

## 고성능 2D 비디오 압축 기술을 이용한 디지털 홀로그램 부호화

\*강이슬, \*\*이윤혁, \*\*서영호, \*\*김동욱  
광운대학교  
kls93@kw.ac.kr

### Digital Hologram Encoding using High Efficiency 2D Video Compression Techniques

\*Iseul Kang, \*\*Yoonhyuk Lee, \*\*Youngho Seo, \*\*Dongwook Kim  
Kwangwoon University

#### 요 약

본 논문에서는 디지털 홀로그램(digital hologram)을 2 차원 비디오 압축기를 사용하여 압축하는 방법을 다룬다. 그 방법은 디지털 홀로그램을 다수개의 부홀로그램(sub-hologram)으로 나누어 배열하고, 각 부홀로그램을 2 차원영상화하여 부홀로그램 배열을 동영상 시퀀스로 만들어 2 차원 동영상 압축기로 압축하는 방법이다. 본 논문에서는 각 부홀로그램을 2 차원 영상으로 만드는 방법으로 DCT(Discrete Cosine Transform)와 Fresnel 변환 변환(Fresnel Transform)을 사용한다. 2 차원 비디오 압축 방법으로는 H.264/AVC와 HEVC를 사용하여, 두 방법의 압축결과를 비교, 분석한다.

#### 1. 서론

홀로그램(hologram)은 물체표면에 반사되는 물체파와 기준파의 두 광파를 간섭시켜 얻은 간섭패턴(fringe pattern)을 기록함으로써 평면에 3 차원 영상 정보를 기록한 것이다. 홀로그램이 갖고 있는 3 차원 물체정보는 공간상에 그 물체의 3 차원 상을 재현시킬 수 있기 때문에 궁극적인 3D 디스플레이 기술로서의 기대가 높아 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 많은 연구는 광학 홀로그램의 획득과, 이를 효과적으로 복원하는 기술들에 치중되어 있다[1]. 광학 홀로그램은 처리 및 전송하는 것에 대한 근본적인 한계를 가지고 있기 때문에 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH, Computer Generated Hologram)이 개발되었고[2], 이는 디지털 홀로그램(Digital Hologram, DH)의 서비스를 염두에 둔 것이라 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 CGH를 서비스하기 위한 데이터 압축을 다룬다. 본 논문에서는 디지털 홀로그램을 다수개의 부홀로그램(sub-hologram)으로 분할하고, 분할된 각 부홀로그램을 2 차원 영상화하여 그 결과 영상들의 시퀀스를 2 차원 동영상으로 간주하여 2 차원 동영상 압축방법으로 압축을 수행한다. 이 방법은 이미 [3]에서 MCTF(Motion Compensated Temporal Filtering)를 이용한 방법으로 제안하였고, [4]에서는 부홀로그램을 2 차원 영상화하는 방법으로 DCT(Discrete Cosine Transform)를 사용하고, 2 차원 동영상 압축기로 H.264/AVC[5]를 사용하였다. 본 논문에서는 2 차원 영상화하는 방법으로 Fresnel 변환(Fresnel Transform)[6]을 사용하고, 2 차원 동영상 압축 방법으로는 HEVC[7]를 사용한다. 그 결과, DCT와 Fresnel 변환 중 어떤 변환이 압축에 더 효율적인지, 또 H.264/AVC와 HEVC 중 어떤 것이 홀로그램 압축에 더 효율적인지를

분석한다.

#### 2. 디지털 홀로그램 압축

본 장에서는 디지털 홀로그램을 부홀로그램으로 분할하여 압축하는 방법을 설명한다. 이 방법의 개략적인 과정을 그림 1에 나타내었다. 디지털 홀로그램의 압축 과정은 전처리 과정(Pre-processing), 변환(Transform), 후처리 과정(Post-processing), 압축(Compression)으로 진행된다.

