

フルカラー高解像度体積型 CGH の作成

Creation of Full-Color High-Definition Volume-CGHs

中尾弘希

Hiroki Nakao

松島恭治

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 and Electronic Engineering, Kansai University

ABSTRACT

Full-color high-definition CGHs are produced by transferring original high-definition CGHs to volume holograms. In this technique, fringe patterns of three original CGHs are calculated using the wavelength corresponding to RGB primary colors of light and made of metal thin films. These original CGHs are transferred to volume CGHs by contact-copy using a technique similar to that used for recording Denisyuk-type holograms. Three transferred volume CGHs for RGB colors are superimposed to create a full-color volume CGH. The optical reconstruction as well as the techniques and principle used is reported.

Keywords: コンピュータホログラフィ, 計算機合成ホログラム, 体積ホログラム, 転写ホログラム, フルカラー再生

1. はじめに

高解像度計算機合成ホログラム(以下, CGH)には, 静止画であるが古典的な光学ホログラフィに匹敵する再生像を得られる特徴がある [1]. しかしながら, レーザーリソグラフィで干渉縞を描画したこれらの高解像度CGHは薄いホログラムであるため波長選択性が無く, 狭帯域照明光で単色再生のみができる. 白色光で再生すると, 色収差により位置や大きさが異なる多数の再生像が同時に発生し, 色にじみの強い虹色の再生像が生じる.

このような高解像度CGHのフルカラー再生手法として, RGBの3枚の高解像度CGHの再生像をダイクロイックミラーで重畳してフルカラー再生像を得る手法や[2], 干渉縞をRGBブロックに空間分割し, 干渉縞の各ブロックに対応する色のカラーフィルタを貼り合わせ, これに白色光を照射することでフルカラー再生像を得る手法が報告されている[3]. 3枚の高解像度CGHを用いる手法は美し

い像を再生するが, 像合成光学系が大きくその調整も難しいため, 展示会などで手軽に展示するのが困難である. カラーフィルタを用いたCGHは展示が容易であるが, 本来はRGB3種類ある干渉縞を分割・合成して1枚の干渉縞としているため, 再生像の質が低下する可能性がある点, またフィルタの分光特性がよくないため十分に色収差を低減できない点が問題となる.

そこで, 前述の3枚の干渉縞を用いる手法と同様に, 3枚の原版CGHを作成し, それを3枚の記録材料に体積型ホログラムとして転写して重ね合わせて再生する手法を提案している[4]. この手法ではレーザーリソグラフィで作製する原版CGHが金属膜干渉縞により反射型として再生できることを利用して, RGBに相当するレーザー光で記録材料を透過して原版CGHを露光する簡素なデニシユク型の手法で転写する. これにより赤, 緑, 青色で再生される透明な体積型ホログラムを3枚作成する. これらを重ね合わせるによりフルカラー体積型CGHが作成できる.

しかしながら, 以前の報告 [4]では, 基礎実験を行ったのみで実際にはフルカラー体積型CGHが実現されておらず, その光学再生像も報告していなかった. そこで本報告では, 提案手法実現の詳細を述べ, 実際に作製したフ

中尾 弘希

<nakao@laser.cc.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)

フルカラー体積型CGHの光学再生像を示す。

2. フルカラー体積型CGHの原理

2.1. 金属膜干渉縞CGHのコンタクトコピー

金属干渉縞でできた原版CGHを記録材料に転写する手法をFig.1に示す。本研究の原版CGHでは、ガラス基板上のクロム膜で干渉縞が形成されている。この時、クロム膜干渉縞はホログラムの観察者から見てガラス板の背面に形成されているため、一般の鏡と同じ構造となっている。そのため、高い反射率を有しており、その反射パターンによって3次元像が再生される。その結果、薄いホログラムであるにもかかわらず、反射型ホログラムとして再生する。

原版CGHの干渉縞パターンの発生では、参照光波として球面波を用いて数値合成した物体光波と干渉させる。したがって、原版CGHの光学再生時に、数値的な参照球面波の中心と同じ位置に実際の点光源を置くと、数値合成した物体光波が正確に再生される。実際には、スペーシャルフィルタで球面波を発生し、そのピンホールを位置を数値的な参照球面波の中心と一致させる。なお、ピンホールの位置に誤差があった場合、記録材料には計算した物体モデル/3Dシーンとは大きさと再生位置が異なる再生像が記録されてしまうことになる。

