

# デジタルドホログラフィにおける 複数マスクを用いた隠面消去処理

藤田 大知<sup>†</sup> 松島 恭治<sup>†</sup> 中原 住雄<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

<sup>‡</sup> 関西大学 システム理工学部 機械工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

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

**あらまし** 近年、実在物体を用いて高解像度 CGH を作成するデジタルドホログラフィと呼ばれる技術が開発された。この技術はホログラムを記録/再生する全過程をデジタル化したものであるため、記録後にシーンのデジタル編集操作が可能であるという長所がある。デジタルドホログラフィでは、3D シーンの相互オクルージョンを再生するためにシルエットマスクを用いて光波遮蔽を行っている。しかし、従来法では単一のシルエットマスクを用いており、物体によっては顕著なオクルージョンエラーが生じる。そこで、本研究では複数のシルエットマスクを用いてオクルージョンエラーを軽減する手法を提案する。

**キーワード** CGH, デジタルドホログラフィ, コンピュータホログラム, 隠面消去

## Hidden-surface removal by multiple masks in digitized holography

Daichi FUJITA<sup>†</sup> Kyoji MATSUSHIMA<sup>†</sup> Sumio NAKAHARA<sup>‡</sup>

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

<sup>‡</sup> Department of Mechanical Engineering, Kansai University

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

**Abstract** Recently, we have developed a technique called digitized holography in that the real-existing object fields are optically reconstructed by high-definition CGHs. Digitized holography allows us to digitize the whole processes of holography. As a result, the 3D scene can be digitally edited after recording the hologram. In digitized holography, masking by object silhouette is used for light-shielding and reconstructing mutual-occlusion of the 3D scene. However, light-shielding by the single mask sometimes leads to severe occlusion errors. We propose a new technique using multiple masks in order to reduce the occlusion errors.

**Keyword** CGH, digitized holography, computer holography, light-shielding, occlusion

### 1. はじめに

過去数年間で、高解像度の計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram, 以下 CGH)では奥行き感のある美しい光学再生が可能となった[1-3]。その結果、250 億ピクセル以上から構成された“Brothers”が現在 MIT ミュージアムに展示さ

れ、最新のコンピュータホログラフィとして多くの見学者から人気を博している[4]。

さらに、我々はデジタルホログラフィ(Digital Holography, 以下 DH)で取得した実在物体光波を用いて高解像度 CGH に取り込む手法を提案し、これをデジタルドホログラフィと呼んでいる[5]。

この技術ではホログラムの記録・再生過程を完全にデジタル化しており、CGHと同様デジタルデータ特有の蓄積・伝送が可能である。また、再生するシーンのデジタル編集が可能であり、物体像の拡大縮小も可能である[6,7]。

デジタルドホログラフィでは3Dシーンの相互オクルージョンを再生するため、CGHの光波遮蔽に用いられるシルエット隠面消去法[3,8,9]を適用している。しかしこの時、物体を一方から見たシルエットのみをマスクとした光波遮蔽では、撮影物体によってはオクルージョンエラーが表れ、特に強い自己オクルージョンがある場合にはそれが顕著になる。そこで本研究では、視線の方向に対応した複数のシルエットマスクを用いて光波遮蔽を行うことで、オクルージョンエラーを軽減する手法を提案する。同種の隠面消去法としては光線サンプリング面を用いた手法が提案されているが、これはDHで取得した実物体光波に対するものではない[10,11]。本研究ではレンズレスフーリエ型合成開口DH[12]で取得した高解像度な実在物体光波における隠面消去処理を提案する。

2. 実在物体光波の記録

実在物体光波の記録にはFig.1に示すレンズレスフーリエ型合成開口法を用いている[12]。実験に用いたイメージセンサのピクセル数は3000×2200 pixel、センサピッチは3.5μm×3.5μmである。被写体には高さ2.3 cm、幅3.0 cmの子狐の人形を用いた。M3にはピエゾ素子を取り付け、位相シフト法を用いて直接像のみの物体光波を取得している。また、イメージセンサを機械的に動かすこ

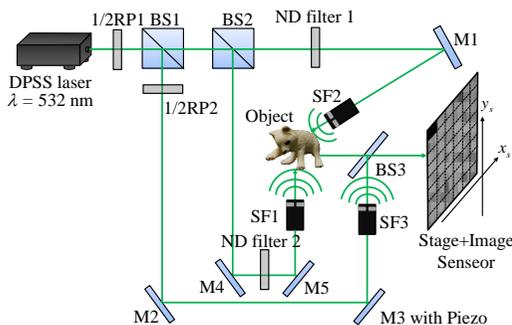


Fig. 1. The experimental setup for capturing large-scaled wave-fields by lensless-Fourier synthetic aperture DH.

