

# 디지털 홀로그램을 위한 부분 암호화 기법

정희원 최 현 준\*, 종신회원 서 영 호\*\*, 김 동 옥\*

## A Partial Encryption Methods for Digital Holograms

Hyun-Jun Choi\* *Regular Member*, Young-Ho Seo\*\*, Dong-Wook Kim\* *Lifelong Members*

### 요 약

본 논문에서는 홀로그램 영역과 주파수 영역(DCT-영역, DWT-영역)에서 프린지 패턴을 분석하고, 이를 기반으로 가장 효율적인 디지털 홀로그램(프린지 패턴) 암호화 기법들을 제안하였다. 제안한 기법으로 홀로그램 영역과 주파수 영역에서 프린지 패턴 전체 데이터량의 25%, 1.5625%, 그리고 0.0244% 만큼을 각각 암호화하여 복원 영상을 효율적으로 은닉하였다. 결과적으로 주파수 영역에서의 암호화 기법 중에서 2차원 영상의 에너지를 한곳으로 집중시키는 DCT-영역에서의 암호화 기법이 가장 효율적임을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 프린지 패턴의 부분 암호화 기법과 분석결과는 추후 이 분야를 연구하는 연구팀들에게 좋은 지표가 될 것으로 생각된다.

Key Words : Digital Hologram, Fringe Pattern, Encryption, DCT, DWT

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to find an efficient encryption scheme for digital holograms (fringe patterns) with low encryption cost. Therefore, we introduced several encryption attempts in both hologram-domain and frequency-domain (both DCT-domain and DWT-domain) on the bases of the results from analyzing the properties of the coefficients in each domain. To effectively hide the image information, 25%, 1.5625%, and 0.0244% of the original fringe pattern need to be encrypted for hologram-domain scheme, DWT-domain scheme, and DCT-domain scheme, respectively. Consequently the DCT-domain scheme was the most efficient and it is caused by the fact that the ability for DCT to concentrate the energy of a given 2-dimensional image into a small area is the best. The encryption schemes and the analyses in this paper are expected to be used effectively on the researches on encryption and others for digital holograms.

### I. 서 론

최근 디지털 홀로그램은 홀로그래픽 아날로그 필름에 기록했던 간섭패턴(혹은 프린지 패턴)을 CCD(charge coupled device) 카메라를 이용하여 디지털 데이터로 기록하여 전송하거나 컴퓨터 생성 홀로그램(computer generated holograms, CGH) 기법<sup>[1]</sup>으로 생성한 프린지 패턴을 수신단의 공간 광

변조기(spatial light modulator, SLM)에 디스플레이한 후 레이저광을 조사함으로써 공간상에서 3차원 영상을 재생하는 기법이다<sup>[2]</sup>. 하지만 이런 광학 장비들은 고가이고 영상의 획득이나 디스플레이를 위한 취급에도 상당한 노력이 필요하며, CGH 역시 복잡한 연산을 통해서만 프린지 패턴을 얻을 수 있다. 따라서 이런 고급 콘텐츠인 프린지 패턴의 저작권을 보호할 필요성이 크게 대두되고 있으며<sup>[3,4]</sup>, 따

※ 본 논문은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

\*광운대학교 전자재료공학과 ({chj, dwkim}@kw.ac.kr), \*\*한성대학교 정보통신공학과 (yhseo@hansung.ac.kr)

논문번호 : 2006-08-353, 접수일자 : 2006년 8월 22일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 10일

라서 홀로그램을 암호화하여 프린지 패턴 자체를 숨기는 방법이 선호되고 있다.

국내외의 많은 연구진들에 의해 광기술을 이용한 광메모리 암호화 시스템과 보안 인증 시스템이 광정보처리 분야에서 활발하게 연구되고 있다<sup>[5]</sup>. 최근 광학 신호처리 분야의 선두 연구그룹으로 평가받고 있는 미국의 Javidi 교수팀은 위상-이동(phase-shift) 디지털 홀로그래피 방식을 이용하여 CCD 카메라로 획득한 프린지 패턴을 랜덤 위상 마스크(random phase mask)로 암호화 하는 방식<sup>[6]</sup>과 암호화된 데이터를 프레넬 영역(Fresnel domain)에서 무손실 부호화 기법을 이용하여 압축하였다. 하지만 이 방법은 백색잡음(white noise)으로 암호화를 수행하기 때문에 암호화 효율은 높아지지만 암호화키(encryption key)로 복소 공액(complex conjugate)의 위상 함수를 사용하므로 정밀한 마스크 크기가 필요하다는 특징을 갖는다. 광운대의 김은수 교수팀은 광학 영상의 암호화를 위해 프린지 패턴을 비트 평면(bit-plane)으로 분할하여 이를 암호화키와 exclusive-OR(XOR) 연산을 수행하여 암호화하는 방식<sup>[7]</sup>을 제안하였다. 이 방식은 암호화 방법은 비교적 간단하지만 광학 시스템을 구현하기가 복잡하다는 특징이 있다.

