

# スパースな 3D シーンを有する超高解像度 CGH における隠面消去の高速化

## Acceleration of hidden surface removal in high-resolution CGH created for sparse 3D scenes

中村将樹<sup>1</sup>                      松島恭治<sup>1</sup>                      中原住雄<sup>2</sup>  
Masaki Nakamura<sup>1</sup>              Kyoji Matsushima<sup>1</sup>              Sumio Nakahara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

<sup>2</sup> 関西大学 システム理工学部 機械工学科

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Kansai University

### ABSTRACT

A method for accelerating hidden surface removal is proposed in full parallax CGHs with sparse 3D scenes. The method based on the conventional silhouette method is derived from Babinet's principle and uses partial wave field propagation for the acceleration. The conventional silhouette method is much time-consuming in creation of high-definition CGHs, because the whole wave field that cannot be stored in the memory of a computer must be propagated many times. The proposed method eliminates propagation of the whole wave field and uses only propagation of partial wave fields. Therefore, the method computes the object field fast especially in sparse 3D scenes composed of many small objects. A new polygon-based high-definition CGH computed by the proposed method is demonstrated.

Keywords: 計算機合成プログラム, 部分光波伝搬, シルエット法, Babinet の原理, 隠面消去

### 1. はじめに

計算機合成プログラム (以下 CGH) における代表的な光波数値合成法は点光源法とポリゴン法[1]があげられる。点光源法は実装が容易である反面, 全方向視差 CGH での隠面消去が難しい。一方, ポリゴン法はシルエット法[2]などの波動光学的隠面消去法とマッチングがよく, 全方向視差での隠面消去を比較的容易に行える。しかし複数の物体が存在す

るシーンにおいてシルエット法を用いた場合, 物体の個数だけ伝搬計算を繰り返す必要があるため計算時間が長くなる問題点がある。特にギガピクセル規模の超高解像度 CGH では伝搬計算の分割が不可欠であるため[3], 多数の物体があるシーンの計算時間は非常に長時間になる。そこで著者らは影伝搬法[4]と同様の Babinet の原理と部分光波伝搬を用いることで, 多数の小型物体が存在するようなスパースな 3D シーンを有する超高解像度 CGH においてシルエット法を高速に処理する方法を既に提案している[5, 6]。本発表では, この手法を一般化したアルゴリズムとして提示し, シフト角スペクトル法[7]による伝搬計算を用いて作成した 80 億ピクセル規模の超

---

中村将樹

nakamura@laser.ee.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

〒565-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

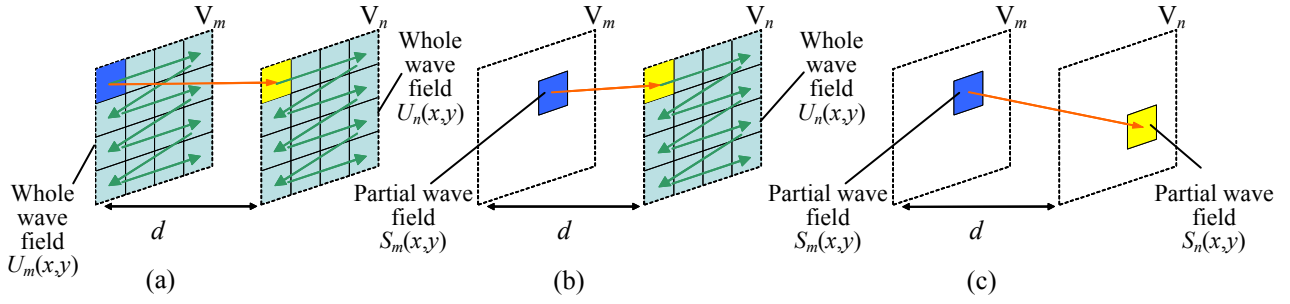


Fig. 1 Three types of numerical propagation in segmented wave fields.

