

# MCTF를 이용하여 디지털 홀로그램의 공간적 상관도를 효율적으로 제거하는 디지털 홀로그램 압축 기법

\*서영호 최현준 김동욱

광운대학교 실감미디어 연구실

\*yhseo@kw.ac.kr

## Digital Hologram Compression Technique using Elimination of Spatial Correlation based on MCTF

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

Kwangwoon University, Realistic Media Lab.

### 요약

본 논문에서는 디지털화된 형태로 취득 및 저장된 홀로그램 신호를 압축하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 취득한 디지털 홀로그램을 일정한 영역으로 분리하여 다수의 세그먼트로 만든다. 광학적인 특성상 각각의 세그먼트들은 각각의 공간적인 위치에서 객체를 촬영한 것과 같은 성분을 포함한다. 다음으로, 이 세그먼트들에 대해서 Fresnel 변환의 기저함수와 유사한 코사인 변환(Discrete Cosine Transform)을 적용하면 원 객체와 유사한 정보를 얻게 된다. 시각적으로 유사한 특성을 갖는, 즉 상관성을 갖는 세그먼트들을 하나의 비디오 스트림으로 구성하고 MCTF(Motion Compensated Temporal Filtering)를 적용한다. MCTF를 통해 얻어진 두 개의 스트림은 MCTF 과정 동안 움직임 보상 과정을 거치면서 재구성되므로 상당히 높은 압축 효율을 보일 수 있다. 마지막으로 이러한 과정을 통해 얻어진 두 개의 스트림은 각각 H.264를 통해 압축된다.

실험결과를 살펴보면 기존의 연구에 비해서 약 11%의 압축 효율이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제안한 기술은 디지털 홀로그램의 부호화를 위한 좋은 연구 사례가 될 것으로 사료된다.

### 1. 서론

홀로그램은 원래 ‘전체’라는 뜻의 그리스어 ‘Holos’와 ‘기록하다’라는 뜻의 ‘gram’이 합성된 단어이다. 다시 말하면 완전한 영상을 구현할 수 있다는 의미로도 해석할 수 있다. 최첨단 영상처리기술의 면모를 이룬 그 자체에서도 지니고 있는 이 기술의 원리는 다중 레이저 장치를 활용하여 물체에서 반사되는 빛과 간섭성을 지닌 기준파간의 간섭영상을 구현한다. 그렇기 때문에 빛의 세기는 물론 물체의 깊이감을 주는 빛의 위상도 재생이 가능한 것이다. 이것이 물체에서 반사된 빛의 세기만을 기록하는 사진필름과 달리 홀로그램이 자연스런 3차원 입체영상을 구현할 수 있는 원리다[1]. 홀로그램은 입체영상의 디스플레이에서부터 고밀도 메모리 기술, 빛을 이용한 고속 병렬연산에 이르기까지 다양한 응용분야로 확대할 수 있다. 반도체 기술이 디지털혁명의 모태가 된 것처럼 홀로그램기술은 차세대 광정처리 분야의 핵심기술로 자리 잡을 것이다[2][3].

본 논문에서는 디지털화된 형태로 취득 및 저장된 홀로그램 신호를 압축하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 디지털 홀로그램은 프린지 패턴(fringe pattern)이라는 빛의 간섭과 회절 현상을 저장하는 것으로 일반적인 영상과 상이한 특성을 가진다. 따라서 디지털 홀로그램의 독특한 특성을 파악하여 압축이 용

이한 형태, 즉 상관성을 갖도록 하고 압축이 용이한 형태로 변형한 후에 H.264와 같은 표준 압축 기술로 압축한다.

먼저, 취득한 디지털 홀로그램을 일정한 영역으로 분리하여 다수의 세그먼트로 만든다. 광학적인 특성상 각각의 세그먼트들은 각각의 공간적인 위치에서 객체를 촬영한 것과 같은 성분을 포함한다. 다음으로, 이 세그먼트들에 대해서 Fresnel 변환의 기저함수와 유사한 코사인 변환(Discrete Cosine Transform)을 적용하면 원 객체와 유사한 정보를 얻게 된다. 시각적으로 유사한 특성을 갖는, 즉 상관성을 갖는 세그먼트들을 하나의 비디오 스트림으로 구성하고 MCTF(Motion Compensated Temporal Filtering)를 적용한다. MCTF를 통해 얻어진 두 개의 스트림은 MCTF 과정 동안 움직임 보상 과정을 거치면서 재구성되므로 상당히 높은 압축 효율을 보일 수 있다. 마지막으로 이러한 과정을 통해 얻어진 두 개의 스트림은 각각 H.264를 통해 압축한다.

