

웨이브렛 최저주파수 대역에서의 양자화를 이용한 강인한 영상 워터마킹

정회원 서용석*, 주상현*, 유원영*

Robust Image Watermarking using Quantization on the Lowest Wavelet Subband

Yong-Seok Seo*, Sang-Hyun Joo*, Won-Young Yoo* *Regular Members*

요 약

대부분의 영상 워터마킹 기법은 공격에 대한 강인성과 비가시성을 동시에 만족시키기 위하여 중간 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는데 반해, 본 논문에서는 웨이브렛 분해된 입력 영상에서 가장 낮은 주파수 성분들을 갖는 부대역의 계수들에 워터마크 정보를 삽입하는 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 새로운 워터마크 삽입 알고리즘은 삽입된 워터마크 비트의 강인성을 보다 높이기 위해 웨이브렛 최저주파수 대역에서 랜덤하게 선택된 계수들에 대해 양자화 방식을 이용하여 삽입이 이루어진다. 실험 결과에서 나타난 것처럼 제안한 새로운 삽입 방식이 비가시성과 강인성 측면에서 우수한 특성을 보이는 것을 확인하였다.

Key Words : Watermarking; Wavelet; Lowest Subband; Quantization.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new blind watermarking method that embeds a watermark on the lowest wavelet subband coefficients, while most watermarking techniques embed watermarks in the middle frequency range for robustness and fidelity. A new embedding algorithm for watermarking is proposed that embeds a bi-level watermark sequence into randomly selected wavelet coefficients on the lowest subband(LL) using a quantization in order to be robust. Experimental results prove our novel embedding strategy is invisible and good rate-distortion-robustness performance.

1. 서 론

최근 정보의 디지털화, 급속도로 보급되는 인터넷, 그리고 나날이 발전하는 신호처리 기술을 통해 디지털 정보의 무제한적 복제가 가능해짐에 따

라 디지털 콘텐츠를 보호하기 위한 대책의 일환으로 디지털 워터마킹에 대한 관심이 크게 늘어나고 있다.

디지털 워터마킹은 각종 멀티미디어 콘텐츠의 불법복제 및 배포, 위조 등 저작권 보호를 목적으로

* 한국전자통신연구원 디지털저작권관리연구팀 (yongseok@etri.re.kr)
논문번호 : 030245-0609, 접수일자 : 2003년 6월 10일

저작권자의 고유정보를 사람의 인지능력으로는 쉽게 감지하기 어려울 정도로 컨텐츠에 삽입하고 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 삽입된 저작권 정보를 다시 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증하는데 사용되는 기술이다. 이때 삽입된 저작권자의 고유 정보를 워터마크라고 한다.

이러한 워터마크 삽입과 추출 일련의 과정들이 산혹 통신 시스템에 비유되어 설명되기도 하는데, 저작권 정보는 입력 메시지에, 전송 신호는 통신 채널에, 그리고 예측하지 못한 에러나 신호저리 과정은 잡음에 각기 비유된다. 채널 용량은 얼마나 많은 양의 워터마크 비트를 전송 신호를 손상시키지 않고 삽입할 수 있는지에 비유될 수 있다.

워터마킹에 요구되는 특성에는 삽입 후 컨텐츠의 투명성(Transparency), 삽입된 정보가 여러 공격에도 살아남을 수 있는 내성(Robustness) 등 여러 가지 사항들이 있지만, 이는 워터마킹의 다양한 응용에 따라 달라질 수 있다.

지금까지의 주파수 영역 기반 워터마킹 방법에서 강인성을 주장하는 연구 결과들이 많았는데, 특히 DCT(discrete cosine transform)를 기반으로 하는 워터마킹 방법들이 널리 사용되어 왔다 [1, 2, 8, 18]. 이는 기존의 JPEG, MPEG-1과 같이 DCT를 근간으로 하는 표준 압축 방식을 고려하였기 때문이었다. 그러나 최근 제정된 영상/비디오 압축의 국제 표준에서 사용되는 압축의 기본 기술로 웨이브렛이 채택됨에 따라 웨이브렛 변환 영역에서의 워터마킹 기법이 주목되고 있다 [3, 5, 11, 12, 14, 16, 19]. 특히 최근 국제 표준으로 제정된 JPEG2000 [9]은 웨이브렛을 기반으로 우수한 압축 성능 및 고화질을 제공하기 때문에 향후 정지 영상 압축에 널리 사용될 전망이다. 따라서 디지털 영상 컨텐츠의 경우 이러한 JPEG2000 압축에 견고한 워터마킹 시스템을 위해서는 웨이브렛 변환 방식을 기반으로 워터마크를 삽입하는 것이 보다 효율적인 방법일 것이다 [11].

