
주파수 영역에서 웨이브릿 변환을 이용한 디지털 이미지의 효과적인 보호

최우진* · 오무송**

The Effective Protection Mechanism for Digital Images
using Transform of the Wavelet in Frequency Domain

Woo-Jin Choi* · Moo-Song Oh**

요 약

지난 몇 년 동안 인터넷 기반의 디지털 콘텐츠의 신장으로 인하여 디지털 이미지의 기술과 사용이 대폭 늘어나면서 디지털 이미지의 보호에 대한 필요성이 대두되었다.

이러한 디지털 이미지에 대한 저작권 보호를 위해서는 이미지의 내용 인증과 소유권 인증, 불법 복제 등을 확인할 수 있는 인증 기술이 요구된다.

눈에 띄지 않는 암호인 디지털 워터마크를 이미지에 삽입하는 기술인 디지털 워터마킹은 이미지의 투명성과 견고성을 제공해야 하며, 이를 위하여 정교한 인지 정보가 워터마킹 처리에 사용되어야 한다. 본 논문에서는 인간 중심의 시각 시스템의 관점에서 주파수 기반의 워터마크인 웨이브릿 변환을 통한 저작권 보호와 인증과 위조 방지에 대한 알고리즘을 구현하고자 한다.

ABSTRACT

The use of digital imaging technique and digital contents based on internet has grown rapidly for last several years, and the needs of digital image protection become more important.

For the purpose of copyright protection on digital image, the verification of authentication techniques like content authentication, ownership authentication, illegal copy and etc are needed.

Digital watermarking, the invisible encryption technique to insert digital watermark into image, the sophisticated perceptual information should be used for providing transparency and robustness of images on watermarking process.

In this paper, we implement the algorithm for preventing forged attack, ownership protection and authentication by transforming the wavelet algorithms in frequency domain in terms of human visual system.

키워드

Watermarking, Digital Image, Wavelet Algorithms

* 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과
접수일자 : 2002. 10. 18

** 조선대학교 전자정보공과대학 컴퓨터공학부

1. 서론

디지털 이미지는 네트워크를 통하여 시간과 공간을 초월하여 여러 지역으로 널리 확산되고 있다. 최근에 대두된 디지털 콘텐츠에 대한 인증과 보호 기술에 이용되는 디지털 워터마크는 소유자가 만들어 낸 기술과 관련 작업에 대한 지적 재산을 주장할 수 있는 하나의 표시로 사용된다. 디지털 워터마크가 실용화된 것은 IBM사의 디지털 바티칸 도서관 프로젝트에서 시각적인 디지털 워터마크를 사용하게 되면서부터이다.[1]

영상 처리와 잡음(noise) 처리에 약하다는 단점을 가진 공간 영역(spatial domain)을 이용한 디지털 워터마크, 주파수의 계수 변환을 이용하는 주파수 영역(frequency domain)을 이용한 디지털 워터마크, 압축 영역을 이용한 디지털 워터마크로 분류한다. 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 DWT(Discrete Wavelet Transform 이산 웨이블릿 변환), DCT(Discrete Cosine Transform 이산 코사인 변환), DFT(Discrete Fourier Transform 이산 푸리에 변환)으로 구분되며, 공간 영역에서 디지털 워터마크를 삽입하는 것보다 공격에 대해 더욱 견고하다.[2,3]

본 논문에서는 주파수 영역에서 DWT 변환을 이용해 2차원 이미지를 대역별로 각기 다른 신호로 분할한 후, 분할된 저주파 성분과 고주파 성분에 다른 값의 임계치(Threshold Value)를 적용함으로써, 조정된 계수 간에 시각 특성을 이용한 워터마킹으로 이미지의 손실을 최소화하면서 공격에 대한 견고성을 향상시키는 알고리즘을 구현하고자 한다.

II. 디지털 워터마크

A. 디지털 워터마크의 개념

디지털 콘텐츠에 대한 방어와 보호 대책의 한 수단인 디지털 워터마킹은 소유자가 만들어 낸 기술과 관련 작업에 대한 디지털 콘텐츠의 지적 재산을 보호하기 위한 기술이다. 디지털 워터마크는 일반적인 관점에서 이미지 내에서 보이지 않아야 하는 투명성, 선형이나 비선형 연산에 의해 이미지가 변경될 지라도 삽입된 워터마크는 검출되어야 하는 공격에

대한 견고성, 워터마킹 기술이 독립적으로 입증할 수 있는 개개의 워터마크가 포함된 이미지 내에 복수개로 삽입되는 다중 워터마크가 허용되어야 하는 사용 능력을 가져야 한다.[4]

