

에지 선명화에 의한 고압축 Synthetic High부호화

(High Compression Synthetic High Coding Using Edge Sharpening)

鄭 聖 煥*, 金 南 哲**

(Sung Hwan Jung and Nam Chul Kim)

要 約

본 논문에서는 영상 데이터의 고압축이 가능한 새로운 synthetic high부호화를 제안하였다. 이 방식은 DCT를 사용하여 저역성분 영상만을 전송하며 고역성분은 전송하지 않고 수신단에서 저역성분 영상에서 에지선명화를 사용하여 고역성분을 합성시킨다. 그리고 제안된 방식의 과정의 일부로 사용된 DCT부호화 단계에서 Cox의 분산추정법을 개선시켰다. 또한, 영상품질의 척도로서 GSNR, EPR 등의 시각적인 측면을 고려한 객관적인 평가척도도 제안하였다.

실험결과, 제안된 고압축 부호화 방식이 Cox의 적응 변환 부호화보다 여러가지 척도에서 우수한 성능을 나타내었다. 또한 주관적으로도 약 30:1의 높은 압축율에서 블록효과와 입상잡음이 거의 없는 만족할 만한 품질을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we present a new synthetic high coding method which gives high image compression ratio. Given an image, only its low-pass component is transmitted by DCT coding; the high-pass component is not transmitted but synthesized using edge sharpening on the reconstructed low-pass image at the receiver. For the DCT coding which is used to encode the low-pass image, we used an improved version of Cox's variance estimator. Also, introduced are new image quality measures called GSNR and EPR which emphasize perceptual aspects of image quality.

Experimental results show that the performance of the proposed synthetic high coding is better in various quality measures than that of Cox's adaptive transform coding. Also, it yields acceptable image quality with neither apparent block effect nor visible granular noise even at a high compression ratio of about 30:1.

*正會員, 昌原大學校 電算學科
(Dept. of Comput. Eng., Changwon Nat'l Univ.)

**正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字: 1989年 1月 24日

(※ 본 연구는 1988년도 한국과학재단의 연구비 지원으로 수행되었음.)

I. 서 론

영상은 일반적으로 평탄한 배경을 포함한 저역성분과 급격한 변화를 일으키는 에지정보를 포함한 고역성분으로 구성되어 있다. 따라서 높은 압축율에서 효율적인 영상 부호화를 위해서는 이 두가지 다른 성분의 구성요소를 분리하여 처리하는 것이 바람직

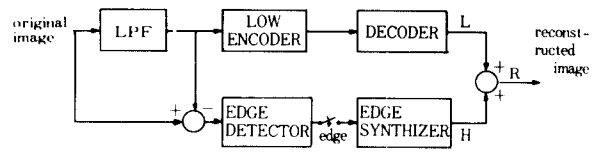
하다. 이러한 개념을 바탕으로 하는 synthetic high 부호화^[1]에서는, 저역영상에 대해서는 1세대 부호화를 이용하여 정보를 전송하며 고역영상에 대해서는 에지 연산자와 역치를 사용하여 중요한 에지점들을 찾아서 그 위치와 크기를 정보를 보낸다. 그리고, 수신측에서는 원영상을 재생하기 위하여 수신된 에지점들의 위치와 크기 정보로부터 에지성분의 영상정보를 합성하여 저역영상에 부가한다. 이러한 방식의 synthetic high 부호화는 Schreiber 등에 의하여 제안된 이래 지금까지 꾸준히 연구되어 왔는데, 대부분 2 - 8 배 (1 - 4 bits/pel) 범위의 감축율을 나타내는 초기적 단계의 연구로 국한되어 있고^{[1]-[5]} Kunt 등이 최근 제안한 방법은 고압축율을 얻을 수 있지만 처리가 대단히 복잡한 단점이 있다.^[6]

본 논문에서는 높은 압축율에서도 양질의 영상을 얻기 위하여, 종래의 synthetic high 부호화와는 달리 synthetic high을 위한 에지 정보를 따로 보내지 않고 저역영상만 DCT 변환 부호화로 고압축 전송한 후, 수신측에서 저역영상으로부터 에지정보를 추출하여 에지를 강조(enhance) 하는 새로운 synthetic high 부호화를 제안하였다. 이는 고역영상 정보를 송신하지 않으므로 관점에 따라서는 수신된 저역영상을 후처리하는 방법이라고도 볼 수 있다. 이러한 개념은 피라미드 부호화에도 적용되어 좋은 성능을 얻은 것으로 밝혀진바 있다.^[9]

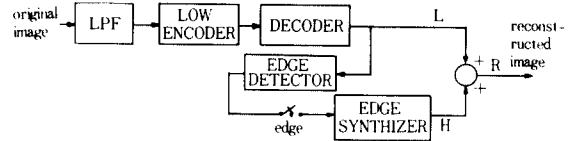
본 논문의 내용은 먼저 제안된 synthetic high 부호화의 전체적 개요를 설명하고, 다음 저역성분을 고압축 전송하기 위해 사용하는 DCT 변환 부호화에서 기존의 Cox 적용 변환 부호화시의 분산 추정법을 다소 수정하여 성능개선을 얻는 방법을 서술하였다. 그리고 수신측에서 고역성분 합성을 위한 에지 선명화를 설명하였으며, 주관적인 평가에 부합되는 영상품질 평가척도를 제안하였다. 마지막으로 실험을 통하여 제안된 synthetic high 부호화의 성능을 검토하였다.

