

쿼드트리 알고리즘을 이용한 디지털 워터마킹의 성능 분석

Performance Analysis for Digital watermarking using Quad Tree Algorithm

강 중 순*, 추 형 석**

Jung-Sun Kang, Hyung-Suk Chu

요약

본 논문에서는 쿼드트리 알고리즘을 이용한 디지털 워터마킹의 성능평가를 수행하였다. 제안한 알고리즘은 웨이블릿 영역에서 쿼드트리 알고리즘을 이용하여 워터마크의 중요계수를 선택하였고, Cox의 알고리즘을 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션은 웨이블릿 영역에서 쿼드트리 알고리즘의 효과, DWT 변환 레벨과 대역(HH, LH, HL)에 따른 워터마킹 효과, 그리고 최저주파수 대역(LL)의 워터마킹 효과에 대하여 수행하였다. 시뮬레이션 결과에서 쿼드트리 알고리즘을 이용한 워터마킹은 고정된 대역의 중요계수에 워터마크를 삽입한 방법과 비교하여 향상된 결과를 보였고, 6 레벨 DWT에서 HH, HL, LH 대역에 동시에 워터마크를 삽입하였을 경우에 가장 좋은 결과를 보였다. 또한, 전체 워터마크 중 30~60%를 LL 대역에 삽입하였을 경우에 PSNR 성능은 1~3dB 정도 떨어지나 추출한 워터마크의 상관도 값은 향상된 결과를 보였다.

Abstract

In this paper, digital watermarking method using quad-tree algorithm is proposed. The proposed algorithm searches the significant coefficient of the watermark by using quad-tree algorithm and inserts the watermark by the Cox's algorithm. The simulation for performance analysis of the proposed algorithm is implemented about the effect of quad-tree algorithm in wavelet domain and that of embedding watermark in each subband coefficient (HH, LH, HL) and each DWT level, and that of embedding in the lowest frequency band (LL). As a simulation result, digital watermarking using quad-tree algorithm improves the watermarking performance in comparison with inserting watermark in the significant coefficients of fixed frequency band. The watermarking performance of simultaneously embedding in HH, LH, and HL band of DWT(6 level) is better than that of different cases. In addition, insertion the watermark to the LL band about 30~60% of all watermarks improves the correlation value while PSNR performance decreases 1~3dB.

Keywords : Quad-Tree algorithm, Digital Watermark, DWT, Cox's algorithm

1. 서론

인터넷과 통신기술의 급격한 발전으로 인하여 디지털 콘텐츠는 쉽고 빠르게 퍼지게 되었다. 이러한 디지털 콘텐츠는 복사 및 저장에 손실이 없으며, 인터넷을 통한 배포가 쉽고 편집 및 수정이 용이하여 다량의 복사가 가능하다. 이런 특징으로 인하여 저자의 동의 없는 복사, 배포는 저작권 침해, 불법 복제 및 배포, 위조 등의 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제는 저자의 사기를 저하시켜 활발한 콘텐츠 문화 발전에 악영향을 끼치게 된다. 이를 해결하기 위하여 저작권 보호를 위한 사후적 방법으로 디지털 워터마크(Digital Watermark) 기술이 개발 되었다[1][2].

워터마크 기법은 사용목적에 따라 소유권을 주장하는

워터마크 기법과 인증을 위한 워터마크 기법으로 나눌 수 있다. 소유권 주장을 위한 워터마크 기법은 2인 이상의 디지털 데이터의 소유권 분쟁에서 원 저작권자의 소유권을 분명히 하기 위해 사용하는 것이다. 이러한 분쟁에서 디지털 데이터에 삽입 한 워터마크가 손상 될 경우 원 저작권자의 권리를 보호해줄 수 없게 된다. 이러한 손상은 원본 데이터를 복사, 편집, 전송을 할 경우 부득이하게 발생하는 경우가 있고 데이터의 불법적 이용을 목적으로 의도적으로 손상시키는 경우가 있다. 디지털 워터마크는 이러한 비의도적 손상, 의도적 공격에도 견딜 수 있어야 한다[3][4].

디지털 영상에 적용하는 워터마크 삽입기법으로는 크게 두 가지가 있다. 정지영상의 경우 공간영역 (spatial domain) 에서 워터마크를 삽입하는 방법이 있고 주파수 영역 (frequency domain) 의 변환 계수에 워터마크를 삽입하는 방법이 있다. 공간 영역 삽입 방법은 영상의 화소와 워터마크로 사용 될 값을 직접 계산하여 삽입을 하는 방법으로 이 방법은 다른 변환이 필요 없이 삽입을 하므로 계산

* 파엘테크원(주) ** 울산과학기술대학교(교신저자)

투고 일자 : 2009. 12. 23 수정완료일자 : 2010. 1. 27

계재확정일자 : 2009. 1. 29

이 쉽고 과정이 간단하다는 특징을 가지고 있다. 하지만 영상에 직접 가하는 압축 공격이나 손실압축 등 간단한 공격에도 워터마크가 쉽게 손상될 수 있는 단점이 있다. 두 번째로 주파수 영역 삽입 방법은 변환(transform)을 이용하여 영상을 주파수 스펙트럼으로 변환한 뒤 계수에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 사용자가 직접 보게 되는 영상을 화소 값 조작이 아닌 주파수 계수 조작으로 이루어지므로 워터마크를 삽입할 시 시각적으로 차이가 적게 나며 각종 공격에도 강하다는 장점을 가지고 있다. 최근 주파수 워터마크 기법은 DCT나 DFT, DWT를 이용한 연구가 진행되고 있다. DCT를 이용한 연구의 경우 DCT알고리즘에서 나타나는 블록화 현상이 단점으로 나타난다[5][6][7].

