

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11996

研究課題名（和文）階調表現と高精細化が可能な時空間分割電子ホログラフィによる実時間三次元動画再生

研究課題名（英文）Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholographic 3D video to improve high definition and gradation representation

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理工学部門・教授

研究者番号：50290713

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：「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、計算量が膨大であり、解決すべき課題が多く、未だ実用化に至っていない。また、膨大な点群からなる三次元物体の再生像は劣化する問題が知られている。実用化のためには、再生像の高精細化と階調表現性の向上が望まれる。本研究では、申請者が提案した階調表現法と高精細化用時空間分割法を併用したパイプライン計算アルゴリズムを異なるGPUを搭載したヘテロジニアス型GPUクラスタに実装した。最終的に、本手法により、約100万点からなる8階調を持つ三次元物体を、40fpsの速度でリアルタイムに高精細な三次元動画再生することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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。本研究では、計算資源を有効活用し、異なるGPUを搭載したヘテロジニアス型マルチGPUクラスタシステムを開発した。パイプライン計算アルゴリズムにより、計算ノードを増加させてスケールアウトし、膨大な物体点で構成された三次元物体のリアルタイム動画再生を実現する。階調表現性を向上し、再生像の高精細化を図る。費用対効果、汎用性に優れたGPUクラスタシステムで実現することにより、実用化へ向けて大きく前進するものとする。

研究成果の概要（英文）：Electroholography is expected to become the ultimate three-dimensional television. However, the computational complexity of the computer-generated hologram (CGH) calculation becomes enormous. Electroholography has many problems to be solved, so it has yet to be put into practical use. For practical use, it is desirable to improve high definition and gradation representation of a reconstructed 3D video. In this study, our spatiotemporal division multiplexing method for high definition and our gradation representation method are implemented on a heterogeneous multi-GPU cluster system with the multiple GPUs based on different architectures. Finally, we realize a real-time clear electroholographic 3D video of an eight-gradation 3D object comprising approximately one million points at 40 fps.

研究分野：ホログラフィ

キーワード：三次元ディスプレイ 時空間分割電子ホログラフィ 重み付きバイナリ計算機合成ホログラム 階調表現 リアルタイム再生

1. 研究開始当初の背景

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。このことから、コンピュータで作成された計算機合成ホログラム (Computer-generated hologram: CGH) により電子化した三次元動画再生技術 (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。しかし、CGH の計算量が膨大であることをはじめ、解決すべき課題が多く、未だ実用化に至っていない。

再生する三次元物体は、点群モデルである。市販されている空間光変調器 (Spatial light Modulator: SLM) で表示可能な CGH の解像度はフル HD や 4K 解像度である。三次元物体を構成する点群が膨大になると、CGH は劣化することが知られている。当然ながら、再生される三次元像も劣化する。実用化のためには、再生像の高精細化と階調表現性の向上が望まれる。

本研究では、申請者が提案した階調表現法[1]と高精細化用時空間分割法[2]を用いる。これまで、要素技術は確立していたが、100 万点規模の点群で構成された階調を持つ三次元物体のリアルタイム再生を実現するまでには至らなかった。そこで、保有している計算資源を有効活用し、異なる GPU (Graphics Processing Unit) を搭載したヘテロジーニアス型マルチ GPU クラスタシステムを用いる。パイプライン計算アルゴリズムを実装し、理論上使用する GPU の枚数に制約がなく、無限に CGH 計算ノードを結合できる。つまり、必要に応じて計算ノードを増加させてスケールアウトすることにより、膨大な物体点で構成された三次元物体のリアルタイム動画再生が実現できることとなる。費用対効果、簡便性、汎用性に優れた GPU クラスタシステムで実現することにより、実用化へ向けて大きな前進となるものと考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

次の 1) ~ 3) を行い、申請者が考案した階調表現法と高精細化用時空間分割法を併用したパイプライン計算アルゴリズムを、異なる GPU を搭載したヘテロジーニアス型 GPU クラスタに実装する。最終的に、約 100 万点からなる 8 階調を持つ三次元物体の高精細な三次元動画再生を実現することを、本研究の目的とした。

