

論文2000-37SD-5-3

변조함수를 이용한 decimation 기법에 의한 3D 데이터 압축 (3D data Compression by Modulating Function Based Decimation)

楊勳其*, 李丞玄*, 姜鳳淳**

(Hoon-Gee Yang, Seung-Hyun Lee, and Bongsoon Kang)

요 약

본 논문은 HPO 홀로그래ムの 산란패턴을 전송하는데 적용 가능한 데이터 압축 알고리즘을 제시한다. 제시된 알고리즘은 홀로그래ム 데이터를 decimation 하기 위해서 변조함수를 이용해서 홀로그래ム 패턴의 대역폭을 압축시킨 것으로 수신단에서 데이터 복원을 위해서 인터플레이션 과정이 필요하다. 압축 알고리즘 및 압축률의 유도와 함께 수신단에서 영상이 복원될 때 복원영상의 해상도 및 고조파(harmonic) 간섭영상의 주기를 분석한다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해서 undersampling된 홀로그래ム 패턴에 대해 직접 복원시킨 결과와 변조함수에 의한 decimation 및 인터플레이션 과정을 거친 후 복원시킨 결과를 비교하여 제시된 방법의 타당성을 보인다.

Abstract

This paper presents a compression algorithm applicable for transmitting a HPO hologram data. The proposed algorithm exploits a modulating function to compress the bandwidth of the hologram pattern, resulting in decimation due to relaxed Nyquist sampling constraints. At the receiver, the compressed data will be interpolated and compensated via being divided by the modulating function. We also present compression rate and analyze the resolution of a reconstructed image and the periodicity of harmonic interferences. Finally, we shows the validity of the proposed algorithm by simulation where a reconstructed image from undersampled data is compared with a reconstructed image obtained through decimation by modulating function, interpolation and compensation.

I. 서론

입체 정보는 촬영 각도가 다른 다수의 카메라에 찍

* 正會員, 光雲大學校 電子工學部

(School of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.)

** 正會員, 東亞大學校 電氣電子컴퓨터工學部

(School of Electrical, Electronic and Computer Eng., Dong-A Univ.)

※ 본 논문은 1999년도 학술진흥재단 자유공모과제 연구비에 의해서 연구되었음.

接受日字:1999年8月25日, 수정완료일:2000年3月29日

힌 2안 스테레오 영상이나 다안 2차원(multi-view 2D) 영상일 수도 있고 홀로그래ム이나 홀로그래픽 스테레오 그램과 같은 산란패턴일 수도 있다. 일본에서는 렌티큘라판을 이용해서 2안 스테레오 영상 뿐 아니라 다안 영상을 디스플레이하는 입체 디스플레이 시스템이 개발되었으며 보다 자연스러운 입체상을 제공할 수 있는 방법을 개발 중이다.^[1] 완전 입체상을 관찰자가 느낄 수 있는 유일한 방법은 물체로부터 산란되는 빛을 직접 봄으로써만 가능하므로 진정한 의미의 입체 정보는 홀로그래ム이라고 말할 수 있다.^[2] 하지만 홀로그래ム은 데이터량이 지나치게 방대해서 현재로서는 기존의 방송 통신에 의한 전송이 거의 불가능하다. 최근 발표에 의

하면 2안의 입체 정보를 전송하는데 120MHz, 다안 입체영상의 경우 750MHz, 광각 시야 홀로그래피의 경우는 1THz 정도의 대역폭이 필요한 것으로 연구되었다.^{[3][4]}

