

論文 98-35S-2-11

블록단위 대역분할/DCT 부호화

(Block-based Subband/DCT Coding)

金 廷 權 * , 李 商 郁 * , 李 忠 雄 *

(Jeong-Kwon Kim, Sang Uk Lee, and Choong Woong Lee)

요 약

현재 영상을 기반으로 하는 서비스 품질의 종류가 다양해짐에 따라서, 하나의 주어진 부호기를 이용하여 다양한 해상도의 영상을 전송할 수 있는 대역분할/DCT 부호화 방법이 제안되었다. 하지만, 대역분할/DCT는 대역분할을 위하여 많은 계산량이 필요할 뿐 아니라 큰 메모리를 요구한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 블록단위 대역분할/DCT를 제안한다. 블록단위 대역분할/DCT는 대역분할과 DCT를 결합하여 수행하기 때문에 계산량을 줄일 수 있을 뿐 아니라 블록단위 처리이기 때문에 사용되는 메모리의 크기도 크게 감소하고 병렬처리가 가능하다. 본 논문에서는 블록단위 대역분할/DCT 변환 행렬의 성질을 수식적으로 보임으로써 계산량의 감소를 보이고, 변환을 제외한 부호화 방법을 JPEG의 부호방식을 채택하여 제안된 부호화 방법의 성능을 평가하였다.

Abstract

Subband/DCT coding has been introduced in order to transmit images of various resolutions using one given image-codec, for nowadays there are various grades of quality in visual communication services. However, subband/DCT results in the increase of multiplication number and memory size. In order to resolve this problem, we propose block-based subband/DCT coding in this paper. In block-based subband/DCT, the number of multiplications is not only reduced because we combine subband decomposition with DCT, but the size of memory is also reduced because images can be parallel-processed block by block. We show that the number of multiplications is reduced, by analyzing the property of block-based subband/DCT matrix mathematically, and examine the performance of proposed coder, which adopts JPEG as backhand-coder after block-based subband/DCT.

I. 서 론

최근 다양한 정보를 더욱 효과적으로 제공할 수 있는 영상 기반 통신 서비스가 활발하게 진척됨에 따라,

* 正會員, 서울大學校 電氣工學部 通信共同研究所
(The Institute of New Media and Communications, School Of Electrical Engineering, Seoul National University)

※ 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

接受日字: 1997年8月18日, 수정완료일: 1998年2月4日

통신망에서 이용할 수 있는 영상의 부호화 방법에 관한 연구 역시 활발히 진행되고 있다. 특히, 영상 회의와 같은 서비스는 사용자의 통신 매체에 따라 다양한 종류의 해상도를 제공해야 하기 때문에, H.261과 같은 부호화 표준은 $p \times 64$ kbps의 다양한 비트율의 부호화 기법을 지원하고 그 중 CIF(360×288) 영상이나 QCIF(180×144) 영상의 부호화에 주로 응용된다^[1]. 그리고, 정지영상의 경우는 JPEG^[2]과 같은 표준안에 의해 부호화되어, Internet과 같은 멀티미디어 서비스의 새로운 영상 형식으로 자리잡아 가고 있다. 이와 같은 표준안들은 다해상도(multi-resolution) 영상부

호화를 충분히 고려하지 않았고 영상의 전송 도중에 영상의 해상도 변화에 대응할 수 있는 적절한 방법이 부족하다. 이 문제를 해결하기 위하여, E. A. B. Silva는 CIF 부호기를 이용하여 720×576 크기의 동영상을 전송하기 위하여, 4개의 CIF subband로 분할한 후 각각의 subband를 H.261을 기반으로 부호화하였다^[3]. 이러한 대역분할/DCT 부호화 구조를 통하여, 다양한 해상도로 영상을 분할하여 계층부호화를 구현할 수 있을 뿐 아니라 화면의 크기의 변화에 따라 별도의 부호기를 두지 않아도 된다. 하지만, 대역분할/DCT는 전체 영상에 대해 대역분할을 수행하기 때문에, 대역분할된 영상을 저장하기 위한 많은 양의 메모리가 필요하고 대역분할을 수행하기 위하여 계산량 역시 증가하게 된다. 또한, 대역분할 과정이 블록 단위의 영상처리가 아니므로 병렬 처리가 불가능하여, 하드웨어 구현 시 병렬 처리에 의한 빠른 속도를 보장할 수 없다.

따라서, 본 논문에서는 대역분할/DCT 부호화 방법을 블록단위의 영상 처리 방법에 적용한다. 제안한 블록단위 대역분할/DCT 방법은 대역분할과 DCT 변환을 결합하여 블록단위로 독립적으로 대역분할/DCT를 하기 때문에, 영상의 병렬처리가 가능할 뿐 아니라 변환에 이용되는 메모리의 크기가 프레임 전체의 크기에서 블록의 크기로 현저하게 줄어들게 된다. 또한, 대역분할 행렬과 DCT 변환 행렬을 결합하면 두 행렬의 규칙성 때문에 곱셈의 수를 줄여서 빠른 연산을 보장할 수 있다. 이러한 계산량의 감소를 블록단위 대역분할/DCT 변환 행렬의 성질과 주기성을 수식적으로 보임으로써 해석적으로 분명히 보이고, 실제 정지 영상의 부호화에 적용하여 블록단위 대역분할/DCT와 기존의 대역분할/DCT의 계산량과 부호화 성능 면에서 비교하였다.

