

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360148

研究課題名(和文) 360°全周表示可能な超多眼立体ディスプレイの実現

研究課題名(英文) Developments of 360-degree super multi-view display

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) 15,300,000円、(間接経費) 4,590,000円

研究成果の概要(和文)：視覚疲労のない裸眼立体表示を実現する超多眼表示を用いて、360°全周から観察できる立体ディスプレイを実現した。本研究では、従来の高速プロジェクタ型とマルチプロジェクション型を組み合わせた少数高速プロジェクタ型の構成方法を提案した。実際に、2台の高速プロジェクタを用いて、視点間隔3.1mmの超多眼表示を実現した。3台の高速プロジェクタを用いて、全周カラー立体表示を実現した。複数のプロジェクタを用いて垂直視差を実現することで、水平と垂直に視差を有するフルパララックス型の立体表示も実現した。また、視点によって異なる映像を表示することで、スクリーンの4方向に異なる立体像を表示することを実現した。

研究成果の概要(英文)：A 360-degree three-dimensional (3D) display was developed, which is based on the super multi-view (SMV) display technique that can provide glasses-free 3D images without the visual fatigue. In this study, the use of small array of high-speed projectors is proposed, which combines the conventional high-speed projector type and multiple projection type. By use of two high-speed projectors, the SMV condition with a viewpoint interval of 3.1 mm was realized. Three projectors were used to provide 360-degree color 3D images. Multiple projectors were used to provide a vertical parallax so that full parallax 3D images were provided. Moreover, by display different images to different viewpoints, different 3D images were displayed to four directions around a screen.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：ディスプレイ 電子デバイス・機器

1. 研究開始当初の背景

眼鏡式の立体テレビが商品化され、話題となっている。また、眼鏡なしの立体テレビの商品化もアナウンスされ、注目を集めている。しかし、これらの技術は、学術的に見ると、昔からよく知られている表示技術の製品化であり、視覚疲労などの立体映像がもつ問題点はまったく解決されておらず、映像コンテンツの作り方で回避している。本研究では、研究代表者が進めてきた視覚疲労がない超多眼表示を原理とし、従来のテレビの利用形態に捕らわれない 360° 全周表示できる立体ディスプレイを実現する。そのために、新しい全周立体表示方式として少数高速プロジェクタアレイ方式を提案する。

全周立体表示の研究では、国外では、Southern California University の高速プロジェクタを用いる方式が有名であるが、高速回転ミラー内に立体映像が表示されるため立体像に触れることができず、プロジェクタ 1 台で実現できるがフレームレート(15~20 Hz)が低く白黒 2 階調しか表示できない。国内では、情報通信研究機構(NICT)で多数のプロジェクタを用いる方式が提案されているが、全周表示には 360 台といった多数のプロジェクタが必要であり家庭やオフィスで用いるのは難しい。また、回転 LED アレイを用いる方式も提案されているが、立体像に触れることができず、解像度も低い。

超多眼表示は、立体表示の視点密度を上げて視点間隔を眼の瞳孔径(平均 5 mm)以下にすることで、立体像に対する眼のピント合わせ(調節)を可能にし、調節と輻輳の不一致に起因する視覚疲労を解決する。国内では、研究代表者がマルチプロジェクション型、フラットパネル型、時分割表示型、ハイブリッド型などの構成方法を提案し、既に 256 視点の超多眼表示(Opt. Express, vol.18, p.8824)を実現している。国外では、韓国でヘッドマウント型の超多眼ディスプレイ(Opt. Express, vol. 16, p.21415)が研究されている。米国では、2 眼式表示を奥行き方向に並べる表示方式(Opt. Express, vol.12, p.6350)が研究されている。