コンタクトコピーでは、Fig.1に示すとおり、原版CGHのガラス基板の前面側に記録材料を貼り付け、デニシユクホログラムと同様に記録材料を透過して原版CGHを照明する。これによって数値合成された物体光波が原版CGHから反射再生される。したがって記録材料中には再生照明光と反射再生光が同時に存在して干渉縞が発生し、

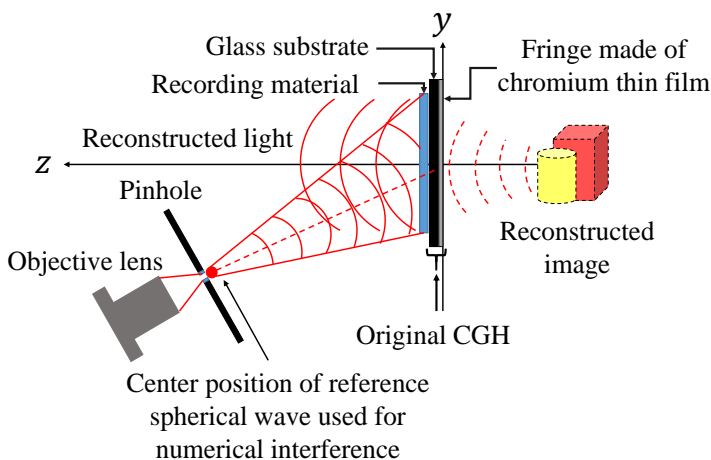


Fig.1 Principle of contact copy of a CGH made of metal films.

Table 1 Parameters used for creating original CGHs

Number of pixels	65,536 × 65,536
Pixel pitches	0.8 μm × 0.8 μm
Sizes of CGHs	52.4 mm × 52.4 mm
Design Wavelength (R)	633 nm
Design Wavelength (G)	532 nm
Design Wavelength (B)	488 nm
Center of spherical wave	(-30, -30, -350) mm

これが記録材料に記録される。

この手法では、物体光波(原版CGHの再生光)と参照光波(原版CGHの照明光)が記録材料に対して互いに反対方向から入射されるため、記録されるホログラムは波長選択性を持つ体積型ホログラムとなる。

2.2. 再生像の重ね合わせ

光の3原色に相当する3つの設計波長で作成した3枚の原版CGHを、同じ波長のレーザーと上記の手法を用いてそれぞれ記録材料に転写する。これを、Fig.3のように重ね合わせて白色再生光源で再生し、3つの像が正しく重なるように転写ホログラムの重ね合わせ位置を調整する。

転写ホログラムを重ね合わせる順番は、Fig.3のように、観察者側から青、赤、緑色のホログラムとする。これは人間の視覚は緑色に対する感度が最も高く、青色に対する感度が最も低いためである。そのため、再生効率が低下すると予想される最背面に明るく見える緑を配置する。

3. フルカラー体積型CGHの作成

3.1. 原版CGHの作製

RGBの設計波長で3枚の原版CGHを作成した。本研究

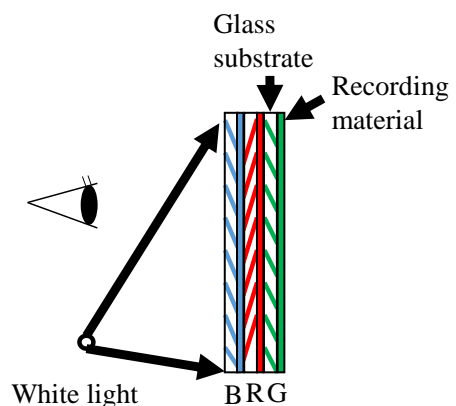


Fig.2 Full-color volume CGH by superposition of individual color CGHs.

で作成したCGHの3DシーンをFig.3に, そのパラメータをTable 1に示す. 物体モデルは平面ポリゴンの表面にFig.4で示したカラーテクスチャ画像を貼り付けたものである. 3波長の参照光と物体光を用いてそれぞれ干渉縞パターンを計算し, レーザリソグラフィ描画装置で3枚のCGHを作成し, これらの設計波長と同じ波長のレーザー光で再生したときの再生像をFig.5に示す.

