

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

Hybrid Technique of Polygon-Based and Ray-Sampling-Plane-Based Methods in Full-Parallax High-Definition Computer Holography

桂諒介

松島恭治

Ryosuke Katsura

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 full-parallax high-definition computer-generated holograms (FPHD-CGH) is demonstrated to verify a proposed calculation technique. The technique is a hybrid between significantly different two types of techniques, i.e., physical simulation of light and multi-viewport images (MVI). The former technique, such as the polygon-based method, features reconstruction of very deep 3D scenes and objects, but advanced rendering techniques have not been established unlike computer graphics (CG). On the other hand, in MVI-based techniques such as the ray-sampling plane (RSP), state-of-the-art rendering techniques can be directly applied for CGH calculation when the MVI is produced by CG. The proposed technique makes it possible to process complex occlusion between objects calculated by the polygon- and RSP-based methods.

Keywords: 計算機合成ホログラム, ポリゴン法, 光線サンプリング面

1. はじめに

近年、計算機の性能の向上とコンピュータホログラフィにおける計算技術の進歩により、数百億を超える画素数を有する大規模な全方向視差高解像度計算機合成ホログラム(Full-parallax high-definition CGH, FPHD-CGH)を作製できるようになった[1]。FPHD-CGHでは、奥行き知覚に関して全く矛盾が生じないため、驚くほど奥行きが深い像を再生できる。このようなFPHD-CGHの計算では、実用的な計算法としてポリゴン法[2]やシルエット法[3]など物理シミュレーションベースの手法が用いられている。これらの手法では、物体光波を物理的にシミュレートするため、深い奥行き感のある立体像を再生可能であ

るが、CGほど高度なレンダリング技術は確立されていないという問題がある。一方、多視点画像を用いる手法もFPHD-CGHの実用的な計算法であり、特に光線サンプリング面(Ray-sampling plane, RSP)を用いる手法が有望である[4]。しかし、この手法ではCGの高度なレンダリング技術を用いることができるが、深い奥行きを有する単一の物体では再生像が不鮮明になってしまう問題がある。

そこで、本研究では深い奥行き感と高いリアリティーを併せ持つ立体像を再生するため、ポリゴン法とRSPによる手法を組み合わせたハイブリッド計算法を提案する。本論文では、提案手法における計算手順やオクルージョン処理のアルゴリズム、及び提案手法により計算したCGHの光学再生像とシミュレーション再生像について報告する。

2. 提案手法の原理

ポリゴン法とRSPを併用する場合でも、ポリゴン

桂諒介

<k167063@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)

法で計算する物体と RSP により計算する物体が完全に分離されていれば, 単純にシルエット法[3]や光線波面変換法[5]を用いることでオクルージョン処理することができる. しかし, Fig.1 の 3D シーンのように, ポリゴン法で計算する物体と RSP により計算する物体が複雑に組み合わさっている場合はそのオクルージョン処理は簡単ではない. ここで, Fig.1 では, RSP により計算する部分を薄黄色で表示しており, ポリゴン法により計算する部分を灰色で表示している.

2.1. 計算手順

計算手順は Fig.2 に示すように三段階になっている. 初めに, RSP 位置でポリゴン法により計算する物体を前後に分割する. ステップ(i)では, 分割した RSP より奥側の物体の光波をポリゴン法により計算し, その光波を RSP まで伝搬する. ステップ(ii)では, RSP による手法で物体光波を計算する. このとき, 後述する光線波面変換法を改良した手法でオクルージョン処理を行う. 最後にステップ(iii)では, RSP 上で得られた光波を背景光波とし, RSP とホログラム間の物体の光波をポリゴン法で計算する. ただし, ポリゴン法で計算する物体のオクルージョン処理にはスイッチバック法を用いる[3].

