

# 대역분할 부호화에서 상위대역의 효율적인 부호화

한영오, 박현수, 신중인, 김형식, 박상희

연세대학교 전기공학과

## The efficient coding of the upper bands in subband image coding

Young Oh Han, Hyun Soo Park, Joong In Shin, Hyung Suk Kim, Sang Hui Park

Dept. of Electrical Engineering, Yonsei Univ.

### Abstract

A method for image compression based on decomposition is presented. We design the efficient coding technique for upper band image signals. This coding technique with directive 1-D DPCM is based on the statistical properties of upper bands. Lower band image signals is encoded using 2-D DPCM. The directive 1-D DPCM is performed, scanning upper bands according to edge direction. And then the predicted error signals of upper bands is coded using Bi and Huffman code, and the predicted error signals of lower band is coded using Huffman code. The proposed system shows improved performance when compared with other existing methods with respect to peak peak signal to noise ratio(PSSNR) and human visual system(HVS) properties.

### 1. 서론

최근 수년간 많은 영상 부호화기술이 개발되어 왔다. 예측 부호화, 변환 부호화 및 복합 부호화 방식등이 대표적인 예라 할 수 있다. 이 때, 예측오차신호 혹은 변환계수들은 스칼라 또는 벡터 양자화를 이용하여 양자화 한다. 그러나 이산 여현 변환(DCT)과 벡터 양자화와 같은 부호화 방식은 일반적으로 많은 계산량을 요구한다. 대역분할 부호화는 기존의 방식에 비하여 비교적 간단한 부호화 방법으로써 초기에는 음성 부호화에 적용되어 좋은 결과를 얻었다. 그 후 1986년 Woods와 O'neil[1]이 영상신호의 부호화에 처음으로 적용한 이래 많은 연구들이 진행되어 왔다. 대역분할 부호화의 기본구성은 신호 대역을 몇개의 분할대역으로 분리한 후, 각 분할대역의 통계적 특성에 맞는 비트율과 부호화기를 이용하여 부호화한다. 대역 분할은 새로운 영상표현이라 할 수 있는데, 이 때 신호의 에너지는 샘플들의 작은 영역에 집중되지만 전체에너지는 보존된다. 이산 여현 부호화와 같이 에너지의 비균일 분포를 이용하여 부호화한다. 즉 높은 에너지 샘플들은 상대적으로 많은 비트로 부호화하고 낮은 에너지 샘플들은 적은 비트로 부호화한다. 그러나 대역분할 부호는 변환 부호화보다 훨씬 더 유연한 부호화 방식이라 할 수 있다. 그 이유는 첫째, 부호화 오차가 분할대역에만 국한됨으로써 복원 영상의 화질이 좋으며 둘째, 이산 여현 부호화에서 문제시되는 구획화 현상(blocking artifacts)이 나타나지 않으며 셋째, 점진적인 다해상도 전송이 가능하며 넷째, 인간의 시각시스템의 성질을 고려한 부호화가 가능하다.

대역분할 부호화는 대역분할 필터링, 양자화 및 부호화의 세가지 과정으로 분류할 수 있는데 수신단에서는 이의 역과정을 수행하게 된다. 대역분할 필터링은 Crochiere[3]등에 의해 처음으로 제안된 후, Smith와 Barnwell[7]은 1차원 다비우 시스템(multirate system)을 위한 완전복원 필터링을 발표했으며, Vetterli[15]등에 의해 2차원으로 확장되었다. 그 후 발표된 설계방법들은 직각대칭 필터를 이용한 대역분할, 효과적인 polyphase 구현이 가능한 주파수 천이 필터뱅크 및 다양한 시간-주파수 분할이 가능한 웨이브렛에 기초한 필터뱅크로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 직각대칭 필터를 사용하여 대역분할 및 합성과정을 수행하였다.

