

シングルピクセルイメージングにおける 画像再構成アルゴリズムの比較検討

Comparative investigation of imaging algorithms in single-pixel imaging

近畿大学大学院 (M1) 賀谷 福音, 吉田 周平

Kindai Univ., Fukune Kaya, Shuhei Yoshida

E-mail: fukune.kaya@kindai.ac.jp

1. 序論

耐ノイズ性に優れた新たなイメージング技術として、単一画素検出器を用いたシングルピクセルイメージング(SPI)が提案されている。SPI のイメージングアルゴリズムとして様々な手法が提案されているが、本研究では実験により各手法のイメージング性能を比較、評価した。

2. 原理

照明光の光強度分布を $\mathbf{a}$ 、物体の透過率の空間分布を $\mathbf{x}$ 、検出器で測定した透過光を $\mathbf{b}$ とおくと、 $\mathbf{a}$ と $\mathbf{x}$ の内積が $\mathbf{b}$ となる。各測定に対する $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ をそれぞれ縦方向に並べた行列、ベクトルを $\mathbf{A}$, $\mathbf{b}$ とすると、解くべき問題は $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ と定式化できる。本研究では、イメージングアルゴリズムとして交互方向乗数法(ADMM)、最急降下法(GD)、共役勾配法(CG)、alternating projection (AP) [1]を評価した。

解くべき方程式は劣決定の線形方程式系である。GD, CG は、 $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ の最小二乗解を求める手法、AP は空間周波数に着目した手法であり、ADMM は圧縮センシングに基づいた手法である。ADMM ではスパース解を推定するために、L1 ノルム最小化を式(1)で示される拡張ラグランジュ法を用いて求める。

$$L_{\text{aug}}(\mathbf{x}, \mathbf{z}; \mathbf{h}[t], \mu[t])$$

$$= f(\mathbf{z}) + g(\mathbf{x}) + (\mathbf{h}[t])^T(\mathbf{x} - \mathbf{z}) + \frac{\mu[t]}{2} \|\mathbf{x} - \mathbf{z}\|_2^2 \quad (1)$$

ここで f には $\mathbf{x}$ の L1 ノルム $\|\mathbf{x}\|_1$, g には $g = \|\mathbf{b} - \mathbf{Ax}\|_2^2 / 2\lambda$ を用いる。次に制約条件の係数を一定にし、式(1)で導入した変数 $\mathbf{z}$ と $\mathbf{x}$ 、ラグランジュ未定乗数を交互に更新する。ADMM は制約条件の係数を一定にしているため、高速なアルゴリズムになっている。

3. 方法

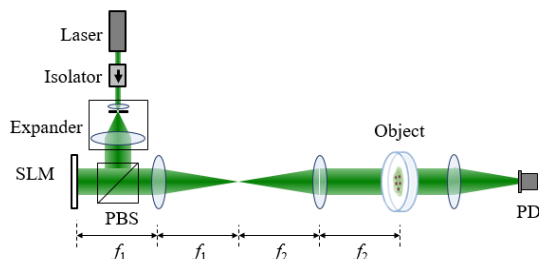


Fig. 1 Experimental optical system

実験に用いた光学系を Fig. 1 に示す。偏光ビームスプリッター(PBS)によりレーザーからきた光は全て空間光変調器(SLM)に向かう。SLM で反射した光

は偏光面が回転した光のみ PBS を通過し、回転しなかった光は通過しないので、SLM に表示した画像通りに光強度が変化した照明光が測定対象物に照射される。対象物を透過した光はフォトダーオード(PD)で光強度が測定される。これを照明光のパターンを変えながら繰り返した。

4. 結果

8192 回分の測定データから、ADMM と GD, CG, AP を用いて再構成した結果を Fig. 2 に示す。

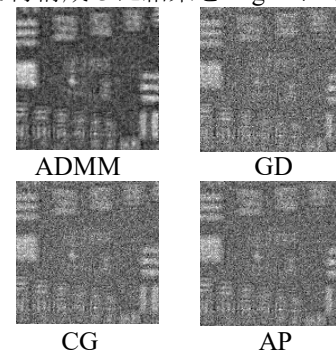


Fig. 2 Experimental results

画質は Total Variation(TV)を使って評価した。TV 値は式(2)で求められ、ノイズの指標として用いた。

$$TV = \sum_{i,j} |x_{i,j} - x_{i+1,j}| + |x_{i,j} - x_{i,j+1}| \quad (2)$$

再構成した画像のそれぞれの TV 値を Table 1 に示す。ADMM の TV 値が他の手法と比べて小さいことから、高画質であることがわかった。

Table 1 TV value

再構成方法	TV 値	平均値
ADMM	5.68536×10^5	34.7007
GD	1.03636×10^6	63.2543
CG	9.43088×10^5	57.5615
AP	9.17735×10^5	56.0141

5. 結論

本研究では圧縮センシングを用いた画像再構成方法が反復法を用いた再構成方法に比べて高画質に再現できることを明らかにした。

参考文献

- [1] L. Bian, J. Suo, Q. Dai, and F. Chen, "Experimental comparison of single-pixel imaging algorithms," Opt. Express 35 (1), pp. 78-87 (2018),