

CG のマテリアルデータを反映した 高解像度 CGH 計算システム

Large-scale CGH calculation system reflecting CG material data

柳谷太一 魏喬 松島恭治
Taichi Yanagiya Wei Qiao Kyoji Matsushima

関西大学 電気電子情報工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

ABSTRACT

Many large-scale computer-generated holograms (CGH) have been created for the past decade. Computer holography is expected to be a new digital art. However, it is difficult for CG designers and artists to create CGHs because programming knowledge is essential to calculate CGHs. To reduce the problem, a software system for creating CGHs, which does not require programming, is being developed. The current status of development of the system, in which specular rendering is implemented so that the created CGH, reconstructs very similar images to the CG rendering.

Keywords: CG, CGH, Material, Application software

1. はじめに

全方向視差の計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram, 以下 CGH)は深い奥行き感を有する完全な3次元映像を再生することができ、現在では1000億ピクセルを超える超高解像度CGH“Toy Train”も作製されている[1]。さらに、近年フルカラー再生も可能になったため[2]、例えば、アーティストが作成したCGモデルから作成するCGHアートも考えられ、新しいデジタルアートとして期待される。

このようにアーティストがCGH作品を手掛けるためには、まずCGモデルをデザインし、それをCGHへ変換する必要がある。正しく変換するためには、CGモデルのマテリアルがCGHの再生像に反映されることが必要不可欠であるため、アルファブレンドを実装したシェーダおよびライブラリを報告している[3]。本研究では、さらに鏡面レンダリング[4,5]を実装し、質感表現力が向上した新しいシェーダ&ラ

イブラリの開発を行った。

しかし、このシェーダやライブラリを用いてCGモデルからCGHへ変換するためにはプログラミングの知識が必要不可欠であり、その知識を持たないアーティストやクリエイターにとってCGHの作製が困難なものとなっている。そのため、プログラミングが不要なCGHの計算システムも必要であるため、並行して高解像度CGHを計算するためのGUIアプリケーションの開発を行っている。このアプリケーションは、マルチプラットフォームGUIツールキットであるQtに基づいているため、現在はWindowsベースであるが、将来的には様々なプラットフォームに展開し、より多くのアーティストやクリエイターたちにCGH作品制作に参加してもらうことができる予定である。

本研究では、開発したフロントエンドアプリと新しいライブラリを統合して、クリエイターがCGモデルをデザインするだけでCGHが計算できるシステムの開発を行った。

2. CGマテリアルデータを反映した計算システム

開発したアプリケーションはCCC(CGH Comprehensive Calculator)と名付けている。CCCのス

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)

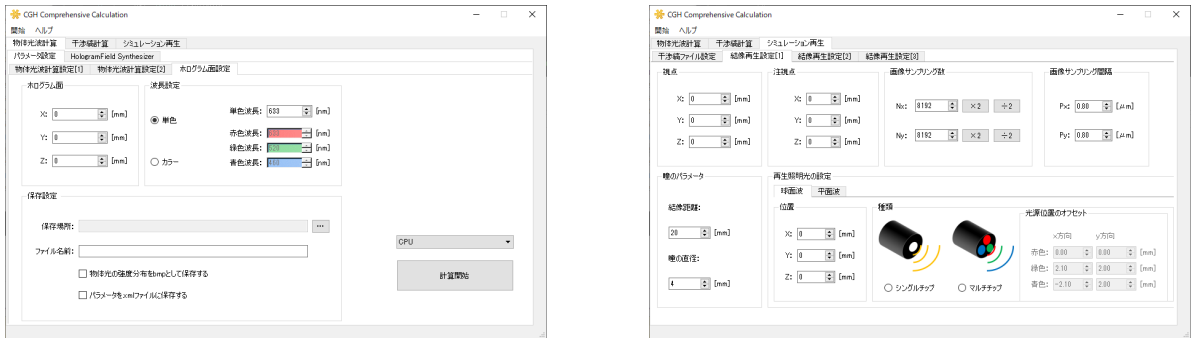


Fig. 1 Sample screenshots of the developed application software.

