

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500071

研究課題名(和文)リアルタイム3次元動画再生用マルチGPUクラスタ電子ホログラフィシステムの開発

研究課題名(英文)Real-time electroholography system with multi-GPU cluster

研究代表者

高田 直樹 (TAKADA, NAOKI)

高知大学・自然科学系・准教授

研究者番号：50290713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：電子ホログラフィは究極の3次元テレビになると考えられている。しかし、計算機合成ホログラム(CGH)の計算量は膨大であり未だ実用化されていない。10枚のGPUボードを搭載したマルチGPUクラスタを利用した電子ホログラフィシステムを構築した。9枚のGPUボードをCGH計算に使用し、1枚のGPUボードでCGH表示を行う。1,920 × 1,024画素のCGH計算により性能を調べた。CPU 1個の場合に比べて約千倍近い計算高速化を達成し、約2万点からなる3次元物体のリアルタイム再生を実現した。さらに、約8万点からなる3次元物体の動画を約10fpsで再生することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Electroholography based on computer-generated hologram (CGH) is considered to potentially realize the ultimate three-dimensional (3-D) television. However, the practical use of CGH is limited by the complexity of the calculations. The electroholography system is built with multi-GPU cluster equipped with ten GPU boards and InfiniBand network system. In the electroholography system with ten GPU boards, nine GPU boards are used for CGH calculation, and a GPU board is used to display the calculated CGHs. I investigated the performance of a 1,920 × 1,024 pixel CGH calculation. The CGH computation speed of the electroholography system is about 1,000 times faster than that of a conventional CPU. A real-time reconstructed movie of a 3-D object composed of about 20,000 points is realized by using the electroholography system. Furthermore, I succeed to display a reconstructed 3-D image consisted of about 80,000 object points using the electroholography system at about 10 fps.

研究分野：総合領域

キーワード：電子ホログラフィ 高性能計算 Graphics Processing Unit GPGPU 計算機システム 分散並列計算
計算機合成ホログラム リアルタイム処理

1. 研究開始当初の背景

現在、実用化されている3次元映像は右目と左目の2枚の2次元映像による疑似的な3次元表示である。様々な角度から眺めても正面の立体像しか見ることができない。また、視覚疲労が懸念され長時間の利用は難しい。

ホログラフィは3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。電子化したホログラフィ(電子ホログラフィ)は「究極の立体テレビ」になると考えられている。しかし、コンピュータによって作られたホログラム(計算機合成ホログラム:CGH)の計算量は膨大であり、リアルタイム処理が困難なため、電子ホログラフィは未だ実用化に至っていない。

一方、GPUはコンピュータグラフィックス(CG)処理用プロセッサである。現在、GPUプログラムは、CG処理に依存せず、C言語に似た言語で容易に開発することができる。GPUは浮動小数点演算性能、コストパフォーマンスに優れていることから、GPUによる計算高速化の研究はハイパフォーマンス・コンピューティングにおいて重要となっている。

2. 研究の目的

本研究ではコストと簡便性を考慮し、マルチGPUクラスタと光学系装置を一体化したシステムを開発する。約1万点の物体点から構成された3次元物体のリアルタイム3次元動画像再生を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究で開発するシステムを図1に示す。4台のPC(PC1~PC4)で構成され、計算機合成ホログラム(CGH)を表示するPC1(CGH表示ノード)と、CGHを計算するPC2~PC4(CGH計算ノード)からなる。

CGH計算ノードでは各PCに3枚のGPUボードを搭載する。各GPUでCGHを計算し、計算されたCGHをCGH表示ノードのPC1に転送する。PC1は1枚のGPUボード(GPU0)を搭載し、これにCGHを表示する高精細なディスプレイ(SLM)を接続する。CGH計算ノードから受け取ったCGHは、CGH表示ノードであるPC1のGPU0によりSLMに描画される。SLMに表示されたCGHにレーザー等の参照光を照射することにより再生像が空中に表示される。

