

샘플 확장을 이용한 공간영역 블라인드 워터마킹

김진호, 장호욱, 황영하
한국전자통신연구원 콘텐츠기술연구부
대전광역시 유성구 가정동 161

A Spatial Domain Blind Watermarking by Sample Expansion

Jin-Ho Kim, Ho-Wook Jang and Young-Ha Hwang
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)
E-mail: jhokim@etri.re.kr, hwjang@etri.re.kr and faketree@etri.re.kr

요약

본 논문에서는 패치워크 방식을 변형한 공간영역상의 블라인드 이미지 워터마킹을 제안한다. 패치워크 알고리즘에 기반한 기존의 방식에서는 샘플당 화소수가 1로 제한되었으나, 여기서 제시한 알고리즘에서는 1보다 큰 샘플당 화소수를 가질 수 있도록 샘플 확장계수를 도입하여 기존 방식을 개선하였다. 또한 이미지 특성에 따라 워터마크를 삽입하기 위해 샘플군의 평균값에 비례하도록 워터마크 삽입강도를 조절하였다. 샘플 확장계수에 의해 샘플당 4화소 이상을 할당하는 다양한 조건하에서 모의실험을 수행하였고, 샘플 확장계수의 도입으로 인한 성능개선을 확인할 수 있었다.

1. 서론

워터마크 검출시 원영상을 사용하지 않는 블라인드 방식의 워터마킹은 적용영역에 따라 공간영역과 주파수영역 워터마킹 방식으로 나뉘어진다. 널리 알려진 공간영역 워터마킹 방식중 하나가 Bender에 의해 제시된 패치워크 방식이다 [1].

패치워크 방식은 통계적 특성을 이용한 워터마킹 방식이다. 워터마크를 삽입할 이미지 데이터로부터 샘플쌍을 여러번 취할 경우, 샘플 개수가 많아지면 샘플쌍의 평균값이 동일한 값을 가지게 된다. 샘플쌍의 한 샘플에 상수를 더하여 각각의 평균을 취하면, 두 샘플군 각각의 평균은 더해진 상수값 만큼의 차이를 가진다. 이렇게 이미지 데이터에 가감되는 값을 원 이미지의 화질을 크게 훼손시키지 않는 범위내에서 줄 수 있다면, 샘플쌍 평균 차이값의 극성을 이진부호의 워터마크 정보로 이용할 수 있다.

Langelaar [2]는 패치워크 방식을 변형한 이미지 워터마킹 방법을 제시하였다. 의사 이진 난수(Pseudo binary random number)를 발생시켜 의사 이진 난수의 비트가 '1'인 부분에 대해, 삽입되는 워터마크 비트가 '1'일 경우에는 상수를 더하고, '0'일 경우에는 상수를 뺀다. 이 결과를 DCT 한 후 다시 역 DCT 하여, 의사 이진 난수의 비트가 '1'인 부분의 평균값과 '0'인 부분의 평균값이 미리 주어진 임계값 보다 커질 때까지

이 과정을 반복하는 방식이다.

Langelaar [2]의 방식은, 워터마킹된 이미지가 JPEG 압축될 것을 미리 감안하여 DCT/IDCT 과정을 워터마크 삽입시 고려한다는 아이디어는 훌륭하다고 보여진다. 하지만 반복적인 방법을 사용함으로써 워터마크 삽입시 시간이 많이 걸리고, 워터마크 정보가 DCT/IDCT 과정을 거치면서 사라지지 않도록 하기 위해 가감되는 상수값을 크게 하여 결과적으로 원영상의 열화를 가져올 수 있다는 것이 단점으로 보여진다. 이러한 단점 중 JPEG 공격과 같이, 영상신호의 고주파 성분을 억제하는 공격에 약한 면을 보이는 것이 패치워크 방식을 기본으로 사용하는 공간영역 이미지 워터마킹 방식의 공통된 점이다 [3].

본 논문에서도 패치워크 방식을 기본으로 사용하지만, 기존 방식을 확장하여 일반적 AWGN 공격뿐만 아니라 JPEG 공격에도 기존 방식들보다 강한 새로운 공간영역상의 블라인드 워터마킹 방식을 제시한다.