クリーンショットを Fig. 1 に、それを用いてデザインした CG モデルを CGH に変換する工程を Fig. 2 に示す. 本研究では, Metasequoia の MQO 形式ファイルと, 多くの CG ソフトがサポートしている OBJ 形式ファイルおよびそのマテリアルデータである MTL 形式ファイルを CG モデルデータとしている. 各形式のファイルに記されている主なマテリアルパラメータと, 開発したライブラリによるそのサポートを Table 1 に示す. なお, Table 1 に示した以外にもマテリアルパラメータは多数存在するが, 現時点ではサポートしていない.

2.1. CG モデルデータの読み込み

デザイナーは作製する CGH の 3D シーンを CG モデリングソフト上でデザインし, モデルの配置や相対的なサイズ, マテリアルなどを設定する. ホログラム面の位置は, CCC 側で自由に設定できるが, デフォルトでその中心位置は, CG モデリングソフトのグローバル座標原点と一致している. デザインされた CG モデルデータを読み込む際は, メッシュデータの数値に CCC で設定する倍率を乗じた上, その数値を mm 単位としている. なお, マテリアルデータはサポートしているパラメータのみ取得する.

2.2. 物体光波のレンダリング

CCC を用いて, ホログラムのピクセル数やピクセルピッチ, 波長などのパラメータを設定すると, 前工程で読み込んだ CG モデルのメッシュデータとマテリアルデータを用いて物体光波をレンダリングすることができる. レンダリングには, CG モデルのメッシュデータと親和性が高いポリゴン法を用いている[6].

シェーディングモデルは 2 パターン選択することができる. 「Lambert」では, 取得したマテリアルの

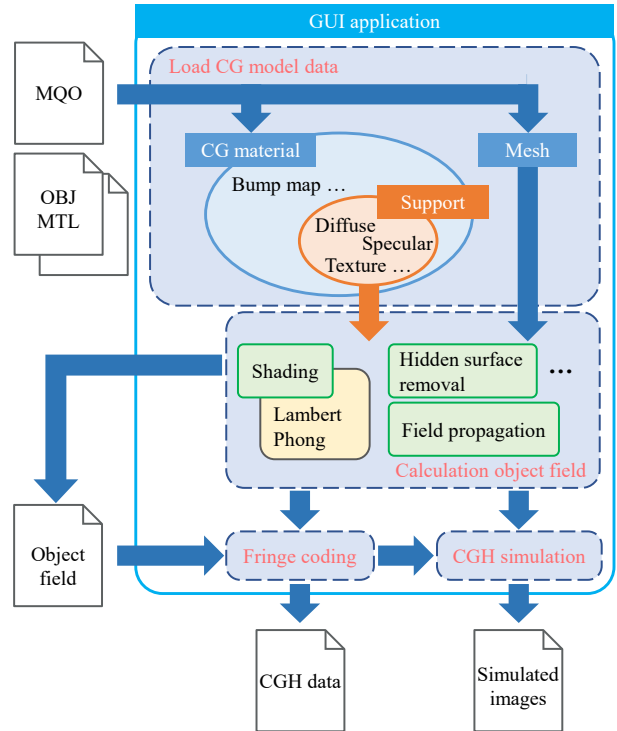


Fig. 2 Process for creating a CGH from the CG model using the application software.

Table 1 Major material parameters used in CG models.

Parameter		Explanation	Support
MQO	MTL		
col	—	RGB color	○
	d	Opacity	○
dif	Kd	Diffusive light reflectance	○
amb	Ka	Ambient light reflectance	○
emi	Ke	Emission light reflectance	○
spc	Ks	Specular light reflectance	○
power	Ns	Shininess	○
tex	map_Kd	Texture map	○
aplane	map_d	Alpha map	×
bump	map_bump	Bump map	×

パラメータを重み係数として鏡面性を無視して拡散面のランバートシェーディングを行う。「Phong」では、フォンの反射モデルに基づいて鏡面性を加味したレンダリングを行う。また、どちらもフラット面、スムーズ面に対応している。

2.3. コーディングおよび再生シミュレーション

前工程で保存された物体光波を再度読み込み、参照光を数値的に干渉させて干渉縞パターンを求めるコーディング処理や、干渉縞パターンから CGH の再生像を確認する結像再生シミュレーションを行う機能を実装している。どちらもフルカラー計算にも対応している。

3. CG マテリアルデータを反映したシェーダ

ポリゴン法では、表面関数と呼ばれる2次元分布の複素関数を用いてポリゴンからの光波の計算を行う。表面関数の振幅分布はポリゴン形状やテクスチャを表し、位相分布は光波の散乱性を表している。この表面関数の生成にマテリアルデータを反映し、光波の指向性を制御することで拡散反射や鏡面反射を再生する。

