

# 분할영역의 3차원 스캐닝을 이용한 홀로그래픽 비디오 신호의 효율적인 부호화 기술

종신회원 서영호\*, 정회원 최현준\*\*, 종신회원 김동욱\*\*

## An Efficient Coding Technique of Holographic Video Signal using 3D Segment Scanning

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

### 요 약

본 논문에서는 디지털화된 형태로 취득 및 저장된 홀로그램 신호를 부호화하는 새로운 기술을 제안한다. 디지털 홀로그램의 독특한 특성을 파악하여 적절한 형태의 데이터로 변환한 후에 현재 널리 사용되고 있는 표준 압축 기술들에 적용하고자 한다. 전처리과정 이후에 부호화를 위해 추출된 홀로그램은 위치적인 다시점 특성을 이용하여 분할된다. 분할된 홀로그램은 2차원의 여러 시점에서 객체를 촬영한 것과 유사한 특성을 보인다. 시간적으로 잡음과 유사한 형태로 관찰되는 홀로그램의 회절 패턴은 그 자체로써 압축에 이용하기 어렵다. 따라서 홀로그램 생성 원리와 유사하면서 고속 변환이 가능한 2차원 DCT (Discrete Cosine Transform)를 이용하여 분할된 홀로그램을 주파수 변환한다. 주파수 변환된 분할 영역들은 시간적 및 공간적 상관도에 따라서 3차원 스캔 과정을 거치면서 하나의 비디오 스트림으로 구성된다. 비디오 스트림의 한 프레임에 해당하는 분할된 영역들은 다양한 범위를 가지는 계수들로 구성되는데 이를 재구성한 후에 부호화 알고리즘을 이용하여 압축한다. 실험 결과를 살펴보면 제안한 알고리즘은 기존의 기술에 비해서 16배 이상의 높은 압축율에서 더 좋은 복원 성능을 보였다.

**Key Words** : digital hologram, lossy/lossless coding, compression, DCT, scanning, fringe pattern, H.264/AVC

### ABSTRACT

In this paper, we proposed a new technique to encode and decode the digital hologram. Since the digital hologram (or fringe pattern) is generated by interference of light, it has much different property from natural 2D (2 dimensional) images. First, we acquire optical-sensed or computer-generated hologram by digital type, and then extract a chrominance component. The extracted digital hologram for coding is separated into segments to use multi-view properties. The segmented hologram shows the similar characteristics with picturing an object with 2D cameras in various point of view. Since fringe pattern is visually observed like as noise, we expect that the fringe pattern has poor coding efficiency. To obtain high efficiency, the segment is transformed with DCT (Discrete Cosine Transform) which resembles hologram generation process with high performance. Each transformed segment passes the 3D scanning process according to time and spatial correlation,

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

\* 한성대학교 정보통신공학과 (yhseo@hansung.ac.kr), \*\*광운대학교 전자재료공학과

논문번호 : KICS2006-03-119, 접수일자 : 2006년 3월 15일, 최종논문접수일자 : 2007년 2월 28일

and is organized into a video stream. Since the segment which correspond to frame of a video stream consists of the transformed coefficients with wide range of value, it is classified and re-normalized.

Finally it is compressed with coding tools. The proposed algorithm illustrated that it has better properties for reconstruction of 16 times higher compression rate than the previous researches.

## I. 서론

홀로그래피는 1948년 Gabor<sup>[1]</sup>에 의해 최초로 제안된 이래 3차원 정보를 기록할 수 있다는 특징 때문에 많은 연구자들의 관심을 끌어들였다. 기존의 홀로그래피는 홀로그램 필름에 3차원 정보를 기록한 다음에 현상된 필름을 사용하여 3차원 물체를 복원하게 되므로 그 응용이 크게 제한되었다. 따라서, 이러한 단점을 극복하기 위한 새로운 접근방법으로 1966년 이후 많은 연구자들이 컴퓨터에 의한 홀로그램의 제작을 연구해오고 있다.

