

マルチ GPU クラスタを用いた計算機合成ホログラム
高速計算システムのクラウド化への検討
Study on cloud computing system based on multi-GPU cluster
for high-speed CGH calculation

鈴木 康平[†] 三宮 廣海[†] 中山 弘敬[¶] 角江 崇[§]
Kohei Suzuki Hiromi Sannomiya Hirotaka Nakayama Takashi Kakue
下馬場 朋禄[§] 伊藤 智義[§] 高田 直樹[‡]
Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito Naoki Takada

1. はじめに

ホログラフィは三次元物体からの光の波面を忠実に記録・再生できる唯一の技術である。ホログラフィによる立体像は様々な角度から眺めることができ、視覚疲労もなく長時間利用可能である。このことより、電子化したホログラフィ(電子ホログラフィ)は「究極の三次元テレビ」になると考えられている。

電子ホログラフィは、コンピュータによって作られたホログラム (CGH: Computer-Generated Hologram) を空間光位相変調器 (SLM: Spatial Light Modulator) に表示し、再生光を SLM に照射することで空中に三次元物体が再生される。しかし、「究極の三次元テレビ」を実現するには、CGH 計算が膨大なためリアルタイムで CGH を計算して再生することが困難なこと、そして、大きな再生像を様々な方向から眺めるためには CGH の表示面積が大きく画素間隔が $1 \mu\text{m}$ 以下の SLM が必要となる。この 2 つの大きな課題が解決されず、未だ実用化に至っていない。

CGH 高速計算の研究は盛んに行なわれている [1-5]。しかし、計算システムの構築、特に、プログラムの最適化については容易とはいえない。そこで、本研究では、CGH 計算資源を有効に活用することを目的として、マルチ GPU クラスタによる CGH 高速計算システムをクラウド化し、三次元動画再生することを目指す。プロトタイプを構築し、その実現性について検討した。

2. 計算機合成ホログラム (CGH) の作成

図 5 に CGH 計算の座標系を示す。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 $(x_\alpha, y_\alpha, 0)$ における光の強度は次式となる。

$$I(x_\alpha, y_\alpha, 0) = \sum_{j=1}^{N_p} \cos \theta \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\pi}{\lambda z_j} \left\{ (x_\alpha - x_j)^2 + (y_\alpha - y_j)^2 \right\} \quad (2)$$

ここで、変数 α はホログラム上の点を表し、物体点の座標を (x_j, y_j, z_j) とした。 λ は三次元情報の記録に使用される参照光の波長である。

CGH 上の 1 画素の光の強度を求めるには、式 (2) を $j = 1$ から N_p まで繰り返し計算する必要がある。よって、1 枚の

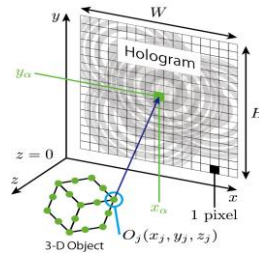


図 1 CGH 計算の座標系

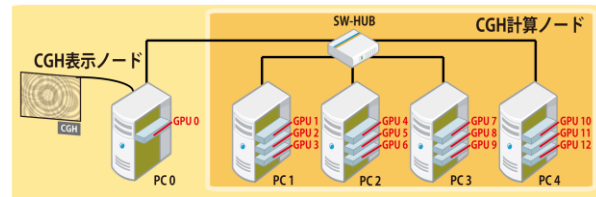


図 2 マルチ GPU クラスタシステムの構成

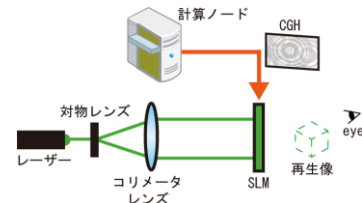


図 3 CGH による三次元映像の再生

CGH を作成するには、CGH の解像度を $W \times H$ とすると、その計算量は $(W \times H) \times N_p$ に比例することになり膨大となる。

3. マルチ GPU クラスタを用いた電子ホログラフィ

マルチ GPU クラスタを用いた電子ホログラフィシステムを図 2 に示す。CGH 表示ノード (PC0) と CGH 計算ノード (PC1 ~ PC4) で構成される。CGH 計算ノードは、各ノードに 3 枚の GPU ボードを搭載したマルチ GPU 環境の PC である。各 GPU で CGH を計算し、計算された CGH を CGH 表示ノード (PC0) に転送する。CGH 表示用ノードは 1 枚の GPU ボード (GPU 0) を搭載し、これに SLM が接続されている。CGH 計算ノードから受け取った CGH は CGH 表示ノードの GPU ボード (GPU0) により SLM に描画される。図 3 に示すように、SLM に表示された CGH にレーザー等の参照光を照射し、SLM を覗きこむことで再生像が空中に表示される。

4. クラウド化への検討

図 2 のシステムの規模は大きくなる。また、システムの構築、特に、プログラムの最適化は容易とはいえない。そ

[†] 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

[¶] 国立天文台シミュレーションプロジェクト

[§] 千葉大学大学院工学院

[‡] 高知大学教育研究部

ここで、本研究では、CGH 計算資源を有効に活用することを目的として、マルチ GPU クラスタによる CGH 高速計算システムをクラウド化したシステムを提案する。

クラウド化するシステムのプロトタイプを図 4 に示す。

図 2 に示すマルチ GPU クラスタシステムと同様に 4 台の PC (PC1~4) で CGH を計算する。各 PC は 3 枚の GPU ボードを搭載している。提案するプロトタイプ (図 4) では、図 2 の CGH 表示ノード (PC0) を通信サーバとする。4 台の PC (PC1~4) で計算された CGH を、通信サーバ (PC0) からネットワークを経由して三次元動画の再生装置のある場所に設置した通信クライアント PC (PC0') へ転送する。

