

멀티웨이브릿 필터뱅크를 이용한 임베디드 제로 트리구조의 영상압축

권기창*, 남제호**, 권기룡***, 권영담*

*영남대학교 통계학과, **한국전자통신연구원 무선방송기술연구부

***부산외국어대학교 전자공학과

Image Compression of Embedded Tree Structure Using Multiwavelet Filterbanks

Ki-Chang Kwon*, Je-Hi Nam**, Ki-Ryong Kwon***, Young-Dam Kwon*

*Dept. of Statistics, Youngnam University

**Radio & Broadcasting Technology Lab., ETRI

***Dept. of Elec. Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies

krkwon@taejo.pufs.ac.kr

요 약

본 논문에서는 멀티웨이브릿 필터뱅크를 이용한 임베디드 제로 트리 구조(embedded zero tree structure)의 영상 압축 방법을 제안한다. 본 논문에서 사용한 멀티웨이브릿 함수는 근사화 차수가 2인 새로운 방법의 DGHM 멀티웨이브릿을 사용하였으며, 영상을 부호화하기 위하여 임베디드 제로 트리 구조의 코딩기법을 사용한다. 높은 근사화 차수를 갖는 멀티웨이브릿 필터는 보다 우수한 에너지 압축 효과를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 우수한 에너지 압축 효과를 내기 위하여 수학적으로 정립이 된 근사화 차수가 2인 DGHM 멀티웨이브릿을 영상압축에 사용한다. 또한 기존의 멀티웨이브릿 필터들보다 높은 성능을 갖는 DGHM 멀티스케일링 및 멀티웨이브릿 필터를 구성하여 영상을 완전복원이 되도록 한다.

1. 서 론

최근 디지털 기기의 개발과 네트워크의 발달 및 보급으로 디지털 멀티미디어 데이터를 저장, 전송, 보안 및 처리하는 수요가 매우 증가하고 있다. 특히 멀티미디어 정보의 대부분을 차지하는 디지털 영상 정보의 전송 및 보안에 대한 응용분야가 많은 발전이 있어 왔다. 그 중 웨이브릿에 관한 이론 및 응용은 음향 및 영상압축[1], 다해상도(multiresolution) 신호처리[2], 컴퓨터 비전, 디-노이징 및 잡음제거[3] 등의 분야에서 많은 기술을 제공하고 있다.

멀티웨이브릿 이론은 하나의 스케일링 및 웨이브릿 함수를 갖는 기존의 다해상도 분석의 단점을 보완하기 위하여 여러 개의 스케일링 및 웨이브릿 함수를 이용한 다해상도 분석을 정의하고 이에 따르는 멀티 스케일링 및 멀티 웨이브릿 함수를 구성하여 멀티웨이브릿 필터뱅크를 개발하기

위한 것으로, 기존의 단일 웨이브릿이 멀티웨이브릿의 가장 간단한 경우이다.

최근 단일 웨이브릿이 갖는 단점을 보완하기 위하여 다음과 같이 활발한 연구가 진행되고 있다.

첫째, 새로운 멀티웨이브릿 함수를 설계하는 것이다.

Chui[4], Donovan[5], Geronimo 및 Hardin, Strela[6], Xia[7] 등 여러 학자들이 2개 이상의 스케일링 및 웨이브릿 함수로 신호를 표현하고자 하는 멀티웨이브릿에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

둘째, 전처리필터의 개발이다.

기존의 단일웨이브릿은 Mallat[2]의 피라미드 알고리즘을 이용하여 직접 처리하는 방식이나 멀티웨이브릿은 먼저 입력신호가 벡터화 되어야 하는 과정을 거치는데, 이러한 과정을 멀티웨이브릿의 초기화 혹은 전처리필터링이라 한다.

이러한 전처리필터의 구성에 관한 연구가 Xia[7] 등의 학자들에 의하여 계속되고 있다.

