

논문 2005-42SP-1-12

Comb 필터와 4차 다항식을 사용한 저전력 DWT 필터뱅크 설계

(Low-power DWT filter bank design using comb filter and
fourth-order polynomial)

장 영 범*, 이 원 상**

(Young-Beom Jang and Won-Sang Lee)

요 약

이 논문에서는 저전력의 DWT(Discrete Wavelet Transform) 필터 뱅크를 설계하는 방식을 제안하였다. 분석단의 기본 저역통과 필터로서 comb 필터를 사용하였으며, comb 필터의 주파수 응답특성을 보완하기 위하여 4차 다항식의 필터를 직렬로 연결한 방식을 제안하였다. 분석단의 고역통과 필터와 합성단의 필터들은 완전복원(perfect reconstruction) 조건을 이용하여 설계하였으며, 이와 같이 설계된 필터들의 최적 필터계수를 얻기 위하여 비용함수를 사용하여 완전복원 조건을 만족하도록 최적화하였다. 제안된 필터 뱅크 설계 결과는 JPEG2000의 (9, 7) 필터 뱅크와 비교하여 실제 이미지를 사용하여 MSE를 비교해본 결과 더 우수한 값을 얻을 수 있었으며, 곱셈의 사용수도 33.3%가 적었다. 따라서 이미지 신호를 압축하는데 널리 사용될 수 있는 저전력 구조임을 입증하였다.

Abstract

In this paper, a low-power DWT(Discrete Wavelet Transform) design technique is proposed. As basic low-pass filter for analysis bank, comb filter is utilized, and in order to improve frequency response for the comb filter, a fourth order polynomial is also proposed. Another filters are designed by using perfect reconstruction conditions. The lowpass filter coefficients of the analysis filter bank are optimized based on the cost function and perfect reconstruction condition. The number of the multiplications and MSE(Mean Squared Error) performance of the proposed DWT filter bank are compared with those of the JPEG2000 (9, 7) filter bank. It is shown that number of multiplications of the proposed filter bank are saved with 33.3%, and MSE values of the proposed filter bank are also superior to those of the JPEG2000 (9, 7) filter bank.

Keywords : DWT(Discrete Wavelet Transform), filter banks, comb filters, fourth-order polynomial

I. 서 론

정보량이 큰 영상 신호는 효율적인 전송이나 저장을 위하여 작은 정보량으로 신호를 압축하고, 복원된 후의 신호가 최대한 작은 변화를 갖도록 하여야 한다. 영상

신호의 표준화된 압축방식으로서 DCT(Discrete Cosine Transform)를 기반으로 하는 JPEG, MPEG, H.263과 같은 방식이 사용되고 있다. 그러나 DCT는 영상을 일정한 크기의 블록으로 나누어 압축을 하므로 고압축에서는 블록화 현상(blocking effect)에 의한 화질열화가 발생한다.^[1] 이를 개선하기 위하여 최근에는 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 사용하는 압축 방식이 연구되고 있다.^[2] 그리고, 이와 같은 DWT 기반의 JPEG2000과 같은 정지영상 압축 방식이 이미 표준화되었다.^{[3][4]} 정지영상 신호의 압축에 사용되는 DWT는 기본적으로 트리구조의 필터뱅크이다. 분석단에서는 데시

* 정회원, 상명대학교 정보통신공학과
(Dept. of Information and Telecommunication,
Sangmyung University)

** 정회원, 상명대학교 컴퓨터정보통신공학과
(Dept. of Computer, Information, and
Telecommunication, Sangmyung University)

접수일자: 2004년9월6일, 수정완료일: 2004년12월16일

메이션 필터와 데시메이터의 데시메이션 회로로 구성되며, 합성단에서는 익스펜더와 인터폴레이션 필터의 인터폴레이션 회로로 구성된다. 따라서 DWT 분석단과 합성단의 구현 면적을 최소화하고, 저전력으로 구현하고, 처리시간을 최소화하기 위해서는 분석 및 합성 필터의 효율적인 설계가 필수적이다. JPEG2000의 DWT 블록에서는 (9,7) 필터와 같은 표준화된 필터가 사용되고 있다. 본 논문에서는 화질은 JPEG2000의 DWT를 사용한 것보다 우수하면서, 동시에 JPEG2000의 DWT의 하드웨어 구현보다 구현 면적과 전력소모와 처리시간의 측면에서, 보다 효율적인 저전력 DWT 필터 뱅크 설계방식을 제안하고자 한다.