이처럼 최근 연구되는 대부분의 광학 보안관련 연구는 광학적인 특성들을 이용한 보안 인증 시스템분야로 편중되어 있다. 본 논문에서는 고가의 광학장비나 복잡한 연산을 통해서만 얻을 수 있는 디지털 홀로그램 컨텐츠(fringe pattern, 프린지 패턴)의 보안을 위한 효율적인 부분 암호화(partial encryption) 기법을 제안한다. 본 연구팀은 프린지 패턴을 홀로그램 영역(hologram domain)과 주파수 영역(frequency domain)에서 특성을 분석하고, 이를 기반으로 각각의 영역에서 가장 효율적인 부분 암호화 기법들을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 효율적인 암호화 영역을 찾기 위해 프린지 패턴을 홀로그램 영역과 주파수 영역에서 분석한다. 3장에서는 2장의 분석결과를 기반으로 부분 암호화 기법을 제안하고, 제안한 기법들의 적용 결과를 보인다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 프린지 패턴의 특성

본 장에서는 그림 1-(b)에서 보이고 있는 프린지 패턴을 효율적으로 암호화하기 위해 홀로그램 영역

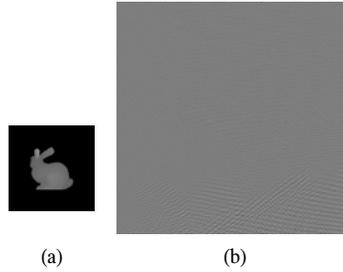


그림 1. (a) 원본 이미지(컴퓨터 그래픽 영상), (b) (a)의 프린지 패턴

Fig. 1. (a) Original image (computer graphic image), (b) fringe pattern of (a)

에서 비트평면들로 나눈 후 각 비트평면을 독립적으로 재생하여 특성을 분석하고, DWT(discrete wavelet transform)<sup>[9]</sup>와 DCT(discrete cosine transform)<sup>[10]</sup>등의 주파수영역에서의 특성을 분석하였다. 그림 1-(a)는 컴퓨터 그래픽으로 생성한 깊이 정보 영상(200×200 화소, gray-scale)이고, 1-(b)는 이를 컴퓨터에서 CGH를 통해 생성한 프린지 패턴(1,024×1,024 화소)이다.

그림 2에서는 홀로그램 영역과 주파수 영역에서 프린지 패턴을 분석하기 위한 절차를 보이고 있다. 그림 2- (a)에서는 컴퓨터 생성 홀로그램 기법으로 생성한 프린지 패턴을 비트평면으로 분할하고 이들을 독립적으로 복원한다. 복원영상을 위해서는 디지털 홀로그램을 수학적 계산을 통해 광학 시스템으로 실제 공간상에서 재생할 때와 같은 결과를 보이는 시뮬레이션 툴인 HoloVision<sup>[11]</sup>을 이용한다. 주파수 영역에서의 분석을 위해 프린지 패턴을 분할하고 이들을 대상으로 DWT와 GDCT(Global DCT)를 수행한다.

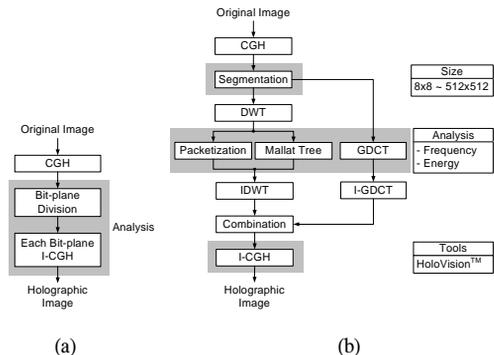


그림 2. 분석 절차; (a) 홀로그램 영역, (b) 주파수 영역  
Fig. 2. Analysis procedure; (a) hologram domain, (b) frequency domain

