

平成21年 4月 1日現在

研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19560345  
研究課題名（和文）  
合成開口処理によるデジタルホログラフィの高解像再生  
研究課題名（英文）  
Resolution enhancement in digital holography with synthetic aperture processing  
研究代表者  
中川 清（NAKAGAWA KIYOSHI）  
香川大学・工学部・教授  
研究者番号：50198032

## 研究成果の概要：

従来の写真乾板を用いたホログラフィーに代わって、近年注目されているデジタルホログラフィに関する研究を行った。デジタルホログラフィーではイメージセンサーの大きさの影響で、写真乾板を用いたホログラムより再生像の解像度が低下する欠点があった。そこで本研究では、一つのシーンに付いて複数枚のホログラムを、異なった観測位置から観測し、個々のホログラムについて合成開口処理することで、開口の大きなイメージセンサーで、ホログラムを観測した状態を擬似的に実現した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：センシング

## 1. 研究開始当初の背景

従来の写真乾板を用いたホログラフィーに代わって、近年デジタルホログラフィ技術が注目されている。デジタルホログラフィでは、CCD/CMOS等のイメージセンサーを用いて、ホログラムの光強度分布を測定し、電子ファイルとしてコンピュータに蓄積する。蓄積したホログラムにデジタル信号処理を施すことで、物体像が再生できる。従来の写真乾板で構成するホログラムでは現像、定着過程を化学処理で行う必要があ

ったことに比べ、イメージセンサーで観測したデジタルデータのホログラムは、厄介な処理が必要ないので広く応用が期待されている。しかし一方、写真乾板に比べてセンサーの大きさが小さいため、デジタルホログラムからの再生像の解像度が低下する欠点があった。

## 2. 研究の目的

本研究では、一つのシーンに付いて複数枚のホログラムを、異なった観測位置から観測し、個々のホログラムについて

合成開口処理することで、開口の大きなイメージセンサーで、ホログラムを観測した状態を擬似的に実現することを目的に研究を行った。

### 3. 研究の方法

デジタルホログラムを構成するために図1に示す撮影光学配置を取った。光源はHe-Neレーザ（波長 $0.6328\mu\text{m}$ ）とした。レーザから出射したレーザ光を二方向に分割する。一方は、レンズでビーム径を拡大した後、物体を照明する。物体で散乱した光は、物体光としてイメージセンサーに入射する。もう一方の光は、参照光とし、コリメータで平面波として、ビームスプリッタを介してイメージセンサーに入射する。

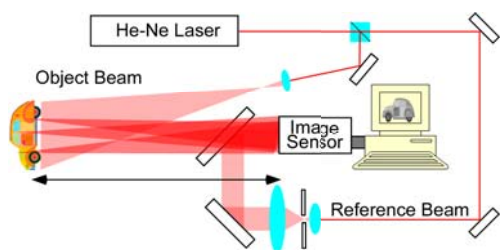


図1 デジタルホログラム撮影光学配置

イメージセンサー表面では、物体光と参照光が干渉し、干渉パターンが発生する。干渉パターンの強度分布をイメージセンサーにより計測し、コンピュータに電子ファイルとして蓄積する。この干渉パターンがデジタルホログラムとなる。イメージセンサーの画素サイズは、 $6.4\mu\text{m}$ 角、 $1024\times 1024$ ピクセル、8bit出力である。

本研究では、合成開口処理を行なうことが目的であるので、イメージセンサーを微動ステージ上に配置し、同じ物体のホログラムを異なった位置で観測できるように設定する。微動ステージの移動量の最小分解能は $1\mu\text{m}$ であった。

デジタルホログラムの再生処理はデジタル信号の処理で行う。蓄積したデジタルホログラムは、ビットマップ形式で記録されている。ビットマップファイルから強度分布を数値的に読み出し、フレネル変換を施すソフトウェアを製作した。

合成開口処理を行う上で重要なことが、異なった位置で撮影したホログラムの相対的な撮影位置を正確に特定することである。本研究では、ホログラムを撮影する時に、重なり合う部分が発生するように撮影し、二枚のホログラム強度分布の相互相関関数を求めることで、ピクセルサイズの精度で、相対位置を特定した。

