

디지털 홀로그램 압축으로 인한 수치 복원 영상의 화질 열화 분석

서주연, 고현석*

한양대학교 전자공학과

hyeseo@hanyang.ac.kr, *hyunsuk@hanyang.ac.kr

Analysis of Visual Quality Degradation of Numerical Reconstructions Caused by Digital Hologram Compression

Juyeon Seo, Hyunsuk Ko*

Department of Electrical and Electronic Engineering
Hanyang Univ.

요약

실제와 같이 물체를 3차원으로 재현해낼 수 있는 디지털 홀로그램 기술은 일반 2차원 영상보다 실감나는 시청 경험을 제공한다. 구체적으로, 빛의 간섭 패턴을 저장하고 있는 홀로그램 데이터를 생성 후 빛 전파 모델을 통해 수치적으로 입체 영상을 복원해낼 수 있다. 홀로그램은 매우 큰 데이터량을 갖기 때문에 이를 효과적으로 압축하기 위한 다양한 연구들이 진행 중이다. 이때, 압축된 홀로그램으로부터 수치 복원된 영상에서 발생하는 화질 열화는 일반적인 압축 열화와 비교 시 차이가 있다. 본 논문에서는 HEVC-Intra와 Interfere 부호화기로 압축된 홀로그램의 수치 복원 이미지에서 발생하는 화질 열화의 특징을 분석한다.

I. 서론

홀로그램은 물체광과 참조광 사이의 간섭 패턴이 기록된 매개체이며, 동일 참조광 투영을 통해 공간상의 입체 영상을 재현할 수 있다 [1]. 이때, 충분한 시야각의 복원 영상 제공을 위해 작은 픽셀 피치(pixel pitch)의 홀로그램 생성이 요구되고, 결과적으로 초고해상도의 홀로그램 이미지 생성이 필요하다. 뿐만 아니라, 실수부와 허수부로 이루어진 복소 홀로그램의 경우에는 복원을 위해 두 장의 이미지가 필요하다. 따라서 홀로그램의 데이터량은 일반적인 자연 영상에 비해 초고용량을 가지며, 따라서 홀로그램의 상용화를 위해서는 홀로그램 데이터의 효율적인 압축 기술 개발이 필수적이다. 압축된 홀로그램에 각 스펙트럼(Angular Spectrum), 프레넬(Fresnel) 등의 빛 전파 모델을 적용하여 3차원 영상을 수치적으로 복원이 가능하며 [2], 화질 평가 측면에서는 렌더링된 복원 영상의 화질이 압축된 홀로그램의 열화보다 중요하다 할 수 있다. 본 논문에서는 HEVC-Intra [3]와 Interfere [4]를 사용하여 복소 홀로그램을 압축하고, 복호화된 홀로그램에 대한 수치 복원 이미지에서 발생하는 화질 열화의 특징을 분석한다.

II. 복소 홀로그램 데이터셋

디지털 홀로그램 부호화 표준화를 진행하고 있는 JPEG Pleno Holography에서는 공통 실험 조건(Common Test Conditions; CTC) [5]과 함께 다양한 홀로그램 데이터셋을 제공하고 있다 [6]. 본 논문에서는 CTC에서 주관적 평가를 위해 선정한 2개의 컬러 컴퓨터 생성 홀로그램(Computer Generated Hologram; CGH)에 대해, 압축 후 화질 결과를 분석한다. 구체적으로, Interfere-III [7]에서 제공하고 있는 Biplane16k-ETRO와 b<>com [8]의 DeepDices2k를 사용하였다.

III. 실험 구성 및 결과 분석

동영상 압축 표준인 HEVC와 홀로그램을 대상으로 개발된 Interfere 부호화기를 사용하여 복소 홀로그램을 압축하고, 복호화된 홀로그램 이미지

에 대해 수치 복원을 수행하였다. 다양한 압축 수준에 대한 수치 복원 이미지의 시각 품질을 확인하기 위해 CTC에 따라 0.3, 0.75, 1.5, 3, 6, 12bpp (bits per pixel)의 총 6가지 타겟 비트율(target bitrate)로 압축을 수행하였다. 수치 복원 이미지 생성은 JPEG Pleno Holography에서 제공하는 소프트웨어인 NRS (Numerical Reconstruction Software for Hologram) [9]를 사용하였으며, CTC에서 지정하고 있는 복원 거리(reconstruction distance)와 합성 개구(synthetic aperture) 위치(h_pos, v_pos)에서 복원을 수행하였다.

