

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	光線の計測と変調による光学シースルー頭部搭載型ディスプレイにおける現実感の高い質感再現
Title(English)	Realistic Appearance Reproduction by Optical See-Through Head-Mounted Display based on Light Measurement and Modulation
著者(和文)	廣井裕一
Author(English)	Yuichi Hiroi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11803号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小野 峻佑,小池 英樹,篠田 浩一,井上 中順,大上 雅史,伊藤 勇太
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11803号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	廣井裕一	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小野峻佑	准教授	伊藤勇太	特定准教授
	審査員	小池英樹	教授	大上雅史	助教
		篠田浩一	教授		
		井上中順	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Realistic Appearance Reproduction by Optical See-Through Head-Mounted Display based on Light Measurement and Modulation」(邦題: 光線の計測と変調による光学シースルー頭部搭載型ディスプレイによる現実感の高い質感再現)と題し、英文7章から成る。

第1章「Introduction for Augmented Reality Displays and Their Applications」では、まず本研究の背景である拡張現実感(AR)、およびAR向けディスプレイ技術を取り上げる。その後、現実の視界を保ちながら視野に直接映像を重畳する、光学シースルー頭部搭載型ディスプレイ(OST-HMD)に着目し、OST-HMDの応用である視覚拡張(VA)技術について取り上げている。

第2章「Realistic Appearance Reproduction by OST-HMDs」では、OST-HMD上で現実感の高い質感を再現することが、ARやVAにおいてユーザに適切な価値判断や行動を促す上で重要であることを述べている。更に、現実感の高い質感を再現するOST-HMDの例として、焦点ブラーを再現するOST-HMDや光学遮蔽対応のOST-HMD(OCOST-HMD)を紹介している。一方で、映像提示系の設計だけではOST-HMDの表現力には限界があり、例えば光学遮蔽で視野角を保ちつつ焦点ブラーを提示するのは難しいなどの問題がある。その上で、本研究では装着者の視覚特性や視界を計測し、適応的な情報提示により、頭部搭載型の構成を保ちながら多様な質感を再現する方策を提案している。また、眼に入る光線を直接知覚するOST-HMDの特徴を生かし、従来の画像処理を超えた光線の直接計測・変調に基づく方策を提案している。

第3章「Contributions of this Dissertation」では、第2章までの議論をふまえ、第4章から第6章で述べる本研究の具体的な貢献を要約している。

第4章「Focal Surface Occlusion」では、OCOST-HMDにおいて、連続した深さの複数のバーチャル物体に適切な焦点ブラーを提供する手法について説明している。提案手法は、動的な自由曲面レンズとして機能する位相空間光変調器(PSLM)をOCOST-HMDに挿入する。その後、遮蔽マスクの焦点面が、提示したいバーチャル物体の奥行きへと近似されるように、PSLM上に表示するための位相画像を最適化する。本手法では、現実世界の見えの歪みを抑えながら焦点ブラーを再現するために、アフォーカル光学系に基づく光学系と、エッジ画素に着目した最適化を提案した。PSLMと透過型液晶ディスプレイを搭載した試作機により、本手法は14.6°の視野で、複数かつ連続した深さで遮蔽物体への焦点ブラーを再現できることを示した。

第5章「Adaptation Assistance with OCOST-HMDs」では、OCOST-HMDを眼の順応補助に適用するVAシステムについて説明している。提案手法は、同軸光学系により視点と同じ位置にイメージセンサを置くことで視点上の映像を計測する。その後、計測した映像に基づきOCOST-HMDにより視野の露光を選択的に調整することにより、一人称視点での視界の明るさのダイナミックレンジを動的に拡張し、ユーザが急激な明るさの変化を感じさせない手法を提案している。試作機を用いた実験より、0.5秒の遅延で、シーン内の露光過多領域を1/5に、露光不足領域を1/3に減少させることを示している。

第6章「First-person Dehazing with OCOST-HMDs」では、第5章で提案したシステムの応用として、OCOST-HMDにより視界の明るさのダイナミックレンジを拡張することで、一人称視点での煙霧除去を実現するVAシステムを説明している。本システムは、視点上の映像に煙霧除去アルゴリズムを適用し、その結果をふまえ眼に入る光の強度を選択的に調整することで、一人称視点での煙霧除去を実現する。実験により、試作システムを通して観察した煙霧除去後の視界は、煙霧がない場合と比較して、知覚的な画像類似性指標の下で相違ないことを確認している。

第7章「Conclusion and Future Work」では、本論文で得られた結果を総括するとともに、今後の研究の方向性について、計測と提示の間のフィードバック制御、映像提示時の最適化を前提とした光学系の設計、眼の収差計測に基づく焦点ブラー再現、低遅延システムの実現、という観点から論じている。

以上を要するに、本論文は、現実感の高い質感再現に向けた既存のOST-HMDの問題点を明確にし、眼に入る光線の直接計測と変調に基づくOST-HMDシステムとそのVA応用を提案し、実システム構築を通してコントラスト向上や焦点ブラー再現などの成果を得ている点で、工学上、及び、工業上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。