Table 1 Parameters used for capturing object fields.

Wavelength ( $\lambda$ )	532nm
Number of samplings ( $N_x \times N_y$ )	32,768×32,768
Sensor pitches ( $\delta_x \times \delta_y$ )	3.5μm×3.5μm
Distance of reference point source ( $d_R$ )	215mm
Sampling intervals ( $\Delta_x \times \Delta_y$ )	1.0μm×1.0μm

とにより広範囲の物体光波を取得している。

今回、強い自己オクルージョンが生じるように、わざと撮影物体を少し斜めに傾け、縦横ともに11.4cmの複素振幅分布を記録した。実験に用いたパラメータをTable 1に示す。また、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。本手法では物体光波のサンプリング間隔  $\Delta_x, \Delta_y$  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り、Table 1のパラメータではサンプリング間隔はちょうど1 μmとなる。

なお、Fig.2(b)の振幅像にボケが生じているのは、像面が被写体の中心に一致し、記録光波が高分解能なため像面から離れると急激に回折するためである。

3. 複数シルエットマスクの作成

シルエットマスクはFig.2(a)の取得した複素振幅分布から作成することができる。この時、従来法では、中央の一部分を切り出してフーリエ変換してボケのない振幅像を求めて、そのシルエットからマスクを求めていた[5]。しかし、これはその

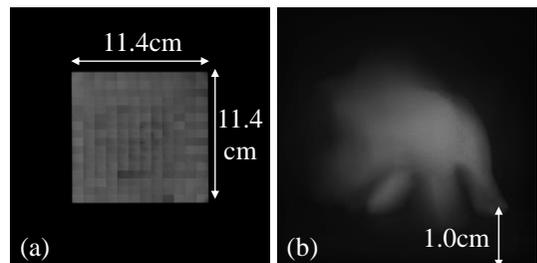


Fig.2. Captured complex amplitudes (amplitude image) (a) and its Fourier-transform (amplitude image) (b).

切り出した一部分の方向から見たシルエットであるため、観察する方向によって形が変わる被写体では、オクルージョンエラーが生じる。

これを軽減するためには、視線方向に対応した複数のシルエットマスクを作成しなければならない。Fig.3 に視線方向に対応したシルエットマスクの作成方法を示す。ここでは簡単化のため、水平方向の視差のみを考え、視線  $n$  が光軸となす角度を  $\theta_n$  とすると、フーリエホログラムで対応する空間周波数  $v_n$  は

$$v_n = \frac{\sin \theta_n}{\lambda} \quad (2)$$

となる[12]。また、本研究で用いたレンズレスフーリエ型の DH では、物体光波のスペクトルのサンプリング間隔  $\Delta v$  は

$$\Delta v = \frac{\delta_x}{\lambda d_R} \quad (3)$$

となる。このことから、 $\theta_n$  の方向から観察した像を得るためには Fig.2(a)の複素振幅分布の中心から

$$P_n = \frac{v_n}{\Delta v} = \frac{d_R \sin \theta}{\delta_x} \quad (4)$$

離れたサンプリング点を中心とした一部分を切り出せば良いことがわかる。

なお、本研究では、Fig.3 に示すようにホログラムを水平方向に均等分割し、その中心を通るよう視線角度  $\theta_n$  を求めたため、

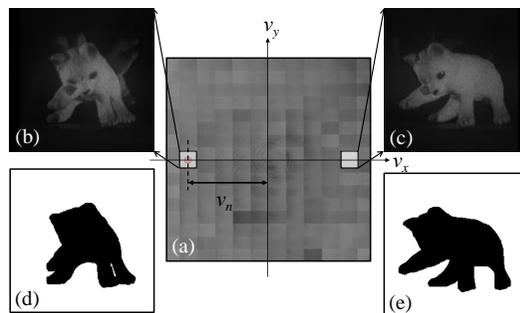


Fig. 4. (a) Spectral amplitude of the captured field. (b), (c) The amplitude images obtained from small parts of the spectrum. (d), (e) The silhouette masks produced from the amplitude images.

