

Shadow Chamber: オブジェクトの像とその影の間に手を挿入して操作する 3DCAD システム

藤澤秀彦^{†1} 宮下芳明^{†1}

本稿で提案するシステムは、透過液晶ディスプレイにオブジェクトの像を表示し、その奥に配置されたタッチパネルディスプレイにオブジェクトの影を仮想的に表示させる構造となっている。ユーザは、これらのディスプレイの間に手を挿入し、指先で仮想的な影に触れる。この影をタッチ操作することで影に連動してオブジェクトが変形する。これにより、モデルの形状をデザインする 3DCAD システムとして利用できる。

1. はじめに

現在、広く普及している 3DCAD ソフトウェアの多くは平面のディスプレイに表示された映像を確認しながらキーボード・マウスで操作を行い、オブジェクトを編集するものである。しかしこのような構成の 3DCAD は三次元空間上のオブジェクトを二次元で表示されるディスプレイに表示させているほか、キーボード・マウスで間接的に操作を行うものであり、ユーザの理解や操作の難易度が高くなっている。キーボード・マウスによる操作の難しさをジェスチャ操作で解決する研究も存在するが、空中で腕を静止させたり腕を大きく動かしたりする必要があり、キーボード・マウス操作に比べてユーザの体力が求められる。このような課題により、3DCAD に代表されるコンピュータ上での三次元グラフィックスを扱う作業の習得が他の作業に比べて難しくなっていると筆者らは考えた。

そこで本稿では、オブジェクトの像や影を 2 つのタッチディスプレイで触れながら操作を行う 3DCAD システム Shadow Chamber を提案する。このシステムは透過液晶ディスプレイとタッチパネルディスプレイを重ねて配置し、両者の間にユーザの手を挿入させることで映像の中に自身の手が入り込んだかのような感覚で操作ができる。透過液晶ディスプレイは床面に対して斜めに設置されており、タッチパネルディスプレイは床面と並行に設置されている。さらに、2 枚のディスプレイは両者ともタッチ入力に対応しており、個別に入力をとることが可能である。各ディスプレイに違った機能を割り当てることで、利き手でタッチパネルディスプレイに触れ、もう片方の手は透過液晶ディスプレイに触れるといったように多彩な姿勢での操作が可能である。

このシステム上で専用の 3DCAD ソフトウェアを実行することで、映像中に自身の手を没入させた状態でモデリング操作ができる。その上各ディスプレイの表示面の範囲内での手の移動だけの小さな入力動作でモデリング作業が可能となる。



図 1 システムの全体図

2. 関連研究

本稿で提案するシステムに似たコンセプトや表示機能を持つシステムは多く提案されてきた。また、3DCAD での使用にとどまらず、目的は様々であるが、物体の影に対するインタラクションを行う研究も数多く存在する。

2.1 ビームスプリッタを用いた 3D インタラクションシステム

Hilliges らは、仮想オブジェクトに対する自然なインタラクションを実現するために HoloDesk の提案を行った[1]。このシステムは Kinect カメラと映像を投影したビームスプリッタから構成され、ユーザはビームスプリッタの下に手を挿入し、仮想オブジェクトに対する操作を行う。また、ユーザの手がある場所は映像中では黒く表示され、ビームスプリッタに反射されないようになっている。これらの構造により、ユーザ自身の手があたかも映像中に入り込んでいるかのような視覚効果を与え、更に映像中のオブジェクトとのインタラクティブな反応を示すことで仮想オブジェクトに対する自然なインタラクションを実現した。

^{†1} 明治大学

2.2 透過有機 EL ディスプレイを用いた 3D インタフェースシステム

Lee らは、ユーザインタフェースを三次元に拡張し、ハンドジェスチャ等で操作するシステム SpaceTop を提案した[2]。このシステムは透過有機 EL ディスプレイ上にウィンドウや仮想オブジェクト等を表示させ、手の入力によりそれらの操作を行うものである。さらに、ウィンドウの影をタッチパッドのように用いた操作も可能である。

