

잡음성 채널에서 잡음의 영향을 적게 받는 영상신호 전송에 관한 연구

서준혁, 안종구, 이태호

울산대학교 전기전자 및 자동화공학부

Image Transmission using Wavelet Transform in the Noisy Channel

Joon Hyeok Seo, Chong Koo An and Tae Ho Lee

School of Electrical, Electronics and Automation Engineering, University of Ulsan

E-mail: jhseo@dsp.ulsan.ac.kr, ckan@uou.ulsan.ac.kr and thlee@uou.ulsan.ac.kr

요약

일반적으로 영상신호는 푸리에 분석법에 기초를 두고 있는 DCT를 이용하여 압축된다. 그러나 DCT는 압축률 변환의 범주에 속하기 때문에 영상신호를 높은 압축률로 압축하거나 압축한 영상신호를 잡음이 존재하는 채널을 통하여 전송하면 복원한 영상신호의 품질을 떨어뜨리는 블록현상이 수신측에서 나타난다. 본 논문에서는 웨이블릿을 이용하여 잡음에 강한 특성을 가지는 영상신호의 압축방법을 연구하였다. 서로 다른 서브밴드에 속하는 웨이블릿 계수들은 직교 웨이블릿에 의하여 생성되었지만, 변환 방향과 원천이 같은 계수들의 경우 서로 종속적인 관계를 가지므로 이러한 특징을 이용하여 영상신호를 압축하였다. 웨이블릿을 이용하여 압축된 영상신호는 최근 고속의 데이터 전송을 가능하게 하여서 많은 고속 통신 서비스의 기초 기술로 각광을 받고 있는 OFDM 시스템을 이용하여 전송하였다.

- 웨이블릿은 유한한 구간동안에서만 값을 가지고 그 이외의 구간에서는 값을 가지지 않는 비정상 신호이다. 이 세상에 존재하는 대부분의 신호는 비정상 신호의 특징을 가지므로 푸리에 분석법에 기초를 둔 DCT보다 좋은 효과를 얻을 수 있다.
- MRA를 이용하여 영상신호를 여러 스케일로 표현할 수 있다.[1]
- 대부분의 영상신호 에너지가 낮은 스케일을 가지는 계수에 집중되고, 스케일이 높아질수록 계수의 크기가 줄어든다.[4]
- 웨이블릿 변환에 의해 생성된 계수들 중에서, 가장 낮은 주파수 대역에 속하는 계수를 제외한 나머지 대역에 속하는 계수들은 서로 비슷한 확률분포를 가진다.[5]
- 이산 웨이블릿 변환은 영상신호처리와 관련된 응용분야에서 많이 이용되는 서브밴드코딩과 많은 유사점을 가지므로 알고리즘을 쉽게 구현할 수 있다.[3]

I. 서론

통신기술과 멀티미디어가 발달함에 따라 의사소통을 위한 수단으로 문자나 음성신호에 더하여 영상신호가 보편화되어 많이 이용되고 있다. 영상을 이용한 정보교환은 정보의 질을 한층 높여주고 있지만 사용자들은 좀 더 나은 품질의 영상을 원하고 있다. 본 논문에서는 잡음에 이 존재하는 채널에서 잡음의 영향을 적게 받으며 영상신호를 효율적으로 전송하는 방법을 연구하였다. 일반적으로 표준화된 많은 알고리즘들은 DCT에 기본을 두고 있는데 정지영상 압축하는 JPEG과 동영상 압축하는 MPEG이 가장 대표적인 예이다. DCT는 영상신호의 압축과 관련된 많은 응용분야에서 최적의 변환방법으로 알려진 KLT와 가장 비슷한 성질을 가지는 방법으로 알려져 있는데, 영상신호의 변환 후 대부분의 에너지가 소수의 계수에 집중된다는 점과 신호의 종류와는 관계없이 대부분의 신호에 자유롭게 적용할 수 있다는 점 그리고 알고리즘의 구현이 쉽다는 장점으로 영상신호의 압축에 많이 사용되고 있다. 그러나 DCT는 블록변환법의 범주에 속하기 때문에 영상신호를 높은 압축률로 압축하거나 압축한 신호를 잡음이 존재하는 채널을 통하여 전송할 경우 복원한 영상에서 블록현상이 나타난다. 이 블록현상은 영상신호의 변환영역간의 경계에서 불연속면이 발생하는 현상인데 복원영상의 품질을 떨어뜨리는 주요한 원인이 된다. DCT가 갖는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 우리는 본 논문에서 웨이블릿을 이용하고자 한다. 최근 웨이블릿은 공학적인 문제점을 해결하기 위해 많이 이용되고 있는데, 신호처리와 관련된 분야에서는 특히 영상신호의 압축 그리고 잡음제거를 위한 목적으로 많이 이용된다.

