Optics Photonics Japan 2009 講演予稿集, pp.278–279 (25aF6), 新潟(2009.11.25)

任意位相シフト公式を用いたシングルショットデジタルホログラフィ

Single-shot digital holography by using an arbitrary phase-shifting formula

○高濱裕史，松島恭治
○Yushi Takahama and Kyoji Matsushima

関西大学電気電子情報工学科
Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University
E-mail: takahama@laser.ee.kansai-u.ac.jp

A novel type of single-shot digital holography is proposed. This method utilizes detour phase effect for producing phase-shifts of reference field as Lohmann CGHs utilize it for modulating the phase of the output field. A similar technique has already been reported. However the technique requires interpolation of fringe intensity. The proposed method does not need any interpolation, because the method uses arbitral phase-shifting formula that we originally formulate. The basic theory and experimental results are presented.

１．はじめに

デジタルホログラフィでは、光波の複素振幅分布を求めるために位相シフト法が一般的に使われている。しかし、この方法には 3 枚または 4 枚のホログラムを記録する必要があるという問題点がある。そこで、1 枚のホログラム干渉縞から複素振幅分布を求めるシングルショット法が提案されている [1-3]。任意の参照光波に適用するため、この手法では干渉縞データの補間処理を用いている。そのため補間方法による影響や補間誤差の影響を受ける。そこで本研究では、任意の 3 位相値に対する位相シフト公式を独自に定式化し、補間処理が不要なシングルショット法を提案する。

２．3 ステップ位相シフトの一般化公式とそれを用いたシングルショットデジタルホログラフィの原理

位相シフト法では位相シフト量$\Delta\theta = 2\pi/3$ の 3 枚、または$\Delta\theta = \pi/2$ の 4 枚の異なった参照光波による干渉縞が必要となる。しかし、原理的にはシフト量がどのような値であれ複素振幅を求めることが可能である。シフト量θ の参照光波を $R'(x, y)=R(x, y)\exp[i\theta]$、物体光波を $O(x, y)$とすると干渉縞強度分布は

$$I(\theta) = I(x, y, \theta) = |O|^2 + |R|^2 + OR^* \exp[-i\theta] + O^* R \exp[i\theta] \tag{1}$$

となる。ここで $O = O(x, y)$、$R = R(x, y)$である。いまシフト量が$\theta = 0$、 α、 β の3枚の干渉縞が測定された場合を考えると、上式から求まる $I(0)$、 $I(\alpha)$、 $I(\beta)$の 3 式を連立させて$|O|^2$、 $|R|^2$、 O^*R を消去することにより、

$$OR^* = \frac{i[I(0) - I(\alpha)]\exp[i\beta] + [I(\alpha) - I(\beta)] + [I(\beta) - I(0)]\exp[i\alpha]}{2[\sin(\alpha) - \sin(\beta) - \sin(\alpha - \beta)]} \tag{2}$$

が得られる。従って，ある(x, y)点での 3 つの位相シフト量に対する干渉縞強度値が与えられれば、その位置における複素振幅値 $OR^*(x, y)$が求まる。

センサ面に入射角φ の平面波参照光が入射するとき、Fig.1 に示すように、detour phase 効果により間隔Δx のサンプリング点間の位相差は$\Delta\theta = 2\pi\Delta x \sin\varphi/\lambda$となる。従って、隣接した 3 点の干渉縞強度値を一組にして式(2)を用いることにより 3 点の位置での平均的な複素振幅値 OR^*が 1 つ求まる。つまり、シングルショットで記録した干渉縞から隣接する 3 画素の光強度値を用いて、波面分割法と同様に複素振幅分布を

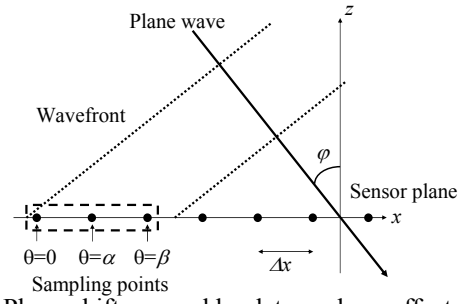

Fig.1 Phase shifts caused by detour phase effect.

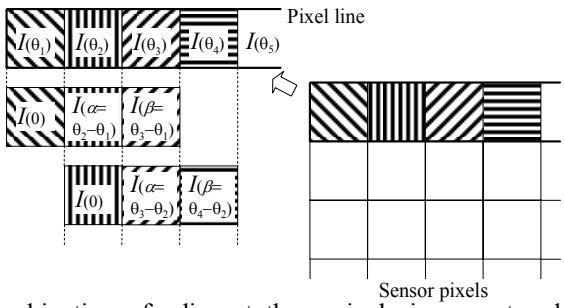

Fig.2 Combination of adjacent three pixels in a captured fringe pattern.