최근 세계 여러 연구기관에서 홀로그램 관련 연구를 진행 중이지만, 대부분의 연구는 광학 홀로그램 영상의 획득과 이를 효과적으로 복원하는 기술들에 국한되어 있다. Yoshikawa<sup>[2]</sup>는 hologram의 정보량을 줄이는 방법으로 영상을 재구성 했을 때의 해상도가 HVS(Human Visual System)에 비해 너무 크다는 단점을 개선하여 해상도를 제한하는 방법과 보간법으로 holographic 3D display의 정보량을 줄이는 방법을 제안하였다. 또한 JPEG과 같은 정지영상의 압축 표준 기술을 이용하여 회절 패턴을 압축하였지만, 회절 패턴이 일반적인 2차원 영상과는 많이 다르므로 큰 효과를 얻지는 못하였다<sup>[3]</sup>. 이를 해결하기 위해 회절을 몇 개의 segment로 나누어 DCT를 수행하고, 동영상 압축 표준인 MPEG-1<sup>[4]</sup>과 MPEG-2<sup>[5]</sup>로 압축하였다. Naughton는 광학적인 방법의 위상-이동 방법을 통해 얻은 회절을 무손실 부호화 방식인 LZ77, LZW, 그리고 Huffman coding으로 압축하였고<sup>[6]</sup>, 무손실 부호화 방식을 손실 부호화 기술에 결합한 형태의 기술도 제안하였다<sup>[7]</sup>. 이밖에 Ding<sup>[8]</sup>은 홀로그램 영상 인식을 위한 웨이블릿 패킷 압축 기법과 인식 시스템을 제안하였다. Liebling<sup>[9]</sup>은 광학적으로 생성된 프레넬 홀로그램의 해상도 분해를 위한 웨이블릿 기반의 새로운 기저함수를 만들고 "Fresnellet"이라 하였다. 그러나 이 방법들은 광학계를 이용한 접근방법으로 본 논문과는 연구방향이 다르고 회절을 JPEG으로 압축하는 방식에 비해 큰 이득을 얻지는 못하였다. Matoba<sup>[10]</sup>는 기존의 디지털 홀로그램이 위상과 진폭을 저장

하였던 것을 위상 정보만을 저장하여 재상할 수 있는 시스템을 제안하였고, 실시한 네트워킹을 위해서 비트 패킹 동작에 의한 복소 스트림을 양자화하는 압축 방식<sup>[11]</sup>도 제안되었다.

본 논문에서는 회절 영상을 객체영상에 대한 전체 정보를 보유한 블록들로 분할하여 이를 2D DCT를 취하고, 후처리 과정을 거쳐 하나의 비디오 스트림으로 가공하여 가장 압축 효율이 뛰어난 H.264/AVC<sup>[12]</sup>으로 압축하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 디지털 홀로그램 비디오에 대해 설명하고, 3장에서는 디지털 홀로그램의 부호화 기법들에 대해 설명한다. 4장에서 실험결과를 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 디지털 홀로그램

본 장에서는 디지털 홀로그램을 이용한 서비스 시스템의 전체 구조를 보이고 디지털 홀로그램 비디오의 부호화를 위한 개괄적인 과정에 대해서 나타낸다. 또한 디지털 홀로그램의 몇 가지 특성을 분석하고 부호화를 위한 기본 개념을 도입한다.

### 2.1. 디지털 홀로그램 비디오 처리 및 시스템

디지털 홀로그램은 단순히 빛의 세기에 따른 명암정보를 가지고 있는 것이 아니라, 명암과 그 명암의 깊이정보, 즉 3차원 객체를 재현하기 위한 정보를 빛의 세기 형태로 보유하고 있다. 따라서 일반적인 2D 영상과 전혀 다른 특성을 가지기 때문에 디지털 홀로그램을 부호화하기 위해서는 특별한 데이터 처리 기술이 요구된다. 물론 디지털 홀로그램에 특화된 변환 및 처리기술을 개발하고 적용할 수 있으나, 홀로그램의 취득 및 재생과정의 다양성으로 인해서 많은 어려움이 있다. 디지털 홀로그램이 일반적인 2D 영상과 같이 객체 및 배경의 단편적인 정보가 아니라 그 정보를 재현할 수 있는 정보를 보유한다는 차이는 있지만 3D 객체의 정보를 취득하고 이를 인간의 시각시스템에 적합하게 재상한다는 것은 동일하다. 따라서 2D 영상을 위해 지금까지 연구되었던 기술들에 적절한 기술을 도입하면

디지털 홀로그램의 처리를 위한 기술들로 확장이 가능하고 효율적으로 적용될 수 있다. 그림 1에 디지털 홀로그램 비디오를 처리(rated Hologram) 기술을 이용하여 디지털 홀로그램 비디오를 획득한다. 획득된 정보는 그림과 같이 노이즈와 같은 형태를 가지는데 이를 회절 패턴 하기 위한 개괄적인 과정을 도식적으로 나타냈다. 움직임이 있는 3D 객체를 CCD를 이용한 취득시스템 혹은 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH, Computer Gene 혹은 홀로그램이라 한다. 회절 패턴은 기존에 개발된 영상처리 도구에 적용되기 위해 Data Processing 과정을 거치면서 적절한 형태로 변환되고, Video Coding 단계에서 MPEG 기반의 비디오 압축 도구를 이용하여 부호화된다.

