

---

# 전역 2차원 DCT를 이용한 디지털 홀로그램의 분석 및 워터마킹 기법

최현준\* · 서영호\*\* · 유지상\* · 김동욱\*

Analysis of CGH and Watermarking Method using Global 2DDCT

Hyun-Jun Choi\* · Young-Ho Seo\*\* · Ji-Sang Yoo\* · Dong-Wook Kim\*

---

이 논문은 2007년도 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

---

## 요 약

본 논문에서는 컴퓨터 생성 홀로그램(computer generated holograms, CGH) 기법을 이용해 생성한 디지털 홀로그램을 위한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 본 연구팀은 일반적인 2차원 디지털 영상들과는 다른 특성을 보이는 디지털 홀로그램을 홀로그램영역과 전역 2차원 DCT영역에서 분석하였고, 이를 기반으로 새로운 워터마킹 알고리즘을 개발하였다. 제안한 워터마킹 알고리즘을 대상으로 차세대 홀로그래픽 3DTV를 위한 디지털 홀로그램의 전송·수신 단에서 발생할 수 있는 여러 가지 공격들을 수행한 결과 비교적 우수한 특성을 보였다. 특히 전역 2차원 DCT영역에서의 워터마킹 기법이 가우시안 잡음 첨가 이외의 모든 공격에 대해 높은 워터마크 추출율을 보였다.

본 논문에서 제안한 디지털 홀로그램의 분석방법과 결과, 그리고 디지털 워터마킹 알고리즘은 추후 관련 분야를 연구하는 연구자들에게 하나의 지표가 될 수 있으리라 생각된다.

## ABSTRACT

In this paper, we propose a digital watermarking algorithm for digital hologram generated by computer generated hologram(CGH) method. Digital hologram generated by a computer calculation(CGH) is one of the most expensive contents and its usage is being expanded. Thus, it is highly necessary to protect the ownership of digital hologram. In this paper two digital watermarking schemes are introduced hologram-domain and global 2DDCT-domain scheme. Proposed watermarking scheme showed very high imperceptibility and quite high robustness against the attacks. The purpose of this paper is to introduce these global 2DDCT based watermarking schemes. Thus, we expect that these and the contents in this paper can be very useful bases for the further digital watermarking schemes of the digital holograms.

## 키워드

digital hologram, 3D, CGH, DCT, digital watermarking

---

\* 광운대학교 3D Media Research Lab.

접수일자 : 2007. 2. 1

\*\* 한성대학교 정보통신공학과

## I. 서론

1948년 Dennis Gabor에 의해 처음으로 제안된 홀로그래피(holography)는 간섭성 참조파(coherent reference wave)가 물체(object)에 의해 회절(diffraction)하거나 산란(scattered) 빛과 동시에 존재하면, 회절되거나 산란된 파의 진폭(amplitude)과 위상(phase) 정보를 기록할 수 있고, 물체의 상을 공간상에서 재생할 수 있는 기법이다[1]. 이때의 기록매질을 홀로그래피(hologram)이라고 정의한다.

CGH 기법은 실제 물리적인 공간상에서 결코 존재할 수 없는 물체의 영상을 디지털 컴퓨터의 계산을 통해 디지털 홀로그래피(digital hologram)으로 생성하는 기법이다[2]. 디지털 워터마킹(digital watermarking) 기술은 디지털 콘텐츠에 특정 데이터(watermark)를 숨겨서 실제로 사용할 때는 워터마크가 숨겨져 있는지를 알 수 없고(imperceptability), 워터마크를 제거하거나 변경하기 위한 공격(attack)이 가해졌을 경우 그 공격에 대한 강인성(robustness)을 가지는 것을 근간으로 한다.

최근 세계 여러 연구기관에서 홀로그래피 보안 관련 연구를 진행 중이지만 대부분 광소자(optical elements)와 광학 파라미터(optical parameter)들을 이용한 워터마킹 기법에 편중되어 있다[3,4].

