

コストパフォーマンスに優れたマルチ GPU 環境
電子ホログラフィシステム

Cost effective real-time electroholography system using multi-GPU environmental PC

三谷永久* 鈴木康平† 濱田端三† 坂口朋哉† 三宮 廣海†

Towa Mitani Kohei Suzuki Hashizo Hamada Tomoya Sakaguchi Hiromi Sannomiya

中山 弘敬¶ 角江 崇§ 下馬場 朋禄§ 伊藤 智義§ 高田 直樹‡

Hiroataka Nakyama Takashi Kakue Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito Naoki Takada

1. はじめに

コンピュータで計算した計算機合成ホログラム (CGH : Computer-Generated Hologram) による三次元物体の再生技術 (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 [1]. しかし, CGH の計算量が膨大であり, 実用化を妨げている. この問題を打開するため, マルチ GPU クラスタシステム (図 1) によるリアルタイム計算 (図 2) が提案された [2, 3]. しかし, システムの規模が大きく, コストも高い.

CGH 計算は計算量に比べ, 計算に使用するデータ量が極端に少ない. 本論文では, この特徴を活かし, マルチ GPU クラスタシステムの CGH 計算ノードに, コストを抑えるために, より多くの GPU を搭載したマルチ GPU 環境 PC を用いたシステムを提案する (図 3). 本稿では, 6 枚の GPU (NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER) を搭載し, CPU (Intel Core i7 9700) に比べて約 600 倍の計算高速化を実現した.

2. 計算機合成ホログラム (CGH)

N_p 点の点光源で構成されたポイントクラウドの三次元物体モデルを用いる. そのとき, ホログラム面上の点 $(x_\alpha, y_\alpha, 0)$ における光強度 I は, 次式となる.

$$I(x_\alpha, y_\alpha, 0) = \sum_{j=1}^{N_p} \cos \frac{\pi}{\lambda z_j} \{ (x_\alpha - x_j)^2 + (y_\alpha - y_j)^2 \} \quad (1)$$

ここで, (x_j, y_j, z_j) は物体上の点光源の座標である. λ は再生光の波長である.

CGH 上の 1 画素の光の強度を求めるには, 式 (1) 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 CGH を作成するには, ホログラムの解像度を $W \times H$ とすると, その計算量は $(W \times H) \times N_p$ となり膨大である.

3. 提案システム

文献 [2, 3] で提案したマルチ GPU クラスタシステムを図 1 に示す. CGH 計算を行う CGH 計算ノードと計算された CGH を表示する CGH 表示ノードから構成される. CGH 表示ノードは LCD パネルに接続されている. 図 1 では, CGH 計算ノードが 2 ノードの場合を示す. 各計算ノードには 3 枚の GPU が搭載されている. これは, 汎用的なマザーボードの制約上, 1 台の PC に搭載できる GPU を 3 枚としている. 図 2 に

