

令和 2 年 5 月 11 日現在

機関番号：82636

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05904・19K21078

研究課題名(和文)1入射多方向撮影による超小型かつ振動に対して強固な3次元変位分布計測手法の提案

研究課題名(英文) Proposal of ultra-compact and vibration-resistant three-dimensional displacement distribution measurement method by single-injection multi-direction imaging

研究代表者

後藤 優太 (Goto, Yuta)

国立研究開発法人情報通信研究機構・ネットワークシステム研究所フォトニックネットワークシステム研究室・研究員

研究者番号：90827057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：初めに基礎実験として、サイコロを計測した際のホログラムを空間分割することで異なる視点の再生像が得られることを確認した。次に、可動部と固定部があるアルミ板を計測し、物体の変位によって位相も変位することを確認した。最後に、アルミ板の可動部をx, y, z方向にそれぞれ微小に変位させながら位相差を取得した。結果より、単一のカメラによって複数の方向からの感度ベクトルが得られることが明らかになった。また、上記結果を国際会議International Workshop on Holography and Related Technologies 2019 (IWH2019)にて発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、高度成長期に相次いで整備された構造物は寿命を迎えようとしている。それらの保守・点検を簡易かつ高精度に行う技術の確立は喫緊の課題である。有望な技術として、デジタルホログラフィを用いた3次元変位計測手法がある。本手法において3次元の変位を求めるためには、原理的に最低3つの独立した光源またはカメラが必要となり、光学系の複雑化・大型化が問題となる。本研究では1つ光源と1つのカメラのみを用いる3次元変位計測手法を提案する。本研究が完成した時、従来では困難であった3次元変位計測装置の大幅な小型化が実現できるため学術的・社会的意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：First, it was confirmed that reconstructed images in different viewpoints was obtained by spatially dividing the hologram when measuring the dice. Next, the aluminum plate consisting of the movable part and the fixed part was measured. From the results, it was confirmed that the phase was changed by the displacement of the object. Finally, the phase difference was acquired by slightly displacing the movable part of the aluminum plate in the x, y, and z directions. From the results, it confirmed that sensitivity vectors from multiple directions can be obtained by a single camera. These results was presented at International Workshop on Holography and Related Technologies 2019 (IWH2019).

研究分野：情報光学

キーワード：デジタルホログラフィ 三次元変位計測 内部欠陥検出 カメラキャリブレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、高度成長期に相次いで整備された構造物は寿命を迎えようとしている。それらの保守・点検を簡易かつ高精度に行う技術の確立は喫緊の課題である。有望な技術として、デジタルホログラフィ(DH)を用いた3次元変位計測手法がある。この手法は塗装の上からでも計測が可能な手法である。この手法において、図1に示すように、光源からの物体光と撮像素子へ入る光が成す角の半分の角度の方向が感度ベクトルの方向となる。再生像における変形前後の位相差はこの感度ベクトル方向の変位成分を意味する。図1(b)に示したように、従来法では、複数の撮像素子を用いて複数の独立した感度ベクトルを得る。物体の変形前後の位相差より、感度ベクトル方向の変位成分がそれぞれ得られ、そこから3次元(x, y, z)方向の変位を算出する。しかしながら、3次元の変位を求めるためには、原理的に最低3本の独立した方向の感度ベクトルが必要となり[1]、光学系の複雑化・大型化が問題となる。これを解決する手法として、1つの物体光と複数の撮像素子を用いるもの[2]が提案されているが、この手法においても、複数の撮像素子によって究極的な小型化は難しく、振動によって計測精度が低下する恐れがある。

