

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月6日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00151

研究課題名(和文)超小型化を志向したリアルタイムホログラフィックプロジェクションに関する研究

研究課題名(英文)Research on real-time holographic projection for miniaturization

研究代表者

下馬場 朋禄 (Shimobaba, Tomoyoshi)

千葉大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：20360563

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ホログラフィを利用したプロジェクタは、ホログラム自身がレンズとして機能するため基本的にレンズレスで構築できる。そのため、投影像は無収差であり、光学系は簡略化ができるため小型化が期待できる。一方、欠点もいくつかあり、レンズを使用せずにいかにしてズームを実現するかや、投影画像に重畳するスペックルノイズの抑制方法、ホログラム計算の高速化が課題として挙げられるが、これらの問題を同時に解決する手法は知られていない。本申請課題ではレンズを使用しない極めて簡易な光学系により、低スペックルノイズかつズーム可能な投影像を得ることができるホログラフィックプロジェクタの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光源や表示素子の発展により低消費電力・小型化を志向した小型プロジェクタの開発が活発に行なわれており、今日では携帯機器に搭載可能なモジュールタイプの製品も開発されるようになってきている。小型プロジェクション技術にはいろいろな方式が提案されているが、ホログラフィを利用したプロジェクションは光の波面を自由に制御できる特性を利用したプロジェクタとなっている。本申請課題ではレンズを使用しない簡易な光学系により、低ノイズかつズーム可能な投影像をビデオレートで得ることができるホログラフィックプロジェクタの開発を行う。

研究成果の概要(英文)：Holographic projectors can be built basically lensless because the hologram itself functions as a lens. Therefore, the projected image has no aberration, and the optical system can be extremely simplified. On the other hand, there are some drawbacks: how to realize the zoom without using a lens, the method of suppressing speckle noise to be superimposed on the projection image, and the speeding up of the hologram calculation. In this project, we have developed a holographic projector that can obtain a low speckle noise and zoomable projection image with a very simple optical system that does not use a lens.

研究分野：情報光学

キーワード：ホログラフィ ホログラフィックプロジェクション レンズレス ホログラム プロジェクタ 高速計算 計算機合成ホログラム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

小型プロジェクタ(マイクロプロジェクタ, ピコプロジェクタとも呼ばれる)は, 半導体レーザーやLEDなどの光源, LCDパネルやMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)などの表示素子の発展により低消費電力・小型化を志向した開発が活発に行なわれており, 今日では携帯機器に搭載可能なモジュールタイプの製品も開発されるようになってきている. 小型プロジェクション技術にはいろいろな方式が提案されているが, 代表的なものに, LCDパネルの画像をレンズで投影する方式やMEMSを使ったレーザー走査方式がある. 上記以外の方式も提案されているが, ホログラフィを利用したプロジェクション(ホログラフィックプロジェクション)は他の技術にはない特徴を持つ. 一般的にホログラフィは3次元映像技術として知られているが, ホログラフィックプロジェクションはホログラフィの波面を自由に制御できる特性を利用したプロジェクタとなっている.

2. 研究の目的

ホログラフィを利用したプロジェクタは, ホログラム自身がレンズとして機能するため基本的にレンズレスで構築できる. そのため, 投影像は無収差で, 光学系は極めて簡略化できるため超小型化が期待できる. 一方, 欠点もいくつかあり, レンズを使用せずにズームを実現する方法や, 投影画像に重畳するスペックルノイズ(レーザー光のランダムな干渉によるノイズ)の抑制方法, ホログラム計算の高速化が課題として挙げられる. 本申請課題ではレンズを使用しない極めて簡易な光学系により, 低スペックルノイズかつズーム可能な投影像をビデオレートで得ることができるホログラフィックプロジェクタの開発を行う.

3. 研究の方法

本申請課題は小型化を志向したレンズレス・ホログラフィックプロジェクタを実現するための要素技術と, その試作機の開発を目的とする. ホログラフィックプロジェクタでは, ズームや投影像のノイズ, ホログラムの計算時間が問題となっている. ホログラフィックプロジェクタに使用する空間光変調器にはLCDやDMD(Digital Micromirror Device)などがあるが, 本研究ではDMDの高速性を使用したホログラムの生成方法および再生方法について検討を行った.

DMDの高速性は画質改善に有効ではあるが, 大量のホログラムを生成する必要があるため, その高速計算手法が重要になってくる. 本研究では, ウェーブレット変換によるホログラムの高速計算手法を提案した. 将来的にカラー再生を行うために, 色空間変換とウェーブレット変換を組み合わせたホログラムの高速計算方法の開発も行った.

また, ホログラフィックプロジェクタは, 投影位置を指定してホログラム計算を行う必要があるため, 投影位置が未知の場合にはホログラム計算が困難になることを意味する. 派生的な研究として, 映像を投影するスクリーン位置をRGB-Dカメラで検出することで, ホログラム計算を行う手法の検討も行った.