II. 에지 선명화에 의한 Synthetic High 부호화의 개요

기존의 synthetic high 부호화 시스템의 블록도는 그림 1(a)와 같으며, 원영상에서 LPF(low pass filtering)를 이용하여 저역영상과 고역영상을 얻고 저역영상은 제 1세대 부호화 기법을 사용하여 부호화하여 전송한다. 고역영상은 에지 정보를 얻는데 이 용되며 여기서 획득된 에지정보는 따로 부호화하여 전송된다. 수신측에서는 이 에지정보를 이용하여 고



(a) conventional synthetic high



(b) proposed synthetic high

그림 1. 기존의 synthetic high시스템과 제안된 synthetic high시스템

Fig. 1. Conventional synthetic high system and proposed one.

역영상을 합성하고 따로 수신된 저역성분과 합하여 재생영상을 얻는다. 본 논문에서 제안한 새로운 synthetic high 부호화 방법의 전체적인 구성도는 그림 1(b)에 나타나 있다. (a)와 마찬가지로 원영상에서 저역영상을 얻기 위하여 LPF(low pass filtering)를 수행하고 제 1세대 부호화 기법을 이용하여 저역영상을 전송한다. 그런데 에지정보는 따로 전송하지 않고 수신된 저역영상에서도 에지는 몽롱화되어 있지만 그 위치정보는 그대로 유지되어 있다는 사실에 근거하여 수신된 저역영상으로부터 에지정보를 추출하고 이를 이용하여 고역성분을 합성하여 재생영상을 얻는다.

실제 시스템의 구성 예로서 그림 2와 같은 시스템을 선택하였다. 먼저 저역영상의 전송에 앞서 고압축율을 얻고 계산량을 줄이기 위하여 저역성분의 영상에 대하여 subsampling을 행한다. 이를 위하여, 본 논문에서는 고속 알고리즘이 개발되어 있는 Burt의 LPF^[10]를 사용하였고, 병행하여 수직 및 수평방향으로 2 : 1로 subsampling 하였다. 그리고 저역영상의 부호화로서, 1/4로 축소된 저역영상을 16×16 DCT를 사용하여 변환 부호화하여 전송시킨다. 한편, 수신된 저역영상은 interpolator에 의하여 원영상의 크기로 확장된다. 그리고 마지막 단계로서, 확장된 저역영상에서 에지의 위치정보를 구하여 영상향상으로 고역성분을 합성함으로써 최종적으로 재생된 영상을 얻는다.

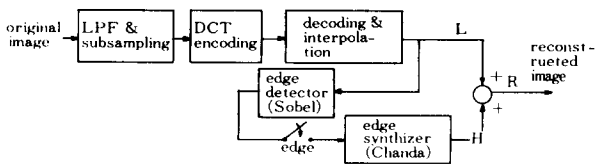


그림 2. 제안된 synthetic high 시스템의 실제적인 예

Fig. 2. A practical example of the proposed synthetic high system.

1. LPF 및 Subsampling

제안된 synthetic high 부호화의 첫 단계인 LPF와 subsampling을 동시에 행하는 Burt의 알고리즘은 다음과 같다.^[10]

$$r(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m, n) f(2i+m, 2j+n) \quad (1)$$

여기서 $f(i, j)$ 는 입력된 영상이고 $r(i, j)$ 는 LPF와 subsampling된 출력을 나타낸다. 그리고 $w(m, n)$ 은 가중함수로서 다음과 같은 관계식을 만족시킨다.

$$w(m, n) = \hat{w}(m) \hat{w}(n) \quad (2)$$

여기서 \hat{w} 는 대칭적으로 분포하는 함수로서 $\sum_{m=-2}^2 \hat{w}(m) = 1$ 이며, 다음과 같은 조건을 만족시킨다.

$$\begin{aligned} \hat{w}(0) &= a \\ \hat{w}(-1) &= \hat{w}(1) = 1/4 \\ \hat{w}(-2) &= \hat{w}(2) = 1/4 - a/2 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 a 는 가중함수의 특성을 변화시키는 파라미터이다. 이와같이 첫단계로서 LPF 및 subsampling을 수행함으로써 처리할 영상 데이터를 1/4로 줄여 데이터의 압축효과를 얻을 뿐만 아니라 DCT 수행시 계산량의 감소 효과도 얻게된다. 그리고 subsampling 단계를 거친 후에 수신단에서 interpolation 함으로써 높은 압축율에서 일어나기 쉬운 블록효과도 감소시킬 수 있다. 이 블록효과의 감소에 관해서는 실험결과 및 검토에서 살펴보기로 한다.

2. DCT 부호화 및 Interpolation

Subsampling 단계를 거쳐서 1/4로 축소된 저역영상에 대하여 16×16 DCT 변환 부호화를 한다. 이 DCT 변환 부호화는 Cox의 적응 변환 부호화를 다소 수정하여 사용하였다. 그리고 수신된 1/4 축소영상을 다음과 같은 Burt의 interpolator를 사용하여 확장시킨다.^[10]

$$e(i, j) = 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m, n) r\left(\frac{i-m}{2}, \frac{j-n}{2}\right) \quad (4)$$

여기서 $r(i, j)$ 는 입력 영상이며, $e(i, j)$ 는 확장된 출력 영상이다.

