

# ポリゴン法 CGH におけるアルファブレンディングを用いた半透明モデルのレンダリング

## Rendering of translucent models with alpha blending in polygon-based computer-generated holograms

柳谷太一

松島恭治

Taichi Yanagiya

Kyoji Matsushima

関西大学 電気電子情報工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

### ABSTRACT

Computer holography can create holograms from a model, as if computer graphics (CG) renders images from the CG model. To obtain a computer-generated hologram (CGH), whose optical reconstruction is very similar to the CG rendering, it is necessary to calculate the object field using the whole information possessed by the CG model. In this work, we attempt to create CGHs from translucent CG models by implementing alpha blending in CG to the silhouette method used for hidden surface removal in computer holography. Alpha blending in CG reflects information on transparency by processing the alpha value of objects in order of depth. This is compatible with the silhouette method that performs hidden surface removal in order of depth. Therefore, alpha blending is easy to implement in polygon-based CGHs. A method for calculating the object field of translucent CG models is proposed in this paper.

**Keywords:** CGH, ポリゴン法, シルエットマスク, 不透明度, アルファブレンディング

### 1. はじめに

近年, 物体光波を計算機上で数値的に発生して 3D 映像を再生するコンピュータホログラフィ (Computer Holography, 以下 CH) の表現力が向上し, フルカラー再生も可能になったため[1], CH によって作成された計算機合成ホログラム (Computer-Generated Hologram, 以下 CGH) が新しいデジタルアートとして一層注目されつつある. CH では, コンピュータグラフィックス(CG)用のモデリングソフトでデザインされた CG モデルからホログラムを作成することができるので, CG デザイナーやアーティストの手による CGH 作品の制作が期待されている. 特に, ポリゴン法を用いた物理シミュレーションによる物体光波の計算は, CG モデルのメッシュデータと親和性が高く[2], CG によるレンダリングと類

似した再生像を得ることが原理的に容易である[3].

しかしながら, CG モデルのレンダリング画像とよく類似した CGH の再生像を得るためには, 既存の CG モデルが有している全情報を反映した CGH の計算が必要である. しかし, CG のモデルデータは, 用いるソフトウェアによって一般に構成が異なっており, モデルの全データを反映させることは困難である. そのため, 本研究では 3DCG ソフトウェア全般で共通するマテリアルデータの基本的なパラメータに焦点を絞り, CG レンダリング結果と類似した像を再生する CGH 計算手法の開発を進めている. 本論文では特にマテリアルデータの基本的なパラメータのひとつである不透明度による半透明モデルの光波の計算について報告する.

ここで, CH における透明物のレンダリングについては, 純粋な物理シミュレーションによる手法や[4], CG のレイトレーシングと同様の処理を CH で行う手法[5], 光線サンプリング面を用いた手法[6], などの報告がある. しかし, 純粋な物理シミュレー

---

柳谷太一

<yanagiya@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  
〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35  
TEL 06-6368-1121(内線 5722)

ションや、レイトレーシングによる半物理シミュレーションの手法は計算時間が長く、現時点では、数100億ピクセル規模の高解像度CGHの作成は困難である。一方、光線サンプリング面を用いた手法は本質的にはステレオグラムを再生するため、輻射調節矛盾が完全には解消されない恐れがある。

本研究の目標は、あくまでCGのアルファブレンディングをCGHに導入することであり、本格的な透明物の計算手法を開発することではない。そのため、実用的な時間で計算が終了し、CGHの再生像がCGレンダリング画像と一致する手法の開発を目指した。

## 2. シルエット法による隠面消去法

CGHにおいてオクルージョンを正しく再生するには隠面消去が必要不可欠であるが、オクルージョン処理はCHにおいてもっとも困難な処理の一つである。全方向視差CGHにおける実用的な隠面消去法は現在のところシルエット法しかなく、ポリゴン法CGHにおいてもシルエット法を用いて隠面消去を行う。この手法では、一般にFig.1(a)に示した2値のマスクを用いて光波遮蔽を行う。このとき、シルエット部分の振幅透過率は0であり、その周辺では1である。シルエット法による隠面消去は次の漸化式で定式化されている。

$$u_{n+1}(x, y) = \mathbf{P}_{n+1, n} \{M_n(x, y)u_n(x, y) + O_n(x, y)\} \quad (1)$$

ここで $u_n(x, y)$ は0から $n-1$ 番目までのポリゴンの光波、 $\mathbf{P}_{n+1, n}$ はポリゴン $n$ を横切り、ホログラム面に平行な平面から $n+1$ 番目のポリゴンを横切る平面まで伝搬計算する演算子、また $O_n(x, y)$ はポリゴン $n$ 自体の光波、 $M_n(x, y)$ はシルエットマスクを表すバイナリ関数である。