웨이블릿이 영상신호의 압축에 유리한 이유를 정리하면 다음과 같다.

이러한 특징을 가지는 웨이블릿을 이용하여 영상신호를 압축하면 DCT를 이용하여 압축하였을 때 나타났던 블록현상이 나타나지 않을 뿐만 아니라 MRA의 특징을 이용하여 영상신호에 국부적으로 영향을 주는 잡음의 에너지를 영상신호 전체로 퍼뜨리기 때문에 잡음의 영향을 DCT의 경우보다 줄일 수 있다. 본 논문은 다음과 같은 구성으로 이루어진다. II장은 웨이블릿의 소개를 위한 부분으로 웨이블릿의 개요와 푸리에 변환과의 관계에 관하여 설명한다. III장에서는 본 논문에서 웨이블릿을 이용하여 영상신호를 압축하는 방법에 대하여 설명하고 IV장에서는 실험결과 결과를 다룬다. 그리고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 웨이블릿의 소개

일반적으로 웨이블릿은 정현파와 같이 끊임없이 진동하는 시간 또는 공간의 함수로 정의된다. 신호의 분석을 위해 많이 사용하는 푸리에 분석법이 웨이블릿 기저함수로 이용하는 대표적인 경우인데, 이는 기본 주파수를 가지는 정현파와 고조파의 선형 조합으로 모든 신호를 표현할 수 있다는 것이다. 그러나 푸리에 분석법은 무한한 시간동안의 정보가 필요하므로 주기성과 시-불변의 특징을 가지는 정상신호의 분석에만 적합하다는 단점이 있다. 따라서 과도적이고 시-변의 특징을 가지는 비정상신호의 분석을 위해서는 기저함수의 길이를 유한하게 제한하고 비정상신호의 특징을 가지도록 할 필요가 있다. 웨이블릿은 특정한 시간 동안만 함수의 값을 가지고 이외의 시간에서는 값을 가지지 않는 신호를 의미한다.

1807년 푸리에에 의하여 정리된 푸리에 분석법은 시간 영역에서 신호가 가지는 정보를 여러 주파수 성분으로 분리하여 주파수 영역에서 표시하여 주기 때문에 지금까지 신호처리와 관련된 대부분의 영역에서 기본적으로 많이 이용되고 있다. 그러나 식 (1)과 (2)의 푸리에 변

환식을 통해 알 수 있듯이 시간 영역 또는 주파수 영역으로의 변환을 위해서는 무한한 시간과 주파수 동안의 정보를 필요로 하기 때문에 그림 1에 묘사된 것과 같은 특정한 시간 영역에 에너지가 집중된 임펄스와 같은 신호를 분석할 때는 국소성을 가지는 신호의 위치 정보가 중요하다. 국소성이라는 의미는 시간영역에서의 위치 변화를 감지할 수 없으나 그 시간에 발생한 이벤트의 종류는 알 수 없다.

$$X(w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(w) e^{j\omega t} dw \quad (2)$$

