

論文内容の要旨

博士論文題目 Design and Prototyping of Wide Field of View Occlusion-capable Optical See-through Augmented Reality Displays by Using Paired Conical Reflectors
(対向円錐ミラーを用いた広視野角オクルージョン対応光学シースルー拡張現実感ディスプレイの設計と試作)

氏 名 ZHANG YAN

(論文内容の要旨)

拡張現実感 (AR) の分野において、従来、視野の一部を自在に遮光するオクルージョン対応光学シースルーディスプレイは、コントラストや写実性の高い映像表現が可能である反面、視野角が極めて狭いという問題があった。本研究では、オクルージョンに対応した広視野角の光学シースルーディスプレイを実現することを目指し、複数の光学系を提案して実際に試作システムを構築し、性能評価することを目的としている。本研究は、特に以下の3点において、従来研究から差別化できる新規性と有用性を有している。

- 1) 本論文の第3章で述べているように、透過型 SLM (空間光変調器) と対向楕円ミラーを用いた広視野角オクルージョン対応光学シースルーディスプレイを提案し、実際に試作システムを構築し、性能評価している。これは2つの楕円ミラーの焦点位置を一致させ、一方の楕円ミラーに入射する光線が他方の楕円ミラーから同じ角度で出射する構造を基本としている。光量を稼ぐために光路上にレンズ系を挿入し、最適配置を検討した結果、試作システムでは視野角 (水平 122 度×垂直 74 度) を実現している。また、レンズ間距離およびピンホール口径の複数の組み合わせで画質を評価し、垂直視差を最小化する改良型光学系の設計と試作や、楕円ミラーの位置ずれが幾何歪みに及ぼす影響の調査、視野内の位置ごとの解像力 (MTF) 評価なども行っている。
- 2) 本論文の第4章で述べているように、反射型 SLM と対向放物ミラーを用いた広視野角オクルージョン対応光学シースルーディスプレイを提案し、実際に試作システムを構築し、性能評価している。これは2つの放物ミラーをそれらの回転軸を一致させて配置し、一方の放物ミラーの焦点に入射する光線が他方の放物ミラーの焦点から同じ角度で出射する構造を基本としている。光量を稼ぐために光路上にレンズ系を挿入し、最適配置を検討した結果、試作システムでは1)よりやや狭い視野角 (水平 83.5 度×垂直 53.1 度) ながら垂直視差の解消と1)より高い画質を実現している。また、放物ミラーの位置ずれが幾何歪みに及ぼす影響の調査や視野内の位置ごとの解像力 (MTF) 評価なども行っている。
- 3) 本論文の第5章で述べているように、これらの光学系に適したレンダーリングパイプラインを実装し、幾何歪みのない映像のリアルタイムの提示を実現している。また、本論文の第6章で述べているように、1)と2)の2つの手法の特性を比較しながら議論し、将来展望を議論している。

(論文審査結果の要旨)

本研究は、拡張現実感 (AR) に用いられるディスプレイの中でも、コントラストや写実性の高い映像表現が可能であるオクルージョン対応光学シースルーディスプレイについて、視野角が極めて広い光学系を新たに考案し、その性能を評価したものである。本論文の主な成果は、以下の3点に要約される。

1. 透過型 SLM (空間光変調器) と対向楕円ミラーを用いた広視野角オクルージョン対応光学シースルーディスプレイを考案し、実際に試作システムを構築し、性能評価した。2つの楕円ミラーの焦点位置を一致させて配置するユニークかつシンプルな構造を基本としており、光量を稼ぐために光路上にレンズ系を挿入し、最適配置を検討した。その結果、試作システムで視野角 (水平 122 度×垂直 74 度) を実現した。また、様々な画質評価、解像力 (MTF) 評価を行い、垂直視差を最小化する改良型光学系の設計と試作も行った。
2. 反射型 SLM と対向放物ミラーを用いた広視野角オクルージョン対応光学シースルーディスプレイを考案し、実際に試作システムを構築し、性能評価した。2つの放物ミラーをそれらの回転軸を一致させて配置するユニークかつシンプルな構造を基本としており、光量を稼ぐために光路上にレンズ系を挿入し、最適配置を検討した。その結果、試作システムでは1よりやや狭い視野角 (水平 83.5 度×垂直 53.1 度) ながら垂直視差の解消と1より高い画質を実現した。また、視野内の位置ごとの解像力 (MTF) 評価なども行った。
3. 1 と 2 の光学系に適したレンダリングパイプラインを実装し、幾何歪みのない映像のリアルタイムの提示を実現した。また、これらの手法の特性を比較しながら議論し、将来展望を議論している。

オクルージョン対応光学シースルーディスプレイの研究は数多いが、広視野の光学系を実現した例はほぼ皆無である。本研究は2種類の異なる特徴を持つ広視野オクルージョン対応光学シースルーディスプレイをまったく新たに考案し、最適配置の検討から性能評価までを一貫して実施しており、拡張現実感 (AR) 分野において意義の大きな研究であると評価する。実際、これらの成果は同分野のトップカンファレンス IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality や光学系の主要なジャーナルである Optics Letters にて刊行済みであり、学術的意義が認められている。

以上より、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。