

상관도 기반의 강인한 블라인드 워터마킹

주 상 현[†] · 서 용 석^{**}

요 약

대부분의 워터마킹 기법은 공격에 대한 강인성과 비가시성을 동시에 만족시키기 위하여 중간주파수 영역에 워터마크를 삽입하는데 반해, 본 논문에서는 웨이블릿 분해된 영상의 저주파영역에 워터마크열, $(-1, +1)$, 을 비가시적으로 삽입하는 블라인드 워터마킹 기법을 소개한다. 워터마크를 삽입하는 위치는 키에 의해 랜덤하게 선택되며, 화질열화를 크게 일으키는 계수에 대해서는 워터마크 삽입을 생략한다. 본 방식은 추출된 워터마크열의 상관도 계산에 의해 워터마크의 유무를 판정하므로 워터마크열의 일부가 삽입되지 않더라도 워터마크의 판정에는 무리가 없음을 보인다. 제안하는 방식의 성능은 ChechMark [1]의 벤치마킹 툴을 통하여 검증하였으며 [1]에 등록되어 있는 다른 방식들과 비교하였다.

Correlation-based Robust Blind Watermarking

Sanghyun Joo[†] · Yong-Seok Seo^{**}

ABSTRACT

We propose a blind watermarking method that embeds a binary pseudo-random sequence (watermarks), $(-1, 1)$, into wavelet dc components, while most watermarking techniques embed watermarks in the middle frequency range for robustness and fidelity. In our scheme, the watermarks are embedded into particular locations to be selected by a key, where some watermark embeddings are skipped to avoid severe degradation in quality. Our robustness is compared to some results registered to the ChechMark [1] that is one of the most popular benchmarking tools.

키워드 : 워터마킹(Watermarking), 상관도(Correlation), 블라인드(Blind), 웨이블릿(Wavelet)

1. 서 론

최근, 디지털 콘텐츠에 대한 유료화가 가속화 되면서, 이들에 대한 저작권 보호를 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 콘텐츠내에 저작권 정보를 삽입하는 디지털 워터마킹은 가장 널리 사용되는 저작권 보호기술이며, 이 기술은 단순히 소유권 주장뿐만이 아니라, 인증, 방송 모니터링, 소프트웨어/하드웨어의 재생 및 복사 제어 등 폭넓게 사용될 수 있다.

일반적으로 사용되는 저작권 보호용 영상 워터마킹에서는 영상의 화질을 손상시키지 않는 범위내에서 워터마크를 삽입해야 하며, 압축과 필터링 같은 공격에 대한 강인성을 확보해야 한다. 대역확산방식은 워터마크 정보를 주파수 영역에 삽입함으로써 이 정보가 쉽게 전체 영상으로 퍼져도 록 한다. 이러한 방식은 공간영역에서의 방식에 비해 공격에 대한 강인성이 뛰어난 것으로 알려져 있다[2-5]. 주파수 관점에서 볼 때, 워터마크를 고주파영역에 삽입하는 것은 압축과 같은 공격에 워터마크가 쉽게 사라지는 단점이 있으며, 저주파 영역에 삽입하는 것은 심한 화질열화를 가져

온다는 단점이 있다. 따라서, 비가시성과 견고성을 동시에 만족시키기 위하여 중간주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 기법이 많이 연구 되어왔다[4-7].

지금까지는 기존의 정지영상 표준인 JPEG을 고려한 DCT 기반의 워터마킹 기법에 대한 연구결과가 많이 나왔다. 그러나, 최근 만들어진 JPEG2000 압축표준은 웨이블릿을 기반으로 하고 있으며, 이에 따라 웨이블릿 기반의 워터마킹 기법도 많이 연구되고 있다[8-10]. 특히, 심한 화질열화를 고려하여 워터마크 삽입대상영역에서 제외하던 기존 방식들과 달리 참고문헌 [10]에서는 웨이블릿 분해된 영역중 최저주파수 영역에 워터마크를 삽입하여 강인성을 확보하였다. 또한, 원본영상으로부터 화질열화발생이 적은 계수를 선택하여 워터마크를 삽입함으로써 화질열화를 크게 줄이는 난블라인드 방식을 제안 하였다.