지금까지 주파수 영역을 기반으로 한 대다수의 워터마킹 논문들은 강인성과 화질의 열화를 동시에 만족시키기 위한 방법으로 인간의 시각에 민감한 저주파 영역은 워터마크 삽입 대상에서 제외시키고 중간주파수 영역을 대상으로 많은 연구가 이루어져 왔다[1, 2]. 특히 웨이브렛 변환 영역에서 워터마크를 삽입하는 대다수 방법들은 인간의 시각적인 문제를 고려하여 웨이브렛 변환 후 저주파 대역(LL Subband)을 제외한 나머지 영역을 대상으로 워터마크

를 삽입하였다. 또한 주파수 변환영역에서 워터마크 삽입을 위해 대역 확산(spread spectrum) 방식이 많이 사용되어왔다 [1, 8]. 그러나 이러한 방식은 원 신호와의 간섭현상으로 인해 신호 대 잡음 비(SNR)가 매우 낮아지는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 최근에 양자화를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법들이 개발되고 있다 [4-7].

본 논문에서는 심한 화질 열화를 고려하여 워터마크 삽입 대상 영역에서 제외하던 기존의 대부분 방식들과는 달리 웨이브렛 변환 영역 중 최저주파수 성분인 LL 부대역의 웨이브렛 계수를 대상으로 양자화를 이용한 새로운 워터마크 삽입방법과 원본 영상 없이 검출이 가능한 방식을 제안한다. 일반적으로 저주파 영역에 워터마크를 삽입하는 것은 강인성 측면에서는 유리하나 영상의 화질이 크게 손상된다는 단점 때문에 지금까지 많은 연구가 이루어지지 않았는데, 본 논문에서는 이러한 문제점을 새로운 양자화를 이용한 삽입 방법으로 극복하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 저주파 영역을 대상으로 한 워터마킹 방법들에 대해 간단히 살펴보고, III장에서는 웨이브렛 LL 영역에서 양자화를 이용한 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안하고, 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 IV장에서는 워터마킹된 영상에 대해 JPEG 및 JPEG2000 손실 압축을 비롯한 다양한 영상처리를 적용한 결과를 제시한 후, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 저주파수 영역 기반 워터마킹

지금까지 주파수 영역 기반의 대다수 방법들은 워터마킹된 영상의 투명성 보장을 위해 고주파 또는 중간 주파수 대역을 대상으로 한 접근 방법이었으나, 최근 들어 강인성을 높이기 위해 저주파수 성분들에 워터마크를 삽입하려는 시도가 있었다[18, 19]. 따라서 본 절에서는 이러한 새로운 시도에 대해 간단히 살펴보고자 한다. [18]은 DCT의 DC 성분에 대역확산 기법을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방식으로 저주파수 성분도 워터마크 삽입 대상으로 할 수 있음을 보인 최초의 연구 결과이다. 이 논문에서는 저주파수 성분들이 대역확산 삽입 기법으로 인해 화질열화가 발생하는 것을 방지하기 위해 [8]에서와 같이 워터마크의 강인성을 조절하는

파라미터를 고정시켜 사용하지 않고 HVS를 미리 계산하여 워터마크의 강도를 적응적으로 변화시키면서 삽입하였다. 이러한 방식으로 삽입한 결과, 영상(8bpp 256x256 Lena)의 화질이 약 44dB를 유지하였다. 한편 [19]에서는 8bpp 512x512 Lena 영상에 대해 3단의 웨이브렛 분해를 한 후, LL_3 부대역에서 임의로 선택된 계수값에 워터마크를 삽입하는 방식으로 약 40dB의 결과 영상을 얻었다. 지금까지 대부분의 워터마킹 방법에 비해 새로운 접근을 시도한 두 방식[18, 19]은 기존의 고주파수 또는 중간 주파수 성분들에 대한 워터마킹에 비해서 워터마킹 후 공격에 대해 강한 특성을 보였는데 이는 압축을 비롯한 일반적인 신호처리에 대해 저주파수 성분들이 영향을 적게 받는 특성에 기인한 것으로 볼 수 있다. 그러나 두 방법 모두 워터마크 검출 시 원본 영상을 필요로 하는 방식으로 실제 응용분야에 있어 많은 제약을 받는 형태이다.

III. 제안하는 워터마킹 방법

본 장에서는 웨이브렛 변환 영역 중 LL 부대역의 계수값에 양자화 방법을 이용하여 워터마크 신호를 삽입하고 원본 영상없이 검출하는 새로운 방법을 제안한다.

