スパース性制約付きディジタルホログラフィによる粒子場の可視化

Particle field visualization with sparsity-constrained digital holography

近畿大学大学院　°(M1)板倉 貫，吉田 周平

Kindai Univ., °Kan Itakura, Shuhei Yoshida

E-mail: 1933340430u@kindai.ac.jp

1. 序論

粒子場の可視化は, 速度場の測定などに応用されている．本研究では，スパース制約付きディジタルホログラフィによる粒子場の可視化手法を提案する. 従来用いられている角スペクトル法では, 物質の分布ではなく散乱波の分布が得られるが，提案手法では，簡単な光学系で 3 次元粒子場そのものを可視化することが可能である．

2. 原理

体積 V 内に照射されたレーザーは物体により散乱し，散乱波 u_o となる．u_o はレーザー光 u_r と干渉し，インラインホログラム I として記録される．

$$I = |u_o + u_r|^2 = |u_o|^2 + |u_r|^2 + 2\mathrm{Re}(u_o u_r)$$
$$= |u_o|^2 + 1 + 2\mathrm{Re}(u_o) \quad (u_r = 1) \qquad (1)$$

ホログラム I から平均値を除去して

$$\mathbf{y} = I - 1 = |u_o|^2 + 2\mathrm{Re}(u_o) \qquad (2)$$

とし, 以下の制約なし問題を解くことで信号再構成を行う．

$$\min_x \frac{1}{2}\|\mathbf{Ax} - \mathbf{y}\|_2^2 + \tau\Re(\mathbf{x}) \qquad (3)$$

ここで $\mathbf{x}$ は 3 次元散乱密度分布, $\mathbf{A}$ はホログラフィの観測課程，$\Re$ は正則化項，τ は正則化パラメータである．式(3)を解くために，TV 正則化を行った後，L1 ノルム正則化を行うことで，最小化を行う．このとき最適化の手法として FISTA [1]を用いた．

3. 方法

10 μm 径のポリマー球を水に混合し，インラインホログラムを撮影する (Fig. 1) ．

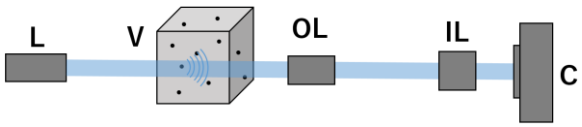
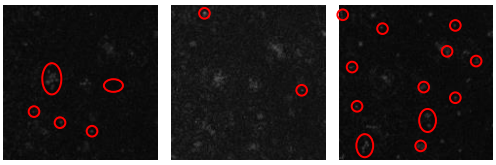


Fig. 1. Experimental optical system. L, laser; V, imaged volume; OL, Objective lens; IL, Imaging lens; C, Camera.

得られたホログラムから，角スペクトル法[2]と提案手法（TV 正則化+L1 ノルム正則化）を用いて，3 次元分布を再構成した．

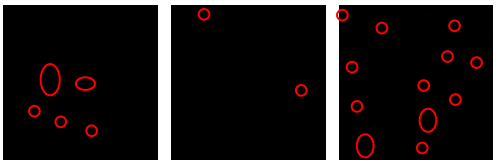
4. 結果

ホログラムから再生した体積 V の画像を Fig 2, 3 に示す．



(a) z = +330 μm　(b) z = 0 μm　(c) z = -360 μm

Fig. 2. Angular spectrum method



(a) z = +330 μm　(b) z = 0 μm　(c) z = -360 μm

Fig. 3. TV and L1-norm Regularization

Fig. 2 は角スペクトル法によって得られた散乱波の分布，Fig. 3 は提案手法により求めた，3 次元散乱密度分布である．提案手法では，角スペクトル法では得ることが難しかった物質の 3 次元分布が得られた．

5. 結論

提案手法では，圧縮センシング（TV 正則化+L1 ノルム正則化）を用いることで，体積中の物質の 3 次元分布そのものを再構成することができた．

参考文献

[1] 遠藤優：“ライトフィールドカメラおよび圧縮センシングを用いたホログラフィに関する研究，” 千葉大学 (2017).

[2] 伊藤智義，下馬場朋禄：“ホログラフィ入門　コンピュータを利用した 3 次元映像・3 次元計測，” 講談社 (2017).

© 2019年 応用物理学会