

특집논문-01-6-1-04

## JPEG2000을 위한 디지털 워터마킹

서용석\*, 주상현\*, 정호열\*\*

### Digital Watermarking for JPEG2000

Yong-Seok Seo\*, Sanghyun Joo\* and Ho-Youl Jung\*\*

#### 요약

본 논문에서는 최근 제정된 국제 영상압축 표준안인 JPEG2000 시스템에 쉽게 내장할 수 있는 새로운 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 웨이블릿 변환 후 워터마크를 삽입하는 기존 웨이블릿 변환 기반 워터마킹 방식들과는 달리, 제안된 방식은 웨이블릿 변환을 위한 lifting 과정 중에 발생된 변환 계수 값에 워터마크를 삽입하는 방식이다. 제안된 방식은 워터마크가 삽입될 계수의 주파수 성분을 사용자가 선택할 수 있기 때문에 압축을 위한 웨이블릿 변환 필터군이 노출된 경우에도 삽입된 워터마크를 제거 또는 변형하기가 쉽지 않다는 특성을 가지고 있다. 시뮬레이션을 통해, 제안된 방법이 각종 공격에 강인하며, 웨이블릿 변환 후 워터마크를 삽입하는 기존 웨이블릿 변환 기반 워터마킹 방식에 비해 보다 안전한 방식임을 보였다.

#### Abstract

In this paper, we propose a DWT (Discrete Wavelet Transform) based watermarking method, which can be conveniently integrated in the up-coming JPEG2000 baseline system. Although Conventional DWT based watermarking techniques insert watermark signal into wavelet coefficients after the transform, our proposed method embeds a watermark into wavelet coefficients obtained from the ongoing process of lifting for DWT. The proposed method allows us to selectively determine frequency characteristics of the coefficients where the watermark is embedded, so that the inserted watermark cannot be removed or altered even when the filter-bank for DWT is known. Through the simulation, we show that the proposed method is more secure and more robust against various attacks than conventional DWT based watermarking techniques.

*keyword* : Watermarking, JPEG2000, Wavelet Transform, Lifting.

#### I. 서론

디지털 워터마킹(digital watermarking)은 각종 멀티미디어 콘텐츠의 불법 복제 및 배포, 위조 등 상업적 도용을 근절시키기 위한 목적으로, 저작권자의 고유 정보를 콘텐츠에 삽입하고 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 삽입된

정보를 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증할 수 있는 방법인 디지털 콘텐츠 저작권 보호 기술이다<sup>[1][2][3][4][5][6]</sup>. 이때 삽입된 저작권자의 고유 정보를 워터마크(watermark)라고 한다.

이러한 워터마킹 기법은 워터마크를 삽입하는 과정에서 원본 데이터를 변형하게 되는데, 원본 데이터와 워터마크된 데이터는 인간의 인지 능력으로는 구분이 어려워야 하며, 삽입된 워터마크는 JPEG (Joint Photographic Experts Group)과 같은 손실 압축 뿐만 아니라 필터링, 부가 잡음 등과 같은 각종 의도적/비의도적 공격에도 견고한 특성을 지녀야 한다<sup>[1]</sup>.

\* 한국전자통신연구원, 가상현실연구개발센터  
VR Center, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

\*\* 영남대학교 전자정보공학부  
School of Electrical Engineering and Computer Science, Yeungnam University

디지털 워터마킹은 크게 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법과 주파수 영역에서 워터마크 신호를 삽입하는 방법으로 분류할 수 있는데, 공간 영역에서의 워터마킹은 일반적인 신호처리 과정에 의해 삽입된 워터마크가 쉽게 제거될 수 있다는 단점<sup>[2][3]</sup> 때문에 최근에는 주파수 영역 기반 워터마킹이 많이 연구되어지고 있다. 주파수 영역을 기반으로 하는 일반적인 워터마킹 방법에서는 DFT (Discrete Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform) 등과 같은 변환을 이용하여 영상 데이터를 주파수 영역으로 변환한 후, 그 주파수 성분들에 적당한 워터마크를 삽입하는 방법을 사용하고 있으며, 워터마킹 시스템의 성능은 워터마크 삽입 과정에서 어떤 필터, 변환을 어떻게 적용하느냐에 달려있다.

한편, 인터넷 환경에서는 압축된 형태의 영상이 많이 제공되는데, 이러한 영상 압축에 있어서 JPEG2000<sup>[7][8]</sup>이라는 새로운 정지영상 압축 국제 표준안이 최근 제정되었다. 기존 JPEG 표준 방식이 DCT를 근간으로 하는데 비해, JPEG2000은 웨이블릿을 기반으로 우수한 압축 성능 및 고화질을 제공하기 때문에 향후 정지 영상 압축에 널리 사용될 전망이다. 따라서 이러한 JPEG2000을 고려할 경우, 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기술이 보다 효율적일 것이다<sup>[1]</sup>. 즉, 영상 데이터를 압축하는 과정 중에 워터마크를 삽입할 수 있을 뿐만 아니라, JPEG2000 압축에 보다 강인한 워터마킹 기술이 가능하기 때문이다 (그림 1 참조).