본 논문에서는 CGH 기법으로 생성한 디지털 홀로그래피를 홀로그래피영역과 DCT(discrete cosine transform) 주파수영역에서 분석하였고, 그 결과들을 기반으로 디지털 홀로그래피를 위한 워터마킹 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 CGH 기법을 설명하고, 3장에서는 CGH 기법으로 제작한 디지털 홀로그래피를 분석하여 워터마크 삽입을 위한 가능성을 살펴본다. 4장에서는 3장의 분석결과를 기반으로 홀로그래피영역과 주파수영역에서의 워터마킹 알고리즘을 제안하고, 5장에서 그 결과를 확인하였다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 컴퓨터 생성 홀로그래피

본 논문에서는 여러 가지 홀로그래피 제작 방법 중에서 프레넬 홀로그래피(Fresnel hologram)[5] 제작 기법만을 대상으로 기술한다. 프레넬 홀로그래피는 객체파(object

wave)와 참조파(reference wave)를 간섭시킨 패턴을 기록하는 방식으로 재생 시에는 단지 참조파만을 홀로그래피에 조사함으로써 공간상에서 3차원 영상을 재생할 수 있다.

두 빛  $E_O$ 와  $E_R$ 이 간섭하여 만들어내는 간섭광의 세기는 다음의 식과 같다.

$$I_{TOTAL} = |E_O|^2 + |E_R|^2 + 2Re\{E_O E_R^*\} \quad (1)$$

그러나  $|E_O|^2$ 과  $|E_R|^2$ 은 상수이므로 DC bias에 해당하기 때문에 이 부분에 포함되는 연산은 속도를 고려하여 실제 계산에 포함시키지 않는다. 식 (1)에서는 3번째 항만이 실제로 계산이 된다. 즉, CGH의 계산에 필요한 간섭광의 세기는 다음 식과 같다.

$$I(x_\alpha, y_\alpha) = \sum_j A_j \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(x_\alpha - x_j)^2 + (y_\alpha - y_j)^2 + z_j^2}\right] \quad (2)$$

여기서  $\alpha$ 와  $j$ 는 홀로그래피와 3차원 객체,  $A_j$ 는 객체의 강도(intensity),  $\lambda$ 는 파장(wavelength),  $x_\alpha$ 와  $y_\alpha$ 는 디지털 홀로그래피의 가로와 세로의 간격,  $x_j, y_j, z_j$ 는 3차원 객체의 가로, 세로, 그리고 깊이의 간격을 의미한다.

그림 1에서 3차원 물체의 점광원  $(x_j, y_j, z_j)$ 에서 회절된 빛이 홀로그래피 평면의 한 점  $(x_\alpha, y_\alpha)$ 에 기록되는 홀로그래피의 생성 원리를 보이고 있다.

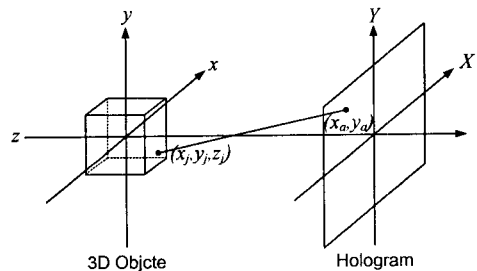


그림 1. 홀로그래피의 생성  
Fig. 1. Generation of hologram

## III. 디지털 홀로그래피의 분석

본 장에서는 CGH기법으로 생성한 디지털 홀로그래피

을 홀로그래ム영역과 전역 DCT 영역에서 분석한다.

본 연구팀이 구현한 CGH 프로그램을 이용하여 그림 2 (a)의 깊이 값 영상(depth-map image)을 디지털 홀로그래ム(1,024×1,024 화소, 8-비트)으로 변환한 결과를 그림 2 (b)에서 보이고 있다. 그림 2(c)는 그림 2 (b)의 디지털 홀로그래ム을 HoloVision[6]을 이용하여 PC(personal computer)에서 복원한 결과를 보이고 있다.

그림 2 (b)에서 확인할 수 있듯이 디지털 홀로그래ム은 잡음 영상(noise image)처럼 보인다. 따라서 일반적인 2차원 디지털 영상을 대상으로 제안되었던 워터마킹 기법들을 그대로 이용하기는 힘들다.

