

(様式 5)

2022 年 3 月 17 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 電気電子工学専攻 (major) 2019 年度入学(Admission year) 学籍番号 19834202 氏名 桃井 芳晴 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	高木康博
論文題目 (Title)	マルチライトフィールドディスプレイを用いた全周立体表示の研究 (Study on 360-degree three-dimensional display using multiple light field displays)
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract(400 words)) 本論文は 8 章で構成されている。以下に、各章の内容の概要を述べる。 第 1 章では、本研究の背景について述べた。近年、スーパーハイビジョンなど映像情報技術の発展する中、立体映像技術に注目されている。人間が立体像を知覚する手がかりである 4 つの生理的要因を満たすライトフィールドディスプレイ技術を説明した。我々は、生理的要因の一つである運動視差を 360 度から満たす全周立体表示に着目した。本研究では複数のライトフィールドディスプレイを用いて全周立体表示を実現する方法を提案し、その有効性を実験により検証した。 第 2 章では、本研究の関連研究について説明した。これまで様々な全周立体表示システムは提案されている。代表的な実現方法としてプロジェクタアレイ型とフラットパネル型が知られている。しかし、前者は多数のプロジェクタが必要で、後者は特殊な組み合わせレンズを数千個並べたレンズアレイと超高精細なフラットパネルディスプレイが必要になる。 第 3 章では複数のライトフィールドディスプレイを用いた全周立体表示方法を提案した。ミラージュは有名な全周立体表示を行うデバイスであり多くの立体映像研究者を魅了している。実物の被写体を中心に置き、2 枚の放物面鏡で被写体を実像結像させ全周立体表示するミラージュを、この研究ではデジタル実装することをコンセプトとした。360 度に立体映像から放出される光線を複数のライトフィールドディスプレイから生成するように置き換える。このシステムを我々はライトフィールドミラージュと名付けた。提案法は、入手しやすい解像度のフラットパネルディスプレイと通常のレンズアレイを組み合わせたフラットパネル型ライトフィールドディスプレイを数個用いることで実現できるため、実用化において従来法より優れている。 第 4 章では、第 3 章で提案したライトフィールドミラージュに用いるライトフィールドディスプレイの設計・試作について述べた。ライトフィールドミラージュの上部の穴付近の空中に 3D 像を表示するため、本研究に用いるライトフィールドディスプレイは解像度優先型と呼ばれる技術を用いた。解像度優先型のライトフィールドディスプレイを作製・評価し、設計された空中に 3D 像が表示できることを示した。 第 5 章では、ライトフィールドミラージュの全周立体像の観察を阻害する繰り返し像を除去	

するためのトラッキング技術と非トラッキング技術と呼ぶ2つの技術を提案した。非トラッキング技術は複数の観察者による観察を可能にするが、立体像のサイズに制限が生じる。トラッキング技術は立体像のサイズは大きくできるが、観察者の人数が制限される。ライトフィールドミラージュの下半分のシステムを構築して、この2つの技術の有効性を確認した。

第6章では、下半分のシステムに上半分のシステムを加えてシステムを完成させるための設計方法を示した。ハーフミラーを用いてライトフィールドディスプレイを入れ子に配置することによって、360度切れ目のない立体表示が可能となる。切れ目のない表示に必要な最低台数を示し、システムに必要な最低台数より多い下4台上4台の8台のライトフィールドディスプレイを用いたライトフィールドミラージュを完成させた。

第7章では、完成したシステムの調整方法を提案した。湾曲できるライトフィールドディスプレイが利用できればこれらをシームレスに組み合わせることができるが、現時点では利用できない。本研究では、フラットパネル型のライトフィールドディスプレイを利用したため、ライトフィールドディスプレイ間に重なりが生じる。また、液晶パネルを用いたライトフィールドディスプレイは、金属ハーフミラーの反射率と透過率に不均衡を生じさせ輝度差が生じる。本研究では、重複領域で立体映像をスムーズに輝度差なく重ね合わせる画像ステッチング技術と輝度差を是正する輝度マッチング技術を提案した。さらに、少数のライトフィールドディスプレイで構成されている特徴を生かした位置調整方法を提案した。ライトフィールドディスプレイ単体と複数のライトフィールドディスプレイを機械的位置合わせでほぼ位置が合わせられるため、ディスプレイ間の小さいばらつきを電子的位置合わせすることによって無効となる画素がほとんどなく画質劣化が少ない位置調整ができた。作製したライトフィールドミラージュを用いて、画像ステッチング技術、輝度マッチング技術、位置合わせ技術の有効性を確認した。

第8章で本研究の今後の展望と課題を示し、第9章で本研究を総括した。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

This thesis consists of eight chapters. The summary of each chapter is described below:

In chapter 1, the background of this study is described. Many researches in recent years have focused on three-dimensional (3D) technology. It is explained that light field display (LFD) technology satisfies the four physiological factors of human 3D perception. We focus on the 360-degree 3D display because it can fully satisfy the motion parallax which is one of the physiological factors.

In chapter 2, the related researches are reviewed. The 360-degree 3D displays have been developed using the multi-projection technique and the LFD technique. The multi-projection technique required the calibration techniques because the precise arrangement for a large number of projectors was impossible. The LFD technique required specially designed lenses to distribute rays in 360-degree directions from the flat-panel display.

In chapter 3, we propose a light field Mirage (LFM) which consists of multiple LFDs. This study proposes a digital implementation of the conventional Mirage which uses two parabolic mirrors to produce 360-degree 3D images of real objects placed inside it. The advantage of the LFM is that it does not need specially designed lenses required for the LFD type.

In chapter 4, we describe the construction of the LFD used for the LFM. All LFDs generate 3D images at the top hole using the resolution-priority integral imaging technique. In the resolution-priority technique, the lenses of the lens array produce real images of the elemental images displayed on the flat-panel display. The plane where the real images are produced is called the "central depth plane".

In chapter 5, we propose two techniques for the elimination of repeated 3D images produced by the multiple LFDs, i.e., the non-tracking and tracking techniques. The former supports multiple viewers,

although the 3D image size is limited. The latter can produce large 3D images, although the number of viewers is limited. The lower half system of the LFM was constructed using four LFDs to verify the proposed techniques.

In chapter 6, we describe the design method to complete the system. The upper and lower displays are alternatively arranged using a half-mirror without non-image areas. We used eight LFDs to construct the experimental system.

In chapter 7, We propose the techniques to unify 3D image of all LFDs by using the calibration, brightness matching, and image stitching techniques. This study uses flat-panel type liquid crystal displays, overlapping of the LFDs is indispensable, and the intensities different between the upper and lower LFDs. In this study, we develop the image stitching technique for smoothly mixing 3D images at the overlapping areas and brightness matching technique for upper and lower LFDs. Moreover, we also develop the calibration techniques which has advantage over the multi-projection techniques. The techniques were verified by constructing a 360-degree display consisted of eight LFDs.

In chapter 8, the future prospect of the proposed techniques is described. Finally, chapter 9 concludes this thesis.