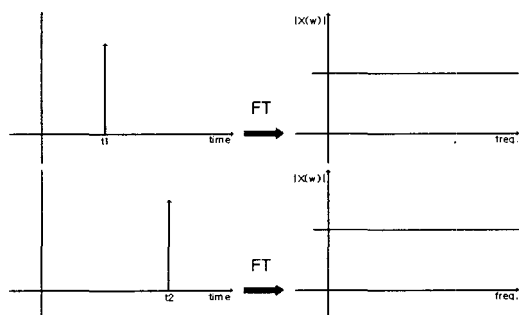


그림 1. 국소성을 요구하는 신호의 분석에서 푸리에 변환이 나타내는 문제점

푸리에 변환이 가지는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Gabor는 기저함수에 원도를 씌워 길이를 유한하게 제한하는 방법을 선택하였다. 이 방법은 보통 WFT 또는 STFT로 많이 알려져 있는데 주파수 영역에서의 정보는 시간 정보가 추가되기 때문에 식 (3)과 같이 주파수와 시간을 의미하는 2개의 변수로 표현된다. $w(\cdot)$ 는 가우시안과 같은 특정한 형태의 원도를 의미한다.

$$X_{WF}(w, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} w(t - \tau) x(t) dt \quad (3)$$

즉, 크기가 유한한 원도를 시간 축으로 이동시키며 푸리에 변환을 수행하므로 국소성을 가지는 신호의 분석이 가능해진다.

STFT가 시간영역에서 국소성을 가지는 신호의 분석과 관련하여 어느 정도 문제해결의 실마리를 제공하지는 하였지만 여전히 한계점을 가지고 있음을 알 수 있다. 원도의 모양과 크기가 일정하기 때문에 신호의 분석을 위하여 사용되는 기저함수의 크기가 일정하고, 결과적으로 시간영역과 주파수영역에서 기저함수가 가지는 분해능이 일정하다는 것이다. 즉, 분석하고자 하는 신호가 기저함수의 영역 $[-T, T] \times [-Q, Q]$ 에 적절히 분포할 경우는 별 문제가 없겠지만, 기저함수보다 국소성이 더 뛰어난 신호를 분석해야 할 경우 신호의 에너지가 기저함수의 영역에서 분산되는 특징이 있기 때문에 시간영역에서 또는 주파수영역에서 좀 더 세밀하게 신호를 분석하여야 할 경우에는 기저함수의 크기를 신호의 국소성에 맞추어 변화시킬 필요가 있다.

식 (4)의 불확정성 원리에 의하면, 시간영역에서의 분해능 (ΔT)과 주파수영역에서의 분해능 (ΔQ)을 모두 좋게 할 수는 없다. 그러나 기저함수의 크기를 변화시켜 둘 중 하나의 분해능을 보상함으로써 나머지 한 영역에서의 분해능을 증가시킬 수 있다. 기저함수의 길이를 길게 하면 시간영역에서의 분해능은 좋게 할 수 없으나 주파수영역에서의 분해능을 향상시킬 수 있다. 반대로 기저함수의 길이를 짧게 하면 시간영역에서 기저함수의 분해능을 좋게 만들 수 있다.

$$\Delta T \cdot \Delta Q \geq \frac{1}{4\pi} \quad (4)$$

웨이블릿 변환은 기저함수의 스케일을 변화시켜 길이가 가변적인 특성을 가지도록 하여 시간영역 또는 주파수영역에서 함수의 분해능을 바꿀 수 있도록 하는 변환법을 일컫는다. 웨이블릿 변환에서 사용되는 기저함수

는 원형 웨이블릿이라 불리는 기본 스케일의 함수를 확장 또는 압축시켜 스케일을 변화시키고 그 함수를 이동시키므로써 얻을 수 있다. 식 (5)는 웨이블릿 기저함수를 표현한 것으로 $h(t)$ 는 원형 웨이블릿 함수를 의미한다. a 는 함수의 스케일을 조절하는 변수이고 b 는 함수의 위치를 의미하는 변수로써 $h_{a,b}(t)$ 는 원형 웨이블릿 함수와 비교하여 a 만큼 스케일이 조절되고 b 만큼 위치가 옮겨진 기저함수를 의미한다. 식 (6)은 식 (5)의 웨이블릿 기저함수를 이용하여 웨이블릿 변환식을 표현한 것이다.