본 논문에서는 DWT(discrete wavelet transform)와 쿼드트리 알고리즘(quad-tree algorithm)을 기반으로 하는 디지털 워터마크 기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 DWT를 적용하여 분해한 영상에서 쿼드트리 알고리즘을 이용하여 워터마크를 삽입할 중요계수를 선택하였고 선택된 DWT계수에 Cox의 알고리즘을 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 쿼드트리 알고리즘을 이용한 디지털 워터마크의 성능 비교는 쿼드트리 알고리즘이 디지털 워터마크의 성능에 미치는 효과, DWT의 분할 단계(3, 4, 5, 6 level)와 부대역(LH, HL, HH)을 다르게 하여 워터마크를 삽입하였을 경우의 효과, 그리고 DWT 분할 영역 중 최저주파수 대역(LL밴드)에 일정비율의 워터마크를 삽입하였을 경우 나타나는 성능에 대하여 평가하였다. 실험 결과에서 쿼드트리 알고리즘을 이용한 디지털 워터마크는 DWT에서 고정된 분할영역의 중요계수에 워터마크를 삽입하였을 경우와 비교하여 추출된 워터마크의 상관도 값이 높아짐을 확인하였다. 또한 6단계 DWT 분할 영역에서 LL 부대역을 제외한 LH, HL, HH 대역에 워터마크를 삽입하였을 경우에 가장 좋은 결과를 보였다. 마지막으로 최저주파수대역에 일정 비율의 워터마크를 삽입하는 것이 최저주파수대역을 사용하지 않는 방법과 비교하여 실험한 공격에 강하면서 원본 영상에는 큰 영향을 끼치지 않음을 확인하였다.

서론에 이어 II절에서는 웨이블릿 변환과 일반적인 디지털 워터마크 삽입 기법에 대해 서술하였고, III절에서는 본 논문에서 제안한 쿼드트리 알고리즘을 디지털 워터마크 삽입기법에 대해 설명하였다. IV절에서는 모의실험과정과 결과를 보였고, V절에서 결론을 맺었다.

II. 관련이론

2.1 이산 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 스케일의 개념을 도입하여 영상신호 전체를 변환 영역으로 두고 있기 때문에 블록현상이 발생하지 않을 뿐만 아니라, 서로 다른 대역에 속하는 계수라도 위치정보와 변환 방향이 같을 경우 서로 종속성을 가지는 특징이 있으므로 영상을 효율적으로 압축할 수 있다. 부대역 코딩을 이용한 신호의 분리는 필터뱅크(filter bank)와

다운 샘플링(down sampling)을 통하여 수행된다. 필터뱅크는 스케일링 함수의 역할을 하는 저역통과필터($h_0(n)$)와 웨이블릿 함수의 역할을 하는 대역통과필터($h_1(n)$)로 구성된다.

그림 1은 2-D 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 영상신호를 4개의 밴드로 분리하는 예를 나타낸 것이다. LL로 표기된 부대역은 영상신호를 수평방향과 수직방향으로 모두 저역통과필터를 통과시킨 부대역을 나타내고, 낮은 주파수의 성분으로 구성된 영상신호의 계수들을 표현하고 있다. LL을 제외한 나머지 LH, HL, 그리고 HH는 영상신호의 경계를 표현하는데 각각 수평(horizontal), 수직(vertical), 그리고 대각(diagonal) 방향의 경계가 두드러지는 특징을 관찰할 수 있다. 만약 스케일을 바꾸어 이산 웨이블릿 변환을 수행할 경우에는 LL 밴드를 입력으로 하고 그림 1과 같은 과정을 반복적으로 수행하면 된다. 그림 2는 분리된 여러 부대역의 영상 정보를 이산 웨이블릿 변환의 역 과정을 이용하여 원래의 영상으로 복원하는 과정을 나타낸 것이다. ($g_0(n)$: 스케일링 함수의 역할을 하는 저역통과필터, $g_1(n)$: 웨이블릿 함수의 역할을 하는 대역통과필터)

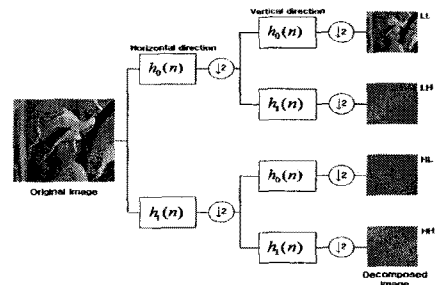


그림 1. 이산 웨이블릿 변환을 이용한 영상신호의 분리.

Fig. 1. Separation of image using DWT

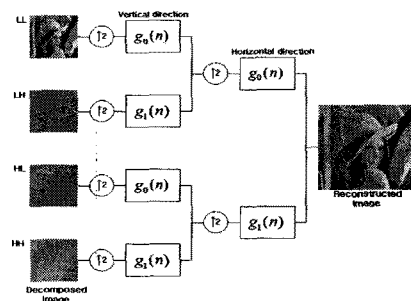


그림 2. 역 이산 웨이블릿 변환을 이용한 영상신호의 복원.

