

---

# 주파수 영역에서 움직임 예측을 이용한 디지털 홀로그램 압축 기법

최현준\* · 배윤진\*\* · 서영호\*\* · 강창수\*\*\* · 김동욱\*\*

Compression Method for Digital Hologram using Motion Prediction Method in  
Frequency-domain

Hyun-Jun Choi\* · Yun-Jin Bae\*\* · Young-Ho Seo\*\* · Chang-Soo Kang\*\*\* · Dong-Wook Kim\*\*

---

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가위원회의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음.  
[KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 SoC 개발]

---

## 요 약

본 논문에서는 기존의 영상/비디오 압축 기술을 홀로그램의 특성을 반영하여 변형한 압축 기술을 제안한다. 본 논문에서는 컴퓨터 생성 홀로그램 기법(computer-generated hologram, CGH)을 이용하여 디지털 홀로그램을 획득한다. 제안한 기술은 디지털 홀로그램의 전처리 기술, CGH로 생성한 홀로그램의 공간영역 분할, 2D-DCT를 이용한 주파수 변환, 주파수 영역에서의 움직임 예측과 차영상 생성 등이다. 이 데이터들을 H.264/AVC 코덱, BinHex과 같은 무손실 부호화 기술, 자체 제작한 선형양자화기를 이용하여 압축한다. 실험결과 10:1의 압축률에서 25.4 dB, 100:1에서 16.5 dB의 복원결과를 보였다.

## ABSTRACT

This paper proposes a hologram data compression scheme that uses the existing image/video compression techniques, in which the existing techniques are modified appropriately to fit to the characteristics of hologram. In this paper we use CGH as the hologram data. The proposed scheme uses the generation characteristics of a CGH to consist of a pre-processing, spatial segmentation of a CGH, frequency-transformation with 2D-DCT (2-dimensional discrete cosine transform), and motion estimation and residual image generation in the frequency-domain. It uses H.264/AVC, the lossless compressor BinHex, and a linear quantizer that we have made. From the experiments the proposed scheme showed the image quality of about 25.4 dB at the compression ratio of 10:1 and about 16.5dB at 90:1 compression ratio.

## 키워드

디지털 홀로그램, CGH, 손실/무손실 코딩, 영상 압축, DCT, ME/MC

## Key word

digital hologram, computer-generated hologram, lossy/lossless coding, compression, DCT, ME/MC

---

\* 안양대학교 정보통신공학과

\*\* 광운대학교 실감미디어 연구소 (김동욱 dwkim@kw.ac.kr)

\*\*\* 유한대학 전자정보과

접수일자 : 2010. 05. 01

심사완료일자 : 2010. 06. 10

## I. 서 론

최근 세계 여러 연구기관에서 홀로그램 관련 연구를 진행 중이지만, 대부분의 연구는 광학 홀로그램 영상의 획득과 이를 효과적으로 복원하는 기술들에 국한되어 있다[1].

