

간섭거리가 짧은 광원을 이용한 위상이동 디지털 홀로그래피의 구현

Phase-shifting digital holography with a low-coherence source

이정현, 손영란, 홍정기

포항공과대학교 물리학과

tonky@postech.ac.kr

현대 의학은 국부적이고 특성화된 치료법을 사용하여 최적의 치료결과를 얻기 위해 증상이 의심되는 부위의 초기진단법에 대하여 큰 관심을 가지고 있다. 특히 인체 내부 장기의 단층이미지나 세포조직의 내부구조에 대한 3D 이미지를 얻을 수 있는 방법에 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중 OCT(Optical Coherence Tomography)는 3차원 반투과형 물체의 단면도를 얻을 수 있는 방법으로 활발히 연구되고 있는 방법이다. OCT를 구현하는 방법 중 하나인 Time-domain OCT는 광원에서 나오는 빛을 두 개의 경로로 나누어, 물체의 특정 구조와 움직이는 거울에 의해 반사되어 돌아오는 빛을 간섭시켜 CCD에 기록한다. 물체의 구조가 있는 부분에서 반사되어 오는 빛은 modulation이 최대가 될 것이므로 물체의 깊이 방향으로 scanning하여 여러 장의 간섭무늬를 얻고 modulation이 최대가 되는 지점을 찾아 최종적인 물체의 이미지를 얻는다.

이러한 OCT방법은 높은 sensitivity를 가지지만 초점심도 유지를 위해 초점렌즈의 NA(numerical aperture)가 작아야 하므로 lateral 해상도에 제한이 있다⁽¹⁾. 또한 초점심도 내에서 scanning을 하여야 물체가 가진 간섭무늬를 오차(aberration)없이 정확히 측정할 수 있으므로 두께를 가진 물체의 내부구조를 측정하기 위해서는 여러 번에 걸쳐 초점을 바꾸어 가며 측정을 해야 하는 번거로움이 있다. OCT는 물체의 깊이 방향에 대한 scanning을 하여 얻은 간섭무늬의 modulation 형태로부터 구조의 이미지를 구하는 것이므로 scanning하는 간격이 modulation을 분석할 수 있을 정도로 작아야 하며, 특정한 깊이의 en-face(xy면) 이미지 한 장을 구하기 위해서도 scanning을 하여 modulation을 분석해야 한다는 단점이 있다.

반면 DHM(Digital Holographic Microscopy)은 NA가 큰 MO(Microscope objective lens)를 사용하여 높은 lateral 해상도를 얻으면서도 초점심도를 깊게 할 수 있다. 초점에 맞지 않는 이미지를 재생(reconstruction) 알고리즘을 이용하여 수치적으로 상을 재생(numerical reconstruction)함으로써 초점에 맞는 이미지를 얻을 수 있으며⁽²⁻³⁾, 렌즈와 같은 광학계를 사용함으로써 생기는 wave-front의 수차도 계산을 통하여 보정이 가능하다⁽⁴⁻⁶⁾. 또한 OCT와는 달리 관심영역 부근의 몇 장의 홀로그램만으로 특정 깊이의 층에 대한 정보를 구할 수 있다.

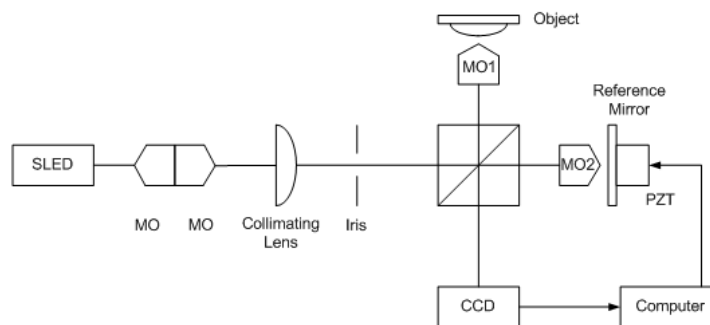


그림 1. 위상이동 디지털 홀로그래피 실험장치: MO, microscope objective lens

디지털 홀로그래피에서 흔히 사용되는 laser를 microscopy에 사용하여 생물학적 조직과 같이 산란이 큰 물질을 측정할 경우 speckle noise가 생기거나 관심영역 외의 면(ex. 슬라이드 글라스나 반사율이 좋은 기판)에서 반사된 빛이나 multiple reflection에 의한 간섭 때문에 원래 이미지의 질이 떨어질 수 있다⁽⁷⁾. 따라서 간섭 거리가 짧은 광원을 사용하게 되면 측정하려는 관심영역에 대해서만 간섭 정보를 얻을 수 있게 되므로 물체의 단층 정보를 얻을 수 있게 된다. 간섭거리가 짧은 SLED 광원을 이용한 위상이동 디지털 홀로그래피 실험을 통하여 동전, 잠자리 눈, 양파의 시료에 대해 초점에 맞는 상을 재생하고 단층이미지를 구하였다.

