

제로트리 코딩을 이용한 이산 웨이브렛 압축기법의 필터에 따른 성능 평가

정희원 송만균*, 연승호**, 전병민*

Performance Evaluation in Applying Various Filters to Discrete Wavelet Compression Method Using Zero-tree Coding

Man Kyun Song*, Seung Ho Yeon**, Byoung Min Jun* *Regular Members*

요 약

웨이브렛 변환을 이용한 영상 압축은 높은 압축율로 인해 최근 활발히 연구되고 있는 분야중 하나이다. 웨이브렛 변환을 통해 변환된 영상은 변환에 사용되는 필터의 종류에 따라 압축율과 화질에 상당한 차이를 보인다. 웨이브렛 변환에서 필터의 성능은 수치적으로 증명이 곤란하고 객관적 평가에 의한 제시 자료가 없어 필터의 선택기준이 모호하다.

본 논문에서는 제로트리 부호화 기법에 기반하여 각기 다른 웨이브렛 기저 함수를 적용했을 때 얻은 압축 영상의 압축율과 화질을 객관적으로 비교 평가한 자료를 제시하고 각 필터의 성능을 평가한다. 실험 결과 동일한 웨이브렛 변환과 제로트리 코딩에 기반한 압축 방법으로 영상을 압축하더라도 필터의 선택에 따라 동일한 화질에서 최고 30%이상 압축율의 차이를 보이고 있다.

ABSTRACT

Image compression using wavelet transformation is recently one of the most popular research areas in computer science. Its popularity is due to the high compression ratio possible through this technology. Images transformed by wavelet transformation method show great differences in compression ratio and qualities depending on the characteristics of various filters used. The performance of these filters for wavelet transformation is not easy to measure and the objective criteria for the performance of each filters are not available. Thus there is no clear way to determine which filter gives the best performance.

This paper is to introduce an experimental study based on the zero-tree coding method with the different wavelet basis functions applied. Data resulted from comparing the compression ratio and the quality of the compressed images are objectively evaluated depending on each wavelet base function used. With this data the performance of the filters are evaluated. Through this experimental study, it was shown that when using the same compression method, wavelet transformation and zero-tree coding, choosing different filters effected the compression ratio by 30% in the same quality of images.

I. 서 론

영상 데이터는 방대한 양으로 인해 멀티미디어 서

비스를 위해 압축이 필수적이며 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그중 Huffman coding, LZW(Lempel-Ziv-Welch)등의 코딩 기법에 근거한 무손실 압축

* 충북대학교 컴퓨터공학과, 준회원, ** 한국통신 멀티미디어연구소, 정회원
논문번호 : 98096-0303, 접수일자 : 1998년 3월 3일

방법은 복원시 영상에 손상이 전혀 없는 장점이 있지만 압축율이 약 1.5~3:1로 비교적 좋지 못하다.

따라서, 최근의 영상압축의 연구는 사람의 시각적 특성상 민감하지 않은 부분의 영상 정보를 버리고 높은 압축율을 얻어내는 손실 압축에 집중되고 있다. 일반적인 손실 압축은 변환 부호화를 이용하여 사람의 시각에 민감하지 못한 부분을 찾아내기 쉬운 형태로 변환하여 압축하는 방법이 이용되고 있다. 최근 인터넷에서 영상 정보의 전송을 위해 가장 널리 쓰이고 있는 대표적인 손실 압축 방법인 JPEG(Joint Picture Expert Group)의 경우 DCT(Discrete Cosine Transform)를 이용하여 비교적 높은 압축율을 얻을 수 있다.

그러나 DCT에 기반한 JPEG도 고압축시 만족할 만한 화질을 유지하지 못해 최근 DWT(Discrete Wavelet Transform)에 기반한 영상 압축 기법이 학술적으로 뿐만 아니라 상업적으로도 많은 관심을 끌고 있다. DWT는 고주파 대역에서는 시간 해상도를 높이고 저주파 대역에서는 주파수 해상도를 높이는 옥타브 대역 분할을 통해 시간과 주파수에 대한 국부성을 가지고 신호를 표현할 수 있다. 분할된 영상은 대역별로 높은 상관 관계를 가지고 있으며 사람의 시각 특성과 유사해 영상 압축에 효과적이다.

웨이브렛 변환이 적용된 영상에 대하여 Burt와 Adelson이 피라미드 부호화 기법을 적용하였고⁽¹⁾, Mallat이 이 기법을 발전시켜 웨이브렛 피라미드 부호화 알고리즘을 제안하였다.⁽²⁾ Antonini는 벡터 양자화(VQ : Vector Quantization)를 사용한 알고리즘을 제안하였으며⁽³⁾, Pentland는 프랙탈 이론에 근거하여 VQ를 적용하는 알고리즘을 제시하였다.⁽⁴⁾ 다른 한편으로 Lewis는 인간의 시각적 특성을 이용한 트리구조의 코딩 기법을 제안하였으며⁽⁵⁾, Markas, Banhan, DeVore 등은 쿼드트리(Quad-tree)를 이용한 부호화 알고리즘을 제안하였고⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾, Shapiro는 제로트리(Zero-tree)를 이용한 연속 근사 양자화를 제안하였다.⁽⁹⁾ 제로트리를 이용한 압축 방법은 저주파 대역의 계수가 무시할 정도로 작으면 쿼드트리의 하위에 위치하는 4개의 고주파 계수도 무시할 수 있다는 사실을 이용한다.