블라인드 방식은 난블라인드 방식에 비해 공격에 대한 강인성 측면에서는 불리하나, 원본영상의 보관이 불필요하고 사용이 간편하여 많은 분야에 적용될 수 있다. 본 논문에서는 참고문헌 [10]에서 제안한 방식을 블라인드 방식으로 확장한다. 블라인드 방식에서는 추출시 원본사용을 하지 않으므로, 원본으로부터 화질열화가 적은 계수를 선택할 수 없

[†] 정 회 원 : 한국전자통신연구원 가상현실연구부 선임연구원
^{**} 정 회 원 : 한국전자통신연구원 가상현실연구부 연구원
 논문접수 : 2003년 5월 22일, 심사완료 : 2003년 8월 19일

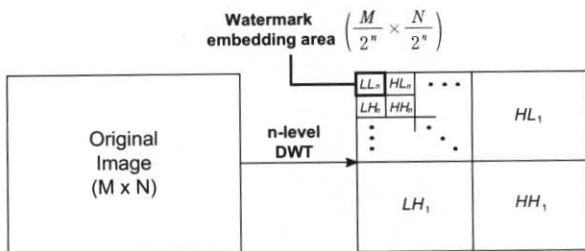
다. 따라서, 워터마크를 삽입할 계수를 랜덤하게 키를 이용해 정하게 되는데, 이 경우 특정계수에 따라 화질 열화가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 화질열화가 심하게 일어날 계수에 대한 워터마크 삽입을 생략한다. 본 워터마킹 기법은 상관도를 이용한 워터마크의 유효성을 검출하는 기법이므로, 워터마크열의 일부가 삽입되지 않더라도 유효성 입증에는 무리가 없음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 워터마크의 삽입 및 추출 과정이 소개되며 화질열화 방지를 위한 방법과 이것의 유효성을 보인다. 또한 본 기법에서 사용되는 두 키의 역할이 소개된다. 3장은 CheckMark[1]에서 제공하는 성능 실험에 대한 결과 및 분석을 다룬다. 또한, 이 결과들은 다른 기법에 대한 결과들과 비교된다. 마지막으로 4장에서 이 논문의 결론을 맺는다.

2. 워터마크 삽입 및 추출

2.1 웨이블릿 분해와 워터마크 삽입 영역

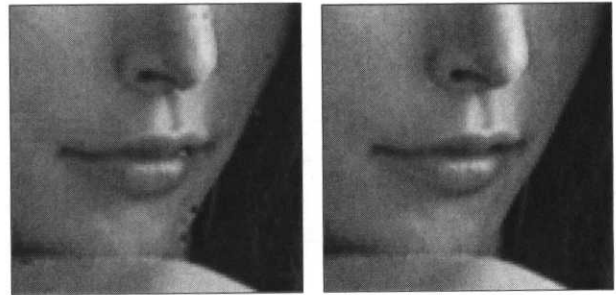
먼저, 워터마크를 삽입할 원본이미지를 웨이블릿 분해한다. 이때, 웨이블릿의 단수는 요구되는 워터마킹의 강인성과 허용되는 화질열화를 고려하여 결정한다. 1단의 경우, LL_1, LH_1, HL_1, HH_1 의 부대역을 얻게 되며, 이 LL_1 은 (그림 1)과 같이 계속하여 분해할 수 있다. 워터마크는 최종적으로 얻어진 최저주파수 대역에만 삽입된다. 예를 들어, $M \times N$ 크기의 영상에 대하여 n 단의 웨이블릿 분해를 한 경우, 워터마크를 삽입할 영역의 크기는 $MN/2^{2n}$ 이다.



(그림 1) n단의 웨이블릿 변환 및 워터마크 삽입영역 설정

2.2 워터마크 삽입 위치의 결정

삽입할 워터마크열은 키(key 1)에 의해 발생되며, 이 열은 +1과 -1로 구성되는 wm_len 의 길이를 갖는다. 따라서, 삽입영역의 크기, $S(LL_n)$ 은 워터마크열의 길이보다 크거나 같도록 웨이블릿의 단수를 설정하여야 한다. 삽입할 워터마크의 길이가 wm_len 이므로 LL_n 중에서 wm_len 만큼의 계수를 선택하여야 한다. 이것은 또 하나의 키(key 2)에 의한 랜덤시퀀스, $locat$ 를 발생시킴으로써 이루어진다. 즉, $locat(p) \in \{0, 1\}$, $1 \leq p \leq S(LL_n)$, 여기서 1과 0은 $wm_len/S(LL_n)$ 과 $1-wm_len/S(LL_n)$ 의 확률로 발생되며, 워터마크는 $locat(p)$ 가 1인 위치에 삽입된다.