본 논문에서 검토하는 부호화 과정은 먼저 영상을 16×16 으로 블록으로 나눈 후 각 블록에 대하여 순환연장(Circular extension) 또는 대칭연장(reflection extension)을 이용하여 대역분할을 수행하고 4개의 8×8 subband 블록을 얻는다. 변환 이후의 부호화는 기존의 영상표준인 JPEG과 같이 지그재그 주사, 줄길이 부호화, 허프만 부호화를 하였다. 변환 후 부호화를 기존의 표준 부호화 방식을 따름으로서, 기존의 송신 부호기 전단과 수신 부호기의 뒤에 대역분할 과정만을 추가하여 블록단위 대역분할/DCT를 구현할 수

있기 때문에 기존의 영상 부호화 방법과 호환성을 가진다.

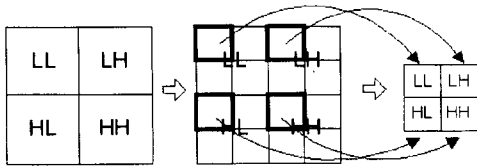
2장에서는 블록에서의 대역분할과 블록의 경계에서의 연장 방법에 대하여 개괄적으로 설명하고 3장에서는 블록단위 대역분할/DCT 행렬의 성질을 살펴보고 계산량의 감소를 설명한다. 4장에서는 제안된 부호기에서 사용된 양자화 방법과 엔트로피 부호화에 대하여 설명하고 5장에서는 제안된 부호기의 성능과 계산량을 기존의 부호화 방법들과 비교한다.

II. 블록단위 대역분할/DCT 부호화

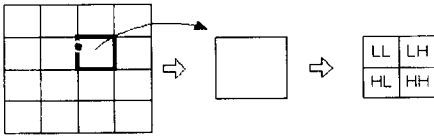
대역분할 부호화는 원 영상을 여러 주파수 대역으로 분할한 후, 각 대역에 적합한 부호화 방법을 채택함으로써 큰 부호화 이득을 얻을 수 있다. 또한, 대역분할된 영상 중 저주파수 영역의 영상일수록 에너지의 크기가 크고 중요한 데이터이기 때문에, 대역분할 부호화 방법은 순차적 전송이나 계층 부호화에 적합한 영상처리 기법이다. 이러한 대역분할 부호화를 구현하기 위하여 여러 가지 필터 설계 방법이 제안되었으며 최근에는 웨이블릿에 의한 접근 방법이 주목을 받고 있다.

대역분할/DCT는 그림 1. (a)와 같이 대역분할을 전체 영상에 대해 수행한 후, 분할된 4 개의 subband 영상을 각각 기존의 영상 부호화 표준 방법에 따라 부호화하는 방법을 제안하고 있다. 이 방법은 전체 영상에 대하여 대역분할을 한 후 블록단위 부호화를 하기 때문에, 대역분할과 DCT를 결합하여 한꺼번에 수행할 수 없고 대역분할이 완전히 수행되기 전까지는 병렬처리 역시 불가능하다. 뿐만 아니라, 대역분할을 한 후 부동 소수점(floating point) 데이터를 저장할 전체 영상 크기의 메모리가 필요하게 되어 메모리의 사용량이 급격히 증가하게 된다.

그러나, 그림 1. (b)와 같이 대역분할을 블록단위로 수행하면, 대역분할과 DCT를 결합하여 한꺼번에 처리할 수 있기 때문에 계산량이 감소할 뿐 아니라 대역분할된 영상의 저장에 필요한 메모리의 크기 역시, 전체 영상의 크기에서 대역분할/DCT 변환된 영상 데이터를 저장하는데 필요한 블록의 크기로 줄어든다. 이러한 장점을 가지기 때문에 본 논문에서는 블록단위 대역분할/DCT를 제안하고 그 계산량을 살펴보겠다.



a) 대역 분할 후 블록 구획
a) Subband/DCT coding



b) 블록 구획 후 대역 분할
b) Block-based Subband/DCT coding

그림 1. 블록단위 대역분할/DCT와 대역분할/DCT
Fig. 1. Block-based subband/DCT and subband/DCT.

그림 1. (b)와 같이 블록단위 대역분할을 하게 되면, 대역분할 필터링은 유한 길이 신호의 컨벌루션(convolution)을 통하여 이루어진다. 유한 길이 신호를 필터링할 때는 신호의 경계에서의 연장(extension) 방법에 따라 성능이 크게 좌우된다. 대표적인 연장 방법으로는, 그림 2. (a)와 같이 신호가 주기적이라고 가정하는 순환 연장(cyclic extension)과 그림 2. (b)와 같이 신호가 경계를 중심으로 대칭이라고 가정하는 대칭 연장(reflection extension)이 있다^[4]. 순환 연장은 식 (1.1)과 같이 표시되고 대칭연장은 식 (1.2)와 같이 표시할 수 있다.

$$y(n) = \sum_{k=-M_1}^{M_2} h(k) x(n-k|N) \quad (1.1)$$

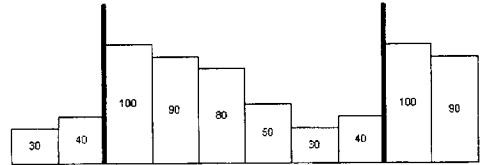
단, $n-k|N \equiv n-k \pmod N$

$$y(n) = \sum_{k=-M_1}^{M_2} h(k) \hat{x}(n-k) \quad (1.2)$$

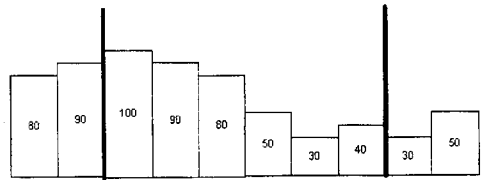
단, $\hat{x}(n) = \begin{cases} x(|n|), & -N < n < 0 \\ x(n), & 0 \leq n < N \\ x(N-2-|n-M|), & N \leq n < 2N \end{cases}$

