

Fresnelet 변환 기반의 디지털 홀로그램 압축 기법

*김우열 *이윤혁 **서영호 *김동욱

*광운대학교 전자재료공학과, **광운대학교 교양학부

*wykim@kw.ac.kr

Digital Hologram Compression Scheme based on Fresnelet Transform

*Kim, Wooyoul *Lee, Yoonhyuk *Seo, Youngho *Kim, Dongwook

*Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon University,

**College of Liberal Arts, Kwangwoon University

요약

최근 3D의 발전으로 다음 세대의 3D 기술로 디지털 홀로그램을 주목하고 있다. 본 논문에서는 CGH 영상에서 Fresnelet 변환을 통해 주파수 영역에서 각각의 부대역의 특성에 따라 양자화를 다르게 적용하였고, 무손실 부호화인 허프만 코딩을 이용하여 데이터를 압축하는 방법을 제안한다. 실험결과 영상 품질이 다소 열화 되었다는 것을 PSNR 감소를 통해 알 수 있었고, PSNR이 33.5dB인 영상과 원본 영상을 비교하였을 때, 아주 좋은 영상 품질을 갖는 것을 확인 할 수 있었다. 압축률은 PSNR 33.5dB에서 약 50:1의 결과를 보였다.

1. 서론

최근 3D의 발전으로 3D 콘텐츠 및 제품이 개발되고 있다. 따라서 다음 세대의 3D기술 중 완벽한 3D디스플레이인 디지털 홀로그래피에 대하여 많은 연구자 및 정부 관계자들이 주목하고 있다. 하지만 대부분의 연구는 광학 홀로그램의 획득과, 이를 효과적으로 복원하는 기술들에만 국한되어 있었다[1]. 광학 홀로그램은 획득과 전송 등의 많은 문제점 때문에 CCD 카메라로 영상을 획득하거나 컴퓨터에 의해 간섭패턴을 계산하는 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH, Computer Generated Hologram)이 개발 되었다. 디지털 홀로그램(Digital Hologram, DH)과 연관된 영역에서 데이터의 크기는 중요한 이슈 중 하나이다. 따라서 디지털 홀로그램에 대한 데이터 압축 방법은 중요한 연구 분야가 되었다.

디지털 홀로그램을 위한 압축은 미국의 Javidi 교수와 본 연구팀에 의해 이미 연구가 되고 있는 분야이다. Javidi 교수의 연구팀은 홀로그램을 새로운 비-균일 양자화기를 이용하여 양자화를 하고, Lempel-Ziv(LZ77, LZW)[2][3], Huffman[4], Burrows-Wheeler(BW)[5]과 같은 무손실 부호를 이용하여 데이터를 압축하였다[6]. 본 연구팀에서는 홀로그램을 주파수 변환(DCT, Discrete Cosine Transform)하여, 주파수 영역에서의 잔여영상 생성 기법을 적용하여 데이터 압축을 수행한다[7].

본 논문에서는 CGH[8] 영상을 Fresnelet 변환을 이용하여 주파수 영역에서 각각의 부대역(subband)의 특성에 따라 양자화를 다르게 하고, 무손실 부호화인 허프만(Huffman) 코딩을 이용하여 데이터를 압축하는 방법을 제안한다.

2. Fresnelet 변환

Fresnel 변환은 식 1과 같이 입력으로부터 거리 z 에 회절현상을 나타낼 수 있다. $f(x)$ 는 입력이고 $g(s)$ 는 출력이다. λ 는 광원의 파장이고 Δx 와 Δs 는 입력과 출력의 화소의 크기이다.

