

ホログラフィックプロジェクタを用いたリアルタイム空中描画システムの開発

Development of real-time aerial drawing system using holographic projector

内田 十内[†] 成島 佑華[†] 小田 好洸* 森口 嘉軌[†] 高田 直樹[‡]

Junai Uchida Yuuka Narishima Yoshihiro Oda Yoshiki Moriguchi Naoki Takada

1. はじめに

ホログラフィは、三次元物体から発せられる光を二次元媒体に記録する技術であり、視覚疲労なく立体像を様々な角度から眺めることが可能である。コンピュータで計算した計算機合成ホログラム(CGH: Computer-Generated Hologram)による電子化したホログラフィは“究極の三次元テレビ”になるものと考えられている。しかし、CGH の計算量は膨大である。毎秒 30 枚の CGH をリアルタイム再生するためには高い演算能力を必要とする[1]。CGH 計算は、使用するデータ量に比べ演算量が多く並列化に向いている。GPU を用いた CGH 計算高速化に関する研究が報告されている[2, 3]。

2022 年現在、新型コロナウイルス感染症が猛威を振るい、感染症予防対策のため非接触タイプの空中ディスプレイが注目を浴びている。再帰性透過光学素子を用いた空中ディスプレイ[4]や再帰反射材を用いた空中ディスプレイ(Aerial Image by Retro-reflection: AIRR)が提案されている[5]。著者らは、再帰性反射材とホログラフィックプロジェクタを用いて三次元映像の実像を空中に表示する三次元的な空中ディスプレイを提案している[6]。提案した装置では事前に映像の作成を行っていた。本来ならば、空中像を見ながら映像を作成することが望まれる。ホログラフィックプロジェクタを用いて指先の動きに合わせた映像の投影が可能な装置が提案されている[7]。しかし、指追跡による描画では指先が大きく絵や文字などを描くことが困難であるという問題点がある。

本研究では、空中ディスプレイと GPU を用いて、ペンタブレット端末からリアルタイムで空中に実像を描画するシステムを開発した。また、本システムを用いて三次元空間に浮かぶ空中投影を試みた。

2. ホログラフィックプロジェクタ

本研究では、CGH 計算において、点群で構成されたポイントクラウドモデルの三次元物体を用いる。再生する三次元物体の点の位置座標から物体点を点光源として考え、全ての点光源からの球面波の重ね合わせにより、CGH 上の光強度を求めることができる。作成するホログラムの解像度を $H \times W$ とすると、計算量は $O(NWH)$ となり、膨大となる。

CGH 計算を GPU により計算を行い、空間光変調器

(SLM: Spatial Light Modulator)に CGH を表示する。CGH を表示した SLM に平行光を照射し、再生された実像を距離の離れたスクリーンに投影する装置をホログラフィックプロジェクタと呼ぶ。

図 1 にホログラフィックプロジェクタの概略図を示す。再生照明光にレーザ光を使用し、対物レンズによって再生照明光を一点に集光させたのち、コリメータレンズにより平行光を作成する。平行光はハーフミラーを反射し、上記反射型の SLM に照射される。その後 SLM から反射した回折光をスクリーンに照射することで三次元映像が再生される。

ホログラフィックプロジェクタは、計算により CGH を変更することで、再生像の距離、大きさ、形等を、レンズを用いずに自在に変更できる。1 台のホログラフィックプロジェクタで距離や角度の異なる複数のスクリーンに焦点のあった映像を投影することも可能である。さらに、図 1 のように、立体スクリーンへの三次元映像の投影も可能である。

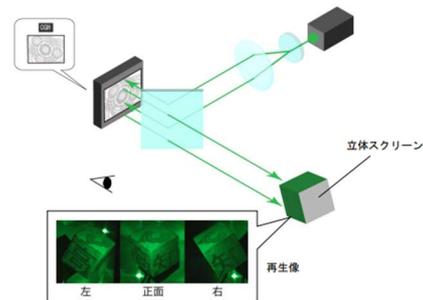


図 1 ホログラフィックプロジェクタ概略図

3. 三次元空中投影装置

図 2 にホログラフィックプロジェクタを用いた三次元映像の空中投影装置を示す。ホログラフィックプロジェクタの光を鏡に反射させ、図 3 に示す立体スクリーンに投影する。スクリーンに再生された像の光は拡散しながらハーフミラーを通過し、再帰反射材に入射する。その光が再帰反射し、ハーフミラーで反射されることで、スクリーンから拡散した光が空中の一点に集まり、スクリーンに再生された像と同じ像が空中に結像される。この空中像は、ハーフミラーを軸としてスクリーンから面対称に投影され、実像であり、裸眼で様々な角度から眺めることが可能である。