高解像度 CGH について報告する。

## 2. 部分光波の伝搬計算とその計算量

超高解像度 CGH では、非常に大きなサンプリング数を有し全体をメモリにロードできないような光波を分割して扱う[3]. 仮想平面  $V_m$  上のこのような光波を距離  $d$  離れた  $V_n$  上へ伝搬計算するとき、Fig. 1 に示す 3 種の伝搬計算が考えられる. (a)は  $V_m$  上の全光波分布  $U_m$  を  $V_n$  上に伝搬計算し全光波分布  $U_n$  を求める場合であり、

$$U_n(x, y) = F_d \{U_m(x, y)\} \quad (1)$$

と表記する. また、(b)は  $V_m$  上の部分光波分布  $S_m$  を  $V_n$  上に伝搬計算して全光波分布  $U_n$  を求める場合であり、

$$U_n(x, y) = W_d \{S_m(x, y)\} \quad (2)$$

と表記する. さらに(c)は部分光波分布  $S_m$  から  $V_n$  上の部分光波分布  $S_n$  を求める伝搬計算であり、

$$S_n(x, y) = P_d \{S_m(x, y)\} \quad (3)$$

と表記することにする.

いまホログラムが  $M$  セグメントに分割されているとする. 部分光波のサイズは後述のシルエット遮蔽のために物体断面よりも小さくはできないため、このうちの  $L$  セグメント分の大きさが必要であるとすると、(a)の場合に行われるセグメント単位の伝搬計算回数は  $M^2$  回、(b)の場合は  $ML$  回、(c)の場合は  $L^2$  回と表すことができる. ここでホログラムを  $M = 16$  セグメントに分割し、部分光波としてホログラムサイズの  $1/8$  程度の大きさが必要であると仮定すると、 $L = 2$  となる. 従って、(a)は 256 回、(b)は 32 回、(c)は 4 回のセグメント単位の伝搬計算を行うことになり、(a)に比べて(b)や(c)では伝搬計算の回数が少な

く、また部分光波サイズ  $L$  が小さいほどその差が大きくなることがわかる.

## 3. シルエット法を用いた光波遮蔽

シルエット法は物体の後方から入射する光波を物体のシルエットをマスクとして遮蔽する手法である. 仮想平面  $V_m$  に後方から入射する全光波分布を  $U_m$  とすると、次の仮想平面  $V_{m+1}$  に入射する全光波分布  $U_{m+1}(x, y)$ は、物体自体の光波  $D(x, y)$ を用いて

$$U_{m+1}(x, y) = F_d \{M(x, y)U_m(x, y) + D(x, y)\} \quad (4)$$

と表せる. ここで  $M(x, y)$ は  $V_m$  上のマスクである. 通常シルエット法では、ホログラムサイズに対して  $D(x, y)$ や  $M(x, y)$ の範囲がどれほど小さくても、(4)式の光波全体の伝搬計算をホログラム面まで繰り返

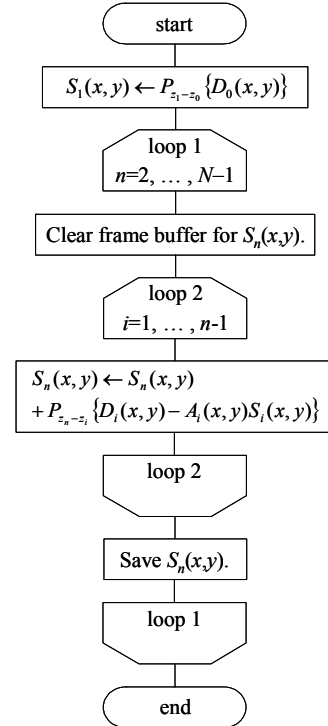


Fig. 2 The flow chart of the procedure for the proposed method.

す必要があり、小型の物体が多数存在するシーンにおいては非常に効率が悪い。

#### 4. Babinet の原理と部分光波伝搬を用いた隠面消去法による光波数値合成とそのフローチャート

Babinet の原理に基づく解析により、仮想平面  $V_0, \dots, V_{N-1}$  と交差して物体が  $N$  個存在するシーンにおいてホログラムに入射する全光波分布は

$$U_N(x,y) = \sum_{n=0}^{N-1} W_{z_N-z_n} \{D_n(x,y) - A_n(x,y)S_n(x,y)\} \quad (5)$$

で与えられる[5, 6]. ここで、 $D_0, \dots, D_{N-1}$  は各物体の光波、 $A_1, \dots, A_{N-1}$  はシルエットマスクを反転した開口である。なお  $A_0=0$  である。また  $S_n$  は平面  $V_n$  において物体を含む領域に入射する部分光波であり、以下の漸化式で与えられる。

$$S_n(x,y) = \sum_{i=0}^{n-1} P_{z_n-z_i} \{D_i(x,y) - A_i(x,y)S_i(x,y)\} \quad (6)$$

この式を用いて、実際に部分光波  $S_1, \dots, S_N$  を計算する手順のフローチャートを Fig. 2 に示す。得られた部分光波から式(5)によりホログラム面での物体光波全体が求まる。

この計算法の大きな利点は Fig. 1 (b)や(c)で示した部分光波の伝搬計算のみで物体光波が数値合成できることである。そのため、この手法は複数の小型物体が存在するシーンの計算において有効である。

#### 5. ホログラムの計算

本手法の検証のために、5 個の物体からなるシー

Table 1 Parameters used for creation of “Aqua1” CGH.

