

# 주파수 영역에서 움직임 예측을 이용한 디지털 홀로그램 압축 기법

\*배운진, \*\*최현준, \*\*\*서영호, \*김동욱

\*광운대학교 전자재료공학과, \*\*안양대학교 정보통신공학과, \*\*\*광운대학교 교양학부

\*zauroum@kw.ac.kr

## Digital Hologram Data Compression Scheme using Motion Estimation in Frequency-domain

\*Yun-Jin Bae, \*\*Hyun-Jun Choi, \*\*\*Young-Ho Seo, \*Dong-Wook Kim

\*Dept. of Electronic Materials Eng, Kwangwoon University,

\*\*Dept. of Information and Communications Eng, Anyang University,

\*\*\*College of Liberal Arts, Kwangwoon University

### 요약

본 논문에서는 기존의 2차원 영상/비디오 압축 기술을 홀로그램의 특성에 적합하게 변형시켜서 홀로그램 데이터를 압축하는 압축 기법을 제안하였다. 컴퓨터 생성 홀로그램(computer generated holograms, CGH) 기법을 이용해 생성한 디지털 홀로그램을 사용하였다. 본 논문에서는 진처리된 디지털 홀로그램에 대해 분할, 주파수 변환, 움직임 예측과 주파수 영역에서의 잔여영상 생성 기법을 적용하여 데이터 압축을 수행한다. 압축은 H.264/AVC, 무손실 압축기법인 BinHex와, 선형 양자화를 이용하였고, 실험 결과를 보면 제안한 데이터 압축 기법은 전체 압축률이 10:1~90:1까지 변화함에 따라 25.4dB~16.5dB로 감소함을 확인할 수 있다. 그러나 시각적인 영상의 품질은 앞서 제시한 PSNR값 보다 훨씬 우수함을 확인할 수 있다

## 1. 서론

홀로그램은 3차원 영상을 현실화시키기 위한 최종 목표로 여겨져 왔다. 그리하여 많은 연구자들이 오래전부터 홀로그램을 오래전부터 연구해왔지만, 대부분의 연구는 광학 홀로그램의 획득과, 이를 효과적으로 복원하는 기술들에만 국한되어 있었다[1]. 광학 홀로그램은 획득과, 전송 등의 많은 문제점 때문에, CCD 카메라로 획득되거나, 컴퓨터에 의해 간섭패턴을 계산하는 (CGH, 컴퓨터 생성 홀로그램) 디지털 홀로그램(digital hologram, DH)이 개발이 되었다[2]. 디지털 홀로그램과 연관된 영역에서, 데이터의 크기는 중요한 이슈 중 하나이다. 따라서 디지털 홀로그램에 대한 데이터 압축 방법은 주요한 연구 분야가 되어 왔다.

Yoshikawa는 HVS(human visual system)를 고려하여 디지털 홀로그램의 해상도를 제한하는 방법과 보간법을 이용하여 객체를 복원하는 방법을 제안하였다[3]. 또한 JPEG과 같은 정지영상 압축 표준 기술을 이용하여 데이터양을 줄이려고 했으나[4], 홀로그램이 일반적인 2차원 영상과는 특성이 많이 다르므로 큰 효과를 얻지는 못하였다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해 DH를 몇 개의 세그먼트로 나눈 다음 1차원 DCT(discrete cosine transform)를 수행하고, 동영상 압축 표준인 MPEG-1으로 압축하였다[5]. Thomas는 광학적인 방법의 위상-이동 방법을 통해 얻은 DH를 무손실 부호화 방식인 LZ77, LZW, 그리고 Huffman coding으로 압축하였다[6]. 이밖에 Ding은 홀로그램 영상 인식을 위한 웨이블릿 패킷 압축 기법과 인식 시스템을 제안하였다[7]. Liebling은 홀로그램의 다해상도 분해를 위한 웨이블릿 기반의 새로운

기저함수인 Fresnelet을 제안하였다[8]. Osamu는 위상 정보만을 이용하여 홀로그램을 복원시키는 시스템을 제안하였다[9]. 그러나 그들 대부분은 광학 시스템을 이용하였고, JPEG을 이용하여 압축하는 것보다 좋은 결과를 얻지 못했다.

