

Integrating bucket technique를 이용한 위상이동 디지털 홀로그래피 이미지 획득 방법

Image formation in phase shifting digital holography using integrating bucket technique

민기현*, 최우준, 나지훈, 유선영, 최은서**, 이병하
광주과학기술원 정보통신공학과,
조선대학교 물리학과**
ghmin@gist.ac.kr

Digital holography는 최근 바이오 의공학 분야에 적용이 되면서 전 세계적으로 많은 관심을 받고 있다. 특히 위상 변이를 이용하는 Phase shifting digital holography는 On-axis holography 방법으로써 통상의 Off-axis holography보다 이미징 영역을 상대적으로 크게 할 수 있고, Zero order와 Twin 이미지 제거가 필요 없기 때문에 이의 최적화를 위한 활발한 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁾ 이러한 Phase shifting digital holography 연구에서는 대부분 압전소자(PZT)를 이용하여 위상 변이를 주는 Stepping 방법을 사용하고 있으나 일정한 거리마다 압전소자를 정지시킨 후 이미지를 받아야 하기 때문에 고속으로 동작 시 위상잡음이 생기게 되는 단점이 있다. 하지만 Integrating bucket 방법⁽²⁾을 이용하면 위상변조가 정현파의 함수로 주어지므로 보다 안정된 상태에서 변조를 시킬 수 있어서 위상잡음에 대하여 상대적으로 강하고 고속 동작이 가능하다. 본 연구에서는 Phase shifting digital holography에 있어 이미지 복원에 필요한 4장의 간섭이미지를 획득하는 통상의 Stepping 방법을 대신할 Integrating bucket 방법을 제안하고자 한다.

그림 1은 본 연구를 위해 설계된 마이켈슨 간섭계 기반의 Digital holography의 구성도이다. SLD(Super luminescence diode) 광원으로부터 나온 빔은 광분할기(Beam splitter)를 거쳐 샘플단과 기준단으로 나뉘는 후 반사되어 광분할기에서 다시 결합된다. 이 때 두 빛이 겪는 광경로의 차가 광원의 가간섭거리 이내에 있을 때 간섭을 일으킨다. 광경로차가 없어지는 시료의 특정 깊이에서 주기 T동안 위상 변조된 4장의 간섭 이미지를 CCD로 연속적으로 획득하면 다음과 같은 신호를 얻는다.

$$E_p(n_x, n_y) = \int_{(p-1)T/4}^{pT/4} \bar{I} + A(n_x, n_y) \cos[\phi(n_x, n_y) + \Psi \sin(\omega t + \theta)] dt, \quad p = 1, 2, 3, 4$$

여기서 n_x 와 n_y 는 CCD의 픽셀 정보, \bar{I} 는 DC 성분, ϕ 는 샘플과 기준단의 위상차이다. 정현파의 위상변조 진폭 Ψ 와 초기위상 θ 이 적당한 조건을 만족할 때 시료의 특정 깊이에서의 Complex amplitude 정보는 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁽⁴⁾

$$A(n_x, n_y) = [(E_1 - E_2 - E_3 + E_4)^2 + (E_1 - E_2 + E_3 - E_4)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$\Phi(n_x, n_y) = \frac{(E_1 - E_2 - E_3 + E_4)}{(E_1 - E_2 + E_3 - E_4)} \quad (2)$$

일반적으로 시료의 특정 깊이에서의 OCT 정보는 식 (1)로 충분하지만 이 때 샘플단의 결상광학계가 원하는 깊이에 초점이 맺혀 있지 않을 수 있다. 즉 고정 초점을 사용하는 결상광학계는 깊이를 갖는 3차원 시료에 대한

