

# タイリング転写による 積層 CGVH 方式フルカラーCGH の大型化

## Extending size of full-color stacked CGVH

### by tiling contact-copy

藤木 駿介

Shunsuke Fujiki

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

松島恭治

Kyoji Matsushima

#### ABSTRACT

A tiling technique is proposed and attempted to extend the size of stacked CGVHs (Computer-generated volume hologram) that are one of the most practical technique to reconstruct full-color images in full-parallax computer holography. A stacked CGVH is able to reconstruct bright and less noisy full-color images when comparing another technique. However, it is difficult to extend the size with a low power laser. An actual full-color stacked CGVH is demonstrated to verify the proposed technique.

**Keywords:** フルカラー再生, 計算機合成ホログラム, CGVH

#### 1. はじめに

近年のコンピュータの性能向上に伴い, 大型の全方向視差計算機合成ホログラム(FP-CGH)を計算・作製することが可能となった. しかし, FP-CGH は通常薄いホログラムであり, 単色照明光により単色で再生される. そこで, FP-CGH をフルカラー再生する手法として, RGB カラーフィルタ方式[1]と, 積層 CGVH(Computer-generated volume hologram)方式[2]を提案している. RGB カラーフィルタ方式は, 白色 LED 照明でも再生可能であるが, RGB レーザー照明を用いた方が高品質な再生像を得ることができる[3]. しかし, RGB レーザー光源は高価であり, スペックルノイズの問題がある. 一方, 積層 CGVH 方式では, CGVH の高い波長選択性によって白色 LED 光源による照明でも RGB カラーフィルタ方式以上の高品質な再生像を得ることができる. しかし, この

方式では大型化が難しく, ビームスキャン法を用いた大型化手法をすでに提案しているが, 高品質な再生像を得られていない. これは, スキャン時のステージによる振動やビームの重なりによる劣化が原因だと考えられる.

そこで本研究では, そのような問題が生じないタイリング転写方式による積層 CGVH 方式フルカラーCGH の大型化手法を提案する. また, 実際にタイリング転写法で作製した約 10cm 角の積層 CGVH 方式フルカラーCGVH について報告する.

#### 2. タイリング転写

##### 2.1. コンタクトコピーによる CGVH の作製

本研究では, 転写原版となる CGH の作製にレーザーリソグラフィを用いている. これによって作製される CGH はクロム膜による干渉縞パターンであるため, 反射再生が可能であるが, 薄いホログラムであるため波長選択性がない. そこで, Fig.1(a)に示すコンタクトコピーを行って原版 CGH から CGVH を作製する[2]. コンタクトコピーでは原版 CGH とフォトポリマーを密着させ, フォトポリマーを通して参照球面波を原版 CGH に照射する. この時, 原版

---

藤木駿介

<k524366@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 06-6368-1121(内線 5722)

CGH の計算に用いた参照球面波と同じ球面波を用いると原版 CGH の設計通りの位置と大きさで像が再生する. この再生光と照射した球面波が干渉し, 再生光が体積ホログラムとしてフォトポリマーに転写され, CGVH となる. CGVH は波長選択性を有するため, (b)に示す通り, 白色照明でも再生できる.

### 2.2. タイリング転写法の原理

本研究で用いたタイリング転写法の原理を Fig.2 に示す. タイリング転写法では CGH の一部を照明する程度の大きさの平行光を矩形開口によって切り出し, 静止させた状態で, 原版 CGH の一部分のみを転写する. 原版 CGH とフォトポリマーをステージで移動し, 部分転写を繰り返すことで, 原版 CGH 全体を CGVH にコンタクトコピーする.

### 2.3. ビームスキャン法との比較

Fig.3 に先行研究であるビームスキャン法の原理を示す. この方式では, CGH の一部分しか照明できない径のガウスビームを用いてコンタクトコピーを行う. この時, ステージを連続的に動作させることにより CGH 全体のスキャンを行ない, スキャンライン毎にガウスビームの端を重ねて露光の隙間が生じないようにする. そのため, ステージの動作による振動の影響を受け, 多重露光が発生する. これが再生像を劣化させる原因であると考えられる.