본 논문에서는 DH를 분할된 영상으로 나누고, 각각의 분할된 영상에 대해 2차원 DCT를 수행하였다. 2차원 DCT를 통해 주파수 영역으로 변환된 영상들은 기존의 2차원 영상/비디오 압축 표준으로 압축되기 위한 비디오 스트림으로 간주하고, 영상 사이에 움직임 예측도 수행하였다. 제안한 방법의 수행능력을 보여주기 위해 많은 테스트 DH들로 실험하였다.

## 2. 디지털 홀로그램의 압축

### 2.1 디지털 홀로그램

DH는 그림 1과 같이 광학 장비 대신 전자 장비를 이용하여 홀로그램 간섭 패턴을 CCD 카메라에 기록함으로써 획득할 수 있다. DH를 획득하는 또 다른 방법으로는 컴퓨터로 간섭패턴을 계산하는 CGH가 있다. 객체를 복원하려면, DH이나 CGH를 SLM (spatial light modulator)에 인가하고, 그림 1(b)와 같이 획득에 사용된 빛을 조사하면 객체를 복원할 수 있다.

홀로그램은 참조파와 물체파 두 개의 빛을 간섭시킨 패턴을 기록하여 획득할 수 있다. 참조파는 직접 기록 매체에 조사되고, 물체파는 물체에 조명된 다음 반사되어 매체에 조사된다. 두 개의 빛은 한 개의 빛이 두 개의 빛을 얻기 위해 빔 분리기(beam splitter, BS)에 의해 나

뉘이기 때문에 반드시 같은 광학 특성을 가져야 한다. 또한 두 개의 빛은 충분한 간섭을 얻기 위해 coherent 해야 하기 때문에 레이저가 사용된다.

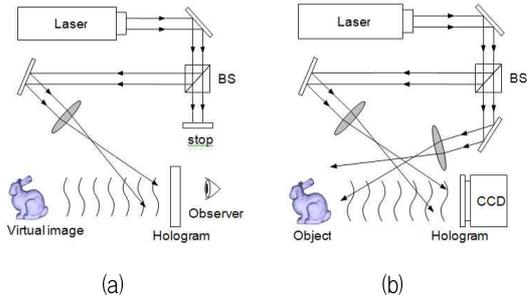


그림 1. 디지털 홀로그래프 (a)기록 (b)복원

## 2.2 제안한 압축 방법

본 연구팀은 기존의 2차원 영상/비디오 압축 기술을 사용하여 DH 영상과 비디오를 압축하는 방법을 제안해왔다[10]. 이 방법들을 비디오 시퀀스로 변환하기 위한 DH를 생성하기 위한 특성들로 사용하였다. 본 논문의 데이터 압축 과정을 그림 2에 나타내었다. 전처리된 DH를 특정 크기의 영상으로 분할한다. 분할된 영역들은 객체의 전체 정보를 갖고 있다. 다음으로 분할한 각 부분 영상은 2차원 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한다. 변환된 분할 영상 중에서 특정 영상을 앵커 영상으로 선택하고 후처리를 통해 비디오 스트림으로 만들어 2차원 비디오 압축 기술로 압축을 수행한다.

나머지 분할 영상들에 대해서는 움직임 예측이 수행된다. 움직임 벡터에 대해서는 무손실 압축 기법으로 압축을 수행하고, 잔여 영상에 대해서는 양자화를 수행한다.

## 2.3 전처리, 분할 및 주파수 변환

본 논문에서 부호화 대상으로 하는 DH는 CCD 카메라로 획득하였거나, 컴퓨터로 생성된 홀로그래프이며, 컬러 영상이다. 본 논문에서는 이 컬러 영상의 각 색채신호(R, G, B)를 따로 처리하며, 이를 분리하기 위하여 전처리 과정을 거친다.

