

전역 광단층촬영을 위한 선행 연구

Precedent Study for Full-Field Optical Coherence Tomography

최우준*, 나지훈, 유선영, 이병하
 광주과학기술원 정보통신공학과 응용광학연구소
 고동섭
 목원대학교 기술마케팅학과 및 대학원 물리학과
 cecc78@gist.ac.kr

생체 내부의 광단층촬영 기법 중 하나인 optical coherence tomography(OCT)가 1991년 처음 개발된 이후, OCT 시스템은 영상 획득 속도와 분해능 면에서 탁월한 성과를 이루어내며 점진적으로 개선되어 왔다⁽¹⁾. 현재의 OCT 시스템은 시간영역에서의 이미징 기법인 time-domain OCT(TD-OCT)와 비교하여 훨씬 빠른 실시간 이미징과 보다 높은 신호 대 잡음비를 갖는 Fourier-domain OCT(FD-OCT) 시스템이 주류를 이루고 있다⁽²⁾. 그러나 FD-OCT는 시스템 구성이 복잡하고 횡방향으로 주사해야 하는 번거로움이 있다. 최근에는 횡방향 주사를 하지 않으면서도 비교적 간단한 시스템으로 수 μm 이하의 고분해능을 얻을 수 있는 고속 full-field OCT(FF-OCT)에 대한 연구가 수행되었다⁽³⁾. 본 논문에서는 새로운 기법인 FF-OCT 시스템을 구성하여 FF-OCT의 동작 특성을 관측하고 이미징 결과를 확인하였다.

FF-OCT 시스템에서는 간섭 신호를 위상 변조시켜 여러 장의 위상 이동된 간섭무늬 이미지들을 획득한 뒤, 그 이미지들 간의 조합으로부터 표면 정보 신호를 추출하는 방법을 사용한다⁽⁴⁾. 그림 1은 본 연구에서 구성한 FF-OCT 시스템의 개략도이다. 광원은 superluminescent diode(SLD)를 사용하였으며, 중심파장이 820 nm, 반치폭(FWHM)은 40 nm이다. 50:50 진폭 분리 무편광 광속분할기(BS)를 이용하여 마이켈슨 간섭계를 구성하였다. 기준단과 샘플단의 거리차가 가간섭 거리(20 μm)내에 있게 되면, 기준단과 샘플단에서 반사된 두 빛은 서로 간섭을 일으키게 되는데, 기준단에 위치한 PZT의 움직임으로 인해 간섭 신호에 위상 변조가 일어나게 된다. CCD 카메라로 위상 변조된 간섭 신호를 검출한 뒤, 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터에서 2차원 이미지로 재구성한다. 이렇게 획득한 2차원 이미지를 조합하여 물체의 표면 이미지를 얻게 된다.

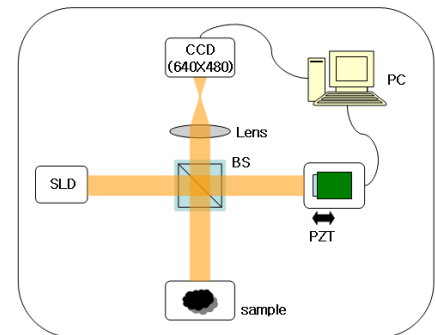


그림 1. FF-OCT 실험 장치 개략도

간섭무늬 이미지로부터 물체의 표면 이미지 추출 가능성을 확인하기 위해, 샘플단에 거울을 놓고 거울을 가간섭 범위 내에서 조금씩 기울여 간섭무늬를 임의로 발생시킨 후, 여러 간섭무늬 이미지에서 기울어진 거울의 표면 정보를 추출하는 실험을 했다. 결과는 그림 2와 같다. 그림 2 (a)는 기울어진 거울의 이미지로써 기울기에 관계없이 모양이 일정하였다. 이것은 간섭무늬와 상관없이 추출되는 거울 이미지가 그림 2 (a)와 동일해야 한다는 것을 의미한다. 그림 2 (b)와 (c)의 우측 그림을 보면, 기울어진 정도가 다른 각각의 간섭 이미지로부터 추출된 거울의 이미지가 그림 2 (a)의 모양을 어느 정도 잘 유지하고 있음을 볼 수 있고, 이는 표면 요철이 심한 물체에 대해 각 지점의 정보를 정확히 추출해 낼 수 있다는 사실을 말해준다.

