

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：14701

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K17996

研究課題名（和文）高次強度-位相変換法に基づいた瞬時高精度医用定量位相イメージング法の開発

研究課題名（英文）Study for snap-shot medical quantitative phase imaging with high accuracy based on higher order intensity-phase conversion

研究代表者

最田 裕介 (Saita, Yusuke)

和歌山大学・システム工学部・講師

研究者番号：30708756

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、単一露光で強度輸送方程式に基づいて定量的に位相分布を取得できる方法の高性能化・高機能化を目的とした。光エネルギー効率および中間データとして使用するデフォーカス撮像データの品質の向上のために多数のデフォーカス像を同時に得るための光変調パターンの実現方法としてフォトポリマー材料使用を検討したが、良好な解決策には至らなかった。また、デフォーカス像の増加による位相計測精度の向上のために、直交する二つの偏光に対して異なる焦点距離として作用する素子と偏光カメラを用いた多重化により取得できる情報を2倍に増やすことを検討したが、偏光カメラによる取得情報の欠落により劇的な改善には至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は単一露光で取得した強度画像群から高精度に位相分布を算出する高次強度輸送方程式に基づいた方法に関するものであり、その改善を目指したものである。この方法を実現する鍵となる光変調パターンはこれまで振幅変調型が用いられてきたが、位相も変調できるようにフォトポリマー材料の使用を検討し、実際に本手法へ適用するに至らなかったが前段階の検討ができた。また、偏光の性質を利用した画像群の取得数増加については、偏光カメラの構造的な情報欠落がもたらす影響についての知見が得られ、その対策について実験的に検討した。劇的な改善には至らなかったが、同様の目的のための利用方法に対する一つの方針が示せたといえる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research project is to improve the performance and functionality of a method that can quantitatively obtain phase distribution based on the intensity transport equation with a single exposure. In order to improve the light energy efficiency and the quality of the defocused image data used as intermediate data, we considered using a photopolymer material as a method of realizing an optical modulation pattern to simultaneously obtain multiple defocused images, but we were unable to arrive at a satisfactory solution. Additionally, in order to improve the phase measurement accuracy by increasing the number of defocused images, we considered doubling the information that could be obtained by multiplexing using an element that acts as different focal lengths for two orthogonal polarized light and a polarization camera, but this did not lead to a dramatic improvement due to a lack of information obtained by the polarization camera.

研究分野：情報フォトンクス

キーワード：強度輸送方程式 位相イメージング 偏光カメラ 空間光変調 偏光多重 画像補間

### 1. 研究開始当初の背景

生物工学や医療診断の分野において、細胞など無色透明な試料を対象とする観察の際には染色処理を施してからの実施が一般的であるが、位相情報を可視化することで染色なく観察することが可能である。位相分布を定量的に取得できる技術の一つに強度輸送方程式を用いた定量位相イメージング法があるが、これは光の干渉を利用しないためさまざまな利点がある反面、撮像素子の光軸に沿った移動をとまらぬ複数のデフォーカス像が必要であるという欠点がある。これに対し、同時に複数のデフォーカス像を取得し、撮像素子の移動なく位相分布の取得が可能である技術を提案してきた。

しかし、この方法はホログラフィックに設計された振幅変調パターンによる光変調による効果を利用しており、測定光のうち大部分が利用できていなかった。また、撮像素子を移動させて時分割的にデフォーカス像を取得するのに比べて計測精度が低いという問題もあり、これらの解決が求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、上述した提案法の課題であった光エネルギー効率の低さ、およびデフォーカス像の品質の低さによる位相計測精度の低下を解消し、実用的な医用定量位相イメージング技術の確立を目指すことを目的とする。

### 3. 研究の方法

光エネルギー効率の低さを改善するために、これまでの振幅変調に加えて位相変調をすることにより活用できていなかったエネルギーを低減し、取得されるデフォーカス像の強度がその分増加することで信号対雑音比が改善することによる精度向上を見込む。その方法の一つとして、フォトポリマー材料による変調パターンの実現可能かどうかの前段階の検討をした。

計測精度の低さの改善には、より多くの異なるデフォーカス像を取得し、情報量を増やすことで算出される位相分布の精度の低下を補えないかどうかを検討した。これの実現のためには、偏光の性質に注目し、この特性によって異なる作用を与える素子、および偏光の違いを検出できる偏光カメラの導入により改善を試みた。

