

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

村田 峻平 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 3-3-36

E-mail: murata@laser.ee.kansai-u.ac.jp, matsu@kansai-u.ac.jp

あらまし ポリゴン法やデジタイズドホログラフィにより合成あるいは取得した光波から制作される計算機合成ホログラムは新しいデジタルアートとして期待されている。しかし、この様な手法を用いてホログラムを作成するには、光学の専門知識とプログラミング技術が必要であり、本来ホログラム作品を制作するべきデザイナーやアーティストには技術的ハードルが高かった。そこで、扱い易いユーザーインターフェースを有し、XMLによるシーンパラメータの記述や用途に応じた計算エンジンなど、幅広いソフトウェア基盤を提供する物体光波合成/編集ツールの開発を行っている。そのシステム設計や現時点での開発状況を報告する。

キーワード CGH, デザインツール, 物体光波数値合成, XML

Development of software tools for scene design and numerical synthesis of object fields in computer holography

Shumpei Murata Kyoji Matsushima

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

E-mail: murata@laser.ee.kansai-u.ac.jp, matsu@kansai-u.ac.jp

Abstract Computer-generated holograms that reconstruct object fields synthesized by polygon-based method or captured by digitized holography are expected as a new digital art. However, artists or designers, who are potential creators of hologram works, are required to have deep knowledge in optics and programming skills in order to calculate the object fields of 3D scenes by using the methods. To ease this situation, we are developing software tools for scene design and numerical synthesis of object fields. The tools are easy to use for any non-expert and capable of describing the parameters of 3D scenes and object fields as a generic XML format. This system is expected to provide wide software basis in computer holography, such as computation engines for various purposes. We report the system architecture and the current state of the development.

Keyword CGH, Design tool, Numerical synthesis of object field, XML

1. はじめに

計算機合成ホログラム(CGH)を作成するためには、一般にまず数値モデルで与えられた物体モデルからの光波を計算しなければならない。我々はこの過程を物体光波数値合成と呼んでいる。高品質のホログラムでは、合成する物体光波のサンプリング数は数10億点以上になるため、従来、この合成には長い計算時間を要していた。しかし、ポリゴン法[1]により実用的な計算時間で超高解像度の全方向視差CGHの作成が行われるようになってきた[2]。近年では、金属のような光沢のある材質感を持つ鏡面性表面をレンダリングした“The Metal Venus I”[3]や、テクスチャマッピングと、スムーズシェーディングを用いた“Shion”[4]、滑らかでかつ光沢のある鏡面性曲面のレンダリング手法を用いた“The Metal Venus II”[5]などの様々なホログラムが製作されており、CGHの表現力の向上が図られている[6]。

その結果、MITミュージアムにおいて“Brothers”が展示されるまでに至っている[7, 8]。

また、レンズレス合成開口デジタルホログラフィを用いて記録した実在物体光波と、コンピュータ上で合成された仮想物体光波が同じ3Dシーン中で再生される“Bear II”も製作されている[9]。従来のアナログホログラフィとは異なり、デジタル的に記録された光波を仮想光学系で数値的に処理することで物体像の拡大や縮小編集も可能である[10]。このように、CGモデルの仮想物体だけではなく、デジタル画像や実物体の光波、多視点画像などの様々な素材を組み合わせ、光波ベースでデジタル編集して作成するホログラムを、我々はコンピュータホログラムと称している[11]。

しかしながら、このようなコンピュータホログラム作品を制作する際にベースとなるポリゴン法[1]やシルエット法[12]は、点光源法に比べ原理が複雑で実装

は容易ではない．そこでホログラフィ技術の研究推進のため，上記のような計算手法を実装したツールとして我々は WaveField Tools を公開している [13]．このツール群の中には，コンピュータホログラフィに必要な仮想物体光波の合成や伝搬計算を容易にする WFL/PSL と呼ばれる C++ クラスライブラリが含まれており，初歩的な C++ 言語の知識があれば，コンピュータプログラムを容易に計算することが可能である．

