

저전송률 영상압축에 있어서의 후처리 기법

이주홍*, 정제창, 최병욱
한양대학교 전자통신공학과
서울시 성동구 행당동 17

J. Lee*, J. Jeong, and B. U. Choi
Department of Electronic Communications Engineering, Hanyang University
17 Hangdang Sungdong, Seoul

Abstract

A new method of blocking effects reduction is proposed in this paper for use in low bitrate image coding. We use 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. Then we use these basis images to obtain the correction terms for blocking artifacts reduction. 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. 서론

이산여현변환(DCT: Discrete Cosine Transform)은 JPEG, H.261, MPEG-1, MPEG-2와 같은 국제 표준들의 핵심 압축 방식으로 자리를 잡고 있는 대표적인 블록 변환 부호화 방식이다. 이같은 블록 단위의 변환 부호화에 있어서 그 변환 계수들의 양자화 에러가 클 경우에는 블록의 경계면을 따라 나타나는 블록킹 현상(Blocking Artifacts)의 발생으로 영상의 비교적 평탄한 부분에서는 시각적으로 더욱 두드러지게 나타나 저전송률을 위한 영상의 고압축시에는 특히 화질 열화의 주요 원인이 되고 있다.

최소자승 블록불연속기준(the least square block discontinuity criterion)을 바탕으로 하여 블록킹 현상

을 감소시킬 수 있는 새로운 접근 방식을 제안하였던 기존의 연구 [1,2]에서는 $N \times N$ 2차원함수에 대한 블록 경계면들에 있어서의 내적(boundary inner product)에 관한 정의를 도입하여 최소자승 블록불연속기준과의 관계에 대하여 고찰하였고, 블록킹 현상을 감소시키기 위한 boundary-orthogonal 2차원 함수의 개념을 소개하였다. 또한 boundary inner product의 개념을 이용하여 boundary-orthogonal 2차원 함수들의 계수들을 쉽게 얻을 수 있었으며, 이 함수들의 가중합이 각 블록의 경계면에서 발생하는 불연속성을 최소화하기 위하여 수신영상에 더해짐으로써 블록킹 현상을 효과적으로 제거할 수 있음을 보였다. 본 논문에서는 기존 연구를 바탕으로 하여 2차원 DCT 기저함수 중에서 블록 경계면의 화소값들이 각각 선형 독립인 28개를 저주파 중심으로 선택한 후 Gram-Schmidt 과정을 적용하여 boundary-orthonormal 2차원 함수들을 구한다. 이러한 28개의 boundary-orthonormal 함수들을 이용하여 블록킹 현상을 제거하고자 하였으며, 이러한 영상처리 과정에서 화질의 향상을 얻고자 블록 불연속 임계치(threshold of block discontinuity)를 정의하여 블록의 경계면에 걸쳐진 에지 성분들을 유지하고자 하였다. 또한 압축률이 높아질수록 심화되는 블록킹 현상을 효과적으로 제거하기 위하여 필요한 기저 영상(Basis image)의 개수들을 주관적 화질 평가를 통하여 알아보하고자 한다.

