

ホログラフィックプロジェクタを用いた
遠隔三次元描画システムの検討

Remote Holographic 3D Projection System
for Drawing Fingertip Trajectory Obtained from Depth Camera

鈴木康平 † 角江 崇 § 下馬場 朋禄 § 伊藤 智義 § 高田 直樹 †
Kohei Suzuki Takashi Kakue Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito Naoki Takada

1. はじめに

三次元映像技術の一つに電子ホログラフィがある。電子ホログラフィは、光の伝搬と干渉を計算して作製する計算機合成ホログラム (CGH: Computer-Generated Hologram) を用いる。CGH を空間光変調器 (SLM: Spatial Light Modulator) に表示し、SLM に光を照明することにより三次元映像が再生される。電子ホログラフィは立体物から放たれる光を再現する。そのため、様々な角度から SLM を覗き込むと、その角度からの三次元映像を見ることができる。最近、デジタルサイネージに向けたインタラクティブな電子ホログラフィの報告がされた[1]。

一方、電子ホログラフィをプロジェクタに応用したホログラフィックプロジェクタが報告されている[2-4]。ホログラフィックプロジェクタは、レンズを使用せず投影することが可能である。そして、任意の形状を持つ三次元映像を任意の距離に、複数の立体映像を同時に投影できる。

昨今の新型コロナウイルスの流行により、遠隔コミュニケーション支援システムの需要が急増している。著者らは、実物体を対象とした遠隔コミュニケーション支援システムにホログラフィックプロジェクタが有用だと考える。

本稿ではホログラフィックプロジェクタを遠隔コミュニケーション支援システムに応用することを検討する。最初の展開として遠隔からスクリーンへ指先で描写するシステムを考えた。

2. 計算機合成ホログラム (CGH)

図 1 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 $I(x_\alpha, y_\alpha, 0)$ は、次式となる。

$$I(x_\alpha, y_\alpha, 0) = \sum_{j=1}^{N_p} A_j \exp \left\{ j \frac{\pi}{\lambda z_j} (x_\alpha - x_j)^2 + (x_\alpha - x_j)^2 \right\} \quad (1)$$

ここで、変数 α はホログラム点を表す。物体点の座標を (x_j, y_j, z_j) とした。 λ は再生光の波長である。

CGH は主に振幅のみの CGH と位相のみの CGH に分類される。式(1) または式(2) の複素振幅から位相を取ることによって、位相のみの CGH を計算することができる。

$$\phi(x_\alpha, y_\alpha, 0) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}[I(x_\alpha, y_\alpha, 0)]}{\text{Re}[I(x_\alpha, y_\alpha, 0)]} \right) \quad (3)$$

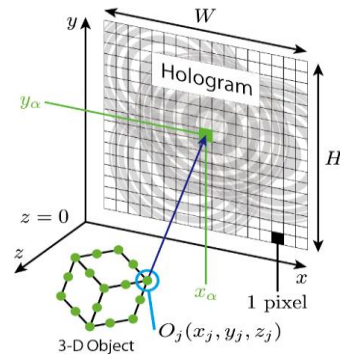


図 1 CGH 計算の座標系

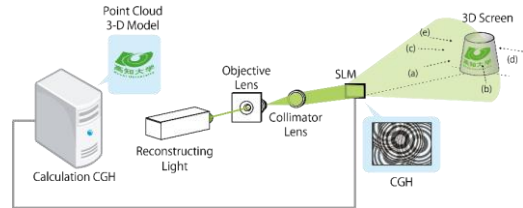


図 2 ホログラフィックプロジェクタの光学系

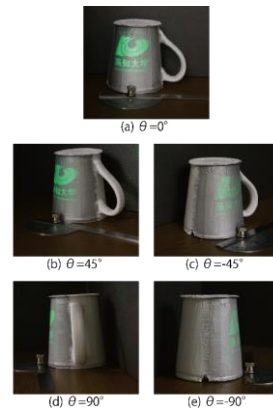


図 3 ホログラフィックプロジェクタによる投影

3. ホログラフィックプロジェクタ

ホログラフィックプロジェクタはズームレンズを用いずに既存のプロジェクタと同様の表現を可能とする。加えて、自由曲面や傾いた面のスクリーンに対して前面に焦点のあった映像投影ができることが特徴的である。ホログラフィックプロジェクタの光学系を図 2 に示す。計算された CGH を SLM に表示する。SLM にレーザからの平行光を照明するとスクリーン上に実像が再生される仕組みである。図 2 に示す装置からスクリーンのコップに高知大学のロゴマークを投影したものが図 3 になる。図 3 の (a), (b), (c), (d), (e) は、それぞれコップの正面 ($\theta = 0^\circ$), 右斜め ($\theta =$

† 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

§ 千葉大学大学院工学院

‡ 高知大学教育研究部自然科学系理工学部門

45°), 左斜め ($\theta = 45^\circ$), 右側面 ($\theta = 90^\circ$), 左側面 ($\theta = -90^\circ$) から撮影したものである。図 3 からわかる通り曲面における再生像の歪みや伸びがなく、鮮明に投影されていることが確認できる。

