

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：13102
研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）
研究期間：2016～2019
課題番号：15KK0004
研究課題名（和文）フルパララクス3D映像を実現するオンデマンド光線再生技術の研究（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）On-demand light field display technique for realizing practical full parallax 3D image (Fostering Joint International Research)

研究代表者
圓道 知博 (Yendo, Tomohiro)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70397470
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,000,000円
渡航期間： 9ヶ月

研究成果の概要（和文）：本研究では観察者の瞳孔付近にのみ光線を射出するオンデマンド光線再生技術を確立し、より少ない光線によって上下および左右方向の視差を実現することを目的とする。光線提示系として高フレームレートプロジェクタを用いた時分割方式の検討を行い、観察者の瞳孔付近にのみ光線を射出する光学系の試作を行った。これを用いた実験によって実際に上下および左右方向の視差が再現されることを確認がされ、提案手法の原理が実証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在普及している3D映像表示方式には不自然な見え方や疲労などの問題があり、より理想的な方式である空間像方式の実用化が期待されている。しかし現在の技術水準を大幅に上回る膨大な画素数の表示デバイスを必要であり、デバイス技術自体の進歩だけでは実現は困難である。よって現状では大部分の研究例では視点を左右に移動した際にのみ見え方が変化し、上下移動での変化を省略したものとなっている。本研究は表示デバイスの画素の利用効率の向上によって上下移動での変化を実現する方法を提案し、実験によってその基本原理を確認した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop “On-demand” light field display technique and display full parallax 3D image by relatively small number of rays. We considered the structure of light field display system by time multiplexing method exploiting a high frame rate projector. The experimental system was designed and assembled. Using the system we confirm the full parallax image and the principle of the proposed display.

研究分野：三次元映像表示

キーワード：バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

現在の3D表示方式の主流である2眼式は、立体視用メガネの装着が必要である、頭を動かしても見え方が変化しない不自然な見え方をする、眼精疲労を生じるなど、視聴者の負荷や不自然さの面で問題を抱えている。一方「3次元的な光学像を形成する」という考え方に基づく空間像方式は、これらの問題を解決でき、今後の主流になると期待される。「空間像方式」とは像形成の考え方に基づく立体表示技術の総称であり、具体的には光の干渉・回折を利用した電子ホログラフィや、インテグラル式をはじめとする光線再生方式などがある。しかし、これらの方式は現在の技術水準を大幅に上回る膨大な画素数の表示デバイスを必要とするため、現状の空間像方式によるディスプレイには解像度や視域の広さなどに大きな問題がある。実用的な性能の実現には電子ホログラフィでは可視光の波長に相当する $1\mu\text{m}$ 程度の解像度が必要であり、インテグラル式でも見かけ上の1画素である1つのレンズ中に光線方向に対応した数千~数万の画素を詰め込む必要があり、これは現在の表示デバイス技術の水準に比べて3-4桁多い。つまり、デバイス技術自体の進歩だけでは実現は困難であり、立体表示方式自体に新たなブレークスルーが必要とされる。

また、表示デバイスの負担を減らす方法としては従来から上下方向の視差を放棄し左右方向の視差のみを再現する方法が採られてきたが、特に仮想作業環境などの至近距離で観察する用途では上下方向の視点移動による角度の変化が大きく、上下方向の視差が欠如していると立体知覚上の歪が生じるという問題がある。上下方向視差の再現すなわちフルパララックスの実現は空間像方式の実用化において極めて重要な課題である。

ここで我々は「ディスプレイ画面から射出される光線のほとんどは無駄になる」という事実指摘する。ディスプレイから射出された光線は、視聴者の目に入って初めて映像として知覚される。瞳に入射しなかった光線は最終的には熱となるだけで全くの無駄である。人間の瞳孔は最大でも直径約8mmであり、頭部の投影面積と比べても両眼分の瞳孔が占める割合は1/500程度しかない。空間像ディスプレイの場合、様々な方向に射出する光線1本1本すべての輝度/色を調整するため膨大な数の画素を用いているが、そのほとんどは無駄な光線のために使われている。もし初めから瞳孔に入射する光線のみを射出することができれば表示デバイスの利用効率は大幅に向上する。そしてその分を瞳孔に入射する「見える」光線に投入することによって立体映像の品質を大幅に向上させることが可能となり、現在諦めている上下方向視差の再現も可能となる。これを実現するためには、視聴者の瞳孔に向けて光線の射出方向を動的に制御する技術の確立が課題となる。