다안 입체영상은 2차원 영상 시퀀스로 간주할 수 있으므로 기존의 DCT(discrete cosine transform)를 이용한 영상 압축 알고리즘을 적용시킬 수 있다. 홀로그램의 경우는 입체 정보가 산란패턴이므로 인접한 데이터 값 사이에 상관(correlation)이 전혀 없어서 DCT 등을 적용시키기에는 어려움이 있다. 실제로 홀로그램 데이터량을 줄이는 연구는 오래전 부터 이루어졌다. 우선 수직 양안시차를 고려하지 않고 수평 양안시차를 고려하는 HPO(horizontal parallax-only) 홀로그램 방법을 이용하여 가상의 물체를 수평단면들의 합으로 모델링함으로써 입체감에 큰 저하없이 100배 정도의 데이터량을 줄일 수 있었다.^{[5][6]} 또한 수평방향으로의 데이터량을 줄이기 위해서 공간 샘플링에 의해서 작은 크기의 element 홀로그램들을 얻은 후 차례대로 배열하여 최종적인 홀로그램을 합성하는 composite 홀로그램 방법이 연구되었다.^{[7][8]} Yoshikawa는 element 홀로그램 크기와 복원 영상의 blurring 되는 정도간의 상호관계를 이론적으로 유도한 후 실험에 의하여 이를 검증하였다.^[9] 최근에 홀로그램 패턴을 홀로그램 세그먼트로 나누고 각 세그먼트 홀로그램에 대해서 DCT를 수행한 후 얻어진 영상 시퀀스에 대해서 MPEG 알고리즘을 적용시키는 방법이 제시되었으며 실험적으로 증명되었다.^[10]

본 논문에서는 공간 샘플링이나 MPEG 등을 이용하는 기존의 방법과는 달리 변조 함수에 의해서 홀로그램의 공간 스펙트럼을 압축하여 데이터를 압축하는 새로운 알고리즘을 제시한다. 제시된 알고리즘은 HPO 홀로그램에 대해서 적용할 수 있는 것으로 II절에서는 HPO 시스템 geometry를 설명하고 III절에서는 새로운 알고리즘을 제시하며 IV절에서는 복원 영상의 해상도 및 고조파 간섭을 분석하고 V절에서 시뮬레이션에 의해 알고리즘의 타당성 및 분석 내용을 검증한다.

II. 시스템 geometry

HPO(horizontal parallax only) 디지털 홀로그램 합성을 위해서 3차원 물체를 그림 1에서 처럼 (x, y) 평면과 평행한 수평단면들의 합으로 모델링하였다. HPO 홀

로그램에서는 광파가 (x, y) 평면과 평행한 방향으로만 진행한다고 가정하므로 $z=Z_i$ 인 평면상의 한점으로 부터 산란된 광파는 홀로그램 평면 (u, v) 에서 $v=Z_i$ 인 홀로라인으로만 산란되는 것으로 간주할 수 있다.^[5]

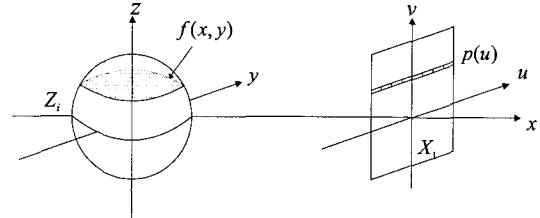


그림 1. HPO 홀로그램의 시스템 geometry
Fig. 1. HPO hologram system geometry.

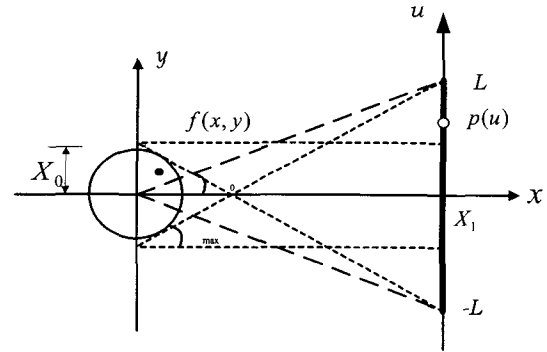


그림 2. 수평단면의 시스템 geometry
Fig. 2. System geometry of horizontal slice.