- 1) 費用対効果と省スペース化を考慮し、少ないノード数でより多くの GPU を搭載した GPU クラスタ電子ホログラフィシステムの開発
- 2) 異なる GPU を搭載したヘテロジーニアス型マルチ GPU クラスタシステムの開発
- 3) BW-CGH による階調表現法と高精細化用時空間分割法を併用したパイプライン計算アルゴリズムを用いたヘテロジーニアス型マルチ GPU クラスタシステム用プログラムの開発

3. 研究の方法

3.1 重み付きバイナリ CGH による階調表現

振幅型 CGH の場合、白と黒で描かれたバイナリ CGH を用いて階調を持つ三次元物体を再生することは容易ではない。申請者は、振幅型 CGH において、再生像の階調表現を向上させる手法として、重み付きバイナリ CGH (Binary-Weighted CGH: BW-CGH) をビットプレーンとして用いる手法を提案している。BW-CGH は、光が透過するバイナリ CGH の白を灰色にした CGH である。灰色の階調値を変えることで光の透過率が変わり、再生光の明るさを変えずに、再生像の輝度を調整できる (図 1)。異なる階調値の灰色と黒で描かれた複数の BW-CGH を時分割で次々と SLM に高速表示することで、階調を持つ三次元物体を再生することができる (図 2)。物体点の持つ階調値によって、複数のビットプレーンに、その物体点が割り当てられる。このとき、図 3 のアルゴリズムを用いると、重複計算を省いて効率良く複数のビットプレーンを計算することができる [1]。本研究では、図 3 のアルゴリズムを用いた。

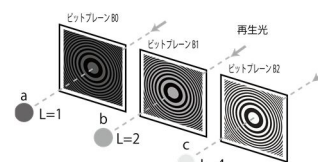


図 1 重み付きバイナリ CGH

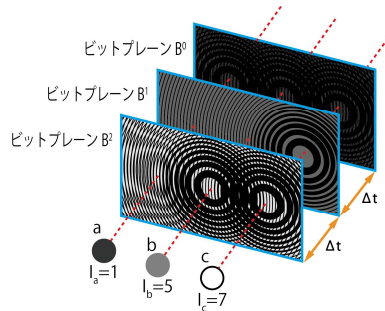


図 2 BW-CGH による階調表現

3.2 高精細化用時空間分割法

図 4 に示す 8 階調を持つ 3 次元モデルは、1064,440 点からなる。このモデルから 3 枚のビットプレーンとなる BW-CGH を計算し、再生した結果が図 5 である。このように、膨大な物体点から振幅型 CGH を計算すると、その CGH の画質が劣化する。そのため、再生像の画質も劣化する。この問題を改善するため、申請者は高精細化用時空間分割法を提案している [2]。三次元動画の各フレームにおいて、三次元モデルを空間に対して M 分割する (図 6)。分割

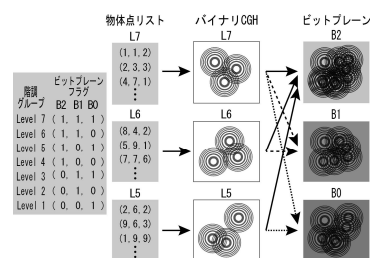


図 3 BW-CGH 計算アルゴリズム

されたフレームに割り当てられる物体点数は $1/M$ となる。このように、物体点数が減るため、分割された物体から作成される CGH は、画質の劣化が低減される。分割された物体から作成された CGH をすべて高速表示することができれば、残像効果により元の三次元モデルが補完される。しかし、元の動画よりもフレーム数が M 倍となり、再生時間も分割数に比例して増加する。元の三次元像の速度で再生するには、CGH を M 倍高速表示しなければならない。そのため、高速な CGH 計算と、CGH の高速表示を可能とする振幅型 SLM が必要となる。