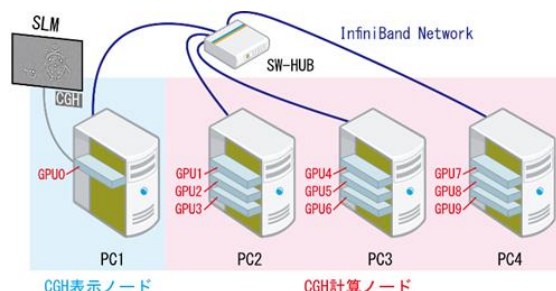


図1 システムの構成

1つのSLMに表示するCGHを、図1の計算ノードに搭載された多数のGPUを用いて、図2のように高速に計算処理を行う。3次元動画のN番目のフレームをFrame Nで示す。各GPUで計算されたCGHはGPU0へ送る。GPU0はGPU1で計算されたFrame 1のCGHを受け取り直ちにSLMに描画する。Frame 1のCGHをSLMに一定時間表示した後、GPU0はGPU2で計算されたFrame 2のCGHを受け取りSLMに表示する。これを繰り返し、図2に示す処理がなされる。リアルタイム処理を行うためには高速なネットワークが必要となる。本研究ではInfiniBand(QDR)を使用した。

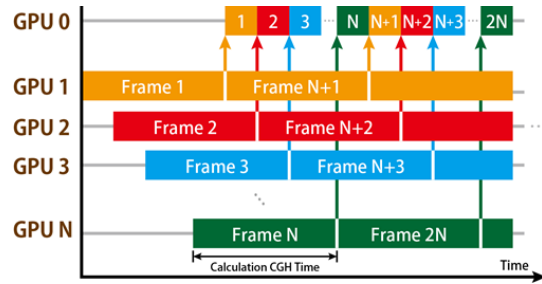


図2 本システムで行われるCGH計算処理

また、1万点で構成された3次元物体を1枚のGPUボードでリアルタイムに再生することを目的として、残像効果を高速化に用いた時空間分割多重化法を考案した。この方法の概略図を図3に示す。

動画の各フレームにおいて、物体点数の多い3次元物体の物体点データをいくつかに分割する。各フレームにおいて、分割された物体点データの中で1つを選び、選ばれた物体点データのみ用いてCGHを計算する。計算されたCGHを次々と切り替えて表示することで、残像効果により、元の物体点数の多い3次元物体を再生する。

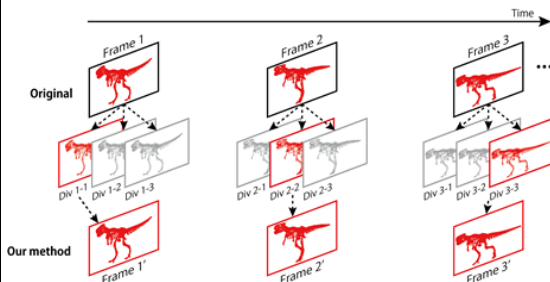


図3 時空間分割電子ホログラフィ

4. 研究成果

本研究で開発したシステムのマルチGPUクラスタ部を図4に示す。各PCにおいて、CPUとしてIntel Core i7 930 (2.8GHz, quad core), GPUとしてNVIDIA GeForce GTX 680, ネットワークとしてInfiniBand QDRを使用した。また、オペレーティングシステムとしてCentOS 6.3 (x86 64), 開発環境にCUDA 5.0, OpenGL, MPIライブラリにOpen MPI v1.7.2を使用した。これを光学系に接続して使用する。