II. Boundary-orthonormal 함수

기존의 연구 [1,2]에서 블록킹 현상을 제거하기 위하여 실험에서 사용하였던 Boundary-orthogonal 2차원

함수들은 8×8 DCT kernel 함수들 중에서 DC를 포함한 가장 낮은 저주파 성분 3개를 사용하였다. 압축률이 높지 않아 블록킹 현상이 심하게 생기지 않는 경우에는 이 3가지 Boundary-orthogonal 함수들만을 사용하여도 대부분의 블록킹 현상을 없앨 수 있으나, 고압축률에 의하여 블록킹현상이 심화되는 경우에는 블록간의 불연속성을 충분히 제거할 수 없다. 그러므로, 각 블록에서의 불연속성을 충분히 제거하기 위해서는 보다 많은 Boundary-orthogonal 함수들을 이용하여야 한다. 8×8 블록 경계면에서의 불연속성을 충분히 없애기 위해서는 경계 화소들의 개수가 28개이므로 최대 28개의 선형 독립인 2차원함수들이 필요하다. 본 논문에서는 우선 8×8 블록의 경계면에서 선형 독립인 함수들을 얻기 위하여 2차원 DCT kernel 함수 중 그림 1과 같이 저주파를 중심으로 하여 가로 방향, 세로 방향 각각 2줄씩 28개를 선택하여 사용한다. 그러나, 궁극적으로 필요로 하는 함수들은 실시간 구현 및 계산의 용이성 등을 위해서 Boundary orthonormal 함수들이어야 하므로 DCT kernel 함수 중에서 얻은 28개의 선형 독립인 2차원 함수들을 Gram-Schmidt 과정을 통하여 Boundary-orthonormal 함수들로 만들어야 한다. 그림 2는 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 일종의 "don't care"인 셈이지만, 각 Boundary-orthonormal 함수들의 경계면 화소들을 완만하게 연결시키도록 결정할 필요가 있다. 본 논문에서는 다음의 세 가지 방법 즉, Gram-Schmidt 과정을 이용하는 방법, 이중선형 보간(Bi-linear interpolation)을 이용하는 방법, 선형 보간(Linear interpolation)을 이용하는 방법등을 사용, 각 Boundary orthonormal 함수들의 경계면 값들로부터 비경계면 화소들의 값을 구하여 기저 영상(Basis image)들을 구성하였다.

1. Gram-Schmidt Procedure를 이용하는 방법

이 방법은 2차원 DCT kernel 함수들에서 28개의 Boundary-orthonormal 함수들을 만들기 위하여 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 연결시켜주는 방법이다.

2. 이중선형보간을 이용하는 방법

이 방법은 경계면에 존재하는 화소들의 값으로부터

식 1과 같은 이중선형보간 방법을 사용하여 비경계면에 존재하는 화소들의 값을 구하여 기저영상들을 만든다.

3. 선형 보간을 이용하는 방법

이 방법은 식 2에 의한 선형보간을 이용하여 기저영상들을 만드는 방식이다.

$$Q = \frac{\frac{1}{a} \cdot A + \frac{1}{b} \cdot B + \frac{1}{c} \cdot C + \frac{1}{d} \cdot D}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}} \quad (2)$$

III. 기저영상을 이용한 블록 현상 제거

제안된 방식의 성능을 평가하기 위해 JPEG [3]을 사용하여 Lena영상을 압축한 후, 기저 영상을 이용하여 블록킹 현상을 제거한다. 영상의 압축에 사용되는 양자화 식은 다음과 같다.

$$F_Q(u, v) = \text{Integer Round} \left\{ \frac{F(u, v)}{\frac{QF}{Q_{PRECISION}} \cdot Q(u, v)} \right\} \quad (3)$$

- $F_Q(u, v)$: 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 3은 6개의 각 기저 영상들을 사용하여 블록킹 현상을 없앤 결과들이다. 제안된 방식을 적용하였을 경우 블록 불연속이 상당히 감소가 되었지만, PSNR은 약간 낮게 나타난다. 그것은 블록간의 불연속성을 제거하기 위하여 각 기저 영상(Basis image)들이 압축된 Lena영상에 더하여질 때 블록 경계면의 내부에도 보상항들의 영향이 미치게 되어 어느 정도의 blurring을 발생시키기 때문이다. 그러나, PSNR의 크기가 반드시 시각적으로 느껴지는 영상의 질을 나타내는 것이 아님은 위의 실험 결과에서도 잘 나타나고 있다.