본 논문에서는 멀티웨이브릿 필터뱅크를 이용한 임베디드 제로 트리 구조[8]의 영상 압축 방법을 제안한다. 본 논문에서 사용한 멀티웨이브릿 함수는 근사화 차수가 2인 새로운 방법의 DGHM 멀티웨이브릿을 사용하였으며, 영상을 부호화하기 위하여 임베디드 제로 트리 구조의 코딩기법을 사용한다. 높은 근사화 차수를 갖는 멀티웨이브릿 필터는 보다 우수한 에너지 압축 효과를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 우수한 에너지 압축 효과를 내기 위하여 수학적으로 정립이 된 근사화 차수가 2인 DGHM 멀티웨이브릿을 영상 압축에 사용한다. 따라서 본 논문에서는 멀티웨이브릿을 수리적인 관점에서 대칭성, 간결한 서포트, 연속성 및 정규 직교성을 동시에 모두 만족하는 미분가능 함수로 구성된 새로운 형태의 멀티스케일링 및 멀티웨이브릿 벡터함수를 사용하여 고압축에서도 영상의 화질을 개선한다. 새로운 멀티웨이브릿을 처리하기 위하여 전처리 및 후처리 필터는 근사화 차수가 2인 DGHM 필터를 사용하여 영상을 완전복원이 되도록 한다. 제안한 DGHM 멀티웨이브릿 방법으로 영상압축을 수행한 결과 기존의 단일 웨이브릿 기법인 D4 및 (3,5) 쌍직교 웨이브릿 보다도 PSNR이 우수함을 알 수 있었다.

2. 멀티웨이브릿 변환의 원리

멀티웨이브릿은 여러 개의 스케일링 함수를 갖는 여러 개의 웨이브릿 함수로 구성되어 있다. 즉 멀티웨이브릿은 길이를 보존하며, 경계영역에서 좋은 성능을 가지며, 고차수의 근사화를 가져서 완전복원을 한다. 멀티웨이브릿의 필터뱅크는 그림 1로 표현할 수 있다. 여기서 $H_0(Z), G_0(Z)$ 는 저역통과필터이고, $H_1(Z), G_1(Z)$ 는 고역통과필터이다. 또한 $F(z)$ 는 전처리필터이고, $P^{-1}(z)$ 는 후처리필터이며, Q 는 양자화기이다.

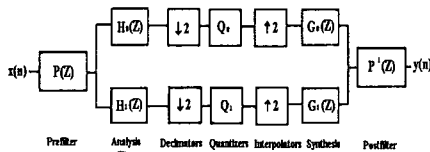


그림 1. 멀티웨이브릿의 필터뱅크

멀티스케일링 함수는 벡터함수 $\phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]^T$ 이며, $L^2(\mathbb{R})^n, n \in \mathbb{N}$ 에 속해 있다. 이는 스케일링 공간 $V_m = span\{2^{m/2} \phi_i(2^m t - k) : 1 \leq i \leq n, k \in \mathbb{Z}\}$ (1)

으로서 다해상도 이론으로 구성된다. 멀티웨이브릿 W_m 은 스케일링 공간 V_{m+1} 내에서 V_m 과 직교 보수 공간이다. 이의 벡터함수는 $\phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]^T$ 이며, 공간

$$W_m = span\{2^{m/2} \phi_i(2^m t - k) : 1 \leq i \leq n, k \in \mathbb{Z}\} \quad (2)$$

으로서 구성된다.

벡터 $\phi(t) = [\phi_1(t), \dots, \phi_n(t)]^T$ 는 다음과 같은 matrix dilation 방정식을 만족한다.

$$\phi(t) = \sum_k C[k] \phi(2t - k). \quad (3)$$

여기서 계수 $C[k]$ 는 스칼라 대신 $N \times N$ 행렬이다.

이 스케일링 함수는 N 웨이브릿 $\phi_1(t), \dots, \phi_n(t)$ 와 관련되며 다음과 같은 matrix wavelet 방정식을 만족한다.

$$\phi(t) = \sum_k D[k] \phi(2t - k). \quad (4)$$

여기서 $\phi(t) = [\phi_1(t), \dots, \phi_n(t)]^T$ 는 벡터이고, 계수 $D[k]$ 는 $N \times N$ 행렬이다.