Yoshikawa는 홀로그램의 데이터량을 줄이는 방법으로 영상을 재구성 했을 때의 해상도가 HVS(human visual system)에 비해 너무 크다는 점에 착안하여 해상도를 제한하는 방법과 보간법으로 홀로그래피 3차원 디스플레이의 정보량을 줄이는 방법을 제안하였다[2][3]. 또한 JPEG과 같은 정지영상의 압축 표준기술을 이용하여 디지털 홀로그램을 압축하였지만, 디지털 홀로그램이 일반적인 2차원 영상과는 다른 특성들 때문에 큰 효과를 얻지는 못하였다[4][5]. 이를 해결하기 위해 디지털 홀로그램을 몇 개의 부분(segment)으로 나누어 1차원 DCT(discrete cosine transform)를 수행하고, 동영상 압축표준인 MPEG-1으로 압축하였다[6]. Thomas는 광학적인 방법의 위상-이동(phase-shift) 방법을 통해 얻은 디지털 홀로그램을 무손실 부호화 방식인 LZ77, LZW, 그리고 허프만 부호화(Huffman coding) 기법으로 압축하였다[7][8]. 이밖에 Ding은 홀로그램 영상 인식을 위한 웨이블릿 패킷 압축기법과 인식 시스템을 제안하였다[9]. Liebling은 광학적으로 생성된 프레넬(Fresnel) 홀로그램의 다해상도(multi-resolution) 분해를 위한 웨이블릿 기반의 새로운 기저함수를 만들고 “Fresnelet”이라 하였다[8]. 그러나 이 방법들은 광학계를 이용한 접근방법으로 본 논문과는 연구방향이 다르고 디지털 홀로그램을 JPEG으로 압축하는 방식에 비해 큰 이득을 얻지는 못하였다. 또한 Osamu는 기존의 디지털 홀로그램이 위상과 진폭을 저장하였던 것을 위상 정보만을 저장하여 재생할 수 있는 시스템을 제안하였다[9].

본 연구팀의 이전 연구에서는 디지털 홀로그램을 몇 개의 블록들로 분할하여 이를 2D DCT를 취하고, 후처리 과정을 거쳐 하나의 비디오 스트림으로 가공하여 기존의 영상/비디오 압축 표준(JPEG2000, MPEG-2/4, H.264/AVC)으로 부호화하는 기법을 제안하였다[10].

본 논문에서는 디지털 홀로그램을 효율적으로 부호화하기 위해 3D 객체의 전체 정보를 보유한 부분영상들(segment image)로 분할하여 각 분할영상에 2D DCT를

취한다. 이때, 주파수 영역에서 나타나는 AC계수들의 분포특성을 기반으로 비디오 부호화에 사용되고 있는 움직임 예측 및 보상(motion estimation/compensation, ME/MC) 기법을 이용하여 부호화한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 디지털 홀로그램의 개요 및 제안한 하이브리드 부호화 시스템에 대해 설명한다. 3장에서 제안한 기술을 적용하여 실험한 결과를 보이고, 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 디지털 홀로그램 부호화

### 2.1 디지털 홀로그램

디지털 홀로그램은 과학 장비 대신 전자 장비를 이용하는 방식으로, 홀로그래피의 간섭무늬를 CCD 카메라에 기록하고 비디오 신호로 전송하여 수신단에서 SLM(spatial light modulator)에 표시된 간섭무늬 데이터에 레이저광을 조사함으로써 영상을 재생하는 기법이다. 그림 1에서 디지털 홀로그램의 시스템 구성을 보이고 있다.

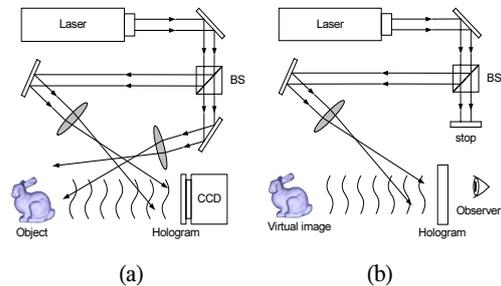


그림 1. 디지털 홀로그램 (a) 기록 (b) 복원  
Fig. 1. Digital hologram (a) recoding (b) reconstruction

디지털 홀로그램은 기존의 광학 홀로그램에 의한 기법과 동일하게 레이저광을 집광 렌즈로 평행광을 만들고, 빔 분리기(beam splitter, BS)로 참조파(reference wave)와 객체파(object wave)로 나눈다. 객체파는 객체에 조명된 다음 참조파와 직접 CCD에 조사되어 간섭무늬(interference pattern) 즉 프린지 패턴을 형성한다. 간섭무늬 정보는 SLM에 인가되고 여기에 평행광을 조사하면 1차 회절광이 발생하여 3차원 객체를 재생할 수 있다[10].