1. 워터마크 삽입 알고리즘

본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 과정은 그림 1과 같으며, 다음과 같은 단계로서 설명할 수 있다.

1 단계 : 입력 영상을 n-레벨 웨이브렛 분해를

수행하여 마지막 레벨의 최저주파수 대역인 LL_n 을 워터마크를 삽입할 영역으로 선택한다. 예를 들어, $M \times N$ 크기의 영상에 대하여 n-레벨 웨이브렛 분해를 한 경우 워터마크 삽입 영역($Size(LL_n)$)은 $\frac{MN}{2^{2n}}$ 이 된다.

2 단계 : 사용자 키(key1)로부터 삽입할 워터마크 열을 생성한다. $w_i \in \{-1, +1\}_{1 \leq i \leq N}$

3 단계 : LL_n 부대역에서 워터마크열의 길이(wm_len)만큼의 웨이브렛 계수($I_i, 1 \leq i \leq N$)들을 선택한다. 이것은 또 하나의 키(key2)에 의해 랜덤 시퀀스(locate)를 발생시킴으로서 이루어진다. 즉, $locate(p) \in \{0, 1\}, 1 \leq p \leq Size(LL_n)$, 여기서 1과 0의 발생 확률은 각각 $wm_len/Size(LL_n)$, $1-wm_len/Size(LL_n)$ 이며, 워터마크의 삽입은 $locate(p)$ 가 1인 위치에서 수행된다.

4 단계 : key1에 의해 생성된 워터마크 열을 key2에 의해 랜덤하게 선택된 위치의 웨이브렛 계수값에 더한다.

5 단계 : 4단계의 결과값인 $(I_i + w_i)$ 에 양자화를 적용한다. ($1 \leq i \leq N$)

이후, 만일 $w_i = -1$ 이면 올림연산과 역양자화, 왜곡 보상 함수(DCF: distortion-compensation function)를, $w_i = +1$ 이면 내림연산, 역양자화, 왜곡보상함수를 순차적으로 적용시킨다. 이때 왜곡보상함수(DCF)는 $f(w_i) = sign(w_i) \times (\Delta/2)$ 로 정의한다.

6 단계 : 워터마크가 삽입된 LL_n 과 나머지 부대역으로 역웨이브렛 변환을 수행하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

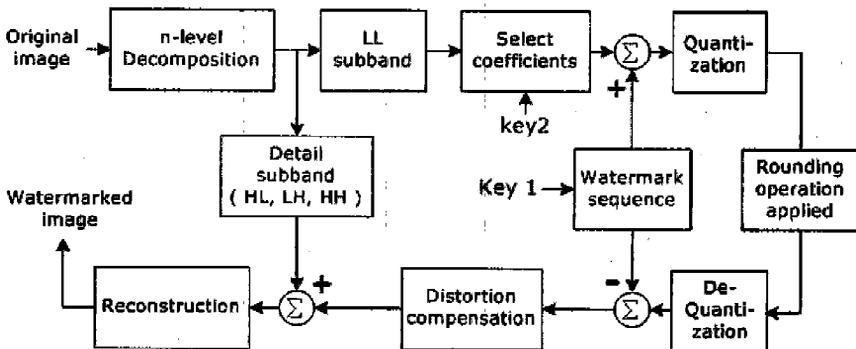


그림 1. 워터마크 삽입 과정도

따라서, 전체적인 워터마크 삽입 수식은 다음과 같다.

$$I'_i = \begin{cases} Q_{\Delta}^{-1}\{Q_{\Delta}(I_i + w_i) - w_i + f(w_i)\} & \text{if } w_i < 0 \\ Q_{\Delta}^{-1}\{Q_{\Delta}(I_i + w_i) - w_i + f(w_i)\} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 I'_i 는 워터마크가 삽입된 웨이브렛 계수값이고, $Q_{\Delta}(\cdot)$ 는 양자화 스텝 크기 Δ (본 논문에서는 $\Delta=4$ 로 고정을 하였다)를 갖는 uniform scalar quantization (USQ)이며, \cdot 와 \cdot 는 각각 내림연산(floor operation)과 올림연산(ceil operation)을 의미한다. 일반적으로 스텝크기 Δ 를 갖는 USQ은 실수값을 정수화하는 연산 (e.g. $Q_{\Delta}(x) = \text{round}(x/\Delta)$, $x \in \mathbb{R}$)을 하여 $Q_{\Delta}(x)$ 의 값을 정수로 처리하는 반면, 본 논문에서는 $Q_{\Delta}(x) = x/\Delta$, $x \in \mathbb{R}$ 와 같이 $Q_{\Delta}(x)$ 를 실수값으로 정의하였다. 따라서 수식 (1)에서와 같이 내림과 올림연산이 워터마크 삽입과정에 있어 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 입력 영상에서의 $I_i = 20$ 이고 $w_i = -1$ 이라 가정하면 워터마크 삽입식 (1)에 의해 생성되는 $I'_i = 19$ 가 된다. 그러므로 제안하는 워터마크 삽입 방법은 [4-7]에서의 양자화 기반 워터마킹 방법과는 다르다고 할 수 있다.