2.2. オクルージョン処理

ステップ(ii)におけるオクルージョン処理では, 単に光線波面変換法による処理を行うだけではオクルージョンエラーが生じてしまう. これは, Fig.3 (a)に示すように, 既にステップ(i)で処理を終えている, RSP より奥側に存在する物体が RSP で計算する物体を遮蔽している場合があるためである. そのため, 正しくオクルージョン処理するためには, ポリゴン法で計算する物体により遮蔽される部分が反映された Fig.3(b)のようなレンダリング画像を取得する必要がある. 本研究では, このような相互オクルージョン処理することに加え, ポリゴン法で計算する物体が RSP で計算する物体を透過して見えるような 3D シーンを再生可能にするため, Fig.4 に示す方法でオクルージョン処理を行った. ここで, $u_{ij}^b[m, n]$ は光線変換後の背景光波を, $u_{ij}^f[m, n]$ は CG によるレンダリング画像を表しており, ij はセグメ

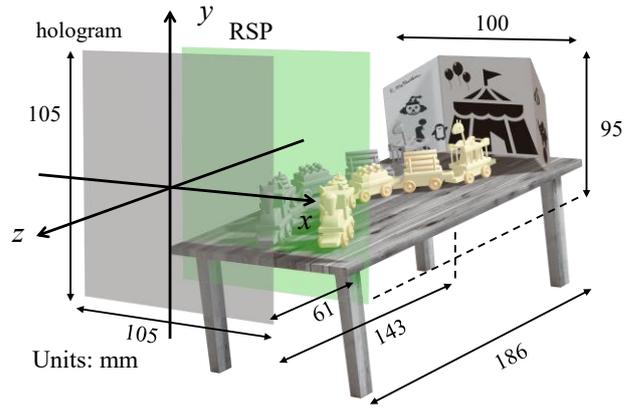


Fig.1 A complex 3D scene requiring special occlusion processing.

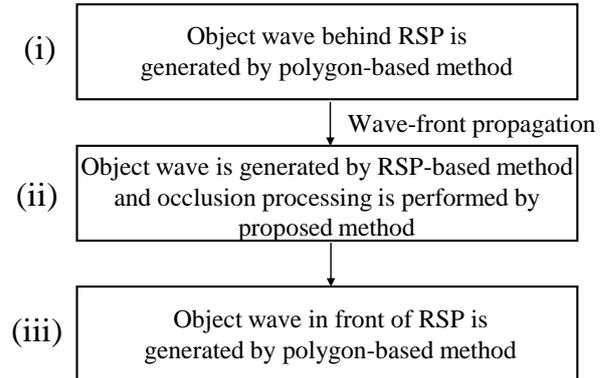


Fig.2 The process of the proposed hybrid method.

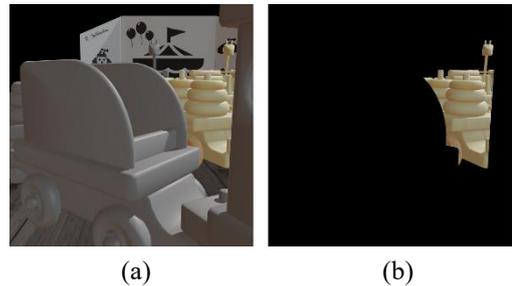


Fig.3 Examples of rendering images in a segment of the RSP.

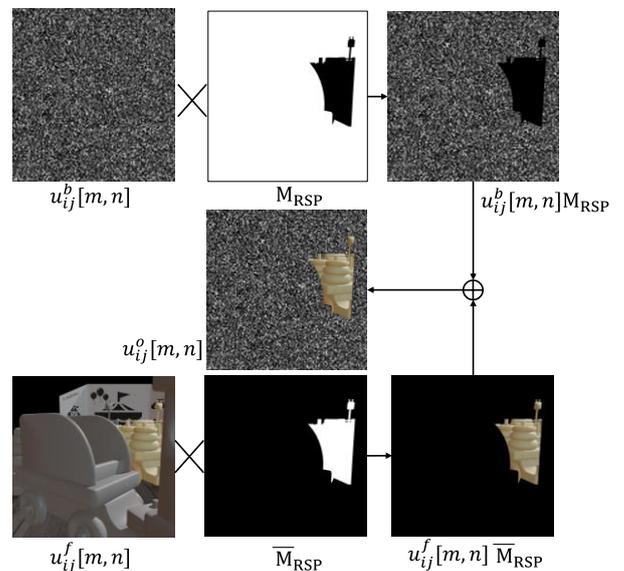


Fig.4 Occlusion processing in a segment of the RSP.

