

## 웨이블릿을 이용한 영상 압축

김철기\* · 차의영\*

### 1. 서론

현대 사회에서 요구되는 정보는 문자의 형태를 벗어나 음성, 영상 등을 망라하여 멀티미디어의 형태를 띠고 있다. 특히, 디지털 형태의 영상을 처리하려는 요구가 급속히 증가하고 있다. 고속 통신망의 발달로 인하여 이러한 요구가 거의 충족되어 가고 있지만, 영상은 워낙 막대한 정보량을 가지고 있기 때문에 영상을 그대로 통신망을 통하여 전송하는 것은 거의 불가능하다. 낮은 해상도를 가지는 TV 화질의 컬러 영상을 예를 들어 설명하여 보자. 영상의 크기가 512\*512이고, 각 컬러는 8 비트(bit)로 구성된다. 이때의 데이터량은 약  $6 \times 10^6$ 비트이다. 이러한 데이터량은 대부분의 경우 허용하기 힘들다. 그러므로 막대한 영상의 정보량을 줄이기 위하여 약간의 손실을 감수하더라도 영상 정보를 압축하여 전송하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

현재 DCT(Discrete Cosine Transform)에 근거한 JPEG(Joint Photographic Expert Group)이 정지 영상 압축의 표준으로 지정되어 있다. JPEG은 영상을 8\*8 단위의 구획으로 나누어 처리한다. 각 구획은 DCT를 거쳐 양자화되고, 양자화된 계수는 엔트로피 부호화된다[1]. JPEG은 기본적으로 구획 단위의 압축 방법이기 때문에 압축률이

높은 경우, 구획화 현상(blocking effect)이 두드러진다. 이러한 단점을 극복하는 방법으로 각 구획을 중첩하여 사용하는 LOT(Lapped Orthogonal Transform), 부밴드 부호화(subband coding), 웨이블릿(wavelet) 변환 등이 제시되고 있다[2]. 특히, 영상 전체에 대한 주파수 및 해상도 분해를 수행하는 웨이블릿 변환을 이용한 압축 방법이 널리 이용되고 있으며, 웨이블릿 변환 부호화기의 구현에 대한 관심도 높아지고 있다. 최근 들어, 기존의 구획 변환과는 달리 구획내의 계수들의 상관성은 그대로 보존하면서, 벡터들(vectors) 간의 상관성을 제거하는데 초점을 둔 벡터 변환(vector transform), 웨이블릿 변환 기반의 적응적인 대역 분할을 수행하는 웨이블릿 패킷(wavelet packet) 등에 대한 연구도 진행중이다.

웨이블릿은 1909년 Haar에 의해 처음으로 언급되었다. Haar 웨이블릿은 유한 구간 밖으로 소멸하는 특성, 즉 Compact Support를 가지고 있지만 연속적인 미분이 불가능한 특성을 가지고 있다. 1980년도 초 Marr는 웨이블릿을 이용한 신호 처리 분야에 획기적인 공헌을 하였다. 그는 직교 웨이블릿 기저(basis)와 QMF(Quadrature Mirror Filter) 및 피라미드(Pyramid) 알고리즘 간의 상관 관계를 발견하였다[3]. 웨이블릿은 신호를 다른 주파수 성분으로 분할하며, 다른 해상도로 신호를 처리한다. 또한 웨이블릿은 높은 주파수 영역에서는 작은 창(window), 즉 축소된 기저 함수

본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원에 의해 수행되었음(과제번호:961-0901-010-2)

\*부산대학교 자연과학대학 전자계산학과

를 사용하고, 낮은 주파수 영역에서는 큰 창, 즉 확장된 기저 함수를 사용한다. 큰 창으로 신호를 보게 되면 신호의 전역적인 특징을 볼 수 있고, 작은 창으로 신호를 보면 국부적인 특징을 볼 수 있다. 웨이블릿의 이러한 특성은 실세계의 비안정성(non-stationary) 신호를 취급하는 분야에 널리 응용되고 있다[4]. 웨이블릿 변환은 컴퓨터 그래픽, 영상 압축, 잡음 제거를 위시하여 수학, 공학, 물리학, 경제학 등 광범위한 분야에 응용되고 있다.

