

G-6

位相シフトを用いた合成開口デジタルホログラフィによる 3 次元画像情報の取得

Acquisition of 3-D images by using a synthetic aperture and phase-shifting in digital holography

○池田侑史¹, 吉川浩², 山口健²Yushi Ikeda¹, Hiroshi Yosikawa², Takeshi Ymaguchi²

Abstract: In Computer-Generated Hologram (CGH), real objects can be reconstructed using digital holography. However, object wave front that can be acquired using digital holography are of low quality and can not conform to high resolution CGH. In this research, we investigate whether the phase shifting, synthetic aperture, etc. are effective against the problem of digital holography.

1. まえがき

当研究室では、サブ μm オーダの画素ピッチを有する出力装置であるフリンジプリンタを用いて数十ギガピクセルを有する高解像度の計算機合成ホログラム（以下、CGH）の作成に成功している^[1]。CGH では多くの場合、仮想物体である数値モデルの再生を行っており、本研究室においても数値モデルを用いた CGH しか作成を行っていない。CGH ではデジタルホログラフィ（以下、DH）によって実物体モデルの再生もでき、これにより数値モデルとの混合といった試みが可能になる。しかし、DH を用いて取得できる実物体の情報は、解像度や視野等において数値モデルを用いたものに対し、低品質であるという問題がある。

本研究では、上記の問題の改善を行うことで高解像度 CGH に適合する物体光波の取得を目標としている。

2. デジタルホログラフィ

DH は対象物体からの光と参照光の干渉を撮影することで奥行情報をデジタル的に記録できる。そのため、対象物体の 3 次元形状を数値として求めることができ、主に工業計測の分野で活用されている。しかし、DH で作成されたホログラムは、撮影に使われる撮像素子の大きさが小さく、また画素ピッチも μm オーダであるため、光の干渉を単に撮影しただけでは高性能な出力機器に適合した物体光波の取得ができない。しかし、いくつかの手法を用いることにより CGH で作成されるものと同程度の物体光波の取得が可能である^[2]。

本研究では、位相シフト法^[3]を用いた不要像の除去、レンズレスフーリエ型 DH を用いた合成開口法^[4]によって視野と視域の拡大を行い、解像度の向上と視点変更が可能な物体光波の取得ができていることの確認を行う。

3. レンズレスフーリエ型 DH

イメージセンサの制約の 1 つは取得できる干渉縞の空間周波数が低いことである。Fig. 1(a)のような、

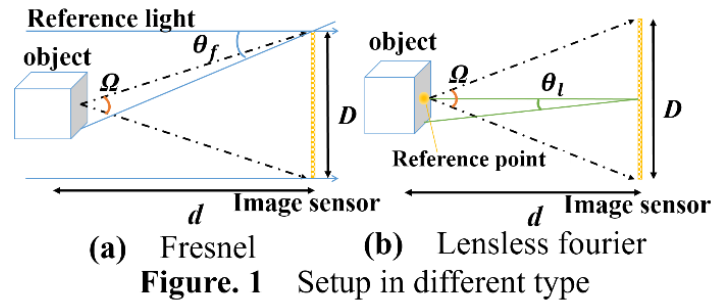


Figure. 1 Setup in different type

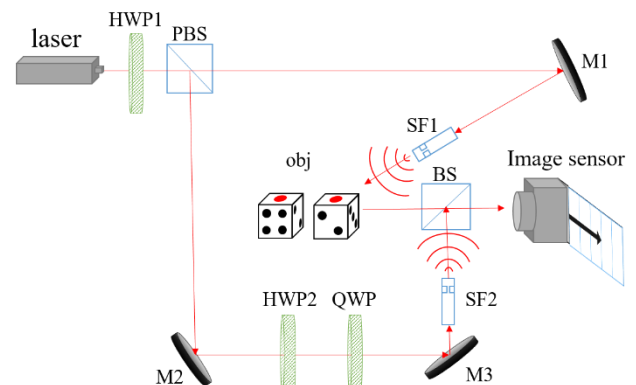


Figure. 2 Synthetic aperture in lensless fourier transform holography

参照光に平行光を用いるフレネル型に対し、レンズレスフーリエ型 DH では、Fig. 1(b)のように参照光を点光源とし、物体近郊に配置する。これによって最大回折角である θ_l が θ_f より小さくなる特徴がある。これによって回折角と比例の関係にある空間周波数が低下し、より広い視野での撮影が可能となる。

4. 合成開口法

視域角 Ω は Fig. 1 からわかる通り、センササイズ D に比例する。そのため、大型のセンサを用いることにより視域拡大が可能である。しかし、センササイズには限界があるため、取得した干渉縞画像を合成することで疑似的なセンサの大型化を行う。Fig. 2 は本研究で使用した光学系である。センサを物体に対し水平方向に移動して複数枚の干渉縞を記録した。この時、センサの移動距離をセンササイズよりも小さくするこれによって干渉縞間の重なりを持たせ、

