

正規化位相シフトデジタルホログラムの内積を用いた 位相シフト量推定法

Phase shift estimation method using inner product of normalized phase-shifted digital holograms

埼玉大院理工研 ○吉川 宣一, 小林 聖人, 小林 秀輔

Saitama Univ., ○Nobukazu Yoshikawa, Masato Kobayashi, Shusuke Kobayashi

E-mail: nyoshi@mail.saitama-u.ac.jp

1. はじめに

一般化位相シフトデジタルホログラフィ(GPSDH)において、0次成分を除去したホログラムをベクトルとして扱い、グラムシュミット直交化(GS)や正規化法などの解析法を用いる物体光復元法が提案されている[1,2]。これらの方法では物体光を直接求めることができる利点がある。しかし、初期位相の補正には位相シフト量を求める必要があり、計算時間は長くなる傾向があった。本研究では、正規化位相シフトホログラムの内積を用いる位相シフト量推定法を提案する。周期的な縞構造をもつホログラムとスペックル状ホログラムに対して提案法を適用し、位相シフト量の推定と物体光復元が可能であることを示す。さらにGS法で得られる直交化された正規化位相シフトホログラムを用いた場合についても検討する。

2. 原理

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。ただし ϕ_i は位相シフト量, $i = 0, 1, 2$ である。物体光はフレネル回折場において位相ランダム性が十分に成り立ち $\langle \cos \theta \rangle \approx 0$ の近似ができるとする。3枚の位相シフトホログラムの相互差分 ΔI_{pq} は0次成分が除去されて N 次元ベクトルとして扱うことができる。このとき正規化位相シフトホログラムは $\hat{I}_{pq} \equiv \Delta I_{pq} / \|\Delta I_{pq}\| = (b_n/M) \sin\{\theta - (\phi_p + \phi_q)/2\}$, $M = [(1/2)\sum_{n=1}^N b_n^2]^{1/2}$ で表すことができる。位相ランダム条件を用いて、2つの正規化位相シフトホログラムの内積を計算すると、位相シフト量 $\Delta\phi_{01} = 2\cos^{-1}\langle \hat{I}_{12}, \hat{I}_{20} \rangle$, $\Delta\phi_{02} = 2\cos^{-1}\langle \hat{I}_{01}, \hat{I}_{02} \rangle$ が得られる。この位相シフト量を用いてホログラム面の物体光を求め逆伝搬計算を行うことにより物体光を復元することができる。GS法を用いた場合では内積計算と逆正接関数で表される位相シフト量の推定式が得られる。

3. 実験

透過物体と散乱物体のホログラムに対して提案法を適用した。図1と図2に透過物体と散乱物体の結果を示す。比較のため正規化法で得られた再生像も示す。透過物体のホログラムには周期的な縞構造が存在し、散乱物体のホログラムはスペックル状ホログラムとなっており位相ランダム条件は十分に成立する。いずれの場合も内積法で推定された位相シフト量および物体光は正規化法によって得られた結果とほぼ同じであった。内積法, GS法を用いた内積法, 正規化法の計算時間を調べたところ、内積法が最も高速であった。またGPUを用いた並列計算が有効であることがわかった。

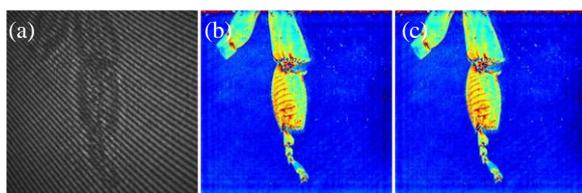


図1 透過物体のホログラムと位相再生像
(a)ホログラム (b)内積法, (c)正規化法。

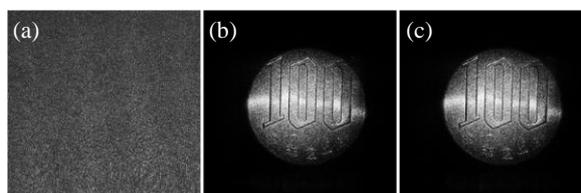


図2 散乱物体のホログラムと強度再生像
(a)ホログラム (b)内積法, (c)正規化法。

4. まとめ

正規化位相シフトホログラムの内積を用いる位相シフト量推定法を提案した。提案法は透過物体と散乱物体に対して有効であり、従来法と同等の物体光を高速に得られることが分かった。

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] N. Yoshikawa, S. Namiki, and A. Uoya, Appl. Opt, 58, A161 (2019).