압축된 영상의 화질은 인간의 주관적 판단으로 평가된다. 따라서 영상의 특정 정보를 제거하여 압축을 하기 위해서는 인간 시각 특성을 이용하는 것이 바람직하다. 즉, 인간 시각에 민감한 부분에 비하여 상대적으로 둔감한 부분의 영상 정보를 더 많이 제거함으로써 압축의 효율을 높일 수 있다. 최근 들어 인간 시각 특성을 여러 가지 영상 압축 방법에 적용하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. JPEG에서 양자화 행렬을 인간 시각의 주파수 특성에 맞게 수정하는 방법들이 발표되었으며, Watson은 주관적 실험을 통하여 주파수 대역별로 분리된 웨이블릿 계수를 양자화하는 방법을 제안하였다. Lewis는 인간 시각 특성을 주파수, 배경의 밝기 및 결(texture)의 형태로 모델링하여 웨이블릿 계수를 압축하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 저주파 성분으로부터 배경의 밝기를 구하고, 저주파 및 고주파 계수를 이용하여 결의 크기를 구하여 양자화에 이용하였다.

인간 시각 특성을 이용한 압축 방법은 크게 두 가지로 나누어진다. 첫째 방법은 주관적인 실험에 의해서 계수를 양자화하기 위한 양자화의 크기를 결정하는 방법이다. 정확한 실험은 아주 어렵고, 획득된 실험 결과 또한 실험 조건에 많은 영향을 받는다. 그러므로 주관적인 실험에 의한 영상 압축 방법은 일반적으로 구현하기가 쉽지 않다. 두

번째 방법은 인간 시각에 근거한 수학적 모델에 의해 양자화의 크기를 결정하는 방법이다. 객관적인 수치에 의한 양자화는 영상 압축에 쉽게 적용될 수 있다. 그러나 대부분의 경우 많은 계산량을 요구하는 단점을 가지고 있다.

## 2. 웨이블릿을 이용한 영상압축

### 2.1 웨이블릿이 유용한 이유

웨이블릿은 소수의 응용 분야들을 가지고 있다. 그러나, 그러한 분야들 각각에 대해서는 무한한 응용들이 존재한다. 웨이블릿의 가장 일반적인 사용은 신호 처리 분야의 응용이라 할 수 있다. 예를 들면 다음과 같다.

◆ Compression applications : 만약 우리가 어떤 신호의 적절한 표현을 생성할 수 있다면, 그러한 표현에서 미세한 부분은 버릴 수가 있다. 따라서 최대한 원 신호를 보호할 수 있게 되는 것이다. 여기에는 덜 중요한 부분으로부터 신호의 중요한 부분을 분리할 수 있는 어떠한 변환을 요구하게 된다.

가장 간단한 경우, 우리는 신호를 두 가지의 부분으로 분해할 수 있다. 즉, 저주파수 부분과 고주파수 부분(원 신호에서 저주파수 부분을 뺀 나머지 부분)이 그것이다. 만약 우리가 저주파수 부분에 관심이 있고 고주파수 부분을 버리고자 한다면, 이는 원 신호의 저주파수 요소들만 갖는 원 신호의 부드러운 표현이 되겠다. 마찬가지로, 만약 우리가 고주파수 부분에 관심이 있다면, 우리는 저주파수 부분을 버릴 수 있겠다.

이러한 접근은 즉, 하나의 신호를 두 가지의 부분으로 분해 하는 것은 웨이블릿에서는 일반적인 사항이라 할 수 있다.

◆ Edge detection : 본 응용분야에서, 입력영상

의 변화를 빨리 식별하는 것이 가장 중요하다. 이곳에서 우리는 부드러운 부분 즉, 저주파 부분을 버릴 수가 있다. 이러한 응용에서 가장 간단한 웨이블릿 기저로 Haar basis가 가장 적당한 응용이 될 수 있겠다.

