

## Intra 코딩 기반의 위상 홀로그램 압축

\*김진겸 \*\*오관정 \*\*김진웅 \*김동욱 \*서영호

\*광운대학교 \*\*한국전자통신연구원

\*jkkim@kw.ac.kr \*\*kjoh@etri.re.kr \*\*jwkim@etri.re.kr \*jwkim@etri.re.kr

## Intra coding based phase hologram compression

\*Jin-Kyum Kim \*\*Kwan-Jung Oh \*\*Jin-Woong Kim \*Dong-Wook Kim \*Young-Ho Seo

\*Kwangwoon University \*\*ETRI

## 요약

본 논문에서는 Intra 코딩 기반의 위상 홀로그램 압축 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 다음과 같다. 홀로그램을 Intra 코딩의 블록 단위로 세그먼트를 나누는 과정, Intra 코딩의 예측을 고려한 위상 펼침 과정, H.265/HEVC 입력을 고려한 양자화 과정, 마지막으로 H.265/HEVC를 이용한 압축과정으로 구성된다. 제안한 알고리즘은 위상정보에 아무런 전후처리를 하지않고 H.265/HEVC를 압축한 결과보다 100:1 이상의 고압축률 구간에서 압축효율이 향상되었다.

## 1. 서론

홀로그램은 1946년 Dennis Gabor가 발명하였으며 3차원 정보를 기록할 수 있는 장점으로 꾸준히 연구되고 있다. 홀로그램은 참조파(Reference wave)와 객체로부터 반사된 파(Object wave)간 빛의 간섭 현상을 기록한 것이다[1]. 광학적 방법으로 홀로그램을 생성 및 기록하는 것은 정밀한 광학 장치가 필요로 하는 등 많은 어려움이 있다. 홀로그램 생성을 수학적으로 모델링 하여 컴퓨터에서 생성하는 CGH(Computer Generate Hologram)를 많이 사용한다[2].

홀로그램 생성 방법에 따라 특성이 달라진다. 지금까지 전 세계의 연구자들은 각자가 선호하는 형태의 홀로그램을 다루어 정량적 비교가 어려웠다. 정지 홀로그램 데이터에 대한 표준 코덱 개발을 JPEG Pleno에서 진행 중이며 표준화된 데이터를 배포해, 모든 연구자가 동일한 데이터를 사용하도록 하고 있다[3].

높은 품질의 홀로그램을 획득하기 위해서는 SLM(Spatial Light Modulator)의 해상도가 크면서 동시에 픽셀 피치가 작아야 한다. 또한, 홀로그램의 데이터는 완전 복소이며, 각 픽셀의 정보는 부동소수점으로 표현되어 데이터양은 일반 영상과 비교할 수 없을 정도로 크다. 홀로그램 콘텐츠를 서비스하기 위해서는 부호화가 필수적이며, 홀로그램 부호화를 위한 표준화된 데이터에 대한 특성 분석도 이루어졌다[4]. 홀로그램의 부호화는 표준 코덱을 기반으로 하며, 홀로그램 데이터의 전후처리를 통해 표준 코덱의 성능을 높이는 것을 개발 방향으로 한다.

홀로그램의 위상값은 물체의 3D 정보를 가지는 매우 중요한 정보이다. 홀로그램의 위상정보는 복소평면에서 홀로그램의 실수부와 허수부의 각도이며  $-\pi$ 에서  $+\pi$ 의 동적 범위를 가진다. 위상정보는  $-\pi$ 와  $+\pi$  경계에서 불연속성이 나타나 부호화에 용이하지 못하다.

본 논문에서는 Intra 코딩을 기반으로 한 위상 홀로그램을 효율적으

로 부호화하기 위한 방법을 제안한다. JPEG Pleno에서 배포하는 표준화된 데이터를 사용하며, Intra 코딩의 핵심 기술인 예측을 고려해 기본 단위인 CU(Coding Unit)크기 중  $64 \times 64$ 로 세그멘테이션 하고, 각 세그먼트에 위상 펼침을 적용한다. H.265/HEVC로 압축하기 위해 양자화 과정을 거치며, 부호화 및 복호화를 수행한다. 마지막으로, 원본 위상 홀로그램과 복호화된 위상 홀로그램, 원본 복원된 홀로그램과 복호화 및 복원된 홀로그램의 정량적 화질평가를 진행한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 위상펼침기법에 대해 소개하고, 3장에서는 제안하는 위상 홀로그램 부호화 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 위상 펼침

위상은  $-\pi$ 에서  $+\pi$ 의 동적 범위를 가진다. 위상이 물리적으로 연속적으로 부드럽게 증가하거나 감소하여도 위상은  $-\pi$ 와  $+\pi$  경계에서 값이 넘어가 버려 불연속성이 발생한다. 이는 홀로그램에서 2차 위상정보에도 똑같이 발생한다. 위상정보는  $2\pi$ 를 더하거나 빼주어도 원래의 정보를 유지한다. 이 특성을 이용하여 위상 홀로그램을 연속성 있는 데이터로 치환시킨다. 다음 그림 1은 위상 홀로그램에 대해 위상 펼침을 적용한 예시이다.