3.3 マルチ GPU クラスタ計算システム

1 台の CGH 表示ノードと複数の PC からなる CGH 計算ノードで構成されるマルチ GPU クラスタシステムを開発した(図7)。CGH 計算ノードとして、1 枚のマザーボードに 6 枚の GPU を搭載した PC を用いた。図8に BW-CGH による階調表現法と高精細化用時空間分割法を併用する処理の流れの概要を示す。ここでは、図4の8階調を持つ三次元モデルを用い、時空間分割法において、空間に対して3分割した場合を示している。図9に示すパイプライン計算アルゴリズムを実装し、階調表現法と高精細化用時空間分割法を併用した。図9において、各フレームで用いる3枚のビットプレーンを計算する GPU の集まりを1つのグループとする。GPU 4 の演算性能が最も高いものとし、1 枚の GPU で1つのフレームの3枚のビットプレーンを計算する。そのため、GPU 4 は1枚の GPU で1つのグループを構成する。一方、GPU 1, GPU 2, GPU 3 は、GPU 4 と比べるとその演算性能は $1/3$ となるとする。このとき、GPU 4 と同じ速度で、1つのフレームに割り当てられた3枚のビットプレーンを計算するためには、それぞれのビットプレーンとなる BW-CGH を3分割して、その分割された領域をそれぞれの GPU で計算することになる。よって、GPU 1, GPU 2, GPU 3 の3枚の GPU で1つのグループを構成することになる。

物体点データは、図3に示すように階調値によってそれぞれの階調グループ Level 1 ~ Level 7 に分けられる。GPU の各グループにおいて、3枚のビットプレーンのそれぞれを GPU の枚数分で均等に分割し、分割されたそれぞれの領域を各 GPU で計算する。計算されたビット

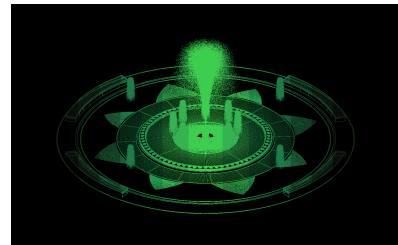


図4 8階調を持つ三次元モデル

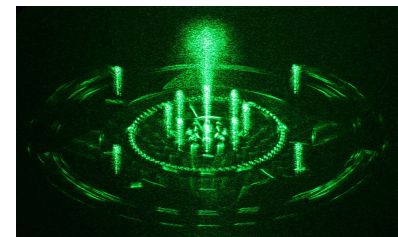


図5 再生像(時空間分割なし)

