

フルカラーコンピュータホログラフィ用 ソフトウェアツール群の開発

松崎 昭太 小林 昂一郎 松島 恭治

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

E-mail: matsuzaki@laser.ee.kansai-u.ac.jp

あらまし フルカラー再生が可能になるなど、計算機合成ホログラム(CGH)の表現力は年々向上しており、以前にも増して新しいデジタルアートとして期待されている。しかし、CGHの計算にはプログラミングの知識が不可欠であり、それがデザイナーやアーティストによるCGH作品の作成を困難にしていた。そこで、プログラミングの知識を持たない人でもフルカラーCGHが計算できるソフトウェアツールの開発を進めている。本稿では、フルカラーCGHを作成する上で必要な三段階の工程である3波長での物体光波の計算、干渉縞のコーディング、再生シミュレーションの全てをプログラミングなしで行うアプリケーション群の開発状況を報告している。

キーワード CGH, コンピュータホログラフィ, ソフトウェアツール, コーディング, フルカラーシミュレーション

Development of software tools for full-color computer holography

Shota Matsuzaki Koichiro Kobayashi and Kyoji Matsushima

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita-shi, Osaka, 564-8680, Japan

E-mail: matsuzaki@laser.ee.kansai-u.ac.jp

Abstract New techniques for computer-generated hologram (CGH), for example full-color reconstruction, have been developed for the last few years. As a result, CGH are expected as a new digital art much more than before. However, programming skills were required to design and calculate CGHs. To ease this situation, software tools have been developed for non-expert people to calculate full-color CGHs. In this study, a series of application programs for large-scale CGHs, especially for full-color CGHs, are developed to calculate object fields, generate fringes pattern, and simulate its reconstruction without programming.

Keyword CGH, Computer holography, Software tool, Coding, Full-color simulation

1. はじめに

コンピュータホログラフィは、コンピュータ上でホログラムの干渉縞パターンを数値合成する技術であり、これによって作成されたホログラムは計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram 以下、CGH)と呼ばれる[1]。現在では100億ピクセルを超える大規模な干渉縞パターンを計算できるようになり、それによって高解像度CGHが作成されるようになった。その結果、2012年には250億ピクセルを超える“Brothers”が作成され[2]、ボストンのMITミュージアムにおいて数年に渡って展示されている。また、近年ではダイクロックミラー方式やカラーフィルタ方式などにより単一白色LED光源を用いたフルカラーCGHの再生もできるようになっている[3,4]。

仮想物体のCGHの計算は、まず物体モデルをコンピュータ上で用意し、その光波を数値合成し、次に干渉縞を生成するという手順で進む。すなわち、CGHの

作成には、「物体光波の数値合成」と、その光波から干渉縞パターンを求める「コーディング」処理、さらに、その干渉縞の描画前に計算が正しいことを検証する「再生シミュレーション」の大きく分けて三段階の工程がある。

以前は物体光波の数値合成にはプログラミングが必要であり、シーンデザインがハードコーディングされ、一般のデザイナーにはCGHの計算が困難という問題点があった。その解決策として、従来より「物体光波の数値合成」、「コーディング」そして「再生シミュレーション」の三工程を行うアプリケーションが開発されている[5-7]。しかし、これらのアプリケーションはフルカラーCGH技術が開発される前に作成されたものであり、カラーには対応していないという問題点がある。また、OSやライブラリの問題など、開発環境・実行環境も大きく変化しており、現在の環境で上手く動作しない機能があるといった問題点もある。

そこで、本研究では最新の Windows 環境で動作可能であり、フルカラーCGH を計算する上で必要な三段階の工程を行うための一連のアプリケーション群の開発を行った。本稿では、このアプリケーション群の概要と、これらを用いた計算結果を主に紹介する。