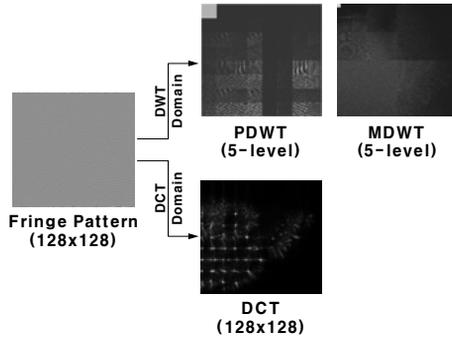


그림 3. 주파수 변환 결과  
Fig. 3. Results from frequency transforms

DWT는 packetized DWT(PDWT)<sup>[12]</sup>와 mallat-tree DWT(MDWT)<sup>[9]</sup> 방식을 사용하고, 결과에 따라 이들의 장점을 취하여 하이브리드 형태의 웨이블릿 변환을 사용한다. MDWT는 저주파 신호를 분해하여 에너지를 저주파 계수로 집중시키는 방식의 변환 기법으로 JPEG2000에서 사용하고 있다. 그러나 프린지 패턴의 주파수 특성이 그림 1-(b)에서 확인할 수 있듯이 잡음의 특성을 갖고 있으므로, 임의의 부대역을 다해상도(multi-resolution)로 분해하는 PDWT 방식을 병행한다.

그림 3에서 프린지 패턴에 대해 PDWT, MDWT, 그리고 GDCT를 이용한 결과의 예를 나타냈다. 각각의 결과들은 시각적인 확인이 용이하도록 대비 및 밝기 조절을 하였다. 결과에서 확인할 수 있듯이 프린지 패턴은 PDWT, MDWT, 그리고 DCT 모두 세로 및 대각선 성분의 주파수 계수를 많이 포함하고 있다.

2.1. 홀로그래 영역에서의 분석

홀로그래 영역에서 프린지 패턴이 갖는 특성, 즉 홀로그래 영역에서의 에너지 정도(중요도)를 분석하기 위해 그림 4와 같이 프린지 패턴을 비트평면으로 나누고 이들 각각을 독립적으로 복원하여 각각의 비트평면이 프린지 패턴 내에서 차지하는 중요도를 분석한다.

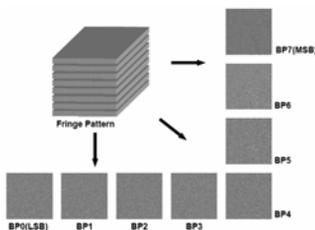


그림 4. 프린지 패턴의 비트평면  
Fig. 4. Bit-plane of fringe pattern

각 비트평면의 중요도를 판단하기 위해 100개의 컴퓨터 그래픽 영상으로 생성한 프린지 패턴을 비트평면으로 나누고 이를 복원한 결과 8번째 비트평면(bit-plane 7, BP7: Most significant bit-plane, MSBP)과 7번째 비트평면(BP6) 만이 시각적으로 관찰 가능한 복원 영상을 재생하였다. 그림 5에서 100개의 실험영상 중 토끼영상의 예를 보이고 있다. BP7(그림 5-(b))와 BP6(그림 5-(c))는 시각적으로 확인이 가능한 수준에서 복원되었지만, BP5 이하의 비트평면은 모두 BP5와 같이 객체영상이 복원되지 않았다.

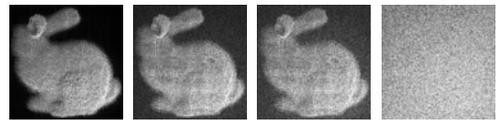


그림 5. 복원한 영상 (a) 모든 비트평면, (b) 비트평면 7, (c) 비트평면 6, (d) 비트평면 5  
Fig. 5. Reconstructed images with (a) all the bit-planes, (b) bit-plane 7, (c) bit-plane 6, (d) bit-plane 5

2.2. 주파수 영역에서의 분석

DCT는 각 계수들이 독립적인 주파수 성분들을 나타내지만 DWT는 다해상도를 가지는 부대역 단위로 주파수 성분과 특성을 나타낸다. 또한 DWT는 기저함수의 특성상 주파수 영역에서 홀로그래 영역의 정보도 가진다. 이와 같이 DWT는 DCT와 상이한 특성을 가지는 변환도구이다. 그러나 이러한 주파수 영역의 표현방식의 차이에도 불구하고, 2차원 공간상에서 기저함수(basis function)에 대한 계수가 유사한 주파수 방향성을 가진다면 유사한 에너지 특성을 보인다. 본 절에서는 프린지 패턴을 DCT와 DWT의 주파수 변환 도구를 이용하여 주파수영역으로 변환한 후 그 특성을 분석한다.