II. 저전력 DWT 필터뱅크 설계

1. DWT 트리 구조의 필터 뱅크

먼저 1차원 DWT의 구조를 살펴보면 그림 1과 같다. 그림 1의 왼쪽은 분석단 또는 부호화 블록이라 부르고 오른쪽을 합성단 또는 복호화 블록이라 부른다.

정지영상의 압축에 사용되는 2차원 DWT의 구조는 그림 2와 같다. 그림 2에서 보듯이 2차원 DWT는 영상 신호를 수평과 수직의 순서로 분해한다.

그림 2에서 보듯이, 영상신호는 먼저 수평방향으로 데시메이션 된 후에 수직방향으로 다시 데시메이션 됨으로서 분석단이 완료된다. 그림 2는 한 레벨의 DWT 과정이며 JPEG2000과 같은 표준에서는 5 레벨의 변환을 통하여 영상신호가 압축된다. 3 레벨의 2차원 DWT로 변환된 영상은 그림 3과 같다.

그림 3에서 보듯이, 원 이미지를 1 level DWT 변환하면 1LL, 1LH, 1HL, 1HH의 부대역 이미지가 생성된다. 예를 들면 1LH의 이미지는 수평방향으로 저역통과 필터를 통과하고, 수직방향으로는 고역통과 필터를 통과한 이미지를 의미한다. 이와 같은 4개의 이미지 중에서 1LL의 이미지만이 2 level의 입력으로 다시 사용된다.

2. 사용된 필터 뱅크 완전복원 조건

완전복원 조건을 만족하는 효율적인 필터뱅크를 설계하기 위하여 그림 1의 1차원 DWT 기본구조를 사용하기로 한다. 수평방향과 수직방향의 처리는 독립적이므로, 수직의 간편함을 위하여 그림 2보다는 그림 1을 사용하는 것이 용이하기 때문이다. 그림 1에서 복원된 이미지 신호는 원 이미지로 다음과 같이 표현된다.^[5]

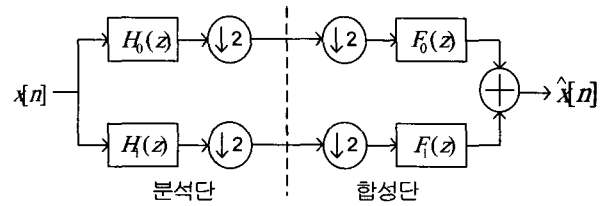


그림 1. 1차원 DWT의 기본 구조
Fig. 1. basic one-dimensional DWT structure.

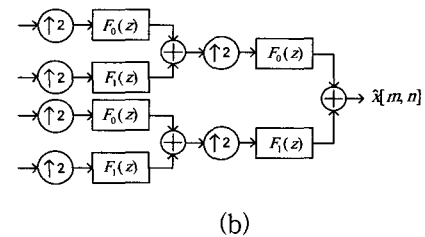
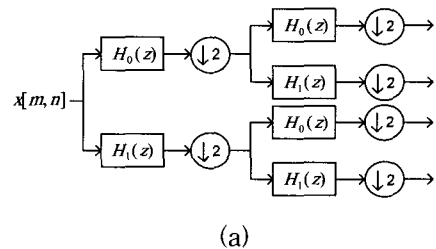


그림 2. 2차원 DWT의 기본 구조, (a)분석단, (b)합성단
Fig. 2. basic two-dimensional DWT structure, (a)Analysis part, (b)Synthesis part.