Fig. 2. Reconstruction of image using IDWT

2.2 일반적인 워터마크 삽입 기법

입력 영상의 워터마크 삽입 계수를 C 라 하고 삽입하고자 하는 워터마크를 W , 워터마크가 삽입된 영상의 계수를 C' 이라 하면 그림 3과 같이 표현할 수 있다.

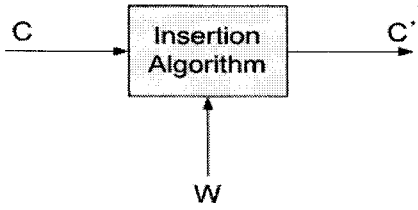


그림 3. 일반적인 워터마크 삽입 방법
Fig. 3. General watermark insertion technique

그림 3에서 사용되는 워터마크 W 는 저작권을 나타내는 표시인 영상, 텍스트 등을 삽입 가능한 형태로 변환한 것으로 본 논문에서는 Binary PN-Code를 사용하였다. 워터마크를 삽입할 계수는 공간 영역에서 삽입할 경우 영상의 화소를 직접 가져다 사용 하는 것이고, 주파수 영역에서 삽입한다면 주파수 변환 후의 계수 값을 사용하게 된다.

워터마크를 삽입하는 알고리즘으로는 Cox의 알고리즘을 주로 사용하는데 아래와 같은 식으로 표현 가능하다 [1][4][5].

$$C' = C + \alpha \times W \quad (1)$$

$$C' = C(1 + \alpha \times W) \quad (2)$$

C 는 워터마크를 삽입할 계수, α 는 워터마크 삽입 시 사용되는 가중치(Weight Factor)이고 C' 은 워터마크가 삽입된 계수이다. 가중치로 쓰이는 값의 크기가 커질수록 워터마크의 강도가 높아 공격에 강해진다는 장점이 있다. 하지만 그에 따라 영상의 질도 같이 손상되게 된다. 식(1)은 워터마크를 삽입하는 계수의 크기에 관련 없이 삽입하는 것이고 식(2)는 계수의 크기에 비례하여 삽입을 하는 방법을 나타낸 것이다. 본 논문에서는 식(2)와 같이 계수의 크기에 영향을 받는 방법을 사용하여 사용되는 계수의 크기가 클수록 워터마크의 영향이 더 크게 하였다.

III. 제안한 알고리즘

3.1 쿼드트리를 이용한 워터마크의 위치정보 추출

쿼드트리 알고리즘에서 중요계수들의 위치정보를 나타내기 위해 이용하는 쿼드트리는 이미지 분석법의 하나인 영역 방향성 세그먼트 기법(region-oriented segmentation) 중에서 이미지를 분할할 때 분할 정보를 나타내는 방법 중 하나이다. 그림 4의 쿼드트리 정보를 bit-stream으로 나타내면 1 1001 0000 0000 으로 나타낼 수 있다. 1은 분할이 가능함을, 0은 더 이상 분할이 불가능함을 의미한다. 그림 5에는 그림 4의 이미지를 쿼드트리로 나타내었다. 이와 같은 쿼드트리를 사용하여 중요계수의 위치를 나타내는 정보로 바꿀 수 있다. 이미지를 분할하는 조건은 분할 시 중요계수의 여부로, 중요계수가 있으면 분할하고 없으면 분할하지 않는다.

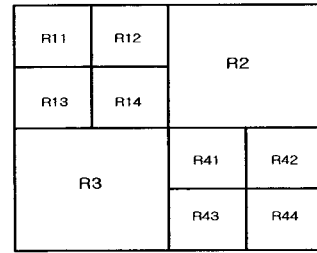


그림 4. 중요계수 선택을 위한 분할

Fig. 4. Decomposed image for the selection of significant coefficients

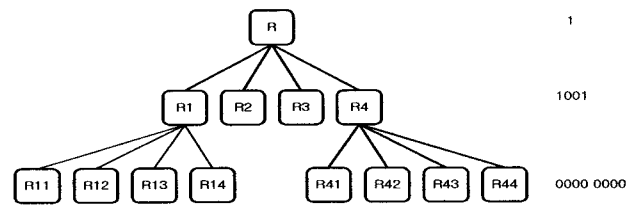


그림 5. 분할영상의 쿼드트리 표현

Fig. 5. Quad-tree representation of the decomposed image

3.2 워터마크 삽입을 위한 중요계수의 선택

워터마크를 삽입 할 중요 계수를 선택하는 것은 다음과 같은 과정으로 이루어진다. 어떤 임계값(T)의 범위에 들어가는 계수를 선택하는 것으로, 임계값을 T 라 하면 T 와 $2T$ 사이에 있는 계수들을 중요계수(significant coefficient)라 두고, 이 계수가 $2T$ 와 $(2T+T)/2$ 사이에 있으면 1, $(2T+T)/2$ 에서 T 사이에 있으면 0이라 둔다. 이렇게 구한 bit-stream을 이용하여 값을 결정하고, 이와 같은 방법으로 계수의 값을 결정하게 되면 임계값을 낮출수록 선택된 값의 중요도가 커지게 되고 이 임계값의 크기를 조절하여 삽입 할 워터마크의 수만큼 중요계수를 선택하게 된다.