図4 構築したマルチ GPU クラスタ

開発したシステムの性能を表 1, 2 に示す. 計算する CGH の画素数は $1,920 \times 1,024$ 画素である. 表 1 に CGH 計算時間を示す. GPU ボードの枚数は CGH 計算ノードに搭載された枚数を示す. 表 1 より, 1 万点で構成された 3 次元物体の CGH 計算時間は, 3 枚の GPU ボード, すなわち, 1 台の PC で 38 ミリ秒であった. 1 秒間に約 30 枚の CGH を計算することが可能であり, リアルタイム再生が実現していることを示している. 研究開始当初の目標を 1 台の PC で達成することができている. 表 1 より, 9 枚の GPU を用いて約 2 万点で構成された 3 次元物体のリアルタイム再生を実現することが確認された. また, 9 枚の GPU を用いて約 8 万点で構成された 3 次元物体の CGH を 1 秒間に約 10 枚計算することができることがわかる. 表 2 に 1 個の CPU (8 スレッド使用) に対する 9 枚の GPU ボードで計算した

表 1 CGH 計算ノードによる CGH 計算時間

物体点数	CGH 計算時間 [ms]			
	1 GPU	3 GPUs	6 GPUs	9 GPUs
10,240	102	38	22	15
20,480	203	75	40	30
40,960	412	147	79	55
61,440	614	221	121	77.8
81,920	825	293	156	104
102,400	1031	366	195	130

表 2 CPU に対する高速化

物体点数	高速化率
10,240	841
20,480	836
40,960	922
61,440	978
81,920	979
102,400	972

場合の計算高速化を示す. 本システムにより 1,000 倍近い計算高速化を実現していることが確認された.

次に, 残像効果を高速化に用いた時空間分割多重化法について評価を行った. ここでは, 1 枚の GPU ボード (NVIDIA GeForce GTX 680) を用いた. 計算モデルとして, 11,646 点から構成される 3 次元物体「恐竜」と, 44,647 点から構成される 3 次元物体「チェス」を用いた. それらの再生像を図 5, 6 に示す. 「恐竜」では, 3 分割でリアルタイム再生を実現できた. また, 「チェス」において 4 分割で 1 秒間に約 12 フレームの動画再生を実現できた.

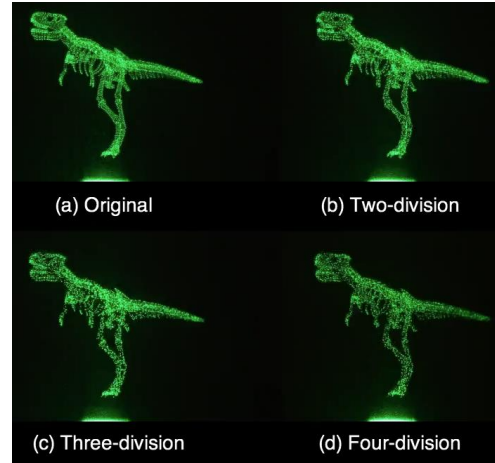


図 5 「恐竜」の再生像

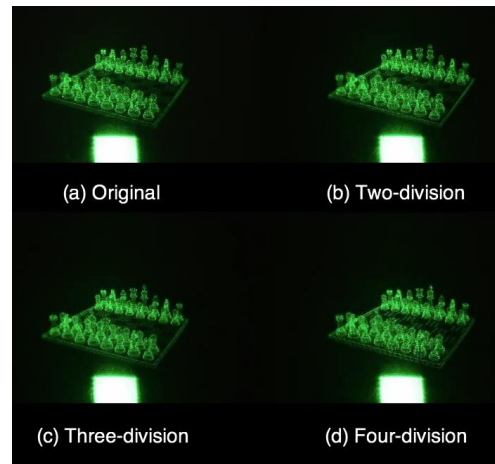


図 6 「チェス」の再生像

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

①H. Niwase, H. Araki, N. Takada, Y. Maeda, M. Fujiwara, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Spatiotemporal Division Multiplexing Electroholography Using Multi-GPU Cluster System," Proceeding of the International Display Workshop 2014 (IDW'14), 査読有, vol. 21, pp. 931-932, 2014.