2.3 背面投影式プロジェクションディスプレイディスプレイを用いたシステム

筆者らは SpaceTop を安価に製造でき持ち運びできるように改良したノートパソコン型システム Laptop SpaceTop を提案した[3]。このシステムは透明なポリカーボネート板の背面からプロジェクタで映像を投影し、画面の奥でペン型デバイスのジェスチャ操作でウィンドウを操作するものである。

2.4 レンチキュラ式ディスプレイとハンドトラッキングを用いた影によるインタラクション手法

福地らはハンドトラッキングにより手の形状を特定し、立体ディスプレイに表示されたオブジェクトの像に影を投影する手法を提案した[4]。ハンドトラッキングは LeapMotion を用いて行い、それに応じたレンダリング結果を Looking Glass に表示させ、更にその映像をハーフミラーに投影することで立体ディスプレイに表示されたオブジェクト上に手の影を表示させることを実現した。立体映像における影に着目することで、ユーザが映像に触れる前から映像との空間の整合性を感じられるとしている。

2.5 影をインタフェースとするインタラクション手法

菊池らは影をインタフェースとし、それに対応する物体を逆説的に連動させる影ユーザーインタフェース (KUI) を提案した[5]。物体が光源に近づくにつれ、地面に投影される影が大きくなることを応用し、影に対するピンチイン・ピンチアウト操作に基づいた物体の垂直方向への移動を行うシステムなど複数のシステムを試作した。

3. 提案システム

3.1 ハードウェアの概要

図 2 は Shadow Chamber システムの構成図である。本システムはアルミフレームで作成したフレーム内に市販の 21.5 インチ液晶モニターから液晶ユニットを取り出し、バックライトを取り除いた透過液晶ディスプレイ、透過液晶ディスプレイと同サイズのタッチパネルディスプレイ、Web カメラ、およびそれらを接続する機器を取り付けたものである。また、透過液晶ディスプレイはタッチでの入力を可能とするために赤外線式タッチパネルを取り付けてある。これらの装置は Thunderbolt™4 ドッキングステーションを介してシステム本体とは別に配置された Windows 搭載 PC と接続される。透過液晶ディスプレイは液晶ディスプレイ

の特性上、入力映像の白い部分が透過され、黒い部分が非透過となる。また、バックライトを取り除いたことにより画面が発光しなくなるため、筐体後部に LED テープライトを設置することで画面を照らしている。図 3 はユーザがシステムの前に座り、操作を行っている様子である。この例では、利き手でタッチパネルディスプレイに触れ、もう片方の手で透過液晶ディスプレイに触れている。タッチパネルディスプレイは床面と並行に配置されており、腕を筐体前部に置きながら操作できるため細かい操作に向いている。一方透過液晶ディスプレイは斜めに設置されているもののオブジェクトの像が表示されているため、視点操作などに適している。



図 2 システムの構成図



図 3 システムの使用風景

利き手で下画面、もう片方の手で上画面を操作

3.2 ソフトウェアの概要

本システムで用いるソフトウェアは Unity2022 を用いて実装し、Microsoft Windows11 を搭載した Thunderbolt™4 対応の PC 上で実行される。図 4 は本ソフトウェアで立方体を表示したものである。Unity 上で透過液晶ディスプレイとタッチパネルディスプレイに表示するための映像を分けてレンダリングしている。透過液晶ディスプレイには操作の対象となるオブジェクトをレンダリングしたものが表示される。また、タッチパネルディスプレイにはオブジェク

トの影のみがレンダリングされている。透過液晶ディスプレイ上部に搭載された Web カメラの映像を OpenCV を用いて画像処理することでユーザの目の位置を取得している。それに応じて透過液晶ディスプレイに表示させる映像の投影配列を変化させレンダリングしている。これにより、図 5 のように斜めからディスプレイを見た際にも透過液晶ディスプレイ上のオブジェクトの位置がタッチパネルディスプレイ上の影と一致するようになった。ただし、頭の位置の変化や画像処理のノイズによる映像のブレがユーザの作業の妨げになる可能性も考えられるため、任意でトラッキングの有効無効を切り替えられるものとした。

