

TSUBAME2.0 利用による大規模なホログラム計算
Large-sized hologram calculation by using TSUBAME2.0

涌波 光喜
Koki WAKUNAMI

(独)情報通信研究機構
National Institute of Information and Communications Technology
<http://www.nict.go.jp/>

邦文抄録(300 字程度)

次世代の立体映像表示技術として期待される電子ホログラフィの実現には、光変調素子の高密度・大画面化、再生光学系の簡素化などと並び、表示するホログラムの計算アルゴリズムの検討が必要である。特にホログラム計算時に必要となる光波面の伝搬シミュレーションは、その空間サンプリングが波長オーダーになることから計算量が多く、膨大なメモリを必要とする。本研究では TSUBAME2.0 の CPU 並列利用、数十から数百 GB の潤沢なメモリ環境を利用することで、720 フレームを超える動画再生用のホログラムを数時間で計算し、NICT が所有する対角 4cm、視域角 15 度、1 フレームで約 3,300 万画素を表示可能な再生光学系でのフルカラー光学再生を実現する。

英文抄録(100 words 程度)

In the research field of electronic-holography system, even the current progress in the field of high-speed computing, the calculation of hologram data to be displayed requires us huge calculation cost/time for the simulation of light-wave propagation with gigantic memory capacity. In this project, we achieve that the calculation of hundreds of hologram data flames for dynamic reconstruction by using parallel CPUs and abundance of memory capacity provided by TSUBAME2.0. The full-color hologram reconstruction with 4inch diagonal display size and about 15degree of horizontal viewing angle is performed by the electronic-holography system developed by NICT.

Keywords: Holography, Computer-generated hologram, Electronic-holography system

背景と目的

次世代の立体映像表示技術として期待される電子ホログラフィの実現には、ホログラムを表示するための光変調素子の高密度化・大画面化、1 μ m 以下の画素構造の実現、再生光学系の簡素化といったハードウェアに関する課題と並び、ホログラム計算の効率化や膨大なホログラムデータの処理などソフトウェアに関する課題も多い。特に写実的で複雑な 3D シーンの像再生を図る場合、計算量の多さから静止画で報告されることが多く、数百フレームからなる動画再生をフルカラーで計算された例は少ない。

本プロジェクトでは、報告者らが提案する光線サンプリング面(以下 RS 面)を用いたホログラム計算法[1, 2]を TSUBAME2.0 上で実装し、当計算機が提供する CPU/GPU 並列計算処理環境とメモリ資源を利用

することで、700 フレームを超えるホログラムデータ(総画素数約 237 億)を短時間で計算する。計算したホログラムデータを NICT が所有する電子ホログラフィ装置を用いて再生することで、コンピュータグラフィックス(以下 CG)技術を用いて作製された 3D シーンのフルカラー動画再生を実現することを目的とする。

ホログラムデータの計算方法

一般的なホログラム計算法では再生対象となる 3D 物体を点光源/ポリゴン光源群で構成し、各光源からホログラム面(ディスプレイ)までの光波伝搬を逐次計算することでホログラムデータのエンコードに必要な複素振幅分布を得る。伝搬計算には高速フーリエ変換(FFT)を使ったフレネル回折計算や角ス

(様式第 20) 成果報告書

ペクトル法を用いることが多いが、光源からディスプレイまでの距離に依存する伝達関数を異なる奥行きに配された光源毎に求める必要があるため、対象となる 3D 物体が奥行き方向に幅を持ち、作りこまれた複雑な形状であるほど計算量が増加する。また、光沢や質感といった CG 技術で用いられる写実的な表現を点光源/ポリゴン光源群に付与することが難しい。一方、報告者らは対象物体の高密度な光線情報を 2 次元平面状の波面(複素振幅分布)に変換する技術を提案している。光線情報は CG 分野で使われる一般的なレンダリングソフトウェアで取得可能であり、光沢や質感、陰影といった写実的な表現を直接再生像に付与することができる。光線から波面への変換は物体近傍に設けた RS 面上で行われる[図 1]。RS 面からホログラム面までの波面伝搬は 2 次元平面間であるため FFT を利用した一度のフレネル回折計算を行えばよいため、伝搬計算にかかるコストも物体の複雑さに依存しない。本報告では、図 2 に示すような静止画用コンテンツと動画用コンテンツを CG ソフトで作成し、そこから各コンテンツの光線情報を高密度にレンダリングし、RS 面に基づくホログラム計算法によって再生に用いるホログラムデータを計算した。