2.2.1 PDWT와 GDCT

PDWT는 그림 6과 같이 다해상도의 부대역을 임의의 방식으로 생성시키는 것으로, 일반적인 영상 압축을 위해서 사용하지는 않고, 특수한 영상이나 사용된 필터의 은닉을 통한 암호화 혹은 워터마킹 등을 위한 기술 등에 응용된다. PDWT를 통해 생성되는 부대역의 구조를 그림 7에 나타내었고, 이와 의 비교를 위하여 GDCT 계수영역을 PDWT와 동일하게 구분하였다. 여기에서 L은 저주파 필터링(low-pass filtering)을 뜻하고 H는 고주파 필터링

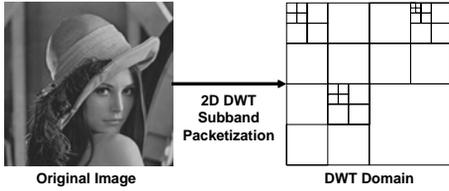


그림 6. 무작위 패킷화 기법을 이용한 DWT  
Fig. 6. DWT using random packetization method

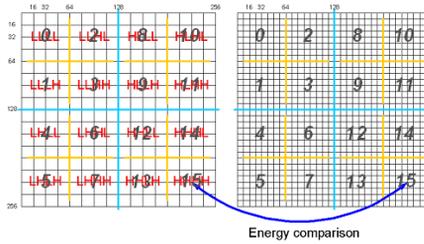


그림 7. PDWT와 GDCT의 주파수 영역  
Fig. 7. Frequency domain of PDWT and GDCT

(high-pass filtering)을 뜻하므로 네 개의 침자는 가로 및 세로 방향으로 두 번씩 필터링을 거친 결과에 해당한다. 각각의 부대역들은 고유한 주파수 성분을 나타내고 있고 GDCT와 유사하게 가로방향으로 오른쪽에서 왼쪽으로 위치할수록 가로방향의 주파수 성분이 우세하다. 이러한 특성은 세로방향과 대각선방향도 유사하다.

그림 8에서 256×256 크기로 분할된 프린지 패턴에 대한 실제 3-레벨 PDWT 결과를 나타냈다. 각 부대역들이 특정한 프린지 패턴의 일부를 표현하고 있는 것으로 볼 수 있다. 표 1에서는 그림 7, 8에서 보인 프린지 패턴의 PDWT 계수들과 GDCT 계수들의 평균 에너지 분포를 비교하였다. 표에서의 부대역(subband) 번호는 그림 7의 부대역 번호를 가리킨다. 주파수에 따라서 일부 유사한 에너지 특성을 보이고 있기도 하지만 상이한 부분도 있다. GDCT의 경우 가장 낮은 주파수 대역으로 전체 에너지의 95% 이상이 집중되는 특성을 보인다. PDWT

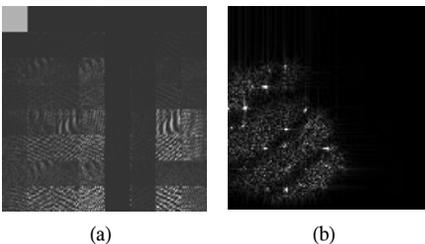


그림 8. 분할한(256×256) 프린지 패턴의 (a) 3-레벨 PDWT 결과, (b) GDCT 결과  
Fig. 8. Result of (a) 3-level PDWT on segmented fringe pattern(256×256), (b) GDCT

결과의 특이한 점은 부대역 14가 매우 높은 에너지를 갖고, 그 외에도 부대역 5, 6, 7, 15가 상대적으로 높은 에너지를 보이는 것을 보여, PDWT로는 에너지를 효율적으로 집중시킬 수 없음을 알 수 있다.

2.2.2 MDWT와 GDCT

PDWT와 마찬가지로 MDWT를 이용하여 프린지 패턴을 주파수 영역으로 변환하고 그 특성을 살펴본다. 그림 9에는 그림 7과 유사한 과정을 나타냈는데, PDWT와 부대역의 구조를 형성하는 방식에서 차이를 가진다. MDWT는 일반적으로 신호의 부호화를 위해 사용되는 필터링 기법으로 다해상도로 저주파 성분을 분해하여 최저 주파수 대역으로 에너지를 집중시킨다. 여기에서도 계수들의 주파수 성분에 대한 방향성은 PDWT와 유사하고, DCT 계수들과 대칭되는 방식도 유사하다. 그림 10에서 256×256 크기로 분할된 프린지 패턴에 대한 6-레벨 MDWT 결과를 나타냈다.