### 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 홀로

그림의 특성이 분석되어야 한다.

일반적인 영상의 경우에 화소 단위로 서브샘플링(subsampling) 과정을 거치고 다시 원래의 영상과 동일한 공간적인 해상도를 취할 경우에 원영상에서 고주파가 제거된 형태의 blurring 영상이 생성된다. 하지만 그림 1 (b)에서 보이는 것과 같이 디지털 홀로그램 자체에 대해 서브샘플링 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 을 블록 단위로 수행한 결과를 그림 1 (c) 및 (d)에 나타냈는데, 각각 128×128 및 64×64 블록 단위로 서브샘플링을 수행한 후 복원한 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 3의 (b)는 (c) 및 (d)와 동일한 데이터 랑을 서브샘플링 하였지만 복원 결과는 전혀 다르다는 것으로 확인할 수 있다.

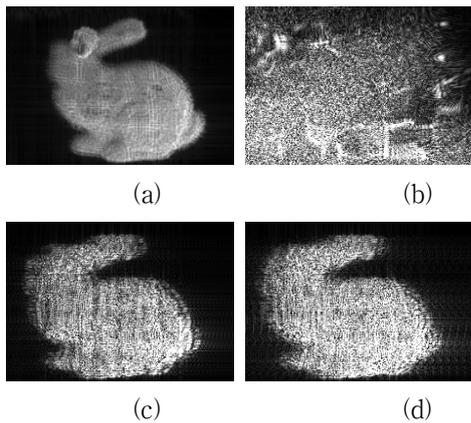


그림 1. 디지털 홀로그램의 서브샘플링 후 복원 결과; (a) 원 객체, (b) 1-pixel 단위 서브샘플링 결과영상, (c) 128×128 블록 단위의 서브샘플링, (d) 64×64 블록 단위의 서브샘플링.

디지털 홀로그램의 국부영역의 특성은 일정 크기로 디지털 홀로그램을 분할한 뒤 복원한 결과를 관찰하여 확인할 수 있다. 그림 2 (a)와 같이 디지털 홀로그램의 중심을 기준으로 분할한 후 역 CGH 과정을 거치면 그림 2 (b)와 같이 스케일링된 결과를 얻는다. 이러한 결과는 앞 절에서 보인 서브샘플링의 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 2와 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

3과 같이 유사한 정보를 포함하고 있다면 정보들 간의 상관성 혹은 중복성(redundancy)을 이용하여 처리될 수 있다.

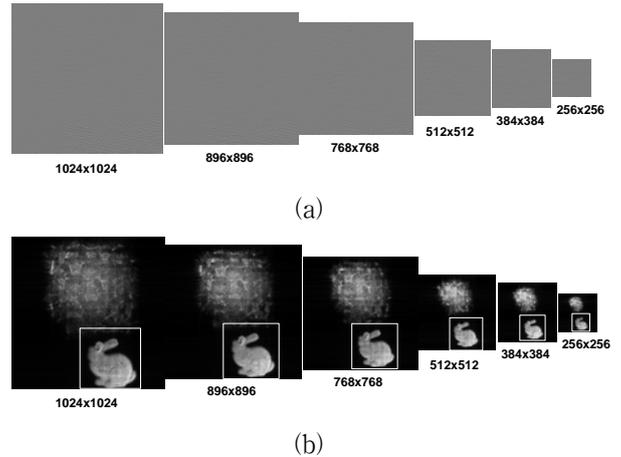


그림 2. Fringe 패턴의 분할을 통한 디지털 홀로그램의 스케일링; (a) 중심을 기준으로 분할된 디지털 홀로그램, (b) 분할된 디지털 홀로그램을 이용한 역 CGH 결과.

