

ホログラフィック AR 効果のための 高透過度高解像度 CGH の開発

Development of Very Transparent High-Definition CGH for Holographic AR Effects

西 寛仁 内田大輝 松島恭治

Hirohito Nishi Hiroki Uchida Kyoji Matsushima

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Kansai University

ABSTRACT

High-definition computer-generated holograms (CGH) having high transparency are developed for a novel technique of visual effect, where the CGH is placed in front of physical objects and viewers look at the object through the CGH. The CGH is just a transparent sheet unless it is illuminated. However, when the CGH is lit up, holographic 3D images are emerged around the physical object and give some visual effects such as haloes, fogs, and SFX used in movies. We call the visual effects *holographic AR effects*. Two key techniques necessary to realizing the holographic AR effect are presented in this paper: fabrication of highly transparent CGH and occlusion processing between real objects and holographic images. A prototype display is fabricated to demonstrate the holographic AR effect.

Keywords:透明 CGH, サイネージ, アート

1. はじめに

計算機合成ホログラム (Computer-generated hologram: CGH)は 50 年以上の研究の歴史があり, 今日でも注目度の高い研究テーマである. 長らく光学ホログラムに匹敵する CGH は開発されなかったが, 2009 年ごろから展示可能な全方向視差 CGH が作成されるようになった[1]. これは, CGH の計算技術が飛躍的に進歩したことに加え, そのベースとなる技術 (計算機や描画装置の性能) が著しく向上したためである. その結果, ポリゴン単位で物体光波を計算するポリゴン法を用いて, 1000 億ピクセルを超える全方向視差の超高解像度 CGH(Full-parallax high-definition CGH: FPHD-CGH)が作成されている[2]. 現在では 30cm 角を超える巨大な FPHD-CGH も製作可能であり[3], 深い奥行き感と美しい 3D 像を再生で

きるため, その社会実装が期待されている.

本研究ではサイネージ等への FPHD-CGH の社会実装を目的として, 実物体と CGH による 3D 映像を同時に鑑賞できる静止画ディスプレイの開発を行った. 本ディスプレイでは, 実物体の前に透過度の高い FPHD-CGH を設置し, それを照明した際に実物体の周辺に表示されるホログラフィックイメージにより, 観察者に裸眼で見える AR 空間を体感させることができる. 本研究ではこれをホログラフィック AR 効果と呼んでいる. 本ディスプレイを実現するための課題の 1 つが CGH 越しに実物体を視認できる透過度の高い FPHD-CGH を作成することである. 本研究では原版 CGH をフォトポリマーに転写するコンタクトコピーを活用し[4], 転写条件を最適化することで透過度の高い FPHD-CGH を作成した. また, 実物体後方の空間に 3D 映像を再生した場合, 実物体によって 3D 映像が隠されるオクルージョン処理を正しく行わなければ, 観察者に違和感を与えてしまう. そこで, 本研究では CGH の計算段階で実物体を

西 寛仁

<h_nishi@kansai-u.ac.jp>

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35

TEL 06-6368-0842

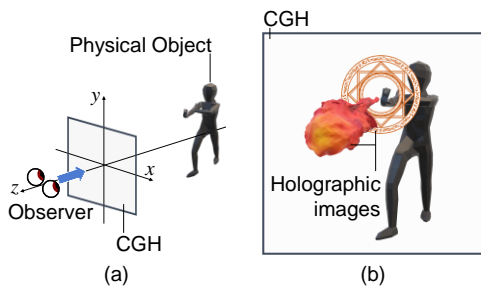


Fig.1 The concept of the holographic AR effects.

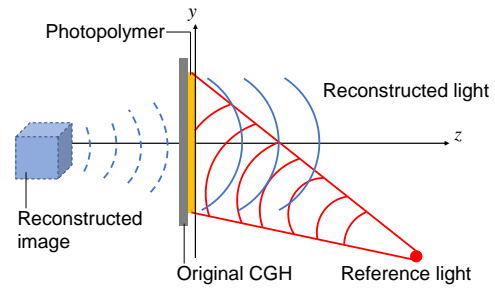


Fig.2 The principle of the contact-copy.