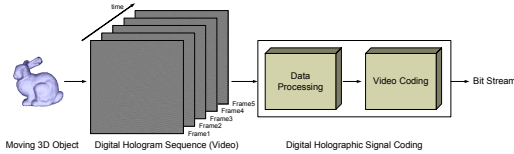


그림 1. 디지털 홀로그램 비디오의 개괄적인 처리과정

## 2.2. 디지털 홀로그램의 특성

부호화 대상인 디지털 홀로그램은 일반적인 영상과 상이한 특성을 가지고 있지만 기존의 영상처리 기술들을 사용하기 위해서는 기존의 영상처리 기술의 위치에서 바라본 디지털 홀로그램의 특성이 분석되어야 한다.

### 2.2.1. Subsampling 특성

일반적인 2D 영상을 구성하는 기본 단위인 화소(pixel)가 디지털 홀로그램에서도 유사한 특성을 가질 수 있는지 살펴본다. 일반적인 영상의 경우에 sample 혹은 pixel 단위로 subsampling 과정을 거치고 다시 원래의 영상과 동일한 공간적인 해상도를 취할 경우에 원영상에서 고주파가 제거된 형태의 blurring 영상이 생성된다. 하지만 그림 2(b)에서 보이는 것과 같이 디지털 홀로그램 자체에 대해 subsampling 과정을 수행하게 되면 원영상 혹은 원객체의 정보를 거의 소실하는 결과를 얻는다. 이런 결과로부터 디지털 홀로그램을 구성하는 인접성분들 간의 상관도는 거의 없고 각각이 독립적인 정보를 표현한다고 가정할 수 있다. 또한 디지털 홀로그램에 대해 subsampling을 블록 단위로 수행한 결과를 그림 2(c) 및 (d)에 나타냈는데, 각각 128×128 및 64×64 블록 단위로 subsampling을 수행한 후 복원

한 결과를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 블록 단위가 클수록 원객체와 더 가까운 형태를 가진다. 이러한 결과는 홀로그램내의 특정 국부영역은 전체 객체에 대한 정보를 모두 가지고, 선택된 영역의 크기가 커질수록 복원결과가 우수하다는 것을 보여준다. 그림 2의 (b)는 (c) 및 (d)와 동일한 데이터 량을 subsampling하였지만 복원 결과는 전혀 다르다는 것으로 확인할 수 있다.

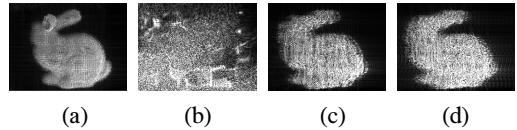


그림 2. 디지털 홀로그램의 subsampling 후 복원 결과 (a) 원객체, (b) 1-pixel 단위 subsampling 결과영상, (c) 128×128 블록 단위의 subsampling, (d) 64×64 블록 단위의 subsampling

### 2.2.2. 국부영역의 특성

디지털 홀로그램의 국부영역의 특성은 일정 크기로 디지털 홀로그램을 분할한 뒤 복원한 결과를 관찰하여 확인할 수 있다. 그림 3(a)와 같이 회절 패턴의 중심을 기준으로 분할한 후 역 CGH 과정을 거치면 그림 3(b)와 같이 스케일링된 결과를 얻는다. 이러한 결과는 앞 절에서 보인 subsampling의 결과와 유사하고 2D 영상과는 전혀 다른 광학적인 특성이다. 디지털 홀로그램의 국부영역에서는 그 영역에서 바라본 전체 객체의 정보가 모두 포함되고 국부영역이 전체 홀로그램에 대해 위치하는 지점에 따라서 그림 4와 같은 역 CGH 결과를 보인다.

국부적 영역의 독립적 특성은 다시점 영상과 유사하게 처리될 수 있는 가능성을 준다. 즉, 디지털 홀로그램은 분할된 후 분할된 영역을 개별적으로 다루어 질 수 있고, 영역들이 그림 4와 같이 유사한 정보를 포함하고 있다면 정보들 간의 상관성 혹은 중복성(redundancy)을 이용하여 처리될 수 있다.

### 2.2.3. 디지털 홀로그램의 주파수 특성

그림 1과 3에서 볼 수 있듯이 회절 패턴은 잡음과

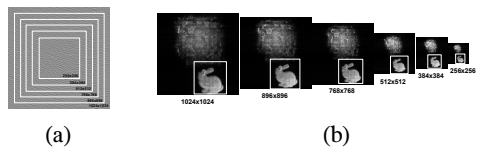


그림 3. 회절 패턴의 분할을 통한 디지털 홀로그램의 스케일링 (a) 중심을 기준으로 분할된 회절 패턴 (b) 분할된 회절 패턴을 이용한 역 CGH 결과