② H. Araki, H. Niwase, N. Takada, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Time-Division Color Electroholography Using a Multi-GPU PC," Proceeding of the International Display Workshop 2014 (IDW'14) 査読有, vol.21, pp.929-930, 2014.

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, 査読有, Vol.22, Issue 23, pp.28052-28057, 2014. DOI: 10.1364/OE.22.028052.

④ K. Murano, T. Shimobaba, A. Sugiyama, N. Takada, T. Kakue, M. Oikawa, T. Ito, "Fast computation of computer-generated hologram using Xeon Phi coprocessor," Computer Physics Communications, 査読有, Vol.185, pp.2742-2757, 2014. DOI: doi:10.1016/j.cpc.2014.06.010

⑤ T. Shimobaba, Y. Nagahama, T. Kakue, N. Takada, N. Okada, Y. Endo, R. Hirayama, D. Hiyama, T. Ito, "Calculation reduction method for color digital holography and computer-generated hologram using color space conversion," Optical Engineering, 査読有, Vol.53, Issue 2, pp.024108-1 - pp.024108-6, 2014. DOI: 10.1117/1.OE.53.2.024108

⑥ N. Takada, H. Niwase, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time Electroholography Using Multi-GPU Cluster System with Infiniband Network," Collaborative Conference on 3D and Materials Research (CC3DMR) 2014, 査読有, pp.334-336, 2014.

⑦ H. Araki, H. Niwase, N. Takada, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Time-Division Color Electroholography Using Message Passing Interface," Proceeding of the International Display Workshop 2013 (IDW'13) 査読有, vol.20, pp.1112-1113, 2013.

⑧ N. Takada, H. Niwase, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Parallel Algorithm for Computer-Generated Hologram calculation Using Multi-GPU Cluster system with a

Single Display Device and Infiniband Network," The 20-th International Display Workshops (IDW'13), 査読有, vol.20, pp.1110-1111, 2013.

⑨ H. Yamanashi, T. Shimobaba, K. Kakue, M. Oikawa, N. Okada, Y. Endo, R. Hirayama, N. Takada, T. Ito, "Speckle-Reduced Zoomable Holographic Projection," The 20-th International Display Workshops (IDW'13), 査読有, vol.20, pp.1259-1262, 2013.

⑩ H. Niwase, H. Araki, N. Takada, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "One-Colored Time-Division Electroholography Using a NVIDIA GeForce GTX TITAN," The 20-th International Display Workshops (IDW'13), 査読有, vol.20, pp.1098-1100, 2013.

⑪ H. Araki, H. Niwase, N. Takada, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Time-Division Color Electroholography Using a USB Module and One-Chip RGB LED," Three Dimensional Systems and Applications (3DSA) 2013, P4-8, Osaka, Japan (2013). http://www.3dsa.kr/3dsa2013/contents/pdf/66_paper.pdf

⑫ N. Takada, H. Niwase, H. Araki, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Electroholography Using a Multi-GPU Environmental PC," Three Dimensional Systems and Applications (3DSA) 2013, 査読有, P4-5, 2013. http://www.3dsa.kr/3dsa2013/contents/pdf/65_paper.pdf

⑬ H. Niwase, H. Araki, N. Takada, H. Nakayama, A. Sugiyama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Time-Division Electroholography of the Three-Dimensional Object," Three Dimensional Systems and Applications (3DSA) 2013, P4-2, Osaka, Japan (2013). http://www.3dsa.kr/3dsa2013/contents/pdf/67_paper.pdf

⑭ N. Takada, T. Shimobaba, A. Sugiyama, N. Okada, H. Nakayama, A. Shiraki, N. Masuda, T. Ito, "Fast Parallel Computation of Computer-Generated Hologram using a multi-GPU environmental PC," Proceeding of International Display Workshops 2012 (IDW'12), 査読有, 1vol.19, pp.1281-1282, 2012.