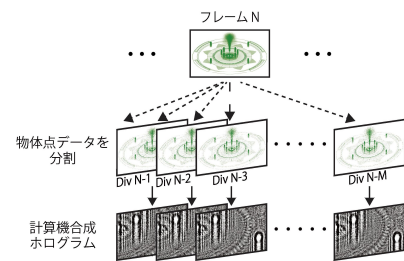


図6 高精細化用時空間分割法

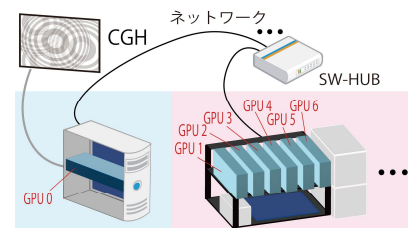


図7 開発したシステム

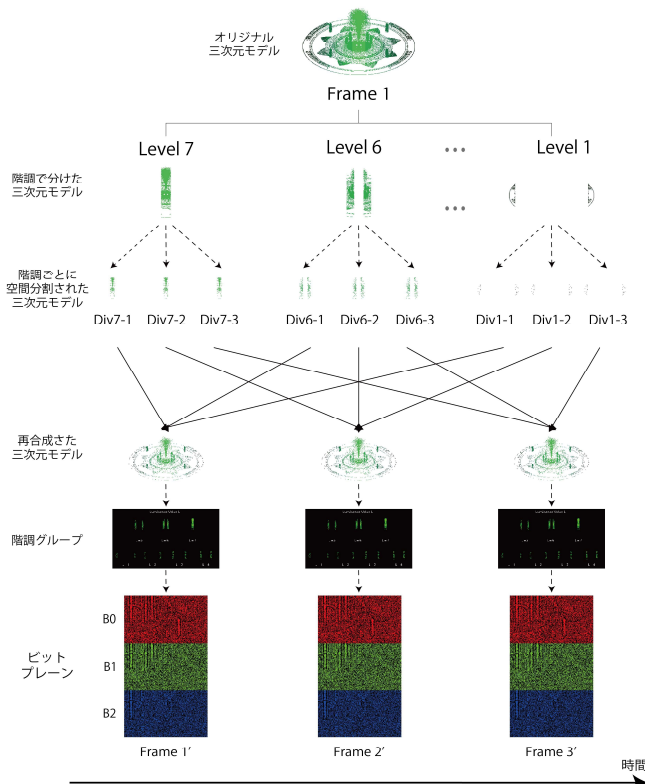


図8 階調表現法と高精細化用時空間分割法の併用

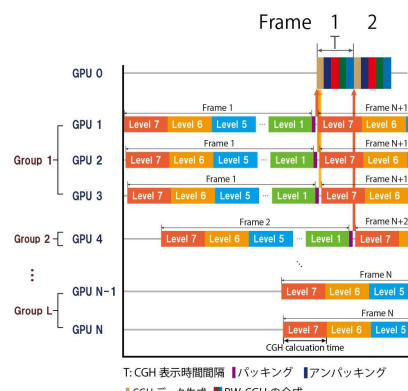


図9 パイプライン計算アルゴリズム

プレーンの各画素は灰色と黒の2色、つまり、2値データとして扱える。それを Packing 処理によって32ビットのデータごとにまとめ、図7のCGH表示ノードへ転送する。なお、表示ノードへ、3枚のビットプレーンの灰色の階調値も転送しても良いが、ここでは、表示ノードにあらかじめ与えられているものとする。

CGH表示ノードでは、受信したデータを用意されたビットプレーンごとの配列に、それぞれ格納する。このとき、各ビットプレーンのCGHデータのサイズは監視されており、それぞれ1枚分のBW-CGHデータと同等のサイズになるまで受信し続ける。受信終了後に、Unpacking処理を行い、3枚のビットプレーンが作成される。その後、3枚のビットプレーン、つまり、3枚のBW-CGHを合成して1枚のカラー画像を作成し、デジタル・マイクロ・ミラーデバイス(DMD)へ出力する。DMDでは、1枚のカラー画像から3枚のビットプレーンに分けられ、順番に表示される。

[1] R. Noguchi, K. Suzuki, Y. Moriguchi, M. Oikawa, Y. Mori, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, N. Takada, Chinese Optics Letters, 2021, 19(11): 110501 (2021).

[2] (Invited) N. Takada, M. Fujiwara, C. W. Ooi, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, IEICE Trans. Electron., vol. E100-C, no.11, pp.978-983 (2017).

4. 研究成果

4.1 マルチGPUクラスタシステムの性能評価

図7に示すマルチGPUクラスタシステムを構築した。1枚のGPU(NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti)を搭載したCGH表示ノードは1ノードであり、その仕様を表1に示す。CGH計算ノードは6枚のGPU(NVIDIA GeForce RTX 4090)を搭載したPCを用い、2ノードで構成した。つまり、CGH計算ノードに搭載されているGPUは12枚となる。使用したPCの仕様を表2に示す。なお、ネットワークに1Gbpsのイーサネットを使用した。このシステムにパイプライン計算アルゴリズムを実装して計算を行ったとき、階調を持たない三次元物体の1枚あたりの振幅型バイナリCGHの表示時間間隔と8階調を持つ三次元物体の3枚のBW-CGHの表示時間間隔を測定した。その結果を図9に示す。ここで、振幅型バイナリCGHおよびBW-CGHの解像度は 1920×1024 である。各フレームにおいて、3枚のBW-CGHデータを転送するため、転送時間は6msとなる。図9において、物体点数が30万点までは計算時間よりも転送時間が上回っており、ボトルネックとなっていることがわかる。物体点数が約30万点以上においては、8階調を持つ三次元物体の3枚のBW-CGHは、1枚の振幅型バイナリCGHの計算時間の1.1倍以内に収まっており、効率良く計算がなされていることがわかる。本研究では、時空間分割法を用いるため、240Hzでフル