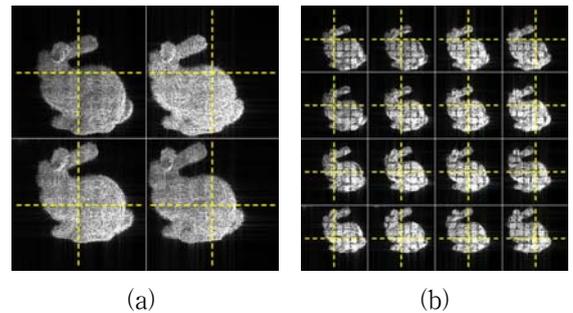


그림 3. 전체 홀로그램의 국부적 역 CGH 결과; (a) 512×512 크기, (b) 256×256 크기

그림 2 (a)에서 볼 수 있듯이 디지털 홀로그램은 잡음과 같은 형태이고, 이 디지털 홀로그램의 주파수 특성도 2D 영상에서 나타나는 것과 다른 경향을 보인다. 그림 4에 DCT(Discrete Cosine Transform)과 DWT(Discrete Wavelet Transform)을 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후에 저주파에서 고주파 계수들의 평균 에너지를 나타냈다. 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.

### 3. 제안한 코딩 알고리즘

본 논문에서 부호화 대상으로 하는 디지털 홀로그램은 CCD 카메라로 획득하였거나 컴퓨터로 생성된 홀로그램(Computer-Generated Hologram, CGH)이며, 칼라 영상이다.

본 논문에서는 이 컬러 영상의 각 색차신호(R, G, B)를 따로 처리하며, 이를 위하여 각 색차신호를 분리하는 전처리 과정을 거친다.

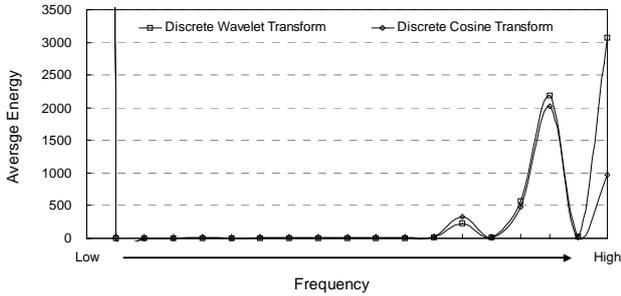


그림 4. 주파수 영역에서 계수의 평균 에너지.

분리한 각 색차영상을 동영상 압축 알고리즘에 적용하기 위해 이를 분할하고 2차원 DCT 변환을 수행한다. 그림 3에 DCT를 하기위해 디지털 홀로그램을 분할하는 과정을 도식적으로 나타냈다. 분할한 영상의 크기는 8×8에서 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.

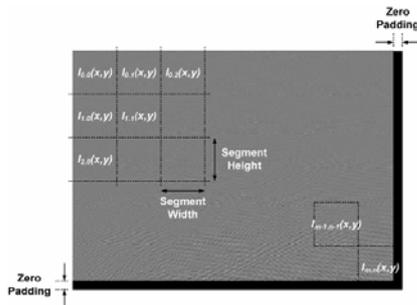


그림 5. 2D DCT를 위한 fringe의 분할.

분할한 각 부분영상은 2차원 DCT를 이용하여 주파수대역으로 변환한다. 변환한 주파수대역 영상을 2차원 영상으로 취급하면 객체영상의 2차원 영상과 유사한 형태의 영상이 나타나게 되며, 각 주파수 변환된 부분영상의 디지털 홀로그램에서의 위치적인 특성에 따라서 2차원 객체영상이 이동하는 것처럼 보인다. 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 포함하고 그 차이가 크지 않으므로 2차원 동영상 압축 기술에서 시간적인 중복성으로 간주하여 효율적으로 압축할 수 있다.

디지털 홀로그램  $I(x,y)$ 을 동영상 압축 알고리즘에 적용하

기 위해 이를  $Im,n(x,y)$ 로 분할하고 2차원 DCT 변환을 취한다. 그림 5에 DCT를 하기 위해 디지털 홀로그램을 분할하는 과정과 부족한 영상을 확장하는 형태를 도식적으로 나타냈다. 본 연구에서는 가장 특성이 좋은 것으로 나타난 64×64와 128×128의 분할영역을 사용한다. 디지털 홀로그램이 segment의 배수가 아닐 경우에는 영값 확장(zero padding) 기법을 이용하여 배수로 조절한다.