그러나 기존에 제안된 대다수의 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법들은 JPEG2000에 직접적으로 추가하여 사용하기에는 적합하지 않다. 이는 JPEG2000을 이용한 압축 시 사용되는 웨이블릿 필터군이 노출되고, 기존의 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법들은 노출된 필터군을 이용하여 웨이블릿 변환 후 변환 계수 값에 워터마크

를 삽입하기 때문이다. 즉, 워터마크가 삽입된 영상을 압축과정에서 노출된 변환 필터군을 이용하여 웨이블릿 변환한 후 각 대역별로 변형을 가하는 등의 공격에 취약하다는 것이다. 따라서, JPEG2000 압축시 추가 기능으로서 워터마크가 삽입될 수 있고 압축에 사용된 변환 필터군이 노출되더라도 삽입된 워터마크의 변형이 쉽지 않은 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법이 필요하다.

본 논문에서는 JPEG2000을 이용한 영상 데이터 압축시 시스템의 복잡도를 크게 증가시키지 않으면서 부가적인 워터마킹을 수행할 수 있는 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 현재 JPEG2000에서는 손실/무손실 압축을 위해 lifting 기반 웨이블릿 변환 필터군을 사용하고 있는데, 제안된 기법은 기존의 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법<sup>[3][4][5][6]</sup>과는 달리 lifting에 기반한 웨이블릿 변환 과정 중에 워터마크 신호를 삽입하는 방식이다. 즉, JPEG2000의 lifting 기반 웨이블릿 변환 과정 중에 사용자가 워터마크를 삽입할 변환 계수의 주파수 특성을 선택할 수 있도록 하여 워터마크 삽입시 사용된 변환 필터군은 JPEG2000 압축에 사용된 변환 필터군과는 다르게 하는 방식이다. 이러한 방법은 JPEG2000 압축 시 노출된 필터군을 이용한 각종 공격에 강인하게 할 수 있다. 또한, 사용자가 워터마크 삽입시 사용한 변환 필터군에 관한 정보는 인증 확인을 위한 부가적인 키(key)로 사용될 수 있기 때문에 보다 안전한 워터마킹 시스템이 된다.

본 논문에서는 JPEG2000 Part I인 기본모드(baseline)에서 사용되는 Daubechies 9-7 taps(이하에서는 9-7 taps로 언급) 필터군을 중심으로 제안된 워터마킹 방법을 구현하였다. 또한, 본 논문에서는 워터마크가 삽입될 변환 계수의 주파수 특성을 다양하게 조절할 수 있는 새로운 방법론 제안에 초점을 두고 전개하였다. 따라서 기존 방식 중 크기 값에 따라 선택적으로 워터마크를 삽입하는 방법

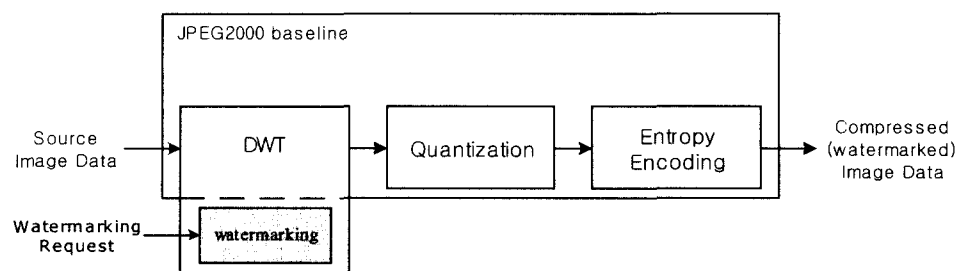


그림 1. 디지털 워터마킹 기능이 추가된 JPEG2000 시스템  
 Fig. 1. JPEG2000 compression system with additional digital watermarking function

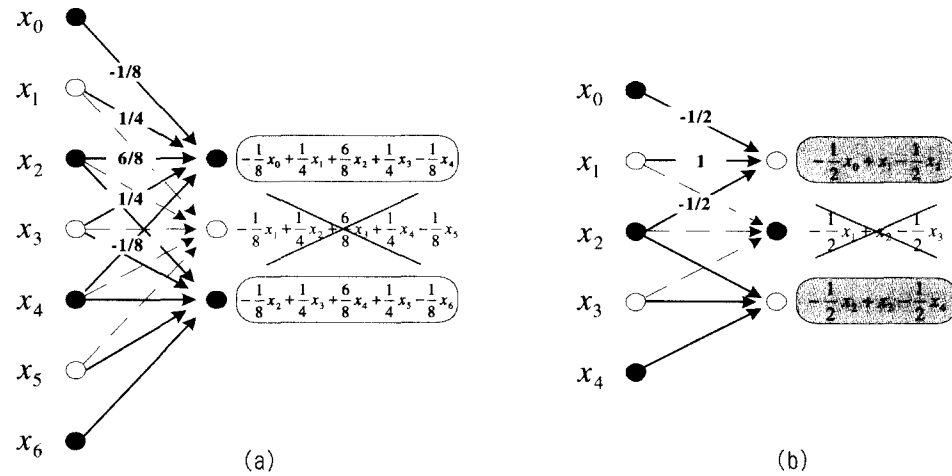


그림 2. 2-채널 대역분할 필터군 시스템을 이용한 5-3 taps 필터군의 웨이블릿 변환 과정 : (a) 저역 통과 필터, (b) 고역 통과 필터의 연산과정  
Fig. 2. 5-3 Wavelet transform using 2-channels subband filter-banks system : (a) low pass filtering, (b) high pass filtering

이나 기준 신호가 필요 없는 블라인드(blind) 워터마크 검출 방법 등에 대해서는 고려하지 않았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 웨이블릿 변환을 위한 lifting 기법을 중심으로 JPEG2000에 대해서 간략히 살펴본다. III 장에서 lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안하고, 제안된 방법의 특성을 설명한다. IV 장에서 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 워터마킹된 영상에 대해 JPEG2000 손실 압축을 비롯한 일반적인 영상처리를 적용한 결과를 제시하고, 마지막으로 V 장에서는 결론을 내린다.

