

# 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

## 3D-Touch User Interface using Full-parallax 3D Display

東京工業大学 山口雅浩

Masahiro Yamaguchi, Tokyo Institute of Technology

E-mail: yamaguchi.m.aa@m.titech.ac.jp

### 1. はじめに

光線再生（ライトフィールド）方式やホログラフィー方式による 3D ディスプレイは、実像または虚像として立体像を再現し、人間の視覚の奥行き手がかりを全て満たす自然な立体像表示を可能にする。このような 3D ディスプレイの応用の一つとして、3D ユーザインタフェースが挙げられる。再現された立体像に対してユーザが直接操作し、対話することができれば、豊かで魅力的な体験を提供する次世代インタフェース方式として有望と考えられる。

素の指や手による 3D インタフェース[1-5]は、ユーザがデバイスを着用する必要がないため触覚フィードバックは困難であるものの応用範囲は広い。近年、様々なジェスチャ認識システムが開発され、コンピュータやゲームのためのインタフェースに適用されている[1]。これらは 3D インタフェースとして新たな応用展開が期待されるものであるが、2D のタッチパネルとは異なり、表示されているコンテンツとユーザの操作は異なる空間で行われる。これに対して、3D ディスプレイや空中像表示と 3D ジェスチャ認識技術を組み合わせることで、表示像に対して直接的に操作を行う 3D インタフェースを実現できる[3-5]。特に、3D ディスプレイと 3D インタフェースの統合[4,5]により、立体像に基づく直感的かつ直接的なインタラクションが可能になる（図1）。また画面に触れる必要のないインタフェースは、画面や指を汚さないために、不特定多数の利用者が使用する端末や作業中の機器操作などの用途に好適である。

これまでに開発されている 3D インタフェースシステムでは、ステレオカメラ[2]または赤外線 3D センサなどの付加的な装置を用いて 3D オブジェクトを検出する必要がある[1,3,5]。そのため、立体像に直接触るようなユーザインタフェースを実現するには、3D センサによる 3 次元空間と再生された立体像の 3 次元空間の間の位置合わせが必要である。位置誤差が存在する場合、ユーザにとって不快なストレスの多いインタフェースとなる。また指や手の 3 次元形状・動きを高速に取得し解析する必要があるため、手の形状モデルなどを用いた高度な認識処理が必要になる。

本研究では、3D ディスプレイにより再生された実像に指で触れた際に生じる散乱光を検出することにより 3D ユーザインタフェースを実現する手法を提案する[6]。ここで用いる 3D ディスプレイは、ホログラムスクリーン[7]とプロジェクタを使用して、物体からの光線を再現する方式である[8,9]。指からの散乱光は、ホログラム・スクリーンの後ろに設置したカラーカメラにより検出される。本方式では、立体像への接触を直接検出するので、3次元空間の位置ずれのエラーが生じない。また、色情報を利用することにより、比較的少ない計算量で様々な動作を識別することが可能である。このため、提案手法により、付加的な装置を使用せずに快適で直感的な 3D インタフェースを実現することができる。なお今回はホログラムスクリーンを用いた方式の 3D ディスプレイを用いているが、本手法は、光線再生式・ホログラフィー方式などの他の 3D ディスプレイに適用することも可能である。

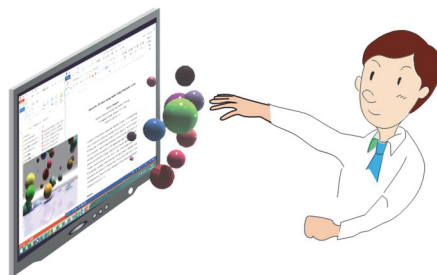


図1 「立体像に触る」ユーザインタフェース

## 2. ホログラムスクリーンを用いた 3D ディスプレイ

ホログラムスクリーンを用いた 3D ディスプレイの構成[8,9]を図2に示す。ホログラムスクリーンは、小さな要素ホログラムの二次元アレイからなっており、各要素ホログラムは、平行な再生照明光を発散光に変換する[7]。すなわち各要素ホログラムは微小な凸面鏡の役割をする光学素子になっている。これは、筆者らが以前に提案したホログラフィック 3D プリンタ[11]の光学系において、画像情報を記録せずにホログラムを露光することによって作成できる。そしてホログラムスクリーンに対してプロジェクタから2次元画像を投影する。この2次元画像は、インテグラル方式の3D ディスプレイに使用されるものと同様の画像であり、各要素ホログラムに対応する小領域に、様々な方向へ向かう光線情報を含んでいる。ホログラムスクリーンは、投影された画像によって変調された光を2次元アレイ状の発散光に変換するので、これによってライトフィールドの原理に基づき、全方向視差の立体像を再生することができる。

