

Quad-tree Fresnelet 변환을 이용한 디지털 홀로그램 데이터 압축 기법

양예진, 이윤혁, *서영호, *김동욱
 광운대학교

dpwls0422@kw.ac.kr , winner9100@ kw.ac.kr , yhseo@kw.ac.kr, dwkim@kw.ac.kr

Digital Hologram Data Compression Scheme using Quad-tree Fresnelet Transform

Yejin Yang, Yoonhyuck Lee, *Youngho Seo, *Dongwook Kim
 Kwangwoon University

요 약

본 논문에서는 디지털 홀로그램 영상 데이터를 Fresnelet 변환을 이용하여 압축하는 기법을 다룬다. 이 방법은 quad-tree 기반 Fresnelet 변환을 통해 주파수 영역의 부대역으로 나누고, 각 부대역의 에너지에 따라 일정 순서의 부대역을 제거한 후, 나머지 부대역들을 2 차원 동영상 압축기로 압축하는 방식이다. 압축기는 H.264/AVC 와 HEVC 사용되며, 실험결과를 압축기를 거치지 않고 특정 부대역의 에너지를 제거한 영상과 원본과의 화질을 비교하고, 제거되는 않은 영역들을 압축한 결과 압축률에 따른 화질을 비교, 분석한다.

1. 서론

최근 3D 영상의 발전에 따라 홀로그램 기술이 각광받고 있어서 영화에서 볼 수 있는 홀로그램 기술을 현실화시킬 수 있을 것으로 기대된다. 홀로그래픽 기술은 완벽한 3D 영상기술이므로 다양한 응용분야에서 활용이 가능할 것이다. 이를 위해서 서비스 환경에 적응적인 홀로그래피 비디오 코딩 기술과 디지털 홀로그램 데이터 압축방법에 대한 연구가 부각되고 있다[1] [2].

본 논문에서는 홀로그램 영상을 Fresnelet 변환을 이용해 주파수영역에서 각각의 부대역의 주파수 특성에 따라 분할한 후, 부대역마다 평균에너지를 환산하여 압축영역을 결정하게 되고, 그 부대역들의 데이터를 압축하는 방법을 제안한다. 또한 원본영상과 에너지를 제거한 영상을 비교하여 에너지 제거에 따른 변화를 분석하고, Fresnelet 부대역들을 스퀴스모 하하여 2 차원 동영상 압축기로 압축한 결과를 비교/분석한다.

$$g(s) = Ff(x), F = \frac{\Delta s}{\sqrt{\lambda z}} U W V \quad (1)$$

$$U = \text{diag}[u_x]u_x = \exp\left[\frac{j\pi}{\lambda z}(x\Delta x)^2\right]$$

$$V = \text{diag}[v_s]v_s = \exp\left[\frac{j\pi}{\lambda z}(s\Delta s)^2\right]$$

$$W = [w_{xs}]w_{xs} = \exp\left[-\frac{j2\pi}{\lambda z}(x\Delta x)(s\Delta s)\right]$$

식 1 의 Fresnel 변환 필터 F 를 식 2 와 같이 저대역 필터 F_0 와 고대역 필터 F_1 를 만들어 Fresnelet 변환을 할 수 있다.

$$F_0 = \frac{\Delta s}{\sqrt{\lambda z}} L U W V, F_1 = \frac{\Delta s}{\sqrt{\lambda z}} H U W V \quad (2)$$

$$F_0^* = \frac{\Delta x}{\sqrt{\lambda z}} V^* W^* U^* L^*, F_1^* = \frac{\Delta x}{\sqrt{\lambda z}} V^* W^* U^* H^* \quad (3)$$

식 2, 3 의 L 은 Wavelet 변환의 저대역 필터, H 는 Wavelet 변환의 고대역 필터이다.

2. Fresnelet 변환

Fresnelet 변환은 디지털 홀로그램을 회절시키는 Frensel 변환과 Wavelet 변환을 이용하여 만들어 진다. 아래의 식 1 은 입력으로부터의 거리 z 에 있는 평면에 디지털 홀로그램의 회절 현상 F 를 나타내었다. 여기서, $f(x)$ 는 입력이고 $g(s)$ 는 출력이다. λ 는 광원의 파장이고 Δx 는 입력 화소 크기, Δs 는 출력 화소 크기이다[3].

3. 디지털 홀로그램 압축

그림 1 은 Fresnelet transform 을 이용해 주파수 영역에서의 각 부대역의 특성을 파악하고 에너지 크기에 따른 홀로그램 압축과정을 보이고 있다[4]. 홀로그램 영상을 사용해 Fresnelet 변환에서 각각 주파수의 특성에 따라 부대역을 설정한 후, 에너지 크기 순으로 나열(Energy

ordering)한 다음 압축할 영역을 결정(Determine subbands to be compression)하게 된다. 여기서 결정된 영역만을 대상으로 2 차원 동영상 압축기로 압축(Encoding)한다. 복원 과정은 비트 스트림에 대해 2 차원 동영상 압축 디코딩(Decoding)을 수행하고, 에너지 크기에 따라 제거된 영역을 0 으로 필링(Zero filling)한다. 그 결과를 inverse Fresnelet 변환을 수행(Inverse Fresnelet Transform)하여 디지털 홀로그래를 복원하고, 영상을 재생하고자 할 때는 그 결과를 Fresnel 변환한다.

