



変形可能なドーム面への手指押し込み動作の 画像認識に基づくアバター操作

Avatar Manipulation via Image-Based Recognition of
Hand and Finger Pressing Motion on a Deformable Dome Surface

小西 遥登¹⁾, 佐藤 宏介²⁾, 岩井 大輔¹⁾
Haruto KONISHI, Kosuke SATO, and Daisuke IWAI

1) 大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3)
2) 追手門学院大学 理工学部 (〒 567-8502 茨木市西安威 2-1-15)

概要: 著者らはこれまでに、HMD に棒状の把持部と入力装置を結合した一体型ハンドヘルド VR デバイスを提案した。本研究ではその入力装置として、変形可能なドームとそれを内側から撮影するカメラを使用し、ユーザが手を乗せて動かすことによるドームの変形をカメラで撮影し、取得された手の動き入力をアバター手の操作などに利用することを提案する。この提案システムのプロトタイプを PLA 製の傘型ワイヤードームによって実装し、ニューラルネットワークでのアバター手の 2 次元操作やオプティカルフローによるドーム変形の取得などを試みた。明らかになった操作精度の低さや指先周りのオプティカルフローの特性から、ゲルドームでの実装も行った。比較検証を行い、ゲルドームによるシステム実装の方が良好であることが示唆された。

キーワード: ウェアラブル, ユーザインタフェース, エルゴノミクス, ハンドヘルド VR

1. はじめに

近年の XR 技術の普及に伴い、XR システムは様々な場面で使用されている。一般的な XR デバイスはヘッドバンドを用いて頭部に装着し、コントローラを両手に把持するため、着脱に時間と手間がかかる。そのため、VR コンテンツの展示会等で使用者が頻繁に交代する場面や、VR アプリ開発における VR 体験と編集作業を往復する場面など、頻繁に着脱を伴うような場面ではユーザの快適性を損なう。

そこで著者らは、デバイスの頻繁な着脱を伴う用途などを想定し、着脱が容易かつ可搬な XR デバイスとして、図 1 に示すような、物理的な入力装置が一体化されたハンドヘルドデバイスを提案し、これを Desk Light-type Device(DLD) と命名し研究を行ってきた [1]。この DLD では、入力装置が HMD に一体化され固定されていることから、ユーザが手を大きく動かしての入力操作を行えない制約がある。著者らは過去にこの制約に対して、入力装置に埋め込まれた 8 つの 2 次元変位入力ジョイスティックによってユーザの掌と指先の微小な変位を取得し、ニューラルネットワークによってアバター手の動きに変換した [2]。しかし、このジョイスティックを用いたシステムには、ユーザーの手のサイズや形状、利き手によっては操作が困難であるという問題があった。

本研究では、この課題に対処するため、変形可能なドーム面へのユーザの手指押し込み動作に対する撮影と画像認



図 1: Desk Light-type Device(DLD) の概要図

識に基づくアバターハンド操作システムを提案する。

2. 提案システム

本研究では、変形可能なドーム面上でのユーザの手指押し込み動作を内側からカメラで撮影し、画像認識を行うことで、ユーザの入力操作を仮想空間でのアバター手の操作に変換するシステムを提案する。その概要図を図 2 に示す。本システムで入力に用いる操作は以下の通りである。

- 水平方向の掌移動
- 垂直方向の掌押し込み

- 人差し指、中指の押し込み
- 手の姿勢

掌の移動、押し込みはアバター手を動かすための入力として用いる。人差し指、中指の押し込み動作は、仮想物体の把持や仮想空間内における UI 操作などのインタラクションに用いる。手の姿勢は、指先押し込み動作の取得のために指先位置情報として用いるほか、ユーザの手姿勢をアバターの手に反映させ、没入感の向上を図る。