웨이브렛 변환을 통해 변환된 영상은 변환에 사용된 기저 함수(Basis function)의 특성에 따라 조금씩 다른 특성을 가지며, 따라서, 압축 효율은 웨이브렛 변환에 사용되는 기저 함수에 의해 크게 좌우된다. 그러나, 많은 종류의 웨이브렛 기저 함수들의 효율은 수학적 증명에 관한 객관적으로 평가한 자료를 거의 찾아 볼 수가 없어 기저 함수의 선택 기준이 모호하다.

본 논문에서는 제로트리 부호화 기법에 기반하여 각기 다른 웨이브렛 기저함수를 적용했을 때 얻은 압축영상의 압축율과 화질을 객관적으로 비교한 자료를 제시하고, 각 필터의 성능을 평가하였다.

II장에서는 이산 웨이브렛 변환시 사용하는 필터와 그 특징에 대하여 살펴보고, III장에서는 실험에 적용한 제로트리 코딩방법을 설명한다. 또한 IV장에서는 제로트리 코딩을 이용하여 영상을 압축할 때 필터의 선택에 따른 압축과 화질을 비교 평가하며, V장에서 결론을 맺는다.

II. DWT의 필터뱅크

1. DWT에서의 필터 뱅크

DWT에서 사용되는 저역 통과 분석 필터와 고역 통과 분석 필터는 주파수 영역에서 각각 저역통과 필터(Lowpass filter)와 고역통과 필터(Highpass filter)의 특성을 가진다. 즉, DWT는 주파수 영역에서 입력 신호를 저역통과 필터와 고역통과 필터에 통과시키고, 이를 따로 분리하는 것으로 설명될 수 있다.

주파수 영역에서 필터를 통과시킨다는 것은 입력 신호에 필터를 곱하는 것을 의미하며, 주파수 영역에서의 곱은 시간 영역에서의 컨볼루션(Convolution)으로 표현된다.

따라서 저역통과분석 필터와 고역통과합성 필터는 시간영역으로 근사화된 다항식으로 표현될 수 있으며 웨이브렛 변환을 이산화한 DWT는 입력 신호에 대한 필터의 컨볼루션으로 표현될 수 있다. 시간 영역으로 근사화된 다항식의 항들을 필터 뱅크라고 하고 필터 뱅크에서 계수들 각각을 탭이라고 부르며, DWT의 수행에 필요한 시간과 탭의 수는 비례한다.

DWT에 사용되는 필터 각각은 일반적으로 완전한 역이 존재하지 않는다. 그러나, 하나의 필터가 잃어버리는 정보를 보존하고 있는 다른 하나의 필터가 존재하며, 항상 이 두 개의 필터를 쌍으로 사용한다. 즉, 저역통과분석 필터가 잃어버리는 정보는 고역통과분석 필터가 보존하고 있으며 고역통과분석 필터가 잃어버리는 정보는 저역통과분석 필터가 보존하고 있다. 이 한 쌍의 필터를 이용하여 변환된 신호를 복원하는 한 쌍의 합성 필터를 구할 수 있다.

Haar 필터를 제외하고는 완벽하게 분석-합성의 관계를 만족하는 필터는 아직까지 발견되지 않았으며, 현재 사용되고 있는 필터들은 분석-합성의 관계에 최대한 근접하도록 설계된 것들이다.

2. 쌍직교 필터

쌍직교 필터는 분석 필터와 합성 필터가 달리 정의된다. 주파수 영역에서 저역통과분석 필터 H_0 , 고역통과분석 필터 G_0 , 저역통과합성 필터 H_1 , 고역통과합성 필터 G_1 은 다음의 조건을 만족해야 한다.⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ 2-1식과 2-3식에서와 같이 저역통과합성 필터와 저역통과분석 필터 공액복소수(Conjugator)의 곱, 고역통과합성 필터와 고역통과분석 필터 공액복소수의 곱은 단위벡터 I 를 얻는다. 즉 H_0 와 H_1 는 역함수의 성질을 갖는다. 또한 2-2식에서와 같이 고역통과합성 필터와 저역통과분석 필터 공액복소수의 곱, 고역통과분석 필터와 저역통과합성 필터 공액복소수의 곱은 0 을 얻는다.

$$H_1 H_0^* = G_1 G_0^* = I = H_0 H_1^* = G_0 G_1^* \quad (2-1)$$

$$G_1 H_0^* = H_1 G_0^* = 0 = G_0 H_1^* = H_0 G_1^* \quad (2-2)$$

$$H_0^* H_1 = G_0^* G_1 = I = H_1^* H_0 = G_1^* G_0 \quad (2-3)$$

본 논문에서 평가한 필터 중 Antonini⁽³⁾, Villasenor1810, Brislawn1, Brislawn2, Villasenor1, Villasenor2, Villasenor3, Villasenor4, Villasenor5, Villasenor6가 쌍직교 필터에 해당한다.