$$h_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} h\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \in R^+, b \in R \quad (5)$$

$$X_{WF}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} h^*\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (6)$$

신호처리의 관점에서 웨이블릿은 대역통과필터의 성질을 가진다. 만약 원형 웨이블릿이 f_0 의 중심주파수와 Δf_0 의 대역폭을 가지는 대역통과필터라 하면 a 만큼 스케일이 변화된 웨이블릿 함수 $h_{a,b}(t)$ 는 상대적으로 $a f_0$ 의 중심주파수와 $a \Delta f_0$ 의 대역폭을 가진다. 그러므로 웨이블릿은 상대 대역폭 $f/\Delta f = Q$ 가 스케일 변수 a 의 영향을 받지 않고 크기가 일정하다는 특징이 있다. 따라서 선형-시불변(LTI) 시스템의 성격을 가지는 웨이블릿 변환이 선형-시변 시스템의 성격을 가지는 STFT보다 실시간으로 신호를 처리해야 될 경우 구현이 쉽다는 장점을 가진다.

III. 웨이블릿을 이용한 영상신호의 압축

영상신호를 압축하는 가장 근본적인 목적은 영상신호를 통신채널을 통하여 전송할 경우 또는 디지털 매체에 저장할 경우 가장 적합한 형태인 비트 스트림으로 변환시키기 위해서이다. 물론 통신시간과 저장공간을 절약하기 위해서 원 영상을 표현하는 비트 수보다 압축된 영상의 비트 수가 적어야 한다. 신호의 압축법은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 무손실 압축법은 이름이 의미하는 바와 같이 정보의 손실이 전혀 없는 압축 알고리즘이다. 만약 데이터가 무손실로 압축되었다면 압축된 데이터로부터 원래의 데이터를 정확히 복원할 수 있다. 무손실 압축법은 주로 문자나 컴퓨터에 의하여 생성된 데이터와 같은 이산 데이터를 압축하기 위하여 사용된다. 특히 조그만 손실이 발생하더라도 의미상으로 많은 차이를 나타낼 수 있는 문자의 압축에서 무손실 압축법이 중요한 역할을 담당하고 있다. 반면에 손실 압축법은 압축 과정에서 정보의 손실이 발생하기 때문에 정확한 데이터를 복원할 수 없다. 하지만 복원 데이터에서 발생하는 왜곡을 보상하여 무손실 압축보다 높은 압축률을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 실시간 영상신호의 압축을 위하여 손실 압축법을 많이 이용하는데, 이러한 신호들은 정보의 양이 너무 크기 때문에 신호의 손실이 불가피하다. 그리고 손실이 발생하더라도 정보의 의미를 크게 상실하지 않기 때문에 유용하게 이용할 수 있다.

영상에서 물체의 경계는 수치적으로 적은 양의 에너지를 가지고 있다. 그러나 영상신호 처리에서 물체의 경계는 정량적인 면보다 정성적인 면에서 많이 강조되기 때문에 수치적인 에너지의 양보다 훨씬 큰 의미상의 중요도를 가진다. 영상신호의 변환을 위하여 많이 사용하는 DCT의 경우, 영상신호를 일정한 크기의 블록으로 나누고 각각의 블록을 따로 변환하기 때문에, 공간영역에서 블록의 크기와 주파수 대역폭이 일정한 특징을 가지고 있다. 그러므로 DCT를 이용하여 추출한 영상의 경계 정보는 일정한 크기의 주파수 대역 전체로 퍼지는 단점이 있다. 만약 주파수 대역이 넓다면 적은 양의 에너지가 넓은 대역으로 분산되기 때문에 좋은 품질의 경계 정보를 표현하기 위해서는 많은 수의 비트를 할당하여야 한다. 경계 정보가 가지는 에너지의 양은 전체 영상의 에너지와 비교하여 상대적으로 미미하므로, 경계 정보에 많은 수의 비트를 할당하면 높은 압축률로 영상을 압축할 수 없다. DCT를 기본적으로 사용하는 JPEG은 저주파수의 성분을 가지는 계수에 많은 수의 비트를 할당하고 경계를 표현하는 고주파수의 성분의 계수에는 적은 수의 비트를 할당하기 때문에 변환영역의 경계에서 불연속점이 발생하는 블록현상이 발생한다. 반면에