(a) 화질열화를 고려하지 않은 경우(35.21dB) (b) 화질열화를 고려하여 워터마크 삽입을 부분적으로 생략한 경우(48.76dB)

(그림 2) 워터마크 삽입시 화질열화 고려에 따른 차이

2.3 워터마크 삽입

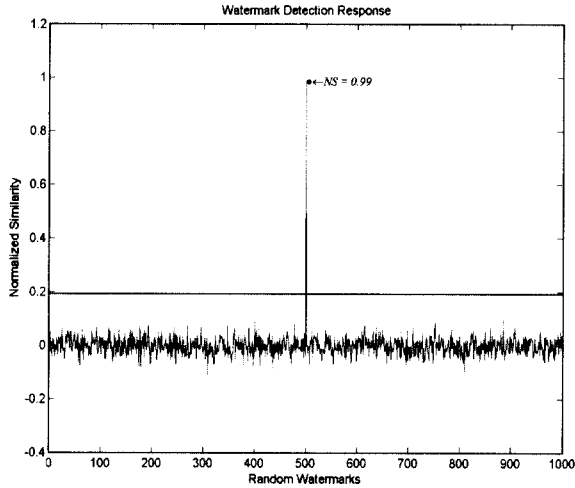
참고문헌 [10]에서는 워터마크 삽입을 위하여 LL_n 에 대해 한번의 웨이블릿 변환을 더하고 고주파영역을 0로 한후 역변환을 통해 LL_n' 을 구한다. 워터마크는 LL_n 과 LL_n' 간의 크기비교를 통하여 삽입되며, LL_n 의 값을 LL_n' 의 크기보다 크거나(삽입할 워터마크가 1인 경우) 작도록(삽입할 워터마크가 -1인 경우) 조정함으로써 이루어진다. 워터마크가 랜덤한 이진비트열이므로 화질열화의 발생을 최소로 줄이기 위해서는 두값의 차이가 적은 곳에 삽입하는 것이 유리하다. 따라서, 이 방식에서는 원본영상으로부터 이러한 정보를 얻어 삽입과 추출을 행한다.

그러나, 이 방식을 블라인드로 변형할 때, 추출시 원본영상이 존재하지 않으므로 이러한 정보를 얻을 수가 없다. 따라서 다른 키(key 2)를 이용하여 랜덤하게 삽입위치를 결정한 후 식 (1)에 따라 삽입한다. 또한, 참고문헌 [10]에서는 LL_n' 을 구하기 위하여 LL_n 에 대하여 한번의 웨이블릿 변환을 더하고 고주파영역을 0로 한후 역변환을 통해 얻고 있으나, 본 논문에서는 이러한 과정을 단순히 워너필터링으로 대체한다. 이는 LL_n' 을 구하는 과정이 간단할 뿐만 아니라 워터마크 추출 성능도 약간 우수하다는 것을 실험적으로 알 수 있었다.

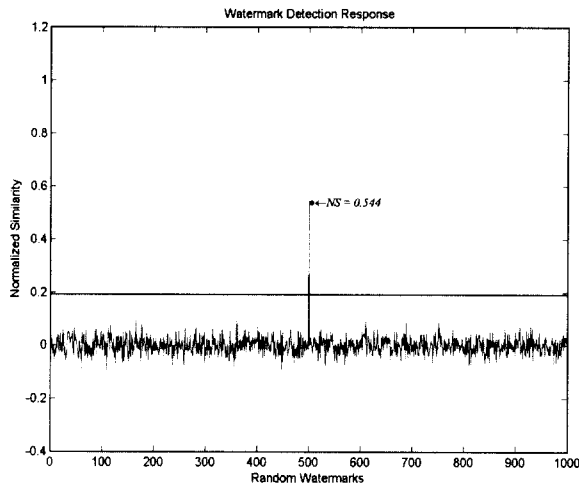
워터마크를 삽입할 때, 모든 삽입대상 계수에 대하여 이식을 적용할 필요는 없다. 두 값의 크기관계가 삽입하고자 하는 워터마크 정보에 부합하는 경우는 이 과정을 적용할 필요가 없다. 또한, 식 (1)에 의해 LL 의 변화가 너무 크면 심한 화질열화를 가져오므로, 이 변화가 미리 정한 임계치보다 커질 경우에는 워터마크를 삽입하지 않는다. 이 경우 워터마크를 삽입하지 않으므로 추출시 에러가 발생할 수 있다. 그러나, 본 방식은 워터마크열에 대한 상관도측정에 의해 워터마크의 유무를 판정하는 기법이기에 때문에 약간의 오차가 발생하더라도 판정을 하는 데는 문제가 되지 않는다. (그림 3)은 512×512 크기의 레나영상에 대하여 워터마크를 삽입한 후 어떤 공격도 가하지 않은 상태에서 워터마크를 추출한 결과이다.