대칭 연장은 그림 2. (b)와 같이 블록의 경계를 중심으로 대칭이기 때문에, 블록의 경계에서 부드럽게 변하기 때문에 고주파수 신호의 에너지가 작아지기 때문에 부호화에 유리하다. 하지만, 대칭 연장의 경우 출력 신호 역시 대칭이기 위해서는 필터 역시 대칭이어야 하므로 임의의 필터에 사용할 수 없다. 만약, 대칭 연장에 웨이블릿 필터를 사용한다면, 선형 위상 특성

을 가지는 쌍직교(biorthogonal) 필터를 사용하여야 한다. 또한, (1.2)와 같이 주어지는 필터링을 행렬로 나타내었을 때, 행렬의 규칙성이 없기 때문에 계산상의 이득을 얻기 힘들다.



a) 순환 연장
a) Circular extension



b) 대칭 연장
b) reflection extension

그림 2. 블록 경계에서 연장방법
Fig. 2. Extension methods at the block boundary.

한편, 순환 연장의 경우는 그림 2. (a)와 같이 블록의 경계에서 불연속일 가능성이 높아, 낮은 비트율에서는 고주파수 신호의 손실에 의한 블록 경계 효과를 보인다. 하지만, 입력 신호가 주기적이라고 가정하면 순환 연장을 이용하여 임의의 필터를 통과시켜도 출력 신호 역시 주기 신호가 되기 때문에, 임의의 필터에 적용이 가능하다. 또한, (1.1)과 같이 주어지는 순환 연장을 행렬로 표시할 경우, 대역분할 행렬 H는

$$H = \begin{bmatrix} h_0 & h_{-1} & h_{-2} & \cdots & h_3 & h_2 & h_1 \\ h_1 & h_0 & h_{-1} & \cdots & h_4 & h_3 & h_2 \\ h_2 & h_1 & h_0 & \cdots & h_5 & h_4 & h_3 \\ \vdots & & & \ddots & & & \vdots \\ h_{-1} & h_{-2} & h_{-3} & \cdots & h_2 & h_1 & h_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

와 같이 주어지고 순환 행렬이 되어 강한 규칙성을 보인다. 대역분할 행렬 H와 DCT 행렬을 결합할 경우, 순환 행렬의 규칙성과 DCT 행렬의 규칙성 때문에 계산의 양이 크게 줄어든다.

제안된 부호기는 블록단위로 대역분할을 하기 때문에, 대역분할 행렬과 DCT 행렬을 곱하여 동시에 처

리할 수 있다. 대역분할/DCT 변환 행렬 T 는 DCT 변환을 나타내는 행렬 C 와 대역분할 행렬 H 의 곱으로 주어진다.

$$T = CDH \quad (3)$$

$$= \left[\cos \frac{(2i-1)(j-1)\pi}{2N} \right] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} H$$

단, 행렬 D 는 2:1 로 추림하는 행렬이고 행렬 C 는 DCT 변환을 나타내는 행렬이다. 다음 장에서는 행렬 T 의 성질과 대칭성을 보임으로써 블록단위 대역분할/DCT의 계산량을 살펴보겠다.

III. 블록단위 대역분할/DCT에서 계산량

2장에서 블록단위 대역분할/DCT를 동시에 수행하는 행렬 T 를 제시하였다. 만약, 대역분할 후 N -점(point) DCT를 수행한다면, 대역분할에 입력되는 한 블록의 크기는 $2N \times 2N$ 이고 대역분할에 의해 4개의 $N \times N$ subband 블록으로 나뉘어진다. 대역분할 필터는 선형위상 조건을 만족하는 쌍직교(biorthogonal) 웨이블릿 필터를 사용하였다.

웨이블릿 필터는 저역통과 필터와 고역통과 필터 사이의 직교성에 따라, 직교(orthogonal) 웨이블릿과 쌍직교 웨이블릿으로 나눌 수 있다. 직교 웨이블릿의 경우는 선형위상과 직교성이 양립할 수 없기 때문에 선형위상 조건을 만족하지 못하지만, 쌍직교 웨이블릿의 경우 직교성을 완화시켜서 선형위상 조건을 만족시킬 수 있다^[5]. 뿐만 아니라, 동일한 길이의 필터인 경우 쌍직교 웨이블릿 필터가 완만도(regularity)가 더 높기 때문에 우수한 부호화 성능을 보인다. 따라서, 제안된 부호화 방법은 쌍직교 웨이블릿 필터를 사용하고 쌍직교 웨이블릿 필터의 충격응답은 식 (4)를 만족하고 $i=0$ 을 중심으로 대칭이기 때문에 필터 길이가 홀수 ($2L-1$)가 된다.

$$h(-i) = h(i) \quad \text{단, } i=1, 2, \dots, L-1 \quad (4)$$

이 경우 필터 계수의 값이 같은 화소값끼리 미리 더해서 계산할 수 있기 때문에 필터링에 필요한 곱셈의 수가 반으로 줄어든다. 즉, 길이 $2N$ 의 신호를 길이 $2L-1$ 의 대역분할 필터 $h(i)$ 로 필터링을 한 후 추림하는데 필요한 곱셈의 양은 $L \times N$ 이 된다.