ント, m, n はセグメント内のサンプル点のインデックスである. また, M_{RSP} はRSPにより処理される物体の領域を0とした2値のマスクであり, \bar{M}_{RSP} は M_{RSP} を反転したマスクである. したがって, RSP上の光線情報は以下のように表される.

$$u_{ij}^o[m, n] = u_{ij}^b[m, n]M_{RSP} + u_{ij}^f[m, n]\bar{M}_{RSP} \quad (1)$$

このような処理を行うことで, ポリゴン法とRSPを併用した場合にも適切にオクルージョンを処理することができる.

2.3. フルカラーCGHの計算方法

CGを用いて多視点画像を生成する場合, レンダリング時の画角を設定する必要がある. この画角を一定とし, RSPを用いてRGBに相当する3波長で物体光波を計算してカラーシミュレーション再生[6]した結果をFig.5(a)に示す. これからわかる通り, 大きな色ずれが生じている. そこで, 本研究では画角 θ_{fov} を以下のように最大回折角から決定した.

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

ここで, λ は設計波長であり, Δp は物体光波のサンプリング間隔である. (2)式に従い, 635 [nm], 517 [nm], 443 [nm]の3波長で異なった画角でレンダリングした3枚の画像を用意し, 計算する色に応じて使用する画像を切り替えた場合の結果を(b)に示す. (a)では確認される色ずれが, (b)では確認されない. したがって, RSPを用いてフルカラーCGHを作製するためには, 波長ごとに異なった画角でレンダリングした画像を用いる必要があることがわかる. しかし, これではモノクロCGHに対してレンダリング時間がおよそ3倍となってしまう. そこで本研究では, Fig.6に示すように, 画角が最大となる赤の波長の画角を

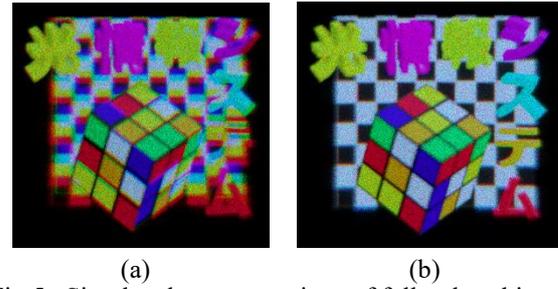


Fig.5 Simulated reconstructions of full-color object fields.

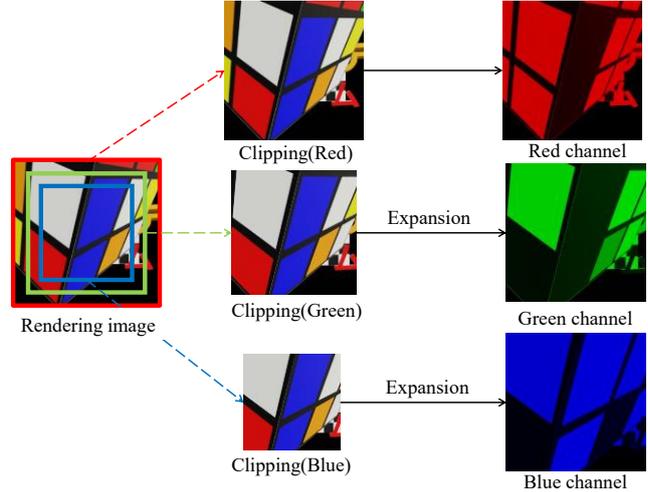


Fig.6 Color rendering images produced by trimming.

設定して多視点画像を生成した. 緑と青の物体光波を計算する際には, この多視点画像からそれぞれの画角に応じた範囲をトリミングし, 補間により拡大した画像を使用した. これにより, 単一波長の場合と同じレンダリング時間でフルカラーCGHを計算することができる.

3. CGHの光学再生及びシミュレーション再生

3.1 CGHの光学再生

提案手法を用いて作製した10.4 cm × 10.4 cmサイズのモノクロFPHD-CGHの光学再生像をFig.7に示す. また, そのパラメータをTable 1に示す. このCGHの3DシーンはFig.1に示したものであり, ポリゴン法で計算する物体とRSPを用いて計算する



Fig.7 Optical reconstruction of the FPHD-CGH created using the proposed technique.