GPU で位相型 CGH の計算を行った。図 4 に再生された三次元空中像を示す。正面と左右から見る事ができる再生像が投影されている。観察者は

[†] 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

[‡] 高知大学教育研究部自然科学系理工学部

* 高知大学理工学部情報科学科

さまざまな視点から空中像を見ることができ、視点を移動すると像の見える範囲が変わり、三次元像であることが確認できる。また、再帰反射シートの面積を増やすことで、空中像の視野角を広くすることができる。計算された位相型 CGH により、ホログラフィックプロジェクタで立体スクリーンに焦点のあった映像を投影した。ホログラフィックプロジェクタの SLM として HOLOEYE 社 PLUTO-VIS を使い、位相型 CGH の解像度は 1920×1024 とした。

4. 提案手法

図 5 に提案装置の概略図を示す。これまでの装置では事前に映像を作成して投影を行っていた。本装置では、空中像の投影を実際に見ながら映像の作成を行うことができる。前述の空中ディスプレイ装置にタブレット端末を接続し、手書きで描画したデータからリアルタイムで CGH を計算し、空中に三次元映像として投影する。

図 6 に実際に空中像を見ながら映像の作成をしている様子を示す。タブレット端末に入力されたデータから CGH が作成され、空中像として出力されていることが確認された。

5. まとめ

ホログラフィックプロジェクタと再帰反射材を用いた三次元投影可能な空中ディスプレイを用いて、空中像を裸眼で見ながらタブレット端末でリアルタイムに描画可能な空中投影システムの開発を行った。タブレットで描きながら空中像が投影されていることが確認された。

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: 21K11996)、競輪の補助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, T. Ito, "High-performance parallel computing for next-generation holographic imaging", *Nature Electronics*, 1, pp.254-259 (2018).
- [2] H. Sannomiya, N. Takada, T. Sakaguchi, H. Nakayama, M. Oikawa, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time electroholography using a single spatial light modulator and a cluster of graphics-processing units connected by a gigabit Ethernet network," *Chinese Optics Letters*, Vol.18, Issue 2, pp.020902-(2020).
- [3] H. Sannomiya, N. Takada, K. Suzuki, T. Sakaguchi, H. Nakayama, M. Oikawa, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography for 1,200,000 object points using multiple-graphics processing unit cluster," *Chinese Optics Letters*, Vol.18, Issue 7, pp.070901-(2020).
- [4] M. Otsubo, "Optical imaging apparatus and optical imaging method using the same," U.S. Patent 8 702 252 B2, Apr. 22, 2014.
- [5] H. Yamamoto, Y. Tomiyama, and S. Suyama, "Floating aerial LED signage based on aerial imaging by

retroreflection," *Optics Express* 22, pp. 26919-26924 (2014).

- [6] 森口嘉軌, 小田好洗, 内田十内, 成島佑華, 鈴木康平, 高田直樹, "再帰反射とホログラフィックプロジェクタを用いた三次元空中表示の検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 45, No. 29, pp. 13-16 (2021).
- [7] K. Suzuki, M. Oikawa, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, N. Takada, "Holographic Projection System for Drawing Fingertip Trajectory Obtained from Depth Camera," *Proc. of the International Display Workshops*, vol.26, pp.202-203 (2019).

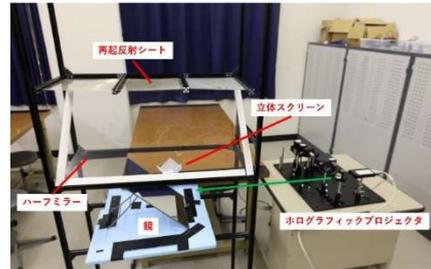


図 2 三次元空中表示装置

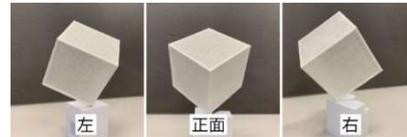


図 3 立体スクリーン

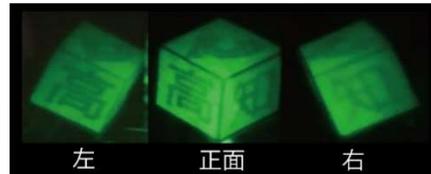


図 4 再生された三次元空中像

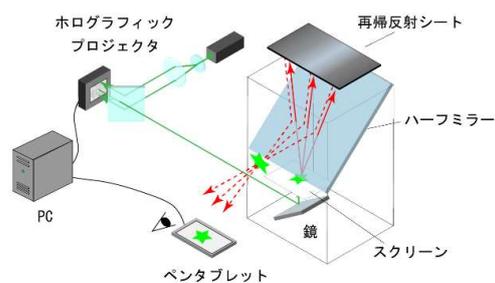


図 5 提案装置概略図



図 6 リアルタイム空中投影結果