그림 1과 같은 광학시스템을 이용해 획득한 홀로그램이나 컴퓨터를 이용한 계산식에 의한 컴퓨터 생성 홀로그램(computer-generated hologram, CGH)의 경우 약 1cm<sup>3</sup> 크기의 객체를 공간상에 재생하기 위해서는 약 2Mbyte의 데이터가 필요하다. 만약 동영상 홀로그래픽 디스플레이를 고려한다면 데이터 처리장치, 저장매체와 같은 하드웨어 자원의 소요량이 매우 커질 것이다. 이를 해결하기 위해와 같은 커질 것이다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 디지털 홀로그램을 효율적으로 부호화 하는 기법을 제안한다.

### 2.2 부호화 시스템

이전에 발표된 연구에서는 기존의 비디오 및 영상압축 도구들을 이용하여 디지털 홀로그램을 압축하는 기법이 제안되었다. 이 기법은 디지털 홀로그램의 생성원리를 이용하여 비디오 데이터로 가공한 후에 압축하는 방식을 이용한다. 여기에는 생성된 디지털 홀로그램을 압축하기 위해 적절한 형태로 변형하는 전처리과정, 객체 영상의 모든 정보를 포함하는 공간적인 분할, 디지털 홀로그램의 생성원리와 부합되는 주파수 변환 기술, 비디오 데이터로 구성하기 위한 스캔방법, 부호화를 위한 주파수 계수의 분류, 그리고 하이브리드 형태의 압축 기술 등이 고려되어 하나의 알고리즘을 구성한다.

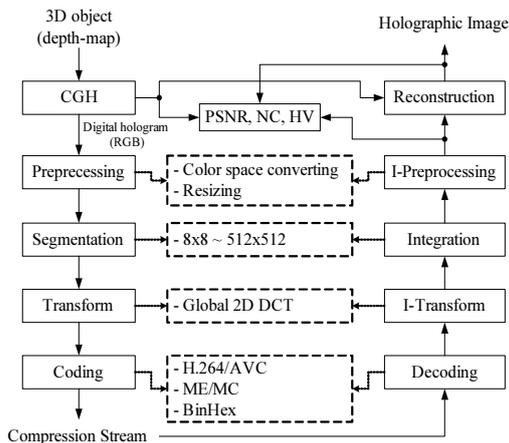


그림 2. 디지털 홀로그램의 전체적인 처리순서  
Fig. 2. Global process of digital hologram

본 논문에서 제안하는 부호화 방식을 그림 2에서 보이고 있다. 디지털 홀로그램의 부호화 과정은 전처리과정, 분할, 주파수 변환, 후처리 과정, 그리고 압축으로 구성된다. 디지털 홀로그램을 객체영상에 대한 전체정보를 보유한 블록들로 분할하고 이를 2D-DCT를 취한다. DCT 계수들 중 기준영상(Anchor Segment)은 후처리과정을 통해 하나의 비디오 스트림으로 가공하여 표준 동영상 압축기술로 부호화한다. 움직임 예측 후 생성되는 움직임 벡터는 무손실 부호화하고, 차영상은 양자화를 수행한다.

### 2.3 전처리, 분할 및 주파수 변환

본 논문에서 부호화 대상으로 하는 디지털 홀로그램은 CCD 카메라로 획득하였거나 컴퓨터로 생성된 CGH이다.

본 논문에서는 이 칼라 영상의 각 색차신호(R, G, B)를 따로 처리하며, 이를 위하여 각 색차신호를 분리하는 전처리 과정을 거친다. 분리한 각 색차영상을 분할하고 2차원 DCT 변환을 수행한다. 그림 3에서 DCT를 하기 위해 디지털 홀로그램을 분할하는 과정을 도식적으로 나타냈다. 분할한 영상의 크기는 8×8 ~ 512×512까지 선택할 수 있다. 특정 크기로 분할한 경우 우측이나 하단의 부분영상들은 그 크기를 갖지 못하는 경우가 있는데, 이때는 부족한 영상의 크기만큼을 우측 및 하단의 경계부분에서 '0'으로 확장(zero padding)하여 정해진 크기의 영상을 만든다. 본 논문에서는 가장 우수한 부호화 결과를 보이는 128×128 크기로 홀로그램을 분할하였다.

