

Optical transfer function of time-gated coherent imaging in the presence of a scattering medium

강필성

구미전자정보기술원

indrakps@geri.re.kr

요 약

산란매질 안에 있는 물체를 이미징 한다는 것은 어려운 일입니다. 우리는 이전의 연구를 통해 단일 산란과 누적 현미경(collective accumulation of single scattering (CASS) microscopy)을 이용하여 시간에 따른 간섭과 인풋과 아웃풋의 연관성을 이용하여 다중산란파를 효과적으로 감쇠시켜 이미징을 하였습니다. 본 연구에서는 이론적인 분석을 통하여 CASS현미경에서 다중산란파가 광 전달 함수에 주는 영향을 분석하였습니다. 특히 단일산란파와 다중산란파의 비율에 따라 공간주파수 기반의 SNR을 유도하였습니다. 추가로 실험을 통하여 다양한 공간주파수를 가지는 샘플에 대하여 이론적인 SNR을 실험을 통하여 확인하였습니다. 본 연구는 깊은 조직내에서 고해상도 이미징을 진행하는데 이론적인 체계를 제공할수 있을것으로 기대합니다.

I. 서론

본 논문에서는 CASS현미경에서 단일산란파와 다중산란파의 공간주파수 스펙트럼에 대해서 분석합니다. 공간주파수에 따른 SNR을 이론적으로 유도하고 이를 실험을 통해 확인했습니다. 이를 통해 CASS 현미경의 깊이 에 따른 공간 해상도를 정량적으로 평가하였습니다. 기존의 incoherent 이미징의 이미징 성능도 같은 관점으로 분석하였습니다.

II. 본론

본 논문에서는 각각의 변수 설정을 통하여 incoherent 이미징과 CASS 이미징의 SNR을 모델링 하였다. 각각 incoherent 이미징과 CASS이미징의 SNR입니다.

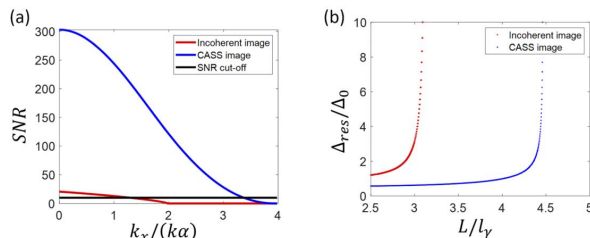
$$SNR_{inc}(k_o) = \frac{1}{4 \times 0.5\sqrt{\pi}} k_o \alpha \sqrt{B} \frac{I_s}{I_M} \sqrt{N_m} \sqrt{P * P(k_o)}$$

$$SNR_{CASS}(k_o) = \frac{1}{8 \times 0.15\sqrt{\pi}} k_o \alpha \sqrt{B} \frac{I_s}{I_M} N_m \sqrt{(P * P) * (P * P)(k_o)}$$

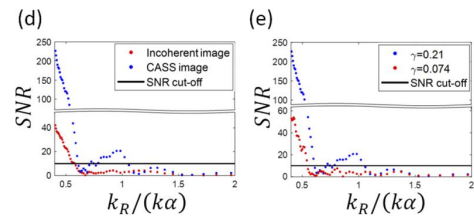
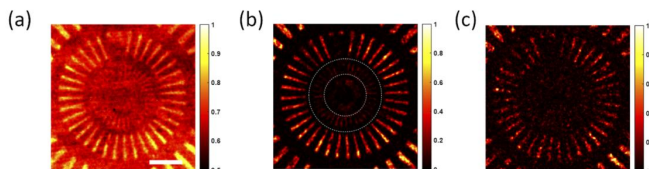
I_s =단일산란파의 세기, I_m =다중산란파의 세기, B = View field

N_m = 각도에 따른 독립적인 측정횟수, P = Pupil function

이를 통해 각 주파수별로 기대되는 SNR그래프를 획득할수 있습니다. 우리가 이미지를 구분할 수 있는 기준의 SNR을 10이라 가정했을 때 주어진 조건에서 최대 해상도를 알 수 있습니다. 오른쪽 그래프는 스캐터링이 점점 심해짐에 따라 우리가 구분할수 있는 한계를 나타낸 것입니다.



이러한 이론적 모델링을 확인하기 위하여 간섭을 이용하여 이미지를 획득하는 광학계를 구성하였고, 샘플로 지멘스 타겟을 이용하여 실험을 진행하였습니다.



산란매질은 1s가 48.5마이크론이고 두께는 4.5 1s가 되는 산란매질을 사용하였습니다. 지멘스 타겟을 샘플로 사용한 이유는 지멘스 타겟은 θ 방향으로는 일정한 주기가 있고 R방향을 따라 연속적인 크기 변화가 있기 때문에 스펙트럼 분석에 용이할 것이라 생각하였습니다. 데이터의 분석은 반지름에 따라 이미지를 세타 방향으로 추출하고 이를 θ 방향에 대하여 Fourier transform 하여 반지름에 대한 스펙트럼을 획득하였다. 아래의 그래프가 획득한 SNR이고 하얀색 원 부분이 X축 0.7에서 1에 해당하는 부분입니다. Cutoff SNR아래의 경우에는 이미지가 구분되지 않고 그 이상이 될때 이미지가 구분되는 것을 실험적으로 확인할수 있습니다.

III. 결론

본 논문에서는 물체의 이미지 정보를 가지는 단일산란파만을 이용하여 다중산란을 효과적으로 줄이는 이미징 방법인 CASS현미경에서 이 연구를 더 발전시켜, CASS현미경에서 단일 산란파와 다중 산란파의 공간 주파수 스펙트럼에 대한 경향을 분석하였습니다. 각각의 공간주파수에서 단일 산란파와 다중 산란파의 비에 따른 SNR을 이론적으로 도출하였으며, 이러한 이론을 뒷받침하기 위한 실험과 연구를 진행하였습니다. 이를 통해 CASS현미경의 깊이에 따른 공간 해상도를 정량적으로 추론할수 있었습니다. 이 연구는 다중산란광이 있을 경우 고해상도 광학 이미징을 이해하기 위한 이론적 프레임워크를 제시합니다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2020-0-00864, 홀로그래프 기반 비접촉 비파괴형 제품 내외부 변형/결함 검출 기술 개발)

참고 문헌

1. P. Kang, S. Kang, Y. Jo, H. Ko, G. Kim, Y. Lee, and W. Choi, "Optical transfer function of time-gated coherent imaging in the presence of a scattering medium," *Opt. Express* 29, 3395-3405 (2021)