

デジタル分光ホログラフィーによる インコヒーレント光源分布の分光立体像再生

Retrieval of Spectra and Three-Dimensional Images of Incoherent Source Distribution by Digital Spectral Holography

○笹本 益民, 吉森 久

○Masumi Sasamoto, Kyu Yoshimori

岩手大学大学院工学研究科電気電子・情報システム工学

Dep. of Computer & Information Science, Iwate University

キーワード: 3-D イメージング(3-D imaging), 分光イメージング(spectral imaging),

干渉計測(interferometry), 合成開口処理(synthetic aperture technique)

連絡先: 〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5 岩手大学 工学部 電気電子・情報システム工学科

吉森 久, Tel 019-621-6485, FAX 019-621-6485, E-mail: yosimori@ql.cis.iwate-u.ac.jp

1. はじめに

われわれは、物体から伝播した光波の干渉計測と、計算機処理のみによって、測定対象の連続スペクトル情報と 3 次元空間情報を同時取得するデジタル分光ホログラフィーの研究をおこなっている¹⁾。この手法は、連続スペクトルを有する多色物体の、分光された多数の波長チャンネル毎に 3 次元空間情報を取得可能である。また、完全にパッシブな干渉計測を基礎としているため、自然光照明下での測定が可能であり、幅広い電磁波波長帯域に適用可能であること、及び特別な結像・分光素子が不要であることが特徴として挙げられる。

この手法に関しては、現在までに単色点光源²⁾、互いに波長の異なる 2 点光源の再生実験に成功している。そこで今回は、

3 次元空間的に広がりを持つ連続スペクトル光源の再生実験を試みたので、その結果について報告する。

2. 原理

2-1. 2 光波折り畳み干渉計

図 1 に本手法の実験系である 2 光波折り畳み干渉計の概要を示す。測定対象である光源は x - y ステージ上に設置する。光源から伝播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、直角プリズム P , P' に入射する。この 2 つのプリズムは軸が互いに直交しており、これに入射した光波は波面がそれぞれ上下、もしくは左右に反転され、BS 方向へと反射される。また、片方のプリズム P を PiezoTranslator (PZT) によって移動させることにより、分割 2 光波に光路差 Z を導

入することが出来る．2つの光波はBSによって再び重ね合わされ，干渉縞を生成し，レンズ(L)を介して2次元光検出器(CCD)で観測される．測定時には， x - y ステージとPZTを3軸走査し，それぞれの位置で観測されるインターフェログラムを逐次記録する．

このとき得られるデータは，全体で5次元である．観測面座標(x' , y')上で測定された2次元のインターフェログラムが， x - y ステージの移動量 \hat{x} , \hat{y} とPZTによって与えられる光路差 Z を直交座標とする3次元空間に配列される．これを5次元インターフェログラムと呼ぶ(図2)．

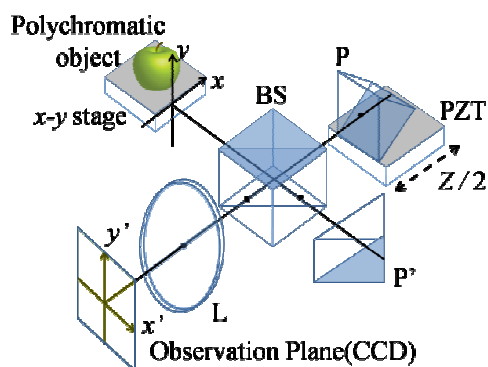


図 1. 2 光波折り畳み干渉計.

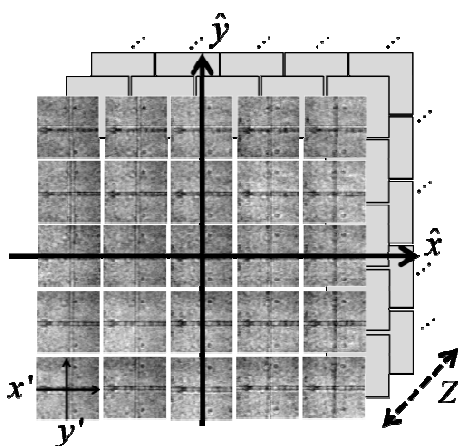


図 2. 5次元インターフェログラムの概念図.

