

낮은 광결맞음 간섭계에서 능동적 광점멸을 이용한 전역 단층 이미징

Wide-field tomographic imaging using actively-controlled stroboscopic illumination in low-coherence interferometry

최우준*, 나지훈, 엄종현, 최해룡, 이병하
광주과학기술원 정보통신공학과 응용광학연구실
cecc78@gist.ac.kr

Optical Coherence Tomography (OCT)는 생체나 물질 내부의 미세조직을 비침습 및 비접촉으로 영상화시킬 수 있는 광단층조영기법으로써, 고분해능, 고감도의 2D 단층정보를 빠르게 제공할 수 있다⁽¹⁾. 그러나 실시간 2D 단층 이미징만으로는 현재 생물학이나 의료계, 산업분야에서 요구하는 형태학적, 형상학적 구조 분석에 적용하기엔 무리가 따른다. 이러한 이유로, 고속 3차원 OCT 이미징 구현을 위한 연구가 세계적으로 이루어지고 있다. 최근 들어, 단 한번의 축방향 스캔으로도 3차원 이미징이 가능한 OCT 기술들이 소개되고 있고 그에 대한 연구결과들도 가시화되고 있는 추세에 있다. S. Bourquin 그룹은 이미지 처리용 모듈이 내제된 실리콘 칩 어레이를 검광기로 이용함으로써 주화의 3차원 이미징을 횡축 스캔없이 구현한 연구 결과를 보고한 바 있다⁽²⁾. M. Akiba 그룹은 한 쌍의 CCD와 LCD 위상지연기를 이용하여 축상 스캔만으로 연속적인 3차원 데이터를 획득하였다⁽³⁾. 본 논문에서는 coherent time-gated imaging 방법과 광점멸(stroboscopic illumination) 방식이 결합된 새로운 고속 3차원 OCT 영상기법을 소개하고자 한다.

제안된 기술은 wide-field 간섭계를 기본으로 하고 있는데, 기준단 거울을 축상 스캔하면서 시료에 대한 깊이별 *en-face* 단층 정보를 CCD와 같은 2D 이미지 센서로 빠르면서도 연속적으로 획득한다. CCD의 느린 반응시간(response time)은 기준단 거울의 축상 스캔으로 발생하는 간섭신호의 도플러(Doppler) 성분을 상쇄시키는 문제를 야기한다. 이를 해결하기 위해, 본 연구에서는 OCT 광원을 도플러 주파수로 on-off 점멸시킴으로써, 간섭신호의 포락선 성분만을 CCD를 통해 취하게 하였다. 그러나 스캐너로 일반적으로 사용되는 고정밀 스테이지는 감속이나 가속시 그리고 모터자체의 backlash나 friction, fluctuation, force ripple 등으로 인해 비선형적인 스캔 행정을 가진다. 이러한 비선형 효과에 의한 도플러 주파수의 임의적 변화는 OCT 광원을 일정한 스트로브 주기로 동작시켰을 때 획득된 이미지의 해상도를 현격히 저하시키는 요인으로 작용한다. 따라서 임의로 변하는 도플러 주파수에도 시스템이 대응할 수 있도록 OCT 광원의 광점멸을 능동적으로 변화시켜 주기 위하여 기준단을 공용으로 하는 별도의 단일파장 마이켈슨 간섭계 및 피드백 보상회로를 추가하였고 이를 통해 스캐너의 비선형성을 극복하였다.

그림 1(a)은 제안된 시스템의 구성도로서 OCT 간섭계와 능동 보상을 위한 단파장 간섭계로 시스템이 구성되었음을 보여준다. OCT 광원으로써, 중심파장이 805 nm 인 super-luminescent diode(SLED, Exalos)가 사용되었고 2D 이미지 센서로 CCD(200 FPS, Pulnix)가 사용되었다. 단파장 간섭계에서는 OCT광원의 중심파장과 유사한 780 nm의 VCSEL이 사용 되었는데 기준단 거울의 왕복이송을 통해 발생한 정현파 형태의 간섭신호가 포토다이오드 (Photodiode; PD)를 통해 검출된다. 검출된 시변 도플러 신호는 능동적 보상회로를 통해 펄스열로 변환되어 OCT 광원을 점멸시키게 된다.