전처리 과정은 하나의 DH를 가로와 세로로 각각 4등분하여 총 16개의 부홀로그램으로 분리한다. 분리된 각각의 부홀로그램은 DCT 또는 Fresnel 변환으로 2 차원 영상화하고, 그 결과 영상들을 지그-제그(zip-zag) 스캔방식으로 배열하여 16개의 영상을 하나의 GOP(Group of Picture)로 하는 동영상을 만든다. 이 동영상 시퀀스는 GOP 단위로 H.264/AVC 또는 HEVC를 통해 압축한다.

홀로그램을 복원하는 과정은 압축과정의 역과정이며, 홀로그램 복원영상은 Fresnel 변환을 이용하였다.

#### 3. 실험결과

본 논문에서 사용하는 디지털 홀로그램은 CGH를 통해 생성되었으며, 그 생성 파라미터들은 표 1에 정리하였다. 모든 DH는  $1024 \times 1024$  [pixel<sup>2</sup>]로 생성하였으며, 이 때 사용한 광파는 633 [nm]이었다. CGH의 화소 크기는  $10.4$  [ $\mu$ m]이었고, 물체의 중심에서 홀로그램까지의 거리는 모두 110 [cm]로 하였으며, 실제 최저거리와 최대거리는 물체에 따라 조정하였다.

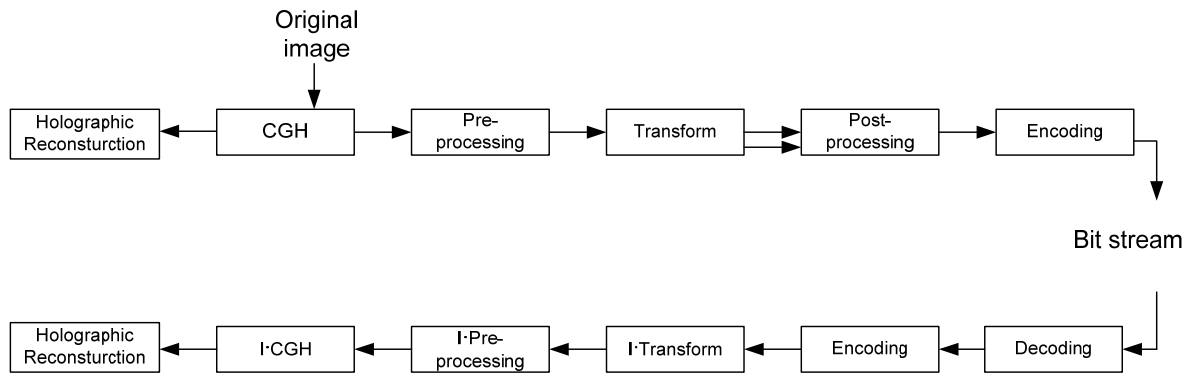


그림 1. 디지털 홀로그램 압축과정

표 1. CGH 생성 파라미터

CGH resolution[ $\text{pixel}^2$ ]	1024 * 1024
Wavelength[nm]	633
Pixel pitch[ $\mu\text{m}$ ]	10.4
Distance from object center[cm]	110

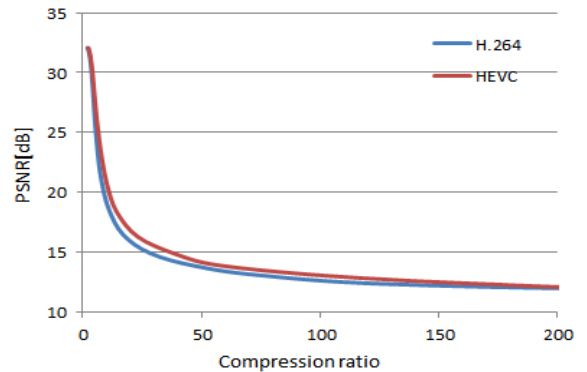
그림 2 는 부홀로그램을 DCT 를 사용하여 2 차원 영상화한 결과를 H.264/AVC 와 HEVC 로 압축하고, 그 결과 홀로그램 데이터(a)와 Fresnel 변환으로 복원한 영상(b)의 압축률 대비 화질을 각각 그래프로 나타낸 것이다. 여기서 화질은 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)로 나타내었다. 그림 2 에서 보듯이 HEVC 로 압축한 경우, H.264/AVC 로 압축한 것에 비해 PSNR 이 약간 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 압축율이 100:1 일 경우, 홀로그램의 PSNR 은 H.264/AVC 로 압축한 경우에는 약 12.6dB, HEVC 로 압축한 경우에는 약 13.0dB 로 HEVC 의 경우 H.264/AVC 보다 0.4dB 정도 높은 결과를 보였다. 재생영상의 경우는 H.264/AVC 로 압축한 경우에는 약 20.7dB, HEVC 로 압축한 경우에는 약 21.3dB 로 HEVC 의 경우 0.5dB 정도 높은 결과를 보였다.

