

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 藤井 賢吾

本論文は再帰反射による空中結像 (AIRR: aerial imaging by retro-reflection) を用いた空中ディスプレイの新しい光学設計を扱う。AIRRは、光源、ビームスプリッター、再帰反射素子の3つの要素で構成される。AIRRは、電子ホログラフィーやレンズアレイを用いる他の空中表示技術と比べて広い視野角を有する点と大画面化のスケラビリティの点で、不特定多数を対象としたインターフェース用途に適している。

AIRRを用いた従来の空中インターフェースにはユーザーの姿の取得と複数感覚の提示において解決すべき課題がある。ユーザーのジェスチャー情報の取得は、光学系の外部に設置されたステレオカメラやタイムオブフライトカメラなどの3Dセンサーを用いて実現されてきた。つまり、撮影系がユーザー正面に配置されていないため、ユーザーの表情や動作を正面から撮影することが不可能であった。また、空中ディスプレイと同様に、空中に音波の集束や遠赤外線を集束を行う技術が報告されているが、それぞれの各感覚を提示する素子が大型であり、空中ディスプレイに統合することが困難であった。

本論文では、これらの課題を解決することで、空中ディスプレイの多機能化を行う新しい光学系を明らかにする。第1の光学系の機能は、AIRR構成の内部カメラからのシースルーユーザー撮影である。偏光を用いるAIRRにカメラと偏光板を組み合わせた撮影光学系を用いて、ビームスプリッターの反射で生じる光源の映り込みを除いたユーザーの撮影を実現する。また、この手法を利用して、ビデオ通話向けのカメラ視線撮影光学系と、動物実験向けの映像提示及び撮影を行う光学系を明らかにする。第2の光学系の機能は、ライトフィールドディスプレイとAIRRによるリアルタイム空中3Dディスプレイである。記録した映像を立体表示するために計算処理が必要な課題があったが、ディスプレイ、レンズアレイ、投影レンズを組み合わせることでライトフィールドカメラの光路を逆再生する光学系で解決する。従来の光学系ではスクリーンがなければレンズの大きさの範囲でしか映像を視認できないが、AIRRの光学系を組み合わせることで空中結像することで、空中に浮かぶ3D映像の全体を観察可能である。第3の光学系の機能は、AIRRを構成する素子のスピーカー化による視覚と聴覚のマルチモーダル化である。第4の光学系の機能は、実物体と観察者の間への空中映像を形成することによる拡張現実 (AR) 表示である。本論文では、光の屈折を有する同質同形状の2つの物体をAIRRのビームスプリッターで面対称に配置することで、実物体に重ねて空中映像を表示できる光学系を提案する。

本論文は7章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究背景を述べた後、本研究の動機と目的を示す。

第2章では、再帰反射による空中結像と関連する他の空中ディスプレイ技術について述べ、本研究にAIRRを利用する理由を示す。また、AIRRによる空中ディスプレイを用いた先行研究について

て分類し、本研究の位置づけを示す。

第3章では、AIRR内部に配置されたカメラを用いたユーザーの撮影について述べる。内部から撮影を行う場合、ビームスプリッターで反射した光源からの光が映り込むため、これを取り除く必要がある。そこで、偏光変調を用いたAIRRを基に、偏光板を用いることで映り込みを解消し、ユーザーを正面から撮影できることを明らかにする。また、空中映像にユーザーが触れた際に手のひらで散乱光があることを利用して、空中映像との接触を検知できる可能性を示す。そして、提案した撮影手法の応用として、視線一致型ビデオ通話および動物実験への活用を提案する。

第4章では、光線再生型の3D表示であるライトフィールドディスプレイを光源に用いた空中3Dディスプレイを扱う。AIRRを組み合わせて空中表示化することで、従来のライトフィールドディスプレイに必要であった取得映像の処理計算が不要となり、映像の取得と再生の間にある遅延を減らすことができる。試作装置を用いて表示実験を行い、リアルタイムにライトフィールド映像が空中表示できることを示す。

第5章では、再帰反射素子をスピーカーに用いることで、空中映像から音が来るように感じられるシステムを提案する。再帰反射素子のほか、ビームスプリッターについてもスピーカー化を検討する。光学系の構成素子を振動させるため、空中結像に影響が発生しないことを検証し、素子のスピーカー化が可能なことを明らかにする。

第6章では、透過光を屈折する透明物体の上に空中映像を形成するAR空中表示について述べる。AIRRに2つの透明物体をビームスプリッターで面対称に組み合わせることで、光源から出た光の屈折を再帰反射前後で打ち消し、従来と同様に空中結像できることを示す。原理検証には透明球を用いて、光線追跡シミュレーションと試作装置での空中結像を行う。また、透明球を用いたときに、再帰反射素子の削減効果があることをシミュレーションによって明らかにする。最後に、水を満たした花瓶やペットボトルなどの身近な透明物体を用いても、空中映像が結像されることを確認する。

第7章では、本研究の成果をまとめ、今後の課題と展望について述べる。