

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330125

研究課題名(和文)3次元ディスプレイに向けた任意曲面物体からのホログラム生成アルゴリズムの開発

研究課題名(英文)Computer-generated hologram from arbitrary shape surface towards three-dimensional display

研究代表者

下馬場 朋禄 (Shimobaba, Tomoyoshi)

千葉大学・工学(系)研究科(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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ホログラフィによる3次元ディスプレイの実用化には複雑な曲面を有する3次元物体からの光伝搬を計算し、ホログラムを高速に生成する必要がある。現状では曲面から光伝搬を直接計算する手法は知られておらず、平面の集合として近似的に曲面を表現するためポリゴン数に比例した回数の光伝搬を計算する必要があり、高速計算の妨げとなっている。任意曲面をそのまま取り扱える光伝搬計算があればホログラム生成に有用であるが、このような手法は知られていない。本研究では点光源で表現された任意曲面から高速にホログラム計算ができる手法を開発し3次元像を再生する。

研究成果の概要(英文)：A practical holographic display requires fast calculation algorithm of hologram from 3D objects with complex shape; unfortunately, such a fast calculation algorithm is not known. In this study, we develop a point-cloud based fast calculation algorithm from 3D objects with complex shape. In addition, we develop a fast calculation algorithm for color hologram. This algorithm utilizes the property of YCbCr color space. The acceleration is two times faster than conventional color hologram calculation on RGB color space.

研究分野：ホログラフィ

キーワード：ホログラフィ 3次元ディスプレイ 高速計算システム アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

ホログラフィを応用した 3 次元ディスプレイは、他の 3 次元ディスプレイとは異なり人間の立体知覚を完全に満たすことができる唯一の方式であり「究極の 3 次元ディスプレイ」と言われている。この方式ではまず始めに、コンピュータ上に 3 次元物体データを用意し、その 3 次元物体からの光波の伝播計算(回折計算)を行うことで、3 次元物体の光情報をホログラム画像に記録する。そのホログラムを何らかの表示デバイス(高精細な液晶パネルがよく用いられる)上に表示し、再生光を照射することで記録した 3 次元像を空間に再現することができる。

ホログラフィ方式は原理的に自然な 3 次元像を再生できるが、問題点としてホログラムの計算時間が膨大なためリアルタイム生成が困難であり実用化への妨げとなっている。3 次元物体は任意曲面を持つため、本来は任意曲面から回折計算を直接することでホログラムを生成することが望ましいが、このような回折計算を高速に実行できる手法は知られていない。

2. 研究の目的

ホログラフィによる 3 次元ディスプレイは光波面を忠実に再現できるため究極の方式として期待されている。この実用化には複雑な曲面を有する 3 次元物体からの光伝搬を計算し、ホログラムを高速に生成する必要がある。現状では曲面から光伝搬を直接計算する手法は知られておらず、例えば平面(ポリゴン)の集合として近似的に曲面を表現することがおこなわれるが、ポリゴン数に比例した回数(回数の)光伝搬を計算する必要がある。高速計算の妨げとなっている。任意曲面をそのまま取り扱える光伝搬計算があればホログラム生成に有用であるが、このような手法は知られていない。本研究ではポリゴンで近似することなく任意曲面から高速にホログラム計算ができる手法を開発し 3 次元像をリアルタイム再生する。

3. 研究の方法

3 次元物体の表現方法には主にポリゴンによる表現方法と点光源による表現方法の 2 つがあるが、点光源は任意曲面の表現が容易であることから本研究では点光源ベースの 3 次元物体を扱う。各点光源からの光波を高速に計算する必要があり、本研究では波面記録法を使用する。波面記録法は 3 次元物体とホログラムの間に仮想的な面を置き、この面に各点光源の光波を記録する。仮想面が点光源近辺に配置された場合、光波があまり広がらないため、計算量を抑制することができる。

カラーのホログラムを高速計算するために色空間変換法を提案した。カラーホログラムは一般的に RGB 空間上で計算されるが、提案手法はカラー物体を YCbCr 空間に変換し、色差成分をダウンサンプリングすることで

計算の高速化を行う。

4. 研究成果

これまでの波面記録法では、仮想面はホログラムに平行に配置されていたため、3 次元物体が奥行き方向に深い場合、3 次元物体と仮想面の距離が離れてしまい、計算量が増加してしまう問題点があった。本研究では 2 つの方法でこの問題の解決を図った。

一つは、仮想面をホログラムに対して傾けることで、点光源からの光波の広がりを抑制できる手法(図 1)、もう一つは奥行き方向に複数の仮想面を配置する方法となっている。