그림 3 은 Fresnel 변환으로 부홀로그램들을 2 차원 영상화한 결과를 보이고 있다. Fresnel 변환 결과는 실수와 허수의 복소수 형태로 나타나는데, 이를 크기(amplitude)와 위상(phase)으로 변환하고, 그 중 크기에 대한 압축결과 홀로그램(a)과 재생영상(b)에 대한 데이터이다. 즉, 크기만을 H.264/AVC 와 HEVC 로 압축을 한 결과의 홀로그램과 Fresnel 변환으로 복원한 영상의 PSNR 을 각각 측정한 것이다. 위상의 경우는 크기 또는 원 홀로그램 데이터나 복소수 형태의 실수부 또는 허수부 데이터와 완전히 다른 종류의 데이터이기 때문에 여기서는 위상을 압축하지 않았다.

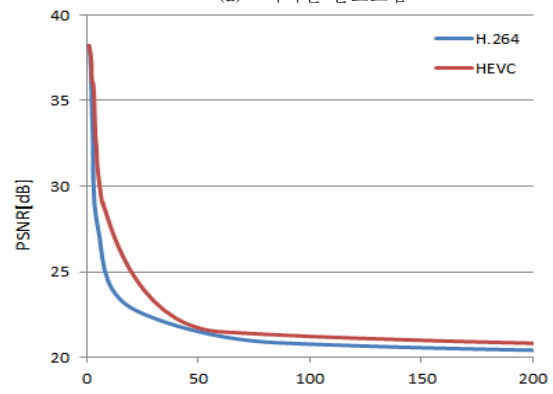
이 상황을 고려하면 그림 3 의 압축률은 그림 2 에 비해 2 배로 부풀려진 것으로 볼 수 있다. 즉, 그림 3 의 200:1 압축이 그림 2 의 100:1 압축에 각각 해당한다. 그림 2 에서 100:1 압축률에서의 PSNR 이 H.264/AVC 로 압축한 경우 약 21.3[dB], HEVC 로 압축한 경우 약 19.9[dB]이었으며, 그림 3 의 200:1 압축률에서의 PSNR 이 H.264/AVC 로 압축한 경우 약 32.7[dB], HEVC 로 압축한 경우 약 32.3[dB]이었다. 따라서 크기만을 압축한 경우에도 DCT 를 사용하는 경우보다 Fresnel 변환을 사용하는 경우가 더 압축효율이 좋다는 것을 보여주고 있다.

그림 3(a)와 (b)를 보면 Fresnel 변환을 사용했을 때 H.264/AVC 로 압축한 경우와 HEVC 로 압축한 경우의 압축효율이 그림 2 와는 다르다는 것을 알 수 있다. 먼저 홀로그램 자

체는 두 경우의 차이가 거의 나지 않는 것을 볼 수 있고, 재생영상의 경우는 약 100:1 이상으로 압축하는 경우는 H.264/AVC 가 HEVC 보다 오히려 압축효율이 좋은 것을 볼 수 있다.



