

レイリー・ゾンマーフェルトの回折積分行列の逆問題による イメージングにおける導関数を用いたロバスト性の向上 Robustness Improvement for Imaging by Inverse Problem Solving of Rayleigh-Sommerfeld Diffraction Integral Matrix Using Derivatives

宇大院工¹, 宇大 CORE² ○ 卯柳 翼¹, 茨田 大輔^{1,2}

Grad. Sch. Eng., Utsunomiya Univ.¹, CORE, Utsunomiya Univ.²

○Tsubasa Uyanagi¹, Daisuke Barada^{1,2}

E-mail: mt186209@cc.utsunomiya-u.ac.jp

デジタルホログラフィは撮像素子で取得したデータを計算機により立体的な情報として取得できる。観察面における光波を離散化すると、撮像素子のある画素では、観察面のすべての画素から伝播してくる光の重ね合わせで表現される。これは、レイリー・ゾンマーフェルトの回折積分を数値積分していることと同意であり、その数値積分は行列で表現することができる。計算機内でこの行列と撮像素子で得られた結果から数値計算することにより光波を再生することができる。しかし、この方法での光波再生はサンプリング点以外での数値が正しくないためノイズに非常に弱くなってしまう。そこで本研究では行列に微係数を用いることでサンプリング点以外の場所でも数値が許容できるようにすることでロバスト性の向上を図る。

提案手法では、観察物体からの物体光と一点から広がる参照光を干渉させたデジタルホログラムから観察物体の複素振幅を抽出することを想定する。このとき、物体光の複素振幅は、参照光の複素振幅の複素共役との積として抽出される。この関数をここでは画素振幅関数と呼ぶ。よって、複数の観察点から複数の撮像素子画素までの光伝播による画素振幅関数を計算し重み係数行列を用いて式を立てる。さらに画素振幅関数を x , y , x および y で偏微分することで同様の式を立てることができる。ここで、撮像素子のある画素の複素振幅を u_n 、観察面のある画素の複素振幅を v_m 、観察面のある画素から撮像素子のある画素への光伝播係数を a_{nm} 、参照光の撮像素子のある画素への光伝播係数を a_{0n} とすると、 u_n とその微係数は、

$$u_n = \sum_m a_{0n}^* a_{nm} v_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_n}{\partial x} = \sum_m \frac{\partial}{\partial x} (a_{0n}^* a_{nm}) v_m \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_n}{\partial y} = \sum_m \frac{\partial}{\partial y} (a_{0n}^* a_{nm}) v_m \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 u_n}{\partial x \partial y} = \sum_m \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (a_{0n}^* a_{nm}) v_m \quad (4)$$

のように表せる。これらの式でできた多元連立方程式を解くことにより観察物体の複素振幅を抽出する。

光の波長405nm, 観察面の画素ピッチ400nm, 伝播距離100mm, 解像度を 32×32 とし、撮像面で0.001%程度のノイズを含めたシミュレーションを行った。その結果を Fig.1 微係数を用いない従来法 [1] では、観察面での複素振幅がまったく抽出されないのに対し、提案手法では、少しノイズは含まれてはいるが抽出可能であることが確認できた (b)。以上の結果より、提案手法によってロバスト性が向上できることがわかった。

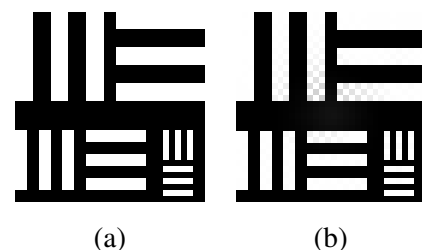


Fig. 1: Extraction result of a pattern at observation plane by (a) Original image and (b) Proposed method

[1] 卯柳 他, 第19回情報フォトニクス研究グループ研究会 講演予稿集, 48 (2018)