III. 저역 영상의 부호화

높은 영상 데이터의 압축을 위해서는 여러가지 부호화 기법^[11-13]들이 사용될 수 있다. 저역영상은 급격한 에지성분이 없기 때문에 여러 기법들 중에서 변환 부호화가 매우 적합한 방법으로 알려져 있다.^[6] 변환 부호화는 변환에 의하여 공간영역에 흩어져 있는 에너지가 변환 영역에서 한쪽으로 집중되는 성질을 이용한 것이며, 그중에서도 DCT는 성능이 우수하고 고속 알고리즘의 개발로 많이 사용된다.^[14] 또한 최근 영상 부호화에 대한 CCITT 및 ISO의 표준화 연구 결과에 의하면, 여러 기법들중에서 DCT를 사용하는 적응 변환 부호화 방식이 성능이 매우 우수하여 64 Kbps CODEC의 표준방식으로 채택될 가능성이 높아지고 있다.^[15] 그리고 DCT를 이용한 적응 변환 부호화는 크게 분류적응 부호화와 국부적응 부호화로 나누어질 수 있다. 분류적응 부호화의 대표적인 방법으로는 Chen 방식^[16]이 있고, 영상의 국부적인 성질을 보다 잘 반영하고 있는 국부적응 부호화로는 SAC(scene adaptive coding)^[17] 방법과 Cox 방법^[18] 등이 있다. 이 중에서 성능이 가장 우수한 것으로 알려진 SAC 방법은 entropy 부호화를 기본으로 하고 있기 때문에 시스템 구성이 다소 복잡하다.

본 절에서는 제안된 synthetic high 부호화에서의 저역영상의 부호화를 위하여 여러가지 적응 변환 부호화 기법중에서 수행이 비교적 간단한 국부적응 변환 부호화 방법을 선택하되, 그 성능은 SAC에 근사하도록^[19] 하기 위하여 Cox의 변환 계수의 분산 추정법을 수정하여 영상의 국부적인 특성을 더욱 고려하였다.

1. Cox의 적응 변환 부호화

변환 부호화 과정에서 변환을 수행하면 모든 계수들간에는 거의 상관관계가 없게 된다. 그러나, 이웃하는 계수들의 분산치 사이에는 상당한 상관관계가 있음이 밝혀진 바 있다.^[18] 그림 3과 같은 16×16 블록에서 특히 지그재그(zig-zag) 순서에 따라 처리하면 다른 순서에 의하여 처리한 것보다 계수들의 분산치 사이에 상관 관계가 강하며 변환 영역에서 계수의 분산이 큰값부터 시작하여 작은 값으로 천천히 변하게 된다.

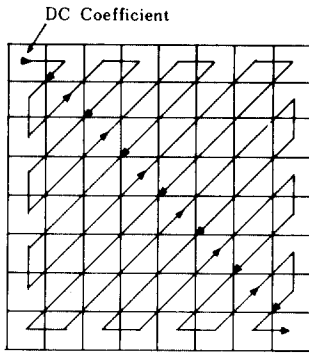


그림 3. 변환영역에서 지그재그 스캐닝
Fig. 3. Zig-zag scanning in the transform domain.

이 지그재그 순서에 따라 분산치를 적응적으로 추정하는 Cox의 적응 변환 부호화의 전체 블록도가 그림 4에 나타나 있다. 화소 영역의 데이터 블록 $f(i, j)$ 는 DCT에 의하여 2차원 변환 영역의 계수 $F(u, v)$ 로 되고 이것을 1차원 지그재그 순서로 나열하면 순서열 $\{X_i\}$ 를 얻는다. 그리고 각 블록마다 $\{X_i\}$ 에 대하여 적응적으로 추정되는 분산을 $\hat{\sigma}_i^2$ 로 표시한다면, 이 추정된 분산치 $\hat{\sigma}_i^2$ 에 따라 비트가 배정된다. 최종적으로 추정된 분산과 배정된 비트에 따라 계수 X_i 를 양자화하여 양자화된 출력 \hat{X}_i 을 얻는다. 이러한 양자화는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$\hat{X}_i = Q(\hat{\sigma}_i^2, N_i, X_i) \quad (5)$$

여기서 Q 는 양자화를 의미하고, N_i 는 i 번째 계수에 배정되는 비트수이다. 비트 배정은 다음과 같이 계수 분산의 대수(logarithm)에 비례하는 방식을 일반적으로 사용한다.

$$Z_i = 0.5 \log(\hat{\sigma}_i^2/D) + 0.5$$

$$N_i = \begin{cases} Z_i \text{의 정수값, } Z_i > 0 \\ 0 \text{의 정수값, } Z_i \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

여기서 D 는 영상 전체의 평균 비트율을 결정하기 위하여 모든 블록에 대하여 일정한 값을 갖는 상수이다.

Cox는 (5)식에서의 변환 계수의 분산치를 다음과 같이 순환적으로 추정하였다.

$$\hat{\sigma}_{i+1}^2 = 0.75\hat{\sigma}_i^2 + 0.25\hat{\sigma}_i^2 \quad (7)$$

여기서 $\hat{\sigma}_{i+1}^2$ 는 추정된 다음번 분산치이다. 그리고 실제 순환적인 절차에 있어서 최초 분산의 추정은 DC를 제외한 처음 4개의 AC 계수들의 제곱 평균값으로 하였다.

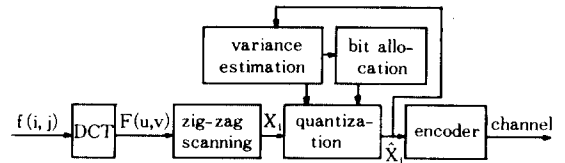


그림 4. Cox의 적응 변환 부호화의 블록도.
Fig. 4. Block diagram of Cox's adaptive transform coding.