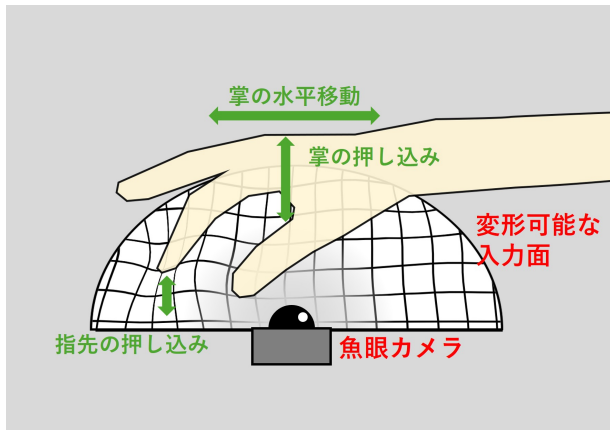


図 2: 提案する遊手入力ドームの概要図

3. 傘型ワイヤー構造のプロトタイプ

提案システムのプロトタイプとして、図 3 に示すような傘型ワイヤードームを作成し、入力操作の検証を行った。

3.1 ドーム形状の作成

本プロトタイプは、3D プリンタによって PLA 製の放射状の形状を作成し、その末端を円周上に並べた穴に差し込むことでドーム型に固定することで作成した。ドームの直径は 150 mm、高さは 54 mm である。ただし、ハンドヘルド XR デバイスへの搭載を想定し、持ち手を結合するスペースを空けるために、放射状のワイヤのうち 1 本は切り落として作成している（図 3 左奥部分）。そして、ドーム内部に画角が 180 度以上である魚眼カメラを固定した。このワイヤードームはその断面が一辺 1.5 mm の正方形であり十分細いため、手で押し込むことで変形させることが可能である。このように目の粗い構造にすることでシステムが軽量になる。ワイヤードームの内側の面は、撮影時にワイヤードームの領域が容易に抽出可能となるように緑色に着色した。また、ワイヤードームの変形に関する特徴点となるよう、ワイヤードーム内側の中心から放射状に 1 cm おきに黒くマーキングを施した。実際にこのプロトタイプに手を乗せた状態で内部から撮影した画像を図 4 に示す。

