

쿼드-트리 프레넬릿 변환 기반의 디지털 홀로그램 압축을 위한 효과적인 양자화 방법

*김우열 *이윤혁 *서영호 *김동욱

*광운대학교

*wykim@kw.ac.kr

Efficient Quantization Method for Digital Hologram Compression based on Quad-tree Fresnelet Transform

*Kim, Woo-Youl *Lee, Yoon-Hyuk *Seo, Young-Ho *Kim, Dong-Wook

*Kwangwoon University

요약

최근 3D의 발전으로 다음 세대의 3D 기술로 디지털 홀로그램을 주목하고 있다. 본 논문에서는 프레넬릿 변환을 이용하여 디지털 홀로그램 압축을 위한 효과적인 양자화 방법에 대하여 제안하였다. 효과적인 양자화 방법을 위해 각각의 부대역의 특성에 고려하여 우선순위를 정하고 양자화를 적용하였다. 또한 PSNR을 높이고자 예외 인덱스를 적용하였다. 그 결과 2dB 정도 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 실험결과에서는 최소 약 6:1부터 최대 약 181:1까지 압축을 수행하였고, PSNR을 이용하여 압축된 영상에 대하여 수치적인 결과를 분석하였다.

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(Charge Coupled Device) 카메라로 영상을 획득하거나 컴퓨터에 의해 간섭패턴을 계산하는 컴퓨터 생성 홀로그램(Computer Generated Hologram, CGH)[2]이 개발 되었다. 디지털 홀로그램(Digital Hologram)과 연관된 영역에서 데이터의 크기는 중요한 이슈 중 하나이다. 따라서 디지털 홀로그램에 대한 데이터 압축 방법은 중요한 연구 분야가 되었다.

본 논문에서는 홀로그램 영상에 대하여 프레넬릿 변환(Fresnelet Transform)[3]을 적용하여 주파수 변환을 하였다. 그리고 각각의 부대역(Subband)의 특성을 고려하여 중요한 부대역에 따라 우선순위를 정한 다음 양자화를 적용하고, 허프만 코딩을 이용하여 부호화 하였다.

2. 제안하는 방법

디지털 홀로그램을 양자화하는 방법은 홀로그램을 획득하는 단계, 프레넬릿 변환을 이용한 주파수 변환을 하는 단계, 양자화를 위한 부대역을 선택하는 단계, 선택된 부대역의 양자화 범위를 설정하는 단계, 마지막으로 부대역을 양자화하고 부호화하는 단계로 구성되어 있다. 본 장에서는 양자화를 위한 부대역을 선택하는 방법, 선택된 부대역의 양자화 범위 설정과 부대역을 양자화 하는 방법에 대하여 소개한다. 그림 1은 제안하는 양자화 과정을 보여준다.

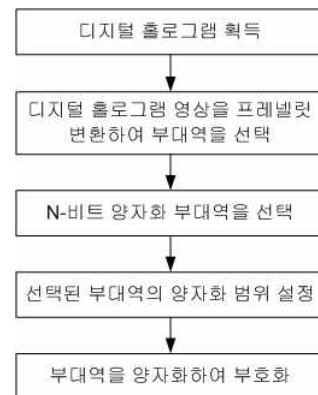


그림 1. 제안하는 양자화 과정

2.1 부대역 선택

디지털 홀로그램을 프레넬릿 변환 후 각 부대역에 대하여 양자화를 하기 위해서 그림 2의 실험결과를 통하여 각 부대역의 중요도에 대한 우선순위를 결정하였다. 이를 위해, 먼저, 각 부대역의 중요도를 0-비트 양자화에 의해 PSNR(Peak Signal-to-noise ratio)을 이용하여 구하였다. 그림 2은 각 부대역의 중요도에 대한 우선순위를 결정하기 위해서 하나의 부대역에 대하여 0-비트로 양자화를 적용하고 나머지 부대역은 양자화를 하지 않고 원본 복원 객체와 비교하면서 PSNR 값을 측정할 값이다. 0-비트 양자화 한다는 것은 하나의 값으로 복원하는 것으로 본 논문에서는 '0'의 값으로 설정하였다.

예를 들어 그림 2의 (0,0)의 부대역에 32.5dB의 값이 적혀 있는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 그 부대역에 대해서만 0-비트로 양자화를 하고 나머지 부대역에 대해서는 프레넬릿 변환 계수 그대로 복원을 하

2.2 양자화 범위 설정

양자화를 하기 위한 양자화 범위를 설정하여야 한다. 양자화 범위를 나타내는 수치는 각각의 부대역의 표준편차(σ)로 표시하였다. 양자화 범위는 실험을 통하여 임의의 표준편차 값을 정하였을 때, 표준편차 값 범위 내에 해당하는 부분에 대한 값들은 그대로 두고, 범위 외에 해당하는 부분에 대한 값들을 '0'으로 만들면서 원본객체와 비교하면서 PSNR 값이 가장 클 때로 정하였다. 그 결과 표준편차가 $\sigma=30$ 일 때, 가장 높은 PSNR 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

2.3 양자화 및 부호화

본 논문에서 사용하는 양자화기는 비균일 스칼라 양자화기로 프레넬릿 계수들은 각 부대역에 할당된 비트 수에 맞게 양자화 인덱스(index)로 치환되는 방식이다. 정해진 양자화 영역을 벗어나는 프레넬릿 계수들은 빈도수는 작으나 큰 값이므로 PSNR에 많은 손실을 가져올 수 있다. 따라서 중요도를 고려하여 예외 영역이라 설정하고 이에 속하는 계수들을 예외 인덱스(exception index)라 하여 양자화를 거치지 않고 직접 계수를 전송한다. 그 결과로 압축율은 다소 감소하지만 PSNR이 약 2dB 정도 상승하는 효과를 얻었다.