그림 1과 그림 2는 각 테스트 홀로그램에 대해 압축 정도에 따른 수치 복원 이미지를 보여준다. 구체적으로, 각 그림 하단의 값은 수치 복원 시 사용된 홀로그램의 bpp와 원본 수치 복원 이미지와 복호화된 홀로그램을 사용하여 얻은 수치 복원 이미지 사이의 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)을 의미한다. 그 결과, 자연 영상을 압축 후 복호화 시 일반적으로 관찰 가능한 블록화(blockiness) 또는 링잉(ringing)과 같은 압축 열화와 다른 형태의 압축 열화가 두드러지는 것을 확인할 수 있다. 우선, 압축률이 높을수록 수치 복원 이미지의 전체적인 밝기가 감소하여 어둡게 복원되는 것을 확인할 수 있다. 특히 그림 1에서는 물체 내 윤곽 정보를 알아볼 수 없을 정도로 어둡게 복원된 것을 볼 수 있다. 또한, 그림 2와 같이 배경 영역에서 원본 이미지에서는 볼 수 없었던 잔상 이미지나 색상 왜곡이 발생하였다. 이러한 왜곡들은 특정 코텍이나 홀로그램에서만 발생하는 것이 아니며, 광학적 원리에 기반한 빛 전파 모델을 통해 압축된 홀로그램으로부터 공간 상의 영상을 복원할 때 발생하는 렌더링 왜곡(rendering distortion)이라 할 수 있다. 이러한 왜곡 원인 분석에 관한 연구는 아직 초기 단계에 있으며, 수치 복원의 주관적 화질 향상을 위해 심도 있는 연구가 필요한 분야이다. 또 다른 왜곡 특성으로, 객관적 화질 지표의 차이가 존재하는 경우에도 주관적 화질 차이를 크게 느끼기 어렵다. 예를 들어, 그림 1의 가장 마지막 열에 위치한 이미지를 비교해보면 HEVC-Intra는 27.82dB, Interfere는 35.81dB로 8dB에 가까운 객관적 화질 차이가 있으나 주관적 화질에서는 큰 차이가 존재하지 않는다. 이는 홀로그램 내 존재하는 반점 잡음(speckle noise)에 의한 것이라고 볼 수 있다. PSNR은

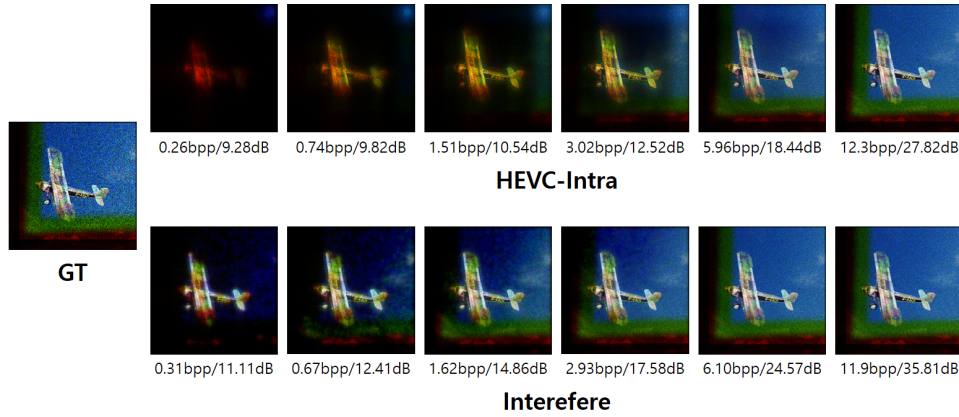


Fig 1. Numerical Reconstructions of Biplane16k-ETRO (reconstruction distance=0.0455, $h_pos=1$, $v_pos=1$), where GT means the ground truth hologram.