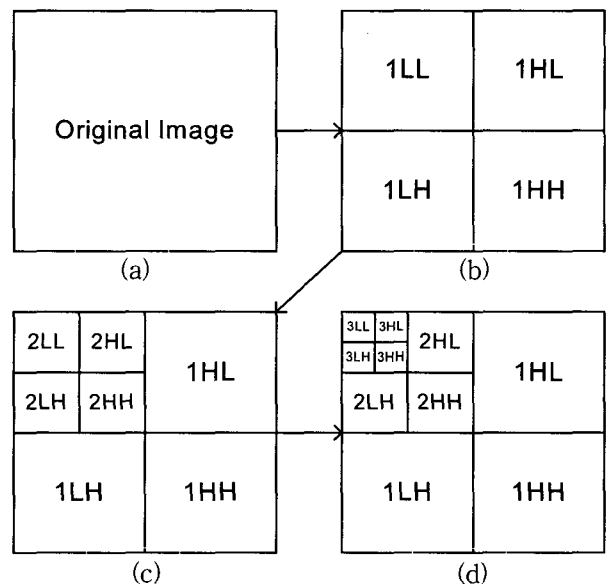


그림 3. 3 레벨의 2차원 DWT 과정, (a)원정지영상, (b)1 level DWT 영상, (c)2 level DWT 영상, (d)3 level DWT 영상
Fig. 3. Two-dimensional DWT processing with 3 levels, (a)original image, (b)1 level DWT image, (c)2 level DWT image, (d)3 level DWT image.

$$\begin{aligned} \hat{X}(z) &= T(z)X(z) + S(z)X(-z) \\ T(z) &= \frac{1}{2} \{H_0(z)F_0(z) + H_1(z)F_1(z)\} \\ S(z) &= \frac{1}{2} \{H_0(-z)F_0(z) + H_1(-z)F_1(z)\} \end{aligned} \quad (1)$$

위의 복원 이미지 신호의 표현에서 엘리어싱이 제거 되려면 S(z)가 제로가 되어야하므로 합성단의 필터뱅크를 다음과 같이 선택하여야 한다.^[5]

$$F_0(z) = H_1(-z), F_1(z) = -H_0(-z) \quad (2)$$

또한 분석단의 저역통과 필터를 선형위상으로 설계 하고, 고역통과 필터를 다음과 같이 선택함으로써 T(z)의 선형위상 특성을 만족시킬 수 있다.^[5]

$$H_1(-z) = H_0(-z) \quad (3)$$

(3)의 선택으로 필터뱅크의 위상왜곡이 제거될 수 있다. 마지막으로 필터뱅크의 진폭왜곡을 최소화하기 위하여 분석단의 저역통과 필터는 짝수 탭이어야 하며, 다음 조건에 근사하도록 설계되어야 한다.^[5] 즉,

$$H_0(e^{j\omega})^2 + H_1(e^{j\omega})^2 = 1 \quad (4)$$

식 (2)-(4)에서 보듯이 필터뱅크의 완전복원 조건의 만족은 분석단의 저역통과 필터를 얼마나 잘 설계하는가에 달려있음을 알 수 있다. 즉, (4)의 조건에 가능한 근사하도록 분석단 저역통과 필터를 설계하면, (3)과 (2)에 의해서 분석단 고역통과 필터와 합성단 필터들은 자동으로 설계된다.

3. 제안된 DWT 필터뱅크 설계 방법

이 절에서는 지난 절에서 소개한 완전복원 조건을 만족하는 필터설계 방식을 제안한다. 즉, 분석단의 저역통과 필터를 저전력으로 설계하는 방식을 제안한다. 저역통과 필터로서 곱셈이 사용되지 않는 단순한 필터 구조는 comb 필터가 널리 사용된다.^[6] 따라서 본 논문에서 제안하게 될 구조의 기본 저역통과 필터로서 다음의 comb 필터를 사용한다.

$$C(z) = 1 + z^{-1} \quad (5)$$

식(5)의 저역통과 필터는 곱셈이 사용되지 않지만, 통과대역과 저지대역의 특성들이 열악하다. 따라서 comb 필터의 통과 및 저지대역의 특성을 향상시키기

위하여 다음과 같은 4차 다항식을 제안한다.

$$P(z) = \frac{1 + p_1z^{-1} + p_2z^{-2} + p_1z^{-3} + z^{-4}}{4 + 4p_1 + 2p_2} \quad (6)$$