웨이블릿 변환은 스케일을 이용하여 영상신호 전체를 변환 영역으로 두고 있기 때문에 서로 다른 대역에 속하는 계수라도 위치정보와 변환 방향이 같을 경우 서로 종속성을 가지는 특징이 있다. 대부분의 영상신호는 낮은 주파수의 대역에 에너지가 집중되는 특징이 있다. 웨이블릿 변환에서는 낮은 주파수의 대역이 좁기 때문에 에너지 압축 특성이 좋다. 따라서 높은 압축률을 가지는 좋은 품질의 영상을 표현할 수 있다.

1976년 Croisier와 Crochiere에 의하여 고안된 서브밴드 코딩은 웨이블릿 변환과 알고리즘 상으로 서로 유사한 특징을 가지고 있다. 주로 음성신호의 코딩을 목적으로 많이 사용되던 서브밴드 코딩은 Vitterli[2]에 의하여 쓰임새가 1D에서 2D로 확장되었고 영상신호의 변환을 위해서도 사용할 수 있게 되었다. 서브밴드 코딩을 이용한 신호의 분리는 스케일링 함수의 역할을 하는 저역통과필터와 웨이블릿 함수의 역할을 하는 대역통과필터로 구성된 필터뱅크와 다운 샘플링을 통하여 수행된다. 그림 2는 2-D 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 영상신호를 4개의 밴드로 분리한 예를 나타낸 것이다.

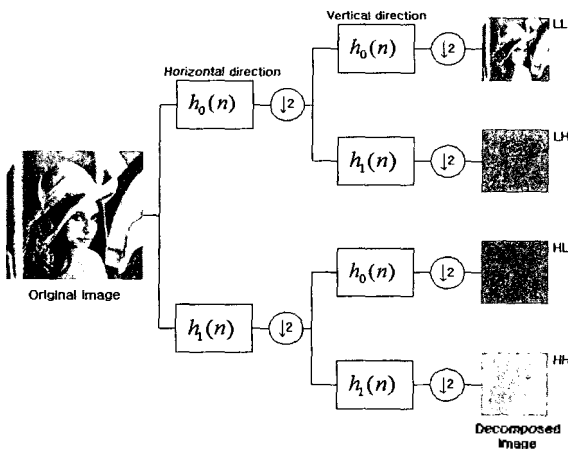


그림 2. 이산 웨이블릿 변환을 이용한 영상신호의 분리

LL로 표기된 서브밴드는 영상신호를 수평과 수직방향으로 모두 저역통과필터를 통과시킨 것으로 영상신호의 저주파수 성분을 포함하고 있다. LL을 제외한 나머지 LH, HL 그리고 HH는 영상신호의 경계를 표현하는데 각각 수평, 수직 그리고 대각 방향의 경계가 두드러지는 특징을 관찰할 수 있다. 만약 스케일을 바꾸어 이산 웨이블릿 변환을 수행할 경우에는 LL 밴드를 입력으로 하여 그림 2와 같은 과정을 반복적으로 수행한다.

웨이블릿 변환에 의하여 생성된 계수들은 실수의 값을 가진다. 따라서 이 계수들을 비트 스트림으로 변환시키기 위해서 양자화의 과정을 거쳐야 한다. 벡터 양자화는 입력신호를 일정한 크기의 소단위인 벡터로 나누고, 이들을 코드북에 내장된 코드벡터들과 거리를 비교하여 값이 최소인 코드벡터의 인덱스를 벡터의 대표값으로 출력하여 부호화하는 방법이다. 웨이블릿 계수들은 직교성을 가지는 필터들에 의하여 여러 서브밴드로 분리가 되지만 계수의 원천이 같고(parent와 offspring의 관계) 변환의 방향이 동일할 경우 서로 종속적인 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 특징을 이용하여 벡터 양자화의 벡터를 그림 3과 같이 구성할 수 있다.