一方, 本研究で提案するタイリング転写法では, 振動の問題は生じないが, タイリングの境界で多重露光や隙間が発生する可能性がある.

### 2.4. 平行光を用いる問題点

干渉縞の空間周波数の増加を避けるため, 原版 CGH は球面波参照光で計算している. しかし, タイリング転写法でもビームスキャン法でも露光位置が移動するため, 全体を単一の球面波で露光することができず, 平行光を用いてコンタクトコピーを行う必要がある. そのため, 転写 CGVH の光学再生でどのような像が再生されるかを検討する必要がある.

球面波を  $R_s$ , 物体光を  $O$  とすると, 原版 CGH に描画されている干渉縞強度分布は  $I_{CGH} = |O + R_s|^2$  で表される. ここでは,  $I_{CGH}$  には 2 値化などの操作は行っていないとする. この原版 CGH を平面波  $R_p$  で照明した時の再生光は  $I_{CGH}R_p$  となるため, 同じ照明

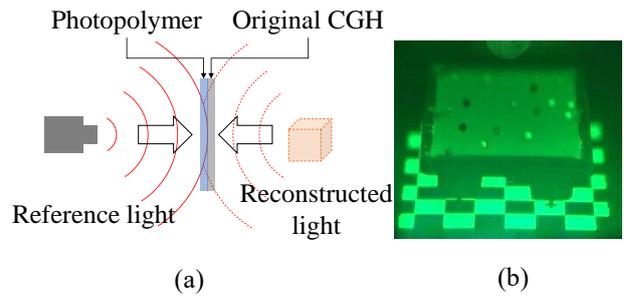


Fig.1 (a) The principle of the contact-copy, and (b) the example of optical reconstruction of a CGVH illuminated by a white LED.

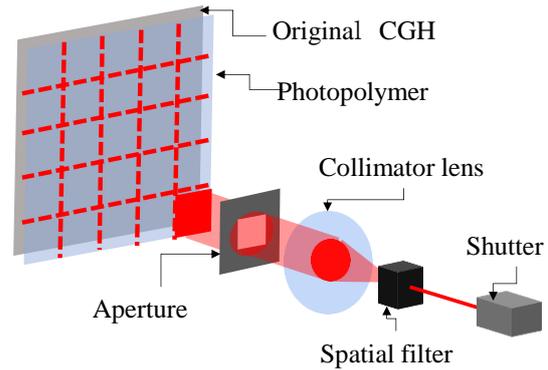


Fig.2 Contact-copy by the proposed tiling method (this work).

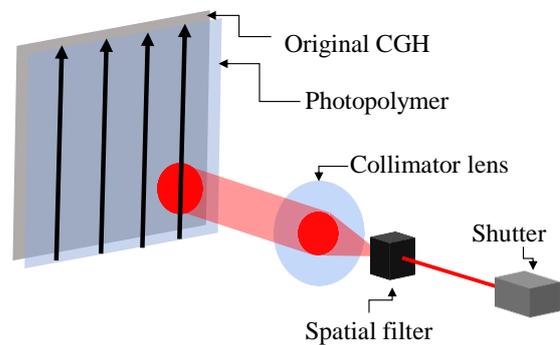


Fig.3 Contact-copy by the beam-scan method.

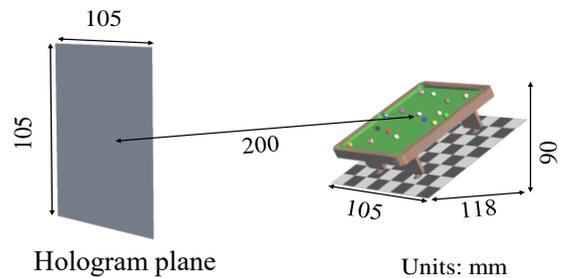


Fig.4 The 3D scene used to create the full-color stacked CGVH.

Table 1 Parameters of the original printed CGHs.