相対位置を特定した2枚のホログラムを一枚のホログラムに合成するソフトウェア

を製作した。合成したホログラムは、実数部分、虚数部分別々にテキストデータとしてもビットマップデータとしても保存できる。ビットマップデータとすると階調が、256階調と量子化される。

5枚のホログラムまで合成できるソフトウェアと、合成したテキストデータのホログラムから再生像を求めるソフトウェアを作成した。合成していないホログラム同様に、デジタル信号処理の手法でフレネル変換を実行するソフトウェアである。

実験で観測したデジタルホログラムを用いてソフトウェアの動作特性を実証的に確認した。

### 4. 研究成果

#### (1) デジタルホログラフィ再生ソフトの製作

撮影したデジタルホログラムの一つを図2に示す。ホログラム中の一部分の拡大図を図2右側に示す。縦方向の干渉縞が確認できる。この干渉縞の分布に、物体情報が含まれている。このデータはビットマップファイルで保存され、 $1024\times 1024$ ピクセル、8bitの数値としてデジタル的に読み出せる。

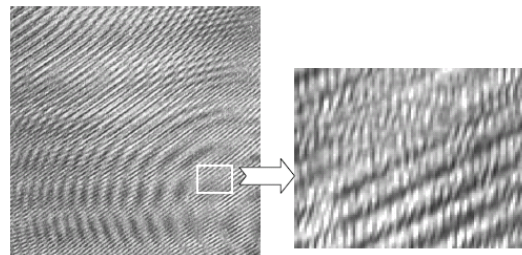


図2 撮影したホログラムと拡大像

撮影したホログラムを製作した再生プログラムで再生処理を実行した結果が図3の再生像である。ホログラム強度分布は実数値として観測されるが、フレネル変換による再生処理を行うと、再生像は複素数で得られる。そこで、図3では、位相成分を省き、振幅成分のみを表示した結果である。図中の右半分中央部に再生像が見られる。左半分の強度値は、共役像の強度分布で、フレネル変換時に入力する物体とカメラ間距離の符号により、どちら側に結像させるかを選択できる。

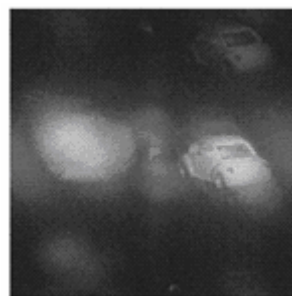


図3 再生像

## (2) 位相検出の確認実験

デジタルホログラフィの再生では、物体光の振幅と位相が再生できる。そこで、再生像の位相成分が再現できているかどうかを検証した。検証に用いた物体を図4に示す。

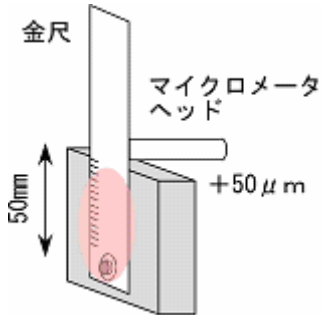


図4 撮影物体

金属板に固定した金尺を固定位置から50mmの位置でマイクロメータヘッドにより定量的な変位を与えられるように製作した物体である。変位は、前方に50 $\mu$ m押し出す変位を与えた。

金尺に変位を与えた前後のホログラムを別々に撮影した。変位前後のホログラムを別々に再生処理して、振幅分布を画像化したものを図5(a)に示す。変位量が微小であるため、形状の変化はほぼ観測されず、同じような再生像が得られることを確認した。なお、ここでは、再生画像中の物体部分のみを切り出して拡大して示している。

つぎに、撮影したホログラムの強度分布をたし合わせて一枚のホログラムにして、その後、そのホログラムに再生処理を施した結果を図5(b)に示す。図5(b)も振幅分布を画像化したものであるが、変位のある物体からのホログラムをたし合わせてから再生することで、二枚のホログラムから得られる位相の差が振幅値の違いとして干渉縞として観測することが出来た。