표 2에서 프린지 패턴에 대한 MDWT 계수의 평균 에너지 분포를 나타냈고, PDWT의 경우와 마찬가지로 GDCT 계수와 비교하였다. PDWT의 결과와 비교할 때 MDWT의 결과가 GDCT 계수와 더욱

유사한 주파수 특성을 보인다는 것을 관찰할 수 있다. 또한 표 1 및 표 2를 살펴보면 MDWT가 가장 좋은 주파수 집중도를 보이는 것을 알 수 있다. GDCT의 경우에 DC 값이 지나치게 크기 때문에

표 1. 프린지 패턴의 에너지 분포와 비율  
Table 1. Energy distribution and ratio of fringe pattern

Sub-band	PDWT		GDCT	
	Average Energy	Ratio	Average Energy	Ratio
0	16201.034	38.357	259203.776	95.283
1	224.675	0.532	331.927	0.122
2	6.705	0.016	8.280	0.003
3	567.815	1.344	484.819	0.178
4	625.367	1.481	2232.475	0.821
5	1533.207	3.630	2656.631	0.977
6	3743.395	8.863	759.775	0.279
7	3813.564	9.029	2450.615	0.901
8	0.268	0.001	10.677	0.004
9	5.734	0.014	17.074	0.006
10	13.869	0.033	0.112	0.000
11	274.797	0.651	0.152	0.000
12	133.677	0.316	335.514	0.123
13	54.296	0.129	3534.838	1.299
14	10972.849	25.979	0.387	0.000
15	4066.018	9.627	8.460	0.003
Total	42237.271	100.000	272035.513	100.000

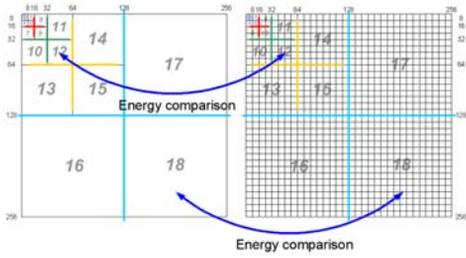


그림 9. MDWT와 GDCT의 주파수 영역  
Fig. 9. Frequency domain of MDWT and GDCT

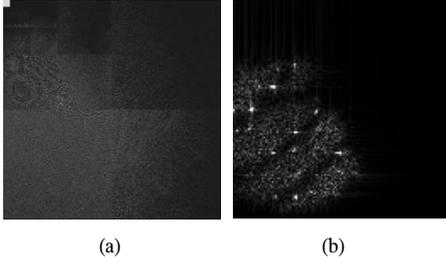


그림 10. 분할한(256×256) 프린지 패턴; (a) 6-레벨 MDWT 결과, (b) GDCT 결과  
Fig. 10. Result of (a) 6-level MDWT on segmented fringe pattern(256×256), (b) GDCT

표 2. 프린지 패턴의 에너지 분포와 비율  
Table 2. Energy distribution and ratio of fringe pattern

Sub-band	MDWT		GDCT	
	Average Energy	Ratio	Average Energy	Ratio
0	16199.634	72.677	66352126.269	99.994
1	0.006	0.000	28.140	0.000
2	0.022	0.000	3.286	0.000
3	0.077	0.000	5.515	0.000
4	0.051	0.000	17.213	0.000
5	0.024	0.000	6.292	0.000
6	0.104	0.000	7.451	0.000
7	0.214	0.001	12.637	0.000
8	0.283	0.001	9.571	0.000
9	1.559	0.007	10.657	0.000
10	2.208	0.010	13.579	0.000
11	0.883	0.004	17.613	0.000
12	12.514	0.056	21.212	0.000
13	224.675	1.008	331.927	0.001
14	6.705	0.030	8.280	0.000
15	567.815	2.547	484.819	0.001
16	2185.485	9.805	2024.874	0.003
17	19.361	0.087	7.004	0.000
18	3068.226	13.765	969.800	0.001
Total	22289.845	100	66356106.137	100

비율상으로는 좋아 보이지만 최저주파수 대역의 값을 제외하면 MDWT가 가장 좋은 특성을 보인다.

### III. 제안한 부분암호화 기법

#### 3.1. 홀로그램 영역에서의 암호화

2장에서 프린지 패턴의 MSBP와 7번째 비트평면이 물리적인 공간에서 복원할 때 가장 중요한 데이터임을 확인하였다. 따라서 이 두 비트평면이 암호화 양에 대비한 암호화 효율이 가장 높다는 것을 알 수 있다. 그림 11에서 홀로그램 영역에서 제안한 영상암호화 기법을 보이고 있다. (a)에서는 암호화 효율을 최대를 하기 위해 MSBP만을 암호화하는 것(전체 데이터량의 12.5%만을 암호화)을 보여주고 있고, (b)에서는 MSBP와 BP6의 두 비트평면을 암호화하는 방법(전체 데이터량의 25%만을 암호화)을 나타내고 있다.