3. 직교 필터

쌍직교 필터이면서 저역통과분석 필터의 계수 H_0 와 저역통과합성 필터의 계수 H_1 이 같은 경우, 또한 고역통과분석 필터 계수 G_0 와 고역통과합성 필터 계수 G_1 이 같은 관계를 만족하는 필터를 직교 필터라고 한다. 이 경우 다음의 관계를 만족한다.⁽¹²⁾

$$H H^* = G G^* = I \quad (2-4)$$

$$G H^* = H G^* = 0 \quad (2-5)$$

$$H^* H + G^* G = I \quad (2-6)$$

본 논문에서 평가한 필터 중 Haar, Daubechies4, Daubechies6, Daubechies8, Daubechies10, Daubechies12, Daubechies14, Daubechies16, Daubechies18, Daubechies20, Adelson, Odegard, Coifman6, Coifman12, Coifman18 이 직교 필터에 해당한다.⁽²⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

III. 제로트리를 이용한 영상 압축

1. 쿼드트리

웨이브렛 영상을 생성하기 위해 원 영상에 대하여

저주파 부대역과 고주파 부대역으로 분리한 후 다시 저주파 대역에 대하여 반복적으로 웨이브렛을 적용한다. 이때 웨이브렛 변환 영상은 영상을 분해할 때 $1/2$ 만큼 부표본화를 적용하므로 2차원 영상에서 가장 저주파 부대역을 제외한 부대역들은 같은 방향의 부대역들에 대하여 부표본화 특성에 의하여 저주파 부대역으로부터 고주파 부대역으로 각각 1:4의 공간 크기의 관계를 가진다. 즉, 한 개의 상위 대역 성분에 대하여 네 개의 하위 대역 성분이 공간적으로 연관된다.⁽⁷⁾

쿼드트리는 계층적 데이터 구조를 이루며 영상을 순환적으로 분할하기 때문에 반복적인 웨이브렛 변환을 거쳐 다해상도 분해된 영상의 표현에 적합하다. 이러한 순환적 분할은 그림 1과 같이 2×2 크기의 블록으로 영상의 기본 단위에 도달할 때까지 반복된다.

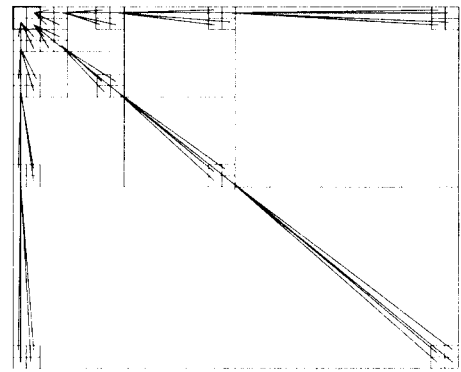


그림 1. 대역간의 상관 관계
Fig. 1 Relationship of subbands

2. 제로트리

제로트리는 Shapiro가 처음 제안한 이후 웨이브렛 변환된 영상에 대하여 많이 이용되고 있다.⁽⁹⁾ 쿼드트리를 이용하여 다중 분해된 영상을 표현할 때 트리의 상위계수가 영상에서 차지하는 에너지가 적을 경우 트리의 하위 계수 역시 적은 에너지를 가지는 것으로 나타난다. 즉, 트리 구조의 상위계수가 유효계수이면 하위계수도 유효계수이며, 상위계수가 무시해도 좋을 정도로 작은 값을 가지는 무효계수이면 하위계수도 무효계수로 가정하여 무효계수들을 제거하고 상위계수에서 하위 계수가 무효계수임을 의미하는 심볼 0을 단말로 가지는 노드로 모든 하위 트리를 대표할 수 있다.

그러나 계수 자체가 고유의 값을 가지므로 예외적으로 상위계수가 작은 값임에도 불구하고 하위계수는

유효계수인 경우가 있다. 이 경우에는 트리의 상위 노드를 단말로 처리되는 문제가 있어, 이를 해결하기 위해 고립제로(Isolated zero)라는 1bit 심볼을 할당한다. 이렇게 표현된 트리는 그림 2와 같이 트리의 중간에서 0의 단말을 가지며 이러한 트리를 제로트리라고 한다. Node는 서브에 4개의 노드를 포함한 것이며 Leaf는 더 이상 분할되지 않는 노드이다. 제로트리를 통하여 무효 계수의 서브 트리를 제거한 영상 정보는 압축의 기본 정보로 사용된다. 본 논문에서는 압축률을 향상시키기 위하여 제로트리를 적용하였다.