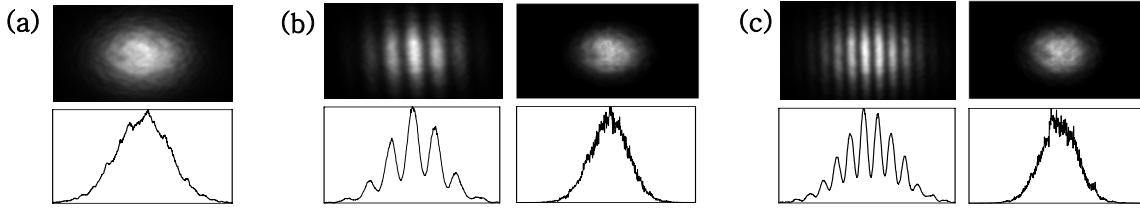


그림 2. (a) 기울어진 거울 이미지, (b) 기울인 거리가 0.82 μm 일 때, 간섭무늬 이미지(좌)와 추출된 기울어진 거울 이미지(우), (c) 기울인 거리가 2.46 μm 일 때, 간섭무늬 이미지(좌)와 추출된 기울어진 거울 이미지(우). 이미지 크기는 640 \times 480 픽셀이다.

좀 더 복잡한 구조를 가지는 물체에서 이러한 실험 결과를 확인하기 위해, 10원 주화의 표면 이미징을 시도해 보았다. 이미징할 부분은 주화의 양각 중 ‘행’자를 선택하였고 이미징 구간은 양각 표면부터 주화 바닥까지이며, 5 μm 씩 Z-스캔하였다. 그림 3 (a)는 주화의 양각 ‘행’자의 측면을 간략히 그린 것이다. 총 30장의 이미지 가운데 그림 3 (a)에 표시한 세 개의 구간((b), (c), (d))에서 획득한 이미지를 그림 3의 (b), (c), (d)로 나타내었다. 그림 3 (b)는 샘플 스테이지 위에 놓인 주화의 양각 표면과 PZT와의 optical path difference(OPD)가 가간섭 거리(20 μm)내에 들어올 때 발생하는 간섭무늬로부터 추출한 표면 이미지이다. 샘플 스테이지의 이동으로 인해 간섭이 발생할 수 있는 가간섭 거리가 주화의 양각 표면과 주화 바닥 사이에 위치하게 되면, 그 지점에 해당되는 표면에서 간섭이 일어나게 된다. 그러나 간섭을 일으킬 표면이 없으면 그림 3 (c)와 같이 아무런 표면 정보가 나타나지 않는다. 이제 가간섭 거리가 주화의 바닥에 이르게 되면 다시 간섭 현상이 발생하여 그림 3 (d)와 같은 이미지를 얻게 된다.

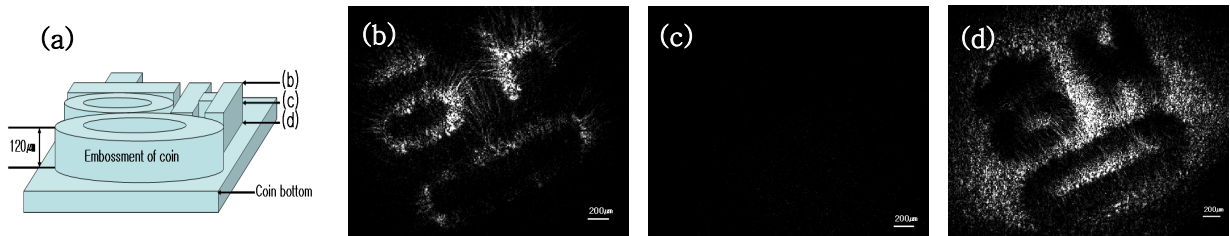


그림 3. (a) 10원 주화 양각(‘행’)의 모습, (b) 주화 양각의 표면 이미지, (c) 주화 양각과 주화 바닥사이의 이미지, (d) 주화 바닥의 표면 이미지.

본 논문에서는 FF-OCT 시스템을 구성하였으며 횡방향 주사 과정이 없어도 물체의 단면 이미지를 추출할 수 있는 가능성을 실험적으로 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 z-축 방향의 주사만으로도 고속 광단층촬영이 실현될 것으로 기대한다.

본 연구는 한중 국제공동 연구사업과, 고등광기술연구소(APRI)에서 수행중인 과학기술부의 극초단 광양자 기술 이용기술 개발사업의 일부 지원금에 의한 것입니다.

References

1. D. Huang *et al.*, Science, vol 254, 1178-1181 (1991)
2. R. A. Leitgeb *et al.*, Optics Express., vol. 12, no. 10, 2156-2165 (2004).
3. A. Dubois *et al.*, Applied Optics., vol. 43, no. 14, 2874-2883 (2004).
4. A. Dubois *et al.*, J. Opt. Soc. Am., vol. 18, no. 8, 1972-1979 (2001).