

Ampere アーキテクチャのマルチ GPU クラスタシステムを用いた  
リアルタイム時空間分割多重電子ホログラフィ  
Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography  
using multi-GPU cluster system based on Ampere architecture

和田 翔夢†  
Shoumu Wada

三谷 永久†  
Towa Mitani

鈴木 康平†  
Kohei Suzuki

浜田 端三†  
Hashizou Hamada

高田 直樹‡  
Naoki Takada

## 1. はじめに

電子ホログラフィは、「究極の三次元テレビ」となるものと考えられている。しかし、計算機合成ホログラム (Computer-Generated Hologram, CGH) の計算は膨大であるため、いまだ実用化されていない。CGH 計算は使用するデータ量に比べ演算量が多く、並列化に向いている[1]。著者らによって提案された GPU のための CGH 計算実装法[2]を、NVIDIA 社 Ampere アーキテクチャの GPU 実装したところ、十分な計算性能を発揮することが出来なかった。これまでのアーキテクチャとの違いにより、三角関数の計算で演算待ちが生じていることがわかった。そこで著者らは、三角関数の計算を低減させた CGH 計算アルゴリズムを提案し、Ampere アーキテクチャの GPU による CGH の高速計算を実現した[3]。

さらなる高速化を図るため、著者らにより複数の GPU を搭載したマルチ GPU クラスタシステムによる CGH 計算も提案されている[3-5]。しかし、膨大な物体点を持つ三次元物体から計算した CGH は作成に時間がかかるのに加え、再生像が劣化することが知られている。本研究では Ampere アーキテクチャに適した高速 CGH 計算アルゴリズムを、13 枚の GPU (NVIDIA GeForce RTX 3080) を搭載したマルチ GPU クラスタシステムに実装した。さらに、高精細な動画再生を実現するため、同システムにおいて、時空間分割多重法[6]を併用した。最終的に、約 110 万点からなる三次元物体の、高精細かつ 60fps でのリアルタイム動画再生を実現した。

## 2. 計算機合成ホログラム (CGH)

### 2.1 従来の CGH 計算[1]

三次元物体を点で表し、物体を構成する点数を  $N_p$  とする。そのとき、ホログラム面上の点  $(x_\alpha, y_\alpha)$  における光の強度は、次式となる。

$$I(x_\alpha, y_\alpha) = \sum_{j=1}^{N_p} \cos \frac{\pi}{\lambda z_i} \{ (x_\alpha - x_j)^2 + (y_\alpha - y_j)^2 \} \quad (1)$$

ここで、 $\lambda$  は三次元情報の記録に使用される参照光の波長である。また、物体点の座標を  $(x_j, y_j, z_j)$  とした。

### 2.2 三角関数の演算回数を低減させた計算手法[3]

RTX3080 の Ampere アーキテクチャに適用させるため、(1) 式に加法定理を用いた計算手法が提案されている。

$$I(x_\alpha, y_\alpha) = \sum_{j=1}^{N_p} \cos X \cos Y - \sin X \sin Y \quad (2)$$

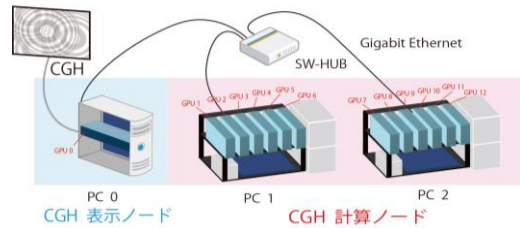


図 1 マルチ GPU クラスタシステム

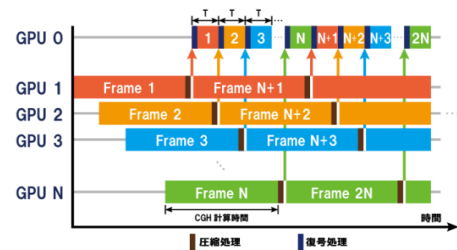


図 2 パイプライン方式

ここで、 $X = \frac{\pi}{\lambda z_i} (x_\alpha - x_j)^2$ ,  $Y = \frac{\pi}{\lambda z_i} (y_\alpha - y_j)^2$  である。