3.3 쿼드트리 알고리즘을 이용한 디지털 워터마크 삽입 기법

쿼드트리 알고리즘을 이용하는 디지털 워터마크의 성능을 평가하기 위한 주요 실험으로는 쿼드트리 알고리즘이 디지털 워터마크의 성능에 미치는 효과, DWT의 분할 단계(3, 4, 5, 6 level)와 부대역(LH, HL, HH)을 다르게 하여 워터마크를 삽입하였을 경우의 효과, 그리고 DWT 분할 영역 중 최저주파수대역(LL밴드)에 일정비율의 워터마크를 삽입하였을 경우에 나타나는 성능에 대하여 확인하였다.

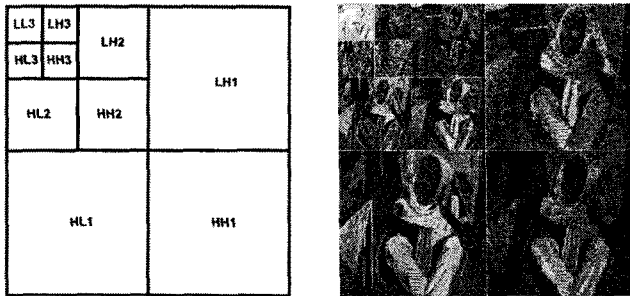
3.3.1 쿼드트리 알고리즘의 디지털 워터마크 효과

3단계 DWT 웨이블릿 변환을 이용하여 영상을 부대역으로 나눈 후에 쿼드트리 알고리즘을 이용하여 중요계수를 선택하고 워터마크를 삽입하였을 경우와 각 대역별(LH1, HL1, HH1, LH2, HL2, HH2)로 시각적으로 중요한 계수에

워터마크를 삽입하였을 경우의 실험 결과를 비교하였다. 그림 6의 다해상도로 분해된 각 부대역에서 가장 저주파 대역인 LL3는 워터마크를 삽입하지 않는다. LL3 대역은 영상에 대한 정보가 많이 포함되어 있기 때문에 정보의 손실 우려가 많기 때문이다. 쿼드트리 알고리즘을 이용한 워터마크 삽입 방법은 LL3 대역을 제외한 모든 부대역을 이용하여 중요계수를 선택한다. 각 부대역에서 시각적으로 중요한 계수에 워터마크를 삽입하는 방법은 중요계수를 구하기 위하여 해당 대역에서 절대값의 최대값을 구한다. 이때 절대값의 최대값을 X_i 라 하면, 식 (3)에 의해 각 대역의 임계값 T_i 를 구한다. 워터마크가 삽입되는 계수는 각 대역에서 임계값보다 큰 값을 가지는 계수가 된다.

$$T_i = \frac{2^{Fix[\log_2 X_i]}}{2} \quad (3)$$

여기서, $Fix[\cdot]$ 는 그 수를 넘지 않는 가장 큰 정수이다. 쿼드트리 알고리즘을 이용하는 워터마크 삽입 방법에서 워터마크의 수는 각 부대역에서 임계값보다 큰 값을 가지는 계수의 수와 같다.



(a) (b)
그림 6. 'Barbara' 영상의 웨이블릿 변환

Fig. 6. Wavelet transform result of 'Barbara' image

3.3.2 DWT 분할 단계와 부대역에 삽입되는 워터마크 효과

DWT 분할 단계와 부대역에 따른 워터마크 삽입은 그림 7과 같이 웨이블릿 변환 영역을 5구간(HH, LH, HL, LH/HL, all(LL3을 제외한 모든 영역))으로 구분하였을 경우에 각 구간별로 워터마크를 삽입하였을 시 나타나는 강인성 성능을 확인하였다. 또한 DWT 분할 단계를 3단계, 4단계, 5단계, 그리고 6단계로 분할하였을 경우에 대한 워터마크의 강인성 실험도 확인하였다. 그림 7(a)는 분해 영역 중 HH 대역만 모아놓은 것으로 영상에서 대각방향의 고주파 성분이 나타난다. 그림 7(b)는 수평방향의 고주파 성분(LH), 그림 7(c)는 수직방향의 고주파 성분(HL)이 나타나며, 그림 7(d)는 그림 7(b)와 그림 7(c)의 영역을 합쳐 놓은 것이다. 그림 7(e)는 최저주파수대역인 LL3을 제외한 모든 영역(LH, HL, HH)을 대상으로 중요계수를 선택 한 그림이다. 여기에서 워터마크는 1000개의 2진 PN 코드를 이용하였다.

