

全干渉型 3 次元分光イメージングにおける ノイズ低減法の展望

Prospect of noise reduction method in fully interferometric holographic three-dimensional imaging spectrometry

○ 丹野 渉(岩手大学), 吉森 久(岩手大学)

○ Wararu Tanno, Kyu Yoshimori

岩大院工

Graduate School of Eng., Iwate Univ.

キーワード: デジタルホログラフィ (Digital holography), フーリエ分光法 (Fourier spectrometry), 干渉計測 (Interferometry), スペクトル (Spectrum), 3 次元イメージング (Three-dimensional imaging)

連絡先 〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学 工学研究科 電気電子情報システム
工学専攻 Tel.: 019-621-6485 Fax.: 019-621-6485 Email: tanno@ql.cis.iwate-u.ac.jp

1. はじめに

デジタル分光ホログラフィは, 干渉計測と信号処理のみによって, 多色光源分布に対し多数の分光 3 次元画像を再生するインコヒーレントホログラフィ技術の 1 つである¹⁻⁸⁾. 近年, われわれは, 5 次元の空間コヒーレンス関数の測定に基づいた 2 種類の分光 3 次元画像再生法を提案した^{2,7)}. 両者の差異は, それぞれの方法において合成開口処理に利用される選択律にある. 第 1 の選択律は, 物体から伝搬した光の多数のスペクトルに関する, 波面の位相分布に直接対応した干渉縞パターンが記録された球面波型体積インターフェログラムを生成する. 第 2 の選択律は, 双曲面型体積インターフェログラムを生成する. 球面波型体積インターフェログラムと異なり, 双曲面型体積インターフェログラムの干渉縞パターンは光源から伝搬した光の波面形状をそのまま反映したものではない. その理由は x 軸方向と y 軸方向に沿った位相回転が互いに逆方向に生じるからである. しかし, 記録された光源情報という

視点から見ると両者は同等と見なすことができ, 各スペクトル成分において, 同じ 3 次元画像を再生できる^{7,8)}. またこれらの 3 次元画像に表れた雑音成分は互いに高い相関をもたないと考えられる.

本論文ではデジタル分光ホログラフィにおける信号対雑音比を向上させるための新しい手法を提案する. この手法は異なる合成開口処理によって生成される 3 次元画像の平均をとるに基づいている. 実験結果は, 提案手法の効果を示唆するものであった.

2. 原理

図 1 に本実験で利用する 2 光波折り畳み干渉計の実験系の概念を示す. 測定対象として, インコヒーレントな多色光源を開口によって大きさを制限した微小光源を用い, これを x - y ステージ上に設置している. このステージの移動量を \hat{x}, \hat{y} とする. 光源から伝搬した光波はビームスプリッター (BS) によって 2

つの光波に分割される．2つの光波は直角プリズム P および P' で上下または左右に波面反転されて再び BS で重ね合わせられる．その結果生成干渉縞はレンズを介して CCD カメラの観測面で検出され記録される．また，Piezo Translator(PZT)に設置されたプリズム P によって光路差 Z を導入する．さて，観測面において検出される干渉縞の 2 次元座標を (ξ, η) とすると，本実験で測定される 5 次元の空間コヒーレンス関数 Γ は

$$\Gamma(-\xi + \hat{x}, \eta + \hat{y}, z_0; \xi + \hat{x}, -\eta + \hat{y}, z_0 + Z) \quad (1)$$

と表される．ここで z_0 は空間座標 (x, y, z) の原点から観測面までの光学距離である．

次に，実験により取得された干渉縞画像のセットに対し，第 1 節で述べた 2 種類の合成開口処理を適用する．すなわち，球面波型体積インターフェログラムを生成する場合は選択律として $\xi = \hat{x}, \eta = -\hat{y}$ を採用し，抽出した画素を再配列条件 $X = 2\hat{x}, Y = 2\hat{y}$ に従って新たな 3 次元空間 (X, Y, Z) に配列する．こうして得られた体積インターフェログラムには 3 次元空間コヒーレンス関数 $\Gamma(0, 0, z_0; X, Y, z_0 + Z)$ が記録されている．双曲面型体積インターフェログラムの場合の選択律は $\xi = -\hat{x}, \eta = -\hat{y}$ であり，再配列条件は変わらない．この双曲面型体積インターフェログラムには $\Gamma(X, 0, z_0; 0, Y, z_0 + Z)$ なる形の 3 次元空間コヒーレンス関数が記録されている．これら，2 種類の体積インターフェログラムに分光処理を施し，得られた観測面における相互スペクトル密度を物体空間へ逆伝搬させることで，同等の分光 3 次元画像が得られる．しかし，選択律が異なるため干渉縞パターンの切り出し位置が異なり，雑音成分の相関は低いと考えられる．そこで，これらの分光 3 次元画像の平均をとることで，3 次元画像上の雑音成分を低減するのが提案手法の原理である．

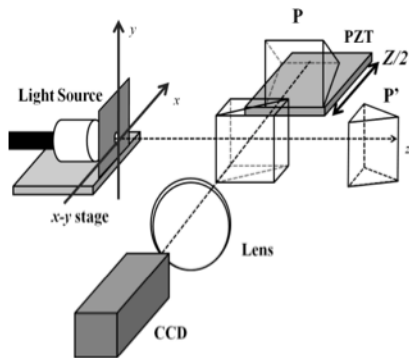


Fig.1. Schematic of the two-wavefront folding interferometer.

