

先端伸縮型仮想物体接触デバイス ExtickTouch への 水平移動に対する抵抗感提示機構の導入

林 佑一^{†1} 柴田 史久^{†1} 木村 朝子^{†1}

概要: VR (Virtual reality; 人工現実感) において、表現力豊かで汎用的な触力覚を提示するデバイスの実現は重要課題である。しかし、視覚や聴覚情報に比べて、触覚情報は提示できる情報が限定されており、未だ発展途上である。我々は、仮想物体に触れた際に得られる接触感の再現を目的とし、それを実現するデバイス「ExtickTouch」の研究・開発を行ってきた。このデバイスは仮想物体に触れる際にその表面に合わせてデバイスの先端が伸縮することで、仮想物体との接触感を提示している。しかし、既開発のデバイスでは、伸縮方向と垂直な方向への力の提示が困難であるという問題があった。そこで本稿では、ExtickTouch の表現力向上を目標に、デバイスの水平方向への移動に対して抵抗を発生させるブレーキ機構を導入し、これにより仮想物体との接触時に伸縮方向に垂直な方向への接触感提示が可能となったのでこれを報告する。

1. はじめに

市販の HMD を用いた VR (Virtual reality; 人工現実感) 体験には、把持して利用できるハンドヘルド型のデバイスが用いられることが多く、主に振動を用いて触覚の提示が行われている[1]。また、同様に把持して用いることが可能なデバイス[1]-[3] や手に装着するデバイス[4]-[6]が、多数提案・開発されてきた。このようなデバイスは、ユーザの動きに対する制限が少ないという利点がある一方で、触覚の提示箇所はデバイスと指との接触位置のみに留まり、実物体に触れたときのように腕全体に力覚を提示することはできない。

また、現実に近い力覚を提示可能にしたデバイス[7], [8]も同様に多数提案・開発されてきたが、機構全体が大きく、容易に動かせないため、ユーザの作業範囲がデバイスの可動領域に限定されてしまう。

このように、把持するだけで手軽に利用できるデバイスと、現実に近い感覚を提示できるデバイスでは、2 つの長所がトレードオフとなっていた。

そこで我々は、その両方の長所を活かした手法を提案し、この手法を実現するデバイス「ExtickTouch」の研究・開発を行ってきた[9]。ExtickTouch は、ユーザが仮想物体に触れた瞬間に、先端を伸縮させて実物体に接触するようにし、その反力を利用することでユーザに接触感を提示する。しかし、ExtickTouch はその構造上、デバイスの伸縮方向のみにしか力を提示できないため、それ以外への方向に接触感を提示することが困難であるという問題がある。

一方でデバイスの水平方向への移動に対する抵抗力を提示する手法も研究されている。Wintergerst らはタッチスクリーン上で水平方向の力を提示するペン型デバイスを開発した[10]。このデバイスはボールペンのようにデバイ

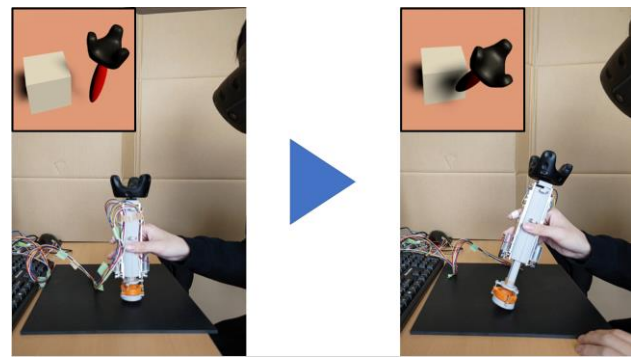


図1 水平移動に対する抵抗感提示機構を導入した ExtickTouch の使用風景

ス先端に鋼球を設置し、鋼球に電磁コイルを押し当て、鋼球の回転にブレーキをかけることで水平方向の力を提示することができる。

本論文でも同様に、ExtickTouch に水平方向へのブレーキ機構を導入することで、デバイスに対して水平な方向への移動に対する抵抗の提示を可能とし、ExtickTouch の表現力を向上させることを目指した。