2. 패치워크 방식의 고찰

패치워크 방식을 이미지 워터마킹으로 사용하기 위해 보통 다음과 같은 변형을 가한다.

비트 '1'과 '0'의 개수가 동일하며 개수가 $N \times N$ (N은 양의 정수) 인 의사 이진 난수를 발생시킨다. $N \times N$ 블록의 비트 '1'과 비트 '0'에 해당하는 화소를 패치워크 방식을 적용하려는 두 종류의 샘플군으로 선택한다. 여기서 패치워크 이론에 따르면, N을 크게 하면 의사 이진 난수가 '1'인 부분과 '0'인 부분의 평균 화소값은 거의 동일한 값을 가진다. 삽입되는 워터마크의 이진 정보가 '1'이면 의사 이진 난수가 '1'인 부분의 화소값을 주어진 상수만큼 증가시킨다. 삽입되는 워터마크의 이진 정보가 '0'이면 의사 이진 난수가 '1'인 부분의 화소값을 주어진 상수만큼 감소시킨다. 워터마크가 삽입된 $N \times N$ 블록의 의사 이진 난수 '1'과 '0' 위치 각각의 평균 화소값은 주어진 상수값만큼 차이가 나게 되어 결과적으로 워터마크가 삽입되었음을 확인할 수 있다 [2][4].

AWGN이나 JPEG 등과 같은 공격을 견디기 위해 가감되는 상수값을 크게 하여 워터마크의 삽입 강도를 높일 수 있지만, 이는 원 이미지의 화질(PSNR) 열

화를 가져오게 되므로 가감되는 상수값은 10 이하의 값을 갖도록 하는 것이 보통이다 [2]. 그러나 화소값이 가변되는 화소가 화소값의 변화가 거의 없는 이미지의 특정한 저주파 부분에서 선택될 경우에는 문제가 발생한다. 워터마크 삽입후의 PSNR 이 크게 유지되도록 하기 위해서는 워터마크 삽입으로 인해 가감되는 화소값을 작게 주어야 한다. 그러나 PSNR 이 크더라도 주관적 화질 평가에서는 좋지 않은 결과를 얻을 수 있다. 예를 들어 매끈한 얼굴 부위에서 임의로 선택된 화소의 화소값을 변화시키면 마치 주근깨가 생긴듯한 결과를 낳는다.

의사 이진 난수 블록을 이용하여 워터마크를 삽입하는 것은 원 이미지에 고주파 성분의 영상을 합하는 효과를 가진다. JPEG 등의 영상 압축기법은 고주파 성분을 제거하는 성질이 있어 워터마크의 고주파 성분은 압축공격에 쉽게 사라진다. 이러한 점을 극복하기 위해 의사 이진 난수 블록을 만들 때 고주파 성분을 덜 가지게 만들 필요가 있다. 이를 위해서는 의사 이진 난수 블록의 샘플 화소를 단일 화소가 아닌 2x2, 3x3, 4x4 등으로 확장(expansion)된 화소를 사용하는 방법을 고려할 수 있다.