$$\theta_n = \tan^{-1} \left( \frac{H_n}{d_H} \right) \quad (5)$$

となる。ここで、 $d_H$  は 3D シーン中に実在物体を配置する平面とホログラム間の距離、 $H_n$  は分割ホログラム  $n$  の中心までの距離である。

Fig.4 に作成したシルエットマスクの例を示す。ここで(a)は Fig.2(a)を  $32,768 \times 32,768$  にトリミングした複素振幅分布である。式(4)から求めたサンプリング点を中心とした  $2048 \times 2048$  の範囲を切り取り、フーリエ変換することでこの物体を観察する方向に応じた振幅像(b)や(c)が得られる。次に閾値を用いてこれらの振幅像を 2 値化し、白黒反転させることで(d)や(e)のような視線角度  $\theta_n$  に対応したシルエットマスク  $M_n(x,y)$  を作成することができる。

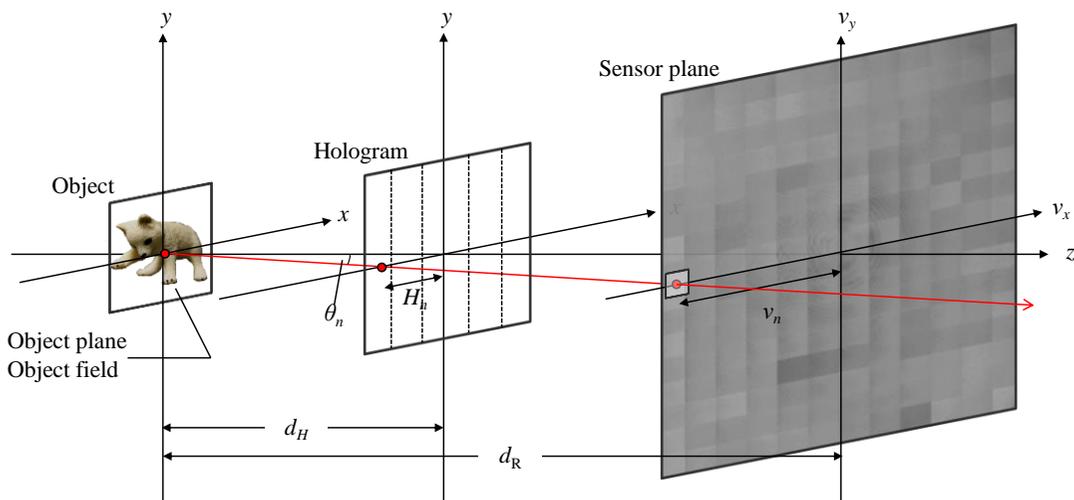


Fig.3. Production of multiple masks corresponding to the view directions.

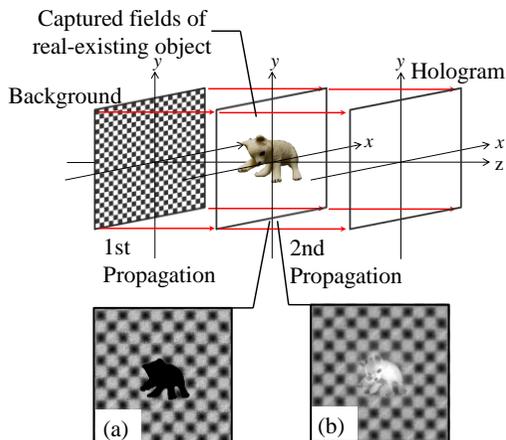


Fig.5. Schematic illustration of the principle of the conventional silhouette method.