차수(order) n 의 초기 정방행렬 C_0 로부터 시작하여 공간 V_0 상에 2-D 멀티스케일링 계수가 들어가며 멀티웨이브릿 분할이 L 레벨까지 진행된다. 멀티웨이브릿 분할 알고리즘은 블록 멀티웨이브릿 계수 행렬 C_0 로부터 시작한다. 영상처리에 멀티웨이브릿을 적용하기 위한 가장 중요한 문제는 좋은 근사화 차수를 갖는 행렬 C_0 를 구하는 것이다. 이러한 문제는 데이터의 전처리 과정 또는 전처리필터로서 알 수 있다. 따라서 전처리필터는 멀티스케일링 함수의 근사화 차수를 보존하는 인터플레이션 전처리필터를 선택한다.

3. DGHM 방법의 멀티웨이브릿 필터뱅크

본 논문에서는 직교성 전처리필터의 특성을 갖는 DGHM 멀티웨이브릿을 사용한 영상부호화 방법을 제안한다.

DGHM 멀티웨이브릿은 직교성과 근사화 차수의 두 가지 중요한 특성이 있다. 스케일링 공간 V_0 에서 이산 신호와 일치하기 위하여 전처리 필터링 단계가 필요하다. DGHM 멀티웨이브릿의 인터플레이팅 특성을 기초로 한 후처리필터의 구조는 근사화 차수가 2를 갖는다.

3.1 멀티웨이브릿과 멀티레이트 필터뱅크

각 멀티웨이브릿 시스템은 행렬형태의 멀티레이트 필터뱅크이다. 멀티웨이브릿 필터뱅크는 $N \times N$ 행렬의 탭을 가진다. 2-채널 멀티웨이브릿 시스템은 2×2 행렬의 필터뱅크 구조로서 2 입력 데이터 구조와 필터링 후 4 출력 구조로 동작한다. 2×2 행렬의 필터뱅크에서 첫 번째 저역 멀티웨이브릿 필터는 첫 번째 입력구조 $c_{0,0}[k]$ 로 동작하며, $c_{0,1}[k]$ 로 두 번째 입력구조로 동작한다. 행렬 필터 계수는 다음과 같은 직교조건을 만족한다.

$$\sum_{k=0}^{N-1} C[k] C[k-2l]^T = 2\delta_{0,l} I. \quad (5)$$

시간영역에서 다운샘플링에 의한 필터링은 2씩 천이하는 무한 저역 행렬에 의해서 표현된다.

$$L = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \alpha[3] & \alpha[2] & \alpha[1] & \alpha[0] & 0 & 0 \\ \dots & 0 & 0 & \alpha[3] & \alpha[2] & \alpha[1] & \alpha[0] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

여기서 각 필터 행 $\alpha[k]$ 는 $n \times n$ 행렬이다. 이 행렬 L 의 고유값이 웨이브릿에 결정적인 영향을 준다.

다해상도의 벡터공간 V_0 내에 있는 시간 연속함수 $f(t)$ 는 다음과 같이 일차 선형결합으로 표시할 수 있다.

$$f(t) = \sum_n v_{1,n}^{(0)} \phi_1(t-n) + v_{2,n}^{(0)} \phi_2(t-n). \quad (6)$$

여기서 첫 첨자(0)는 '레벨 0에서의 스케일'을 나타내고, 함수 $f(t)$ 는 이러한 계수수열들 $\{v_{1,n}^{(0)}, \dots, \{v_{2,n}^{(0)}\}$ 에 의하여 완전히 결정된다.

멀티필터 $C[k]$ 가 FIR 필터이면 위의 식에서의 행렬 곱이 잘 정의될 수 있다. 또한 W_1 영역내의 디테일(detail) 성분 $w_{1,n}^{(1)}, w_{2,n}^{(1)}$ 은 고역성분 $D[k]$ 로서 계산되어진다.

DGHM 멀티웨이브릿은 두 개의 스케일링 함수와 두 개의 웨이브릿 함수를 갖는다. 스케일링 벡터는 근사화 차수=2를 갖는다. DGHM의 멀티 스케일링 및 웨이브릿 행렬 계수 $h(n)$ 과 $g(n)$ 은 표 1과 같다.