2. 開発したアプリケーション

本研究で開発したツール群を用いた CGH 作成工程を Fig.1 に示す。

2.1. 物体光波の数値合成

仮想物体から CGH を作成する際、まず初めに物体光波の数値合成を行う。これには Fig.2 に示す「HologramField Synthesizer」を用いる。このアプリケーションの原型(モノクロ版)は 2013 年に村田氏によって開発された[5-7]。これは 3D シーンを構成する素材を物体空間に配置・編集する会話型デザインツールであり、CGH 計算に必要な波長、ピクセルピッチなどのパラメータを設定することで、デザインした 3D シーンの物体光波を内蔵計算エンジンで計算することができる。また、シーンやパラメータ設定を XML ファイルで保存できる。

しかし、このツールそのものはリモートデスクトップによる共用を前提とした大容量コンピュータに対応していないため、本研究では独立した計算エンジンを開発し、会話型ツールでデザインしたシーンの XML パラメータファイルを読み込むことにより大容量コンピュータ上でのバッチ処理や、フルカラーCGH の計算も可能としている。

なお、このアプリケーションが現時点で対応している 3D モデル(ポリゴンモデル)のフォーマットはメタセコイアの mqo 形式のみである。従って、他の形式の 3D モデルを読み込む際はメタセコイアで mqo ファイルに変換し、これを素材とする必要がある。

2.2. コーディング

合成した物体光波と参照光波を数値的に干渉することで干渉縞パターンを発生する。この過程をコーディングと呼ぶ。このためのツールが Fig.3 に示す「Fringe Coder」である。このツールは HologramField Synthesizer で計算した物体光波を読み込み、コーディングに必要な参照光波の位置などの設定をすることで干渉縞を計算する。また、カラーフィルタ方式 CGH では 3 波長それぞれの干渉縞を分割して一つの干渉縞に合成する機能や、RGB 再生光源の位置オフセットを設定する機能がある。現時点では、レーザーリソグラフィ装置での振幅バイナリ干渉縞の描画を想定しているため、干渉縞強度を二値化する振幅二値化コーディングにのみ対応している。

