

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2015～2017
課題番号：15K04691
研究課題名(和文)「立体像に触る」ユーザインタフェース

研究課題名(英文)"3D touch" user interface

研究代表者

山口 雅浩 (Yamaguchi, Masahiro)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：10220279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：空中に再生された立体像に触ることによってユーザからの操作を認識する「3Dタッチ」ユーザインタフェース技術の研究を行った。立体像表示はライトフィールド再生の原理に基づいており、ホログラフィックスクリーンとプロジェクターを用いて実現した。本研究では、3原色のレーザーを用いてホログラフィックスクリーンを記録することでフルカラーの立体像表示を可能とした。またテストパターンの投影により自動的にキャリブレーションを行う手法を開発した。そして、再生された実像に触ったときに指先で散乱される色をカメラで検出することで操作を識別する機構を実装し、デモシステムにより提案システムのコンセプト実証を行った。

研究成果の概要(英文)：A "3D touch" user interface technology is developed. A hologram is used as an optical element for generating light-field, and image data are projected by a high-resolution projector. If a user touches the image, the top of fingertip is irradiated by the reconstructed real image. The color of scattered light is detected by a color camera, and it is used for user interface. A method for the calibration between a holographic screen and a projected image is implemented for precise registration. The proof of concept system of the proposed technology is developed and the 3D touch user experience is demonstrated.

研究分野：画像工学、光工学

キーワード：3D ディスプレイ ユーザインタフェース 3Dタッチ ライトフィールド ホログラフィックスクリーン
プロジェクター 空中像

1. 研究開始当初の背景

マルチタッチによるユーザインタフェースは携帯端末を中心として広く普及しているが、それに加えて、非接触で入力操作が可能な空間インタフェースも注目されている。マルチタッチを近接で実現する技術は、表示されたコンテンツに対して直接操作を行うので直感的なインタフェースであるが、2次元表示が前提で、パネルにごく近接した領域での操作である。3次元空間中でのジェスチャーインタフェースとして、赤外線による奥行きセンサーとカメラを組み合わせたシステムなどが開発されている。これは、ディスプレイに表示されたコンテンツとは異なる空間での操作のため、表示されたコンテンツとのインタラクションとしては直接的ではなく、慣れが必要である。

立体像や2次元の空中像のディスプレイとこれらの非接触インタフェースを組み合わせたシステムの試作も行われている。これらも赤外線による奥行きセンサーなどを用いているが、像の表示位置とセンサーによるジェスチャー検出の位置合わせが必要である。表示像と操作位置にずれが生じると、ユーザにとってストレスのあるインタフェースになってしまう。

3次元のディスプレイとして、従来の3Dは右目と左目で異なる像を見せることによって奥行き知覚を提供しているが、眼鏡やゴーグルを装着する必要がある、また焦点調節と表示像の奥行きが異なるため目の疲労を生じるといった限界がある。一方、ライトフィールドやホログラフィーの技術は、物体が実在したときの光をそのまま再現することで、空間に像を表示する。このような像再生型の表示技術では、眼鏡などを装着することなく、目の疲れの少ない自然な立体像を観察することができ、さらに複数人で同じ立体像を共有できる。このため、従来の3D技術とは異なる全く新しいユーザ体験を提供できる可能性がある。ライトフィールド・ディスプレイやホログラフィーを使った電子的なディスプレイの技術に関しては、米国・日本・韓国・ヨーロッパなどからいくつかの提案・試作がなされているが、インタラクティブな3Dユーザインタフェースとして本格的なシステムはVR・ARなどの装着型のディスプレイに限られている。

2. 研究の目的

本研究では、新たな3D映像体験の一つとして、インタラクティブにホログラム映像とインタラクションできる3Dタッチ・ユーザインタフェースの開発を行うことを目的とする。提案する方式では、ホログラムはライトフィールドを生成する光学素子としての役割を担い、従来の2次元の高精細プロジェクターによって動く3D表示を行う。そして再生されたライトフィールドに触ることで指先に当たる光を検出し、検出された色など