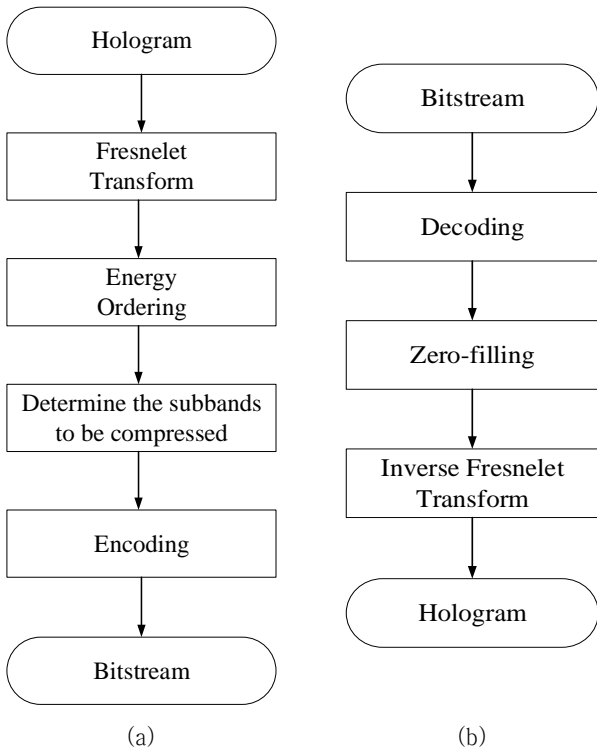


그림 1. 홀로그래 압축 알고리즘: (a) 압축과정, (b) 복원과정

Fresnelet transform 의 구조는 Quad tree 형태를 사용하였다. 그림 2 는 실험에서 사용한 홀로그래의 각 부대역 에너지 순위를 예시로 볼 수 있다. 이 순위를 통해 압축과정의 압축 영역을 결정한 후, 그 영역을 제외한 나머지 영역을 제거한다.

1	4
3	2

(a)

1	14	16	9
13	8	11	4
15	10	12	6
7	3	5	2

(b)

그림 2. 레벨에 따른 에너지 순위 예시; (a) Level 1, (b) Level 2

식 3 은 그림 1 의 과정 중 Energy ordering 에 사용되는 수

식이다.

$$E_{ave}^k = \frac{1}{m+n} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n E_{i,j}^k \quad (3)$$

여기서 m 과 n 은 부대역의 세로와 가로 크기 나타낸다. E_{ave}^k 는 k 번째 부대역의 평균에너지를 나타낸다. 본 논문에서는 E_{ave}^k 가 작은 순서대로 k 부대역을 제거한다. DC 영역은 부대역의 특성을 고려하여 제거대상에서 제외시켰다.

4. 실험 결과

본 논문에서 사용한 복원영상에 대한 parameter 는 표 1 에 나타내었다.

표 1. 실험환경 parameter

Item	Value
Hologram resolution	1024×1024 [pixel ²]
Wavelength	633 [nm]
Pixel pitch	10.4 [μm]
Distance	110 [cm]

그림 1 의 압축 알고리즘 과정 중 Encoding, Decoding 과정을 제거하고 알고리즘을 진행하여 원본영상과 에너지를 손실한 영상과의 PSNR 을 확인하였다[5].

그림 4(a)는 그림 1 과정 중 Determine the subbands to be compressed 과정을 하기 전 영상의 fresnelet 변환 결과이며, 그림 4(b)는 그림 4(a)의 부대역 중 가장 작은 평균에너지를 가지고 있던 부대역(그림 2(a)의 4번 부대역)을 제거한 영상이다.

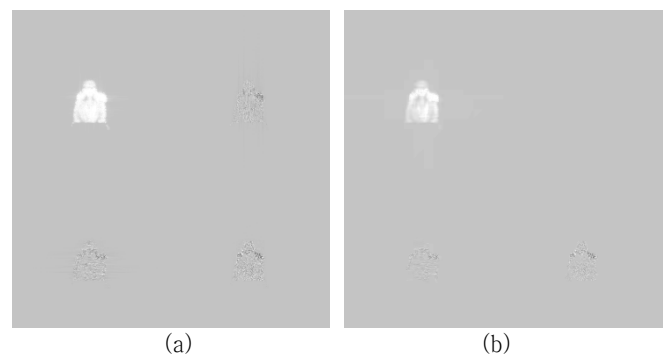


그림 4. Fresnelet 변환 후 level 1 의 4 개의 부대역 영상: (a) 부대역 제거 전, (b)부대역 4를 제거한 후

표 2 는 Determine the subbands to be compressed 과정에서 제거할 영역의 에너지에 따른 압축률과 PSNR 의 변화를 보여준다. Level 1 의 경우 4 개로 나뉘는 부대역 중 1 개인 25% 를 제거하면 그림 3 의 PSNR 은 43.06 [dB]을 가진다.

