

TSUBAME 共同利用 平成 26 年度 産業利用 成果報告書

利用課題名 TSUBAME2.5 利用による大規模な光の波面伝搬計算
英文: Large-sized calculation of lightwave propagation by using TSUBAME2.5

株式会社 JVC ケンウッド
JVC KENWOOD Corporation
<http://www.jvckenwood.com/>

国立研究開発法人情報通信研究機構
National Institute of Information and Communications Technology
<http://www.nict.go.jp/>

邦文抄録(300 字程度)

近年の光変調素子の高画素化や計算機の処理能力の向上を受けて、ホログラムデータを電子的に表示・再生する電子ホログラフィや静止画としてホログラムデータを記録する技術の研究が加速している。この際に表示・記録されるホログラムデータの生成処理は、データの空間サンプリングが波長オーダーとなることから膨大な演算数とメモリを必要とする。本研究では TSUBAME2.5 の並列処理能力、潤沢なメモリ環境を利用することで、弊社の 4K 液晶素子を 16 枚用いて、情報通信研究機構が開発した 1 億画素を超える電子ホログラフィ装置に表示する動画コンテンツのホログラムデータ生成や 770 億画素を超える静止画用ホログラムデータの生成を行った。

英文抄録(100 words 程度)

Current progresses of high-resolution spatial light modulators (SLMs) and high-speed computing encourage the research field of electro-holography to display a dynamic/static 3D image. Because the spatial sampling of hologram data should be around wavelength order, huge amount of calculation and memory are required in the process of hologram data generation. In this project we achieved that the calculation of hundreds of hologram data flames for dynamic reconstruction and the static hologram data that has over 77 Giga pixels by using parallel processing and abundance of memory capacity provided by TSUBAME2.5. The full-color dynamic hologram reconstruction with over 100 Mega pixels of display resolution was demonstrated by the electronic-holography system.

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

背景と目的

近年の空間光変調素子(以下 SLM)の高画質化や計算機の処理能力の向上を受けて、立体映像の動画表示が可能な電子ホログラフィや静止画としてホログラムを記録する技術の研究が加速している。こういった技術に用いられるホログラムデータは、画素間隔を波長オーダーに設定する必要があることから、計算時の演算数やメモリ使用量が膨大になるため、適切な並列処理が必要となる。

本プロジェクトでは、ホログラムデータ計算時に必要となる光波面の伝搬計算を並列化することで、計算時間がホログラムデータの総画素数に比例しない計算環境を構築し、1 億画素を超える電子ホログラフィ装置に表示する動画コンテンツや 700 億画素を超える静止画記録用ホログラムデータの生成を現

実的な時間で実現することを目的とした。

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ある点光源法は、対象となる 3D 物体を点光源で構成し、各光源からホログラムまでの光波伝搬を逐次計算し、ホログラムデータのエンコードに必要な光波分布を得る。高速フーリエ変換(FFT)を使ったフレネル回折計算や角スペクトル法を用いた手法が提案されているが、奥行き異なる光源毎に伝達関数を求める必要があるため、対象物体の複雑さや奥行き方向の広がり依存して計算量が増加する。一方、涌波らが提案した光線サンプリング(RS)面を用いた計算法は、対象物体の高密度な光線情報を平面状の RS 面に変換することで、対象物体の光源となる RS 面からホログラム面までの光伝搬計算を 1 度の平面間処理に落としこむ

ことができる。RS 面生成に必要となる光線情報は、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生成可能であり、複雑な形状を持つ物体の光沢、質感や陰影といった写実的な表現を再生に直接反映できる。光線から波面への変換は RS 面上の小領域毎に FFT 処理を行う [1]。RS 面からホログラム面までの光波面伝搬は 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。光波伝搬計算では重ねあわせの原理が成り立つので、RS 面やホログラム面の総画素数が 100 億画素を超えるような場合は、適切に 2 平面を細分化し、分割された領域間の光波伝搬計算を並列処理し、最後に全ての領域からの伝搬計算結果を加算することで、総画素数に比例しない伝搬計算時間で所望の光波分布を得ることができる。

本プロジェクトでは、RS 面、ホログラム面ともに任意の画素数毎に分割し、光源となる RS 面上のそれぞれの領域からホログラム面上の分割領域までの光波伝搬計算を並列に処理する計算環境を構築し、実際に計算した。領域間の光波伝搬計算はオフアキスに対応する必要が有るため、シフトフレネル法を用いた [2]。

