

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：82636

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19987

研究課題名(和文)超広視野・多視点ホログラフィック3次元画像計測法の創出

研究課題名(英文)Method for wide-area, multiple viewpoints, and holographic three-dimensional image measurement

研究代表者

田原 樹(Tahara, Tatsuki)

国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所電磁波応用総合研究室・研究員

研究者番号：50709095

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文):複数種類の光波のホログラフィック多重を利用し、光学システムの設計と併せることにより、広視野計測や、多視点の光波同時取得を行うことを目的とした。複数種類の光波のホログラフィック多重記録と視野拡大の原理を実証し、複数視点の多重記録が可能であることを確認した。ホログラフィック顕微鏡を構築し、微小物体に対し100°以上の画角をもって光波記録可能であることを確認した。最先端の撮像素子を用いれば、レンズを一切用いずに、1台の撮像素子で40°超の画角をもって、可視光3次元画像記録が可能であるとの知見を得た。3x3の撮像素子の離散的な配置により、視野角100°超、9視点の計測が可能と見通しを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

デジタルホログラフィでは一般的に10°未満の画角しか取れなかったが、顕微鏡システム、レンズレスシステムのいずれにおいても100°超の視野角をとれる3次元画像記録方法を提案できた。複数種類の光波の多重記録を実証し、各光波に異なる視点の情報を与えることで多視点情報の取得が可能であることを実験的に確認した。1台の撮像素子で視野角40度をもって可視光のホログラムを得られるようになった状況であるため、3x3台の撮像素子とデジタルホログラフィシステムの構築により、視野角100°超の結像レンズレス3次元イメージングシステムの実現が可能であるとの見通しを得た。

研究成果の概要(英文):This research aims wide-field measurement and simultaneous recording of light waves at multiple viewpoints by using holographic multiplexing and optical design of digital holography systems. A method for conducting both holographic multiplexing of multiple light waves and field of view extension was experimentally demonstrated. Recording of holograms with 100 deg. of viewing angle was experimentally confirmed with a constructed holographic microscope. It was clarified that a state-of-the-art image sensor enabled to record a digital hologram at a visible wavelength with more than 40 deg. viewing angle and no imaging lenses. It is expected that such nine image sensors enable 100 deg. viewing angle and multiple viewpoints.

研究分野：波動光学

キーワード：ホログラフィ デジタルホログラフィ ホログラフィック顕微鏡法 ホログラフィック多重 レンズレス3次元画像センシング デジタルホログラフィック顕微鏡

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多様な学問分野において、高速・広視野・多視点 3次元画像取得可能な技術が求められている。撮像素子でホログラムを電子的に取得するデジタルホログラフィは単一露光で 3次元画像情報を記録できるが、広視野撮影の際に撮像素子の画素密度が一桁足りず、その性能では視野角を 10° もとれない。すなわち、ハードウェア方面からのアプローチでは限界があり、従来とは異なる発想からのアプローチなしには広視野・多視点ホログラフィック 3次元動画イメージングの実現は困難であった。研究者は申請当時、エイリアシングを積極的に活用し、従来に比べ 2.5倍広視野の高画質・単一露光デジタルホログラフィック 3次元イメージングを達成していた。本研究課題では、様々な視点を構成する様々な波数の物体光情報を選択的に抽出し、エイリアシングの活用と融合する。そして、多視点・広視野画像情報を現在の撮像素子の性能でも記録できると解釈した。

2. 研究の目的

高速・広視野・多視点デジタルホログラフィック 3次元動画画像記録法を提案する。狙いとして、従来に比べ 10倍以上広視野の多視点ホログラフィック 3次元動画画像記録と高速化・マルチカラーへの機能拡張を行なうことを挙げる。広視野ホログラム記録時に不可避のエイリアシングを取って積極的に活用し、デジタル信号の周期性と信号処理から 3次元像を再生する。