워터마킹 알고리즘은 그림 1과 같은 절차로 수행된다. 워터마킹 알고리즘은 워터마크가 이미지에 포함되었는지를 확인하기 위한 이미지 테스트를 위해 정의된다. 디지털 워터마킹 알고리즘의 요소는 Watermark, Marking algorithm, Verification algorithm으로 이루어진다. 워터마크는 이미지에 포함시킬 소유자와 내용에 대한 정보를 포함하는 특별한 표시이다. Marking algorithm은 이미지가 변경되었는지를 판단하고, 변경된 이미지에 대한 국한된 정보를 공급할 수 있어야 한다. Verification algorithm은 이미지의 소유자와 이미지의 완전함을 판단하여, 이미지가 인증된 것임을 증명한다.

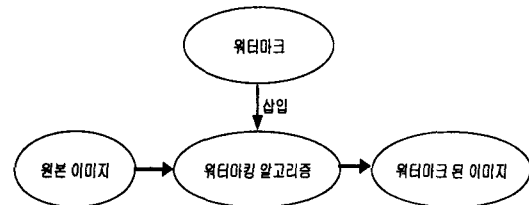


그림 1. 디지털 워터마킹 알고리즘

알고리즘은 워터마킹으로 인한 이미지의 품질 저하를 가져와서는 안 되며, 시각적으로 눈에 띄지 않아야 한다. 또한, 워터마크 된 이미지에 대한 명확한 소유권 인증이 가능해야 하며, 워터마크가 임의의 사용자에게 탐색되어서는 안 된다.

B. 디지털 워터마크의 영역별 분류

디지털 워터마크는 공간 영역에서, 주파수 영역에서 계수 변환에 의해서, 압축 영역에서 손실 압축에 의해서 삽입 방법으로 구분할 수 있다.[5]

공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 알고리즘은 삽입하려는 디지털 이미지의 픽셀 값의 미세한 변화를 워터마크로 사용하여 공간상에 분산시켜서 쉽게 구별할 수 없도록 하는 기술이다. 장점이라면 워터마크 삽입 절차가 간단하다는 것과, 빠르게 수행될 수 있다는 점이다. 그러나 손실 압축이나 필터링에 취약

한 단점이 있다. 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 알고리즘은 이미지 데이터를 여러 가지 변환 알고리즘을 통한 변환으로 주파수 공간으로 변환한 후 시각적으로 덜 민감한 부분에 워터마크를 삽입하기 때문에 손실 압축에 의한 이미지의 손상에 견고하다. 압축영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 빠르기 때문에 동영상에 워터마크를 삽입할 때 많이 사용하지만 포맷 전환에 약한 단점을 가진다.

대역 분할을 나타낸다. 입력 이미지는 행 방향으로 필터링의 반복에 의해서, 열 방향으로 간축(decimation)의 반복에 의해서 각 대역별로 분할된다. 여기서 (dr, dc)↓는 행(R)과 열(R) 방향으로 각각 dr, dc 만큼의 간축을 표현한다. 행방향의 필터링의 반복인 F1(R)과 F2(R)는 주파수 분할 시의 저역통과필터(low pass filter)와 고역통과필터(high pass filter)를 나타낸다.

III. 주파수 영역에서 웨이브릿 알고리즘에 의한 디지털 워터마킹

A. 이산 웨이브릿 변환을 이용한 워터마킹

웨이브릿 변환에 의해 이미지는 저주파 성분(LL), 수평 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분(LH), 수직 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분(HL), 대각선 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분(HH)으로 분할된다.

웨이브릿의 기저 함수는 웨이브릿 기저의 크기와 위치로 표현되는 식 1과 같고, 여기서 웨이브릿은 $\Psi_{(s,p)}(x)$ 로 정의된다. 식 2는 직교 웨이브릿 변환 함수식으로 분석 필터 बैं크와 합성 필터 बैं크가 똑같은 웨이브릿 함수에서 유도된다. 여기서 s는 웨이브릿 기저의 크기이고, p는 웨이브릿 기저의 위치를 나타낸다.

$$\Psi_{(s,p)}(x) = \frac{1}{2^{\frac{s}{2}}} \Psi\left(\frac{1}{2^s} \frac{x-p}{2^{\frac{s}{2}}}\right) \text{-----(1)}$$

$$wp = \int_{-\infty}^{\infty} F(x) \Psi_{(s,p)}(x) dx \text{-----(2)}$$

웨이브릿 변환은 스케일(scale)을 조정함으로써 시간 및 주파수 상의 배치 상태를 변경할 수 있다. 작은 값의 스케일에 대해서는 짧은 시간 길이와 높은 주파수를 갖고, 반면에 큰 값의 스케일에 대해서는 긴 시간 길이와 낮은 주파수를 갖기 때문에 짧은 시간 길이에 존재하는 고주파 성분의 분석에 훨씬 효율적이다.