2.3. 再生シミュレーション

干渉縞はランダムなパターンであり、実際にホログ

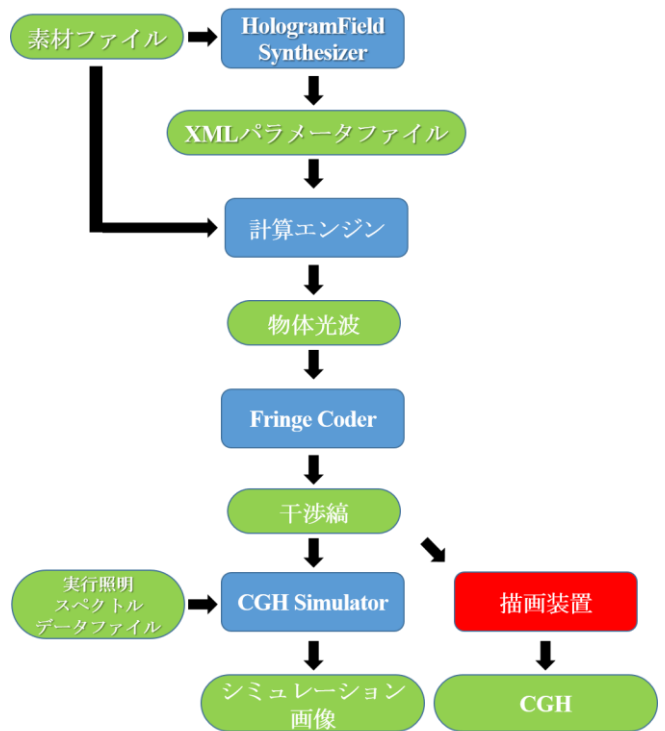


Fig.1 ツール群と CGH の作成工程

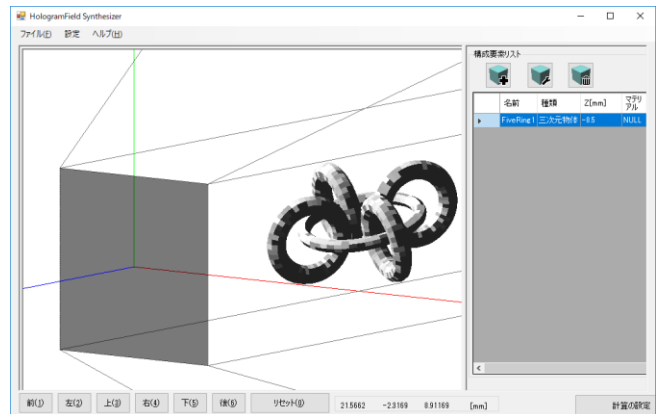


Fig.2 HologramField Synthesizer の画面イメージ



Fig.3 Fringe Coder の画面イメージ

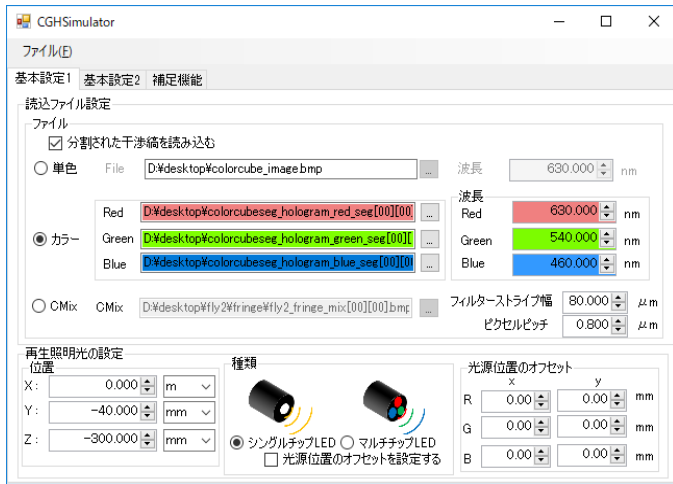


Fig.4 CGH Simulator の画面イメージ

ラムを作成して再生照明光を照射するまで何が再生されるか判断できない。また、実際に光学再生を行うと、共役像や非回折光などが思わぬ障害となり再生像が劣化することがある。干渉縞の描画には長時間を要するため、描画前の再生シミュレーションが重要となってくる。この再生シミュレーションを行うツールが Fig.4 に示す「CGH Simulator」である。このアプリケーションは、干渉縞ファイルを読み込み、再生シミュレーションに必要な瞳の位置や注視点、再生照明光の位置などのパラメータを設定することで結像再生シミュレーションを行う。視点を移動させた時のアニメーションビデオを作成するための複数シミュレーション機能も搭載している。

フルカラーCGH の簡易再生シミュレーションでは、指定した3波長の再生像をXYZ等色関数によりカラー合成する。また、再生照明光の実効照明スペクトルデータファイルを読み込むことでより厳密な再生シミュレーションも可能である。なお、ダイクロックミラーとカラーフィルタの2種類のフルカラーCGH の方式に対応している。

3. アプリケーションの実行結果

これらのツールを用いてフルカラーCGH の物体光波の数値合成から再生シミュレーションまでを行った。

3.1. 物体光波の数値合成

HologramField Synthesizerを用いて物体光波の数値合成を行った。3Dシーンと用いたパラメータをそれぞれFig.5とTable 1に示す。

3.2. コーディング

HologramField Synthesizerを用いて数値合成した物体光波をFringe Coderを用いてコーディングし、干渉縞の計算を行った。用いたパラメータをTable 2に示す。ガードギャップ幅とフィルターストライプ幅はカラーフィルタ方式の干渉縞を合成する際に用いるパラメータである [4]。

Table 1 数値合成した物体光波のパラメータ

光波のサンプリング数	65536 × 65536
光波のサンプリング間隔	0.8 μm × 0.8 μm
設計波長 (R, G, B)	630, 520, 460 nm
モデルの総ポリゴン数	2707

