

# DCT영역에 기반한 반복적 이진위상컴퓨터형성홀로그램을 이용한 디지털 영상 워터마킹 기술

김철수 \*

(Cheol-Su Kim \*)

요 약 본 논문에서는 DCT영역에서 반복적 이진위상컴퓨터형성홀로그램을 이용한 디지털 영상 워터마킹 기술을 제안하였다. 워터마크로 주로 사용되는 랜덤 시퀀스 또는 로고와 같은 은닉영상 대신 은닉영상을 손실없이 재생할 수 있는 이진위상컴퓨터형성홀로그램을 생성하고, 이를 반복적으로 표현해서 워터마크로 사용한다. 그리고 이 워터마크를 호스트영상의 DCT 계수에 적절한 규칙을 통해 가중치를 부여하여 삽입한 후, IDCT한다. 워터마크의 추출은 워터마킹된 영상과 호스트영상을 DCT하고, 삽입시 적용한 규칙을 통해서 수행한다. 그리고 추출된 워터마크의 역푸리에 변환과 호스트영상에 삽입하기전의 워터마크를 역푸리에 변환하여 재생한 은닉영상과의 상관관계를 취함으로써 워터마크의 존재여부를 검증한다. 제안한 방법은 워터마크 삽입/추출시 반복되는 홀로그램정보를 활용하고, 이진 값으로 구성되어 있으므로 기존의 어떠한 워터마킹 기술보다 외부 공격에 견실한 특징을 가지고 있으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그 성능을 확인하였다.

핵심주제어 : DCT, 이진위상컴퓨터형성홀로그램, 은닉영상, 호스트영상, 상관

Key Words : discrete cosine transform, binary phase computer generated hologram, hidden image, host image, correlation

## 1. 서 론

최근 컴퓨터의 보급과 네트워크의 발달로 인해 엄청난 양의 디지털 정보들이 새로이 생성되고, 인터넷이라는 네트워크 망을 통해 시공간을 초월하여 정보교환이 이루어지고 있다. 모든 매체들이 디지털화 되어가면서 저장이나 전송등에는 상당한 이점을 제공해 주지만 디지털 콘텐츠의 불법적인 복제나 유통은 콘텐츠 제작자의 창작 의욕 및 경제적 손실을 초래하므로 불법적인 복제를 막고, 저작권을 효과적으로 보호하기 위한 콘텐츠 보호 기술이 요구되고 있다. 일반적으로 정보 보호 방법에는 통신 시에 정보가 제3자에게 누설되지 않도록 하는 암호화/복호화(encryption/decryption) 기술과<sup>[1]-[2]</sup> 멀티미디어와 같은 저작물에 지적 소유권

자의 마크를 삽입함으로써 불법 복제 및 저작권(copyright)을 보호하려는 워터마킹기술이 있다<sup>[3]-[9]</sup>. 암호화 방법은 일단 디지털 정보에 접근하게 되면 복제와 유통이 자유롭고, 저작권 정보를 파악할 수 없는 반면에 워터마킹 기술은 매체가 저작권 정보를 포함하고 있으므로 불법유통의 추적이나 복제를 방지하는데 유용하게 활용할 수 있는 방식이다. 일반적으로 워터마크 기법이 효과적으로 사용되기 위해 갖추어야 할 기본요건에는 비가시성(invisibility), 견실성(robustness), 삽입될 수 있는 적절한 정보량, 낮은 에러확률이 있으며, 공간적 영역보다는 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 것이 다양한 공격에 보다 견실한 특성을 가진다고 알려져 있다. 워터마킹 기술은 그 응용과 목적에 따라 그 요구사항이 약간씩 다르지만 공통적인 요구사항은 비지각성과 강인성이다. 그러

\* 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 교수

나 워터마크의 정보량에 따라 비지각성과 강인성 사이에는 trade-off 관계가 있다. 즉 정보량이 적어지면 비지각성은 개선되지만 데이터의 압축, 필터링 등과 같은 공격에 약하며, 정보량이 많아지면 공격에 대한 강인성은 개선되지만 비지각성이 떨어진다. 그러므로 일반적으로 적용할 수 있는 워터마킹 기술은 아직까지 개발된 사례가 없어 표준화에 많은 어려움이 있는 실정이다. 또한 워터마크 기술과 관련된 프로그램의 대부분이 단순한 형태를 하고 있어, 프로그래머를 어느 정도 공부한 사람이면 콘텐츠에서 워터마크를 손쉽게 제거할 수 있고, 워터마크가 제거된 콘텐츠는 불법적으로 유통되고 있는 것이 현실이며, 현재까지 연구소 또는 학교에서 발표되고 있는 논문이나 학술대회에서 제안되는 기술들이 그 적용 영역이 매우 좁아 그 실용성이 의문시 되는 경우가 많은 실정이다.