그림 2는 웨이브릿 변환을 이용한 2차원 이미지의

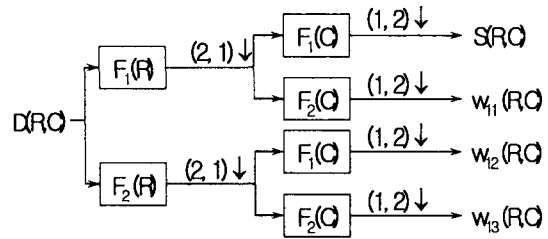


그림 2. 웨이브릿 변환을 이용한 이미지 대역분할

그림 3은 웨이브릿 변환을 이용한 2차원 이미지의 대역 합성을 나타내며 그림 2와는 반대로 나타난다. (dr, dc)↑는 행(R)과 열(C) 방향으로 dr, dc 만큼의 보간이며, 행 방향으로 f1(R)과 f2(R)는 각각 합성시 of 저역통과 필터와 고대역 통과 필터를 나타낸다.

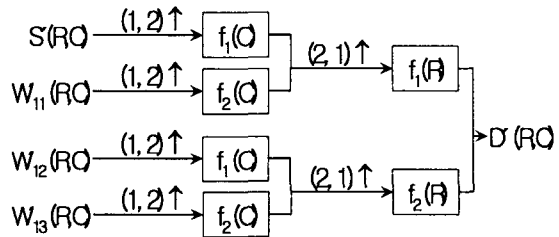
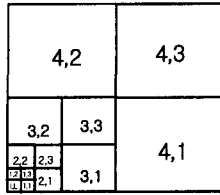


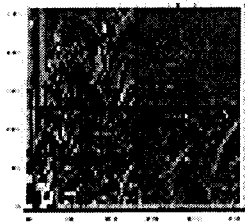
그림 3. 웨이브릿 변환을 이용한 이미지 대역합성

B. 워터마크 삽입 알고리즘

주파수의 분할 단계를 반복하면 다중해상도 분할의 특성을 얻을 수 있다. 그림 4의 (a)와 같이 대역 분할을 4 단계 반복하면 주파수별로 13 개의 대역으로 분할된 이미지를 얻을 수 있다. 다중해상도로 분할된 이미지는 각 대역별 이미지의 특성에 적합한 방식으로 양자화할 수 있다.



(a) 4단계 웨이브릿 변환 구조



(b) Lenna 영상의 4단계 웨이브릿 변환

그림 4. 4단계 웨이브릿 변환 구조

그림 4 (a)의 4단계 웨이브릿 변환 구조를 보면 저주파 성분은 LL로 표현하였다. LH의 요소는 ((1,2), (2,2), (3,2), (4,2))이며, HL의 요소는 ((1,1), (2,1), (3,1), (4,1))이며, HH의 요소는 ((1,3), (2,3), (3,3), (4,3))로 표현된다. 고주파 대역에서 웨이브릿 변환 계수들의 집합은 LH, HL, HH의 요소들을 묶어서 각각에 임계치 t_i 를 설정하여 각 계수들의 절대값 크기 순으로 워터마크를 삽입한다. 인접 계수 간의 차이가 큰 계수 쌍들은 기저 대역의 에지에 해당하며, 에지부분에 워터마크를 삽입하면 이미지에 품질 저하를 가져온다. 여러 단계의 웨이브릿 변환을 거치면 단 하나의 LL 대역의 계수의 변경으로도 원본 이미지에서 8×8 픽셀 단위로 블록화 현상이 일어난다. 이 블록화 현상을 방지하기 위해 임계치를 기준 값으로 하여 임계치와 차가 큰 계수의 쌍을 워터마크 삽입 대상에서 제거하여 해결하였다. 식 3은 각 대역별 임계치 설정 범위를 산출하는 식이다.

$$T > |LL(i, j) - LL(i, j+1)| \geq t_i \quad (3)$$

워터마크 삽입 과정을 보자.

첫째, 소유권자와 이미지 내용에 대한 정보를 포함하는 워터마크를 생성한다.

