

# 合成開口デジタルホログラフィで記録した実在の物体とCGモデル仮想物体によるハイブリッドCGH

## A hybrid computer-generated hologram of CG-modeled virtual objects and real-existent objects captured by synthetic-aperture digital holography

○有馬恭旭<sup>1)</sup>, 西寛仁<sup>1)</sup>, 松島恭治<sup>1)</sup>, 中原住雄<sup>2)</sup>

○Yasuaki Arima,<sup>1)</sup> Hirohito Nishi,<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: arima@laser.ee.kansai-u.ac.jp

Computer generated holograms are usually created by synthesizing object fields from numerical model of virtual CG objects. Optical reconstruction of real-existent objects by CGHs is not easy especially in high-definition CGHs, because the resolution and pixel size of current image sensors used for capturing object fields are not enough for requirements for such high-definition CGHs. To overcome the problem, the technique of phase-shifting lensless synthetic-aperture digital holography is used for capturing the object field. A hybrid CGH reconstructing CG-modeled virtual objects and real-existent object is presented in this report.

### 1. はじめに

計算機合成ホログラム(以下, CGH)では通常, CG等の数値モデルの光波の回折と干渉を計算機上でシミュレートし, ホログラム干渉縞パターンを作成する. しかし, 実在の物体の光波をデジタルホログラフィ(以下 DH)によって取得しそれを超高解像度 CGHとして再生することは困難である. これは既存のイメージセンサの分解能と解像度が不十分なためである. そこで本研究では, 位相シフトレンズレス合成開口 DH<sup>1)</sup>を用いることで超高解像度 CGHの作成に利用可能な実在物体の光波をデジタル的に取得することを試みた. さらに, 取得した実在物体の光波とCGモデルの仮想物体の合成光波から実在と仮想の高解像度ハイブリッドCGHを作成し, その光学再生を試みた.

### 2. レンズレスフーリエ型合成開口 DH を用いた超高解像度 CGH 用物体光波の取得

レンズレスフーリエ型デジタルホログラフィの構成を Fig.1 に示す. このタイプの DH ではイメージセンサで記録した干渉縞をフーリエ変換することで(x, y, 0)平面上での物体光波が求まる. その時のサンプリング間隔 $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$ は,

$$\Delta_x = \frac{\lambda d_R}{N_x \delta_x} \quad \Delta_y = \frac{\lambda d_R}{N_y \delta_y} \quad (1)$$

で与えられる. ここで,  $\delta_x$ ,  $\delta_y$  はセンサピッチ,  $N_x$ ,  $N_y$  はピクセル数であり,  $\lambda$  はレーザの波長,  $d_R$  は点光源-センサ間距離である. この様にレンズレス型 DH で記録した光波のサンプリング間隔はセンサのピッチと異なり, 点光源-センサ間距離を減少するか総ピクセル数を増加することによりサンプリング間隔を減少できることになる. またこの型の DH ではセンサ上の干渉縞空間周波数が大きく変化しないため, 合成開口法を用いることができる. そこで, Fig.2(a)のようにセンサを動かし, 広い範囲の干渉縞を取得した後, (b)のようにオーバーラップ領域と相関関数を用いて正確なセンサ移動量を求めて合成することにより単一のイメージセンサにより高分解能かつ高解像度の物体光波を取得することができる. 本研究では作成する CGH のピクセルピッチとして $\Delta_x = \Delta_y = 1 \mu\text{m}$

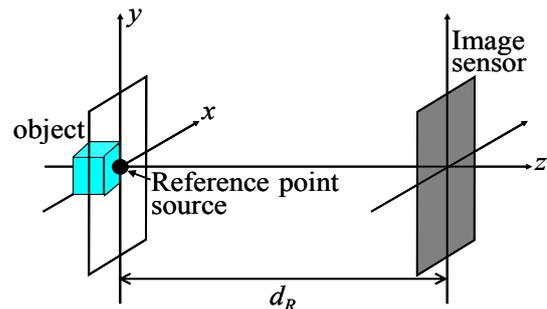


Fig.1 Setup for lensless Fourier digital holography

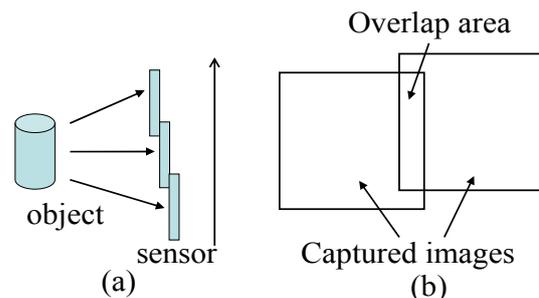


Fig.2 Synthetic-aperture digital holography

を想定したため、式(1)より Table 1 に示すパラメータを決定した。

Table 1 Parameters for capturing the field of the real object.