これにより、あらかじめ  $x$  方向、 $y$  方向のそれぞれで三角関数の演算結果を保持しておき、その後各画素で加法定理により、値を計算することが可能となる。この時、加法定理による演算が、すでに求めた  $\sin$ ,  $\cos$  の値を用いるため三角関数の計算は行われず、その結果、三角関数の演算回数が低減された。

## 3. マルチ GPU クラスタシステム[3-5]

本論文で使用するマルチ GPU クラスタシステムを図 1 に示す。GPU を 1 枚搭載した CGH 表示ノードと、GPU を 6 数枚搭載した PC2 台からなる CGH 計算ノードから構成される。図 1 のシステムに図のパイプライン方式を用いることで、1 枚の GPU を用いた CGH 計算時間よりも短い間隔で表示することができる。計算ノードの各 GPU で CGH 計算を行い、計算された CGH を CGH 表示ノードへネットワークを介して転送する。CGH 表示ノードでは、CGH 計算ノードから転送された CGH 画像を順番に空間光変調器 (SLM) に表示する。

## 4. 時空間分割多重法

膨大な物体点数からなる三次元物体では、高速に CGH 計算を行うことが困難となる。また、物体点数が膨大になると、すべての物体点の情報を干渉縞として CGH に記録することができず劣化してしまうことが知られている。これらの問題を解決する方法として、動画の各フレームにおいて

† 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

‡ 高知大学教育研究部自然科学系理工学部門

再生する物体点数を低減することが考えられる。これを実現する手法として図 3 に示す時空間分割多重法が提案された[6]。各フレームにおいて、元の物体点データ(図 3 上段)を物体点数が均等になるように分割する(図 3 中段)。分割された物体点データのうち 1 つを選び、計算により CGH を作成する(図 3 下段)。作成した CGH を高速に再生することで残像効果により、物体点が補完され元の物体と同等の映像が再生されているように見える。本論文で使用する噴水(1,064,462 点)の分割数を変更して比較したものを図 4 に示す。分割なしでは像の劣化が見られ、分割数を増やすと精細に表示されていることがわかる。なお、本研究では 6 分割を使用した。

## 5. 結果

### 5.1 計算環境

三角関数の演算回数を低減させた計算手法を、図 1 に示すシステムに実装した。マルチ GPU クラスタシステムに搭載する GPU として、NVIDIA GeForce RTX 3080 (理論性能: 30.29TFLOPS) を使用した。図 1 の CGH 計算ノードの各 PC において、CPU に Intel Core i7 9700(クロック周波数 3.0GHz, 8 コア)を用いた。CGH 表示ノードの PC においては、CPU に Intel Core i5 7400(クロック周波数 3.0GHz, 4 コア)を用いた。OS に LINUX(CentOS 7.9 x86\_64)を使用した。ソフトウェア環境として、CUDA11.2, MPICH3.4.2, OpenGL4.6.0 を使用した。再生する三次元物体点モデル「噴水」を時空間分割多重法で 6 分割したものをを使用した。

### 5.2 性能評価

図 1 に示す CGH 計算ノードにおいて、使用する GPU を 1 枚、6 枚、12 枚としたとき、CGH の表示時間間隔  $T$  (図 2) の結果を図 5 に示す。計算ノードの GPU を 12 枚使用したとき、1,064,462 点からなる三次元物体モデル「噴水」を 16.6ms (60fps) で高速に計算することに成功した。

### 5.3 本手法による再生像

本システムで計算した CGH を SLM で再生し、再生された三次元動画を撮影した。図 6(b)は再生された三次元動画のスナップショットを示す。また、図 6(b)のフレームに該当する空間分割していないオリジナルの物体点データを図 6(a)に示す。高精細な三次元動画が再生されていることがわかる。

## 6. まとめ

Ampere アーキテクチャに適した高速 CGH 計算アルゴリズムをマルチ GPU クラスタシステムに実装した。さらに、時空間分割多重法を併用し、約 110 万点からなる三次元物体を高精細かつ 60fps の速度で再生することに成功した。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会の科研費・基盤研究(C) (課題番号 21K11996)および競争的補助により行なわれた。本研究で使用した三次元物体モデル「噴水」は、国立天文台 中山弘敬博士より提供して頂いた。

### 参考文献

[1] T. Sugie et al. "High-performance parallel computing for next-generation holographic imaging," Nature Electron. 1, 254–259 (2018).