◆ Graphics : 그래픽에서는 웨이블릿의 두 가지 두드러진 사용이 있다. 즉,

- ① 곡선과 표면의 표현
- ② Wavelet radiosity 가 그것이다.

2.2 웨이블릿의 원리

웨이블릿(wavelet)은 수학적 기반을 가지고 1909년 Haar에 의해 처음 언급된 이후, 수학 뿐만 아니라, 양자역학, 전자공학, 지진학 등 여러 분야에 응용되고 있다. 특히 전자공학에서 컴퓨터 그래픽[5], 영상압축, 음성 압축[6], 잡음 제거[7] 등 신호처리 전 분야에 걸쳐 활발히 연구 되어 지고 있는 분야로 자리 잡았다.

기존의 FFT가 cosine과 sine으로 이루어진 기저함수(basis function)를 이용한 변환 인데 반하여, 웨이블릿은 모(Mother) 웨이블릿이라 불리는 복잡한 기저함수 들을 이용한 변환이다. FFT가 음성, 영상신호 등과 같이 비안정성(non-stationary) 신호에 적합하지 않으므로 FFT의 단점을 극복하기 위해서 STFT(Short Time Fourier Transform)이 제안 되었으나, 그림 1에서 보는 것과 같이 신호의 주파수 성분과 관계없이 일정한 주파수 또는 시간 축에서 일정한 폭을 가지는 창(window)을 사용하기 때문에 시간-주파수에 상관없이 시간 해상도와 주파수 해상도가 일정하다. 그렇기 때문에 시간-주파수의 해상도를 보고자 하는데 제약이 따른다. 이에 반해 웨이블릿은 신호를 다른 주파수 성분으로 분할하며, 다른 해상도로 신호를 처리한다. 웨이블릿은 높은 주파수 영역에서

는 작은 창, 즉 축소된 기저함수를 사용하고, 낮은 주파수 영역에서는 큰 창, 즉 확장된 기저함수를 사용하기 때문에 큰 창으로 신호를 보게 되면 전역적 특징을 볼 수 있고, 작은 창으로 신호를 보면 국부적인 특징을 볼 수 있다. 웨이블릿의 이러한 특징으로 인하여 비안정성 신호를 취급하는 분야에 널리 응용되어 지고 있다.

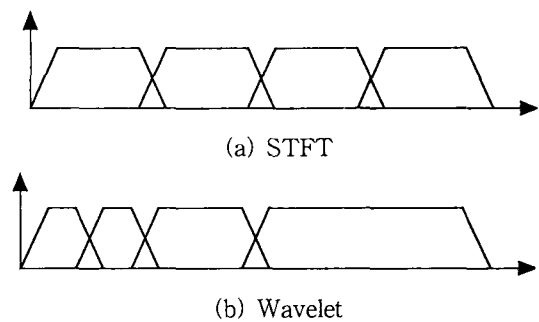


그림 1. 주파수 분할

2.3 웨이블릿을 이용한 영상의 분해 및 합성

웨이블릿을 이용한 영상의 분해와 합성은 그림 2처럼 나타내어 질 수 있다. (a)는 영상의 분해과정을 보여 주는 그림으로 입력 영상을 X축 방향으로 하이패스 필터링(High Pass Filtering), 로우패스 필터링(Low Pass Filtering)한 다음 다운 샘플링 한 후, 필터링 된 각각을 다시 Y축 방향으로 필터링, 다운샘플링(down-sampling)하면 영상 분해가 된다. LL은 저주파 대역의 영상을 LH, HL, HH는 각각 수평, 수직, 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 대역의 부분 영상이다. 그리고 (b)는 웨이블릿 역변환 과정을 보여주는 그림으로 업샘플링(up-sampling)과 역 필터링을 통하여 영상이 복구되어진다.

