

仮想物体への接触感を高める先端伸縮型デバイスの試作

片岡敬志郎^{†1} 山本拓也^{†2} 大槻麻衣^{†3} 柴田史久^{†1} 木村朝子^{†1}

概要 : VR (Virtual reality; 人工現実) 空間では, 実世界と同様の動きでモデリングやペインティングといった作業を行うことができる. しかし, VR 空間では視覚情報に比べて, 触覚情報の再現が十分ではない. そのため, 実世界と VR 空間内で感覚のずれが生じ, 実世界での経験を活かして VR 空間内で作業を行うことは難しい. そこで, 本研究では, 物体の形状認識に必要な反力を提示する手法の提案とその手法を実現するためのデバイスの開発を行う.

1. はじめに

VR (Virtual reality; 人工現実) 空間内では仮想の 3D モデルを作成したり, それに対してペイントなどの作業を行うことができる. こうした作業に利用されるデバイスとして, HTC 社や Oculus 社などが提供している VR コントローラが挙げられる. これらは手の位置のトラッキングと振動フィードバックによって仮想物体に触れたということをユーザに提示する. しかし, 振動のみでは実際の物体に触れた際に生じる反力は再現できず, 仮想物体との接触感を提示することは難しい. このように, 実世界と VR 空間の感覚のずれが VR 空間での作業の難しさにつながっている.

このような問題を解決するために, これまで仮想物体への接触感を提示する様々な研究が行われてきた. 例えば, 力覚提示装置である PHANToM[1]を用いる方法が挙げられる[2][3]. PHANToM はロボットアームによってペン型のデバイスの動きを制御することで力覚を提示するが, 装置のサイズが大きく, 容易に動かさないため, ユーザの作業範囲がアームの可動領域に限定されてしまう. また, Kamuroら[4]は, 仮想物体の表面を押し込む・なぞる動作に応じて, 持ち手を稼働させ, 指先に力覚を提示する力覚ディスプレイを提案している. このデバイスはユーザの動きを制限することなく反力を提示できるが, 提示箇所はデバイスと指との接触位置のみに留まり, 腕全体で反力を知覚することはできない.

そこで, 本研究では, ユーザの動きをできるだけ制限せずに仮想物体との接触感を腕全体に提示可能な手法を提案し, デバイスを試作した (図 1).

2. 反力を用いた接触感提示手法

提案手法では, ユーザの動作範囲をできるだけ制限せず

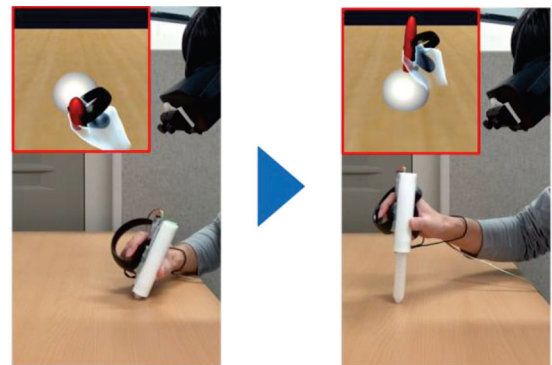


図 1 先端伸縮機構を有するデバイスを用いた接触感提示

に仮想物体への接触感を提示するために, 実世界における, デバイスと机や壁などの実物体の間に生じる反力を VR 空間における仮想物体からの反力として利用する. 具体的には, 仮想空間でデバイスと仮想物体が接触した際に, 実世界では実物体と接触するようにデバイス先端部分を伸縮させることで反力を提示する (図 1). このとき伸縮させる距離は, VR 空間内のデバイス先端部分からデバイスの方向ベクトルと地面までの接触点までの長さとする (図 2). これにより, デバイスを仮想物体に接触させたとき, デバイスと実物体間の反力が仮想物体の接触感として提示される.

仮想空間内で視認しているデバイスと仮想物体の接触位置の合致に加え, 提案手法による接触感を提示することで, 仮想物体の表面形状を正しく認識でき, 実世界と VR 空間内の感覚のずれを軽減できると考えられる.

また, 本手法では, デバイスと実物体との接触はデバイス先端部の一点のみとなっている. この接触点はデバイスを動かすことで移動できるため, 大型の機器に接続する必要がなく, ユーザの動きを制限せずに仮想物体との接触感を提示することができる. また, 仮想物体をなぞる動作に合わせて先端部を連続的に伸縮させることで, 常に仮想物体の表面からの接触感をユーザに提示することができる. これにより, 仮想物体表面の形状認識精度をより高め, VR 空間内の感覚をさらに実世界のものへと近づけることができる.