분할한 각 segment들은 2차원 DCT를 이용하여 주파수대역으로 변환한다. 변환한 주파수대역 영상을 2차원 영상으로 취급하면 3D 객체의 2차원 영상과 유사한 형태의 영상이 나타나게 된다. 이때, 주파수 변환된 segment 디지털 홀로그램에서의 위치적인 특성에 따라서 2차원 객체영상이 이동하는 것처럼 보인다[10]. DCT를 거친 디지털 홀로그램을 비디오 플레이어를 이용하여 재생하면 객체영상이 제자리에서 회전하면서 위아래로 움직이는 것을 관찰할 수 있다. 즉, 분할한 디지털 홀로그램들의 위치적인 특성을 시간적인 변화로 사상할 경우 전체 디지털 홀로그램은 하나의 비디오 스트림으로 취급할 수 있다. 또한 분할한 디지털 홀로그램은 약간의 차이는 있지만 유사한 정보를 포함

하고 그 차이가 크지 않으므로 2차원 동영상 압축 기술에서 시간적인 중복성으로 간주하여 효율적으로 압축할 수 있다.

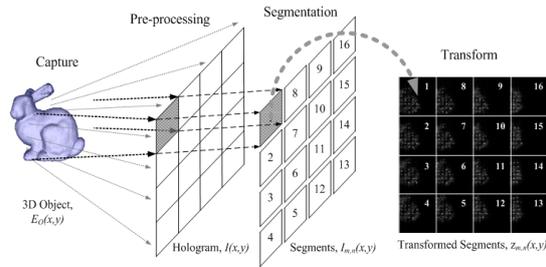


그림 3. 디지털 홀로그램의 분할 및 주파수변환  
Fig. 3. Segmentation and frequency transform of digital hologram

### 2.4 DCT 영역에서의 움직임 예측

2.3절에서 설명한 바와 같이 본 논문에서는 디지털 홀로그램을 segment라는 단위로 분할한 후 각각을 독립적으로 DCT하였다. 그 결과가 그림 3의 우측에 있는 “Transformed Segments( $Z_{mn}(x,y)$ )”이다. 그림 4에서 1024x1024 크기의 디지털 홀로그램을 256x256 크기의 segment로 분할한 후 DCT한 결과를 보이고 있다. 그림 4에서 실선은 각 segment의 경계, 점선은 객체의 위치 변화를 비교하기 위해 임의로 첨부한 기준선이다. 그림의 좌측상단 첫 번째 segment를 기준으로 다른 segment들을 비교해 보면 가로방향은 객체가 제자리에서 우측으로 회전하고 있고, 세로방향은 위쪽으로 이동하는 것처럼 관찰된다. 즉, 가로방향보다는 세로방향 segment들 사이에는 상관도가 높다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 이런 특성을 이용하여 첫 번째 열을 Anchor segment로 정하고 나머지 segment(reference segment)들과 ME를 수행하여 움직임 벡터(motion vectors, MVs)를 구한다. 이렇게 구해진 MVs들로 MC를 수행하여 차영상(residual images)을 구한다. 이를 그림 5에서 보이고 있다.