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

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

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

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

식 1의 Fresnel 변환 필터 F 를 식 2와 같이 각각 저대역 필터(F_0)와 고대역 필터(F_1)를 만들어 Fresnelet 변환을 할 수 있다. 식 3은 역 Fresnelet 변환을 위한 필터이다. L 과 H 는 Wavelet변환의 각각 저대역 필터와 고대역 필터이다. Fresnelet 필터를 이용하여 변환을 하면 Fresnel 도메인으로 출력되므로 1 레벨만 Fresnelet 필터를 이용하고 이후 L 과 H 를 이용하여 Wavelet 변환을 수행한다[9].

$$F_0 = \frac{\Delta s}{\sqrt{\lambda z}} LUWV, \quad F_1 = \frac{\Delta s}{\sqrt{\lambda z}} HUWV \quad (2)$$

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

3. 디지털 홀로그램 압축

본 장에서는 주파수 영역에서의 각 부대역의 특성을 파악하여 디지털 홀로그램의 특성을 효율적으로 표현할 수 있는 부대역의 구조를 탐색하고, 각 부대역의 특성에 따라 양자화를 다르게 하여 최적의 홀로그램 압축 성능을 가질 수 있는 방법을 제안한다. 그림 1은 제안하는 압축과정을 보이고 있다.

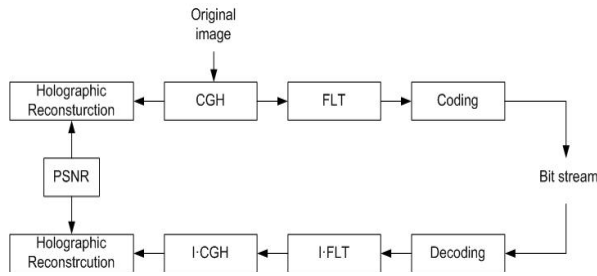


그림 1. 디지털 홀로그램 압축의 전반적인 과정
Fig. 1. Global flow of digital hologram compression

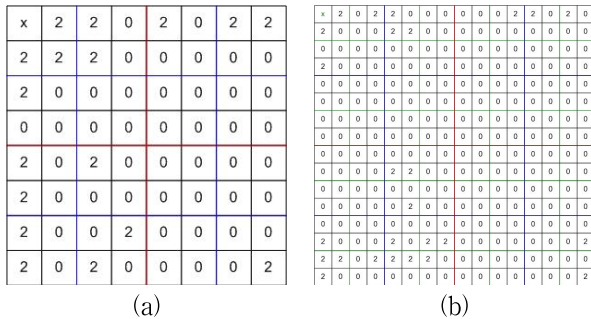


그림 2. 레벨에 따른 양자화 방법; (a) Level3, (b) Level4

Fig. 2. Quantization method according to level; (a) Level3, (b) Level4

프레넬 변환 후 웨이블릿 변환에 대한 구조를 일반적으로 사용하는 Mallat 트리구조 아닌 패킷화 구조의 형태를 사용하였다. 그림 2는 웨이블릿 변환의 레벨에 따른 각 부대역에 할당된 비트수를 보여준다. 각 부대역에 비트수는 실험을 통해 파악한 특성을 고려하여 할당하였다. DC영역은 부대역 특성을 고려하여 양자화를 하지 않았다.

4. 실험 결과

본 논문에서 사용한 디지털 홀로그램에 대한 데이터는 표 1에 나타내었으며, 테스트 홀로그램으로 일반적으로 사용하는 Rabbit의 CGH를 사용하였다.

실험결과는 표 2에 나타내었다. 표 2는 웨이블릿 변환의 레벨에 따른 PSNR과 압축률을 보여준다. 레벨 3에서 PSNR 35.62dB에서 양자화(Quantization, Q)와 호프만 코딩은 각각 약 13:1, 약 1.3:1의 압축

율을 보여 레벨 3에서의 전체적인 압축율은 약 17:1이 된다. 레벨 4에서는 PSNR 33.50dB에서 양자화와 호프만 코딩은 각각 약 34:1, 약 1.5:1의 압축율을 보여 레벨 4에서의 전체적인 압축율은 약 50:1이 된다. 그림 3은 복원된 객체를 보여준다. (a)는 원본 영상이고, (b)와 (c)는 각각 레벨 3, 4에서 압축된 홀로그램을 복원한 객체 영상이다. 그림 3의 (b)와 (c)를 보면 영상 품질이 다소 열화 되었다는 것을 PSNR 감소를 통해 알 수 있다. 그러나 PSNR이 33.50dB인 (c)와 원본 영상 (a)와 비교하였을 때, 아주 좋은 영상 품질을 갖는 것을 확인 할 수 있다.