裸眼立体表示の実現は当然であり、超多眼表示が視覚疲労の解決に有効であることも認められつつある。一方で、商品化された眼鏡式立体テレビは、実際には立体表示にほとんど利用されていない。もしかすると、従来のテレビを単純に立体化しただけでは、利用者にとっての価値が低いのかも知れない。正立したスクリーンを正面から見る従来のテレビの利用形態は 2 次元表示に適したもので、立体表示にはもっと適した利用形態があるのかも知れない。以上のことから、本研究では、超多眼表示で 360° 全周表示できる新しい形態の立体ディスプレイを実現することを着想した。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が進めてきた視覚疲労がない超多眼表示を原理として、従来のテレビの利用形態に捕らわれない 360° 全周表示できる立体ディスプレイを実現する。そのために、少数の高速プロジェクタアレイを用いた独自の構成方法で超多眼表示を実現する。家庭やオフィスに導入できるシンプルなシステム構成で、利用者毎の異なる立体映像提示や省エネルギー化も実現する。

3. 研究の方法

(1) 少数の高速プロジェクタを用いた全周立体表示

図 1 に、本研究で提案する全周立体表示の原理を示す。スクリーンの回転に同期して、各プロジェクタは高速に画像を表示する。各プロジェクタはスクリーンの回転軸外に配置され、レンズシフトにより回転スクリーン上に画像を結像する。回転スクリーンは反射型レンズの機能を有して、プロジェクションレンズの像を空間に結像する。ただし、このスクリーンレンズの光軸は回転軸とは異なる位置にあり、レンズ光軸はスクリーンと同時に回転する。したがって、プロジェクションレンズの結像位置も、図に示すように、スクリーンと同時に円周上を回転する。スクリーンが 1 回転する間に多数の画像を表示すると、この円周上にそれぞれの画像が見える多数の視点群が形成される。それぞれの視点位置から 3 次元物体を見た画像をプロジェクタで表示することで、立体表示が実現できる。スクリーンは垂直方向拡散板の機能も有して、垂直方向に立体像が観察できる範囲を広げる。

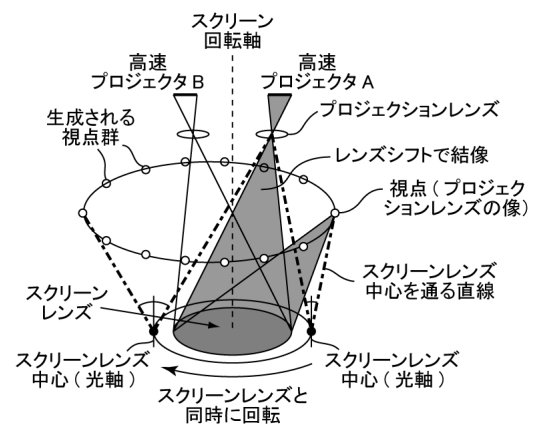


図 1 提案方式の表示原理

本構成方法では、プロジェクタをスクリーン回転軸外に配置できるため、複数のプロジェクタを異なる位置に配置できる。この場合、各プロジェクタが発生する視点群は、図 2 に示すように、プロジェクタの位置に応じて異なる円周上に形成される。円周上の視点間隔が数 mm 程度と小さいと、立体像が観察できる範囲は円周上だけでなく直径方向にも広がるため、視点群が異なる円周上に形成されても正しく立体視できる。

本表示方式の特徴は、高速プロジェクタ方式で複数のプロジェクタが利用可能になる点にある。複数のプロジェクタを用いることで、視点数の増加、表示色数の増加、スクリーン回転数の低下が可能になる。特に、視点数を増加させて超多眼表示が実現できる。