분리한 각각의 색채영상은 같은 방법으로 처리될 수 있기 때문에, 하나의 색채영상을 분할하고 2차원 DCT 변환을 수행한다. 분할한 영상의 크기는 임의로 선택할 수 있지만 가로와 세로가 같은 크기로 선택하도록 한다. 그림 3에서는 원본 DH의 해상도가 512×512일 경우 16개의 128×128 크기의 영상으로 분할한 예를 보여주고 있다. 특정크기로 분할하였을 경우 우측이나, 하단부분 영상들은 그 크기를 갖지 못하는 경우가 있는데, 이 경우에는 부족한 영상의 크기만큼을 우측 및 하단의 경계 부분에서 '0'으로 확장하여 정해진 크기의 영상을 만든다.

각각의 분할된 영상을 2차원 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한다. 변환한 주파수 영역 영상은 원본 객체 영상과 유사한 형태의 영상이 나타남을 그림 3에서 확인할 수 있다[10]. 또한 같은 행에서 오른쪽 방향에 위치한 분할 영상은 객체가 왼쪽으로 회전 하면서 움직이는 것을 볼 수 있고, 같은 열에서 아래쪽 방향에 위치한 분할 영상의 객체는 위쪽 방향으로 움직이는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 공간 영역의 특성을 시간영역으로 투영시키면, 분할된 영상의 객체의 움직임을 비디오 시퀀스로 생각할 수 있고, 분할된 영상의 시퀀스는 많은 유사한 정보를 포함하고 있기 때문에 비디오 시퀀스의 프레임으로 생

각하고 움직임 예측 기술을 사용할 수 있다.

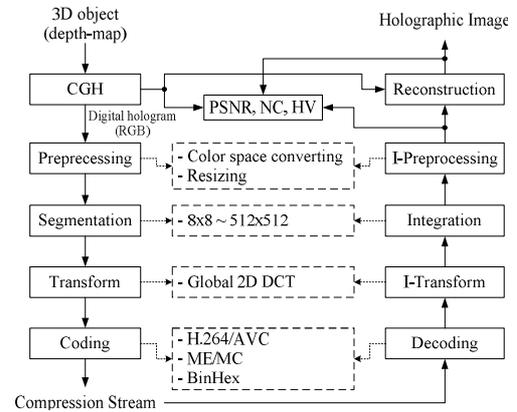


그림 2. 디지털 홀로그래프 압축의 전반적인 과정

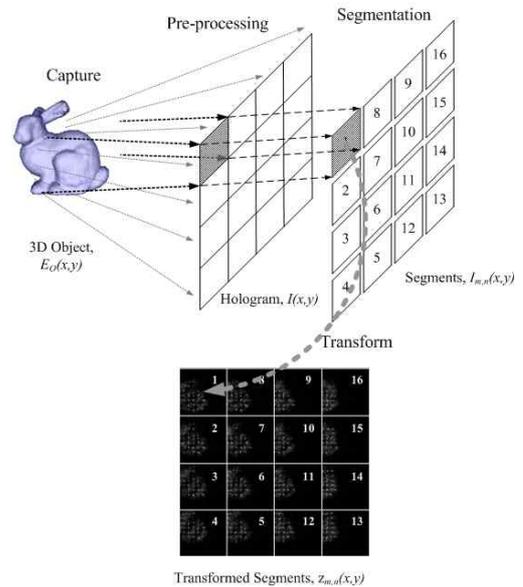


그림 3. 디지털 홀로그래프의 분할과 변환

## 2.4 주파수 영역에서 움직임 예측

다음으로 2차원 DCT된 분할된 DH 시퀀스에 대해 움직임 예측을 수행하였다. 제안한 움직임 예측 방법을 그림 4에 나타내었다.