본 논문에서는 현재까지 발표되거나 연구되고 있는 방법의 문제점을 해결하여 디지털 콘텐츠 및 서비스 시장에 실제로 활용 가능성이 있는 새로운 워터마킹 기술을 제안하고자 한다. 홀로그램은 그 정보량이 일부 손실되더라도 원래의 영상을 복원할 수 있는 특징이 있기 때문에 이를 워터마크로 사용할 수 있다면 워터마킹 기술에서 가장 문제가 되고 있는 비지각성과 강인성을 동시에 만족시킬 수 있으리라 기대된다. 홀로그램을 워터마크로 사용하기 위해서는 먼저 은둔영상을 완벽하게 재생할 수 있는 최적의 이진위상컴퓨터형성홀로그램(binary phase computer generated hologram; BPCGH)을 설계하는 과정, 비지각성과 강인성을 동시에 만족하는 적절한 가중치를 통해 호스트영상에 삽입/추출 하는 과정 및 추출된 워터마크의 진위 여부를 검증하는 과정이 필요하다.

## II. 제안한 디지털 영상 워터마킹 기술

제안한 방법은 크게 워터마크 생성 및 삽입 과정과 워터마크의 추출 및 검증과정으로 분류된다. 워터마크 생성 및 삽입은 simulated annealing(SA)알고리즘을 이용한 워터마크인 BPCGH설계, DCT영역에서 적절한 규칙을 통해 BPCGH를 반복적으로 호스트영상에 삽입한 후, IDCT하는 과정으로 구성된다. 워터마크의 추출 및 검증은 DCT 및 적절한 규칙을 통한 워터마크의 추출, 역푸리에 변환 및 상

관연산을 통한 워터마크의 검증과정으로 구성된다. 이 과정들을 그림 1에 나타내었다.

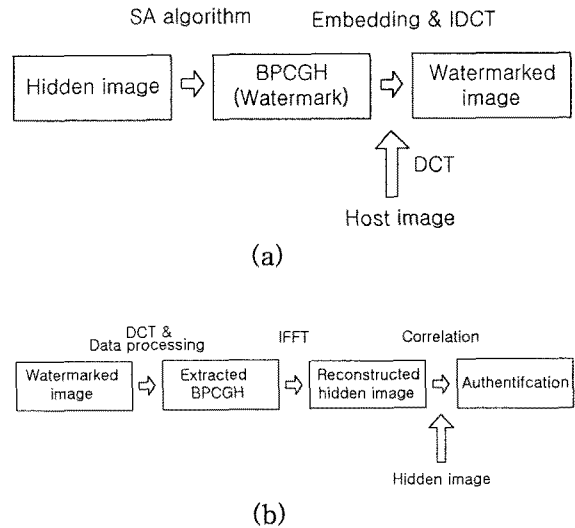


그림 1. 제안한 디지털 영상 워터마킹 기술  
(a) 워터마크 생성 및 삽입, (b) 워터마크 추출 및 검증

### 2-1. 워터마크의 설계

홀로그램이란 물체에 의해 산란된 파면의 크기와 위상정보를 기준파와 간섭을 통하여 세기의 형태로 기록한 것이며, 이를 통하여 입체 영상 정보를 충실히 재현할 수 있는 기술이다. 이에 반해 CGH는 회절이론에 의한 수학적 연산을 통해 이상적인 간섭 파면을 계산하여 기록한 것이며, 존재하지 않는 물체의 경우에도 사용할 수 있어 광통신소자 및 신호처리의 많은 분야에 사용되고 있다. 일반적으로 연속정보의 CGH 제작은 기록소자의 해상도 제한, 정보의 저장 및 전송에서 많은 문제점이 있으므로 정보의 이진화가 요구된다. 그러나 연속정보를 이진화하면 정보의 손실이 발생하고, 영상 재생 시 양자화 잡음으로 나타난다. 이를 해결하는 여러 방법들 중 최적의 해를 구할 수 있는 대표적인 방법이 SA 알고리즘이다.<sup>[2],[9]</sup> 통계열역학에서 비롯된 SA 알고리즘은 복잡한 최적 해를 풀기 위하여 반복적인 알고리즘으로써 국소 최적 해에서 벗어날 수 있는 반면 많은 반복과정을 수행해야 하므로 시간이 많이 소요된다. 본 논문에서는 SA 알고리즘을 이용하여 워터마크로 사용할 은닉영상에 대한 최적의 BPCGH를

설계하였다. SA알고리즘에서는 사용되는 매개변수들의 값들에 의해 그 성능이 결정되는데, 본 논문에서는 32x32 크기의 은닉영상에 대해 최적의 BPCGH를 설계하기 위해 초기온도  $T_{init}$ 는 1.0, 냉각속도  $D_t$ 는 0.91, 그리고 반복 횟수  $N$ 는 80회로 하였다.