2.4 기본 아이디어

웨이블릿 변환은 푸리에 변환(fourier trans-

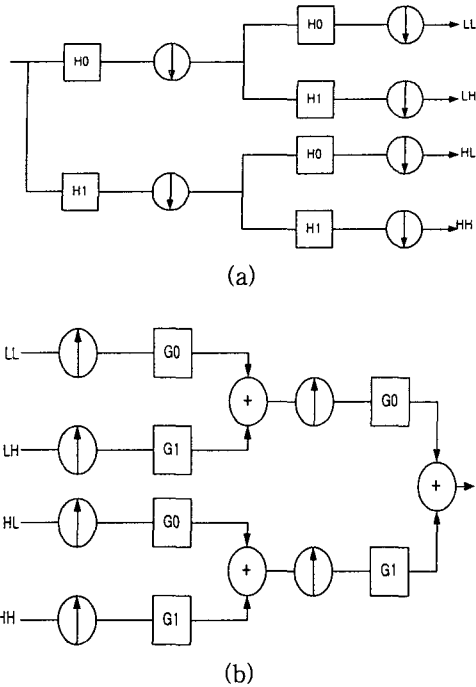


그림 2. 영상에 대한 웨이블릿 분해(a)와 합성(b)

form) 등과는 달리 비안정적인 신호의 분석에 적당하다. 변환에서는 기본 웨이블릿 이라 불리는 기본 파형을 크기 변환(scaling 또는 dilation) 및 위치 변환(translation 또는 shift)하여 얻어지는 파형을 기본 함수로 한다. 그 중 직교하는 것을 선택해 내는 것을 직교(orthogonal) 웨이블릿 변환이라고 한다. DCT의 변환 구획이 고정되어 있는 것에 대해 웨이블릿 변환에서는 크기 변환에 의해 구획의 크기가 변화한다. 구획이 커지면 공간 분해 능력은 저하되지만 주파수 대역은 좁게 되므로 주파수 분해 능력은 높아진다. 반대로 구획이 작아지면 주파수는 높은 곳으로 이동하고 주파수 분해 능력은 저하되지만 공간 분해 능력은 높아진다. 이 성질을 이용하여 DCT 부호화의 결점인 구획 왜곡이나 모스키토 잡음을 줄이도록 하고 있다. 저주파에서는 구획의 크기를 크게 하고 또한 기본 함수를 구획의 끝에서 감쇠 시키면

서 겹치게 함으로써 구획의 왜곡을 줄인다. 또한 고주파에서는 구획의 크기를 작게 함으로써 모스키토 잡음을 줄인다. 기본적인 아이디어를 쉽게 줄 수 있는 Haar 웨이블릿 기저(basis)에 기반을 둔 영상처리의 실 예를 한번 살펴보자. 정지된 영상은 2차원 행렬로 생각할 수 있고, 동영상은 3차원 행렬로 생각할 수 있다.

여기에서는 1차원 행렬 { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}을 간단히 살펴보자. 단, 모든 행렬의 크기는 2의 배수이어야 한다. 아래의 주어진 데이터는 다음과 같은 분해 과정을 거친다. 이것은 신호를 평균값(moving average)을 갖는 부분과 미세한 값(moving difference)을 갖는 부분으로 분류한 것이다.

표 1. Decompose 과정

Resolution	Smooth Data $c_k$	Detail Data $d_k$
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	
4	1.5, 3.5, 5.5, 7.5	-0.5, -0.5, -0.5, -0.5
2	2.5, 6.5	-1.0, -1.0
1	4.5	-2.0

위의 표에서와 같이 Resolution = 2의 Smooth Data는  $(1+2)/2, (3+4)/2$ ,으로 구하고, Detail Data도  $(1-2)/2, (3-4)/2$ ,로 구한다. 또한, Resolution = 1의 값을 요구하기 위해서는 Resolution = 2의 Smooth Data를 사용하여야 한다. 즉,  $(1.5+3.5)/2$ ,와 같게 요구하게 되는 것이다.

위와 같은 방법을 반복해서 decompose가 이루어지는 것이다. 결국 최종적으로, {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}를 Haar 웨이블릿을 사용하여 분해(decompose)하면, {4.5, -2.0, -1.0, -1.0, -0.5, -0.5, -0.5, -0.5}가 된다. 여기서 4.5 이외의 데이터는 Detail Data를 나타낸다. 또 4.5는 수열의 평균치를 나타냄을 알 수 있다.