Fig.3 Comparison of transparency between an amplitude CGH and CGVH. (a) A photograph of original printed letters, and photographs of the same letters, but taken through (b) the original amplitude CGH and (c) the transferred CGVH.

考慮したオクルージョン処理を行い、実物体により遮蔽される光波を CGH の計算段階で除去した。これらの効果を確認するためにディスプレイを試作し、実シーンに正しくホログラフィック AR 効果を付与できることを確認した。

2. ホログラフィック AR 効果ディスプレイ

2.1. 構成

本ディスプレイの構成を Fig.1 に示す。(a)の様に実物体正面に FPHD-CGH を設置し、観察者は FPHD-CGH 越しに実物体を観察する。FPHD-CGH に再生照明光を当てると、(b)の様な 3D 映像が空間的に表示され、ホログラフィック AR 効果を実物体に与えることができる。

2.2. 高透過度高解像度 CGH の作成

本ディスプレイでは観察者が FPHD-CGH 越しに実物体を観察するため、透過度の高い FPHD-CGH が求められる。しかし、従来の FPHD-CGH の多くは振幅型ホログラムであり、Cr コート基板に塗布されたレジストにレーザー直接描画装置でパターン描画・エッチングして作成された Cr 膜による干渉縞となっている。再生像は明るいものの、振幅型のため透過度がかなり低い問題がある。CGH の透過度を高めるためには位相型で CGH を作成する必要がある。

そこで本研究では、Fig.2 に示すように、振幅型 CGH の再生像をフォトポリマーに転写するコンタクトコピーを用いた[4]。この手法では、原版 CGH とフォトポリマーを密着させ転写光でフォトポリマー越しに原版 CGH を照明する。原版 CGH によって再生された像が転写光を参照光として干渉を起こすことによりフォトポリマーに位相型 CGVH(computer-generated volume hologram)を記録することができる。

本研究では、異なった複数の種類のフォトポリマーで転写光強度と露光量を変化させ、再生像が明るく透過度が高い転写条件を調べた。その結果、フォトポリマーに Covestro 社の Bayfol ® HX-TP を使用し、Table 1 の条件で転写したときに透過度が高く再生像が鮮明な CGVH となることを確認した。

Fig.3(b)と(c)の写真は原版的振幅型 CGH と転写 CGVH を透して、紙の上にプリントした文字を撮影したものである。なお、撮影は同一照明・同一条件で行っている。(b)の原版 CGH の場合では、文字にわずかなボケが生じ、明るさが低下しているが、(c)の転写 CGVH では、CGH を透さない(a)と比較しても遜色ない程度に文字を確認できる。以後、本研究ではこの条件で AR 効果用の FPHD-CGH を作成している。

Table 1 Parameters used for the contact-copy.

Intensity [mW/cm ²]	4.08
Exposure time [sec]	10.0
Exposure [mJ/cm ²]	40.8

2.3. 実物体と 3D 映像のオクルージョン処理

オクルージョン処理は、3D 映像のみを表示する通常の CGH でも重要な処理である。これにより再生像の奥行き情報を正しく認識することができる。本ディスプレイでも、実物体と 3D 映像の間に生じるオクルージョンを正しく処理する必要がある。

本研究では、CGH の計算時に、3D シーンに実物体と同じサイズの 3D モデルを設置し、その 3D モデルに対して通常のオクルージョン処理を行い、3D モデルそのものの像は CGH では再生しないように処理した。今回は、FPHD-CGH と実物体の位置調整を簡単にするために 3D モデルに自己オクルージョンが無いモデルを使用している。そのため、ここでは物体単位のシルエット法を用いた[1]。

この手法では、まず Fig.4 の様に CGH で再生する 3D シーン内に、本ディスプレイの実物体と同形同サイズの 3D モデルを同じ場所にセットする。次に、CGH 光波の計算において 3D シーンの背景光波を 3D モデルの最大断面の位置である物体平面まで伝搬し、この 3D モデルのシルエットマスクで遮蔽処理を行う。その後、遮蔽された光波をホログラム面まで伝搬しそれを CGH が再生する物体光波とする。本手法では実物体とホログラムの間にある 3D モデルのオクルージョン処理はできないが、後方であれば自己オクルージョンが有る 3D モデルでも正しく処理できる。