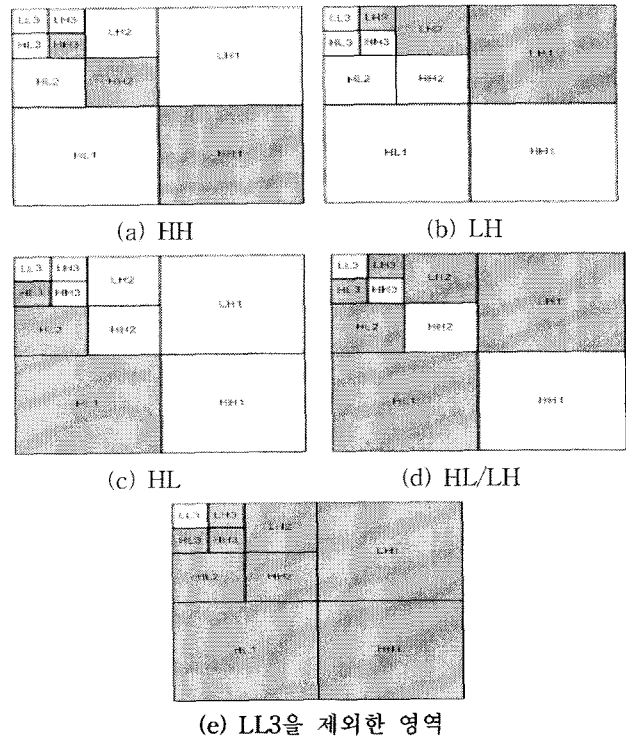


그림 7. DWT 분할 영역별 삽입 영역

Fig. 7. Decomposed regions to insert watermarks

3.3.3 DWT 분할 영역 중 LL 대역에 삽입되는 워터마크의 효과

DWT 분할 영역에서 LL3 대역은 다른 대역에 비하여 가장 큰 값의 분포를 가지고 있으므로 영상에 대한 각 계수들의 영향은 크고, 영상에 대한 정보가 많이 포함되어 있기 때문에 정보의 손실 우려가 있다. 이와 같은 이유 때문에 일반적으로 다른 연구에서는 LL3의 영향이 클 것이라 보아 사용을 하지 않았다. 본 논문에서는 LL3 대역에서 워터마크의 비가시성과 강인성이 trade-off 관계이므로 LL3에 삽입되는 워터마크의 최적화된 비율이 있을 것이라 가정하였다. 아래 그림 8에서 실험에 사용될 LL3은 짙은 음영으로 표시하였고 나머지 영역은 옅은 음영으로 표시하였다. 실험에서는 일단 LL3에 삽입될 워터마크의 비율을 정하고 LL3에서 중요계수를 선택하였다. 1000개의 워터마크 중 LL3에 삽입되는 수 이외의 개수는 나머지 영역을 대상으로 중요계수를 선택하여 삽입하였다.

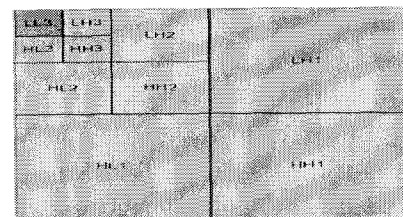


그림 8. LL3 대역의 효과 실험에 이용된 분해도
Fig. 8. Decomposition map to effect of the lowest frequency band(LL3)

워터마크를 고의로 파괴하거나 전송과정 중 파괴 될 수 있는 상황을 고려해야 하므로 워터마크 삽입영상에 잡음 삽입과 같은 공격을 취하고 공격으로 인해 오염된 영상으로부터 워터마크를 추출한다. 추출한 워터마크는 삽입 시 사용 되었던 원본 워터마크와 비교하여 상관계수 (correlation coefficient)를 구한다. 구한 상관계수의 크기는 사용 된 알고리즘의 강인성 척도로 사용하였다. 삽입된 워터마크와 추출된 워터마크간의 상관도를 측정하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있지만 본 논문에서는 다음의 식 (4)를 이용하였다.

$$NC(W, W^*) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i \times w_i^*}{\sum_{i=0}^n w_i^2} \quad (4)$$

여기서 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$, $W^* = [w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*]$ 이다. W 는 원래의 워터마크, W^* 는 추출된 워터마크, n 은 워터마크 시퀀스의 수이다.

IV. 실험 및 결과

쿼드트리 알고리즘을 이용하는 디지털 워터마크의 성능을 평가하기 위한 실험은 'Lena' 영상과 'Barbara' 영상에 대하여 Gaussian 잡음, Salt & Pepper 잡음, 그리고 JPEG 손실압축 공격을 이용하였다. 공격 후 상관도의 크기와 PSNR 값을 비교하였다. 실험에 이용된 워터마크는 2진 PN-Code로 구성되었다. 그림 9에서 전체 실험 과정을 실제 영상과 워터마크를 이용하여 나타내었다. 원본 영상에 2진 PN-Code로 이루어진 워터마크를 삽입하고, 워터마크가 삽입된 영상에 3가지 공격을 가한 뒤 공격으로 인해 오염된 영상에서 워터마크를 추출한다. 추출된 워터마크와 원본 영상에 삽입된 워터마크를 비교하여 상관도를 구하고 이를 강인성의 척도로 이용한다.

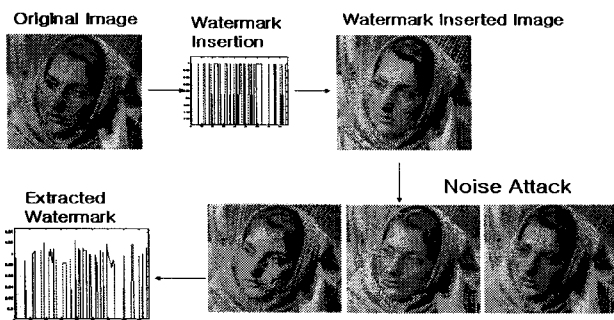


그림 9. 모의실험의 구성
Fig. 9. Simulation configuration

그림 10에서 워터마크를 삽입하는 과정을 보였다. 원본 영상을 DWT 분해한 뒤 삽입할 대역에서 쿼드트리 알고리즘을 이용하여 중요계수를 선택한다. 선택된 중요계수에 가

중된 PN-Code를 Cox의 알고리즘을 이용하여 삽입한다.