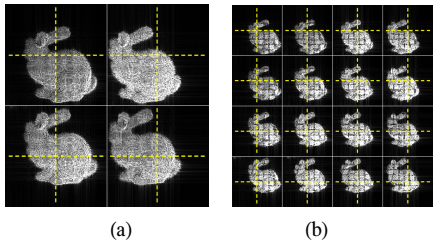


그림 4. 전체 홀로그래프의 국부적 역 CGH 결과 (a) 512×512 크기 (b) 256×256 크기

같은 형태이고, 이 회절 패턴의 주파수 특성도 2D 영상에서 나타나는 것과 다른 경향을 보인다. 그림 5에 DCT(Discrete Cosine Transform)과 DWT (Discrete Wavelet Transform)을 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후에 저주파에서 고주파 계수들의 평균 에너지를 나타냈다<sup>[12]</sup>. 최저주파수 계수 및 영역에서 가장 큰 에너지를 보이는 것은 동일하지만 그 이후에 고주파 성분의 에너지가 증가하는 경향성은 2D 영상과 전혀 다르다. 즉, 2D 영상과 같이 주파수 변환도구를 이용하여 데이터의 상관도를 추출한 후 계수들을 직접적으로 처리하는 것은 올바른 접근이라 할 수 없고, 부가적인 처리과정이 필요하다는 것을 알 수 있다.

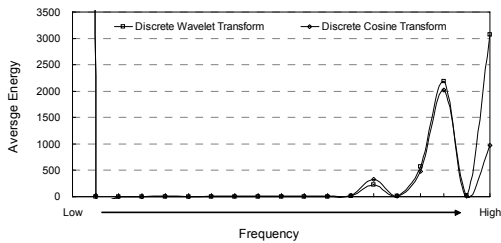


그림 5. 주파수 영역에서 계수의 평균 에너지

### III. 제안한 디지털 홀로그래픽 비디오 압축기술

본 장에서는 앞서 보인 디지털 홀로그래픽에 대한 실험적인 경향성을 이용하여 효율적인 부호화 방식을 제안한다. 제안하는 비디오 형태의 디지털 홀로그래픽 부호화 방식을 그림 6에 전체적으로 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 움직이는 3D 객체는 다수의 홀로그래픽, 즉 회절 패턴으로 저장되고 각각은 일반적인 비디오 영상에서 하나의 프레임에 해당된다. 다수의 프레임들을 분할영역(Segment)들로 나누고 주파수변환(Transform) 과정을 거친 후에 분

할영역들간의 상관도를 고려하여 분할영역을 프레임 단위로 하는 비디오 시퀀스를 구성(3D Segment Scanning)한다. 구성된 비디오 시퀀스는 계수분류(Classification) 및 정규화(Normalization) 과정을 통해 비디오 압축 도구를 적용하기 위한 정보들로 재분류된 후에 부호화 과정을 통해서 압축된 비트스트림을 생성한다.

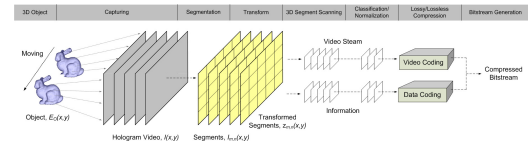


그림 6. 디지털 홀로그래픽 비디오 부호화

#### 3.1. 분할 및 주파수 변환

디지털 홀로그래픽 회절 패턴  $I(x,y)$ 을 동영상 압축 알고리즘에 적용하기 위해 이를  $I_{m,n}(x,y)$ 로 분할하고 2차원 DCT 변환을 취한다. 그림 6에 DCT를 하기 위해 회절을 분할하는 과정과 부족한 영상을 확장하는 형태를 도식적으로 나타냈다. 본 연구에서는 가장 특성이 좋은 것으로 나타난  $64 \times 64$ 와  $128 \times 128$ 의 분할영역을 사용한다<sup>[19]</sup>. 회절 패턴이 segment의 배수가 아닐 경우에는 영값 확장(zero padding) 기법을 이용하여 배수로 조절한다.

변환된 계수를 2차원 영상으로 취급하면 객체영상과 유사한 형태의 영상 정보가 나타나고, 회절 패턴의 위치적인 특성에 따라서 객체가 이동하는 것과 같이 관찰된다. 이는 분할영역마다 한 대의 카메라가 있다고 가정하고, 해당위치에서 각 카메라로 객체를 촬영한 것과 유사한 결과이다. 즉, 다시점 영상을 획득하는 것에 해당한다. 따라서 분할된 회절 패턴들의 위치적인 특성을 시간적인 변화로 사상할 경우에 전체 회절은 하나의 비디오 스트림의

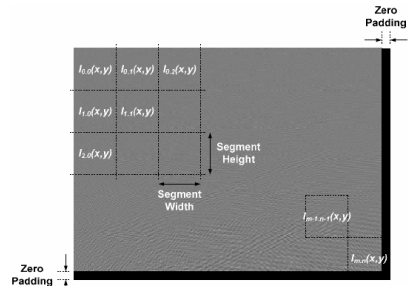


그림 7. 2D DCT를 위한 회절의 분할

로 취급할 수 있다. 분할된 회절 패턴은 약간의 차이는 있지만 유사한 정보를 포함하기 때문에 데이터의 차이가 크지 않고, 시간적 중복성으로 간주할 수가 있어서 동영상 압축 도구를 이용하여 효율적으로 압축할 수 있다.