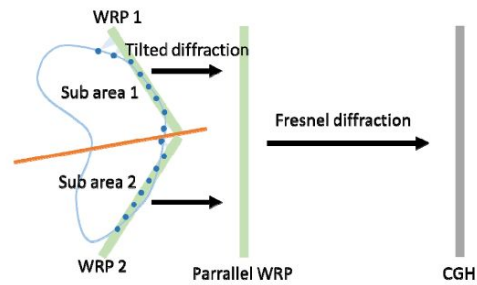
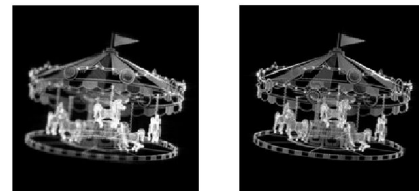


図 1



(a) Previous WRP method. (b) RMT-WRP method.

図 2

図 2(a)は従来手法(仮想面とホログラムが平行)の再生像、図 2(b)は提案手法(傾けた仮想面を用いる)の再生像で、再生像はほぼ同等のものが得られ、計算の高速化が確認できた。

カラーのホログラムを高速計算するために色空間変換法を提案した。この手法は YCbCr 空間に変換された色差成分がダウンサンプリングを行っても、人間の目には画質の劣化が感じられない特性を利用している。色差成分の画素数を減らすことができるので計算高速化につながり、実際に RGB 空間で計算するよりも 2 倍以上高速にカラーホログラムを計算できる。

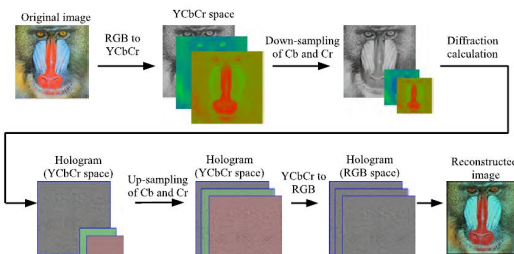


図 3

## 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 26 件)

- [1] (査読有り) Takuho Sanpei, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Daisuke Hiyama, Satoki Hasegawa, Yuki Nagahama, Marie Sano, Minoru Oikawa, Takashige Sugie, Tomoyoshi Ito, "Optical encryption for large-sized images", Optics Communications, 361, 138-142 (2016)
- [2] (査読有り) (invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi kakue, Tomoyoshi Ito, "Review of fast algorithms and hardware implementations on computer holography", IEEE Transactions on Industrial Informatics, 99, 1-12 (2015)
- [3] (査読有り) Hiromitsu Araki, Naoki Takada, Hiroaki Niwase, Shohei Ikawa, Masato Fujiwara, Hirotaka Nakayama, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Real-time time-division color electroholography using a single GPU and a USB module for synchronizing reference light", Applied Optics, 54, 10029-10034 (2015)
- [4] (査読有り) Takashi Nishitsuji, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Daisuke Arai, Tomoyoshi Ito, "Simple and fast cosine approximation method for computer-generated hologram calculation" Optics Express, 23, 32465-32470 (2015)
- [5] (査読有り) Yutaka Endo, Koki Wakunami, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Daisuke Arai, Yasuyuki Ichihashi, Kenji Yamamoto, and Tomoyoshi Ito, "Computer-generated hologram for real scenes using a portable plenoptic camera", Optics Communications, 356, 468-471 (2015)
- [6] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Daisuke Hiyama, Satoki Hasegawa, Yuki Nagahama, Marie Sano, Minoru Oikawa, Takashige Sugie, Tomoyoshi Ito, "Improvement of the image quality of random phase-free holography using an iterative method", Optics Communications, 355, 596-601 (2015)
- [7] (査読有り) Takashi Kakue, Tetsuya Kawashima, Keisuke Suzuki, Tomoyoshi Shimobaba and Tomoyoshi Ito, "Aerial projection of three-dimensional motion-picture by electro-holography and parabolic mirrors", Scientific Reports, 5, 11750 (2015)
- [8] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama,