## 2-2. 워터마크의 삽입

설계된 32x32 크기의 BPCGH를 반복하여 64x64 크기로 만든 후, 워터마크로 사용한다. 워터마크  $W(u, v)$ 는 호스트영상  $f(x, y)$ 의 DCT영역에서 적절한 가중치를 가지고 삽입된다. 이를 위해 먼저 호스트영상을 겹치지 않는 8x8블록으로 분리한 후 DCT를 취한다. 그리고 워터마크에 각 블록의 DC성분값을 고려한 가중치를 곱한 후, 각 블록의 DC성분에 더한다. 마지막으로 IDCT를 취함으로써 워터마크가 삽입된 호스트영상이 구해진다. 이와 같은 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$f^w(x, y) = IDCT[F_k(u, v) + \delta \times W(u, v)] \quad (1)$$

$$F_k(u, v) = DCT[f(x, y)], \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

$$\delta = weight \times F_k(0, 0)$$

여기서  $F_k(u, v)$ 는 8x8 블록의 DCT변환된 함수를 의미하고,  $\delta$ 는 가중치를 의미한다. 변수  $weight$  값에 의해 워터마크의 정보량이 결정된다. 제안하는 방법은 워터마크로 사용되는 은닉영상의 BPCGH정보를 반복하여 사용함으로써 절단과 같은 외부공격에 더 강한 성질을 갖는다<sup>[9]</sup>.

## 2-3. 워터마크의 추출

워터마크된 호스트영상은 여러 외부의 공격을 받을 수 있고, 이로 인해 불법복제 및 유통의 추적이 어려울 수 있다. 본 논문에서 워터마크의 추출은 삽입과정의 역순이며, DCT영역에서 이루어진다. 그러므로 워터마크된 호스트영상  $f^w(x, y)$ 와 원래의 호스트영상  $f(x, y)$ 의 DCT변환 결과의 차를 구한 후, 삽입전의 가중치 매개변수의 역수를 곱하면 된다. 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$W'(u, v) = DCT[f^w(x, y)] - DCT[f(x, y)] \times \frac{1}{\delta} \quad (2)$$

추출된 결과는 은닉영상의 BPCGH 정보이므로 추출과정에서 정보의 손실이 다소 있더라도 은닉영상을 재생할 수 있다.

## 2-4. 워터마크의 검증

워터마크의 존재여부는 추출된 BPCGH 정보를 역푸리에 변환하여 은닉영상을 재생한 다음, 삽입전의 BPCGH로부터 재생한 은닉영상과의 상관관계를 통해 검증할 수 있다. 그 상관첨두치가 적절히 정한 문턱치 값 이상이면 워터마크가 존재하고, 미만이면 존재하지 않는 것으로 판단한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$c(x, y) = IFT\{W(u, v)\} \otimes IFT\{W'(u, v)\} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \text{워터마크가 존재, if } c(x, y)_{\max} \geq T_{th} \\ \text{워터마크가 부재, otherwise} \end{cases}$$

여기서  $\otimes$ 는 상관연산자를 의미하며, 문턱치값  $T_{th}$ 는 최대 상관첨두치의 50%로 둔다.

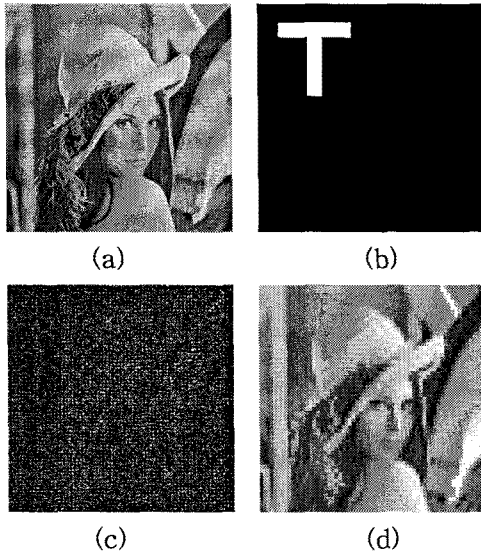
## III. 컴퓨터시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 디지털 워터마킹 기술의 성능 측정을 위해 사용한 호스트영상은 512x512화소를 가지는 Lena와 워터마크로 이용될 은닉영상은 영문자 'T'에 대한 64x64의 반복적인 BPCGH이다. 성능 측정을 위해 JPEG압축, 가우시안 잡음 및 절단과 같은 외부공격에 대한 강인성을 측정하였다. 그리고 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성을 측정하기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 이용하였다.