この様に，コンピュータホログラフィの計算速度や表現力の向上に伴い，従来のコンピュータグラフィックスに近い自由な表現を行うことが可能になりつつあるが，我々のような研究者はデザイン能力に乏しく，コンピュータホログラフィでアートと呼べる程の作品を制作することは困難である．そのため，コンピュータホログラフィの分野にデザイナーやアーティストの参加が待たれている．しかし，現在のツール群では，ホログラムの 3D シーンをプログラムとして記述する必要があり，プログラミング技術を持たないデザイナーやアーティストにとっては作品制作の技術的ハードルはかなり高いものがある．また 3D シーンの構成や設定をハードコーディングするため，3D シーンそのものをデータとして保存，編集することが難しいという問題もある．

そこで本研究では，デザイナーやアーティストでも容易にコンピュータホログラフィ作品を制作可能とするため，GUI アプリケーションとしてインタラクティブに 3D シーンをデザインし物体光波数値合成を行える物体光波合成/編集ツールの開発を行っている．本報告では，その全体のシステム設計や機能，現時点での開発状況を示す．

2. コンピュータホログラフィ

2.1. コンピュータホログラフィの概念

Fig.1 は我々のコンピュータホログラフィの概念である．コンピュータホログラフィでは，まず様々な素材の物体光波を計算機上で数値合成またはキャプチャする．次にそれらを配置した 3D シーン全体の光波を数値合成し，適当な参照光と数値的に干渉させること

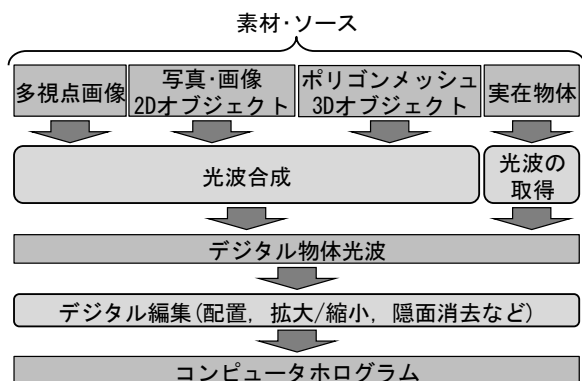


Fig.1 コンピュータホログラフィの概念

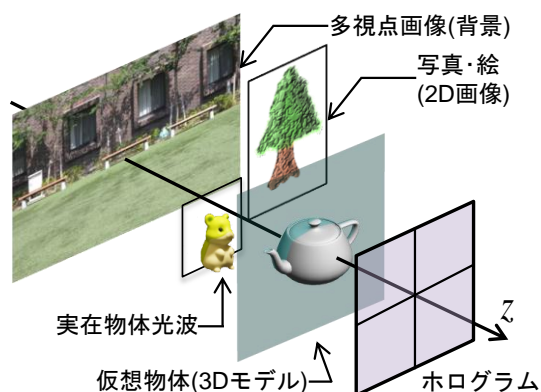


Fig.2 コンピュータホログラフィの 3D シーン例

により干渉縞パターンを発生させる．このように作成されるコンピュータホログラムは，10 億画素を超える十分なディスプレイ解像度で表示されると，古典的なホログラムに匹敵する深い奥行き感のある美しい空間像を再生することが出来る．一方，古典的なホログラムとは異なり，光波をデジタルデータとして扱うので，デジタルメディアによる蓄積や伝送が可能である．

2.2. コンピュータホログラフィの 3D シーン

Fig.2 はコンピュータホログラフィの 3D シーン例を示している．コンピュータホログラフィの 3D シーンは，ポリゴンメッシュ等の数値モデルであらわされる 3 次元物体，写真・イラスト等の 2 次元のデジタル画像，さらにはデジタルホログラフィ技術でキャプチャされた実物体光波や多視点画像などの素材から構成される．これらを 3D シーン中に配置し，光波ベースでデジタル編集することにより，仮想と実在の物体が混在するようなホログラムが作成できる．

3. 物体光波合成/編集ツール

3.1. ツールの概要

物体光波合成/編集ツールは，前節で述べたコンピュータホログラムを作成するための GUI ソフトウェアツールである．従来，Fig.1 の素材からシーンの光波を数値合成するためにはプログラミングが必要であった．物体光波合成/編集ツールは，扱い易いユーザーインターフェースを有し，3D シーンに構成する素材を配置/編集することでインタラクティブに 3D シーンをデザインし，その光波を数値合成できるソフトウェアツールである．これにより，プログラミングスキルを持ち合わせずともホログラムに関する若干の知識のみでコンピュータホログラフィの物体光波を計算できる．