2. 워터마크 검출 알고리즘

앞 결과 같은 방식으로 영상에 워터마크 신호를 삽입한 후 추출하는 과정은 그림 2와 같으며, 다음과 같은 단계를 거친다.

1 단계 : 워터마크가 삽입된 영상 또는 삽입 후

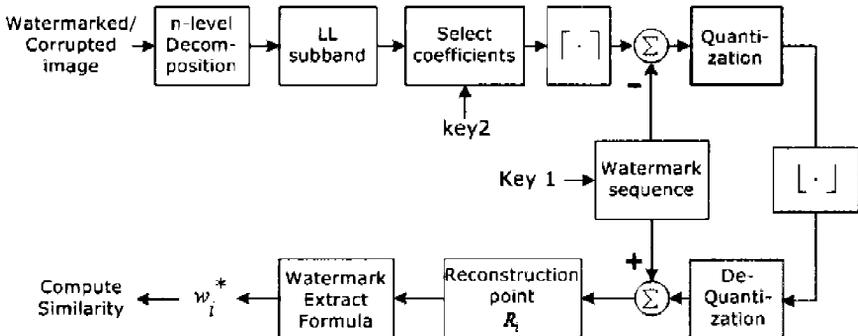


그림 2. 워터마크 검출 과정도

공격을 받은 영상을 n-레벨 웨이브렛 분해를 수행하여 LL_n 영역의 계수들을 선택한다. 이때의 웨이브렛 분해 레벨은 삽입과정 때와 동일하게 적용한다.

2 단계 : key2에 의해 선택된 웨이브렛 계수들에 대해 올림연산을 적용한 후, key1에 의해 생성한 워터마크를 빼준다.

3 단계 : 2단계의 결과값에 양자화를 적용한다.

여기서 \tilde{I}_i 는 워터마크 삽입 후 공격을 받은 것으로 추정되는 영상의 웨이브렛 계수값이다.

4 단계 : 내림연산과 역양자화의 과정을 거쳐 복원점(Reconstruction point)으로 정의한 R_i 를 구하고, 이를 $w_i = -1$ 또는 $w_i = +1$ 에 따른 \tilde{I}_i 와의 최소거리를 조사하여 삽입된 워터마크를 검출한다.

$$R_i = Q_{\Delta}^{-1}\{Q_{\Delta}(\tilde{I}_i - w_i)\} + w_i \quad (2)$$

$$w_i^* = \arg_w \min |R_i - \tilde{I}_i| \quad (3)$$

삽입된 워터마크가 $w_i \in \{-1, +1\}_{1 \leq i \leq N}$ 임을 알고 새로이 얻어진 R_i 를 식 (3)에 적용하여 최소거리 값을 계산하면 삽입되어 있는 워터마크 열을 구하는 것이 가능하다.

추출된 워터마크 W^* 의 유효성 판정은 삽입 시 사용한 사용자 키(key1)로부터 발생시킨 원 워터마크 열 W 와의 상관도를 식 (4)를 이용하여 조사하였다.

$$\text{sim}(W, W^*) = \frac{W^* \cdot W}{W^* \cdot W^*} \quad (4)$$

여기서 $W^* \cdot W$ 는 $\sum_{i=1}^N w_i^* w_i$ 이고, $w_i, w_i^* \in \{-1, +1\}$ 이다.

지금까지 주파수 영역을 기반으로 한 대부분의 워터마킹 기법에서는 워터마크 삽입을 위한 영역으로 저주파 성분 영역은 삽입 대상에서 제외시켜왔다. 이러한 이유는 저주파 영역에 삽입된 워터마크 신호는 강인성 측면에서는 우수하나 삽입된 영상의 화질이 크게 손상된다는 문제점 때문에 지금까지 많은 시도가 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 웨이브렛 변환의 LL 영역에서 워터마크를 삽입하여 강인성을 높이면서 화질열화를 크게 일으키지 않는 새로운 삽입 방식과 추출 시 원본 영상 없이 가능한 방식을 시도하였다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 워터마킹 방법의 성능을 평가하기 위하여 워터마킹 평가 도구 중 하나인 "Checkmark" [7]을 이용하였다. Checkmark에서는 비기하학적 공격과 기하학적 공격에 대하여 별도의 강인성 평가를 하고 있으며, 일부 평가결과를 웹사이트에 공개하고 있다. 본 논문에서 제안한 워터마킹 방법의 강인성 실험은 Checkmark version 1.2의 비기하학적 공격에 대해 그림 3과 같은 크기와 특성이 다른 5개의 영상을 대상으로 실험을 하였으며, 다른 공개된 평가결과들과 비교를 하였다.

