

VR上の物体への触覚提示を行うための箸型デバイスの開発

松村 楓^{1,a)} 羽田 久一²

概要：人は手で多くの情報を感じ取る。特に指先を対象とした触覚ディスプレイの研究は広く行われている。本研究では道具を介した触覚に着目し、箸を介した触覚の再現を目標としたVR用触覚デバイスの制作を行った。箸の傾きをセンサで取得し箸先端の袋の空気量を調整することで、箸で物を掴む感触の再現を目指す。実装ではUnityとArduinoを用い、エアパックを用いた箸デバイスと箸の方向を検出するシステムの制作、箸モデルとの連動を行うことができた。

キーワード：VR, 箸, インタラクション, ハプティクス

1. はじめに

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の普及により、仮想現実 (VR) を体験することは容易になった。VRでは現実には起こり得ないことを現実のように体験することができる。現在普及している家庭用のVR環境では現実感を演出するため、視覚・聴覚へのアプローチとしてHMDの高解像度化や音響の立体化などが行われてきた。人間の手は多くの情報を得ることができる。よって、視覚・聴覚に次いでVRをより現実らしく感じるために触覚刺激は重要な要素である。触覚に対しては現在まで、コントローラのトラッキング精度を上げることや様々な手法でのハンドトラッキング、振動を工夫することなどによって現実感の向上が図られてきている。

VRでの触覚において、現実感を演出する方法は大きく分けて2つある。VR上にある物と似た形の物体を介して現実で触らせるものと、指先や手のひらなどに振動や圧力、電気を加えそこに物体があるかのように錯覚させるものである。我々は、前者のように現実にある道具を実際に触らせ、後者のようにその先に圧力等を加えて物体を触っているように錯覚させるというインタラクションに着目した。道具を介したインタラクションは日常生活で馴染み深い。本研究では、箸を利用したVRでのインタラクションのために箸の操作に必要なシステムを設計し、アプリケーションの基礎を制作した。

2. 関連研究

箸の力覚と触覚デバイスに関する関連研究として、以下のものが挙げられる。

2.1 箸に関する研究

北村らの研究 [1] では、仮想環境における道具を用いた物体操作方法について述べている。手-道具、道具-物体間の操作は、手のみの操作よりも動きが限定され、直感的な操作がしやすいのが特徴である。この研究では、道具と物体が仮想である状態で、次のような検証が行われた。手形状を入力するグローブを用い、手の動きを3Dモデルの動きに反映させ箸で物体を動かす。その時の物体移動操作を評価し、結果として、大まかな操作をする時と細かい操作をする時のインタラクション精度は異なる設定が適していることが示された。

加藤らの研究 [2] では、モータを用いた箸型の非接地触覚デバイス「HapSticks」が開発された。HapSticksはモータで上下の箸が接続されたものを回転制御し、更に把持部で重量を制御している。この研究では仮想物体を掴む時に重みを付けることに成功しているが、感じ方は個人差が大きいという結果になった。

2.2 触覚デバイスに関する研究

道具を介した触力覚の研究では、重山らの研究 [3] のようにあらかじめ触る物が限定されているものか、金らの研究 [4] のような設置型で可動範囲が限定されているものが多い。

振動や圧力、電気を利用した触力覚の研究では、実際の

¹ 東京工科大学 大学院 バイオ・情報メディア研究科 メディアサイエンス専攻

² 東京工科大学 メディア学部

a) g312002554@edu.teu.ac.jp

物体を触ることなく VR 上で物に触れたときの触覚だけを再現しようとしている。現実空間に触れる物がない状況で、VR 上の様々な物体に触れる感覚を表現することが目標になっている事が多い。

Shan-Yuan らの研究 [5] では手のひらに、宮上らの研究 [6] では指先に、空気パックを装着し伸縮させることで触覚を再現した。宮上らの研究ではデバイスを装着することでバーチャル物体の柔らかさや温度、振動を感じることができる。デバイスには振動させるためのモータ、空気パックの高さを測定するためのフォトフレクタ、バルーン間の力を測定するための空気圧センサが使用されている。実験では仮想物体を掴み、物体の質感や硬さの違いを感じることができるようになったことが示された。