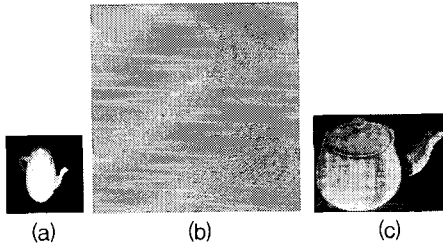


그림 2. (a) 깊이값 영상, (b) 디지털 홀로그래ム, (c) 복원 영상

Fig. 2. (a) Depth-map image, (b) digital Hologram, (c) reconstruction image

### 3.1. 홀로그래ム영역에서의 분석

앞서 언급하였듯이 디지털 홀로그래ム을 시각적으로 관찰하면 잡음 영상처럼 보인다. 이를 확인하기 위해 디지털 홀로그래ム을 공간좌표에서의 크기 값(magnitude value)의 분포로 그림 3과 같이 표현하였다. 그림 3의 x, y 축은 공간좌표, z축은 크기 값을 의미한다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이 디지털 홀로그래ム은 인접한 화소들과의 유사도(correlation)가 매우 낮은 잡음 영상과 유사한 특성을 보인다.

다른 관점에서 디지털 홀로그래ムの 특성을 분석하기 위해 그림 4와 같이 디지털 홀로그래ム을 비트평면(bit-plane)들로 나누고 이들 각각을 복원하여 각 비트평면이 디지털 홀로그래ム 내에서 차지하는 중요도를 살펴 보았다.

각 비트평면의 중요도를 판단하기 위해 100개의 깊이 값 영상을 대상으로 생성한 디지털 홀로그래ム을 비트

평면으로 나누고 이들을 각각 복원하였다. 그 결과 상위 1번째 비트평면(BP7)과 상위 2번째 비트평면(BP6)에서만 시각적으로 관찰할 수 있는 복원영상을 재생되었다. BP5 이하의 비트평면들은 모두 그림 5 (d)와 같이 복원 영상들을 시각적으로 관찰할 수 없다. 이를 통해 디지털 홀로그래ムの 상위 두 비트평면이 복원 영상에 가장 큰 영향을 미치는 값들임을 확인할 수 있다.

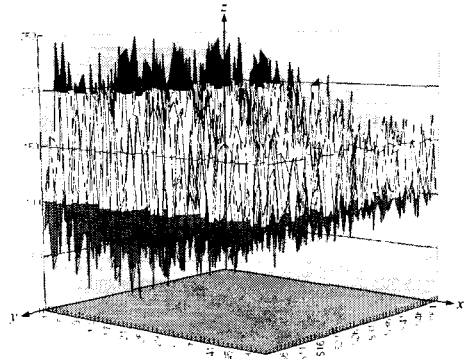


그림 3. 디지털 홀로그래ムの 크기값 분포  
Fig. 3. Magnitude-value distribution of digital hologram

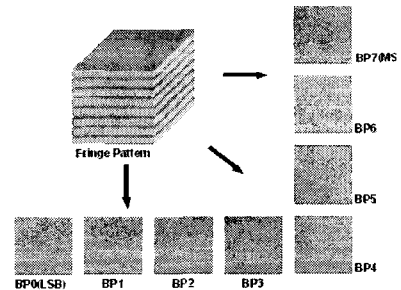


그림 4. 디지털 홀로그래ムの 비트평면  
Fig. 4. Bit-plane of digital hologram

### 3.2. 전역 DCT영역에서의 분석

본 연구팀은 JPEG등의 정지영상 부호화기, MPEG 1·2·4 등의 동영상 부호화기에서 주파수 변환기법으로 사용되고 있는 8×8 2차원 DCT[7,8]를 수정하여 다음과 같은 전역 2차원 DCT를 홀로그래ム 분석에 이용한다.