3. 実験結果

実験に使用した光源は，スペクトルの異なる 2 種類の LED とアクリル棒を組み合わせで作成したものであり，アクリル棒の先端は三角形，また四角形に成形され，異なる奥行き空間に置かれている．図 2 は観測面において測定されたスペクトル形状である．図 3 は $z=93\text{mm}$, $\lambda=460\text{nm}$ におけるアクリル棒先端のインフォーカス再生像であり，左から (a) 球面波型，(b) 双曲面型，そして (c) 両者の平均をとった提案手法によって得られたものである．また，図 3 にみられる三角物体の分光された波長は図 2 のスペクトル画像の左側ピークに対応している．これらの各画像の信号対雑音比の比較を表 1 に示す．画像ノイズが今回の手法によって低減されたことがわかる．

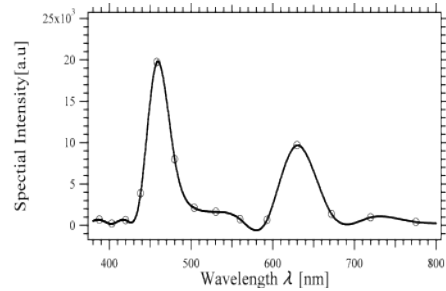


Fig. 2. The spectral profile of light sources.

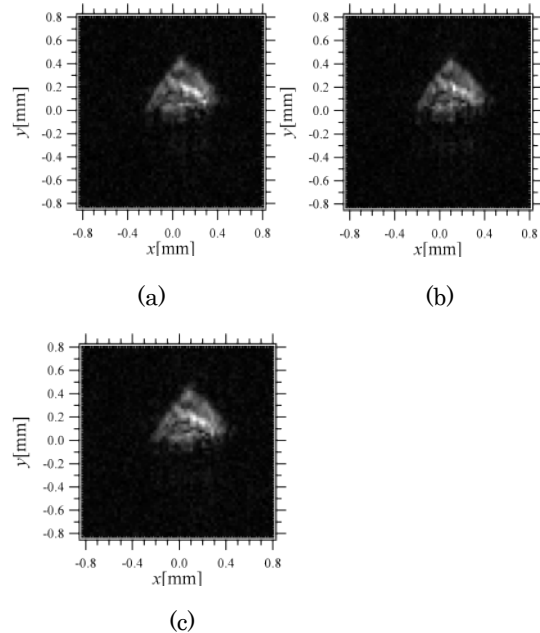


Fig.3. Retrieved in-focus images obtained from, (a) spherical-type volume interferogram, (b) hyperbolic volume interferogram, (c) the average image of (a) and (b).

Table 1 Comparison of the signal to ratio
in each image

手法	S/N 比
球面波	2.958
双極面型	2.955
提案手法	3.309

4. まとめ

2光波折り畳み干渉計によって測定された5次元インターフェログラムに複数の異なる合成開口処理を適用して、球面波型と双曲面型の体積インターフェログラムを生成し、3次元画像の平均をとることにより画像ノイズを低減する手法を提案した。この手法から連続スペクトルを有する多色光源分布に適用し、信号雑音比が実際に向上することを確認した。

本研究は科研費 22560031 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) K. Yoshimori, J. Opt. Soc. Am. A **18** (2001) 765.
- 2) K. Yoshimori, Proc. SPIE **6252** (2006) 625221-1.
- 3) K. Yoshimori, Proc. of the *Information Photonics 2008*, Hyogo, Japan (2008) p.28.
- 4) M. Sasamoto and K. Yoshimori, Jpn. J. Appl. Phys. **48** (2009) 09LB03-1.
- 5) K. Yoshimori and M. Sasamoto, Proc. of the *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH2009)*, Vancouver, British Columbia, Canada (2009) DWB34.
- 6) S. Teeranutrannont and K. Yoshimori, Proc. of the *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH 2011)*, Tokyo, Japan (2011) DWC36.
- 7) T. Hashimoto and K. Yoshimori, Proc. of the *Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH 2011)*, Tokyo, Japan (2011)DWC38.
- 8) 橋本,吉森, Optics and Photonics Japan 2011 講演予稿集 (2011) 30pC4.
- 9) **M. Sasamoto and K. Yoshimori:Opt. Rev. 19, No.1(2012) 29-33.**