IV. 압축률과 기저 영상과의 상관 관계

DCT를 기반으로 하는 블록 변환 부호화에서는 양자화 스텝 사이즈를 크게 하여 압축률을 높일수록 변환 부호화 계수들의 양자화 오류가 커짐에 따라 블록간의 불연속성이 더욱 뚜렷이 나타나 그로 인한 블록킹 현상이 심화되는 경향을 보인다. 그림 4는 JPEG을 이용하여 256×256 Lena영상을 압축하였을 경우, 불연속

값에 따른 블록의 개수를 나타내는 누적분포도이다. 이 결과는 압축률이 높아질수록 심화되는 블록간의 불연속성을 감소시키기 위해서 기저 영상(Basis images)의 개수 또한 증가시켜야 함을 의미하고 있다. 컴퓨터 모의 실험 결과, 기저 영상들을 15개 정도 사용하면, 거의 모든 블록에서의 불연속을 제거할 수 있음을 볼 수 있다. 그러나, 블록 불연속을 제거하기 위하여 기저 영상들의 수를 많이 사용할수록 블록 경계면의 내부에도 보상항들의 영향 또한 커지게 되어 blurring의 정도가 점점 심해진다. 즉, 블록 불연속의 제거 정도와 영상에 blurring이 생기는 정도사이에서 어느 정도의 trade-off가 필요하게 된다. 블록킹 현상의 제거와 화질의 blurring 방지라는 두 가지 측면을 모두 살릴 수 있는 최적의 기저 영상의 개수를 구하는 데는 다소의 어려움이 따른다. 즉, 영상의 특성에 따라서도 조금씩 달라질 수 있으며, 또한 blurring이 발생하는 정도가 기저 영상들이 첨가됨에 따라 서서히 발생하기 때문에 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.

V. 블록 불연속 임계치의 적용

기저 영상을 이용한 방식은 블록킹 현상을 효과적으로 제거할 수 있다는 장점을 가지고 있는 반면에 영상의 edge가 블록의 경계면에 걸쳐진 경우에는 블록 불연속의 제거시 edge를 완만하게 퍼지게 하여 전체적으로 화질을 손상시키는 단점이 있다. 여기서는 블록 불연속 임계치(threshold of block discontinuity)라는 양을 정의하여, 블록 불연속의 값이 이 임계치의 값보다 큰 값이 되었을 경우에는 압축으로 인한 불연속이라기 보다는 영상의 edge가 경계면에 걸쳐 있다고 생각하는 것이 보다 타당하므로 그 블록은 제안된 블록킹 제거 방법을 생략함으로써 영상의 edge부분을 보호한다. 그림 5는 QF = 300으로 압축한 Lena 영상을 보간 방법을 이용하여 만든 기저영상들중에서 7개를 사용하여 블록 불연속을 없앤 결과이다. 블록 임계치를 적용하여 처리된 결과와의 확실한 비교를 위하여 Lena영상의 눈이 있는 부분 (40,24)~(236,220) 을 중심으로 확대하였다. 임계치를 적용하는 경우 PSNR을 조사하여 본 결과 약간의 향상이 있으며, edge가 흐려지지 않기 때문에 Lena영상의 눈 주위에서 볼 수 있듯이 주관적인 화질면에서 향상된 결과를 얻을 수 있다. 인간의 시각적 특성이 edge에 민감하다는 사실을 고려할 때 이 블록 임계치를 처리 조건으로 부여함으로써 화질의 향상에 크게 기여할 것으로 보인다.

VI. 결 론

본 논문에서는 2차원 DCT kernel 함수들에 Gram-Schmidt과정을 적용하여 만든 boundary-orthonormal한 경계면을 가지는 함수들을 기초로 Gram-Schmidt 과정, 이중선형 보간법, 선형 보간법들을 이용하여 보다 효과적인 28개의 boundary-orthonormal 기저 영상(Basis image)들을 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 임계치(threshold of block discontinuity)를 정의하여 영상의 edge를 보호하였다. 멀티미디어 시대에 있어서의 제안된 블록킹 현상 제거 방법은 인터넷을 통한 방송 서비스와 관련한 저전송률 영상압축 및 저장 응용 분야(HDTV, VOD, Digital Broadcasting, CD-ROM 영상 저장)에서 화질 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

VII. 참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] A. C. Hung, "PVRG-JPEG CODEC 1.1 Source Program" (Portable Video Research Group, Stanford University), pp. 3-34, Nov. 1993.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [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.