둘째, 4단계 웨이브릿 변환을 통하여 원본 이미지

를 주파수 영역으로 변환하며, 고주파 대역에서는 계수의 절대치 기준의 임계치를 설정한다.

셋째, 주파수 영역에서 워터마크를 삽입할 저주파 성분(LL) 영역과 수평 방향과 수직 방향과 대각 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분 영역에 임계치를 설정한다.

넷째, 설정한 임계치를 적용하여 식 4와 같이 웨이브릿 변환에 의해서 워터마크를 삽입한다.

$$D'_C = D_C(1 + aW_C) \begin{cases} |D_C| > t_i \text{일 경우} \\ D'_C = D_C \end{cases} \quad \text{그 외의 경우}$$

----- (4)

DC는 정해진 해상도 계층과 정해진 주파수 방향에 따른 원본 이미지의 주파수 영역에서의 웨이브릿 계수의 값, D'_C 는 워터마크가 삽입된 이미지의 주파수 영역에서의 웨이브릿 계수의 값, W 는 워터마크 순서, 주파수 방향과 일치되는 t_i 는 임계치를 나타낸다.

스케일 매개변수 a 는 워터마크의 크기 조절을 위해서 사용한다.

다섯째, 워터마크가 삽입된 계수의 시퀀스를 역이산 웨이브릿 변환하여 워터마크된 이미지를 생성한다.

스케일 매개변수 a 는 변환 단계에 따라 식 5에서 산출하며, 여기서 N 은 웨이브릿 변환의 단계를 나타내고, i 는 계수 값들의 집합 D 의 순서이다. 변환 단계에 따라 데이터가 감소하게 되는 특성을 고려하여 전체의 스케일 매개변수를 적당한 값으로 설정하고 ($a = 0.5$), 개개의 대역에 감소 비율을 정하여 서로 다른 값의 스케일 매개변수를 적용시켜서 실험하였다. N 은 DWT 변환 단계를 반복할 때마다 1씩 증가시킨다.

$$a_i = \frac{2^{N-i}}{2^N - 1} \times 0.5 \quad (5)$$

C. 워터마크 추출과 인증 알고리즘

워터마크의 추출은 삽입 단계의 역추적 과정이다. 워터마크를 추출하기 위해서는 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 이미지 각각에 대하여 웨이브릿 변환

을 한 후 계수 간의 차를 구한 후, 그 값에 임계치를 적용하여 삽입된 워터마크를 추출한다. 추출 과정은 첫째, 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 이미지를 각각 웨이브릿 변환에 의해 주파수 대역으로 변환한다. 둘째, 변환된 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 이미지 사이의 계수 값의 차를 구한다. 셋째, 임계치를 설정하여, 그 임계치를 앞 단계에서 구한 값에 적용하여 워터마크가 삽입된 위치를 찾아내고 추출한다. 넷째, 원본과 추출된 워터마크 사이의 유사도를 측정한다. 유사도 측정은 상관 관계를 이용한 유사도 측정 알고리즘으로 수행한다. 이미지에 워터마크가 제대로 삽입되었는지를 확인하기 위해서 상관 계수를 이용하여 추출된 워터마크와 원래의 워터마크 사이의 상관 관계를 분석함으로써 확인할 수 있다.

유사도는 식 6과 식 7에 의해서 측정할 수 있다. 식 6에서 S_{ww^*} 는 w 와 w^* 사이의 표준 상관 관계 계수이다. w 가 w^* 와 동일하면 상관 계수는 1에 가깝다. 또 w 와 w^* 가 독립적이라도 S_{ww^*} 는 정상적으로 분산된다. 설정된 임계값 T_s 는 워터마크 추출에 이용한다. 식 7에서 S_{ww^*} 가 T_s 값보다 크면 워터마크가 추출되고, S_{ww^*} 가 T_s 값보다 같거나 작으면 추출되지 않은 것이다. 이 때 W 는 원본의 워터마크이고, W^* 는 워터마크된 이미지로부터 추출된 워터마크로써 각종 이미지 처리나 잘못된 전송에 의해 변형되었으리라 추측되는 워터마크일 것이다.

$$S(ww^*) = \frac{w \cdot w^*}{\sqrt{w^* \cdot w^*}} \quad (6)$$

$$S_{ww^*} = \frac{w \cdot w^*}{\sqrt{w^* \cdot w^*}} / \frac{w \cdot w}{\sqrt{w \cdot w}} \times 100 \quad (7)$$

$S_{ww^*} > T_s$ (워터마크 추출),
 $S_{ww^*} \leq T_s$ (워터마크 추출 실패)

식 7에서 상관 계수는 공분산을 각각의 표준편차로 나누어서 표준화한 것으로 -1에서 1까지의 값을 갖는다. w 와 w^* 의 선형 상관관계가 강할수록 상관 계수의 절대값이 1에 가깝고, 약할수록 상관 계수의 절대값이 0에 가깝다.