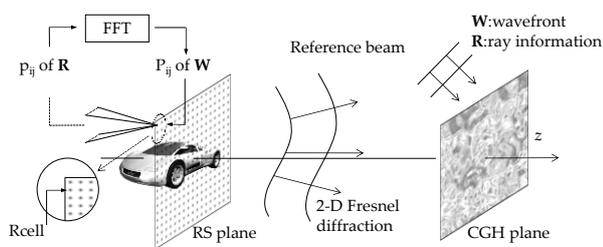


図1. RS 面を用いたホログラム計算モデル

| コンテンツ正面図 | データ枚数 |
|----------|--|
| | 静止画用コンテンツ 3 枚(RGB 用) |
| | 動画用コンテンツ 720 枚 4 秒 × 60fps × 3(RGB 用) |

図2. 作製したコンテンツの概要

計算環境と計算時間

本プロジェクトでは RS 面、ホログラム面ともに空間サンプリング数を $7,680 \times 4,320$ としたが、TSUBAME2.0 では 1 ノード当たり 50GB を超えるメモリを利用できるため、両面の複素振幅分布、伝搬計算に必要な配列全てを一度に確保できる。そのため分割計算を必要とせず、ホログラムデータ 1 フレームあたりの計算コストはフレネル変換に必要な畳み込み定理のための FFT3 回が主で、その他に RS 面上で光線情報を波面に変換する処理、ホログラムエンコード処理が含まれる。よって 1 フレームあたりの計算量は約 $30(N \log N)$ 、ここで N は FFT 計算時の 1 辺の画素数 $16,384$ である。FFT は FFTW ライブラリを用いた。1 データあたりの計算時間は約 5 分程度であった。静止画用コンテンツは R、G、B 各波長用に合計 3 枚のホログラムデータを計算した。一方、動画用コンテンツは地球を周回するテキストが 4 秒かけて 1 周する。よって 60fps で 4 秒分、RGB 各色分で合計 720 枚、総画素数は約 237 億画素分のデータを計算した。この際、30 プロセスの並列計算により約 2 時間で計算が完了した(1CPU 時で約 60 時間)。

再生光学系について

計算したホログラムデータの光学再生は NICT が開発した電子ホログラフィシステム上で行った[3]。図 3 にシステムの概要を示す。ディスプレイは解像度 $7,680 \times 4,320$ の 8K デバイスを 3 枚用いており、それぞれ R、G、B に対応しており、フルカラー再生が可能である。ディスプレイサイズは約 $37\text{mm} \times 21\text{mm}$ (対角約 4cm)、水平視野角は光軸を 3 方向に分岐させることで通常の 3 倍にあたる約 15 度に拡大されている。

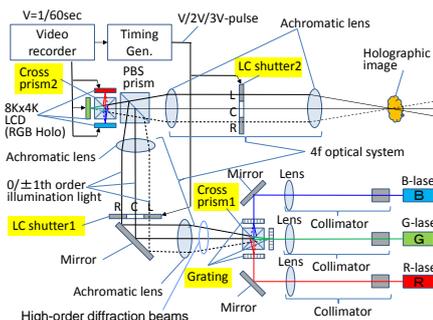


図3. 電子ホログラフィシステムの光学系

(様式第 20)成果報告書

結果および考察

図 4 に静止画用コンテンツと動画用コンテンツの中のフレーム番号 20、150 の再生結果を示す。



図4. 光学再生の結果

上段:静止画用コンテンツ

下段:動画用コンテンツ(右:フレーム#20, 左:#150)

静止画用コンテンツ、動画用コンテンツ共に CG で作製した複雑な 3D データを忠実に再現出来ていることがわかる。今回作製したコンテンツは、NICT が一般に技術公開を行うオープンハウスでも公開された。

まとめ、今後の課題

TSUBAME2.0 が提供する CPU 並列処理環境を利用することで、電子ホログラフィシステムに表示する動画用コンテンツの計算時間を大幅に削減することが出来た。今回報告した計算事例以外にも、以下のホログラム計算事例において TSUBAME2.0 の利用による高速計算を行った。

- ・ 14 億画素のホログラムデータ計算

S ノード(1 ノード 12 プロセス)60 並列利用で、1CPU 利用時と比較して 500 倍程度の高速化を達成

- ・ 6 億画素のホログラムデータ計算

S96 ノード(1 ノード 1 プロセス)9 並列利用で、1CPU 利用時と比較して約 10 倍の高速化を達成

今後は GPU 利用に適したホログラム計算アルゴリズムの検討を行い、より計算時間の短縮を図る。

参考文献

[1] K.Wakunami, M.Yamaguchi, “Calculation for

computer generated hologram using ray-sampling plane,” Optics Express, Vol.19, No.10, (2011)

[2] K.Wakunami, H.Yamashita, M.Yamaguchi, “Occlusion culling for computer generated hologram based on ray-wavefront conversion,” Optics Express, Vol.19, No.21, (2013)

[3] T.Senoh, T.Mishina, K.Yamamoto, R.Oi and T.Kurita, “Viewing-Zone-Angle-Expanded Color Electronic Holography System Using Ultra High-Definition Liquefied Crystal Displays With Undesirable Light Elimination,” J. of Display Technology, Vol.7, No.7, (2011)