

論文2002-39CI-5-2

압축된 영상에서 정규화 된 역양자화기의 응용

(Applications of Regularized Dequantizers for Compressed Images)

李建鎬*, 成柱承**, 宋文豪***

(Gunho Lee, Ju-Seung Sung, and S. Moon-Ho Song)

요 약

이 논문에서 우리는 블록화 현상과 DCT 계수의 양자화 에러를 최소화 하면서 영상을 복호하는 새로운 기술을 제안한다. 영상의 복호화 과정에서 영상의 DCT 계수는 양자화 된 DCT 계수와 양자화 행렬의 곱으로 구해지게 되고, 양자화 간격의 절반 크기의 에러가 유도 될 수 있다. 이때 역 양자화 과정에서 원 영상의 DCT 계수는 알 수 없으며, 만약 DCT 계수를 양자화 간격 절반 크기 내로 대응 시킨다면 무한개의 해답이 존재하게 된다. 이 논문에서 우리는 하나의 해답을 구하기 위한 단서로, 양자화 에러는 양자화 간격의 절반 크기 내로 제한되어 있으며, 적어도 블록 경계면에서의 불연속성으로 나타나는 고주파 성분은 원 영상에 존재하지 않는다는 사실을 이용하게 된다. 이 두 가지 조건으로 우리는 역 양자화기의 정규화 과정을 거치게 된다. 정규화 된 역 양자화기는 역 양자화 과정에서 얻어지는 DCT 계수를 항상 양자화 에러, 즉 양자화 간격의 절반 크기 범위 내로 대응 시키게 된다. 논문에서 제안된 기술은 JPEG, MPEG-1, H.263+의 영상 압축 표준과 비교하였으며, 비교과정은 시각적인 효과로 기존의 일반적인 방법으로 영상을 복호할 때보다 블록화 현상이 감소한다는 것을 보여주게 되고 또한 원 영상과의 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Blockiness Measure (BM)에 대한 수치적인 비교 결과를 보여주게 된다.

Abstract

Based on regularization principles, we propose a new dequantization scheme on DCT-based transform coding for reducing of blocking artifacts and minimizing the quantization error. The conventional image dequantization is simply to multiply the received quantized DCT coefficients by the quantization matrix. Therefore, for each DCT coefficients, we premise that the quantization noise is as large as half quantizer step size (in DCT domain). Our approach is based on basic constraint that quantization error is bounded to $\pm(\text{quantizer spacing}/2)$ and at least there are not high frequency components corresponding to discontinuities across block boundaries of the images. Through regularization, our proposed dequantization scheme, sharply reduces blocking artifacts in decoded images. Our proposed algorithm guarantees that the dequantization process will map the quantized DCT coefficients to it's value $\pm(\text{quantizer spacing}/2)$ in DCT domain. The performance of our proposed algorithm will be evaluated against the standard JPEG, MPEG-1 and H.263 (with Annex J deblocking filter) decoding process. The experimental results will show visual improvements as well as numerical improvements in terms of the peak-signal-to-noise ratio (PSNR) and the blockiness measure (BM) to be defined.

* 學生會員, 高麗大學校 電波工學科
(Korea Univ. Radio Science and Engineering)

** 學生會員, 高麗大學校 電氣電子電波工學部
(Korea Univ. School of Electrical Engineering)

*** 正會員, 서울大學校 機械航空工學部(교신전자)

(Seoul National Univ. School of Mechanical and Aerospace Engineering)

※ 본 연구의 일부는 서울공대교육연구재단 학술연구비의 지원으로 진행되었습니다.

接受日字:2001年10月12日, 수정완료일:2002年9月4日

I. 서 론

요즘의 모든 통신이나 정보 전달을 위한 콘텐츠들은 영상 신호의 포함을 요구하고 있다. 이와 같은 현상은 최근의 정지영상과 동영상의 압축과 전송에 관한 기술의 비약적인 발전으로 인한 자연스러운 현상이라고 할 수 있다. 정지영상과 동영상 신호의 압축방식에 관해서는 이미 컴퓨터 산업의 발전과 함께 전 세계의 많은 연구자들의 노력으로 인하여 JPEG, MPEG-1, MPEG-2, H.261, H.263[1-4]등과 같이 국제 표준화가 완료되었거나, 지금도 수많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 그 중에서도 현재 영상의 압축과 관련하여 가장 많이 사용되는 것은 블록단위 DCT (Discrete Cosine Transform) 코딩이다. 앞서 언급한 다섯 가지의 국제 표준들은 전체 영상을 작은 서브 블록으로 나눈 뒤, 각 블록별로 DCT 과정을 수행하는 방식을 채택하고 있다. 이러한 블록단위 DCT 코딩 기술은 앞서 언급한 여러 영상 압축 표준에 채택되어 사용되고 있다.

일반적으로 영상 압축 과정에서 DCT 공간의 고주파 성분은 제거되고 이는 블록간의 불연속성(Blocking Artifacts)을 야기 시키게 된다. 이때 고주파 성분의 제거는 양자화(quantization) 과정에서 일어나게 되며, 양자화 간격(quantization scale)이 클수록 블록간 불연속성은 심화된다. 즉, DCT 영역에서 양자화 에러(quantization error)의 크기는 양자화 간격에 비례한다고 할 수 있다. 그리고 각 DCT 계수의 양자화 간격은 거기에 대응하는 양자화 행렬(quantization matrix)의 성분으로 볼 수 있다. 이때 우리가 주목할 점은 영상의 양자화 된 DCT 영역(quantized-DCT domain)에서 양자화 에러의 크기는 \pm (양자화 간격의 절반 크기)로 제한된다는 것이다.