영상을 모두 In-focusing 상태로 얻을 수는 없다. 따라서 Defocusing된 거리에서 얻은 OCT 이미지를 Digital processing으로 In-focusing 상태로 변환해 주는 방법이 요구되는데 식 (1)과 (2)로 얻은 Complex amplitude 정보에 Fresnel-kirchhoff diffraction 원리를 적용하여 Digital focusing 된 샘플의 이미지를 획득할 수 있다.⁽³⁾ 그림 2(b)는 앞서 진술한 내용을 바탕으로 획득한 USAF 1951 Resolution target의 이미지로써 512 × 512 픽셀로 구성되어 있으며 크기는 8.6 mm × 8.6 mm이다. 초점거리 76 mm인 렌즈의 결상면에서 약 18 mm 정도 거리를 두어 CCD에서 Defocusing된 그림 2(a)의 이미지를 얻었으며 Digital focusing 처리 후 그림 2(b)를 획득하여 Focusing이 실제로 일어남을 확인할 수 있었다.

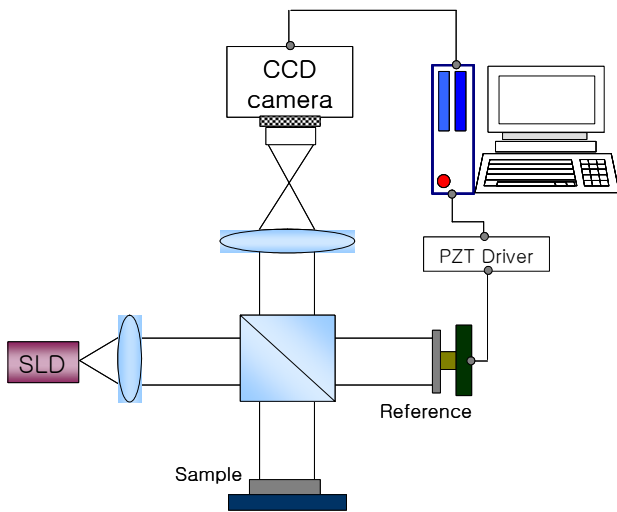


그림 1. Digital holography 시스템 개략도

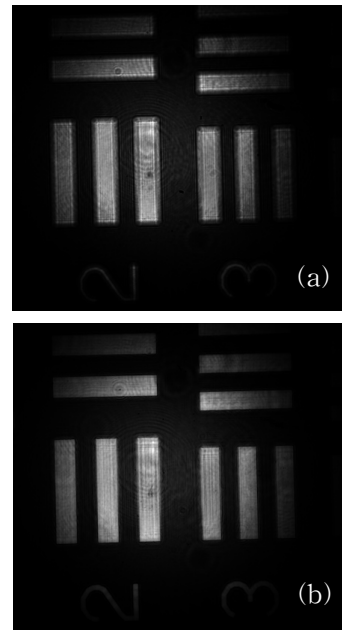


그림 2. (a) Defocusing 된 USAF target image, (b) Digital focusing image of USAF

본 연구에서는 정현과 위상 변조를 하는 Integrating bucket method을 이용하여 샘플의 Complex amplitude 정보를 획득하였고, Defocussing된 이미지의 경우, Complex amplitude에 Fresnel-Kirchhoff diffraction 원리를 적용하여 Digital focusing하는 방법을 제시하였다. 제안된 방법은 기존에 사용되고 있는 Stepping 방법과는 달리 PZT의 기계적 멈춤이 없이 정현과 형태의 안정적인 동작으로 간섭 이미지를 획득하므로 위상잡음이 보다 적은 정확한 이미지를 보다 빠른 속도로 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 중소기업청 산학협력 기업부설연구소 설치지원사업(No. S6081240111) 및 한국과학재단 NCRC사업(No. R15-2008-006-02002-0)의 일부 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Tong Zhang, et. al., Optics Letters, 23(15), 1221- 1223 (1998).
2. A. Dubois, J. Opt. Soc. Am. A, 18(8), 1972-1979 (2001).
3. I. Yamaguchi, et. al., Appl. Opt., 40(34), 6177-6186 (2001).
4. Woo Jun Choi, et. al., JOSK, 11(1), 18-25 (2007).