4.1 原版CGHの転写

3枚の原版CGHをそれぞれ記録材料にコンタクトコピーし, 3枚の体積型転写CGHの作成を試みた. この実験では銀塩記録材料としてTable 2に示すHolography Laboratory社製の“Ultimate” ガラス乾板を用いた. この記録材料に3枚の原版CGHをコンタクトコピーして作成した転写CGHを白色LEDで光学再生した像をFig.6に示し, それぞれの転写パラメータをTable 3に示す. Fig.6に示すとおり白色LEDで再生しても波長選択性が働き, 記録時の波長の光のみで再生されていることが分かる. また, Fig.5の原版CGHの再生像とほぼ同じ像が再生されていることが確認できる.

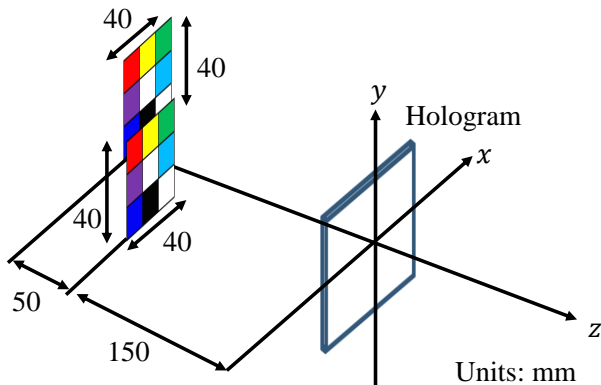


Fig.3 The 3D scene of the original CGH.

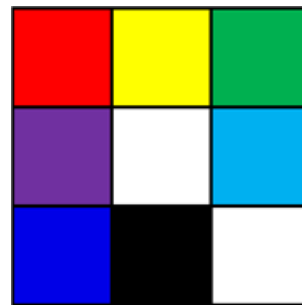


Fig.4 Texture image.

Table 2 Specifications of recording material.

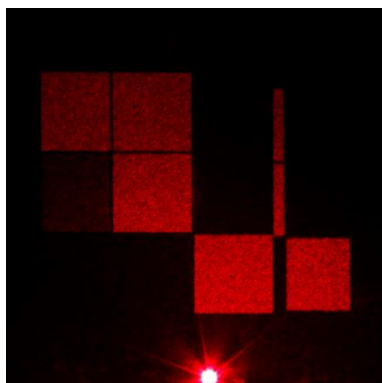
Model number	U08M-PAN-0-4x5-G
Glass thickness	3 mm
Average exposure dose	80 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$
Relative sensitivity	0.8 (633nm)
	1.0 (532nm)
	1.0 (457nm)

Table 3 Parameters used for contact copy.

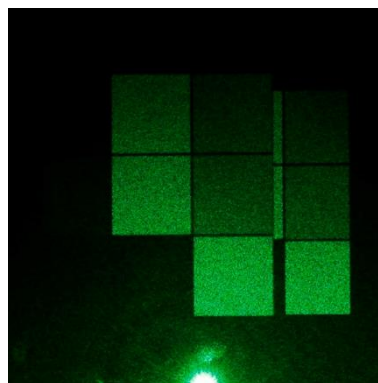
Wavelength	Exposure time	Exposure dose
633nm	2 s	300 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$
532nm	2 s	200 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$
488nm	1 s	300 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$

4.2 フルカラー体積型CGHの作成

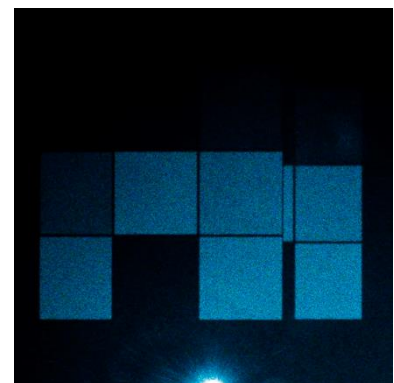
3枚の転写CGHをFig.2に示したとおりに重ね合わせてフルカラー体積型CGHの作成を試みた. 具体的には重ね合わせた3枚の転写CGHを白色LEDで再生しながら, 3つの再生像が正しく重なり合うように転写CGHの位置を調整し固定した. これにより作成したフルカラー体積型CGHの再生像をFig.7に示す. 赤, 緑, 青色の再生像が重



(a) Red



(b) Green



(c) Blue

Fig.5 Optical reconstructions of original CGHs [4].