$$LL(i) \leftarrow LL'(i) + \alpha \times w(i) \quad (1)$$

여기서, $LL(i)$ 는 i 번째 워터마크가 삽입될 계수를 의미하며, α 는 워터마크의 삽입강도를 결정짓는 상수이다. 이 값이 클수록 화질열화가 심해지는 반면 외부공격에 대해서는 견고해진다.



(a) (그림 2)(a)에 대한 워터마크 검출 결과

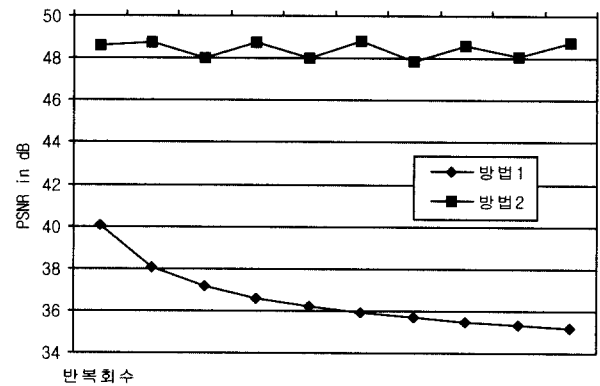


(a) (그림 2)(a)에 대한 워터마크 검출 결과
(그림 3) (그림 2)에 대한 워터마크 검출 결과

2.4 워터마크 삽입과정의 반복

2.3절의 워터마크 삽입이 이루어진 후, 워터마크를 추출해보면 워터마크가 제대로 추출되지 않는다. 왜냐하면, 워터마크 정보에 따라 LL 영역의 변화가 생겼기 때문에 추출시 변화된 LL 과 이로부터 얻어지는 LL' 의 크기 관계가 워터마크 정보와는 달라지게 된다. 따라서, 2.3절의 워터마크 삽입 과정은 LL 과 LL' 간의 크기 관계가 더 이상 변하지 않을 때까지 반복되어야 한다. 이러한 삽입과정이 반복됨에 따라 PSNR은 점차 감소하게 된다. (그림 4)는 워터마크 삽입 반복회수와 그에 따른 PSNR의 변화를 보여준다. 방법

1은 워터마크 삽입에 따른 화질열화를 고려하지 않는 경우이고, 방법 2는 화질 열화를 고려하여 워터마크 삽입을 부분적으로 생략하는 경우에 대한 PSNR의 변화를 보여준다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 방법 1의 경우, 반복이 진행되면서 PSNR이 어느 값에 수렴함을 알 수 있으며, 이는 워터마크 삽입에 의해 더 이상 LL 의 계수 값이 변하지 않음을 의미한다. 그러나, 방법 2에서는 반복에 따라 화질 열화가 점점 심해지면 워터마크를 삽입하지 않고 원래의 값으로 돌려 놓기 때문에 방법 1에서와 같은 PSNR 수렴은 일어나지 않는다. 10개의 실험영상에 대하여 실험한 결과, PSNR이 수렴함을 알 수 있었다. 본 논문의 3장에서 실험된 결과는 방법 2에 대한 것으로서, 반복회수를 10으로 고정시켰다.



(그림 4) 워터마크 반복 삽입에 따른 화질열화

2.5 워터마크 추출

워터마크 추출은 원본 이미지뿐만 아니라 어떠한 추가 정보도 요구하지 않는 블라인드 방식이다.