表1 CGH表示ノード

| | |
|--------------|------------------------------------|
| CPU | Intel Core i7-7800X |
| Memory | DDR4-3200 16GB×8枚 |
| Mother-board | ASUS WS X299 SAGE/10GB |
| GPU | ZOTAC GeForce GTX 1080 Ti 1枚 |
| OS | Ubuntu 22.04.3 LTS |
| Software | NVIDIA CUDA 12.2, Intel MPI 2021.3 |

表2 CGH計算ノード(RTX 4090)

| | |
|--------------|--|
| CPU | Intel Core i7-7800X |
| Memory | DDR4-3200 16GB×8枚 |
| Mother-board | ASUS WS X299 SAGE/10GB |
| GPU | MSI GeForce RTX 4090 GAMMING X TRIO 24G 6枚 |
| OS | Ubuntu 22.04.3 LTS |
| Software | NVIDIA CUDA 12.2, Intel MPI 2021.3 |

表3 CGH計算ノード(RTX 3080)

| | |
|--------------|--|
| CPU | Intel Core i7-7800X |
| Memory | DDR4-3200 8GB×2枚 |
| Mother-board | ASUS WS X299 SAGE/10GB |
| GPU | MSI GeForce RTX 3080 VENTUS 3X 10G OC 6枚 |
| OS | CentOS Stream release 8 |
| Software | NVIDIA CUDA 11.6, Intel MPI 2021.3 |

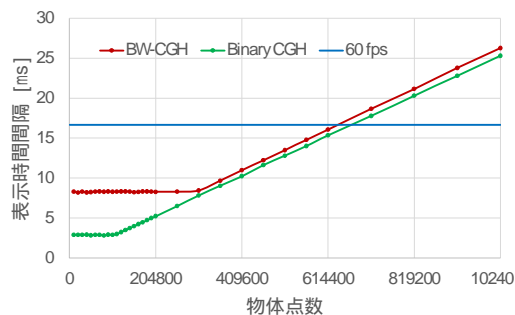


図9 バイナリCGHとBW-CGHの表示時間間隔

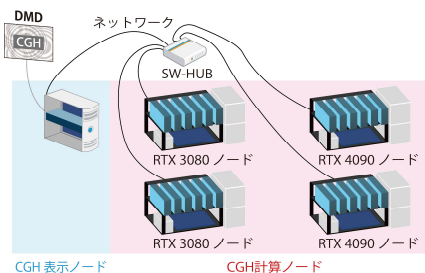


図10 マルチGPUクラスタシステム

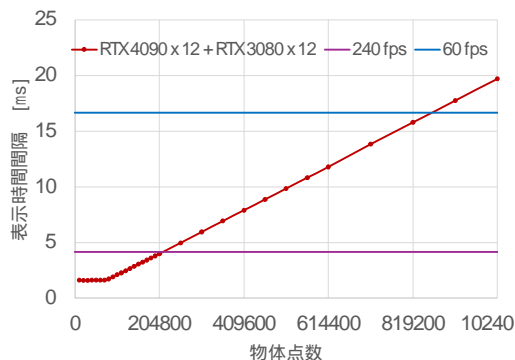


図11 3枚のBW-CGHの表示時間

HD のカラー画像を再生可能な DMD を用いる .1 フレームあたり約 4.2ms で再生される .しかし ,1Gbps のイーサネットをネットワークに使用する場合 ,3 枚の BW-CGH の通信時間のほうが上回り ,ボトルネックとなる .そこで ,10Gbps のイーサネットをネットワークに使用する .このとき ,3 枚の BW-CGH の転送時間は 0.42ms となり ,ボトルネックは解消される .