記録できることがわかる。またこの時、Fig.2 のように隣接する 3 画素の組を水平方向に走査することにより、それほど大きく解像度を損なうことなく記録することができる。

３．実験方法

Fig. 3 に記録光学系を示す。波長 532[nm]、出力 100[mW]の緑色 DPSS レーザの出力光を BS1 で 2 つに分割し、一方を SF2 で広げて物体照明光とし、もう一方を SF1 と L で平行光にコリメートして参照光としてイメージセンサに入射した。本手法では参照光の入射角は任意に設定できるが、本実験ではφ ~1°に設定した。イメージセンサとして 2048×2048[pixel]、ピクセルピッチ 6.0×6.0[μm]の東芝テリー(株)製 SB4000CL-10A を使用した。また物体とイメージセンサ間の距離は 57[cm]とした。

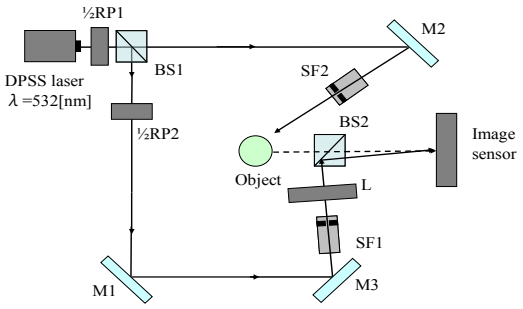

Fig.3 Experimental setup.

４．結果

Fig.4(a)は記録された干渉縞強度分布から 350×350[pixel]を切り抜いた画像である。この画像の隣り合う 3 点に式(2)を順次適用して求めた複素振幅分布の振幅像が Fig.4(b)、位相像が(c)である。また、この複素振幅分布に $R^*(x,y)$を乗算し、逆伝播して得られた数値再生像が Fig.4(d)である。なお、これらの再生像計算では、最も良好な画像が得られるように参照光波入射角φ の値の微調整を行っている。

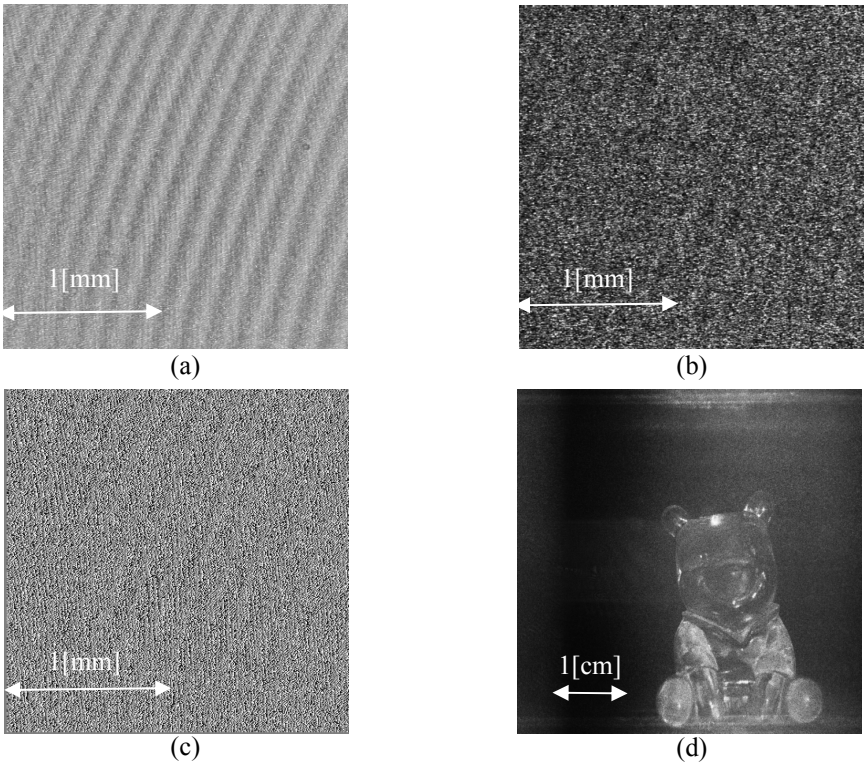

Fig.4 Result of the experiment: the captured interference fringe (a), calculated distribution of amplitude (b) and phase (c), and numerical reconstruction by backward propagation (d).

５．まとめ

任意の位相シフト量に適用できる 3 ステップ位相シフトの一般化公式を導出し、シングルショットデジタルホログラフィに応用した。すなわち、1 枚の干渉縞強度分布画像で隣接する 3 画素の光強度値を用いて OR^*の 1 つの複素値を求め、その 3 画素の組を水平方向に走査することにより複素振幅分布を得た。この複素振幅分布を通常のデジタルホログラフィと同様に物体付近まで逆回折伝播することにより再生像が得られることを確認した。

参考文献

1) 前島, 峠, 佐藤: 3 次元画像コンファレンス 2008, 55-58(2008).
2) K. Maejima, K. Sato: Proc. of SPIE #**7233**, 0U1-0U8(2009).
3) 前島, 佐藤: 3 次元画像コンファレンス 2009, 81-84(2009).