이러한 분해 결과를 다시 decoding 하기 위해서는 아래 결과값에서 위로 거슬러 올라가는 작업을 하면 된다.

표 2. Synthesis 과정

Resolution	Smooth Data $c_k$	Detail Data $d_k$
1	4.5	-2.0
2	2.5, 6.5	-1.0, -1.0
4	1.5, 3.5, 5.5, 7.5	-0.5, -0.5, -0.5, -0.5
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	0

Resolution를 1부터 2를 구하기 위해서는  $(4.5 + (-2.0))$ ,  $(4.5 - (-2.0))$ 와 같이 하면 된다. 이를 반복하면, 최종적으로 { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 }과 같이 된다.

위와 같은 계산은 알기 쉽게 하기 위하여 한 것이고, 실제 정규화한 Haar 웨이블릿에서는 분해를 행할 때 근처 2개의 값을 더한 값을 2로 나누는 것이 아니고,  $\sqrt{2}$ 로 나눈다. 복원을 할 때도 마찬가지로  $\sqrt{2}$ 로 나누어 진다.

### 3. 웨이블릿 영상 압축의 예

#### 3.1 Haar 웨이블릿을 이용한 압축

본 절에서는 가장 간단한 Haar wavelet transform을 이용하여 이미지의 압축 방법을 보여 주고자 한다. 현재 많은 분야에서 시간과 공간의 절약에 위한 많은 노력들이 수행 중에 있다. 본 논문에서 언급하고자 하는 관점은 우리가 큰 영상들을 다룰 때 시간과 공간을 절약하기 위한 방법에 주안점을 두고 있다. 이를 위해 우선 본 논문에서는 컬러 영상의 각 픽셀에 대하여 matrix 형태로 표현을 하는 것이다. 결국 최소치(0)은 검은색이고, 최대치(255)는 흰색이 되겠다. 더욱 간결한 방법

으로 같은 영상을 표현하는 새로운 행렬의 개발을 위해 평균(averaging)과 차(differencing)라 불리는 처리 과정을 사용하였다. 그때 이 영상을 압축하기 위하여 불필요한 정보를 소거할 필요가 있으며, 원 영상에 가까운 결과 영상을 얻고자 한다. 따라서, 지금까지 살펴본 웨이블릿을 이용한 분해와 합성 처리들을 이용하여 원 영상의 근사영상을 구하여 보면 그림 3과 같다. 그림 3을 살펴보면 원 영상의 상세부분을 약간은 손실을 하였음을 알 수 있다. 그러나 그다지 눈에 띄는 손실은 없음을 알 수 있다. 즉, 최소한의 손실을 통한 압축영상을 구할 수 있음을 알 수 있다.

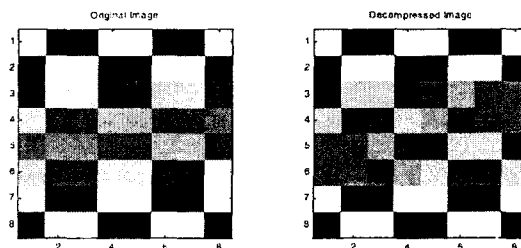


그림 3. 원 영상과 압축된 영상

#### 3.2 EZW를 이용한 압축

기존의 영상 압축 기법으로 널리 사용되어 온 JPEG은 기본적인 변환 방법으로 DCT를 사용하고 있다고 앞서 언급하였었다.

이러한 DCT 변환 방법은 영상을 일정한 크기의 블록으로 잘라서 변환하기 때문에 압축률이 높아지게 되면 구획화 현상(blocking effect)이 나타나게 된다. 이러한 현상은 주관적인 인간의 시각적 측정이나 PSNR(peak to signal noise ration) 등의 객관적인 측정에서도 원 영상과 상당히 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 블록화 현상은 같은 PSNR을 갖는 다른 영상과 비교해 볼 때 인간의 시각을 더 많이 자극함으로써 영상

의 질이 현저하게 저하됨을 보여준다. 최근 다양한 영상 압축 응용 시스템은 고 압축에서도 선명한 화질로 복원되는 복원 영상을 필요로 하며, 그 수요는 날로 증가되고 있는 추세이다. 아래의 영상은 구획화 현상이 나타난 영상의 예를 보인 것이다.