표 1. 실험환경

Table 1. Experimental condition

Item	value
Hologram resolution[$pixel^2$]	1024×1024
Wavelength[nm]	633
Pixel pitch[μm]	10.4
Reconstruction distance[cm]	110

표 2. 레벨에 따른 PSNR과 압축률

Table 2. PSNR and compression rate on levels

Level	PSNR[dB]	Compression rate		
		Q	Huffman	Total
3	35.62	12.8:1	1.3:1	16.64:1
4	33.50	34.1:1	1.46:1	49.79:1

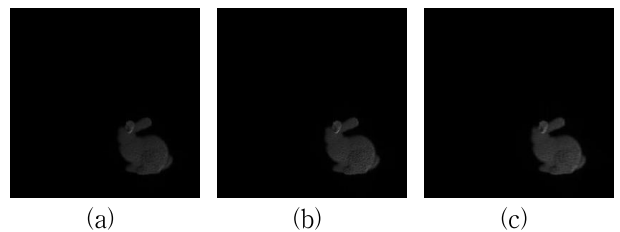


그림 3. 복원된 객체에 대한 PSNR 성능; (a) 원본 영상, (b) 35.62dB (c) 33.50dB

Fig. 3. PSNR performance for reconstructed object; (a) original image, (b) 35.62dB (c) 33.50dB

5. 결론

본 논문에서는 Fresnelet 변환을 이용하여 디지털 홀로그램을 압축하는 방법을 제안하였다. Fresnelet 변환 후 레벨에 따라 각각의 부대역의 특성을 파악하여 양자화를 하였다. 그리고 양자화 된 결과를 이용하여 Huffman 코딩을 이용하여 최종적인 압축율과 PSNR를 이용하여 화질평가를 하였다. 결과 PSNR 33.5dB에서 약 50:1의 압축율을 보였다.

감사의글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0026245).

참고문헌

- [1] P. Hariharan, "Basics of Holography," Cambridge University Press, May 2002.
- [2] J. Ziv and A. Lempel, "A universal algorithm for sequential data compression," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. IT-23, no. 3, pp. 337 - 343, May 1977.
- [3] T. A. Welch, "A technique for high performance data compression," IEEE Computer, vol. 17, no. 6, pp. 8 - 19, Jun. 1984.
- [4] D. A. Huffman, "A method for the construction of minimum redundancy codes," Proc. IRE, vol. 40, pp. 1098 - 1101, Sep. 1952.
- [5] M. Burrows and D. J. Wheeler, "A block-sorting lossless data compression algorithm," Tech. Rep. 124, Digit. Syst. Res. Center, Palo Alto, CA, 1994.
- [6] A. E. Shortt, T. J. Naughton and B. Javidi, "Histogram Approaches for Lossy Compression of Digital Holograms of Three-Dimensional Objects," IEEE Trans. Image Processing, vol. 16, no. 6, pp. 1548-1556, Jun. 2007.
- [7] H.-J. Choi, Y.-J. Bae, Y.-H. Seo, C.-S. Kang and D.-W. Kim, "Compression Method for Digital Hologram using Motion Prediction Method in Frequency-domain," J. Kimics, vol. 14, no. 9, pp. 2091-2098, Sep. 2010.
- [8] Y.-H. Seo, Y.-H. Lee, J.-S. Yoo and D.-W. Kim, "Hardware architecture of high-performance digital hologram generator on the basis of a pixel-by-pixel calculation scheme", APPLIED OPTICS, vol.51 no. 18, pp. 4003~4012, Jun. 2012
- [9] M. Nazeer and D.-G. Kim, "An Efficient Data Hiding Technique in Frequency domain by using Fresnelet basis", WCE 2012, London, U.K, 2012.