VI. 실험 및 결과

실험에서 사용한 표준 실험 영상은 256×256의 크기를 가지고 하나의 화소가 8비트로 이루어진 Lena의 흑백 영상이다. 서론에서도 언급하였지만 DCT는 블록 변환의 범주에 속하고, 블록의 크기가 일정하여 주파수 대역폭이 고정적이기 때문에 높은 주파수의 계수를 표현하기 위해서는 많은 수의 비트를 할당하여야 한다. 그래서 높은 압축률로 영상신호를 압축하거나 잡음성 채널을 통하여 영상을 전송하면 그림 4와 같이 변환 영역의 경계에서 블록현상이 발생한다.

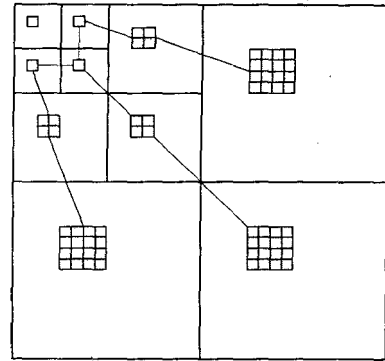


그림 3. 웨이블릿 계수를 이용한 벡터 양자화의 벡터 구성도

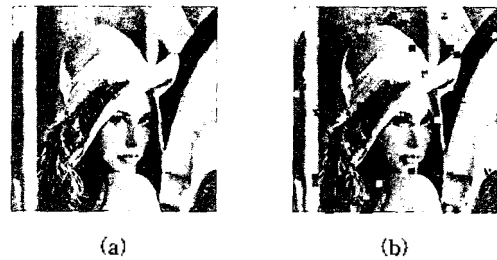


그림 4. DCT에서 나타나는 블록현상 (a) 0.1875bpp로 압축된 영상 (b) 채널 SNR = 6.5dB인 경우

이산 웨이블릿 변환에서 사용되는 필터뱅크는 정규 쌍직교 필터를 이용하였고, 이 필터뱅크를 이용하여 스케일 레벨 3의 이산 웨이블릿 변환을 수행하였다. 변환의 결과로서 발생하는 서브밴드의 계수들을 그림 5에 나타내었다.

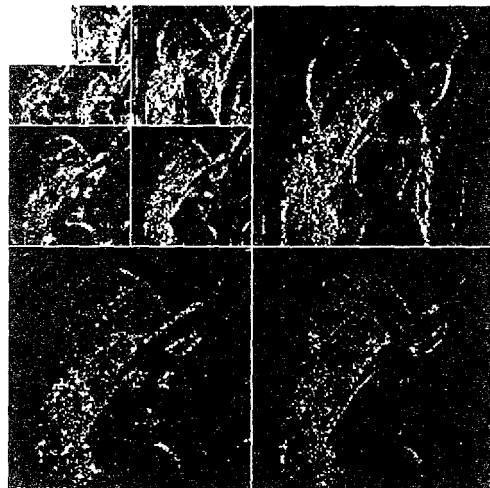


그림 5. Level 3의 이산 웨이블릿 변환 결과 발생하는 웨이블릿 계수의 크기를 나타내는 주파수-공간 평면의 그림.

복원 영상의 모서리 부분에서 약간의 왜곡이 발생하는데 이는 영상신호의 길이와 필터의 차수가 유한하기 때문에 발생하는 것이다. 본 실험에서는 모서리에서의 왜곡을 최소화하기 위해 모서리에서의 영상정보를 필터의 차수에 맞추어 대칭적으로 확장하는 방법을 선택했다.

실수의 값을 가지는 웨이블릿 계수들의 양자화를 위하여 실험에서는 웨이블릿 계수들을 그림 3과 같이 64-D의 벡터를 구성하고 벡터 양자화를 수행했다. 영상신호는 0.1875bpp로 압축되었다.