Table 2 コーディングで用いたパラメータ

干渉縞画素数	65536 × 65536
干渉縞画素ピッチ	0.8 μm × 0.8 μm
サイズ	5.24 × 5.24 cm ²
設計波長 (R, G, B)	630, 520, 460 nm
参照光波位置	(0.0, -40.5, -300)mm
フィルターストライプ幅	80μm
ガードギャップ幅	20μm

Table 3 シミュレーションで用いたパラメータ

結像光波のサンプリング数	8192 × 8192
結像光波のサンプリング間隔	1.0 μm × 1.0 μm
視点位置	(0.0, 0.0, 180)mm
注視点位置	(0.0, 0.0, -100)mm

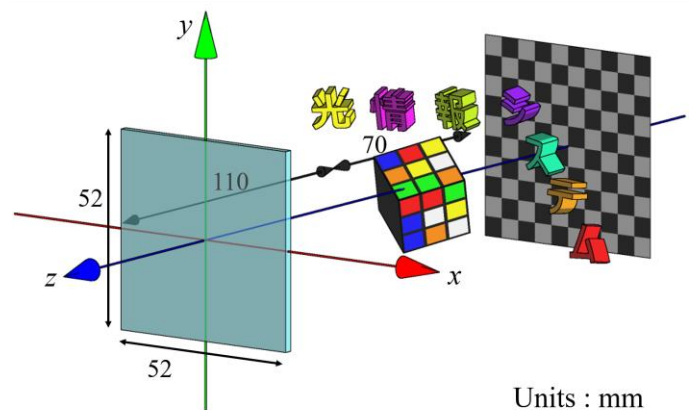


Fig.5 3D シーン

3.3. 再生シミュレーション

Fringe Coderを用いてコーディングした干渉縞をCGH Simulatorを用いて再生シミュレーションを行った。用いたパラメータをTable 3に示す。波長別のモノクロ結像再生シミュレーションで得られた強度像を等色関数を用いてカラー合成した結果をFig.6に示す。また、実効照明スペクトルデータをcsvファイルで読み込んで行ったカラーフィルタ方式の厳密な再生シミュレーション結果をFig.7に示す。

4. まとめ

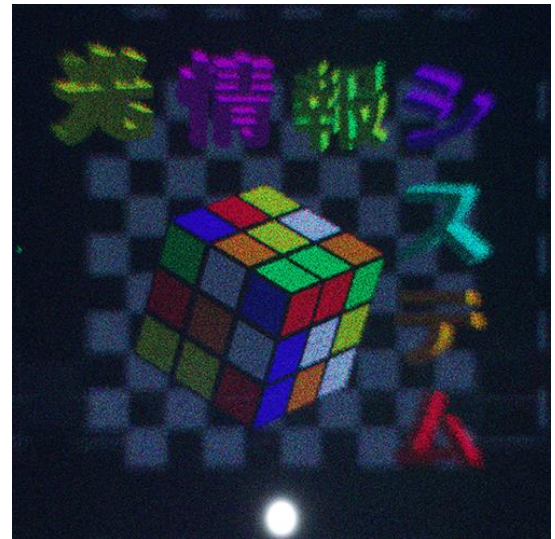
本稿では、開発している CGH 計算用のアプリケーション群の概要を紹介し、それらを実際に用いた CGH の計算結果を報告した。

5. 謝辞

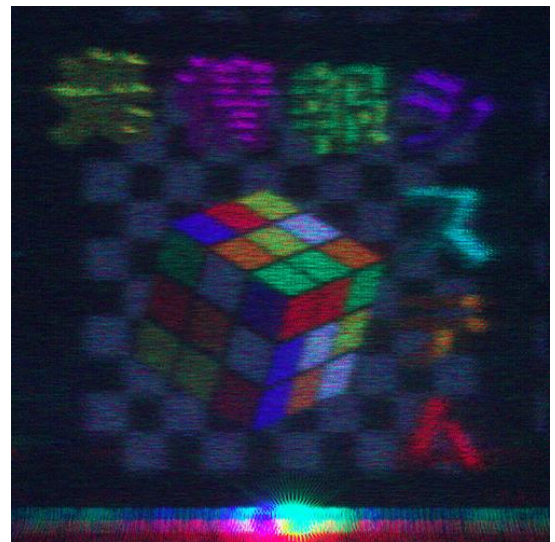
本研究は、日本学術振興会の科研費(15K00512)、および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成 25 年～平成 29 年)の助成を受けたものである

