

# 위상 홀로그램 동영상 압축 성능 분석

\*반현민 \*\*고현석 \*\*\*오관정 \*김휘용

\*경희대학교 \*\*한양대학교 \*\*\*한국전자통신연구원

\*{hmban1996, hykim.v}@khu.ac.kr

## Compression Performance Analysis for Phase-Only Hologram Video

\*Hyunmin Ban, \*\*HyunSuk Ko, \*\*\*Kwan-Jung Oh, \*Hui Yong Kim

\*Kyung Hee University \*\*Hanyang University \*\*\* ETRI

### 요약

궁극의 3D 디스플레이 기술이라고 할 수 있는 홀로그램 기술로 실물을 보는 것과 같은 3차원 영상이 가능해 지고 있다. 그러나 디지털 홀로그램 영상의 데이터양은 HD나 UHD 영상의 수십에서 수천 배에 달해 원본 화질의 열화를 최소화 하면서 데이터양을 줄이기 위한 압축 부호화 기술이 매우 중요하다. 본 논문에서는 위상 홀로그램 동영상에 대해 최신 영상 압축 표준인 HEVC(High Efficiency Video Coding)와 VVC(Versatile Video Coding)로 압축한 후 홀로그램 영역과 수치 복원 영역에서 압축 성능을 비교하며, 다양한 실험영상에 대한 HEVC 압축 결과에 대해 객관적 압축성능 분석 및 주관적 성능 분석을 진행한다.

### 1. 서론

디지털 이미지는 빛의 세기만을 기록한다면 홀로그램은 빛의 세기와 위상을 모두 표현하는 방식으로 3차원 공간에 실물을 보는 것과 같은 영상의 재현과 기록이 가능하다. 디지털 홀로그램은 간섭계를 통해 기록되는 방식과 CGH(Computer Generated Hologram) 기술을 이용하여 계산하는 방식이 있다[1]. 이를 공간 광 변조기(SLM: Spatial Light Modulator)를 활용 혹은 수치 복원(Numerical Reconstruction)으로 홀로그램 이미지를 만들어낼 수 있다. 그러나 디지털 홀로그램 영상의 데이터양은 HD나 UHD 영상의 수십에서 수천 배에 달해 원본 화질의 열화를 최소화 하면서 데이터양을 줄이기 위한 압축 부호화 기술이 매우 중요하다.

디지털 홀로그램 영상은 복소 홀로그램으로 표현할 수도 있고 진폭-위상 형태로 표현할 수도 있으나, SLM을 통해 홀로그램을 재현하는 경우에는 위상 홀로그램(POH: Phase-Only Hologram)이 유리하기 때문에 CGH로 홀로그램을 생성할 때 위상 홀로그램 형태로 생성하는 경우가 많다. 본 논문에서는 위상 홀로그램 동영상에 대해 최신 영상 압축 표준인 HEVC(High Efficiency Video Coding)와 VVC(Versatile Video Coding)로 압축한 후 홀로그램 영역과 수치 복원 영역에서 압축 성능을 비교하며, 다양한 실험영상에 대한 HEVC 압축 결과에 대해 객관적 압축성능 분석 및 주관적 성능 분석을 진행한다.

### 2. 실험구성

실험할 CGH 동영상은 그림1과 같이 ETRI로부터 제공 받은 7개의 입력 이미지 시퀀스로부터 생성된 위상 홀로그램 시퀀스로 구성된다. 입

력 이미지 데이터는 1,920x1,080 해상도의 RGBD (RGB + depth) 데이터이며, 이에 대해 layer 기반의 Fresnel CGH 방식을 이용해서 복소 홀로그램을 계산한 후, 위상 데이터만을 뽑아 위상 홀로그램을 만든다. 또한, 홀로그램 생성시에 시간적 상관도를 고려하여 동일한 랜덤 위상을 적용해 33장의 이미지를 생성한다. 픽셀 피치는 8 $\mu$ m이고, R,G,B 파장은 각각 660 nm, 532 nm, 473 nm이다. 수치 복원시에도 동일하게 Fresnel 방식을 이용한다.



그림 1. 7개의 이미지 시퀀스

HEVC에서의 성능 비교를 위해 HM(HEVC Test Model) 16.9 버전[2]을 사용하며 VVC는 VTM(VVC Test Model) 9.1 버전[3]을 사용한다. 데이터셋은 비디오 시퀀스로 임의 접근(Random Access) 모드로 압축을 진행했다. QP(Quantization Parameter)의 크기는 22, 27, 32, 37, 42, 45, 48, 51로 바뀌며 압축/복원 성능을 구했다.