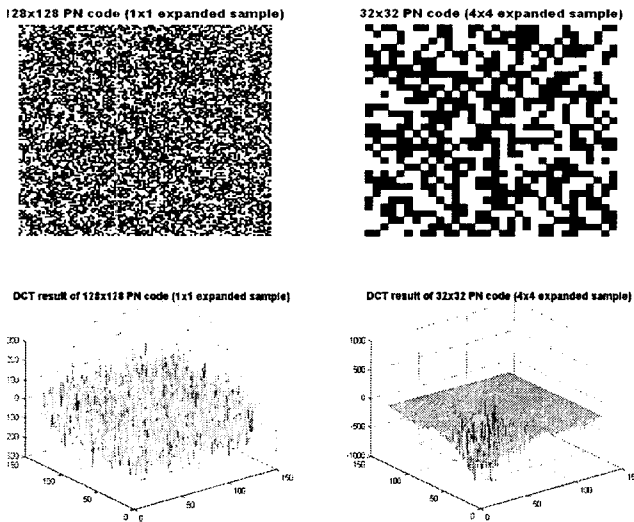


그림 1. 샘플 확장에 따른 고주파 성분의 변화

그림 1 은 128x128 블록의 의사 이진 난수에 대해 샘플 확장을 하여 DCT 결과를 제시한 것이다. 128x128 의사 이진 난수 블록의 크기는 고정시키고, 샘플 확장에 따라 샘플링되는 화소 그룹의 크기를 4 가지로 조절하였다. 따라서 1x1, 2x2, 3x3, 4x4 과 같이 확장되는 샘플에 따라 샘플링되는 블록의 크기는 각각 $(128 \times 128) / (1 \times 1) = 128 \times 128$, $(128 \times 128) / (2 \times 2) = 64 \times 64$, $(128 \times 128) / (3 \times 3) = 48 \times 48$, $(128 \times 128) / (4 \times 4) = 32 \times 32$ 로 바뀐다. 그림 1 에서 보이는 바와 같이 샘플 확장이 클수록 고주파 성분이 줄어 들었고, 이는 곧 고주파 성분을 제거하는 JPEG 류의 압축에 강인함을 의미한다.

본 논문의 알고리즘의 핵심은 이와 같이 확장된 화소를 사용하여 압축공격에 취약한 패치워크 방식을

극복하는 데에 있다.

3. 샘플 확장을 이용한 워터마킹

본 논문에서는, 패치워크 방식을 적용하기 위해 선택되는 샘플의 확장 정도를 샘플 확장계수 (Sample expansion factor)로 정의한다. 샘플 확장계수가 s 라면 $d \times d$ 크기의 화소 블록을 한 샘플로 취급함을 의미한다. 그림 2 는 본 논문에서 제시하는 샘플 확장을 이용한 패치워크 기반 공간영역 블라인드 워터마킹 알고리즘의 워터마크 삽입 개념도이다.

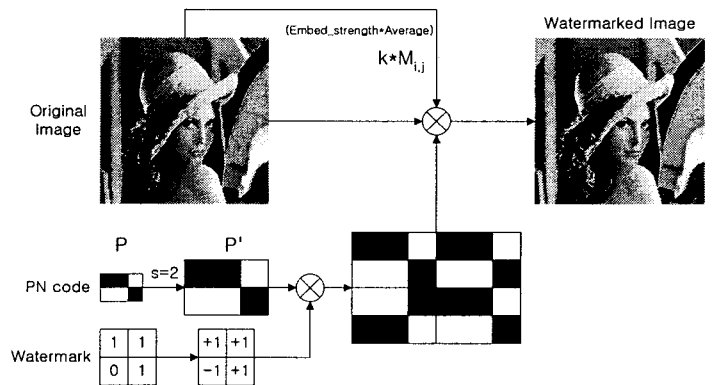


그림 2. 샘플 확장 워터마킹 알고리즘의 워터마크 삽입 개념도

크기가 $R \times C$ 인 원 이미지에 워터마크를 삽입하기 위해, 샘플 확장을 이용한 패치워크 기반 공간영역 블라인드 워터마킹 알고리즘을 적용하는 절차는 다음과 같다.

● 워터마크 삽입

- 비트 '1'과 '0'의 개수가 동일한 짝수 길이의 의사 이진 난수를 사용하여 직사각 블록 $P (=P_R \times P_C)$, P_R 은 양의 짝수이고 P_C 는 양의 정수)을 만들고, 비트 '1'인 부분을 '+1'의 값으로, 비트 '0'인 부분을 '-1'의 값으로 대체
- 샘플 확장 계수 s 만큼 가로와 세로로 P 를 확장(expansion)하여 P' 을 만들며, 샘플당 비트수는 $d \times d$ 이고 P' 의 크기는 워터마크 한 비트를 삽입하기 위해 사용되는 화소수
- 원 이미지 I 전체를 덮을 수 있도록 P' 을 타일화, 타일의 개수는 $\lfloor (R \times C) / (P'_R \times P'_C) \rfloor$ 개
- P' 에 의해 타일화된 원 이미지의 부분 이미지 O 마다 한 비트씩의 워터마크 비트를 삽입하여 워터마크가 삽입된 부분 이미지 E 를 생성
- 분할된 각각의 영상에 대해 삽입될 워터마크 비트가 '1' 이면 $E = O + \lfloor k \times M \rfloor \times P'$, '0' 이면 $E = O - \lfloor k \times M \rfloor \times P'$, 여기서 M 은 O 의 평균 화소값이고 k 는 삽입강도
- 모든 부분 영상에 대해 O 를 E 로 대체하여 워터마크가 삽입된 이미지 I' 을 만들