만약, 대역분할/DCT 부호화 방법과 같이, 대역분할

을 수행한 후 N -점 DCT를 별도로 수행하는 경우, DCT를 위해 별도의 계산이 필요하게 된다. 고속 DCT 알고리즘을 사용하지 않는다면 N -점 DCT를 수행하는데 N^2 번의 곱셈이 필요하지만, 고속 DCT 알고리즘을 사용하면 곱셈의 수가 줄어들게 된다. 고속 DCT 알고리즘 중, 1차원의 경우는 DCT 행렬을 영의 수가 많은 행렬로 분해하여 계산상의 이득을 가지는 sparse-행렬 분해방법과 DFT에서 사용되는 DIF(decimation in frequency) 알고리즘을 DCT에 적용한 경우가 대표적이고^[6] 2차원 DCT의 경우는 참고문헌 [7]이 대표적으로 알려져 있다. sparse-행렬 분해 방법은 $M \log_2 N - 3N/2 + 4$ 만큼의 곱셈이 필요하고 DIF 알고리즘의 경우는 $N/2 \log_2 N$ 만큼의 곱셈이 필요하다. 따라서, [3]에서와 같이 길이 $2N$ 의 신호를 대역분할과 DCT를 따로 수행하는 경우, 곱셈의 수는 고속 알고리즘을 사용하지 않은 경우는 $(L+N) \times N$ 이고 DCT에서 DIF 고속 알고리즘을 사용한 경우는 $(L + \log_2 N/2) \times N$ 이 된다.

이와는 달리, 대역분할을 블록단위로 수행하는 경우는 식 (3)과 같이 대역분할과 DCT를 결합하여 나타낼 수 있다. 행렬 T 의 성분을 수직적으로 나타내기 위해 먼저, 대역분할과 추림(decimation)을 결합한 행렬 DH 의 성분을 나타내어 보면 대역분할에서 순환연장을 사용하였기 때문에,

$$DH_{i,j} = h(2i-j-1|2N) \quad (5)$$

같이 표시가 된다. 식 (5)를 식 (3)에 대입하여 행렬의 성분을 식으로 나타내면, 블록단위 대역분할/DCT 변환 행렬 T 의 성분은 식 (6)과 같이 주어진다.

$$T_{i+1,j} = \sum_{k=0}^{N-1} \cos \frac{(2k+1)ix}{2N} DH_{k+1,i} \quad (6)$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} \cos \frac{(2k+1)ix}{2N} h(2k-j+1|2N)$$

DCT 변환 행렬의 주기성과 순환 행렬 H 의 성질 때문에, 행렬 T 의 성분 역시 강한 규칙성을 가지게 되어 대칭인 위치에 중복이 되는 값을 많이 가지거나 영의 값을 가지게 된다.

먼저, $T_{i,j}$ 의 성분의 대칭성을 보이기 위해 행렬 C 와 DH 의 대칭성을 살펴보면, DCT변환 행렬은 수평방향으로의 대칭성에 의해

$$\cos \frac{(2(N-1-k)+1)ix}{2N} = (-1)^i \cos \frac{(2k+1)ix}{2N} \quad (7)$$

만족하고, 선형 위상 type-1 필터 $h(i)$ 는 식 (4)와 같이 우함수이기 때문에

$$\begin{aligned} & h(2k - (2N - j) + 1 | 2N) \\ &= h(-2k + 2N - j - 1 | 2N) \quad (8) \\ &= h(2(N - 1 - k) - j + 1 | 2N) \end{aligned}$$

를 만족한다. 따라서, $T_{i+1, 2N-j}$ 를 계산하는데 식 (8)과 (7)을 단계적으로 대입하면, 행렬 \mathbf{T} 의 성분은 식 (9)와 같이 수평방향으로 대칭성을 가지게 된다.

$$\begin{aligned} & T_{i+1, 2N-j} \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} \cos \frac{(2k+1)i\pi}{2N} h(2k - (2N - j) + 1 | 2N) \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} \cos \frac{(2k+1)i\pi}{2N} h(2(N - 1 - k) - j + 1 | 2N) \quad (9) \\ &= (-1)^i \sum_{m=0}^{N-1} \cos \frac{(2m+1)i\pi}{2N} h(2m - j + 1 | 2N) \\ &= (-1)^i T_{i+1, j} \end{aligned}$$

이러한 대칭성은 $2i+1$ ($i=0, 1, \dots, N/2$)행에 대하여 다시 한번 적용이 가능하다. $2i+1$ ($i=0, 1, \dots, N/2$)행의 성분의 경우, 원래의 $2N \times 2N$ 블록단위 변환을 식 (10)과 같이 반으로 나누어 $N \times N$ 블록단위 대역분할/DCT 변환으로 나누어 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} & T_{2i+1, j} = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} \cos \frac{(2k+1)i\pi}{2 \cdot N/2} h(2k - j - 1 | 2N) \quad (10) \\ &+ (-1)^i \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} \cos \frac{(2k+1)i\pi}{2 \cdot N/2} h(N + 2k - j - 1 | 2N) \end{aligned}$$

식 (10)의 각각의 항은 식 (6)과 같이 $N/2$ -점 DCT 변환 행렬과 대역분할 필터 $h(i)$ 의 곱으로 나타내어진다. 따라서, $N/2$ -점 DCT 역시 식 (7)과 같은 대칭성을 가지고 대역분할 필터 $h(i)$ 도 길이가 N 인 경우에 대하여도 식 (8)과 같은 대칭성을 가지게 되어 다음의 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} & h(2k - (N - j) + 1 | 2N) \\ &= h(2(N/2 - 1 - k) - j + 1 | 2N) \quad (11) \\ &h(N + 2k - (N - j) + 1 | 2N) \\ &= h(N + 2(N/2 - 1 - k) - j + 1 | 2N) \end{aligned}$$

따라서, 식 (9)를 얻은 것과 같은 방법으로 식 (11)을 식 (10)에 적용하면 행렬 \mathbf{T} 의 홀수 열마다 길이 N 의

대칭성을 얻을 수 있다.

$$T_{2i+1, N-j} = (-1)^i T_{2i+1, j} \quad (12)$$

식 (9)와 (12)에서와 같이, 행렬 \mathbf{T} 의 성분이 가지는 수평방향으로의 대칭성은 $4i+1, 8i+1$ 에 대하여 계속 보존이 된다. 따라서, 귀납적으로 행렬 \mathbf{T} 의 성분은

$$T_{2^r i + 1, 2N/2^r - j} = (-1)^i T_{2^r i + 1, j} \quad (13)$$

와 같은 대칭성을 가지게 되어, 절대값이 같은 행렬의 원소끼리 미리 더하여 곱하면 블록단위 대역분할/DCT 변환에 필요한 곱셈의 수가 감소하게 된다.

