

平成 30 年 6 月 10 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03987

研究課題名(和文)大画面で広視域な表示を可能にするマルチ視域走査型ホログラフィーの研究

研究課題名(英文)Multi-channel viewing-zone scanning holography having large screen and large viewing zone

研究代表者

高木 康博(TAKAKI, Yasuhiro)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50236189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：ホログラフィーは理想的な立体表示方式であるが、従来は、1ミクロン以下のピクセルピッチで約百万×百万の解像度をもつ表示素子が必要なため実現が困難であるとされてきた。本研究では、逆の発想で、ピクセルピッチを広げて画面サイズを拡大し、空間走査により視域を拡大する方法を提案した。これを、MEMS型空間光変調器とガルバノスキャナを組み合わせた視域走査型ホログラフィーにより実現した。さらに、複数のMEMS型空間光変調器を用いたマルチチャンネル型の構成を提案してさらなる大画面化を実現した。大画面化に対応して回転型平面スキャナを開発した。さらに、RGBレーザーを導入して時分割表示によるカラー化を実現した。

研究成果の概要(英文)：Although holography is an ideal three-dimensional display technique, the previous techniques require a pixel pitch smaller than one micron and a resolution larger than approximately million × million so they are difficult to be realized. In this study, a completely opposite approach is used; a pixel pitch is enlarged to increase the screen size and a spatial scanning is used to increase the viewing zone. The viewing-zone scanning holography is proposed, which employs the combination of a MEMS-SLM and a Galvano scanner. The multi-channel display system consisted of multiple hologram projectors employing the MEMS-SLMs is also proposed to further increase the screen size. The rotation-type planar scanner is developed to support a large screen size. Moreover, RGB lasers are used to enable the color image generation using the time-multiplexing technique.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：ホログラフィー 3次元画像 空間光変調器 MEMS

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19(共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 立体表示はテレビ以外にロボット手術や遠隔操作ロボットなどの分野で利用されている。しかし、現在のメガネ式や多眼式(メガネなし)の立体表示は、視覚疲労があり運動視差が欠如あるいは不完全なため、利用者への負担が大きく長時間の利用に適さない。ホログラフィーは、光の波面を再生するためこれらの問題点がない理想的な立体表示を可能にするため、実現が待ち望まれている。

(2) ホログラフィーを電子的に実現するためには、超高精細な表示デバイスが必要であると言われている。視域の大きさはピクセルピッチに反比例し、画面サイズは解像度に比例する。例えば、画面サイズ40インチ、視域角 30° を実現するには、ピクセルピッチ $1.0\ \mu\text{m}$ で解像度 $764,000 \times 430,000$ の表示デバイスが必要になる(波長 $0.6\ \mu\text{m}$)。国内外で複数の高精細空間光変調器(SLM)を用いる空間多重化の研究が進められているが、解像度が圧倒的に不足している。

(3) 研究代表者は、MEMS型SLMで光を2次元変調し、スクリーン上で水平走査(一次元走査)する方法を提案している(スクリーン走査型)。MEMS型SLMでホログラムパターンを高フレームレート表示し、光学系で水平縮小し垂直拡大する。水平にピクセルピッチを縮小するため、水平視域が拡大する。垂直拡大したホログラムパターンを水平走査するため、画面サイズが拡大する。最近になり、研究代表者は、結像系を用いて画面サイズを拡大し、ピクセルピッチ拡大により縮小した視域を水平走査により広げる方法を提案した(視域走査型)。

(4) 視域走査型では、視域の大きさは走査角で決まり、約 40° と実用的な視域角を実現している。また、ピクセルピッチは拡大するので、高分解能なレンズを必要としない。ただし、画面サイズが走査に用いるミラーサイズで制限され、現状で2インチと小さい。そこで、本研究では、視域走査型をマルチチャンネル化して、実用的な画面サイズを得ることを考えた。

