

# デジタルドホログラフィにおける仮想光学系を用いた 物体光のデジタル拡大/縮小編集

## Digital resizing of object fields by employing virtual optics in digitized holography

○藤田大知<sup>1)</sup>, 松島恭治<sup>1)</sup>, 中原住雄<sup>2)</sup>

○Daichi Fujita<sup>1)</sup>, Kyoji Matsushima<sup>1)</sup>, and Sumio Nakahara<sup>2)</sup>

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科<sup>1)</sup>

関西大学システム理工学部機械工学科<sup>2)</sup>

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University<sup>1)</sup>

Department of Mechanical Engineering, Kansai University<sup>2)</sup>

E-mail: fujita@laser.ee.kansai-u.ac.jp

Recently a technique of digitized holography allows us to digitize the whole processes of classic holography. In this technique, the 3D scene of holograms is digitally editable unlike classical holography. However, the number of types of digital editing is not sufficient as compared with that of conventional digital images. For example, the captured object fields are unable to be resized unlike digital images, because the captured fields contain phase information. To ease this restriction, the object image of the captured field is resized by employing virtual optics. A high-definition CGH using the resized object field is created for verifying the proposed technique.

### 1. はじめに

近年開発されたデジタルドホログラフィでは古典的なホログラフィの全過程がデジタル化され、光学再生される映像のデジタル編集が可能となった<sup>1)</sup>。しかし、実行可能な編集操作の種類はまだ不十分である。従来できなかった操作の一つは、記録した光波を拡大/縮小して再生することである。これは、光波データに位相情報が含まれるため単なる画像と異なり簡単に伸長することができないためである。そこで我々は、記録した物体光を計算機上の仮想光学系を用いてレンズ結像し、像を拡大/縮小編集する手法を提案している<sup>2)</sup>。本報告では、ホログラムサイズ以上の物体を記録し、それを提案手法によって縮小して3Dシーンを構成した結果を報告する。

### 2. 実在物体光波の記録

Fig.1 にレンズレスフーリエ合成開口法を用いた記録光学系を示す。これによりデジタル記録される光波のサンプリング間隔は

$$\Delta x = \frac{\lambda d_R}{N_x \delta_x} \quad \Delta y = \frac{\lambda d_R}{N_y \delta_y} \quad (1)$$

となる。ここで、 $\lambda$ は波長であり、 $d_R$ は参照点光源-イメージセンサ間距離、 $N_x$ 、 $N_y$ と $\delta_x$ 、 $\delta_y$ はそれぞれ $x$ 、 $y$ 方向のサンプリング数とセンサピッチである。Table 1にこれらの数値を示す。撮影物体に高さ7.5[cm]、幅7.0[cm]のパンダの人形を用いて取得した複素振幅画像をFig.2(a)に示し、これをフーリエ変換して得られた物体光波の振幅像を(b)に示す。

### 3. 仮想光学系を用いた物体像の拡大/縮小

Fig.3 に拡大/縮小に用いた仮想光学系の座標系と配置を示す。この仮想光学系では座標系の原点をレンズ面の中心としている。Fig.1の光学系で記録した光波を $z=-a$ 離れた入力面Sに配置する。一方、 $z=b$ の位置を結像面Gとし、レンズの焦点距離を $f$ とするとレンズの公式 $1/a+1/b=1/f$ を満たす場合に結像する。この時、横倍率は $M=b/a$ となる。

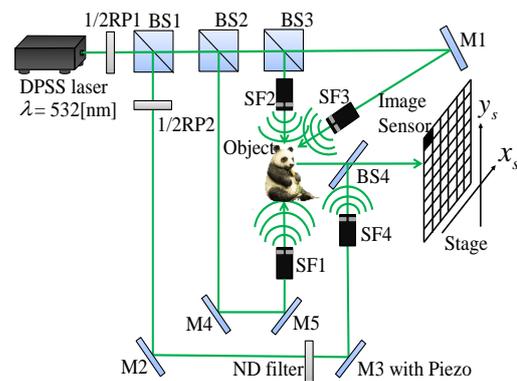


Fig. 1 The experimental setup.

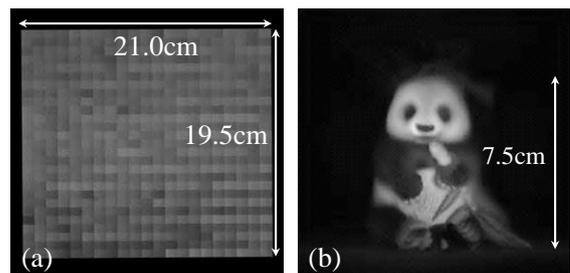


Fig. 2 Amplitude images of captured field (a) and its Fourier-transform (b).