그림 4. Babara 영상의 블록킹 현상

영상 압축 알고리즘 중에서 임베디드 제로트리 웨이블릿 (Embedded Zerotree Wavelet : EZW) 은 단순하면서도 상당히 효과적이다. EZW 알고리즘은 영상에서 정보의 대부분을 포함하고 있는 저주파수 대역의 계수들과 에지 정보를 포함하고 있는 고주파수 대역의 계수들 간의 상관 관계를 이용하고 있다. 즉, 임베디드 영상 부호화는 원 영상의 신호를 점진적으로 근사해 나가는 방식이라 할 수 있다. 따라서, 부호화가 진행됨에 따라 영상 복원에 중요한 정보가 먼저 전송되어 영상화질이 조금씩 향상되는 방식이다. 이러한 부호화의 진행은 응용 분야에 따라 상이하지만 일반적으로 수신 측이 요구하는 화질을 만족시킬 때까지 계속된다. 웨이블릿 변환에서 임베디드 부호화의 가장 대표적인 방식은 Shapiro가 제안한 EZW 방식이다. 이 방식은 계속하여 감소되는 임계치의 집합 즉, 을 사용하였고, 웨이블릿 계수들은 이 임계치와 비교함으로써 중요계수의 여부를 결정하였다. 따라서 웨이블릿 계수의 크기가 임계치보다 작다면 이 계수의 비중요 계수 또는 임계치의 관점에서

'0', 그렇지 않다면 중요계수 혹은 '1'이라고 표시하였다.

이 방식은 매우 낮은 비트율에서 대부분의 서브트리(subtree)의 노드들이 '0' 값을 갖는다는 사실을 이용하였으며, 이때 이러한 트리를 제로트리(zerotree)라 하였다. 그림 5는 이러한 특성을 그림으로 표현한 것이다. EZW 방식은 중요 웨이블릿 계수의 위치를 부호화 하는데 매우 효율적이며 한 영상의 웨이블릿 변환에 의해서 얻어진 에너지 집중 현상을 효과적으로 이용한 알고리즘이라 할 수 있다.

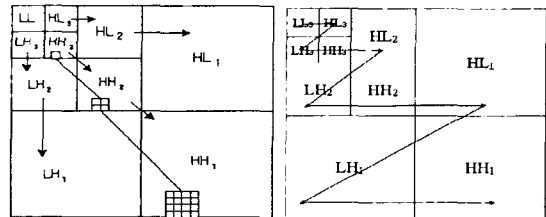


그림 5. EZW에서 서브밴드의 지식 종속성 및 스캔순서

EZW 부호화는 현재까지 제안된 영상 압축 알고리즘 가운데 매우 효율적인 알고리즘이며 다양한 응용 분야에서 만족할 만한 특성을 제공하고 있다. 그러나 이 방식에서 각 계수의 상태 즉, POS(POSitive), NEG(NEGative), ZTR(Zero Tree Root), IZ(Isolated Zero) 또는 Z(Zero)를 결정하기 위해서 반복적인 계산을 수행해야 하므로 빠른 전송과 응답이 요구되는 분야에서는 알고리즘의 특성상 좋은 효과를 기대하기 어렵다는 단점이 존재한다. 웨이블릿 변환에 의하여 영상이 다차원 시-공간 주파수 대역으로 분할될 때, 각 대역내의 계수들간의 상관성은 원 영상에 비하여 커지게 된다. 이러한 이유로 웨이블릿 기반의 영상 압축은 편리성, 효율성, 그리고 적응성 측면에서 많은 장점을 갖게 된다. 웨이블릿 계수 값을 부호화 하기 위해 주요 경로(dominant pass)와 보조 경로