앞서 언급된 바와 같은 양자화 과정의 에러를 줄이기 위한 기술들^[5,8,9]은 많이 소개 되었다. 그러나 제안된 대부분의 기술들은 영상의 불연속성을 제거하는 과정에서, 번짐현상(blurring) 또는 울림현상(ringing) 등과 같은 새로운 화질 열화를 일으키는 것이 사실이다. 그 예로, 최근에 몇몇 연구자들은 영상의 블록화 현상(blocking artifacts) 제거를 위해 양자화 행렬과 역 양자화 기법을 다루는 알고리즘을 발표하였다. 먼저 [5]에서는 복호기(decoder)에서 사용되는 양자화 행렬을 수

정하는 기술을 제안하였다. 복호화 과정에서 사용되는 새로운 양자화 행렬은 [6]과 [7]에서의 접근방법과 유사하게 구해지게 된다. [8]은 [5]에서 구해진 해의 문제점을 지적하고 이를 수정하였다. [9]에서는 DCT 영역에서 영상을 날카롭게(sharpening) 하는 수정된 양자화 행렬을 계산하는 기술을 제안하였다. 그러나 [1]과 [5]에서는 양자화 된 DCT 계수가 복호될 때 항상 그의 참 값 범위, 즉 (양자화 간격의 절반 크기) 내로 계산되지 않는다는

이 논문에서 우리는 블록화 현상과 DCT 계수의 양자화 에러를 최소화하면서 영상을 복호하는 새로운 기술을 제안한다. 일반적으로 역 양자화 과정에서 원 영상의 DCT 계수는 알 수 없으며, 만약 DCT 계수를 양자화 간격 절반 크기 내로 대응 시킨다면 무한개의 해답이 존재하게 된다. 이러한 문제는 흔히 "ill-posed problem"이라고 알려져 있다. 우리는 하나의 해답을 구하기 위하여 두 가지 기본 사실을 이용한다. 첫째, 양자화 에러는 (양자화 간격의 절반 크기) 내로 제한되어 있으며, 둘째, 적어도 블록화 현상에서 나타나는 블록 경계면의 불연속성(고주파 성분)은 원 영상에 존재하지 않는다는 즉, 원래 영상이 "부드럽다(smooth)"는 것이다. 이 논문에서는 먼저 영상의 압축과정과 복호 과정을 모델링한 후, 위의 두 가지 조건으로 복호된 영상에 'Poisson' 식을 적용하는, 정규화 된 역 양자화기를 제안한다. 그리고 역 양자화 과정에서 얻어지는 DCT 계수를 항상 양자화 에러의 범위 내로 제한하여 대응 시키게 된다.

마지막으로, 제안된 기술은 JPEG, MPEG-1, H.263+의 영상 압축 표준과 비교하였으며, 비교과정은 시각적으로, 기존의 일반적인 방법으로 영상을 복호할 때보다 블록화 현상이 감소한다는 것과 원 영상과의 peak signal to noise ratio (PSNR) 값과 이 논문에서 제안하는 blockiness measure (BM) 값의 수치적인 비교 결과를 보여주게 된다.

논문 구성순서는 2장에서 우선 영상 압축시 많이 사용되는 블록단위 코딩을 모델링하고, 어디서 블록화 현상이 발생하는 지를 설명하였다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 정규화된 역 양자화기를 설명하고 4장에서는 이것이 좋은 성능을 보임을 시뮬레이션을 통해서 입증하였다.

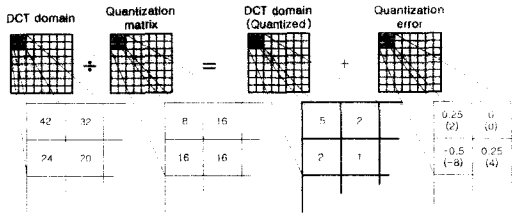


그림 1. 양자화 에러
Fig. 1. Quantization error.

II. 블록단위 DCT 코딩의 모델링

1. DCT 기반 부호기, 복호기

일반적인 DCT 기반 영상압축 표준에서 입력 영상은 DCT를 수행하기에 앞서, 먼저 8×8크기의 블록으로 나누어진다. 각각의 블록들은 DCT를 거친 다음 또 다른 엔트로피 코딩과정을 거친 후에 부호화된 영상 신호를 얻게 된다. 복호기에서는 부호화된 영상 신호를 입력으로 받은 후, 부호화 부분의 역순을 거치게 된다. 즉, 복호기의 입력 신호는 먼저 엔트로피 코딩의 테이블에 따라서 역으로 복호한 다음 역 양자화, IDCT를 거치면 복호된 영상이 얻어지게 된다.

2. 양자화 에러의 발생

영상 신호의 부호화 과정에서 발생하는 양자화 에러에 대해 간단한 그림으로 정리해 보면 다음의 <그림 1>과 같다. <그림 1>에서는 영상 신호 중 하나의 블록에 대해 양자화 과정을 설명하고 있다. 하나의 블록에서 DCT를 거친 후, 블록의 각 DCT 계수는 각각 양자화 행렬(quantization matrix) 값에 의해 나누어진다. 나누어진 값들은 rounding 함수, 즉 round()에 의해 정수 값과 그리고 그 나머지 값으로 분리되고, 이때 정수 값만이 양자화 된 DCT 계수 값으로 남겨지게 되고 그 나머지 값들은 버려지게 된다. 바로 이렇게 버려지는 값들이 양자화 과정에서 발생하는 에러이다.

3. 블록화 현상(Blocking Artifacts)

양자화 에러에 의해 발생하는 화질 열화의 과정을 다음의 <그림 2>에서 보여주고 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 역 양자화 과정에서는 단순히 양자화 된 DCT 계수와 양자화 행렬을 곱하므로, 부호기의 양자화 과정에서 발생한 에러 성분을 고려하지 못한다. 이러한 에러 성분들은 블록 경계면에서 블록의 불연속성으로

나타나게 된다. 이러한 양자화 에러에 의한, 영상의 블록화 현상은 궁극적으로 영상의 압축률을 제한하는 한 요소가 된다.