### 3.2. 3D 스캐닝 기법

하나의 GOP는 다수의 프레임으로 구성되고 다수의 프레임은 매크로 블록의 형태와 유사한 segment로 나누어진다. 프레임별로 나누어진 segment들은 비디오 시퀀스로 재구성되는데 본 연구에서는 아래와 같은 세 가지 방법을 제안한다.

- Method1 : 시각적으로 유사한 segment를 순서대로 scanning하며 비디오 시퀀스를 구성, 한 프레임(디지털 홀로그램) 내에서의 segment들 간의 상관도를 우선
- Method2 : 동일한 시점(view point)에 해당하는 segment를 연결하여 비디오시퀀스를 구성, 프레임 간의 동일한 시점(view-point)에 해당하는 segment들 간의 상관도를 우선
- Method3 : Method1과 Method2를 결합한 형태로써 프레임내부의 segment들의 상관도와 프레임간의 유사 시점들 간의 상관도를 동시에 고려

Method1은 한 프레임 내에서 분할된 segment들 간의 시각적인 유사성을 우선으로하여 스캐닝을 수행하는 방식이다. 한 프레임내의 스캐닝이 완료되면 다음 프레임내에 동일한 위치의 segment로 이동하여 스캐팅을 수행한다. Method1을 그림 8(a)에 나타냈는데, 그림에서 보이듯이 한 프레임(홀로그램)내의 segment들은 수직방향으로 scanning을 수행하며 segment들의 열을 구성한다. 또한 한 프레임과 한 프레임 사이에는 위치적으로 유사한 시점에 해당하는 segment로 연속적으로 연결되어 전체적으로 하나의 비디오 시퀀스를 구성한다. 즉, 본 방식은 한 프레임(디지털 홀로그램) 내에서의 segment들 간의 상관도를 중요시하여 비디오 스트림을 구성한 것이다. Method2는 그림 8(b)에서 보이는 것과 같이 여러 프레임에서 동일한 시점(view point)에 해당하는 segment를 연결하여 비디오시퀀스를 구성하는 것이다. 시점은 프레임 내에서 분할된 segment의 위치에 해당한다. 하나의 GOP(Group of Picture)에서 처음과 마지막 프레임에서는 역시 수직방향의 스캔 순서를 따른다. 본 방식은 한 프레임 내의 segment

들 간의 상관도보다는 동일한 시점(view-point)에 해당하는 segment들 간의 상관도를 중요시하여 스트림을 구성하는 것에 해당한다. Method3은 Method1과 Method2를 결합한 형태로써 프레임 내부에 위치하는 segment들의 상관도와 프레임간의 유사 시점들 간의 상관도를 segment 열단위로 고려한 형태이다. 이를 그림 8(c)에 나타내었다.

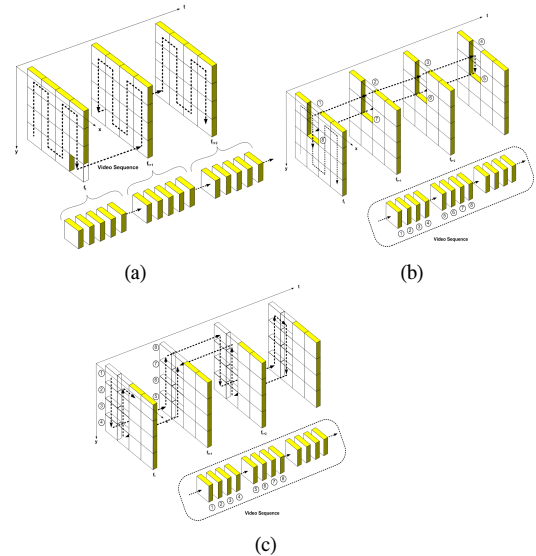


그림 8. 3D Segment Scanning에 의한 비디오 스트림 생성 (a) Method1, (b) Method2, (c) Method3

### 3.3. 계수의 재구성

DCT 변환된 계수는 그 값의 범위가 넓고 다양한 값을 가지기 때문에 이들을 직접적으로 압축 도구에 입력값으로 적용할 수 없고, 적용한다고 할지라도 좋은 압축효율을 기대하기는 어렵다. 계수들의 특성을 분석하여 이들을 분류 및 재조정 후에 각각의 특성에 맞는 압축기술을 적용한다.

