

先端科学技術研究科 博士論文要旨

所属研究室 (主指導教員)	サイバネティクス・リアリティ工学 (清川 清 (教授))		
学籍番号	2121419	提出日	令和 6年 1月 18日
学生氏名	HU XIAODAN		
論文題目	Developing and Optimizing Soft-edge Occlusion System for Light Dimming Using Transmissive Liquid Crystal Displays 透過型液晶ディスプレイを用いた調光のためのソフトエッジオクルージョンシステムの開発と最適化		
要旨			
<p>Systems featuring light dimming and occlusion capabilities, such as those used in vision augmentation, image processing, and optical see-through head-mounted displays (OST-HMDs), are increasingly popular. Achieving precise light dimming or occlusion (hard-edge) in these systems often necessitates complex optical designs and results in bulky device volumes. In contrast, the use of transmissive liquid crystal displays (LCDs) offers a simpler approach for creating an occlusion mask, i.e., an area with low light transmittance on the LCD. However, masks created using this method frequently appear defocused (soft-edge), leading to inadequate blocking.</p> <p>In this dissertation, I present the development of a light dimming system utilizing a single-layer transmissive LCD panel. This system adaptively modulates light based on a specialized modulation method and incorporates an optimization algorithm to enable precise light attenuation. This approach significantly enhances visual comfort by effectively modulating light.</p> <p>Further, the research explores the perception of soft-edge occlusion through the human visual system. By employing a user-preference-based optimization method, we achieved optimal occlusion mask customization, revealing considerable individual differences in the perception of soft-edge masks and varying requirements for mask size.</p> <p>The dissertation also introduces a novel approach employing a dynamic pinhole array on a transmissive LCD to optimize the soft-edge occlusion. Positioned between the eye and another transmissive LCD displaying occlusion, this method features adaptive pinhole patterns and gaze-contingent functionality. Preliminary results indicate that this approach significantly enhances soft-edge occlusion. This is evidenced by an occlusion mask placed at 4 cm being observed sharply through a 4.3 mm aperture, with the focal plane set at 1.8 m.</p>			

(論文審査結果の要旨)

本論文は、視覚拡張システム、画像処理システム、及び光学透過型ヘッドマウントディスプレイ (OST-HMDs) における正確な光の調光または遮蔽を達成するという重要な課題に対処するものである。従来の遮蔽方法は、複雑でかさばる光学設計を必要とするのに対し、本研究では単層透過型液晶ディスプレイ (LCD) を用いて、より効率的かつユーザカスタマイズ可能な遮蔽マスクを生成する新たなアプローチを複数提案している。本論文の主な成果は、以下の 3 点に要約される。

第一に、単層透過型液晶ディスプレイ (LCD) を利用した新たな光調光システムについて提案・評価している。このシステムは、特殊な変調方法と最適化アルゴリズムを組み合わせることにより、遮蔽マスクの適応的な変調を実現し、簡易なハードウェア構成の制約の下で正確な光減衰を可能にしている。これにより、従来手法に比べてユーザの主観評価が大幅に向上するという重要な成果を得ている。

第二に、人間の視覚システムがソフトエッジ遮蔽をどのように認識するかについて詳細な調査を行い、ユーザの嗜好に基づく最適化方法を提案して、個々に最適化された遮蔽マスクのカスタマイズを達成している。この調査では、ユーザ間でのソフトエッジマスクの知覚に関する顕著な個人差の存在を初めて明らかにし、それへの対処方法を提案するものであり、個人適応された視覚拡張体験の向上に寄与するものである。

第三に、透過型 LCD 上に動的なピンホールアレイを配置することによる新しいソフトエッジ遮蔽の最適化手法を提案している。この手法は、適応型ピンホールパターンと注視点依存の遮蔽マスク描画機能を備え、小さな開口部を通じて焦点面が遠距離に設定された状態で遮蔽マスクを鮮明に観察できるという、顕著な改善を実現している。この成果は、遮蔽対応 HMD の視認性と小型化を両立させるための全く新たな方法論を開拓するものである。

これらの成果は、バーチャルリアリティ (VR) および拡張現実 (AR) 分野に顕著な貢献を果たすものである。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。