3.1. ランバートシェーダ

CGHの再生像がCGレンダリングと一致するようにシェーディングを行う必要があるため、Fig. 3に示すようにCGのマテリアルデータを重み係数として表面関数に乗算する。なお、この表面関数の振幅分布はポリゴン形状の内側で1、外側で0であり、位相分布は光波を拡散させるためランダム位相分布となっている。

各反射光成分の輝度値の計算は基本的にCGと同様の計算であるが、平方根をとることで輝度値から振幅値に変換している。この振幅値を前述した表面関数に乗算することでシェーディングが完了する。フラット面の場合は全サンプル点にこの振幅値を乗算し、スムーズ面の場合はグーローの補間法を用いて1サンプル点ごとに振幅値を計算し、乗算する。

3.2. フォンシェーダ

拡散性表面関数にフォンの反射モデルに基づいた鏡面性表面関数を加算する。鏡面性表面関数は光波の散乱性を担っている位相分布のスペクトル形状を整形することで実現できることが知られている[4,

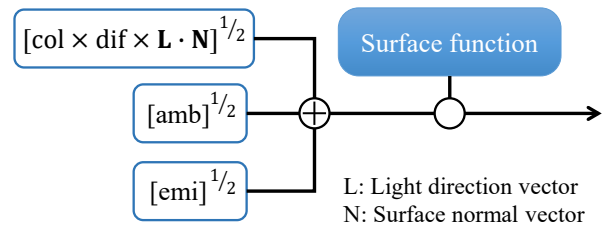


Fig. 3 Generation of diffusive surface functions using MQO parameters.

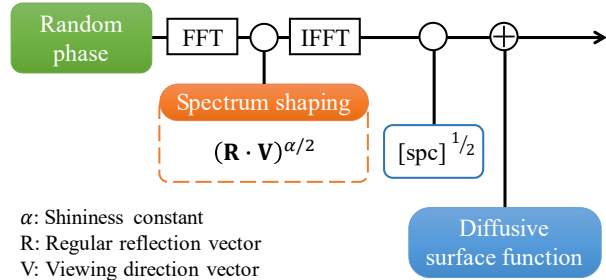


Fig. 4 Generation of specular surface functions using MQO parameters.

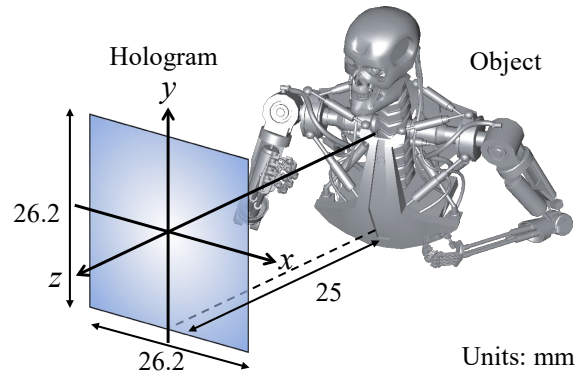


Fig. 5 The 3D scene of the test CGH.

Table 2 Parameters of the test CGH.

Hologram	
Number of pixels	32,768 × 32,768
Pixel pitches	0.8 μm × 0.8 μm
Design wavelength	630 nm
Model data (MQO)	
Number of polygons	33,136
Light direction vector	(-0.408, -0.408, -0.816)
Size (W × H × D)	25.4 × 24.5 × 22.8 mm ³
Material (MQO)	
col	(0.937, 0.965, 1.00)
dif	0.640
amb	0.600
emi	0.00
spc	1.00
power	7.00
tex	—

5]. Fig. 4 にその概要を示す. まず, 振幅値が一定で位相分布がランダムな表面関数を用意する. そして, そのスペクトルの包絡線がマテリアルデータの光沢度を反映したスペクトル形状と一致するように整形する. ただ, CGH は CG とは異なりあらゆる視線方向からの鏡面反射光を考慮する必要がある. そのため, 視線ベクトル \mathbf{V} を単位波動ベクトルで置き換え, さらに波動ベクトルの方向成分に対応する空間周波数 $u, v, w (= (\lambda^{-2} - u^2 - v^2)^{\frac{1}{2}})$ で置き換えて,

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{k}}{k} = \lambda(\mathbf{ux} + \mathbf{vy} + \mathbf{wz}) \quad (1)$$

とし, 正反射方向の反射光ベクトル \mathbf{R} を用いて,

$$I(u, v) = (\mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^{\frac{\alpha}{2}} \quad (2)$$

を光沢度 α のスペクトル形状としている. ここで \mathbf{x} , \mathbf{y} , \mathbf{z} は各軸方向の単位ベクトル, k は波数である.