한편, 대역분할 부호화 과정중 양자화 및 부호화는 필터뱅크와 마찬가지로 시스템의 성능과 복잡도를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 따라서 이에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 대표적인 연구결과로는 2차원 DPCM 및 PCM을 이용한 방법과 벡터 양자화를 이용한 부호화 방법으로 분류할 수 있다. Woods와 O'Neil은 2차원 적응 DPCM을 이용한 방법을 제안했고[4], Tabatabai는 2차원 DPCM과 적응 PCM을 이용한 방법을 제안했으며[2][5], Westrinck는 벡터 양자화를 이용한 방법을 처음으로 제안했다[12]. 본 연구에서는 고역분할된 영상신호의 효율적인 부호화를 위하여 에지의 방향성을 고려한 1차원 DPCM 방식을 제안한다.

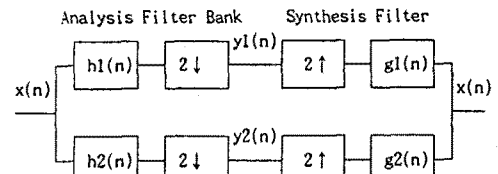
II장에서는 직각대칭필터를 이용한 영상신호의 대역분할과 대역분할된 영상신호의 통계적 특성을 살펴보고 III장에서는 저역 및 고역분할 영상신호의 통계적 특성에 근거하여 새로운 부호화 방식을 제안하고 가변길이 및 연속길이 부호화를 이용한 엔트로피 부호화를 살펴본다. IV장에서는 모의실험을 통하여 제안된 방식의 성능을 기존의 방식과 비교 평가한다.

## II. 영상신호의 대역분할 및 합성

### 1. 직각대칭필터

Johnston[6]은 1980년 완전복원은 아니지만 성능이 우수한 여러 가지 규격의 직각대칭 필터를 제안했으며 1985년 Smith와 Barnwell[7]은 최초로 완전복원이 가능한 직각대칭 필터를 제안하였다. 그 후 Vaydiyanathan[9]은 완전복원이 가능한 여러 구조의 직각대칭 필터를 제안했으며 현재까지 여러 종류의 직각대칭 필터에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 본 연구에서는 Johnston이 제안한 직각대칭 필터를 이용하여 영상신호의 대역분할 및 합성과정을 수행하였다.

전체대역신호의 대역분할은 저역통과 필터와 고역통과 필터를 통과한 후 주립과정(decimation)을 거쳐 이루어 진다. 분할된 대역신호가 주립과정을 거칠 때 신호의 겹침현상(aliasing)이 발생하게 되어 이러한 문제점을 해결하기 위하여 분할단과 합성단의 필터링에는 일반적으로 직각대칭 필터가 사용된다. 그림II.1은 1차원 2대역 분할 부호화 시스템 이다. 이 시스템에서 중간에 부호화 과정이 생략되었다고 가정하면 입력신호는 출력단에서 복원 가능하여야 한다. 즉 복원된 신호는 식(1)과 같다.



그림II.1. 1차원 2대역 대역분할 및 합성 블록선도

$$\hat{X}(z) = \frac{1}{2} [H_1(z)G_1(z) + H_2(z)G_2(z)]X(z) \quad (1)$$

$$+ \frac{1}{2} [H_1(-z)G_1(z) + H_2(-z)G_2(z)]X(-z)$$

이 때 두번째 항이 겹침현상을 일으키는 성분이 된다. 사용된 필터가 대칭성을 갖는 선형위상 FIR 필터라 가정하면 다음 식(2)가 성립한다.

$$H_2(z) = H_1(-z), \rightarrow h_2(n) = (-1)^n h_1(n) \quad (2.1)$$

$$G_1(z) = 2H_1(z), \rightarrow g_1(n) = 2h_1(n) \quad (2.2)$$

$$G_2(z) = -2H_2(z), \rightarrow g_2(n) = -2(-1)^n h_1(n) \quad (2.3)$$

식(2)를 식(1)에 적용하면 복원된 신호는 식(3)과 같이 되며 대역분할 및 합성시스템의 전체 전달함수는 식(4)로 표현가능하다.