Wavelength( $\lambda$ )	532nm
Sensor pitch( $\delta_x \times \delta_y$ )	$3.5\mu\text{m} \times 3.5\mu\text{m}$
Sampling pitches required for CGH( $\Delta_x \times \Delta_y$ )	$1.0\mu\text{m} \times 1.0\mu\text{m}$
No. of samplings required for CGH( $N_x \times N_y$ )	$32768 \times 32768$
Distance between sensor and point source( $d_R$ )	21.5cm

### 3. 物体光波の記録方法

用いた記録光学系を Fig.3 に示す。波長、点光源-センサ間距離等を Table 1 に合わせて設定し、位相シフトを行うため、ミラーM3にはピエゾ素子を取り付けている。撮影では、一つのセンサ位置につきピエゾ素子によって位相シフト量を変えた 3 枚の干渉縞を取得して複素振幅分布を求めた。イメージセンサとして  $3000 \times 2200$ [pixel] の Lumenera 社製 Lw625 を用いたため、前節で述べたオーバーラップ領域の確保を考慮して水平方向に 9.5[mm]、垂直方向に 6.7[mm]だけセンサを移動し、この撮影を繰り返した。

### 4. 仮想物体光波との合成と再生像

取得した複素振幅画像を一枚に合成した振幅像を Fig.4(a)に、またそれをフーリエ変換して求めた( $x, y, 0$ )平面上における物体光波の振幅像を(b)に示す。Fig.4(a)では  $8 \times 12$  枚を合成しており、有効な光波取得面積は  $77 \times 80 \text{ mm}^2$ となる。取得した物体光波は Fig.5 に示す 3D シーンに組み込んだ。この時、数値合成した仮想物体光波の光強度レベルと一致させるための係数を乗算し、シルエットマスク処理のため仮想物体平面まで伝搬してポリゴン法<sup>2)</sup>で数値合成した仮想物体(蜂)の光波と重畳した。この合成光波をさらにホログラム面まで伝搬させ球面波参照光を乗算し、2 値の振幅コーディングを行なって干渉縞パターンを生成した。この CGH の波動光学的シミュレーション再生<sup>3)</sup>の結果を Fig.6 に示す。(a)は仮想物体(蜂)に、(b)は実在物体(熊)に焦点をあわせた画像となっている。

### 5. まとめ

デジタルホログラフィで取得した物体光波と CG モデルの仮想物体を用いたハイブリッド CGH の干渉縞パターンを求め、シミュレーションによって再生像が得られることを確認した

本研究は日本学術振興会の科研費(21500114)の助成を受けたものである。

### 参考文献

- 1) T. Nakatsuji, K. Matsushima : "Free-Viewpoint Images Captured Using Phase-Shifting Synthetic Aperture Digital Holography," Appl. Opt. **47**, 136-143(2008).
- 2) K. Matsushima, S. Nakahara : "Extremely High-Definition Full-Parallax Computer-Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method," Applied Optics, **48**, H54-H63 (2009).
- 3) 村上和也, 圓山泰佑, 松島恭治: "全方向視差 CGH の波動光学的再生シミュレーション," 3D コンファレンス 2009 講演論文集, 105-108(2009)

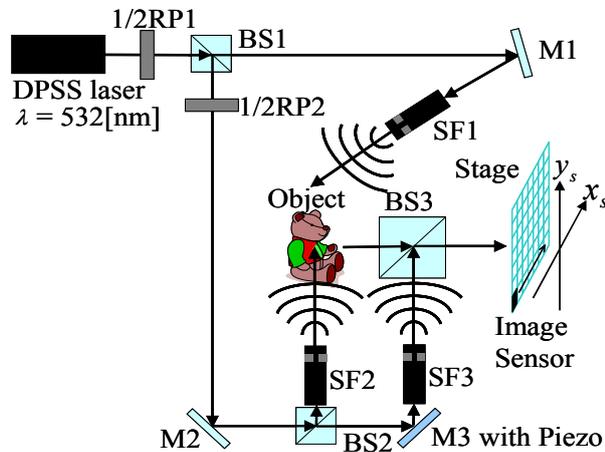


Fig.3 Experimental setup.

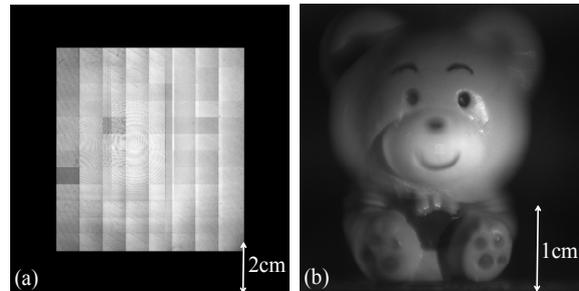


Fig.4 Amplitude images of the captured (a) and Fourier-transformed (b) field.

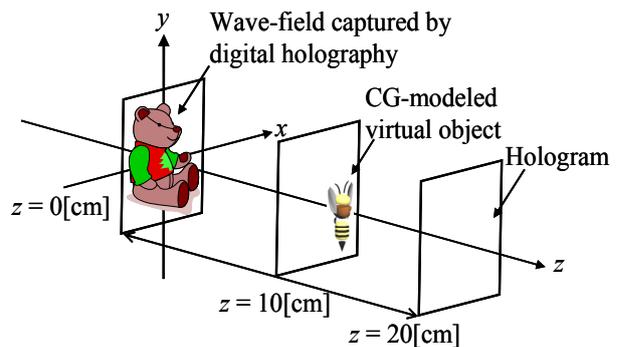


Fig.5 The 3D scene of the hybrid CGH.

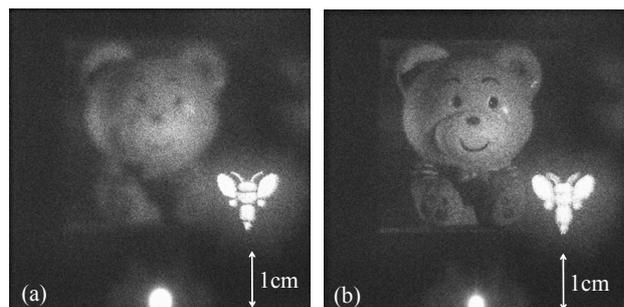


Fig.6 Simulated reconstruction of the hybrid CGH.