본 알고리즘은 패치워크 방식 [1] 및 Langelaar [2] 방식에 비해 샘플 확장계수를 사용하는 면에서 뚜렷이 차별된다. 앞의 두 방식은 본 알고리즘에서 샘플 확장계수 s 가 1 인 경우, 즉 샘플 확장을 하지 않은 특수한 경우로 고려된다. 따라서 본 알고리즘은 앞의 두 방식을 확장한 방식이라고 할 수 있다.

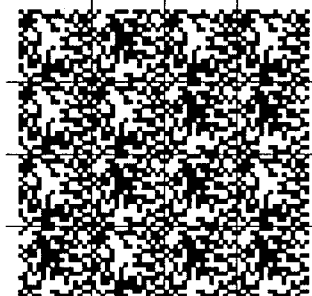
화소 샘플링을 위한 P 블록의 의사 이진 난수를 발생시키는 seed 값이 워터마크의 key 로 사용될 수 있다. 또한 삽입되는 워터마크 비트도 의사 이진 난수로써 구할 수 있으므로 이중의 key 를 사용하는 효과가 된다.

알고리즘의 핵심인 e) 부분을 좀 더 상세히 설명하면 다음과 같다. M_1 을 O 에서 P' 의 비트가 '1'인 부분의 평균 화소값, M_0 를 O 에서 P' 의 비트가 '0'인 부분의 평균 화소값으로 정한다. 워터마크 삽입 전과 삽입 후의 평균값의 변화는 아래와 같다. 워터마크 삽입 전의 평균값은 $M=(M_1+M_0)/2$ 이고, $M_1 \approx M_0$ 이므로 $M \approx M_1 \approx M_0$ 로 볼 수 있다. 그러나 워터마크 삽입 후의 평균값은, M 은 변화가 없지만 M_1 과 M_0 는 삽입되는 워터마크 비트에 따라 값의 변화가 있다.

제시한 알고리즘에 따르면 삽입되는 워터마크 비트가 '1'이면, M_1 은 $\lceil kxM \rceil$ 만큼 증가하고, M_0 는 $\lceil kxM \rceil$ 만큼 감소한다. 그에 반해 삽입되는 워터마크 비트가 '0' 이면, M_1 은 $\lceil kxM \rceil$ 만큼 감소하고, M_0 는 $\lceil kxM \rceil$ 만큼 증가한다. 그러나 M_1 에 대해서는 $\lceil kxM \rceil$ 값을 더하고, M_0 에 대해서는 $\lceil kxM \rceil$ 값을 뺀으므로 $M=(M_1+M_0)/2$ 에 의해 M 은 워터마크 삽입전과 삽입 후의 값의 변화가 없다. 이러한 점을 이용하여 워터마크 검출시, M_1 과 M_0 의 값을 비교함으로써 삽입된 워터마크의 비트를 찾아낼 수 있다.

$R \times C$ 크기의 이미지에 삽입될 수 있는 워터마크는 총 $\lfloor (R \times C) / (P_r \times P_c) \rfloor$ 비트이다. 예를 들어 원 영상의 크기가 512×512 이고 P' 의 크기가 32×32 이라면, 총 256 비트의 워터마크 비트를 삽입할 수 있다.

1	0	1	1
1	1	0	0
1	0	0	1
0	1	0	0



a) inserted watermark

b) generation of P' block

그림 3. 의사 이진 난수 P' 블록의 실제 사용에 (16 비트 워터마크, $s=5$)

그림 3 에서는 의사 이진 난수 P' 블록의 사용 예를 볼 수 있다. 삽입되는 워터마크 비트에 따라 블록의 패턴이 뒤바뀌어(reverse) 있음을 알 수 있다.