Number of pixels	131,072 × 131,072
Pixel pitch [μm]	0.8 × 0.8
Wavelength [nm] (R, G, B)	(640,532,473)
Number of polygons	22,166

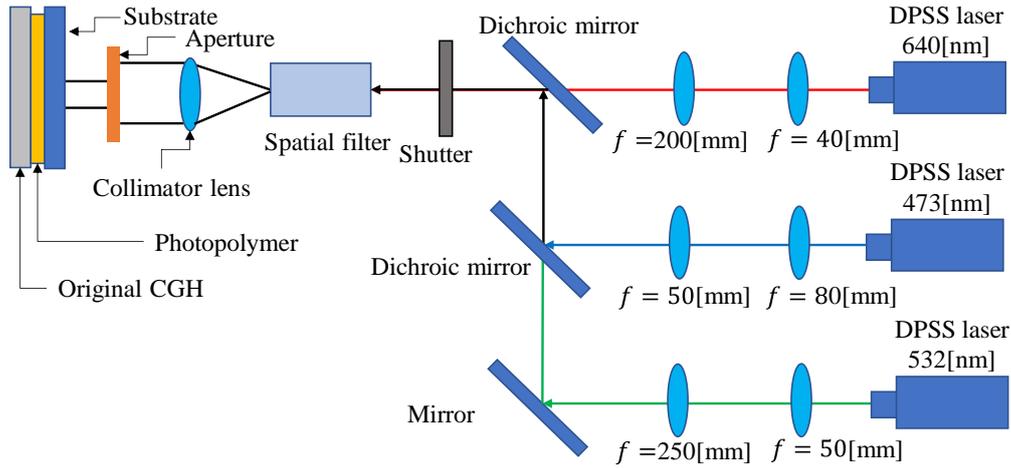


Fig.5 Optical setup for contact-copy by use of the proposed tiling method.

光(参照光)  $R_p$  と干渉した時に CGVH に記録される干渉縞は,

$$\begin{aligned} I_{CGVH} &= |I_{CGH}R_p + R_p|^2 \\ &= |R_p|^2 \{ 2(|O|^2 + |R_s|^2)OR_s^* \\ &\quad + 2(|O|^2 + |R_s|^2)O^*R_s + O^2R_s^{*2} \\ &\quad + O^2R_s^2 + C \} \end{aligned} \quad (1)$$

となる. ここで,  $|O|^2$  や  $|R_s|^2$  等の項を定数項  $C$  にまとめている. CGVH の角度選択性が低く, この干渉縞を球面波で再生できるとすると, 再生光は

$$\begin{aligned} I_{CGVH}R_s &= |R_p|^2 \{ CR_s + 2(|O|^2 + |R_s|^2)O|R_s|^2 \\ &\quad + 2(|O|^2 + |R_s|^2)O^*R_s^2 \\ &\quad + O^2R_s^*|R_s|^2 + O^2R_s^3 \} \end{aligned} \quad (2)$$

となり,  $2|R_p|^2(|O|^2 + |R_s|^2)|R_s|^2O$  の項として物体光が再生されることから, 球面波参照光で計算した原版 CGH を平面波で転写し, 再び球面波照明で再生できることがわかる. しかし再生光には, 他にも様々な項が含まれており, それがノイズとして現れる可能性がある.

### 3. 積層 CGVH 方式フルカラーCGH の作製

#### 3.1. CGVH の作製

本研究で作製した CGH の 3D シーンを Fig.4 に, そのパラメータを Table 1 に示す. この原版 CGH は, 前述のとおり, 球面波でコーディングを行っている. 実際の CGVH の作製に用いる光学系を Fig.5 に, また転写に用いたパラメータを Table 2 に示す. なお, 本研究では, 各色とも厚さ 3 mm のガラス板にフォトポリマーを貼り付けているため, 原版 CGH の計算時にその補正処理を行っている[2].