ポリゴン単位で(1)式の漸化式を計算すると、長大な計算時間が必要となるため、実際の計算では、ポリゴン単位のシルエット法を高速化するスイッチ

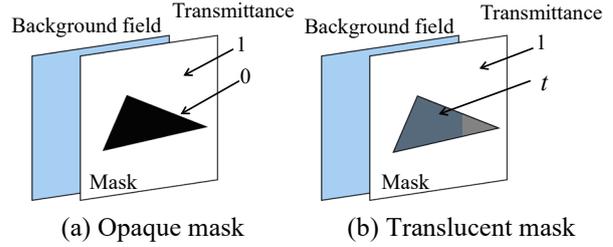


Fig.1 Light-shielding by silhouette masks.

バック法が用いられる[7]。この手法は、(1)式を変形して、シルエットマスクをシルエット開口で置き換えることにより、次の連立漸化式

$$u_{n+1}^{obj}(x, y) = u_n^{obj}(x, y) + \mathbf{P}_{obj, n} \{O_n(x, y) - A_n(x, y)u_n(x, y)\} \quad (2)$$

$$u_n(x, y) = \mathbf{P}_{n, obj} \{u_n^{obj}(x, y)\} \quad (3)$$

として定式化されている[7]。ここで $u_n^{obj}(x, y)$ は物体モデルを横切るように設置した物体平面において0から $n-1$ 番目までのポリゴンを隠面消去処理して得られた光波、 $\mathbf{P}_{obj, n}$ と $\mathbf{P}_{n, obj}$ はポリゴン $n$ を横切る平行平面から物体平面への伝搬とその逆方向の伝搬を表す演算子である。また、 $A_n(x, y)$ はシルエットマスクと相補的なバイナリ開口関数であり、

$$A_n(x, y) = 1 - M_n(x, y) \quad (4)$$

で定義される。

## 3. 不透明度を用いたシルエット法

モデルデータが有するアルファ値を反映した半透明モデルの光波を計算するためには、シルエット法のバイナリマスクの遮蔽率を調節すれば良い。すなわち、意図的に不完全な遮蔽処理をすることで背景を透過させれば良い。このときに用いるマスクはFig.1(b)に示すようにシルエット部分の振幅透過率を $t$ としたものである。ある光波 $g(x, y, z)$ がこのマスクを通過すると通過後の光波は $tg(x, y, z)$ となり、その強度分布は $t^2|g(x, y, z)|^2$ となるため、光強度透過率 $T$ とは、

$$T = t^2 \quad (5)$$

の関係がある。アルファ値  $\alpha$  は光強度の不透過率と解釈できるため、

$$\alpha = 1 - T \quad (6)$$

となり、振幅透過率とは

$$t = \sqrt{1 - \alpha} \quad (7)$$

の関係がある。また、振幅の不透過率を

$$a = 1 - t \quad (8)$$

と定義すると、

$$a = 1 - \sqrt{1 - \alpha} \quad (9)$$

となる。これらを用いて Fig.1(b)のポリゴン  $n$  のマスク関数を表現すると  $t_n + a_n M_n(x, y)$  となるため、(1)

式は

$$u_{n+1}(x, y) = \mathbf{P}_{n+1, n} \{ [t_n + a_n M_n(x, y)] u_n(x, y) + a_n O_n(x, y) \} \quad (10)$$

となる。ここで右辺のポリゴン光波の項にも  $a_n$  が乗算されているのは CG のアルファブレンディングと同様に  $\alpha_n = 0$  のポリゴンを再生しないようにするためである。(10)式に  $M_n(x, y) = 1 - A_n(x, y)$  を代入して変形することにより [7], (2)式は

$$u_{n+1}^{obj}(x, y) = u_n^{obj}(x, y) + a_n \mathbf{P}_{obj, n} \{ O_n(x, y) - A_n(x, y) u_n(x, y) \} \quad (11)$$

となる。これらを用いることで、光波遮蔽率を不透明度によって制御した隠面消去を施すことができることから、本研究ではこの隠面消去処理をポリゴン法 CGH におけるアルファブレンディングと呼んでいる。

#### 4. アルファブレンディングの効果

ポリゴン法 CGH におけるアルファブレンディングを行った効果を CGH の再生シミュレーション [1] によって確認した。

##### 4.1. 平面モデル

平面モデルのシミュレーション結果を Fig.2 に、シミュレーションした CGH のパラメータを Table 1 に示す。ここでは、チェック模様の背景の前側の同一平面上に赤色の四角形ポリゴンを配列した CG モデルを用いた。右下の四角形では不透明度  $\alpha = 1$  であり、順に  $\alpha$  を 0.05 ずつ減少させている。チェック模様を透過しているポリゴンとそうでないポリゴンが