2. 研究の目的

(1) 本研究で提案するマルチ視域走査型の構成を図1に示す。複数のホログラム結像系、平面スキャナ、および、スクリーンレンズで構成される。

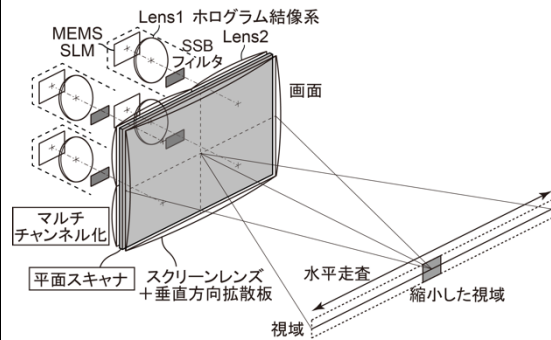


図1 マルチ視域走査型

(2) マルチ視域走査型は、大画面化と広視域化を同時に実現できる。本研究では、最小構成の2チャンネルの表示システムを構築して提案法の有用性を確認する。

(3) 本研究では、主に、以下の3点について研究する。

- ・ホログラム結像系を変更したホログラムプロジェクタを実現し、マルチチャンネル化を可能にする。
- ・大画面化に対応できるように、大面積で薄型な平面スキャナの実現に取り組む。
- ・MEMS型SLMの高フレームレート表示を利用して、時分割表示によるカラー表示を実現する。

3. 研究の方法

(1) マルチチャンネル化に対応したホログラムプロジェクタの構成を図2に示す。従来の視域走査型の結像系と同様に2枚のレンズで構成されるが、一枚をスクリーンレンズとして表示面に配置することで枠なし表示面を実現する。他方を結像レンズとして、SLMの表示面をスクリーンレンズ上に拡大結像する。ホログラム表示には、再生像以外に、共役像とゼロ次光の不要光が発生するが、これらを結像レンズの焦点面に設置したシングルサイドバンド(SSB)フィルタで除去する。表示面に設置したスクリーンレンズは、結像した波面を平面波に変換する働きをもつ(SLM非変調時)。

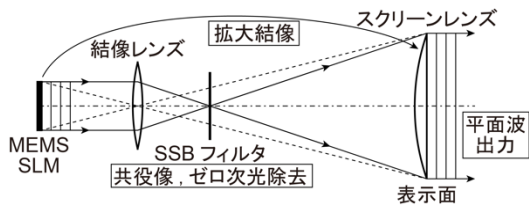


図2 ホログラムプロジェクタ

(2) 複数のホログラムプロジェクタの表示面をタイリングした画面に、図3に示すように、共通スクリーンレンズを取り付ける。すべてのチャンネルは同一方向に進む平面波を発生し、これらはすべて共通スクリーンレンズの焦点位置に集光する (SLM 非変調時)。この集光点に縮小された視域が形成されるので、すべてのチャンネルの視域が一致する。

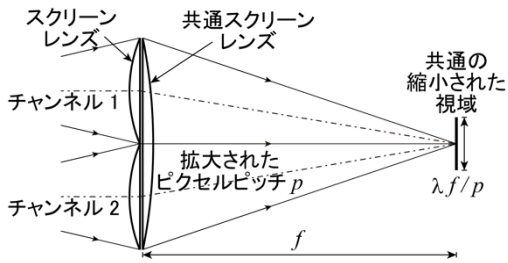


図3 マルチチャンネル化

(3) 本研究では、図4に示す回転型の平面スキャナを実現する。レンズ中心軸と回転軸をずらした偏心レンズと、垂直方向拡散板で構成される。レンズが回転すると、レンズによる集光点も回転軸のまわりを回転する。ここで、光線が垂直方向拡散板により垂直方向に拡散され、視域が垂直方向に広がる。そのため、偏心レンズが回転すると、視域が水平方向に往復運動する。本研究で実現するホログラム表示は水平視差型であるため、光が垂直方向に拡散しても問題ない。

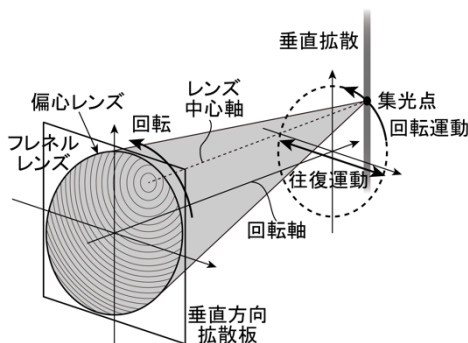


図4 回転型平面スキャナ

(4) DMDのフレームレートは十分に高いので、視域の拡大だけでなく、カラー化にも利用する。光源にRGBの3つのレーザを用い、時分割カラー表示を実現する。DMDの表示面は、図5に示すように、マイクロミラーが並んだBlazed格子構造になっている。そのため、波長によって光の回折方向が異なる。本研究では、波長によって照明方向を変えることで回折方向を一致させる方法を試みる。