文 献

- [1] 辻中順平:“ホログラフィックディスプレイ”, p44-49(産業図書, 東京, 1990)
- [2] K. Matsushima, S. Nakahara: “Stepping closer to the perfect 3D digital image”, SPIE Newsroom (6 Nov. 2012).
- [3] T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara: “Optimization for design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-de_nition color computer holography”, SPIE Proc. **9386**, 93860N (2015).
- [4] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima: “Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters”, Opt. Express **25**, 2016-2030 (2017).
- [5] 村田峻平, 松島恭治, 中原住雄:“コンピュータホログラフィのための物体光波合成/編集ツールの開発”, Hodic Circular Vol. 32, No. 3, pp.27-30(2012).
- [6] 村田峻平, 松島恭治, 中原住雄:“コンピュータホログラフィのためのレンダリングソフトウェアツールの開発”, 3 次元画像コンファレンス 2013 講演論文集, P-8, 97-100(2013).
- [7] S. Murata, K. Matsushima, S. Nakahara: “Development of an integrated design system for computer holography”, International Workshop on Holography and Related Technologies 2013 (IWH2013), Kitami, 17a-3(2013).

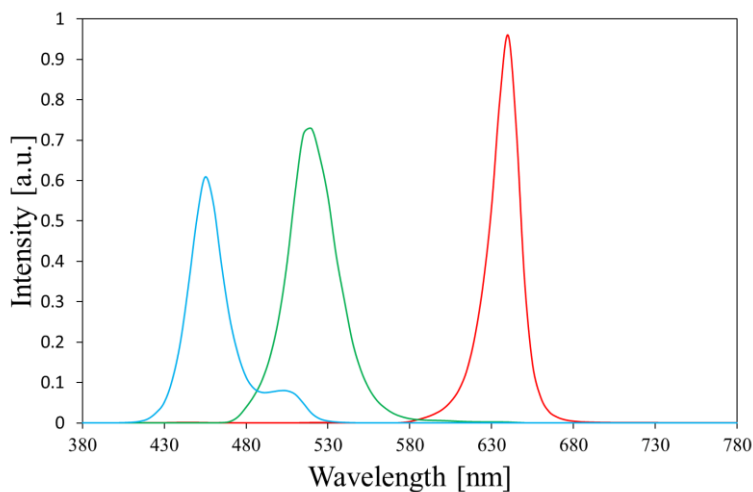


(a)ダイクロックミラー方式



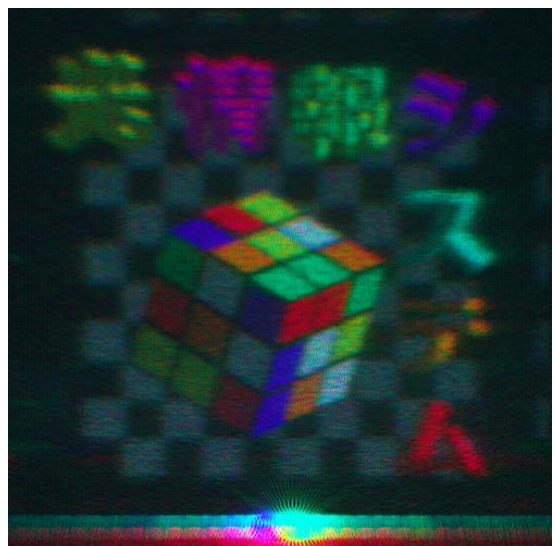
(b)カラーフィルタ方式

Fig.6 カラー再生シミュレーションの結果



(a) スペクトルデータ

Fig.7 スペクトルデータファイルを読み込んだ厳密な再生シミュレーション



(b)シミュレーション再生像