2. 수정된 Cox의 변환 부호화

앞의 (7)식을 사용하여 지그재그 순서에 따라 분산을 추정하고 비트를 할당하면, 비트배정이 DC를 중심으로 삼각형 모양을 이루려는 경향이 강하여 실제 블록의 국부적 특성에 맞지 않게 비트 배정이 되는 경우가 흔히 있다. 따라서 실제 각 블록의 특성을 더욱 고려하고자 (7)식을 수정하여, 다음과 같이 다음번 분산치는 현재의 추정치와 현재 양자화된 계수 \hat{X}_i 외에 X_{i+1} 와 지그재그로 처리하는 순서로 볼때 이미 양자화된 인접한 몇개의 계수들도 추가로 사용하여 추정하였다. 그리고 일반적인 균일 양자화기를 양자화시에 사용하였다.

$$\hat{\sigma}_{i+1}^2 = w\hat{\sigma}_i^2 + (1-w) \frac{1}{N} \sum_{1-k \in S_i} \hat{X}_{i-k}^2 \quad (8)$$

여기서 w 는 가중상수이며 S_i 는 X_{i+1} 과 바로 접하고 있는 이미 양자화된 N 개의 계수들의 집합이다. 이미 양자화된 계수의 집합 S_i 은 DCT 변환 영역에서 위치에 따라 변하는데, 그림 5와 같이 DCT 변환 영역을 3개의 영역으로 나누어 그 각각에 대하여 S_1 과 S_2 , S_3 로 변환다. (8)식에서 실제로 DC 부근에 있는 저영역(low-region)에서는 \hat{X}_i 만 사용하였고($\ell=1$), 중간영역(mid-region)에서는 \hat{X}_i 와 수직 및 수평으로 X_{i+1} 과 바로 접하고 있는 이미 양자화된 계수들을 사용하였다($\ell=2$). 그리고 높은 주파수 영역에 위치한 고영역(high-region)에서는 중간영역에서 사용한 계수들과 X_{i+1} 과 대각선으로 바로 접하고 있는 이미 양자화된 계수를 사용하였다($\ell=3$). 가중계수 w 도 저영역에서는 $w=0.7$ 로 이전에 추정된 분산에 더 높은 가중을 주지만, 중간영역 및 고영역에서는 $w=0.3$ 으로 하여 X_{i+1} 에 인접한 계수들의 제곱 평균에 더 높은 가중을 준다. 이와 같이 저영역에서는 \hat{X}_i 만 사용하고 고영역으로 갈수록 여러 인접한 계수들을 사용하는 것은 (8)식에 근거하여 다음번 분산을 추정할 때, 저영역에서는 여러 인접 계수들을 사용하게 되면 추정의 오차가 커지지만 고영역으로 갈수록 오차가 줄어들 것으로 예상되기 때문이다.

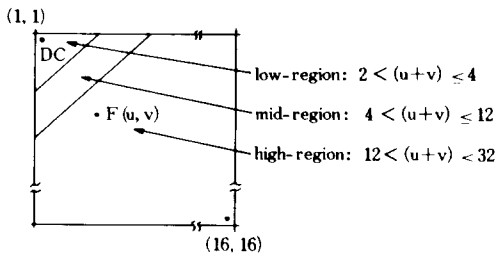


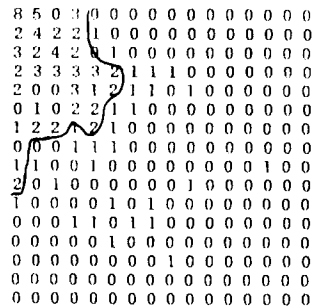
그림 5. 분산추정을 위하여 DCT 영역상에서 나눈 3개의 구역

Fig. 5. Three regions classified in the DCT domain for variance estimation.

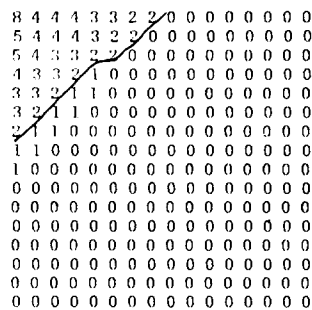
그림 6은 저영역에서 여러 인접계수들을 사용하지 않은 경우(b)와 사용한 경우(c)의 비트맵(bit map)을 원 영상의 분산에 의해 배정된 비트맵 (a)와 비교한 예이다. 인접계수를 고려하지 않은 경우는 DC를 중심으로 삼각형 모양의 비트배정 경향 때문에 비트가 거의 배정되지 않아도 되는 작은 분산값을 갖는 계수들에 대해서도 비트가 배정되며, 반면 많은 비트가 배정되어야 할 계수들에 대해서는 적은 비트가 배정될 수 있어서 원 영상에 근거하는 비트맵의 모양과 차이가 난다. 그러나 분산 추정시 인접계수를 고려하는 (c)의 경우는 (b)보다 실제 영상의 비트맵(a)에 가깝기 때문에 보다 실제 영상의 국부적인 특성을 잘 고려하고 있음을 알 수 있다.

또한, 주관적인 성능을 더욱 개선하기 위하여 각 블록에서 지그재그로 처리하기 이전에 처음 5개의 AC 계수들의 실제적인 비트할당 정보를 수신단에 보내주도록 추가로 수정하였다. 이 경우에 3비트로 한 개 계수에 대한 비트할당 정보를 표시할 수 있기 때문에 64개의 전체 블록에 대하여 고려하여도 전체 overhead는 극히 미소하다(원영상 화소당 0.015 bit 정도). 실험을 통하여 앞서 기술한 수정된 방법의 의한 변환 부호화가 Cox의 부호화에 비해 PSNR 면에서 1-1.2dB 정도 더 우수할 뿐만 아니라 주관적으로도 블록효과와 입상잡음이 감소됨을 확인하였다.^[20]