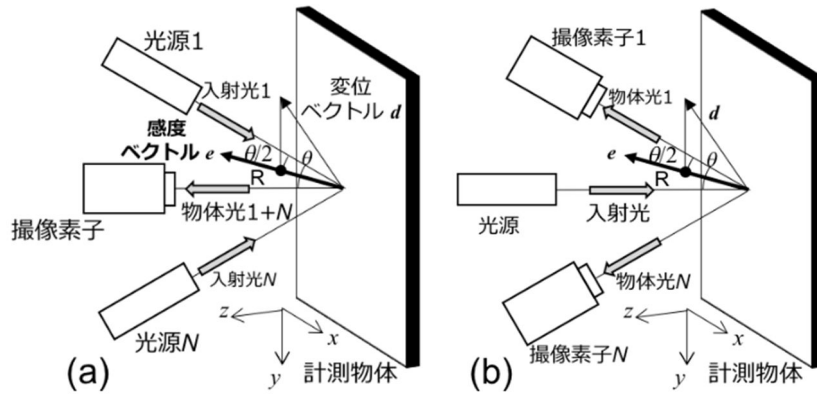


図1. 入射光と感度ベクトルの方向。(a)光源を複数用いる手法 (b)撮像素子を複数用いる手法

2. 研究の目的

本研究では1本の物体光と1つの撮像素子のみを用いて、高精度かつ振動に対してロバストな3次元変位計測手法を提案し、その基本的な動作を実証することを目的とする。本研究が完成した時、小型のDHによる3次元変位計測装置を実現することができる。それによって、インフラ構造物の欠陥検出の効率化ができ、長寿命化に貢献することができる。

従来法では、複数の光源、または撮像素子を用いるため、究極的な小型化は難しい。また、計測装置が振動した場合、撮像素子間で誤差が生じる可能性がある。さらに、撮像素子の個体差によって計測精度が劣化する恐れがある。一方で、本手法では、撮像面積の大きい高解像度な撮像素子を複数の領域に分けて用いることでこれらの問題を解決する[図2]。各領域ではその位置に対応する感度ベクトルが得られる。これによって、一つの撮像素子とハーフミラー、ガラス板のみで光学系を構成することができ、小型化が望める。

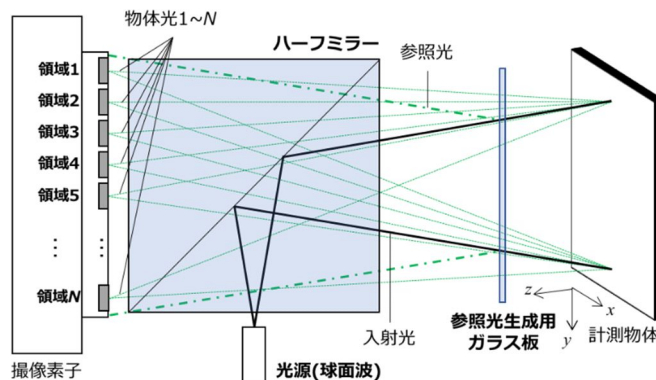


図2. 大きく高解像度な撮像素子を用いる提案手法

3. 研究の方法

基本原理を実験的に確認するために、以下に示す複数の実験を行った。

実験 A. 空間分割したDHの取得・再生

ホログラムを空間的に分割することにより、異なる方向における再生像が得られることを確認する。図3に実験光学系を示す。本実験系では、干渉縞を得るためにLinnik干渉計を構築した。対象物体は図4(a)に示すサイコロを用いた。計測物体から撮像素子までの距離は任意に

300 mm とした。まず、 1936×1216 の画素を有する撮像素子により、計測物体からの散乱光と参照光の干渉縞を取得する。そして、得られた干渉縞を図 5(a)に示すように分割した。その後、計算機によって分割した干渉縞から複素振幅を再生する。この時、複素振幅の再生計算にはフレネル回折積分[3]を用いた。以上により、異なる方向における再生像が得られることを確認する。

実験 B. 物体の変位による位相変位の取得

物体の変位によって位相変位が生じることを確認するため、可動部と固定部のから成るアルミ板[図 4(b)]をデジタルホログラフィによって計測した。この時、可動部を 3 軸 PZT ステージで x 方向に $400 \mu\text{m}$ 変位させた場合の位相を解析した。光学系は前述したものを同一のものを用い、干渉縞の領域の分割も同様に行った。また、本実験においても、フレネル回折積分による複素振幅の再生計算を行った。