행렬 \mathbf{T} 의 대칭성에 의한 계산량의 감소뿐만 아니라, 행렬의 성분값이 영이 되어 계산이 감소하기도 한다. 짝수 행의 성분 중 N 번째 열의 성분들은 (10)에서와 같이 필터링 결과를 반씩 나누어 쓸 수 있고 같은 $h(i)$ 에 대하여 코사인 값을 인수분해 하면 그 값이 (14)에서와 같이 영이 된다.

$$\begin{aligned} & T_{2i, N} \\ &= \sum_{k=0}^{N/2-1} \cos \frac{(2k+1)(2i-1)\pi}{2N} h(2k - N + 1 | 2N) \\ &+ \sum_{k=0}^{N/2-1} \cos \frac{(N+2k+1)(2i-1)\pi}{2N} h(2k + 1 | 2N) \quad (14) \\ &= \sum_{k=0}^{N/2-1} \left\{ \cos \frac{(2k+1)(2i-1)\pi}{2N} \right. \\ &\quad \left. + \cos \frac{(2N-2k-1)(2i-1)\pi}{2N} \right\} h(2k - N + 1 | 2N) \\ &= 0 \end{aligned}$$

식 (6)과 같은 행렬의 대칭성과 식 (14)와 같은 영의 값 때문에, 행렬 \mathbf{T} 를 통하여 영상 신호를 변환하는데 필요한 연산의 수가 줄어들게 된다. 길이가 $2N$ 의 신호를 블록단위 대역분할/DCT 행렬 \mathbf{T} 를 이용하여 블록단위 대역분할/DCT를 수행하는데 드는 곱셈의 수는

$$\frac{2N^2 + 1}{3} - \frac{N}{2} \quad (15)$$

와 같이 주어지고, 사용되는 필터의 길이 L 과 무관하게 주어진다. L 이 작아 대역분할에 의한 곱셈의 증가가 매우 작은 경우는 블록단위 대역분할/DCT 변환 행렬 \mathbf{T} 에 의해 얻는 이득이 두드러지지 않지만, $L \approx N$ 인 경우는 행렬 \mathbf{T} 에 의한 계산상의 이득은 매우 크다.

IV. 대역별 부호화

대역분할된 4 개의 subband 블록은 각각 통과한 필터의 주파수 대역에 따라 LL, LH, HL, HH의 대역으로 나뉘어지고, 각 블록은 대역별로 DCT를 수행한다. DCT는 상관 계수가 "1"에 가까운 마르코프 확률과정의 KLT(Karhunen Loeve Transform)의 변환의 근사변환으로 볼 수 있기 때문에, 영상과 같이 비교적 상관계수가 큰 신호의 부호화에 적합하고 DCT에 의해 변환된 행렬은 자기상관(auto-correlation) 행렬로 볼 수 있다. 수평 상관계수가 ρ_h 이고 수직 상관계수가 ρ_v 인 마르코프 확률과정의 자기 상관행렬은

$$[\sigma_{u,v}^2] = \begin{bmatrix} 1 & \rho_v & \cdots & \rho_v^7 \\ \rho_h & \rho_h \rho_v & \cdots & \rho_h \rho_v^7 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_h^7 & \rho_h^7 \rho_v & \cdots & \rho_h^7 \rho_v^7 \end{bmatrix} \quad (16)$$

와 같이 주어지고, $\rho_h \approx \rho_v$ 라고 하면 에너지의 분포가 대각선 방향으로 같은 값을 가진다. 따라서, JPEG에서는 DCT 이후 그림 3. (a)와 같이 zig-zag 주사를 하여, DCT 계수를 에너지의 크기 순으로 재정렬한 후 줄-길이 부호화한다.

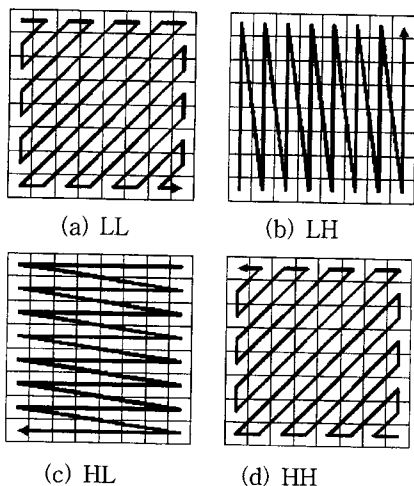


그림 3. 각 대역에 따른 주사 방향
Fig. 3. Scanning direction of each band.

LL은 입력 영상의 축소 근사 영상이므로 JPEG과 같이 DCT 계수를 zig-zag 주사를 해도 좋다 그러나, 고주파수 성분을 가진 LH, HL, HH의 DCT 계수들

은 고주파수를 통과시킨 방향으로 상관계수가 매우 작아서 에너지 순으로 재정렬하기 위해선 주사 방향을 바꾸어 주어야 한다. LH는 수평방향의 상관계수가 크기 때문에 그림 3. (b)와 같이 주사하고, HL는 수직방향의 상관계수가 크기 때문에 그림 3. (c)와 같이 주사하여야 한다. HH 대역의 subband는 상관계수가 수직, 수평 모두 작기 때문에, 더 이상 DCT를 마르코프 확률과정의 KLT로 간주할 수 없다. 따라서, DCT를 주파수 분석 측면으로 해석하면 HH 대역에서는 에너지가 큰 고주파수 영역부터 그림 3. (d)와 같이 주사하는 것이 합리적이다. 실제 실험에 의해 DCT 계수들의 분산을 구하여 보면 그림과 같은 주사방향에 따라 에너지가 분포함을 확인할 수 있다.