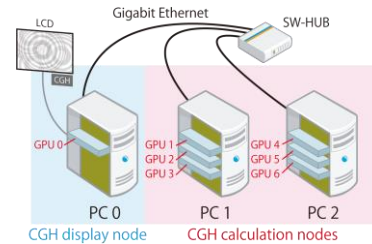


図 1 マルチ GPU クラスタシステム

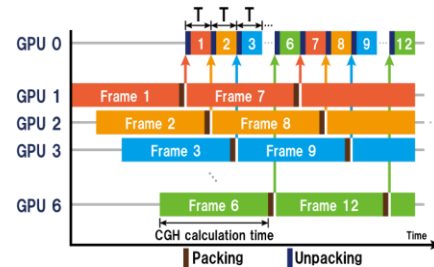


図 2 三次元動画再生アルゴリズム

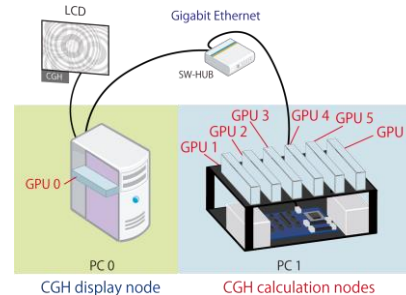


図 3 提案システム

示すように, 三次元動画の各フレームを CGH 計算ノードの各 GPU に割り当て, そのフレームの CGH を計算する. CGH 計算後, CGH 表示ノードに CGH 画像を転送する. CGH 表示ノードでは, CGH 計算ノードで作成された CGH 画像を空間光変調器である LCD パネルに次々と表示する. リアルタイム動画再生を実現するには, 1 秒間に 30 枚の CGH を表示しなければならない. つまり, CGH 表示時間間隔は 33.3ms 以内でなければならない. 式 (1) より計算された光強度 I は 32bit の単精度浮動小数点数で表される. CGH の解像度を $1,920 \times 1,024$ とすると, 光強度 I のデータ量は 63 Mbit となる. ネットワークに Gigabit Ethernet を用いると, 1 枚の CGH 転送時間は 63ms となり, ボトルネックとなる. そこで, 光強度 I の値を 2 値化したバイナリ CGH を用いる. さらに, パッキング処理によって CGH 転送データは 1 画素あたり 1 bit となり, CGH 転送データは 1/32 となる [3]. こ

* 高知大学理工学部情報科学科

† 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自然科学系理工学部門

れにより、1枚のCGHの転送時間を約2msに抑えることが可能となる。転送されたCGHパッキングデータは、CGH表示ノードでアンパッキング処理によりバイナリCGHが復元される。それをLCDパネルに表示する。パッキング処理とアンパッキング処理はGPUで処理を行うことで0.3ms以内に抑えることができ、CPUで処理した場合に比べ約30倍高速化される。

図1のシステムでは、PCI Express x16を複数搭載した高価なマザーボードを使用していた(表1 SYSTEM A)。しかし、PCI Express x1の転送速度は、Gigabit Ethernetよりも高速である。さらに、PCI Express x1を6本搭載した低価格なマザーボードは多数あり入手しやすい。本研究では、図3に示す1台のCGH計算ノードに6枚のGPUを搭載したシステムを提案する。CGH計算ノードに搭載するGPUの枚数を増やすことができれば、CGH計算ノード数を減らすことが可能となり、価格を大幅に低減することができる。

4. 結果

図1に示す従来のマルチGPUクラスタシステム[3](SYSTEM A)と本研究で提案する図3のシステム(SYSTEM B)の仕様を表1に示す。SYSTEM Aでは、CGH計算ノードとCGH表示ノードの仕様は同じである。一方、SYSTEM Bでは、CGH計算ノードとCGH表示ノードの仕様は異なる。CGH計算ノードにおいて、マザーボードにPCI Express x1を多数搭載しているマイニング用マザーボードを用いた。CGH表示ノードの性能はCGH計算ノードに比べ劣るが、CGH表示ノードは、GPUでアンパッキング処理とバイナリCGH画像を表示するだけであり負荷は少ない。よって、これがCGH表示時間間隔に影響することはないことを確認している。

2つのシステムにおけるCGH表示時間間隔を図4に示す。なお、CGH計算は文献[4]の最適化を使用している。最適化の分割数を16とし、文献[3]の性能を上回っている。SYSTEM Bにおいては、PCI Express 2.0 x1 (Gen 2)とPCI Express 3.0 x1 (Gen 3)の2つの場合のCGH表示時間間隔を示した。ここでNVIDIA GeForce GTX 1080 TiとNVIDIA GeForce RTX 2080 SUPERの1枚あたりの単精度浮動小数点演算理論性能は、それぞれ、11.340 TFLOPS、11.151 TFLOPSである。両者の理論性能差は小さいが、提案するシステムであるSYSTEM Bの結果がSYSTEM Aを上回っている。また、SYSTEM BにおいてPCI Express 2.0 x1とPCI Express 3.0 x1の性能は、ほぼ同じであった。SYSTEM Aの実効速度は約48 TFLOPSとなり、理論性能の70%の性能を発揮した。一方、提案システムであるSYSTEM Bの実効速度は約53 TFLOPSとなり、理論性能の80%の性能を達成した。さらに、SYSTEM Bは、CPU (Intel Core i7 9700)によるCGH計算に比べて約600倍の計算高速化を実現した。なお、Intel Cコンパイラv19.0.5.281(最適化オプション:-O3-xHost)を用い、Open MPにより8スレッドで計算した。SYSTEM Bで再生した三次元動画「メリーゴーランド」(物体点数: 95,949点)のスナップショットを図5に示す。

