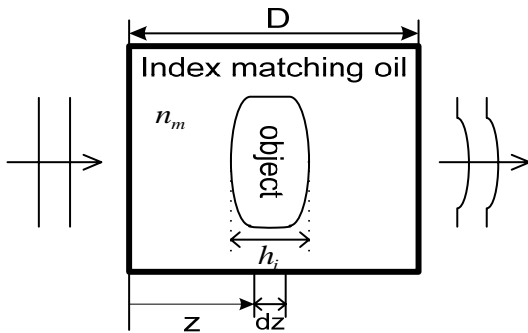


백색광 간섭계를 이용한 위상 물체의 두께와 굴절률에 대한 변수 분리 알고리즘

Separation algorithm for thickness and refractive index of phase object using white light interferometer

이광천, 류성윤, 박윤근, 김수현
 한국과학기술원 기계공학과
 lionking@kaist.ac.kr

광학 부품이나 생체 시편과 같은 위상물체의 굴절률과 두께정보를 동시에 측정하는 것은 중요하다. 위상 물체의 경우에 굴절률은 시편의 형태나 내부구조, 성능, 특성 등을 평가하는데 중요한 변수로 여겨진다. 간섭계를 이용한 측정시에 측정결과는 광경로차로 주어지며, 광경로차는 측정시편의 두께와 굴절률의 곱으로 표현된다. 측정된 결과에서 굴절률과 두께를 동시에 측정하지 않는 한 측정시편의 굴절률을 측정할 수 없다.⁽¹⁻³⁾ 본 연구에서는 다파장 광원인 백색광 간섭계를 이용하여 미지의 변수인 굴절률과 두께에 대한 표현식인 위상값으로부터 두 변수를 분리하는 알고리즘에 대해서 제안하고자 한다.



본 연구에서는 파장과 굴절률의 관계를 Cauchy model을 이용하여 변수 분리 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 변수 분리 알고리즘은 광 경로차에 대한 위상차 정보를 통해서 미지의 물체에 대한 굴절률과 두께의 정보를 추출해내는 것이다. 그림 1은 위상차에 대한 정보가 정합용액내에서 어떻게 표현되는지 나타낸다. 평행빔이 위상 물체를 통과한후의 광경로차를 두께와 굴절률의 함수로 나타내면 다음과 같이 나타낼수 있다. .

그림 1 Wavefront change of sample

$$OPL_i = \left(A + \frac{B}{\lambda_i^2} - n_m(\lambda_i) \right) h_i + n_m(\lambda_i) D \quad (1)$$

여기서 A, B는 Cauchy 계수이며, h는 측정 시편의 두께, D는 챔버의 두께이며, λ는 측정하는 파장이다. 식 (1)을 파수에 대한 함수로 나타내고 파수에 대해서 미분하면 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$\frac{d\phi}{dk_i} = \left(A + 3 \frac{B}{(2\pi)^2} k_i^2 - n_m(k_i) \right) h \quad (2)$$

여기서 k는 파수이다. 파수에 대한 위상차를 미분하여 얻은 결과를 이용하여 변수 분리 알고리즘을 적용하면 다음과 같다. 먼저 $D_1 = \frac{d\phi(k_2)}{dk_2} / \frac{d\phi(k_1)}{dk_1}$, $D_2 = \frac{d\phi(k_3)}{dk_3} / \frac{d\phi(k_2)}{dk_2}$ 로 정의를 하면,

$$\begin{bmatrix} D_1 - 1 & \frac{3}{(2\pi)^2} k_1^2 D_1 - \frac{3}{(2\pi)^2} k_2^2 \\ D_2 - 1 & \frac{3}{(2\pi)^2} k_2^2 D_2 - \frac{3}{(2\pi)^2} k_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_m \left(\frac{2\pi}{k_1} \right) D_1 - n_m \left(\frac{2\pi}{k_2} \right) \\ n_m \left(\frac{2\pi}{k_2} \right) D_2 - n_m \left(\frac{2\pi}{k_3} \right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)과 같이 대수적인 형태로 변수 분리알고리즘을 구성할 수 있다. 여기서는 먼저 변수 분리 알고리즘을 이용하여 Cauchy 계수 A와 B를 구한다. 구해진 계수를 식 (2)에 대입하여 각 지점의 두께를 구한다.

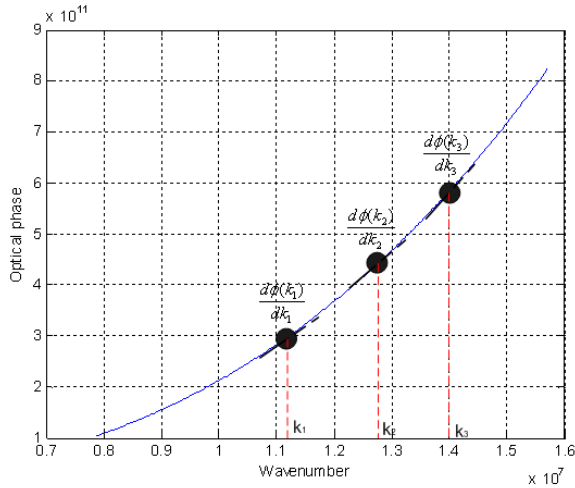


그림 2 Optical phase change for wavenumber

그림 2는 변수 분리 알고리즘을 적용하기 위해서 BK 7 재질의 시편에 대해서 파수에 대한 위상차를 나타낸다. 이때 특정 파수 (k_1, k_2, k_3)에 대한 위상차의 기울기를 구하면, 각 파수에 대해서 어느 정도 차이가 발생함을 알 수 있다.

본 연구에서는 간섭계를 이용하여 형상 정보나 물성 정보를 모르는 경우에 측정된 위상 정보로부터 측정 시편의 두께 정보와 굴절율의 분포를 분리하는 알고리즘에 대해서 제안을 하고 시뮬레이션을 통해서 대수적인 분리가 가능함을 확인하였다. 추후 실험적인 검증을 통해서 알고리즘의 타당성을 검토할 것이다.

후기

“이 논문 또는 저서는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(KRF-2007-314-C00122)

참고문헌

1. Benjamin Rappaz, et. al., "Measurement of the integral refractive index and dynamic cell morphometry of living cells with digital holographic microscopy," No. 23, Vol. 13, Optics Express, 2005
2. Florian Charrière, et al., "Living specimen tomography by digital holographic microscopy: morphometry of testate amoeba", Opt.Express, Vol. 14, No. 16, pp. 7005-7013, 2006
3. Florian Charrière, et al., "Cell refractive index tomography by digital holographic microscopy", Optics Letters, Vol. 31, No. 2, pp.178-180, 2006