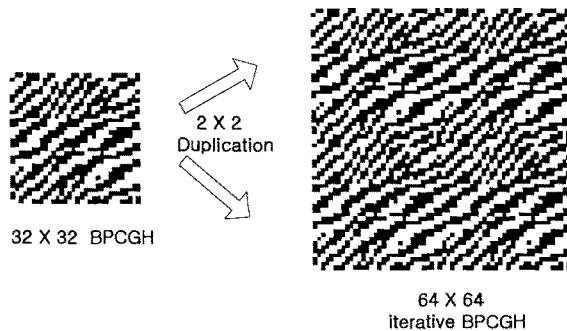
$$PSNR = 20 \log_{10}(255/RMSE)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f^w(x, y) - f(x, y)]^2} \quad (4)$$

여기서  $M, N$ 은 호스트영상의  $x$ 축 및  $y$ 축의 크기를 나타낸다. 그림 2는 성능 측정에 사용된 호스트영상, 은닉영상, 8x8 블록 DCT 영상 및 DC 성분을 나타내며, 그림 3은 은닉영상에 대한 반복적인 BPCGH, 즉 워터마크 설계과정을 보여준다.



<그림 2> 호스트영상, 은닉영상 및 호스트영상의 DCT 결과 영상  
(a) 호스트 영상(512x512) (b) 은닉영상(32x32) (c) 호스트영상의 8x8 블록 DCT결과(512x512), (d) DCT결과의 DC 성분(64x64)



<그림 3> 워터마크 설계 과정

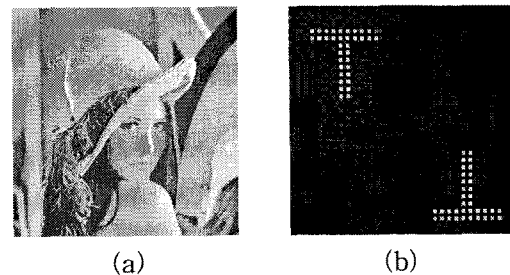
그림 2(a)의 DCT영상 정보에 그림 3의 반복적인 BPCGH정보가 적절히 삽입된 후, IDCT변환을 수행함으로써 워터마크된 호스트영상이 구해진다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 각종 공격에 대한 PSNR 값과 추출된 워터마크의 검증을 위한 상관결과 값은 표 1과 같다. 이때 워터마크의 정보량을 결정하는

$weight=0.01$ 로 두었다.

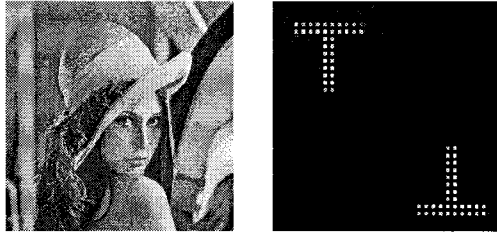
<표 1>. 외부공격에 대한 PSNR측정 및 상관결과

외부공격	PSNR(dB)	정규화된 상관첨두치
워터마킹 삽입	45.832	1.000
JPEG 압축(85%)	37.809	0.847
JPEG 압축(85%) + 가우시안 잡음(20%)	30.720	0.650
JPEG 압축(85%) + 가우시안 잡음(20%) + 절단(25%)	31.322	0.502

그림 4는 워터마킹이 삽입된 호스트영상과 추출된 워터마크를 이용하여 재생한 은닉영상의 결과를 나타낸다. 32x32 크기의 BPCGH를 반복적으로 나타내어 64x64 크기로 확대하였으므로 재생되는 은닉영상의 형태는 그림 2(b)와는 차이가 남을 확인할 수 있다. 그림 5, 6, 7에서는 외부의 다양한 공격들에 대해 제안한 워터마킹 기술이 워터마크의 추출 및 존재여부를 검증할 수 있음을 보여준다. 본문에서 제안하는 워터마킹 기술에서는 워터마크가 홀로그램의 정보를 지니고 있으므로 압축, 잡음 및 절단과 같은 외부잡음에 강인할 수 있다. 그리고 워터마크의 정보량인  $weight$ 값을 조정하면 비가시성 및 워터마크 검증에 좀 더 유연하게 대응할 수 있다.