위의 필터는 4차의 다항식이므로 FOP(Fourth-Order Polynomial)라고 부르기로 한다. FOP의 분모는 DC 이득을 1로 조정하기위한 스케일링 값이다. 제안된 필터는 4차의 FIR 필터이므로 5 탭의 필터계수를 갖게 되며, 필터계수가 대칭이므로 선형위상의 특성을 갖게 된다. 또한 제안된 FOP는 전치 직접형으로 구현하면 3개의 곱셈이 필요하다. (6)의 4차 다항식이 통과대역과 저지대역의 특성을 향상시키는 원리는 다음과 같이 2개의 2차 다항식으로 인수분해될 수 있기 때문이다.

$$\begin{aligned} P(z) &= \frac{Q_1(z)Q_2(z)}{4 + 4p_1 + 2p_2} \\ &= \frac{(1 + q_1z^{-1} + z^{-2})(1 + q_2z^{-1} + z^{-2})}{4 + 4p_1 + 2p_2} \end{aligned} \quad (7)$$

두 개의 2차 다항식으로 분해된 후의 각각의 제로들의 위치는 그림 4와 같다.

인수 분해된 후의 계수와 4차 다항식의 계수 관계는 다음 식과 같다.

$$p_1 = q_1 + q_2, p_2 = q_1q_2 + 2 \quad (8)$$

그림 4에서 보듯이 $Q_1(z)$ 의 zero는 z 평면상의 1, 2사분면의 실수 축 위에 놓이도록 조정하며, $Q_2(z)$ 의 zero는 3, 4사분면의 단위원 또는 실수 축 위에 놓이도록 조정한다. 따라서 $Q_1(z)$ 는 comb 필터의 저하된 통과대역 특성을 향상시키는 용도로 사용하며, $Q_2(z)$ 는 저지대역의 감쇠 특성을 향상시키는 용도로 사용한다. 식(5)의 comb 필터와 식(6)의 4차 다항식을 직렬로 연

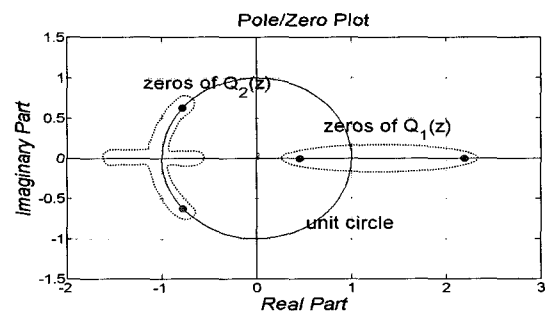


그림 4. 제안된 4차 다항식의 제로들의 위치
Fig. 4. zeros location of the proposed fourth-order polynomial.

결한 제안된 분석단 저역통과 필터는 다음과 같다.

$$H_0(z) = C(z)P(z) \tag{9}$$

이전 절에서 소개된 완전복원의 조건을 사용하여 제안된 필터의 계수를 설계하기로 한다. 1차의 comb 필터와 4차 다항식을 직렬로 연결하였으므로 전체적으로 5차 필터가 되며 6탭의 필터가 된다. 따라서 짝수 탭의 조건은 만족한다. 4차 다항식의 최적 계수를 구하기 위하여 (4)의 조건 외에 통과대역의 MSE(Mean Squared Error) 조건인 ϕ_1 을 추가하여 다음과 같이 비용함수를 정의하였다.

$$\begin{aligned} \phi &= \alpha\phi_1 + (1-\alpha)\phi_2 \\ \text{where } \phi_1 &= \int_0^{w_p} H_0(e^{jw})^2 dw \\ \phi_2 &= \int_0^\pi 1 - H_0(e^{jw})^2 - H_1(e^{jw})^2 dw \end{aligned} \tag{10}$$

표 1. 비용함수 및 필터계수
Table 1. Cost function and filter coefficients.