なり合い、フルカラー再生像が得られていることが分かる。また、左右に視点変更しても3つの再生像が重なり合っていることが分かる。

4. まとめ

本研究では、3枚の原版CGHからコンタクトコピーを用いて3枚の体積型CGHを作成し、それらを重ね合わせることでフルカラー体積型CGHを作成した。白色LEDで照明することにより、作製したCGHからフルカラー再生像が得られることを示した。

この手法では、ダイクロミックミラーを用いた手法より再生に必要な光学系が小さく、展示が容易である。また、体積ホログラムの波長選択性によりカラーフィルタを用いた手法より鮮明な再生像が得られることが期待されている。

謝辞

本研究は、日本学術振興会の科研費(15K00512), および

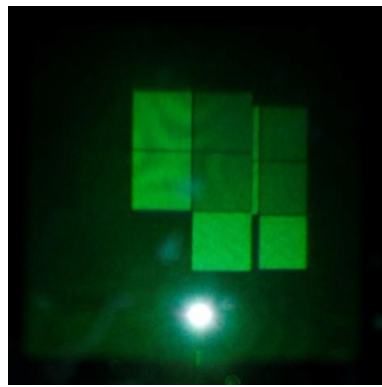
文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成25年～平成29年)の助成を受けたものである。

参考文献

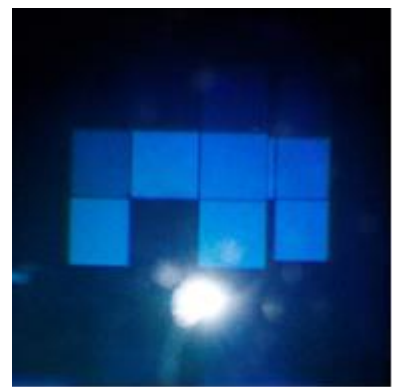
- [1] K.Matsushima, S.Nakahara: "Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method", *Appl. Opt.* **48**, H54-H63(2009)
- [2] T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara: "Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-definition color computer holography", *SPIE Proc.* **9386**, 93860N (2015).
- [3] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima: "Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters," *Opt. Express* **25**, 2016-2030 (2017).
- [4] 中尾弘希, 松島恭治: "反射型高解像度CGHのコンタクトコピーによるフルカラー体積型転写CGHの作成", *HODIC Circular* **36**, No. 3, 19-22 (2016).



(a) Red

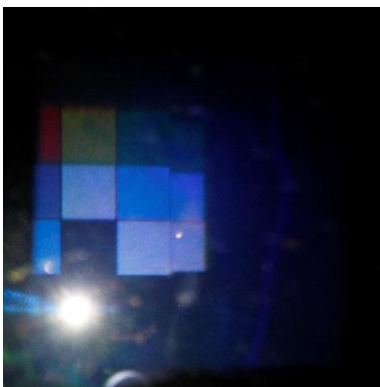


(b) Green

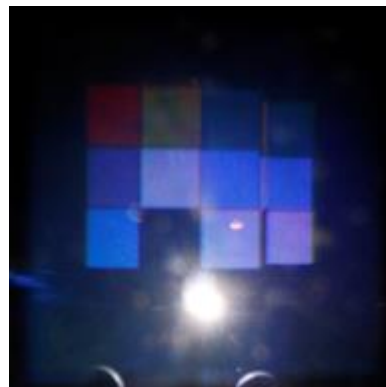


(c) Blue

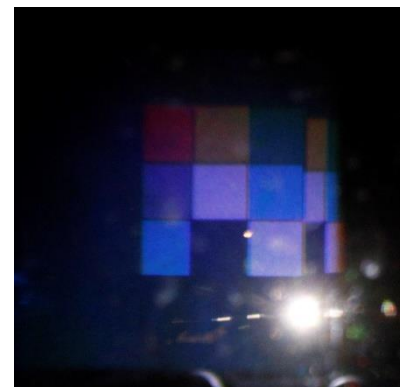
Fig.6 Optical reconstructions of transferred CGHs.



Left



Center



Right

Fig.7 Optical reconstructions of the full-color volume CGH.