

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	深層学習を応用したレンズレス光学系による次世代イメージングとセンシング
Title(English)	Next-generation Imaging and Sensing: Lensless Optics Equipped with Deep Learning
著者(和文)	PANXIUXI
Author(English)	Xiuxi Pan
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12191号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山口 雅浩,SLAVAKIS KONSTANTINOS,熊澤 逸夫,渡辺 義浩,劉 載勳
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12191号, Conferred date:2022/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	PAN XIUXI	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	山口 雅浩	教授	劉 載勳	准教授
	審査員	スラヴァキス コンスタンティノス	教授		
		熊澤 逸夫	教授		
		渡辺 義浩	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Next generation Imaging and Sensing: Lensless Optics Equipped with Deep Learning (深層学習を応用したレンズレス光学系による次世代イメージングとセンシング)」と題し、英文7章から構成されている。

第1章「Introduction (序論)」では、近年、レンズを使用しない画像入力技術として「レンズレスカメラ」が注目されていることを述べている。マスク型レンズレスカメラは、薄いマスクとイメージセンサで構成される簡素な光学系で、マスクで変調された符号化パターンからコンピュータによる計算処理により画像を再構成するものであり、小型・軽量・低コストな光学ハードウェアといった特徴から Internet of Things (IoT) などへの応用が期待されるが、一方で技術的には発展途上で、多くの課題が残されていると述べている。そして本論文の目的は、レンズレス光学系に深層学習を組み合わせることで、画質の大幅な向上を実現すること、また画像再構成を行わずに物体認識などのタスクを実行可能にすることであるとしている。

第2章「Lensless Optics & Deep Learning (レンズレス光学系と深層学習)」では、マスク型レンズレスカメラに関する従来研究を紹介した上で、その基本モデルを示すとともに、深層学習と組み合わせることの意義を述べている。

第3章「Improved Image Reconstruction (改善された画像再構成)」では、まずレンズレスイメージングにおける画像再構成技術を概観し、従来、点広がり関数 (PSF) に基づく手法が多く用いられているが、複雑かつシフトバリエーションを持つ PSF を持つレンズレス光学系では再構成画像の品質がシステムモデリングの精度に影響されやすく、良好な結果を得ることが難しいと述べている。機械学習のようなデータ駆動型のアプローチはこのような問題を回避できるものの、既存のディープニューラルネットワーク (DNN) のモデルでは優れた再構成品質を達成できていないと述べている。この理由として、レンズレス光学系では PSF がほぼ画像全体に及ぶことから撮影された符号化パターン上の大域的な特徴を取り扱う必要があるが、従来の Fully Convolutional Network (FCN) による手法は、小サイズのカーネルの畳み込みを繰り返す処理であるため、大域的特徴を用いた推論の効率が悪い点を挙げている。この考察に基づき、本論文では Vision Transformer (ViT) の枠組みに基づく新たな手法 Lensless Imaging Transformer (LIT) を提案している。LIT は、ViT の基本構成に基づくことで大域的特徴を効率的に用いた推論が可能であり、また、レンズレスカメラの画像再構成に特化した独自設計により、計算量の削減と学習の容易化を実現している。

提案手法の有効性を検証するため、疑似ランダム二値透過マスクを用いたレンズレスカメラの光学系を構築し、PSF に基づく手法や FCN と比較する実験を行い、その結果、提案する LIT が最も優れた画像品質を達成できることを実証している。

第4章「Reconstruction free Recognition (再構成不要な物体認識)」では、画像再構成を行わずに、レンズレスカメラによる符号化パターンを直接用いて物体認識を行う手法を提案している。このとき、第3章と同様に、レンズレス光学系の PSF がほぼ画像全体に広がり物体の情報が多重化されるという特性があるため、既存の FCN では外乱を増幅しやすく符号化パターンでの認識が困難であり、これに対して以下の2つの解決策を提示している。

一つ目は FCN のための新しいデータ前処理法であり、Local Binary Pattern (LBP) Map Generation (MG) と名付けられている。LBPMG は、符号化パターンを LBP マップに変換することで外乱増幅の問題を緩和することができ、これによって FCN を用いた再構成不要の認識を可能としている。もう一つの解決策は、Lensless Recognition Transformer (LRT) と名付けられており、LIT と同様、多重化特性を扱うために ViT を適用し、大域的な特徴抽出を強化している。そして LBPMG と LRT の実現

可能性を光学実験により示している。衣服の分類及びネコ対イヌの分類課題を用いた実験では、LRTはレンズ付きカメラを用いた手法に迫る認識精度を達成している。

第5章「Mask Pattern Optimization (マスクパターン最適化)」では、本論文で用いた振幅型のマスクに関して、マスクパターンを畳み込みのカーネルと見なし、後続のネットワークの重みとともに学習によって最適化する新たな手法を提案している。

第6章「Applications (応用)」では、本研究で提案したレンズレスカメラの応用として、IoT機器におけるモニタリングや自動化目的の撮像・センシングなどの機能的な用途に適していること、光学レベルの暗号化によりプライバシー情報の保護に有効であることなどを挙げている。

第7章「Conclusions & Discussions (結論と考察)」では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題について考察を行っている。

以上を要するに、本論文はIoTなどにおける様々な画像センシングへの応用が期待されるレンズレスカメラの技術に関して、深層学習を用いた画像再構成及び物体認識の新たな手法を開発し、その有効性を実験的に示したものであり、工学上・工業上寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。