그림 2는 $z=Z_i$ 인 평면을 위에서 내려본 것으로 $v=Z_i$ 에 도달한 광파 $p(u)$ 는

$$p(u) = \iint f(x, y) \frac{\exp[jkr(x, y, u)]}{r(x, y, u)} dx dy \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 k 는 wave number이고 $f(x, y)$ 는 $z=Z_i$ 인 단면을 나타내는 반사계수함수이고 $r(x, y, u)$ 는 점광원과 홀로그램 평면 사이의 거리로서

$$r(x, y, u) = \sqrt{(X_1 - x)^2 + (u - y)^2} \quad (2)$$

이며 X_1 은 원점에서 홀로그램 평면까지의 거리다. 식 (1)에서 $1/r(x, y, u)$ 은 광파의 진폭 감쇄를 나타내는 성분으로서 복원결과에 영향을 거의 안 미치므로 이 항을 무시하면

$$p(u) = \iint f(x, y) \exp[jk\sqrt{(X_1 - x)^2 + (u - y)^2}] dx dy \quad (3)$$

이 된다.

$$-k \frac{X_0}{X_1} \leq k_u \leq k \frac{X_0}{X_1}$$

III. 변조함수에 의한 대역폭 압축

그림 2에서 처럼 한 홀로라인이 u 축을 따라 $[-L, L]$ 에 위치해 있을 때 물체의 한 지점에서 산란되어 홀로라인에 도달하는 광파의 y 축 방향벡터의 절대값은 $k \sin \theta_{\max}$ 를 초과할 수 없다. 그러므로 u 에 관한 푸리에 변수를 k_u 라고 할 때 $p(u)$ 대역폭은 $|k_u| < k \sin \theta_{\max}$ 가 되어 근사적으로^[11]

$$-k \frac{L+X_0}{X_1} < k_u < k \frac{L+X_0}{X_1} \quad (4)$$

이 된다. 여기서 X_0 는 물체의 단면을 포함하는 원의 반지름이다. 그러므로 홀로그래프 데이터의 샘플간격 Δ_u 는 Nyquist 샘플링 조건에 의해

$$\Delta_u \leq \frac{\pi X_1}{k(L+X_0)} \quad (5)$$

을 만족해야 한다. 만약 $f(x, y)$ 가 $\delta(x, y)$ 로 정의되었을 때의 산란패턴을 $p_0(u)$ 라 하면

$$p_0(u) = \exp[jk\sqrt{X_1^2 + u^2}]$$

이 된다. $p(u)$ 의 대역폭 압축을 위해서 변조함수 $p_0^*(u)$ 을 이용해서 $p(u)$ 를 진폭변조시키면 변조된 함수 $p_c(u)$ 는

$$p_c(u) = p(u) \cdot p_0^*(u) = \int \int f(x, y) \exp[jk\sqrt{(X_1-x)^2 + (u-y)^2}] dx dy \quad (6)$$

$$-\sqrt{X_1^2 + u^2}$$

이 된다. $p_c(u)$ 의 위상성분 $\phi(u)$ 는

$$\phi(u) = \sqrt{(X_1-x)^2 + (u-y)^2} - \sqrt{X_1^2 + u^2}$$

$$\approx (X_1-x) \left(1 + \frac{(u-y)^2}{2X_1^2}\right) - X_1 \left(1 + \frac{u^2}{2X_1^2}\right)$$

$$= \frac{1}{2X_1} (-2uy + y^2) - x$$

로 근사화되어 순간주파수 $\frac{d}{du} \phi(u)$ 는 $-y/X_1$ 이 된다.

