

위상 펼침 기법을 이용한 위상 홀로그램 압축

*김진겸 *김경진 **오관정 **김진웅 *김동욱 *서영호

*광운대학교, **한국전자통신연구원

*jkim@kw.ac.kr *kjkim@kw.ac.kr **jkoh@etri.re.kr **jwkimm@etri.re.kr *dwkim@kw.ac.kr
*yhseo@kw.ac.kr

Phase Hologram Compression Using Phase Unwrapping Techniques

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

*Kwangwoon University, Electrics and Telecommunications Research Institute

요약

홀로그램을 재생하기 위한 SLM(Spatial Light Modulator)에서 홀로그램의 실수 정보 혹은 위상 정보를 사용한다. 본 논문에서는 홀로그램의 위상 정보를 효율적으로 압축하기 위한 방식을 제안한다. 홀로그램 압축 표준 코덱 개발에서는 표준 코덱을 기점으로 전후처리를 이용하여 압축효율의 개선 시키는 연구를 진행 중이다. 위상 정보는 $-\pi$ 에서 $+\pi$ 의 제한된 동적 범위를 가진다. 이는 위상 정보 사이의 공간적인 상관도를 낮추며 압축효율을 크게 떨어뜨리는 요인이 된다. 위상 펼침 기법을 이용하여 위상 정보 간의 공간적인 상관도를 확보한다. 공간적인 상관도가 확보된 위상 정보에 JPEG2000 표준 코덱의 입력을 고려하여 양자화한 뒤 압축 후 복원하고 효율을 분석한다.

1. 서론

홀로그래피는 3차원 정보를 기록할 수 있는 특징으로 인해 많은 연구와 개발이 이루어지고 있다[1]. JPEG Pleno에서는 정지 홀로그램 압축에 대한 표준화를 진행하고 있다. 표준화를 위해 다양한 방법으로 생성한 홀로그램의 표준 데이터를 제공하여 모든 연구자가 동일한 데이터를 사용하도록 유도하고 있다[2].

홀로그램을 출력하는 장치인 SLM(Spatial Light Modulator)은 홀로그램의 위상 정보 혹은 실수 정보를 이용하여 홀로그램을 출력한다. 위상 홀로그램을 처리하는 다양한 기술 개발이 필요하다. CGH(Computer Generated Hologram)를 할 때 홀로그램의 시각화 개선을 위하여 임의로 위상 정보에 무작위 위상 정보를 추가한다[3]. 홀로그램의 스펙클 노이즈에 랜덤한 위상 정보까지 더해져 홀로그램의 위상 정보는 공간적인 상관도가 매우 좋지 않다. 의료 영상 등에 사용하는 위상 펼침 기법을 이용하여 홀로그램의 공간적인 상관도를 개선하여 압축 성능을 높이고자 한다[4, 5].

홀로그램을 압축 코덱의 개발은 표준 코덱을 기점으로 전후처리 과정을 통해 표준 코덱의 압축효율을 개선하는 것에 있다. 본 논문에서는 위상 홀로그램을 효율적으로 압축하기 위해 위상 펼침 기법을 이용한다. 1장에서는 위상 펼침 기법을 소개한다. 2장에서는 제안하는 압축 코덱을 소개한다. 3장에서는 제안한 코덱을 통해 다양한 방법으로 생성된 홀로그램의 위상 정보를 압축하고 압축률 대비 정량적 화질평가로 비교한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 위상 펼침

$-\pi$ 에서 $+\pi$ 로 제한된 동적 범위를 가진 위상 정보는 불연속성을 가진다. 위상 펼침 기법은 위상의 각도의 범위가 한정되어 있지 않으므로 불연속성이 나타나지 않는다. 다음 그림 1은 위상 펼침이 적용되기 전과 후의 홀로그램 위상 정보이다. 불연속성이 있는 위상 정보는 위상 펼침 이후 연속성이 있는 정보로 변환된다. 위상 정보는 2π 의 배수로써 표현되며 다시 제한된 동적 범위로 변환시키면 기존의 위상값으로 돌아간다.

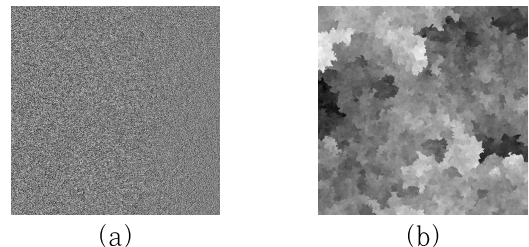


그림 1. 위상 펼침 전후 홀로그램 위상 정보 (a) 원본 위상 (b) 위상 펼침 후 위상

Fig 1. Phase Hologram Information before and after Phase Unwrapping (a) Original Phase (b) Unwrapping Phase

2. 위상 펼침 기반의 압축코덱

다음 그림 2는 위상 펼침 기반의 압축 코덱이다. 위상 펼침 기법을 이용하여 위상 정보의 공간적 상관도를 확보한다. 위상 펼침은 표준 코덱의 입력 방식을 고려하여 $2\sim 32\pi$ 까지 제한된 동적 범위를 갖게 한다. 이후 JPEG2000 표준 코덱의 입력 방식인 8 비트 영상으로 양자화를 진행한다. 양자화된 영상을 압축 및 복원한다. 역 양자화, | \downarrow |를 진행하여 위상 펼침 된 동적 범위로 복원한 뒤 본래의 제한된 동적 범위의 위상으로 되돌린다.



