

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 中村 俊輝

本論文は、拡張現実の情報をユーザの視界中にハンズフリーに表示するヘッドマウントディスプレイ光学系において、視認される虚像の輝度均一性と表示画像の画角拡大を可能にする導光板技術について検討を行ったものである。本論文では2種類の導光板方式に対して、導光板の数学的モデルを構築し、観察者が視認する映像の解析を行なっている。また輝度の不均一性の問題と原因を明らかにし、改善手法を提案してその効果の検討を行った。以下では、本論文において実施された2つ導光板方式における改善手法およびその成果についてまとめ、評価を与える。

1つ目は、表面掘り込み式の回折格子導光板に関する検討である。ガラス基板表面に回折格子を低コストに形成できる表面掘り込み式の回折格子導光板は、近年広く注目を集める導光板技術である。一方で、薄いホログラムがもつ回折特性から、光線波長や入射角に対する回折効率の依存性が強く、導光板1層ではフルカラー性と広い視野角を同時に確保することは難しい。さらに画角に依存して光線角度と回折格子との相互作用回数が異なるため、視認像全体での輝度が不均一になるという課題があった。本論文ではこれに対し、表面掘り込み式回折格子をいくつかのセクションに分割し、それぞれ場所ごとに回折格子の溝深さを変調することで視認像の輝度均一性を改善することを試みた。その結果、水平画角 35° 垂直画角 20° の条件下で、画面内の最小輝度と最大輝度の比である輝度均一性を従来値33%から47%へ約1.4倍改善することに成功している。本研究の特徴は、通常莫大な計算時間を要する光線追跡シミュレーションを実施することなく、さまざまな物理現象を組み込んだ数学モデルを構築することによって、短時間で最適構造を同定できる手法を開発した点にある。本論文では、この高速な最適化手法を用いて表面掘り込み式回折格子導光板における理論限界についても調査しており、学術的にも非常に有用な結果が得られていると認められる。

2つ目は、体積ホログラムを導光板として用いたホログラフィック導光板に関する検討である。体積ホログラムは、薄いホログラムとは異なり、高い回折効率と同一箇所に様々な回折格子を重ねて記録することができる多重記録特性を有している。本論文ではこの特性を利用して、体積ホログラム自身を導光板として用いることで、単層化された高効率なヘッドマウントディスプレイ導光板の実現を目指した。まず体積ホログラム導光板の数学的モデルを構築し、導光板内の信号光と体積ホログラムの相互作用体積を考慮して、観察者が見る虚像を分析した。本解析により、光線とホログラムの相互作用体積の変化に起因して、回折光強度が光線角度ごとに変化し虚像の輝度均一性が低下すること、さらに輝度が低下した画角においては表示画像の分解能が著し

く低下するという特有の課題があることを明らかにした。この問題に対し本論文では、入力画像内の線対称点から来る別の光線によって相互作用体積の変動を補償する線対称イメージ入力法を提案している。この手法により、体積ホログラム導光板では、表面掘り込み方式の約2倍に相当する 60° の画角において49%の輝度均一性を得ることができている。さらに輝度が低下した画角における分解能の低下も10%以下にまで抑制することができた。このように本論文で提案された線対称イメージ入力法は、単層構造による重量・コストのメリットだけでなく、ヘッドマウントディスプレイの画角と輝度均一性、分解能を大きく向上できる導光板技術として、工学的に有用な結果が得られていると認められる。

本論文については、令和4年2月11日にZOOMを用いたオンライン会議を開催し、全審査委員出席のもと研究発表と質疑応答がなされた。その後、学位審査委員会が開催され本論文の内容を詳細に検討した結果、本研究成果は、ヘッドマウントディスプレイ光学系における導光板技術として、学術的にも工学的にも優れた成果が得られていると判断された。よって本論文は、博士（工学）の学位論文に値するものと認める。