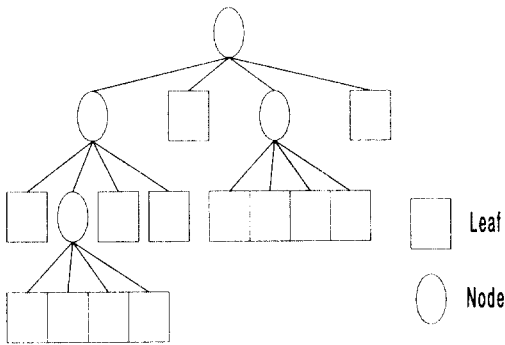


그림 2. 웨이브렛 계수의 제로트리 표현
Fig. 2 Zero-tree expression of Wavelet coefficient

IV. 실험 및 결과 고찰

1. 필터 적용

입력 영상의 압축을 위해서 먼저 웨이브렛 변환의 반복적 적용을 통해 영상의 다해상도 분해가 수행되어야 한다. 이렇게 분해된 영상은 대역별로 서로 다른 문턱치를 적용하여 문턱치 보다 작은 값은 무효계수로 취급한다. 일반적으로 사람의 눈은 영상의 고주파 영역에 덜 민감하므로 고주파 대역으로 갈수록 더 큰 값의 문턱치를 적용한다. 무효화된 계수는 III장 2절에서 살펴본 제로트리 코딩을 이용하여 제거하고 고립제로 심볼을 할당하여 대역별로 1차원 스트림으로 재배치한다. 이렇게 구성된 스트림은 엔트로피 코딩(Entropy coding)을 수행하기 위하여 산술코딩(Arithmetic coding)을 수행한다.

이때 문턱치 T의 적용은 압축율의 조정을 쉽게 할 수 있도록 식 4-1을 사용하여 대역별로 적용한다. 그림 3은 문턱치 제한을 이용한 인코딩/디코딩 과정을 나타낸 것이다.

$$T = T_s + D \times T_i + 1$$

$$T_s : \text{초기 문턱치}, \quad D : \text{트리에서의 깊이}, \quad T_i : \text{문턱치 증가분} \quad (4-1)$$

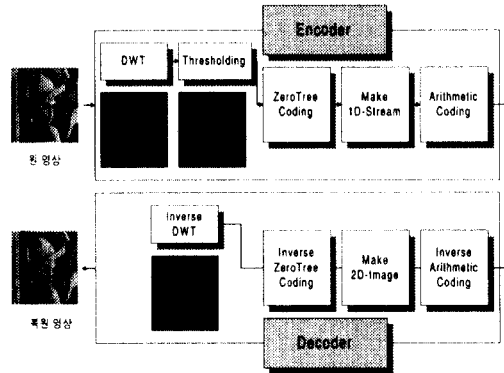


그림 3. 문턱치 제한을 이용한 인코딩/디코딩 과정
Fig. 3 Encoding/Decoding step using thresholding

이를 적용하여 계수의 값이 문턱치보다 작은 값은 무효계수로 취급하여 제거한다.

DWT를 수행하기 위해 사용되는 필터들의 성능을 위하여 서로 다른 특성을 가지고있는 그림 4의 Tiffany, Lena 영상을 사용하였다.



(a) Tiffany 영상 (b) Lena 영상

그림 4. 원영상
Fig. 4 Original Image

웨이브렛 변환시 변환 필터로는 부록의 표 1, 표 2의 쌍직교 필터와 직교 필터를 바꾸어가며 적용하였다.