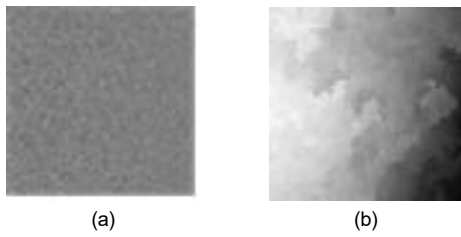


그림 1. 위상 홀로그램에 대한 위상 펼침 (a) 원본 (b) 위상 펼침  
Fig. 1. Phase unwrapping for phase hologram (a) Original (b) Phase unwrapping

### 3. 위상 펼침 기반 부호화 기법

먼저 사용한 데이터에 대해 소개한다. JPEG Pleno의 UBI EmergIMG Hologram Database에서 제공하는 Horse 홀로그램을 사용한다. 해상도는  $972 \times 972$ , 픽셀 피치는  $4.4 \mu m$ , 복원 거리는  $0.14 m$ 이다.

그림 2는 제안하는 위상 펼침 기반 부호화 기법의 순서도이다. 먼저 위상정보를 Intra 코딩의 CU 크기에 맞추어  $64 \times 64$ 로 세그멘테이션한다. 각 세그먼트를 위상펼침한다. 위상 펼침된 세그먼트를 다시 모으고 8 bits로 양자화한 뒤 부호화 및 복호화를 진행한다. 복호화된 8 bits 위상정보를 역 양자화 과정을 거쳐 본래의 동적 범위로 되돌린다.

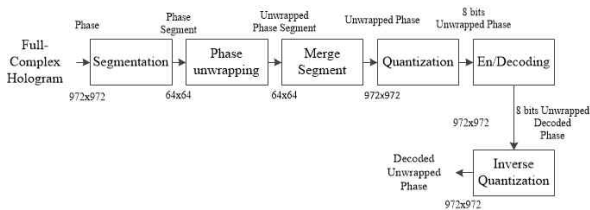


그림 2. 위상 펼침 기반 위상 홀로그램 부호화 및 복호화 순서도  
Fig. 2. Phase unwrapping based phase hologram encoding and decoding flowchart

부호화한 위상정보와 원본 진폭 값을 이용하여 복원된 홀로그램을 얻고, 원본 위상정보와 원본 진폭 값을 이용하여 복원된 홀로그램과 정량적 화질평가를 진행한다.

### 4. 실험 결과

다음 그림 3은 50:1과 100:1 압축률에서 복원된 홀로그램의 PSNR(Peak Signal Noise Ratio)을 비교한 것이다. 50:1 압축률에서 HEVC Intra만 사용할 경우 PSNR 22.30dB, 제안하는 방법은 22.47dB이다. 100:1 압축률에서는 HEVC Intra만 사용할 경우 19.90dB, 제안하는 방법은 20.28dB로 정량적 화질평가에서 개선됨을 알 수 있다.

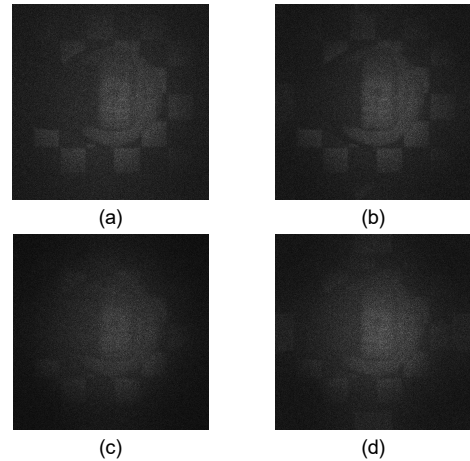


그림 3. 위상 펼침 전후처리 유무에 따른 복호화 및 복원 결과 (a) 50:1 HEVC Intra 22.47dB (b) 50:1 제안하는 방법 22.30dB (c) 100:1 HEVC Intra 19.90dB (d) 100:1 제안하는 방법 20.28dB  
Fig. 2. Decoding and Reconstruction results with and without phase unwrapping (a) 50:1 HEVC Intra 22.47dB (b) 50:1 Ours 22.30dB (c) 100:1 HEVC Intra 19.90dB (d) 100:1 Ours 20.28dB

### 5. 결론

본 논문에서는 위상 펼침 기반의 위상 홀로그램 압축 기법에 대해 제안하였다. 위상정보는 공간적 상관도가 없어 표준코덱을 이용한 부호화가 어렵다. 위상정보가  $2\pi$  단위로 펼쳐 값이 더해지거나 빼져도 본래의 값을 잃어버리지 않는 특성을 이용해 공간적 상관도를 확보하였고, 고압축률로 갈수록 효율이 증대함을 확인할 수 있었다.

### Acknowledgement

This study was conducted with the support of the digital holographic tabletop terminal technology development project [GK19D0100] of the Giga Korea project.

### References

- [1] Dennis Gabor, "A new microscopic principle", Nature, 161, pp. 777-778, 1948.
- [2] W. Osten, A. Faridian, P. Gao, K. Körner, D. Naik, G. Pedrini, Al. Kumar Singh, M. Takeda, and M. Wilke, "Recent advances in digital holography [Invited]," Appl. Opt. 53, G44-G63, 2014.
- [3] JPEG Pleno <https://jpeg.org/jpegpleno/>
- [4] J. K. Kim, K. J. Kim, W. S. Kim, Y. H. Lee, K. J. Oh, J. W. Kim, D. W. Kim, Y. H. Seo, "디지털 홀로그램의 압축을 위한 특성 분석" 방송공학회논문지 제 24권 제1호, 2019년 1월 (JBE Vol. 24, No. 1, January 2019)