분할영역  $Im,n(x,y)$ 은 식 (9)에 나타난 M×N 크기의 2차원 DCT를 이용하여 변환한다. 여기서  $C_k$ 는 k값이 영일 경우  $1/\sqrt{2}$  이고, 그 밖의 경우에는 1이다.

$$z_{m,n}(x,y) = \frac{1}{2MN} \sum_{u=0}^M \sum_{v=0}^N C_u C_v I_{m,n}(u,v) \cos\left(\frac{\pi(2x+1)u}{2M}\right) \cos\left(\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right) \quad (8)$$

변환된 계수를 2차원 영상으로 취급하면 객체영상과 유사한 형태의 영상 정보가 나타나고, 디지털 홀로그램의 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 디지털 홀로그램들의 위치적인 특성을 시간적인 변화로 사상할 경우에 전체 디지털 홀로그램은 하나의 비디오 스트림으로 취급할 수 있다. 분할된 디지털 홀로그램은 약간의 차이는 있지만 유사한 정보를 포함하기 때문에 데이터의 차이가 크지 않고, 시간적 중복성(temporal redundancy)으로 간주할 수가 있어서 동영상 압축 도구를 이용하여 효율적으로 압축할 수 있다.

위와 같은 디지털 홀로그램에 대한 실험적인 경향성을 이용하여 효율적인 부호화 방식을 제안한다. 제안하는 비디오 형태의 디지털 홀로그램 부호화 방식을 그림 6에 전체적으로 나타내었다.

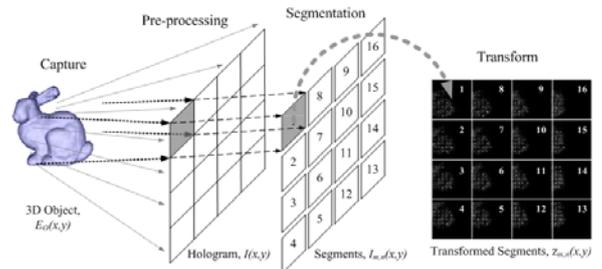


그림 6. 디지털 홀로그램의 분할 및 변환.

그림에서 보는 것과 같이 움직이는 3D 객체는 다수의 홀로그램, 즉 디지털 홀로그램으로 저장되고 각각은 일반적인 비디오 영상에서 하나의 프레임에 해당된다. 다수의 프레임들을 분할영역(Segment)들로 나누고 주파수변환(Transform) 과정을 거친 후에 분할영역들간의 상관도를 고려하여 분할영역을 프레임 단위로 하는 비디오 시퀀스를 구성(3D Segment Scanning)