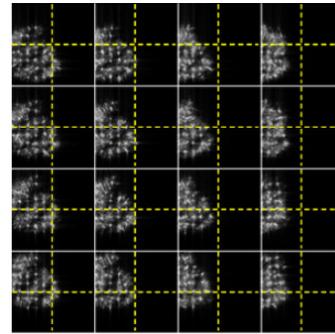


그림 4. 디지털 홀로그램의 DCT 결과  
Fig. 4. DCT result of digital hologram

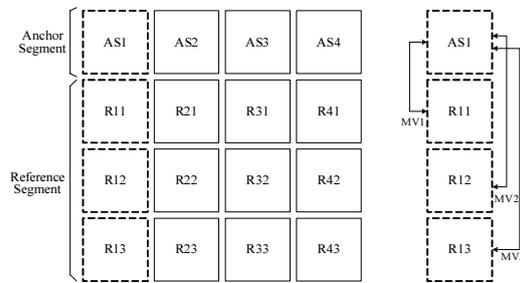


그림 5. DCT 영역에서의 움직임 예측  
Fig. 5. Motion estimation in DCT-domain

### 2.5 하이브리드 압축기술

본 논문에서는 2.4절에서 설명한 움직임 예측기법과 표준 동영상 압축기술, 무손실 압축기술 등을 혼용하는 하이브리드 압축기술을 제안한다. 이 기술의 압축대상 데이터는 Anchor segment, MV, 차영상 등이다. Anchor segment들은 MPEG-2/4, H.264와 같은 표준 동영상 압축 기술을 이용하여 압축할 수 있다. 본 논문에서는 부호화 효율이 가장 높은 H.264를 이용해 압축하였다. 움직임 예측을 통해 생성한 MV들은 비교적 중요한 정보이므로 무손실 압축방식인 LZW 기법으로 압축하였다. 차영상의 경우 다른 데이터들에 비해 덜 중요한 정보이므로 손실압축인 선형 양자화기를 이용해 압축하였다. 본 논문에서 제안한 하이브리드 압축기술을 그림 6에서 보이고 있다.

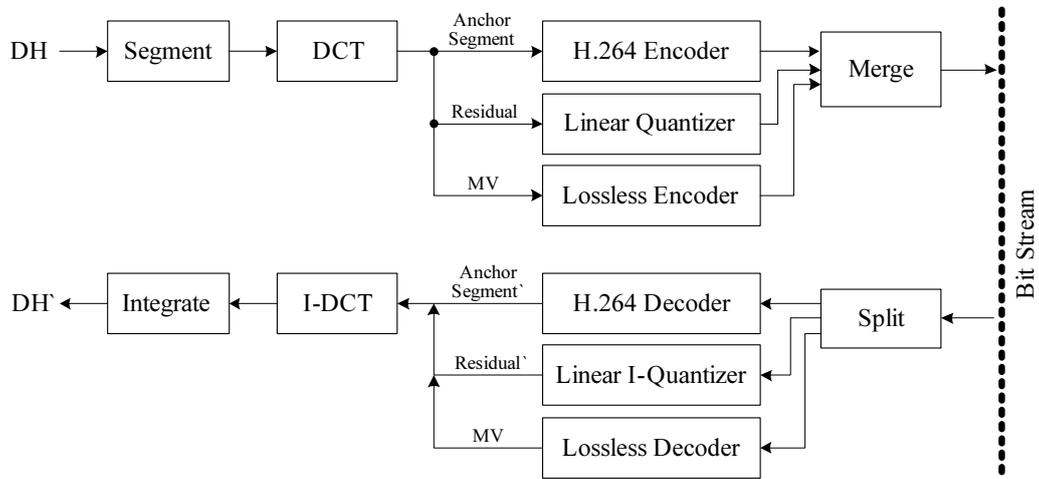


그림 6. 하이브리드 압축기술의 부호화/복호화 순서  
Fig. 6. Encoding/decoding procedure of hybrid compression technique

### III. 실험 및 논의

#### 3.1 실험환경

본 논문에서 제안한 하이브리드 압축기술을 검증하기 위해 100개의 디지털 홀로그램을 사용하였다. 표 1에서 실험환경을 보이고 있다. 디지털 홀로그램들은 CGH 수식으로 생성한 것들이다. 모든 디지털 홀로그램은 1,024x1,024[pixel<sup>2</sup>] 크기의 회색조(gray-scale) 영상으로 제작하였다. 또한 디지털 홀로그램은 128x128 (64개) segment들로 분할하여 부호화하였다. Anchor segment들의 압축을 위해 H.264/AVC 부호화기를 사용하였고 무손실 압축을 위해 LZW 기법을 이용하였다. 차영상의 압축은 본 연구팀이 제작한 선형 양자화기를 이용하였다.