계수 분포를 분석하여 계수를 분류하는 방식을 그림 9에 나타냈다. DC 계수와 AC 계수 중 255 이상의 큰 값을 가지는 계수들은 예외계수(Exception Coefficient, EC)로 처리한다. 나머지 -256에서 255의 범위의 값들은 일반 계수(Normal Coefficient, NC)로 분류한다. NC로 구분된 계수들은 -256에서 255의 범위에 속하므로 음의 값을 포함한다. 이러한 음의 값은 MPEG 계열의 영상압축 기술의 입력으로 적당하지 않기 때문에 NC값의 조정이 필요하다. 본 연구에서는 DCT 계수의 음과 양을 구분하는 부호 비트평면(sign bitplane)을 도입하여 DCT

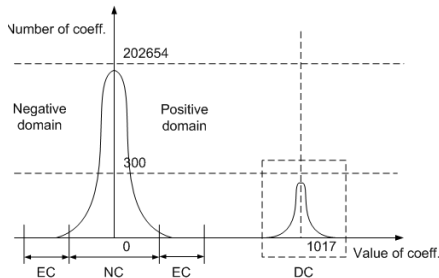


그림 9. DCT 계수의 분포

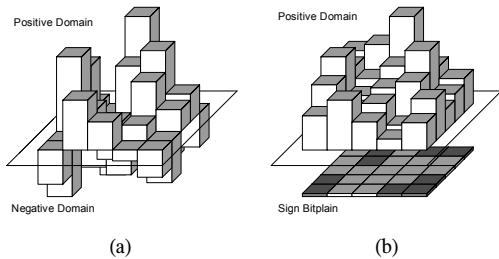


그림 10. DCT 계수의 재구성 (a) 원래의 계수 (b) 제안한 방식

계수를 양의 값으로 모두 치환하고 값을 평탄화하여 압축 효율을 높이는 방식을 제안하고, 이러한 과정을 그림 10에 나타내었다. 그림 10(a)는 DCT 후 원래의 계수를 나타내고, 그림 10(b)는 제안한 방식이다.

### 3.4. 분할영역의 부호화

회절의 분할 이후에 DCT를 수행하면 수십에서 수십만의 값을 가지는 DCT 계수가 발생하기 때문에 이들 계수를 곧바로 표준압축 기술들에 적용할 수 없다. 따라서 앞 절과 같이 재구성된 계수분포를 이용하여 압축을 수행한다. 먼저, 예외계수(Exception Coefficient, EC)는 DPCM과 엔트로피 부호화 과정을 통해 압축한다. EC는 발생 빈도수는 극히 적지만 값이 크기 때문에 전체 영상에 큰 영향을 미치므로 예외적인 처리가 필수적이다. NC는 양의 값만으로 조정된 이후에 H.264/AVC를 이용하여 압축과정을 수행한다. 또한 부호비트평면은 소실되면 안 되는 중요한 정보이므로 2진 데이터 기반의 무손실 압축(Lossless Encoder) 기술을 이용한다. 부호 비트 평면의 압축결과는 매우 작은 양이므로 전체 압축율에 크게 영향을 미치지 않는다. 앞서 설명한 압축과정을 그림 11에 전체적으로 나타냈고 이들 압축 결과들을 하나의 스트림으로 취합하여 압축된 홀로그래를 생성한다.

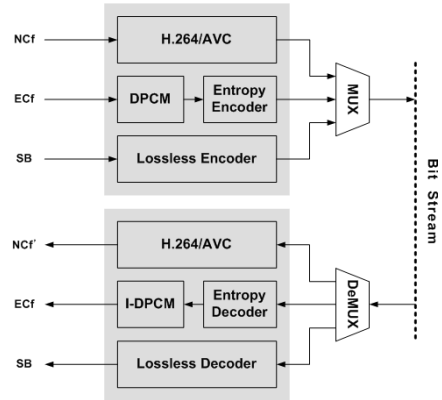


그림 11. 표준압축 기술을 이용한 압축과정

## IV. 실험결과

앞서 설명한 것과 같이 홀로그래의 부호화에는 H.264/AVC의 국제표준 동영상 압축 기술을 사용하였다. 모두 8-bit 입력 모드 경우만을 사용하였고 양자화 강도의 조절을 통해서 압축율을 조정하였다. 실험에 사용된 영상은 200×200 크기의 영상이었고, 생성된 회절은 1024×1024 크기이다. 64×64와 128×128 크기로 분할된 회절에 대해서 압축을 수행하였다<sup>[19]</sup>. 본 논문의 기초에 해당하는 [19] 연구는 한 장의 홀로그래를 부호화하기 위한 전반적인 홀로그래의 특성과 부호화 특성을 설명하고 있다. 압축 및 복원을 위한 H.264/AVC의 옵션은 아래와 같다.