4. 研究成果

ホログラフィックプロジェクタに使用する空間光変調器にはDMDを使用した. スケール回折計算と投影像の分割再生法を併用することで, DMDのパネルサイズよりも大きな再生像を得られることを確認した. 図1にDMDを想定したシミュレーションにより得られた再生像を示す. 原画像を 4×4 の領域に分割し, 各領域ごとにスケール回折を適用してホログラムを計算する. このホログラムをDMDに高速表示することで, 時分割再生ができる. また, 再生像のノイズを抑制するために, 各領域ごとにノイズの異なるホログラムを10枚計算しておき, 高速表示することでノイズが時間平均され, 画質が向上する. DMDは 1920×1080 画素のため, (ホログラムからの再生像を画素数で換算するのは適切ではないかもしれないが)再生像は 7680×4320 画素相当となる.

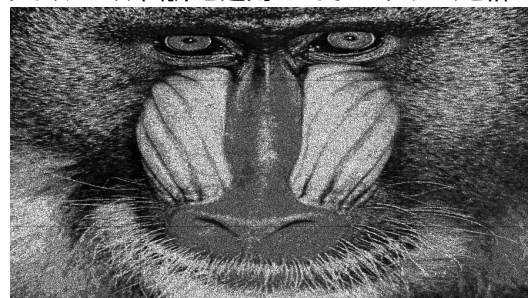


図1



図2

図2は図1の方法で得られた160枚のホログラムをDMDで高速再生して得られた光学実験結果である. 光学系のアライメント調整が甘いため, ピントがずれた再生像となっているが, 想定通りの再生像を得ることができている. 再生像に重畳している明るい矩形は, DMDからの直接光であり, これはフィルタにより取り除くことができる.

ホログラフィックプロジェクションでは,ホログラム計算の高速化が課題として挙げられる.ホログラム計算の高速化アルゴリズムの一つに,ウェーブレット変換を利用したWASABI(Wavelet ShrinkAge-Based superpositIon)がある.

WASABIは点像分布関数(PSF:Point Spread Function)をウェーブレット変換し,ウェーブレット空間上のPSFのうち強度が上位%の成分のみ光波の重ね合わせ計算に利用し,ホログラム生成を行う.ウェーブレット変換の計算量はホログラム計算と比較して小さく,原画像を構成する点数が十分多ければ,従来手法と比較して選択率%分の高速化が見込める.現在までに,単色の原画像のホログラム生成にWASABIを用いることでの高速化が確認されている.本研究では,WASABIによるフルカラーホログラム計算の実装に取り組んだ.

ウェーブレット変換を用いない従来手法,WASABIの選択率=1%,3%,5%,10%にて2048×2048画素のフルカラーホログラム計算を行った.結果として,従来手法と比較して,選択率=1%,3%,5%,10%それぞれで,90倍,33倍,20倍,10倍の高速化を確認した.また,WASABIの計算にYCbCr色空間を利用することで,RGB色空間を利用したWASABIと比較して,さらに1.5倍程度の高速化に成功した.

派生的な研究として,映像を投影するスクリーン位置をRGB-Dカメラで検出することで,ホログラム計算を行う手法の検討や,ホログラム計算時の信号処理で発生する再生像のリングングを軽減する手法も開発した.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 17 件)

- [1] Yuki Nagahama, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Yasuhiro Takaki, Tomoyoshi Ito, "Image quality improvement of random phase-free hologram based on cause of ringing artifact", Applied Optics, 査読有, 58, 2146-2151 (2019)
- [2] Shota Yamada, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Full-color computer-generated hologram using wavelet transform and color space conversion", Optics Express, 査読有, 27, 8153-8167 (2019)
- [3] Michal Makowski, Adam Kowalczyk, Marcin Bieda, Jaroslaw Suszek, Izabela Ducin, Tomoyoshi Shimobaba, Yuki Nagahama, Tomoyoshi Ito, "Miniature Holographic Projector with Cloud Computing Capability", Applied Optics, 査読有, 58, A156-A160 (2019)
- [4] Tomoyoshi Shimobaba, Takayuki Takahashi, Yota Yamamoto, Takashi Nishitsuji, Atushi Shiraki, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Efficient diffraction calculations using implicit convolution", OSA Continuum, 査読有, 1, 642-650 (2018)
- [5] Tomoyoshi Shimobaba, Kyoji Matsushima, Takayuki Takahashi, Yuki Nagahama, Satoki Hasegawa, Marie Sano, Ryuji Hirayama, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Fast, large-scale hologram calculation in wavelet domain", Optics Communications, 査読有, 412, 80-84 (2018)
- [6] Yuki Nagahama, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Nobuyuki Masuda, Tomoyoshi Ito, "Speeding Up of Image Quality Improvement in Random Phase-Free Hologram using characteristics of ringing artifact" Applied Optics, 査読有, 56, F61-F66 (2017)
- [7] Daisuke Arai, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Nishitsuji, Takashi Kakue, Nobuyuki Masuda, Tomoyoshi Ito, "An accelerated hologram calculation using the wavefront recording plane method and wavelet transform" Optics Communications, 査読有, 393, 15, 107-112 (2017)
- [8] Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Fast generation of computer-generated hologram using wavelet shrinkage", Optics Express, 査読有, 25, 77-87 (2017)
- [9] Naotaka Hasegawa, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Acceleration of Hologram Generation by Optimizing the Arrangement of Wavefront Recording Planes", Applied Optics, 査読有, 56, A97-A103 (2017)
- [10] Michal Makowski, Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Increased depth of focus in random-phase-free holographic projection", Chinese Optics Letters, 査読有, 14, 120901 (2016)
- [11] Tomoyoshi Shimobaba, Michal Makowski, Yuki Nagahama, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Daisuke Hiyama, Satoki Hasegawa, Marie Sano, Takashi Kakue, Minoru Oikawa, Takashige Sugie, Naoki Takada, Tomoyoshi Ito, "Computer-generated hologram using random phase-free method and color space conversion", Applied Optics, 査読有, 55, 4159-4165 (2016)
- [12] Yuki Nagahama, Tomoyoshi Shimobaba, Tetsuya Kawashima, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Holographic multi-projection using random phase-free method", Applied Optics, 査読有, 55, 1118-1123 (2016)
- [13] Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Review of fast algorithms and hardware implementations on computer holography", IEEE Transactions on Industrial