#### 3.2 실험결과

그림 7에서 실험에 사용된 디지털 홀로그램의 예제영상을 보이고 있다. 그림 7(a)는 CGH에 사용되는 rabbit의 깊이정보로 200x200 [pixel<sup>2</sup>] 크기의 회색조(gray-scale) 영상이다. 그림 7(b)는 7(a)를 대상으로 CGH를 수행해 획득한 디지털 홀로그램, 7(c)는 7(b)를 분할한 후 각각의 segment를 2D DCT한 결과 중에서 하나의 영상, 7(d)는 7(b)를 복원한 홀로그래픽 영상이다.

그림 8에서는 두 가지 압축조건에 따른 복원영상의 화질변화를 보이고 있다. 그림 8에서는 Anchor segment를 H.264 코덱으로 10:1~100:1까지 압축하고 차영상을 선형 양자화기를 이용하여 10:1~100:1까지 압축한 결과를 보이고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 압축결과 복원영상의 화질은 14[dB] 정도로 측정되었다.

표 1. 실험환경 및 적용 기술들

Table 1. Experimental environments and applied techniques

Item	Sub-item	Value
CGH	Light sources	200×200
	Hologram resolution	1,024×1,024
Segment resolution		128×128
Compression Techniques	Anchor segments	H.264/AVC (base profile)
	Motion vector	BinHex
	Residual images	Linear quantizer

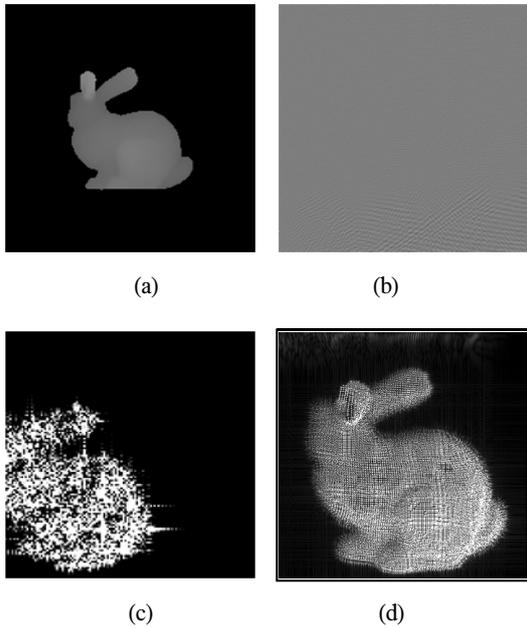


그림 7. 예제영상들 (a) 깊이정보, (b) 디지털 홀로그램, (c) DCT 결과, (d) 복원영상  
 Fig. 7. Example images (a) depth-map, (b) digital hologram, (c) DCTed segment, (d) reconstruction image

일반적인 자연영상에서 이 정도의 수치가 나올 경우 시각적인 화질저하가 매우 심각한 수준이다. 하지만 본 논문에서 압축 대상으로 다루고 있는 디지털 홀로그램의 경우 일반적인 자연영상과는 상당히 다른 특성을 보이고 있어 실험결과를 비교하기 위한 적절한 수단이 마련돼 있지 않은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 자연영상의 객관적인 화질평가 방법인 PSNR을 이용한 것이다. 디지털 홀로그램의 복원영상의 경우 PSNR 값이 14[dB] 정도가 나오면 이는 시각적으로 관찰했을 때 복원객체의 윤곽을 뚜렷하게 구별할 수 있는 수준이다.