をユーザインタフェースに利用する。このような方式は、他のジェスチャーインタフェース技術と3Dディスプレイの組み合わせの場合と異なり、表示された3D映像とジェスチャーの位置合わせが不要で、簡易な処理で3Dタッチインタフェースを実現可能である。本研究では、このような方式による3Dインタフェースのプロトタイプシステムを構築し、その有効性を実証することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究で開発する方式は、ホログラム光学素子によるスクリーンとプロジェクターを用いたライトフィールド・ディスプレイと、指先などに当たった光を検出してインタフェースに利用するセンサー部から構成される。

ホログラフィックスクリーンは、レーザー光と移動ステージを用いた光学系を用いて、フォトポリマー(Covestro社製)に記録する。また、プロジェクターとスクリーンの精密な位置合わせが必要であり、そのための自動キャリブレーション機能を実装する。またリアルタイムでのライトフィールド画像生成のソフトウェアの開発を行う。

センサー部は、カラーカメラを用いて像再生フィールドを撮影し、検出された画像からタッチの状態を検出するためのソフトウェアを開発する。また、特に本システムの特徴を生かす応用として、検出された色を判別してインタフェースに生かす方式を実装し、実験的な検討を行う。

4. 研究成果

空中に再生された立体像に触ることによってユーザからの操作を認識する「3Dタッチ」ユーザインタフェース技術の研究を行った。従来のジェスチャー認識などを用いた手法とは異なり、本手法では、再生された3次元の実像に触ったときに指先で散乱される光をカメラで検出することで操作を認識する【図1】。

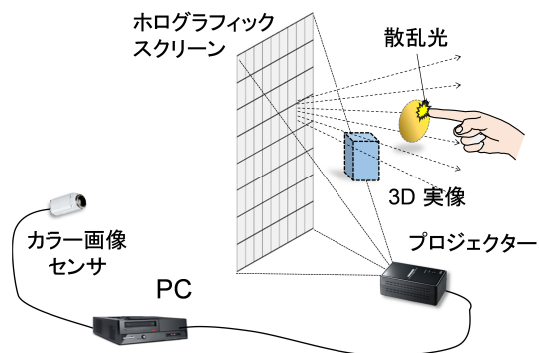


図1 ホログラフィックスクリーンを用いた3Dタッチインタフェースシステムの概念図。

このため、ディスプレイに表示された内容とユーザによる操作が直接対応し、位置ずれな

どの不整合がなく使いやすいインタフェースを実現できると考えられる。立体像表示はライトフィールド再生の原理に基づいており、微小凸面鏡アレイの役割を持つホログラフィック光学素子(HOE)とプロジェクターによる光線の制御によって実現される。本研究では、HOEをRGBの3原色のレーザーを用いて記録することで、フルカラーの立体像表示を可能とした。また、高解像度(4K)のプロジェクターを用いてこれまでの4倍の光線数を再生可能とし、立体像の品質を高めた。

ホログラフィックスクリーンを用いたライトフィールド・ディスプレイでは、プロジェクターとスクリーンの位置合わせを精密に行う必要がある。これまでにテストパターンを投影して得られた歪みパラメータを用いて投影画像を逆補正することで自動的にキャリブレーションを行う手法を開発したが、パターン枚数がスクリーン解像度に比例して多数必要になるため処理に長い時間を要していた。本研究では、位置合わせを行うための新たなテストパターンとして2値正弦波基底パターンを用い、これを階層的に反復投影する手法を提案し、従来よりも高速なキャリブレーションを可能とした。

色情報の利用技術としてまず2色のボタンの色を識別して異なる応答をするインタフェースを試作し、色を用いたインタフェースの基本機能を確認した。図2では文字「Y」と「N」がスクリーンの手前数cmに実像として再生されており、テキスト「Choose」はスクリーン面に表示されている。検出された光が緑色の場合には「Yes」、青色の場合には「No」と表示するような簡単なインタフェースである。写真では、文字「Y」に触ったときに指先が再生光で緑色になり、画面中央にYesと表示されている。