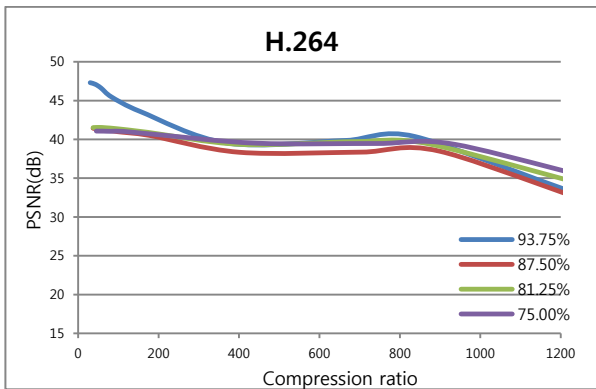
Level 2 의 경우 16 개의 부대역 중 한 구역 6.25%를 제거하면 93.45%의 PSNR 은 48.32[dB], 두 구역(12.50%)을 제거한 87.50%는 47.42[dB], 세 구역(18.75%)을 제거한

81.25%는 44.51[dB], 네 구역(25.00%)을 제거한 75.00%는 42.05[dB]인 것을 보여준다. Level 2 의 경우 제거 영역이 커질수록 PSNR 이 감소하는 결과를 보였다. Level 2 에서 제거하는 구역의 위치는 그림 2(b)의 16, 15, 14, 13 번의 순서이다.

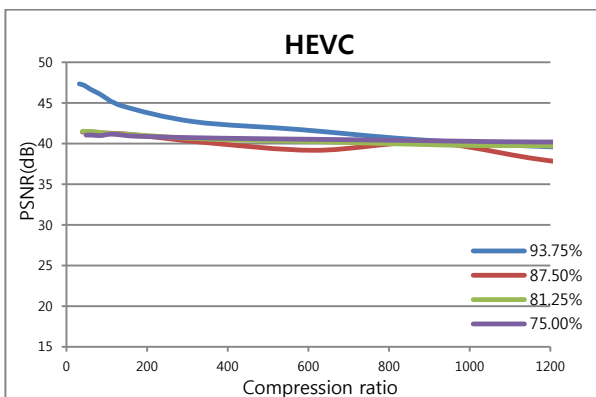
표 2. Level 과 Determine subbands to be compressed 비율에 따른 PSNR(dB)

Level	Ratio of Selection region			
	93.75 %	87.50%	81.25%	75.00%
LEVEL 1	-	-	-	43.06
LEVEL 2	48.32	47.42	44.51	42.05

그림 4 의 그래프는 그림 1 의 압축과정을 (a) H.264/AVC 와 (b) HEVC 를 사용하였을 때 각각의 압축률에 따른 화질을 나타낸다. 화질은 복원한 홀로그래를 Fresnel 변환을 통해 재생한 영상을 대상으로 하였으며, 원영상 대비 PSNR 로 나타내었다. 압축률 0~800 까지 H.264/AVC 와 HEVC 의 PSNR 은 크게 차이가 없지만, 압축률이 800 보다 커질 경우 H.264/AVC 에서는 PSNR 이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있는 반면, HEVC 에서는 H.264/AVC 의 PSNR 보다 떨어지는 경사가 작은 것을 볼 수 있다. 또한 그림 4 의 H.264/AVC 와 HEVC 모두 제거된 부대역의 에너지가 높을수록 PSNR 이 떨어졌지만, 큰 차이를 보이지는 않았다.



(a)



(b)

그림 4. Fresnelet 변환을 사용하여 Determine subbands to be compressed 후, 2 차원 영상화하였을 때 HEVC 와 H.264/AVC 에 의한 amplitude 의 압축률에 따른 재생영상 화질의 PSNR: (a) H.264/AVC, (b) HEVC

5. 결론

위의 실험과정을 통해 에너지의 손실에 따른 원본과 PSNR 을 비교하여 주파수 영역에서 에너지를 제거하는 정도가 얼마만큼의 영향을 끼치는지 확인하였다. 또한 압축기를 거쳐 압축률에 따른 H.264/AVC 와 HEVC 의 성능을 비교, 분석하였다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1]Kuo, Chung J., and Meng Hua Tsai, eds. *Three-Dimensional Holographic Imaging*. Vol. 15. John Wiley & Sons, 2003.
- [2]Motoki, Toshio, Haruo Isono, and Ichiro Yuyama. "Present status of three-dimensional television research." *Proceedings of the IEEE* 83.7 (1995): 1009-1021.
- [3]Koo, Ja-myung, Seo, Young-ho, and Kim, Dong-wook. "Digital Holographic Watermarking using Fresnelet Transform." *The Korea Society of Broadcast Engineers conference (2013)*: 108-110.
- [4]Kimm, Wooyuol, et al. "Digital Hologram Compression Scheme based on Fresnelet Transform." *The Korea Society of Broadcast Engineers conference paper(2013)*: 80-82.
- [5]Seo, Youngho, et al. "A New Coding Technique for Scalable Video Service of Digital Hologram." *The Institute of Electronics and information Engineers* 49.9 (2012): 92-103.