그림 2. 제안하는 위상 펼침 기반의 압축 코덱
Fig 2. Proposed Compression Codec Using Phase Unwrapping Techniques

3. 실험 결과

다음 그림 3은 각각 2π , 8π , 32π 의 동적 범위를 갖는 위상 펼침 영상이다. 2π 의 동적 범위를 가지는 원본 위상 정보보다 공간적 상관도가 증가함을 알 수 있다.

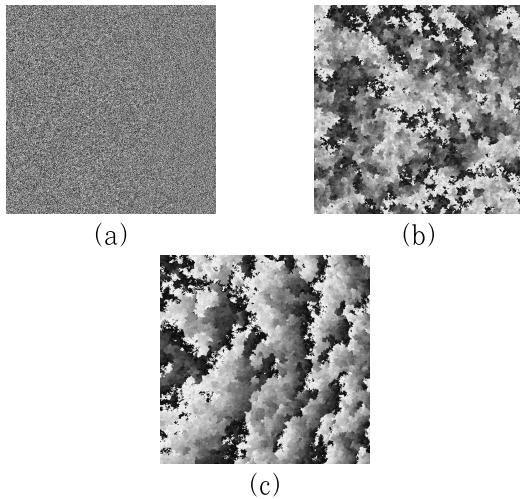


그림 3. 표준 코덱의 입력을 고려하여 위상 펼침 범위를 조절한 위상 정보 (a) 2π , (b) 8π , (c) 32π
Fig 3. Phase Information with Phase Unwrapping (a) 2π , (b) 8π , (c) 32π

다음 그림 4는 제안한 압축 코덱으로 JPEG Pleno에서 제공하는 Horse 홀로그램을 압축하고 복원한 결과이다. PSNR 측정은 복원 영역에서의 홀로그램과 원본 복원 영역 홀로그램간의 비교이다. 0.6 BPP 구간에서 32π 까지 위상 펼침한 결과가 원본 위상 정보를 이용한 2π 에 비해 4 dB 증가하였다.

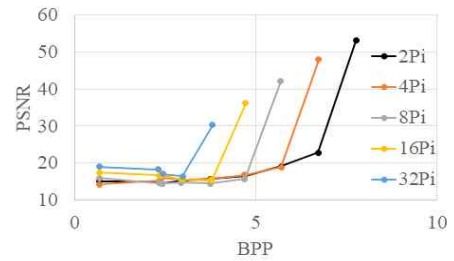


그림 4. 위상 펼침 동적 범위 조절에 따른 결과
Fig 4. Results of Phase Unwrapping Dynamic Range Adjustment

3. 결론

본 논문에서는 위상 펼침 기법을 이용하여 홀로그램의 위상 정보를 효율적으로 압축하는 방식을 제안하였다. 위상 펼침으로 인해 위상 정보의 공간적 상관도가 증가하여 표준 코덱의 성능이 증가하였다. 표준 코덱의 입력을 고려하여 원본 2π 동적 범위를 갖는 위상 정보를 양자화하면 256단계의 위상 정보를 표현할 수 있다. 반면 위상 펼침으로 인해 32π 의 동적 범위를 갖는 경우 16단계의 위상 정보만을 표현하여 양자화 오차가 매우 증가한다. 따라서 적절한 위상 펼침 동적 범위를 정해야 한다. 위상 정보를 처리하는 방법은 많은 어려움이 따른다. 따라서 제안한 위상 펼침 기법은 디지털 홀로그램의 위상 정보 신호처리 분야에서 다양한 방식으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 Giga Korea 사업의 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발 사업[GK19D0100]의 지원에 의해 수행되었습니다. 본 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2018RID1A1B07043220)

4. 참고 문헌

[1] Dennis Gabor, "A new microscopic principle", Nature, 161, pp. 777 - 778, 1948
 [2] JPEG Pleno <https://jpeg.org/jpegpleno/>
 [3] T. Shimobaba, T. Ito "Random phase-free computer-generated hologram", Optics Express, Vol. 23, Issue 7, pp. 9549-9554 (2015)
 [4] M. A. Herraez, D. R. Burton, M. J. Lalor, and M. A. Gdeisat, "Fast two-dimensional phase-unwrapping algorithm based on sorting by reliability following a noncontinuous path", Applied Optics, Vol. 41, Issue 35, pp. 7437-7444 (2002).
 [5] M. F. Kasim, "Fast 2D phase unwrapping implementation in MATLAB",