また，従来は 3D シーンの構成をソースプログラム内にハードコーディングしていたため，シーンの構成データの管理が難しかった．このツールではデザインしたシーンの構成を XML 形式で保存/読込できるため，一度デザインしたシーンに物体を追加するといった編集操作が容易になる．

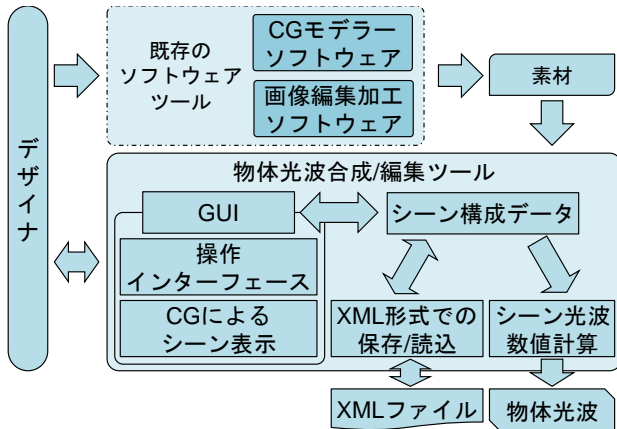


Fig.3 物体光波合成/編集ツールの構造

3.2. ツールの構造

物体光波合成/編集ツールの構造を Fig.3 に示す. ホログラムのデザイナーは, GUI の操作により素材をシーンに追加し, シーンデザインを行う. 本ツールでは, シーンの構成要素をリスト表示し, そのサイズ, 傾き, レンダリング手法等を変更することができ, 扱い易いインターフェースによりシーンデザインが行えるよう設計されている. また, デザインされたシーンを確認できるように CG によるシーンの簡易表示ができる. なお, CG モデルやデジタル画像といった素材そのものの編集は, CG モデラーやペイント/リタッチなど従来のアプリケーションで行うことを前提としている.

デザインされたシーンの光波は, ポリゴン法とシルエット法をベースとして数値合成される. また各々の構成要素間の伝搬計算はシフトド角スペクトル法 [14]によって行われる. しかし, デザイナーはこれらを意識する必要はなく, シーンデザインのみ集中できる.

また前述のとおり, シーンや光波(ホログラム)の設定データを XML 形式で保存/読込できるため, シーンデザインの中断/再開も容易であり, 一度構成したシーンを再利用可能である. また, プレーンテキストである XML ファイルがシーンに関するすべてのパラメータを保持しているため, それを閲覧したり他のソフトで利用したりすることが容易である.

3.3. シーンと光波の構成データ

本ツールで保存される構成データには, 大きく分けて, 合成される物体光波のパラメータとシーンを構成する各々の構成要素のパラメータの 2 種類がある. 出力物体光波のパラメータは, サンプリング数やサンプリングピッチ, 波長などである. シーンの構成要素については元の素材によって必要なパラメータが異なる. 例えば, 素材がポリゴンメッシュ 3 次元オブジェクトの場合は, その物体の名前や参照するファイルパス, シーン中での位置, 大きさ, 回転情報, シェーディングの設定などがパラメータとして保持されている.

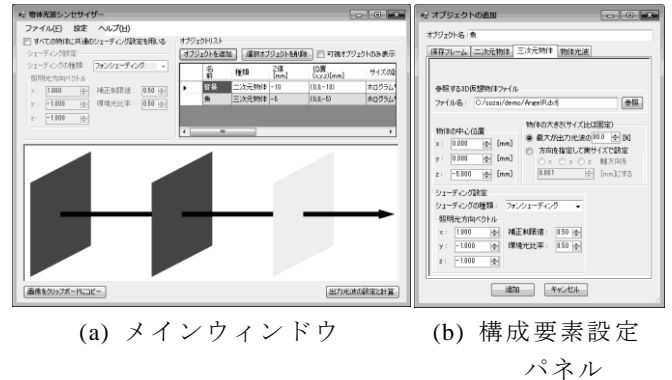


Fig.4 物体光波合成/編集ツールのプロトタイプ

4. プロトタイプの開発

4.1. 開発環境

前節で述べた機能の一部を実装したプロトタイプを作成した. プログラミング言語として C++/CLI を用い, Microsoft の .NET Framework を利用して実装している. C++/CLI は C++ を拡張した上位互換言語であり, 従来の C++ ライブラリ等が利用可能である. これを用いることにより, 実績のある C++ ライブラリである WaveField Tools の WFL/PSL を光波数値合成計算に使用することができる.