4. 부호기, 복호기의 수식적 모델링

앞에서 살펴본 바와 같이 복호기에서 영상 신호는 부호화 과정에서 원래의 영상 신호에 양자화 에러 성분이 더해진 것이다. 이러한 과정은 <그림 3> 같이 간략화 된 모델로 나타내어지는데 시스템으로의 입력 영상 신호(original data)는 입력 영상의 8×8 블록을 가로 방향으로 스캔한 64×1의 벡터 f이다. 하나의 블록이 DCT를 거친 후의, DCT 영역의 영상 데이터는 Df 로 나타내고 있다. 여기서 D(64×64)는 입력영상에 관계없이 항상 일정한 2-D DCT 행렬이며 이 과정 후에 DCT 영역의 데이터는 양자화 과정을 거치게 되는데 양자화 과정을 수식적으로 설명하면 다음의 식 (2.1)과 같다.

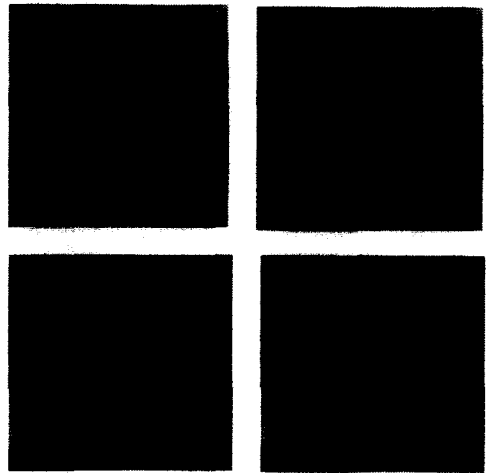


그림 2. 입력영상(왼쪽)과 복호영상(오른쪽)
Fig. 2. Blocking artifacts (left-input, right-decoded).

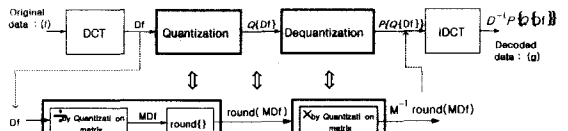


그림 3. 영상 압축 시스템의 모델링
Fig. 3. Modeling of image compression system.

$$Q(Df) = \text{round}(MDf) = MDf + \{1/2 - \text{rem}(MDf + 1/2)\} \quad (2.1)$$

이 식에서 양자화 함수는 $Q(\cdot)$ 이다. 앞에서 논의한 바와 같이 양자화 과정은 DCT 영역의 계수를 양자화 행렬로 나누는 부분과 나누어진 값들을 정수의 값으로 rounding하는 부분으로 나누어 생각할 수 있다. 식 (2.1)의 M 은 대각 성분만을 가지는 64×64 의 대각 행렬(diagonal matrix)인데, 이 M 의 대각 성분들은 양자화 행렬(8×8)에 의해 정해진다. 즉, M 은 양자화 행렬을 가로 방향으로 스캔한 64×1 벡터에서, 각각의 값들의 역수를 대각 방향으로 나열한 것과 같으며 식 (2.1)은 다음의 식 (2.2)의 정리를 사용하고 있다.

$$\text{round}(x) = x + 1/2 - \text{rem}(x + 1/2) \quad (2.2)$$

양자화가 끝난 신호는 정보의 손실이 없는 부가적인 코딩을 거친 후에 복호기의 입력으로 들어가게 된다. 그리고 다시 복호기에서 입력 신호는 손실이 없는 복호 과정을 거친 후에 역 양자화 과정을 마치게 된다.

<그림 3>에서 보듯이 역 양자화기로 들어오는 신호의 입력은 부호기에서 양자화기의 출력으로 생각할 수 있는데 역 양자화기를 함수 $P(\cdot)$ 로 생각할 때, 이 함수는 양자화 된 영상 신호에, 부호기의 반대로, 양자화 행렬을 곱하는 것으로 생각하면 된다. 이를 수식으로 나타내면 다음의 식 (2.3)과 같다.

$$P\{Q\{Df\}\} = Df + M^{-1}\{1/2 - \text{rem}(MDf + 1/2)\} \quad (2.3)$$

일반적인 복호 과정을 고려하면 식 (2.3)에서 $P = M^{-1}$ 로 생각할 수 있으며, $P = M^{-1}$ 은 64×64 의 대각 행렬로, 대각 성분은 8×8 양자화 행렬을 가로 방향으로 스캔한 벡터와 동일하다.

역 양자화기를 통과한 영상 신호는 다시 2차원 역 DCT변환 (2-D IDCT)을 통해서 DCT 영역에서 공간 영역(spatial domain)의 값으로 변환 된다. IDCT는 D^{-1} 로 표현 가능하며, 이는 앞에서 설명한 D 의 역 행렬이다. 최종적으로 IDCT를 통과한 영상 신호를 다시 식으로 나타내면

$$\begin{aligned} g &= D^{-1}PQ\{Df\} = D^{-1}\{Df + M^{-1}\{1/2 - \text{rem}(MDf + 1/2)\}\} \\ &= f + D^{-1}M^{-1}\{1/2 - \text{rem}(MDf + 1/2)\} \end{aligned} \quad (2.4)$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 일반적인 복호기에서 얻어지는 영상 신호는 g 이고, 식 (2.4)에서 복호 된 영상

g 가 원래 영상 f 와 에러 성분의 합으로 표현되어 진다는 것을 알 수 있다. 그리고 f 를 제외한 나머지 성분이 바로 양자화 과정에서 발생하는 에러이고 이것은

$$\text{error} = D^{-1}M^{-1}\{1/2 - \text{rem}(MDf + 1/2)\} \quad (2.5)$$

이며, 이는 역 양자화 과정에서, 영상 신호를 단순하게 DCT 계수와 양자화 행렬의 곱으로만 구하기 때문에 양자화의 rounding에서 제거된 신호 성분을 고려하지 못했기 때문에 발생하는 에러이다. 식 (2.5)에서 $\{\}$ 안의 값은 다음을 만족한다.