本手法ではオクルージョン処理に使用した 3D モデルと形状及びサイズが同じ実物体を用意する必要がある。そこで、オクルージョン処理に使用した 3D モデルを 3D プリンタでプリントしてそれを実物体とすることで両者の形状とサイズを揃えた。

3. ホログラフィック AR 効果ディスプレイの試作

ホログラフィック AR 効果を確認するために試作を行った。Fig.5 にその構成を示す。また、Table 2 に

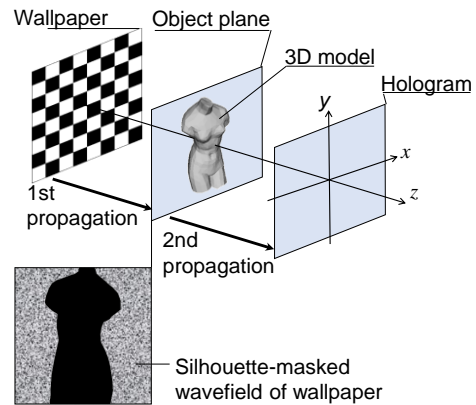


Fig.4 Occlusion processing between a physical object and reconstructed 3D images.

原版 FPHD-CGH のパラメータを示す。このディスプレイでは、実物体のビーナス像の後方に CGH の再生像としてチェッカーパターンを表示し、前方には“Venus”の文字の 3D 映像を表示している。なお、この FPHD-CGH はポリゴン法で光波計算を行っている。

Fig.6 は CGH の照明が ON と OFF の時の写真である。照明が OFF の時、原版 FPHD-CGH を転写した CGVH 越しに実物体を鮮明に確認することができる。一方で、体積型のため CGVH 表面にブラッグ反射が生じ赤みを帯びた反射光が確認できる。しかし、照明を ON にすると再生光が明るくブラッグ反射は目立たなくなった。また、実物体のビーナス像を鮮明に視認でき、ホログラフィック 3D 映像も十分な輝度で再生されていることが確認できる。視点を振った際も、実物体とチェッカーボード映像のオクルージョン処理が正しく行われていることが確認できた。なお、実物体前方に再生される文字の映像とビーナス像間のオクルージョン処理は行っていないが、文字の輝度が十分に高いため、違和感なく実物体と映像が融合して見えている。

4. まとめ

本研究では、FPHD-CGH 技術の社会実装のための新たなアプリケーションとして、実物体の周辺にホログラフィック映像を再生することで、実シーンにホログラフィック AR 効果を付与する新しいディスプレイを提案した。本ディスプレイに必要な高透過度高解像度な CGH としてコンタクトコピーで転写

した CGVH を用い、その転写条件を最適化した。更に、実物体と 3D 映像間のオクルージョンを正しく処理できる手順を考案した。実際に提案手法でディスプレイを試作し、実シーンにホログラフィック AR 効果が付与できることを確認した。

今回、転写光学系の制限で 5cm 角の CGVH しか作成できなかった。今後は 10cm を超えるサイズの FPHD-CGH を転写できるシステムを構築し、より巨大なディスプレイを構築したい。また、ディスプレイのフルカラー化も検討したい。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 22H03712 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Matsushima and S. Nakahara, "Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method," *Appl. Opt.* **48**, H54-H63 (2009).
- [2] K. Matsushima, *Introduction to Computer Holography*, Sect. 1.3 (Springer, 2020).
- [3] K. Matsushima, H. Nishi, R. Katsura, and C. -J. Lee, "Computation techniques in tera-pixel-scale full-parallax computer holography for 3D display," *The 12th Laser Display and Lighting Conf. 2023 (LDC2023)*, LDC10-02 (2023).
- [4] O. Kunieda and K. Matsushima, "High-quality full-parallax full-color three-dimensional image reconstructed by stacking large-scale computer-generated volume holograms," *Appl. Opt.* **58**, G104-G111 (2019).