白色ピグテイル LED が出力する球面波を照明光

源として用いた CGVH の光学再生像を Fig.6 に示す. 体積ホログラムの波長選択性により単色再生像が得られているが, 複数の円状のノイズが現れていることがわかる. ホログラム面に合焦して撮影した Fig.7 では, タイリングの境界が目立つが, これは再生像にピントを合わせた Fig.6 の写真では大きな影響を及ぼしていないことがわかる. しかし, Fig.7 では, どの色の CGVH でもタイル毎に虹色のノイズが生じている. これは, 虹色に見えることから, 迷光等により薄いホログラムや回折格子の特性を持つ不要な干渉縞が記録されているか, 平行光で転写したことにより(2)式の物体光以外の項から生じる不要光が再生されていると考えられる.

#### 3.2. フルカラーCGH の光学再生

作製した CGVH を積層し, フルカラー再生を行った光学再生像を Fig.8 に示す. タイル境界が目立たず, 色ずれの無い再生像が得られていることがわかるが, 各色の CGVH で生じる虹色のノイズ光が明るく, 像の視認を妨げている.

#### 4. まとめ

積層 CGVH 方式フルカラーCGH を大型化するため, タイリング転写による作製手法を提案した. この手法では, ビームスキャン法のようにステージ動作に伴う振動の影響を受けない利点がある. 実際に約 10cm 角の積層 CGVH 方式フルカラーCGH を作製することができた. しかし, 虹色の顕著なノイズ光が発生するため, 今後はその除去が課題となる.

#### 謝辞

本研究は, 日本学術振興会科研費 22H03712 の支

援を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] Y. Tsuchiyama and K. Matsushima, "Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters," *Opt. Express* **25**, 2016-2030 (2017).
- [2] 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).
- [3] K. Matsushima, *Introduction to Computer Holography*, Sec. 15.6 (Springer, 2020).

Table 2 Parameters of tiling contact-copy.

	Red	Green	Blue
Wavelength [nm]	640	532	473
Exposure [mJ/cm <sup>2</sup> ]	2.0	2.2	1.2
Exposure time [s]	30	20	38
Number of tiles	4 × 4		
Size [mm]	26.2 × 26.2		
Settling time [s]	30		
Photopolymer	Bayfol@HX200		

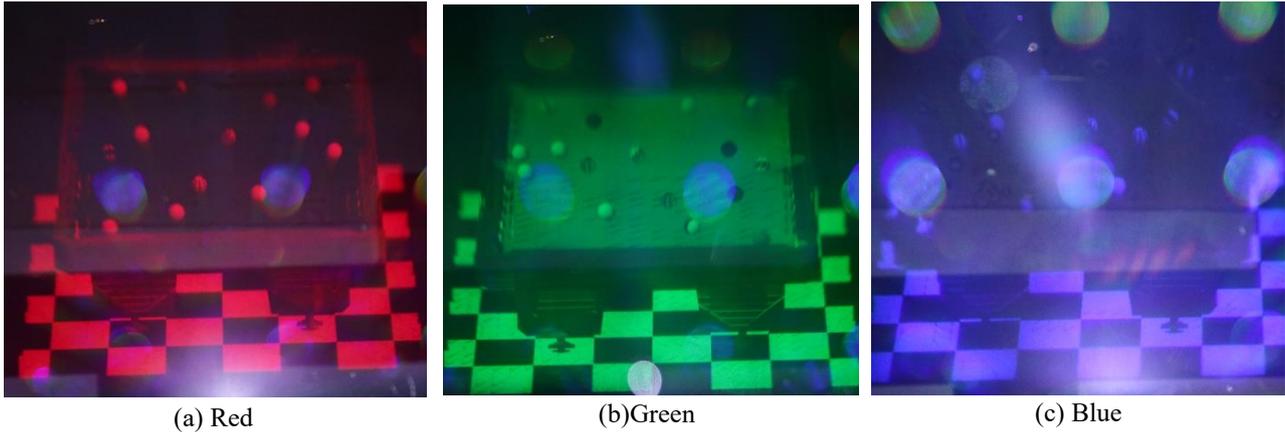


Fig. 6 Photographs of optical reconstruction of the individual CGVHs illuminated by a white pigtail LED.