(a) 디지털 홀로그램

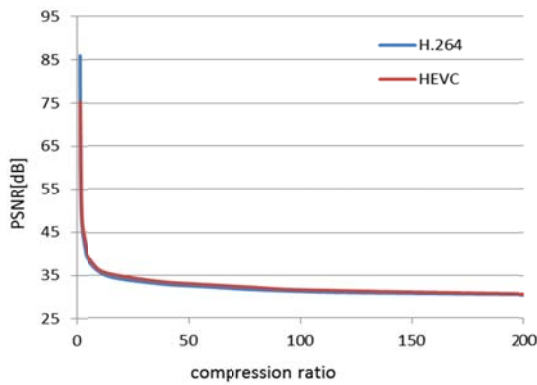


(b) 재생영상

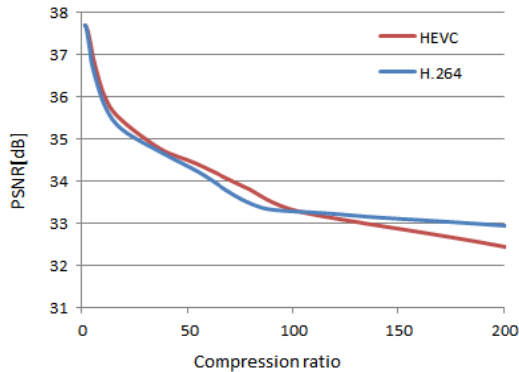
그림 2. DCT 변환을 사용하여 2 차원 영상화하였을 때 HEVC 와 H.264/AVC 의 압축률에 따른 화질

홀로그램 자체는 HEVC 로 압축한 경우가 효율이 좋지만 거의 나지 않는 것을 볼 수 있고, 재생영상의 경우는 100:1 이상의 압축률에서 H.264/AVC 가 HEVC 보다 오히려 더 좋은 압축효율을 보인다는 것을 알 수 있다.

그림 4 에는 부홀로그램에 대한 2 차원 영상화를 Fresnel 변환으로 하고, 그 결과의 실수부와 허수부를 각각 H.264/AVC 와 HEVC 로 압축한 결과이다. 이 데이터는 실수부와 허수부를 압축한 압축률을 평균하였으며, 홀로그램 화질 또한 실수부와 허수부를 평균한 결과이다.



(a) 디지털 홀로그램



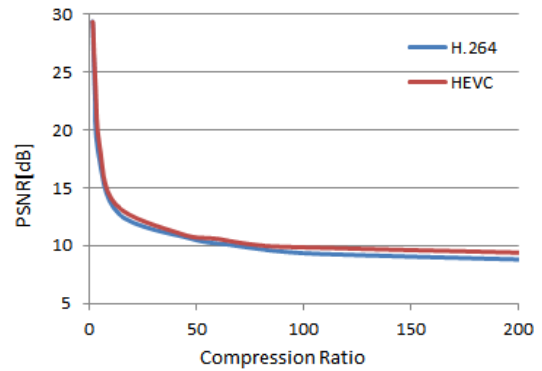
(b) 재생영상

그림 3. Fresnel 변환 변환을 사용하여 2 차원 영상화하였을 때 HEVC와 H.264/AVC에 의한 amplitude의 압축률에 따른 화질

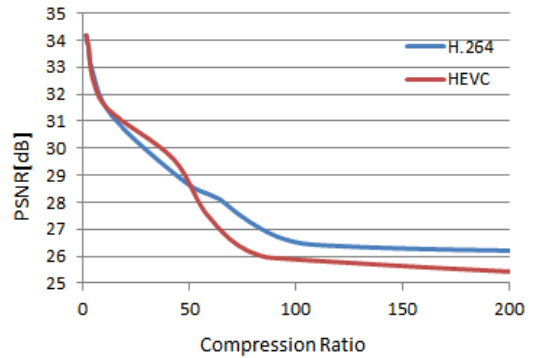
그림에서 볼 수 있듯이, 홀로그램과 재생영상 모두에서 Fresnel 변환을 이용하여 크기와 위상으로 변환한 다음 크기만을 압축한 경우보다 압축효율이 훨씬 나쁘다는 것을 알 수 있다. 홀로그램의 경우는 DCT를 사용한 경우보다 나쁜 결과를 보였으나 재생영상의 경우는 DCT보다 좋은 결과를 보였다. H.264/AVC와 HEVC를 비교하면 홀로그램의 경우는 HEVC가 약간 좋은 결과를 보였으나 큰 차이는 없었으며, 재생영상의 경우는 50:1 이상의 압축률에서 오히려 H.264/AVC가 더 좋은 결과를 보였다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 디지털 홀로그램을 부홀로그램으로 분할하고 각 부홀로그램을 2 차원 영상화하여 배열함으로써 2 차원 동영상처럼 만들어 2 차원 동영상 압축 방법으로 압축을 수행하였다. 홀로그램은 CGH를 생성하여 사용하였으며, 한 홀로그램을 16 개의 동일한 부홀로그램으로 분할하였다. 2 차원 영상화는 DCT와 Fresnel 변환을 각각 사용하였고, 2 차원 동영상 압축으로는 H.264/AVC와 HEVC를 사용하였다. Fresnel 변환을 사용한 경우 그 결과 실수부와 허수부를 각각 압축한 것뿐만 아니라 이들을 크기와 위상으로 변환하여 크기만을 압축한 경우의 실험을 수행하였다.