観測するホログラムは、実数値で表されるが、振幅と位相の情報を含んでいる。図5(b)の結果から、その振幅と位相を再生できていることが確認できた。変位前後のホログラムをここに再生し、複素数の再生像をたし合わせてから振幅表示しても同様の結果が得られることも確認した。

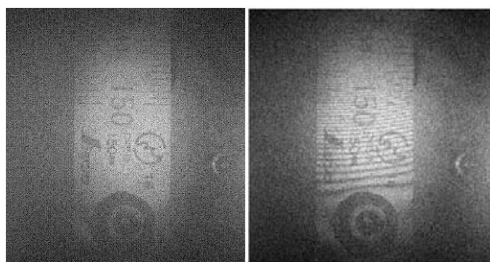
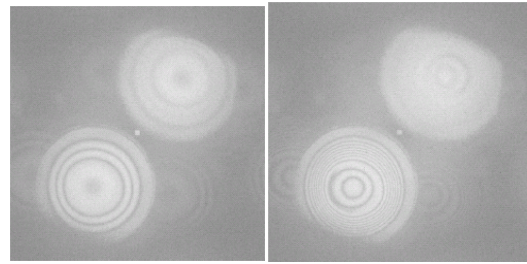


図5 再生像(a)と再生像の合成結果(b)



(a)小電流 (b)大電流

図6 変位測定結果

図6は、スピーカに電流を流し、スピーカのコーンに変位を与え、その変位量を可視化したものである。この場合、左下の像が再生像、右上が共役像である。図6(a)が小電流を流した場合、図6(b)が大電流を流した場合である。発生する干渉縞の本数が変位量の大小に対応する。小電流よりも大電流の方が変位量が大きいと考えられ、図6右側の方が多数の干渉縞が現れている。

我々が製作したソフトウェアで、振幅成分のみならず、位相成分も再生できていることを確認することが出来た。

## (3) 合成開口処理

次に、一つの撮影対象について異なる位置から複数枚のホログラムを撮影し、合成して一枚の合成ホログラムとすることを試みた。

複数のホログラム間の相対撮影位置の特定のために、ホログラムを撮影時に、一部が同じ干渉縞を撮影するように、重なった部分を持つようにホログラムを撮影した。

得たホログラム例を図7に示す。観測では、まず図7左側のホログラムを撮影した。コンピュータに蓄積後、イメージセンサを画像右下方向に約横260 $\mu$ m、下260 $\mu$ 移動させ、その位置で撮影したものが図7右側のホログラムである。ホログラム強度分布を見る限り、撮影位置の違いは見られない。

そこで、この二つの観測ホログラム強度分布間の相互相関関数を求めた。計算で求めた相互相関関数を図8に示している。横軸、奥行き軸がそれぞれ $\Delta x$ 、 $\Delta y$ に対応し、縦軸が相互相関値を表している。原点は、画像中心である。

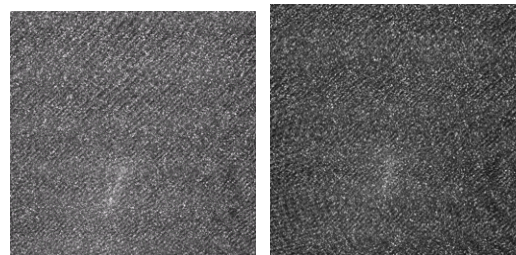


図7 異なる位置で撮影したホログラム

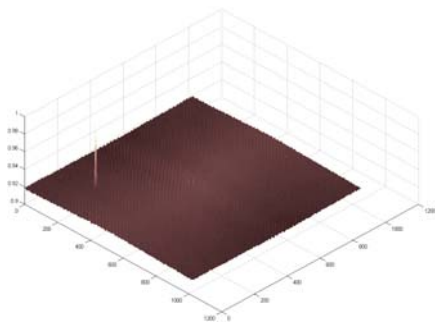


図8 二枚のホログラムの相互相関関数

図中左下、座標 (215、217) に鋭い相関が観測された。この相関の位置から右下方へ、41 ピクセル、39 ピクセルずれたホログラムであることを知ることが出来た。イメージセンサの画素サイズから推測して妥当なズレ幅であると考えられる。ホログラム強度分布の相互相関関数を計算することで、二つのホログラム間の相対位置をイメージセンサの画素サイズの精度で求めることが出来ることを示した。