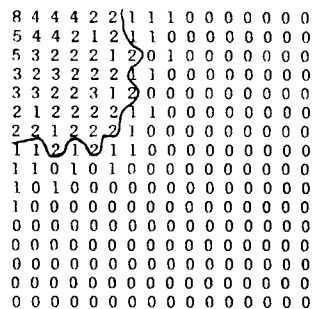
한편, 평탄한 영역과 강한 텍스처 영역이 공존하고 있는 블록은 높은 압축율에서는 블록내에 약한 텍스처 부분에 강한 텍스처 부분의 영향이 나타나는 텍스처 효과(texture effect)가 생긴다. 이 효과를 감소시키기 위하여 문제의 블록을 판별해내고 해당 블록에는 추가로 비트를 더 배정하였다. 문제의 블록을 판별해내기 위하여, 먼저 DCT 변환시 각 블록에 대하여



(a) original



(b) case not considering adjoining coefficient



(c) case considering adjoining coefficient

그림 6. 대표적인 블록에서 원영상에 근거한 비트맵과 재생영상에서 인접계수를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 비트맵 (GIRL의 3, 6블록)

Fig. 6. The bitmap based on the original image. (a) and the bitmaps based on the reconstructed image. (b), (c) in a typical block (3,6 block of GIRL).

Sobel 연산자를 적용하여 낮은 역치(Th=30)를 주어 텍스처의 강도에 관한 정보를 추출하였다. 다음, 블록을 편의상 4개의 구역으로 나누고 추출된 텍스처를 구성하고 있는 화소의 수를 각 구역에서 계산하

여 최대치와 최소치의 차가 역치 이상이면 이 블록을 문제의 블록으로 하였다. 여기서 16×16 블록인 경우에는 역치를 30으로 하였다. 그리고 이 문제의 블록들에 대해서는 비트 배정시에 DCT영역상의 저역역의 계수들에 대하여 2비트씩 추가로 더 할당하여 텍스처 효과를 해결하였다.

IV. 에지 선명화에 의한 고역합성

영상의 고역성분에 대하여 종래의 synthetic high에서는 중요한 에지점들에 대한 위치 및 크기 정보를 전송하고 수신측에서는 이를 근거로 고역성분을 합성하였다. 그런데 실제로 저역성분의 영상에도 에지의 선명함을 나타내는 고주파성분은 없지만 둔화된 에지의 위치정보를 포함하고 있다. 따라서 본 논문에서는 비록 저역영상이지만 에지의 위치 정보를 포함하고 있는 수신되어 확장된 저역영상에 대하여 간단한 Sobel 연산자를 사용하여 에지점들을 찾고 이들을 향상시켜 고역성분을 합성해 낸다. 이 방법은 고역성분에 관한 정보를 전송하지 않으므로 관점에 따라서는 수신 확장된 저역영상의 후처리과정이라고도 볼 수 있다.

고역성분 합성은 에지를 선명화시킴으로 가능하며 이를 위하여 간단한 차이 연산자(difference operator)인 Laplace 연산자를 이용할 수 있다. 이 연산자를 이용하여 에지를 선명화하기 위해서는 8방향 Laplace 연산자인 경우 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} f'(i, j) &= f(i, j) - \nabla^2 f(i, j) \\ &= f(i, j) - 8 [f_0 - f(i, j)] \\ &= 9 f(i, j) - 8 f_0 \end{aligned} \tag{9}$$

여기서 $f'(i, j)$ 는 향상된 영상이고, ∇^2 는 Laplace 연산자이며, f_0 는 $f(i, j)$ 에 근접한 8개의 화소의 평균을 나타낸다. 그런데 (9)식의 Laplace 연산자를 고역성분 합성을 위한 에지 선명화에 바로 사용하는 경우 에지가 선명해질 뿐만 아니라 연산자가 잡음에 약하여 양자화 잡음까지 선명히 드러나게 하는 단점이 있다.

Chanda는 (9)식을 수정하여 이러한 단점을 개선하고, 빛의 밝기에 대하여 지수적 응답을 나타내는 인간의 시각적 특성도 고려하여 다음과 같은 연산자를 개발하였다.^[21]

$$\begin{aligned} f'(i, j) &= f(i, j) - \frac{\sum_{k=1}^8 [G_k \{ \mu_k - f(i, j) \}]}{\sum_{k=1}^8 G_k} \\ G_n &= \frac{\sigma_n^2}{\max \{ \sigma_n^2 \}} , n=1, 2 \dots 8 \end{aligned} \tag{10}$$

여기서 $f'(i, j)$ 는 향상된 영상이고 μ_k 와 σ_n^2 는 $f(i, j)$ 의 5×5 창내를 그림 7과 같이 8개의 구역으로 나누어 각 구역의 평균과 분산을 각각 나타내며, G는 8방향에 대한 방향성 가중계수이다. 그리고 m은 선명화의 정도를 결정하는 가중지수로서 Chanda는 인위적 패턴에 대하여 m=8을 사용하였다. 그러나 자연화(natural image)에 대하여 이 값을 사용하게 되면 에지와 텍스처가 너무 강하게 선명화되어 부자연스런 결과를 초래하므로 이 경우에는 m=1 이하의 작은 값을 사용하는 것이 바람직하다.

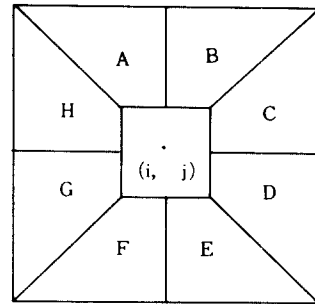


그림 7. Chanda 연산자를 위한 8개 구역
Fig. 7. Eight regions for Chanda operator.