표 1에서는 이들 각 영상에 대하여 워터마크를 삽입한 후 47가지의 공격을 가한 영상에서 식 (4)에 의한 상관도를 조사하였다.



그림 3. 실험에 사용된 영상 (영상의 크기是从 왼쪽부터 im1:288x192, im2:500x470, im3:512x512, im4:500x478, im5:500x375)

실험에서는 원 영상을 3단의 웨이브렛 분해를 통해 얻어진 LL_3 대역에서 key2로부터 랜덤하게 선택한 1000개의 웨이브렛 계수들에 대해 key1(500)으로부터 발생시킨 워터마크열을 삽입하였다. 이때

사용된 웨이브렛 변환은 JPEG2000 Part1 손실 압축에서 기본 필터로 채택된 lifting 기반의 Daubechies 9/7-tap 필터를 사용하였다 (필터에 대한 보다 자세한 내용은 참고문헌 [6] 참조). 그러나 첫 번째 실험 영상(im1)의 경우에는 그림 4에서와 같이 LL_3 대역의 크기가 1000보다 작기 때문에 이 경우에는 LL_3 대역의 모든 계수값에 워터마크를 삽입하였다.

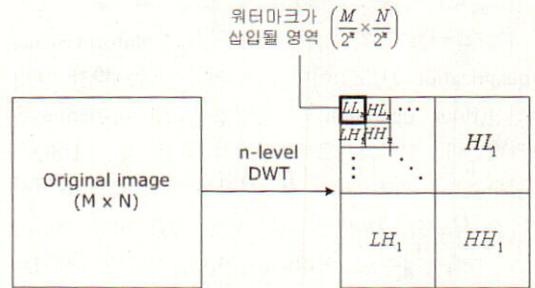


그림 4. 워터마크 삽입 영역

표 1에 나타난 수치는 상관도 측정식 (4)를 이용하여 계산된 정규화된 상관도(normalized similarity) 값이다. Checkmark에서 제공하는 다양한 공격 방법 중 copy 공격은 워터마크가 삽입된 영상으로부터 워터마크로 추정되는 신호를 추출하여 임의의 영상에 삽입한 후, 이로부터 워터마크가 추출되는지를 조사하는 일종의 프로토콜 공격방법이다. 따라서 이러한 copy 공격에 대해서는 삽입한 워터마크가 검출되지 않아야 워터마크 삽입 알고리즘의 강인성이 보장되는 것이라 할 수 있다.

Checkmark에서는 5개의 실험 영상에 대하여 47가지의 공격을 가하여 전체 235개의 워터마크 검출 결과를 얻는다. 검출 성공 여부에 대한 기준으로 본 실험에서는 정규화된 상관도 값 0.2를 임계값으로 두고 실험을 하였다. Cox의 논문[8]에 의하면 서로 다른 키에 의해 발생된 워터마크열 간의 상관도 측정에서 표준편차(σ)의 6배에 해당하는 값을 검출 임계값으로 삼았는데, 이러한 임계값에 대한 판정 오류 확률이 매우 낮음을 증명하였다. Cox가 사용한 상관도 값의 최대치는 $\sqrt{wm_len} = \sqrt{1000}$ 은 약 31.6이므로, 이 값을 1로 정규화 하면 임계값인 6σ 는 약 0.189가 된다. 따라서 본 논문에서 정한 임계값 0.2는 워터마크 검출 판정을 위한 충분한 값으로 볼 수 있으며, [8]에 비해 보다 엄격한 검출 척도라 할 수 있다. 또한 첫 번째 실험 영상의 경우 삽입되