ホログラムの撮影位置をイメージセンサの画素サイズの精度で求められることが明らかになったので、約 250  $\mu\text{m}$  ずつ縦、横に場所を変えてホログラムを 5 枚記録した。それぞれ二枚ごとの相対位置を相互相関関数の計算で求め、5 枚のホログラムの相対位置を確定した。

観測した 5 枚のホログラムのうち一枚に再生処理を施した結果を図 9 (a) に示す。金尺の表面に刻印された文字を示している。この場合も、再生像の部分のみを切り出して示している。

確定した相対位置を使って、5 枚のホログラムを 1 枚のホログラムとして合成開口処理を施した。合成したホログラム像 (複素数) からの再生像の振幅分布を図 9 (b) に示す。

図 9 (a) (b) を比較すると、明らかに、(a) の画像のキメが荒いことがわかる。合成開口処理により、再生画像の解像度が改善されていると考えることが出来る。

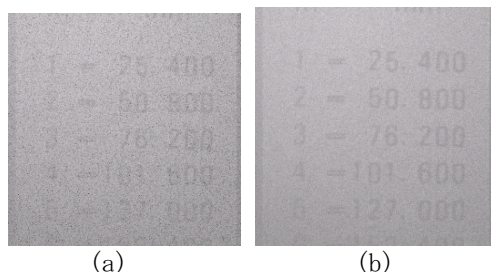


図9 合成開口処理前(a)後(b)

#### (4) まとめ

一つの物体像について異なった位置で撮影した 5 枚のデジタルホログラムから、そ

れぞれの撮影位置の相互関係を、強度パターンの相互相関関数を計算することで明らかにできることを確認した。また、求めた位置関係を考慮して複数のホログラムを合成してから再生処理することで、再生像の解像度が改善することを示すことが出来た。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① Kiyoshi Nakagawa, Interrogation using bandpass filters with chirped fiber bragg grating for fiber bragg grating sensor, Jap. J. of Appl. Phys., 47, 8, 6838-6841, (2008). 査読あり

〔学会発表〕 (計 7 件)

- ① Takahiro Ohno, Kiyoshi Nakagawa, Depth recovery in fringe projection profilometry with multi-layer neural network, International Topical Meeting on Information Photonics 2008, 2008.11.17, Awaji Yumebutai International Conference Center.
- ② Masataka Nagamatsu, Kouhei Mitani, Kiyoshi Nakagawa, Hideaki Shimizu, Analysis of curing process of urushi lacquer by digital speckle correlation, International Topical Meeting on Information Photonics 2008, 2008.11.17, Awaji Yumebutai International Conference Center.
- ③ 大野崇浩、中川 清、階層型ニューラルネットワークを用いた縞解析による 3 次元形状計測、平成 20 年度電気関係学会四国支部連合大会、平成 20 年 9 月 27 日、徳島大学
- ④ 永松将貴、三谷光平、中川清、清水秀明、スペckルパターンの相互相関を利用した漆の凝固過程の解析、平成 20 年度電気関係学会四国支部連合大会、平成 20 年 9 月 27 日、徳島大学
- ⑤ Kiyoshi Nakagawa, Interrogation of fiber bragg grating sensor using bandpass filters with chirped fiber bragg gratings, The thirteenth microoptics conference, 2007.10.29, Takamatsu.
- ⑥ 大野崇浩、中川 清、二方向からのパターン投影による三次元形状計測、平成 19 年度電気関係学会四国支部連合大会、平成 19 年 9 月 29 日、徳島大学
- ⑦ 三谷光平、中川 清、清水秀明、スペckル画像のフーリエ変換、平成 19 年度電気関係学会四国支部連合大会、平成 19 年 9 月 29 日、徳島大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 清 (NAKAGAWA KIYOSHI)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：50198032