본 논문에서는 수신된 저역영상을 interpolation에 의해 확장한 후 Sobel 연산자를 이용하여 중요한 에지점들을 찾고 이들에 대하여 고역성분을 합성하기 위하여 (10)식의 Chanda 연산자를 적용하였다. 따라서 전체 재생된 영상은 에지점에서의 합성된 high 성분을 포함한 영상과 평탄한 영역에서의 저역영상으로 구성되며 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} R(i, j) &= L(i, j) + H(i, j) \\ &= \begin{cases} L(i, j) + \frac{\sum_{k=1}^8 \{ G_k \{ L(i, j) - \mu_k \} \}}{\sum_{k=1}^8 G_k} , S(i, j) \geq T_s \\ L(i, j) + 0 , S(i, j) < T_s \end{cases} \end{aligned} \tag{11}$$

여기서 $R(i, j)$ 는 최종 출력 영상이며, $L(i, j)$ 는 수신되어 확장된 저역영상이고, $H(i, j)$ 는 에지점에서의 에지 선명화에 의하여 합성된 고역영상이다. 그리고 $S(i, j)$ 는 Sobel 연산자의 결과치이고 T_s 는 그 역치이다.

V. 영상품질 평가척도

영상의 최종 수신자는 인간이기 때문에 영상 품질의 평가는 시각에 의한 주관적 평가로 이루어져야 한다. 그런데, 주관적 평가 결과는 평가자에 따라 다를 수 있기 때문에, 가능한 한 보다 공정한 평가가 이루어지기 위해서는 시각적 특성에 근거하여 이를 객관화시킬 필요가 있다. 그러나 기존의 객관적 품질의 평가방법들은 SNR 또는 SNR 이득 등의 단순히 MSE(mean square error)와 관련된 척도를 그대로 사용하기 때문에 주관적인 평가의 결과와 일치하지 않는 경우가 흔히 있다. 따라서 주관적 평가에 부합되는 객관적인 평가 방법의 개발이 절실하다. 이를 위하여, 본 절에서는 영상의 깨끗한 정도를 나타내는 GSNR (gradient SNR)과 에지의 보존정도를 나타내는 EPR (edge preserving ratio)을 새로이 제안하여 사용하였다.

(GSNR) : 영상에서 평탄한 부분에서의 복원오차는 에지 부분에서의 복원오차보다 눈에 크게 거슬리게 된다. 이러한 시각적인 특성을 이용하여 각 복원오차에 각 화소에 구한 기울기의 역수를 가중시킴으로써 주관적인 영상의 품질을 객관적으로 나타낼 수 있는 한 척도가 될 수 있다. 이러한 GSNR은 전체 영상의 깨끗한 정도를 나타내는데 사용될 수 있다.

$$GSNR = 10 \log_{10} \frac{(255 \times 255)}{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{ |x(i,j) - \hat{x}(i,j)| / C + g(i,j) \}^2} \quad (13)$$

여기서 $x(i,j)$ 와 $\hat{x}(i,j)$ 는 각각 원영상과 처리된 영상의 화소를 나타내며, $g(i,j)$ 는 각 화소들의 기울기의 절대값이다. 그리고 C 는 값의 범위를 조절하기 위한 양의 상수이고, N^2 은 전체 화소의 수를 나타낸다.

(EPR) : 아무리 영상 전체가 깨끗하여도 에지가 몽롱하게 되어 있으면 시각적으로 보기에 좋지 않다. 이러한 면을 고려하여, 에지 보존의 정도에 대한 척도로서 EPR을 다음과 같이 정의하였다.

$$EPR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{(i,j) \in E} g(i,j)}{\sum_{(i,j) \in E} g_0(i,j)} \quad (14)$$

여기서 E 는 원영상에 대하여 Sobel 연산자를 사용하여 적절한 역치로(본 논문에서 사용한 역치는 80임) 선택한 에지점들의 집합이고 $g_0(i,j)$ 는 원영상의 기울기이며, $g(i,j)$ 는 처리된 영상의 기울기이다.

그리고, 제안된 synthetic high 부호화의 성능을 평

가하기 위하여 PSNR 및 오차변화도 (error change map)^[22]를 GSNR 및 EPR과 함께 객관적 척도로 사용하였다.

(PSNR) : PSNR은 화소의 최대전력과 오차 전력과의 비로 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(255 \times 255)}{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{ x(i,j) - \hat{x}(i,j) \}^2} \quad (15)$$

여기서 $x(i,j)$ 는 원영상이고 $\hat{x}(i,j)$ 는 처리된 영상이다.

(오차 변화도) : 오차변화도는 변환 부호화로 처리한 영상에서 나타나는 블록효과의 정도를 나타내기 위하여 사용한다. 일반적으로 잡음에 의한 훼손보다 수직방향으로 나타나는 블록효과는 10배 이상 눈에 거슬리는 것으로 밝혀졌다.^[22] 본 논문에서 사용하는 오차 변화도는 Miyahara^[22]의 것을 다소 수정하여 다음과 같이 정의하였다.

$$\Delta E_k^2 = \frac{1}{2} \{ (E_{k-1} - E_k)^2 + (E_k - E_{k+1})^2 \} \quad (16)$$

여기서 E_i 는 블록내에서 수평으로 i 번째 화소의 위치에서의 오차를 나타내며, ΔE_k^2 는 블록내 k 번째 화소를 기준으로 좌우에 위치한 화소들에 대한 오차의 변화를 제곱 평균한 값으로 영상의 전체 블록들에 대하여 같은 k 번째 화소의 위치에서 수행한 평균값이다.