図3の提案システムは、図1の従来システムのCGH計算ノードに比べて1ノード少ないが、性能は低下することはない。図3の提案システムは、図1の従来システムに比べ約25万円のコストダウンを実現することができた。提案システムのCGH計算ノード数が増えれば増えるほど、さらにコストダウンが可能となる。

表1 マルチGPUクラスタシステムの仕様

	SYSTEM A (Fig.1)	SYSTEM B (Fig. 3)	
		CGH表示ノード	CGH計算ノード
CPU	Intel Core i7 7800X	Intel Core i7 3770	Intel Core i7 9700
Main memory	DDR4-2666 8 GB	DDR3-1333 4 GB	DDR4-2400 16GB
Mother board	ASUS WS X299 SAGE/10G	ASUS P9Z77-V	MSI B360-F PRO
OS	CentOS 7.3 x86_64	Cent OS 7.7 x86_64	Cent OS 7.7 x86_64
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti	NVIDIA GeForce GTX TITAN	NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER

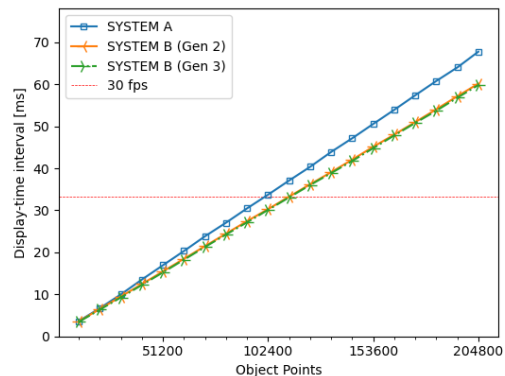
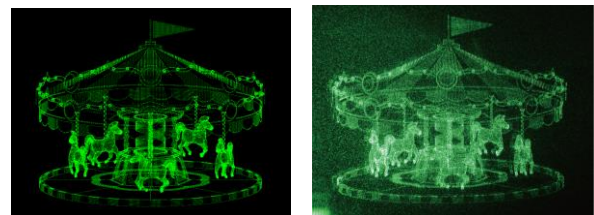


図4 CGH表示時間間隔



(a) オリジナル

(b) 再生像

図5 再生された三次元映像(物体点数: 95,949点)

5. まとめ

1枚のマザーボードにGPU (NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER)を6枚搭載し、これをCGH計算ノードとするマルチGPUクラスタシステムを提案した。約10万点からなる三次元物体のCGHを30fpsで再生することに成功した。実効性能は約53 TFLOPSを達成し、理論性能に対して約80%の性能を発揮した。また、CPU (Intel Core i7 9700)に比べて約600倍の計算高速化を実現した。

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18K11399)、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、I-O DATA 財団第3回研究開発助成によって行なわれた。

参考文献

- [1] T. Sugie, et al., Nature Electronics, 1, 254–259 (2018).
- [2] H. Niwase, et al., Optical Engineering, 55, 093108 (2016).
- [3] H. Sannomiya, et al., Chin. Opt. Lett. 18, 020902 (2020).
- [4] N. Takada, et al., Applied Optics 51, 7303-7307 (2012).