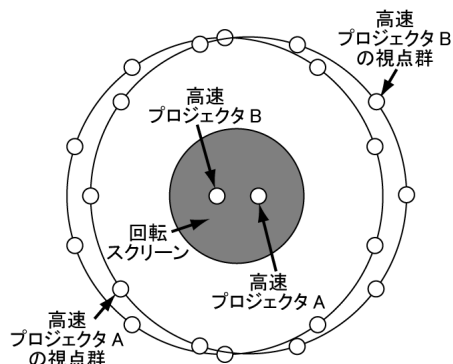


図2 視点の形成

(2) 画像合成法の開発

各プロジェクタの視点群が同一円周上がないため、プロジェクタ数が増えると画像合成が煩雑になる。そこで、本研究では、図3に示す画像合成法を開発する。まず、スクリーン回転軸を中心とする円周上に仮想的な視点群を密に設定し、これらの視点から3次元物体を見た視差画像を求める。つぎに、スクリーン上の各点から実際の視点位置へ向かう光線を考え、この光線情報を仮想視点の視差画像を線形補間して求めることで、各プロジェクタの表示画像を合成する。

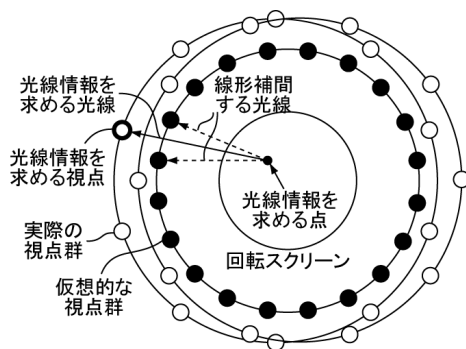


図3 プロジェクタ表示画像の合成法

(3) システムの高機能化

上記の全周立体表示では、視点群が水平面上に形成されるので、水平視差型の立体表示になる。提案方法では、複数のプロジェクタが利用できるので、スクリーンからの高さが異なる複数のプロジェクタを用いると、高さが異なる円周上に視点群が形成される。したがって、垂直方向に視点が並ぶため、垂直視差が実現できる。すなわち、フルパララックス型の全周立体表示が実現できる。

提案システムは、視点によって異なる映像を表示することができる。そのため、それぞれの観察者に対応する視点に異なる映像を表示することで、観察者によって異なる立体

映像を表示できる。

(4) 省エネルギー化

観察者から見える視点群にのみ画像表示を行うことで、プロジェクタ光源の点灯時間を減らすことができ、省エネルギー化が実現できる。

4. 研究成果

(1) 試作システムの実現

原理確認のために、2台の高速プロジェクタで構成される表示システムを試作した。

高速プロジェクタには、Digital Micromirror Device (DMD)を用いた。解像度はXGAである。フレームレートを22.222 kHzとして2階調表示した、2台の高速プロジェクタアレイを図4に示す。

回転スクリーンは、フレネルレンズ、垂直方向拡散板、およびミラーで構成した。画像表示領域の直径は300 mmである。フレネルレンズの焦点距離は400 mmで、光軸は回転中心から200 mmだけシフトした。スクリーンの回転にはサーボモータを用いた。回転スクリーン部の写真を図4に示す。

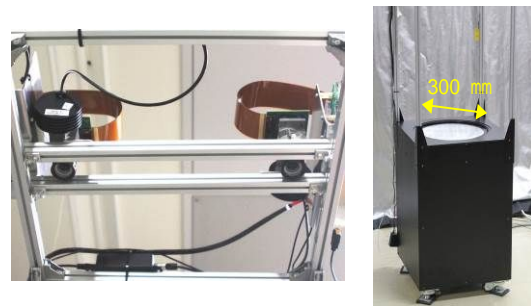


図4 試作システム：(a)高速プロジェクタアレイ、(b)回転スクリーン

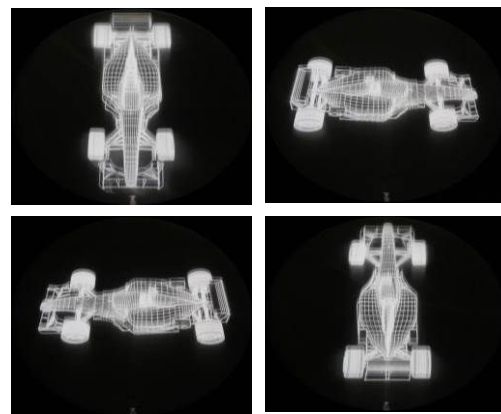


図5 発生した全周立体画像

今回は、2台の高速プロジェクタを利用して、スクリーンの回転数を半分に低下させた。スクリーンの回転数を1,666 rpmとして、フレームレート56 Hzでの立体表示を実現した。半径400 mmの円周上に800個の視点を間隔3.1 mmで形成した。平均瞳孔径(5 mm)以下の視点間隔となり、超多眼表示が実現できた。