$$\hat{X}(z) = [H_1^2(z) - H_2^2(z)] X(z) \quad (3)$$

$$T(z) = H_1^2(z) - H_2^2(z) \quad (4)$$

$H_1(z)$ 와  $H_2(z)$ 는 선형위상 특성을 갖는 FIR 필터라 가정하였으므로 시스템 전체에 걸쳐 위상왜곡은 일어나지 않는다. 따라서 진폭왜곡이 일어나지 않도록 모든 대역에 걸쳐 시스템 전달함수  $|T(z)|$ 를 "1"로 유지하여야 한다. 이와 같이 대역분할 및 합성시스템에서 사용되는 필터는 완전한 복원을 위하여 주입과정에서 발생하는 겹침현상을 제거하여야 하고 진폭 및 위상왜곡을 최소화할 수 있어야 한다.

## 2. 직각대칭 필터에 의한 영상신호의 7대역분할

영상신호에 대해 직각대칭 필터를 순차적으로 실행하게 되면 4대역, 7대역, 16대역등 여러가지 분할대역의 신호를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 그림11.2와 같이 7대역으로 분할하는 방법을 사용하였다. 또한 이에 대응하는 7대역 분할시스템은 그림11.3과 같다.

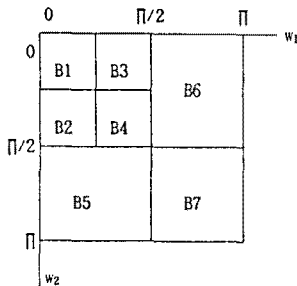


그림11.2. 주파수영역에서 영상신호의 7대역분할

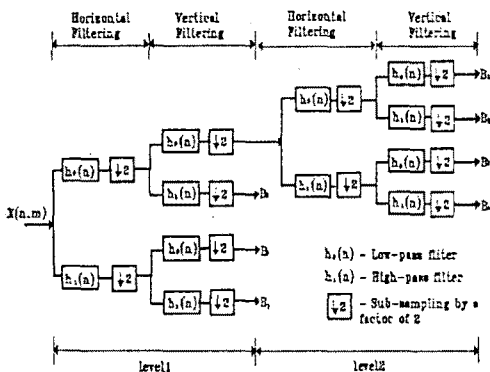


그림11.3. QMF에 의한 영상신호의 7대역분할 블럭선도

## 3. 대역분할 영상신호의 통계적 특성

### (1) 지역분할 영상신호

대역분할 필터트리를 거처며 저주파성분만으로 이루어진 지역분할 영상신호는 다른 고역분할된 영상신호에 비해 각 화소의 변화정도가 적다. 이는 통계적으로 인근 화소간의 상관도가 높음을 의미하며 현위치의 화소값이 이전 화소값들에 의해 영향을 받은 기억 정보원(memory data source)으로 간주될 수 있다. 따라서 지역분할 영상의 경우 다른 대역의 신호와는 달리 인근 화소와 많은 중복성을 갖게 된다. 한편 영상신호의 경우 대부분의 에너지가 공간주파수 영역상의 저주파영역에 밀집되어 있기 때문에 지역분할 영상신호는 다른 대역에 비해 큰 에너지 레벨을 갖게 되며 이는 지역분할 영상신호에 상대적으로 많은 정보가 포함되어 있음을 의미한다.

### (2) 고역분할 영상신호

고역분할 영상신호는 지역분할 영상신호에 비해 상대적으로 적은 정보를 포함하고 있지만 인간의 시각특성상 중요한 정보원인 에지성분을 주로 포함하고 있다. 즉 그림11.3에서 분할대역 B2, B5와 B3, B6는 각각 원래의 영상신호가 갖고 있는 수평 및 수직방향으로의 에지성분을 포함하고 있으며, 분할대역 B4, B7은 대각방향으로의 에지성분을 포함한다.

Karen 영상을 7대역으로 분할한 후 각 분할대역의 영상신호에 대한 1단계 상관도를 구해보면 분할대역 B2, B5와 B3, B6은 각각 수평 및 수직방향으로의 상관도가 비교적 높게 나타나며 기저대역인 B1은 수평, 수직, 대각방향으로의 상관도가 모두 높게 나타난다.