표 1. Checkmark 공격에 대한 실험 결과

		im1	im2	im3	im4	im5	검출율
Copy (1)	copy1	-0.032	0.010	-0.012	0.003	-0.023	4/4=100%
Remodulation (4)	dpr1	0.454	0.600	0.736	0.401	0.517	20/20=100%
	dpr2	0.380	0.650	0.708	0.382	0.532	
	dprcorr1	0.417	0.606	0.722	0.384	0.475	
	dprcorr2	0.347	0.584	0.692	0.354	0.511	
Filtering (3)	gaussian1	0.970	0.933	0.954	0.957	0.969	14/15=93.3%
	gaussian2	0.970	0.933	0.954	0.951	0.969	
	sharpening1	0.199	0.493	0.618	0.403	0.494	
MAP (6)	hardthresh1	0.632	0.832	0.902	0.651	0.693	30/30=100%
	hardthresh2	0.627	0.861	0.888	0.698	0.727	
	softthresh1	0.715	0.887	0.904	0.825	0.807	
	softthresh2	0.725	0.885	0.918	0.848	0.853	
	wiener1	0.938	0.972	0.998	0.959	0.956	
	wiener2	0.528	0.772	0.842	0.681	0.742	
ML (7)	medfilt1	0.229	0.508	0.570	0.474	0.662	32/35=91.4%
	medfilt2	0.507	0.891	0.958	0.534	0.878	
	medfilt3	0.167	0.449	0.564	0.228	0.490	
	midpoint1	0.266	0.687	0.820	0.303	0.542	
	midpoint2	0.065	0.204	0.442	0.089	0.246	
	trimmedmean1	0.512	0.906	0.962	0.615	0.914	
	trimmedmean2	0.243	0.695	0.750	0.523	0.691	
reSample(2)	sampledownup1	0.384	0.567	0.798	0.318	0.660	10/10=100%
	sampledownup2	0.238	0.430	0.568	0.215	0.635	
ColorReduce(2)	dither1	0.468	0.643	0.672	0.703	0.750	5/10=50%
	thresh1	-0.026	-0.029	0.014	0.027	-0.029	
JPEG Compression (12)	JPEG_Q10	0.232	0.264	0.300	0.281	0.277	60/60=100%
	JPEG_Q15	0.516	0.639	0.630	0.613	0.565	
	JPEG_Q25	0.808	0.924	0.898	0.895	0.885	
	JPEG_Q30	0.822	0.967	0.960	0.968	0.954	
	JPEG_Q40	0.857	0.996	0.996	0.998	0.990	
	JPEG_Q50	0.868	1.000	1.000	1.000	0.998	
	JPEG_Q60	0.896	1.000	1.000	1.000	1.000	
	JPEG_Q75	0.944	1.000	1.000	1.000	1.000	
	JPEG_Q80	0.956	1.000	1.000	1.000	1.000	
	JPEG_Q85	0.958	1.000	1.000	1.000	1.000	
	JPEG_Q90	0.968	1.000	1.000	1.000	1.000	
	JPEG_Q100	0.986	1.000	1.000	1.000	1.000	
Wavelet Compression (10)	JPEG2000 0.1bpp	0.026	0.069	0.372	-0.055	0.092	42/50=84%
	JPEG2000 0.2bpp	0.007	0.432	0.756	0.057	0.403	
	JPEG2000 0.3bpp	0.065	0.719	0.952	0.371	0.584	
	JPEG2000 0.4bpp	0.171	0.869	1.000	0.378	0.870	
	JPEG2000 0.5bpp	0.319	0.915	1.000	0.386	0.874	
	JPEG2000 0.6bpp	0.347	1.000	1.000	0.656	0.987	
	JPEG2000 0.8bpp	0.482	1.000	1.000	0.887	0.998	
	JPEG2000 1.5bpp	0.938	1.000	1.000	0.996	1.000	
	JPEG2000 3.5bpp	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	
JPEG2000 8.0bpp	0.979	1.000	1.000	1.000	1.000		
검출율		39/47	45/47	46/47	43/47	45/47	218/235=92.8%

는 워터마크의 길이가 864이므로 6σ 는 약 0.204가 되는데, 이때에도 판정 임계값 0.2가 큰 무리가 없음을 알 수 있다.

그림 5는 워터마크가 삽입된 세 번째 실험 영상에 약 80:1의 웨이브렛 압축(0.1 bpp) 공격을 가한 후, 이 영상에서 검출된 워터마크와 1000개의 서로 다른 키로부터 생성된 워터마크열 간의 상관도를 보여준다. 삽입된 워터마크는 500의 키로부터 생성된 것이므로, 500의 위치에서 가장 큰 상관도를 보이며 이 값이 임계값인 0.2 이상일 경우에 검출 성공으로 판정한다. 이러한 검출 실험을 5개의 실험 영상에 적용했을 때 검출 성공률은 약 92.8%(= 218/235, 검출성공수/총공격수)였다. 이것은 표 2에 보인 Checkmark에 등록된 다른 기법들과 비교할 때, 제안하는 기법의 성능이 상대적으로 우수함을 알 수 있다.