次に ,図 10 に示すように ,CGH 計算ノードに 2 種類の GPU(NV11A GeForce RTX 4090 , NV11A GeForce RTX 3080)を搭載したヘテロジニアス型マルチ GPU クラスタシステムを構築した .1 枚の GPU(NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti)を搭載した CGH 表示ノード(表 1)と 4 ノードの CGH 計算ノードで構成される .CGH 計算ノードは ,表 2 に示す仕様のノードと表 3 に示す仕様のノードが ,それぞれ 2 ノードずつ ,合計 4 ノードで構成される .ネットワークには ,10 Gbps のイーサネットを使用した .本システムを用いて計算したとき ,3 枚の BW-CGH の表示時間間隔を図 11 に示す .図 9 と比較すると ,3 枚の BW-CGH の転送時間のボトルネックが解消されていることがわかる .図 11 より ,約 20 万点まで 240Hz の DMD で 8 階調を持つ三次元物体を再生できることがわかる .

図 10 のシステムを用いて 図 4 に示す約 100 万点からなる 8 階調を持つ三次元物体の三次元像の動画再生を試みた .なお ,時空間分割法において ,空間に対して 6 分割とした .使用した光学系を図 12 に示す .240Hz でカラー画像を再生可能な DMD として ,Texas Instruments 社 DLP LightCrafter Display 471TE 評価モジュールを用いた .空間に対して 6 分割しており ,40fps の速度で再生することに成功した .再生像を図 13 に示す .図 5 に比べ ,高精細な再生像が得られている .しかし ,8 階調が表現できているかを確認したところ ,物体点が密集しているところが明るくなり ,この 3D モデルでは十分な評価が行えないことがわかった .

そこで ,空間に対して物体点の密度が一定となる三次元モデルを作成し ,評価した .8 階調を持つ三次元モデルの再生像を図 14 に示す .階調の異なる 7 台の観覧車の三次元モデルである .1 台の観覧車は 16 万点からなり ,7 台で 112 万点の物体点数からなる .各階調において ,空間に対して 6 分割した時空間分割法を適用した .このとき ,1 フレームは 186,666 点となる .3 枚の BW-CGH を用いるため ,40fps の速度で 8 階調を持つ三次元動画が再生された .図 14 の再生像から階調を評価した .各階調において評価に使用した 3 つの領域(R1,R2,R3)を図 15 に示す .それぞれの領域の輝度値を補正し ,評価した結果を図 16 に示す .図 16 の結果から ,理想値に近い明るさとなっており ,8 階調表現できていることがわかる .最終的に ,本手法を用いて ,100 万点からなる 8 階調を持つ三次元物体を 40fps の速度でリアルタイム動画再生を実現できることが確認された .

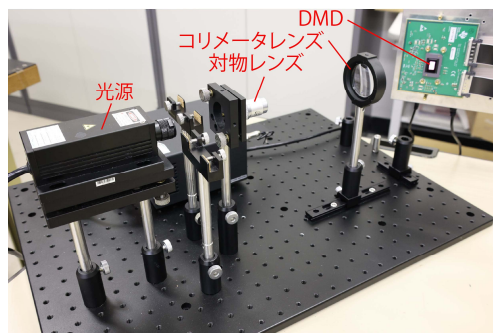


図 12 使用した光学系

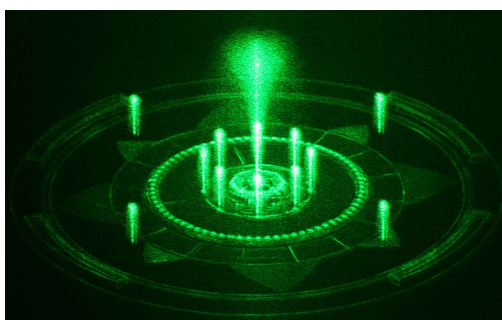


図 13 8 階調の 3D モデル「噴水」(再生像)

