

# VRコントローラに搭載したソレノイドを用いた 高速動作可能な触覚フィードバックの開発

丈達 翔太<sup>1,a)</sup> 高田 峻介<sup>1</sup>

**概要:** バーチャルリアリティ (VR) において, VR 用のハンドコントローラから発生する振動を用いた触覚フィードバックが広く用いられている. 振動触覚のみではフィードバック表現が単調であるため, 他にも組み合わせ可能なフィードバック手法が多く提案されているが, 手で持つことが難しい大掛かりな仕組みを伴うものが多い. そこで, コントローラに搭載したソレノイドを用いた衝撃による触覚フィードバック手法を提案してきた. 本稿では, ソレノイドの駆動回路を改良し, これまでの手法に比べた回路の小型化, より短い間隔での衝撃の提示が可能になった.

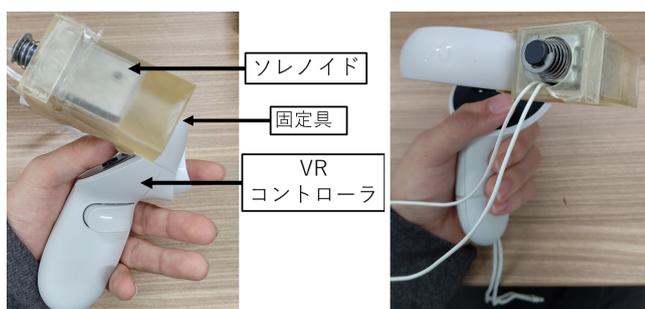


図 1 提案するソレノイドを用いた触覚提示機構

## 1. はじめに

VR ゴーグルを用いたゲームの普及に伴い, 様々な触覚フィードバック手法が研究されているが, 振動以外の手法があまり普及していない. これは, 振動以外の触覚フィードバック手法が大がかりなためだと考えられる [1] [2]. そこで著者らは, 図 1 に示すようにソレノイドを搭載した VR 用ハンドコントローラを開発し, ソレノイド駆動時の衝撃を用いた触覚フィードバック手法をこれまでに提案してきた [3]. 本研究にてこれまでの手法で課題であった, ソレノイドの連続動作ができない問題 (一度動作するとおよそ 3 秒ほどの電荷の再チャージ時間が生じる), 回路が大型であるという問題の解決を図った.

## 2. 関連研究

HIRO[2], SPIDAR[4]: これらのシステムは環境に設置された状態で触覚フィードバックを提示している. 装置の

重量を無視できるという利点があるが, 地面や壁などに装置を設置する必要があることから装置が大規模になりやすい, ユーザの姿勢および使用する場所が限定されるといった問題がある. 対照的に, 提案手法は VR コントローラに組み込むことで, ユーザの姿勢や場所を制限せずに安定したフィードバックを提供できる.

ElasticVR[5], CLAW[6], Wolverine[7]: これらは身体に装置を装着する触覚フィードバック手法である. ユーザの姿勢や場所を制限せずに使用可能だが, 重量や形状によるユーザの負担や着脱の手間が問題となる. 提案手法では VR コントローラに機器を搭載するため着脱の手間を省くことができる.

Lead-Me[8], Traxion[9]: これらは錯覚を利用して触覚フィードバックを提示している. しかし, 錯覚であるため触覚フィードバックの強度には個人差がある. 提案手法はソレノイドを使用することで, 衝撃を用いた強度の強い触覚フィードバックが可能である.

JetController[1], Jetto[10], HeadBlaster[11]: これらの手法は圧縮空気放出時の反動を利用して触覚フィードバックを提示している. 無段階で強さの調節が可能であったり, 強い衝撃を瞬時に発生させることができるが, エアコンプレッサなど大掛かりな装置が必要である. また, 動作時の騒音も大きい. 提案手法はフィードバックの強さの制御はできないものの, より簡素な装置で実現可能であり, 圧縮空気と同じように衝撃感を瞬時に発生させることができる.

## 3. 実装

提案手法のプロトタイプを作製した. プロトタイプのシステム構成および実装を述べる.