표 2. Checkmark 비기하학적 공격에 대한 검출 성능 비교 (5 images, 235 attacks)

Technology	Percentage of correct detections
frid2 [13]	68.9 %
dugad [14]	86.4 %
bruyin [15]	60.0 %
xie [16]	91.5 %
unige2000 [17]	59.6 %
Proposed	92.8 %

표 3. 워터마크 삽입후의 PSNR과 MSE

	im1	im2	im3	im4	im5
PSNR(dB)	39.28	44.90	45.22	45.07	43.92
MSE	7.669	2.106	1.954	2.024	2.638

표 4. 세번째 실험 영상(im3)에 대한 양자화 스텝크기, PSNR, MSE와의 상관 관계

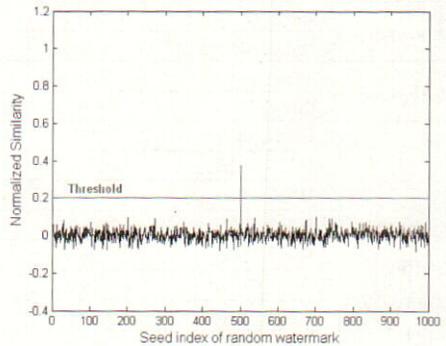
stepsize(Δ)	PSNR	MSE
2	49.00 dB	0.819
4	45.22 dB	1.954
6	41.86 dB	4.239
8	39.68 dB	7.002
10	37.65 dB	11.161

표 3에서는 워터마크가 삽입된 실험 영상의 PSNR(peak signal to noise ratio)과 MSE(mean

square error) 수치를, 표 4에서는 워터마크 삽입 시의 양자화 스텝 크기와 화질간의 상관도를 나타내고 있다. 본 논문에서는 강인성과 화질 측면에서 가장 우수한 trade-off를 보인 양자화 스텝크기 Δ 를 4로 고정하여 실험을 하였다.



(가) 웨이브렛 압축 공격(0.1bpp)을 받은 영상



(나) (가)영상으로부터 워터마크 검출 결과

그림 5. 웨이브렛 압축을 적용한 세 번째 실험 영상과 워터마크 추출 결과

그림 6은 제안한 삽입 방식의 화질열화 정도를 알아보기 위해 지금까지도 많이 사용되고 있는 [8]의 대역확산 방식을 이용한 삽입 영상과의 화질 비교 결과이다. 그림 6의 (가)와 (나)는 웨이브렛 LL_3 부대역의 동일한 위치의 계수 값에 동일한 워터마크를 각각의 삽입식에 의해 삽입한 영상의 화질열화 정도를 나타낸 것으로 대역확산 방식의 워터마크 삽입은 [8]에서와 동일하게 식 (5)와 같이 적용하였다.

$$I'_i = I_i(1 + \alpha w_i) \quad (5)$$

여기서 α 는 워터마크의 강도를 조절하는 파라미터로서 [8]의 실험과 동일하게 0.1로 고정하였다. 그림에서처럼 대역확산 방식을 이용한 삽입식을 웨이브렛 저주파수 대역의 계수값에 그대로 적용할 경우 대역확산 방식의 특성상 원 신호인 저주파 성분과의 간섭현상으로 인해 심한 화질 열화가 발생함을 볼 수 있다. 반면 이러한 저주파 영역에 대한 워터마크 삽입을 위해 본 논문에서 제안된 양자화를 이용한 삽입 방식은 화질 열화가 거의 없이 이루어짐을 시각적으로 확인할 수 있다.



(가) 대역확산 방식의 삽입 결과 영상 (31.44dB)



(나) 제안한 방식의 삽입 결과 영상 (45.22dB)

그림 6. 대역확산 방식과 제안한 삽입 방식과의 화질 비교

V. 결 론

본 논문에서는 웨이브렛 최저주파수 대역에서 양자화를 이용한 새로운 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 JPEG/JPEG2000 압축 및 필터링과 같은 비기하학적인 공격에 대해 매우 강한 특성을 보였다. 이와 같은 강인성은 웨이브렛 변환영역에서 저주파 성분 대역인 LL 부대역의 계수들에 워터마크를 삽입하였기 때문에 기인한 것으로 볼 수 있으며, 제안한 삽입방식이 화질열화를 크게 일으키지 않는 것을 확인하였다. 또한 본 실험에서는 1비트의 정보량을 갖는 이진 의사 랜덤 신호를 키 값에 의해 발생시켜 워터마크 신호로 사용하였지만, 본 방식의 검출 어려움을 감안한 에러 정정 부호화기 등을 이용하면 보다 많은 정보의 삽입도 가능할 것으로 보인다.