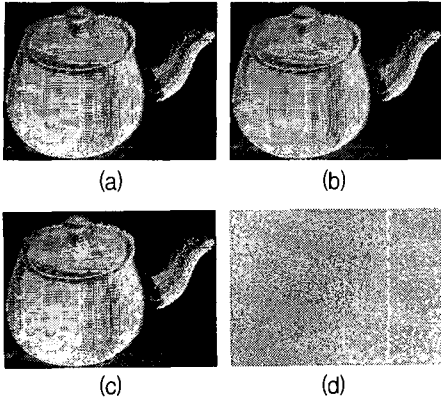


그림 5. 복원영상 (a) 원본, (b) 비트평면 7, (c) 비트평면 6, (d) 비트평면 5  
Fig. 5. Reconstruction image (a) original, (b) BP7, (c) BP6, (d) BP5

$$T(u, v) = \frac{2}{N} C(u)C(v)\cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right]\cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right]$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{2}}, & u, v = 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(3)

여기서  $u, v$ 는 주파수 변환 영역의 좌표,  $x, y$ 는 원본 영상의 좌표, 그리고  $N$ 은 2차원 DCT를 수행할 화소 수를 의미한다. 일반적으로 연산속도와 화질을 고려하여  $N$ 의 크기를 8로 정하여 2차원 DCT를 수행하였다. 하지만 본 연구팀은  $N$ 의 크기를 8부터 원본 영상의 전체 크기까지 확장한 전역 2차원 DCT를 적용한다. 이는 식 (2)의 CGH 수식이 2차원 DCT와 매우 유사한 형태의 코사인 함수를 기반으로 하고 있기 때문에 만약 CGH 기법을 통해 생성한 디지털 홀로그램에 전역 2차원 DCT를 수행하면 역 CGH(Inverse CGH)와 비슷한 효과를 나타내어 전역 DCT 영역에서 원본 깊이 값 영상과 유사한 영상을 얻을 수 있을 것이라는 가정을 기반으로 한다.

그림 6에서는 전역 2차원 DCT를 수행하기 위해 디지털 홀로그램을  $128 \times 128$  화소 크기의 부대역(subband)들로 분할한 예를 보이고 있다. 식 3의  $N$ 값이 위의 예에서는 128이 된다. 따라서 총 64번의 전역 2차원 DCT를 수행하게 된다.

그림 7에서는 그림 1 (b)의 디지털 홀로그램을  $64 \times 64, 128 \times 128$  크기로 나누고, 분할한 각각의 부분 디지털 홀

로그램들을 대상으로 전역 2차원 DCT한 결과를 보이고 있다. 이때, DC 계수의 크기는 255를 넘는 값이므로 제외시켰다. 그림 1 (a)의 깊이 값 영상과 1 (c)의 복원 영상 등과 비교해 보면 전역 2차원 DCT 이후 주파수 영역에서 원본 및 복원 객체와 상당히 유사한 객체가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

표 1에서는 그림 7 (b)의  $128 \times 128$  전역 2차원 DCT를 수행한 각 부대역들을 그림 8과 같이 16개의 세부 영역으로 나누어 계수들의 평균 에너지 분포를 분석하였다. 0번째 영역으로 전체 에너지의 95% 이상이 집중되고 객체가 나타나는 영역으로 비교적 높은 에너지가 집중된다.

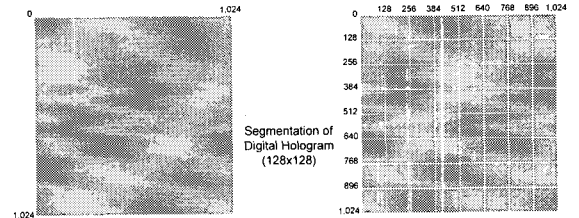


그림 6. 디지털 홀로그램의 분할  
Fig. 6. Segmentation of digital hologram

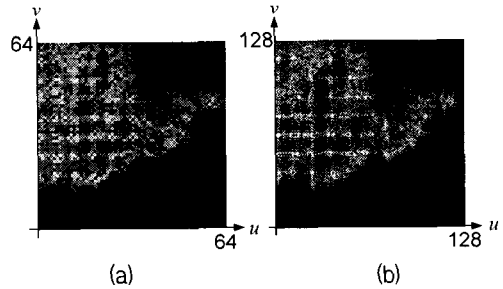


그림 7. 전역 2차원 DCT 결과 중에서 하나의 부대역  
(a)  $64 \times 64$ , (b)  $128 \times 128$   
Fig. 7. One subband of global 2D DCT result  
(a)  $64 \times 64$ , (b)  $128 \times 128$