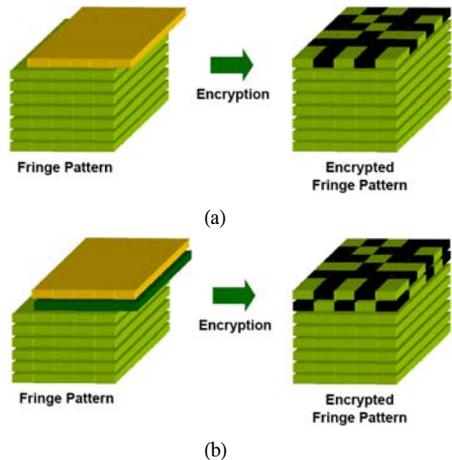


그림 11. 홀로그램 영역에서의 암호화; (a) MSBP 암호화 (b) MSBP + 비트평면 6

Fig. 11. Encryption in hologram domain; (a) MSBP encryption (b) MSBP + BP6

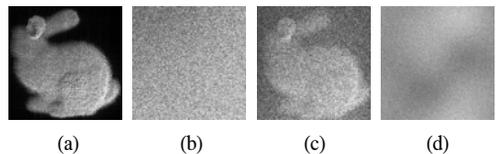


그림 12. 데이터 암호화; (a) 원본 홀로그래픽 영상, (b) 모든 데이터를 암호화한 결과, (c) MSBP만을 암호화한 결과, (d) MSBP와 비트평면 6을 암호화한 결과

Fig. 12. Data encryption; (a) original holographic image, (b) result from encrypting all the data, (c) result from encrypting only MSBP, (d) result from encrypting only MSB+BP6

3.2. 주파수 영역에서의 암호화

3.2.1 DCT 영역에서의 암호화

DC 계수는 영상에서 전체 명암에 밀접한 관계가 있는 주파수 성분이다. 그러므로 단위블록 내에서 DC 계수만 암호화 한 후 영상을 복원하더라도 그 블록 전체의 명암이 흐트러져 영상을 식별할 수 없다. 이를 디지털 홀로그램의 프린지 패턴에 적용하여 프린지 패턴을 2차원 DCT(2-Dimensional DCT, 2DDCT) 후 DC 계수만을 암호화 한다면 홀로그램 영상으로 복원하였을 경우 복원된 객체를 식별할 수 없을 것이다. 제안한 프린지 패턴의 암호화 과정을 그림 13에서 보이고 있다. CGH 기법으로 생성한 프린지 패턴( $I(x,y)$ )을 2DDCT를 수행하고 DC값만을 따로 모아서 블록암호화 알고리즘으로 암호화(전체 데이터량의 1.5625%만을 암호화)하였다. 본 논문에서는 데이터 암호화를 위해 128-비트 크기의 블록 단위로 암호화를 수행하는 ARIA(academy, research institute, agency)<sup>[13]</sup>를 사용하였다.

제안한 DCT 영역에서의 암호화 기법을 적용한 결과를 그림 14에서 보이고 있다. 그림에서 보이듯이 제안한 기법으로 프린지 패턴을 암호화할 경우 복원 영상은 거의 인식할 수 없다.

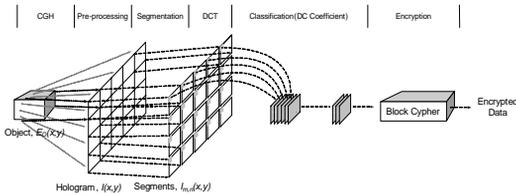


그림 13. DCT 영역에서의 암호화 순서  
Fig. 13 Procedure of encryption in DCT-domain

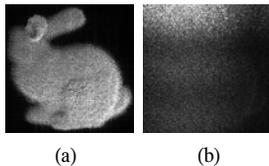


그림 14. 데이터 암호화 결과; (a) 원본 복원영상, (b) DC 계수를 암호화  
Fig. 14. Data encryption; (a) original reconstruction image, (b) result from encrypting DC coefficient

3.2.2 DWT 영역에서의 암호화

2차원 DWT(2-Dimensional DWT, 2DDWT)에 의해 원 영상은 주파수 대역에 따라  $3n+1$ ( $n$ : 2DDWT 레벨 수)개의 부대역으로 재편성되며, 레

벨수가 증가할수록 대역의 주파수는 낮아진다. 2장에서 설명하였듯이 웨이블릿 영역의 모든 부대역은 전체 영상에 대한 특정 주파수 대역의 정보를 가지게 된다. 이 중 가장 저주파 성분에 해당하는 부대역이 인간의 눈에 가장 민감한 성분이며, 영상에 대한 가장 함축적인 정보를 포함한다.