실수의 값을 가지던 웨이블릿 계수들을 벡터 양자화를 이용하여 압축하면, 통신채널을 통하여 전송하기에 적합한 형태인 비트 스트림으로 변환된다. 이 비트 스트림을 전송하기 위해서는 신호를 통신채널의 특성에 맞게 변조시켜야 하는데, 이 실험에서는 최근 고속 통신의 기초 기술로 각광을 받고 있는 OFDM[8]을 이용하였다. 채널의 환경은 잡음성 채널을 가정했으며 잡음은 AWGN을 이용하였다. 채널의 신호 대 잡음비는 -1dB~10dB의 범위로 설정하여 실험했다. 그림 6은 OFDM 시스템의 수신 단에서 받은 신호를 복원한 영상이다.

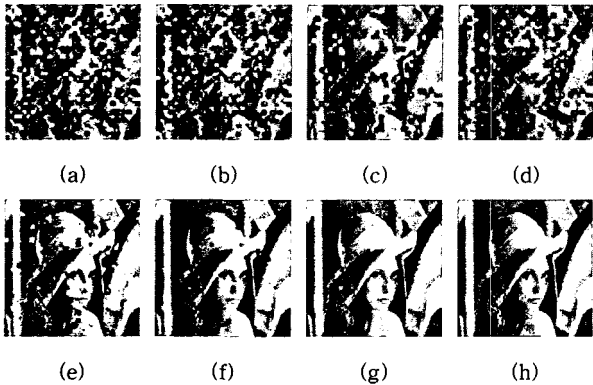


그림 6. 잡음성 채널을 통과한 웨이블릿 변환 영상의 복원 영상들. 채널 SNR = (a) -1dB (b) 0dB (c) 1dB (d) 2dB (e) 4dB (f) 6dB (g) 8dB (h) 10dB

그림과 같이 채널 잡음의 에너지가 크면 그림 전체에 걸쳐 얼룩과 같은 것이 나타나지만, 잡음의 에너지가 줄어들어 따라 얼룩이 많이 줄어들 수 있다. 그림 7은 실험 결과인 채널의 신호 대 잡음비와 복원영상 품질 사이의 관계를 나타낸 것이다.

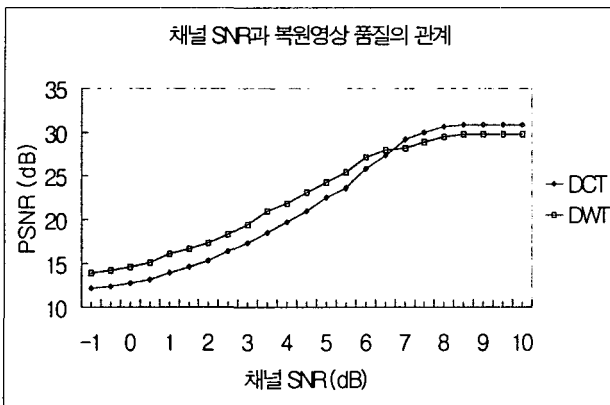


그림 7. DCT와 이산 웨이블릿 변환(DWT)에 기초한 영상 신호의 복원품질과 채널 잡음 에너지와의 관계.

그래프에 의하면 채널의 잡음 에너지가 -1dB일 경우, 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 영상신호를 압축한 경우가 DCT를 이용하여 압축한 경우보다 PSNR이 1.8dB 정도 우수함을 관찰할 수 있고, 잡음의 에너지가 줄어들어 따라 원래의 영상신호가 갖는 품질에 접근함을 관찰할 수 있다. 결과적으로 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 압축한 영상신호가 DCT를 이용하여 압축한 영상신호보다 채널의 잡음에 좀 더 강한 특성을 나타낼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 잡음이 존재하는 채널에서 잡음의 영향을 적게 받으며 영상신호를 전송하는 방법에 관한 연구를 하였다. 일반적으로 영상 신호는 푸리에 분석법에