표 1. 쌍직교 필터

Table 1. Biorthogonal Filters

필터 이름	계수		
	지역통과분석	지역통과합성	
Antonini	3.782845550699535e-02 -2.384946501937986e-02 -1.106244044184226e-01 3.774028557126536e-01 8.526986790094022e-01 3.774028556126537e-01 -1.106244044184226e-02 -2.384946501937986e-02 3.782845550699535e-02	-6.453888262893856e-02 -4.068941760955867e-02 4.18092273222124e-01 7.884856164056651e-01 4.18092273222124e-01 -4.068941760955867e-02 -6.453888262893856e-02	1.418215589126359e-02 6.292315666859828e-03 -1.087373652243805e-01 -6.916271012030040e-02 4.481085999263908e-01 8.328475700934288e-01 4.481085999263908e-01 -6.916271012030040e-02 -1.087373652243805e-01 6.292315666859828e-03 1.418215589126359e-02
Villasoner 1810	2.885256501123136e-02 8.244478227504624e-05 -1.575264469076351e-01 7.679048884691438e-02 7.589077294537618e-01 7.589077294537619e-01 7.679048884691436e-02 -1.575264469076351e-01 8.244478227504624e-05 2.885256501123136e-02	9.544158682436510e-04 -2.727196296995984e-06 -9.452462998353147e-03 -2.528037293949898e-03 3.083373438534281e-02 -1.376513483818621e-02 -8.566118833165798e-02 1.633685405569902e-01 6.233596410344172e-01 6.233596410344158e-01 1.633685405569888e-01 -8.566118833165885e-02 -1.376513483818652e-02 3.083373438534267e-02 -2.528037293949898e-03 -9.452462998353147e-03 -2.727196296995984e-06 9.544158682436510e-04	1.891422775349768e-02 6.989495243807747e-03 -6.723693471890128e-02 1.333892255971154e-01 6.150507673110278e-01 6.150507673110278e-01 1.333892255971154e-01 -6.723693471890128e-02 6.989495243807747e-03 1.891422775349768e-02
Brislawnl	0.037828455506995 -0.023849465019380 -0.110624404418423 0.377402855612654 0.852698679009403 0.377402855612654 -0.110624404418423 -0.023849465019380 0.037828455506995	-0.064538882628938 -0.040689417609558 0.418092273222212 0.788485616405664 0.418092273222212 -0.040689417609558 -0.064538882628938	-8.838834764831845e-02 8.838834764831845e-02 7.071067811865476e-01 7.071067811865476e-01 8.838834764831845e-02 -8.838834764831845e-02
Brislawn2	0.026913419 -0.032303352 -0.241109818 0.054100420 0.899506092 0.899506092 0.054100420 -0.241109818 -0.032303352 0.026913419	0.019843545 0.1238175599 -0.023257840 0.145570740 0.541132748 0.541132748 0.145570740 -0.023257840 0.023817599 0.019843535	3.535533905932738e-01 7.071067811865476e-01 3.535533905932738e-01
Villasoner 1	3.782845550699535e-02 -2.384946501937986e-02 -1.106244044184226e-01 3.774028556126536e-01 8.526986790094022e-01 3.774028556126537e-01 -1.106244044184226e-01 -2.384946501937986e-02 3.782845550699535e-02	-6.453888262893856e-02 -4.068941760955867e-02 4.18092273222124e-01 7.884856164056651e-01 4.18092273222124e-01 -4.068941760955867e-02 -6.453888262893856e-02	5.2865768532960523e-02 -3.3418473279346828e-02 -9.3069263703582719e-02 3.8697186387262039e-01 7.8751377152779212e-01 3.8697186387262039e-01 -9.3069263703582719e-02 -3.3418473279346828e-02 5.2865768532960523e-02
Villasoner 2	-8.472827741318157e-03 3.759210316686883e-03 4.728175282882753e-02 -3.347508104780150e-02 -6.887811419061032e-02 3.832692613243884e-01 7.672451593927493e-01 3.832692613243889e-01 7.672451593927493e-01 3.832692613243889e-01 -6.887811419061045e-02 -3.347508104780156e-02 4.728175282882753e-02 3.759210316686883e-03 -8.472827741318157e-03	1.418215589126359e-02 6.292315666859828e-03 -1.087373652243805e-01 -6.916271012030040e-02 4.481085999263908e-01 8.328475700934288e-01 4.481085999263908e-01 -6.916271012030040e-02 -1.087373652243805e-01 6.292315666859828e-03 1.418215589126359e-02	
Villasoner 3	-1.290777652578771e-01 4.769893003875977e-02 7.884856146056651e-01 7.884856146056651e-01 4.769893003875977e-02 -1.290777652578771e-01	9.544158682436510e-04 -2.727196296995984e-06 -9.452462998353147e-03 -2.528037293949898e-03 3.083373438534281e-02 -1.376513483818621e-02 -8.566118833165798e-02 1.633685405569902e-01 6.233596410344172e-01 6.233596410344158e-01 1.633685405569888e-01 -8.566118833165885e-02 -1.376513483818652e-02 3.083373438534267e-02 -2.528037293949898e-03 -9.452462998353147e-03 -2.727196296995984e-06 9.544158682436510e-04	1.891422775349768e-02 6.989495243807747e-03 -6.723693471890128e-02 1.333892255971154e-01 6.150507673110278e-01 6.150507673110278e-01 1.333892255971154e-01 -6.723693471890128e-02 6.989495243807747e-03 1.891422775349768e-02
Villasoner 4	-1.767766952966369e-01 3.535533905932738e-01 1.060660171779821e+00 3.535533905932738e-01 -1.767766952966369e-01	3.535533905932738e-01 7.071067811865476e-01 3.535533905932738e-01	
Villasoner 5	7.071067811865476e-01 7.071067811865476e-01	-8.838834764831845e-02 8.838834764831845e-02 7.071067811865476e-01 7.071067811865476e-01 8.838834764831845e-02 -8.838834764831845e-02	
Villasoner 6	3.314563036811943e-02 -6.629126073623885e-02 -1.767766952966369e-01 4.198446513295127e-01 9.943689110435828e-01 4.198446513295127e-01 -1.767766952966369e-01 -6.629126073623885e-02 3.314563036811943e-02	3.535533905932738e-01 7.071067811865476e-01 3.535533905932738e-01	
Ordegard	5.2865768532960523e-02 -3.3418473279346828e-02 -9.3069263703582719e-02 3.8697186387262039e-01 7.8751377152779212e-01 3.8697186387262039e-01 -9.3069263703582719e-02 -3.3418473279346828e-02 5.2865768532960523e-02	-8.6748316131711606e-02 -5.4836926902779436e-02 4.4030170672498536e-01 8.1678063499210640e-01 4.4030170672498536e-01 -5.4836926902779436e-02 -8.6748316131711606e-02	