- Daisuke Hiyama, Satoki Hasegawa, Yuki Nagahama, Marie Sano, Minoru Oikawa, Takashige Sugie, Tomoyoshi Ito, "Random phase-free kinoform for large objects", Optics Express, 23, 17269-17274 (2015)
- [9] (査読有り) Teppei Oshima, Yusuke Matsudo, Takashi Kakue, Daisuke Arai, Tomoyoshi Shimobaba and Tomoyoshi Ito, "Twin-image reduction method for in-line digital holography using periphery and random reference phase-shifting techniques", Optics Communications, 350, 270-275 (2015)
- [10] (査読有り) Takashi Nishitsuji, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Fast calculation of computer-generated hologram using run-length encoding based recurrence relation", Optics Express, 23, 9852-9857 (2015)
- [11] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Random phase-free computer-generated hologram", Optics Express, 23, 9549-9554 (2015)
- [12] (査読有り) Daisuke Arai, Tomoyoshi Shimobaba, Koki Murano, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Daisuke Hiyama, Takashi Kakue and Tomoyoshi Ito, "Acceleration of computer-generated holograms using tilted wavefront recording plane method", Optics Express, 23, 1740-1747 (2015)
- [13] (査読有り) Izabela Ducin, Tomoyoshi Shimobaba, Michal Makowski, Karol Kakarenko, Adam Kowalczyk, Jaroslaw Suszek, Marcin Bieda, Andrzej Kolodziejczyk, Maciej Sypek, "Holographic projection of images with step-less zoom and noise suppression by pixel separation", Optics Communications, 340, 131-135 (2015)
- [14] (査読有り) Daisuke Hiyama, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue and Tomoyoshi Ito, "Acceleration of color computer-generated hologram from RGB-D images using color space conversion", Optics Communications, 340, 121-125 (2015)
- [15] (査読有り) Atsushi Sugiyama, Nobuyuki Masuda, Minoru Oikawa, Naohisa Okada, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Acceleration of computer-generated hologram by Greatly Reduced Array of Processor Element with Data Reduction", Optical Engineering, 53(11), 113104 (2014)
- [16] (査読有り) Hiroaki Niwase, Naoki Takada, Hiromitsu Araki, Hirotaka Nakayama, Atsushi Sugiyama, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, and Tomoyoshi Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography with a

single graphics processing unit utilizing movie features", Optics Express, 22, 28052-28057 (2014)

[17] (査読有り) Naohisa Okada, Tomoyoshi Shimobaba, Yasuyuki Ichihashi, Ryutaro Oi, Kenji Yamamoto, Takashi Kakue and Tomoyoshi Ito, "Fast calculation of computer-generated hologram for RGB and depth images using wavefront recording plane method", Photonics Letters of Poland, 6, 3, 90-92 (2014)

[18] (査読有り) Atsushi Sugiyama, Hayato Akiyama, Shingo Hashikawa, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, and Tomoyoshi Ito, "Large scale calculation for holography using SSD", Photonics Letters of Poland, 6, 3, 87-89 (2014)

[19] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Michal Makowski, Takashi Kakue, Naohisa Okada, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Daisuke Hiyama, Satoki Hasegawa, Yuki Nagahama, Tomoyoshi Ito, "Numerical investigation of lensless zoomable holographic projection to multiple tilted planes", Optics Communications, 333, 274-280 (2014)

[20] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Naohisa Okada, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Daisuke Hiyama, and Tomoyoshi Ito, "Ptychography by changing the area of probe light and scaled ptychography", Optics Communications, 331, 189-193 (2014)

[21] (査読有り) Koki Murano, Tomoyoshi Shimobaba, Atsushi Sugiyama, Naoki Takada, Takashi Kakue, Minoru Oikawa, Tomoyoshi Ito, "Fast computation of computer-generated hologram using Xeon Phi coprocessor", Computer Physics Communications, 185, 2742-2757 (2014)

[22] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Minoru Oikawa, Naoki Takada, Naohisa Okada, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Tomoyoshi Ito, "Calculation reduction method for color computer-generated hologram using color space conversion", Optical Engineering 53(2), 024108 (2014)

[23] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Minoru Oikawa, Naohisa Okada, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Nobuyuki Masuda, Tomoyoshi Ito, "Non-uniform sampled scalar diffraction calculation using non-uniform Fast Fourier transform", Optics Letters, 38, 5130-5133 (2013)

[24] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Michal Makowski, Takashi Kakue, Minoru Oikawa, Naohisa Okada, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Tomoyoshi Ito, "Lensless zoomable holographic projection using

scaled Fresnel diffraction", Optics Express, 21, 25285-25290 (2013)

[25] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Hiroya Yamanashi, Takashi Kakue, Minoru Oikawa, Naohisa Okada, Yutaka Endo, Ryuji Hirayama, Nobuyuki Masuda, Tomoyoshi Ito, "Inline digital holographic microscopy using a consumer scanner", Scientific Reports, 3, 2664 (2013)