2. 研究の目的

前述のように、光線再生方式による3D映像は裸眼で自然な立体像が観察でき、特に滑らかな運動視差が得られる点が特長だが、現状の大半のディスプレイでは視差が水平方向のみ再現されているため、上下方向に移動した場合見え方が変化せず、同方式の原理的な特長が十分に活かされていると言えない。この理由は、同方式が表示デバイスに膨大な画素数を必要とし、現状の表示デバイスの制約から、解像度を確保するために上下方向の視差を諦めざるを得ないためである。しかし我々は、従来の裸眼3D方式では射出される光線の大部分は観察者の目に入らず無駄であるという事実に着目し、光線の利用効率を高めることで上下視差の実現が可能と考える。本研究では観察者の瞳孔付近にのみ光線を射出するオンデマンド光線再生技術を提案し、「見える」光線に表示デバイスのリソースを割り当てることによって上下方向の運動視差を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究の中心となるのは、光線を瞳孔周辺にのみに集中的に提示する光線提示技術を開発であり、まずは光学系の検討を重点的に行う。上下と左右両方の視差を実現するためには、光線方向に関して2自由度分の制御が必要となる。これを空間分割法で実現することは困難であるため、時分割方式を採用する。時分割方式においては、光線方向を限定した範囲内で走査することが必要となる。さらにその走査範囲は視点の位置に応じて自由に制御出来る必要があるが、視差が上下左右両方であるため、走査領域の制御も2次元となる。つまり光線方向の走査およびその走査範囲の制御の双方を2次元で実現することが本研究の中心的な課題の一つである。

4. 研究成果

提案する表示装置は高フレームレートのプロジェクタ、ピンホール走査光学系および結像レンズから構成される。基本的にはプロジェクタで投影された画像をピンホールを通して観察する構成であり、この時ピンホールを高速に走査させながらピンホールの位置に合わせた表示画像に切り替えることによって時分割にて光線の方向毎に異なる表示を実現し、光線を再現する。奥行きのあるシーンをピンホールを通して観察した場合は、マクスウェル視と呼ばれる被写界深度が深く、どの奥行きのある物体に対しても同時に焦点が合う、いわゆるパンフォーカス状態となることが広く知られているが、ピンホールの奥行き方向の位置が瞳孔と一致していないと視野が狭くなる「ケラレ」が生じるという問題がある。実際にピンホールを通して見る場合は目の瞳孔とピンホールの奥行き方向の位置を一致させることは困難であるので、提案手法では結像光学系を用いてピンホールの光学像を瞳孔付近に結像させる。またピンホールの走査に伴

って細かく画像を切り替えることで高密度に光線を再現し、走査範囲として瞳孔の周囲の一定の広さの領域を確保することによって、ピンホール像と瞳孔の奥行き方向の位置が異なる場合や眼球の回転によって瞳孔が移動した場合にも視野が欠けないようにしている。さらに瞳孔の位置に応じてプロジェクタの投影画像として適切な画像を選択することにより、上下及び左右方向の視差を再現する。

具体的な装置構成として、DMD 素子を用いた高フレームレートプロジェクタと Nipkow 円板によるピンホール走査光学系を採用した装置を試作し、実験を行って提案法の原理を確認した。さらに、Nipkow 円板によるピンホール走査に代えて、DMD 素子の照明を LED アレイとし、点灯させる LED を切り替える構成を考案した。これは光源の光学像を観察者の瞳孔付近に結像させ、光源を切り替えることでその結像位置を走査するものであり、これによってピンホール走査と同様に光線方向の走査が実現される。装置を試作して実験を行い、点灯させる LED の領域を観察者の視点位置に応じて設定することで視点追従型のフルパララクス表示を実現できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 H. Yano, T. Yendo	4. 巻 -
2. 論文標題 Spherical full-parallax light-field display using ball of fly-eye mirror	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. SIGGRAPH '18 ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3214907.3214917	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 A. Temochi, T. Yendo	4. 巻 2020
2. 論文標題 Transparent type virtual image display using small mirror array	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Engineering Reality of Virtual Reality, Electronic Imaging Proceeding	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 H. Hayakawa, T. Yendo	4. 巻 2020
2. 論文標題 Projection type 3D display using spinning screen	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Stereoscopic Display and Applications XXXI, Electronic Imaging Proceeding	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 M. Yamauchi, T. Yendo	4. 巻 2020
2. 論文標題 Light field display using wavelength division multiplexing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Stereoscopic Display and Applications XXXI, Electronic Imaging Proceeding	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
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2件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 H. Yano, T. Yendo
2. 発表標題 Spherical full-parallax light-field display using ball of fly-eye mirror
3. 学会等名 SIGGRAPH '18 Bof "DCAJ Presentation "Advanced Content Technology in Japan" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yano, T. Yendo
2. 発表標題 Spherical full-parallax light-field display using ball of fly-eye mirror
3. 学会等名 WISS2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
主たる 渡航先 の主たる 海外共同 研究者	ジャヴィディ パーラム (Javidi Bahram)	コネティカット大学・School of Engineering・Professor	