워터마크가 삽입된 이미지의 변형이나 삽입된 워터마크를 제거하기 위한 다양한 공격(Attack) 형태의 이미지 처리를 한 경우에 검출되는 워터마크를 인증할 필요가 있다. 유사도 측정 알고리즘에 의해서 추출된 워터마크가 최초의 소유자의 정보가 담긴 워터마크인지는 통계학적으로 검출하였다. 그림 5는 워터마크 추출 및 소유권 인증 절차를 나타낸 도식이다.

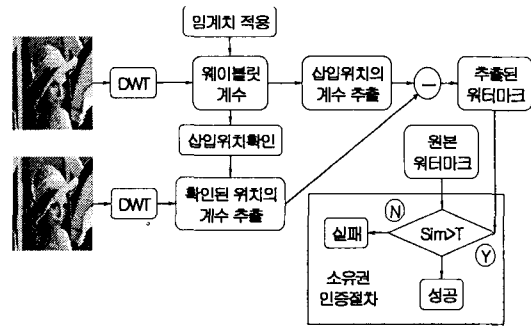


그림 5. 워터마크 추출 및 인증 절차

IV. 결 론

본 논문에서는 디지털 콘텐츠에 소유권을 보호하기 위한 워터마크 삽입 알고리즘에 웨이브릿 변환에 의한 계수의 특성을 이용하여, 분할된 주파수의 대역별로 각기 다른 임계치를 적용하였다. 저주파 영역에서는 계수 값의 차를 이용하여 임계치보다 큰 값들은 제거한 후에 워터마크를 삽입하였고, 고주파 영역에서는 계수 간의 차가 적으므로 절대값의 크기를 이용하였다.

워터마크의 추출은 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 이미지에 역-웨이브릿 변환을 수행하여 계수의 차를 구하고, 임계치를 적용하여 이루어진다. 추출된 워터마크를 인증하기 위해 상관 관계를 이용하여 유사도 측정 실험을 하였다. 저주파 성분에서 추출된 워터마크의 상관 계수가 1에 가까운 값을 나타내면 견고성이 뛰어나며, 고주파 성분에 삽입한 워터마크의 상관 계수는 비교할 필요도 없이 견고함을 확인하였다. 실험결과는 손실 압축, 잡음 첨가, 필터링에 대하여 견고성과 이미지의 품질이 향상되었음을 알

수 있었다.

향후 방향은 다양한 공격의 형태인 손실 압축, 회전, 필터링, 크로핑, 리샘플링 등에 의해 여러 단계로 변환된 이미지에 대한 워터마크 검출 기법과 인증에 대하여 연구할 것이다.

참고문헌

[1] M. D. Swanson, M. Kobayashi, and A. H. Tewfik, "Multimedia data embedding and watermarking technologies", to appear in Proceedings of the IEEE, 1998.

[2] I. J. Cox and M. L. Miller, "A review of watermarking and the importance of perceptual modeling", Proceedings of the SPIE International Conference on Human Vision and Electronic Imaging II, Feb. 10-13, 1997, San Jose, CA, USA, pp. 92-99.

[3] M. Kutter and F. Hartung, "Image watermarking techniques", to appear in Proceedings of the IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information, 1999.

[4] I. J. Cox, "Spread-spectrum techniques for image watermarking", to appear in Proceedings of the IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information, 1999.

[5] B. Schneier, Applied Cryptography, Second Ed., Wiley & Sons, 1996.

저자소개



최우진(Woo-Jin Choi)

1993년 8월 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사
 1999년 8월 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정 수료
 1997년 3월-현재 순천청암대학 조교수

※ 관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 영상통신



오무송(Moo-Song Oh)

1968년 9월 조선대학교 전기공학부 공학석사
 2001년 2월 전남대학교 전기공학과 공학박사
 1988.3-1990.1 조선대학교 컴퓨터공학과 학과장

1999.1-1999.4 조선대학교 컴퓨터공학부 학부장

1999.4-1999.11 조선대학교 산업대학원장

1988년-현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 영상통신