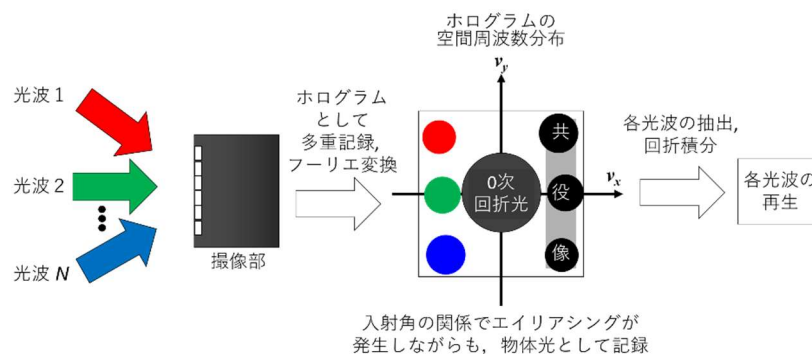


図 1. 提案する記録法の概略。

3. 研究の方法

(1) まず、エイリアシングを起こしながらも複数種類の光波を多重記録可能であることを調べるために、図 2 に示す 3 波長ホログラムの多重記録システムを構築した。本光学システムの特徴として、複数台のレーザー光源を用意することにより、各種光波同士はインコヒーレントな関係をもって多重記録される。多重ホログラムとして記録される各種光波を、フーリエ変換法に基づき選択的に抽出し、それぞれ独立に像再生できるかどうかを調べる。

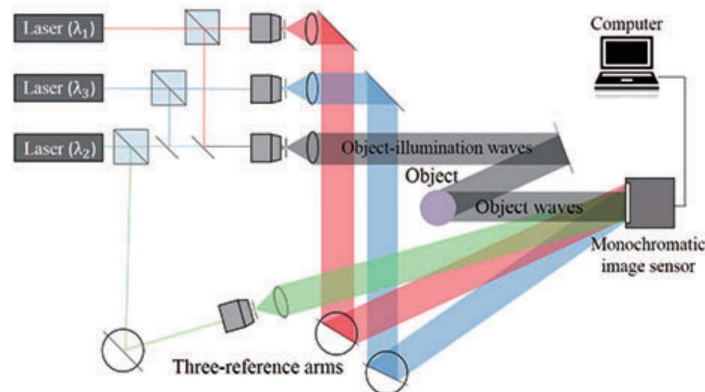


図 2. 3 波長ホログラムの多重記録システム. 各波長のホログラムが異なる種類の光波を示す。

(2) 次に、異なる視点からの光波を記録可能であることを調べるために、図 3 の光学システムを構築した。図 2 の光学システムと異なる点として、物体を照明する方向が異なることと、高い NA の光学系を物体と撮像素子の間に挿入していることが挙げられる。本光学システムでは、面内の同一座標において、異なる深さに透明な粒子を配置し、それぞれを重畳なしに記録、像再生できるかどうかを調べる。

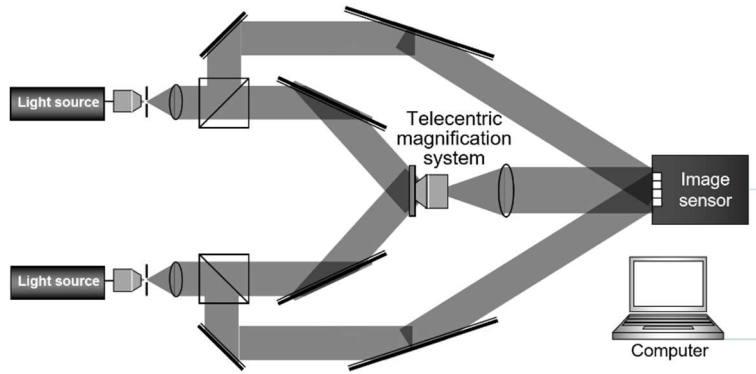


図 3. 高 NA の光学系を用いた単一露光ホログラフィック多重記録システム。

(3) (1), (2) と並行して進めたアプローチとして、研究開発当初に比べ撮像素子の画素密度が高まったことにより、1 台の撮像素子で原理的に 40° 弱の画角を取得できることが判明した。しかしながら、視野角を単独で上げることは難しく、そこで、撮像素子を 3×3 台配置することにより、目的としていた視野 100° 超の光学システムを提供することを狙いとし、図 4 の光学システムを検討した。基礎検討として、1 台の撮像素子で記録できる視野角を検討する。