### 4. 研究成果

光エネルギー効率の低さの改善のために振幅に加えて位相変調をするためには、それぞれを変調可能な装置の導入が必要である。ただし、実験系全体が大型かつ高コストとなるため現実的でない。当初は振幅変調装置のみで位相も変調可能な方法を導入することを検討したが、フォトポリマーによる変調能力に着目し、こちらを検討することに方針を切り替えた。フォトポリマー材料はその厚みを利用した3次元的な屈折率分布を誘起させることが可能であり、振幅および位相変調によるホログラフィックディスプレイなどの用途でも活用が広まっている。本研究においても、応用的な強度輸送位相イメージングのための変調パターンとして利用する前段階の検討として、ディスプレイのための素子として実用に耐えうるかどうかを検証した。フォトポリマー材料の光の入射角によって再生される像の選択性を有する特性を利用して、回転させながら異なる像を記録し、それらを独立に再生した動画が実現できるかどうか実験をおこなった。図1に示す五つの物体(文字)を記録し、やや強度にばらつきがあるものの、それらを独立に再生することができた。これにより、フォトポリマー材料による変調の可能性の検証ができたため、今後の変調パターン実現に向けた足がかりができたといえる。



図1 フォトポリマー材料から独立に再生された像

偏光の導入については、当初の目論見通りにはいかず、さまざまな検討を重ねた。当初の計画では直交する二つの偏光に対して異なる焦点距離で作用する偏光ディレクトフラット (PDF) レンズを用いて多重化することで、取得できるデフォーカス像を2倍にすることを目論んでいたが、入手可能なPDFレンズの焦点距離が短すぎるため所望の変調が得られず、柔軟に焦点距離の調節が可能な液晶空間光変調器を使用することにした。また、二つの偏光を独立に検出するために偏光カメラを導入したが、その特性上、水平、垂直方向の偏光に加えて、斜め45度および135度の四つの偏光を空間分割的に検出する構造であるため、活用できず情報が欠落してしまう画素

が存在する。これは検出画素の半分を捨ててしまうことに相当し、これらを活用できないかどうか検討を重ねた。その結果として、図2に示すように本来使用できない画素の値を用いて欠落画素を補間することを考えた。赤、青、緑、灰色で示されるのはそれぞれ、水平、斜め45度、135度、90度を検出する画素である。用いるのは水平と垂直方向の偏光成分のみであり、青と緑の画素はこれらの偏光成分が混ざった信号が検出されてしまうが、これを活用して計算することにより欠落した画素の推定をおこなった。欠落のない場合と比べると品質は劣るが、この方法によって情報欠落による精度低下の若干の改善がみられた。

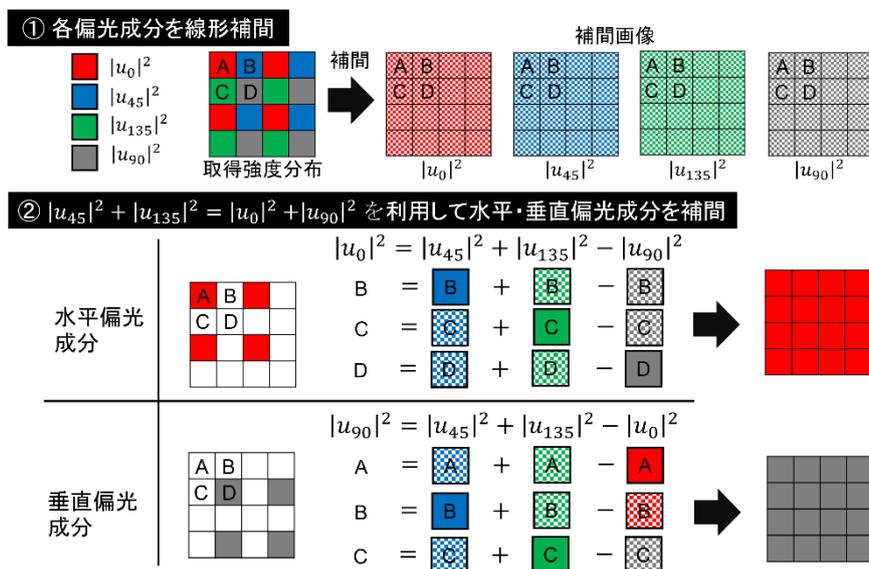


図2 各偏光成分による演算を利用した画素補間の概念図

本研究課題の研究期間で当初の目的である二つの事柄について検討はしたものの、劇的な改善には至らなかった。しかし、今後の研究の進展に繋がる重要な知見は得られたといえ、本研究成果を足掛かりにさらなる改良に向けた取り組みをしていくつもりである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 澤村和成, 最田裕介, 野村孝徳
2. 発表標題 偏光を利用した単一露光高次強度輸送定量位相イメージングの精度検証シミュレーション
3. 学会等名 日本光学会情報フォトンクス研究グループ第21回関西学生研究論文講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shogo Matsukawa, Yusuke Saita, and Takanori Nomura
2. 発表標題 Experimental Verification of Volume Holographic Video Method Based on Peristrophic Multiplexing
3. 学会等名 The 13th Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------