

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 題目(和文) | 薄型で機能的なコンピュータショナルイメージングに基づくカメラシステム |
| Title(English) | A thin and functional camera system based on computational imaging |
| 著者(和文) | CHENXiao |
| Author(English) | Xiao Chen |
| 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12543号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種類:課程博士, 審査員:山口 雅浩,熊澤 逸夫,金子 寛彦,SLAVAKIS KONSTANTINO,渡辺 義浩 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12543号, Conferred date:2023/9/22, 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 | CHEN Xiao | | |
|----------------------|-----|-------|---------|-----------|-------|-----|
| 論文審査 審査員 | | 氏名 | 職名 | | 氏名 | 職名 |
| | 主査 | 山口 雅浩 | 教授 | 審査員 | 渡辺 義浩 | 准教授 |
| | 審査員 | 熊澤 逸夫 | 教授 | | | |
| | | 金子 寛彦 | 教授 | | | |
| スラヴァキス・ コンスタンティノス | | 教授 | | | | |

論文審査の要旨(2000 字程度)

本論文は、「A Thin and Functional Camera System Based on Computational Imaging」と題し、英文 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、本論文の研究背景と動機を概観している。まず、レンズを用いて像を取得する従来のカメラシステムの課題として、小型化が困難であること、製造コストが高いこと、機能が限られていることなどを挙げ、これらの問題が撮影装置としての応用を制約していると述べている。そして本論文の目的は、計算イメージングの原理を活用することで、薄型で機能的なカメラシステムの革新的な設計を可能とし、小型でコスト効率に優れ、かつ高機能な撮影システムを開発することであると述べている。

第 2 章「Computational imaging for thin and functional camera system」では、本研究の技術的背景となる計算イメージングの技術を紹介し、画像取得システムにおいて光学系と計算処理を融合的に設計することで、従来のカメラの限界を超えたシステムを可能とすると述べている。そして、本研究で対象とする薄型高機能カメラを実現する関連技術として、レンズレスカメラに関する従来研究と、ホログラフィック導波路を用いたイメージング系の基本構成を提示している。

第 3 章「Superresolution in FZA Lensless Camera」では、フレネルゾーン開口 (FZA) パターンを画像センサの前にマスクとして配置する構造のレンズレスカメラにおいて、従来技術の分解能の限界を明らかにするとともに、その限界を超える画像の取得を可能とする二つの方法を提案している。従来、FZA レンズレスカメラにおける光学特性の解析が不十分で、幾何光学モデルに基づく既存のアプローチでは回折の影響を適切に考慮できず分解能が制約を受けていたことから、本論文では、まず波動光学に基づきインコヒーレント系としての伝達特性の理論的解析を行っている。その結果、回折の影響により空間周波数伝達特性に零点が存在することが分解能の限界の要因となっていること、及び零点となる空間周波数は「マスクとセンサ間の距離」と「FZA パターンのピッチ」により変化することを明らかにしている。そして以上の解析に基づき、複数枚の撮影画像を合成することで高空間周波数までの範囲で零点を消失させ、分解能の限界を超えた画像取得を可能とする 2 種類の方法を提案している。その第一の方法はマスクとセンサの距離を変化させて複数枚画像を得る方法であり、第二の方法は異なるピッチのマスクパターンで複数枚の撮影を行う方法である。これらの 2 つの方法に関して、計算機シミュレーション及び実被写体と試作レンズレスカメラを用いた実験を行い、従来法に対して分解能の向上及びリフォーカス (撮影後の焦点合わせ) 機能での優位性を確認している。

第 4 章「AI based refocusing for lensless camera」ではレンズレスカメラのための画像再構成手法として機械学習に基づくアプローチを取り上げ、はじめに、深層学習に基づく画像再構成手法は比較的高速にアーティファクトの少ない再構成結果を提供するが、リフォーカスを行う有効な方法が存在しないことを指摘している。そして本章では、従来提案されていたビジョン・トランスフォーマーを用いた再構成手法に対して、リフォーカスさせる奥行きを外部制御コードとして加え、焦点ずれによるボケも学習させることでリフォーカス機能を実現する手法を提案している。そして基礎的な計算機シミュレーションによって提案したモデルの有効性を確認している。

第 5 章「See-through-screen Camera (STS) and its application with lensless camera」では、ディスプレイなどと一体化した薄型カメラを実現する方法として、体積型ホログラフィック導波路素子を用いた透明スクリーンカメラ (STS) について、撮影される画像劣化の原因と再構成手法を示している。STS で広い視野を達成するには導波路素子を大きくする必要があり、その結果画像のボケが生じる。本章ではボケを数学的にモデル化するため、ブラッグ回折における波長選択性・角度選択性を考慮した光線追跡の理論解析を行っている。さらに、実光学系の特性を計測により取得してモデル化し、最適化に基づく再構成手法を適用することで良好な画像再構成を行えることを実証している。

第6章「Conclusion」では本研究の成果を総括するとともに、残された課題・今後の展望などを議論している。

以上を要するに、本論文では計算イメージング技術に基づいて薄型・高機能な撮影装置を実現する技術として、リフォーカス機能を有するレンズレスカメラ及び透明スクリーンカメラにおける従来の限界を超えた画像再構成手法を明らかにしたもので、携帯機器やネットワーク化されたセンサ機器などにおけるカメラの用途を拡大する要素技術として、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。