図5に得られた立体像を示す。発生した全周立体像を4方向から撮影した写真である。

(2) カラー化

つぎに、高速プロジェクタ数を3台に増やして、RGB高速プロジェクタアレイを用いてカラー表示を実現した。

RGBプロジェクタの表示デバイスには、上記と同じDMDを用いた。RGBプロジェクタの光源には、中心波長629 nm、527 nm、および460 nmの10 WタイプのLEDを用いた。RGBプロジェクタアレイの写真を図6に示す。

回転スクリーンの回転数は1,667 rpmとしたので、立体表示のフレームレートは27.8 Hzである。

試作システムで表示したカラー全周立体像を図7に示す。異なる4方向から撮影した写真である。RGBでずれのない全周立体表示が実現できていることが分かる。誤差拡散法により中間調表現を行っている。

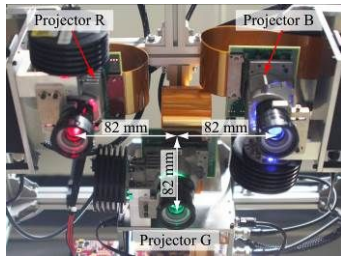


図6 RGB高速プロジェクタアレイ

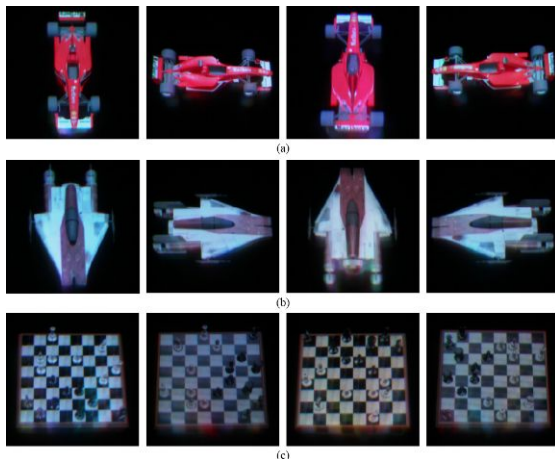


図7 発生したカラー全周立体画像

(3) 垂直視差の実現

3台の高速プロジェクタを用いて、垂直視差を実現する実験を行った。プロジェクタ数を垂直視差の実現に用いるため、各プロジェクタでカラー表示を行えるようにし、カラー全周表示を可能にした。そのため、各プロジェクタの光源にRGB-LEDを用いた。

3台のプロジェクタは、スクリーンから高さ800 mm、857 mm、および900 mmの位置に配置した。回転スクリーンの回転数を1,481 rpmとして、各プロジェクタが円周上に900視点(カラー表示では300視点)を発生するようにした。プロジェクタアレイを図8に示す。

実際に視点形成を行ったところ、視点群は回転スクリーンと平行な円周上ではなく、傾いた円周上に形成された。これは、フレネルレンズの収差が原因であると考えられる。そこで、視点形成される円周が存在する傾いた平面を実測で求め、求めた傾いた円周上の視点群に対して視差画像を生成した。