삽입된 워터마크를 검출하는 절차는 다음과 같다. 검출시 원 이미지는 필요하지 않으며, 워터마크

삽입시 사용된 P' 의 정보만 필요하다.

● 워터마크 검출

- a) 워터마크가 삽입된 이미지 I' 을 P' 크기의 타일 E 로 분할
- b) E 의 화소에 대해 P' 의 비트가 '1' 인 부분의 평균 화소값 M_1 , P' 의 비트가 '0' 인 부분의 평균 화소값 M_0 을 각각 구함
- c) $D = M_1 - M_0$ 를 구해, D 값이 양수이면 삽입된 워터마크 비트를 '1' 로, D 값이 음수이면 삽입된 워터마크 비트를 '0' 으로 판정,

워터마크 삽입시 $M_0 \approx M_1$ 의 관계를 가졌고 공격에 의한 손상이 없다고 가정하면, 워터마크 검출시의 이상적인 D 값은 삽입된 워터마크 비트가 '1' 이면 $+2\lceil kxM \rceil$ 이고, '0' 이면 $-2\lceil kxM \rceil$ 이다.

4. 모의실험 결과

제시한 알고리즘을 512×512 크기의 Lenna 그래픽 이미지에 대해 실험하였다. 모의실험은 워터마크 비트수, P 및 P' 의 크기, 샘플 확장 계수 s 를 가변시켜 수행하였다. 삽입되는 워터마크 비트는 의사 이진 난수를 발생시켜 구하였다. 이렇게 함으로써 검출한 워터마크 비트와 삽입한 워터마크 비트의 상관도(Correlation)를 구해, 검출한 워터마크의 신뢰성 여부를 적당한 임계값을 사용하여 판정할 수 있다. 삽입되는 워터마크 비트는 이진영상 데이터 혹은 일반 디지털 데이터도 가능하다.



JPEG Q=90, PSNR=40dB



AWGN a=10, PSNR=28dB



JPEG Q=10, PSNR=30dB



AWGN a=90, PSNR=10dB

그림 4. JPEG 공격과 AWGN 공격을 받은 이미지

위터마크 삽입강도 k 는 위터마크가 삽입된 이미지의 화질을 결정한다. 본 실험에서는 삽입강도를 0.01 로 사용하였다. 평균 화소값 M 의 범위는 최대 화소값 이하의 값을 가지므로 0~255 의 값 범위를 가진다. 위터마크 삽입으로 인해 가변되는 화소값은 $[k \times M]$ 으로 주어지므로, 0.01 에 대한 $[k \times M]$ 값의 범위는 1~3 이다. 따라서 0.01 의 삽입강도는 위터마크가 삽입되는 화소의 최대 변화량이 3 이하가 되도록 제한한다. 이 경우의 화질은 약 45 dB 이상의 PSNR 을 가졌다. 삽입강도를 0.02 로 올려도 PSNR 값은 최소 40 dB 정도였고 공격에 견디는 견고성도 좋았다. 그러나 원 이미지와 위터마크가 삽입된 이미지를 세밀히 관찰한 결과, 원 이미지의 저주파 영역으로 볼 수 있는 매끈한 부분에서 약간의 차이점이 발견되어 사용하지 않았다.

그림 4 는 JPEG 공격과 AWGN 공격을 받은 이미지이며, 실제 실험에서 사용된 중간과정의 일부이다. JPEG 공격시의 Q 는 JPEG 품질계수(Quality factor) 를 의미하며, AWGN 공격시의 a 는 화소값에 더해지는 잡음의 강도를 의미한다.