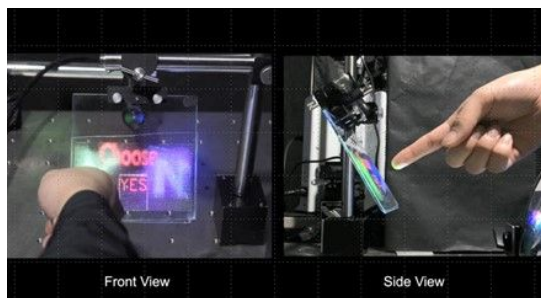


図2 3D タッチの様子。

次に、より多くの色を用いるため、様々な色で空中に実像表示されたボタンへのタッチを繰り返してカメラで色を計測する実験を行った。その結果、ボタンの色によってカメラRGB信号値のばらつき傾向が異なることがわかったため、ボタンの色ごとに実験的に閾値を定めて識別を行うこととした。さらに、色空間内でのばらつきを考慮した識別を行うことで検出成功率を改善し、実験の結果、撮影された画像の色によって少なくとも7色

のボタンを識別できることが示された。

また、ユーザ操作の検出においては、不必要な背景光を撮影画像から除去する必要がある。そこで背景差分処理を適用することで不要光による像を除去する。そして背景差分処理をフレームごとに行うことで、動きのある立体像に対応したインタフェースを可能とした。

ユーザの指先位置の検出方法としては、指先による操作の検知後に、プロジェクターから指先位置検出用パターンをごく短時間投影して、構造化光投影の原理に基づき指先の位置や形状を取得する方法を検討した。このとき構造化光がライトフィールドとして投影されることを利用した従来にない構造化光パターンを案出した。

さらに、3D タッチ・ユーザインタフェース技術に用いるライトフィールド・ディスプレイに関して、光線の標本化及び光の回折の影響を考慮し、表示できる立体像の仕様を整理した。今回用いたライトフィールド・ディスプレイは、様々な方向に向かう光線を再現するものであるが、ホログラフィーを用いた波面再生のディスプレイでは、より深い奥行き立体像を高精細に再現することができる。しかし電子的に動画像表示を行うには、超高精細の空間光変調素子を用いる必要があり、現時点では現実的でない。そこで静止画像による波面再生による立体像表示に関して検討した。本研究では、ホログラフィックスクリーンを用いたライトフィールド・ディスプレイと同様に生成した光線情報から、光の屈折や光沢など高い質感を持つ3D映像を、波面再生の場合と同様に奥行き深い高精細の立体像を表示できることを示した。このようにして生成した静止画ホログラムに対してプロジェクターを用いて再生することで、限定的な動きではあるものの、指先に当たって散乱される光の検出に基づく3Dタッチインタフェースへ応用することが可能である。

以上のように検討を行った原理に基づく3Dタッチインタフェースシステムについて、スクリーンへの入射角やカメラ配置の設計により空中像に対するタッチ検出範囲を拡大するとともにPoC(Proof of Concept)デモンストラシステムを構築し、提案するシステムのコンセプト実証を行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

山口雅浩, 3D ユーザ体験の高度化に向けたホログラフィック・ライトフィールド表示技術、表面技術、査読無、69、2018、12-16

Shunsuke Igarashi, Tomoya Nakamura, Kyoji Matsushima, Masahiro Yamaguchi, Efficient tiled calculation of over-10-gigapixel holograms using ray-wavefront conversion, Optics Express,

査読有、26、2018、10773-10786、
DOI: 10.1364/OE.26.010773

Tomoya Nakamura, Masahiro Yamaguchi,
Rapid calibration of a projection-type
holographic light-field display using
hierarchically upconverted binary
sinusoidal patterns, Applied Optics、査
読有、Vol.56 No.34、2017、9520-9525、
DOI:10.1364/AO.56.009520

Masahiro Yamaguchi, Full-Parallax
Holographic Light-Field 3-D Display and
Interactive 3-D Touch, Proceedings of the
IEEE, 105, 5, 2017、947-959、DOI :
10.1109/JPROC.2017.2648118

Masahiro Yamaguchi. Light-field and
holographic three-dimensional displays
[Invited], Journal of the Optical Society
of America A, Vol. 33, issue 12, pp.
2348-2364, 2016, DOI:
10.1364/JOSAA.33.002348

Masahiro Yamaguchi, Ryo Higashida, 3D
touchable holographic light-field display,
Applied Optics, 55, 3, 2016, A178-A183,
DOI : 10.1364/AO.55.00A178

〔学会発表〕(計 17 件)

山口雅浩、ホログラフィーとライトフ
ィールドの融合 - 3D ユーザ体験の高度化に
向けたプリント技術からのアプローチ、ホ
ログラフィックディスプレイ研究会(招待講
演)、Vol. 38, No. 1, 10-17, 2018.

