

単一画素カメラにおける空間変調パターンの物体認識に対する最適化

中島 凱[†]

[†] 金沢大学理工学域

遠藤 優^{††}

^{††} 金沢大学理工研究域

1. はじめに

単一受光素子を用いる単一画素カメラは、波長帯、感度、応答速度などの点で画素アレイを用いることが困難な場面での活用が期待されている[1]. 本研究では、単一画素カメラにおける空間変調パターンを物体認識タスクに合わせて機械学習により最適化する手法を提案し、その有効性を検証する.

2. 単一画素カメラを用いた物体認識

図 1 に本研究で用いる単一画素カメラシステムを示す. デジタルマイクロミラーデバイス (DMD) により形成された構造化照明を被写体に照射し、反射または透過光の強度を単一受光素子で計測する. このとき、計測データは $y_i = \mathbf{w}_i^T \mathbf{x}$ となる. ここで、 $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^N$ は被写体、 $\mathbf{w}_i \in \mathbb{R}^N$ は空間変調パターンを表す. 変調パターン \mathbf{w}_i を変えてこの計測を M 回繰り返す、以下の計測データを得る.

$$\mathbf{y} = \mathbf{W}\mathbf{x}$$

ここで、 $\mathbf{W} \in \mathbb{R}^{M \times N}$ は i 行ベクトルが \mathbf{w}_i の行列である. 単一画素カメラにおける物体認識では、計測データ \mathbf{y} から被写体 \mathbf{x} の物体認識を行う.

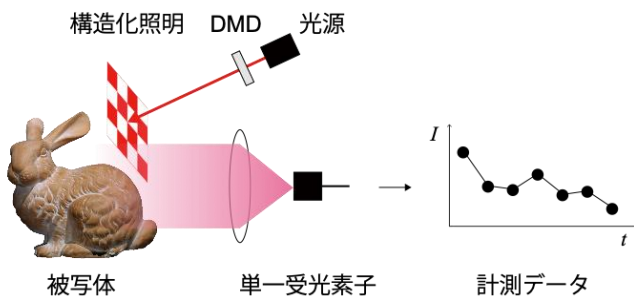


図1. 単一画素カメラシステム

3. 空間変調パターンの最適化

物体認識に最適な変調パターン \mathbf{W} を学習する. 図 2 のような単一画素カメラによる計測と分類器からなるモデルを、データセットを用いて学習する. 計測モデルは全結合層で表され、変調パターン \mathbf{W} を重みとして学習できる. 本研究で用いる DMD に適するように、 \mathbf{W} に $\{-1, 1\}$ の 2 値制約をかけて学習する[2]. 学習されたパターンは単一画素カメラの変調パターンとして使用し、得られた計測データを分類器に入力することで認識結果を得る.

4. 実験結果

MNIST データセットを用いた手書き数字認識[3]において本手法の有効性を検証した. 分類器として、LeNet-5[3]

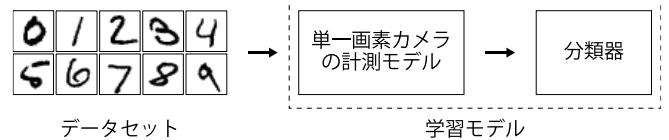


図 2. 空間変調パターンの最適化のための学習モデルをベースとしたモデルを用いた. シミュレーションと光学実験により評価した.

光学実験では透過型液晶ディスプレイ (Holoeye LC2012) に手書き数字画像を表示して計測を行った. 表示する画像は MNIST の各クラスから 10 枚を無作為に選出した計 100 枚を使用した.

表 1 に実験結果を示す. 比較対象としてアダマールパターンとランダムパターンを用いた. 全てのケースで最適化パターンの正解率が最も高くなった. また、最適化パターンではパターン数 M の減少による正解率の低下が小さい. 以上より、変調パターンを物体認識に合わせて最適化することで、効率の良い計測を実現できることを示した.

表 1. 手書き文字認識の正解率

	アダマール	ランダム	最適化
シミュレーション			
M = 64	96.69%	95.73%	97.71%
M = 16	85.84	83.49%	97.25%
光学実験			
M = 64	91%	83%	96%
M = 16	63%	65%	95%

5. まとめ

本研究では、単一画素カメラにおける空間変調パターンを物体認識タスクに合わせて最適化する手法を提案した. 提案手法を手書き数字認識に適用し、シミュレーションと光学実験によりその有効性を確認した. 今後はより高度な問題において本手法の有効性を検証する予定である.

本研究の一部は JSPS 科研費 JP19K20293, 公益財団法人マツダ財団助成金の助成を受けて遂行された.

参考文献

[1] M. Edgar, *et al.*, Nat. Photonics, 13(1), 13–20 (2019)
 [2] M. Courbariaux, *et al.*, arXiv, 1602.02830 (2016).
 [3] Y. LeCun, *et al.*, Proceedings of the IEEE, 86(11) 2278–2324 (1998)