표 2. 직교 필터
Table 2. Orthogonal Filters

이름	계수(저역통과필터)	
Haar	0.707106781186547, 0707106781186547	
Daubechies 4	0.4829629131445341, 0.8365163037378077 0.2241438680420134, -0.1294095225512603	
Daubechies 6	0.3326705529500825, 0.8068915093110924 -0.4598775021184914, -0.1350110200102546 -0.0854412738820267, 0.0352262918857095	
Daubechies 8	0.2303778133088964, 0.7148465705529154 0.6308807679398587, -0.0279837694168599 -0.1870348117190931, 0.0308413818355607 0.0328830116668852, -0.0105974017850690	
Daubechies 10	0.1601023979740000, 0.6038292697970000 0.7243085284380000, 0.1384281459010000 -0.2422948870660000, -0.0322448695850000 0.0775714938400000, -0.0062414902130000 -0.0125807519990000, 0.0033357252850000	
Daubechies 12	0.1115407433500000, 0.4946238903980000 0.7511339080210000, 0.3152503517090000 -0.2262646939650000, -0.1297668675670000 0.0975016055870000, 0.0275228655300000 -0.0315820393180000, 0.0005538422010000 0.0047772575110000, -0.0010773010850000	
Daubechies 14	0.0778520540850000, 0.3965393194820000 0.7291320908460000, 0.4697822874050000 -0.1439060039290000, -0.2240361849940000 0.0713092192670000, 0.0806126091510000 -0.0380299369350000, -0.0165745416310000 0.0125509985560000, 0.0004295779730000 -0.0018016407040000, 0.0003537138000000	
Daubechies 16	0.0544158422430000, 0.3128715909140000 0.6756307362970000, 0.5853546836540000 -0.0158291052560000, -0.2840155429620000 0.0004724845740000, 0.128747426620000 -0.0173693010020000, -0.0440882539310000 0.0139810279170000, 0.0087460940470000 -0.0048703529930000, -0.0003917403730000 0.0006754494060000, -0.0001174767840000	
Daubechies 18	0.0380779473640000, 0.2438346746130000 0.6048231236900000, 0.6572880780510000 0.1331973858250000, -0.2932737832790000 -0.0968407832230000, 0.1485407493380000 0.0307256814790000, -0.0676328290610000 0.0002509471150000, 0.0223616621240000 -0.0047232047580000, -0.0042815036820000 0.0018476468830000, 0.0002303857640000 -0.0002519631890000, 0.0000393473200000	
Daubechies 20	0.0266700579010000, 0.1881768000780000 0.5272011889320000, 0.6884590394540000 0.2811723436610000, -0.2498464243270000 -0.1959462743770000, 0.1273693403360000 0.0930574646040000, -0.0713941471660000 -0.0294575368220000, 0.0332126740590000 0.0036065535670000, -0.0107331754830000 0.0013953517470000, 0.0019924052950000 -0.0006858566950000, -0.0001164668550000 0.0000935886700000, -0.0000132642030000	

Adelson	0.028220367, -0.060394127, -0.07388188 0.41394752, 0.7984298, 0.41394752 -0.07388188, -0.060394127, 0.028220367
Coirman 6	3.85807777478867490e-02, -1.26969125396205200e-01 -7.71615554957734980e-02, 6.07491641385684120e-01 7.45687558934434280e-01, 2.26584265197068560e-01
Coirman 42	1.63873364631797850e-02, -4.14649367819446850e-02 -6.73725547222998740e-02, 3.86110066823092900e-01 8.12723635449606130e-01, 4.17005184423777600e-01 -7.64885990782645940e-02, -5.94344186464712400e-02 2.36801719468767500e-02, 5.61143481936598850e-03 -1.82320887091009920e-03, -7.20549445368115120e-04
Coirman 18	-3.79351286437787890e-03, 7.78259642567078690e-03 2.34526961421191030e-02, -6.57719112814312280e-02 -6.11233900029556980e-02, 4.05176902409616790e-01 7.93777222625620340e-01, 4.28483476377618690e-01 -7.17998216191705900e-02, -8.23019271063202830e-02 3.45550275733444640e-02, 1.58805448636159010e-02 -9.00797613673228960e-03, -2.57451768812796920e-03 1.11751877082969180e-03, 4.6621695982014430e-04 -7.09833025057049280e-05, -3.45997731974026950e-05

2. 결과 고찰

복원된 영상의 화질평가 척도는 인간의 시각을 고려한 평가척도가 사용되어야 하나 주관적인 성향이 강하므로 객관적인 화질평가 척도로 사용되는 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)과 원영상과 복원된 영상과의 차이를 측정할 수 있는 MSE(Mean Square Error)를 사용하였으며, PSNR 값이 유사한 영상에서 압축율을 비교하였다. 그림 5에서는 저주파 성분이 매우 많은 Tiffany 영상을 분석한 결과 압축비 20 이하에서는 Brislawn2 필터가 좋은 성능을 나타내고, 20 이상에서는 Villasoner3 필터가 가장 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다. 또한 Daubechies8 필터에 비하여 Antonini 필터가 전반적으로 우수함을 볼 수 있고, Haar 필터가 가장 낮은 성능을 나타낸다. 그림 7에서는 저주파 성분과 고주파 성분이 고르게 분포되어 있는 Lena 영상을 분석한 결과로서 고압축시에는 Villasoner3, Brislawn2, Villasoner1810 필터가 비슷한 성능을 나타내고, Antonini, Daubechies8, Haar 순서로 성능이 좋다. 또한 저압축시에는 Brislawn2, Villasoner3, Villasoner1810, Daubechies8, Antonini, Haar 필터 순서로 성능이 좋다. Villasoner3 필터가 압축율과 화질면에서 전반적으로 좋은 성능을 보여준다.