^{†1} 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

^{†2} 立命館大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

^{†3} 筑波大学 システム情報系
Faculty of Engineering, Information and System,
University of Tsukuba

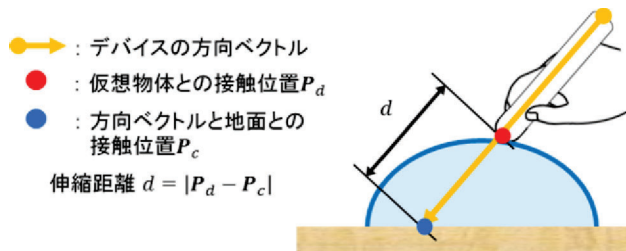


図2 伸縮距離の算出

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3に示す。VR空間内におけるデバイスの位置を取得するために Oculus Touch を使用している。デバイスの伸縮部分については、リニアアクチュエータ (Alps 社製、モータ N フェーダ, RS60N11M9A0E) に 3D プリンタで作製したペン状の先端部と先端部を覆うカバーを取り付けている。使用しているアクチュエータは可動域が 10cm で、1024 段階で位置を指定することができ、速度を 256 段階で変更できる。提示できる反力は、先端部を停止させる力が最大 100N、押し引きする力が最大 50N となっている。先端部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 空間描画用 PC は CPU Intel Core i5-8400、メモリ 16GB、GPU NVIDIA GeForce GTX1080 TI / 11GB GDDR5X を搭載した Windows 10 pro PC を使用した。VR 空間の構築には Unity ver. 5.6.2f1 (64bit)、VR 空間の観察には Oculus Rift CV1 を用いた。VR 空間の提示および伸縮距離の算出、デバイス先端部の駆動は毎秒 90 フレームで行っている。

3.2 デバイス先端部分の伸縮制御モデル

本手法では、デバイス先端部分を伸縮させて仮想物体との反力を表現するため、仮想物体表面でデバイスの伸縮部分を押し留める必要がある。さらに、仮想物体を下向きになぞろうとする場合にはデバイスのめりこみを防ぐために、縮む・押し留めるといった動作を繰り返し、仮想物体表面に沿うようにデバイス先端部分を動かすことでユーザは仮想物体の正確な形状を認識できる。

しかし、強く押し留める (先端部固定)、押し返す (先端部駆動) といった動作が連続して起きると必要以上に強い反力がユーザに提示され、滑らかな仮想物体をなぞっていても、起伏のある形状をなぞっているように感じてしまう。そこで、伸縮距離 d に応じてモータの回転速度 v を滑らかに変化させた。つまり、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、仮想物体表面をなぞるような伸縮距離が小さい場合はモータの回転



図3 先端伸縮機構を有するデバイス

速度を下げることでモータを仮想物体表面に押し留めた状態でなぞることができる。現在のフレームでのモータの回転速度 v は次式(1), (2)によって決定する。

$$v = \alpha \cdot v_{\text{MAX}} + (1 - \alpha) \cdot v_{\text{MIN}} \quad (1)$$

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

v_{MAX} がモータの最高速度、 v_{MIN} が最低速度、デバイス先端部分の最大の長さを l_{MAX} 、伸縮距離を d とする。

4. おわりに

本研究では、VR 空間内の仮想物体とデバイスの接触感を提示する手法を提案した。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、実世界のデバイス先端部を伸縮させ、実世界に配置されている実物体と接触させることで、実際の反力を仮想物体との接触感として提示した。また、この手法を実現するために先端が伸縮する機構を有したデバイスを試作した。提案手法を用いることで、VR 空間内でペイントやモデリングといった作業を行う際に、実際と同じような接触感が得られるため、実世界と同等の感覚で作業を行うことができるようになると考えている。今後は、振動を用いた仮想物体の材質の違いや反力を調節することによる硬軟感を表現することで、よりリアリティのある接触感の提示を目指す。

参考文献

- [1] 3DSYSTEMS Inc., PHANTOM (https://ja.3dsystems.com/haptics-devices/3d-systems-phantom-premium), (2018 年 9 月 12 日)
- [2] 日本バイナリ株式会社, FreeForm (http://www.nihonbinary.co.jp/Products/3DModeling/Freeform.html), (2018 年 9 月 12 日)
- [3] M. Foskey, M. Otaduy, and M. Lin: ArtNova: Touch-Enabled 3D Model Design, Proc. ACM SIGGRAPH 2005 Courses, pp. 188 - 192 (2005)
- [4] S. Kamuro, K. Minamizawa, and S. Tachi: An Ungrounded Pen-shaped Kinesthetic Display: Device Construction and Applications, Proc. WHC2011, pp. 557 - 562 (2011)