2.3 本研究との関わり

文献 [1] からは、VR における箸の持ち方や 3D モデル、道具を介した VR での物体操作法を参考にした。文献 [2] と本研究は、箸デバイスという点で似ているが、触覚を感じさせる方法という点で異なっている。文献 [6] からは、空気を用いて触覚を感じさせる手法を参考にした。

3. 箸型デバイスを用いた触覚提示システム

3.1 箸を用いた VR 空間内でのインタラクション

箸は物を掴む・割く・抑える・刺すなど利用方法によっていくつもの種類の動作を行える。箸は第二の指先とも言える。

本研究ではコントローラとして VR コンテンツで利用することができる箸型の触覚デバイスを制作する。HMD を装着した状態で箸デバイスを動かすと VR 上の物体を移動させることができ、箸を通して使用者に触覚刺激が伝わるというインタラクションを行えるようにすることが目標である。加藤らの研究 [2] ではデバイスをモータで制御していて、完全に箸を持っている感覚と同じにはなっていない。よって、箸を持っている感覚を高めるためにデバイスを軽量化し、より簡易な作りを目指していく。モータと違い、空気による制御であれば箸本体の部品をあまり増やすことなく軽量化を図れることが予測できる。これを文献 [6] のデバイスを参考に、エアパックを箸の先端に取り付けることで解消することを試みる。

また、最終的な目標としてバーチャルキャラクターに食事を食べさせる VR コンテンツ (図 1) を想定し、実装すべき機能を考える。食事を食べる・食べさせるという動作の中で必要になる動きは主に物を掴むことだと推察し、物を掴む感覚に重点を置いて実装する。

3.2 必要な機能

箸が物を掴む感覚において最も重要なことは、箸が掴んだ物体の大きさと柔らかさだと考えた。箸で掴んだ物の大

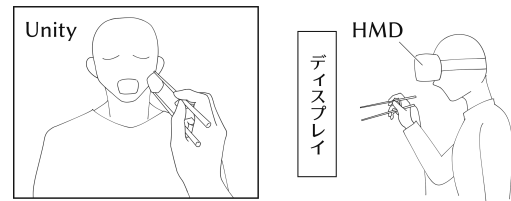


図 1 VR コンテンツ

きさや柔らかさを表現するためには、箸同士の先端の距離が掴んだ物の大きさと同じになる必要がある。文献 [6] を参考にすれば、この大きさと柔らかさは再現できると考えられる。

現実に操作する箸デバイスの向きと位置は、VR 上の仮想箸と一致している必要がある。そのため、本デバイスでは回転情報は 6 軸加速度センサを、位置は Oculus Quest2 のハンドトラッキング機能を用いて取得する。

3.3 デバイスとアプリケーションの設計

デバイスの制御には Arduino を使用し、アプリケーションの制御には Unity を使用する。Unity と Arduino の連携にはシリアル通信を用いた。

箸には箸同士を繋ぐ関節、振動モータと 6 軸加速度センサ、曲げセンサ、ビニールのエアパック、チューブを取り付ける (図 2)。箸の関節部は市販の箸を矯正箸のように繋げることができるように設計し、Fusion360 と 3D プリンタを用いて制作した。この時、箸の間隔は約 30mm にし、一般的な成人が持ちやすい間隔にした。現在のほとんどのゲームコントローラには振動機能が搭載されているため、本デバイスも VR の上の物体と衝突したときに振動によって衝撃を伝えるようにする。6 軸加速度センサは箸の向きを取得するのに用いる。箸の回転は曲げセンサによって取得する。また、箸デバイスと仮想箸の姿勢を連動させるため、加速度センサからの情報に Arduino の Madgwick フィルターライブラリを用い姿勢角を算出している。曲げセンサは箸と箸を繋ぐ関節部に取り付ける。