(subordinate pass)를 거친다. 주요 경로는 특정 임계치에 대응하는 유효 계수 값을 찾기 위해 전체 계수를 검색한다. 초기 임계치는 모든 계수 값 중에서 최대 값을 찾아 2로 나눈 값을 사용한다. 그 다음 번의 주요 경로의 임계치는 항상 이전 임계치를 2로 나눈 값이다. 임의의 계수와 그에 따른 모든 자식 노드가 비중요 계수를 갖는다면 이들 계수 값과 위치 정보가 "zerotree root"로 부호화되어 압축된 데이터를 얻을 수 있다. 아래의 그림은 EZW 알고리즘을 적용하여 영상을 압축한 결과를 보여주고 있다.



0.1bpp 28.5dB

0.5bpp 33.4 dB

그림 6. 압축 복원된 Babara 영상

#### 4. 결론

위에서 살펴본 바와 같이 웨이블릿은 여러 가지 응용 분야들을 가지고 있다. 그리고, 그러한 분야들 각각에 대해서는 또 다시 무한한 응용들이 존재한다. 웨이블릿의 가장 일반적인 사용은 신호 처리 분야의 응용이라 할 수 있다. 본 논문에서 살펴본 바와 같이 가장 일반적인 예는 영상 및 신호의 압축이라 할 수 있다.

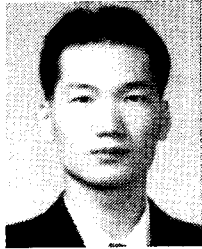
만약 우리가 어떤 신호의 적절한 표현을 생성할 수 있다면, 그러한 표현에서 미세한 부분은 버릴 수가 있다. 따라서 최대한 원 신호를 보호할 수 있게 되는 것이다. 여기에는 덜 중요한 부분으로부터 신호의 중요한 부분을 분리할 수 있는 어

떠한 변환을 요구하게 된다.

가장 간단한 경우, 우리는 신호를 두 가지의 부분으로 분해할 수 있다. 즉, 저주파수 부분과 고주파수 부분(원 신호에서 저주파수부분을 뺀 나머지 부분)이 그것이다. 만약 우리가 저주파수 부분에 관심이 있고 고주파수 부분을 버리고자 한다면, 이는 원 신호의 저주파수 요소들만 갖는 원 신호의 부드러운 표현이 되겠다. 마찬가지로, 만약 우리가 고주파수 부분에 관심이 있다면, 우리는 저주파수 부분을 버릴 수 있겠다. 이러한 접근, 즉 하나의 신호를 두 가지의 부분으로 분해하는 것은 웨이블릿 압축에서는 일반적인 사항이라 할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] G. K. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard", *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol.38, no.1, Feb., 1992.
- [2] M. Vetterli and J. Kovacevic, *Wavelet and Sub-band Coding*, Prentice Hall, 1995.
- [3] A. Graps, "An Introduction to Wavelets", *IEEE Computational Science and Engineering*, vol. 2, no.2, 1995.
- [4] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and Signal Processing", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.14-38, October, 1991.
- [5] E. J. Stollnitz and T. D. DeRose, Wavelets for Computer Graphics : A Primer, *IEEE Trans. On Computer Graphics and Applications* p.76-85, May, 1995 p.75-85, July, 1995
- [6] M.V. Wickerhauser, *Acoustic Signal Compression with Wave Packets*, 1989
- [7] Y.Xu, J. B. Weaver, D. M. Healy, Jr and J.Lu, Wavelet Transform Domain Filters : A Spatially Selective Noise Filtration Technique, *IEEE Trans. On Image Processing*, vol.3, no. 6, pp.747-758, November, 1994.



김 철 기

- 1999년 부산대학교 전자계산학과(이학사)
- 1999년~현재 부산대학교 전자계산학과 석사 과정
- 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 웨이블릿, 신경회로망



차 의 영

- 1979년 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1982년 서울대학교 계산통계학과(이학석사)
- 1998년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1985년~현재 부산대학교 전자계산학과 교수
- 1995년~1996년 University of London 방문교수
- 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 웨이블릿, 신경회로망