## II. Lifting 기반 웨이블릿 변환

JPEG2000 기본모드에서는 무손실과 손실 압축을 위해서 두 가지의 웨이블릿 변환 필터군(5-3 taps, 9-7 taps)을 사용하는데, 이들 중 5-3 taps 필터군은 정수 값에서 정수 값으로 변환 가능한 가역(reversible) 변환이며, 9-7 taps 필터군은 실수 변환을 하며 비가역(non-reversible)적인 특성을 갖고 있다<sup>[7][8]</sup>. 5-3 taps 필터군의 경우 가역적인 특성 때문에 JPEG2000에서 손실과 무손실 압축에 모두 사용할 수 있지만, 9-7 taps 필터군의 경우 가역성 결여로 인해 손실 압축에만 사용이 가능하다. 이러한 웨이블릿 변환은 메모리 절약과 계산의 복잡도를 줄이기 위해, 현재 JPEG2000 기본모드에서는 무손실과 손실 압축을 위해서 모두 lifting 기법을 사

용하는 것을 권장하고 있다.

lifting 기법은 일반적인 컨볼루션(convolution)을 이용한 2-채널 대역분할 필터군 시스템과 동일한 변환 결과를 제공한다. 그림 2는 주어진 입력 신호 열  $x_i$ 에 대해 일반적인 2-채널 대역분할 필터군 시스템을 이용한 5-3 taps 필터의 웨이블릿 변환 과정을 보이고 있으며, 그림 3은 동일한 변환 필터군을 lifting 방식으로 계산되는 과정을 나타내고 있다.

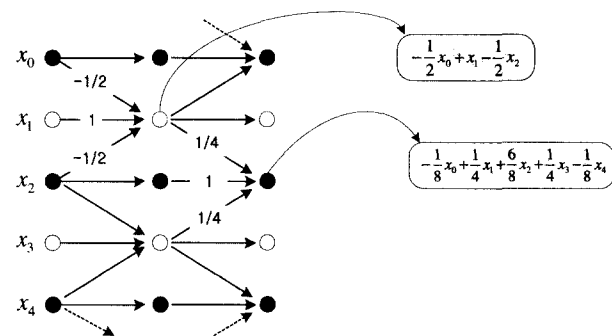


그림 3. Lifting 기반 5-3 taps 웨이블릿 필터군의 변환 과정  
Fig. 3. Lifting based 5-3 taps Wavelet transform

이러한 lifting 기법을 사용하면 5-3 taps 필터군의 경우, 웨이블릿 변환 시 연산량 감소는 물론 역 웨이블릿 변환을 하게 되면 원래 값을 완벽히 복원해 낼 수 있는 무손실 압축이 가능하다. 또한 손실 압축을 위한 9-7 taps 필터군 또한 lifting 기법을 적용시킬 수 있다.

9-7 taps 필터군의 lifting 변환 과정은 그림 4에 나타내었다. 이때, 사용되는 각종 변환 값은 표 1과 같다.

표 1. 9-7 taps 웨이블릿 변환의 lifting 변수  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  및  $K$   
Table 1. Lifting parameters for the 9-7 taps Wavelet filter

Parameter	Approximation
$\alpha$	-1.586134342059924
$\beta$	-0.052980118572961
$\gamma$	0.882911075530934
$\delta$	0.443506852043971
$K$	1.230174104914001

이러한 lifting 기반 9-7 taps 웨이블릿 변환은 다음 식 (1)과 같이, 네 단계의 lifting과 한 단계의 scaling 단으로 나타낼 수 있다.

각 단계는 그림 4의 각 열(column)에 해당하는 연산과정이다. 입력 신호 열  $x_i$ 가 주어지면 총 다섯 단계를 거쳐 웨

$$a_i = \begin{cases} x_i + \alpha \cdot [x_{i-1} + x_{i+1}], & \text{for } i = 2n+1 \\ x_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad [\text{step 1}] \quad (1-1)$$

$$b_i = \begin{cases} a_i + \beta \cdot [a_{i-1} + a_{i+1}], & \text{for } i = 2n \\ a_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad [\text{step 2}] \quad (1-2)$$

$$c_i = \begin{cases} b_i + \gamma \cdot [b_{i-1} + b_{i+1}], & \text{for } i = 2n+1 \\ b_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad [\text{step 3}] \quad (1-3)$$

$$d_i = \begin{cases} c_i + \delta \cdot [c_{i-1} + c_{i+1}], & \text{for } i = 2n \\ c_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad [\text{step 4}] \quad (1-4)$$

$$y_i = \begin{cases} -K \cdot d_i, & \text{for } i = 2n+1 \\ (1/K) \cdot d_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad [\text{step 5}] \quad (1-5)$$

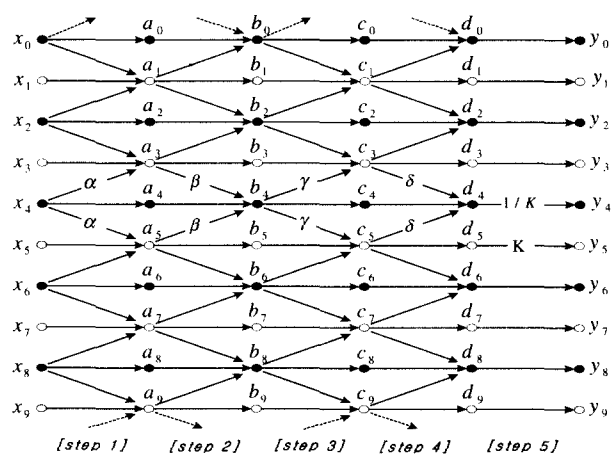


그림 4. Lifting 기반 9-7 taps 웨이블릿 필터군의 변환 과정  
Fig. 4. Lifting based 9-7 taps Wavelet transform

이블릿 변환된 고주파 성분의 계수 값  $y_i (i=2n+1)$ 와 저주파 성분의 계수 값  $y_i (i=2n)$ 가 각각 얻어진다. 여기서,  $n$ 은 임의의 정수이다.