$|y| \leq X_0$ 이므로 $p_c(u)$ 의 대역폭은

이고 Nyquist 샘플링 조건에 의해서 $p_c(u)$ 의 샘플 간격 Δ_u 는

$$\Delta_u \leq \frac{\pi X_1}{kX_0} \quad (7)$$

을 만족해야 한다. $p_c(u)$ 는 $p(u)$ 보다 대역폭이 상당히 압축된 함수로서 $p(u)$ 로부터 만들 수 있으므로 $p_c(u)$ 를 이용해서 $p(u)$ 의 데이터를 압축할 수 있다. 홀로그래프 데이터 전송을 위한 데이터 압축 알고리즘은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 식(3)을 이용해서 $u = m\Delta_1$ (m 은 $-L < m\Delta_1 < L$ 을 만족하는 정수)에서 $p(u)$ 값 계산 (여기서 Δ_1 는 식(7)에서의 등호가 성립할 때의 Δ_u 값)
- ② 데이터 전송
- ③ $u = m\Delta_1$ 에서 $p_0(u)$ 값 계산
- ④ $p(u) \times p_0^*(u)$ 에 의해서 $u = m\Delta_1$ 에서의 $p_c(u)$ 계산
- ⑤ 인터폴레이션에 의해 $u = n\Delta_s$ (n 은 $-L < n\Delta_s < L$ 을 만족하는 정수)에서의 $p_c(u)$ 값 계산 (여기서 Δ_s 는 식(5)에서 등호가 성립할 때의 Δ_u 값)
- ⑥ $p_c(n\Delta_s)/p_0^*(n\Delta_s)$ 에 의해서 $p(n\Delta_s)$ 값 계산

위의 과정에서 “⑤ 인터폴레이션 ...” 부분을 구체적으로 설명하면 다음과 같다. ④까지의 과정에 의해서 주어진 값은 $p_c(m\Delta_1)$ 이며 ⑤에서 $p_c(m\Delta_1)$ 값을 이용해서 $p_c(n\Delta_s)$ 를 찾아야 한다. $p_c(u)$ 가 대역제한된 신호이므로 Nyquist 인터폴레이터를 사용하면^[12]

$$p_c(u) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} p_c(m\Delta_1) \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\Delta_1}(u-m\Delta_1)\right)}{\frac{\pi}{\Delta_1}(u-m\Delta_1)} \quad (8)$$

이 되며 $u = n\Delta_s$ 에서의 $p_c(u)$ 값은

$$p_c(n\Delta_s) = \sum_m p_c(m\Delta_1) \frac{\sin\left(\frac{kX_0}{X_1}(n\Delta_s-m\Delta_1)\right)}{\frac{kX_0}{X_1}(n\Delta_s-m\Delta_1)} \quad (9)$$

에 의해 찾을 수 있다. 그리고 ⑤에서 설명한 최종적인

원하는 데이터 $p(n\Delta_s)$ 는 ⑥에 의해

$$p(n\Delta_s) = p_c(n\Delta_s) \exp[jk\sqrt{X_1^2 + (n\Delta_s)^2}]$$

로 구할 수 있다. Δ_s 의 간격으로 홀로그래프 패턴을 계산한 후 전송하고 수신단에서는 샘플 간격이 Δ_s 인 데이터를 발생시킬 수 있으므로 Δ_s/Δ_s 만큼의 데이터 압축 효과가 있다. 식(5)와 식(7)에 의해서 압축률 Δ_s/Δ_s 는 $1+L/X_0$ 가 되어 L 과 X_0 의 상대적 크기에 의해 정해지며 L 이 X_0 보다 클수록 압축률이 커진다.

IV. 해상도 및 주기성

III절에서 제시한 바와 같이 전송전에 홀로그래프 데이터는 Δ_s 의 샘플 간격을 가졌으나 수신단에서는 샘플 간격이 Δ_s 인 홀로그래프 패턴을 발생시킬 수 있다. 이 홀로그래프 패턴에 해당하는 복원 영상의 해상도 및 이산적인(discrete) 데이터 특성에 기인한 복원 영상의 고조파 간섭을 조사하였다.