VI. 실험 결과 및 검토

실험 대상의 영상으로는 상반신 영상으로 대표적인 8비트 256×256 크기의 GIRL 영상 그림 9(a)을 사용하였다. LPF의 창크기는 5×5 이며 가중함수의 특성을 조절하는 a 는 일반적으로 0.4-0.7 정도의 값을 사용하는데, 본 논문에서는 계산상 편의를 위하여 $a=0.5$ 를 사용하였다. 또한 에지 선명화 단계에서 Sobel 연산자의 역치는 중요한 에지들만 선명화 되도록 약 20%의 화소가 처리되는 $T_s=80$ 으로 하였다. 그리고 가중지수 m 에 대해서는 GIRL과 같은 전형적인 상반신 영상에서는 $m=0.5-1.0$ 이 주관적인 검사 결과 적절하였다. 본 논문에서는 중간 정도의 값인 $m=0.8$ 을 선택하여 선명화 알고리즘의 가중지수로 사용하였다.

한편, 높은 압축율에서 일어나기 쉬운 블록효과가 subsampling/interpolation 과정에서 감소된 것을 알아 보기 위하여, 단순히 Cox 적응 변환 부호화한 것과 원 영상을 1/4로 subsampling하여 Cox적응 변환 부호화한 후 수신단에서 interpolation한 경우의 오차 변

화도를 그림 8 에 나타내었다. 그림에서 단순히 Cox적응 변환 부호화한 것은 블록내의 수평으로 화소의 위치 1-2 및 15-16 사이에 갑작스런 변화가 있지만 sub-sampling/interpolation에 의한 것은 변화가 작아서 블록효과가 크게 감소되어 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

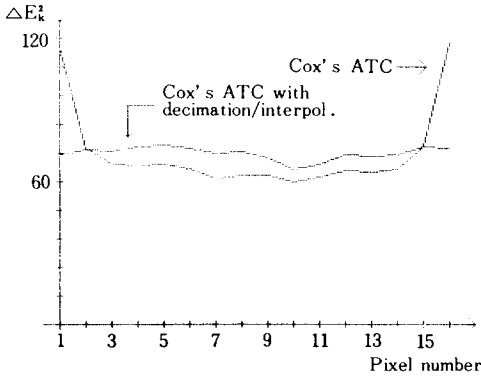


그림 8. Sampling/Interpolation을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 오차변화도. (블록크기 : N=16, 비트율=0.3 bits / pel)

Fig. 8. Error change maps for Cox's method with and without sampling/interpolation. (block size : 16, bit rate=0.3 bits/pel).

한편, 제안된 synthetic high 부호화의 성능을 평가하기 위하여 앞에서 정의한 GSNR, EPR, PSNR 및 오차변화도(error change map)에 의한 객관적인 검사와 함께 주관적인 검사도 병행하였다.

표 1은 기존의 Cox 변환 부호화에 의한 영상과 제안된 부호화 방법에 의한 저역영상 및 최종 재생 영상에 대한 품질의 평가치들이다. 수신된 저역영상은 저역성분만을 가지고 있기 때문에 에지가 몽롱하게 되어 있지만 Cox 방법에 의한 영상보다 PSNR의 경우 약간 더 우수하게 나타났다. 다음 이 수신된 저역영상을 사용하여 제안된 방법으로 얻은 최종 재생 영상은 영상합성으로 인하여 PSNR면에서 성능이 조금 떨어진다. 그러나, GSNR 면에서 제안된 방법의 재생 영상이 Cox 방식의 영상보다 입상잡음이 거의 없는 깨끗한 품질을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 에지의 보존도를 나타내는 EPR을 비교해 보면 수신

표 1. 0.3 bits/pel에서 Cox방법과 제안된 방법에 대한 영상품질 척도의 측정치

Table 1. The simulation results of image quality measures for Cox's and the proposed methods at 0.3 bits/pel.

Method \ Measure[dB]	PSNR	GSNR	EPR
Cox's ATC		29.2	-1.3
the proposed one (low-pass image)	30.2	30.8	-3.3
the proposed one (final image)	30.3	30.3	-0.1

된 저역영상은 에지보존도가 떨어지나, 제안된 방법에 의한 최종 영상은 Cox 방식의 영상보다 에지를 더 잘 보존함을 알 수 있다.

그림 9는 오차 변화도를 나타낸다. 이 그림에서 Cox 방식은 블록내에서 수평으로 화소 1과 2 및 15와 16사이에 갑작스런 변화가 생기기 때문에 눈에 거슬리는 심한 블록화 현상이 존재한다는 것을 알 수 있다. 그러나 제안된 방법은 그림 6의 sub-sampling/interpolation에 의한 것과 마찬가지로 이웃 화소 사이에 변화가 극심하지 않기 때문에 블록화 현상이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

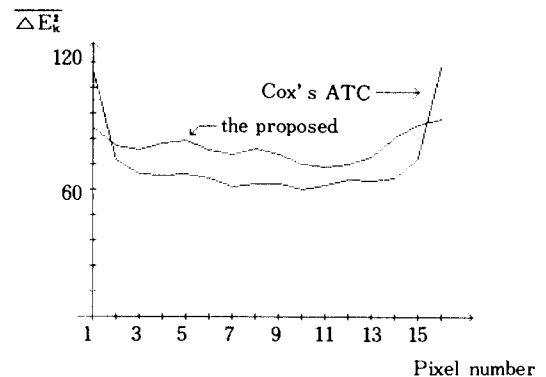


그림 9. Cox방법과 제안된 방법에 대한 오차변화도 (블록크기 : N=16, 비트율=0.3 bits / 0.3bits/pel)

Fig. 9. Error change maps for Cox's and the proposed methods (block size : =16, bit rate=0.3 bits/pel).

