正規化干渉縞を用いた一般化位相シフトディジタルホログラフィによる物体光の復元

Object wave retrieval in generalized phase-shifting digital holography using a fringe normalization approach

埼玉大院理工研　○吉川 宣一，葛西 敬介，並木 翔馬
Saitama Univ.,　°Nobukazu Yoshikawa, Keisuke Kasai, Syouma Namiki
E-mail: nyoshi@mail.saitama-u.ac.jp

１．はじめに

任意の位相シフト量を用いる一般化位相シフト法において，正規化干渉縞を用いる位相推定法が提案されている[1, 2]．正規化干渉縞とは，干渉縞画像から直流成分を除去して得られる干渉成分をベクトルとみなして正規化を行ったものである．本研究では，正規化干渉縞を用いた一般化位相シフトディジタルホログラフィによる物体光の復元法を提案する．フレネル回折場の位相ランダム性に基づいた近似[3]により正規化を行い，正規化干渉縞を用いて物体光の複素振幅が推定できることを示す．

２．原理

干渉縞の正規化を行うためには干渉縞から直流成分を除去する必要がある．ハイパスフィルタ(HPF)で直流成分を簡易的に除去することができる．この方式では 2 枚の位相シフト干渉縞を用いる(2step 法)．また，3 枚の位相シフト干渉縞の相互差分を用いる方式も考えられる(3step 法)．ここでは 3step 法で説明する．基本的な手順は 2step 法も同様である．

物体光を $O(x,y)=|O(x,y)|\exp\{j\theta(x,y)\}$，参照光を $R_i(x,y)=|R|\exp(j\phi_i)$ とすると，ホログラムは $I_i=|O|^2+|R|^2+2|O||R|\cos(\theta-\phi_i)$ で表すことができる．ただし，ϕ_i は位相シフト量，i = 0,1,2 である．p, q 枚目のホログラムの差分 $\Delta I_{pq}=I_p-I_q$ に対して正規化を行うと $\Delta I_{pq}/\|\Delta I_{pq}\|=|\hat{O}|\cos(\theta-\Phi_{pq})$ となる．ただし，$|\hat{O}|=|O|\Big/\sqrt{(1/2)\sum|O|^2}$，$\Phi_{pq}=(\phi_p+\phi_q+c_{pq}\pi)/2$，$c_{pq}$ は位相シフト量の組み合わせで決まる値で +1 または−1 をとる．ここではフレネル回折場における位相ランダム性が十分に成り立つとき $\langle\cos\theta\rangle\approx 0$ の近似ができることを用いている．次に正規化干渉縞の和と差を求める．

$$I_a=\Delta I_{01}/\|\Delta I_{01}\|+\Delta I_{12}/\|\Delta I_{12}\|$$

$$I_s=\Delta I_{01}/\|\Delta I_{01}\|-\Delta I_{12}/\|\Delta I_{12}\|$$

これらを用いると物体光の複素振幅は，

$$O(x,y)\propto\sqrt{\left(I_a/\|I_a\|\right)^2+\left(I_s/\|I_s\|\right)^2}\exp\left[j\tan^{-1}\left(\frac{I_s/\|I_s\|}{I_a/\|I_a\|}\right)\right]$$

またはその複素共役で得られる．位相シフト量を推定する必要はなく物体光を直接求めることができる．

３．実験

散乱物体のホログラムに対して提案手法を適用した．図 1 に 2step 法と 3step 法の再生像を示す．2step 法ではガウシアン HPF を使った．比較のため統計手法[3]による結果も示す．2step 法では全体にノイズが残った状態の再生像が得られた．散乱物体の直流成分は複雑な分布を持つため簡単な HPF で除去することは難しく，干渉縞の正規化が不完全になったことが原因と考えられる．3step 法では統計手法と同等のノイズのない明瞭な再生像が得られた．干渉縞の正規化および物体光推定が正しく行われたことがわかる．

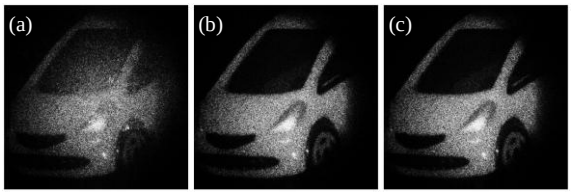

図 1 (a) 2step 法, (b) 3step 法, (c) 統計手法.

４．まとめ

正規化干渉縞を用いた一般化位相シフトディジタルホログラフィを提案した．3step 法は原理的に直流成分を完全に除去できるため，散乱物体に対して有効な方法であることが分かった．

参考文献

[1] J. Vargas, J. A. Quiroga, C. O. S. Sorzano, J. C. Estrada, and J. M. Carazo, Opt. Lett. 37, 443 (2012).
[2] C. Luo, L. Zhong, P. Sun, H. Wang, J. Tian, and X. Lu, Appl. Phys. B Lasers Opt. 119, 387–391 (2015).
[3] N. Yoshikawa, Appl. Opt. 52, 1947–1953 (2013).

© 2017年 応用物理学会