(a) 디지털 홀로그램



(b) 재생영상

그림 4. Fresnel 변환 변환을 사용하여 2 차원 영상화하였을 때 실수부와 허수부 각각을 HEVC와 H.264/AVC에 압축한 압축률 대비 화질

실험결과 H.264/AVC와 HEVC는 원래의 성능차이에 비해 홀로그램 압축에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 홀로그램 자체가 저주파 성분보다는 고주파 성분이 훨씬 많은 데이터이기 때문이며, 2 차원 영상화한다고 해도 여전히 이 압축방법의 효율성을 심분 발휘할 수는 없는 것으로 생각된다. 2 차원 영상화 방법 중 Fresnel 변환이 DCT보다 좋은 성능을 보였다. 이것은 Fresnel 변환이 DCT보다 원 물체영상에 훨씬 근접한 2 차원 영상을 제공하기 때문인 것으로 판단된다. Fresnel 변환을 사용하는 경우에서도 크기와 위상으로 변환하여 크기만을 압축한 경우가 실수부와 허수부를 모두 압축한 경우보다 좋은 결과를 보였다.

따라서 본 논문에서 다른 방법으로 디지털 홀로그램을 압축할 경우 2 차원 영상화 방법으로 Fresnel 변환을 사용하는 것이 가장 좋은 압축효율을 보인다는 결론을 얻을 수 있었다. 이 경우 본 논문에서 보인 데이터는 위상 데이터를 압축하지 않은 결과이다. 위상 데이터는 다른 데이터와 특성이 많이 다르기 때문이었는데, 위상 데이터를 압축하는 좋은 방법이 여기에 포함된다면 훨씬 좋은 효율의 압축방법을 얻을 수 있으리라 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2012-2012S1A5A2A03034349)

#### 참고문헌

[1] P. Hariharan, "Basics of Holography," Cambridge University Press, May 2002.

- [2] Y.-H. Seo, Y.-H. Lee, J.-S. Yoo and D.-W. Kim, "Hardware architecture of high-performance digital hologram generator on the basis of a pixel-by-pixel calculation scheme", APPLIED OPTICS, vol. 51 no. 18, pp. 4003~4012, Jun. 2012.
- [3] Y.-H. Seo, H.-J. Choi, J.-S. Yoo, G.-S. Lee, C.-H. Kim, S.-H. Lee, S.-H. Lee and D.-Y. Kim, "Digital hologram compression technique by eliminating spatial correlations based on MCTF", Optics Communications, vol.238, pp.4261-4270, Jun, 2010.
- [4] Y.-H. Seo, H.-J. Choi and D.-W. Kim, "3D Scanning based Compression Technique for Digital Hologram Video", Image Communication, Feb. 2007.
- [5] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264/AVC ISO/IEC 14496-10 AVC), Joint Video Team(JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-G050, 2003.
- [6] Stephen A. Benton and A. Michael Bove Jr., Holographic Imaging, John Wiley & Sons, 2008.
- [7] <http://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-h/high-efficiency-video-coding>