위와 같이 에너지의 크기 순으로 주사를 수행하기 전에, 양자화를 통하여 계수들을 정수의 값으로 저장하는 것이 메모리의 사용을 줄일 수 있다. 양자화기는 입력 신호의 확률분포에 따라 선형 또는 비선형으로 설계할 수 있는데, JPEG은 인간의 시각특성과 줄-길이 부호화의 성능 향상을 고려하여 8×8 DCT 선형 양자화표를 제공하고 있다. 고주파수 영역은 시각 특성에 둔감하기 때문에 양자화 간격이 매우 크고 DC 쪽으로 갈수록 양자화 간격이 작아진다. 또한, 시각에 둔감한 고주파 영역을 큰 양자화계수로 양자화하여 고주파에서 영이 많이 나오기 때문에, 줄-길이 부호화의 성능이 향상된다.

제안된 부호기의 양자화기를 살펴보면, 원영상의 근사 축소 영상인 LL는 원영상과 성질이 비슷하기 때문에 JPEG의 양자화표를 그대로 사용한다. 하지만, 고주파수 영역인 LH, HL, HH는 JPEG의 양자화표를 그대로 적용하기에 부적합하므로 각 subband에 적합한 양자화기를 설계하여야 한다. 각각의 대역에 대하여 DCT 계수의 양자화기를 최적화하는 것은 복잡하고 계산량에 비해 성능의 개선이 작기 때문에, 제안된 방법에서는 각각의 고주파수 subband에서는 모든 주파수 성분이 같은 양자화 간격을 가지는 선형 양자화기를 사용하였다.

LL, LH, HL, HH, 네 개의 신호원을 주어진 비트율로 부호화하기 위해서는 비트율과 왜곡의 관계를 구하여 비트 할당을 최적화해야 한다. 이러한 제약 최적화 문제(constrained optimization problem)는 라그랑주 승수법을 이용하여 해결할 수 있다. M 개의 신호원이 유한개의 가능한 양자화 집합 S_k 를 가지고 있

고 k 번째 대역 신호의 비트율을 b_k , 그 때의 왜곡을 $W_k(b_k)$ 라고 하면 최소화해야 하는 비용함수는 식 (17)과 같이 주어진다.

$$\min_{b_k \in S_k} \left\{ \sum_{k=1}^M W_k(b_k) + \lambda \sum_{k=1}^M b_k \right\}, S_k = \{p_k, \dots, q_k\} \quad (17)$$

단, $\sum_{k=1}^M b_k \leq R$

가능한 모든 λ 값에 대해 비용함수의 값을 계산하여 식 (17)을 최적화하는 것은 계산량이 너무 많기 때문에, 비트율-왜곡 평면에서 반복적으로 수렴해 가는 이동분(bisection) 알고리즘을 사용한다^[8]. 먼저 적당한 두 개의 초기점을 설정하고, 그 선분의 기울기를 λ 로 하여 비용함수를 최소화하는 양자화기를 찾는다. 그 다음은 최소값을 가지는 점과 다른 한 점을 이어 λ 를 갱신하고 다시 비용함수를 최소화하는 양자화기를 찾는다. 이와 같은 반복과정에 의해 오목(convex) 비트율-왜곡 곡선을 가지는 양자화기를 최적화할 수 있다. 제안된 부호기에서 LL의 양자화 계수와 LH, HL, HH의 양자화 간격을 위와 같은 최적화 기법을 이용하여 각 대역에 적절한 비트를 할당하였다.

이와 같이 대역에 적합한 양자화와 주사(scanning)를 거친 후, LL의 DC 계수는 DPCM을 통하여 부호화하고 나머지 AC 계수들은 선행하는 영의 개수와 계수의 크기를 부호화하는 줄-길이 부호화를 수행한다. 줄-길이 부호화된 부호는 Huffman 부호화를 통하여 실제 엔트로피와 비슷한 비트율로 부호화된다. 기본적인(baseline) JPEG에서는 고정된 Huffman 표를 제공하고 있지만, 제안된 부호기는 보통 영상과 통계적인 특성이 다르기 때문에, 공평한 비교를 위하여 실험적으로 얻게 되는 확률분포에서 얻어지는 최적화된 Huffman 표를 사용한다.

V. 실험 결과

부호기의 성능을 평가하기 위하여, 제안된 블록단위 대역분할/DCT 부호화 방법을 정지영상에 적용하였다. 실험 영상으로는 512×512 Lena 영상을 사용하였다. 대역분할 부호화에는 Antonini가 제안한 9/7-탭 쌍직교 웨이블릿 필터를 사용하는데, 분석 필터(analysis filter)에서 저역통과 필터는 에너지를 집중시키기 위해 필터의 길이가 길고 고역 통과 필터는 신호의 지역성(locality)을 넓게 확산시키지 않기 위하여 짧은 필

터를 사용한다^[9]. 그리고, 대역분할을 수행할 때 블록의 경계에서 순환연장과 대칭연장을 각각 이용하였다. 블록단위 대역분할 이후는 JPEG 부호화 방법을 채택한 후 각 대역에 적합하게 수정하였다.