$f(x, y)$ 가 $\delta(x-x_0, y-y_0)$ 로 정의되어 있다고 하자. 이 때 홀로그래프 패턴 $p(u)$ 는

$$p(u) = \exp[jk\sqrt{(X_1-x_0)^2 + (u-y_0)^2}]$$

이 되며 $p(u)$ 에 의해서 $x=x_0$ 에서 복원되는 영상 $f(x=x_0, y)$ 는

$$f(x_0, y) = \int_{-L}^L \frac{\exp[jk\sqrt{(X_1-x_0)^2 + (u-y_0)^2}] \cdot \exp[-jk\sqrt{(X_1-x_0)^2 + (u-y)^2}] du}{\exp[-jk\sqrt{(X_1-x_0)^2 + (u-y)^2}]} \quad (10)$$

이 된다. 식(10)에 Fresnel 근사식을 적용하면

$$\begin{aligned} f(x_0, y) &\cong \int_{-L}^L \exp[jk\frac{u^2}{2X_1}] \cdot \exp[-jk\frac{(u-y)^2}{2X_1}] du \\ &= \exp[-jk\frac{y^2}{2X_1}] \int_{-L}^L \exp[jk\frac{uy}{X_1}] du \\ |f(x_0, y)| &= \left| \int_{-L}^L \exp[jk\frac{uy}{X_1}] du \right| \\ &= \left| \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{u}{L}\right) \exp[jk\frac{uy}{X_1}] du \right| \\ &= \text{sinc}\left(\frac{kLy}{\pi X_1}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

그러므로 복원 영상의 null-to-null 수평방향 해상도 Δ_y 는

$$\Delta_y = \frac{2\pi X_1}{kL}$$

이 되어 홀로그래프 크기 $2L$ 을 크게 하면 할수록 복원 영상의 해상도는 개선된다. 참고로 복원 영상까지의 거리가 정해지면 관찰자 눈의 분해능이 결정되며 이때 Δ_y 가 눈의 분해능 보다 작을 정도로 L 을 크게 할 필요는 없다. 왜냐하면 Δ_y 가 눈의 분해능 이하로 작아지면 관찰자는 그 차이를 알 수 없기 때문이다.

식(11)에 의해서 u 의 푸리에 변수 k_u 는 $k_u = ky/X_1$ 이다. 데이터 샘플간격이 Δ_u 일 때 푸리에 변환 특성에 의해서 k_u 는 $2\pi/\Delta_u$ 의 주기성을 갖는다. 그러므로 $2\pi/\Delta_u = ky/X_1$ 을 만족하는 y 값은 복원 영상의 고조파 간섭 성분들이 반복되는 주기다. 이 주기를 y_p 라 하면 $y_p = 2\pi X_1 / k\Delta_u$ 이다. 만약 Δ_u 가 식(5)에서 등호를 만족하는 값 Δ_s 라면 $y_p = 2(L+x_0) \cong 2L$ 가 되어 복원 영상의 고조파 간섭 영상이 홀로그래프 크기 마다 주기적으로 반복된다. 일반적으로 홀로그래프 플레이트의 한 픽셀은 어느 정도의 면적을 가지므로 이에 따라 고조파 성분이 고차로 갈수록 광세기는 약해진다.

V. 시뮬레이션

III절에서 제시한 홀로그래프 데이터 압축방법의 성능을 검증하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 2차원 단면영상 $f(x, y)$ 는 4개의 point scatterer를 포함하는 반지름 X_0 가 $0.001m$ 인 원으로 시뮬레이트하였다. 홀로라인 크기 $2L$ 은 $0.02m$ 로 하였고 물체와 홀로그래프 사이의 거리 X_1 은 $0.1m$ 로 하였다. He-Ne 광원을 사용하는 경우 $k=2\pi/\lambda \cong 9.93 \times 10^6$ 이다. 이 때 홀로그래프 평면상의 데이터 샘플간격 Δ_u 는 $\Delta_u \leq \pi X_1 / k(L+X_0) \cong 2.89 \times 10^{-6}$ 을 만족해야 한다. 이를 위해 홀로라인 내에 8192개의 데이터 샘플이 있도록 하여 $\Delta_u = 2.44 \times 10^{-6}$ 로 샘플링 조건을 만족시켰다. 그림 3은 시뮬레이트한 2차원 영상에 대한 홀로그래프 패턴 $p(u)$ 의 공간 스펙트럼 분포로서 식(4)의 이론적 대역폭 $|k_u| \leq k(L+X_0)/X_1 \cong 1.093 \times 10^6$ 와 거의 일치하였다. 그림 4는 데이터 압축 과정 없이 영상을 복원시킨 결과다.