그림 10은 원영상 및 0.3 bits/pel에서 처리된 재생 영상들이다. Cox의 적응 변환 부호화의 (b)영상은 평탄한 배경에서 입상잡음이 현저히 보일 뿐만 아니라 머리 부분과 창문부근에 블록효과가 나타나 보인다. 제안된 부호화에서 수신된 저역영상인 (c) 영상은 평탄한 배경에서의 입상잡음 및 머리 부분과 창문 부분의 블록효과는 제거되었으나 전체적으로 예지가 몽롱화되어 있다. 그러나 제안된 방식의 결과인 (d)영상은 앞의 여러 평가 결과에서 나타난 바와 같이 (c)영상과 같이 평탄한 배경에서 입상잡음 및 블록효과도 거의 보이지 않을 뿐만 아니라 예지도 전체적으로 선명한 것을 볼 수 있다.



그림 10. 0.3 bits/pel에서 Cox방법과 제안된 방법의 결과들.

Fig. 10. The results of Cox's ATC and the proposed methods at 0.3 bits/pel.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 저역성분을 DCT 변환 부호화로 고압축 전송한 후 수신측에서 에지선명화 기술을 이용하여 고역성분을 합성해내는 고압축 synthetic high 부호화 방식을 제안하였다. 여기서 DCT 변환 부호

화시 변환계수의 분산 추정법으로는 Cox의 방법을 다소 수정하여 인접한 주위 계수들의 정보를 추가로 고려하는 방법을 사용하였다. 이러한 변환 부호화 및 에지선명화를 사용하는 제안된 synthetic high 부호화는 Cox의 적응변환 부호화보다 MSE에서는 나은 것이 없지만, 주관적 품질을 반영한 척도인 GSNR과 EPR 면에서 뿐만 아니라 블록효과의 정도를 나타내는 오차 변화도 면에서도 Cox의 적응 변환 부호화보다 성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한, 주관적 검사를 통하여서도 약 30:1의 높은 압축율에서 재생된 영상이 블록효과나 입상잡음이 거의 보이지 않는 것으로 관측되었다.

參 考 文 獻

- [1] W.F. Schreiber, et al., "Synthetic high: an experimental TV bandwidth reduction system," *Journal of SMPTE*, vol. 68, pp. 525-537, Aug. 1959.
- [2] J.K. Yan and D.J. Sakrison, "Encoding of image based on a two-component source model," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-25, pp. 1315-1322, Nov. 1977.
- [3] D.E. Troxel, et al., "A two-channel picture coding system: I-real time implementation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, pp. 1841-1849, Dec. 1981.
- [4] W.F. Schreiber, et al., "A two-channel picture coding system: II-adaptive companding and color coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, pp. 1849-1858, Dec. 1981.
- [5] Y.Q. Qingdong, et al., "Synthetic high coding for the PAL luminance signal," *Signal Processing*, vol. 8, pp. 163-177, 1985.
- [6] M. Kunt, "Second-generation image-coding techniques," *Proc. IEEE*, vol. 73, no. 4, pp. 549-579, Apr. 1985.
- [7] S.H. Jung, and N.C. Kim, "New synthetic high coding using edge sharpening," *IEE Electronics Letter*, vol. 24, no. 18, pp. 1183-1184, Sep. 1988.
- [8] 정성환, 김남철, "에지 선명화에 의한 Synthetic High 부호화," 대한전자공학회 화상 및 TV 연구회 학술발표 논문집 제 11권 3호 pp. 28-31, 1987년 12월.
- [9] 김해성, 김남철, "에지정보에 근거한 피라미드 부호화," 대한전자공학회 논문지, 제 25권 10호, pp. 85-93, 1988년 10월.
- [10] P.J. Burt and E.H. Adelson, "The Laplacian pyramid as a compact image code," *IEEE*

- Trans. Commun*, vol. COM-31, no. 4, pp. 532-540, Apr. 1983.
- [11] W.K. Pratt, *Digital Image Processing*, John Wiley and Sons, Inc., 1978.
- [12] A.K. Jain, "Image data compression," *IEEE Proc.*, vol. 69, pp. 349-389, Mar. 1981.
- [13] R.J. Clarke, *Transform Coding of Image*, Academic Press, 1985.
- [14] H.W. Chen, et al., "A fast computational algorithm for the discrete cosine transform," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-26, pp. 934-936, June 1978.
- [15] H. Yasuda, "A draft ISO standard for coded representation of still pictures," ISO/IEC JTC1 SC2/WG8 Document N704:1-13, Mar. 1988.
- [16] W.H. Chen and C.H. Smith, "Adaptive coding of monochrome and color image," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-25, pp. 1285-1292, Nov. 1977.
- [17] W.H. Chen and W.K. Pratt, "Scene adaptive coder," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-32, pp. 225-232, Mar. 1984.
- [18] A.G. Tesher and R.V. Cox, "An adaptive transform coding algorithm," *ICC76*, pp. 47:20-25, 1976.
- [19] 채용우, 간축 보간을 이용한 영상변환 부호화의 비교, 경북대학교 석사학위 논문, 1988년 12월.
- [20] VCL LAB MEMO, vol. VI, Fl, Jan. 1988.
- [21] B. Chanda, et al., "Image sharpening incorporating human visual response," *Signal processing* vol. 9, no. 1, pp. 57-65, Aug. 1985.
- [22] M. Miyahara and K. Kotani, "Block distortion in orthogonal transform coding - analysis, minimization and distortion measure," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-33, pp. 90-96, 1985.

著 者 紹 介

鄭 聖 煥(正會員) 第 24卷 第 3號 參照
 현재 창원대학교 전자계산학과
 전임강사

金 南 哲(正會員) 第 25卷 第 10號 參照
 현재 경북대학교 전자공학과
 부교수