본 논문에서는 비트율이 0.1 ~ 1.5 bpp 정도의 범위 내에서 부호기의 성능을 평가하였다. 고주파수 영역의 신호는 낮은 비트율에서는 거의 부호화되지 않기 때문에, 대역분할/DCT 부호기는 고주파수 영역의 신호를 따로 분리하여 부호화하여 낮은 비트율에서 성능이 떨어지게 된다. 또한, 순환연장을 이용한 블록단위 대역분할/DCT 부호화 방법은 부호화 오류가 경계에서 전파되어 낮은 비트율에서 블록 경계 효과의 문제점을 가진다. 따라서, 성능과 효과 면에서 제안된 부호기는, 고주파수 영역의 신호가 충분히 부호화될 정도의 높은 비트율에서, 사용하는 것이 적합하다.

표 1. 제안된 부호기와 다른 부호화 방법과의 성능 비교

Table 1. Performance comparison of proposed coder.

		대역분할/DCT	블록 단위 대역분할/DCT (순환연장)	블록 단위 대역분할/DCT (대칭연장)
곱셈 수	2L-1 필터	$(L + \frac{\log_2 N}{2})N$	$\frac{2N^2 + 1}{3} - \frac{N}{2}$	$(L + \frac{\log_2 N}{2})N$
	L=5, N=8	52	39	52
변환 계수 저장 메모리		512×512 부동소수점	16×16 부동소수점	16×16 부동소수점
장 점		PSNR이 높고 다해상도 지원	계산량이 적고 병렬처리 가능, 다해상도 지원	병렬처리 가능, 다해상도 지원, PSNR 우수
단 점		계산량과 메모리 증가, 병렬처리 불가	PSNR의 감소	계산량의 증가

표 1은 Antonini가 제안한 9/7 탭 웨이블릿 필터를 사용한 경우 각각의 부호화에 필요한 곱셈의 수와 장·단점을 나타내었다. 제안된 블록단위 대역분할/DCT 방법과 대역분할/DCT 방법은 대역분할을 통하여 다양한 크기의 영상을 해상도에 따라 계층을 나누어 부호화하기 때문에, 공간적으로 영상을 단순하게 분할하는 방법에 비해 해상도에 따른 계층부호화라는 장점을 가진다. 그리고, 대역분할된 영상의 크기가 축소 영상의 크기와 같기 때문에 영상의 크기에 따라 다른 부호기를 두지 않아도 된다. 계산량을 비교해보면, 순환연장 블록단위 대역분할/DCT 변환은 필터의 길이에 관계없이 일정한 수의 곱셈이 필요하고 $N=8$ 인

경우 39번의 곱셈이 필요하다. 전체 영상에 대역분할을 수행하는 대역분할/DCT는 길이 9 탭인 경우 곱셈의 양은 52번으로서, 순환연장 블록단위 대역분할/DCT에 비하여 계산량이 증가함을 알 수 있다. 또한, 제안된 방법과 JPEG은 블록단위 처리이기 때문에, 병렬처리가 가능할 뿐 아니라 변환 계수를 저장하기 위하여 필요한 메모리의 크기 역시 줄어들어 $N=8$ 인 경우 16×16 부동 소수점 데이터를 저장할 공간만이 필요하다. 결론적으로 순환연장 블록단위 대역분할/DCT는 블록 경계의 오류의 전파로 상대적으로 낮은 PSNR을 보이지만, 대역분할과 DCT의 결합으로 계산량과 메모리의 양이 줄어든다. 그리고 블록단위의 처리이기 때문에 병렬처리가 가능하다. 대칭연장 블록단위 대역분할/DCT의 경우는 블록단위의 처리이기 때문에 병렬처리가 가능하고 메모리의 양이 줄어든다.

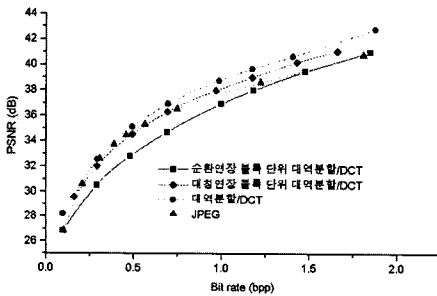


그림 4. 각 부호화 방법의 비트율 대 PSNR 곡선
Fig. 4. Bit-rate vs PSNR curves of coders.

실제 부호화 성능 결과로서, 그림 4는 블록단위 대역분할/DCT 부호화 방법과 다른 영상 부호화 방법의 비트율-왜곡 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 제안된 순환연장 블록단위 대역분할/DCT 부호화 방법은, JPEG과 비교하였을 때, 1.5 bpp 이상의 높은 비트율에서는 고주파수 대역이 세밀하게 부호화되기 때문에 JPEG보다 우수한 성능을 보인다. 하지만, 0.1 ~ 1.0 bpp 사이의 비트율에서는, 고주파수 대역의 신호가 에너지의 크기에 비해 너무 큰 비트율을 차지하기 때문에 JPEG에 비해 0.5 ~ 1 dB 정도 성능이 떨어진다. 그리고, 대역분할/DCT 방법은 마지막에 합성필터 (synthesis filter)를 통과시키는데 합성필터가 평탄화 필터(smoothing filter)로 작용하여 블록 경계효과가 작아지기 때문에, 블록단위 대역분할/DCT 방법에 비해 항상 약 1 dB 정도 성능이 우수하다. 하지만, 대칭

연장 블록단위 대역분할/DCT의 경우는 블록 경계 오류의 전파가 심각하지 않기 때문에 JPEG 보다 우수한 성능을 보이고 대역분할/DCT와 성능이 비슷하면서 병렬처리가 가능하다.