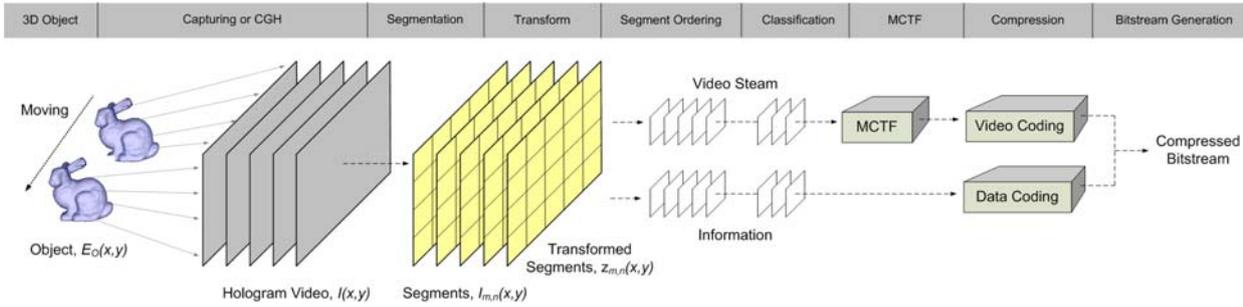


그림 5. 디지털 홀로그래프 비디오 부호화 과정

한다. 하나의 GOP는 다수의 프레임으로 구성되고 다수의 프레임은 매크로 블록의 형태와 유사한 분할영역으로 나누어진다. 프레임별로 나누어진 분할영역들은 비디오 시퀀스로 재구성된다. 구성된 비디오 시퀀스는 MCTF에 적용되어 분할영역간의 중복성이 효율적으로 제거된다. MCTF는 영상들을 시간축으로의 중복성을 제거하기 위한 기술로 피라미드형 분해 구조를 갖는다. 각 레벨(Level)에 대해 예측 및 갱신 과정을 수행하여 각각 고주파 영상과 저주파 영상을 생성한다. 예측 과정은 현재분할영역을 기준으로 이전과 이후의 분할영역을 참조하여 움직임 ME/MC 과정을 통해 차영상 즉 고주파 영상을 만들어낸다. 갱신 과정은 이전의 예측 과정에서 구한 움직임 벡터를 이용하여 고주파 영상을 참조하여 움직임 보상을 통해 원 영상의 고주파 성분이 제거된 저주파 영상을 생성한다.

MCTF 과정을 통해 생성된 예측 영상들은 H.264/AVC 압축도구를 통해서 부호화된다.

#### 4. 실험결과 및 논의

앞서 설명한 것과 같이 홀로그래프의 부호화에는 H.264/AVC의 국제표준 동영상 압축 기술을 사용하였다. 모두 8-bit 입력 모드의 경우만을 사용하였고 양자화 강도의 조절을 통해서 압축율을 조정하였다. 실험에 사용된 영상은 200×200 크기의 영상이었고, 생성된 디지털 홀로그래프는 1024×1024 크기이다. 64×64와 128×128 크기로 분할된 디지털 홀로그래프에 대해서 압축을 수행하였다.

본 논문에서는 H.264를 이용하여 10:1부터 400:1까지 압축을 수행하고 복원한 후에 결과를 관찰하였다. 또한 복원된 디지털 홀로그래프를 역 Fresnel 변환을 거쳐서 3차원 객체로 복원한 후에 결과도 관찰하였다. 세그먼트의 크기는 이전 연구를 통해 가장 좋은 효율을 보인 64×64와 128×128 크기에 대해서 실험을 수행하였고, 실험 대상은 Bunny, Duck, Spring, 및 Tepot 등이다. 그리고 NC(Normalized Correlation)을 통해서 수치적인 결과를 확인하였다. 실험결과를 그림 6, 7에서 보이고 있다. 실험결과를 살펴보면 기존의 연구에 비해서 약 11%의 압축 효율이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제안한 기술은 디지털 홀로그래프의 부호화를 위한 좋은 연구 사례가 될 것으로 사료

된다.

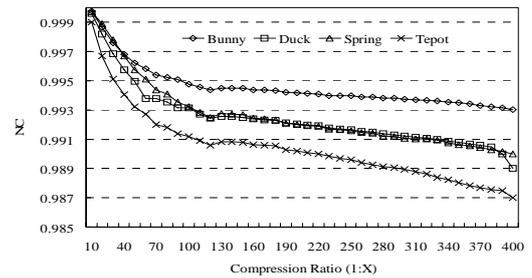


그림 6. 디지털 홀로그래프의 압축 결과 (64×64 세그먼트, NC)

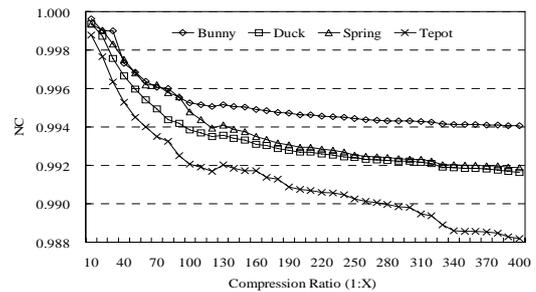


그림 7. 디지털 홀로그래프의 압축 결과 (128×128 세그먼트, NC)

#### Acknowledgement

본 논문은 서울시 신기술 연구개발 지원사업(NT080528)의 연구결과입니다.

#### 참고문헌

- [1] B. Javidi and F. Okano eds, "Three Dimensional Television, Video, and Display Technologies," Springer Verlag Berlin, 2002.
- [2] P. Hariharan, *Basics of Holography*, Cambridge University Press, 2002.
- [3] H. Yoshikawa, "Digital holographic signal processing," Proc. TAO First International Symposium on Three Dimensional Image Communication Technologies, pp. S-4-2, 1993.