3.2 画像認識の検証

3.2.1 機械学習による画像認識

掌と指先の動きを用いたアバター操作として、カメラの撮影画像を入力とするニューラルネットワークによって実現する方法を検証した。このニューラルネットワークの学

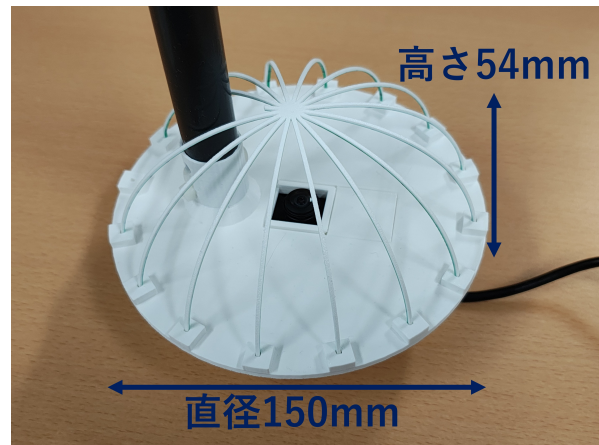


図 3: 傘型ワイヤードームのプロトタイプ

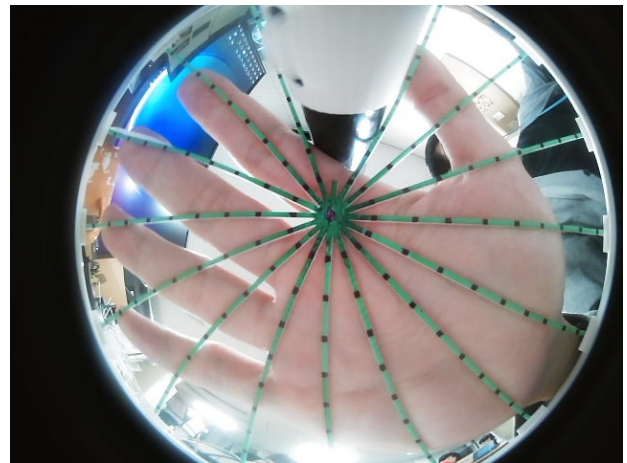


図 4: ワイヤードーム内部からの撮影画像

習のため、カメラの撮影画像と入力の状態をペアとする教師データを収集する。ユーザーは VR 環境でユーザの意思に関係なく動くアバターの手を見ながら、提示されたアバター手の位置に手を動かしているつもりでワイヤードームに対して入力操作を行う [2]。この時に撮影された画像とアバター手の状態を合わせて記録し、これを教師データとする。学習データの収集中のユーザの視界は図 5 に示すようなもので、アバターの手は緑色の扇形の平面領域上を動くように設定した。実際に、VR 環境での学習データ収集を行い、Efficientnet の転移学習を行ったところ、カメラの撮影画像を入力とし、アバター手の二次元座標を出力するモデルを作成できた。しかし、動作を確認できたのは掌の水平方向 2 次元の入力のみであり、ユーザが入力していないときにもその出力データの振動が見られた。そのため、掌と指先の押し込みと手姿勢の認識を含めた提案システムの実装には、これだけでは不十分であり、他の画像処理や異なる学習手法を用いる必要があると考えられる。

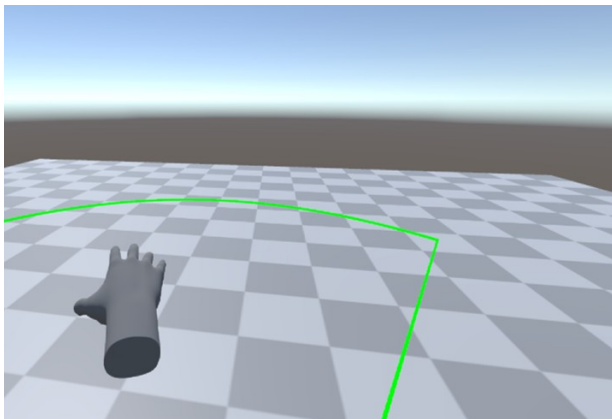


図 5: VR 環境でのアバター手操作時のユーザの視界 (右目)

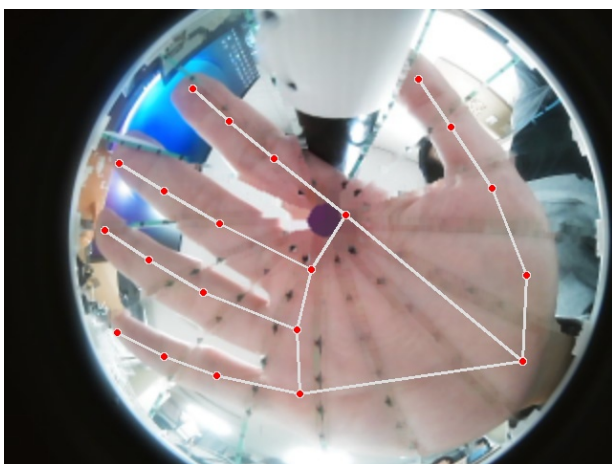


図 6: インペインティング後の手姿勢認識

3.2.2 画像処理に基づく画像認識

アバター手の姿勢に反映することを目的としたユーザの手姿勢の推定は、Mediapipe によるランドマーク検出によって実現する。しかし、撮影画像に対して手のランドマーク検出を行うと、ワイヤードームが手を遮蔽することによりランドマークが正しく検出されないことが確認された。これに対し、ワイヤードームの裏面にあたる緑色領域を抽出し膨張させた領域に対してインペインティング処理を行った後にランドマーク検出処理を行うことで、ユーザの手姿勢を取得できることが確認できた (図 6)。

また、ドームの変形を取得できることを確認するため、カメラの映像に対してオプティカルフローを計算し、確認した。これにより、ワイヤードームの動きをオプティカルフローによって追跡できると考えた。特に、ユーザの指先押し込み動作時に、ユーザの指先付近において、指先を中心として外側へ広がるようなオプティカルフローが得られることが確認できた。例えば、図 7 は、人差し指を押し込んだ瞬間のオプティカルフローである。これを入力の情報として用いることで、ユーザの指先押し込み動作を取得できる可能性が示唆された。