[26] (査読有り) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Naohisa Okada, Minoru Oikawa, Yumi Yamaguchi, Tomoyoshi Ito, "Aliasing-reduced Fresnel diffraction with scale and shift operations", Journal of Optics, 15, 075405(5pp) (2013)

[学会発表](計16件)

[1](invite) Tomoyoshi Shimobaba, Yuki Nagahama, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Lensless holographic projection and its related work", IDW15, 3D1-4, Otsu JAPAN (Dec. 10. 2015)

[2]Naotaka Hasegawa, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Acceleration of computer-generated hologram by optimizing arrangement of wavefront recording planes", IDW15, Otsu JAPAN (Dec. 9, 2015)

[3]Naotaka Hasegawa, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Acceleration of Hologram Generation by Optimizing Arrangement of Wavefront Recording Planes", ACM SIGGRAPH VRCAI2015, Kobe Japan (30.Oct. 2015)

[4]Naotaka Hasegawa, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue and Tomoyoshi Ito, "Development of the Emulator to Verify the Accuracy of Special-Purpose Computer for Holographic Projector", 3D systems and Applications (3DSA2015), Taipei, Taiwan (25. Aug. 2015)

[5](invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Real-time and low speckle holographic projection", IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN' 15 (Special Session on Digital Holography for Industrial Applications), Cambridge, UK (22.Jul.2015)

[6]Takashi Nishitsuji, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Computer-generated hologram calculation without the trigonometric functions", Digital Holography & 3-D Imaging (DH) (DH2015), Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Shanghai, China (25. May. 2015)

[7] Takashi Nishitsuji, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba and Tomoyoshi Ito, "Conflict-Free FFT Circuit Using Loop

Architecture by 5-Bank Memory System", 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits & Systems, 17-20 November, Okinawa Japan (17. Nov. 2014)

[8](invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Acceleration of color computer-generated hologram from three-dimensional scenes with texture and depth information", SPIE Sensing Technology + Applications, Baltimore, Maryland, USA (05, May 2014)

[9] Atsushi Sugiyama, Minoru Oikawa, Naohisa Okada, Hirotaka Nakayama, Nobuyuki Masuda, Toshiyuki Fukushige, Tomoyoshi Shimobaba, and Tomoyoshi Ito, "Computer-Generated Hologram on GRAPE-DR", The 20th International Display Workshops (IDW '13), 3Dp-18L, Sapporo Convention Center, Hokkaido, Japan (04. Dec. 2013)

[10]Hiroya Yamanashi, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Tomoyoshi Ito, "Speckle-reduced zoomable holographic projection", IDW'13, Sapporo Convention Center, Hokkaido Japan (04. Dec. 2013)

[11](invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Nobuyuki Masuda, Tomoyoshi Ito, "Acceleration techniques for computer holography", Frontier in Optics Conference 2013 (FiO 2013, OSA Annual Meeting), FM4F.2, Orlando USA (07.Oct. 2013)

[12]Koki Murano, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, and Tomoyoshi Ito "Fast Computation of Computer-Generated Hologram by Using Multi-Core Processor", JSAP-OSA Joint Symposia 2013, Doshisha University Kyoto(16.Sep.2013)

[13]Koki Murano, Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue and Tomoyoshi Ito, "Fast computation of computer generated hologram using Xeon Phi Coprocessors", 3DSA2013, Osaka, Japan (26.Jun.2013)

[14] Yutaka Endo, Takehiko Kii, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, Nobuyuki Masuda and Tomoyoshi Ito, "Special-Purpose Computer for Phase Modulation Type Electro-Holography with DVI output", Osaka, Japan (26.Jun.2013)

[15]Naohisa Okada, Tomoyoshi Shimobaba, Yasuyuki Ichihashi, Ryutaro Oi, Kenji Yamamoto, Minoru Oikawa, Takashi Kakue, Nobuyuki Masuda, and Tomoyoshi Ito, "Fast calculation of computer-generated-horogram using band-limited double-step Fresnel diffraction", Osaka, Japan (26.Jun.2013)

[16](invite) Tomoyoshi Shimobaba, Takashi Kakue, Nobuyuki Masuda, Yasuyuki Ichihashi, Kenji Yamamoto, Tomoyoshi Ito, "Computer holography using wavefront

recording method", Digital Holography and Three-Dimensional Imaging(DH) DH2013, DTu1A.2, Hawaii USA (23. Apr. 2013) (Presentation file)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

下馬場 朋禄 (SHIMOBABA TOMOYOSHI)  
千葉大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：20360563

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：