

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00265

研究課題名(和文) 超高精細・超広視野角3Dホログラフィック表示のための大規模ピクセル計算技術

研究課題名(英文) Large-Scale Pixel Computation for 3D Holographic Display with Fine Granularity and Wide View Angle

研究代表者

馬場 敬信 (Baba, Takanobu)

宇都宮大学・オプティクス教育研究センター・教授

研究者番号：70092616

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：3Dホログラフィックディスプレイの実現には、多大な計算パワーを必要とすることが課題であるが、人間の視覚特性と広い視野角を考慮すると現状を大きく越えるギガピクセル規模の計算をリアルタイムで行うことが求められる。本研究では、3Dオブジェクトを分割しデータ独立な計算によりホログラムを生成する「オブジェクト分割法」を新規開発すると共に、本手法により再構成が行えることを光学的に実証し、並列処理による高速化の可能性をシミュレーションにより示した。さらに、8ノードのマルチGPUクラスタを構築して実験を行い3.2ギガピクセルオブジェクトから1.6ギガピクセルホログラムの生成を4.28秒で行えることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元のホログラフィックディスプレイは、ゴーグル等特別な装置を用いることなく3次元画像を見ることができ、これからの3Dディスプレイとして期待されている。しかし、人間の視覚特性に対応し、ディスプレイに要求される広い視野角を確保するには、大規模ピクセルの計算技術が求められる。本研究の意義は、(1)3Dオブジェクトを分割した上で、FFTベースの新規なアルゴリズムにより、3D画像再構成が行えることを光学的に実証したこと、及び(2)実際に8ノードのマルチGPUクラスタを構築して実験を行い3.2ギガピクセルオブジェクトから1.6ギガピクセルホログラムの生成を4.28秒で行えることを実証した点にある。

研究成果の概要(英文)：The 3D holographic display has long been expected as a future human interface. In order to realize the display with high resolution and wide view angle, we have developed a new FFT-based Fresnel algorithm, called object decomposition method, verified the correctness by optical experiments, and estimated the effectiveness by simulation. Further, we have developed a 8-node cluster environment where each node has 2 GPUs and implemented the parallel algorithm on it. Experimental results show that intra- and inter-node optimizations attain an execution time of 4.28 sec for generating a 1.6 giga-pixel hologram from a 3.2 giga-pixel object. It means a 237.92 times speed-up of the sequential processing by CPU and 41.78 times speed-up of multi-threaded execution on multicore-CPU, using a conventional FFT-base algorithm.

研究分野：並列計算システム及びその応用

キーワード：ヒューマンインターフェイス 計算機ホログラム ギガピクセル マルチGPUクラスタ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今日、デスクトップあるいはモバイルなデバイスを介して、膨大な量の情報が送受信され、処理されている。このような時代にあつて、情報を分かりやすく提示するためにデバイスに付属する表示装置の役割は大きい。とりわけ、視覚的に分かりやすく自然に表示する手段として、3D ディスプレイは重要である。

3D ディスプレイの実現方法には種々の方法があるが、この中でもホログラフィックディスプレイは、Google 等の特別な機器を装着せずに 3D 画像を見ることができると、人間にとって望ましい装置として長年その実現が期待されてきた。しかし、いまだ実用化が進まない背景には、(i) 十分なピクセル数に対応するディスプレイの開発、及び (ii) 大規模なピクセル数をもつオブジェクトからの大規模計算機生成ホログラム(CGH)のリアルタイム生成、の 2 点が課題としてある。特にピクセル数に関しては、人間の視覚特性に応じた高精細の要求[引用文献]、およびディスプレイとして要求される広い視野角の要求[引用文献]に答えるために、ギガピクセル規模が必要との試算がある。

本研究は、後者の課題に取り組むものであり、従来研究においてメガピクセル規模に対して、数百～数千秒の処理時間を要していたのに対し、「高精細・広視野角ディスプレイの実現を目指して、ギガピクセル規模のオブジェクトからのホログラムの生成をリアルタイムで行うこと」を研究目標として実施したものである。

2. 研究の目的

上述した通り、本研究においては、高精細・広視野角をもった 3D ホログラフィックディスプレイの実現を究極の目標として、ギガピクセル規模のオブジェクトからホログラム (CGH) の生成をリアルタイムで行うことを研究目的とする。

3. 研究の方法

研究目的を達成するための具体的な方法として、計算アルゴリズムの工夫、及び高度な計算能力をもった GPU 及び GPU クラスタの活用、について検討を行い、具体的に以下のような方針のもとに実施した。