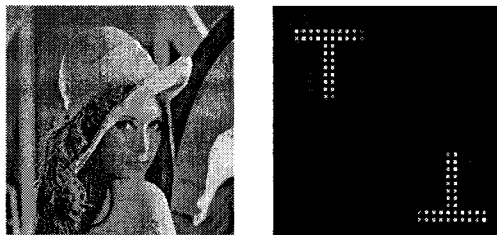
<그림 4> 워터마크 삽입된 호스트영상 및 재생된 은닉영상 결과  
(a) 워터마크 삽입된 호스트영상(512x512), (b) 재생된 은닉영상(64x64)



(a) (b)

<그림 5> 압축에 따른 호스트영상 및 재생된 은닉영상 결과

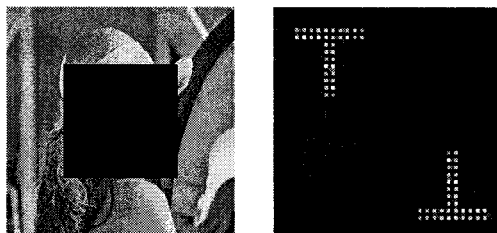
(a) JPEG 압축(85%)된 호스트영상(512x512),  
(b) 재생된 은닉영상(64x64)



(a) (b)

<그림 6> 압축 및 가우시안 잡음에 따른 호스트영상 및 재생된 은닉영상 결과

(a) JPEG 압축(85%) 및 가우시안 잡음(20%)  
가 첨가된 호스트영상(512x512), (b) 재생된  
은닉영상(64x64)



(a) (b)

<그림 7> 압축, 가우시안 잡음 및 절단에 따른 호스트영상 및 재생된 은닉영상 결과

(a) JPEG 압축(85%), 가우시안 잡음(20%) 및  
절단(25%) 호스트영상(512x512), (b) 재생된  
은닉영상(64x64)

#### IV. 결론

본 논문에서는 워터마크로 사용될 은닉영상의 BPCGH를 설계하고, 반복적으로 호스트영상의 DCT영역에서 DC성분에 적절하게 삽입하는 디지털 워터마킹 기술을 제안하였다. 제안된 워터마킹 기술은 은닉영상의 홀로그램

정보를 반복적으로 이용하고, 이진 값을 가지므로 각종 외부공격이 동시에 누적되어 들어오더라도 워터마킹 정보를 추출하고, 검증할 수 있는 장점이 있음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그러므로 제안된 워터마킹 기술은 디지털 콘텐츠 보호, 및 지적재산권이 중요시 되는 미래 유비쿼터스시대에서 그 활용도가 높을 것으로 예상된다.

#### 참고 문헌

- [1] P. Refregier and B. Javidi, "Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding," *Optics Letters*, vol. 32, no. 7, pp. 767-769, 1995
- [2] J. Ohtsubo and A. Fujimoto "Practical image encryption and decryption by phase-coding technique for optical security systems" *Applied Optics*, vol. 41, no. 23, pp. 4848-4855, 2002
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio, and video," *Proc. of the IEEE. Int. conf Image Processing*, vol 3, pp. 243-246, 1996
- [4] J. Huang and Y. Q. Shi, "Adaptive image watermarking scheme based on visual masking," *Electronics Letters*, vol. 34, no. 8, pp. 748-750, 1998
- [5] 김정연, 남제호, "DCT 압축영역에서의 DC 영상 기반 다해상도 워터마킹 기법," *대한전자공학회 논문지*, 제 45권 SP편 4호, pp. 1-9, 2008
- [6] X. Xia, C. G. Boncelet and G. R. Arce, "Wavelet transform based watermark for digital images," *Optics Express*, vol. 3, no. 12, pp. 497-511, 1998
- [7] F. Ahmed, I. S. Moskowitz, "Correlation-based watermarking method for image authentication applications," *Opt. Eng.*, vol. 43, no. 8, pp. 1833-1838, 2004
- [8] D. Zheng, J. Zho and A. E. Saddik, "RST-Invariant Digital Watermarking Based on Log-Polar mapping and Phase Correlation," *IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Techno.*, vol. 13. no. 8, pp. 753-765, 2003
- [9] 김철수, "DCT영역에서 컴퓨터형성홀로그램을 이용한 디지털 영상 워터마킹 기술", 경주대학교 정보전자기술논총, 제 7권 pp. 37-48, 2008