

3차원 물체의 4단계 위상천이 디지털 홀로그래피를 이용한 집적영상의 요소영상과 부영상의 생성

Elemental Image and Sub Image Generation of Integral Imaging using 4-step Phase-shifting Digital holography of 3-dimensional Object

정민옥, 김남, 박재형, 전석희*

충북대학교 정보통신공학과, 인천대학교 전자공학과*

minok@osp.chungbuk.ac.kr

Abstract: We propose a method synthesizing elemental images and sub-images for the integral imaging using phase-shifting digital holography. From acquired single 4-step phase-shifting digital holography, we can generate elemental images and sub-images for any lens array specifications.

1. 서론

직접영상법은 안경을 사용하지 않기 때문에 눈의 피로감 없이 일정한 시야각 내에서 3차원 영상을 디스플레이 해준다는 장점이 있다. 그러나 한 가지 문제점은 렌즈 어레이가 픽업과 디스플레이 과정에서 동일해야 한다는 점이며, 만약 특수 렌즈 어레이를 사용하여 디스플레이 하고자 할 경우에는 3차원 물체를 이용해 직접 픽업, 디스플레이 할 수 없다⁽¹⁾. 이에 이를 극복하기 위해 본 논문에서는 3차원 물체의 4단계 위상천이 디지털 홀로그래피를 이용한 집적영상법의 요소영상을 생성하는 방법을 제안하고, 생성된 요소영상들로부터 부영상을 얻어 내었다.

2. 본론

제안된 방법의 첫 단계는 3차원 물체로부터 4단계 위상천이 디지털 홀로그래피를 이용해 복소 필드를 획득하는 작업이다. 실험 구성도는 그림 1에 보는 바와 같다. 이때 CCD 카메라는 $2.7\mu\text{m} \times 2.7\mu\text{m}$ 피치 사이즈를 갖는 3272×2469 픽셀로 구성되어 있다.

두 번째 단계는 획득된 4위상의 간섭패턴들로부터 집적영상법 요소영상을 생성해 내는 것이다. CCD 면에서의 물체파의 복소진폭(U)은 식 (1)로부터 CCD 면에서의 기준빔과 물체빔의 중첩에 의한 세기값 식 (2)를 통해 다른 위상의 4장의 홀로그램들로부터 위상과 크기를 나타내는 식 (3)과 (4)를 얻어 물체파의 복소진폭(U)를 계산해 수치적 재생 알고리즘을 이용하여 원래 물체의 위치에서의 실제 물체파인 U_0 를 식 (5)와 같이 구할 수 있다. 홀로그램을 획득한 CCD 면에서의 복소진폭이 초점거리 f 를 갖는 요소렌즈를 통과하면 U_i' 라고 표현된다. 이때 렌즈는 중심좌표 (x_0, y_0) 를 갖는 가로, 세로의 너비가 각각 $2W_x, 2W_y$ 인 정사각형 모양의 동공이므로 식(6)으로 표현된다. U_a 는 U_i' 을 $-d$ 의 거리만큼 Fresnel 회절 이동한 것이므로 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다⁽²⁾.

$$U(x, y) = \iint U_o(x', y') \exp[ikz_o + ik \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2z_o}] dx' dy' \quad (1)$$

$$I = [A(x, y)]^2 + [A_r(x, y)]^2 + 2A(x, y)A_r(x, y) \cos[\phi(x, y) - \phi_r(x, y) - \alpha] \quad (2)$$

$$\phi_B(x, y) = \phi(x, y) - \phi_r(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{I(x, y, \pi/2) - I(x, y, 3\pi/2)}{I(x, y, 0) - I(x, y, \pi)} \right] \quad (3)$$

$$A_B(x, y) = A(x, y)A_r(x, y) = \frac{1}{4} \frac{I(x, y, 0) - I(x, y, \pi)}{\cos[\phi(x, y) - \phi_r(x, y)]} \quad (4)$$

$$U_f(X, Y, Z) = \iint U(x, y) \exp[ik \frac{(X-x)^2 + (Y-y)^2}{2Z}] dx dy \quad (5)$$

$$= \iint A(x, y) \exp[i\phi(x, y)] \exp[ik \frac{(X-x)^2 + (Y-y)^2}{2Z}] dx dy$$

$$U'_i(X, Y, z) = U_i(X, Y, z) R(X, Y) \exp[-ik \frac{(X-x_o)^2 + (Y-y_o)^2}{2f}] \quad (6)$$

$$U_d(X, Y, -d) = \iint U'_i(X, Y, z) \exp[-ik \frac{(X-x)^2 + (Y-y)^2}{2d}] dx dy \quad (7)$$

3. 결론

위의 식들과 같은 수치적 재생과 전파를 이용한 알고리즘을 통해 그림 3과 같이 집적영상법을 위한 요소영상을 생성할 수 있었다. 사용된 물체는 그림 2와 같이 2cm×2cm 정도의 크기고, 원래의 재생거리는 50cm, 간섭패턴이 전파된 거리는 5cm, 요소렌즈는 초점거리가 3mm, 가로, 세로 2mm이다. 요소영상의 수는 확장 가능하다. 이로써, 획득된 간섭패턴의 전파거리, 렌즈의 크기와 초점거리, 렌즈의 중심위치를 임의적으로 변경해줄 수 있기 때문에 실험을 통해 획득한 디지털 홀로그램을 이용하여 어떠한 광학적 디스플레이 시스템에서라도 하나의 렌즈로 렌즈 어레이를 배열한 것과 같이 요소영상들을 재생할 수 있었고, 이를 통해 그림 4와 같은 부영상을 생성해 낼 수 있었다.

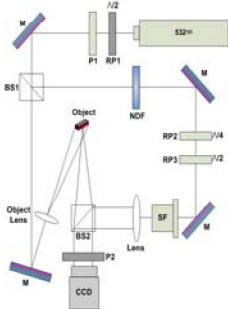


그림 1. 실험 구성도

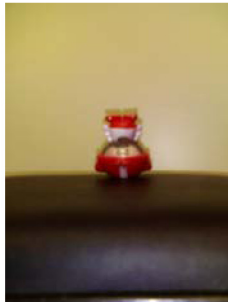


그림 2. 물체



그림 3. 재생된 요소영상

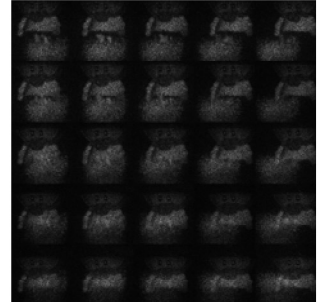


그림 4. 생성된 부영상

"이 논문 또는 저서는 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임" (지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단)

참고문헌

1. Y. Kim, J. H. Park, H. Choi, S. Jung, S. W. Min, and B. Lee, "Viewing angle enhanced integral imaging system using a curved lens array," *Opt. Express*, vol. 12, no. 3, pp. 421-429, 2004.
2. M.-O. Jeong, N. Kim, J.-H. Park, "Elemental Image Synthesis for Integral Imaging Using Phase-shifting Digital Holography," *J. Opt. Soc. Korea*, vol. 12, no. 4, pp. 275-280, 2008