제안한 기법은 프린지 패턴에 대해 2DDWT를 수행하고, 2장의 분석결과를 기반으로 에너지 집중도가 높은 부대역들을 조합하여 암호화 대상으로 하였다. 먼저 암호화에 가장 민감한 부대역을 선택하기 위해 프린지 패턴을 1-레벨 2DDWT를 수행하고 각 부대역들을 독립적으로 암호화하여 특성을 살펴보았다. 그림 15에서는 1-레벨 DWT 결과의 각 부대역을 독립적으로 암호화 하여 복원한 영상들을 보이고 있다. 2장의 분석결과로도 예상할 수 있듯이 각 부대역의 암호화 결과 에너지가 가장 많이 모이는 LL1과 LH1 부대역을 암호화 했을 경우 가장 좋은 효율을 보인다. 따라서 본 논문에서는 6-레벨 2DDWT 이후 가장 높은 에너지 집중도를 보이는 LL6영역과 다른 부대역들을 조합하여 암호화되는 데이터 량을 고려하여 최상의 암호화 영역을 선택한다. 이러한 실험 결과를 기초로 본 논문에서는 부대역 선택에 있어 표 3과 같은 방법을 제안한다. 제안한 기법은 앞서 분석과 결과를 기반으로 높은 에너지 집중도를 보이는 부대역들을 선택하였다.

그림 16에서는 위에서 제안한 7가지 선택 방법에 대한 결과영상들을 보이고 있다. 실험결과 그림 16-(h)가 가장 좋은 암호화 효율을 보임을 확인할 수 있었다. LL6만을 암호화 한 경우 복원하면(그림. 16-(b)) 객체를 충분히 인식할 수 있어 암호화 효율이 떨어진다는 것을 알 수 있었다. LL4와 LL3 부대역 전체를 암호화 할 경우(그림. 16-(f), (g)) 영상의 식별이 어려울 정도로 객체가 은닉되었다.

표 3. DWT 영역에서의 부대역 조합과 암호화 비율  
Table 3. Subband mixing and encryption ratio in DWT domain

부대역 조합	암호화되는 데이터의 비율(%)
LL6	0.02441
LL6+LH6	0.04883
LL5	0.09766
LL6+LH5	0.14648
LL4	0.39063
LL6+LH4	0.41504
LL3	1.56250

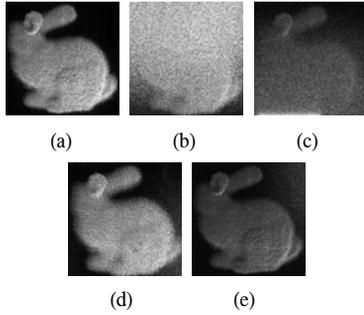


그림 15. DWT 데이터 암호화; (a) 원본 복원영상, (b) LL1 부대역만을 암호화한 결과, (c) LH1 부대역만을 암호화한 결과, (d) HL1 부대역만을 암호화한 결과, (e) HH1 부대역만을 암호화한 결과

Fig. 15. DWT data encryption (a) original reconstruction image, (b) result from encrypting LL1 subband, (c) result from encrypting LH1 subband, (d) result from encrypting HL1 subband, (e) result from encrypting HH1 subband

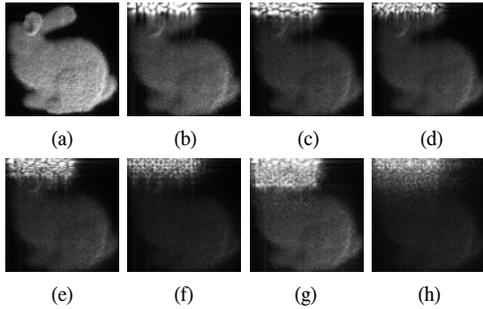


그림 16. 데이터 암호화; (a) 원본 복원 영상, (b) LL6 부대역만을 암호화한 결과, (c) LL6+LH6 부대역들을 암호화한 결과, (d) LL5 부대역만을 암호화한 결과, (e) LL6+LH5 부대역들을 암호화한 결과, (f) LL4 부대역만을 암호화한 결과, (g) LL6+LH4 부대역들을 암호화한 결과, (h) LL3 부대역만을 암호화한 결과

Fig. 16. Data encryption (a) original reconstruction image, (b) result from encrypting LL6 subband, (c) result from encrypting LL6+LH6 subband, (d) result from encrypting LL5 subband, (e) result from encrypting LL6+LH5 subband, (f) result from encrypting LL4 subband, (g) result from encrypting LL6+LH4 subband, (h) result from encrypting LL3 subband.