相関関数を用いて正確な位置を求めて合成する。

5. 位相シフト法

ホログラムでは所望像の他に、回折が行われない非回折光、所望像と対の関係である共役像が同時に再生される。これに対して、位相シフト法とは、これらの不要像を除去し所望像だけを再生する技術である。これにより不要像の再生に使用されていた空間も所望像の再生に使うことができ、より広視野での撮影が可能となる。この手法では参照光の位相を変化させ、位相を $\pi/2$ ずつずらした画像を4枚使用する。物体光の複素振幅を u_o 、参照光の複素振幅を u_r 、位相シフト量を δ とすると記録されるホログラム I は式(1)のように表される。

$$I = |u_o|^2 + |u_r|^2 + u_o u_r * \exp(-j\delta) + u_o u_r * \exp(j\delta) \quad (1)$$

式(1)にオイラーの公式 $e^{jx} = \cos x + j\sin x$ 、位相シフト量 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ を代入し、所望像である $u_o u_r^*$ を以下の式より求める。

$$I[0] - I[\pi] = 2u_o u_r^* + 2u_o^* u_r \quad (2)$$

$$I[\pi/2] - I[3\pi/2] = -2u_o u_r^* + 2u_o^* u_r \quad (3)$$

$$u_o u_r^* = \frac{(I[0] - I[\pi]) - j(I[\pi/2] - I[3\pi/2])}{4} \quad (4)$$

6. 数値再生とその結果

6.1. 合成開口法

物体をセンサに対して奥行方向に2つ並べて撮影を行った。Fig. 3に合成した干渉縞を示す。そして、作成した干渉縞の一部のみを抽出し再生計算を行うことで視点の変化を再現する。Fig. 3の視点Aと視点Bで再生計算を行った。再生像をFig. 4に示す。視点Aでは、前方に配置されている「3の目」のみ確認できるが、視点Bでは「3の目」の後方に配置されている「2の目」も確認できる。これによって、視点を変化できる程度の広視野な物体光波が取得できていることが確認できた。

6.2. 位相シフト法

Fig. 5(a)に位相シフトなしの再生像、Fig. 5(b)に位相シフトを用いた再生像を示す。Fig. 5(a)には、中心に非回折光である明点、左側に共役像と右側に所望像が確認できる。位相シフトを用いないレンズレスフーリエ型では非常に見づらい再生像となる。それに比べて、Fig. 5(b)では、不要像の非回折角と共役像が除去され、所望像のみ再生される。しかし、今回は完全な除去までには至らず、非回折光と共役像の一部が再生されていることを確認した。これは、波長板の手動調整による誤差が原因であると思われる。

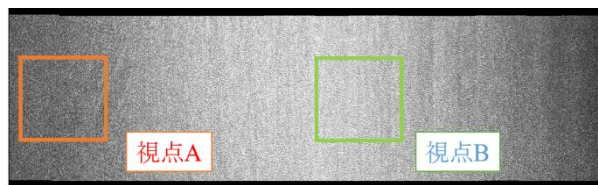
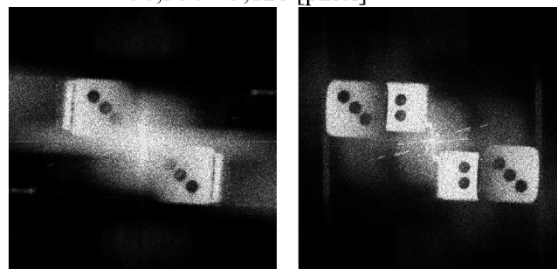
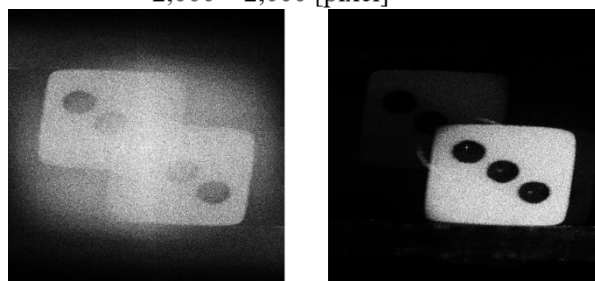


Figure. 3 Interference fringes using synthetic aperture 50,384×3,128 [pixel]



(a) Visual point A (b) Visual point B

Figure. 4 Reconstructions in different visual points 2,000×2,000 [pixel]



(a) Normal (b) Phase-shifting

Figure. 5 Reconstructions of lensless fourier hologram 4248×2832[pixel]

むすび

本研究では、合成開口法を用いたレンズレスフーリエ型 DH により視点の異なった再生像を確認することができた。また、位相シフト法を用いて不要像の低減を確認した。今後は位相シフト法の改善と両手法を組み合わせるによりフリンジプリンタで出力できる程度の高解像度の物体光波の取得を行う。

7. 参考文献

- [1] 岩本拓己, 山口健, 吉川浩: 「縮小光学系のレンズ変更によるフリンジプリンタの高精細化」, HODIC Circular.33.3, pp14-17, 2017.
- [2] 中辻達也, 南雄大, 松島恭治: 「合成開口デジタルホログラフィによる高視野 3次元画像情報の取得と数値再生」, 3D コンファレンス 2007 講演論文集, 81-84, 2007.
- [3] I. Yamaguchi, T. Zhang: "Phase-shifting digital holography", Opt. Lett. **22**, pp1268-1270, 1997.
- [4] R. Binet, J. Colineau, J. Leheureau: "Short-range synthetic aperture imaging at 633 nm by digital holography", Appl. Opt. **41**, pp4489-449, 2002.