物体の間には相互に遮蔽関係が存在するが、オクルージョンエラーがない自然に融合した像が再生されていることを確認できる。

3.2 カラー物体光波のシミュレーション再生

提案手法を用いて、3波長の物体光波の計算を行った。その3DシーンをFig.8に示し、パラメータをTable 2に示す。ここでは、2.3節で述べた手法を用い、ワイングラスとそれを透過する光のみを、ホログラムの背面143 [mm]の位置に配置したRSPを用いて計算している。Fig.8に示す物体光波のシミュレーション再生像では、ポリゴン法で計算した深い奥行きを持つ物体と、RSPで計算した光の透過/屈折を表現しているワイングラスが自然に融合した像が再生されていることを確認でき、同じ3DシーンをBlenderでレンダリングしたFig.9のCG画像と一致した再生結果となっている。

4. まとめ

ポリゴン法とRSPを併用するCGH計算手法を考案し、実際に全方向視差CGHを作製し、光学再生像で自然なオクルージョンを表現できていることを確認した。また、シミュレーション再生により、提案手法を用いることで深い奥行き感と高いリアリティーを併せ持つフルカラーCGHを作製可能であることを確認した。

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: *Introduction to Computer Holography*, Sect. 1.3 (Springer, 2020).
- [2] K. Matsushima: "Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture," *Appl. Opt.* **44**, 4607-4614(2005).
- [3] K. Matsushima, M. Nakamura, and S. Nakahara:

Table 1 Parameters used for calculating the RS plane and CGH.

RSP	
Number of samplings	131,072 × 131,072
Number of RS points	256 × 256
Number of samplings in each RS point	512 × 512
Intervals of RS points	0.5 mm × 0.5 mm
CGH	
Number of pixels	131,072 × 262,144
Pixel pitches	0.8 μm × 0.4 μm
Design wavelength	630 nm

"Silhouette method for hidden surface removal in computer holography and its acceleration using the switch-back technique," *Opt. Express* **22**, 24450-24465(2014).

- [4] K. Wakunami, and M. Yamaguchi: "Calculation for computer generated hologram using ray-sampling plane," *Opt. Express* **19**, 9086-9101 (2015).
- [5] K. Wakunami, H. Yamashita, and M. Yamaguchi: "Occlusion culling for computer generated hologram based on ray-wavefront conversion," *Opt. Express* **21**, 21811-21822 (2013).
- [6] K. Matsushima: *Introduction to Computer Holography*, Sect. 13.5 (Springer, 2020).

Table 2 Parameters used for calculating the RS plane and Object field.

RSP	
Number of samplings	131,072 × 131,072
Number of RS points	256 × 256
Number of samplings in each RS point	512 × 512
Intervals of RS points	0.5 mm × 0.5 mm
Object field	
Number of samplings	131,072 × 262,144
Sampling intervals	0.8 μm × 0.4 μm
Design wavelength	635 nm, 540 nm, 460 nm

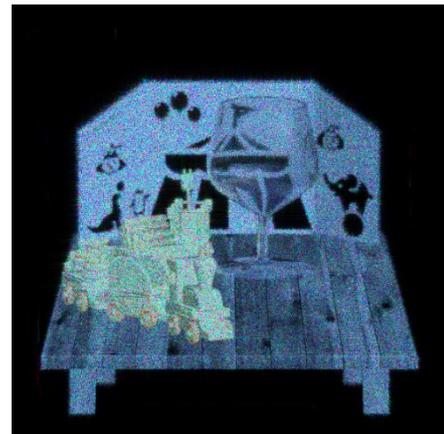


Fig.8 Simulated reconstruction of the full-color object field calculated using the proposed technique.

Hologram

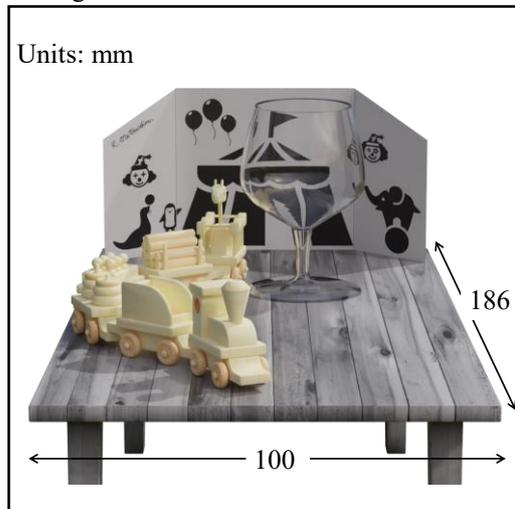


Fig.9 The 3D scene used for the full-color simulation.