$$-1/2 < 1/2 - \text{rem}(MDf + 1/2) \leq 1/2 \quad (2.6)$$

식 (2.6)에서 보듯이 $IDCT(D^{-1})$ 와 역 양자화(M^{-1})를 거치기 전, 양자화 된 DCT 계수에 존재하는 에러의 크기는 $(1/2, 1/2]$ 로 제한되어 있음을 알 수 있다. 식 (2.5)와 (2.6)의 내용을 좀 더 설명하기 위해 다음의 식 (2.7)을 고려해 보자.

$$\left| e_k^T M^{-1} \{1/2 - \text{rem}(MDf + 1/2)\} \right| \leq \frac{e_k^T M^{-1} e_k}{2} \quad (2.7)$$

식 (2.7)의 모든 k 에 대해 위의 식이 성립한다. e_k 는 k 번째 행에만 "1"의 값을 가지고 나머지 행은 모두 "0"의 값을 가지는 Euclidean basis vector이다. 식 (2.7)에서 왼쪽은 8×8 DCT 계수에서 발생하는 에러를 스캔한 64×1 의 벡터에서, k 번째 계수에 발생하는 에러를 나타내고 있으며, 오른쪽은 8×8 의 양자화 행렬을 스캔하여 64×64 행렬의 대각 성분으로 나열한 M^{-1} 에서, k 행 k 열의 성분을 나타내고 있다. 즉, 오른쪽에서 k 행 k 열은 왼쪽에서 나타내는 계수에 대응하는 양자화 행렬의 성분이라고 할 수 있다.

이와 같은 내용을 다시 정리해 보면, 식 (2.7)은, 8×8 DCT 계수에서 발생하는 양자화 에러의 크기는 이에 대응하는 양자화 간격(양자화 행렬 계수)의 절반 이하로 제한된다는 것을 말하고 있다.

이러한 내용을 다르게 표현해 보면, 앞의 내용은 DCT 영역에서의 에러에 대해 고려하고 있지만 우리는 DCT 계수의 에러가 복호 된 영상에 끼치는 영향을 고려해야만 한다. 왜냐하면 영상의 화질열화는 공간 영역(spatial domain)영역에서 살펴봐야 하고, 복호 된 영상

에서 우리는 좀더 좋은 영상을 구해야 하기 때문이다. DCT 영역에서 발생하는 에러가 공간 영역(spatial domain)에 끼치는 영향을 정의하기 위해 다음의 식을 정의하자.

$$c_{ij} = 2D-IDCT \text{ of } \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & 0 & 0 & 0 & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & q_{ij} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & 0 & 0 & 0 & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

식 (2.8)에서 c_{ij} 는 DCT 영역의 i 행 j 열에서 발생하는 에러 성분이 spatial 영역에 끼치는 영향을 나타내고 있으며, 그 크기 q_{ij} 는 에러의 제한 범위를 나타낸다. 즉, 에러는 $\pm(1/2)q_{ij}$ 내로 제한된다. 식 (3.8)에서 c_{ij} 는 8×8 의 spatial 영역에서의 데이터인데, 이것을 세로로 스캔하여 64×1 의 벡터 c_{ij} 로 나타내면, 복호된 영상 g 는 다음의 식으로 나타내어 진다.

$$g(k) = f(k) + \sum_{0 \leq i, j \leq 7} \alpha_{ij}(k) c_{ij} \quad (2.9)$$

여기서 변수 (k) 는 k 번째 블록을 나타낸다. 식 (2.9)의 모든 벡터는 64×1 이며, $\alpha_{ij}(k)$ 는 $(-1/2, 1/2)$ 내로 제한되는 계수이고, 식 (2.9)는 영상의 모든 8×8 블록에 대해 성립한다.

III. 정규화 된 역 양자화기

1. Ill-Posed Problem

2.4절에서의 분석에서 복호기에서 얻어지는 영상 신호를 수식적으로 정리하였다. 정리에서 살펴보았듯이 일반적인 복호과정에서 얻어지는 영상은 원래의 영상에 에러 성분이 더해진 형태로 표현되었다. 그리고 여기에서, 에러 성분은 복호기에서는 알 수 없는 정보이다. 우리가 일반적인 방법으로 복호된 영상(g)을 얻었을 때, 원래의 영상(f)은 식 (2.9) 만으로는 구해질 수 없다. 이 경우에서 우리는, 복호된 영상을 가지고 원래의 영상을 식 (2.9)에서 구할 때, 원래의 영상은 무한개

의 해답을 가질 수 있다. 이것을 다르게 표현하면, 식 (2.9)에서 L_2 -norm인 $\|f - g\|_2$ 을 최소화시키는 $\alpha_{ij}(k)$ 를 구하는 문제는 보통 ill-posed problem으로 알려져 있으며 유일한 해는 구할 수 없는 문제이다.

2. 정규화 된 역 양자화기

앞의 3.1절에서 언급한 문제를 풀 수 있는 하나의 방법으로 우리는 정규화(regularization)를 제안한다. 문제를 정규화 하기 위해서 여기서 우리는 하나의 조건을 제시하게 된다. 바로 영상의 "smoothness"이다. 즉, 최소한 복호 된 영상에서 나타나는 블록 경계면에서의 불연속성은 원래의 영상에는 존재하지 않는다는 것이다. 이는 원래의 영상은 블록의 경계면에서 "smooth"하다는 것을 말한다.

