

光線サンプリング面を用いて記録した実物体像を 埋め込んだ全方向視差高解像度フルカラーCGH Full-Color Full-parallax High-Definition CGH Embedding Image of Real Object Produced Using Ray-Sampling Plane

パニアグア カルロス 桂 諒介 西 寛仁 松島 恭治
Paniagua Carlos Ryosuke Katsura Hirohito Nishi 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

A method is proposed to create full-color full-parallax high-definition computer-generated holograms (FPHD-CGH). Using the method, the wavefield of real objects, generated at three wavelengths from color multi-viewpoint images (MVI), can be embedded in the 3D scene reconstructed by the FPHD-CGH. The MVI of the physical object is captured by an ordinary color camera, and converted to the wavefield by the method using a ray-sampling plane (RSP). Several techniques, such as adjustment of the visual field and post-processing of the MVI, are presented for reconstructing clear color 3D image with proper occlusion processing. An FPHD-CGH is fabricated to reconstruct 3D images where the image of a real object is embedded in the 3D scene whose wavefield is generated from 3D model using physical simulation, i.e., the polygon-based method.

Keywords: 計算機合成ホログラム, ポリゴン法, 多視点画像

1. はじめに

コンピュータホログラフィにおいて, CGモデルの仮想物体だけでなく, 実物体を全方向視差高解像度CGH (full-parallax high-definition CGH: FPHD-CGH)で再生する手法として, 3Dスキャナ等を用いて実物体の3次元形状を記録する手法や[1,2], 合成開口デジタルホログラフィを用いる手法等が報告されている[3,4]. しかし, FPHD-CGHは広い視域を有するため, 前者は長い撮影時間や欠落したポリゴンの補填が必要である. 一方, 後者は高度の撮影技術が必要であり, いずれも被写体を撮影できる方法ではない.

FPHD-CGHの物体光波の計算方法として, 物理シミュレーションではなく, CGによる多視点画像を用

いる光線サンプリング面(Ray sampling plane: RSP)の手法が提案されており[5,6], 光波伝搬を用いるため比較的輻輳調節矛盾が生じにくい再生像を得ることができる. 近年, 我々はポリゴン法/シルエット法による物理シミュレーションによって処理したモデルと多視点画像をRSPで処理したモデルが複雑に組み合わせられたCGHを計算する手法を考案し, それによるモノクロFPHD-CGHの作製, またフルカラー化の手法を提案している[7]. また, 被写体を撮影した多視点画像にRSPの手法を適用して作成した実物体のモノクロFPHD-CGHを報告している[8].

そこで本研究では, 実物体のカラー多視点画像の撮影を行い, 実物体を物理シミュレーションによる仮想3Dシーンに埋め込んだフルカラーCGHの作成を試みた. 本論文では, RSPを用いた実物体光波の取得とオクルージョン処理の手順を報告し, この手法を用いて実際に作製したフルカラーFPHD-CGHの光学再生像を示す.

西 寛仁

<h_nishi@kansai-u.ac.jp>

〒564-8680大阪府吹田市山手町3-3-35

関西大学電気電子情報工学科

TEL 06-6368-0842(ダイヤルイン)

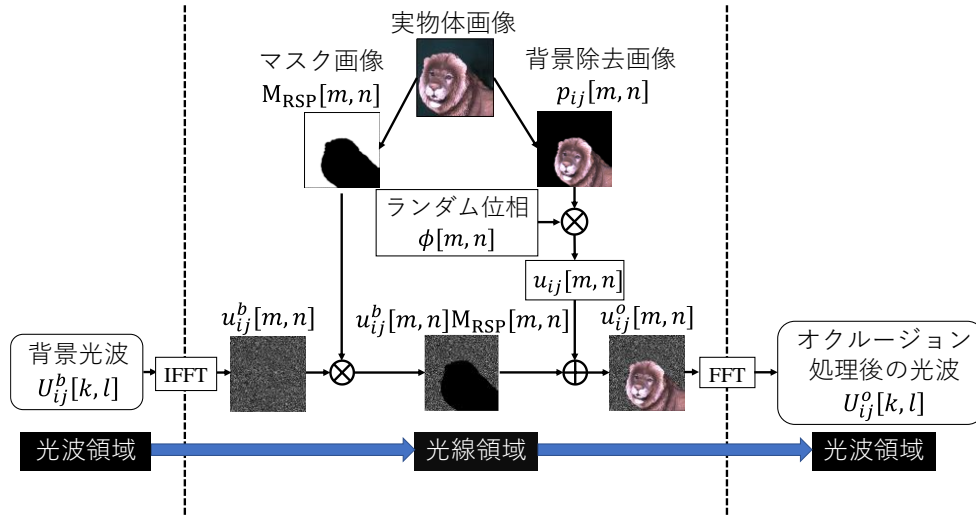


Fig.1 The procedure for occlusion processing in RSP.