α	ϕ	ϕ_1	ϕ_2	q_1	q_2	p_1	p_2
0.5	6.356	5.276	7.437	-4.637	2.46	-2.177	-9.402
0.55	6.353	5.25	7.701	-4.639	2.459	-2.18	-9.407
0.6	6.288	5.23	7.875	-4.641	2.459	-2.182	-9.412
0.65	6.213	5.219	8.059	-4.642	2.458	-2.184	-9.41
0.7	6.187	5.188	8.52	-4.646	2.457	-2.189	-9.415
0.75	6.021	5.188	8.52	-4.646	2.457	-2.189	-9.415
0.8	5.907	5.18	8.817	-4.647	2.455	-2.192	-9.408
0.85	5.711	5.181	8.714	-4.647	2.456	-2.191	-9.413
0.9	5.539	5.175	8.808	-4.648	2.456	-2.192	-9.415
0.95	5.362	5.175	8.911	-4.648	2.455	-2.193	-9.41

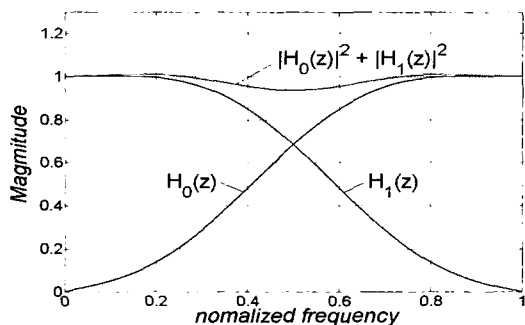


그림 5. 제안된 $H_0(z)$ 와 $H_1(z)$ 의 주파수 응답
Fig. 5. Frequency responses of the proposed $H_0(z), H_1(z)$.

(10)에서 보듯이 비용함수는 통과대역에 대한 비용함수 ϕ_1 과 식 (4)에 대한 비용함수 ϕ_2 로 구성되며, 중요도는 0보다 크거나 1보다 작은 α 의 값으로 조정한다. (10)의 비용함수를 최소화하도록 (7)의 q_1 과 q_2 의 값을 구할 수 있다. 최적의 q_1 과 q_2 가 구해지면 (8)을 사용하여 p_1 과 p_2 를 구할 수 있다. (10)를 사용하여 구한 비용함수는 표 1과 같다. (10)의 식에서 통과대역 주파수는 실험적으로 구하였으며, 0.204의 정규화 주파수를 사용하였다.

표 1에서 보듯이 α 가 0.95일 때의 비용함수가 최적임 알 수 있다. 이는 식 (10)의 ϕ_1 의 면적이 ϕ_2 의 면적에 비하여 상대적으로 매우 작기 때문이다. 최적인 경우에 구한 분석단 및 합성단의 필터는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H_0(z) &= C(z)P(z) = (1+z^{-1})(0.084 - 0.185z^{-1} - 0.797z^{-2} - 0.185z^{-3} + 0.084z^{-4}) \\ H_1(z) &= H_0(-z) = C(-z)P(-z) = (1-z^{-1})(0.084 + 0.185z^{-1} - 0.767z^{-2} + 0.185z^{-3} + 0.084z^{-4}) \end{aligned} \tag{11}$$

$$F_0(z) = H_1(-z) = C(z)P(z) = (1-z^{-1})(0.084 - 0.185z^{-1} - 0.797z^{-2} - 0.185z^{-3} + 0.084z^{-4})$$

$$F_1(z) = -H_0(-z) = -C(-z)P(-z) = (z^{-1}-1)(0.084 + 0.185z^{-1} - 0.767z^{-2} + 0.185z^{-3} + 0.084z^{-4})$$

제안된 (11)의 분석단 필터들의 주파수응답은 그림 5와 같다. 그림 5에서 보듯이 제안된 필터들은 (4)의 조건을 만족함을 알 수 있다.

III. 실험

1. 사용된 곱셈의 수 비교

이 절에서는 제안된 DWT 필터뱅크의 곱셈의 수를 JPEG2000 표준에서 제공되는 (9,7) 필터의 곱셈의 수와 비교해보기로 한다. 사용되는 구조는 그림 2의 2차원 DWT 기본구조이다. 두 DWT 필터뱅크의 사용된 총 곱셈의 수는 표 2와 같다.

표 2. 제안된 DWT 필터뱅크의 곱셈의 수
Table 2. Number of multiplications of the proposed DWT filter bank.