(1) FFT ベースの並列アルゴリズムの開発

光源となるオブジェクト点からホログラムの全ての点への光の伝播を計算する基本的な手法では計算コストが大きくなるため、FFT ベースのアルゴリズムを検討した。さらに、効率よく並列計算を行うために、いったんオブジェクトをサブオブジェクトに分割した後、サブオブジェクトからサブ CGH を生成する処理相互の通信をなくすことを検討した。この結果考案したのが図 1 に示すオブジェクト分割法(object decomposition method)である。

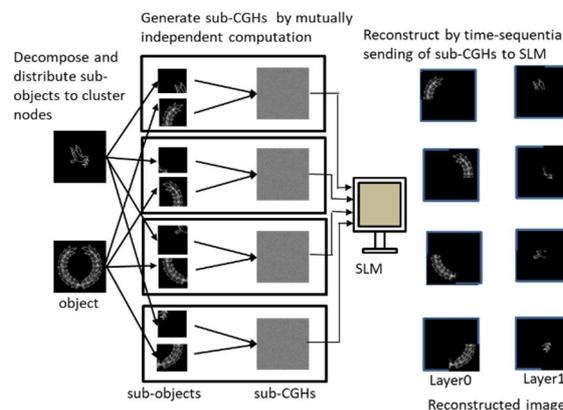


図 1 オブジェクト分割法 の概念 (引用文献 より再掲)

本手法においては、いったんオブジェクトをサブオブジェクトに分割して GPU クラスタの各ノードに転送した後、各ノード内でサブオブジェクトからサブ CGH を生成するまでノード間通信を行うことなく計算を進める。この結果を、SLM にタイムシーケンシャルに送ることにより、サブ CGH の総和を求めることなく、元の 3D イメージを分割再構成する。

(2) 計算モデルの確立と光学的な再構成実験による検証

本手法を GPU クラスタに実装するまでの準備として、(i) 基本的な FFT による計算式から出発して分割法に対応した計算式の確立、(ii) 計算式に基づく計算モデルの確立及び並列性の抽出、(iii) 光学的な再構成実験による検証、の順に研究を実施した。この結果、本手法による計算には 3 つの並列化の可能性があること、及び光学的な実験装置を用いた実験により正しく再構成が行えることを確認し、シミュレーションにより高速化の可能性を見積もった[引用文献]。

(3) GPU クラスタの構築とその上での並列処理のチューニング

並列処理による効果を実際に確認するため、8 ノード (2GPUs/ ノード) のマルチ GPU クラスタを構築し、この上にオブジェクト分割法を実装して、種々の最適化、並列化を行い、その実行時間を計測した[引用文献]。

各手順の詳細等は、5. 主な発表論文を参照されたい。

4. 研究成果

上記手順に沿って、まず(1)、(2)の成果は、オブジェクト分割法の計算アルゴリズムの確立とその光学的な検証を行ったことである。光学的な検証においては、深さ方向の異なる 2 つのオブジェクトを分割して入力とし、オブジェクト分割法によって計算したフレネル(Fresnel)CGH を用いて、2 つのオブジェクトが分割再構成されることを光学的な実験装置を用いて確認した。また、同時にシミュレーションによって並列処理の効果が見込めることを明らかにした。

図 2 は、オブジェクト分割法を光学的に検証するために用いた実験装置とその入力とした 2 つのオブジェクトの 4 分割画像、及び再構成画像である。50mm 離れて配置した 2 つの入力オブジェクトから GPU ワークステーション上で本手法を用いて計算を行い、CGH を生成することにより、元の位置に再構成画像が得られたことを示している。

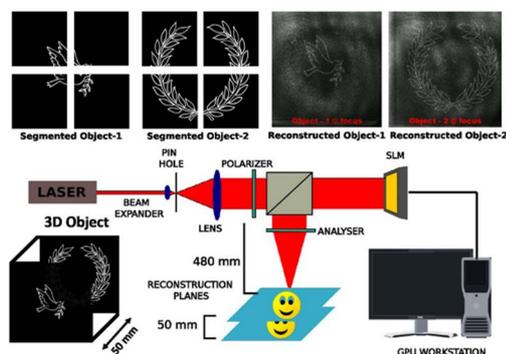


図 2 オブジェクト分割法の光学実験による検証 (引用文献 より再掲)

さらに図 3 は、分割の仕方を変え、横方向に 4 分割したサブオブジェクトを入力として再構成画像を得たものである。当初は、図 2 に示すように縦横両方向に分割していたが、横方向にのみ分割することにより、サブ CGH の計算が高速化できるため、以降の GPU を用いた計算では横方向のみの分割を用いている。