実験 C. 位相差と感度ベクトルの取得

物体の 3 次元変位量と得られる位相差の定量的な関係を評価するため、先述のアルミ板の可動部を x, y, z 方向にそれぞれ微小に変位させながらデジタルホログラフィによって位相差を取得した。この時、x, y 方向には、 $0.4 \mu\text{m}$ ごとに $0.0 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ まで、z 方向には $0.02 \mu\text{m}$ ごとに $0.0 \mu\text{m} \sim 0.1 \mu\text{m}$ まで変位させた。また、本実験では、上記 2 つの実験より大きな解像度である 3072×3072 の画素を有する撮像素子を 8 つの領域[図 6]に分けて DH の取得・再生を行った。また本実験では、フレネル回折積分より精度の高い角スペクトル法による複素振幅の再生計算を行った。

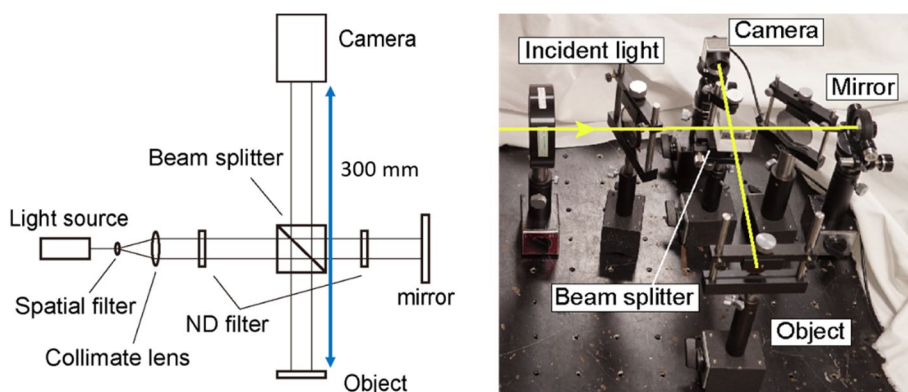


図 3. 実験光学系

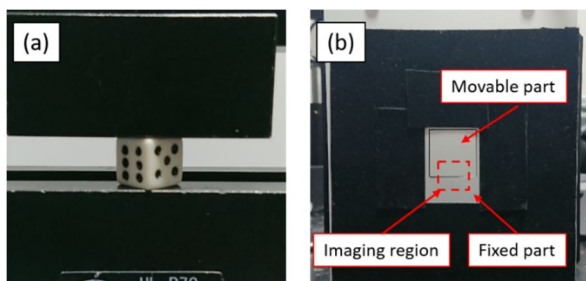


図 4. 用いた計測物体 (a) サイコロ, (b) アルミ板

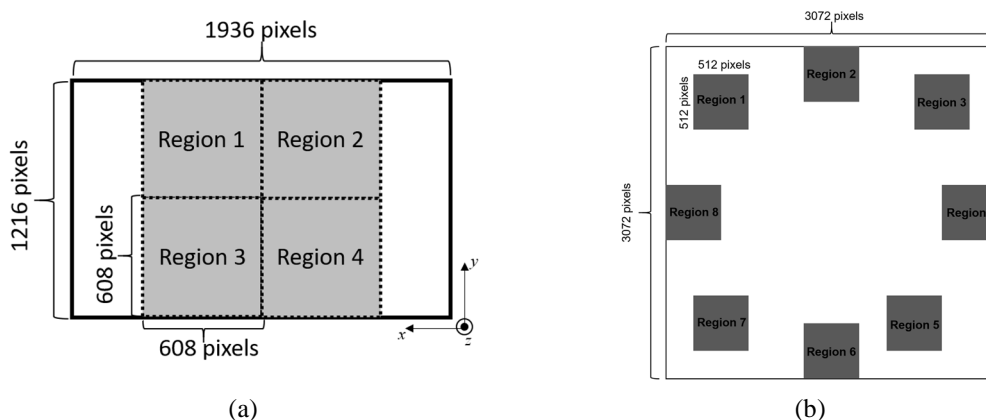


図 5. 撮像素子上の分割した撮像領域 (a) 1936×1216 画素を 4 分割する場合, (b) 3072×3072 画素を 8 分割する場合

4. 研究成果

前節に述べた3つの実験によって以下の結果が得られた

実験 A. 空間分割した DH の取得・再生

1936 × 1216 の画素を有する撮像素子を4つの領域に分けてサイコロを測定した際の再生像を図6に示す。これは、DHの再生によって得られる複素振幅のうち、強度分布を示した画像である。図6では、各画像の異なる位置にサイコロの目が現れていることより、視点の異なる画像が得られていることがわかる。従って、撮像素子によって得られたDHを空間分割して再生処理を行うことで視点の異なる再生像取得可能であることが明らかになった。