	분석단	합성단	Total
제안된 필터뱅크	18	18	36
(9, 7) 필터뱅크	27	27	54

표 2에서는 한 레벨에 대한 곱셈의 수를 계산하였으며, 5 레벨의 경우에는 5배를 곱하면 된다. 표 2에서 보듯이 제안된 DWT 필터뱅크는 36개의 곱셈을 사용하였으며, 이는 JPEG2000의 (9, 7) 필터뱅크의 54개와 비교하여 18개의 곱셈을 줄일 수 있었다. 즉, 33.3%의 곱셈의 수 감소효과를 얻을 수 있다. 이는 구현면적이나 전력소모의 비도 이와 같은 감소효과를 얻을 수 있음을 의미한다.

2. MSE의 성능비교

이 절에서는 제안된 DWT 필터뱅크와 JPEG2000 표준에서 제공되는 (9,7) 필터뱅크의 MSE 성능을 [7]에서 제공된 프로그램을 사용하여 비교해보기로 한다. 사용된 이미지 신호는 256x256 크기의 Lena, Barbara, Goldhill의 3개를 사용하였다. 제안된 필터의 성능은 표 1에서 구한 각각의 α 에 대하여 MSE를 구하였으며, (9,7) 필터의 MSE는 각각의 이미지에 대하여 한개만을 구하여 비교하였다. 먼저 Lena에 대한 MSE 성능비교는 표 3과 그림 6과 같다.

표 3이나 그림 6에서 보듯이 비용함수가 가장 작은

표 3. 제안된 필터의 MSE 성능비교(Lena)
Table 3. MSE of the proposed filter(Lena).

α	ϕ	MSE	(9,7)필터의 MSE
0.5	6.356	6.7572	6.7355
0.55	6.353	6.7528	
0.6	6.288	6.746	
0.65	6.213	6.7427	
0.7	6.187	6.7345	
0.75	6.021	6.7345	
0.8	5.907	6.7296	
0.85	5.711	6.7303	
0.9	5.539	6.7287	
0.95	5.362	6.7306	

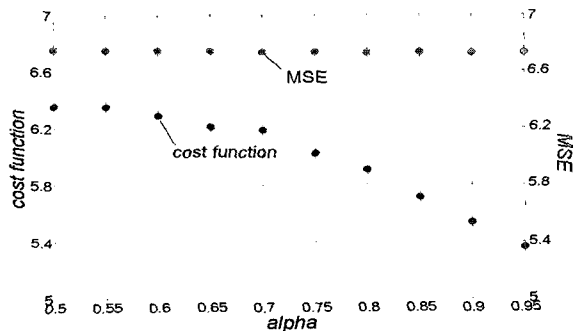


그림 6. 제안된 필터의 cost function 과 MSE 성능비교 (Lena)

Fig. 6. cost function and MSE of the proposed filter(Lena).

것은 α 가 0.95일 때이나, MSE가 가장 작은 것은 α 가 0.9 일 때임을 알 수 있다. 즉, 비용함수를 최소화하는 이론적인 최적의 값은 α 가 0.95인 경우이지만 실험적으로 Lena 이미지를 사용하여 MSE를 측정해본 결과는 α 가 0.9일 때의 6.7287이 가장 작은 값을 알 수 있었다. 또한 α 가 0.7 이상인 모든 경우에 제안된 필터뱅크의 MSE 값은



(a)



(b)



(c)

그림 7. 복원된 Lena 이미지, (a) 원본 이미지, (b) 제안된 DWT 필터뱅크, (c) (9, 7) 필터뱅크

Fig. 7. decoded Lena images, (a) original image, (b) proposed DWT filter bank, (c) (9, 7) filter bank.

표 4. 제안된 필터의 MSE 성능비교(Barbara)

Table 4. MSE of the proposed filter(Barbara).