표. 1 DGHM 멀티웨이브릿의 스케일링 및 웨이브릿 행렬계수

n	$h(n)$	$g(n)$
-2	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} 0 & -\sqrt{2} \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$
-1	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} -3\sqrt{2} & 9 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} -6 & 9\sqrt{2} \\ -3\sqrt{2} & 9 \end{pmatrix}$
0	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} 10\sqrt{2} & 9 \\ 0 & 6\sqrt{2} \end{pmatrix}$	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} 0 & -9\sqrt{2} \\ -10\sqrt{2} & 9 \end{pmatrix}$
1	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} -3\sqrt{2} & -1 \\ 16 & 6\sqrt{2} \end{pmatrix}$	$\frac{1}{20} \begin{pmatrix} 6 & \sqrt{2} \\ -3\sqrt{2} & 9 \end{pmatrix}$

3.2 전처리 및 후처리 필터의 구성

단일 웨이브릿에 있어서는 전처리 및 후처리가 필요치 않으나 멀티웨이브릿에서는 이 과정을 필요로 한다. 따라서 스케일링과 웨이브릿 필터를 구하고 난 뒤 이 함수들에 알맞은 전처리 과정을 설계해야 한다. 또한 후처리 과정은 전처리 과정의 역을 계산함으로써 얻는다.

저역통과 필터와 고역통과 필터는 신축 방정식과 웨이브릿 방정식에서 얻어지는 계수들로 구성된다. 그러나 멀티웨이브릿에서는 이 계수들이 $n \times n$ 행렬로 나타난다. 그리고 컨버루션을 하는 동안에 스칼라대신 행렬 곱으로 계산된다. 이것은 멀티 필터뱅크가 n 입력 행을 필요로 한다는 것을 의미한다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 멀티웨이브릿 필터뱅크를 이용한 임베디드 제로트리 구조의 영상 압축방법을 제안하였다. 실험영상으로는 Lena 영상으로 512x512 크기와 256 밝기의 영상을 사용하였다. 실험에서 사용한 단일 웨이브릿은 Daubechies D4 및 (3,5) biorthogonal 웨이브릿이다. 멀티웨이브릿은 전처리필터를 처리하여 직교 근사화를 갖는 DGHM 기법을 사용하였다. 부호화 방법으로는 임베디드 제로 트리 구조 부호화를 사용하였다. 이것은 계수들간의 무상관 특성을 이용하여 영상을 변환하며 영상 데이터를 고속 전송할 수 있는 구조를 가지고 있다

또한 여러 가지 웨이브릿 변환 기법에 대해서 압축률을 변화시켜 실험을 수행하였다. 압축률은 4:1, 8:1, 16:1, 32:1, 64:1, 100:1 및 128:1의 고압축률로 변화시켜, 각각의 bpp(bit per pixel)에 대하여 실험을 하여 초저전송률에서 화질 비교를 하였다. 영상의 화질 평가는 PSNR(peak signal to noise ratio)로 측정하였으며 오차성분은 RMSE(root mean square error)로 평가하였다.

본 논문에서는 전송시 정보량을 작게 하기 위하여 영상을 7-레벨로 분할하였다. 그림 2 (a) 및 (b)는 본 논문에서 사용한 DGHM 멀티웨이브릿 방법으로 8:1 영상압축을 실행한 결과로서 분해필터뱅크의 영역에서 전처리필터를 거치고 나온 결과의 영상이다. 전처리필터를 거친 출력영상은 격자형의 모양임을 알 수 있다. 영상을 합성필터뱅크에서 후처리 필터를 거치고 나서야 완전복원이 된다.

영상을 입력한 다음 DGHM 멀티웨이브릿 필터계수의 값을 이용하여 전처리 필터링을 한 다음 웨이브릿 변환된 영상을 7레벨로 분할하고, 분할된 데이터를 이용하여 EZW의 부호화를 수행한다. 전송후 수신단에서 복호화한 후 분할된 영상을 합성하고, 후처리 필터링을 한 후 원영상을 복원한다.

DGHM 멀티웨이브릿은 임베디드 제로 트리 구조의 부호화 기법을 사용하여 영상을 압축하였다. 압축률은 4:1, 8:1, 16:1, 32:1, 64:1, 100:1 및 128:1로 변화시켜 bpp가 초저전송률이 되도록 실험을 하였다.



그림 2(a). 전처리 영상



그림 2(b). 후처리 영상

표 2는 Lena 영상의 압축률에 대한 PSNR을 구한 것으로서 DGHM 방법이 가장 우수함을 알 수 있었다. 그림 3은 Lena 영상의 압축률에 대한 PSNR을 비교한 것으로서 본 논문에서 사용한 DGHM 멀티웨이브릿 기법이 가장 우수함을 알 수 있다.