### III. Lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법

지금까지 웨이블릿 변환을 이용한 대부분의 워터마킹 기법들은 그림 4에서 얻어진 웨이블릿 변환된 계수 값 중 고주파 성분의 계수 값  $y_i (i=2n+1)$ 에 워터마크 신호를 주로 삽입하고 있다. 비록 다 해상도(multi-resolution)로 구성하여 대역 별로 워터마크를 삽입한다고 하더라도, 이러한 방식은 워터마크 삽입 시 사용된 웨이블릿 변환 필터군이 노출될 경우 삽입된 워터마크가 쉽게 변형될 수 있다. 특히, JPEG2000 표준 압축 시스템에 워터마킹 기능을 추가하여 사용하고자 하는 경우라면, 이러한 기존의 웨이블릿 기반 워터마킹 방법은 적합하지 않을 것이다.

본 장에서는 웨이블릿 변환 과정 중에 워터마크를 삽입하는 방식을 기술한다. 이 방법에서는 주어진 웨이블릿 변환의 lifting 과정 중에 발생하는 중간변환 결과 값에 워터마크를 삽입하는 경우를 우선 고려할 수 있다. 즉, 그림 4에 보인 9-7 taps 필터의 경우, lifting 중간 단계의 결과 값인  $a_i, b_i$  또는  $c_i$ 에 워터마크를 삽입할 수 있다는 것이다. 하지만 이러한 방식은 중간 단계의 결과 값에 저주파 성분이 포함되어 있어, 워터마크의 투명성(transparency)을 보장할 수 없다. 투명성을 보장하기 위해, 일반적으로 워터마크는 저주파수 대역을 제외한 고주파수 대역에 주로 삽입된다<sup>[2][3]</sup>.

따라서, 본 장에서는 웨이블릿 변환을 위한 lifting 과정 중에서 저주파수 성분이 제외된 적절한 주파수 대역의 성분을 얻고, 이 주파수 성분에 워터마크를 삽입한 후 압축을 위한 웨이블릿 변환을 계속하는 방식을 제안한다. 즉, 한번의 웨이블릿 변환을 lifting 기법으로 수행하지만, 압축을 위해 사용되는 웨이블릿 변환 필터와 워터마크 삽입을 위해 사용되는 변환 필터는 실질적으로 동일하지 않게 하는 것이다. 이렇게 하여 제안된 방식은 압축을 위한 웨이블릿 변환 필터가 노출된다 할지라도, 워터마크 삽입시 사용된 변환 필터는 노출되지 않게 할 수 있다.

본 장에서는 JPEG2000 기본모드에서 사용하는 9-7 taps 웨이블릿 변환 필터의 lifting 연산을 기반으로 웨이

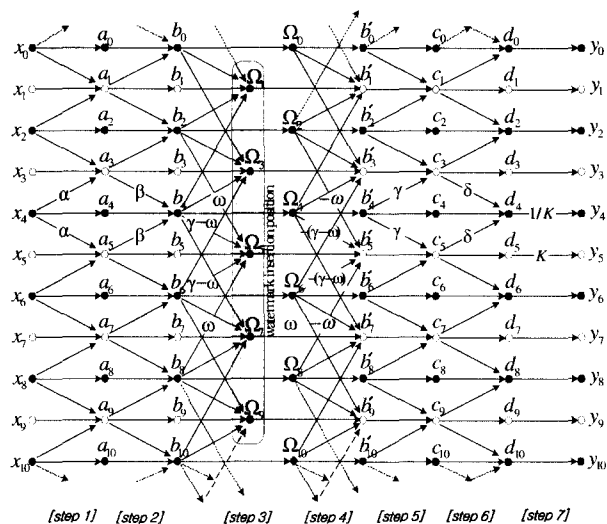


그림 5. lifting 기반 9-7 taps 필터군을 이용한 제안된 방법의 개념도 여기서, 워터마크는 음영부분의 계수  $\Omega_i$  (for  $i=2n+1$ )에 삽입된다.

Fig. 5. Concept of the proposal method using lifting based 9-7 taps filter-banks

Where a watermark is inserted into shaded coefficients,  $\Omega_i$  (for  $i=2n+1$ )

블릿 변환 과정 중에 워터마크 신호를 삽입하는 새로운 방안을 제안한다.