<sup>1</sup> 神戸市立工業高等専門学校 電子工学科

<sup>a)</sup> r118319@g.kobe-kosen.ac.jp

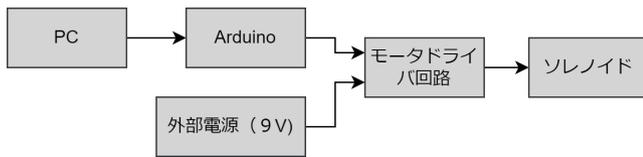


図 2 システム構成図

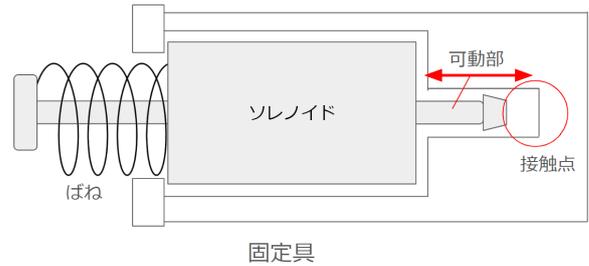


図 4 固定具の構造

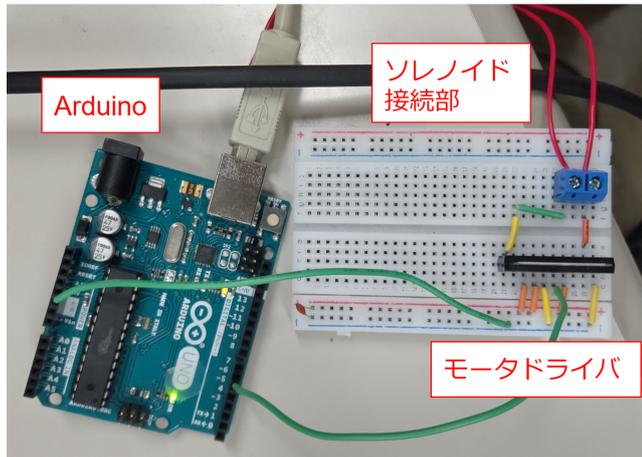


図 3 ソレノイド駆動回路

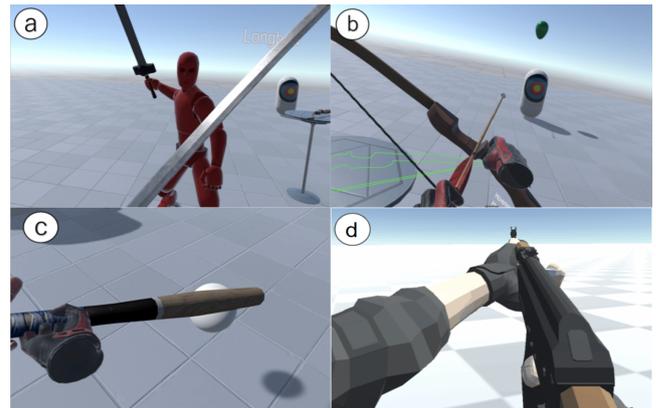


図 5 実装した VR アプリケーション (a: 剣で攻撃を弾く, b: 弓で的を撃つ, c: バットでボールを打つ, d: 銃を連続で撃つ)

### 3.1 システム構成

図 2 にプロトタイプシステムの構成を示す。プロトタイプは触覚フィードバック用のソレノイド、Arduino、VR ゴーグル (Meta Quest 2)、PC (Windows 11, Core i9-11900H, メモリ 32GB, RTX 3060 Laptop) で構成される。PC 側にて、Unity を用いて制作した、後述する VR アプリケーション内にて生じる衝撃の瞬間に合わせて、PC から送られたシリアル信号を Arduino が受け取った瞬間にソレノイドを駆動させ、ユーザへの触覚フィードバックを行う。

### 3.2 VR コントローラ搭載部および回路の実装

提案手法は VR コントローラの上部に搭載したソレノイド駆動時の衝撃を用いて、使用者へ触覚フィードバックを与える手法である。実装にあたって、ソレノイド (TAKAHA CB1037) を 3D プリントした固定具に格納し、VR コントローラにテープで固定した。この固定具および衝撃を与える方法については 3.3 節で述べる。これまでは昇圧チョップ回路を用いてソレノイドを駆動していた [3] が、本プロトタイプでは図 4 に示すモータドライバ (TA7291P) 回路と 9V 電池を用いてソレノイドを駆動させる方式に変更した。これにより、以前の昇圧チョップ回路で問題であった大型のコンデンサやコンデンサに電荷をチャージする時間 (約 3 秒) が不要になり、小型化と連続動作を可能にした (約 0.1 秒間隔)。回路部のプロトタイプの外観を図 3 に示す。

### 3.3 ソレノイドを用いた触覚フィードバックおよびソレノイドの固定具について

ソレノイドを搭載した状態の固定具の構造を図 4 に示す。本固定具内にて、ソレノイド駆動時に可動部の先端が固定具と接触することで衝撃が発生し、取り付けられているコントローラおよびそれを保持しているユーザの手に衝撃を伝える。3.2 節にて述べた駆動回路を用いることで最短約 0.1 秒間隔で衝撃を発生可能である。これ以上感覚を短くすると、ソレノイドの構造上可動部が十分にばねで元の位置に引き戻されず衝撃が弱くなる。