모의실험은 Matlab 을 이용하여 수행하였다. JPEG 공격시 JPEG 품질계수를 10 에서 90 까지 가변시켜 위터마크가 삽입된 이미지를 압축하였다. 품질계수가 작을수록 압축률이 높으며, 품질계수 10 과 50 에 대해 Lenna 영상의 압축률은 각각 32:1 과 12:1 정도이다. AWGN 공격실험에서는 각각의 화소에 대해 정규분포를 가지는 가우시안 잡음을 삽입강도만큼 가산하였다. 아래의 식에서 I' 은 AWGN 공격을 받은 이미지이고 I ' 은 위터마크가 삽입된 이미지이며, G 는 크기가 $R \times C$ 인 가우시안 잡음 벡터이다. 가우시안 잡음의 크기는 아래의 잡음강도 a 를 10 에서 90 까지 변화시켜 조절하였다.

$$I' = I + a * G \quad (1)$$

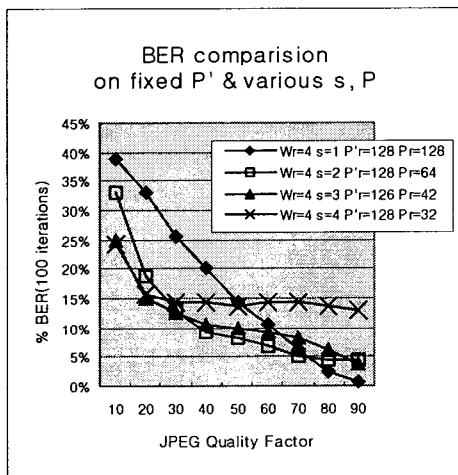


그림 5. JPEG 공격에 대한 BER 성능 (16 비트 위터마크, P' 크기 고정)

그림 5 는 P' 의 크기를 고정시키고, 샘플 확장 계수를 가변시키며 위터마크 비트의 검출 오류의 퍼

센트(% , percent) BER(Bit error rate)을 구한 그림이다. 그림 5 에서 삽입되는 위터마크는 16 비트인 경우이며 필요에 따라 더 많은 비트도 삽입 가능하다. 그림 5 에서 는 샘플 확장계수 s 가 1 일 경우보다 2 이상일 때 JPEG 품질계수 50 이하의 강한 압축 공격에 더 많이 견디는 점을 볼 수 있다.

그림 5 에서 샘플 확장계수가 2 이상인 그래프 부분에서 특이한 점을 발견할 수 있다. JPEG 품질계수 30 이하에서는 샘플 확장계수가 클수록 좋은 성능을 보였지만, JPEG 품질계수 30 이상의 경우에는 오히려 샘플 확장계수가 작을수록 더 좋은 성능을 보인다. JPEG 품질계수 30 이하에서는 강한 압축으로 인해 삽입된 위터마크의 고주파 성분이 거의 다 사라졌기 때문에 상대적으로 저주파로 볼 수 있는 샘플 확장계수가 큰 위터마크가 생존했다고 볼 수 있다. JPEG 품질계수 30 이상일 때는 삽입된 위터마크 고주파 성분이 JPEG 압축으로 인해 더 이상 제거되지 않고 대신 위터마크 비트당 샘플수가 성능에 더 큰 영향을 주어 이와 같은 결과가 얻어진 것으로 볼 수 있다.

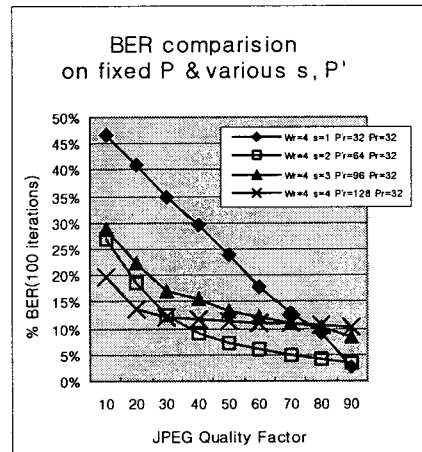


그림 6. JPEG 공격에 대한 BER 성능 (16 비트 위터마크, P 크기 고정)