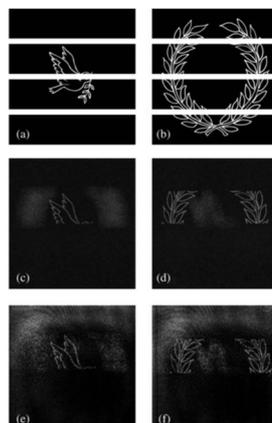


図 3 横方向のみの分割によるサブオブジェクトからの再構成画像 (引用文献 より再掲)

さらに、(3)の成果として、8 ノードから成るマルチ GPU クラスタを構築し、この上で処理アルゴリズムとデータ構造のチューニング、CPU-GPU 間転送の高速化、マルチ GPU におけるコード最適化、並列処理の活用等を繰り返すことにより、その計算性能を明らかにした。

図4は、ホストと2 台の GPU から成る単一のマルチ GPU ノードにおける最適化の効果を示している。図中、A は最適化前の実行時間である。内訳は、CPU 上のオブジェクト分割 (decomposition), CPU-GPU 間転送(memcpy), GPU での実行時間(kernel), CPU でのサブ CGH 生成 (layer-add)である。

最適化の各段階の内容を以下に要約する。

(a) 上記の成果と関係するが、オブジェクトの分割法を横方向のみに限定することにより、計算コストを小さくした(B)。

(b) GPU 内では複素数での計算を行うが、CPU から複素数形式で送るのをやめ、8 ビットの固定小数点形式で送ることに変更し、GPU 内で固定小数点数 複素数間変換を行うことに変更した(C)。

(c) 複数のカーネルコードを連続して呼び出していたのを、カーネルコードを1つにまとめることにより呼び出しコストとカーネル間のパラメータの受け渡し時間を削減した(D)。

(d) CPU と GPU での処理をパイプラインングすることにより高速化をはかった (E)。

(e) マルチ GPU を用いた並列化を行った(F)。

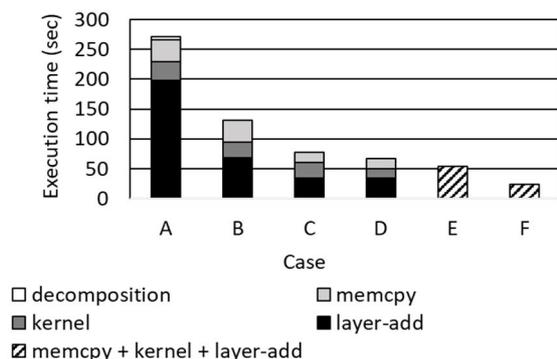


図4 単一マルチ GPU ノードにおける最適化の効果 (引用文献 より再掲)

さらに図5は、ノード数を8まで増やしたときの速度向上の様子を示す。

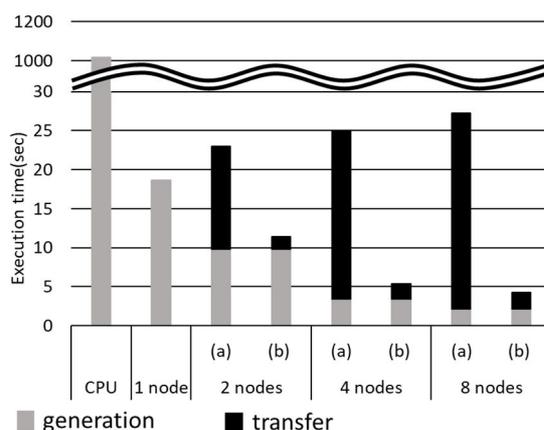


図5 単一 CPU およびマルチノード GPU クラスタにおける実行時間 (引用文献 より再掲)

図中の「CPU」は、ホストマシンの CPU だけを用いた場合であり、1 ノードから 8 ノードは台数効果を示している。(a)はホストノードにおいてオブジェクトの解凍および分割を行って他ノードの送る方法であり、(b)は圧縮したオブジェクトを全ノードに放送し各ノードで解凍及びオブジェクト分割を行う方法である。この結果から、3.2 ギガピクセルオブジェクトから 1.6 ギガピクセルプログラムを生成するのに、8 ノードの場合に(b)の方法により実行時間 4.28 秒で行えることを実証した。これは CPU のみを用いる場合と比べて 237.92 倍の高速化である。

本研究の意義としては、オブジェクト分割法という新規な FFT ベースの計算法を提案し、これを用いて従来研究では扱われていなかったギガピクセル規模のオブジェクトからの CGH の生成を 4 秒程度で行えることを実証した点にある。