워터마크가 삽입된 영상을 삽입시 적용된 n 단의 웨이블릿 변환을 행한 후, LL_n 에 대한 워터마크를 추출한다. key 2로부터 선택된 계수에 대하여 LL_n 과 LL'_n 의 크기를 비교하여 워터마크를 추출한다. 즉, LL 이 LL' 보다 크면 +1, 작으면 -1로 한다.

추출된 워터마크열(w^*)의 유효성을 증명 하는 데는 상관도 측정기법을 이용한다. 추출된 워터마크열(w^*)과 원래 삽입된 워터마크간의 상관도는 식 (2)에 의해 구한다. 여기서 $[\cdot]$ 은 내적이며, 분모는 워터마크의 길이와 동일한 값이 나온다. 워터마크열은 +1과 -1로 구성이 되기 때문에 한비트의 오차는 상관도 계산에서 두비트의 정보를 없애는 결과가 된다. 즉, 정확하게 50%의 비트들이 오차인 경우 상관도는 0이 된다. 서로 다른 키에 의해 발생된 워터마크열 간에는 상관도가 거의 0가 되며, 참고문헌 [4]에서는 이들 상관도 값들에 대한 표준편차(σ)의 6배에 해당하는 값을 유효성 판정의 기준으로 삼았다.

$$Sim(w, w^*) = (w \cdot w^*) / (w^* \cdot w^*) \quad (2)$$

3. 실험 결과

워터마킹 기법의 성능을 측정하기 위하여 인터넷상에서 제공되는 벤치마킹 틀이 종종 이용된다[1, 11]. 본 방식은 기하학적 공격을 대비하여 설계되지 않아 이러한 공격이 가해질 경우 워터마크가 삽입된 위치를 알기가 어렵다. Check-Mark에서는 비기하학적 공격과 기하학적 공격에 대하여 별도로 평가를 하고 있으며, 몇몇 평가결과를 웹 사이트에 공개하고 있다. 본 논문에서 제안하는 워터마킹 기법은 Check-mark의 비기하학적 공격에 대하여 실험 하였으며, 다른 공개된 결과들과 비교 하였다.

Checkmark에서는 다섯개의 비기하학적 공격용 테스트영상을 제공한다. 이들 영상에 대하여 동일한 실험 조건을 적용하였다. 모든 영상에 대하여 2단의 웨이블릿 분해를 하였고, 따라서 워터마크를 삽입하는 영역(LL2)의 크기는 원본 영상의 1/16 크기이다. 사용된 워터마크의 길이는 1024이며, 500의 키를 사용하여 생성하였다. 워터마크가 삽입될 위치는 5000의 키를 사용하여 선택하고, 워터마크의 삽입강도를 결정하는 α 는 15로 설정하였다. 또한 LL계수의 큰 변화로 발생할 수 있는 화질열화를 방지하기 위하여 3α 이하의 변화만을 허용하도록 하고 그 이상의 변화가 발생하는 계수에 대해서는 워터마크 삽입을 생략한다. <표 1>은 α 의 변화에 따른 화질열화를 보여주고 있으며, 공격이 없는 상태에서 워터마크를 추출했을 경우의 상관도를 함께 제시하였다. 표에서 알 수 있듯이, 작은 α 에 대하여 화질이 좋아지나 3α 를 워터마크 삽입생략의 기준으로 할 때, 상관도가 많이 떨어지기 때문에 적절한 α 를 선택할 필요가 있다.

<표 1> 삽입강도 α 에 따른 화질열화 및 상관도 관계

	5	10	15	20	25	30
PSNR	60.27	53.44	48.76	45.64	43.32	41.52
상관도	0.342	0.442	0.544	0.616	0.658	0.706

(그림 5)는 5개의 실험 영상과 워터마크가 삽입된 영상들을 보여준다. 워터마크 삽입된 영상들은 PSNR에서 많은 차이가 있는데, 이는 영상의 크기에 관계없이 동일한 실험 조건이 적용되었기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 모든 영상에서 시각적으로 감지되는 화질열화는 발생 되지 않았다. CheckMark에서는 평가를 위한 매트랩 소스 코드를 제공한다. 각 실험영상에 대하여 47가지의 공격이 가해지므로 모두 235개의 워터마크 검출결과를 얻는다. <표 2>에서는 공격의 종류를 크게 9가지로 분류하고 검출 성공에 1점을 부여하고 실패에는 0점을 부여한 결과를 보여준다. 검출성공여부에 대한 기준은 식 (2)의 상관도측정에 따른다. 즉, 측정된 값이 다른 키에 대한 상관도 값들의 표준편차(σ)의 6 배에 해당하는 값보다 크면 검출성공으로 간주하였다. 여기서 6σ 는 0.193으로 측정되었다. (그림 6)은 다섯 번째 실험