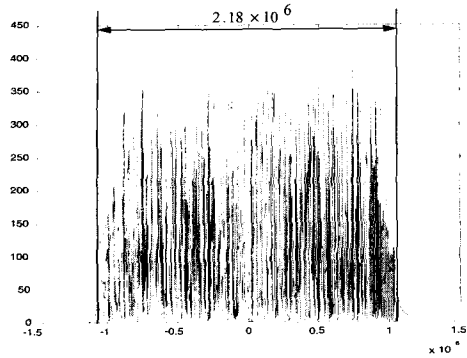


그림 3. 홀로그램 패턴의 공간 스펙트럼
Fig. 3. Spatial spectrum of hologram pattern.

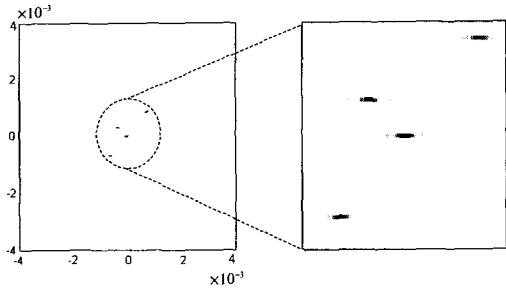


그림 4. 샘플링조건이 맞을 때의 복원영상
Fig. 4. Reconstruction image with sampling condition satisfied.

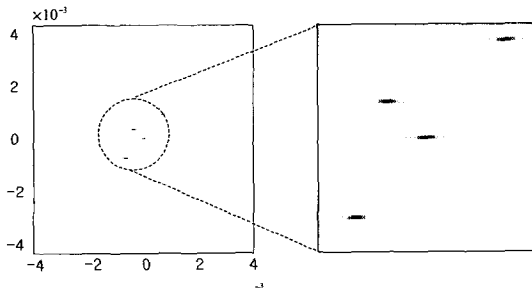


그림 5. 12배 undersampling된 경우
Fig. 5. One-twelfth undersampled case.

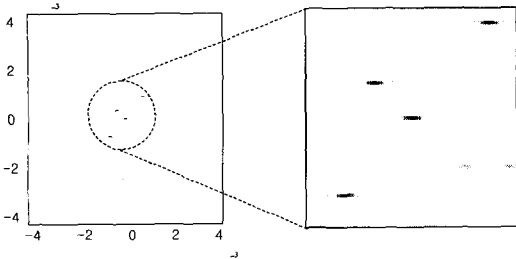


그림 6. 17배 undersampling된 경우
Fig. 6. One-Seventeenth undersampled case.

그림 5와 그림 6은 데이터 샘플간격 Δ_u 가 앞에서 제시한 2.44×10^{-6} 의 각각 12배 및 17배가 되도록 했을 때 복원시킨 결과이다. Δ_u 가 클수록 고조파 간섭 성분이 증첩되어 복원 영상 결과가 나빠졌다. 12배일 때는 $y_p \approx 2X_0$ 인 경우로 복원 영상부분은 고조파 간섭 성분이 없지만 눈으로 복원 결과를 관찰하는 경우에는 인접한 고조파 간섭 성분이 영향을 줄 것이다.