4.2. プロトタイプの実装

プロトタイプのスクリンショットを Fig.4 に示す. (a) はツールのメインウィンドウである. このウィンドウの「オブジェクトを追加」ボタンを押すことで, シーンに追加する構成要素を設定する (b) のパネルが開く. ここで, 素材ファイルの参照ファイルパスやシーンにおける位置といった, 要素の種類に応じた設定を行い「追加」ボタンを押すことで, 設定した構成要素がシーンに追加される. 追加した構成要素のパラメータ一覧はメインウィンドウの「オブジェクトリスト」で確認できる. デザインが終わったシーンの光波を数値合成するにはメインウィンドウ右下の「出力光波の設定と計算」ボタンを押し, 出力光波のパラメータを設定することで数値合成が始まる.

4.3. プロトタイプの問題点

プロトタイプではシーン構成データを保存する XML の構成が汎用の設計になっておらず, プロトタイプで実装した GUI と強く結びついているため柔軟性に欠いていた. そのため, その XML 形式のファイルは実質的にこのツールのみでの書き込み/読み込みにしか対応できず, 他で利用できないという問題があった.

そこで本研究では, 設定データの XML ファイル入出力処理をツールから切り離し, C++ ライブラリ「XML シーンデータライブラリ」を設計した. これにより, Fig.5 で示すように, 単にデザイナー向けの GUI デザインツールとしてだけでなく, 研究者独自の研究用プログラムでも利用できる総合的なコンピュータホ

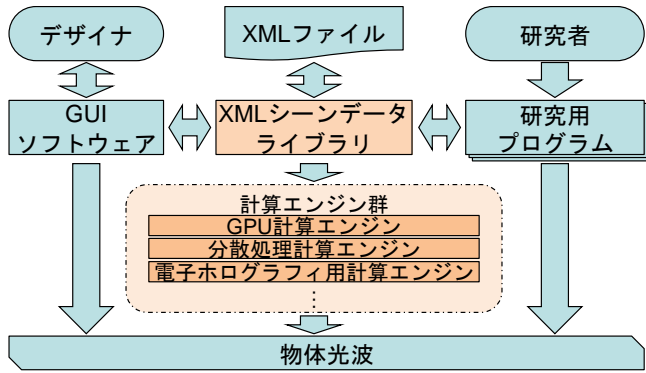


Fig.5 総合的な物体光波合成/編集システム

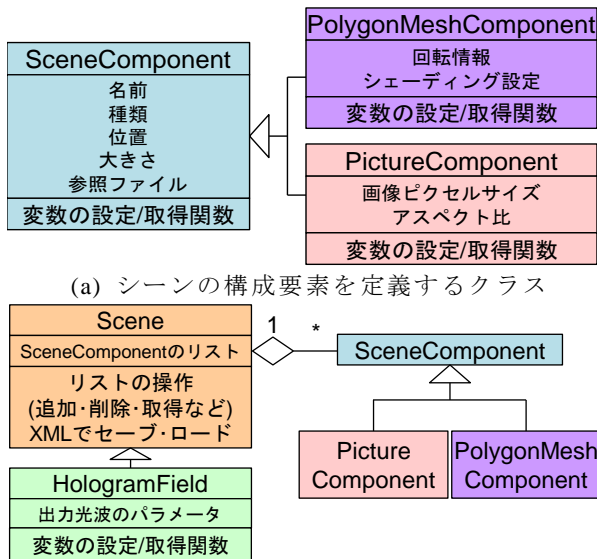
プログラム合成システムとして再設計した。これにより、例えば、設定データを読み込み、GPU や分散処理によってその光波を高速に数値合成するための計算エンジン群の開発も可能になると考えた。