2. デバイス伸縮方向に垂直な方向への接触感提示手法の提案

2.1 伸縮による触覚提示

ExtickTouch では、デバイスを伸縮させて机や床などの実物体に接触させ、この時に生じた反力を利用する。具体的には、VR 空間内で仮想物体とデバイスが接触した際に、実世界では机や壁などの実物体と接触するようにデバイスを伸縮させる (図 1)。この時に生じる反力を仮想物体への接触感としてユーザに提示する。

2.2 ブレーキによる触覚提示

提案手法では、さらにデバイスの水平方向への移動に抵抗を発生させることでデバイスが仮想物体側面に接触した

際の接触感を提示する。具体的には、デバイス先端に内蔵した球と、実物体（ゴムマット）との摩擦を利用する。ExtickTouch が仮想物体とぶつかなければ、デバイス先端の球は実物体上をスムーズに転がり続けるが、仮想物体とぶつかると、ブレーキ機構により先端部分の球の回転を止め、球とゴムマット間に摩擦力を発生させる。これによりデバイス全体の動きに抵抗を発生させる。

3. 実装

3.1 システム構成

提案手法に基づき、作製したデバイスを図2に示す。デバイス後端には VR 空間内での位置を取得するための VIVE Tracker が設置されている。デバイスはブレーキ部、先端支持部、外装から構成されており、いずれも 3D プリンタで PLA 樹脂を用いて作製した（図2）。先端支持部には球が滑らかに回転するようにボールベアリングを用いて支持されている。また、中空構造となっており、この中にブレーキ部を通すことで、先端支持部とブレーキ部を独立して動作させる。ブレーキ部は球との接触面がゴムになっており、ブレーキ部と球が接触した際に十分な大きさの摩擦力を発生させ、球の回転にブレーキをかける。先端支持部とブレーキ部は外装に設置された2個のリニアアクチュエータ（Alps 社製、モータ N フェーダ、RSA0N11M9A0K）によってそれぞれ独立に伸縮する。このアクチュエータは可動域が 10cm で、位置を 1024 段階で指定することができ、速度を 256 段階で変更することができる。先端支持部とブレーキの駆動タイミングと停止位置の制御は Arduino で行っており、VR 空間内に配置されている仮想物体とデバイスの接触位置に基づいて先端支持部とブレーキ部を前後に駆動させ、伸縮を実現している。

デバイスの制御および VR 空間描写用 PC は CPU Intel Core i7-8700、メモリ 16GB、GPU NVIDIA GeForce RTX 3060、Windows 10 Pro PC を使用した。VR 空間の構築には Unity 2019.4.11f1 (64bit)、VR 空間の観察には VIVE Pro 2 を用いた。VR 空間の提示および伸縮距離の算出、デ



図2 デバイスの構成

バイス先端部の駆動は毎秒 120 フレームで行っている。

3.2 伸縮位置制御モデル

ExtickTouch では、仮想物体とデバイスの接触位置 p_d と、デバイスの方向ベクトルと地面の交点 p_c からデバイスの伸縮距離 d を算出する（図3）。求めた伸縮距離 d までモータを回転させて伸縮を行うが、モータの回転速度が急激に変化すると滑らかな表面をなぞる動作などでユーザに違和感を与えてしまうため、伸縮距離 d に応じてモータの回転速度 v を設定することで、回転速度の急激な変化を防ぐという手法を利用する[9]。具体的には伸縮距離が大きい場合はモータの回転速度を上げることで瞬時に伸縮を行い、伸縮距離が小さい場合はモータの回転速度を下げる。現在のフレームでのモータ回転速度 v を次式(1)、(2)によって決定する。

$$v = \alpha \cdot v_{max} + (1 - \alpha) \cdot v_{min} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{d}{l_{max}} \quad (2)$$

v_{max} をモータの最高速度、 v_{min} を最低速度、 l_{max} をデバイス伸縮部の最大の長さ、 d を伸縮距離とする。

3.3 ブレーキ制御

VR 空間内で仮想物体側面とデバイスが接触している間、デバイス先端の球にブレーキ部を接触させ、球の回転を止める（図4(b)）。仮想物体側面とデバイスの接触は Unity の Collider 機能を用いて検知し、この際ブレーキ部を伸ばす方向にモータを回転させることで球にブレーキ部を接触させる。一方、仮想物体側面とデバイスが接触していない間は、球とブレーキ部が接触しないように一定の間隔を保ってブレーキ部を伸縮させる。具体的には、先端支持部の伸縮位置とブレーキ部の伸縮位置を比較し、2つの位置の差が閾値を超えている場合、閾値内に収まるようにブレーキ部を伸縮させる。例えば、先端支持部に対してブレーキ部が閾値を超えて伸びている場合はブレーキ部を縮める方向にモータを回転させることでブレーキ部と球の接触を防ぐ。