2-2. 合成開口処理

実験により取得された5次元インターフェログラムに対し，合成開口処理をおこなう．ここで，合成開口処理とは，5次元インターフェログラムに対して一定の選択率に従い画素を選択し，再配列することにより，5次元から3次元への射影をとるものである．これにより，3次元，すなわち体積インターフェログラムが得られる(図3)．

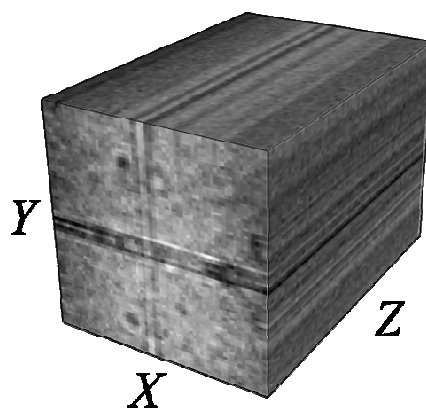


図 3. 合成開口処理により得られた体積インターフェログラム.

2-3. 分光処理, 再生処理

合成開口処理によって得られた体積インターフェログラムに対して，光路差 Z に関しフーリエ変換することにより，光源のスペクトル形状と，分光された各波長チャンネル毎の相互スペクトル密度が得られる．これらの相互スペクトル密度にそれぞれ再生処理を適用することにより，各波長成分毎の3次元強度分布を得ることが出来る．以上の手順で，分光立体像が再生される．

3. 実験

本実験では，測定対象として白色LED

を円形開口($\phi = 500\mu\text{m}$) を通すことにより作成した白色面光源を用いた. 光源から観測面までの距離 z は 86mm である. x - y ステージと PZT の移動回数はそれぞれ 64 であり, $64 \times 64 \times 64$ 枚のインターフェログラム画像から 5 次元インターフェログラムが構成される. これに合成開口処理を適用することにより図 3 に示すような体積インターフェログラムが得られた.

まず, 体積インターフェログラムの X - Y 面内の中心部分における, Z 方向に関する 1 次元データをフーリエ変換することにより図 4 のようなスペクトルが得られる. このスペクトル形状は一般的な白色 LED のスペクトルによく一致している.

このようにして, 光源の連続スペクトル情報が得られた.

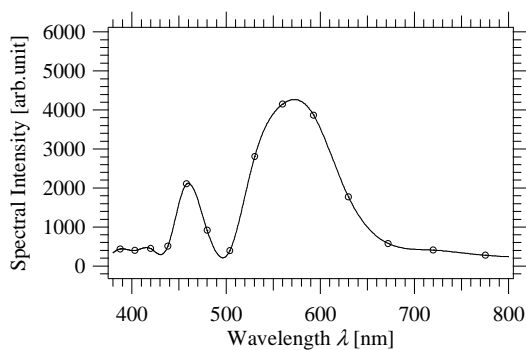


図 4. 光源のスペクトル形状.

次に分光立体像の一例として, 波長 560nm の成分に注目し, その 3 次元強度分布を示す.

図 5 は波長 560nm の相互スペクトル密度の位相分布(a)と絶対値(b)である. X - Y 面内の中心部に滑らかな位相分布が確認でき, 高い相関値を持つ.

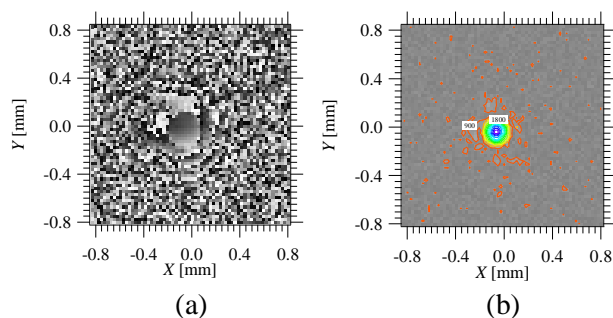


図 5. 相互スペクトル密度(波長 560nm)
(a)位相 (b)絶対値.

この相互スペクトル密度に対し再生処理を適用し, $z = 86\text{mm}$ と指定して再生された 2 次元インフォーカス像を図 6 に示す.