Number of pixels	32,768 × 32,768
Pixel pitches	1.0 μm × 1.0 μm
Number of Segments	4 × 4
Reconstruction wavelength	632.8 nm
CPU	AMD Opteron850 (2.4 GHz)
Number of CPUs	4
Memory	16 GB

ンを有する 10 億ピクセル程度の中規模 CGH である “Aqua1” の計算と作製を行った[4]. Aqua1 のパラメータを Table 1 に示す。この CGH の計算において従来法を用いた場合、セグメント単位での伝搬計算は 1280 回必要であるのに対し、提案法を用いた場合は 300 回で済み、従来法の約 1/4 の伝搬計算で計算できる。実際に計算時間を測定したところ、従来法で約 28 時間であったのに対して、提案法では約 6.5 時間となり、予想どおり約 1/4 の時間で計算できることがわかった。そこで次に、80 億ピクセル規模の本格的な超高解像度 CGH として “Aqua2” を作成した。Aqua2 の 3D シーンを Fig. 2 に、パラメータを Table 2 に示す。同様にセグメント単位での伝搬計算の回数を考えると、従来法が 640 回、提案法が 199 回であり、提案法の計算時間が約 35.5 時間であったことから従来法では約 102 時間が必要と推定される。

これらのセグメント単位計算回数の比較を Fig.3 にまとめる。Aqua1 は Aqua2 に比べ、ホログラムを

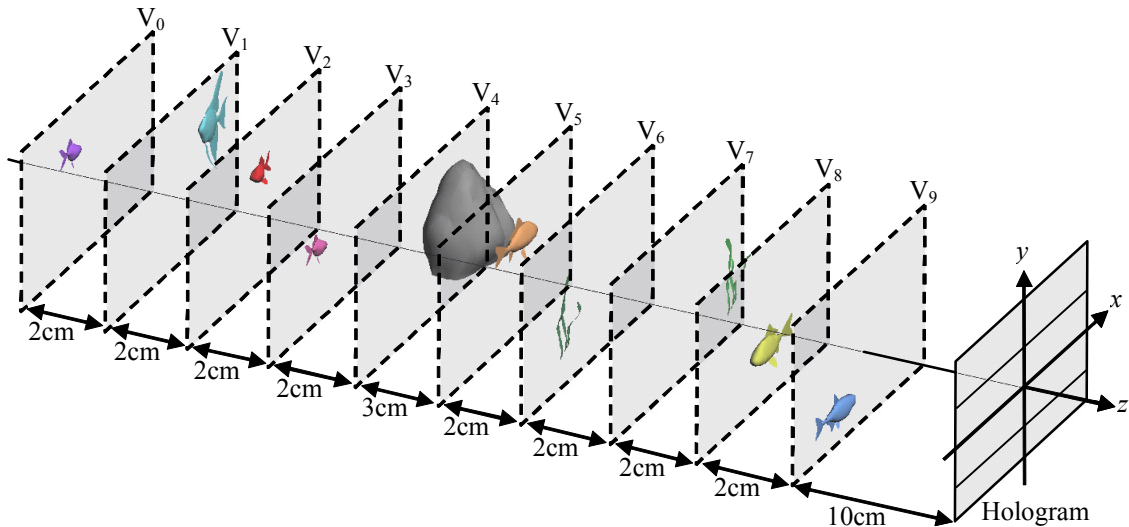


Fig. 2 The 3D scene of “Aqua2” CGH.

Table 2 Parameters used for creation of “Aqua2” CGH.