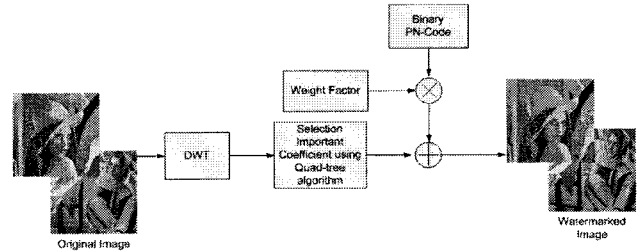


그림 10. 워터마크 삽입 과정
Fig. 10. Process of watermark insertion

그림 11에서는 공격으로 인해 오염된 영상으로부터 워터마크를 추출하는 과정을 보였다. 오염된 영상을 DWT 분해하여 워터마크를 추출, 삽입 시 사용한 원본 워터마크와 비교하여 상관도를 구한다. 이때 구한 상관도의 크기는 삽입 시 사용된 알고리즘의 강인성 척도로 이용된다.

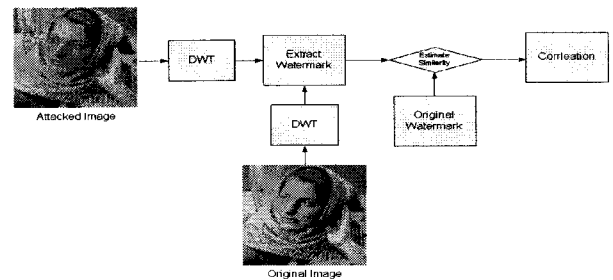


그림 11. 워터마크 추출 과정
Fig. 11. Process of watermark extraction

4.1 쿼드트리 알고리즘의 디지털 워터마크 효과

표 1에서 3단계 DWT 변환 대역별로 임계값을 이용하여 'Barbara' 영상에 워터마크를 삽입하고, Gaussian 잡음과 Salt & Pepper 잡음 공격을 가하였을 경우에 PSNR과 추출된 워터마크의 상관도를 보였다. 각 대역에 삽입되는 워터마크의 수는 임계값보다 큰 웨이블릿 계수의 수와 같으며 표 1에 나타내었다. 실험결과에서 각 대역에 잡음 공격을 가한 영상의 PSNR은 35dB 정도로 일정하였고, LH 대역이 다른 대역(HL,HH)과 비교하여 상관도값이 가장 큰 것을 확인하였다. 또한 DWT 변환 단계에서 2 단계가 3 단계 보다 전체적으로 상관도 값이 높게 나옴을 확인하였다. 여기서 3단계 DWT 변환 대역 중 2 단계의 LH 대역이 잡음 공격에 대한 강인성이 우수함을 확인하였다.

표 2에서는 쿼드트리 알고리즘을 이용한 워터마크 결과를 보였고, 삽입한 워터마크의 수는 임계값을 이용한 방법에서 구한 중요계수의 수와 같은 개수로 하였다. 실험결과를 임계값을 이용한 결과와 비교하면 전체적으로 PSNR은 비슷한 성능을 보였고, 상관도 값은 최대 0.34 정도 커짐을 확인하였다. 여기서 LL 대역을 제외한 모든 대역에 대하여 쿼드트리 알고리즘을 이용하여 중요계수를 선택하는 방법이 임계값을 이용하는 워터마크 방법보다 워터마크의 강인성이 향상되었음을 알 수 있다.

표 1. 임계값을 이용한 워터마크 결과

Table 1. Result of watermark in threshold value ('Barbara', Gaussian Noise: variance=0.0003(평균값:0), S&P Noise: density=0.001)

DWT subband	Gaussian		Salt & Pepper	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도
LH3(23)	35.91	0.67	35.19	0.66
HL3(41)	35.23	0.67	35.21	0.66
HH3(21)	35.56	0.62	35.21	0.61
LH2(51)	35.66	0.74	35.2	0.77
HL2(152)	35.56	0.73	35.21	0.75
HH2(234)	35.49	0.64	35.22	0.63

표 2. 쿼드트리 알고리즘을 이용한 워터마크 결과
Table 2. Result of watermark using quad-tree algorithm

('Barbara', Gaussian : variance=0.0003(평균값:0), S&P : density=0.001)

워터마크의 수	Gaussian		Salt & Pepper	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도
23	35.19	0.95	35.51	0.95
41	35.18	0.91	35.53	0.94
21	35.2	0.94	35.38	0.95
51	35.22	0.9	35.38	0.95
152	35.17	0.88	35.43	0.9
234	35.16	0.87	35.32	0.87

4.2 DWT 분할 단계와 부대역에 삽입되는 워터마크 효과

표 3에 쿼드트리 알고리즘을 이용하는 워터마크 방법에서 DWT level과 부대역을 다르게 하여 워터마크를 삽입하였을 경우의 실험 결과를 보였다. 전체적으로 PSNR 값은 비슷한 성능을 보이며 all 대역에 삽입하였을 경우가 다른 부대역들과 비교하여 최대 0.25 정도의 상관도 값이 증가하였고, HH 부대역의 상관도 값이 가장 작았다. 여기서 대각 방향의 고주파 성분을 나타내는 HH 대역은 웨이블릿 계수의 크기가 작게 분포하므로 워터마크의 강인성이 떨어짐을 알 수 있고, 수평방향과 수직방향의 고주파 성분을 보이는 LH, HL 대역은 상대적으로 웨이블릿 계수 값이 크고 워터마크의 강인성도 좋아짐을 확인하였다. 또한 삽입하는 위치를 결정하는 영역이 넓어질수록 삽입 되는 계수로 선택되는 값의 크기가 커져서 강인성이 좋아짐을 확인하였다.