- Profile : Baseline (High quality)
- Search range : 16
- Hadamard transform
- Reference frame : 5
- Variable macroblock (16×16~4×4)
- CAVLC
- Bit rate : fixed (10:1~120:1)

정지 객체의 압축율에 따른 복원 결과를 그림 12에서 NC(Normalized Correlation)의 값으로 나타냈고, 그림 13, 14, 및 15에서는 복원된 객체의 시각적인 결과를 나타냈다. 세 가지 객체(Duck, Spring, Bunny)를 대상으로 최대 120:1의 압축율까지 bit rate를 조절하면서 압축하였고, 비디오 스트림이 아니기 때문에 Method1의 3D Segment Scanning 방식을 이용하였다.



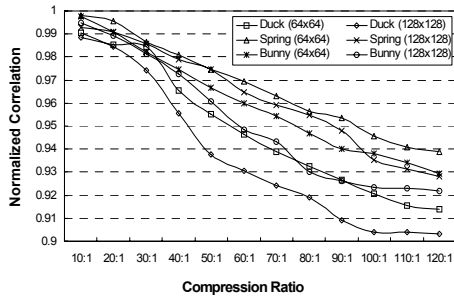


그림 12. 복원된 객체 영상들의 NC 결과

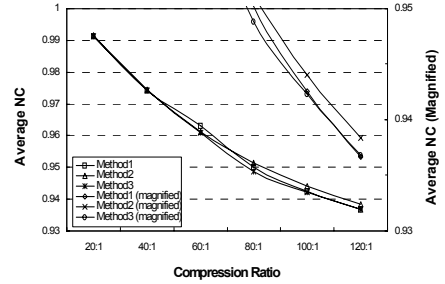


그림 16. 3D segment scanning 방식에 따른 평균 NC 결과 (평형이동 객체)

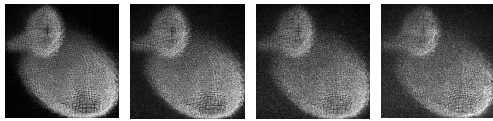


그림 13. 복원된 객체영상(duck) (a) 1:1, (b) 40:1, (c) 80:1, (d) 120:1 압축

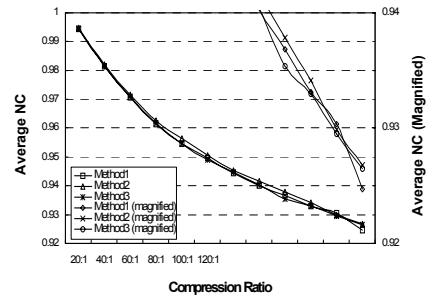


그림 17. 3D segment scanning 방식에 따른 평균 NC 결과 (회전 객체)

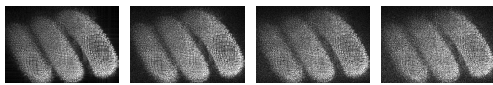


그림 14. 복원된 객체영상(spring) (a) 1:1, (b) 40:1, (c) 80:1, (d) 120:1 압축

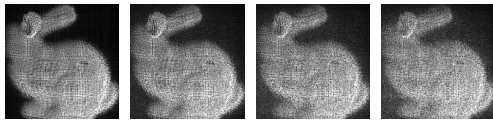


그림 15. 복원된 객체영상(bunny) (a) 1:1, (b) 40:1, (c) 80:1, (d) 120:1 압축

본 연구와 가장 유사한 Yoshikawa와 Thomas의 연구를 비롯한 이전 연구들에서 4:1부터 16:1의 압축율에서 0.94의 NC를 보인 것에 비교하면 8배에서 16배가량 향상된 결과로 분석된다. 또한 이전 연구들과 달리 고압축율에서도 NC가 0.95 이상을 유지하면서 거의 온전히 3D 객체영상이 복원되었다.

또한 3D Segment Scanning 기술을 적용하여 다수의 프레임으로 구성된 홀로그램 비디오를 최대 120:1의 압축율까지 부호화하였다. 본 실험에 사용된 홀로그램 비디오에서 객체는 대각선 방향으로 병진이동한다. 복원 후 NC 결과를 그림 16 및 17에 나타내었고, 고압축율에서의 결과를 명확히 확인하

기 위해 오른쪽 y축에 확대한 결과를 나타내었다. 그림 16와 17에 나타난 결과를 살펴보면 Method 2가 가장 좋은 결과를 나타낸다. 즉, 동일 view-point에서 segment들 간의 상관도가 높다는 결론을 얻을 수 있다. 그림 18에서는 회전하는 주전자 비디오의 다섯 프레임에 대한 120:1의 압축한 후 복원한 결과영상을 나타내었는데, 원 객체에 비해서 흐려진 결과를 보이고 있지만 비교적 객체는 명확히 관찰할 수 있다.