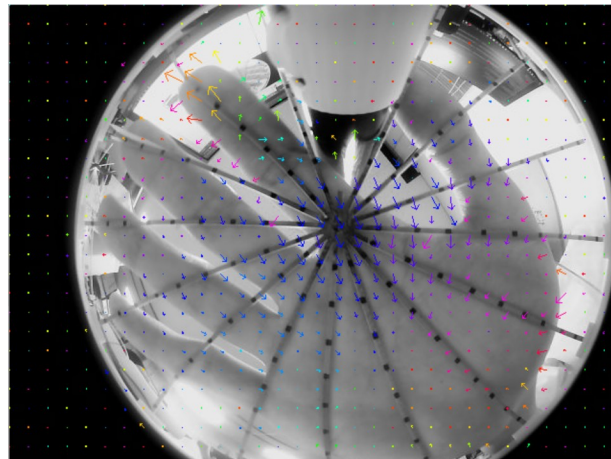


図 7: 人差し指を押し込んだ瞬間のオプティカルフロー

4. ゲルドームを用いたプロトタイプ

3. で示した傘型ワイヤードームを用いる方法は、ドーム形状の加工が容易で軽量である。しかし、ストロークの大きな押し込み動作が難しいことや、指先がワイヤーの隙間にある場合に指先の押し込み動作が認識しづらいと考えられる課題点が確認できた。そこで、適切なマーカーの配置と画像処理によって変形の光学的追跡が可能であることが知られている透明ゲル [3] でドームを構成することを考えた。そして実際に図 8 に示すようなゲル製のドームの素材を用いたプロトタイプを作成し、入力操作の検証を行った。

4.1 ドーム形状の作成

提案システムのプロトタイプとして、直径 100 mm の半球の型を用いて厚さ約 10 mm のゲル製のドーム形状を作成した。実際に作成したドームの直径は 100 mm、高さは 45 mm である。素材にはエクシール社の人肌のゲル (透明、アスカー C7) を使用した。そして、ドーム内部に画角が 180 度以上の魚眼カメラを固定した。提案システムの実装にはユーザの掌よりも大きいドームを使用するのが理想だが、ゲルドーム越しの撮影による画像認識の実用性を検証するため、ここではそれよりも小さなゲルドームを作成した。本システムはハンドヘルド XR デバイスへの実装を見据えているため、ドームの構造を稠密な半球体ではなく中空の殻状にすることでより軽量となるよう設計した。また、中空であることで、カメラをドームの内部に配置でき、ドームの全体を撮影可能となっている。

本システムに使用した素材のゲルは透明だが、ドームの外表面はタルク粉をまぶすことで、ドームの粘着を抑えつつ、ドームを半透明になるようにした。これにより、カメラが撮影画像に映り込む背景をぼかし、入力に関係のない背景情報が減少する。また、半透明になることでドーム自体の変形に関する情報が撮影しやすくなる。