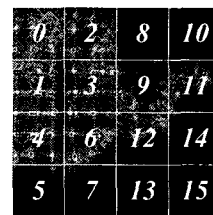


그림 8. 에너지 측정을 위한 분할  
Fig. 8. Segmentation for energy measurement

표 1. 프린지 패턴의 에너지 분포와 비율  
Table 1. Energy distribution and ratio of digital hologram

Subband	Average Energy	Ratio (%)
0	259203.776	93.145
1	3534.838	1.270
2	3324.838	1.195
3	2656.631	0.955
4	2232.475	0.802
5	324.819	0.117
6	1923.236	0.691
7	251.927	0.091
8	95.677	0.034
9	1911.254	0.687
10	99.112	0.036
11	1325.254	0.476
12	1253.214	0.450
13	8.280	0.003
14	125.387	0.045
15	8.460	0.003
Total	278279.188	100.000

IV. 제안한 워터마킹 알고리즘

본 장에서는 3장의 분석 결과를 기반으로 홀로그램 영역과 주파수 영역에서의 워터마킹 알고리즘을 제안한다.

4.1. 홀로그램영역에서의 워터마킹 알고리즘

일반적인 영상들의 공간영역(spatial domain)을 대상으로 적용되는 워터마킹 기법들은 객체의 가장자리(edge)나 텍스처(texture)와 같은 고주파수(high frequency) 성분이 많은 영역에 워터마크를 삽입한다. 디지털 홀로그램의 경우 잡음 영상과 비슷한 특성을 보인다는 것을 앞 절에서 확인하였다. 따라서 본 연구팀은 디지털 홀로그램의 홀로그램영역에서의 워터마킹을 위해 워터마크의 삽입 좌표를 무작위로 선정하여 삽입하는 방식을 제안한다. 제안한 워터마킹 기법을 그림 9에서 보이고 있다. 객체  $E_o(x,y)$ 를 대상으로 CGH를 적용하여 디지털 홀로그램,  $I(x,y)$ 를 생성한다.  $I(x,y)$ 의 좌표를 무작위로 선정하여 워터마크,  $M(x,y)$ 를 선정된 좌표의 상위 3번째 비트평면에 삽입한다. 이는 그림 5에서 보였듯이 디지털 홀로그램의 상위 1,2번째 비트평면이 복원에 가장 큰 영향을 미치는 값들이므로 홀로그램의 복원 시 워터마크

의 삽입 여부가 드러날 가능성이 매우 높다. 따라서 워터마킹의 기본 조건인 비가시성과 강인성을 모두 만족하는 상위 3번째 비트평면을 워터마크 삽입 위치로 선정한다.

삽입 좌표의 무작위 선정을 위해서는 다음 식과 같은 32-비트 LFSR(Linear Feedback Shift Register)[9]를 이용한다. LFSR로부터 병렬로 출력되는 두 개의 값을 각각 가로, 세로 방향의 좌표로 사용하였다.