2. 計算手法

2.1 RSPを用いた多視点画像からの光波計算

多視点画像の各画像に乱数位相を付与してフーリエ変換し, 物体近傍に配置したRSP上の視点位置(RS点)に埋め込むことで光線情報を波面情報に変換する. 得られた光波をCGH面まで波動光学的に伝搬計算することで物体光波を計算する. 最終的に, CGH面上で得られた物体光と参照光を数値的に干渉させ, 干渉縞パターンを得る.

2.2 オクルージョン処理の原理

物理シミュレーションと組み合わせたときのオクルージョン処理の原理をFig.1に示す[7]. まず, RSPに入射する背景光波を逆フーリエ変換して光線情報 $u_{ij}^b[m, n]$ を求める. 次に, RS点に対応する多視点画像から求めたマスク画像 $M_{RSP}[m, n]$ を乗算し, マスク処理した光線 $u_{ij}^b[m, n]M_{RSP}[m, n]$ を求める. 背景を除去した実物体画像の位相を乱数化してこれに加算することで, オクルージョン処理した光線情報 $u_{ij}^o[m, n]$ を求め, それをフーリエ変換することでオクルージョン処理後の光波 $U_{ij}^o[k, l]$ を求める. この計算を全てのRS点で行ってRSP上で統合する.

3. 実物体の多視点画像の取得

3.1 多視点画像の撮影

本研究では2軸自動ステージを用いてカメラを移動し, Fig.2に示す等間隔の位置から Fig.3の被写

体を撮影した. この等間隔の視点がRS点に対応しており, 撮影したカラー画像の色チャンネル毎に乱数位相を付与してFFT計算を行い, RSP上に配置している. 多視点画像の撮影に用いた主要なパラメータをTable 1に示す.

4.1 多視点画像のトリミング処理

本研究では, カラー多視点画像の画角 θ_{FOV} を光波の最大回折角から決定した[7]. すなわち, 多視点画像の画角を

$$\theta_{FOV} = 2\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2\Delta x}\right) \quad (1)$$

とした. ここで Δx は物体光波のサンプリング間隔, λ

Table 1 Parameters used for capture of the MVI.

Number of captured images	16,384
Intervals of viewpoints [mm]	1.1×1.1
Number of pixels for each captured image	$1,944 \times 1,944$
Subject Distance (D) [mm]	65.0
Width of visual field (W) [mm]	46.4

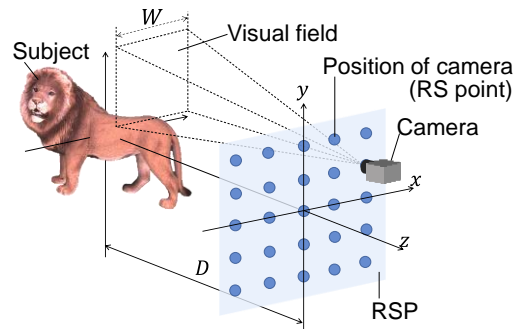


Fig.2 Capture of a multi-viewpoint image (MVI).

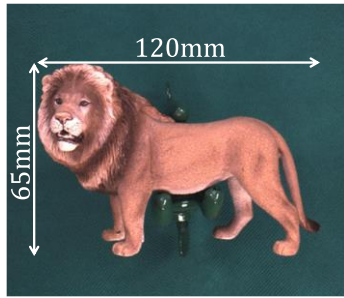


Fig.3 The subject captured before the green back.

