

合成開口デジタルホログラフィによる広視野・広視域 3次元画像情報の取得

Acquisition of 3-D images with wide visual field and viewing zone by using a synthetic aperture in digital holography

○中辻達也, 松島恭治

○Tatsuya Nakatsuji and Kyoji Matsusima

関西大学工学部先端情報電気工学科

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kansai University

E-mail: nakatsuji@laser.ee.kansai-u.ac.jp

Low resolution in image sensors limits both the visual field and viewing zone in numerical reconstruction in digital holography. This study is intended to increase the both, especially the viewing zone, by applying a synthetic aperture technique to lensless Fourier digital holography. Numerical reconstructions in different visual points are demonstrated to prove extension of the viewing zone.

1. はじめに

一般的なデジタルホログラフィでは、イメージセンサの解像度が大幅に低いことにより遠くにある小さな物体しか撮影出来ず、視野角を広げる事が困難である。視野角が狭いことから、物体の大きさに応じた撮影距離が必要となり、物体が大きいかほど数値再生時の視域が狭くなる。そのため、物体光の全ての情報を有するデジタルホログラフィでありながら、実際には再生時に視点を変えるなどの処理はほとんど出来ないことになる。従って、ある程度の大きさの物体の3次元画像情報の取得を目的とした場合、デジタルホログラフィは実用的な手法ではない。そこで我々は、レンズレスフーリエ型¹⁾ではセンサ上の空間周波数が低くなることに着目し、物体の大きさと位置に対する干渉縞の最大空間周波数の関係からエイリアス誤差なしに物体を撮影できる領域を算出し、大きな物体を撮影する手法を提案している^{2,3)}。この手法では、センササイズが大型化してもセンサ上の最大空間周波数は増加せず、より大型のセンサを用いることにより視域が拡大できるという特徴がある。本研究ではこの特性を生かし、カメラを擬似的に横に並べる合成開口デジタルホログラフィの手法⁴⁾を用いて、視域拡大を図り、異なった視点からの再生像が得られるような広視野・広視域3次元画像情報の取得を試みた。

2. 合成開口デジタルホログラフィの撮影

Fig.1では、4096×4096[pixel]、ピッチ 6.0[μm]のイメージセンサで、物体-センサ間の距離 $d=60$ [cm]を仮定し、エイリアス誤差なしに撮影できる視野と視域角をイメージセンササイズ D に対して示している。平面波参照光を用いるフレネル型では D が大きくなるにつれて撮影可能な視野(物体サイズ) w が小さくなるのに対して、レンズレスフーリエ型では w は一定である。一方、視域角 Ω は両者ともセンササイズに比例して増加していく。つまり、レンズレスフーリエ型では D を大きくしても視野を減少させることなく視域を増加できるため、合成開口の手法を用いることができる。そこで本研究では Fig.2 に示すようにセンサを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とにより生じる干渉縞間の重なりから、相関関数を用いて各干渉縞の正確な位置を求めて合成している。具体的にはイメージセンサ(東芝テレー製 CSB4000CL-10A, 2000×2000 [pixel]、ピッチ 6.0×6.0 [μm])を直線ステージに載せ、図中の x 軸方向に移動させ干渉縞を撮影した。

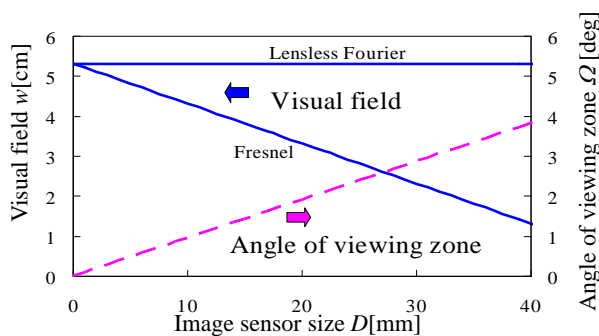


Fig.1 Visual field and angle of viewing zone as a function of the size of an image sensor.

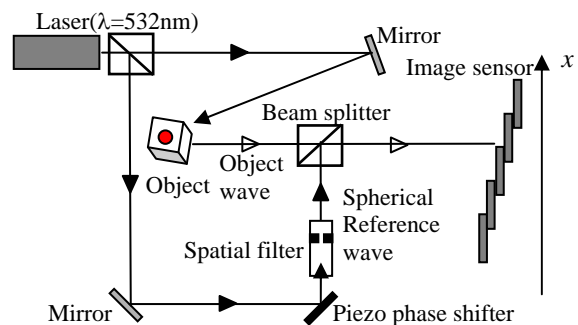


Fig.2 Experimental setup.