### 3.4 VR アプリケーション

VR ゲームをイメージした図 5 に示す 4 種類のデモ用の VR アプリケーションを制作した。アプリケーション内では一つの VR ワールドに各体験が用意されており、VR ワールド内を移動することで体験を切り替えられる。4 種類のデモはそれぞれ、相手の攻撃を剣ではじく動作 (図 5a)、VR ゲーム内の弓を射る動作 (図 5b)、バットでボールを打つ動作 (図 5c)、銃を連続で撃つ動作 (図 5d) をイメージしている。それぞれの体験の中で、衝撃が加わる瞬間にソレノイドを駆動させることでユーザに触覚フィードバックを与えられる。剣、弓、バットを用いる動作は単発の衝撃、銃を撃つ動作は連続した触覚フィードバックを体験できる。

## 4. 今後の展望

3.3 節にて述べた通り、約 0.1 秒よりも短い間隔でソレノイドを駆動させると衝撃が弱くなる問題がある。この問題を解決するために、複数のソレノイドを用いて交互に駆動することで、より短い間隔の衝撃の提示が、同時に駆動したり一瞬タイミングをずらして駆動することでより強い衝撃の提示ができるか今後調査する。また、各ソレノイドを直行する方向になるよう VR コントローラに搭載することで、多方向からの衝撃感の提示を行う。

## 5. おわりに

本研究にて、コントローラに搭載したソレノイドを用いた衝撃による触覚フィードバック手法を改良し、これまでの課題であった高速動作ができない、回路が大型であるといった点を解消した。これにより、ソレノイドの複数搭載などのさらなる発展が望める。今後は高速動作を活かしたデモを用いてユーザの使用感調査や、ソレノイドを複数搭載することによる触覚フィードバックへの影響を調査する。

## 参考文献

- [1] Wang, Y.-W., Lin, Y.-H., Ku, P.-S., Miyatake, Y., Mao, Y.-H., Chen, P. Y., Tseng, C.-M. and Chen, M. Y.: Jet-Controller: High-Speed Ungrounded 3-DoF Force Feedback Controllers Using Air Propulsion Jets, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2021).
- [2] 遠藤孝浩, 川晴久, 中川志信, 山下誠治, 土屋陽太郎, 石樽康彦: 側面設置型多指ハプティックインターフェイス, 計測自動制御学会論文集, Vol. 51, No. 4, pp. 251–259 (2015).
- [3] 丈達翔太, 高田峻介: ハンドヘルド VR コントローラにおけるソレノイドを用いた触覚フィードバック, 第 85 回全国大会講演論文集, Vol. 2023 巻, No. 1 号, pp. 4–249 – 4–250 (2023).
- [4] Nagai, K., Tanoue, S., Akahane, K. and Sato, M.: Wearable 6-DoF Wrist Haptic Device "SPIDAR-W", *SIGGRAPH Asia 2015 Haptic Media And Contents Design*, SA '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2015).
- [5] Tsai, H.-R., Rekimoto, J. and Chen, B.-Y.: ElasticVR: Providing Multilevel Continuously-Changing Resistive Force and Instant Impact Using Elasticity for VR, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–10 (2019).
- [6] Choi, I., Ofek, E., Benko, H., Sinclair, M. and Holz, C.: CLAW: A Multifunctional Handheld Haptic Controller for Grasping, Touching, and Triggering in Virtual Reality, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–13 (2018).
- [7] Choi, I. and Follmer, S.: Wolverine: A Wearable Haptic Interface for Grasping in VR, *Adjunct Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16 Adjunct, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 117–119 (2016).
- [8] Tomohiro, A., Hideyuki, A. and Taro, M.: Lead-Me Interface for a Pulling Sensation from Hand-Held Devices, *ACM Trans. Appl. Percept.*, Vol. 5, No. 3 (2008).
- [9] Jun, R.: Traxion: A Tactile Interaction Device with Virtual Force Sensation, *ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2014).
- [10] Gong, J., Huang, D.-Y., Seyed, T., Lin, T., Hou, T., Liu, X., Yang, M., Yang, B., Zhang, Y. and Yang, X.-D.: Jetto: Using Lateral Force Feedback for Smartwatch Interactions, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–14 (2018).
- [11] Liu, S.-H., Yen, P.-C., Mao, Y.-H., Lin, Y.-H., Chandra, E. and Chen, M. Y.: HeadBlaster: A Wearable Approach to Simulating Motion Perception Using Head-Mounted Air Propulsion Jets, *ACM Trans. Graph.*, Vol. 39, No. 4 (2020).