α	ϕ	MSE	(9,7)필터의 MSE
0.5	6.356	7.4792	7.5811
0.55	6.353	7.4725	
0.6	6.288	7.471	
0.65	6.213	7.4686	
0.7	6.187	7.4626	
0.75	6.021	7.4626	
0.8	5.907	7.458	
0.85	5.711	7.4587	
0.9	5.539	7.4567	
0.95	5.362	7.4546	

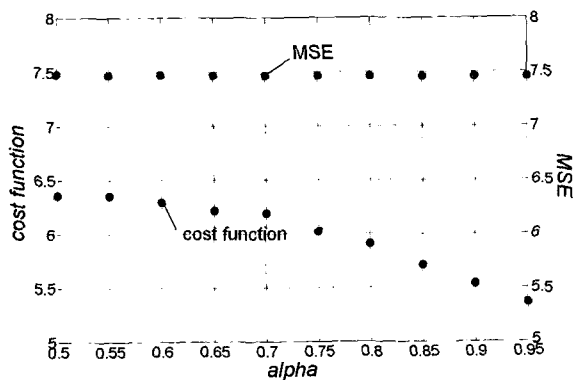


그림 8. 제안된 필터의 cost function 과 MSE 성능비교 (Barbara)

Fig. 8. cost function and MSE of the proposed filter(Barbara).

(9, 7) 필터뱅크의 MSE 값인 6.7355보다 우수함을 알 수 있었다. 제안된 필터와 (9, 7) 필터를 사용하여 압축 및 복원된 Lena 이미지는 그림 7과 같다.

이번에는 256x256의 Barbara 이미지에 대하여 MSE를 비교해보기로 한다. Barbara 이미지에 대한 MSE는 표 4와 그림 8과 같다.

표 4와 그림 8에서 보듯이 비용함수가 가장 작은 것은 α 가 0.95일 때이고, MSE가 가장 작은 것도 역시 α 가 0.95일 때임을 알 수 있다. 즉, 비용함수를 최소화하는 이론적인 최적의 값은 α 가 0.95인 경우이고 실험적으로 Barbara 이미지를 사용하여 MSE를 측정해본 결과도 α 가 0.95일 때의 7.4546이 가장 작은 값을 알 수 있었다. 또한 α 가 0.5 이상인 모든 경우에 제안된 필터뱅크의 MSE 값은 JPEG2000 (9, 7) 필터뱅크의 MSE 값인 7.5811보다 우수함을 알 수 있었다. 제안된



(a)



(b)



(c)

그림 9. 복원된 Barbara 이미지, (a) 원본 이미지, (b) 제안된 DWT 필터뱅크, (c) (9, 7) 필터뱅크

Fig. 9. decoded Lena images, (a) original image, (b) proposed DWT filter bank, (c) (9, 7) filter bank.

필터와 (9, 7) 필터를 사용하여 압축 및 복원된 Barbara 이미지는 그림 9와 같다.

표 5. 제안된 필터의 MSE 성능비교(Goldhill)
Table 5. MSE of the proposed filter(Goldhill).

α	ϕ	MSE	(9,7)필터의 MSE
0.5	6.356	7.4898	7.6175
0.55	6.353	7.4831	
0.6	6.288	7.4787	
0.65	6.213	7.4731	
0.7	6.187	7.4627	
0.75	6.021	7.4627	
0.8	5.907	7.4553	
0.85	5.711	7.4579	
0.9	5.539	7.4559	
0.95	5.362	7.4567	

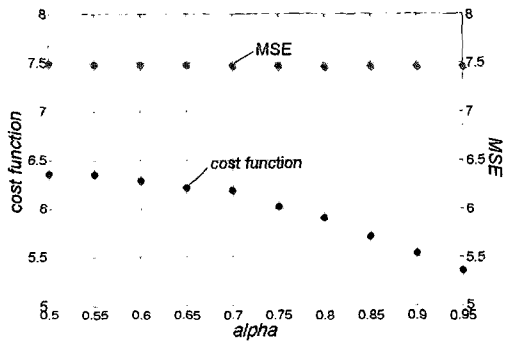


그림 10. 제안된 필터의 cost function 과 MSE 성능비교(Goldhill)

Fig. 10. cost function and MSE of the proposed filter(Godhill).

이번에는 256x256의 Goldhill 이미지에 대하여 MSE를 비교해보기로 한다. Goldhill 이미지에 대한 MSE는 표 5와 그림 10과 같다.