따라서 일반적인 경우 영상의 압축을 위해 웨이블릿 변환시 Villasoner3 필터를 사용하는 것이 유리하다.

낮은 압축율에서는 **Brislawn2** 필터를 이용하는 것이 다른 필터를 이용하는 것보다 유리하다. 그러나 압축율의 상승에 따른 화질의 손상이 커서 높은 압축율이 요구될 경우 좋지 못하다. **Antonini**, **Villasenor1810** 필터는 낮은 압축율에서 다른 필터에 비해 압축율과 화질면에서 뛰어난 성능을 보여주지 못하지만 압축율이 높아짐에 따른 화질의 손상이 상대적으로 적으며 작은 값의 문턱치로도 높은 압축율을 얻을 수 있어 높은 압축율이 요구될 경우 유리하다.

하나의 기저함수를 탭의 수를 늘려가면서 연속적인 해상도 근사화를 수행한 결과 **Daubechies**의 경우 **Daubechies8~12**에서 가장 좋은 결과를 보였으며 이보다 많은 탭을 사용한 필터들은 오히려 더 나쁜 결과를 얻었다. 또한 **Coifman** 필터 6, 12, 18을 비교하였을 경우 **Coifman12**에서 더 좋은 화질을 얻을 수 있었다. 이것은 **DWT**와 제로트릭 코딩을 이용하여 영상을 압축할 때 그 결과는 기저함수의 근사화 정도와는 무관하다는 것을 알 수 있다. 가장 나쁜 성능을 보이는 **Haar** 필터를 제외하고는 필터의 선택에 따라 동일한 화질에서 **Tiffany** 영상의 경우 30%, **Lena** 영상의 경우 20% 이상의 압축율의 차이를 보인다.



(a) Daubechies8
(41.805 : 1, PSNR 31.691dB)

(b) Antonini
(43.591 : 1, PSNR 32.147dB)



(c) Brislawn2
(42.559 : 1, PSNR 32.416dB)



(d) Villasenor3
(43.469 : 1, PSNR 32.613dB)

그림 6. Tiffany 복원 영상
Fig. 6 Tiffany reconstruction image

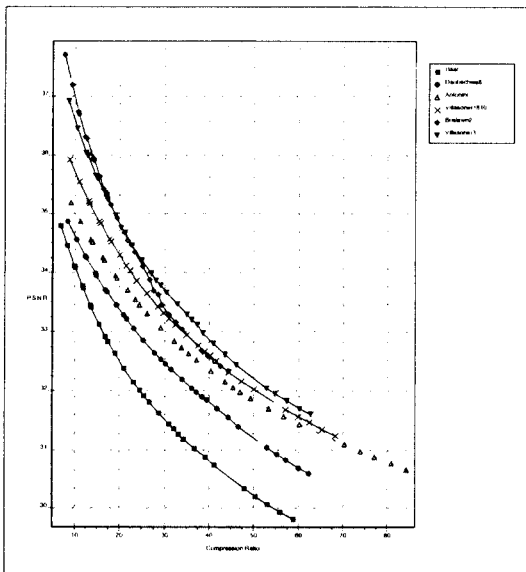


그림 5. 필터의 선택에 따른 압축율과 PSNR의 평가 (Tiffany)
Fig. 5 Evaluation of compression ratio and PSNR for filter selection (Tiffany)

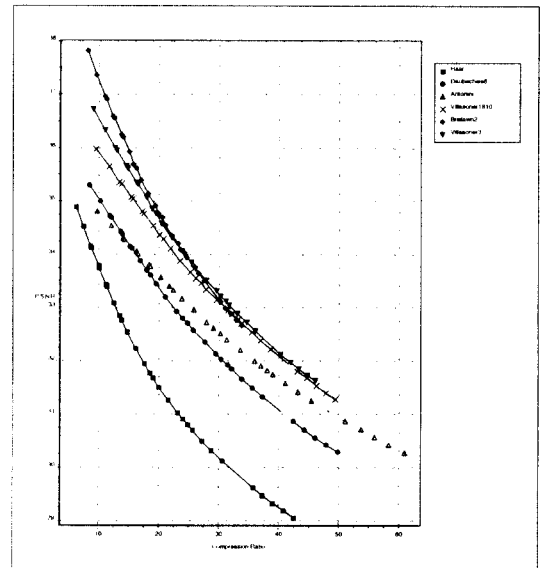


그림 7. 필터의 선택에 따른 압축율과 PSNR의 평가 (Lena)
Fig. 7 Evaluation of compression ratio and PSNR for filter selection (Lena)



(a) Daubechies8
(33.942:1, PSNR 31.663dB)



(b) Antonini
(33.640:1, PSNR 32.204dB)



(c) Brislawn2
(33.933:1, PSNR 32.660dB)



(d) Villasenor3
(33.138:1, PSNR 32.882dB)

그림 8. Lena 복원 영상
Fig. 8 Lena reconstruction image

VI. 결 론

웨이브렛 변환을 수행하여 다해상도 분해된 영상은 대역별로 높은 상관 관계를 가진다. 그 중 상위 계수가 영상에서 큰 에너지를 차지하고 있지 못한 무효계수이면 대부분의 하위계수가 무효계수라는 점을 이용하여 영상에서 무효계수를 제거하여 압축율을 향상시키는 제로트리 코딩을 이용한 정지 영상 압축을 수행하였다. 이때 웨이브렛 변환을 수행하기 위해 사용하는 필터의 선택에 따라 압축율과 화질의 변화를 관찰하고 성능을 비교 평가하였다.

