

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	空中映像ユーザーインターフェイスのためのディスプレイ技術の研究
Title(English)	
著者(和文)	中尾勇
Author(English)	Isamu Nakao
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12145号, 授与年月日:2021年12月31日, 学位の種類:課程博士, 審査員:山口 雅浩,熊澤 逸夫,中村 健太郎,金子 寛彦,小尾 高史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12145号, Conferred date:2021/12/31, 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

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	中尾 勇	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	山口 雅浩	教授	小尾 高史	准教授
	審査員	熊澤 逸夫	教授		
		中村 健太郎	教授		
		金子 寛彦	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「空中映像ユーザーインターフェイスのためのディスプレイ技術の研究」と題し、5章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景及び目的と論文の構成について述べている。本研究で対象とする空中映像ユーザーインターフェイス（以下、空中映像UI）とは、ユーザーの手前の空間に映像が表示される空中ディスプレイにユーザーが触るように操作するインターフェイスである。このような技術は、ユーザビリティの斬新さや接触感染の予防対策などの点からユーザーに自然に受け入れられるインターフェイスであると考えられるが、現状では広く普及するには至っていないと述べている。その一つの課題として、空中映像UIの良さについてユーザーの視点からの解析が十分行われていないことを挙げている。また、既存の空中ディスプレイの課題として、空中映像は非接触のインターフェイスのガイドとしては適しているが、解像度や見易さなどの点で詳細な情報提示には適していない点を指摘している。これに対し、前者に関しては空中映像UIのユーザビリティテストを実施し、後者に関しては独自のシースルー（背景透過性を有する）空中ディスプレイを提案することで、社会的に受容される技術の実現を目指すことが本論文の目的であると述べている。

第2章「既存技術と課題」では、空中映像UIに関連するディスプレイ及びジェスチャー認識などの従来技術を概観し、特にディスプレイに関して改善を要する課題があることを指摘している。そして本研究で目指す十分なシースルーの特性を有する技術は存在しないと述べている。

第3章「空中ディスプレイユーザーインターフェイスのユーザビリティの評価」では、空中映像UIの良さが何であるか、またその良さの要素がどの技術要素とどのように関わっているか、を明らかにし、今後の開発設計にフィードバックするために、ユーザビリティの評価実験を行った結果を述べている。実験に使用したシステムは、フレネルレンズによる液晶ディスプレイ表示像の実像投影系と、カメラによって撮影された手指のパターン認識機能、及び空中像位置において手指を検出するための赤外線センサーから構成される。実験では、単純操作、空中像の認識、エンターテインメント性といった要素を持つコンテンツを用意し、被験者がシナリオに従った操作を行った後に「自然さ」「斬新さ」「直感性」「操作の容易さ」などの評価項目に点数を付ける After Scenario Questionnaires という方式のテストを実施した。項目ごとの評価結果を仮説検定と因子分析により解析を行ったところ、空中ディスプレイの斬新さに関して有意に高い評価が得られ、またジェスチャー検出精度の重要性の高さが明らかになったと述べている。さらに、被験者の感想として空中映像UIが魅力的であることや操作が容易であることなどの点が挙げられたとしている。

第4章「背景透過型空中ディスプレイ技術」では、2面直交コーナリフレクターアレイ (DCRA) と体積型ホログラムミラーを用いた新たな方式のシースルー空中ディスプレイを提案し、実験的にその有効性を検証している。また、DCRAを用いた空中ディスプレイにおいては、実像として表示される空中像を観察する際に、表示像の虚像が観察の妨げになるという問題があるが、本提案手法はこの虚像を抑制する機能を有する点も重要な効果として挙げている。

提案手法では、DCRAによる幾何光学的な実像結像において、その実像光路がDCRA面の前後で対称になることを利用し、同等な2枚の反射体積型ホログラムミラーを光路対称位置に配置することで空中像結像を可能としている。このとき、反射体積型ホログラムはブラッグ回折に基づく角度及び波長選択性を有するため、空中像を構成する光線以外のほとんどの光線がホログラムミラーを透過することでシースルー機能を実現できると述べている。ホログラム光学素子は、一般に回折角の波長分散の影響で像にボケを生じさせるが、提案手法では2枚のホログラムミラーを対称な光路位置に配置しているため、波長分散の影響が補正されボケを生じない点も意義として挙げている。

提案手法に基づく空中ディスプレイを実験的に構築し、空中像の再生と、背景においたディスプレ

イのシースルーによる表示の重ね合わせが可能であることを実証している。さらに虚像に関しては、虚像を生じる光線のほとんどが DCRA 面前後で対称にならないことから、反射体積型ホログラムの角度及び波長選択性により抑制できることを、数値シミュレーション及び実験により示している。

第 5 章「総括」では、本研究で得られた結果をまとめるとともに、今後の課題・展望について議論している。

以上を要するに、本論文は空中映像 UI のユーザビリティについて被験者による実験を通じてその意義や設計指針を明らかにするとともに、独自の新規シースルー空中ディスプレイ方式を提案及び実証したことから、空中映像 UI の普及に向けて大きく貢献するものであり、工学上ならびに工業上において寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。