実験 B. 物体の変位による位相変位量の取得

アルミ板を測定したときの位相差画像を図7に示す。図7では、可動部と固定部で位相が異なっていることがわかる。ミラーの傾斜角度が一致していないため、図7の再生画像の位置は図6とは異なる。また、赤点線で示す計測されたアルミ板の位置が異なることから、実験Aの結果と同様に分割した領域ごとに異なる方向の再生像が得られていることがわかる。よって、空間分割されたホログラムを用いた場合、異なる方向における位相が得られること、そして、物体の変位によって位相も変位することの両方が確認された。

実験 C. 位相差と感度ベクトルの取得

図8に、 x, y 方向に $0.2 \mu\text{m}$ ごとに $0.0 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ まで、 z 方向に $0.01 \mu\text{m}$ ごとに $0.0 \mu\text{m} \sim 0.1 \mu\text{m}$ まで変位させた際に得られた位相差をプロットしたグラフを示す。8領域すべてで得られた位相差をプロットしている。ここで、位相差はアルミ板の固定部及び移動部それぞれの位相の平均値の差である。 x, y, z 方向それぞれで、8領域ごとに異なる位相差が得られていることがわかる。これは、実験A, B同様に各領域で異なる視点の再生像が得られていることを示している。 z 方向に関しては、各領域でほぼ感度が同様となるため位相差の傾きも同様となっていることがわかる。そして、 x, y, z 方向すべてにおいて、物体変位量が大きくなるほど位相差も大きくなっていることがわかる。この物体変位量と位相差の関係による直線の傾きが変位ベクトルとなる。よって、単一のカメラを用いることによって複数の方向からの感度ベクトルが得られることが明らかになった。実際に計測したい物体の変位量はこの感度ベクトルから算出することが可能である。