그러나 제안한 방법은 현재 대부분의 워터마킹 알고리즘이 안고 있는 문제점인 기하학적 공격에 대해서는 대안을 갖지 못하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 삽입된 워터마크의 동기화를 위하여 [20]과 같은 방식의 추가정보 삽입 방식 등이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," *Signal processing*, vol. 66, no. 3, pp. 357-372, 1999.
- [2] C.-T. Hsu, J.-L. Wu, "Hidden signature in images," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 8, pp. 58-68, Jan. 1999
- [3] H. Inoue, A. Miyazaki, A. Yamamoto, and T. Katsura, "A digital watermark technique based on the wavelet transform and its robustness on image compression and transformation," *IEICE Trans. Fund.*, vol. E82-A, no. 1, pp. 2-10, Jan. 1999.
- [4] B. Chen, G. Wornell, "Quantization index modulation: A class of provably good methods for digital watermarking and information embedding," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 47, no. 4, pp. 1423-1443, May 2001.

[5] D. Kunder, D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," Proc. ICASSP, pp. 2969-2972, May 1998.

[6] F. Perez-Gonzalez, F. Balado, "Quantized projection data hiding," Proc. ICIP, pp. 889-892, Sep. 2002.

[7] J. Eggers, R. Bauml, R. Tzschoppe, and B. Girod, "Scalar costa scheme for information embedding," IEEE Trans. Signal Process., vol. 51, no. 4, Apr. 2003.

[8] I. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. Image Process., vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.

[9] ISO/IEC 15444-1, JPEG2000 Part1 International Standard, Dec. 2000.

[10] Checkmark benchmarking, <http://watermarking.unige.ch/Checkmark/>.

[11] 서용석, 주상현, 정호열, "JPEG2000을 위한 디지털 워터마킹," 한국방송공학회 논문지 6권 1호, pp. 32-40, 2001년 6월.

[12] 노상윤, 박상주, "HVS 특성을 이용한 Wavelet 변환공간에서의 효과적인 워터마킹 기법에 관한 연구," 한국통신학회 논문지, 27권 4호, pp. 336-344, 2002년 4월.

[13] J. Fridrich, "Combining low-frequency and spread spectrum watermarking," Proc. SPIE Int. Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 1998.

[14] R. Dugad, K. Ratakenda, and N. Ahuja, "A new wavelet based scheme for watermarking images," Proc. ICIP, vol. II, TA10.07, Oct. 1998.

[15] V. Darmstaedter, J. Delaigle, J. Quisquater, and B. Macq, "Low cost spatial watermarking," Computer & Graphics, Elsevier Science Ltd., Great Britain, vol. 22, no. 4, pp. 417-424, 1998.

[16] L. Xie, G. Arce, "Joint wavelet compression and authentication watermarking," Proc. ICIP, vol. 2, pp. 427-431, Oct. 1998.

[17] S. Pereira, S. Voloshynovskiy and T. Pun,

"Optimal transform domain watermark embedding via linear programming," Signal Processing, May 2001.

[18] J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Shi, "Embedding image watermarks in DC components," IEEE Trans. Circuits & Systems for Video Tech., vol. 10, no. 6, pp. 974-979, Sep. 2000.

[19] S. Joo, et al., "A new robust watermark embedding into wavelet DC components," ETRI Journal, vol. 24, no. 5, pp. 401-404, Oct. 2002

[20] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarking," IEEE Trans. Image Process., vol. 9, no. 6, pp. 1123-1129, Jun. 2000.

서 용 석(Yong-Seok Seo)

정회원



1999년 2월 : 영남대학교 전자공학과 공학사
2001년 2월 : 영남대학교 정보통신공학과 공학석사
2001년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 디지털저작권관리연구팀 연구원

<주관심분야> 영상/비디오 저작권 정보보호 및 압축

주 상 현(Sang-Hyun Joo)

정회원



1989년 2월 : 동국대학교 전자공학과 공학사
1994년 2월 : 동국대학교 전자공학과 공학석사
1999년 3월 : 일본 니이가타 대학 공학박사
1994년 1월 ~ 1996년 2월:

생산기술연구원 연구원

1999년 4월 ~ 2001년 3월 : 니이가타대학 전기전자공학과 조교수

2001년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 디지털저작권관리연구팀 선임연구원

<주관심분야> 저작권 관리/보호, 영상/비디오 처리

유 원 영(Won-Young Yoo)

정회원



1996년 2월 : 전북대학교 전자
공학과 졸업

1998년 2월 : 전북대학교 전자
공학과 석사

2003년 2월 : 전북대학교 전자
공학과 공학박사

2001년 2월 ~현재 : 한국전자통

신연구원 디지털저작권관리연구팀 연구원

<주관심분야> 영상, 비디오 분석 및 편집, 워터마킹