

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03257

研究課題名（和文）vHOE符号器を用いた複数視野像の一括取得による小型高速ギガピクセルカメラの創出

研究課題名（英文）Single-shot compact gigapixel camera with vHOE encoder

研究代表者

中村 友哉（Nakamura, Tomoya）

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：70756709

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：符号化に基づく小型・高速・広視野・高解像度イメージング技術を開発した。当初vHOE符号化を用いた複数視野の多重化計測モデルを提案したが、研究期間内では他の符号化方式も含めて検討を進め、最終的には複数像情報を多重化するのではなく、疎らに分離計測し、密な情報を圧縮センシングアルゴリズムで再構成するモデルを開発した。その中で、撮像の距離依存性、視野制限、回折による解像度制限などの具体的問題に対処しつつ、圧縮センシング法の性能向上のためのスパースモデリング法の改善、光学系多段化などの検討も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

広視野・高解像度・小型符号化イメージング技術について、新規手法を開拓するとともに実環境下で現れる問題の解決を行った。研究成果は、配管検査や医療用カメラなど、狭所空間で高情報量な計測が必要となる映像システムの実現において、基礎技術として役立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We developed a compact, high-speed, wide-field-of-view, high-resolution imaging technique based on optical encoding. We initially proposed a multi-view multiplexed measurement model using vHOE encoding, but during the research period, we also included other encoding schemes and finally developed a model in which multi-image information is not multiplexed, but rather sparsely separated and measured, and the dense information is reconstructed using a compressed sensing algorithm. In the process, specific problems such as distance dependence of imaging, field-of-view limitation, and resolution limitation due to diffraction were addressed, while improvements in sparse modeling methods and multistage optics were also investigated to improve the performance of the compressed sensing method.

研究分野：情報光学

キーワード：レンズレスカメラ 光符号化 圧縮センシング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、広視野と高解像度を両立するイメージングシステムが研究されており、ライフサイエンスをはじめサーベイランス、環境保全、文化財記録等に役立てられている。撮影の走査に基づく手法が主流であるが、撮像時間の長大化が課題である。一方で、カメラアレイやセンサアレイの利用や特殊イメージセンサの利用等を考慮した、ハードウェアによるアプローチも研究されているが、光学系の大型化及び高コスト化が課題である。これを小型光学系で実装できれば、広視野・高解像度イメージングの応用範囲を拡大できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、光符号化を積極利用し、小型光学系による広視野高解像度イメージングシステムを開発することを目指す。その実現のために、符号化光学系と画像再構成処理を活用する。特に、体積ホログラム光学素子 (vHOE 符号器) を用いた複数視野像の多重化一括取得と、像のスパース性を積極利用した復号処理の融合 (圧縮センシング) を足がかりに、上記の実現のための符号化法及び複合演算法の設計を検討する。

3. 研究の方法

光変調素子の挿入に基づく符号化光学系を設計し、それに対応する画像再構成処理を設計する。変調素子のモデルとしては、vHOE や強度変調素子、位相変調素子を候補とする。画像再構成処理については、圧縮センシングアルゴリズムを中心に検討する。数値シミュレーションを実装し、性能を定量的に評価する。この結果を元に、物理実験のための光学設計を行い、符号化光学素子の物理実装やイメージセンサの配置等を含む撮像システム実機の構築を行い、物理環境下での性能を検証するとともに、物理環境下での原理実証を行う。

4. 研究成果

まず、当初考案した方法である vHOE 符号器による視野多重計測と画像再構成処理に基づく手法を検討した。シミュレーション実証により、少数視野多重であれば原理の有効性が確認されたため、vHOE の物理実装を行い、撮像系実機構築を行った。vHOE はフォトポリマーへの干渉場の感光に基づき実装し、単色光に対して約 90% の回折効率を達成する透過型素子を実装した。二視野多重イメージングについて、暗室内での原理実証を行った。実験系と結果を図 1 に示す。暗室内の実験において有効性が確認されたが、vHOE の実装の難しさや多重計測モデルの限界から、当該方式では性能改善が原理的に困難であることも明らかになった [T. Nakamura+, BISC2018]。