以上の説明は水平方向視差のみについて行ったが、同様の処理を垂直方向にも行うことにより全方向視差が処理できる。

#### 4. シルエットマスクによる光波遮蔽法

##### 4.1. 単一シルエットマスクによる光波遮蔽

Fig.5 に従来の単一シルエットマスクによる光波遮蔽の原理を示す。いま物体の背面に入射する光波  $u(x,y)$  とし、シーンを真正面に見込む視線のみからの作成したシルエットマスク  $M(x,y)$  とすると、背景光波を遮蔽した物体光波は、

$$u'(x,y) = M(x,y)u(x,y) + O(x,y) \quad (6)$$

となる。 $O(x,y)$  は DH で記録しフーリエ変換した物体光波である。ここで、Fig.5(a) は背面入射光波をマスクした状態を模式的に示しており、(b) はさらに物体光波を加算した状態を示している。

##### 4.2. 複数シルエットマスクを用いた光波遮蔽

Fig.6 に提案法による複数マスクを用いた光波遮蔽の原理を示しており、 $n=0$  と  $4$  の方向での光波遮蔽過程を模式的に示している。提案法では Fig.4 から作成したシルエットマスク  $M_n(x,y)$  を用いて  $u(x,y)$  を遮蔽する。すなわち、 $\theta_n$  の視線方向では、背景光波を遮蔽した物体光波は

$$u'_n(x,y) = M_n(x,y)u(x,y) + O(x,y) \quad (7)$$

となる。これをシフトド角スペクトル法[13]により視線方向に対応したホログラム面上のセグメント  $H_n(x,y)$  に伝搬計算する。これをすべての視線方向に対して  $N$  回繰り返すことで、ホログラム面の全体光波

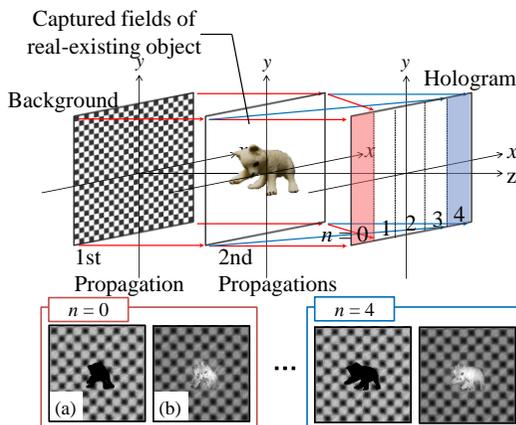


Fig.6. Schematic illustration of the proposed method.

$$H(x,y) = \sum_{n=0}^{N-1} H_n(x,y) \quad (8)$$

を求める。

#### 5. 提案法と従来法の比較

提案法を検証するために、背景画像に細かいチェックパターンとの2次元デジタル画像と子狐の实在物体光波を混合した CGH を作成した。用いた 3D シーンと CGH のパラメータをそれぞれ Fig.7 と Table 2 に示す。本研究では水平、垂直方向にそれぞれ  $5 \times 5$  枚の合計 25 枚のシルエットマスクを用いて光波遮蔽を行っている。異なる視点位置からの再生シミュレーションの結果が Fig.8 である。この結果から、従来法では視点位置を左右に移動したときに顕著なオクルージョンエラーが確認できるが、提案法では、それらのオクルージョンエラーが軽減されていることが確認わかる。

Table 2 Parameters used for creating CGH.

Number of samplings	65,536×65,536
Sampling intervals	1.0 μm×1.0μm

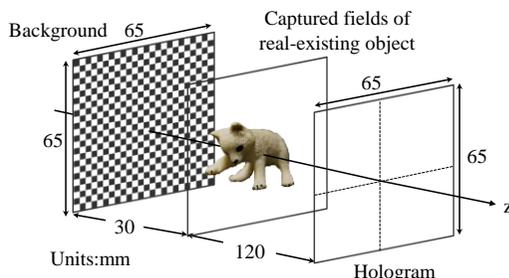


Fig. 7 The 3D scene of the CGH for comparison.

## 6. まとめ

本研究では各視線方向に対応した複数のシルエットマスクを用いて光波遮蔽を行うことで、オクルージョンエラーを軽減する手法を提案し、有効であることを示した。今後は、提案法を用いた高解像度 CGH の作成を行い、実際に提案法による効果を確認する。

本研究は、日本学術支援振興会の科研費(24500133)、および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成 25 年～平成 29 年)の助成を受けたものである。