## III. 대역분할 부호화

대역분할된 영상신호는 분할대역의 통계적 성질에 기초하여 부호화하게 되며 본 연구에서 제안한 전체 부호화 시스템은 그림11.1과 같다.

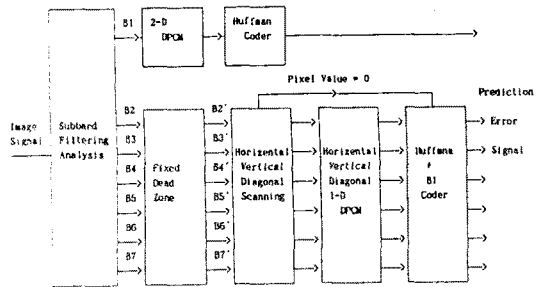


그림11.1. 제안된 대역분할 부호화 시스템

### 1. 최적비트할당

대역분할 부호화에서는 각대역의 통계적성질에 따라 대역별 비트 할당이 결정된다. 즉 각 분할대역의 분산을  $\sigma_{ik}^2$  이라 하면 대역별 비트 할당은 식(5)에 의해 결정된다. 이 방식은 Lagrangian[10] 방법을 이용한 것이며 이외에도 Trushkin[11]이 제안한 랜덤백터를 양자화하기 위한 최적 비트 할당과 Westerink[12]가 제안한 비트 할당 방식이 있다. 본 연구에서는 Lagrangian 법을 이용하였다.

$$R_{k,opt} = \bar{R} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma_{ik}^2}{\left[ \prod_{i=1}^M \sigma_{ik}^2 \right]^{1/M}} \quad (5)$$

$M$ : 분할대역의 개수

$\sigma_{ik}^2$ : 분할대역의 분산

$\bar{R}$ : 평균할당비트

$R_{k,opt}$ : 분할대역의 할당 비트

## 2. 저역분할 영상 부호화

기저대역 B1의 신호는 수평, 대각방향으로의 상관도가 높게 나타나므로 그림 III.2와 같은 방법으로 현재의 화소값을 예측하는 2차원 예측기를 사용한다.

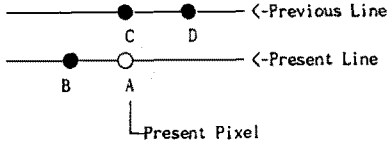


그림 III.1. 예측기에 사용된 화소의 구성

이 때 예측값은 식(6)으로 표현 가능하다.

$$\hat{x}_A = bx_B + cx_C + dx_D \quad (6)$$

여기서  $x_B, x_C, x_D$ 는 이전 화소값이고  $\hat{x}_A$ 는 예측하고자 하는 현재의 화소값이다. 또한  $b, c, d$ 는 각각 0.5, 0.25, 0.25로 하였으며 양자화기는 균일 양자화기를 사용하였다.

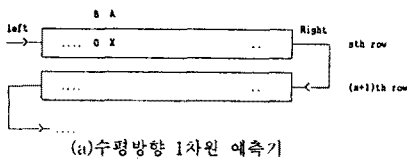
## 3. 고역분할 영상 부호화

고역분할 영상신호는 부호화하기 이전에 문턱치를 사용하여 문턱치 이하의 값은 "0"으로 만들어줌으로써 엔트로피 부호화를 위한 0의 연결성을 높여 압축율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 신호에 담겨진 노이즈를 제거할 수 있는 이중효과를 얻을 수 있다. 그러나 0인 화소값들이 1차원 DPCM에서 처리되면 0의 연결성의 감소 및 0이 아닌 화소값에 대한 예측성능의 저하를 초래할 수 있으므로 0인 화소값은 DPCM 부호화를 거치지 않고 바로 엔트로피 부호화기로 입력된다. 따라서 0이 아닌 화소값만을 1차원 DPCM 부호화기에서 처리하게 하였다. 상위대역인 B2, B3는 수평방향으로의 상관성을 고려하여 수평방향으로 주사하며 예측하는 1차원 예측기를 사용하며, B3, B6는 수직방향, B4, B7 대각방향으로의 1차원 예측기를 사용하여 부호화한다. 각 방향으로의 예측기는 그림 III.3과 같다.