DWT 분할 단계를 다르게 하였을 경우의 실험결과는 6 단계에서 all 영역을 이용하였을 경우가 워터마크의 상관도 값이 가장 증가하였다. 여기서 DWT 분할 단계가 높을수록 LL 대역을 고주파 대역으로 분할함으로써 웨이블릿 계수 값이 커지고 분할된 고주파 대역에 삽입되는 워터마크의 강인성도 향상됨을 알 수 있다.

표 4에서는 JPEG 손실압축 공격을 가하였을 경우의 실험 결과를 보였다. 워터마크가 삽입되는 영역은 표 3에서 가장 좋은 결과를 보인 all 영역을 이용하였고, QF(Quality Factor)를 다르게 하여 손실 압축 정도에 따른 PSNR과 상관도 값을 나타내었다. 실험 결과에서 손

실 압축을 크게 할수록 PSNR과 상관도 값이 감소하였고, DWT 분할 단계를 다르게 하였을 경우에는 3 단계와 비교하여 6 단계가 PSNR 성능은 최대 3dB 정도 낮아지거나 상관도 값은 최대 0.35까지 증가함을 확인하였다.

표 3. DWT level 과 부대역에 대한 워터마크 결과
Table 3. Result of watermark in each subband and DWT level

DWT level	LH		HL		HH		LH, HL		all	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도
3 level	35.23	0.65	35.19	0.72	35.2	0.66	35.2	0.71	35.21	0.74
4 level	35.22	0.68	35.2	0.81	35.21	0.68	35.22	0.86	35.19	0.89
5 level	35.18	0.67	35.21	0.86	35.21	0.68	35.18	0.9	35.19	0.92
6 level	35.19	0.68	35.18	0.88	35.21	0.69	35.18	0.91	35.18	0.93

(a) Lena (Gaussian Noise: variance=0.0003(평균값:0))

DWT level	LH		HL		HH		LH, HL		all	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도
3 level	35.67	0.75	35.56	0.78	35.5	0.65	35.24	0.7	35.89	0.74
4 level	35.49	0.76	35.54	0.81	35.28	0.59	36.06	0.88	35.16	0.89
5 level	36.13	0.76	35.13	0.81	34.8	0.66	35.76	0.89	35.06	0.92
6 level	35.74	0.76	35.05	0.89	35.68	0.62	35.32	0.89	35.61	0.93

(b) Barbara (S&P Noise: density=0.001)

표 4. DWT level에서 JPEG 압축을 이용한 워터마크 결과

Table 4. Result of watermark using JPEG compression in each DWT level

DWT level	JPEG Quality Factor							
	90%		70%		50%		30%	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도
3 level	44.13	0.97	34.82	0.84	33.14	0.72	30.36	0.46
4 level	43.16	0.99	34.68	0.93	33.06	0.85	30.31	0.69
5 level	41.78	0.99	34.46	0.96	32.89	0.91	30.23	0.79
6 level	40.49	0.99	34.2	0.97	32.71	0.92	30.13	0.81

(a) Barbara

DWT level	JPEG Quality Factor							
	90%		70%		50%		30%	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도
3 level	40.49	0.98	37.18	0.9	35.7	0.79	34.21	0.6
4 level	39.96	0.99	36.93	0.95	35.51	0.89	34.08	0.77
5 level	39.22	0.98	36.54	0.96	35.24	0.91	33.87	0.8
6 level	38.52	0.99	36.19	0.97	34.98	0.92	33.71	0.81

(b) Lena

3) DWT 분할 영역 중 LL 대역에 삽입되는 워터마크의 효과

표 5에서 전체 워터마크의 수 (1000개) 중에서 일부분을 LL 대역에 삽입하였을 경우의 실험결과를 보였다. DWT 분할 단계는 3 단계와 4 단계를 이용하였으며, 실험 결과에서 보면 LL 대역에 삽입되는 워터마크의 비율이 커질수록 PSNR은 최대 3dB 정도 낮아지거나 상관도 값은 최대 0.2 정도 증가함을 보였다. 또한 4 단계가 3

단계와 비교하여 PSNR은 1 dB 정도 낮아지나 상관도 값은 최대 0.14 향상되었다. 여기서 LL 대역은 분포된 계수가 전체적으로 큰 값을 가지고 이로 인해 영상의 가시적인 부분에 많은 영향을 끼치지만 분포된 값의 크기가 큰 만큼 워터마크를 삽입하였을 경우 공격에 대해 살아남을 확률이 크다는 것을 확인하였다. 따라서 워터마크 삽입 시 DWT 계수 중 최저주파수대역의 계수에 전체 삽입 할 워터마크 중 약 30~60%의 비율을 삽입함으로써 영상에 최대 3dB 정도의 손실이 있지만 영상을 보호할 수 있는 방법으로 활용할 수 있음을 알 수 있다.