図 4 のプロトタイプを用いた電子ホログラフィによる三次元動画再生の概要を図 5 に示す。再生する三次元動画のフレームを順に Frame1, 2, 3, … とする。CGH 計算を行なう PC1~4 の各 GPU に再生する三次元動画の各フレームの CGH を割り当てて計算する。PC1~4 に搭載された GPU1~12 による CGH 計算は、図 5 に示すようにパイプラインで処理される。各 GPU で計算された各フレームの CGH データは圧縮により転送データを低減し[6]、インターネットを介して通信クライアントへ送信する。通信クライアント PC0' で受信し、PC0' に搭載された GPU 0' で復元し、SLM に出力する。

プロトタイプを検証するため、学内の同じ棟において、CGH 計算ノードおよび通信サーバ、通信クライアントおよび光学系を異なる階に設置した。図 2 の従来のマルチ GPU クラスタシステムと、図 4 のプロトタイプを用いた電子ホログラフィによる三次元動画再生を行なった。図 6 はそれぞれのシステムにおいて再生される三次元動画の 1 フレームあたりの再生時間 T を示す。なお、1,920×1,024 の解像度で、1 画素あたり 1 ビットで表されるバイナリ CGH を用いた。また、GPU として NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti を用いた。図 6 において、両者のシステムとも約 20 万点まで 33ms 以内に収まっている。これは、約 20 万点からなる三次元物体のリアルタイム動画再生が可能であることを示している。また、プロトタイプは従来のシステムに比べて

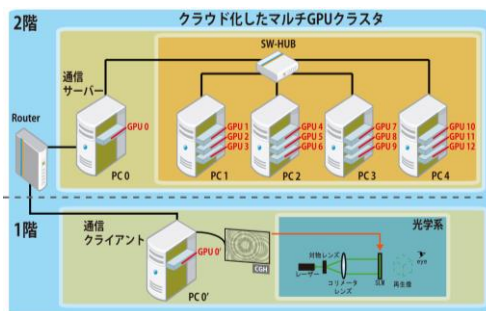


図 4 提案するシステムの概要

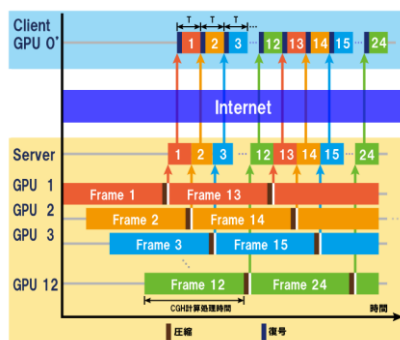


図 5 提案システムによる三次元動画再生

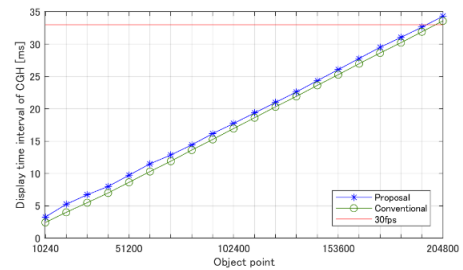


図 6 従来システムと提案システムの比較

1[ms] 程度の遅延に収まっており有効性が示された。

ネットワークにインターネットを用いた場合について検討する。図 5 より 1 秒間に 30 枚のバイナリ CGH を表示する必要がある。リアルタイム動画再生を実現するためには、必要となるネットワークの通信速度は次式より求まる。

$$\begin{aligned} [\text{通信速度}] &= \frac{1[\text{bit}] \times 1,920[\text{pixel}] \times 1,024[\text{pixel}]}{33[\text{msec}]} \\ &\approx 59.6 [\text{Mbps}] \end{aligned} \quad (3)$$

5. まとめ

マルチ GPU クラスタをクラウド化したプロトタイプシステムを構築して検証した。その結果、ネットワークの通信速度が約 60 Mbps あればリアルタイム三次元動画再生が実現可能であることがわかった。

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18K11399)および公益財団法人電気通信普及財団平成29年度研究調査助成によって行なわれた。

参考文献

- [1] T. Sugie, T. Akamatsu, T. Nishitsuji, R. Hirayama, N. Masuda, H. Nakayama, Y. Ichihashi, A. Shiraki, M. Oikawa, N. Takada, Y. Endo, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, "High-performance parallel computing for nextgeneration holographic imaging," Nat. Electron. 1, 254–259 (2018).
- [2] N. Takada, T. Shimobaba, H. Nakayama, A. Shiraki, N. Okada, M. Oikawa, N. Masuda, T. Ito, "Fast high-resolution computer-generated hologram computation using multiple graphics processing unit cluster system," Applied Optics, Vol.51, Issue 30, pp.7303-7307 (2012).
- [3] H. Niwase, N. Takada, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography with a single graphics processing unit utilizing movie features," Optics Express, Vol.22, Issue 23, pp.28052-28057 (2014).
- [4] H. Niwase, N. Takada, H. Araki, Y. Maeda, M. Fujiwara, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "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] M. Makowski, A. Kowalczyk, M. Bieda, J. Suszek, I. Ducin, T. Shimobaba, Y. Nagahama and T. Ito, "Miniature holographic projector with cloud computing capability" Applied Optics, Vol. 58, No. 5, A156-A160 (2019)
- [6] H. Sannomiya, N. Takada, T. Sakaguchi, Y. Maeda, H. Nakayama, M. Oikawa, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Electroholography Using Multiple GPU Cluster System with a Single Spatial Light Modulator and Gigabit Ethernet Network," Proc. of IDW '17, vol.24, 3Dp1-19L, pp.922-923, (2017).