제안된 워터마킹 방법의 기본 개념은 그림 5와 같다. 그림 5는 9-7 taps 웨이블릿 변환을 여섯 단계의 lifting과 한 단계의 scaling으로 구성되어 있는데, 그림 4와 식 (1)에서 언급된 lifting에 비해 두 단계의 lifting 단이 추가된 형태이다. 즉, 그림 4의 lifting 과정 중 [step 2]와 [step 3] 사이에 변수  $\omega$ 를 적용시키는 두 단계의 lifting이 삽입된 형태이다. 이를 수식으로 나타내면 그림 5의 [step 3]과 [step 4]는 다음과 같다.

$$\Omega_i = \begin{cases} b_i + (\gamma - \omega) \cdot (b_{i-1} + b_{i+1}) + \omega \cdot (b_{i-3} + b_{i+3}), \\ b_i, \\ \text{for } i=2n+1 \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad [\text{step 3}] \quad (2-1)$$

$$b'_i = \begin{cases} \Omega_i - (\gamma - \omega) \cdot (\Omega_{i-1} + \Omega_{i+1}) - \omega \cdot (\Omega_{i-3} + \Omega_{i+3}), \\ \Omega_i, \\ \text{for } i=2n+1 \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad [\text{step 4}] \quad (2-2)$$

여기서, 변수  $\gamma$ 는 9-7 taps 웨이블릿 변환을 위해 사용되는 고정된 값(표 1)이며, 변수  $\omega$ 는 임의의 실수 값이다 ( $\omega \in \mathbf{R}$ ).

식 (2-2)에 식 (2-1)을 대입하면,  $i$ 가 짝수 ( $i=2n$ )인 경우  $b'_i = \Omega_i = b_i$ 임을 그림 5로부터 쉽게 알 수 있고,  $i$ 가 홀수 ( $i=2n+1$ )인 경우  $b'_i = b_i$ 임을 다음과 같이 증명할 수 있다.

$$\begin{aligned} b'_i &= \Omega_i - (\gamma - \omega) \cdot (\Omega_{i-1} + \Omega_{i+1}) - \omega \cdot (\Omega_{i-3} + \Omega_{i+3}) \\ &= b_i + (\gamma - \omega) \cdot (b_{i-1} + b_{i+1}) + \omega \cdot (b_{i-3} + b_{i+3}) \\ &\quad - (\gamma - \omega) \cdot (b_{i-1} + b_{i+1}) - \omega \cdot (b_{i-3} + b_{i+3}) \\ &= b_i \end{aligned} \quad (3)$$

즉, 그림 5에서의 [step 4]는 [step 3]의 역 변환 과정으로서, [step 4]의 변환 결과 값은 [step 2]에 의해 발생된 결과와 동일함을 나타내고 있다. 또한, 그림 5의 [step 1], [step 2], [step 5], [step 6], [step 7]은 그림 4의 [step 1], [step 2], [step 3], [step 4], [step 5]와 각각 동일한 연산을 수행하므로, 그림 5의 lifting 연산의 최종 결과는 변수  $\omega$ 에 관계없이 항상 그림 4의 최종 연산 결과와 동일함을 알 수 있다. 결론적으로, 그림 5와 그림 4는 동일한 9-7 taps 웨이블릿 변환을 수행하게 된다.

제안된 방법은 [step 3]에서 구하여진 변환 중간 결과 값(그림 5에서는 음영 부분에 해당하는 변환된 계수 값)인  $\Omega_i$ (for  $i=2n+1$ )에 워터마크 신호를 삽입하는 것이다. 이때 워터마크 신호를 삽입할  $\Omega_i$  (for  $i=2n+1$ )는 주어진 입력 신호  $x_i$ 의 고 주파수 성분만을 포함함으로써, 삽입된 워터마크의 투명성을 보장하도록 하였다. 이러한 투명성은 다음과 같이 쉽게 증명할 수 있다. 식 (2-1)에 식 (1-2)와 식 (1-1)을 순차적으로 대입함으로써  $\Omega_i$ (for  $i=2n+1$ )는 입력 신호  $x_i$ 에 대해 식 (4)와 같이 나타낼 수 있고,  $\Omega_i$ 는 입력 신호  $x_i$ 에 식 (5)와 같은 필터  $H_\Omega(z)$ 를 통과시킨 후 down-sampling된 결과로 간주할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Omega_i &= \beta\omega \cdot a_{i-4} + \omega \cdot a_{i-3} + \beta\gamma \cdot a_{i-2} + (\gamma - \omega) a_{i-1} \\ &\quad + (1 + 2\beta\gamma - 2\beta\omega) \cdot a_i + (\gamma - \omega) a_{i+1} + \beta\gamma \cdot a_{i+2} \\ &\quad + \omega \cdot a_{i+3} + \beta\omega \cdot a_{i+4} \\ &= \alpha\beta\omega \cdot x_{i-5} + \beta\omega \cdot x_{i-4} + (\omega + \alpha\beta\gamma + \alpha\beta\omega) \cdot x_{i-3} \\ &\quad + \beta\gamma \cdot x_{i-2} + (\alpha + \gamma - \omega + 3\alpha\beta\gamma - 2\alpha\beta\omega) \cdot x_{i-1} \\ &\quad + (1 + 2\beta\gamma - 2\beta\omega) \cdot x_i \\ &\quad + (\alpha + \gamma - \omega + 3\alpha\beta\gamma - 2\alpha\beta\omega) \cdot x_{i+1} + \beta\gamma \cdot x_{i+2} \\ &\quad + (\omega + \alpha\beta\gamma + \alpha\beta\omega) \cdot x_{i+3} + \beta\omega \cdot x_{i+4} + \alpha\beta\omega \cdot x_{i+5} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} H_\Omega(z) &= \alpha\beta\omega \cdot z^{-5} + \beta\omega \cdot z^{-4} + (\omega + \alpha\beta\gamma + \alpha\beta\omega) \cdot z^{-3} \\ &\quad + \beta\gamma \cdot z^{-2} + (\alpha + \gamma - \omega + 3\alpha\beta\gamma - 2\alpha\beta\omega) \cdot z^{-1} \\ &\quad + (1 + 2\beta\gamma - 2\beta\omega) + (\alpha + \gamma - \omega + 3\alpha\beta\gamma - 2\alpha\beta\omega) \cdot z \\ &\quad + \beta\gamma \cdot z^2 + (\omega + \alpha\beta\gamma + \alpha\beta\omega) \cdot z^3 + \beta\omega \cdot z^4 \\ &\quad + \alpha\beta\omega \cdot z^5 \end{aligned} \quad (5)$$