## 文 献

- [1] K. Matsushima, S. Nakahara: “Extremely High-Definition Full-Parallax Computer-Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method”, *Appl. Opt.* **48**, H54-H63 (2009).
- [2] H. Nishi, K. Matsushima, S. Nakahara: “Rendering of specular surfaces in polygon-based computer-generated holograms”, *Appl. Opt.* **50**, H245-H252 (2011).
- [3] K. Matsushima, H. Nishi, S. Nakahara, “Simple wave-field rendering for photorealistic reconstruction in polygon-based high-definition computer holography,” *J. Electron. Imaging* **21**, 023002 (2012).
- [4] K. Matsushima, S. Nakahara, “Stepping closer to the perfect 3D digital image,” *SPIE Newsroom* (6 Nov. 2012). DOI: 10.1117/2.1201210.004526.
- [5] K. Matsushima, Y. Arima, S. Nakahara, “Digitized holography: modern holography for 3D imaging of virtual and real objects,” *Appl. Opt.* **50**, H278-H284 (2011).
- [6] D. Fujita, K. Matsushima, S. Nakahara, “Digital Resizing of Reconstructed Object Images in Digitized Holography,” *OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2013, Hawaii*, DW2A.7(2013).
- [7] 藤田大知, 松島恭治, 中原住雄: デジタイズ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, *Optics & Photonics Japan 2012 講演予稿集*, 23aD3 (2012).
- [8] 近藤暁靖, 松島恭治: シルエット近似を用いた全方向視差 CGH の隠面除去, *電子情報通信学会論文誌 J87-D-II*, 1487-1494(2004).
- [9] K. Matsushima and A. Kondoh, “A wave optical algorithm for hidden-surface removal in digitally synthetic full-parallax holograms for three-dimensional objects,” *SPIE Proc.* **5290**, 90-97(2004).
- [10] Koki Wakunami, Hiroaki Yamashita, and Masahiro Yamaguchi, “Occlusion culling for computer generated hologram based on ray-wavefront conversion,” *Opt. Express* **21**, 21811-21822 (2013).
- [11] Koki Wakunami and Masahiro Yamaguchi, “Occlusion processing for computer generated

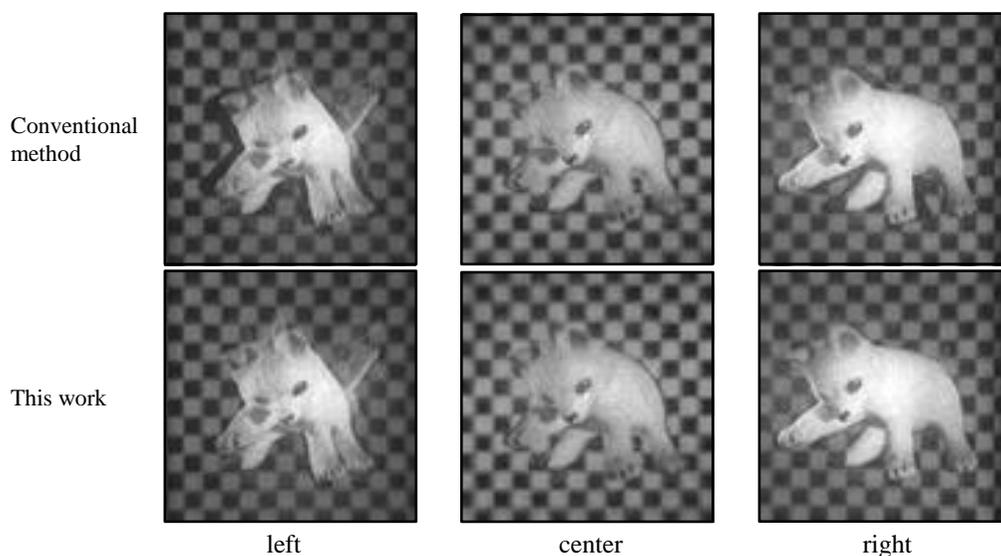


Fig. 8 Simulated reconstructions of holograms created by the conventional and proposed light-shielding techniques.

hologram by conversion between the wavefront and light-ray information,” J. Phys.: Conf. Ser. 415 012047 (2013).

- [12] T.Nakatsuji and K.Matsushima, “Free-viewpoint images captured using phase-shifting synthetic aperture digital holography,” Appl. Opt. **47**, D136-D143 (2008).
- [13] K. Matsushima, “Shifted angular spectrum method for off-axis numerical propagation,” Opt. Express **18**, 18453-18463 (2010).