得られた立体像の写真を図9に示す。3台のプロジェクタに対応した垂直位置の異なる3視点から撮影した写真である。垂直視差をもつ立体像が得られていることがわかる。

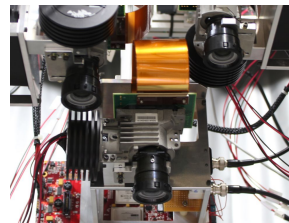


図8 フルパララックス用プロジェクタアレイ

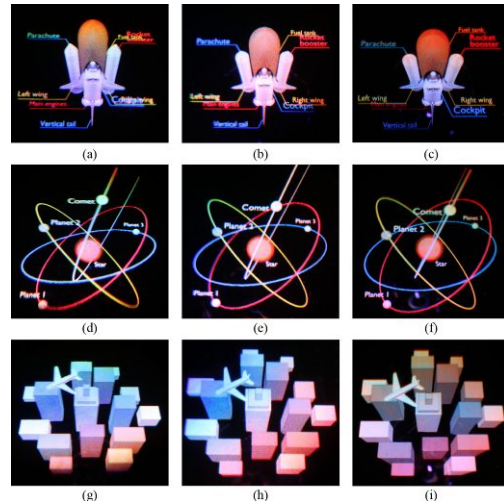


図9 垂直視差の実現

(4) マルチコンテンツ表示

図10に示すように、視点により表示する映像を変えることで、4方向に異なる映像表示を実現した。全周900視点に対して、225視点でひとつの立体映像を表示した。

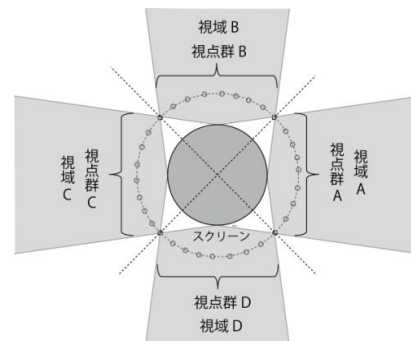


図10 4方向への異なる立体像の表示

スポーツの同時観戦を想定した表示結果を図 11 に示す。4 方向から撮影した結果である。なお、今回は、階調表現にはビットプレーン法を用いた。誤差拡散法に比べて、高解像度で高コントラストな階調表現が実現できた。

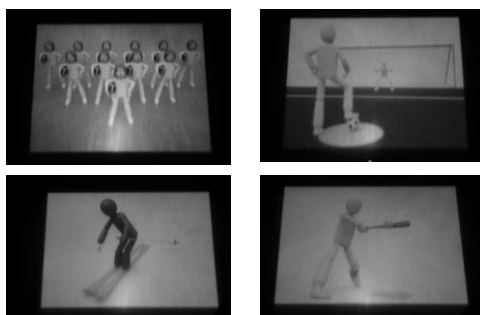


図 11 マルチビュー全周立体表示

(5) 省エネルギー化

高速プロジェクタの光源を外部変調可能にすることで、必要な視点位置にのみ立体像を表示することを可能にし、省エネルギー化を実現した。

高速プロジェクタの光源を RGB-LED とし、DMD の画像更新に同期して、発光している様子を図 12 に示す。DMD と LED ドライバの間にマイコンを接続することで、様々な制御を可能にした。

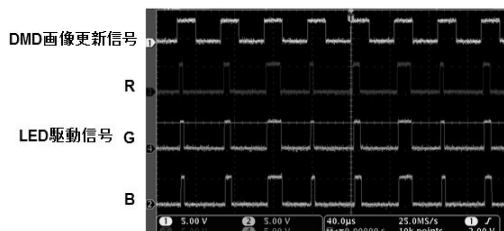


図 12 プロジェクタ光源の制御

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 8 件)

高橋俊樹, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイを用いた全周立体ディスプレイにおけるビットプレーン分解を利用した階調表現", 映像情報メディア学会技術報告, vol. 38, no. 11, 15-18 (2014) (査読なし)

平山翔, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイを用いた全周立体ディスプレイにおける異なる光線状態での立体表示", 映像情報メディア学会技術報告, vol. 38, no. 11, 11-14 (2014) (査読なし)

Y. Takaki and J. Nakamura, "Vertical parallax added tabletop-type 360-degree three-dimensional display," Proc. SPIE, vol. 9011, 901108D (2014) (査読なし)
DOI: 10.1117/12.2042410