이렇게 제안된 문제를 푸는 것은, 다음의 식 (3.1)을 최소화 시키는 f 를 구하는 것이다.

$$\|f - g\|_2^2 + \lambda \|\nabla f\|_2^2 \quad (3.1)$$

식 (3.1)에서 영상의 정규화는 gradient(∇f)의 L_2 -norm인, $\|\nabla f\|_2^2$ 로 나타나고 있다. 이 항은 복호 된 영상의 "smoothness"에 대한 항목이며, 정규화 상수 λ 는 복호 된 영상에서 "smoothness"를 제어하는 상수(fudge factor)이다. 일반적인 복호기는 $\lambda = 0$ 일때, 식 (3.1)을 최소화하는 값을 구하는 것으로 볼 수 있다. 영상의 복호 과정에서 이 상수를 고려해 보면, λ 는 부호화 과정에서 최적의 값을 계산한 다음 복호기에 전달될 수도 있으며 아니면 영상의 복호 과정에서 사용자에게 의해 적절히 제어될 수 있는 값이다. 만약 사용자가 좀더 "smooth"한 영상을 원한다면 더 큰 λ 값을 가지고 역 양자화 과정을 수행하면 될 것이다.

그리고 위의 식 (3.1)을 최소화하는 해답은 다음의 Euler-Lagrange Equation 으로 표현된다.^[10]

$$F_f - \frac{\partial}{\partial x} F_{f_x} - \frac{\partial}{\partial y} F_{f_y} = 0, \text{ where } F = (f - g)^2 + \lambda(f_x^2 + f_y^2) \quad (3.2)$$

식 (3.2)에서 아래 첨자는 변수 방향으로의 편미분을 의미하고 있다. 이 식에 적당한 값들을 대입하면 다음의 식 (3.3)과 같은 Poisson Equation을 얻게 된다.^[10]

$$\nabla^2 f = \frac{1}{\lambda}(f - g) \quad (3.3)$$

또한 식 (3.3)에서는 Laplacian operator(∇^2)를 적용할 때, Neumann 또는 Dirichlet 등의 적당한 경계조건이 요구된다. 정규화를 적용하여 구해진 영상(f)은 일반적인 복호 과정에 의해 구해진 영상(g)과 함께 식 (3.3)을 만족해야 한다.

3. 정규화 된 역 양자화기를 이용한 복호

우리는 정규화 과정을 통해서 블록 경계면에서의 불연속성을 제거하려고 한다. 일반적인 복호 과정을 거친 영상 g는 식 (2.9)를 항상 만족하게 된다. 그리고 우리는 식 (2.9)와 식 (3.3)으로 정규화 된 영상 f와 일반적인 영상 g의 관계를 알고 있다. 이 두개의 식으로 우리가 알고 있지 않은 변수 f와 α_{ij} 를 구할 수 있는 것이다. 식 (2.9)를 식 (3.3)에 대입하여 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{0 \leq i, j \leq 7} \alpha_{ij}(k) (Lc_{ij} - \frac{1}{\lambda} c_{ij}) = Lg(k) \quad (3.4)$$

여기서, L은 64×1 의 벡터에 적용되는 Laplacian operator를 의미한다. 식 (3.4)에서 우리는 원 영상 f가 소거되었음을 알 수 있다. 그리고 알 수 없는 변수는 α_{ij} 뿐이므로, 이 식에서 우리가 풀어야 할 문제는 α_{ij} 를 구하는 것이다.

$$\left[Lc_{00} - \frac{1}{\lambda} c_{00} \mid \cdots \mid Lc_{77} - \frac{1}{\lambda} c_{77} \right] \alpha(k) = Lg(k) \quad (3.5)$$

식 (3.5)는 α_{ij} 를 구하기 위하여 식 (3.4)를 행렬과 벡터의 형태로 다시 나타낸 것이다. 이 식에서 $\alpha(k)$ 는 $\alpha_{ij}(k)$ 들을 나열한 64×1 의 벡터이다.

단약 $\left[Lc_{00} - \frac{1}{\lambda} c_{00} \mid \cdots \mid Lc_{77} - \frac{1}{\lambda} c_{77} \right]$ 의 역 행렬이 존재 한다면, 우리는 식 (3.5)에서 간단한 계산으로 $\alpha(k)$ 를 구할 수 있다. 일단 $\alpha(k)$ 가 이렇게 구해지면, 정규화를 통한 원 영상 f가 모든 블록(k)에 대해 다음의 식에 의해 구해진다.

$$f(k) = g(k) - \sum_{0 \leq i, j \leq 7} \alpha_{ij}(k) c_{ij} \quad (3.6)$$

이때, 앞에서 논의 된 바와 같이 모든 $\alpha_{ij}(k)$ 는 $(-1/2, 1/2]$ 내로 제한되어야 하므로 $\alpha_{ij}(k)$ 의 값들은

식 (3.6)에 적용되기 전에 모두 $(-1/2, 1/2]$ 내로 잘릴 (clipping) 것이다. 그리고 우리는 $(-1/2, 1/2]$ 내로 제한 된 $\alpha_{ij}(k)$ 를 가지고 반복적인 계산 과정(iterative approach)을 통해 정규화 된 영상 f를 구하게 될 것이다. 이러한 과정은 <그림 4>에 도식적으로 나타나 있다. <그림 4>에서 구해지는 $\alpha_{ij}(k)$ 의 값들은 일반적인 방법으로 역 양자화 된 각 블록 DCT 계수에 더해진다. 이렇게 정해지는 새로운 DCT 계수들이 바로 이 논문에서 제안하는 정규화 된 역 양자화기의 출력이라고 할 수 있다. 그리고 <그림 4>에서 최종적으로 얻어지는 영상은 정규화 된 새로운 DCT 계수들이 IDCT 된 값이다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