は波長である。そのため、画角が波長によって異なることになり、色チャンネルごとに異なった画角で撮影を行わなければならない。しかし、ここでは撮影時間がおおよそ 3 倍となってしまう。そこで本研究では、Fig.4 に示すように、多視点画像をカメラの最大画角で撮影し、RGB に対応する波長の物体光波の計算では、それぞれの画角に応じた範囲をトリミングし、最も画角が広い R チャンネルを基準として拡大/縮小処理した画像を使用した。これにより、一度の撮影で三波長の RSP を求めることができる。

3.5 背景の削除とマスク画像の生成

Fig.1 の手順でオクルージョン処理するためには、被写体の抽出と、マスク画像の生成が必要となる。そこで、本研究ではグリーンバックの前に被写体を設置し、OpenCV を用いて背景の削除とマスクの作成を行った。この過程を Fig.5 に示す。ここで、緑色要素を抽出しやすくなるためにカラー画像の色空間を RGB から HSV 色空間に変換をしている。

この処理では、まず色相が背景の緑色に近い部分を抽出し、緑色要素を除去した画像(b)を求め、グレースケール画像(c)に変換し、二値化処理(d)を行う。二値化処理によって、画像にノイズや輪郭部分にジャギーが生じるため、モルフォロジー演算によりノイズを取り除き、メディアンフィルタで輪郭を平滑化した後に元の RGB 色空間に戻し、マスク画像(e)を求め、原画像の差分計算を行うことによって背景を削除した画像(f)を得る。さらに、マスク画像(e)を白黒反転してオクルージョン処理用のマスク画像(g)を取得した。

5. CGH の光学再生

CGHで再生する3DシーンをFig.6 に示し、仮想物体と背景のパラメータをTable 2に示す。サンプリング間隔 $1.0\mu\text{m} \times 1.0\mu\text{m}$ 、サンプル数 $64\text{K} \times 64\text{K}$ ($1\text{K} = 1024$)の物体光波から、干渉縞オーバーサンプリング[9]によって発生した約80億画素の干渉縞パターン($64\text{K} \times 128\text{K}$, 画素ピッチ $1.0\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$)を、レーザーリソグラフィ装置を用いて描画し、RGBカラーフィルタ方式[10]によるカラーCGHとして作成した。このCGHの光学再生像をFig.7に示す。この再生

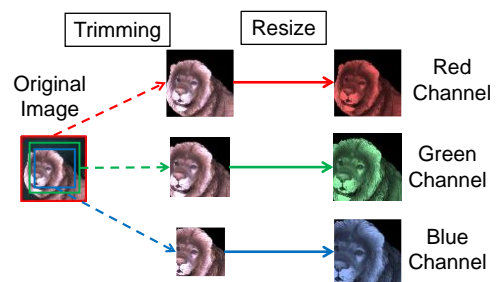


Fig.4 Adjustment of the field of view.

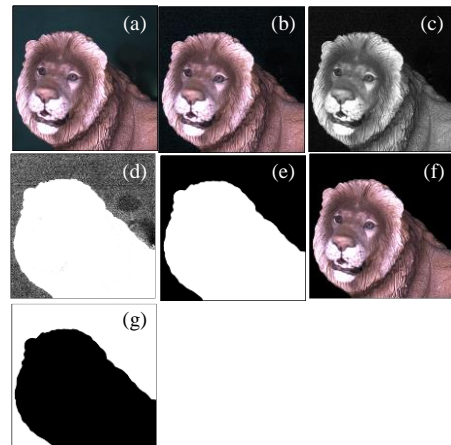


Fig.5 Post-processing of the captured MVI.

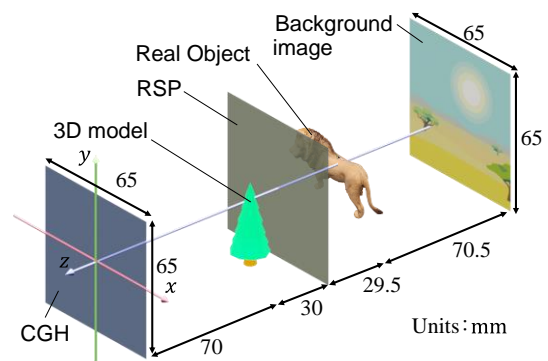


Fig.6 The 3D scene of the fabricated FPHD-CGH.

像から, 視点移動したときのなめらか運動視差と自然なオクルージョンが再生されて, 被写体であるライオンのフィギュアの質感も鮮明に再生されていることが分かった.