はっきりと確認でき、CG レンダリング画像と類似した結果が得られている。

##### 4.2. 立体モデル

Fig.3 に示す 2 種類の半透明モデルをデザインし、ポリゴン法 CGH におけるアルファブレンディングを用いてレンダリングを行った。(a)のモノクロの日

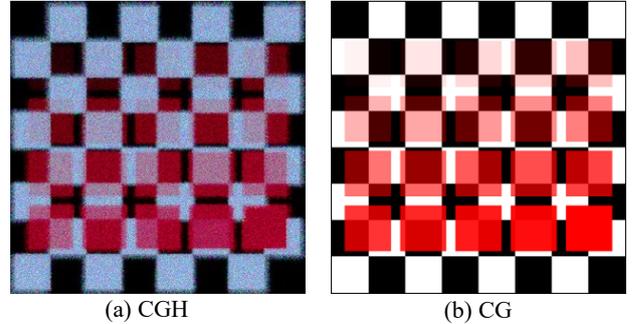


Fig.2 Comparison between simulated reconstruction of CGH and CG rendering with alpha blending.

Table 1 Parameters of the test CGH.

Number of pixels	16,384 × 16,384
Pixel pitches	0.8 μm × 0.8 μm

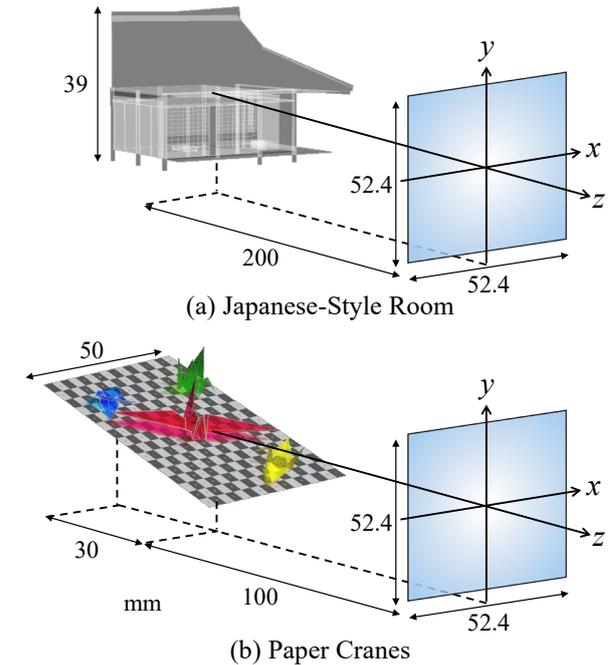


Fig.3 The 3D scene of the test CGHs.

Table 2 Parameters of the test CGHs.

Number of pixels	65,536 × 65,536
Pixel pitches	0.8 μm × 0.8 μm
Design wavelength (R, G, B)	630, 540, 460 nm

本家屋のCGモデルでは全ポリゴンが  $\alpha = 0.3$  である。(b)はスタンドグラスでできた折り鶴であり、折り鶴

本体の赤, 緑, 青, 黄色の部分が 0.6 となっており, エッジ部分等では 1.0 である. これらの CG モデルを計算した CGH のパラメータを Table 2 に示す. ただし, (a) のモデルでは緑の波長のみを用いたモノクロ CGH としている.

Fig.4 (a) にモノクロ CGH である “Japanese-Style Room” の再生シミュレーションの結果を示す. CG モデルと比較すると, 物体の透明度合はおおよそ一致しているが, 襖の枠組みや部屋内部が判別困難なものとなってしまった. これは, モデルの家屋の構造が複雑で, 半透明で家屋の奥の構造が折り重なった結果コントラストが低下し, そもそもこのサイズの CGH では再生困難な複雑で低コントラストなテクスチャを有する CGH となってしまったためと考えられる.

Fig.3 (b) の “Paper Cranes” モデルの再生シミュレーションと CG レンダリングの結果を Fig.4 (b) に示す. CG レンダリングと比較すると, 赤色の折り鶴の羽根の部分が背景のチェック模様やチェック模様に乗っている影を透過していることが確認でき, CG レンダリングとよく類似した結果となっている. なお, この CGH では, 折り鶴の影は背景のチェック模様には焼きこまれ, 床のテクスチャとして表現されている. 不透明なエッジ部分では背景のチェック模様を透過していないことが確認できた. 一方, 背中部分は半透明ポリゴンが入り組んでおり, 静止画シミュレーションでは前節と同様に半透明ポリゴンの前後関係が判別困難であった.