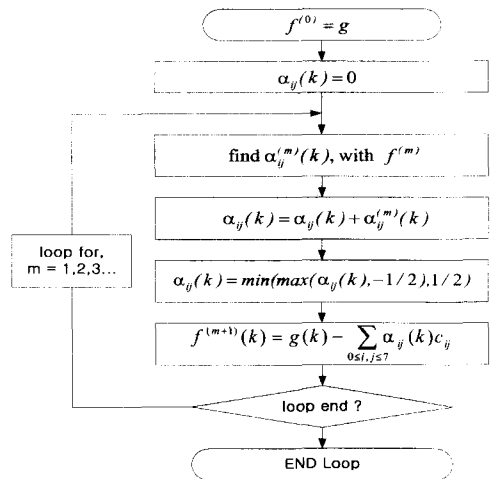


그림 4. 정규화 된 복호기의 구현
Fig. 4. Modeling of regularized decoder.

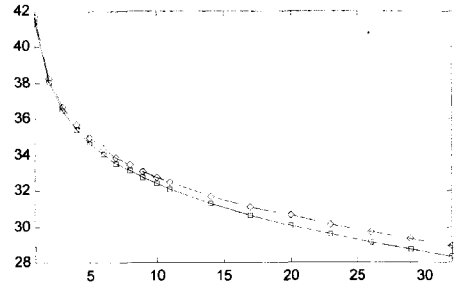
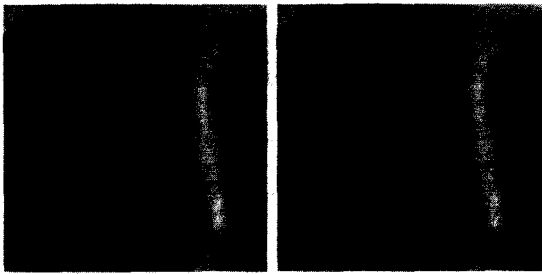


그림 5. 일반 복호영상(solid square)과 정규화 된 복호영상(dashed diamond) 사이의 PSNR vs QF
Fig. 5. Relation between general decoding image (solid square) and Regularized decoding image(diamond) about PSNR vs QF.

1. JPEG

여기서는 JPEG 표준 하에서 제안된 방법의 성능을 검증하기 위하여 256×256크기의 Lenna영상을 사용하였으며, JPEG standard (ISO/IEC 10918-1, 1994)의 Annex K에 제시된 양자화 행렬을 사용하였고, 3.3절에서 다뤘던 반복 연산의 횟수는 3번을 수행하였다. 다음의 <그림 5>는 그 결과를 보여주고 있다. 그림에서 x 축 방향의 quality factor (QF) 는 양자화 행렬에 곱해지는 값들이다. 즉, 원래의 양자화 행렬에 곱해져서 새로운 QF배수의 양자화 행렬을 사용함을 의미한다. <그림 5>에서 우리가 주의해서 살펴볼 사항이 있다. 바로 모든 QF값들에 대해, 정규화 된 역 양자화기에 의해 복호 된 영상이 항상 더 좋은 결과를 보여준다는 것이다.



(a) 일반적인 복호영상 (b) 정규화 된 복호영상
그림 6. JPEG에서의 비교결과
Fig. 6. Comparison with JPEG.

<그림 6>은 일반적인 방법과 제안된 방법으로 복호된 실제 영상들을 보여주고 있다. (a)는 QF = 10의 값을 사용하여 압축한 후, 일반적인 방법으로 복호한 영상이다. (b)는 QF = 10, λ = 0.03의 값을 사용하여 정규화 된 역 양자화기의 출력 영상을 보여주고 있다. 두 그림은 Lenna 영상의 코 주위를 3배로 확대한 그림이다. 두개의 그림에서의 차이를 살펴보면, 정규화를 거친 후, 블록화 현상(blocking artifacts)과 코 주위의 울림 현상(ringing artifacts)이 많이 제거됨을 알 수 있다.

2. MPEG

MPEG-1 표준에서, 일반적인 방법과 이 논문에서 제안된 방법의 성능을, 블록화 현상의 제거 면에서 비교하기 위하여 다음 BM을 정의한다.

$$BM = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{\text{vertical}} \left\| \frac{\partial}{\partial x} (f - \hat{f}) \right\|_2^2 + \sum_{\text{horizontal}} \left\| \frac{\partial}{\partial y} (f - \hat{f}) \right\|_2^2}{N_{\text{pix}}} \right\} \quad (4.1)$$

여기서, N_{pix} 는 합해진 총 픽셀의 수, f 는 원래 영상을 나타낸다. 그리고 \hat{f} 는 MPEG-1 표준의 일반적인 방법으로 복호 한 영상 또는 제안된 방법에 의해 복호된 영상을 나타낸다. 식 (4.1)에서는 오직 블록 경계에서의 2픽셀 사이의 차 값이 더해지고 있다. 여기서 BM 값이 클수록 블록화 현상이 더 심하다는 것을 말한다.

다음의 <그림 7>은 x축 방향의 bit-rate과 y축 방향의 PSNR, BM의 관계를 그래프로 보여주고 있다. 모든 영상은 2번의 반복 연산을 한 후에 얻어진 영상이다. (a)와 (b)는 MPEG-1 I-frame에 적용된 영상들의 PSNR, BM 값들이다. 마찬가지로 (c)와 (d)는 P-frame, (e)와 (f)는 B-frame에서 PSNR, BM 값이다.