エアパックはチューブからポンプとソレノイドバルブに繋がっている (図 3)。これに Unity のスクリプトを組み合わせることで、Unity 上で箸を物体に近づけると、ポンプとバルブが作動しチューブに空気が送られることでエアパックが膨らみ、逆に箸が物体から離れると、ポンプが停止して袋はしばませることができるようになる。

3.4 実際の実装

図 4 が実際の箸デバイスである。デバイスの重さは 33g になった。一般的な箸一膳は約 9g であるため、やや重いといえる。アプリケーションの操作としては、図 5 のように Unity 上で箸の開閉と物体に接触した時の振動、箸の回転を反映させることができている。

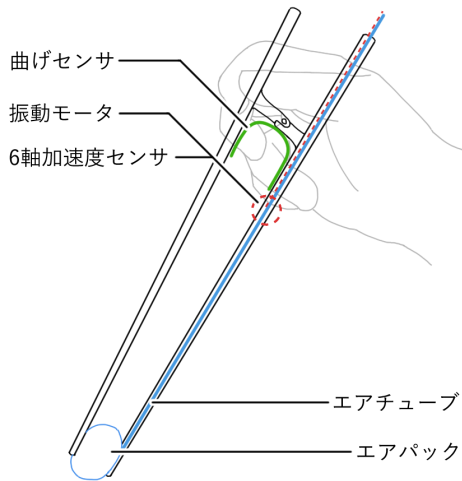


図 2 箸デバイス構成図

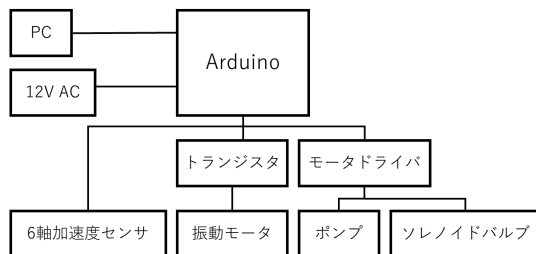


図 3 システム構成図



図 4 箸デバイス

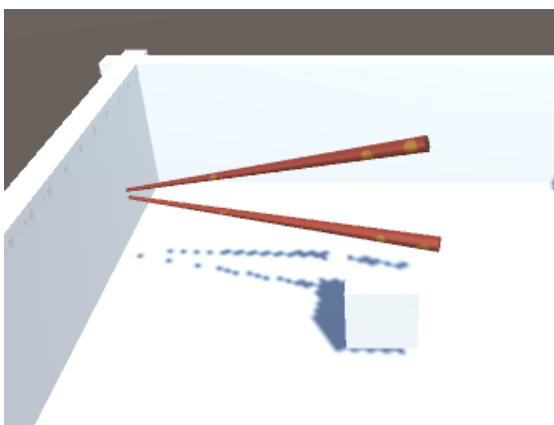


図 5 Unity でのアプリケーション

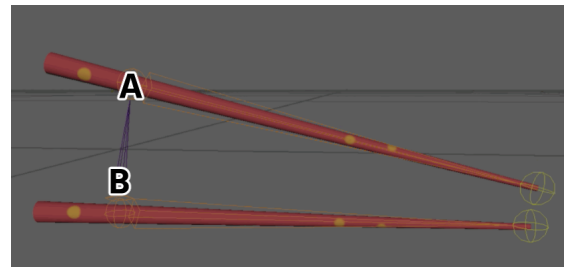


図 6 箸モデルの関節

3.5 箸のアニメーション

関連研究 [1] によると上下に分かれたうちの上の箸は、上側の親指と人差指に挟まれた部分が支点、中指の爪の上の1点が力点として動作する。しかし、上の箸のみを支点を中心に回転させると、下の箸を固定した場合同時に2本の箸を動かす時に違和感が生じてしまう。そこで、箸の3Dモデルを制作するにあたってアニメーションについて考察した。

前提として、曲げセンサは水平に開いている状態が初期状態のため、まず箸デバイスの関節部に装着し、箸同士を水平にした値を計測する。次に、60度などの角度に曲げた状態の値を計測し、曲げセンサからUnityに送られる値を箸の角度と合致するよう定数をかけ合わせることで、箸の曲げを制御することができる。