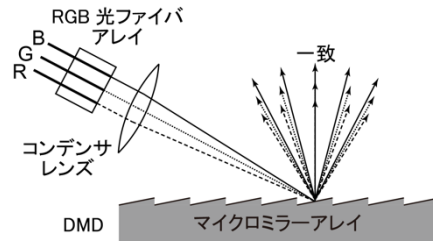


図5 カラー照明系

4. 研究成果

(1) 提案方法の有効性を確認するために、2チャンネルのホログラム表示システムを試作した。

(2) 図6に、1チャンネル分のホログラムプロジェクタを示す。MEMS-SLMには、Digital Micromirror Device (DMD)を用いた。最大フレームレートは22,727 Hz、解像度は1024×768、ピクセルピッチは13.68 μmである。光源としては、波長が635 nmの半導体レーザを用いた。結像系の倍率を7.43とし、ピクセルピッチを102 μmに拡大した。縮小された視域の大きさは5.00×2.50 mm²である。DMDは表示面が縦長になるように配置し、画面サイズを78.0×104 mm²に拡大した。

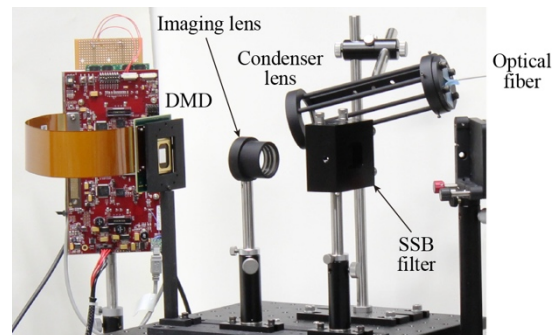


図6 ホログラムプロジェクタ

(3) 2チャンネル分のホログラム結像系の画面を横方向にタイリングすることで、画面サイズを $156 \times 104 \text{ mm}^2$ (7.4 インチ) に拡大した。

(4) 図7に、作製した平面スキャナを示す。回転偏心レンズには、フレネルレンズを用いた。フレネルレンズの有効径は200 mmである。垂直方向拡散板には、レンチキュラレンズを用いた。回転偏心レンズの回転速度は1,800 rpmとし、立体表示のフレームレートは60 Hzとした。1回の水平走査で、189個の縮小された視域が水平方向に並ぶ。拡大された視域幅は、平面スキャナから800 mmの位置で630 mmである。視域角は 43.0° である。

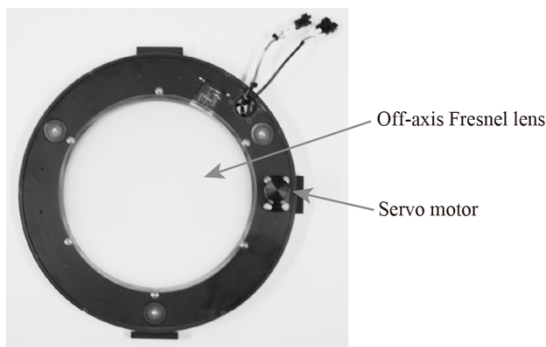


図7 回転型平面スキャナ

(5) 試作した2チャンネル表示システムの写真を図8に示す。1台のホログラムプロジェクタは平面スキャナの背面に配置し、もう1台のホログラムプロジェクタは垂直方向に配置しミラーで光路を平面スキャナ側に折り曲げた。

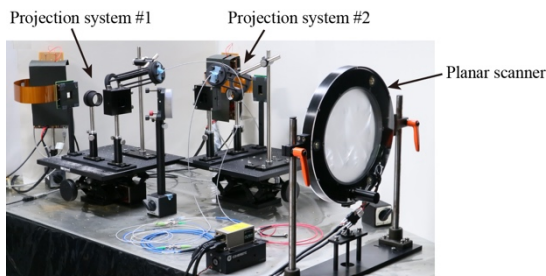


図8 2チャンネル表示システム

(6) 2台のホログラムプロジェクタのタイリングを評価するために、グリッドパターンを投影した結果を図9に示す。画像歪みは小さく、正確なタイリングが行われていることが