Table 2 Parameters of the FPHD-CGH.

Design wavelength [nm]	640
Number of pixels	65,536 × 65,536
Pixel pitches [μm]	0.8 × 0.8

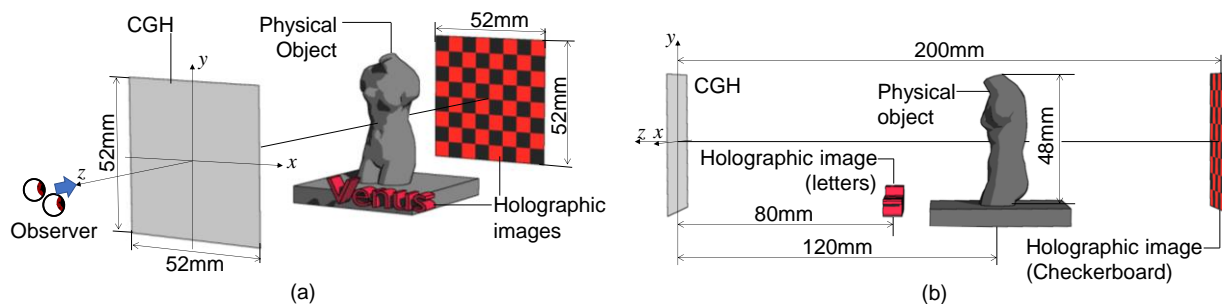


Fig.5 A prototype of the holographic AR effects display. (a) Setup and (b) arrangement.

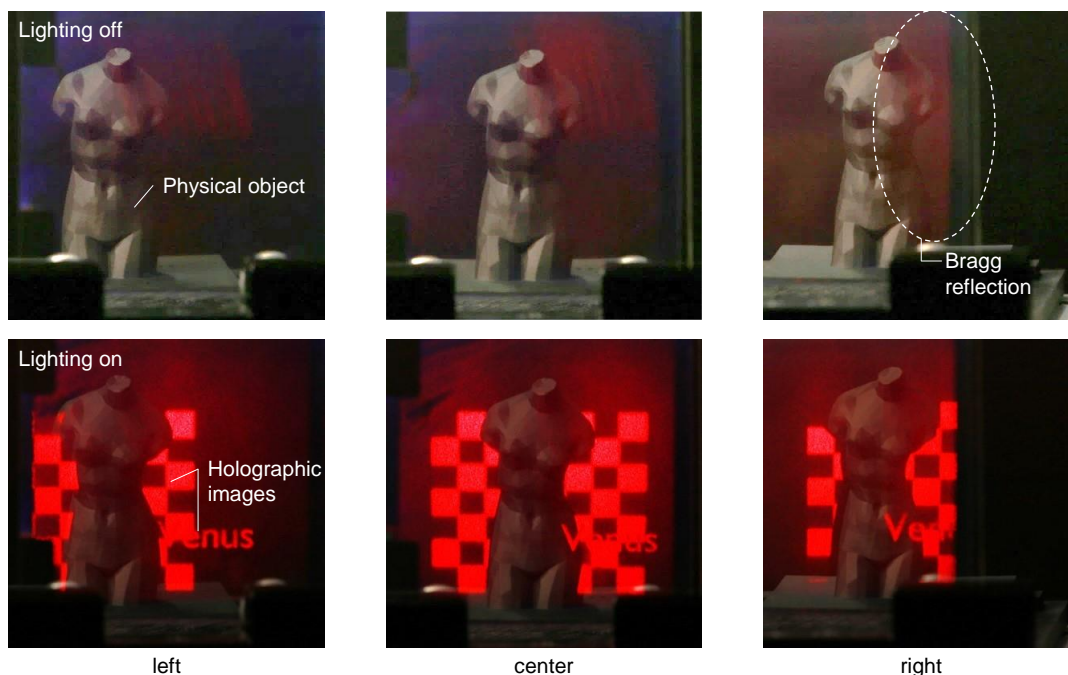


Fig.6 Photographs of the fabricated holographic AR effects display.