5. XML シーンデータライブラリ

このライブラリでは、個々の構成要素とシーン全体のパラメータの二つを主に定義し、クラス化している。Fig.6 はそのクラス図である。(a)は構成要素のクラスであり、SceneComponent 基底クラスに構成要素の種類ごとの派生クラスがあり、これらのインスタンスを生成することで、様々な構成要素を表すことができる。一方(b)は、シーンに存在する全ての構成要素をリスト形式で保持し、それらを XML 形式で入出力できる Scene クラスと、その派生クラスとして、合成する光波のパラメータも持つ HologramField クラスを定義し、このどちらかのインスタンスを生成することでシーン構成と物体光波合成パラメータを表すことができる。

6. まとめ

本研究では、XML シーンデータライブラリをベースとし、GUI デザインツールや、研究用プログラム、光波合成計算エンジン間で、シーンデータを XML 形式



(a) シーンの構成要素を定義するクラス

(b) シーン構成を定義するクラス

Fig.6 XML シーンデータライブラリのクラス構造

で統一的にやりとりできる総合的な物体光波合成/編集システムを設計した。

今後は、まず一般のデザイナーが使いやすい GUI デザインツールの開発を進め、光波合成をより高速に計算する計算エンジンとの連携といったシステムの洗練、高効率化を行っていく予定である。

本研究は、日本学術振興会の科研費(24500133)、および平成 24 年度関西大学学術研究助成金(共同研究)の助成を受けたものである。

文 献

- [1] K. Matsushima: Computer-Generated Holograms for Three-Dimensional Surface Objects with Shade and Texture, *Appl. Opt.* **44**, 4607-4614(2005).
- [2] K. Matsushima, S. Nakahara: "Extremely High-Definition Full-Parallax Computer-Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method", *Appl. Opt.* **48**, H54-H63 (2009).
- [3] H. Nishi, K. Matsushima, S. Nakahara: "Rendering of specular surfaces in polygon-based computer-generated holograms", *Appl. Opt.* **50**, H245-H252 (2011).
- [4] K. Matsushima, H. Nishi, S. Nakahara: "Simple wave-field rendering for photorealistic reconstruction in polygon-based high-definition computer holography", *J. Electron. Imaging* **21**, 023002 (2012).
- [5] H. Nishi, K. Matsushima, S. Nakahara: "Advanced rendering techniques for producing specular smooth surfaces in polygon-based high-definition computer holography", *SPIE Proc.* **8281**, 828110 (2012).
- [6] 松島: "新しいデジタルアートとしてのコンピュータホログラフィ", *HODIC Circular*, **31**, No. 1, 2-11 (2011).
- [7] K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Arima, H. Nishi, H. Yamashita, Y. Yoshizaki, K. Ogawa: "Computer holography: 3D digital art based on high-definition CGH", *International Symposium on Display Holography 2012 (ISDH2012)*, MIT Media Lab, (2012) in press.
- [8] 松島: "Brothers 制作記—MIT ミュージアムでの CGH 展示を目指して—", *HODIC Circular* **32**, (2012) 投稿予定.
- [9] K. Matsushima, Y. Arima, S. Nakahara: "Digitized holography: modern holography for 3D imaging of virtual and real objects", *Appl. Opt.* **50**, H278-H284 (2011).
- [10] 藤田, 有馬, 松島, 中原: "物体光波のデジタル拡大/縮小編集を用いた高解像度 CGH の作成", *HODIC Circular* **32**, No. 2, 10-15(2012).
- [11] 松島, 中原: "ポリゴン法による 100 億画素規模の超高解像度コンピュータホログラムの作成", *レーザー研究* **40**, 18-27 (2012).
- [12] 近藤, 松島: "シルエット近似を用いた全方向視差 CGH の隠面消去", *電子情報通信学会論文誌*, **J87-D-II**, 1487-1494(2004).
- [13] 松島: "波動光学シミュレーションツールキット:WaveField Tools", *Optics & Photonics Japan 2010 講演予稿集*, 9aC3 (2010).
- [14] K. Matsushima: "Shifted angular spectrum method for off-axis numerical propagation", *Opt. Express* **18**, 18453-18463 (2010).