

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, 学位の種別: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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理情報システム	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	中尾 勇		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	山口雅浩	教授
			指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)		

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

本論文は、投影機器とユーザーの間に形成される空中映像をユーザーが手で動かすように操作する、空中映像ユーザーインターフェイス (UI) の現在の課題を抽出し、それをもとにより社会に受け入れられる技術として新たな提案をすることを目的としている。

論文は次の五つの章で構成されている。1 章において現状の空中映像 UI や他の UI、ユースケース等の分析から本研究で注力する点を明確化し、2 章では空中ディスプレイを中心とした既存技術の分析から技術課題を抽出する。3 章と 4 章はそれぞれ 1 章で定義した空中映像 UI の良さの解析とシースルー空中ディスプレイの提案を行う。5 章では 3、4 章をまとめ、残課題を抽出し、全体の展望、全体を総括する。

はじめに 1 章において、すでに市場導入されていて「良い」UI とされるタッチモニターの分析から、UI としての斬新さに加え必然性のある新しい機能を有することが重要な要素であるとの仮説を立てた。さらにそのうえで、空中映像 UI と用途が似ていて近年産業用途で導入が進んでいるスマートグラスの用途事例から、操作物体の観察しやすさが空中映像 UI の必然性のある新機能であるという仮説を立てた。これらより空中映像 UI の「良さ」が何であるかという分析から開発設計指針を導出すること、背景が透過し操作物体を観察しやすいシースルー空中ディスプレイを提案することを本研究の中心に据えることとした。そのような空中映像 UI に期待される応用の推測もここでやっている。

研究の前段階として、2 章において表示技術を中心とする既存技術の分析を行っている。全ての空中ディスプレイ技術を俯瞰した上で、画像情報の伝送や処理量の現状を加味し 2 次元空中映像表示を対象技術を絞り調査を行った。結果として、十分な背景透過性を有し空中映像 UI として使える空中映像の表示技術は存在しないことを示した。

空中映像 UI の「良さ」の分析は 3 章で論じている。フレネルレンズを用いた空中映像ディスプレイとカメラ撮影・赤外線センサーによるジェスチャー認識を組み合わせた簡易プロトタイプに、斬新さや操作性などに特徴のある 3 種類のコンテンツをインストールし、複数の被験者にタスク操作後に上記斬新さや操作性などの質問に回答してもらい ASQ(After Scenario Questionnaire)と呼ばれる方法で心理学的評価実験を行った。ハードウェアは、空中映像であるかそうでないか、また空中映像の場合には映像がユーザーに近くコントラストの高い表示であるかそうでないか、あるいはジェスチャーの感度が高いか低いかというパラメータを設定した。実験結果をノンパラメトリック仮説検定である Kruskal Wallis 検定により解析した。結果として、1) 空中映像であることが斬新さという要素で、2) 空中映像と高いジェスチャー感度の組合せが操作性という要素で、有意に優れているということを示した。また探索的因子分析からは、1) 魅力的である、2) 操作性がよい、という二つの因子を導出した。これらはそれぞれ、空中映像の場合、ジェスチャーの感度を上げた場合に、優れていることを示すことができた。

高い透過性能が期待できる 2 次元実像のシースルー空中映像表示方法として、4 章においてオフアクシスマイラーとして機能する vHOE (Volume Holographic Optical Element) と DCRA (Dihedral Corner Reflector Array) を組み合わせた新しい方法を提案した。この方法は DCRA の対称結像光路の対称位置に 2 枚の vHOE を回折方向が対向するように配置した構成をとる。空中像の結像は DCRA が担う。また vHOE の大きな角度選択性により後段の vHOE を背景光が高い透過率で透過することにより十分高いシースルー性能を有する。HOE で課題となる波長分散は、対称光路上の vHOE の対向配置により補償される。DCRA で課題となる虚像の発生は、虚像光路が 2 枚の vHOE 位置では対称ではないことにより抑制される。このような提案原理を本研究では実験により確認している。シースルー空中映像の実現は、空中像と背景の観察カメラによるフォーカス位置が異なることと、カメラを左右に振った時の運動視差により確認されている。波長分散補償は、提案光路と後段の vHOE を通常ミラーに置換えた比較光路で投影実験を行い、前者では波長分散による回折方向へのぼやけ (blur) がないが、後者ではそれが発生していることから、実験的に確認されている。虚像抑制は、提案光路と 2 枚の vHOE を通常ミラーで置換えた比較光路で投影実験を行い、後者では虚像が観測されるが前者では虚像が観測されないという実験結果から、実験的に抑制効果の確認を行っている。

3 章と 4 章の結果は、1 章で立てた空中映像 UI がより社会に受け入れられるための仮説を実証するために必要要素となり、この仮説検証は今後の課題となる。この課題は 5 章にて他の技術課題と合わせてリストアップされ、さらに非接触 UI として感染症蔓延予防などの今後の展望とともに総括される。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理情報システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	中尾 勇		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	山口雅浩	教授
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The purpose of this thesis is to suggest original proposals on an aerial display user interface (UI), where a user operates touching aerial images located between a user and the projection system.

By the analysis of the existing UI systems in chapter 1, such a hypothesis was derived that the novelty and the required new function, which was the see-through capability in the aerial display UI case, were desired for further social implementations.

In chapter 2, the comprehensive technical survey for the aerial displays has been taken place. Then it resulted that no enough see-through capability did not exist in current aerial display systems.

The UI quality of the aerial display UI system has been evaluated by a usability test using the participants, the simple aerial imaging UI set up, and the specified software contents in chapter 3. The images in this set up were formed by a simple imaging of Fresnel lens. Consequently, the high operability, the attractiveness, and the novelty has been derived from the hypothesis test and the factor analysis.

In chapter 4, the original and novel see-through aerial display system was proposed and demonstrated experimentally. It was the combining system of the couple of the same volume holographic optical elements (vHOE) and the dihedral corner reflector array (DCRA). The DCRA carried the imaging function in this optical system. The large angle selectivity at the second vHOE brought the see-through capability. The color dispersion generated by vHOE could be compensated by the symmetrical optical path by the DCRA. The virtual images which were the disadvantage of the DCRA imaging system could be suppressed by the large angular selectivity of vHOE, too. The feasibility of the proposed see-through aerial display method has been demonstrated experimentally.

The results of chapter 3 and 4 corresponded to the two components in the hypothesis defined in chapter 1. Then the hypothesis test could be ready to be performed, and could be near future issue. In chapter 5, this was listed up as well as other technical issues. Then whole researches were summarized and the future expectations like the infection prevention capabilities were described in the last chapter 5.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).