瞳変調微分位相コントラスト法における複数の点光源を用いた 位相計測の空間分解能向上

Resolution Improvement of Quantitative Phase Imaging with Differential Phase Contrast Using Multiple Mutually Incoherent Light Sources

和歌山大院システムエ 1 ,和歌山大システムエ 2 \bigcirc 仁坂 健一 1 ,野村 孝徳 2

Wakayama Univ. ^{1,2} ^OKenichi Nisaka ¹ and Takanori Nomura ²

E-mail: s182040@center.wakayama-u.ac.jp

生体細胞を観察するために用いられる位相計測 手法の一つとして、瞳変調微分位相コントラスト (PMDPC: Pupil Modulation Differential Phase Contrast)法[1]が提案されている.この手法は, Fig.1 (a) に示す 4f 光学系の瞳面において、二種類のマスク により光波を変調し、それぞれに対応した強度分 布 I_L (x, y) および I_R (x, y) から位相分布を算出す る手法である.しかし、この手法はFig.1(b)に示す ようにコヒーレント照明を用いるので、計測可能な 位相分布の空間分解能はコヒーレント照明光学系の 遮断周波数により決定される.そこで本研究では, PMDPC 法により計測可能な位相分布の空間分解能 向上を目的とし、照明光源として互いに干渉しない 複数の点光源を用いる手法を提案する.本発表では, Fig.1 (c) に示す4つの点光源を想定し,提案手法に より空間分解能が向上することをシミュレーション によって検証した結果について述べる.

PMDPC 法による位相計測の原理 [1] を以下に示 す.この手法では,撮像素子により取得した強度分 布 $I_{\rm L}(x,y)$ および $I_{\rm R}(x,y)$ から

$$I_{\rm DPC}(x,y) = \frac{I_{\rm L}(x,y) - I_{\rm R}(x,y)}{I_{\rm L}(x,y) + I_{\rm R}(x,y)}$$
(1)

により定義される DPC 像 $I_{\text{DPC}}(x, y)$ を算出する. 物体の吸収および位相変化が小さいと仮定すると, DPC 像 $I_{\text{DPC}}(x, y)$ のフーリエ変換 $\tilde{I}_{\text{DPC}}(u, v)$ と物 体の位相分布のフーリエ変換 $\tilde{\phi}(u, v)$ は,光学系の 瞳関数に依存する伝達関数 $H_{\text{DPC}}(u, v)$ を用いるこ とにより

$$\tilde{I}_{\text{DPC}}(u,v) = H_{\text{DPC}}(u,v)\,\tilde{\phi}(u,v) \tag{2}$$

によって関係づけられる.これを解くことにより物 体の位相分布を算出することが可能である.

ここで, 従来の PMDPC 法における伝達関数を Fig.2 (a) に示す. 従来手法ではコヒーレント照明を



Fig. 1: (a) An optical setup and light sources of (b) the conventional and (c) the proposed methods.

用いるため、伝達関数の遮断周波数はコヒーレン ト照明光学系の遮断周波数により定まる.一方,提 案手法では、Fig.1 (c)に示す互いに干渉しない4つ の点光源を用いる.この場合における伝達関数を Fig.2 (b)に示す.これは文献[2]と同様に,式(1)で 定義される DPC 像 *I*_{DPC} (*x*, *y*) に対し,部分コヒー レント照明かつ物体による吸収および位相変化が小 さい場合に成り立つ近似を用いることにより算出し た.Fig.2より,提案手法では水平方向および垂直方 向の遮断周波数が従来手法に比べ二倍に増加し,水 平方向および垂直方向の空間分解能が向上すること がわかる.

提案手法により,位相計測の空間分解能が向上す ることを検証するために Fig.3 (a)に示す位相分布を もつ物体を計測対象としてシミュレーションをおこ なった.従来手法および提案手法により取得した位 相分布をそれぞれ Fig.3 (b), (c)に示す.この結果か ら,提案手法を用いることにより従来手法では計測 が不可能である高い空間周波数成分を含む位相分布 を計測可能であることがわかる.このことから,提 案手法の原理が実証された.

参考文献

- H. Lu, J. Chung, X. Ou, and C. Yang, "Quantitative phase imaging and complex field reconstruction by pupil modulation differential phase contrast," Opt. Express 24, 25345–25361 (2016).
- [2] L. Tian and L. Waller, "Quantitative differential phase contrast imaging in an LED array microscope," Opt. Express 23, 11394–11403 (2015).



Fig. 2: Transfer functions of (a) the conventional and (b) the proposed methods.



Fig. 3: Numerical experiments. Phase distributions of (a) specimen to be measured, reconstructed from (b) the conventional , and (c) the proposed methods.