4. 研究成果

(1) 図 5 に示す通り、ホログラムのフーリエ変換面において各種光波の情報が分離され、それぞれにおいて像を再生できることが示された。また、物体と撮像素子の間にレンズを一切配置しないレンズレス 3 次元画像センシングシステムにおいて、エイリアシングを発生させながら多重記録した時の記録範囲拡大について検討した。面内の記録範囲は空間周波数帯域と比例関係にあるため、帯域の拡大について検討した。図 6 に、エイリアシングを発生させないときと発生させたときの帯域幅計算の幾何を示す。波長比を考慮し、エイリアシングを発生させることによる効果を検討したところ、約 1.2 倍の帯域拡大であった。単一撮像素子への多重記録数が増えるごとに効果は少なくなるものの、粗面体のレンズレス 3 次元画像多重センシングにおいて帯域拡大が見込めることが判明した。また、複数種類の光波を単一露光・多重記録可能であることを実験的に確認した。

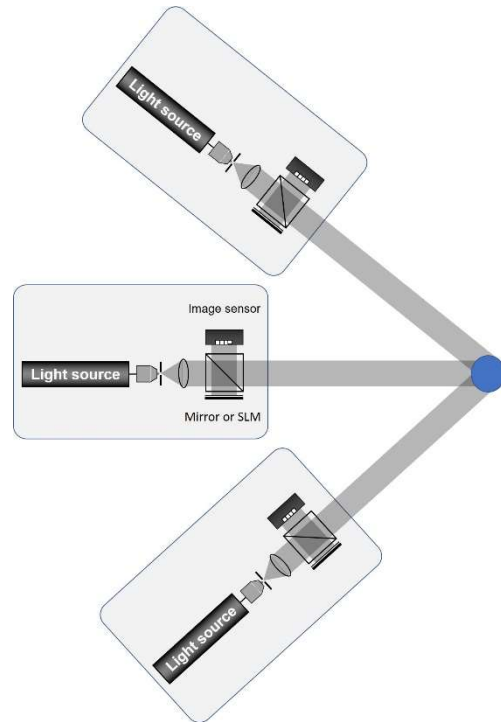


図 4. 広視野、多視点情報を得るための、他の光学システム。

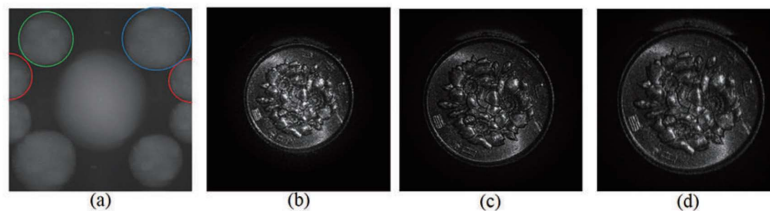


図 5. 複数種類の光波の多重記録実験結果。(a) 記録されたホログラムの空間周波数分布。(b) 赤色円内、(c) 緑色円内、(d) 青色円内の物体光の空間スペクトルから再生された被写体の像。