영상에 디터링 공격을 가한 후, 이 영상에서 추출된 워터마크와 1000개의 서로 다른 키로부터 생성된 워터마크열과의 상관도를 보여준다. 삽입된 워터마크는 500의 키로부터 생성된 것이므로, 500의 위치에서 가장 큰 피크가 뜨며 이 값

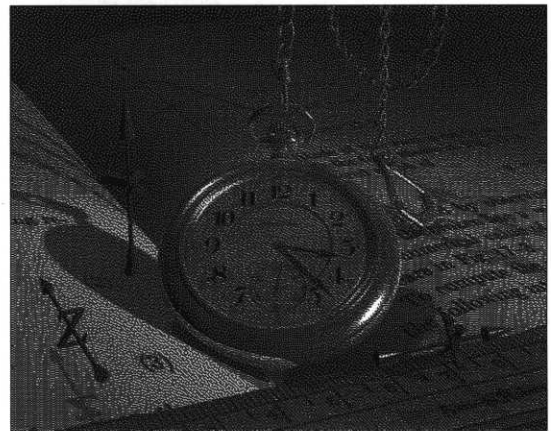


(a) 5개의 실험영상(크기 : 왼쪽으로부터 288×192, 500×470, 512×512, 500×478, 500×375)

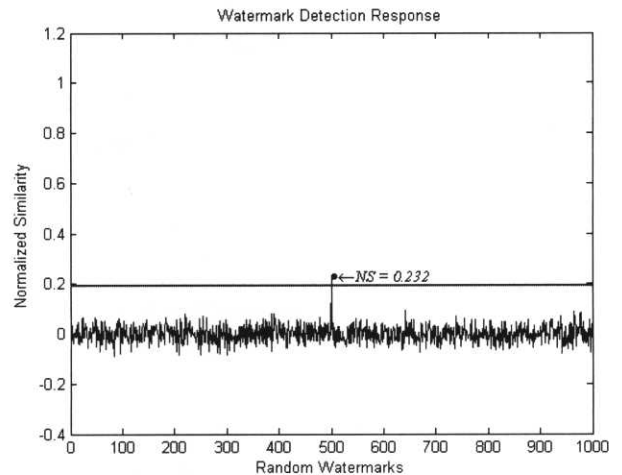


(b) 워터마크가 삽입된 영상(PSNR : 왼쪽으로부터 40.83dB, 46.72dB, 47.14dB, 47.07dB, 45.65dB)

(그림 5) 실험영상 및 워터마크 삽입된 영상



(a) 디터링 공격을 받은 영상



(b) (그림 6)(a)영상으로부터 워터마크 검출결과

(그림 6) 디터링공격을 받은 영상과 워터마크 추출결과

<표 2> 공격에 대한 검출성능

공격종류(공격수)	영 상	im1	im2	Im3	im4	im5	계
MAP(6)		6	6	6	6	6	30
JPEG(12)		12	11	11	12	11	57
Filtering(3)		3	3	3	3	3	15
Wavelet(10)		5	7	8	4	7	31
ML(7)		6	6	7	5	7	31
Remodulation(4)		3	4	4	2	3	16
reSample(2)		2	2	2	2	2	10
Copy(1)		1	0	0	1	1	3
ColorReduce(2)		1	1	0	1	1	4
계		39	40	41	36	41	197

<표 3> 검출 성능 비교

기 법	Non-geometric(5 images, 235 attacks)
frid2 [12]	70%
Dugad [13]	88%
Bruyn [14]	61%
Xie [15]	93%
Unige2000 [16]	61%
Proposed	84%