우선적으로 객체의 회전 움직임을 고려하여 분할된 앵커 영상과 참조 영상을 선택한다. 만약 객체의 회전을 고려하고자 한다면, 어떤 분할 영상은 앵커 영상으로 선택이 될 수 있고, 나머지의 분할 영상은 참조 영상이 될 수 있다. 이 경우에 추정된 움직임은 객체의 회전을 포함해야한다. 그러나 만약 그 회전이 움직임에 포함이 되었다면, 분할된 한 열은 앵커와 참조 분할은 하나로 묶어야해야 한다. 이 경우에 그 열에서 어떠한 분할 영상은 앵커 영상이 되고, 나머지 분할 영상은 참조 영상이 된다. 이 논문에서 후자의 경우가 사용되었다. 따라서 오직 수직방향으로 움직임 예측을 수행하였다. 기존의 2차원 비디오에서의 움직임 예측방법과 같이 앵커 영상으로부터 움직임 예측에 의해 이동된 영상과 참조 영상의 차이를 구하여 잔여 영상을 생성하였다. 본 논문에서는 앵커 영상, 움직임 벡터, 그리고 잔여 영상이 3가지의 데이터를 갖고 압축을 한다.

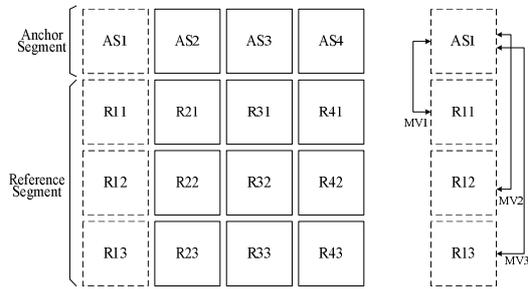


그림 4. 주파수 영역에서 움직임 예측

## 2.5 데이터 압축

앞 절에 언급된 앵커 영상, 움직임 벡터, 잔여 영상은 각각 다른 압축 방법에 의해 압축을 수행된다. 앵커 영상은 후처리 과정을 거쳐 하나의 비디오 스트림으로 가공하여 기존의 영상/비디오 압축 표준인 H.264/AVC로 압축하였다.

본 논문에서 앵커 영상은 좌측영상에서부터 우측영상으로 시퀀스를 형성한다. 참조영상 각각에 대한 움직임 벡터는 참조영상의 객체의 위치 정보를 포함하고 있으므로 손실이 발생해서는 안 되므로 무손실 압축 부호화 기법인 BinHex를 이용하여서 압축한다. 잔여영상에 대해서는 다양한 손실 압축 방법을 고려할 수 있으며, 그림 5에서 제안하는 부호화 복호화 과정을 나타내었다.

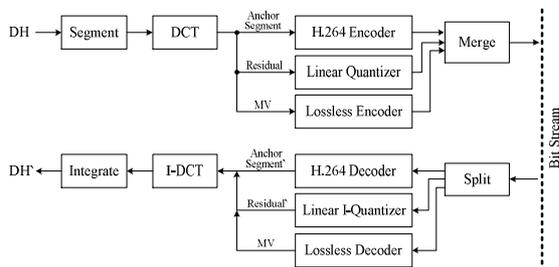


그림 5. 부호화/복호화 순서

## 3. 실험결과

### 3.1 실험 조건

본 논문에서는 100개의 홀로그램에 대해 제안한 압축 방법으로 실험을 했다. 실험 조건에 대한 데이터는 표 1에 나타났다. 테스트 홀로그램으로 실제 논문에 일반적으로 사용되는 Rabbit, Screw, Spring 등의 CGH를 사용하였다. 모든 CGH는 같은 해상도를 갖도록 생성되었고, CGH는 전처리를 통해 64개의 128×128의 크기를 갖는 분할 영상으로 나누었다. 앵커 영상을 압축하기 위해서 H.264/AVC를 사용하였고, 움직임 벡터에 대해서는 BinHex, 잔여 영상은 선형 양자화를 통해 압축을 수행하였다. H.264는 baseline을 사용하여 10:1부터 50:1까지 수행하였고, 선형 양자화의 양자화 계수는 10에서 100까지 10씩 증가시켜 적용하였다.