동일한 웨이브렛 변환과 제로트리 코딩에 기반한 압축 방법으로 영상을 압축하더라도 필터의 선택에 따라 최고 30% 이상 압축율의 차이를 보이고 있으므로 영상 압축에 유리한 필터의 선택이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 웨이브렛 변환과 제로트리 코딩에 기반한 압축 방법을 이용했을 때 필터의 선택에 따른 압축율과 화질을 비교할 수 있는 객관적인 자료를 제공함으로써 향후 웨이브렛 변환과 제로트리

코딩에 기반한 압축 방법의 연구에 좋은 자료가 될 수 있을 것이다.

지금까지는 웨이브렛을 이용한 영상 압축을 정지 영상에 국한되어 연구를 진행해 왔으나, 향후 웨이브렛을 이용한 동영상 압축에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한, 더욱 높은 압축율을 얻기 위해 웨이브렛과 프랙탈을 접목한 영상 압축 방법에 관한 연구도 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. E.H. Adelson, E. Simoncelli, R.Hingorani, "Orthogonal pyramid transforms for image coding", Proc. SPIE, vol. 845, Cambridge, MAA, pp. 50-58, Oct. 1987.
2. P.J. Burt, E.H. Adelson, "The laplacian pyramid as a compact image code", IEEE Transaction Communication, Vol. 31, pp. 523-540, 1983.
3. M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, I. Ddubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform", IEEE Transaction On Image Processing, Vol. 1, No. 2, April 1992.
4. A. Pentland, B. Worlitz, "A practical approach to fractal-based image compression", SPIE Visual Communication and Image Processing, Vol. 1605. pp. 467-474, 1991.
5. A.S. Lewis, G. Knowles, "Image Compression Using the 2-D Wavelet Transform", IEEE Transaction Image Processing, Vol. 1, pp244-250, Apr. 1992
6. T. Markas, J. Rief, "Multispectral image compression algorithm", Proc. Data Compression Conf., Snowbird, Utah, IEEE Computer Society Press. pp.391-400, 1993.
7. M.R. Banhan, B.J. Sullivan, "A wavelet transform image coding technique with quadtree structure", Proc. ICASSP, Vol. IV, pp.653-656, 1992.
8. R.A. DeVore, B. Jawerth, B.J. Lucier, "Image compression through wavelet transform coding", IEEE Transaction Information Theory, Vol. 38, pp.719-746, Mar. 1992.
9. J.M. Shapiro, "Embedded image coding using zero-tree of wavelet coefficients", IEEE Transaction On Signal Processing, Special Issue on Wavelet and Signal Processing 41(12):33445-3462, December 1993.

10. Albert Cohen, I. Daubechies, and J.H Feauveau, "Biorthogonal bases of compactly supported wavelets", Communication Pure Applied Mathematics, Vol. 45, pp. 485-500, 1992.
11. J.E. Odegard and C.S.Burrus, "Smooth biorthogonal wavelets for applications in image compression", in Proceedings of DSP Workshop, Loen, Norway, September 1996.
12. I. Daubechies, "Orthonormal bases of compactly supported wavelets", Communication Pure Applied Mathematics, Vol. 41, pp.909-996, 1998.
13. R.R.Coifman, M.V.Wickerhauser, "Entropy based algorithm for best basis selection" IEEE Transaction on Information Theory, pp.32, 312-718, March 1992.
14. I. Daubechies, "The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis", IEEE Transaction on Information Theory, pp.961-1005, September 1990.



송 만 균 (Man Kyun Song) 준회원
 1996년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 1998년 2월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 1998년 2월 ~ 현재 : 삼성 SDS
 <연구분야> 영상 압축, 그래픽



연 승 호 (Seung Ho Yeon) 정회원
 1985년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 1988년 8월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 1997년 3월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정
 1988년 ~ 1990년 : LG 전자 중앙연구소
 1990년 ~ 현재 : 한국통신 멀티미디어연구소
 <연구분야> 영상처리, 인터넷, 멀티미디어 통신



전 병 민 (Byoung Min Jun) 종신회원
 1976년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1978년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1988년 2월 : 연세대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1978년 8월 ~ 1982년 3월 : 공군사관학교 전자공학과 전임강사
 1982년 4월 ~ 1986년 2월 : 동양공업전문대학 통신과 조교수
 1992년 1월 ~ 1993년 1월 : 미시간대학교 교환교수
 1986년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 교수
 1991년 2월 ~ 1993년 1월 : 한국생산기술원 심의위원
 1997년 1월 ~ 1997년 12월 : 한국통신학회 학술이사
 1995년 10월 ~ 현재 : 한국통신학회 평의원
 <연구분야> 패턴 인식, 신호처리, 영상 처리, 영상 압축