Y. Takaki and J. Nakamura, "Generation of 360-degree color three-dimensional images using a small array of high-speed projectors to provide multiple vertical viewpoints," Opt. Express, vol. 22, no. 7, 8779-8789 (2014) (査読あり)

DOI: 10.1364/OE.22.008779

[Invited Paper] Y. Takaki, "Development of Super Multi-View Displays," ITE Trans. MTA, vol. 2, no. 1, 8-14 (2014)

DOI: 10.3169/mta2.8 (査読なし)

Y. Takaki and S. Uchida, "Table screen 360-degree three-dimensional display using a small array of high-speed projectors," Opt. Express, vol. 20, no. 8, 8848-8861 (2012) (査読あり)

DOI: 10.1364/OE.20.008848

S. Uchida and Y. Takaki, "360-degree three-dimensional table-screen display using small array of high-speed projectors," Proc. SPIE, vol. 8288, 82880D (2012) (査読なし)

DOI: 10.1117/12.909603

内田茂樹, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイを用いたテーブル型全周立体ディスプレイの立体像合成法", 映像情報メディア学会技術報告, vol. 35, no. 42, 13-16 (2011) (査読なし)

[学会発表](計 9 件)

高橋俊樹, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイを用いた全周立体ディスプレイにおけるビットプレーン分解を利用した階調表現", 映像情報メディア学会立体映像技術研究会, 東京農工大, 2014年3月6日.

平山翔, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイを用いた全周立体ディスプレイにおける異なる光線状態での立体表示", 映像情報メディア学会立体映像技術研究会, 東京農工大, 2014年3月6日.

Y. Takaki and J. Nakamura, "Vertical parallax added tabletop-type 360-degree three-dimensional display," IS&T/SPIE Electronic Imaging, Stereoscopic Displays and Applications XXV, Hilton San Francisco, San Francisco, California, USA, Feb. 3, 2014.

中村淳也, 内田茂樹, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイによるテーブル型全周立体ディスプレイにおける垂直視差の実現", 3次元画像コンファレンス 2013, 早大理工, 2013年7月4日.

内田茂樹, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイによるテーブル型全周立体ディスプレイのカラー化", 3次元画像コンファレンス 2012, 早大理工, 2012年7月13日.

[KEYNOTE SPEECH] Y. Takaki, "Prospective Novel 3D Display Technology Development," International Conference on 3D Systems and Applications

(3DSA2012), Lakeshore Hotel, Hsinchu, Taiwan, June 25, 2012.

S. Uchida and Y. Takaki, "360-degree, three-dimensional table-screen display using small array of high-speed projectors," IS&T/SPIE Electronic Imaging, Stereoscopic Displays and Applications XXIII, Hyatt Regency San Francisco Airport Hotel, San Francisco, California, USA, Jan. 23, 2012.

内田茂樹, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイを用いたテーブル型全周立体ディスプレイの立体像合成法", 映像情報メディア学会立体映像技術研究会, NHK 技研, 2011年10月21日.

内田茂樹, 高木康博, "少数高速プロジェクタアレイによるテーブル型全周立体ディスプレイ", 3次元画像コンファレンス 2011, 京都工繊大, 2011年7月14日.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計2件)

名称: 立体表示装置

発明者: 高木康博

権利者: 東京農工大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-148825

出願年月日: 2011年7月5日

国内外の別: 国内

名称: 3D DISPLAY DEVICE

発明者: YASUHIRO TAKAKI

権利者: National University Corporation Tokyo University of Agriculture and Technology

種類: 特許

番号: PCT/JP2016/067192

出願年月日: 2012年7月5日

国内外の別: 国外

取得状況(計0件)

〔その他〕

受賞

3次元画像コンファレンス優秀論文賞(2013年受賞)

内田茂樹, 高木康博: 少数高速プロジェクタアレイによるテーブル型全周立体ディスプレイのカラー化

ホームページ等

立体の新応用【全周立体表示】

http://www.tuat.ac.jp/e-takaki/research/new_value.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