4. 提案手法

本研究で提案する遠隔三次元描画システムを図 4 に示す。スクリーンに指先で描いた奇跡を投影する装置と、遠隔地で操作する装置からなる。前者の装置は、スクリーンの状態を撮影する Web カメラ、ホログラフィックプロジェクタ、そして、それらの制御を行うコンピュータ (PC1) から構成される。なお、PC1 はホログラフィックプロジェクタの SLM に投影する CGH を計算するための GPU を搭載している。後者の装置では、指先の位置を計測する深度カメラとスクリーンの状態を映し出すディスプレイ、それらを制御する PC2 から構成される。本システムは PC1 が Web カメラで撮影しているスクリーンの状態を常に PC2 に送信している。操作側は PC2 によって映されているスクリーンを見ながら、描写したい場所に向けて指先を動かす。PC2 は、指先の動きを深度カメラで捉える。測定された深度データを PC1 に送信する。PC1 は受信した深度データを元に GPU で CGH 計算を行う。計算された CGH をホログラフィックプロジェクタの SLM に表示する。プロジェクタによってスクリーンに描写される。ここで、CGH 計算の計算量はホログラムの解像度と再生する物体点の数に比例する。つまり、再生像を構成する物体点が多ければ多いほど計算量が膨大になる。

そこで、本システムの PC1 では、リアルタイムに再生像を描写するために、新たに PC2 から送られた指先が差し示す場所に存在する点光源を再生するための CGH 計算のみを行う。これにより膨大な CGH 計算を回避している。この CGH 計算処理の流れを図 5 示す。最初にタイミング 1 (T1) で入力された指先が差し示す点の位置座標から CGH を計算する。計算後、GPU 上のメモリに T1 の計算結果を保存する。その後、保存されている CGH 計算結果から画像を作成し、その CGH 画像を GPU に接続されている SLM へ出力し、T1 のときに、指先が差し示す場所に点光源が再生される。次に、タイミング 2 (T2) においても、同様に処理される。T2 で、指先が差し示す点の位置座標から CGH を計算し、その結果を GPU のメモリに保存されている T1 での CGH 計算結果に加算し、その結果をメモリに保存する。新たに加算された値をもとに CGH 画像を作成し、その画像を GPU に接続されている SLM に投影する。スクリーン上に、T1, T2 のタイミングで指先が差し示すスクリーン上の場所に 2 つの点光源が再生される。T3 以降も同様に行われ、指先の軌跡がスクリーン上に描かれる。

5. 結果

本研究で開発したプロトタイプシステムを図 6 に示す。SLM に HoloEye 社の PLUTO を使用し、PC1 に接続した。PC1 と PC2 はネットワークで接続されている。深度カメラに Intel Realsense D435 を使用した。SLM から 6.4m 離れた黒板に指先の軌跡が描かれている。ホログラフィックプロジェクタは、三次元映像を投影できる。そこで、SLM から 2m の距離に配置したスクリーンを設置し、このスクリーンと黒板の上に軌跡を描いた。その結果を図 7 に示す。焦点距離を 2m および 6.4m に合わせた結果を示す。レンズを用いることなく、距離の異なる 2 つのスクリーン上に焦点のあ

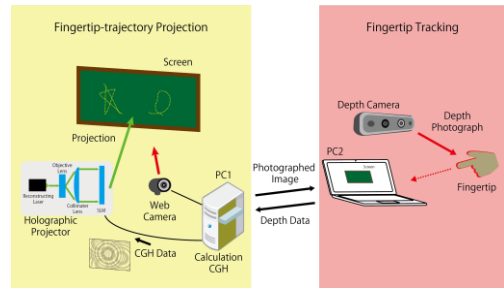


図 4 提案するシステム

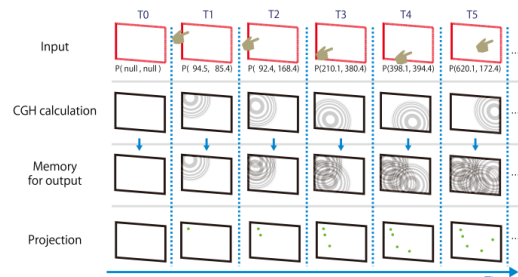


図 5 CGH 計算処理の流れ

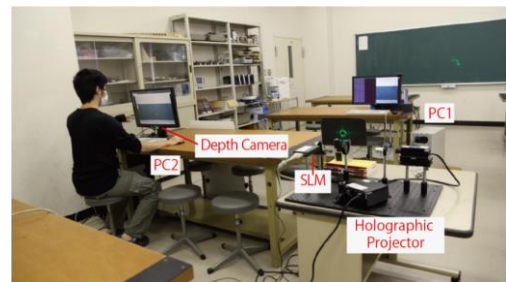
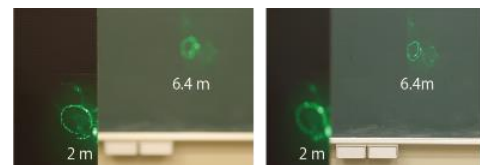


図 6 プロトタイプシステム



(a) 焦点距離: 2m (b) 焦点距離: 6.4m

図 7 再生像

った軌跡を投影することができた。

6. まとめ

ネットワークに接続した 2 台の PC からなるプロトタイプシステムを用いて、明るい環境下において、距離の異なる 2 つのスクリーン上に指先で描画した。2 つのスクリーンに焦点のあった鮮明な再生像を確認することができた。

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、I-O DATA 財団第 3 回研究開発助成によって行なわれた。

参考文献

- [1] 狩野 綾ら, FIT2017 講演論文集, K-005, 423-424, 2017.
- [2] T. Shimobaba, et al., Opt. Express 21, 25285-25290, 2013.
- [3] E. Buckley: "Holographic laser projection", J. Disp. Technol., 7, 135-140, 2011.
- [4] 長浜祐樹, 他, 映像情報メディア学会誌 Vol. 72, No.1, 36-39, 2018.