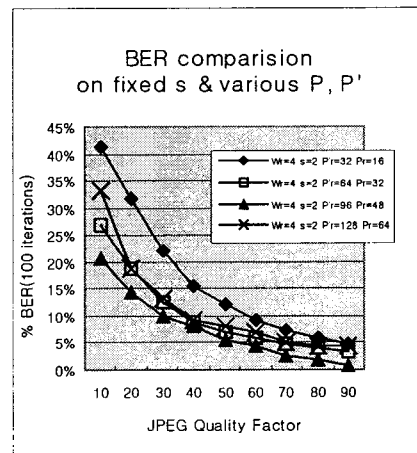


그림 7. JPEG 공격에 대한 BER 성능 (16 비트 위터마크, s 크기 고정)

그림 6 은 워터마크 비트당 샘플수에 해당하는 P 의 크기를 고정시키고 워터마크 견고성을 실험한 결과이다. 샘플 확장계수가 1 보다 클 경우, 강한 압축 공격에 대해 샘플 확장계수가 1 일 때보다 더 좋은 성능을 보였다. 그러나 샘플 확장계수가 커짐에 따라 성능이 계속 좋아지지는 않았다. 이는 샘플 확장계수에 의한 성능 향상의 한계를 보여준 것으로 볼 수 있다. 즉 패치워크 방식의 성능은 두가지 샘플군으로 선택된 화소들이 각각의 평균값이 비슷하게 나누어져야 좋은 성능을 보일 수 있다. 그러나 샘플 확장계수를 크게 한다고 해서 화소들을 이러한 샘플군으로 분류하지는 못한다.

샘플 확장계수 s 를 고정시키고 P 와 P' 을 가변시켜 성능을 측정한 그림 7 의 결과가 이러한 점을 잘 설명하고 있다. 샘플 확장계수를 고정시키면 샘플수가 커더라도 압축 공격에 대한 견고성이 이에 비례하여 좋아지지는 않고 포화(Saturation)되는 결과를 보였다. 따라서 샘플 확장계수는 2 정도 만으로도 고주파 성분을 억제하는 압축공격에 견디는 효과를 얻을 수 있는 것으로 보여진다.

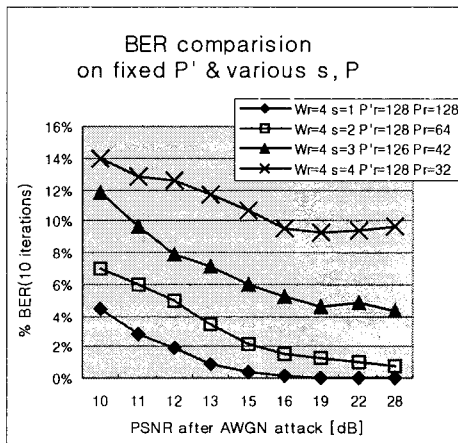


그림 8. AWGN 공격에 대한 BER 성능 (16 비트 워터마크, P' 크기 고정)

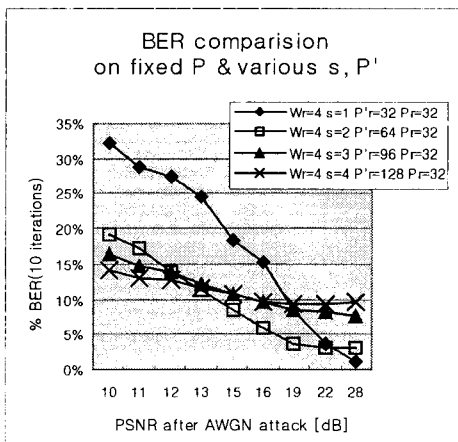


그림 9. AWGN 공격에 대한 BER 성능 (16 비트 워터마크, P 크기 고정)