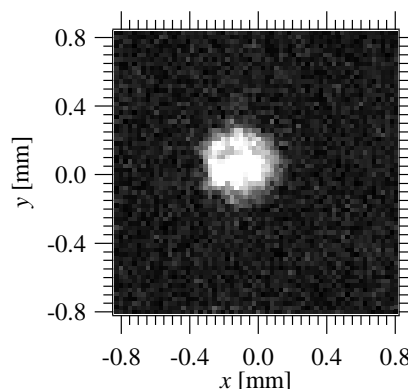
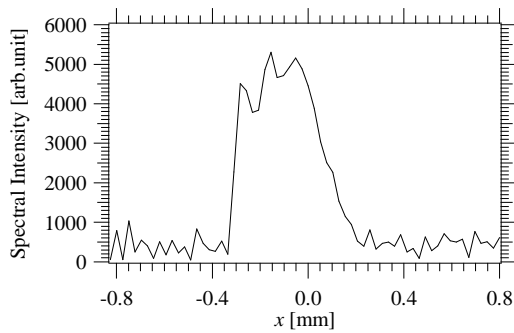
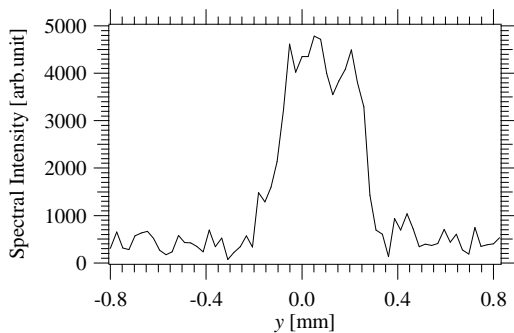


図 6. 波長 560nm , 距離 $z = 86\text{mm}$ での
光源再生像

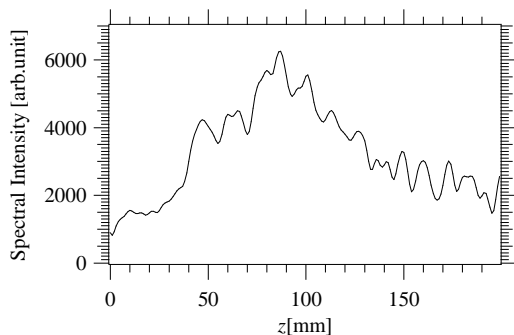
さらに, 図 6 の再生像の $x = 0, y = 0$ 近傍を通過する x 方向, y 方向の直線上における強度分布と, 再生像上の一点に注目した z 方向の強度分布をそれぞれ図 7(a), (b), (c)に示す. x 方向, y 方向の強度分布に関しては半値全幅で約 $500\mu\text{m}$ の強度分布が得られており, これらは光源の大きさにほぼ等しい. また, z 方向に関する強度分布のピークは光源までの距離($z = 86\text{mm}$)によく一致している.



(a)



(b)



(c)

図 7. 図 6 の再生像における(a) x 方向,
(b) y 方向, (c) z 軸方向の強度分布.

最後に、他の波長成分の再生結果についても、スペクトル強度が高い成分については再生結果が実験条件と概ね一致した。

これらの結果から、本手法において空間的に広がりを持つインコヒーレント光源の連続スペクトル情報と 3 次元空間

情報が再生されたと結論される。

4. まとめ

2 光波折り畳み干渉計と合成開口処理を用いたデジタル分光ホログラフィーによる、3 次元空間的に広がりを持つインコヒーレント光源の再生実験をおこなった。その結果、光源の連続スペクトル形状の回復と各波長チャンネル毎の 3 次元強度分布の再生に成功した。この結果より、本手法が有限の大きさを持った一般の多色物体に対し適用可能であることが確認された。

今後は、さらに複雑な形状とスペクトルを持つ物体の再生や、様々な光源再生手法の比較検討をおこなう予定である。

・謝辞

本研究の一部は、光科学技術研究振興財団の平成 13 年から 14 年の研究助成事業「光科学の未知領域の研究 —とくに光の本質について—」、および文部科学省の科学研究費補助金(15360024)の助成により行われました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) K. Yoshimori, "Passive digital multispectral holography based on synthesis of coherence function," Proc. SPIE **6252**, 625221-1-625221-4 (2006).
- 2) M. Sasamoto and K. Yoshimori, "First Experimental Report on Fully Passive Interferometric Three-Dimensional Imaging Spectrometry," Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 09LB03-1-4 (2009).