### 3.2 실험 결과

그림 6은 Rabbit 홀로그램에 대한 각 과정에 대한 결과 영상들이다. 그림 6(a)에서는 1024×1024의 해상도를 갖는 원본 CGH이고, (b)는 분할된 영상, (c)와 (d)는 2차원 DCT를 수행한 앵커 영상과 참조

영상을 보여주고 있으며, (e)는 잔여영상이다. 앞서 언급했듯이, 객체의 회전에 대해서는 고려를 하지 않았기 때문에, 분할된 영상의 열은 움직임 예측의 단위가 된다. 앵커 영상인 그림 6(c)는 가장 위의 분할된 영상이고, 참조영상인 그림 6(d)는 앵커 영상이 이외의 같은 열에 위치한 분할 영상들 중 하나이다.

그림 6(e)에서 볼 수 있듯이 잔여영상은 눈으로 인식할 수 없는 '0'에 가까운 픽셀 값들을 갖는다.

표 1. 실험 조건

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

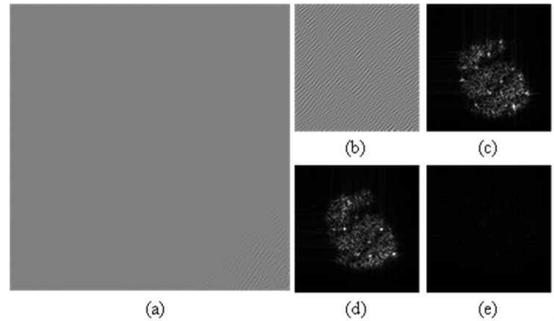
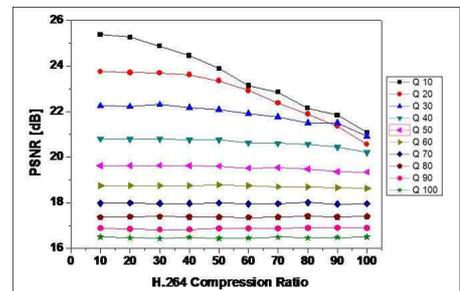
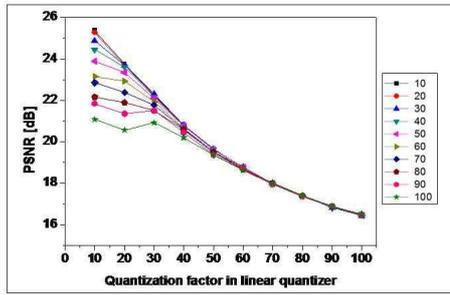


그림 6. 결과영상 (a) CGH, (b) 분할된 CGH, (c) 앵커 영상, (d) 참조영상, (e) (b)와 (c)의 잔여 영상.

그림 7(a)에 앵커 영상에 적용된 H.264의 압축률에 따른 복원된 영상의 품질을 PSNR로 나타내었고, (b)에 잔여 영상에 적용된 선형 양자화의 양자화 계수에 대한 품질을 나타내었다. 그림 7(a)에서 낮은 양자화 계수 값을 보면, H.264 압축률이 영상의 품질을 결정하는데 중요한 역할을 한 다는 것을 알 수 있지만, 양자화 계수 값이 커지게 되면 H.264의 압축률보다 양자화 계수에 더 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이것은 그림 7(b)에서 좀 더 명확히 확인할 수 있다. 양자화 계수가 50보다 작을 경우 영상의 품질은 H.264 압축률에 더 많이 의존하지만, 그 이상일 경우에 PSNR은 H.264에 거의 영향을 받지 않음을 확인할 수 있다.