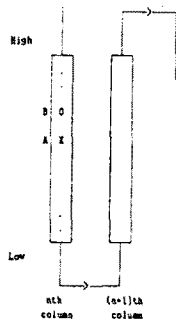
여기서 현재 화소에 대한 예측값은 식(7)과 같다.

$$\hat{x}_A = bx_B \quad (7)$$

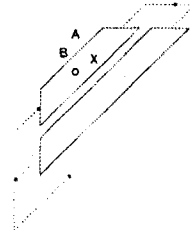
$x_B$ 는 이전 화소값이고  $\hat{x}_A$ 는 예측하고자 하는 현재의 화소값이며  $b$ 는 0.3으로 하였다. 또한 예측오차신호에 대한 양자화는 균일 양자화기를 사용하였다.



(a) 수평방향 1차원 예측기



(b) 수직방향 1차원 예측기



(c) 대각방향 1차원 예측기

그림 III.3 수평, 수직, 대각방향 1차원 예측기

## 4. 고역분할 영상신호를 위한 연속길이 부호화

기저대역의 신호는 문턱치 없이 2차원 DPCM을 사용하여 부호화하므로 0의 연결성이 거의 없다고 할 수 있다. 따라서 후프만 코드를 사용하여 부호화한다. 그러나 상위대역인 고역분할 영상 신호는 문턱치를 사용하였기 때문에 연속된 0의 값들이 상당히 많이 분포하게 된다. 본 연구에서는 1차원 B1 코드를 사용하여 연속된 0의 값들에 대해 연속길이 부호화를 수행하며 0이 아닌 화소값들은 후프만 코드를 사용하여 부호화하였다. 이 때 0의 연결성을 최대한 높여주기 위하여 그림 III.3과 같은 방식으로 주사하면서 엔트로피 부호화를 수행한다. 따라서 수신단에는 B1 코드와 후프만 코드가 번갈아 전송되게 된다.

## IV. 모의실험 및 결과

실험에 사용한 영상은 256x256 크기의 8bit/pel을 갖는 Karen 영상이다. 제안된 대역분할 부호화 시스템의 성능은 객관적인 성능평가 지수인 PSNR 뿐만 아니라 주관적인 평가를 고려하였다. 이 때 사용된 PSNR은 식(7)과 같다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[ \frac{255^2}{MSE} \right] \text{dB} \quad (7)$$

앞서 언급하였듯이 대역분할 및 합성은 Johnston의 16A 형 및 32D 형 직각대칭 필터를 사용하여 설계하였다. 입력신호를 4대역으로 분할한 다음 기저대역을 다시 4대역으로 분할하여 7대역 대역분할 영상을 얻었다. 이 때 부호화 과정을 생략하였을 경우 복원된 영상의 화질은 각각 약 52dB, 58dB의 성능을 얻었다.

본 연구에서 제안된 부호화 시스템으로 각 분할대역에 대하여 부호화를 한 후 복원된 영상의 화질은 약 0.4 ~ 0.7 bpp에서 36dB 이상의 성능을 나타내었으며 주관적인 평가에서도 고역분할 영상신호에 대한 부호화에 있어서 기존의 적용 PCM 방식보다 제안된 1차원 DPCM 방식이 그림 IV.1에서 알 수 있듯이 양호한 화질을 얻을 수 있었다. 특히 예지성분에 대한 충실한 복원력은 인간의 시각특성상 좋은 결과라 할 수 있다. 표 IV.1은 기존의 방식들과의 비교 결과이다.