### 3. 성능 척도 (Performance Metric)

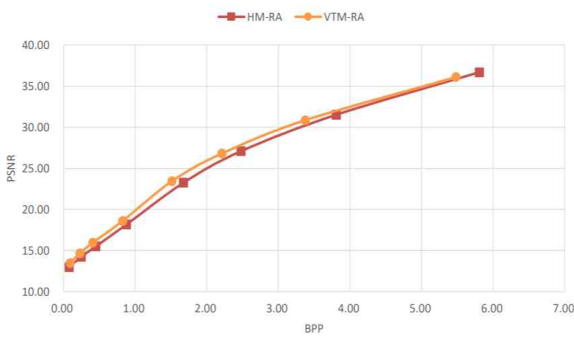


그림 2. HM vs. VTM Phase-Only Hologram PSNR curve

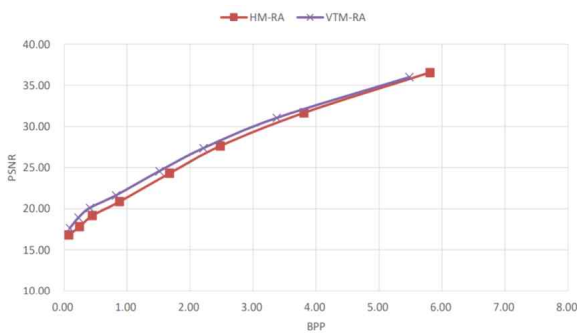


그림 3. HM vs. VTM Numerical Reconstruction PSNR curve

홀로그래프 도메인과 수치적 복원 도메인에서는 성능 척도는 PSNR로 계산한다. 홀로그래프 도메인에서는 R,G,B 각 채널에 대한 PSNR을 구한 후 평균으로 한다. 수치적 복원 도메인에서도 R,G,B 채널에 대한 PSNR을 계산하지만 3개의 뎀스(depth) 정보를 포함한 홀로그래프가 생성되기 때문에 각 뎀스에 대한 평균 PSNR로 최종적으로 성능을 구한다. 압축 성능 척도로는 BPP(Bits per Pixel)를 사용했으며 (압축된 전체 비트 수)/(전체 화소수)로 계산되며, 전체 화소수는 (해상도)x(채널 수)x(프레임 수)로 계산한다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 HEVC vs. VVC의 객관적 압축성능 분석

HM과 VTM에서의 홀로그래프 도메인과 복원 도메인에서 PSNR curve를 각각 그림2, 그림3으로 결과를 구했다. 그림2 홀로그래프 도메인에서 HM 대비 VTM의 BD-rate 증가량은 -11.15%이며 그림3 복원 도메인에서는 BD-rate 증가량이 -16.15%로 나왔다. 자연 영상에서 HM 16.20 대비 VTM 9.0의 BD-rate 증가량이 대략 -40%임[4]을 고려하면 홀로그래프의 경우 HM과 VTM에서의 압축률 격차가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

### 4.2 HM 기반의 POH 압축성능 분석

앞선 실험을 통해 홀로그래프 압축성능에 있어서 HM과 VTM의 성능 차이가 비교적 작다는 것을 고려하여 성능 실험을 HM 16.20 버전[2]으로 진행하였다. 앞선 실험과 또 다른 점으로 GOP(Group of Pictures) 크기를 8에서 16으로 늘려 압축성능을 높였다. 그리고 실험할 QP를 32,