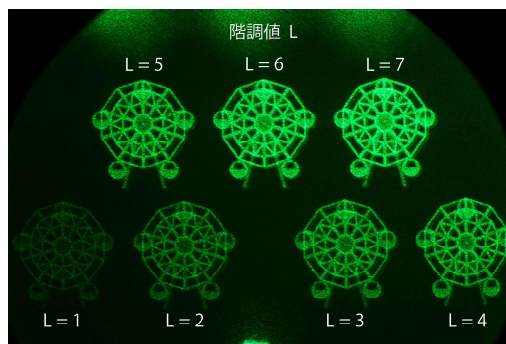


図 14 8 階調の 3D モデル「観覧車」(再生像)

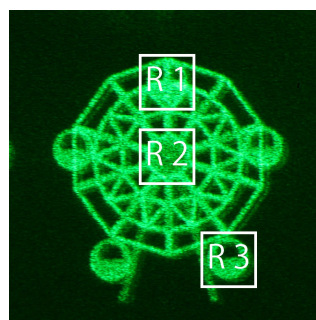


図 15 階調の評価に用いた領域

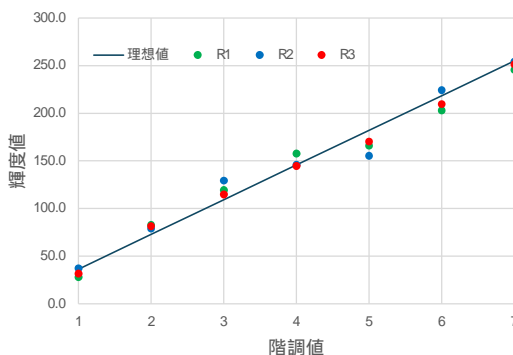


図 16 再生像の階調

5. 主な発表論文等

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

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Ren Noguchi, Kohei Suzuki, Yoshiki Moriguchi, Minoru Oikawa, Yuichiro Mori, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, Naoki Takada | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Real-time gradation-expressible amplitude-modulation-type electroholography based on binary-weighted computer-generated hologram | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Chinese Optics Letters | 6. 最初と最後の頁 110501 - 110501 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3788/COL202119.110501 | 査読の有無 無 |
| 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17件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Junai Uchida, Natsumi Furukawa, Yuzuki Nakatani, Naoki Takada |
| 2. 発表標題 Real-time Aerial 3D Display Using Holographic Projector and Resin 3D Screen |
| 3. 学会等名 The 30th International Display Workshops (IDW '23) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Junai Uchida, Shomu Wada, Yuuka Narishima, Yoshihiro Oda, Yoshiki Moriguchi, Naoki Takada |
| 2. 発表標題 Real-time Aerial 3D Display Using Holographic Projector |
| 3. 学会等名 The 29th International Display Workshops (IDW '22) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuuka Narishima, Towa Mitani, Shomu Wada, Kohei Suzuki, Hashizo Hamada, Naoki Takada |
| 2. 発表標題 Real-time 4K Electroholography with Multi-GPU Cluster System Based on Ampere Architecture |
| 3. 学会等名 The 29th International Display Workshops (IDW '22) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 成島 佑華, 三谷 永久, 和田 翔夢, 高田 直樹 |
| 2. 発表標題 ヘテロ型マルチGPUクラスタシステムによるリアルタイム電子ホログラフィ |
| 3. 学会等名 第22回情報科学技術フォーラム (FIT2023) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 内田 十内, 成島 佑華, 小田 好洸, 森口 嘉軌, 高田 直樹 |
| 2. 発表標題 ホログラフィックプロジェクトを用いたリアルタイム三次元映像の実像と虚像の空中表示 |
| 3. 学会等名 第22回情報科学技術フォーラム (FIT2023) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 内田十内, 戸田和希, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 ホログラフィックプロジェクトを用いた空中三次元動画再生の検討 |
| 3. 学会等名 3次元画像コンファレンス2023 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 成島佑華, 大西優輝, 内田十内, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 ポータブルホログラフィックプロジェクトを用いた空中ディスプレイの開発 |
| 3. 学会等名 立体メディア技術研究会 (3DMT) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 成島佑華, 森口嘉軌, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 再計算せずに再生像の明るさを調整可能なポータブルホログラフィックプロジェクトの開発 |
| 3. 学会等名 3次元画像コンファレンス2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和田 翔夢, 三谷 永久, 鈴木 康平, 浜田 端三, 高田 直樹 |
| 2. 発表標題 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 |