Number of pixels	131,072 × 65,536
Pixel pitches	0.8 μm × 1.0 μm
Number of Segments	2 × 4
Reconstruction wavelength	632.8 nm
CPU	Xeon E7330 (2.4 GHz)
Number of CPUs	16
Memory	96 GB

より細かく分割して計算しているため、伝搬計算回数は Aqua1 の方が多くなっている。しかし、Aqua2 の方が一つのセグメントが大きく計算時間が長いいため、総計算時間は Aqua2 の方が長い。

また、この結果より、Aqua2 では提案法による時間の短縮は約 1/3 であり、Aqua1 に比べて提案法の有効性が多少下がっていることがわかる。これは Aqua2 のシーンに存在する物体のホログラムに対する相対的なサイズが、Aqua1 に比べて大きいためである。このことから、本手法は配置されている物体がホログラムサイズに対して相対的に小さいほど有効であることがわかる。

## 6. ホログラムの光学再生像とまとめ

製作した Aqua2 の光学再生像を Fig. 4 に示す。この結果より、様々な視点からの観察において正しくオクルージョンが生じていることを確認でき、本手法を用いた光波数値合成が正しいことが検証できた。この CGH では小型の物体が奥側に向かって複数存在しているため、空間の奥行きを感じやすく、強い

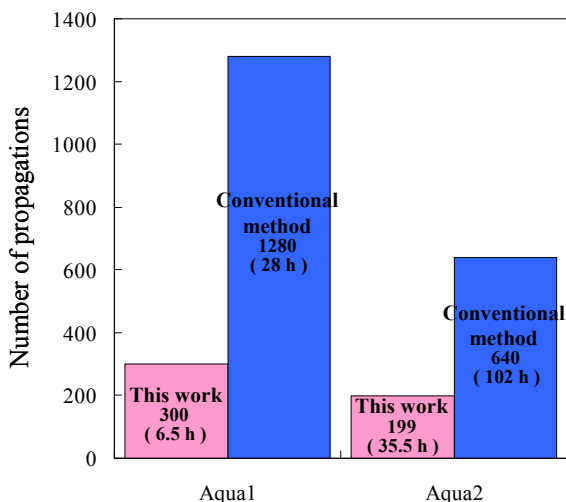


Fig. 3 Number of computations for numerical propagation of a single segment and the estimated computation time.

立体感を与えるものとなっている。

## 謝辞

本研究は日本学術振興会の科研費 (21500114) の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] K. Matsushima: Appl. Opt., **44**, 4607 (2005).
- [2] 近藤, 松島: 信学論 D-II, **J87-D-II**, 1487 (2004).
- [3] K. Matsushima, S. Nakahara: Appl. Opt., **48**, H54 (2009).
- [4] 坂本: 信学論 D-II, **J85-D-II**, 1832 (2002).
- [5] 中村, 松島: 3次元画像コンファレンス 2009 講演論文集, 109 (2009).
- [6] 中村, 松島, 中原: HODIC Circular, **29**, No. 3, 3(2009).
- [7] 松島: OPJ2009 講演予稿集, 284(2009).

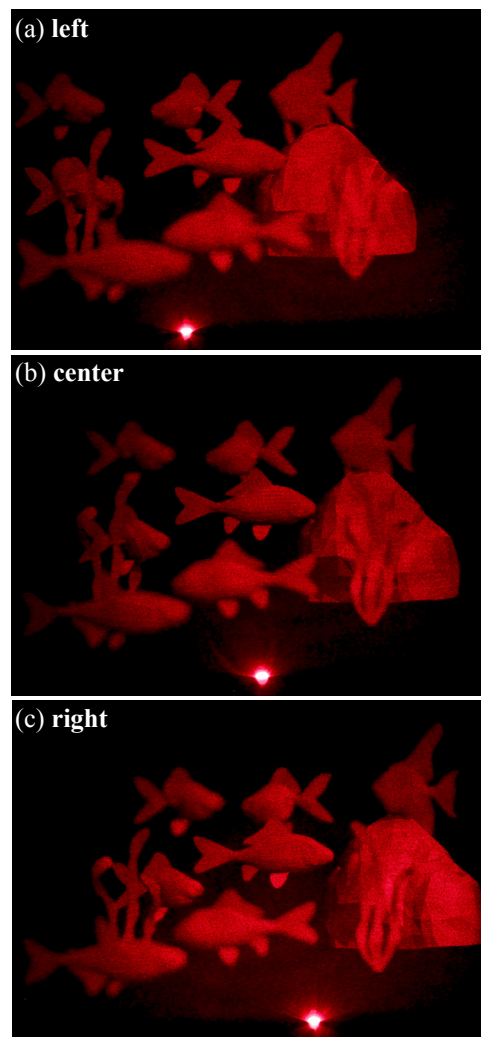


Fig. 4 Photographs of optical reconstruction of “Aqua2” CGH. Photographs (a)–(c) are taken from different viewpoints