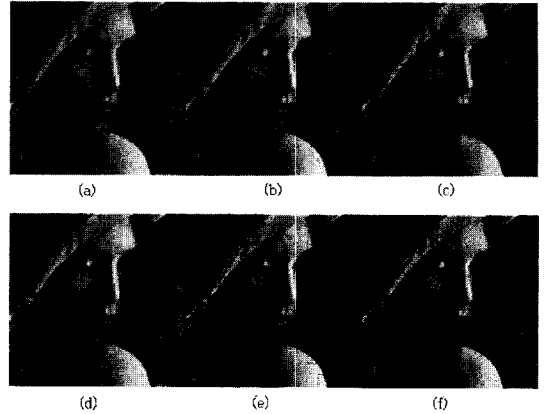


그림 5. 0.5 bpp에서 각 부호기의 복원영상
(a) 순환연장 블록단위 대역분할/DCT (b) 대칭연장 블록단위 대역분할/DCT (c) 대역분할/DCT (d) JPEG (e) 순환연장 중 LL (f) 대칭연장 중 LL

Fig. 5. Reconstructed image of each coder at 0.5 bpp.
(a) Circular-extended block subband/DCT (b) Reflection-extended block subband/DCT (c) subband/DCT (d) JPEG (e) LL of (a) (f) LL of (b)

그림 5는 원 영상을 각 부호기를 사용하여 0.7 bpp로 부호화한 복원 영상이다. 그림 5. (a)는 순환연장 블록단위 대역분할/DCT로 부호화한 영상으로서 블록의 경계에서 다른 영상에 비해 화질이 열화된다. 그러나, 대칭연장 블록단위 대역분할/DCT로 부호화한 그림 5. (b)는 계산량이 증가하지만, 다른 블록단위 부호화 방법의 장점을 그대로 가지면서 비슷한 화질을 제공한다. 그림 5. (e)는 순환연장 블록단위 대역분할/DCT의 낮은 주파수 영역 LL부분만으로 복원된 영상이고 그림 5. (f)는 대칭연장 블록단위 대역분할/DCT의 LL부분만으로 복원된 영상이다. 에지 부분과 같은 고주파수 영역이 점차적으로 개선됨을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

대역분할/DCT는 전체 영상에 대한 변환을 하기 때

문에 병렬처리를 하지 못하게 되어, 구현 시 빠른 속도를 보장할 수 없다. 또한, 계산량과 메모리의 크기의 증가를 초래하기 때문에, 본 논문에서는 블록단위 대역분할/DCT 부호화 방법을 제안하였다. 또한, 순환연장을 사용한 경우 대역분할과 DCT를 결합하여 대역분할/DCT 변환 행렬을 제시하고 수식적으로 계산량이 감소함을 보였다. 9/7 탭 필터를 사용하는 경우 약 20% 곱셈의 수가 감소하였다.

제안된 블록단위 대역분할/DCT 부호화 방법은 대칭연장과 순환연장을 사용할 수 있다. 대칭연장을 사용하는 경우는 블록단위의 처리이기 때문에 병렬처리와 메모리의 감소와 같은 장점을 가지고 성능 또한 기존의 JPEG에 비해 우수하다. 순환연장을 사용하는 경우 계산량의 감소에 의한 더욱 빠른 속도를 얻을 수 있으나 경계에서의 불연속에 의해 화질이 열화된다. 따라서, 각 응용 분야에 적합한 부호기를 선택하여, 기존의 블록단위 부호기와 호환성을 가지는 계층부호화기를 구현할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] CCITT, Recommendation H.261, video codec for audio visual services at $p \times 64$ kbits/s, 1990.
- [2] W. B. Pennebaker, J. L. Mitchell. *JPEG Still Image Data Compression Standard*. VNR, New York, 1993.
- [3] E. A. B. Da Silva and M. Ghanvari, "A

hybrid subband-DCT codec for transmission of high resolution still pictures at 64K bit/s," *Journal of Visual Communication and Image Representation*: Academic Press, vol. 6, Num. 2, pp. 164-177, June 1995.

- [4] S. Mallat. "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation," *IEEE Trans. Patt. Analysis and Mach. Intell.*, vol. 11, pp. 674-693, Jul. 1993.
- [5] M. Vetterli and C. Herley, "Wavelets and filter banks: theory and design," *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 40, pp. 2207-2232, Sep. 1992.
- [6] K. R. Rao and J. J. Hwang, *Techniques and Standards for Image, Video and Audio Coding*, Prentice Hall, pp. 57-73, 1996.
- [7] N. I. Cho and S. U. Lee, "Fast algorithm and implementation of 2D discrete cosine transform," *IEEE Trans. Circuits and Systems*, vol. 40, pp. 297-305, Mar. 1991.
- [8] K. Ramchandran and M. Vetterli, "Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense," *IEEE Trans. Image Processing*, pp. 160-174, vol. 2, April 1993.
- [9] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 1, pp. 205-220, Apr. 1992.

저 자 소 개

金 廷 權(正會員)

1995년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사. 1997년 2월 : 서울대학교 전자공학과 석사. 1997년 3월~현재 : 서울대학교 전기공학부 박사과정 재학 중. ※ 관심분야 : 대역분할 부호화, 동영상 부호화 등

李 忠 雄(正會員)

1958년 3월 : 서울대학교 전자공학과 학사. 1960년 9월 : 서울대학교 전자공학과 석사. 1971년 4월 : 일본 동경대학교 전자공학과 박사. 1989년 1월~현재 : IEEE의 Fellow 임명. 1991년 6월-1997년 8월 : 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 소장. 1971년 10월~현재 : 서울대학교 전기공학부 교수. ※ 관심분야 : 통신이론, 영상 및 HDTV 신호처리

李 商 郁(正會員)

1973년 : 서울대학교 전기공학과 학사. 1976년 : Iowa State University 석사. 1980년 : Univ. of Southern California 박사. 1980년 : General Electric Company, Lynchburg, VA. 1981 ~ 1983년 : M/A-COM Research center, Rockville, MD. (Technical Staff). 1983년 ~ 현재 : 서울대학교 전기공학부 교수. ※ 관심분야 : 영상 및 음성 신호처리, 컴퓨터 비전 등