| 3. 学会等名 第21回情報科学技術フォーラム (FIT2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 内田 十内, 成島 佑華, 小田 好洸, 森口 嘉軌, 高田 直樹 |
| 2. 発表標題 ホログラフィックプロジェクトを用いたリアルタイム空中描画システムの開発 |
| 3. 学会等名 第21回情報科学技術フォーラム (FIT2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 成島 佑華, 森口 嘉樹, 山崎 隆史, 高田 直樹 |
| 2. 発表標題 ポータブルホログラフィックプロジェクトを用いた階調を持つ三次元映像の投影 |
| 3. 学会等名 第21回情報科学技術フォーラム (FIT2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Towa Mitani, Kohei Suzuki, Naoki Takada |
| 2. 発表標題 Fast Calculation of Amplitude-Modulated Computer Generated Hologram with Multiple Ampere-GPU Cluster System |
| 3. 学会等名 The 28th International Display Workshops (IDW '21) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 三谷永久, 鈴木康平, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 AmpereアーキテクチャのGPUによる振幅型計算機合成ホログラムの計算高速化 |
| 3. 学会等名 3次元画像コンファレンス2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 三谷永久, 鈴木康平, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 AmpereアーキテクチャのGPUによる位相型計算機合成ホログラムの計算高速化 |
| 3. 学会等名 第20回情報科学技術フォーラム (FIT2021) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 浜田端三, 三谷永久, 鈴木康平, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 レイトレーシングによる隠面処理を含むリアルタイム電子ホログラフィの検討 |
| 3. 学会等名 第20回情報科学技術フォーラム (FIT2021) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 森口嘉軌, 小田好洸, 内田十内, 成島佑華, 鈴木康平, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 再帰反射とホログラフィックプロジェクトを用いた三次元空中表示の検討 |
| 3. 学会等名 立体映像技術研究会 (3DIT) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 浜田端三, 三谷永久, 鈴木康平, 高田直樹 |
| 2. 発表標題 GPUによるレイトレーシングを含む実時間インタラクティブ電子ホログラフィ |
| 3. 学会等名 立体映像技術研究会 (3DIT) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, Takashi Kakue, Yasuyuki Ichihashi, Takashige Sugie, Minoru Oikawa, Takashi Nishitsuji, Yota Yamamoto, Soma Fujimori, Harutaka Shiomi, Fan Wang, Naoki Takada, Yutaka Endo, David Blinder, Tobias Birnbaum, Tatsuki Tahara, Nobuyuki Masuda, Ikuo Hoshi | 4. 発行年 2023年 |
| 2. 出版社 Springer | 5. 総ページ数 368 |
| 3. 書名 Hardware Acceleration of Computational Holography | |

〔出願〕 計3件

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 産業財産権の名称 空中投影装置 | 発明者 高田, 小田, 鈴木, 森口, 山崎, 三谷, 内田 | 権利者 国立大学法人高知大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/026020 | 出願年 2022年 | 国内・外国の別 外国 |

| | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 産業財産権の名称 ヘッドアップディスプレイ装置 | 発明者 高田直樹, 小田好洸, 鈴木康平, 森口嘉軌, 三谷永久 | 権利者 国立大学法人高知大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-104901 | 出願年 2022年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 産業財産権の名称 投影対象体のガイド方法及び投影対象体のガイド装置 | 発明者 高田直樹, 山崎 隆史, 鈴木康平, 森口嘉軌, 三谷永久 | 権利者 国立大学法人高知大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-104903 | 出願年 2022年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

高知大学理工学部情報科学科 高田研究室
<https://whale.is.kochi-u.ac.jp/index.html>

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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|