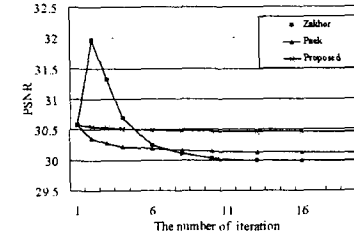
(a) Lena 영상



(b) Girl 영상



(c) Baboon 영상



(d) Bridge 영상

그림 4. 각 기법에 따른 PSNR 비교



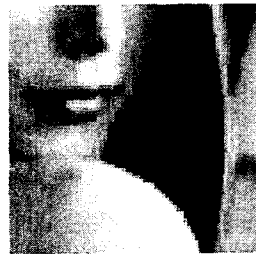
(a) Zakhor의 기법



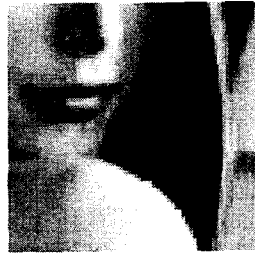
(b) Lee의 기법



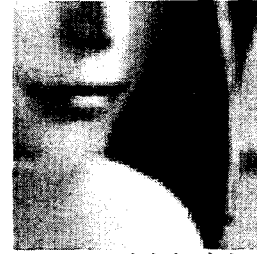
(c) 제안한 기법



(d) Zakhor의 기법



(e) Lee의 기법



(f) 제안한 기법

그림 5. Lena 영상의 각 기법에 따른 화질 비교

- pp. 1258-1267, Oct. 1986.
- [7] C. J. Kuo and R. J. Hsieh. "Adaptive postprocessor for block encoded images." IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 5, pp. 298-304, Aug. 1995.
- [8] D. Youla and H. Webb. "Image restoration by the method of convex projections: part 1--Theory." IEEE Trans. Med. Imag., vol. MI-1, pp.81-94, Oct. 1982.
- [9] Y. Yang and N. P. Galatsanos and A. K. Katsaggelos. "Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images." IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 3, pp. 421-432, Dec. 1993.
- [10] 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.
- [11] Y. Yang and N. P. Galatsanos and A. K. Katsaggelos. "Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete cosine transform compressed images." IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 5, pp. 298-304, Aug. 1995.
- [12] H. Paek and R. -C. Kim and S. -U. Lee, "On the POCS-based postprocessing technique to reduce the blocking artifacts in transform coded images," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 8, no. 3, pp. 358-367, June 1998