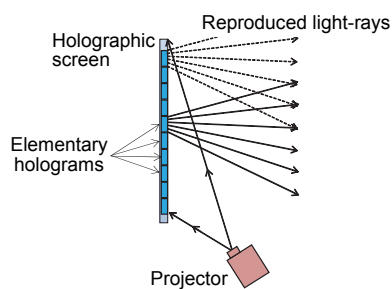


図2 ホログラムスクリーンとプロジェクタを用いた光線再生方式 3D ディスプレイ。

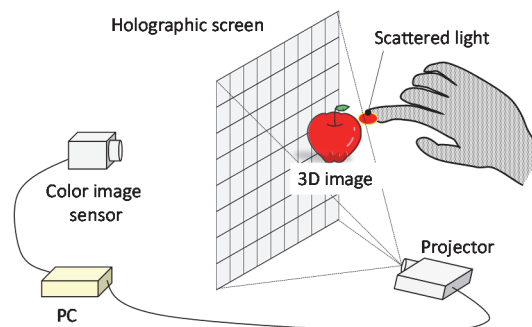


図3 3D タッチ検出機能を持つ 3D ディスプレイの構成。

この光学系では、ホログラムスクリーンと投影された画像間の位置合わせが重要である。筆者らは、ホログラムスクリーンの前にカメラを設置し、これを用いた幾何学的なキャリブレーションを自動的行う方法を報告した[9]。キャリブレーションのための一連の画像を投影し、これらをカメラで撮影した画像のセットから、投影画像とホログラムスクリーンの間の幾何学的関係を示すパラメータを導出する。そして、このパラメータを用いてプロジェクタに表示する画像をあらかじめ逆に歪ませることにより位置合わせを行う。

## 3. 3D タッチ検出

立体像に触れるインタフェースを持つ 3D ディスプレイのシステム構成を図3に示す。前節で説明した 3D ディスプレイにより立体像が再生され、ユーザは空中に再生された実像に触れることができる。指先が実像に触れると、立体像を構成する光によって指先に色がつき、それがホログラムスクリーンの背後に設置されたカメラによって検出される。検出された光の色が、3D ディスプレイにより再生された画像と一致する場合に指先が立体像に触ったことが検知される。このとき、連続するフレーム間の差を監視することなどにより、カメラで撮影した画像中の背景パターンを除去することができる。

本方式では、3D ディスプレイ自体が 3D タッチセンサーシステムの一部を構成しているということができる。図2のディスプレイではスクリーンは透明であるので、図3に示すように、ホログラムスクリーンの背面に配置されたカメラにより、指先で散乱された光を容易に撮影することができる。

この方法の重要な特徴の一つは、色情報の利用である。例えば、空中に浮いている複数のボタンを異なる色で表示し、検出された光の色を識別することによって、どのボタンが押されたのかを識別することができる。このため、指先の3次元空間座標を正確に取得しなくても正確なタッチ検出が可能である。

## 4. 実験システム

実験では、図4に示すフルカラー・ホログラフィック 3D プリンタ[12]の光学系により作製したホロ

グラムスクリーンを用いた。実験で用いたホログラムスクリーン及びプロジェクタの仕様は表 1 に示す通りである。カメラで撮影された画像からの 3 次元のタッチ操作の検出は以下のような簡単な処理により実装した。まず、背景画像をあらかじめ取得しておき、逐次カメラで撮影された画像から背景画像を減算する。次に、ユーザインタフェース用に再生された立体像の色と類似している領域を楕円フイッティングと閾値処理によって抽出する。閾値よりも高い値となったとき、指先が立体像に接触したとしてその後の処理を行う。

図 5 及び図 6 に実験の様子を示す。図 5 は単色 (赤) のホログラムスクリーンを用いた例であり、左側の写真では、文字「T」がスクリーンの手前の 36mm の位置に再生されている。図 5 の右の写真では文字「T」の再生像に指先が触れることによって「OK」の文字が表示されている。図 5 (b) では、指先が再生された実像に触れることによって明るくなっていることが確認できる。図 6 は色情報の使用例を示している。文字「Y」と「N」は、それぞれ緑色と青色で表示されており、カメラによって検出された光の色を用いて指先が触れたボタンを識別する。この例では、緑色が検出されたとき「YES」青色が検出されたとき「NO」と表示している。

表 1 実験に用いたホログラムスクリーン及びプロジェクタ・カメラなどの仕様

Number of elementary holograms	120 × 67
Number of pixels in each elementary hologram	16 × 16
Size of each elementary hologram	1 [mm] × 1 [mm]
Size of the holographic screen	120 [mm] × 67 [mm]
Wavelengths of R, G, B lasers used in recording holographic screen	473 [nm], 532 [nm], 633 [nm]
Number of pixels in a projected image	1920 × 1072
Viewing angle	31 deg.
Projector	Epson, EH-TW5200 (3 LCD)
Resolution of the projector	1920 × 1080
Projector lamp	UHP
Camera	Point Grey Research, Flea2
Interface	IEEE1394
Resolution of the camera	800 × 600