## V. 결론

본 논문에서는 정지영상을 효율적으로 압축할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 시스템은 부호화하고자 하는 영상신호를 직각대칭필터에 의하여 대역분할한 후, 대역분할 영상신호의 통계적 특성에 따라 부호화 방법을 달리하였다. 즉 저역분할 영상신호는 2차원 DPCM으로 부호화하고 고역분할 영상신호는 방향성을 고려한 1차원 DPCM으로 부호화한다. 그 결과 화질 B1 코드 및 후프만 코드를 사용하여 엔트로피 부호화를 수행하였다. 기존에 발표된 대표적인 결과와 비교분석하였을 때 약 2dB 정도의 성능향상이 있었다. 또한 인간의 시각적인 측면에서도 제안된 시스템으로 압축된 후 복원된 영상은 화질의 향상이 있었다.

향후 대역분할 부호화의 실용화를 위해서는 많은 시간적 부담을 갖게 되는 필터처리 과정에 대한 연구가 요구된다.

표IV.1. 기존의 방식들과 성능비교

기존의 방식	비트율	PSNR	제안방식
Woods[1]	0.67	30.90	36.01
Gharavi[2]	0.66	33.78	36.12
Tabatabai[5]	0.7	34.56	36.81
JPEG	0.50	34.86	35.87



(a) 기존방식[2] (압축율:0.66bpp, PSNR:33.78dB)



(b) 제안방식 (압축율:0.66bpp, PSNR:36.12dB)

그림IV.1. 복원영상의 화질비교

## 4/1. 참고문헌

- [1] J.W.Woods and S.D.O'Neil, "Subband Coding of Images", IEEE Trans. on ASSP. Vol.ASSP-34, pp1278-1288, Oct. 1986.
- [2] H.Gharavi and A.Tabatabai, "Subband Coding of Monochrome and Color Images", IEEE Trans. on Circuits and System, vol.35, pp.207-214, Feb. 1988.
- [3] R.E.Crochiere and L.R.Rabiner, "Multirate Digital Signal Processing", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1983
- [4] J.W.Woods, "Subband Image Coding", Kluwer Academic Publishers, 1991
- [5] D.L.Gall and A.Tabatabai, "Subband coding of images using symmetric short Kernel Filters and Arithmetic coding techniques," IEEE ICASSP., vol.2., 1988., pp.761-763.
- [6] J.D. Johnston, "A Filter Family Designed for Use in Quasrature Mirror Filter Banks," in Proc. 1980 ICASSP, pp. 291-294
- [7] M.J.T.Smith and T.P.Barnwell, "A procedure for designing exact reconstruction filter banks for tree structured subband coders", IEEE ICASSP., Mar. 1984, pp.2711-2714.
- [8] P.H. Westerink, J.Biemon, and D.E.Boeckee, "Subband coding of images using vector quantization", IEEE Trans. on Comm., vol.36, pp.713-719, June 1988.
- [9] P.P.Vaydiyanathan and P.H.Hong, "Lattice structures for optimal design and robust implementation of two-channel perfect-reconstruction QMF baNKS", IEEE Trans. ASSP., vol.36., Jan. pp81-94, 1988.
- [10] N.S.Jayant and Peter Noll, Digital Coding of Waveforms, Prentice-Hall, 1984.
- [11] A.V. Truskin, "Optimal bit allocation algorithm for quantizing a random vector", Translated from Russian in: Probl. Inf. Transmission, vol. 17, no.3, July-Sept. pp.156-161, 1981.
- [12] P.H. Westerink, J.Biemon and D.E.Boeckee, "An optimal bit allocation algorithm for subband coding", IEEE ICASSP., pp.757-760, April, 1988.
- [13] H.Meyr, H.G.Rosdolsky and T.S.Huang, "Optimum run length codes", IEEE Trans. on Comm., vol.36, pp.826-835, June 1974.
- [14] 한영오, 박현수, 박상희, "방향성을 갖는 DPCM을 이용한 영상대역 분할 부호화", 신호처리학술대회 논문집 pp.588-599, 1993.
- [15] M.Vetterli, "Multi-Dimensional subband coding : Some theory and algorithm", Signal Processing, vol.6, pp.97-112, April, 1984