スペクトル整形後, CG マテリアルデータの鏡面光反射率の平方根を重み係数として乗算し, ランバートシェーダにより生成された拡散性表面関数の振幅値が 0 でないサンプル点に加算することで鏡面性表面関数を生成する.

4. CGH の計算

実際に Metasequoia を用いて CGH の 3D シーンをデザインし, 開発したアプリケーションを用いて CGH の計算を行った. また, コーディングを行っていない物体光波のシミュレーション再生像と CG レンダリングとの比較を行った. 計算に用いた 3D シーンとパラメータをそれぞれ Fig. 5 と Table 2 に示す.

Fig. 6 に示すシミュレーション再生像では, 視点に応じて鏡面反射光成分が変化していることが確認

できる. また, その変化が CG レンダリングと一致していることから, マテリアルを反映させて CG モデルから物体光波へ正しく変換できていることが確認できる.

5. まとめ

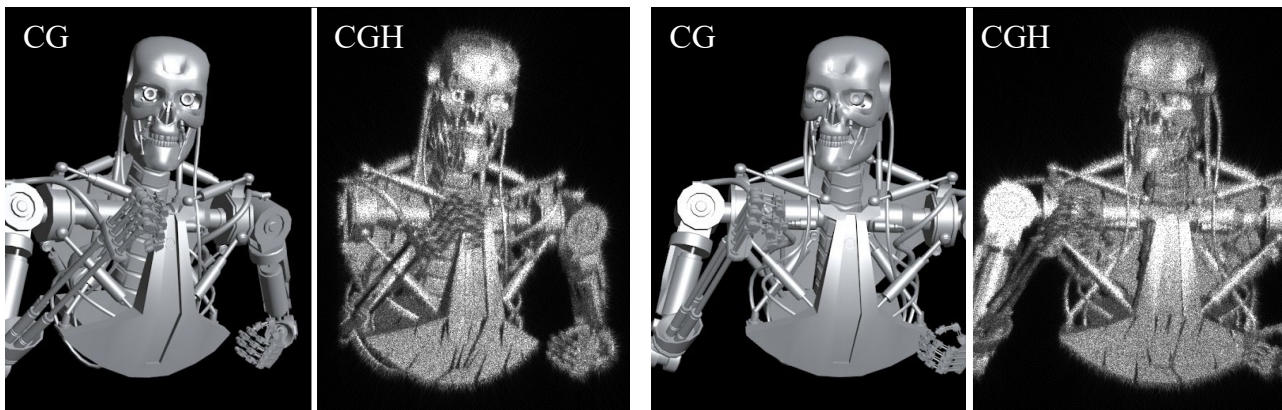
開発したライブラリやそれを用いた高解像度 CGH 計算用のアプリケーションを報告し, その計算結果を示した. 計算結果から, CG のマテリアルが CGH の再生像に正しく反映されていることが確認できた. 今後は, 様々な形式の CG モデルデータやサポートできなかったマテリアルパラメータに対応できるように改良する必要がある.

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] K. Matsushima: *Introduction to Computer holography*, Sect. 1.3 (Springer, 2020).
- [2] Y. Tsuchiyama and K. Matsushima: Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, *Opt. Express* **25**, 2016-2030 (2017).
- [3] 柳谷太一, 松島恭治: 3次元画像コンファレンス 2019 講演論文集, P-4 (2019).
- [4] H. Nishi and K. Matsushima: Rendering of specular surfaces in polygon-based computer-generated holograms, *Appl. Opt.* **50**, H245-H252 (2011).
- [5] H. Nishi and K. Matsushima: Rendering of specular curved objects in polygon-based computer holography, *Appl. Opt.* **56**, F37-F44 (2017).
- [6] K. Matsushima: Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture, *Appl. Opt.* **44**, 4607-4614(2005).



(a) View from left viewpoint.

(b) View from right viewpoint.

Fig. 6 Comparison between CG rendering and simulated reconstruction of the synthetic object field.