표 5. LL 대역에 삽입되는 워터마크 비율에 대한 결과
Table 5. Result of the ratio of watermark in LL subband

DWT level	Number of watermark in LL band									
	0		100		300		500		700	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도
3 level	35.21	0.74	34.54	0.75	33.66	0.84	32.41	0.93	32.12	0.94
4 level	35.19	0.89	33.99	0.89	32.66	0.93	31.95	0.95	31.94	0.95

(a) Lena (Gaussian Noise: variance=0.0003(평균값:0))

DWT level	Number of watermark in LL band									
	0		100		300		500		700	
	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도	PSNR	상관도
3 level	35.89	0.74	35.27	0.79	33.69	0.9	32.13	0.94	31.66	0.97
4 level	35.16	0.89	34.44	0.91	32.69	0.92	31.89	0.97	31.68	0.97

(b) Barbara (S&P Noise: density=0.001)

V. 결론

본 논문에서는 DWT와 쿼드트리 알고리즘을 기반으로 하는 디지털 워터마크 기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 DWT를 이용하여 분해한 영상을 쿼드트리 알고리즘을 이용하여 워터마크를 삽입할 중요계수를 선택하였고 선택된 DWT계수에 Cox의 알고리즘을 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 실험결과에서 LL 대역을 제외한 모든 대역에 쿼드트리 알고리즘을 이용하여 중요계수를 선택하는 방법이 임계값을 이용하는 워터마크 방법보다 워터마크의 강인성이 향상되었고, 삽입하는 위치를 결정하는 영역이 넓어질수록 삽입 되는 계수로 선택되는 값의 크기가 커져서 워터마크의 강인성이 좋아짐을 확인하였다. DWT 분할 단계가 높을수록 LL 대역을 고주파 대역으로 분할함으로써 웨이블릿 계수 값이 커지고 분할된 고주파 대역에 삽입되는 워터마크의 강인성도 향상됨을 알 수 있었다. 또한 LL 대역은 분포된 계수가 전체적으로 큰 값을 가지고 이로 인해 영상의 가시적인 부분에 많은 영향을 끼치지만 분포된 값의 크기가 큰 만큼 워터마크를 삽입하였을 경우 공격에 대해 살아남을 확률이 크다는 것을 확인하였다. 따라서 워터마크 삽입 시 DWT 계수 중 최저주파수대역의 계수에 전체 삽입 할 워터마크 중 약 30~60%의 비율을 삽입함으로써 영상에 최대 3dB 정도의 손실이 있지만 영상을 보호할 수 있는 방법으로 활용할 수 있을 것이다.

향후에는 웨이블릿 패킷을 이용하여 중요계수를 선택하

는 방법으로 발전시킬 수 있고, 영상, 텍스트, 숫자 등 워터마크의 종류에 따른 적용된 워터마킹 기법에 대한 연구가 필요하리라고 본다.

참고 문헌

- [1] Serdean, C.V, Ibrahim, MK, Moemeni, A, Al-Akaidi, M.M, "Wavelet and multiwavelet watermarking", IET, Image Processing, Volume 1, Issue 2, pp. 223-230, June 2007
- [2] V. Potdar, S. Han, E. Chang, and C. Wu, Subjective and Objective Watermarking Detection using a Novel Approach Bar-code Watermarking, Digital Ecosystems and Business Intelligence Institute, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia, pp. 355-403, 2007.
- [3] Wang, X., Zhao, H, "A Novel Synchronization Invariant Audio Watermarking Scheme Based on DWT and DCT", IEEE Trans. on Volume 54, Issue 12, pp. 4835-4840, December 2006
- [4] F. Huo and X. Gao, "A Wavelet Based Image Watermarking Scheme", Proceeding of the IEEE Int. Conf. Image Processing, pp.2573-2576, October 2006.
- [5] G. Xie and H. Shen, "A New Fusion Based Blind Logo-Watermarking Algorithm", IEICE Trans. INF. & SYST., vol. E89-D, pp. 467-477, July 2006.
- [6] 안중구, 이승협, 추형석, "고주파 서브밴드를 이용한 임계 계층적 블록 매칭 알고리즘에 관한 연구", 한국신호처리·시스템학회논문지 7권 4호 pp.155-160, 2006년
- [7] 안중구, 추형석, "쿼드트리 알고리즘을 이용한 비디오 서브밴드 코딩", 한국신호처리·시스템학회논문지, 6권 3호 pp.120-126, 2005.



강 중 순(Jung-Sun Kang)

1983년 2월 울산대 전자공학과(공학사)
1989년 2월 고려대 전자공학과(공학석사)
1991년 3월 ~ 현재 울산과학기술대 전기전자학부 교수
※주관심분야 : 통신, 상관기, DSP 응용분야



추 형 석(Hyung-Suk Chu)

1997년 2월 울산대 전자공학과(공학사)
1999년 2월 울산대 전자공학과 (공학석사)
2003년 8월 울산대 전자공학과(공학박사)
2004년 9월 ~ 2008년 2월 울산대 전기전자정보시스템공학부 강의전담교수

2007년 1월 ~ 현재 파웰테크윈(주) 책임연구원
※주관심분야 : 디지털신호처리, DSP 응용 분야