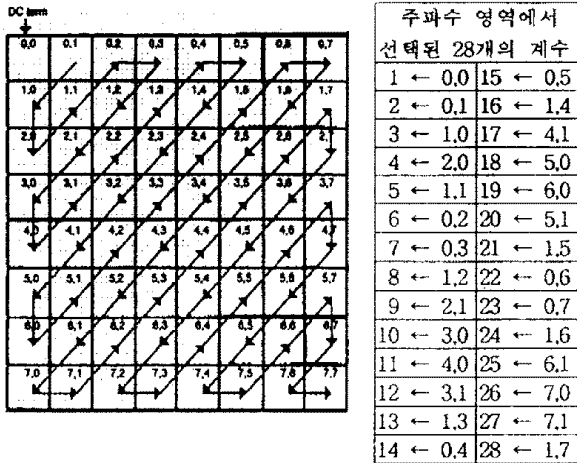


그림 1. 주파수 영역에서의 2차원 DCT kernel 함수들

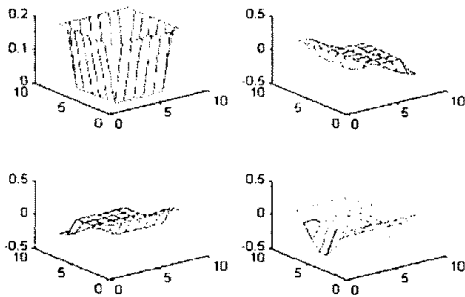
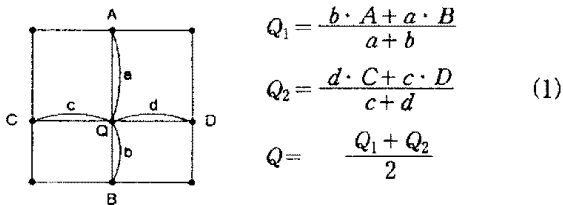


그림 2. Boundary-orthonormal 함수들의 4가지 예

< 8 × 8 BLOCK >



A, B, C, D : 블록의 경계 화소값
a, b, c, d : 화소간의 거리 간격
Q : 보간하여 구하고자 하는 값

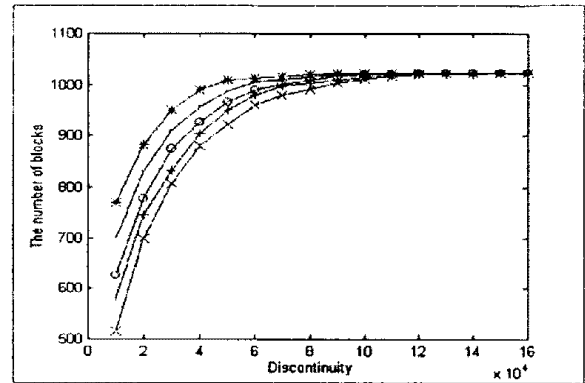


(a) (b)



(c) (d)

그림 3. 제안된 방식의 성능 비교
(a) JPEG으로 압축된 Lena영상 (QF = 300)
(b) Gram-Schmidt 방법을 이용한 처리 결과
(c) 이중선형 보간 방법을 이용한 처리 결과
(d) 선형 보간 방법을 이용한 처리 결과



*	Lena 원 영상
.	QF = 100으로 압축한 Lena 영상
o	QF = 200으로 압축한 Lena 영상
+	QF = 300으로 압축한 Lena 영상
×	QF = 400으로 압축한 Lena 영상

그림 4. 불연속에 따른 블록 개수의 누적분포도

표 1. 압축률과 기저 영상 개수와의 관계

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



(a) (b)

그림 5. 블록 임계치를 적용한 Lena 영상의 실험 결과
(a) 블록 임계치가 ∞인 경우
(b) 블록 임계치가 20000인 경우