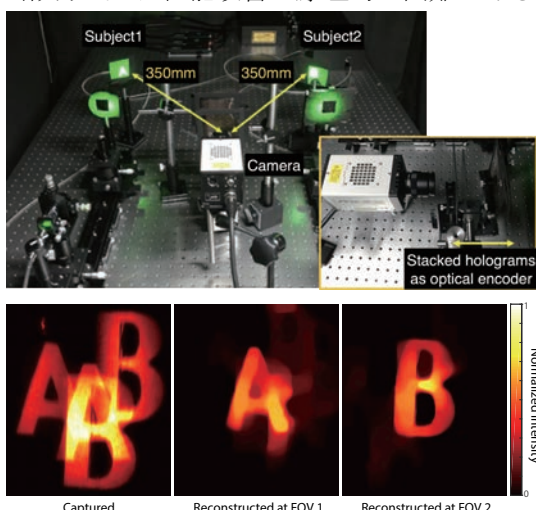


図 1 vHOE 符号器による二視野多重イメージング

次に、広い視野を多重計測するのではなく、疎らに個別計測し、その後圧縮センシング型画像再構成により欠損情報を補償する手法を検討した。イメージセンサに開口を設ける加工を行うことで、前述の広視野符号化イメージングを実装する手法を考案し、数値シミュレーションにより原理を確認した。イメージセンサの開口化を電子処理で模擬した光学実験により、提案手法のモデルが物理環境下で有効であることを確認した。実験系及び結果を図 2 に示す。実験結果により、光学系の小型さを維持しつつ画角を全方位化できるイメージング手法の妥当性確認した [T. Nakamura+, Sensors 2018]。当該手法では開口を内包したイメージセンサが必要であり、設計・実装・及び加工を進めている。

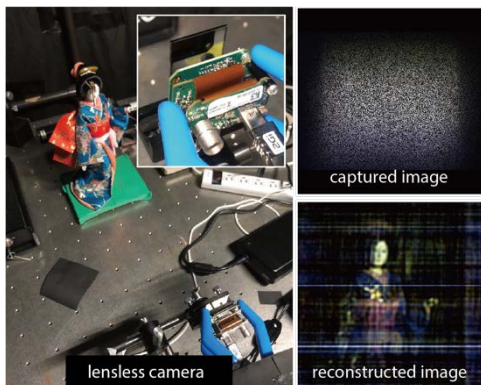


図 2 イメージセンサ開口化による広視野符号化イメージング

さらに、現実環境下での符号化イメージングでは、物体とカメラの距離に応じて符号が変化するため、画像再構成可能な距離範囲が制限されることが分かった。この問題を解決するため、符号の設計に「放射方向には構造が変化しない」制約を加えることで、距離不変な符号を実装する手法を開発した[T. Nakamura+, COSI2020]。この手法に基づく被写界深度拡大符号化イメージングについて数値シミュレーション及び光学実験により原理を実証した。光学実験の実験系及び結果を図 3 に示す。既存手法では正確に画像再構成できない距離の物体に対しても精度良く再構成を実現できることを物理環境下で実証した。

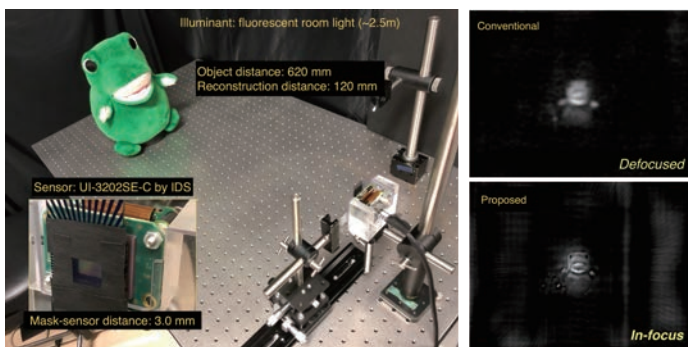


図 3 放射不変符号による符号化イメージングの被写界深度拡大

符号化光学素子に強度変調素子を用いる場合、素子面とセンサ面の間に生じる回折により分解能が低下する問題があり、これが実験において理論よりも空間分解能が劣化する要因となることが分かった。この問題に対処するため、回折を考慮した色チャネル合成型画像再構成手法を開発した[T. Nakamura+, Opt. Express 2020]。数値及び光学実験により、原理実証を行った。光学実験の結果を図 4 に示す。従来手法よりも高周波な情報の再構成が実現できることを実証した。

