

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	3D タッチとジェスチャー検出に基づき、ホログラフィックライトフィールドディスプレイとの直接的なインタラクション
Title(English)	Direct interaction with holographic light field displays enabled by 3D touch and gesture detection
著者(和文)	SanchezAlexis
Author(English)	Alexis Sanchez
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12192号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種類:課程博士, 審査員:山口 雅浩,渡辺 義浩,熊澤 逸夫,長谷川 晶一,中谷 桃子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12192号, Conferred date:2022/9/22, 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		SÁNCHEZ SALAZAR CHAVARRÍA Iván Alexis	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	山口 雅浩	教授	審査員	中谷 桃子	准教授
	審査員	渡辺 義浩	准教授			
		熊澤 逸夫	教授			
		長谷川 晶一	准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Direct interaction with holographic light field displays enabled by 3D touch and gesture detection」と題し、英文 8 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、本論文の背景として、従来の 3D 表示技術を概観している。その中で、特にライトフィールド (LF) 表示技術を取り上げ、LF 表示を用いることで、より直感的に実世界を模倣する 3D ユーザインタフェースを実現することが本研究の目的であると述べている。

第 2 章「3D and 2D aerial Graphic User Interfaces (GUIs)」では、本研究の位置づけを明らかにするために、3D 映像及び 2D 空中像を用いた GUI 技術を紹介し、表示像に対するユーザの操作を検出する技術について説明している。そして、従来の入力デバイスを用いる方式やジェスチャーによる方式に対して、表示された 3D 映像に直接タッチする方式は直感的で使いやすい GUI を実現できるが、そのためには表示された 3D 映像とユーザの操作の間での位置合わせが重要であると述べている。

第 3 章「3D GUI using a projection based holographic light field display」では、本研究で用いた 3D LF ディスプレイの技術的な詳細について説明している。このディスプレイは、ホログラフィック光学素子 (HOE) とプロジェクタを用いており、透明なスクリーン上に LF による 3D 表示を行うことができるため、拡張現実感などへの応用が可能と述べている。また、HOE スクリーンの作製方法と、プロジェクタの画素と HOE の間の位置合わせ手法について説明している。

第 4 章「Interaction and 3D tracking based on scattered light」では、LF 表示された立体像にユーザの指先が触ったことにより生じる散乱光を用いて 3D タッチ操作を検出する技術について扱っている。先行研究では、特定の色のボタンへのタッチ検出が実装されていたが、ユーザの指の動きに対応する動的な操作は不可能であった。そこではじめに、ユーザの指の移動に対応できるよう、LF 画像をリアルタイムに更新する技術の開発を行っている。そして、散乱光の検出位置と色の変化から 3 次元の指の動きを識別できる新たな手法を提案している。提案手法では、3 次元的位置情報を 2D センサに投影することで失われる座標の情報を、色の検出を利用して補うことで、1 台の RGB カメラによるユーザの指先の 3 次元的位置の特定を可能にしている。

第 5 章「Fusion of scattered light detection and 3D tracking sensor」では、第 4 章の散乱光検出技術と、既存のジェスチャーセンサ (Leap Motion (LM) コントローラ) を組み合わせて直接 3D タッチ GUI を実現する技術について述べている。このとき、LF による 3D 映像とジェスチャーセンサから得られる座標系の位置合わせが重要な課題となるが、本研究では人手による位置合わせの作業を必要としない自動キャリブレーションの技術を提案している。この手法では、3D GUI のコンテンツにあらかじめ 3 次元位置と色ベクトルの対応したボタンなどを組み込んでおき、指先による散乱光から得られた色ベクトルと、LM から得られるユーザの 3 次元位置を直接関連付けるアフィン変換の推定を行っている。このとき、2 次元データ上でのランダムサンプルコンセンサスアルゴリズムと特異値分解を用いて平面のフィッティングを行う方法を適用することで、ロバストな 3 次元計測を実現し、ユーザの指と LF の空間的なマッチングを可能にしている。

第 6 章「Applications of registered sensor」では、本研究で開発した直接 3D タッチ GUI のいくつかの応用例について実験的に検討している。具体的には、3D 空間への自由描画や、3D 表示物体をつかむ、移動させる、つづく、などの動作を実装し、これらを用いてユーザ体験を評価するためのタス

クの開発を行っている。

第7章「User evaluation」では、3D GUIにおけるLF空間とユーザ操作の位置合わせの効果を確認するための評価実験を行っている。提案手法による位置合わせを行った場合と、位置合わせ無し、位置合わせに変動が加わった場合の3条件でユーザのタスク完了時間(TCT)の計測と4つの主観評価項目に対するリッカート尺度による評価を行っている。その結果、位置合わせの有無でTCTに統計的に有意な差がみられ、また位置合わせを行ったシステムにおいて、自然性や操作の容易さに対して高い評点が得られたと述べている。

第8章「Conclusions」では、本論文で得られた結論を総括し、残された課題について議論している。

以上を要するに、本論文は、電子機器と人間のインタフェースとして一層の発展が期待される3D GUIにおいて、3Dディスプレイに表示された映像に対する直接3Dタッチを実現する指先位置検出及び自動キャリブレーション技術を開発し、実験的にその効果を示したものであり、工学上・工業上、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。