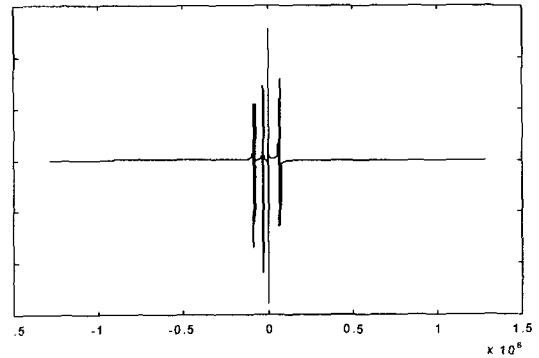


그림 7. $P_c(u)$ 의 공간스펙트럼
Fig. 7. Spatial spectrum of $P_c(u)$.

홀로그램 패턴에 변조함수를 곱한 $p_c(u)$ 는 대역폭이 이론적으로 $|k_u| \leq kX_0/X_1 \approx 0.0923 \times 10^6$ 이며 이 값은 대략 $p(u)$ 의 대역폭의 1/12에 해당한다. 그림 7은 $p_c(u)$ 의 공간 스펙트럼으로서 이론적으로 계산한 값과 거의 일치하였다. 제시한 압축 알고리즘을 적용시키기 위해서 $p(u)$ 값을 계산할 때 샘플 간격을 그림 4를 얻을 때 사용했던 값보다 12배 크도록 하여 홀로라인 크기 $2L$ 내에서 $8192/12 = 682$ 개의 샘플 데이터가 있도록 하였다.

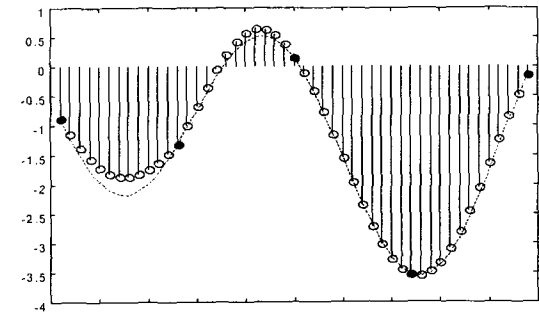


그림 8. 인터플레이션 결과
Fig. 8. Interpolation results.

그림 8은 12배 큰 샘플 간격을 갖는 $p_c(u)$ 를 인터폴

레이션 시켜 얻은 결과의 일부분을 나타낸다. “...”은 $p_c(u)$ 의 원함수의 실수부를 나타내며 “●”은 12배 큰 간격으로 샘플링한 데이터 값이며 “○”은 인터플레이션에 의해서 찾아진 값들이다. 식(9)를 이용해서 인터플레이션을 하였으며 한 점을 인터플레이션하기 위해서 주위 4~5개의 샘플값을 이용하였다. 즉 식(9)에서 m 은 $[-2,2]$ 사이의 정수 값이다. 인터플레이션에 의해서 찾아진 값들이 원함수 값과 거의 일치함을 알 수 있다. 만약 주어진 $p_c(u)$ 데이터 값의 샘플간격이 식(7)에서 제시된 샘플링 조건을 만족하는 샘플간격을 초과할 경우, 즉 12배 보다 클수록 인터플레이션 결과가 점점 더 나빠질 것이다. 인터플레이션에 의해 얻어진 $p_c(u)$ 를 변조함수로 나누어 $p(u)$ 를 얻은 후 $p(u)$ 로 부터 얻어진 복원 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 경우 주어진 홀로그램 패턴 데이터는 그림 5를 얻을 때 사용했던 undersampling된 데이터이나 변조함수를 곱하여 대역폭을 압축시킴으로써 aliasing을 피했고 $p(u)$ 로 변환시키기 전에 $p(u)$ 의 샘플링 조건에 맞도록 인터플레이션을 해서 그림 5와 달리 복원 영상에 aliasing이 나타나지 않았으며 고조파 간섭 성분도 $2(L+X_0)$ 마다 주기적으로 발생하므로 그림 9에는 고조파 간섭 성분이 나타나지 않았다.