TSUBAME2.5 で計算したホログラムの再生例

JVC ケンウッドでは、画素間隔 4.8 μm の 4K2K 液晶素子 (表示画素数 4,096 \times 2,400) や 3.5 μm の 8K4K 液晶素子 (表示画素数 8,192 \times 4,320) といった D-ILA シリーズを開発してきた。この 4K2K 液晶素子 16 枚を用いて、情報通信研究機構 (以下 NICT) が約 1 億 2 千画素の電子ホログラフィ装置を開発した [3]。この電子ホログラフィ装置を用いて、本プロジェクトで構築した計算環境によって生成したホログラムデータの再生確認を行った。図 1 に電子ホログラフィ装置の概要を示す。装置の詳細は [3] を参照されたい。装置表示部の総画素数は 16K8K である。また RS 面の画素数も同一とした。分割領域の画素数は 8,192 \times 8,192 としたため、伝搬計算回数は 4 回 (=2 \times 2) となった。1 回の伝搬計算にかかる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 FFT の $O(N\log N)$ オーダー、ここで N は分割領域の 1 辺の画

素数である。FFT は FFTW ライブラリを用いた。

1 回の伝搬計算は約 3 分であったが、4 回を並列で計算することで、伝搬計算後に物体光と参照光の干渉を計算するホログラムエンコード処理を含めて 5 分程度でホログラムデータを生成できた。図 2 に 2 種類のコンテンツの再生結果を示す。図 2 (b) の再生結果は動画用に計算した 240 フレームのうちの 1 フレームである。なお、動画用に複数フレームのホログラムを計算する場合は、フレーム間の計算が独立しているため TSUBAME2.5 でジョブを並列化することで容易に計算時間を短縮できる。図 2 (b) のコンテンツの場合は 24 フレームずつ 10 並列で計算することで、1 時間弱で全てのホログラムデータの計算を行うことができた。

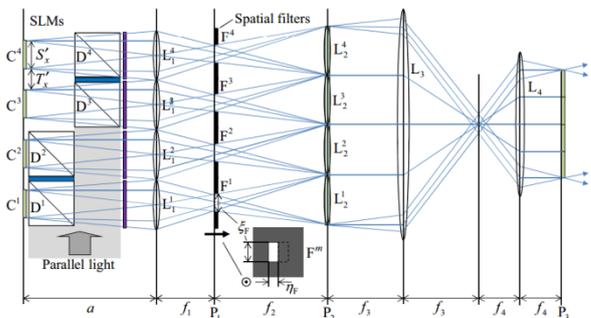


図 1. 電子ホログラフィ装置の概要

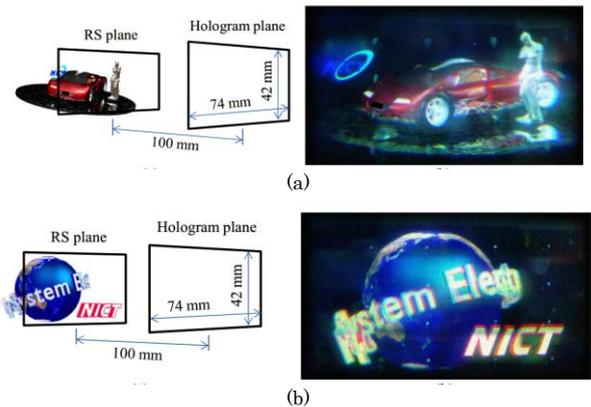


図 2. 光学的な像再生の例

また、本プロジェクトでは静止画記録用のホログラムデータ生成も行った。ホログラム面および RS 面の画素数は 278,494 \times 278,494 (=約 775 億画素) とした。この場合、RS 面、ホログラム面ともに全面の複素振幅の情報を 1 度のメモリで確保できないため、TSUBAME2.5 のジョブをホログラム面での分割領域ごとに独立して並列計算する環境を構築した。分割

領域の画素数は 16,384 画素とした。そのため 289 並列(=17×17)でジョブを実行した。1つのジョブの計算時間が約 90 分程度(但しこの時間は伝搬距離に依存する)であったため、その後の分割領域の合成処理やホログラムエンコード処理(約 10 分)を含めて 100 分程度であった。一方、同様の計算を並列化しないで行くと約 433 時間(=90 分×289 並列+10 分)かかるかと概算される。

まとめ、今後の課題

TSUBAME2.5 が提供する並列処理環境を利用することで、ホログラムデータの生成に必要な光波面の伝搬計算にかかる計算時間を大幅に削減することができた。今後はより並列処理に特化した伝搬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] R. P. Muffoletto, J. M. Tyler, and J. E. Tohline, “Shifted Fresnel diffraction for computational holography,” Optics Express, Vol.15, No.9, 5631–5640 (2007).
- [3] H.Sasaki, et al., “Large size three-dimensional video by electronic holography using multiple spatial light modulators,” Scientific Reports, Vol.4, No.6177, (2014)