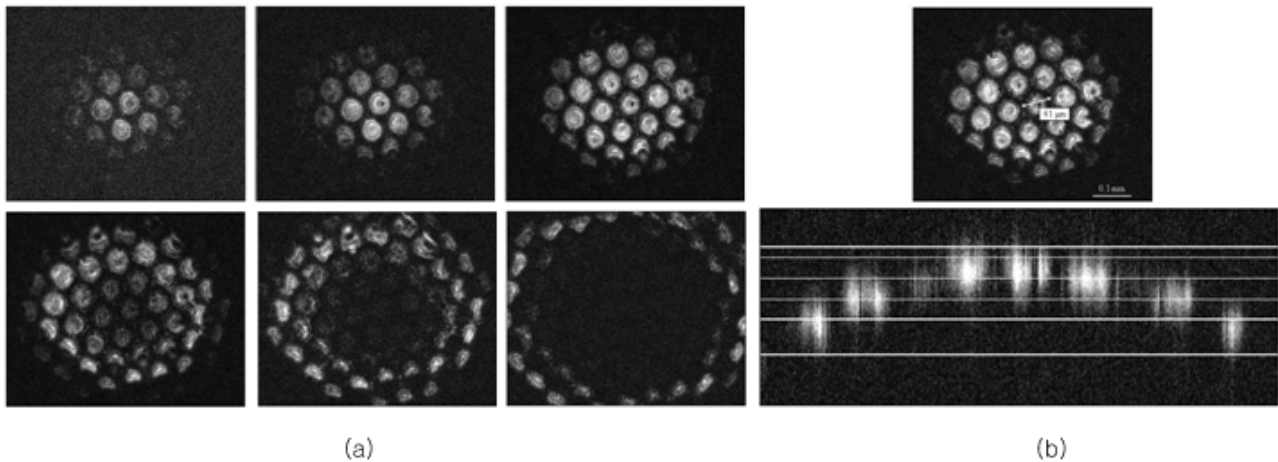


그림2. 위상이동 디지털 홀로그래피를 이용하여 측정된 잠자리눈

그림2. 는 그중 잠자리 눈을 측정된 것으로, (a)는 PZT를 움직여 높이에 따른 상을 재생한 것이고 각 층의 정보를 모아 (b)의 단층이미지를 얻을 수 있다. 각 날눈이 하나의 렌즈와 같은 역할을 하여 내부에서 반사되어 오는 정보가 약함을 알 수 있다. (b)의 아래 그림에 나타낸 흰 선은 위에서부터 순서대로 각각 (a)의 상들과 대응된다. 실험에 쓰인 광원은 중간 파장값 $\lambda_0 = 820nm$, bandwidth $\Delta\lambda = 30nm$, 최대 출력 7mW를 가지는 SLED(EXALOS, EXS8310-B003)이다.

이처럼 간섭거리가 짧은 광원인 SLED를 이용하여 위상이동 디지털 홀로그래피를 구현하고 시료의 내부구조를 관측하여 단면이미지를 구함으로써 time-domain OCT를 대체하는 새로운 단층촬영 방법의 가능성을 확인하였다.

1. Pia Massatsch, Florian Charriere, "Time-domain optical coherence tomography with digital holographic microscopy," Appl. Opt. 44, 1806(2005).
2. Frank Dubois, Luc Joannes, "Improved three-dimensional imaging with a digital holography microscope with a source of partial spatial coherence," Appl. Opt. 38, 7085(1999).
3. U. Schnars, T. M. Kreis, "Digital recording and numerical reconstruction of holograms: reduction of the spatial frequency spectrum," Opt. Eng. 35, 977(1996).
4. A. Stadelmeier, J. H. Massig, "Compensation of lens aberrations in digital holography," Opt. Lett. 25, 1630(2000).
5. G. Indelbetouw, P. Klysubun, "Spatiotemporal digital microholography," J. Opt. Soc. Am. A 18, 319(2001).
6. S. Grilli, P. Ferraro, S. De Nicola, "Whole optical wavefields reconstruction by Digital Holography," Opt. Exp. 9, 1035(2001).
7. H. Meng, W. L. Anderson, F. Hussain, "Intrinsic speckle noise in in-line particle holography," J. Opt. Soc. Am. A 10, 2046(1993).