Informatics, 査読有, 12, 4, 1611 - 1622 (2016)

[14] 山口由美, 長浜佑樹, 川島徹也, 下馬場朋祿, 角江崇, 伊藤智義, "ホログラフィックプロジェクタによるマルチプロジェクション及び画質改善", 映像情報メディア学会誌, 査読有, 71, J101-J105 (2017)

[15] (解説論文) 下馬場朋祿, 角江崇, 伊藤智義, "電子ホログラフィの高速計算手法", レーザー研究, 査読有, 44, 7, 423-428 (2016)

[16] 長浜佑樹, 下馬場朋祿, 川島徹也, 角江崇, 伊藤智義, "位相移植法によるランダム位相フリーホログラムの画質改善および高速化", レーザー研究, 査読有, 44, 7, 449-453 (2016)

[17] 根尾敦, 下馬場朋祿, 長浜佑樹, 角江崇, 伊藤智義, "ランダム位相フリー法を用いたカラー計算機合成ホログラム再生像の画質向上", 画像電子学会誌, 査読有, 45, 2, 182-190 (2016)

〔学会発表〕(計 7 件)

[1] (invite) Tomoyoshi Shimobaba, Shota Yamada, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Fast hologram calculation using wavelet transform", Proc. SPIE 10964, Tenth International Conference on Information Optics and Photonics (CIOP2018), 109642I (2018), Beijing, China (8-11, Jul. 2018)

[2] (invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Convolutional neural network-based regression for depth prediction in digital holography", the Special Session on "Digital Holography for Industrial Applications" (SS-DHIA) of the 27th IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2018), 1323-1326, Cairns, Australia (12-15 Jun. 2018)

[3] Yuki Nagahama, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, and Tomoyoshi Ito, "Development of Auto-focus System of Holographic Projector Using RGB-D Camera", IWH2017 Technical Digest, 22p4 (2017)

[4] (invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Point cloud-based hologram calculation: WASABI and WRP methods", Digital Holography & 3-D Imaging (DH2017), Cheju Halla University, Jeju Island, South Korea, 29 May - 01 June (2017)

[5] (invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Holographic display and its computational techniques", LDC2017(Laser Display and Lighting Conference), LED-LDC1-5, Yokohama Japan 19-21 Apr (2017)

[6] Yuki Nagahama, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue and Tomoyoshi Ito, "Speeding Up of Image Quality Improvement using Amplitude Inverse Filter Method in Random Phase-Free Hologram", Three Dimensional Systems and Applications(3DSA2016), Fukuoka International Congress Center, Fukuoka, Japan (7-9 Dec. 2016)

[7] (invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Random phase-free computer holography and its applications", SPIE Commercial + Scientific Sensing and Imaging, Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2016(Proc. SPIE 9867, Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2016), 98670M, Baltimore Convention Center Baltimore, Maryland, Unites States (17-21, Apr. 2016)

〔図書〕(計 3 件)

[1] Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Computer Holography - Acceleration Algorithms and Hardware Implementations", CRC press (2019)

[2] 下馬場朋祿, 長浜佑樹, 角江崇, 伊藤智義, "第10章第7節 ホログラフィックプロジェクションの投影, 計算, 画質改善技術", VR/A R技術の開発動向と最新応用事例」(技術情報協会) (2018年2月)

[3] 伊藤智義, 下馬場朋祿, "ホログラフィ入門 コンピュータを利用した3次元映像・3次元計測", 講談社サイエンティフィック (2017)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。