

## ホログラフィックプロジェクタによる空中投影 Study on Arial Projection Using Holographic Projector

田中 祐気<sup>†</sup> 鈴木 康平<sup>†</sup> 坂口 朋哉<sup>†</sup> 角江 崇<sup>‡</sup>  
Yuki Tanaka Kohei Suzuki Tomoya Sakaguchi Takashi Kakue  
下馬場 朋禄<sup>‡</sup> 伊藤 智義<sup>‡</sup> 高田 直樹<sup>§</sup>  
Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito Naoki Takada

### 1. はじめに

ホログラフィによる立体像は様々な角度から眺めることができ、視覚疲労もなく長時間利用可能である。このことより、電子化したホログラフィ(電子ホログラフィ)は「究極の立体テレビ」になると考えられている。しかし、電子ホログラフィで用いる計算機合成ホログラム(CGH: Computer-Generated Hologram)の計算量は膨大である。実用化に向けてリアルタイム電子ホログラフィ[1-4]や再生像の階調表現性に関する研究が行なわれている[5-7]。

一方、ホログラフィックプロジェクションは、CGHによって映像を投影する技術である。1台のホログラフィックプロジェクタでレンズを用いずに複数の画像を任意の距離と角度を持った複数のスクリーンに映像を投影することができる[8,9]。また、レンズが不要なため超小型プロジェクタの開発に役立つ技術として注目されている。

本研究では、ホログラフィックプロジェクションと再帰性反射シートを用いて、距離の異なる位置へ複数の映像を空中投影することを試みた。

### 2. 従来のプロジェクタとホログラフィックプロジェクタの違い

図1に示すように2mと3mの位置にスクリーンを配置し、従来のプロジェクタ(EPSON EB-1776W)を用いて高知大学のWebページを投影した。プロジェクタの焦点は2mのスクリーンに合うようにした。その結果を図2に示す。2mに配置されたスクリーンに投影されたWebページは焦点があっている。一方、3mに配置されたスクリーンに投影された高知大学のWebページは焦点が合っておらず、ぼやけている。

図3に、ホログラフィックプロジェクタ内の空間光変調器(SLM: Spatial light modulator)から2.0m, 2.5m, 3.0mの位置に配置したスクリーンを示す。ホログラフィックプロジェクタは、光源、平行光を作るための対物レンズとコリメータレンズからなる光学系、そしてSLMからなる。SLM上にコンピュータによって計算された計算機合成ホログラム(CGH: Computer-generated hologram)を表示し、SLMに平行光を照射することによって、再生像がスクリーンに表示される。ここでは、プロジェクタ(EPSON EMP1000)に搭載された透過型のLCDパネルをSLMとして使用した。図3に示されたスクリーンに高知大学のロゴを投影した結果を図4に示す。カメラの焦点を2.0m, 2.5m, 3.0mに合わせた結果を図4(a), (b), (c)に示す。これらの結果から、1台のホログラフィックプロジェクタで、レンズを使用せずに、距離の異なる複数のスクリーンに焦点を合わせて投影できることがわかる。このことがホログラフィックプロジ

<sup>†</sup> 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

<sup>‡</sup> 千葉大学大学院工学研究科

<sup>§</sup> 高知大学教育研究部

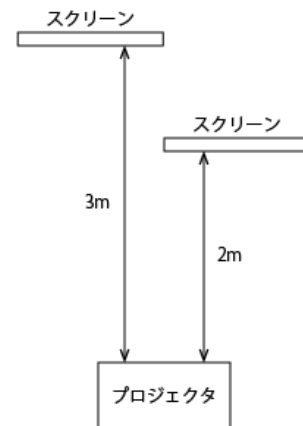


図1 従来のプロジェクタとスクリーンの配置図



3mに配置されたスクリーン

2mに配置されたスクリーン

図2 異なる距離にあるスクリーンへの投影

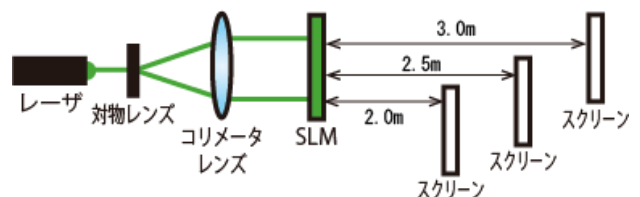


図3 ホログラフィックプロジェクタとスクリーンの配置図



(a) 2.0 m

(b) 2.5 m

(c) 3.0 m

図4 ホログラフィックプロジェクタによる投影

ベクトルの大きな特徴である。

### 3. 計算機合成ホログラム (CGH)

図 5 に CGH 計算の座標系を示す。三次元物体を点で表し、物体を構成する点数を  $N_p$  とする。そのとき、ホログラム面上の点  $(x_\alpha, y_\alpha, 0)$  における光の強度は次式となる。

$$I(x_\alpha, y_\alpha, 0) = \sum_{j=1}^{N_p} \cos \theta \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\pi}{\lambda z_i} \{ (x_\alpha - x_j)^2 + (y_\alpha - y_j)^2 \} \quad (2)$$

ここで、変数  $\alpha$  はホログラム上の点を表し、物体点の座標を  $(x_j, y_j, z_j)$  とした。  $\lambda$  は三次元情報の記録に使用される参照光の波長である。