기초한 DCT를 이용하여 변환되고 압축된다. DCT가 영상 신호의 압축과 관련하여 많은 장점을 가지고 있음은 분명한 사실이다. 그러나 DCT를 구성하는 기저함수의 길이와 주파수 대역에서의 대역폭이 일정한 특성 때문에 영상신호의 경계정보를 표현하기 위해서는 많은 수의 비트를 이용하여야 한다. 즉, 크기가 큰 영상을 높은 압축률로 압축하면 경계정보가 넓은 대역으로 확산되기 때문에 DCT를 위한 블록간의 인접구간에 불연속면이 발생한다. 실제로 실험을 통하여 높은 압축률로 압축한 영상을 복원했을 때, 블록의 윤곽을 육안으로 확인할 수 있을 정도로 블록현상이 심하였다. 그리고 잡음성 채널을 통하여 전송한 영상이 복원하였을 때에 블록현상의 정도가 더욱 심해졌고, 잡음의 에너지가 큰 경우에는 영상신호의 내용을 잘 파악할 수 없었다. DCT가 내포하는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 기저함수의 길이가 가변적이고 시간 영역 또는 주파수 영역에서 높은 국소성을 나타낼 수 있는 이산 웨이블릿 변환을 이용하였다. 실험 결과 DCT에서 관찰되었던 블록현상을 대신하여 얼룩과 같은 무늬를 관찰할 수 있었지만, 웨이블릿 변환은 영상신호 전체를 변환 영역으로 하여 변환을 수행하기 때문에 얼룩이 가지는 에너지가 인접 영역으로 퍼뜨리기 때문에 얼룩의 영향이 많이 감소됨을 알 수 있었다. 수치적인 결과에 의하면 전체적으로 웨이블릿 변환에 기초한 영상신호의 품질이 DCT를 이용한 영상신호보다 우수함을 알 수 있었고, 육안으로 복원한 영상을 비교하였을 때에도 웨이블릿 변환을 이용한 영상의 품질이 우수함을 관찰할 수 있었다.

비록 본 논문에서는 정지영상신호를 주요 대상으로 하여 실험을 수행하였지만 웨이블릿 변환은 동영상으로도 응용 범위를 확장할 수 있다. DCT를 기본 변환법으로 채택하고 있는 MPEG에서 D 채널의 환경이 좋지 않거나 높은 압축률로 압축이 되었을 때, 재생 화면에서 블록현상을 관찰할 수 있는데 이는 웨이블릿 변환을 이용하여 해결할 수 있다고 생각한다. 본 논문에서는 실험의 편의를 위하여 벡터 양자화를 이용하여 웨이블릿 계수를 압축할 때 각각의 서브밴드에 가중치를 부여하지 않았다. 사실 낮은 주파수의 대역에 속하는 계수로 많은 에너지가 압축되기 때문에, 이 밴드의 높은 가중치를 주고, 높은 주파수를 가지는 대역에 낮은 가중치를 주어 압축하면 좀 더 좋은 결과를 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. 11, no. 7, pp. 647-693, July 1989.
- [2] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and signal processing," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 8, no. 4, pp. 14-38, Oct. 1991.
- [3] M. Vetterli and C. Herley, "Wavelets and filter banks: Theory and design," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, no. 9, pp. 2207-2232, Sept. 1992.
- [4] J. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [5] R. Buccigrossi and E. Simoncelli, "Progressive Wavelet Image Coding Based on a Conditional Probability Model," *Proc. ICASSP-97*, pp. 2957-2960, April, Munich, Germany.
- [6] R. Gray, "Vector Quantization," *IEEE ASSP Mag.*, pp. 4-29, Apr. 1984.
- [7] P. Cosman, R. Gray and M. Vetterli, "Vector Quantization of Image Subbands: A Survey," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 5, no. 2, Feb. 1996.
- [8] N. Yee, J. Linnartz and G. Fettweis, "Multi-carrier CDMA in indoor wireless radio," *Proc. PIMRC '93*, pp. 109-113, Yokohama, Japan, Dec. 1993.