그림 9에서는 PSNR 값에 따른 홀로그래픽 복원영상들을 보이고 있다. 그림 9(a)는 압축을 수행하지 않은 원본 홀로그램의 복원영상, 9(b)~(e)는 복원영상의 PSNR 값에 따른 복원영상 예를 보이고 있다. 100:1로 압축된 디지털 홀로그램의 복원결과인 그림 9(e)에서 확인할 수 있듯이 약 14[dB] 정도의 PSNR 값에서도 선명한 복원객체를 관찰할 수 있었다.

그림 10에서는 제안한 하이브리드 부호화 방식으로 압축한 결과를 보이고 있다. 그림 8, 9에서 확인하였듯이 100:1의 압축률에서도 16[dB] 이상의 결과를 보여 제안한 부호화 기술의 우수함을 증명하였다.

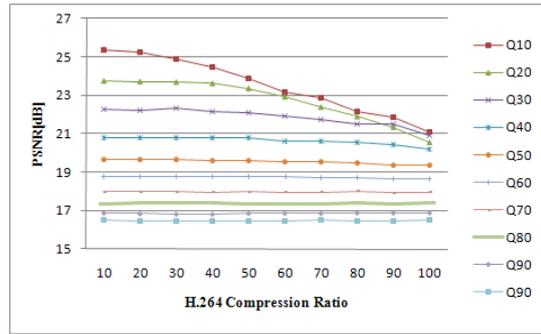


그림 8. 두 가지 압축조건에 따른 복원영상의 화질변화

Fig. 8. Image quality according to the two compression factors

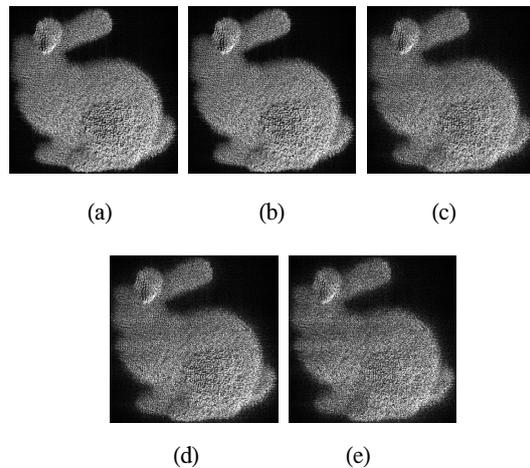


그림 9. PSNR 값에 따른 화질변화 비교를 위한 복원객체들; PSNR 값 (a) 원본, (b) 25[dB], (c) 20[dB], (d) 16[dB], (e) 14[dB]

Fig. 9. Reconstructed objects for some example PSNR values: PSNR value (a) original, (b) 25[dB], (c) 20[dB], (d) 16[dB], (e) 14[dB]

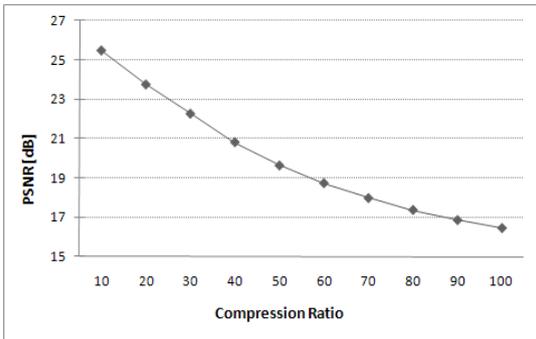


그림 10. 제안한 하이브리드 방식의 압축 결과  
Fig. 10. Image quality to the total compression ratio