CGH 上の 1 画素の光の強度を求めるには、式 (2) を  $j = 1$  から  $N_p$  まで繰り返し計算する必要がある。よって、1 枚の CGH を作成するには、ホログラムの解像度を  $W \times H$  とすると、その計算量は  $(W \times H) \times N_p$  に比例することになる。

図 5 のホログラムに参照光を入射すると、三次元物体上の物体点が点光源として再生される。図 5 では、三次元物体の例として立方体の例を示しているが、物体点の  $z$  座標をすべて同じ値  $d$  にすれば、ホログラムから  $z$  軸方向に距離  $d$  離れた位置に二次元像を再生することができる。

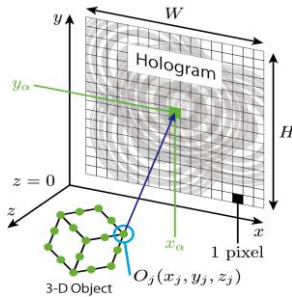


図 5 CGH 計算の座標系

### 4. 再帰性反射シートを活用した空中投影

図 6 に再帰性反射シートを用いた空中投影の概要を示す。SLM から 2.0m, 2.5m, 3.0 m 離れた場所にそれぞれ再帰性反射シートを配置した。式(1), (2)を用いて距離 2.0m, 2.5m, 3.0m に高知大学のロゴを投影する CGH を 1 枚作成し、3 枚の再帰性反射シートに投影した。再帰性反射シートにより光の入射方向へ光が戻され、ハーフミラーで反射された光が目に入る。このようにして、空中に像が再生される。図 6 による再生像を図 7 に示す。図 7 (a), (b), (c) は、距離が 2.0m, 2.5m, 3.0m に高知大ロゴを空中投影した

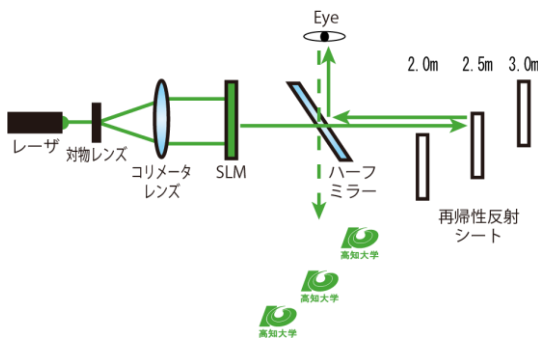


図 6 再帰性反射シートを用いた空中投影

像を、カメラの焦点をそれぞれの像に合わせて撮影した像である。異なった位置に再生されていることがわかる。

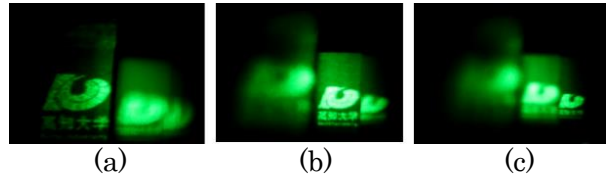


図 7 3 枚の再帰性反射シートによる空中投影

### 5. まとめ

ホログラフィックプロジェクションと再帰性反射シートを用いて距離の異なる位置への空中投影に成功した。

#### 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会の科研費・基盤研究(C) (課題番号18K11399)および公益財団法人電気通信普及財団平成29年度研究調査助成によって行なわれた。

#### 参考文献

- [1] T. Sugie, T. Akamatsu, T. Nishitsuji, R. Hirayama, N. Masuda, H. Nakayama, Y. Ichihashi, A. Shiraki, M. Oikawa, N. Takada, Y. Endo, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, "High-performance parallel computing for next generation holographic imaging," Nat. Electron. 1, 254–259 (2018).
- [2] N. Takada, T. Shimobaba, H. Nakayama, A. Shiraki, N. Okada, M. Oikawa, N. Masuda, T. Ito, "Fast high-resolution computer-generated hologram computation using multiple graphics processing unit cluster system," Applied Optics, Vol.51, Issue 30, pp.7303-7307 (2012).
- [3] H. Niwase, N. Takada, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography with a single graphics processing unit utilizing movie features," Optics Express, Vol.22, Issue 23, pp.28052-28057 (2014).
- [4] H. Niwase, N. Takada, H. Araki, Y. Maeda, M. Fujiwara, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time electroholography using a multiple-graphics processing unit cluster system with a single spatial light modulator and the InfiniBand network," Optical Engineering, Vol. 55, Issue 9, 093108 (2016).
- [5] M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, S. Ikawa, H. Niwase, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Gradation representation method using binary-weighted computer-generated hologram", Optical Engineering, Vol. 56, Issue 2, 023105 (2017).
- [6] M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, C. W. Ooi, S. Ikawa, Y. Maeda, H. Niwase, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Gradation representation method using binary-weighted computer-generated hologram based on pulse width modulation", Chinese Optics Letters, Vol. 15, Issue 6, pp. 060901, 2017.
- [7] M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, S. Ikawa, Y. Maeda, H. Niwase, M. Oikawa, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Color representation method using RGB color binary-weighted computer-generated holograms", Chinese Optics Letters, Vol. 16, Issue 8, pp.080901, 2018.
- [8] E. Buckley, "Holographic laser projection," J. Display Technol. 99, 1–6, 2010.
- [9] T. Shimobaba, M. Makowski, T. Kakue, M. Oikawa, N. Okada, Y. Endo, R. Hirayama, and T. Ito, "Lensless zoomable holographic projection using scaled Fresnel diffraction," Opt. Express 21, 25285-25290, 2013.