표 5와 그림 10에서 보듯이 비용함수가 가장 작은 것은 α 가 0.95일 때이나, MSE가 가장 작은 것은 α 가 0.8일 때임을 알 수 있다. 즉, 비용함수의 이론적인 최적의 값은 α 가 0.95인 경우이지만 실험적으로 Goldhill 이미지를 사용하여 MSE를 측정해본 결과는 α 가 0.8일 때의 7.4553이 가장 작은 값을 알 수 있었다. 또한 α 가 0.5 이상의 모든 경우에 제안된 필터뱅크의 MSE 값은 JPEG2000 (9, 7) 필터뱅크의 MSE 값인 7.6175보다 우수함을 알 수 있었다. 제안된 필터와 (9, 7) 필터를 사용하여 압축 및 복원된 Goldhill 이미지는 그림 11과 같다.

3개의 이미지에 대한 제안된 DWT 필터뱅크의 MSE를 비교한 결과 JPEG2000의 (9, 7) 필터뱅크와 비교하여 보다 우수함을 보였다.



(a)



(b)



(c)

그림 11. 복원된 Goldhill 이미지, (a) 원본 이미지, (b) 제안된 DWT 필터뱅크, (c) (9, 7) 필터뱅크

Fig. 11. decoded Lena images, (a) original image, (b) proposed DWT filter bank, (c) (9, 7) filter bank.

IV. 결 론

본 논문에서는 comb 필터와 4차 다항식을 사용하는 저전력 DWT 필터뱅크 설계 방법을 제안하였다. 최적의 필터뱅크를 설계하기 위하여 필터뱅크의 완전복원 조건을 만족하도록 설계하였으며, 비용함수를 사용하여 최적화하였다.

이와 같이 설계된 필터뱅크는 JPEG2000의 (9, 7) 필터뱅크와 비교하여 실제 이미지를 사용하여 MSE를 비교해본 결과 더 우수한 값을 얻을 수 있었다. 곱셈의 사용수는 JPEG2000의 (9, 7) 필터뱅크와 비교하여 33.3%가 적으므로 구현 비용도 이와 근사적으로 비례하여 감소한다고 할 수 있다. 즉, 제안된 DWT 필터뱅크는 JPEG2000의 (9, 7) 필터뱅크와 비교하여 구현 비용은 33.3% 적으면서도 MSE는 더 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 이미지 신호를 압축하는데 널리 사용될 수 있는 저전력 DWT 필터뱅크 구조가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Rafel C Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital image processing*, Prentice Hall, pp. 467-485, 2002.
- [2] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath, Haitao Guo, *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*, Prentice Hall, pp. 1-40, 1998.
- [3] Information Technology - JPEG2000 Image Coding System, ISO/IEC Final Draft International Standard 15444-1, ITU Recommendation T.800, 2000.
- [4] M. Rabbani, R. Joshi "An overview of the JPEG2000 still image compression standard," *Signal Processing: Image Communication*, 17, pp. 3-48, 2002.
- [5] P. P. Vaidyanathan, *Multirate Systems and Filter Banks*, Prentice Hall, pp. 188-204, 1993.
- [6] Sanjit K. Mitra, *Digital Signal Processing - A Computer-Based Approach*, McGRAW-Hill Editions, pp. 228-230, 1998.
- [7] Rafel C Gonzalez, Richard E. Woods and Steven L. Eddins, *Digital image processing using MATLAB*, Prentice Hall, pp. 243-333, 2004.

저 자 소 개



장 영 범(정회원)

1981년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

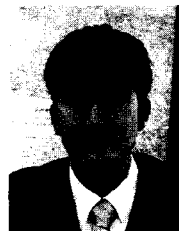
1990년 Polytechnic University 대학원 졸업(공학석사)

1994년 Polytechnic University 대학원 졸업(공학박사)

1981년~1999년 삼성전자 System LSI 사업부 수석연구원

2000년~2002년 이화여자대학교 정보통신학과 연구교수

2002년~현재 상명대학교 정보통신공학전공 교수
<주관심분야: 통신신호처리, 음성/오디오 신호처리, 통신신호처리용 SoC 설계>



이 원 상(정회원)

2004년 2월 상명대학교 컴퓨터 시스템 공학 졸업(공학사)

2004년 2월 ~현재 상명대학교 대학원 컴퓨터·정보·통신공학과 석사과정

<주관심분야: 통신신호처리, 통신신호처리용 SoC 설계>