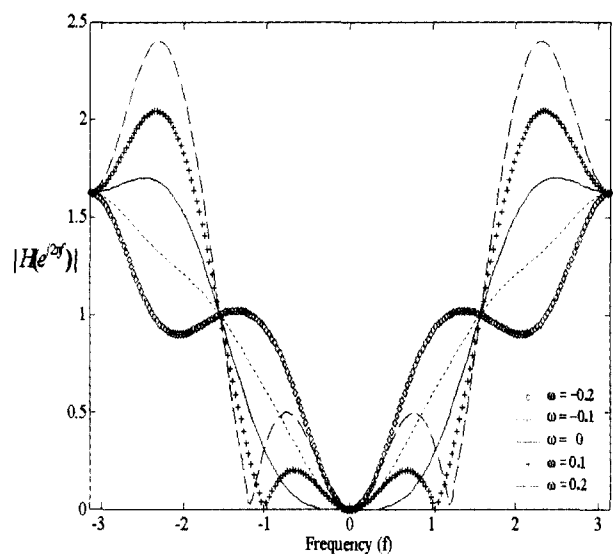


그림 6.  $H(z)$ 의 주파수 특성 곡선  
Fig. 6. Frequency characteristics of  $H(z)$

여기서  $H_\Omega(z)$ 는 좌우 대칭(symmetry)형 임으로 선형위상(linear phase) 특성을 가지며, 표 1에 나타난 변수  $\alpha, \beta, \gamma$ 의 값을 대입함으로써 변수  $\omega$ 에 상관없이  $H_\Omega(e^{j2\pi f})|_{f=0} = 0$ 임을 쉽게 증명할 수 있어 저역 통과 필터가 아님을 알 수 있다. 변수  $\omega$ 에 따른 필터의 주파수 특성 곡선을 그림 6에 나타내었다. 여기서  $\omega=0$ 인 경우는  $d_i = \Omega_i$  (for  $i=2n+1$ )이므로,  $\Omega_i$  (for  $i=2n+1$ )에 워터마크를 삽입하는 것은 기존의 웨이블릿 변환 기반 워터마킹 기법으로 간주할 수 있다.

그림 5에서 워터마킹 방법으로 제안된 9-7 taps 웨이블릿 변환은 기존 9-7 taps 웨이블릿 변환에 비해 두 단계의 lifting이 추가됨으로써 연산 양이 증가하게 된다. 이를 최소화하기 위해 그림 7과 같은 lifting 과정을 적용할 수 있다. 즉, 그림 5의 [step 4]와 [step 5]를 한 단계의 lifting(즉, 그림 7의 [step 4])으로 줄일 수 있게 되어, 최소한의 연산량을 추가하면서 원하는 주파수 성분에 워터마크를 삽입할 수 있다. 결론적으로 제안된 방법은 기존의 lifting 연산에 한 단계의 lifting 연산을 추가하여 구성할 수 있다.

#### IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 사용된 워터마크 삽입/추출 과정은 제안한

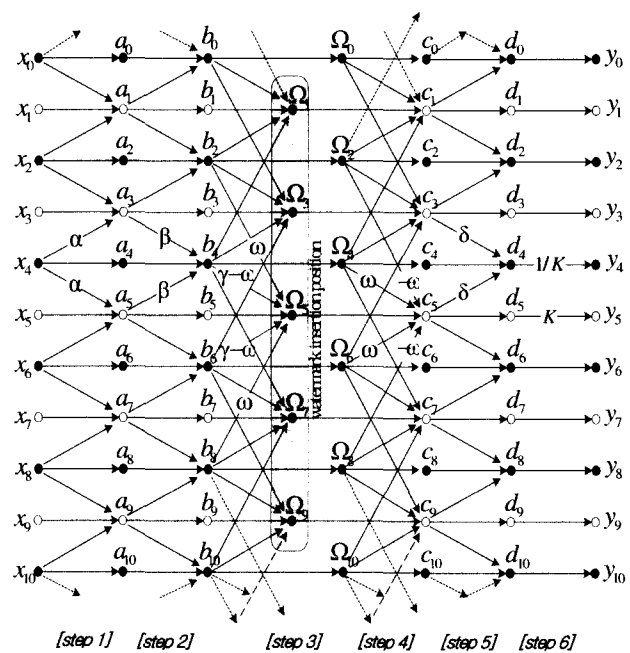


그림 7. Lifting 기반 9-7 taps 필터군을 이용한 제안된 워터마킹 기법  
Fig. 7. Proposal method using lifting based 9-7 taps filter-banks

lifting 기반 웨이블릿 변환 과정 중 중간 변환 계수에 워터마크를 삽입한다는 것을 제외하면 참고 문헌 [2]에서 사용한 삽입/추출 과정과 동일하다. 사용된 워터마크 삽입 과정을 간단히 살펴보면 다음과 같다. 우선, 입력 영상을 다해상도로 웨이블릿 변환을 수행한다. 이때, 워터마크가 삽입될 레벨은 제안된 방법에 따라 lifting 연산을 수행하고, 중간 변환 결과 값인  $v_i$ 에 워터마크를 삽입한다. 여기서,  $v_i$ 는 제안된 방법의 중간 변환 결과 값인  $\Omega_i$ 를 뜻하는 것으로 수식의 간결함을 위해 1차원 신호로 표시하였다.