4.2 画像認識に関する考察

ゲルドーム内部から撮影した画像に対して Mediapipe での手ランドマーク認識を行うと、手の位置によって正しく

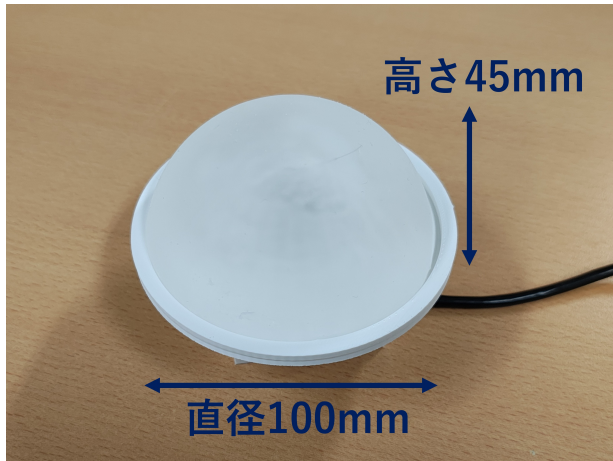


図 8: ゲルドームのプロトタイプ

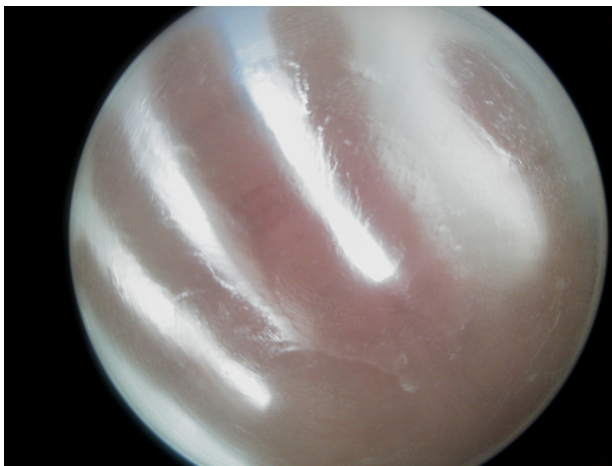


図 9: ゲルドーム内部からの撮影画像

認識される場合とされない場合があった。この原因の一つとして、ゲルドームが掌より小さく、掌全体を撮影できていないことが考えられる。

3.の傘型ワイヤードームでは、ワイヤー上の点の移動しか観測できないが、このゲルドームにおいてはドーム全域の変形が観測可能で、ドーム内壁にマーカーを多数埋め込めることが確認された。また、傘型ワイヤードームに対するオプティカルフローの計算においては、図 7から分かるように、傘型ワイヤードームの構造のために、指先だけでなく指の付け根付近までオプティカルフローが見られた。しかし、ゲルドームにおいては、より局所的な指先だけの押し込みと、指全体の押し込みを識別できる可能性が高い。

5. おわりに

本研究では、入力装置一体型ハンドヘルド XR デバイスの入力装置として、変形可能な入力面への手指押し込み入力の画像認識に基づくアバター操作システムを提案し、傘型ワイヤードームとゲルドームの 2 種のプロトタイプを実

装し、その動作検証から得られた知見を示した。今後はより大きなゲルドームのプロトタイプの作成と、それらプロトタイプに対する入力操作の認識が可能であることを確認し、ハンドヘルド XR システムへの実装に取り組む。

参考文献

- [1] 小西遥登, 岩井大輔, 佐藤宏介, ”入出力装置一体型ハンドヘルド XR デバイスのフォームファクタに関する考察,” 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp. 1E1-02:1-2, 2024.
- [2] 小西遥登, 岩井大輔, 佐藤宏介, ”掌と指先の微小変位入力に基づく一体型ハンドヘルド VR システム,” 第 68 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 (SCI'24), pp.971-972, 2024.
- [3] Kazuto Kamiyama, Hiroyuki Kajimoto, Kevin Vlack, Naoki Kawakami, Terukazu Mizota, and Susumu Tachi: “GelForce,” ACM SIGGRAPH 2004 Emerging technologies, p. 5, 2004.
- [4] 芹澤隆史, 笠井 正, 柳田康幸, ”KHAKI: ドーム型掌・指先入力デバイスの開発: 指先識別・圧力検出アルゴリズム,” 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, 2A2-3, pp. 294-297, 2010
- [5] 大門亮哉, 小栗芙美果, 上堀まい, 正井克俊, 杉浦裕太, 伊藤雄一: ”PUNIcon: ゲルを用いた柔らかい物体の物体識別およびインタラクションの取得,” 情報処理学会 インタラクション 2025 論文集, pp. 100–108 (INT25012), 2025.
- [6] 大野 良介, 吉元 俊輔, 佐藤 宏介: ”無装着入力インタフェースのための掌への指先押下の画像センシング,” 映像情報メディア学会誌, Vol. 68, No. 7, pp. J285–J291, 2014.