結像面 G における物体光波を求めるためには、記録光波  $g_s(x, y, -a)$  をシフトドフレネル法<sup>3)</sup>によってレンズ面まで数値的に伝搬し、 $g_s(x, y, 0)$  を得る。シフトドフレネル法では伝搬前後のサンプリング間隔を変更できるため、伝搬後のサンプリング間隔を CGH のピクセルピッチと同じに設定しておき、以後このサンプリング間隔で計算を進める。

レンズ透過後の光波は

$$g_G(x, y, 0) = g_s(x, y, 0)t(x, y) \quad (2)$$

となる。ここで、 $t(x, y)$  はレンズの位相関数であり

$$t(x, y) = \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda f} (x^2 + y^2)\right] p(x, y) \quad (3)$$

で与えられる。本研究では瞳関数  $p(x, y)$  を一辺  $2R$  の正方形開口とした。なお、離散化したレンズ位相分布がエイリアジングを生じないためには

$$\frac{\lambda f}{2\Delta x_l} > R \quad \frac{\lambda f}{2\Delta y_l} > R \quad (4)$$

を満たす必要がある<sup>2)</sup>。ここで、 $\Delta x_l$ 、 $\Delta y_l$  は位相分布のサンプリング間隔である。本研究で用いたレンズのパラメータを Table 2 に示す。

$g_G(x, y, 0)$  をさらに距離  $b$  伝搬することによって、結像面 G における光波  $g_G(x, y, b)$  を得ることができる。

#### 4. 拡大/縮小した記録光波を用いた CGH

Fig.4 に拡大/縮小編集を行なった物体光波を配置した 3D シーンを示す。ここで CGH のサンプリング数、サンプリング間隔はそれぞれ  $65,536 \times 65,536$ 、 $1.0[\mu\text{m}] \times 1.0[\mu\text{m}]$  であるので、記録した物体はホログラムサイズより大きいことになる。そこで Fig.2 の光波を  $M=0.2$  で縮小し、比較のため、同様の方法で記録したが拡大/縮小していない物体(高さ  $2.9[\text{cm}]$ 、幅  $2.2[\text{cm}]$  のハムスターの人形)と並べて配置している。異なった視点位置からの再生シミュレーションの結果を Fig.5 に示す。縮小したパンダの物体像が等倍のハムスターより小さくなって再生されていることが確認できる。

#### 5. まとめ

計算機上に構築した仮想光学系を用いることによって記録した物体光のデジタル拡大/縮小編集が可能であることを示した。特に本報告では、ホログラムサイズよりも大きな物体を記録し、それを縮小して表示できることを示した。

本研究は、日本学術振興会の科研費(24500133) および平成 24 年度関西大学学術研究助成金(共同研究)の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- 1) K. Matsushima, Y. Arima, S. Nakahara: "Digitized holography: modern holography for 3D imaging of virtual and real objects", Appl. Opt. **50**, H278-H284 (2011).
- 2) 藤田, 有馬, 松島, 中原: "デジタル化ホログラフィにおける実物体像の拡大・縮小編集", 3次元画像コンファレンス 2012 講演論文集, 140-143(2012).
- 3) R. P. Muffoletto, J. M. Tyler, and J. E. Tohline: "Shifted Fresnel diffraction for computational holography", Opt. Express **15**, 5631-5640(2007).

Table 1 Parameters used for capturing object fields.

Wavelength ( $\lambda$ )	532nm
Number of samplings ( $N_x \times N_y$ )	65,536×65,536
Sensor pitches ( $\delta_x \times \delta_y$ )	3.5 $\mu\text{m}$ ×3.5 $\mu\text{m}$
Distance of reference point source ( $d_R$ )	650mm
Sampling intervals ( $\Delta_x \times \Delta_y$ )	1.51 $\mu\text{m}$ ×1.51 $\mu\text{m}$

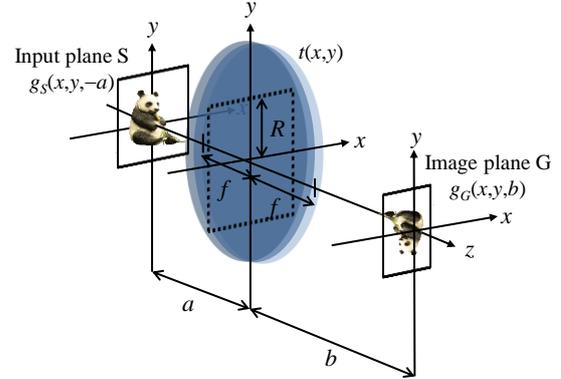


Fig. 3 Coordinates system and geometry used for numerical image formation.

Table 2 Parameters of numerical lens.

Number of samplings	262,144×262,144
Sampling intervals ( $\Delta x_l \times \Delta y_l$ )	1.0 $\mu\text{m}$ ×1.0 $\mu\text{m}$
Size (2R)	26.2cm
Focal length ( $f$ )	50.0cm

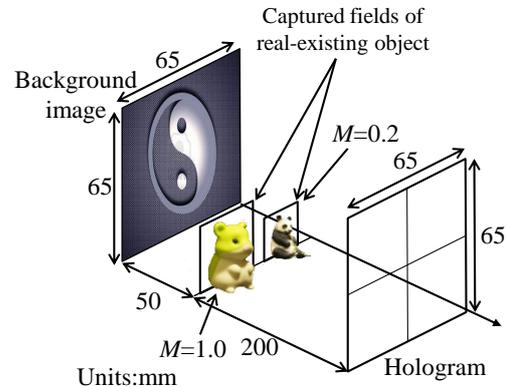


Fig. 4 3D scene of the CGH composed of numerically resized object fields.

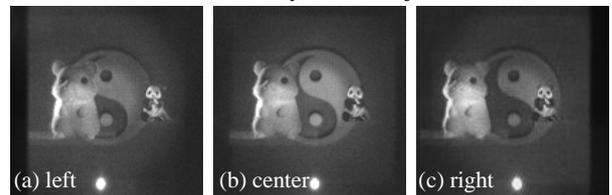


Fig. 5 Simulated reconstruction of the CGH. Photographs (a)-(c) are taken from different viewpoints.