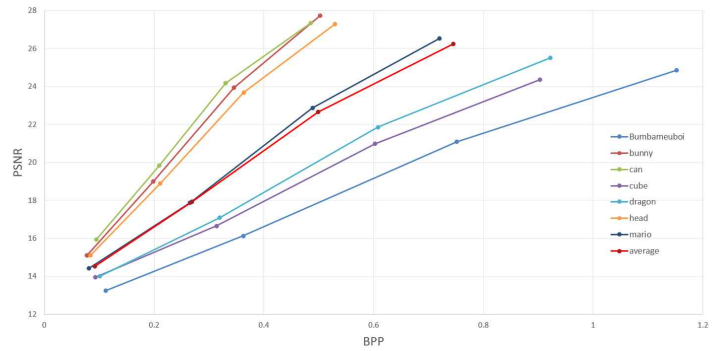


그림 4. Phase-Only Hologram PSNR curve

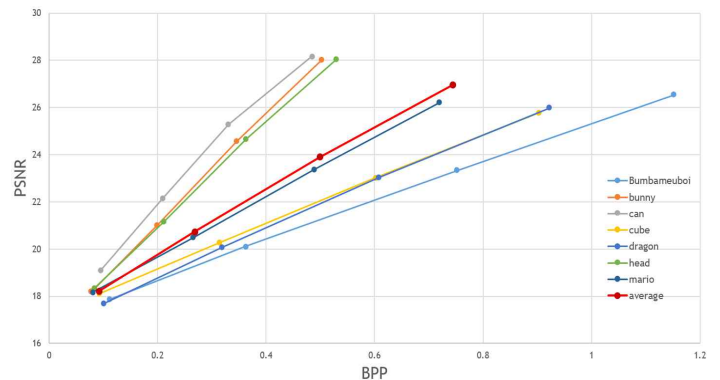


그림 5. Numerical Reconstruction PSNR curve

37, 42, 47로 4개를 정했다. 그림4, 5는 각각 홀로그래프 도메인과 복원 도메인에서 각 시퀀스별로 성능을 나타내며 시퀀스에 따라 성능의 차이가 있다는 것을 보여준다. Bumbameuboi와 같이 복잡한 컬러 영상은 압축률이 낮은 것에 비해 Can 혹은 Bunny와 같이 단순하거나 단색 영상 같은 경우에는 압축성능이 높다.

### 4.3 주관적 성능 분석

그림4와 그림5의 결과에서 가장 압축성능이 낮은 Bumbameuboi 시퀀스의 주관적 화질을 분석해 보았다. 그림 6은 QP37과 QP42로 각각 압축한 경우에 대한 첫 번째 프레임(인트라프레임)과 12번째 프레임(인터프레임)의 수치복원 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯 인트라 프레임은 QP37과 QP42에서 모두 비교적 선명하게 복원이 되었으나, 인터프레임에서는 전반적으로 밝기가 어두워지는 현상과 고스트(ghost)가 겹쳐 보이는 현상이 나타났다. 이러한 화질 열화는 QP37보다 QP42에서 더욱 심하게 발생한다. 예를 들어, QP37의 인터프레임에서는 비교적 움직임이 큰 뿔 부위에서만 고스트 현상이 나타났지만 나지만, QP42의 인터프레임에서는 몸통에서도 고스트가 발생하여 겹쳐짐으로써 영상이 불러뒀을 관찰할 수 있었다. HEVC CTC(공통실협조건)의 RA(임의접근) 설정에서는 인터프레임의 QP가 인트라프레임 보다 높음을 감안하면, 결국 QP가 높아질수록 어두워지는 현상과 고스트 현상이 더 많이 발생하는 것으로 볼 수 있다.

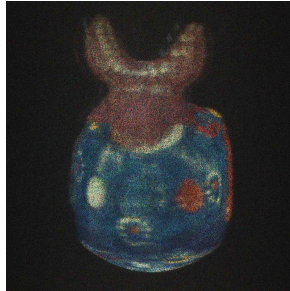
## 5. 결론 및 향후과제

HEVC와 VVC를 이용하여 위상 홀로그래프를 압축/복원해 결과,

HEVC와 VVC의 성능 차이가 자연영상 압축에 비해 많이 줄어들어 알 수 있었다. 위상 홀로그램을 HEVC로 압축/복원한 결과 자연영상과는 달리 밝기가 어두워지는 현상과 고스트 현상이 발생하였으며, 이러한 화질 열화는 QP가 높을수록 그리고 인터프레임에서 인트라프레임보다 두드러지게 발생하였다. 따라서 앞으로 이러한 형태의 위상홀로그램 특유의 화질 열화를 해결하는 방안에 대한 연구가 필요하다 하겠다.



QP37, Frame #1



QP37, Frame #12



QP42, Frame #1



QP42, Frame #12

그림 6. Bumbameuboi 시퀀스에 대한 압축 결과 비교

## 감사의 글

본 연구는 Giga Korea 사업의 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발 사업[GK20D0100]의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1]. K.-J. Oh, J. Park, Research and Standardization Trends of Digital Hologram Compression, Electronics and telecommunications trends v.34 no.6, 2019.
- [2] [https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn\\_HEVCSoftware/tags/](https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/)
- [3] [https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jvet/VVCSSoftware\\_VTM/-/releases](https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jvet/VVCSSoftware_VTM/-/releases)
- [4] JVET-S0003-v1, July, 2020.