#### IV. 결론

본 논문에서는 최소한의 암호화 비용을 들여 디지털 홀로그래의 프린지 패턴을 홀로그래 영역과 주파수 영역에서 효율적으로 은닉하는 부분암호화 기법을 제안하였다.

실험결과 홀로그래 영역에서는 프린지 패턴의 상위 2-비트를 암호화할 경우 효과적으로 홀로그래픽 객체를 은닉할 수 있었다. DCT 영역에서는 에너지

집중도가 가장 높은 DC계수만을 암호화하였고, DWT 영역에서는 6-레벨 DWT 후 4-레벨 이상의 영역을 암호화함으로써 복원되는 객체를 효과적으로 은닉할 수 있었다. 결과적으로 주파수 영역에서의 암호화 기법 중에서 2차원 영상의 에너지를 한곳으로 집중시키는 DCT 영역에서의 암호화 기법이 가장 효율적임을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 프린지 패턴의 암호화 기법과 분석결과는 추후 이 분야를 연구하는 연구팀들에게 좋은 지표가 될 것으로 생각된다.

#### 참고 문헌

- [ 1 ] 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.
- [ 2 ] B. Javidi and F. Okano, "Three Dimensional Television, Video, and Display Technologies," Springer Verlag Berlin, March 2002.
- [ 3 ] P. Hariharan, "Basics of Holography," Cambridge University Press, 2002.
- [ 4 ] H. Yosikawa, "Digital holographic signal processing," Proc. TAO First International Symposium on Three Dimensional Image Communication Technologies, 1993.
- [ 5 ] 윤진선, 김남, "광기술을 이용한 차세대 정보보안 기술", 한국통신학회지 (정보통신), Vol. 19, no. 8, pp. 137-145, Aug. 2002.
- [ 6 ] T. J. Naughton and B. Javidi, "Compression of encrypted three-dimensional objects using digital holography," Opt. Eng., Vol. 43, no. 10, pp. 2233-2238, Oct. 2004.
- [ 7 ] J. W. Han, C. S. Park, D. H. Ryu, and E. S. Kim, "Optical image encryption based on XOR operation," Opt. Eng., Vol. 38, no. 1, pp. 47-54, Jan. 1999.
- [ 8 ] 서영호, 최현준, 김동욱, "Fringe 영상의 주파수 특성 분석", 한국통신학회논문지, Vol. 31, no. 11C, pp. 1053-1059, Nov. 2005.
- [ 9 ] R. M. Rao, A. S. Bopardikar, and T. Boros, "Wavelet transforms, introduction to theory and application," Prentice Hall PTR, 1st edition, Sept. 1998.
- [ 10 ] K. R. Rao and P. Yip, "Discrete cosine transform - algorithms, advantage, applications," New York, Academic Press, 1990.
- [ 11 ] S. Stein and L. T. Vegard, "HoloVision,"

http://www2.edge.no/projects/index.php?expn=2&target=hologvision/about.php, Norwegian University of Science and Technology, 2002.

- [ 12 ] Z. Xiong, K. Ramchandran, M. T. Orchard, "Wavelet Packet Image Coding Using Space-Frequency Quantization," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 7, no. 6, pp. 892-898, June 1998.
- [ 13 ] 민관겸용 블록 암호 알고리즘 ARIA 알고리즘 명세서, 2004.

최 현 준(Hyun-Jun Choi)

정회원



2003년 2월 광운대학교 전자재료공학과(공학사)  
 2005년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사)  
 2005년 3월~현재 광운대학교 전자재료공학과 박사과정  
 <관심분야> Image Processing, 암호학, FPGA/ASIC 설계

서 영 호(Young-Ho Seo)

종신회원



1999년 2월 광운대학교 전자재료공학과(공학사)  
 2001년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사)  
 2000년 3월~2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원  
 2003년 6월~2004년 6월 한국전기연구원 연구원

2004년 8월 광운대학교 대학원졸업(공학박사)  
 2004년 9월~2004년 11월 유한대학 겸임교수  
 2004년 12월~2005년 8월 유한대학 연구교수  
 2005년 9월~현재 한성대학교 정보통신공학과 교수  
 <관심분야> Image Processing/Compression, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계

김 등 욱(Dong-Wook Kim)

종신회원



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