이진 의사 랜덤 잡음(binary pseudo random noise)으로 구성된 워터마크  $w_i$ 가 삽입된 중간 변환 결과 값  $v_i'$ 는 다음 식과 같이 얻는다.

$$v_i' = v_i \cdot (1 + s \cdot w_i) \quad (6)$$

여기서,  $s$ 는 삽입되는 워터마크의 크기조절 변수로써  $s=0.1$ 로 고정하여 실험에 사용하였다.

이렇게 발생된  $v_i'$ 를 이용하여 웨이블릿 변환을 계속 진행시켜 워터마크 삽입과 JPEG2000 영상 압축을 동시에 수행할 수 있다. 워터마크 추출 과정에서는 원 영상과 워

터마킹된 영상을 워터마크 삽입 때와 동일한 방법으로 중간 변환 결과를 얻고 두 변환 결과의 차를 이용하여 삽입된 워터마크를 추출하게 된다. 추출된 워터마크의 검증 방법으로는 추출된 워터마크  $w = \{\omega_i\}$ 와 원래 삽입된 워터마크  $w' = \{\omega'_i\}$ 와의 상관계수(correlation coefficients)를 이용하였다.

$$correlation = \frac{\langle w \cdot w' \rangle}{\sqrt{\langle w \cdot w \rangle} \sqrt{\langle w' \cdot w' \rangle}} \quad (7)$$

여기서  $\langle \cdot \rangle$ 는 내적(inner product)이다.

실험에는 화소 당 256 레벨을 가지며,  $512 \times 512$  크기의 Lena 영상을 사용하였으며, 웨이블릿 변환시 추가한 lifting 단계에서 변수  $\omega$ 를 변화시키고 워터마크를 삽입할 해상도 레벨을 조절해 가면서 워터마크 신호를 삽입하였다. 워터마크 삽입 후 제안된 워터마킹 방법의 강인성을 평가하기 위해 다양한 공격을 가하여 워터마크 검출 실험을 수행하였다. 왜곡 방법으로는 기존 JPEG 손실 압축(0.4 bpp), JPEG2000 손실 압축(0.4 bpp)<sup>[9]</sup>, Smoothing, Sharpening, Rescaling, 그리고 부가잡음(Additive Noise)이 사용되었다. 여기서 부가 잡음은 워터마킹된 영상을 웨이블릿 변환 후( $\omega=0$ ) 워터마크가 삽입된 대역에 가우시안 잡음( $N(0, \sqrt{10})$ )을 발생시켜 첨가하는 공격이다. 이러한 부가 잡음 공격은 압축을 위해 사용된 웨이블릿 변환 필터군이 노출된 경우 제안된 워터마킹 기법의 성능(안전성 및 강인성)을 평가하기 위함이다.

표 2는 이러한 공격에 대한 제안된 방법의 워터마크 검출 성능을 PSNR과 함께 나타낸 것으로, 변수  $\omega$ 의 값을 다양하게 변화시켜 적용한 결과이다. 이때 변수  $\omega=0$ 인 경우는 기존의 웨이블릿 변환 기반 워터마킹 기법으로 볼 수 있다. 추출된 워터마크의 상관성 측면에서는 거의 모든 공격에 대해 제안된 방법이 기존의 방법보다 약간 우수함을 나타내고 있다. 그러나 워터마크 검출성능과 PSNR 사이에는 trade-off가 존재함을 볼 수 있다.

또한 제안된 기법의 안전성을 검증하기 위해, 워터마크 삽입 시 사용한 변수와 검출 시 사용한 변수를 다르게 하였을 경우의 검출성능을 평가하였다.

그림 8은 변수  $\omega$ 를 0.1로 고정하여 워터마크를 삽입하고,  $\omega$ 를 변화시키면서 삽입된 워터마크를 검출한 결과를 나타낸 것이다. 워터마크 삽입 시 사용된 변수와 동일한 변수를 사용했을 경우 상관성이 가장 높게 나타났으며, 워터마크 삽입과 검출 때 사용된 변수의 편차가 클수록

상관성이 낮게 나타남을 보이고 있다. 이는 제안된 기법에서  $\omega$ 의 사용이 소유권 인증을 위한 또 다른 키로 사용될 수 있음을 의미한다.

표 2. 다양한 공격방법에 대한 제안된 방법의 워터마크 검출 결과  
여기서  $\omega=0$ 는 기존의 웨이블릿 기반 워터마킹 기법이다  
Table 2. Watermark detection results of proposal method against various attacks in terms of correlation coefficients and PSNR in parenthesis

Where  $\omega=0$  indicates the usual DWT based watermarking

Attack	$\omega=0.1$	$\omega=0.2$	$\omega=0.3$	$\omega=0.4$	$\omega=0.5$
No Attack	33.58 dB	41.08 dB	42.14 dB	40.37 dB	34.99 dB
JPEG (20:1)	0.6152 30.55 dB	0.4870 32.87 dB	0.3796 33.03 dB	0.3815 32.76 dB	0.4290 31.21 dB
JPEG2000 (20:1)	0.6354 31.45 dB	0.5273 34.48 dB	0.4193 34.66 dB	0.4434 34.25 dB	0.5521 32.18 dB
Blurring	0.8444 30.70 dB	0.7604 32.95 dB	0.6908 33.10 dB	0.7018 32.85 dB	0.7259 31.35 dB
Sharpening	0.4629 16.99 dB	0.3112 17.10 dB	0.2077 17.11 dB	0.1986 17.09 dB	0.2467 17.03 dB
Rescaling	0.8548 29.43 dB	0.7852 31.06 dB	0.7240 31.16 dB	0.7077 30.99 dB	0.7174 29.93 dB
Additive Noise	0.4316 32.62 dB	0.3021 37.32 dB	0.2389 37.86 dB	0.2520 36.96 dB	0.2780 33.79 dB