표 2. Lena 영상에 대한 PSNR[dB]

Image	Lena(512×512) PSNR[dB]			
	bpp	D4	Biorth(3/5)	DGHM
4:1	2	42.56	42.85	43.88
8:1	1	38.62	38.93	39.79
16:1	0.5	34.89	35.72	36.40
32:1	0.25	31.56	32.54	33.12
64:1	0.125	28.69	29.41	30.10
100:1	0.080	26.75	27.57	28.12
128:1	0.0625	25.94	26.77	27.45

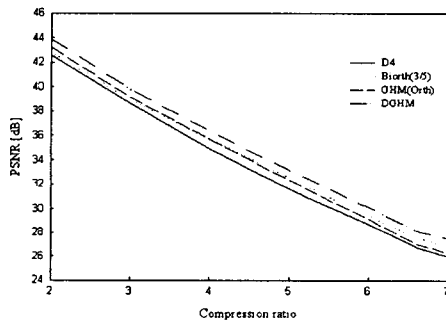


그림 3. Lena 영상에 대한 PSNR[dB]

5. 결 론

본 논문에서는 멀티웨이브릿 필터뱅크를 이용한 임베디드 제로트리 구조의 영상 압축 방법을 제안하였다. 본 논문에서 사용한 멀티웨이브릿 함수는 근사화 차수가 2인 새로운 방법의 DGHM 멀티웨이브릿을 사용하였으며, 부호화 방법으로는 임베디드 제로 트리 구조의 코딩기법을 사용하였다. 높은 근사화 차수를 갖는 멀티웨이브릿 필터는 보다 우수한 에너지 압축 효과를 가지므로, 본 논문에서는 우수한 에너지 압축 효과를 내기 위하여 수학적으로 정립이 된 근사화 차수가 2인 DGHM 멀티웨이브릿을 영상압축에 사용하였다. 또한 DGHM 멀티스케일링 및 멀티웨이브릿 필터를 구성하여 영상을 복원할 때 완전복원이 되도록 하였다.

따라서 본 논문에서는 멀티웨이브릿을 수리적인 관점에서

대칭성, 간결한 서포트, 연속성 및 정규 직교성을 모두 만족하는 미분가능 함수로 구성된 새로운 형태의 멀티스케일링 및 멀티웨이브릿 벡터함수를 사용하여 영상의 고압축에서도 화질을 개선하였다. 새로운 멀티웨이브릿을 처리하기 위하여 전처리 및 후처리 필터는 멀티스케일링 및 멀티웨이브릿에 맞는 근사화 차수가 2인 DGHM 필터를 설계하여 영상이 완전복원 되도록 하였다.

또한 영상을 부호화하는 기법은 웨이브릿 변환을 이용한 부호화 기법에 가장 적당한 임베디드 제로 트리 구조의 부호화 기법을 사용하였다. 제안한 DGHM 멀티웨이브릿 방법으로 영상압축을 수행한 결과 단일 웨이브릿 기법인 D4 및 (3/5) 쌍직교 웨이브릿 보다도 PSNR이 우수함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Antonimi, M. Baraud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apl. 1992.
- [2] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition : the wavelets representation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [3] D. L. Donoho, "De-noising by soft-thresholding," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 41, pp. 613-627, May 1995.
- [4] C. K. Chui and J. A. Lian, "A study of orthonormal multiwavelets," *J. appl. Numer. Math*, vol. 20, pp. 272-298, 1996.
- [5] G. C. Donovan, J. S. Geronimo, and D. P. Hardin, "Interwinning multiresolution analyses and the construction of piecewise polynomial wavelets," *SIAM J. Math. Anal.*, vol. 27, pp. 1791-1815, Nov. 1996.
- [6] V. Strela and P. N. Heller, G. Strang, P. Topiwala, and C. Heil, "The Application of Multiwavelet Filter Banks to Image Processing," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 8, no. 4, pp. 548-563, Apl. 1999.
- [7] X. G. Xia, J. S. Geronimo, D. P. Hardin, and B. W. Suter, "Design of Prefilters for Discrete Multiwavelet Transforms," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 44, no. 1, pp. 25-35, Jan. 1996.
- [8] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.