그림 8 과 9 는 AWGN 공격에 대한 강인성을 실험한 결과이다. JPEG 공격시 품질계수 10 일때의 PSNR 값이 30 dB 임을 감안하면, AWGN 공격에 의한 최대 PSNR 이 28 dB 이므로 이미지의 손상정도가 더 심하다고 볼 수 있다. 그러나 그림 8 과 9 의 결과를 보면 PSNR 이 작은 상태에서도 삽입된 워터마크의 BER 이 높지 않음을 알 수 있다. 이는 곧 패치워크 방식이 JPEG 압축보다는 가우시안 잡음에 강인함을 의미한다. 동일한 P' 과 워터마크 비트수를 적용하여 JPEG 공격에 대한 결과를 제시한 그림 5 와는 달리, 그림 8 의 결과는 P (샘플수)가 클수록 성능이 좋다. 이는 한 비트의 워터마크를 삽입하는데 필요한 화소수가 제한되어 있을 경우, 되도록 샘플수를 늘려야 성능을 높일 수 있음을 의미한다. 그림 9 의 결과는 그림 6 의 결과와 비슷하게 나왔다. 즉 샘플수가 고정되어 있다면 샘플 확장을 많이 하더라도 큰 효과를 볼 수는 없다. 그림 5, 6, 9 를 종합하여 보면 대략 샘플 확장계수가 2 일 때 평균적인 성능이 좋다고 보여진다.

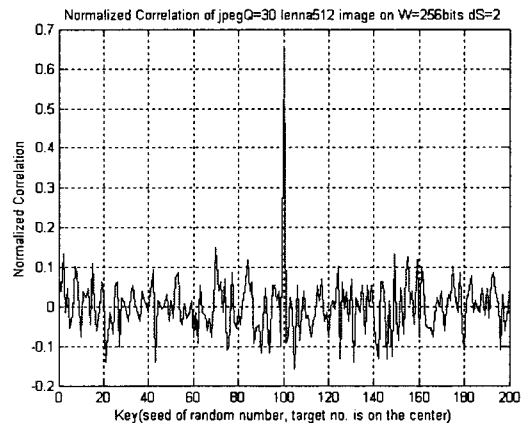


그림 10. 정규화된 상관도를 이용한 워터마크 검출

그림 10 은 검출된 워터마크와 워터마크 삽입시 사용한 의사 이진 난수 비트와의 정규화된 상관도(Normalized Correlation)를 구한 그림이다. 정규화된 상관도의 최대치는 +1 이며 최소치는 -1 이다. 비교하는 두 비트열의 비트값을 '+1'과 '-1'로 바꾸어 해당되는 비트끼리 곱한 뒤 총 비트개수로 나눈 값을 정규화된 상관 관계로 정의하였다. 그림 10 에서 사용된 워터마크는 256 비트, P' 은 32 비트, P 는 16 비트, 샘플 확장계수는 2, JPEG 품질계수 30 을 적용하여 압축한 이미지의 워터마크를 검출한 결과이다. 0.3 부근의 적절한 임계값을 주면 오류없이 워터마크를 검출할 수 있을 것이다.

5. 결론

공간영역 블라인드 워터마크의 대표적인 방식인 패치워크 방식 및 이를 기반으로 하는 방식에 대해 문제점을 살펴 보았다. 패치워크 방식의 취약점인 JPEG 등의 고주파 성분 제거 공격을 견딜 수 있도록 하기 위해 샘플 확장계수를 도입하여 패치워크 방식을 확장한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 모의실험을

통하여 샘플 확장계수의 도입으로 성능개선을 할 수 있음을 밝혔다.

향후 개선사항으로는, 샘플링을 할 때 샘플의 화소값의 크기가 엇비슷하게 되도록 화소를 선택하는 방법을 찾는 것이 있겠고, 또한 JPEG 압축 등의 고주파 성분 제거 공격에 강인하도록 가능하면 중간 주파수 대역의 화소들이 선택되도록 샘플을 취하는 방법을 고안해야 하는 것이다. 이를 위해서는 이미지의 주파수 영역 성분을 다루는 방법에 대한 고려가 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, A. Lu, "Techniques for data hiding", *IBM Systems Journal*, vol.35, nos.3&4, pp. 313-336, 1996.
- [2] Gerrit C. Langelaar, Jan C.A. Van der Lubbe, Reginald L. Lagendijk, "Robust labeling methods for copy protection of images," *SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. Proceedings*, vol.3022, pp.298-309, Feb. 1997.
- [3] Stefan Katzenbeisser, Fabien A. P. Petitcolas, *Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking*, Artech House, Boston-London, 2000.
- [4] Ioannis Pitas, "A Method for Watermark Casting on Digital Images," *IEEE Tr. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.8, no.6, Oct. 1998.