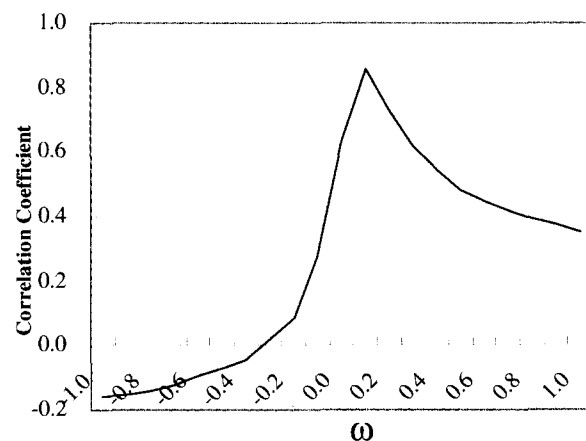


그림 8. 워터마크 삽입 시 사용된  $\omega$ 값과 다른  $\omega$ 값을 사용하여 워터마크를 검출한 결과. 여기서  $\omega=0.1$ 이 워터마크 삽입 시 사용됨  
Fig. 8. Detection results of proposal method by applying different  $\omega$  in watermark detection. Where  $\omega=0.1$  is applied in watermark insertion

### V. 결론

본 논문에서는 lifting 기반 웨이블릿 변환을 이용한 새로운 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 다양한 왜곡 방법에 대해 강인함을 보였으며, 웨이블릿 변환 후 워터마크를 삽입하는 기존 웨이블릿 변환 기반 워터마킹 방식에 비해 보다 안전한 방식임을 보였다. 특히, 제안된 방법은 앞으로 많은 수요가 예상되는 차세대 정지 영상 압축 국제 표준인 JPEG2000의 손실 압축에 쉽게 접목될 수 있다. 또한, 제안된 알고리즘은 본 논문에서 제시한 9-7 taps 웨이블릿 변환 필터 뿐만 아니라, 다른 종류의 웨이블릿 변환 필터에도 적용할 수 있으리라 기대한다.

### 참고 문헌

[1] G. C. Langelaar, I. Setyawan, R. L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data. A state-of-the-art overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 17, No. 5, pp.20-46, Sept. 2000

[2] I. J. Cox, J. Killian, F. T. Leighton, and T. Shamon, "Secure spread spectrum watermarking

for multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.

[3] C. I. Podilchuk, W. Zeng, "Perceptual watermarking of still images," *In Proceedings of the Workshop on Multimedia Signal Processing, Princeton, New Jersey, USA*, Jun. 1998.

[4] W. Zhu, Z. Xiong, and Y.-Q. Zhang, "Multi-resolution watermarking for images and video," *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 545-550, Jun. 1999.

[5] X.-G. Xia, C. G. Boncelet, G. R. Arce, "A Multiresolution watermark for digital images" *IEEE Int. Conf. Image Process., Santa Barbara, CA, USA*, Vol. 1, pp. 548-551, Oct. 1997.

[6] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," *IEEE ICASSP-1998*, Vol. 5, pp. 2969-2972, 1998.

[7] JPEG 2000 Verification Model 8.5 (Technical Description), *ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1878*, Sept. 2000

[8] JPEG 2000 Part I Final Draft International Standard (Incorporated Draft Corrigendum 1), *ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N2127*, 9 Mar. 2001.

[9] JasPer Version 0.090, *ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N2026*, Feb. 2001.

---

### 저 자 소개

#### 서 용 석



1999년 2월 : 영남대학교 공과대학 학사 (전자공학 전공)  
 2001년 2월 : 영남대학교 공과대학 석사 (정보통신공학 전공)  
 2001년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 가상현실연구개발센터 시각정보연구팀  
 주관심분야 : 영상/비디오 정보보호 및 압축  
 E-mail : yongseok@etri.re.kr





### 정 호 열

1988년 8월 : 아주대학교 공과대학 학사 (전자공학 전공)  
 1990년 8월 : 아주대학교 공과대학 석사 (전자공학 전공)  
 1998년 4월 : 프랑스 INSA de Lyon 공학 박사 (신호처리 전공)  
 1998년 5월~1998년 12월 : CNRS(프랑스 국립과학재단)소속 CREATIS 연구소 Post-Doc. Fellow  
 1999년 3월~현재 : 영남대학교 전자정보공학부 조교수  
 주관심분야 : 영상/음향 정보 처리  
 E-mail : hoyoul@ynucc.yu.ac.kr



### 주 상 현

1989년 2월 : 동국대학교 전자공학과 공학사  
 1994년 2월 : 동국대학교 전자공학과 공학석사  
 1994년 1월~1996년 2월 : 일본 니이가타대학 전기전자공학과 조수  
 1999년 3월 : 일본 니이가타대학 공학박사  
 2001년 3월~현재 : 전자통신연구원 가상현실연구개발센터 선임연구원  
 주관심분야 : 영상/비디오 정보보호 및 압축  
 E-mail : joos@etri.re.kr