これにより、ブレーキ部は先端支持部に追従して伸縮しながら、任意のタイミングで球にブレーキをかけ、デバイ

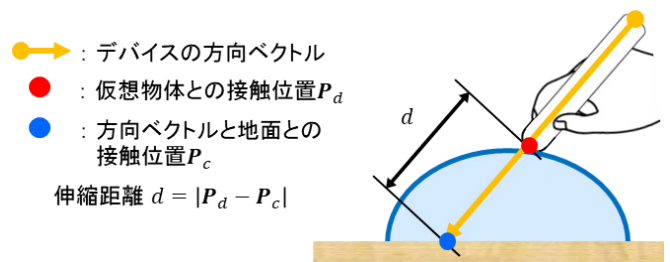
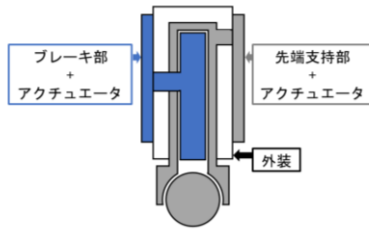
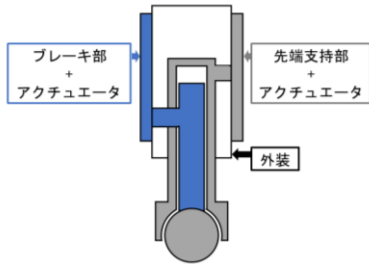


図3 伸縮距離の算出



(a) 図1左図の状態



(b) 図1右図の状態

図4 デバイスの構造

スの水平方向への移動に抵抗を発生させることができる。

4. おわりに

本研究では、VR空間内において仮想物体との接触感を提示するデバイス ExtickTouch の表現力の向上を目的として導入した水平方向へのブレーキ機構について述べた。この機構を用いることで、従来は不可能だった仮想物体側面への接触感を提示することが可能となった。今後は、このデバイスが提示可能な接触感によって、仮想物体との接触感をどの程度表現できるのかについて評価実験を行い、本機構の特性を明らかにしたい。

参考文献

- [1] E. Whitmire et al.: "Haptic Revolver: Touch, Shear, Texture, and Shape Rendering on a Reconfigurable Virtual Reality Controller," Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, paper. 86 (2018)
- [2] H. Benko et al.: "Normaltouch and texturetouch: High-fidelity 3d haptic shape rendering on handheld virtual reality controllers," Proc. 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 717 - 728 (2016)
- [3] S. Kamuro et al.: "An ungrounded pen-shaped kinesthetic display: Device construction and applications," In IEEE World Haptics Conference (WHC) 2011, pp. 557 - 562 (2011)
- [4] I. Choi et al.: "Wolverine: A wearable haptic interface for grasping in virtual reality," in IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 986- 993 (2016)
- [5] I. Choi et al.: "Grability: A wearable haptic interface for simulating weight and grasping in virtual reality," Proc. 30th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 119- 130 (2017)
- [6] I. Choi et al.: "CLAW: A multifunctional handheld haptic controller for grasping, touching, and triggering in virtual reality," Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing

- Systems, paper. 654 (2018)
- [7] "Phantom Premium Haptic Devices."
<https://www.3dsystems.com/haptics-devices/3d-systems-phantom-premium> (accessed Dec. 09, 2020).
- [8] M. Sato, "SPIDAR and virtual reality," Proc. of the 5th Biannual World Automation Congress, pp. 17-23(2002)
- [9] 片岡敬志郎, 大槻麻衣, 柴田史久, 木村朝子: 先端伸縮型仮想物体接触デバイス ExtickTouch の評価, 日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究会, MR2021-5, Vol. 24, No. 1, pp. 1 - 6 (2021)
- [10] Wintergerst, G., Jagodzinski, R., Hemmert, F., Müller, A., and Joost, G: Reflective Haptics: Enhancing Stylus-Based Interactions on Touch Screens, EuroHaptics 2010, pp. 360 - 366 (2010)