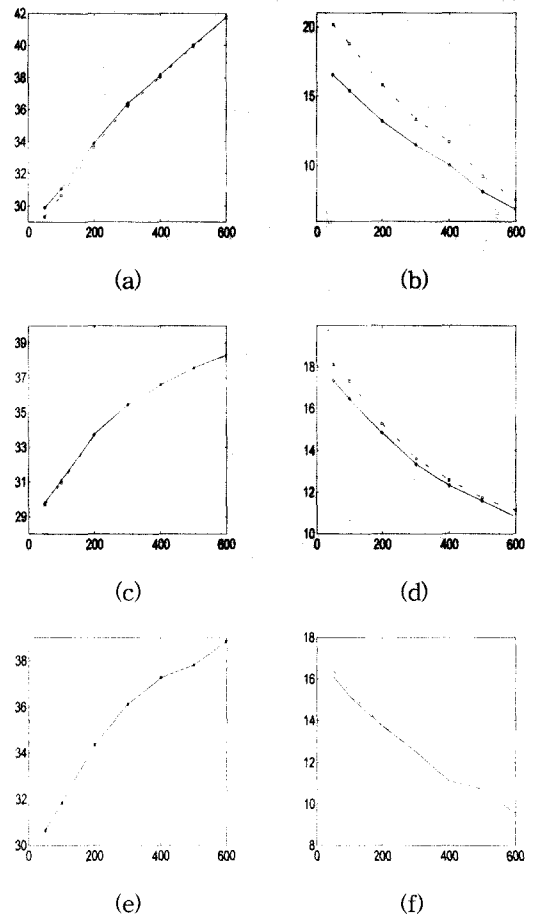
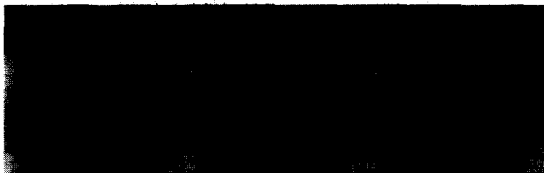


그림 7. 일반적인 복호 영상(dotted diamond)과 정규화 된 복호영상(solid square) 사이의 PSNR vs. Bitrate and BM vs. Bitrate.

Fig. 7. PSNR vs Bitrate and BM vs Bitrate regarding conventional decoding image (dotted diamond) and Regularized decoding image(solid square).

이 세 가지 frame type에 대해 특히 I-frame의 경우에 제안된 방법의 성능이 더욱 뛰어남을 알 수 있다. 그리고 bit-rate값이 작을수록, 즉, 영상의 압축률이 클 수록 그 성능이 좋아짐을 알 수 있다. 이러한 결과들은 앞의 4.1절 JPEG에서와 유사한 결과이다. <그림 8>은 원래의 영상과 MPEG-1에서의 일반적인 방법으로 복호된 영상 그리고 제안된 방법에 의해 복호된 영상들을 보여주고 있다. 그림에서 제안된 방법으로 복호된 영상이 더 좋음을 확인할 수 있으며 특히 제안된 방법은 I-frame의 경우에, 다른 경우보다, 더 우수한 성능을 보여줌을 알 수 있다.



(a) for I-frame



(b) for P-frame



(c) for B-frame

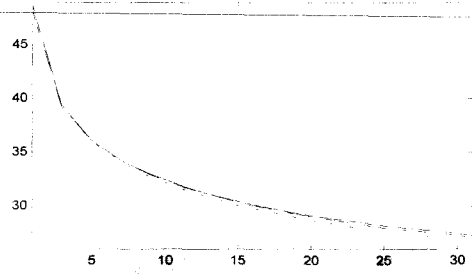
그림 8. 원래의 영상(왼쪽), 일반적인 복호 영상 (중앙), 정규화 된 복호 영상(오른쪽)

Fig. 8. Original image(left), Conventional decoding image(center) and Regularized decoding image(right).

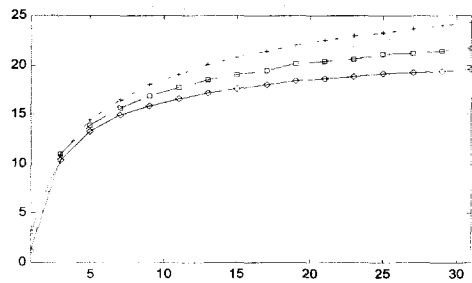
3. H.263+

앞의 4.2절과 4.3절에서 보여준 결과와 유사하게, 이 절에서는 H.263+ 표준에서 시뮬레이션 한 결과를 보여 준다. 특히 이 절에서는 일반적인 방법과 제안된 방법 외에도 H.263+(ITU-T DRAFT Recommendation H.263, 27 January, 1998) Annex J에서 제안하는 deblocking filter에 의해 복호되는 영상과도 비교하게 된다. <그림 9>는 일반적인 방법으로 복호된 영상,

H.263+ Annex K의 deblocking filter를 통과한 영상 그리고 제안된 방법에 의해 구해진 영상들의 PSNR과 BM의 그래프를 비교하여 보여주고 있다. 여기서의 BM은 앞 절에서 사용한 것과 동일하다. 이 그림에서 QUANT는 H.263+ 표준 문서에서 정의된 것과 동일하며, 여기서는 앞의 JPEG에서의 QF와 동일한 의미를 가진다.



(a) PSNR vs. QUANT (1~31)



(b) BM vs. QUANT (1~31)

그림 9. 일반적인 복호 영상(dotted plus)과 deblocked 영상(dashed square), 정규화 된 복호영상(solid diamond)의 PSNR 과 BM.

Fig. 9. PSNR and BM of the Conventional decoding image(dotted plus), deblocking filtered image(dashed square), and Regularized decoding image(solid diamond).