わかる。拡大された視域の幅を測定した結果、632 mmであることがわかった。

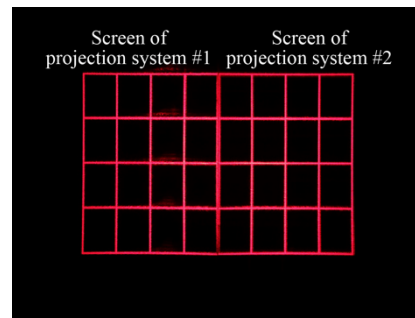


図9 2画面のタイリングの様子

(7) 実験システムを用いて生成した再生像を図10に示す。拡大された視域の中の異なる5つの水平位置から撮影したものである。再生像が、広い観察範囲から観察できることが分かる。

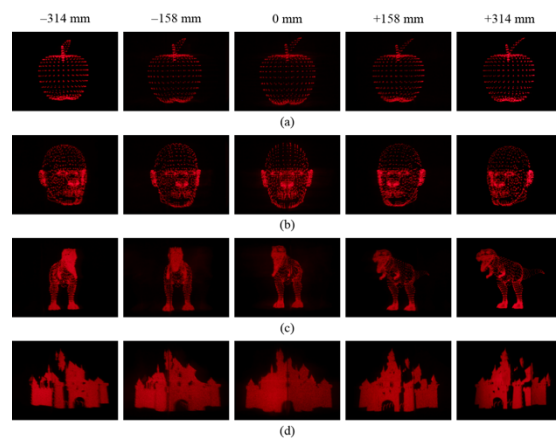


図10 再生像

(8) カラー化のために、各チャンネルの光源としてRGBの半導体レーザーを導入した。R, G, およびBの波長は、それぞれ、640, 515, 445 nmである。回転型平面スキャナの回転に合わせて順次点灯させることで、1回の水平走査で3色分の視域を形成する。縮小された視域の幅は波長に比例するので、青色の視域の幅がシステム全体の視域幅を決める。また、カラー化に伴い、各色に対する縮小された視域の数が減少する。そのため、カラー化により視域角は 20.0° となった。

(9) マルチチャンネル化に伴い、異なる表示面の間での色調整が必要になる。そこで、本研究では、RGBレーザー照度計を用いたホワイトバランスと複数画面の色合わせを同時に

実現する方法を開発した。図 11 は、カラーチャートを表示した結果である。左右のチャンネルではほぼ同等な色再現性が得られていることがわかる。

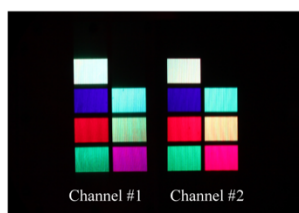


図 11 色調整の結果

(10) 2チャンネル表示システムで表示したカラー再生像を図 12 に示す。水平方向に異なる3方向から撮影した写真である。大画面で広視域なカラー再生像が得られていることがわかる。



図 12 カラー再生像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① 高木康博, “ホログラフィックディスプレイ”, 日本画像学会誌, vol. 56, 374-379 (2017) 査読あり
- ② Y. Matsumoto and Y. Takaki, “Time-multiplexed color image generation by viewing-zone scanning holographic display employing MEMS-SLM,” J. Soc. Inf. Display, vol. 25, 515-523 (2017) 査読あり
DOI: 10.1002/jsid.600.
- ③ 高木康博, “ホログラフィックディスプレイの現状と課題”, レーザー研究, vol. 44, 413-417 (2016) 査読あり
- ④ Y. Takaki and M. Nakaoka, “Scalable screen-size enlargement by multi-channel viewing-zone scanning holography,” Opt. Express, vol. 24, 18772-18781 (2016) 査読あり
DOI: 10.1364/OE.24.018772
- ⑤ Y. Takaki, Y. Matsumoto, and T. Nakajima, “Color image generation for screen-scanning

holographic display,” Opt. Express, vol. 23, 26986-26998 (2015) 査読あり

DOI: 10.1364/OE.23.026986

⑥ T. Inoue and Y. Takaki, “Table screen 360-degree holographic display using circular viewing-zone scanning,” Opt. Express, vol. 23, 6533-6542 (2015) 査読あり