$$P(x) = x^{32} + x^{22} + x^2 + 1 \tag{4}$$

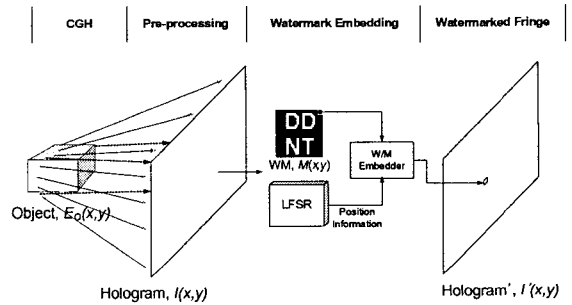


그림 9. 홀로그램영역에서의 워터마크 삽입  
Fig. 9. Watermark embedding of hologram-domain

4.2. 전역 DCT영역에서의 워터마킹 알고리즘

3장의 전역 2차원 DCT영역의 분석결과에서 보였듯이 디지털 홀로그램의 DCT영역에서는 원본 객체 및 복원 객체와 매우 유사한 모양의 객체가 생성된다. 본 논문에서는 DCT영역을 2차원 영상으로 가정하여 객체의 가장자리에 워터마크를 삽입하는 기법을 제안한다. 객체의 가장자리 중에서 가시성과 강인성을 고려하여 가장 적합한 삽입 위치를 선택하기 위해 그림 8과 같이 128x128 전역 DCT된 계수 값들을 대상으로 63(2<sup>5</sup> 이상의 가중치)이상의 값을 갖는 좌표들의 통계를 내었다. 그 결과를 표 2에서 보이고 있다. 좌표 (4,1)에 있는 계수 값이 다른 좌표의 값보다 통계적으로 큰 값을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 좌표 (4,1) 계수 값의 상위 3번째 비트평면에 워터마크를 삽입하였다. 제안한 전역 2차원 DCT 영역에서의 워터마킹 기법을 그림 10에서 보이고 있다.

표 2. 63보다 큰 DCT 계수 값  
Table 2. DCT coefficients larger than 63

coordinate	# of coefficients	coordinate	# of coefficients
(4,0)	510	(6,1)	435
(4,1)	820	(6,2)	336
(5,0)	510	(6,3)	250
(5,1)	455	(7,0)	590
(5,2)	310	(7,1)	580
(6,0)	550	(7,2)	460

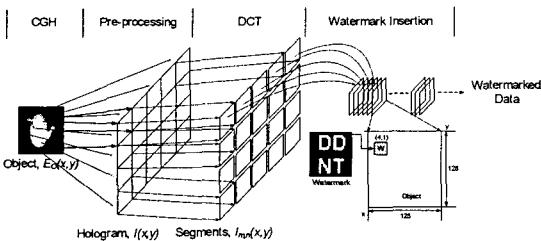


그림 10. 전역 DCT 영역에서의 워터마크 삽입  
Fig. 10. Watermark embedding of global DCT-domain

### V. 실험 결과

홀로그램영역과 전역 2차원 DCT영역에서의 워터마크 기법들을 검증하기 위해 CG(computer graphic)로 제작한 100개의 깊이값 영상을 사용하였다. 본 논문에서는 대표적으로 200×200 화소, 회색톤(gray-scale, 8-bit)의 teapot 영상을 대상으로 실험한 결과를 보인다. 디지털 홀로그램의 생성을 위해 본 연구팀이 SW로 구현한 CGH 프로그램을 사용하였다. 디지털 홀로그램의 생성 조건은 다음과 같다.

- SLM의 화소 크기 : 10.4μm×10.4μm
- 재생 참조파의 파장 : 633nm
- 디지털 홀로그램 해상도 : 1,024×1,024
- 재생될 영상의 거리 : 1,000cm

워터마크는 추출 시 시각적인 확인을 위해 특정 로고가 새겨진 32×32(1,024개) 크기의 이진 영상(binary image)을 사용하였다. 제안한 워터마크 알고리즘에 대

한 평가를 위해 워터마크 삽입 후의 비가시성과 복원한 영상의 변화 그리고 공격에 대한 강인성을 측정하였다. 이때, 비가시성과 복원한 영상의 변화에 대한 객관적인 평가를 위해 NC(Normalized Correlation)값을 계산하였다.

제안한 워터마크 알고리즘의 삽입 결과를 그림 11에서 나타내었는데 시각적으로 워터마크한 영상들은 원본 영상과의 차이가 없음을 확인할 수 있다. 워터마크가 삽입되지 않은 프린지 패턴과 제안한 기법으로 워터마크를 삽입한 프린지 패턴, 그리고 복원한 영상의 평균 NC는 표 3과 같다. 수치상으로도 원본 영상들과 거의 차이를 보이지 않는다.