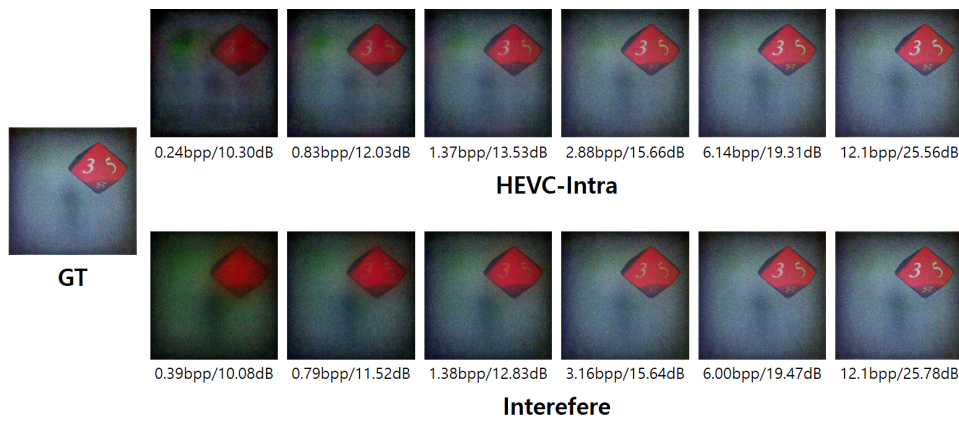


Fig 2. Numerical Reconstructions of DeepDices2k (reconstruction distance=0.0867, $h_pos=0$, $v_pos=0$), where GT means the ground truth hologram.

화소 단위로 동일 가중치의 계산이 이루어지기 때문에 반점 잡음을 일일이 고려하여 평가하게 되지만, 주관적 화질을 평가할 때는 인지 시각에 의해 반점 잡음이 차폐(masking)되고 이미지의 구조 정보를 우선하여 고려하기 때문이다. 따라서, 일반적으로 사람이 느끼는 인지 화질과 유사한 경향성을 보인다고 알려진 PSNR이 홀로그래프의 경우에는 신뢰 가능한 화질 측정 지표로 보기 어려움을 뜻하며 더 나은 화질 지표 개발의 필요성을 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 복소 홀로그래프를 HEVC-Intra와 Interfere 부호화기로 압축 후, 수치 복원 이미지에서 발생하는 화질 열화의 특징을 분석하였다. 수치 복원 이미지에서는 밝기 감소, 잔상 복원과 같은 화질 열화가 나타나는 것을 볼 수 있었으며, 이러한 화질 열화는 일반 영상에서 발생하는 왜곡들과는 확연히 차이가 있다. 향후, 홀로그래프 압축 왜곡과 수치 복원 이미지의 화질 사이의 상관 관계에 대한 연구 및 이러한 특성을 고려한 화질 평가 지표 개발이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] D. Gabor, "A new microscopic principle," *Nature*, vol. 161, pp. 777-778, 1948.
- [2] U. Schnars and W. P. O. Jüptner, "Digital recording and numerical reconstruction of holograms," *Measurement Science and*

Technology, vol. 13, R85, 2002.

- [3] G. J. Sullivan, J. R. Ohm, W. J. Han and T. Wiegand, "Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, pp. 1649-1668, 2012.
- [4] R. K. Muhamad, T. Birnbaum, D. Blinder, C. Schretter and P. Schelkens, "INTERFERE: A Unified Compression Framework for Digital Holography," *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging*, Th4A-2, 2022.
- [5] R. Kizhakkumkara, A. Ahar, T. Birnbaum, A. Gilles, S. Mahmoudpour, T. Naughton and P. Schelkens, "Common Test Conditions 7.0 for JPEG Pleno Holography," 95th JPEG Meeting, Online, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N100195, 2022.
- [6] "JPEG Pleno Database," <https://plenodb.jpeg.org/>
- [7] A. Symeonidou, D. Blinder and P. Schelkens, "Colour computer-generated holography for point clouds utilizing the Phong illumination model," *Optics Express*, vol. 26, pp. 10282-10298, 2018.
- [8] A. Gilles, P. Gioia, R. Cozot and L. Morin, "Hybrid approach for fast occlusion processing in computer-generated hologram calculation," *Applied Optics*, vol. 55, pp. 5459-5470, 2016.
- [9] T. Birnbaum, R. Corda, A. Gilles, R. K. Muhamad, C. Perra and P. Schelkens, "Numerical Reconstruction Software for Holography (NRSH) 9.0 User Guide," 96th JPEG Meeting, ISO/IEC JTC1/SC29 WG1 N100273, 2022.