向井祐貴、中村友哉、山口雅浩、ホログ
ラフィック 3D タッチユーザインタフェース
の設計と開発、情報フォトニクス研究会、
2018

Masahiro Yamaguchi, Full-parallax
light-field and holographic displays, The
Seventh Korea-Japan Workshop on Digital
Holography and Information Photonics (招
待講演)(国際学会), 2017

Masahiro Yamaguchi, Tomoya Nakamura,
Shunsuke Igarashi, Full-Parallax
Light-Field and Holographic Displays for
Enriched 3D Visual Experience,
International Workshop on Holography and
Related Technologies IWH2017 (招待講演)
(国際学会), 2017

中村友哉、山口雅浩、二値正弦波の階層
的反復投影に基づくホログラフィック・ライ
トフィールドディスプレイの自動較正法、
Optics & Photonics Japan 2017、2017

山口雅浩、ホログラフィック・ライトフ
ィールド・ディスプレイと 3D タッチ、CEATEC
Japan 連携 電子ディスプレイシンポジウム
- 高臨場感から超臨場感へ、2017

中村友哉、桜井爽馬、山口雅浩、動画像
を用いたホログラフィック 3D タッチ、ホロ
グラフィック・ディスプレイ研究会、Vol. 37,
No. 4, 34-37, 2017.

Tomoya Nakamura, Soma Sakurai,
Masahiro Yamaguchi, Interactive
Holographic 3D Display Exploiting Color
Information, The Sixth Japan-Korea
Workshop in Digital Holography and
Information Photonics(国際学会), 2016

Soma Sakurai, Tomoya Nakamura,
Masahiro Yamaguchi, The use of color in
scattered light for 3D touchable
holographic light-field display, JSAP-OSA
Joint Symposia, 2016

桜井爽馬、中村友哉、山口雅浩、ホロ
グラフィック 3D タッチインタフェースにお
ける色識別に関する検討、第 10 回計算オプ
ティクス研究会、2016

桜井爽馬、中村友哉、山口雅浩、色情報
を利用したホログラフィック 3D タッチイン
タフェース、3次元画像コンファレンス、2016

Masahiro Yamaguchi, Integration of
holography and light-field displays for
enriched visual experience, OSJ - OSA
Joint Symposia on Plasmonics and Digital
Photonics, 2016

五十嵐 俊亮、中村 友哉、松島 恭治、
山口 雅浩、正射影光線サンプリング面を用
いた計算機合成ホログラムによる質感表現、
電子情報通信学会研究会、2016

山口雅浩, Holographic 3D Touch Sensing
Display, Digital Holography & 3-D Imaging
Meeting, OSA Technical Digest (Optical
Society of America, 2015), 2015

Masahiro Yamaguchi, Interactive 3D
touch sensing display using holographic
screen, 14th Workshop on Information
Optics (WIO2015), 2015

山口雅浩、全方向視差 3D ディスプレイに
よる立体像に触れるユーザインタフェース、
三次元映像のフォーラム 第 112 回研究会・
総会・最先端技術展 リアル感覚を追求した
S3D (立体視) 映像の世界を体感、2015

Tomoya Nakamura, Soma Sakurai,

Shunsuke Igarashi, Masahiro Yamaguchi,
Demonstration of Interactive 3D Display
Using Holographic Screen and Consumer-Use
4K Projector, The International Display
Workshops, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

「立体像に触る」ユーザーインターフェー
ス

<http://www-oid.ip.titech.ac.jp/pg98.html>

Holographic 3D-touch display

<http://wwwoid.ip.titech.ac.jp/pg177.html>
|

6. 研究組織

(1)研究代表者

山口 雅浩 (Yamaguchi, Masahiro)

東京工業大学工学院 教授

研究者番号： 10220279

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

中村 友哉 (Nakamura, Tomoya)