표 4에서 워터마크를 삽입한 디지털 홀로그램을 대상으로 Adobe사의 포토샵을 이용하여 4 가지 공격을 수행한 결과를 보이고 있다. JPEG 압축 공격에 대해서는 JPEG Quality 4부터 에러가 발생하였고, 가우시안 잡음 첨가(Gaussian noise addition) 공격에 대해서는 비교적 높은 에러율을 보였다. 하지만 실제 영상에서 가우시안 잡음이 10%이상 첨가될 가능성은 그리 높지 않고, JPEG Quality를 0으로 놓고 영상을 압축하는 경우도 흔치 않기 때문에 제안한 기법으로 워터마크를 삽입한 결과는 우수하다고 볼 수 있다. 그림 12에는 각 에러율에 해당하는 추출된 워터마크 데이터를 보이고 있다. 19.5%의 에러율을 제외한 모든 경우에서 원본 워터마크 데이터를 시각적으로 확인할 수 있다.

### VI. 결론

본 논문에서는 CGH 기법으로 생성한 디지털 홀로그램을 대상으로 홀로그램영역과 전역 2차원 DCT영역에서 특성을 분석하였고, 이를 기반으로 디지털 홀로그램을 위한 워터마크 알고리즘을 제안하였다.

실험결과 홀로그램영역과 전역 2차원 DCT 영역 모두에서 비교적 우수한 특성을 보였다. 특히, 전역 2차원 DCT영역에서의 워터마크 기법은 JPEG 압축, 선명효과(sharpening), 그리고 흐림효과(blurring)등의 공격에 매우 강한 특성을 보였다.

본 논문에서 분석한 디지털 홀로그램의 특성과 제안한 워터마크 기법은 추후 관련 분야의 연구자들에게 큰 도움이 되리라고 생각된다.

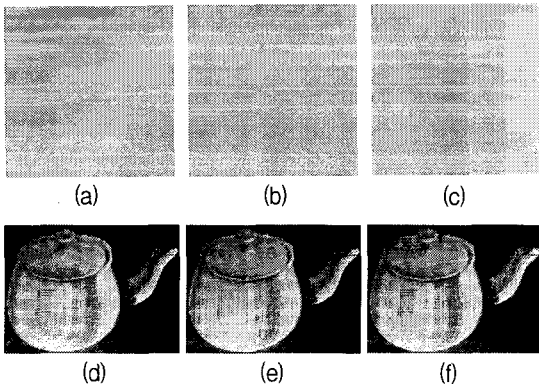


그림 11. 워터마크를 삽입한 결과; 디지털 홀로그램 (a) 원본, (b) 홀로그램영역, (c) GDCT 영역 ; 복원한 객체 (d) 원본 영상, (e) 홀로그램영역, (f) DCT 영역  
 Fig. 11. Results of watermark embedding; digital hologram (a) original, (b) hologram domain, (c) GDCT domain ; reconstruction object (d) original, (e) hologram domain, (f) GDCT domain

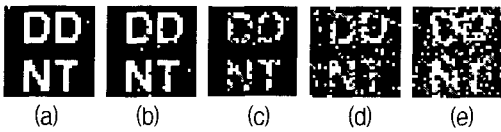


그림 12. 추출한 워터마크; 에러율 (a) 0.2, (b) 1.5, (c) 5.5, (d)12.5, (e)19.5  
 Fig. 12. Extracted watermarks; error ratio (a) 0.2, (b) 1.5, (c) 5.5, (d)12.5, (e)19.5

표 3. 디지털 홀로그램과 복원 영상에 대한 워터마킹 전후의 평균 NC값  
 Table 3. Average NC values of digital holograms and reconstruction images

Domain	Image	NC
Spatial	Fringe Pattern	0.99997
	Reconstruction Image	0.99962
DCT	Fringe Pattern	0.99994
	Reconstruction Image	0.99935