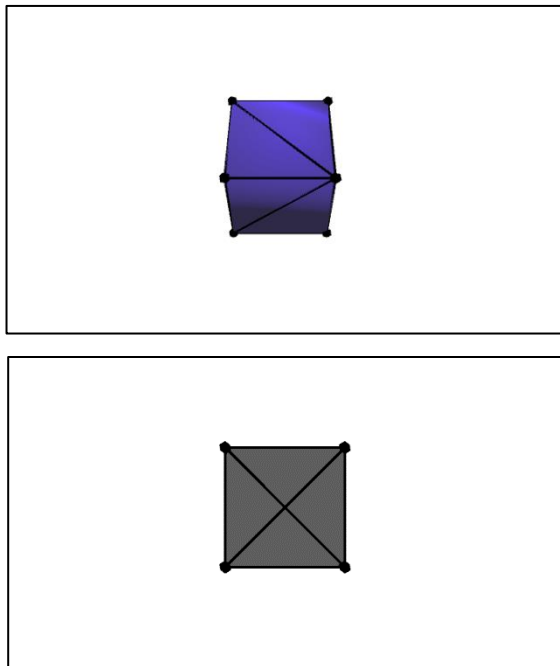


図 4 (上) 透過液晶ディスプレイの表示画像
(下) タッチパネルディスプレイの表示画像

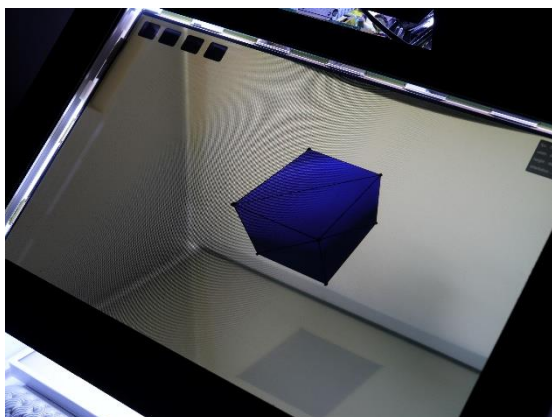


図 5 斜めから見た映像

4. 結論

本稿では、透過液晶ディスプレイとタッチパネルディスプレイの間に手を挿入し、指先でオブジェクトやその影に触れることで操作できる 3DCAD システム Shadow Chamber を提案した。本システムは透過液晶ディスプレイとタッチパネルディスプレイの特性を活かし、モデリング操作をより理解しやすくした。実際にこのシステムを使用してみたところ、自身の手が映像中に入り込んだかのような視覚的な効果を感じた。箱型のデバイスに 2 枚のディスプレイを搭載し、その中に手を挿入するという仕組みをとることで、透過液晶ディスプレイの映像→自身の手→タッチパネルディスプレイの映像の順のレイヤー構造となり、仮想空間へ自分自身が干渉していく感覚が強く感じられた。

参考文献

- [1] Otmar Hilliges, David Kim, Shahram Izadi, Malte Weiss, Andrew D. Wilson: HoloDesk: direct 3d interactions with a situated see-through display, CHI '12: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2421-2430, 2012.
- [2] Jinha Lee, Alex Olwal, Hiroshi Ishii, and Cati Boulanger: SpaceTop: integrating 2D and spatial 3D interactions in a see-through desktop environment, In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13), Association for Computing Machinery, pp.189-192, 2013.
- [3] 藤澤秀彦, 宮下芳明: Laptop SpaceTop : 二次元・三次元の融合操作を実現する折りたたみモバイル PC, インタラクシオン 2023, pp.353-355, 2023.
- [4] 福地健太郎, 松浦向日葵, 大野貴広: テーブル上に投影された空中立体映像に対する影を用いたインタラクシオン手法, インタラクシオン 2022, pp.747-750, 2022.
- [5] 菊池康太, 尼岡利崇: 影ユーザーインタフェース: 影をインタフェースとした実体とのインタラクシオン手法の提案, 芸術科学会論文誌 Vol. 1, No. 3, pp. 130-137, 2017.