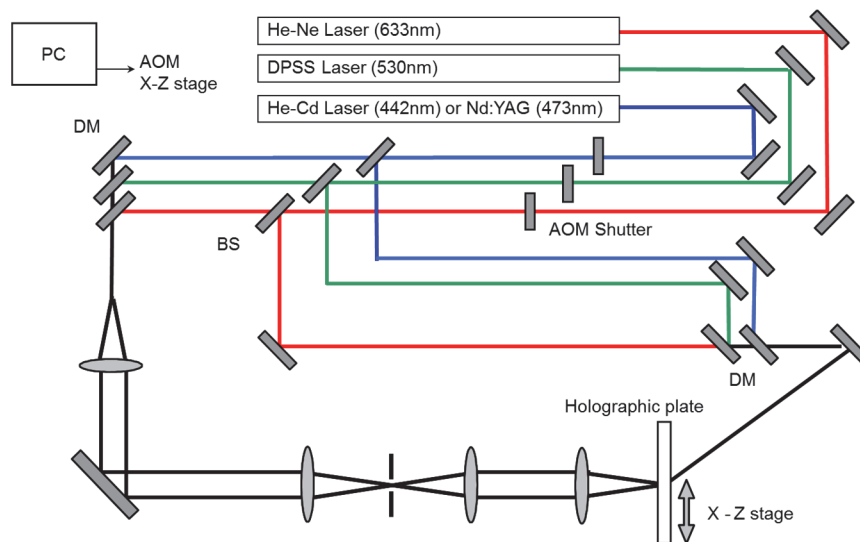


図 4 ホログラムスクリーン作成光学系



(a)

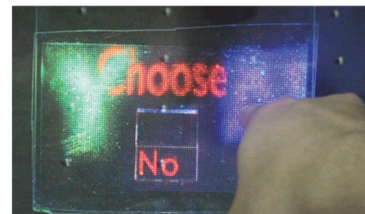


(b)

図5 実験の様子 (単色)。



(a)



(b)

図6 実験の様子 (カラー)。

## 5. おわりに

全方向視差 3D ディスプレイによって空中に浮かぶ実像を再生し、その再生光を利用した 3D タッチ検出機構を提案した。本手法によって、3D ディスプレイで再生される立体像への直接的なインタラクションが可能となり、直感的で快適かつ楽しいインタフェースを提供できると考えられる。本稿ではホログラムスクリーンによる方式を用いたが、他の像再生方式の 3D ディスプレイへも適用できる技術である。また、従来のフラットパネル 2D ディスプレイとこの技術を組み合わせることもできる。これにより、デジタルサイネージ、電子黒板、キオスク端末画面などに非接触 3 次元タッチ機能を提供することも期待される。

本研究は日本学術振興会科学研究費 (15K04691) の補助を受けて実施されている。

## 参考文献

- [1] <http://www.leapmotion.com/>
- [2] A. D. Wilson, "TouchLight: An Imaging Touch Screen and Display for Gesture-Based Interaction," Proc. ICMI '04: 6th international conference on Multimodal interfaces, 69-76 (2004)
- [3] G. Z. Wang, Y. P. Huang, and T. S. Chang, "Bare finger 3D air-touch system with embedded multiwavelength optical sensor arrays for mobile 3D displays," Journal of the SID, 21, 9, 381-388 (2013).
- [4] <http://holotouch.com/>
- [5] M. Yamaguchi, T. Koyama, N. Ohyama, and T. Honda, "A stereographic display using reflection holographic screen," Optical Review, 1, 2, 191-194 (1994).
- [6] K. Hong, J. Yeom, G. Jang, J. Hong, and B. Lee, "Full-color lens-array holographic optical element for three-dimensional optical see-through augmented reality," Opt. Lett., 39, 1, 127-130 (2014).
- [7] R. Higashida and M. Yamaguchi, "Automatic geometric calibration in full-parallax 3 display using holographic screen," Proc. IDW'14, 3Dp1-3 (2014)
- [8] M. Yamaguchi, "Holographic 3D Touch Sensing Display," in Digital Holography & 3-D Imaging Meeting, OSA Technical Digest, paper DM3A.1 (2015).
- [9] M. Yamaguchi, N. Ohyama, and T. Honda: "Holographic three-dimensional printer : new method," Appl. Opt., 31, 2, 217-222 (1992)
- [10] M. Takano, H. Shigeta, T. Nishihara, M. Yamaguchi, S. Takahashi, N. Ohyama, A. Kobayashi and F. Iwata "Full-color holographic 3D printer," Proc. SPIE, 5005, 126-136 (2003)