6. まとめ

物理シミュレーションによる仮想物体と, 撮影した多視点画像からRSPの手法で求めた実物体の映像が混在したフルカラーCGHを作製した. 今後は, 解像度が高く画角の広いカメラを用いて撮影枚数を増やすことにより, 視域が広く大型の全方向視差高解像度CGHの作製が可能になると考えられる.

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] 松島: コンピュータホログラム「Brothers」制作記 - MITミュージアムでのCGH展示を目指して, HODIC Circular **32**, No.2, 31-40 (2012).
- [2] 宮岡, 市原, 松島, 中原: Kinect Fusionを用いた高解像度フルカラーCGHの作成と再生, 3次元画像コンファレンス2014, 13-16 (2014).
- [3] K. Matsushima, Y. Arima, S. Nakahara: Digitized holography: modern holography for 3D imaging of virtual and real objects, Appl. Opt. **50**, H278-H284 (2011).
- [4] K. Matsushima, N. Sonobe: Full-color digitized holography for large-scale holographic 3D imaging of physical and nonphysical objects, Appl. Opt. **57**, A150-A156 (2018).
- [5] K. Wakunami, M. Yamaguchi: Calculation for computer generated hologram using ray-sampling plane, Opt. Express **19**, 9086-9101 (2011).
- [6] K. Wakunami, H. Yamashita, M. Yamaguchi: Occlusion culling for computer generated hologram based on ray-wavefront conversion, Opt. Express **21**, 21811-21822 (2013).
- [7] 桂, 松島: ポリゴン法と光線サンプリング面を用いたハイブリッド計算法による全方向視差高解像度CGH, 3次元画像コンファレンス2022, 10-2 (2022).
- [8] 伊藤, 松島, 山口: 光線サンプリング面の手法を用いて合成した実物体の高解像度計算機合成ホログラム, 3次元画像コンファレンス2016, P-10 (2016).
- [9] 松島, 他: 関大デジタルホロススタジオにおける大規模CGH描画・作成技術, HODIC Circular **38**, No. 1, 2-9 (2018).
- [10] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima: Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, Opt. Express **25**, 2016-2030 (2017).

Table 2 Parameters of the RSP and CGH.

RSP	
Number of samplings	65,536 × 65,536
Number of RS points	128 × 128
Number of samplings in each RS point	512 × 512
Intervals of RS points [mm]	0.51 × 0.51
CGH	
Number of pixels	65,536 × 131,072
Pixel pitches [μm]	1.0 × 0.5
Design wavelength [nm]	635, 517, 443

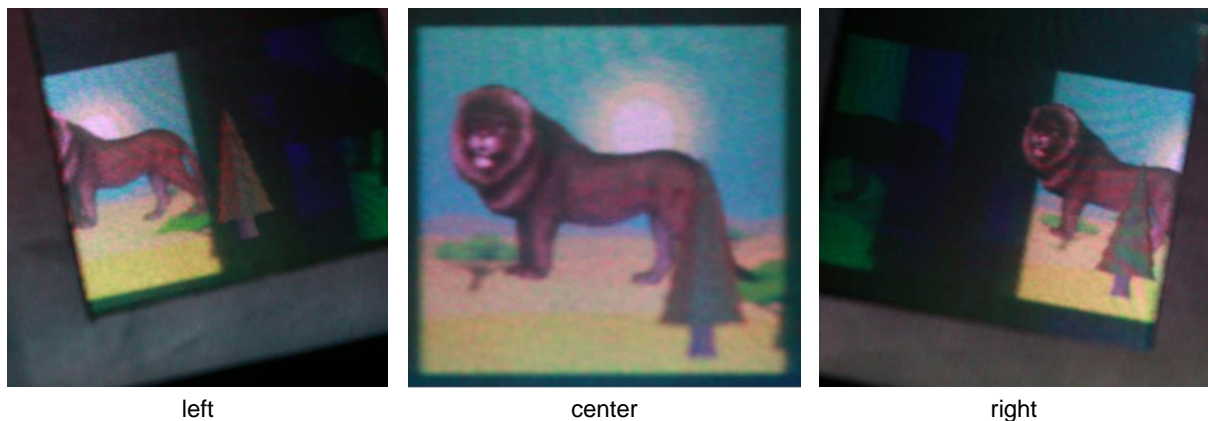


Fig.7 Optical reconstruction of the fabricated FPHD-CGH