図6は箸の関節を示す図である。箸を正しく持った時に3本の指で支える部分をジョイントA、親指の付け根に当たる部分をジョイントBとする。この時ジョイントAのみを回転させることでも箸の開閉は表現できるが、実際の動きと違い先端が閉じなくなってしまう。そのため、箸の可動範囲最大限まで広げた時、閉じた時の画像を用い、各ジョイントの角度を計測することによって、AとBを連動させるための数式を算出した。この結果、曲げセンサーが1度分動くとAは0.38度、Bは0.62度動くことが分かった。この数値を箸の開閉時、各ジョイント曲げ時に掛け合わせることでアニメーションの違和感を解消することができた。

4. まとめと今後の展開

本研究は、空気を用いて箸を介したバーチャル物体からの触覚刺激を提示することが目標である。今回の進捗により、箸デバイスの把持部について形や構造を作ることができた。また、曲げセンサを用いた箸の曲げを決定する定数とアニメーションのための検証、それらを用いた箸デバイスとの連動を行うことができた。

今後は、VR上で問題なく動作させることを目標とし、デバイスやアプリケーションの完成を目指していく。異なる大きさや柔らかさの物体を掴んだ感覚を再現できるようにすることや、実際にこの方法で違和感なく箸や物体を操作できるかが課題となる。実験と調査を行い、箸デバイス

が箸の触覚を再現することに問題がないかを探っていく。

5. おわりに

本研究では、箸を介した触覚刺激を再現する VR 用デバイスの開発を試みた。これまでの研究 [7] では Unity と Arduino のシリアル通信と、箸オブジェクトが VR 上の物体に触れたときの振動の出力を行うことができていた。今回は箸デバイスの把持部を作り箸のアニメーションについて考察することで、箸デバイスを制作するための基礎を作ることができた。箸デバイスは VR で活用することで、ゲームや VR 体験の幅を広げることができる。

参考文献

- [1] 北村喜文, 銅子研一, 来山 真, 岸野文郎: 仮想箸のための物体の変形と力覚提示の一検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 291–299 (2002).
- [2] Kato, G., Kuroda, Y., Ilana, N., Kiyokawa, K. and Takemura, H.: Design and Psychophysical Evaluation of the HapSticks: A Novel Non-Grounded Mechanism for Presenting Tool-Mediated Vertical Forces, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 10, No. 3, pp. 338–349 (online), DOI: 10.1109/TOH.2016.2636824 (2017).
- [3] Shigeyama, J., Hashimoto, T., Yoshida, S., Aoki, T., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Transcalibur: Weight moving VR controller for dynamic rendering of 2D shape using haptic shape illusion, *ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies, SIGGRAPH 2018*, Association for Computing Machinery, Inc, pp. 1–2 (online), DOI: 10.1145/3214907.3214923 (2018).
- [4] Kim, S., Hasegawa, S., Koike, Y. and Sato, M.: 7 自由度力覚ディスプレイ SPIDAR-G の提案, *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, Vol. 7, No. 3, pp. 403–412 (オンライン), DOI: 10.18974/tvrsj.7.3.403 (2002).
- [5] Shan-Yuan, T., Tzu-sheng, K., Chi, W., Chi-huan, C., Da-Yuan, H., Liwei, C. and Bing-Yu, C.: PuPoP: Pop-up Prop on Palm for Virtual Reality, *UIST '18: Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 5–17 (online), available from (<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3242587.3242628>) (2018).
- [6] Miyakami, M., Murata, K. A. and Kajimoto, H.: Hapballoon: Wearable haptic balloon-based feedback device, *SIGGRAPH Asia 2019 Emerging Technologies, SA 2019*, ACM, pp. 17–18 (online), DOI: 10.1145/3355049.3360535 (2019).
- [7] 松村 楓, 羽田久一: 箸を介した VR 上の物体とのインタラクション, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2020 論文集, Vol. 2020, pp. 103–106 (2020).