⑮ N. Takada, T. Shimobaba, H. Nakayama, A. Shiraki, N. Okada, M. Oikawa, N. Masuda,

and T. Ito: "Fast high-resolution computer-generated hologram computation using multiple graphics processing unit cluster system" Applied Optics, 査読有, Vol. 51. pp. 7303-pp. 7307, 2012. DOI: 10.1364/AO. 51.007303

⑯N. Takada, T. Shimobaba, H. Nakayama, N. Masuda, T. Ito: "Fast Computation of 20 Mega Pixel Computer-Generated Hologram Using Multi-GPU Cluster System" Collaborative Conference on 3D Research (CC3DR) 2012, 査読有, pp. 25-pp. 26, 2012.

⑰T. Shimobaba, T. Kakue, N. Masuda, N. Takada, T. Ito, "Non-uniform sampling based computer holography," Collaborative Conference on 3D Research (CC3DR) 2012, 査読有, pp. 37-pp. 38 2012.

⑱T. Shimobaba, J. Weng, T. Sakurai, N. Okada, T. Nishitsuji, N. Takada, A. Shiraki, N. Masuda, T. Ito: "Computational wave optics library for C++: CWO++ library" Computer Physics Communications, 査読有, Vol. 183, pp. 1124-pp. 1138, 2012.

[学会発表] (計7件)

①高田直樹, 庭瀬裕章, 荒木啓充, 中山弘敬, 杉山充, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "マルチ GPU 計算システムを用いたリアルタイム電子ホログラフィの検討," ホログラフィックディスプレイ研究会会報 (HODIC), 招待講演, 2014年11月19日, 関西大学, 大阪, 2014.

②荒木啓充, 庭瀬裕章, 高田直樹, 中山弘敬, 杉山充, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "時分割表示方式によるリアルタイムカラー電子ホログラフィシステム," 3次元画像コンファレンス 2014, 2014年7月11日, 東京大学, 東京, 2014.

③高田直樹, 庭瀬裕章, 荒木啓充, 中山弘敬, 杉山充, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "複数フレーム同時計算アルゴリズムを用いたリアルタイム電子ホログラフィ," 3次元画像コンファレンス 2014, 2014年7月11日, 東京大学, 東京, 2014.

④庭瀬裕章, 荒木啓充, 高田直樹, 中山弘敬, 杉山充, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "時分割表示方式によるリアルタイム単色電子ホログラフィ," 3次元画像コンファレンス 2014, 2014年7月11日, 東京大学, 東京, 2014.

⑤高田直樹, 杉山充, 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, "CUDA 互換 GPU による FDTD 法

の計算高速化に関する考察," 電子情報通信学会 2012 ソサイエティ大会講演論文集 (シンポジウム), 2012年9月14日, 富山大学, 富山, 2012.

⑥下馬場朋禄, 角江崇, 高田直樹, 増田信之, 伊藤智義, "CPU 及び GPU に対応した C++ と Python 向け波動光学計算ライブラリの開発" 第 11 回情報科学技術フォーラム (FIT2012), 2012年9月4日, 法政大学, 東京, 2012.

⑦高田直樹, 下馬場朋禄, 杉山充, 岡田直久, 中山弘敬, 白木厚司, 増田信之, 伊藤智義: "シングル LCD 用マルチ GPU 環境 PC を用いた計算機合成ホログラムの計算高速化" 第 11 回情報科学技術フォーラム (FIT2012), 2014年9月4日, 法政大学, 東京, 2012.

[図書] (計1件)

角江崇, 佐竹信一, 下馬場朋禄, 杉山充, 鈴木貴之, 高田直樹, 津村徳道, 中山弘敬, 西辻崇, 増田信之, 村野弘樹, 吉森本, 講談社, GPU プログラミング入門-CUDA5 による実装 (伊藤智義 編), pp. 17-pp. 134, 2013年.

[その他]

ホームページ等

<http://whale.is.kochi-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 直樹 (TAKADA NAOKI)

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 50290713