

(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	--

2020年3月24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 電子情報工学専攻 (major) 平成29年度入学(Admission year) 学籍番号 17834202 氏名 山口 祐太 印 (student ID No.) (Name) (Seal)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	高木 康博
論文題目 (Title)	ライトフィールド技術を応用した表示・撮影技術の研究 (Developments of display and image acquisition systems using light field technology)
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) 本論文は9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。ライトフィールド技術は、将来の3次元映像の表示・撮影技術として、最近、研究が盛んになっている。1908年にLippmannが提案したインテグラルイメージングは、将来の立体テレビの原理として注目されているが、ライトフィールド技術に包含される技術である。これらは、レンズアレイと表示デバイスの組み合わせで3次元映像情報を表示し、レンズアレイと撮影デバイスの組み合わせで撮影を行う。本研究は、ライトフィールド技術を適用することで、拡張現実(AR)用の新しい表示デバイスの実現を可能にし、カメラ技術に新しい機能を付与することを可能にした。第3章から第5章では前者の表示デバイスの研究について説明し、第6章および第7章では後者のカメラ技術の研究について述べた。 第2章では、本研究の関連技術について説明した。表示技術として、インテグラルイメージングを原理とする立体ディスプレイについて説明した。AR技術について説明し、現在は、ユーザーはヘッドマウントディスプレイを着用する必要があるため、普及が進まないことを説明した。つぎに、撮影技術として、現在のカメラ技術は解像度やダイナミックレンジなどの電気的性能は急激に進歩しているが、視線移動(パンチルト)や焦点合わせは機械的機構を必要とするため性能向上が進んでいないことを説明した。従来の高速パンチ	

ルトシステムやライトフィールドカメラに関する研究例について説明した。

第3章では、ライトフィールド技術を用いたフラットパネル型のARディスプレイを提案した。インテグラルイメージングディスプレイにレンズアレイを追加することで透明化を行い、風景に3次元映像を重畳表示することを可能にした。フラットパネル型であるため、薄型軽量に実現でき、タブレットやスマートフォンの形態でAR用表示デバイスが実現できる。プロトタイプシステムを作製し、提案法の有効性を示した。

第4章では、第3章で提案したフラットパネル型のAR用表示デバイスに背景遮蔽機能を付与する方法を提案した。従来のAR技術では、背景が立体像に透けて見えることが問題であった。これを光学的に解決するためには、複雑な光学系が必要であった。本研究では、3枚のレンズアレイで対称インテグラルイメージング光学系を構成し、背景遮蔽用のマスクパターンを表示するディスプレイを追加することで、背景遮蔽機能を光学的に実現した。プロトタイプシステムを改造して、提案法の有効性を実験により示した。

第5章では、フラットパネル型のAR用表示デバイスを用いて視力補助機能を実現する方法を提案した。対称インテグラルイメージング光学系のレンズアレイの間隔を適切に変更して非対称化することで、実風景を任意の距離に結像することができる。遠くにある物体を近くに結像したり、近くにある物体を遠くに結像することができるため、近視、遠視、老眼などの屈折異常の人に対して視力補助機能を提供できる。上記のプロトタイプシステムに加えて、新たにスケールアップモデルを作製して、提案法の有効性を確認した。

第6章では、ライトフィールド型のレンズアレイ光学系により高速なパンチルトシステムを実現する方法を提案した。上記の表示技術における研究の過程で、レンズアレイを微小にずらすと透過光の方向が大きく変化することを見出した。これを用いて、新しいパンチルト光学系を考案し、最適な構成方法について研究を行った。レンズアレイをレンズピッチ程度(100 μm)動かすことで、光線の方向を大きく変えることができる。そのため、ピエゾ素子を用いてレンズを移動することで、高速なパンチルトが可能になる。スケールアップモデルを用いた実験により、提案法の有効性を示した。

第7章では、高速パンチルトシステムとライトフィールドカメラを一体化する方法を提案した。計算により焦点合わせ(リフォーカス)が行えるライトフィールドカメラは、イメージセンサにレンズアレイを取り付けた構造をもつ。そこで、前章で開発したパンチルト光学系を構成するレンズアレイとライトフィールドカメラを一体化することを考えた。その結果、2枚のレンズアレイを用いて高速パンチルトとリフォーカス機能を同時に実現する構成を提案した。レンズピッチが約100 μm のレンズアレイを作製してピエゾステージと組み合わせたシステムを作製し、提案法の有効性を確認した。

第8章では、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 nine chapters. The summary of each chapter is described below:

In chapter 1, the background of this study is described. Recently, light field technology is becoming the active area of study as the future three-dimensional (3D) technology of display and image acquisition. Integral imaging is included in the light field technology. In this study, novel display systems for augmented reality (AR) and cameras with novel functions are developed based on the light field technology.

In chapter 2, related researches are reviewed. The 3D displays based on the integral imaging are explained. The AR technology and the limitation of its wide spread usage are explained. The image acquisition technologies are also described. The electric performance of cameras is rapidly advancing; however, the mechanical systems are still required in the pan-tilt and the focusing functions. Previous studies of the pan-tilt system and the light field camera are explained.

In chapter 3, a flat-panel type AR display using light field technology is proposed. The integral imaging display is made see-through by adding lens arrays and enabled the superposition of 3D image onto the scene. The proposed system has a flat-panel shape; therefore, it can be adapted to tablets and smart phones. The proposed method is experimentally verified by constructing prototype systems.

In chapter 4, the introduction of the background occlusion function to the AR display is proposed. The symmetric integral imaging constructed of three lens arrays and a display for displaying mask patterns realized the background occlusion function. The proposed method is experimentally verified using the modified prototype system.

In chapter 5, the method for realizing vision enhancement capability is proposed using the flat-panel type AR display. The asymmetric integral imaging system can project the real-world scene at arbitrary depth positions; therefore, the vision enhancement capability is realized. The proposed method is experimentally verified using prototype system and the scaled-up model.

In chapter 6, the high-speed pan-tilt system utilizing light field type lens array optics is proposed. In the process of developing the above-mentioned display systems, we found that small lateral shifts of lens arrays induce large changes of ray directions. The ray directions can be changed by shifting lens arrays with an amount less than the lens pitch ($\sim 100 \mu\text{m}$). Therefore, high-speed pan-tilt function can be achieved by using piezo actuators. The proposed method is experimentally verified using the scaled-up model.

In chapter 7, the combination of the high-speed pan-tilt system and the light field camera is discussed. The proposed method enables the high-speed pan-tilt and refocus functions. The system is constructed using the lens arrays with a lens pitch of $\sim 100 \mu\text{m}$ and a piezo stage. The proposed method is experimentally verified.

In chapter 8, the future developments of the proposed techniques are described. Finally, in chapter 9, this thesis is concluded.