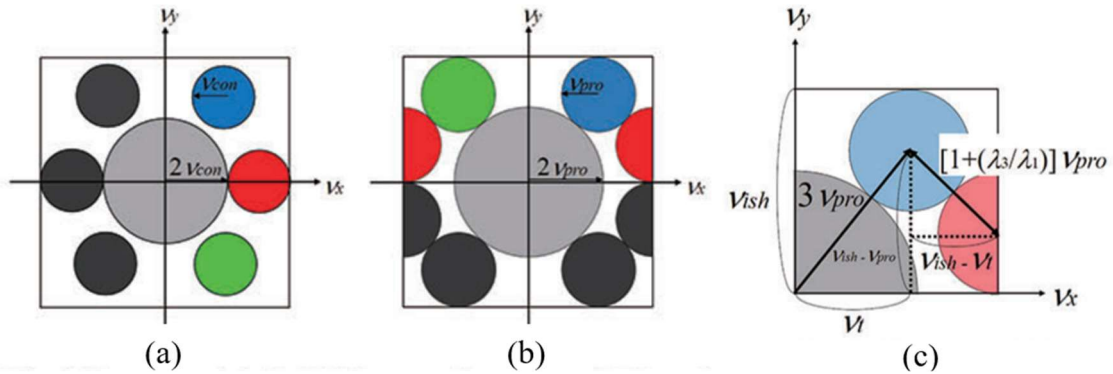


図 6. 空間周波数帯域の比較. (a) エイリアシングなしの記録配置, (b) エイリアシングありの配置, (c) エイリアシングありの場合における帯域計算の幾何.

(2) ホログラム記録において、物体に近いレンズの NA が異なる視点の情報取得に強く影響することが分かり、NA=0.75, 0.95 のレンズを用意し、ホログラムが形成されるかどうかを実験した。結果、 $\pm 50^\circ$ 方向から物体を照明する光を当てたとき、NA0.75 のレンズでは、レンズに瞳面での空間フィルタが挿入されていたことにより光が撮像素子に到達できず、ホログラムが形成されなかった。一方、NA=0.95 のレンズを配置することにより、2 種光波のホログラムが多重記録されている様子をホログラムのフーリエ変換面にて観察した。以上より、原理的に 100° 以上異なる視点からの情報を取得できることを確認し、ホログラムとして多重記録可能であるとの知見を得た。NA0.95 であれば、 $\pm 70^\circ$ まで記録できるため、 $\pm 50^\circ$ 以上異なる視点からの情報を多重記録可能であるとの見通しを得た。

(3) 図 4 の光学システムの基礎検討として、1 台の光源、撮像素子を用いたデジタルホログラフィシステムによる視野角を検討した。結果として、原理的に最大で、波長 532 nm で 34° 、波長 633nm で 47° の視野角を得られることが判明した。フーリエ変換法に基づく単一露光レンズレス 3 次元画像センシングシステムを構築し、波長 532nm のレーザ光源を用い、撮像素子面から 60mm の深さにおいて 20mm \times 7mm の被写体を配置し、被写体全体にわたり鮮明な合焦像をレンズレスイメージセンサの単一露光記録により得られることを実験的に確認した。この結果をもとに考え、撮像素子面から 500 mm の深さにおいて 210mm \times 70mm の視野を得られると結論付けた。視野角を最大までとるためには、位相シフト干渉法の適用が望ましく、図 4 の参照光路に SLM を配置し、位相シフト法に必要なホログラムを得ることが手段として考えられる。その際、被写体からの反射光が弱くなるにつれ測定結果の信頼性を考慮する必要があるため、モデルを立てることに着手した。また、波長情報を選択的に抽出する位相シフト干渉法の適用を検討し、波長や視点、3 次元画像情報の多重記録において、空間帯域幅を最も最大限に活用できると結論付けた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 田原 樹, 高橋 祐樹, 新井 泰彦	4. 巻 84
2. 論文標題 空間周波数分割多重と空間周波数帯域拡張法を用いた単一露光3波長デジタルホログラフィ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 85-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2493/jjspe.84.85	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5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tatsuki Tahara and Ryo Okamoto
2. 発表標題 Numerical investigation of quantum fluctuation in phase-shifting interferometry
3. 学会等名 Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 笹井亮, 田原樹, 新井泰彦
2. 発表標題 単一露光複数波長off axisデジタルホログラフィにおける空間周波数帯域拡張法
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大前快人, 田原樹, 新井泰彦
2. 発表標題 空間周波数分割多重を用いるシングルショット4波長デジタルホログラフィ
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 笹井亮, 田原樹, 新井泰彦
2. 発表標題 エイリアシングを用いた単一露光複数波長3次元画像記録法における 撮影範囲拡張
3. 学会等名 第18回情報フォトニクス研究グループ研究会 (秋合宿)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大前快人, 田原樹, 新井泰彦
2. 発表標題 2参照光路を用いた単一露光4波長デジタルホログラフィック顕微鏡法
3. 学会等名 第18回情報フォトニクス研究グループ研究会 (秋合宿)
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----