이 0.193보다 큰가 작은가에 따라 검출성공 여부를 판정한다. 이러한 판정을 5개의 실험영상에 적용했을 때, 검출성공률은 84%(≅197/235, 검출성공수/총공격수)였다. <표 3>에서는 CheckMark에 등록된 다른 기법들과 비교결과를 제시하였으며, 제안하는 기법이 비교적 우수한 편에 속함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 공격에 강인한 블라인드 워터마킹 기법을 제안하였다. 워터마크의 공격에 대한 강인성을 확보하기 위하여 웨이블릿 변환영역 중 최저주파수영역에 워터마크를 삽입하고, 이때 화질열화를 가져오는 계수에 대해 워터마크 삽입을 하지 않음으로써 화질 열화를 크게 줄였다. 워터마크의 유효성을 상관도 측정에 의해 판정하기 때문에 워터마크열의 일부가 삽입되지 않는다 하더라도 유효성판정을 삽입된 워터마크의 동기화를 필요로 하며 [17]와 같은 방식의 추가정보를 삽입할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] CheckMark, <http://watermarking.unige.ch/Checkmark/>.
 [2] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu, "Techniques for data hiding," IBM Systems Journal, IBM, USA, Vol.35, No.3-4, pp.313-336, 1996.

[3] O. Bruyndonckx, J. J. Quisquater and B. Macq, "Spatial method for copyright labeling of digital images," in Non-linear Signal Processing Workshop, Thessaloniki, Greece, pp.456-459, 1995.
 [4] I. J. Cox, J. Killian, T. Leghton and T. Shamoon, "Secure spread spectrum for multimedia," IEEE Trans., IP, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, 1997.
 [5] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden Digital watermarks in images," IEEE Trans. IP, Vol.8, No.1, pp.58-68, 1999.
 [6] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Lippi, A. Piva, "A DWT-based technique for spatiofrequency masking of digital signatures," Proceedings of the SPIE/IS&T International 20 Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose, CA, January, Vol.3657, 1999.
 [7] M. Barni, F. Bartolini, A. Piva, "Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking," IEEE Trans. IP, Vol.10, No.5, pp.783-791, May, 2001.
 [8] 김철기, 차의영, "웨이블릿과 특이치 분해에 기반한 디지털 워터마킹", 한국통신학회논문지, 제27권 제6호, pp.602-609, 2002.
 [9] 서용석, 주상현, 정호열, "JPEG2000을 위한 디지털 워터마킹", 한국방송공학회논문지, 제6권 제1호, pp.32-40, 2001.
 [10] S. Joo, Y. Suh, J. Shin and H. Kikuchi, "A New Robust Watermark Embedding into Wavelet DC Components," ETRI Journal, Vol.24, No.5, pp.401-404, Oct., 2002.
 [11] StirMark, <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/watermarking/stirmark/>.
 [12] J. Fridrich, "Combining low-frequency and spread spectrum watermarking," Proc. SPIE Int. Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, San Diego, USA, 1998.
 [13] R. Dugad, K. Ratakenda and N. Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol. II, TA10.07, Oct., 1998.
 [14] V. Darmstaedter, J. F. Delaigle, J. J. Quisquater and B. M. Macq, "Low cost spatial watermarking," Computer & Graphics, Elsevier Science Ltd., Great Britain, Vol.22, No. 4, pp.417-424, 1998.
 [15] L. Xie and G. Arce, "Joint wavelet compression and authentication watermarking," Proc. IEEE Int. Conference on Image Processing, Chicago, Illinois, Vol.2, pp.427-431, October, 1998.
 [16] S. Pereira, S. Voloshynovskiy and T. Pun, "Optimal transform domain watermark embedding via linear programming," Signal Processing, Special Issue : Information Theoretic Issues in Digital Watermarking, May, 2001.
 [17] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," IEEE Trans. IP, Vol. 9, No.6, pp.1123-1129, Jun., 2000.



주 상 현

e-mail : joos@etri.re.kr

1989년 동국대학교 전자공학과 공학사
1994년 동국대학교 전자공학과 공학석사
1999년 일본 니이가타대학 공학박사
1994년~1996년 생산기술연구원 연구원
1999년~2001년 니이가타대학 전기전자
공학과 조교수

2001년~현재 한국전자통신연구원 가상현실연구부 선임연구원
관심분야 : 저작권 관리/보호, 영상/비디오 처리



서 용 석

e-mail : yongseok@etri.re.kr

1999년 영남대학교 전자공학과 공학사
2001년 영남대학교 정보통신공학과 공학
석사
2001년~현재 한국전자통신연구원 가상
현실연구부 연구원

관심분야 : 영상/비디오 저작권 정보보호 및 압축