一方、今後に残された課題としては、リアルタイム化を目指して現在の処理時間をさらに短縮する方法を明らかにすること、及び現在奥行き方向に 2 枚のオブジェクト平面を対象にしてい

るがこれをさらに増やしてより現実的な 3D 画像の再構成を行うこと、さらには本手法に応じたサブ CGH からの 3D 画像の表示システムの実現、などがある。

< 引用文献 >

Takanobu Baba, Shinpei Watanabe, Boaz Jessie Jackin, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, Yoshio Hayasaki, Toyohiko Yatagai: Fast Computation with Efficient Object Data Distribution for Large-scale Hologram Generation on a Multi-GPU Cluster , IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E102-D, No.7, pp.1310-1320, 2019.7.

Boaz Jessie Jackin, Shinpei Watanabe, Kanemitsu Ootsu, Takeshi Ohkawa, Takashi Yokota, Yoshio Hayasaki, Toyohiko Yatagai, Takanobu Baba: Decomposition Method for Fast Computation of Gigapixel-sized Fresnel Holograms on a Graphics Processing Unit Cluster , Applied Optics, Vol.57, No.12, pp.3134-3145, 2018.4.

D.G. Curry, G. Martinse and and D.G. Hopper, ``Capability of the human visual system," Proc.SPIE, Vol.5080, 2003.

R.B.A. Tanjung, X. Xu, X. Liang, S. Solanki, Y. Pan, F. Farbiz, B. Xu and T-C. Chong, ``Digital holographic three-dimensional display of 50-Mpixel holograms using a two-axis scanning mirror device," Optical Engineering, Vol.49(2), No.025801-2-025801-9, 2010.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 T. Baba, S. Watanabe, B. J. Jackin, K. Ootsu, T. Ohkawa, T. Yokota, Y. Hayasaki, and T. Yatagai	4. 巻 Vol. E102-D, No.7
2. 論文標題 Fast Computation with Efficient Object Data Distribution on a Multi-GPU Cluster	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1310-1320
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2018EDP7346	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 B.J. Jackin, S. Watanabe, K. Ootsu, T. Ohkawa, T. Yokota, Y. Hayasaki, T. Yatagai, T. Baba	4. 巻 57
2. 論文標題 Decomposition method for fast computation of gigapixel-sized Fresnel holograms on a graphics processing unit cluster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 3134-3145
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/AO.57.003134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 T. Baba, S. Watanabe, B. J. Jackin, K. Ootsu, T. Ohkawa, T. Yokota, Y. Hayasaki, and T. Yatagai
2. 発表標題 Data distribution method for fast giga-scale hologram generation on a multi-GPU cluster
3. 学会等名 Proc. ApPLIED2018, Advanced tools, programming languages, and Platforms for Implementing and Evaluating algorithms for Distributed systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takanobu Baba, Shinpei Watanabe, Boaz Jessie Jackin, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Yoshio Hayasaki, Toyohiko Yatagai
2. 発表標題 Overcoming the difficulty of large-scale CGH generation on multi-GPU cluster
3. 学会等名 Proceedings of the 11th Workshop on General Purpose GPUs (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinpei Watanabe, Boaz Jessie Jackin, Takeshi Ohkawa, Kanemitsu Ootsu, Takashi Yokota, Yoshio Hayasaki, Toyohiko Yatagai, Takanobu Baba
2. 発表標題 Acceleration of large-scale CGH generation using Multi-GPU cluster
3. 学会等名 Proc. 5th International Symposium on Computing and Networking (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊 晋平, ボアズ ジェシー ジャッキン, 大川 猛, 大津 金光, 横田 隆史, 早崎 芳夫, 谷田貝 豊彦, 馬場 敬信
2. 発表標題 マルチGPUクラスタを用いた大規模計算機ホログラム生成時間の初期評価
3. 学会等名 電子情報通信学会CPSY研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	大津 金光 (Ootsu Kanemitsu) (00292574)	宇都宮大学・工学部・教授 (12201)	
研究 協力者	横田 隆史 (Yokota Takashi) (90334078)	宇都宮大学・工学部・教授 (12201)	
研究 協力者	大川 猛 (Ookawa Takeshi) (80392596)	宇都宮大学・工学部・助教 (12201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	早崎 芳夫 (Hayasaki Yoshio) (10271537)	宇都宮大学・オプティクス教育研究センター・教授 (12201)	
研究協力者	ボワズ ジャキン (Boaz Jessie Jackin) (00726325)	国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所・研究員 (82636)	