표 4. 제안한 기법을 이용한 워터마크 삽입 결과  
 Table 4. Experimental results by watermarking in hologram domain and GDCT domain

Attack		Error Rate(%)	
		Spatial	DCT
JPEG Quality	6	0	0
	4	0.2	0
	2	14.1	0
	0	19.4	20.9
Gaussian Noise Addition(%)	5	1.5	5.5
	10	12.5	20.1
	15	19.5	27.3
Sharpening		0	0
Blurring		0.4	0

참고문헌

- [1] P. Hariharan, "Basics of Holography," Cambridge University Press, 2002.
- [2] B. R. Brown and A. W. Lohmann, "Computer-generated Binary Holograms," IBM Journal of research and Development, Vol. 13, No. 2, pp. 160-168, March 1969.
- [3] L. Z. Cai, M. Z. He, L. Qing, and X. L. Yang, "Digital Image Encryption and Watermarking by Phase-shifting Interferometry," Applied Optics, Vol. 43, No. 15, pp. 3078-3084, May 2004.
- [4] H. Kim and Y. Lee, "Optimal Watermarking of Digital Hologram of 3-D object," Optics Express, Vol. 13, No. 8, pp. 2881-2886, April 2005.
- [5] 손정영, "홀로그래피의 원리와 응용", 봉영, 2004.
- [6] S. Stein and L. T. Vegard, "HoloVision," <http://www2.edge.no/projects/index.php?expn=2&target=holography/about.php>, Norwegian University of Science and Technology, 2002.

- [7] 서영호, 최현준, 김동욱, "Fringe 영상의 주파수 특성 분석", 한국통신학회논문지, Vol. 31, No. 11C, pp. 1053-1059, Nov. 2005.
- [8] 송종철, 김창수, 정회경, "지상파 DMB 데이터 방송을 위한 DMB 데이터 인서터 시스템 설계 및 구현", 한국해양정보통신학회논문지, 1226-6981, Vol. 9, No. 6, pp. 1218-1225, 2005.
- [9] W. G. Solomom, "Shift Register Sequences," Aegean Park Press, Laguna Hills, CA, 1982.

저자소개



최 현 준(Hyun-Jun Choi)

2003년 2월 광운대학교  
전자재료공학과 졸업(공학사)  
2005년 2월 광운대학교 일반대학원  
졸업(공학석사)

2005년 3월~현재 광운대학교 일반대학원 박사과정  
※관심분야: 영상압축, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC  
설계, Design Methodology



서 영 호(Young-Ho Seo)

1999년 2월 광운대학교  
전자재료공학과 졸업(공학사)  
2001년 2월 광운대학교 일반대학원  
졸업(공학석사)

2000년 3월~2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원  
2004년 8월 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)  
2003년 6월~2004년 6월 한국전기연구원 연구원  
2004년 12월~2005년 8월 유한대학 연구교수  
2005년 9월~현재 한성대학교 전임강사  
※관심분야: 2D/3D 영상 및 비디오 처리, 디지털 홀로  
그램, SoC 설계, 워터마킹/암호화



유 지 상(Ji-Sang Yoo)

1985년 2월 서울대학교  
전자공학과 졸업(공학사)  
1987년 2월 서울대학교  
전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 5월 Purdue 대학교 전기공학과 졸업(공학박사)  
1993년 9월~1994년 8월현대전자산업(주) 산전연구소  
선임연구원  
1994년 9월~1997년 8월 한림대학교 전자공학과 조교수  
1997년 9월~현재 광운대학교 전자공학과 정교수  
※관심분야: 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축, 영상  
인식, 비선형 신호처리



김 동 욱(Dong-Wook Kim)

1983년 2월 한양대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
1985년 2월 한양대학교  
대학원 졸업(공학석사)

1991년 9월 Georgia공과대학 전기공학과 졸업(공학박사)  
1992년 3월~현재 광운대학교 전자재료공학과 정교수.  
광운대학교 신기술 연구소 연구원  
2000년 3월~2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원  
※관심분야: 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP  
설계, Wireless Communication