### V. 결 론

본 논문에서는 기존의 영상/비디오 압축 기술을 홀로그램의 특성을 반영하여 변형한 디지털 홀로그램은 위한 부호화 기술을 제안하였다. 제안한 기술은 디지털 홀로그램의 전처리 기술, CGH로 생성한 홀로그램의 공간 영역 분할, 2D-DCT를 이용한 주파수 변환, 주파수 영역에서의 움직임 예측과 차영상 생성 등이다. 여기서 주파수 변환된 anchor segment는 H.264/AVC 코덱으로 압축하고 움직임 벡터는 BinHex과 같은 무손실 부호화 기술로 부호화 하였다. 그리고 자체 제작한 선형양자화기를 이용하여 차영상을 압축하였다. 실험결과 10:1의 압축률에서 25.4 dB, 90:1에서 16.5 dB의 복원결과를 보여 제안한 하이브리드 부호화 기술이 디지털 홀로그램의 압축에 효율적임을 증명하였다.

본 논문에서 제안한 기술은 추후 디지털 홀로그래픽 방송과 같은 응용분야에서 중요한 기반기술로 사용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

[1] P. Hariharan, Basics of Holography, Cambridge University Press, May 2002.  
[2] B. R. Brown and Adolf W. Lohmann, "Complex spatial filtering with binary masks," Applied Optics, Vol. 5, pp. 967-969, June 1966.

[3] H. Yoshikawa and K. Sasaki, "Information reduction by limited resolution for electro-holographic display," SPIE Proc. Vol. 1914 Practical Holography VII, pp. 1914-1930, Feb. 1993.  
[4] H. Yoshikawa, "Digital holographic signal processing," Proc. TAO First International Symposium on Three Dimensional Image Communication Technologies, pp. S-4-2, Dec. 1993.  
[5] H. Yoshikawa and J. tamai, "Holographic image compression by motion picture coding," editor, SPIE Proc. vol 2652 Practical Holography , pp. 2652-01, Jan, 1996.  
[6] J. Thomas. Y. Naughton, B. Frauel, Javidi and E. Tajahuerce, "Compression of digital holograms for three-dimensional object reconstruction and recognition," Applied Optics, Vol. 41, No. 20, pp. 4124-4132. July 2002.  
[7] L. Ding, Y. Yan, Q. Xue and G. Jin, "Wavelet packet compression for volume holographic image recognition," Opt. Commun. 216, pp. 105-113, 2003.  
[8] M. Liebling, T. Blu and M. Unser, "Fresnelets : New multiresolution wavelet bases for digital holography," IEEE Trans. Image Process. 12, pp. 29-43, 2003.  
[9] Matoba, T. J. Naughton, Y. Frauel, N. Bertaux and B. Javidi, "Real-time three-dimensional object reconstruction by use of a phase-encoded digital hologram," Appl. Opt. 41, No.29, pp. 6187-6192, 2002.  
[10] Y. H. Seo, H. J. Choi, and D. W. Kim, "Lossy Coding Technique for Digital Holographic Signal," SPIE Optical Engineering, Vol. 45, No. 6, pp. 065802-1~065802-10, June 2006.

저자소개

최현준(Hyun-Jun Choi)

한국해양정보통신학회논문지  
제13권 제8호 참조



**배윤진(Yun-Jin Bae)**

2010. 2. : 광운대학교  
전자재료공학과 졸업  
2010. 3. ~ 현재 : 광운대학교  
일반대학원

※ 관심분야 : H.264/AVC, Stereo Matching, FPGA/ASIC

**서영호(Young-Ho Seo)**

한국해양정보통신학회논문지  
제13권 제8호 참조



**강창수(Chang-Soo Kang)**

1982. 2. : 광운대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
1986. 2. : 한양대학교 일반대학원  
졸업(공학석사)

1992. 2. : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)  
1996. 2. : Clemson University Post Doc.  
※ 관심분야 : 반도체재료, 이동통신, RF 회로설계

**김동욱(Dong-Wook Kim)**

한국해양정보통신학회논문지  
제13권 제8호 참조