### V. 결론

본 연구에서는 디지털 홀로그램인 회절 패턴을 2차원 영상으로 가정한 후에 이를 분석하고 표준 압축 기술들의 응용을 통해서 부호화 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 디지털 홀로그램을 전처리하는 데이터 처리과정과 부호화 과정으로 크게 구분된다. 데이터 처리과정은 색차 분리, 분할, 주파수 변환, 3D 스캐닝 그리고 재정규화 등으로 구성되고, 부호화 과정은 재정규화된 계수에 대해 H.264/AVC 압축과 무손실 압축기술들로 구성된다. 각 세부과정

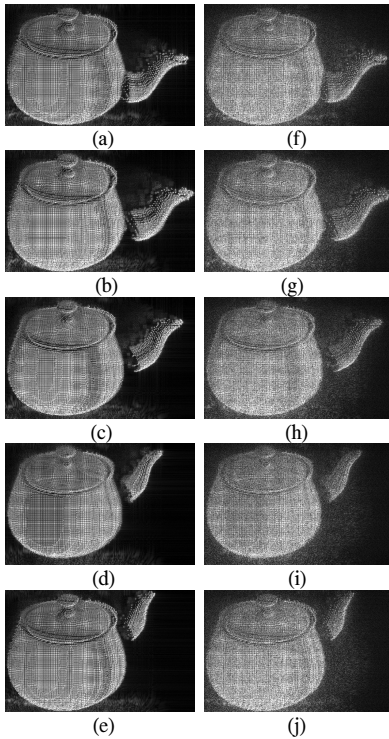


그림 18. 복원된 홀로그램 비디오(Teapot, 64×64 segment, 120:1 압축)의 프레임 (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, 복원된 프레임 (f) 1, (g) 2, (h) 3, (i) 4, (j) 5

들은 최적의 조건을 도출하기 위해 실험적인 정당화 과정을 거쳤다.

정지 객체와 이동하는 객체를 이용하여 제작된 디지털 홀로그램을 부호화 대상으로 하여 실험을 수행하였고 최대 120:1까지 압축을 시도하였다. 디지털 홀로그램 비디오를 하나의 비디오 스트림으로 재구성하는 방식은 각 프레임의 시점별 상관도를 이용했을 경우에 가장 좋은 결과를 보였다. 전체적인 부호화 결과를 살펴보면 120:1의 압축율에서도 0.92 이상의 높은 NC값을 보임으로써 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하였고, 기존의 기술에 비해서 16 배의 높은 압축율에서 더 좋은 복원 성능을 보였다.

### 참 고 문 헌

[1] P. Hariharan, "Basics of Holography", Cambridge University Press, May 2002.  
 [2] H. Yoshikawa and K. Sasaki, "Image Scaling for electro-holographic display," editor, SPIE Proc. vol 2176 Practical Holography VIII, paper #2176-02, pp. 12-22,

Feb, 1994.  
 [3] K. Sasaki, E. Tanji and H. Yoshikawa, "Data compression for holographic 3D image," The journal of the Institute of Television Engineers of Japan, Vol. 48, No. 10, pp. 1238-1244, Oct. 1994.  
 [4] H. Yoshikawa and J. tamai, "Holographic image compression by motion picture coding," editor, SPIE Proc. vol 2652 Practical Holography X, pp. 2652-01, Jan, 1996.  
 [5] S.K. Yeom, A. Stern, and B. Javidi, "Compression of 3D color integral images," Optics Express, on-line Journal of the Optical Society of America, Vol. 12, No. 8, pp. 1632-1642, 19 Apr. 2004.  
 [6] T. J. Naughton, Y. Frauel, B. Javidi and E. Tajahuerce, "Compression of digital holograms for three-dimensional object reconstruction and recognition," Appl. Opt. 41, No. 20, pp. 4124-4132. Jul. 2002.  
 [7] T. J. Naughton and B. Javidi, "Compression of Encrypted Three-dimensional Objects using Digital Holography," Optical Engineering, vol. 43, no. 10, pp. 2233-2238, Oct. 2004.  
 [8] L. Ding, Y. Yan, Q. Xue and G. Jin, "Wavelet packet compression for volume holographic image recognition," Opt. Commun. 216, pp. 105-113, 2003.  
 [9] M. Liebling, T. Blu and M. Unser, "Fresnelets : New multiresolution wavelet bases for digital holography," IEEE Trans. Image Process. 12, pp. 29-43, 2003.  
 [10] O. 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, Oct. 2002.  
 [11] T. J. Naughton, J. B. Mc Donald, and B. Javidi, "Efficient compression of Fresnel fields for Internet transmission of three-dimensional images," Applied Optics-Information Processing, vol. 42, no. 23, pp. 4758-4764, 10 Aug. 2003.  
 [12] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC