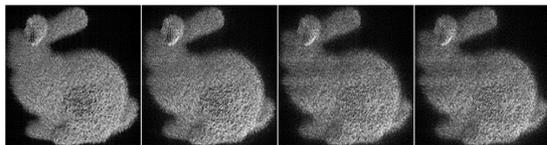
(a)



(b)

그림 7. H.264의 압축률과 QP와 따른 PSNR 성능 (a)H.264 압축률에 따른 PSNR 성능 (b)양자화 계수 값에 따른 PSNR 성능

그림 8에서 복원된 객체의 PSNR 을 확인할 수 있다. 그림 8을 보면 영상 품질이 다소 열화 되었다는 것을 PSNR 감소를 통해 알 수 있다. 그러나 PSNR이 16.505dB인 그림 7(d)와 원본 영상과 비교해 봤을 때 아주 좋은 영상 품질을 갖는 것을 확인할 수 있다. 즉, DH로부터 복원된 영상의 품질은 PSNR과 관련하여 2차원 영상과는 다소 다른 것을 알 수 있다. 그림 9에서는 앵커 영상에 대한 H.264 압축, 잔여 영상에 대한 선형 양자화, 그리고 움직임 벡터에 대한 BinHex 압축을 포함한 전체 데이터 압축률에 따른 PSNR 값을 나타내었다. 그림 7로부터 예상할 수 있듯이 압축률이 증가할수록 영상의 PSNR 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 전체 압축률이 10:1에서 90:1로 변화함에 따라 PSNR 값이 25.4dB에서 16.5dB로 감소한 것을 확인할 수 있다.



(a) (b) (c) (d)  
그림 8. 복원된 객체에 대한 PSNR 성능 (a)original (b)25.384dB (c)20.765dB (d)16.505dB

#### 4. 결론

본 논문에서는 DH를 2차원 영상으로 가정한 후, 전 처리를 수행한 후에 기존의 2차원 영상/비디오 데이터 압축 기술을 이용하여 효율적으로 압축하는 방법을 제안하였다. 제안된 방식은 DH를 같은 크기를 갖는 분할된 영상으로 나누고, 각각의 영상들을 2차원 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 다음 결과 영상들 중 앵커영상을 결정하고, 움직임 예측을 수행하였다. 그리고 앵커 영상들의 시퀀스들은 2차원 비디오 압축 표준인 H.264/AVC를 이용하여 압축을 하였고, 움직임 벡터들은 무손실 부호화, 잔여영상에 대해서는 선형양자화를 하였다.

실험 결과에서 압축률이 10:1~90:1까지 증가 할 때, PSNR은 25.4~16.6dB로 변하는 것을 확인할 수 있다. 결과 영상을 보면 시각적인 영상의 품질은 PSNR 수치보다 우수한 것을 확인할 수 있다. 또한 영상 품질은 낮은 압축률에서는 분할된 앵커영상의 압축에 크게 영향을 받고, 압축률이 증가함에 따라 잔여영상의 압축의 영향력이 커지는 것을 알 수 있다.

본 논문에서 잔여영상 데이터에 대해 양자화를 수행한 후 엔트로피 부호화를 적용하지 않았다는 것을 명심해야 한다. 그림 6(e)로부터

잔여영상은 대부분의 픽셀 값이 '0' 또는 매우 작은 픽셀 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 만약 엔트로피 코딩을 잔여영상에 적용시킨다면, 더 높은 압축효율을 얻을 수 있을 것이라 생각된다.

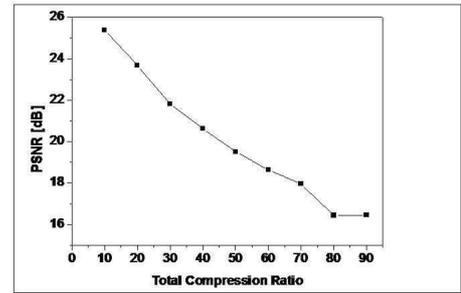


그림 9. 전체 압축률에 따른 PSNR 성능

#### 감사의 글

본 연구는 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 대화형 디지털 홀로그래프 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 SoC 개발]

#### 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.