<그림 10>은 앞의 세 가지 방법으로 실제 복호된 영상을 3배 확대한 그림들을 보여주고 있다. 이 시뮬레이션에서 모든 영상은 3번의 반복 연산을 수행하였다. 그림에서 우리는 쉽게 제안된 방법으로 영상의 블록화 현상이 현저히 감소함을 알 수 있다.

V. 결 론

이 논문에서 우리는 블록단위 DCT 변환을 기반으로 하는 영상 압축 표준에서, 영상의 블록화 현상을 제거

하기 위한 정규화 된 역 양자화 기법을 제안하였다. 그리고 제안된 방법은 JPEG, MPEG-1, H263+의 영상 압축 표준에서 블록화 현상의 제거 면에서 시각적, 수치적으로 그 성능을 확인하였다. 이 논문에서 제안하는 정규화 된 역 양자화 기법은 DCT 변환 기반의 영상 압축 표준에 모두 적용 가능한 방법이다. 본 논문의 본론의 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있듯이, 동영상의 경우에 I-frame에서는 두드러지는 성능의 개선을 보였지만, B-frame에서는 별 차이를 보이지 못했다. 동영상의 경우에는 I-frame보다는 B-frame과 P-frame이 차지하는 비중이 상대적으로 크기 때문에, B-frame까지를 포함하여 전체적인 성능을 개선할 수 있는 알고리즘의 필요성이 시급하며, 이것은 현재 연구중에 있다.

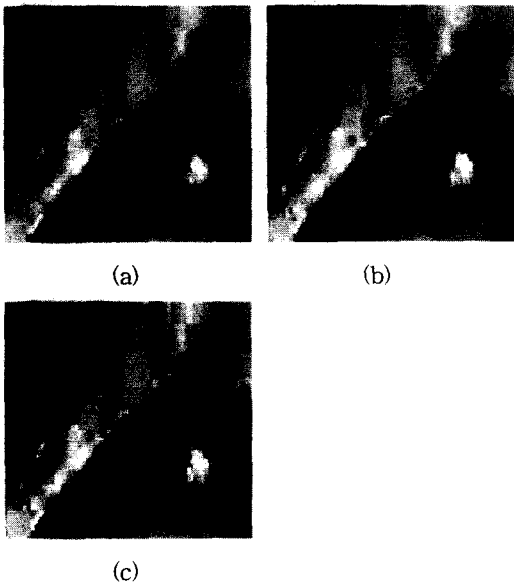


그림 10. 일반적인 복호 영상(a), deblocking filtered 영상(b), 정규화 된 복호 영상(c)

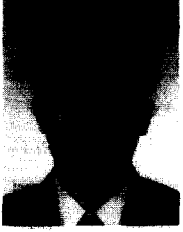
Fig. 10. PSNR and BM of the conventional decoding image(dotted plus), deblocking filtered image (dashed square), and regularized decoding image(solid diamond).

참 고 문 헌

[1] D. LeGall, "MPEG : A video compression standard for multi-media communication", ACM, Vol. 34, No 4, pp. 47~58, April 1991.
 [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Moving Picture Expert Group. MPEG-2 test model 4, 1993.

[3] CCITT SG XV, Recommendation H.261, Video codec for audiovisual services at p*64 kbit/s, Tech. Rep. COM XV-R37-E, August 1990.
 [4] ITU-T Recommendation H.263, Video coding for low bitrate communication, December 1995.
 [5] Prost R, Ding Y. and Baskurt A., "JPEG dequantization array for regularized decompression", IEEE Trans. on Image Proc., Vol. 6, No. 6, pp. 883~888, June 1997.
 [6] Miller K., "Least squares methods for ill-posed problems with a prescribed bound", SIAM J. Math. Anal., Vol. 1, pp. 52~74, Feb. 1970.
 [7] Katsaggelos A. K., Biedmond J. Schaffer R. W. and Mersereau R. M., "A regularized iterative image restoration algorithm", IEEE Trans. on Signal Proc., Vol. 39, pp. 914~929, Apr. 1991.
 [8] Philips W., "Correction to 'JPEG dequantization array for regularized decompression'", IEEE Trans. on Image Proc., Vol. 6, No. 6, pp. 883~888, 1997.
 [9] Konstantinides K. Bhaskaran V. and Beretta G., "Image sharpening in the JPEG domain", IEEE Trans. on Image Proc., Vol. 8, No. 6, June 1999.
 [10] Song S. M., Napel S., Pelc N. J. and Glover G. H. "Phase unwrapping of MR phase images using Poisson equation", IEEE Trans.
 [11] Tikhonov A. N. and Arsenin V. Y., Solutions of Ill-Posed Problems. Washington DC: Winston and Sons, 1977.
 [12] Luenberger D. G., Optimization by Vector Space Methods. New York: John Wiley, 1969.

저 자 소 개



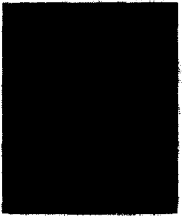
李 建 鎬(學生會員)

1998년 고려대학교 전자공학과 학사. 2001년 고려대학교 메카트로닉스학과 석사, 2002년 6월~현재 LG 전자기술원 주임 연구원



宋 文 豪(正會員)

1982년 MIT 전자공학과 학사, 1988년 UCLA 전자공학과 석사, 1991 USC 전자공학과 박사, 1995년~2001년 고려대학교 전자공학과 부교수, 2001년~현재 서울대학교 기계항공공학부 부교수



成 柱 承(學生會員)

1999년 고려대학교 공과대학 공학부 입학 2001년~현재 고려대학교 전기전자전파공학부재학 2000년 9월~현재 오픈비주얼(주) 선임 연구원