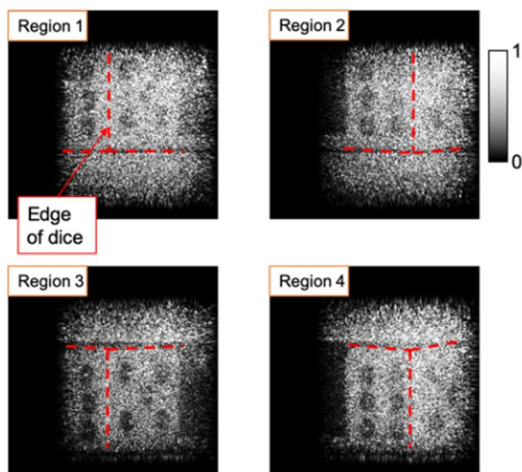


図6. サイコロ計測時の再生像

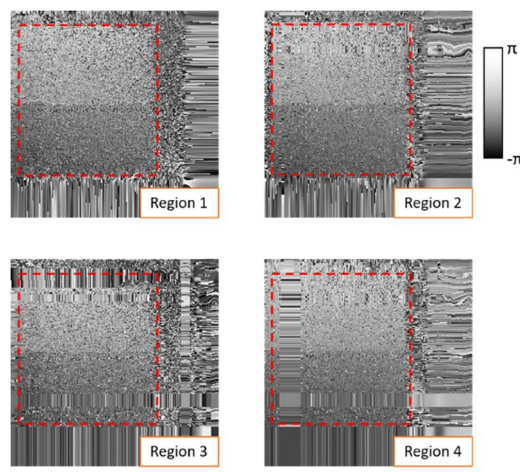


図7. アルミ板計測時の位相差画像

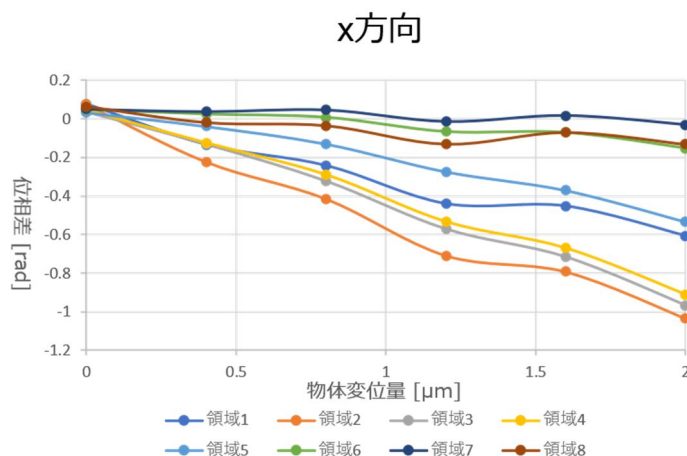


図8. x 方向変位量と位相差の関係

y方向

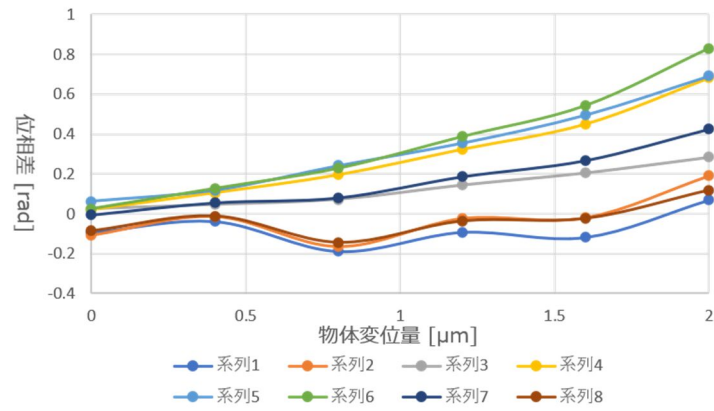


図 9. y 方向変位量と位相差の関係

z方向

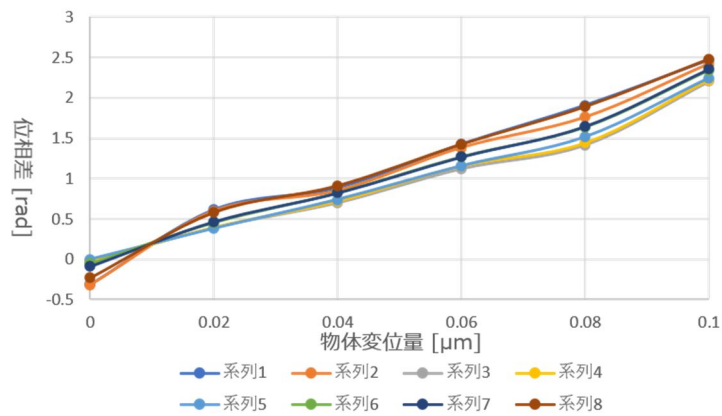


図 10. z 方向変位量と位相差の関係

参考文献

- [1] E Kolenovic, et al., Appl. Opt. 42, 5167-5172 (2003).
- [2] M. Fujigaki, et al., Proc. of the Int. Symp. to Commemorate the 60th Anniv. of the Invention of Holography, 316-323 (2008).
- [3] 谷田貝豊彦: 光とフーリエ変換, (朝倉書店, 東京, 1992).
- [4] J. W. Goodman: Introduction to Fourier Optics, 2nd ed. (McGraw-Hill, 1996).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yuta Goto, Kohhei Kawahara, Motoharu Fujigaki
2. 発表標題 Phase Analysis Method in Fringe Projection with Intensity Distribution for Axial-Direction by Three-Beam Interferometry
3. 学会等名 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuta Goto, Kohhei Kawahara, Motoharu Fujigaki
2. 発表標題 Projection of Depth Fringe Pattern for Measurement of Shape and Out-of-Plane Deformation
3. 学会等名 19th International Symposium on Optomechatronic Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤優太, 川原滉平, 藤垣元治
2. 発表標題 3光束干渉による光軸方向に強度分布を持つ格子投影における位相シフト手法の検討
3. 学会等名 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuta Goto, Yuta Matsuna, Motoharu Fujigaki
2. 発表標題 Fundamental Experiment for Displacement Measurement by Digital Holography with Spatially Divided Images
3. 学会等名 International Workshop on Holography and Related Technologies 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----