본 논문에서는 양자화와 가변 길이 부호화(Run length coding, RLC)를 통합한 형태의 압축 방식을 채택하였다. 즉, 양자화를 한 후, 가변 길이 부호화를 수행한다. 가변 길이 부호화는 호프만 코딩으로 수행하였다. 통계적으로 '0'을 갖는 인덱스의 빈도수가 매우 높기 때문에 엔트로피 코딩의 하나인 허프만 코딩 과정을 거쳐 한 번 더 압축과정이 진행된다. 각 부대역의 비트 할당은 그림 3와 같다. 또한 각 부대역에서 예외 인덱스는 16-비트로 처리하였다.

3. 실험 및 논의

3.1 실험환경

본 논문에서 사용한 디지털 홀로그램에 대한 데이터는 표 1에 나타내었다. 디지털 홀로그램은 $200 \times 200 [pixel^2]$ 광원에 대한 $1024 \times 1024 [pixel^2]$ 크기의 회색조(gray-scale) 영상으로 제작하였다. 파장은 $633 [nm]$ 이고, 픽셀 피치는 $10.4 [\mu m]$ 이다. 그리고 복원 거리는 $110 [cm]$ 이다.

표 1. 실험환경

Item	Value
Light sources[$pixel^2$]	200×200
Hologram resolution[$pixel^2$]	1024×1024
Wavelength[nm]	633
Pixel pitch[μm]	10.4
Reconstruction distance[cm]	110

3.2 실험결과

본 논문에서는 양자화를 할 때, 적은 빈도수를 가지나 큰 값을 갖는 계수들을 예외 인덱스를 이용하여 처리하였다. 표 2는 임계값(Th)에 따라 PSNR에 따른 압축율(CR)을 보여준다. 그림 4은 압축하고 복원한 객체영상이다.

표 2. 임계값에 따른 PSNR 대비 압축율

Th	54.0	54.4	54.8	55.0	55.2	55.4	55.6	55.8	56.0
PSNR	23.5	27.0	31.7	33.5	35.2	36.0	36.5	39.8	43.9
CR	182	140	91.8	68.3	43.7	21.0	11.2	7.2	6.4

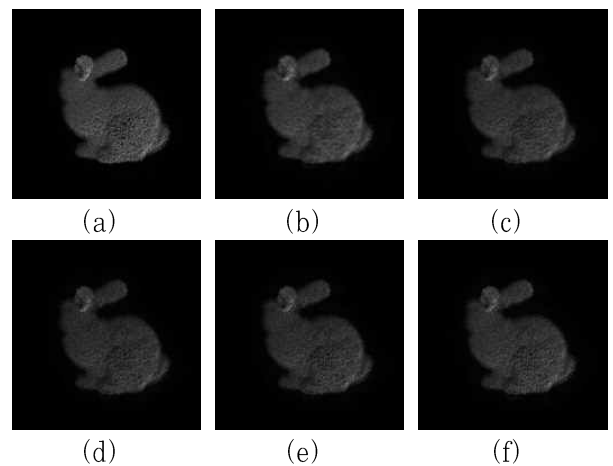


그림 4. 예외영역 범위가 $\sigma' = 5.0$ 에서 압축된 복원 객체들; 일정 임계 값 미만의 PSNR 값 (a) 원본객체 (b) 55.2 미만, 35.2dB (c) 55.4 미만, 36.0dB (d) 55.6 미만, 36.5dB (e) 55.8 미만, 39.8dB (f) 56.0 미만, 43.9dB

4. 결론

본 연구에서는 프레넬릿 변환을 이용하여 디지털 홀로그램 압축을 위한 효과적인 양자화 방법에 대하여 제안하였다. 프레넬릿 변환 후 각각의 부대역의 특성을 파악하여 부대역의 우선순위를 정하고, 선택된 부대역에 대하여 양자화 범위를 설정한 다음 양자화를 적용하였다. 또한 최대한 PSNR을 높이하고자 예외 인덱스를 적용하여, 압축율 대비 PSNR를 높일 수 있었다.

본 논문에서는 최소 약 6:1부터 최대 약 182:1까지 압축을 수행하였고, 이를 복원한 후에 PSNR을 이용하여 수치적인 결과를 분석하였다. 각 결과들에 대해서 시각적인 분석도 수행하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천 기술개발사업의 일환으로 수행하였음.[KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 하드웨어 IP 개발]

참고문헌

- [1] P. Hariharan, "Basics of Holography," Cambridge University Press, May 2002.
- [2] 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
- [3] D.-G. Kim, et al. "Analysis for Hologram Using Fresnel Transform", Summer Conference on Broadcast Engineering, Jun. 2013.