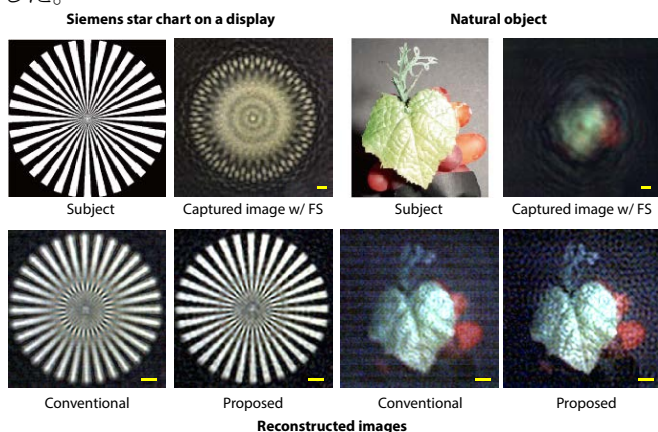


図 4 回折を考慮した再構成処理による符号化イメージングの高解像度化

上記のように、広視野・高解像度・小型符号化イメージング技術について、新規手法を開拓するとともに実環境下で現れる問題の解決を行った。研究成果は、配管検査や医療用カメラなど、狭所空間で高情報量な計測が必要となる映像システムの実現において、基礎技術として役立つと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nakamura Tomoya, Watanabe Takuto, Igarashi Shunsuke, Chen Xiao, Tajima Kazuyuki, Yamaguchi Keita, Shimano Takeshi, Yamaguchi Masahiro	4. 巻 28
2. 論文標題 Superresolved image reconstruction in FZA lensless camera by color-channel synthesis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 39137 ~ 39137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/oe.410210	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村友哉	4. 巻 74
2. 論文標題 コンピュータショナルレンズレスカメラ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会誌	6. 最初と最後の頁 951-954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoya Nakamura, Keiichiro Kagawa, Shiho Torashima, and Masahiro Yamaguchi	4. 巻 19
2. 論文標題 Super Field-of-View Lensless Camera by Coded Image Sensors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19061329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 5件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Shunsuke Igarashi, Shiho Torashima, and Masahiro Yamaguchi
2. 発表標題 Extended depth-of-field lensless camera using a radial amplitude mask
3. 学会等名 Computational Optical Sensing and Imaging (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura
2. 発表標題 Computational lensless imaging with coded image sensor
3. 学会等名 International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Keiichiro Kagawa, Shiho Torashima, and Masahiro Yamaguchi
2. 発表標題 Super Field-of-View Lensless Camera by Coded Image Sensors
3. 学会等名 IEEE International Conference on Computational Photography (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura, Keiichiro Kagawa, Shiho Torashima, and Masahiro Yamaguchi
2. 発表標題 Lensless imaging by coded image sensors
3. 学会等名 4th International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems (IWISS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村友哉, 香川景一郎, 虎島史歩, 山口雅浩
2. 発表標題 イメージセンサを符号化開口として機能させるレンズレスイメージング
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura and Masahiro Yamaguchi
2. 発表標題 Computational imaging utilizing volume hologram
3. 学会等名 The 4th Biomedical Imaging and Sensing Conference 2018 (BISC2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura
2. 発表標題 Image Sensing with Optical Encoding
3. 学会等名 Joint Symposium on Symbiotic Intelligence and Data Futures (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤伶菜, 中村友哉, 岩田和也, 榎原靖, 八木康史
2. 発表標題 圧縮超解像イメージングにおける符号化開口の多段化の検討
3. 学会等名 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河内穂高, 中村友哉, 榎原靖, 八木康史
2. 発表標題 点像分布関数設計と深度マップ正則化に基づくスナップショット空間超解像ToFセンシング
3. 学会等名 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村友哉
2. 発表標題 符号化を駆使したコンピューショナルレンズレスイメージング
3. 学会等名 第47回光学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Nakamura
2. 発表標題 Lensless imaging using a radial mask
3. 学会等名 Information Photonics 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村友哉
2. 発表標題 符号化光学系を駆使したコンピューショナルイメージング
3. 学会等名 第77回産研学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村友哉
2. 発表標題 光符号化を利用したセンシング
3. 学会等名 大阪大学先導的学祭研究機構共生知能システム研究センター若手研究者シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 レンズレス撮像装置	発明者 中村友哉, 山口雅浩	権利者 国立大学法人 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-155651	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	遠藤 優 (Endo Yutaka) (50803293)	金沢大学・機械工学系・助教 (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------