## 5. まとめ

ポリゴン単位シルエット法において, CG モデル

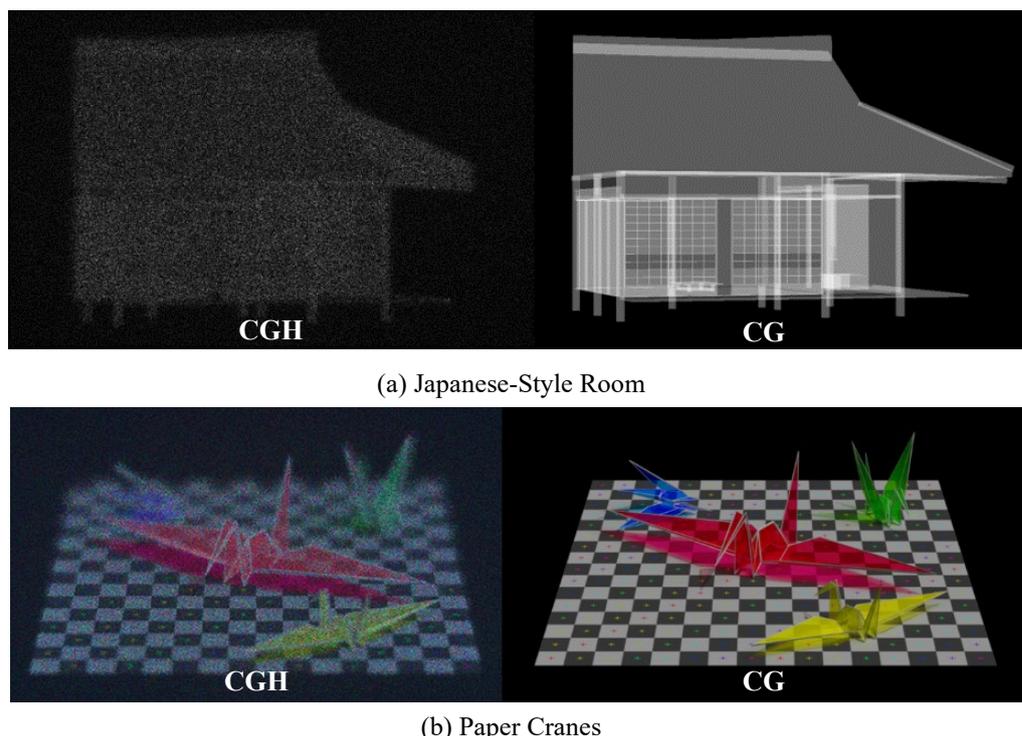


Fig.4 Comparison between simulated reconstruction of CGHs and CG rendering in translucent CG models.

データが有する不透明度を用いたアルファブレンディングを行った. 複雑な形状の半透明モデルの微細なメッシュや半透明ポリゴンが入り組む部分はシミュレーション再生像では確認が困難であったが, 単純な形状のモデルでは, CG レンダリング画像と類似した CGH 再生像が得られることを確認した.

今後の課題として, 半透明モデルのアルファブレンディングを適切に処理するために, ある視線に沿ったアルファブレンディングの回数とその影響について調べる必要がある.

## 6. 謝辞

本研究は, 日本学術振興会科研費 18H03349 の助成を受けたものである.

### 参考文献

- [1] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima: Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, *Opt. Express* **25**, 2016-2030 (2017).
- [2] K. Matsushima: Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture, *Appl. Opt.* **44**, 4607-4614(2005).
- [3] K. Matsushima, H. Nishi, S. Nakahara: Simple wave-field rendering for photo-realistic reconstruction in polygon-based high-definition computer holography, *J. Electron. Imaging* **21**,

023002(2012).

- [4] H. Nishi, K. Matsushima: Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography, *Appl. Opt.* **56**, F37-F44 (2017).
- [5] T. Ichikawa, K. Yamaguchi, and Y. Sakamoto: Realistic expression for full-parallax computer-generated holograms with the ray-tracing method, *Appl. Opt.* **52**, 201–209(2013).
- [6] K. Wakunami and M. Yamaguchi: Calculation for computer generated hologram using ray-sampling plane, *Opt. Express* **19**, 9086-9101 (2011).
- [7] K. Matsushima, M. Nakamura and S. Nakahara: Silhouette method for hidden surface removal in computer holography and its acceleration using the switch-back technique, *Opt. Express* **22**, 24450-24465(2014).