- [2] N. Takada et al. "Fast high-resolution computer-generated hologram computation using multiple graphics processing unit cluster system," Applied Optics 51, pp. 7303-7307 (2012).
- [3] T. Mitani et al. "Fast Calculation of Amplitude-modulated Computer Generated Hologram with Multiple Ampere-GPU Cluster System," Proc. of the International Display Workshop vol. 26, pp 498-499(2021).
- [4] H. Niwase et al. "Real-time electroholography using a multiple-graphics processing unit cluster system with a single spatial light modulator and the InfiniBand network," Optical Engineering, Vol. 55, Issue 9, 093108 (2016).
- [5] H. Sannomiya et al., "Real-time electroholography using a single spatial light modulator and a cluster of graphics-processing units connected by a gigabit Ethernet network," Chinese Optics Letters, Vol.18, Issue 2, pp.020902-(2020).
- [6] H. Niwase et al. "Real-time spatiotemporal division multiplexing electro-holography with a single graphics processing unit utilizing movie features," Optics Express, Vol. 22, Issue 23, pp.28052-28057 (2014).

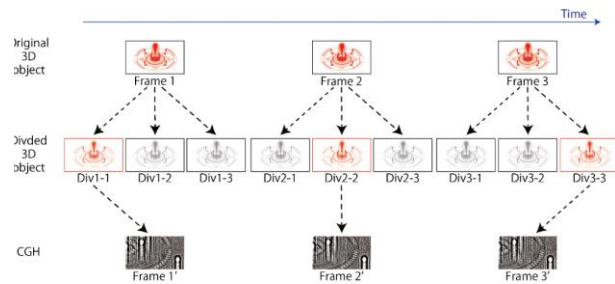


図 3 時空間分割多重法

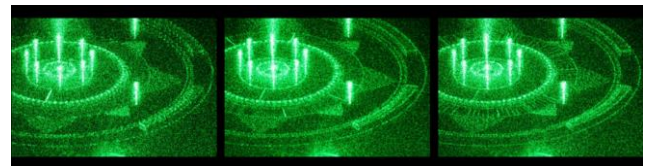


図 4 分割数の比較

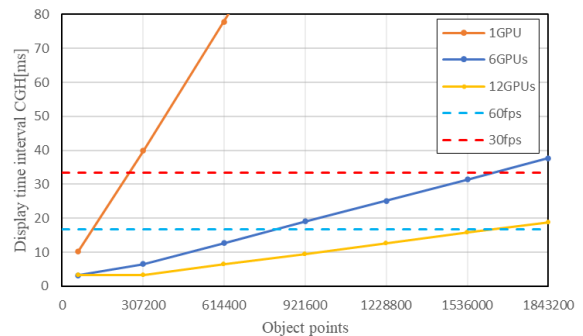
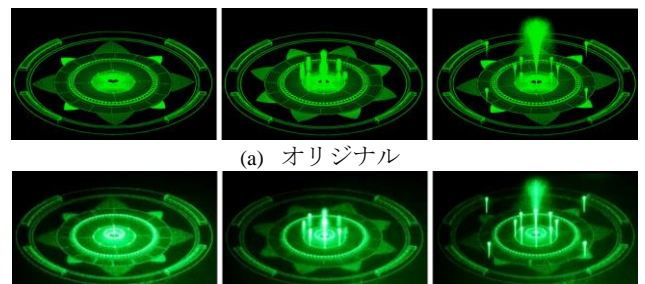


図 5 CGH 表示時間間隔



(b) 再生像

図 6 リアルタイム再生動画のスナップショット