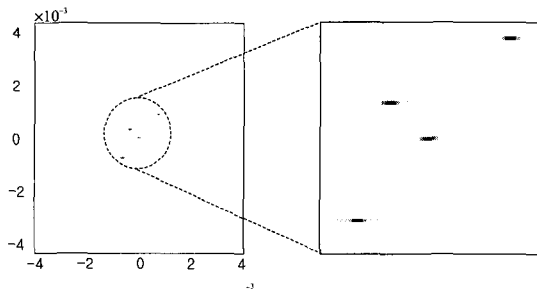


그림 9. 제시된 방법에 의해 복원된 영상
Fig. 9. Reconstructed image by proposed method.

VI. 결 론

본 논문에서는 HPO 홀로그램의 산란패턴을 전송하는데 적용 가능한 압축 알고리즘을 제시하였다. 제시한 방식은 홀로그램 패턴의 대역폭을 압축하기 위해서 변조함수를 사용한 것으로 변조함수는 물체의 중심에 가상의 point scatterer가 만들어내는 산란패턴의 공액함

수에 해당한다. 변조함수로 홀로그램 패턴을 진폭변조한 결과 변조된 함수의 대역폭이 크게 압축이 되는 성질을 이용해서 decimation이 가능하다. 본 논문에서 유도한 바와 같이 압축률은 홀로그램 크기와 물체의 상대적인 크기의 함수로서 홀로그램 크기가 커질수록 압축률을 크게 할 수 있다. Undersampling된 데이터에 대해서 단순히 복원시킨 영상과 변조함수를 곱하여 decimation시키고 인터플레이션에 의해서 샘플링 조건에 맞도록 한 후 변조함수로 나누어 얻어진 데이터로 복원시킨 영상을 비교한 결과 후자의 경우는 복원영상 내에 aliasing이 발생하지 않았고 고조파 간섭 영상도 관찰자에게 영향을 주지 않도록 홀로그램 크기 이상 떨어져 발생하였다.

참 고 문 헌

- [1] "3-D HDTV display system without special glasses", NHK R&D Newsletter No. 6, Aug. 9, 1993.
- [2] R. J. Collier, C. B. Burckhardt and L. H. Lin, Optical Holography, Academic, New York, 1971.
- [3] T. Okoshi, "Three-dimensional displays", Proc. IEEE, vol. 68, pp.548-564, May 1980.
- [4] C. W. Smith and A. A. Dumbreck, "3-D TV : The practical requirements", Television: J. Royal Television Soc., vol.25, No.1, pp.9-15, 1987.
- [5] M. Lucente, "Optimization of hologram computation for real-time display", Proc. SPIE, vol.1667, pp.32-43, 1991.
- [6] H. Yang and Eun-Soo Kim, "Waveform-decomposition based algorithm for horizontal parallax only display computer generated holograms", Optics Letter, vol. 21, pp. 510-512, 1996.
- [7] L. H. Lin, "A method of hologram information reduction by spatial frequency sampling," Appl. Phys. Lett., vol. 12, 176, 1968.
- [8] 양훈기, 유치연, 김은수, " 디지털 홀로그램에서 샘플링 조건 완화를 위한 홀로그램

- Segmentation, 전자공학회 논문지, 제 35 권 제 8 호, pp. 76-81, 1998. 8
- [9] Hiroshi Yoshikawa, Kenko Sasaki, "Information reduction by limited resolution for electro-holographic display", Proceedings of SPIE, vol. 1914, pp. 206-211, 1993.
- [10] H. Yoshikawa and J. Tamai, "Holographic image compression by motion picture coding", Proc. SPIE, vol. 2652, pp. 2-9, 1996.
- [11] H. Yang and M. Soumekh, "Blind-velocity SAR/ISAR imaging of a moving target in a stationary background", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 2, pp.80-95, January, 1993.
- [12] S. Haykin, Communication system, John wiley & Sons, 3rd ed., 1994.

 저 자 소 개

楊勳其(正會員) 第 36卷 D編 第 2號 參照

姜鳳淳(正會員) 第 35卷 S編 第 7號 參照

李丞玄(正會員) 第 37卷 SD編 第 2號 參照