DOI: 10.1364/OE.23.006533

〔学会発表〕(計22件)

- ① Y. Takaki, “Image sharpness of 3D images generated by viewing-zone scanning holographic display using MEMS SLM,” Photonics Europe 2018, 2018.
- ② [INVITED] 高木康博, “次世代立体表示システムと空間光変調器”, 液晶学会 20周年記念シンポジウム, 2018年.
- ③ [INVITED] 高木康博, “MEMS 空間光変調器を用いたホログラフィックディスプレイの研究”, 第12回フォトニクスポリマー研究会講座, 2018年.
- ④ 竹川喜崇, 高木康博, “1次元ゾーンプレートを用いた水平視差型ホログラムの計算法の提案”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 2018年.
- ⑤ 中岡美月, 高木康博, 稗田啓介, “マルチチャンネル走査型ホログラフィーのカラー化と色調整”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 2018年.
- ⑥ 永田裕真, 高木康博, “視域走査型ホログラフィックディスプレイに対する調節応答の測定”, 映像情報メディア学会立体映像技術研究会, 2018年.
- ⑦ [INVITED] Y. Takaki, “Viewing-zone Scanning Holographic Display Employing MEMS-SLM,” The 25th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'17), 2017.
- ⑧ [INVITED] Y. Takaki, “Differences between 3D Displays based on Wavefront Reconstruction and Ray Reconstruction,” The 17th International Meeting on Information Display (IMID 2017), 2017.
- ⑨ 永田裕真, 中岡美月, 高木康博, “視域走査型ホログラフィーにおけるホログラム計

算の高速化の検討”，3次元画像コンファレンス 2017，2017年.

⑩ Y. Takaki, “Hologram calculation technique for viewing-zone scanning holographic display employing MEMS SLM,” Optics + Optoelectronics 2017, 2017.

⑪ [INVITED] 高木康博, “立体ディスプレイに関する技術動向”，2017年電子情報通信学会総合大会，2017年.

⑫ Y. Matsumoto and Y. Takaki, “Generation of Color Three-Dimensional Images by Viewing-Zone Scanning Holographic Display,” International Conference on 3D Systems and Applications (3DSA2016), 2016.

⑬ [INVITED] Y. Takaki, “Development of scanning holographic display using MEMS SLM,” Photonics Asia 2016, 2016.

⑭ M. Nakaoka and Y. Takaki, “Multi-channel viewing-zone scanning holographic display,” Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2016, 2016.

⑮ 中岡美月, 高木康博, “視域走査型ホログラフィックディスプレイのマルチチャンネル化”，3次元画像コンファレンス 2016, 2016.

⑯ [INVITED] Y. Takaki, “Development of Scanning Holographic Displays,” International Workshop on Holography and Related Technologies (IWH 2015), 2015.

⑰ [KEYNOTE SPEECH] Y. Takaki, “Challenges for next-generation 3D displays,” International Optics Convergence Technology Conference 2015, 2015.

⑱ 井上達晶, 高木康博, “全周立体ホログラフィックディスプレイにおける回転スクリーンの改良”，ホログラフィックディスプレイ研究会，2015年.

⑲ [INVITED] Y. Takaki, “Horizontally Scanning Holographic Displays,” The 15th International Meeting on Information Display (IMID 2015), 2015.

⑳ 藤井啓介, 高木康博, “視域走査型ホログラフィーのカラー化”，3次元画像コンファレンス 2015，2015年.

㉑ T. Inoue and Y. Takaki, “360-degree Three-dimensional Image Generation by Table Screen Holographic Display,” Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2015, 2015.

㉒ [INVITED] Y. Takaki, “Natural 3D displays using super multi-view and holographic techniques,” Optical Instrument & Technology 2015, May 2015.

〔その他〕

ホームページ等

[http://web.tuat.ac.jp/~e-](http://web.tuat.ac.jp/~e-takaki/research/holographic_display.html)

[takaki/research/holographic_display.html](http://web.tuat.ac.jp/~e-takaki/research/holographic_display.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 康博(TAKAKI, Yasuhiro)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 50236189

(2) 研究分担者

柏木 謙(KASHIWAGI, Ken)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 10509730

平成29年度～平成29年度

平成30年度から他機関へ異動

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

橋本信幸(HASHIMOTO, Nobuyuki)