このとき、同一位置のセンサで Piezo 素子により位相シフト量を変えた 4 枚の干渉縞画像を撮影し、位相シフト法によりセンサ面での物体光の複素振幅分布を求めた。

3. 数値再生とその結果

撮影物体に、Fig.3 のような物体を用意した。数値再生では、位相シフト法によって得られる合成複素振幅 $g(x, y)$ を逆フーリエ変換する。これにより、Fig.4 に示すように参照光源とセンサ間の距離 d_R だけセンサから離れた平面上で物体光の複素振幅分布 $f(x, y)$ が得られる。これは物体近傍の位置であるので、一旦、センサ近傍の位置まで距離 $d \approx d_R$ の伝播計算を行い複素振幅分布 $f_d(x, y)$ を得る。この分布 $f_d(x, y)$ 上で視点を置きたい位置 $(x_e, 0)$ で瞳の範囲 (p_x, p_y) だけ残して残りをゼロ値で埋め、視点変化をシミュレートした。このように視点を設定した $f'_d(x, y)$ を再び物体近傍の位置まで距離 d_Z 逆伝播し、ホログラムの数値再生像を得た。

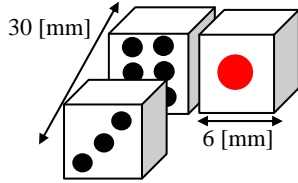


Fig.3 Disposition of recorded objects.

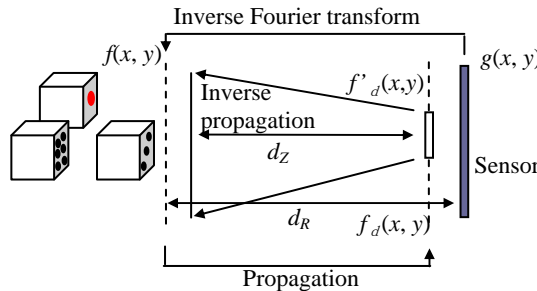


Fig.4 The procedure for numerical reconstruction with different visual points.

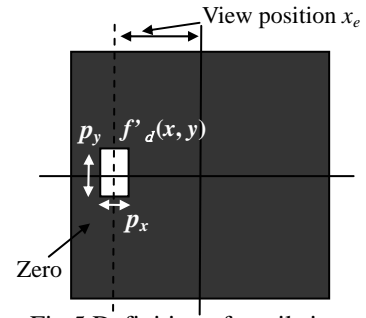


Fig.5 Definition of pupil sizes and position.

参照光源センサ間距離 $d_R = 20[\text{cm}]$ として記録を行い、視点変化は行わず手前の「3 の目」に合焦した数値再生像を Fig.6(a) に、「1 の目」に合焦した再生像を Fig.6(b) に示す。一方、Fig.7(a) に左視点からの再生像、同様に(b) に右視点からの再生像を示す。「6 の目」は「3 の目」の背後にあるので左視点から「6 の目」を確認することが出来ないが、右視点からは「6 の目」が確認できる。これより視点を変化できる程度の広視野 3 次元画像情報が取得できていることを確認できた。

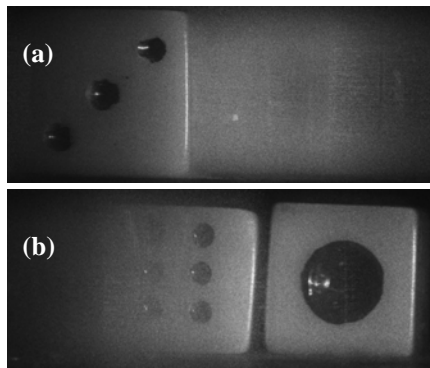


Fig.6 Numerical reconstructions in different depths.

8192×2048 [pixels].

(a) $d_Z = 200$ [mm], (b) $d_Z = 230$ [mm].

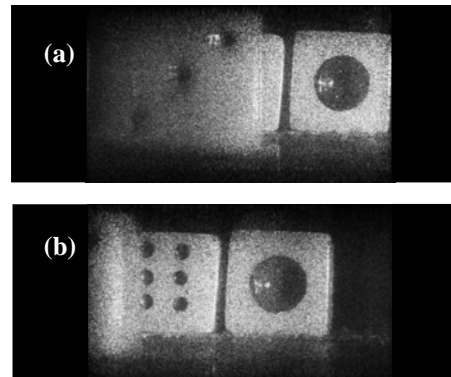


Fig.7 Numerical reconstructions in different visual points. 16384×2048 [pixels].

$(p_x, p_y) = (1.7, 3.5)$ [mm], (a) $x_e = -9.83$ [mm],

(b) $x_e = 9.83$ [mm].

4. まとめ

本研究では、レンズレスフーリエ型デジタルホログラフィで非エイリアス領域を用いることにより視野拡大を試み、合成開口の手法を用いて擬似的に巨大なイメージセンサを構成して数値再生時の視域を拡大した。その結果、取得したホログラフィデータ(複素画像)から視点の異なった再生像が得られることを確認した。

文献

- 1) C. Wagner, S. Seebacher, W. Osten, W. Juptner: "Digital recording and numerical reconstruction of lensless Fourier holograms in optical metrology", *Appl. Opt.* **38**, 4812-4820(1999).
- 2) 中辻, 長岡, 松島: "位相シフトを用いたレンズレスフーリエ変換デジタルホログラフィ", 2006 年信学会総合大会, D-11-72 (2006).
- 3) 中辻, 長岡, 松島: "位相シフトレンズレスフーリエデジタルホログラフィによる広視野 3 次元画像情報の取得", 3 次元画像コンファレンス 2006, 113-116 (2006).
- 4) R. Binet, J. Colineau, J. Leheureau: "Short-range synthetic aperture imaging at 633 nm by digital holography", *Appl. Opt.* **41**, 4489-4496(2002).