

電子線ホログラムとそのフーリエ平面画像にウェーブレット 隠れマルコフモデルデノイズを適用した場合の位相再構成比較

Comparison of phase reconstruction by applying wavelet hidden Markov model denoising to electron hologram and its Fourier plane image

阪大情報科 ○御堂義博, 中前幸治

Osaka Univ. ○Yoshihiro Midoh, Koji Nakamae

E-mail: midoh@ist.osaka-u.ac.jp

電子材料や磁性材料の微小な電磁場分布を観察するために電子線ホログラフィーが用いられている。電子線による試料損傷をできる限り避けつつ微小な位相変化を計測するためには、電子線ホログラム（干渉縞）の雑音低減が有効である。我々は、検出電子数が数個程度の低 S/N な電子線ホログラムに対して、分散安定化、Dual-tree 複素数ウェーブレット (DTCWT)、隠れマルコフモデル(HMM)を融合した雑音低減手法を検討してきた[1][2]。

本稿では、様々な観察条件（干渉縞の周期等）の電子線ホログラムに対して、より汎用的な雑音低減を実現するため、次の 2 種類の方法を比較検討する：(1)電子線ホログラムに対して雑音低減を実行した後、フーリエ変換ベースの位相再生（実部・虚部の $\arctan$ から算出）[3]を行う。(2)フーリエ変換ベースの位相再生時に得られた実部・虚部（試料による干渉縞の歪み成分）に各々雑音低減を実行した後、 $\arctan$ により位相を算出する。

シミュレーションにて雑音低減効果を比較した。まず、 $N \times N$ 画素の無雑音ホログラムを次式より生成した。

$$I(x,y) = x_s [1 + V_s \cos(2\pi x m_0 / N + \phi(x,y))]$$

ここで、 x_s は信号の平均値、 V_s は干渉縞コントラスト、 m_0 は干渉縞周期、 $\phi(x,y)$ は位相を表す。これにポアソン雑音を与えたホログラムに対して、方法(1)/方法(2)の雑音低減 (DTCWT-HMM) を適用した。図 1 に $N=256$, $x_s=4$, $V_s=0.4$, $\phi(x,y)=2 \times \text{peaks}(x,y)$ (peaks は Matlab の関数) のホログラムに対する適用結果を示す。図 1 中の列(i)と(ii)はそれぞれ $m_0=50$, $m_0=30$ の結果であり、行(a)は雑音を含むホログラム、行(b)は(a)に直接位相再生（位相アンラッピングを含む）して得られた位相、行(c)と(d)はそれぞれ方法(1)と(2)で雑音低減した後、位相再生して得られた位相を示す。図中

の黄色の数値は、各位相像と正解位相像の差分の標準偏差を表しており、小さい程正解に近い位相が得られている。方法(2)は方法(1)よりも高い雑音抑制効果が見られたが一部に位相トビが見られた。対象ホログラムに応じた選別が効果的である事が分かった。

謝辞

本研究は、JST CREST (Grant No. JPMJCR1664)の支援を受けたものである。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Y. Midoh et al., Microscopy (in press).
- [2] 御堂義博他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 18a-E318-7 (2019).
- [3] M. Takeda et al., J. Opt. Soc. Am., 72(1) (1982).

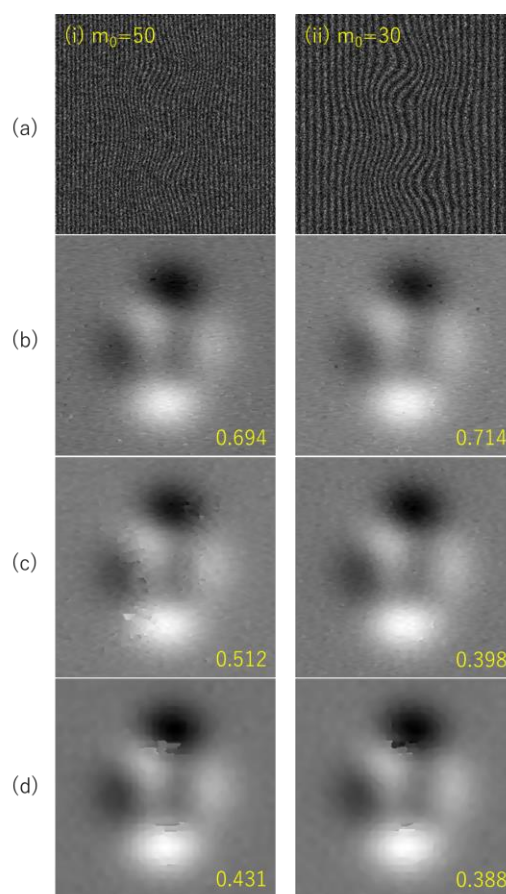


Figure 1. Experimental results.