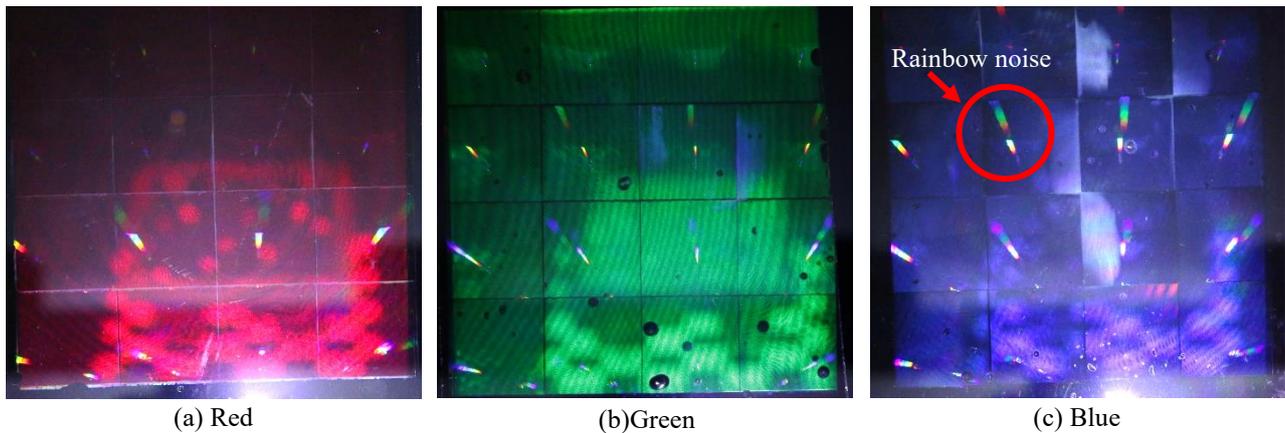


Fig. 7 Photographs of the individual CGVHs illuminated by a white LED. The camera is focused on the CGVH surfaces.

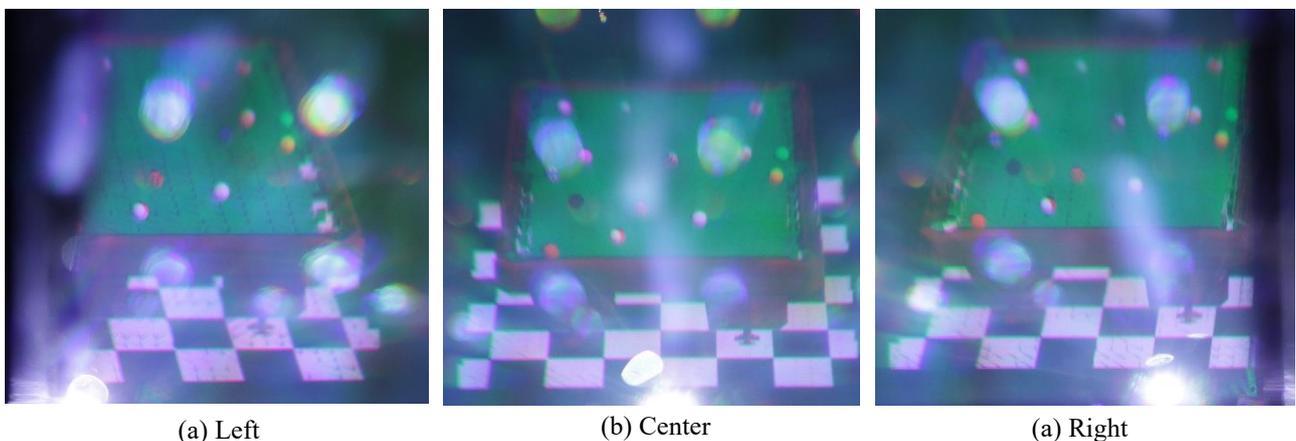


Fig.8 Photographs of optical reconstruction of the full-color stacked CGVH fabricated by the proposed tiling method.