



# なぞり感提示を目的とした回転板による 指先触覚提示手法の検討

Pilot study of the presentation of tracing sensation to fingertip using a rotating plate

加藤総真, 須賀悠偉, 宮上昌大, 溝口泉, 梶本裕之

Soma KATO, Yui SUGA, Masahiro MIYAKAMI, Izumi MIZOGUCHI, Hiroyuki KAJIMOTO

電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kato, suga, miyakami, mizoguchi, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**概要:** 指で物体をなぞる際、皮膚は運動方向とは逆向きにせん断変形する。一方で運動方向と皮膚の変形方向に矛盾があっても主観的な臨場感には大きな影響が無いことも知られている。従来からローラー等による皮膚変形でなぞり感を再現する触覚ディスプレイが提案されてきたが大型化してしまう課題があった。我々は前述の知見を活かし、回転する板に指先を接触させて皮膚のせん断変形を生じさせることでなぞり感を表現する手法を提案する。

**キーワード:** なぞり感, 触力覚

## 1. はじめに

VR 環境下で物体のテクスチャを知覚するために、触覚的な手がかりとして指先になぞり感の提示を行う研究が多数行われている。なぞり感を提示する手法としては接触部を左右に動かすもの[1]や回転させるもの[2][3][4]が提案されている。特に後者は現実で物体をなぞる際の皮膚変形を忠実に再現し、かつ継続的な運動に伴うなぞり感を提示することができるため、よりリアリティの高いなぞり感を提示可能であると考えられる。一方でこのようなデバイスは回転するローラーの側面を触るという原理上、曲率を感じさせないために比較的大型になってしまう点が課題となっており、例えばゲームのコントローラーのスティックのような小さいパーツに組み込むことは困難である。

一方で、先行研究から実際にものをなぞる状況を再現せずともなぞり感を知覚できる可能性が示唆されている。Yem ら[5]はなぞり運動時の皮膚せん断変形方向がリアリティに大きな影響を及ぼさないことを明らかにし、堀江ら[6]は背部に対する回転刺激の方向を識別することが困難であることを明らかにした。

そこで、本稿では前述の知見を活かし、回転板を用いてなぞり感を提示する手法について検討する(図1)。この

手法は回転する板自体に指を載せるというものでありシンプルな機構でありながら、継続的になぞり感を提示可能であることが期待される。ただし本来なぞり動作は並進運動であるのに対して回転運動であるため、リアリティのあるなぞり感を提示可能となるかという疑問があり、本稿はこの点について特に検証する。

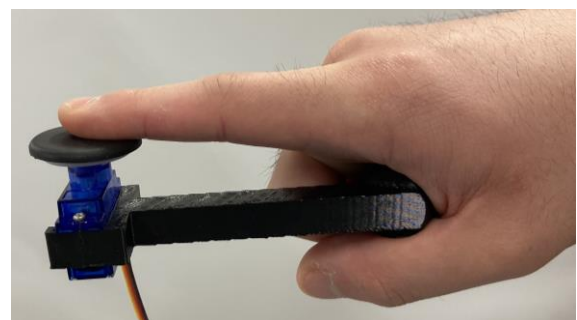


図 1 提案手法：回転板によるなぞり感提示

## 2. デバイス構成

本手法について検討するため、図1および図2に示すプロトタイプデバイスを作成した。把持部及びアーム部はABS製であり、把持の際はアーム部に人差し指を沿わせる。アーム部の先端には無限回転式サーボモータ(SG90-HV, Tower Pro)が搭載されており、その出力軸に3D

プリンタ用レジン製 (Standard Resin Black, Formlabs Inc) の直径 30mm の円板が取り付けられている。この円板の中心に指先を接触させ、円板の回転により指腹にせん断刺激を提示する。

アクチュエータの制御はマイコン (ESP-WROOM-32) で行っており、マイコンは PC と接続されシリアル通信によってデータを受信可能な状態となっている。マイコンは PC から手の速度を受信し、その値に応じてアクチュエータを駆動させる。

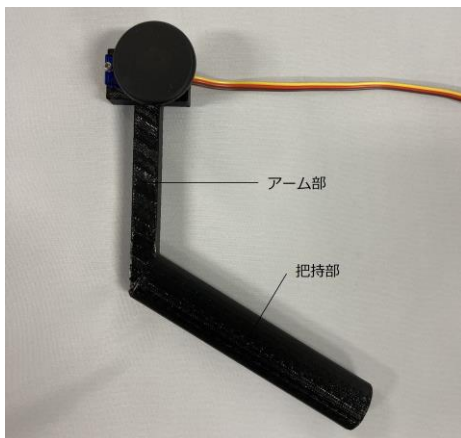


図 2 デバイスの外観

### 3. 実験

#### 3.1 目的

本手法の有効性を検証するために、実物の板をなぞった際の感触を基準としてデバイスによるなぞり感のリアリティを評価する実験を行った。また実験を行うにあたって、次の仮説を立て、検証した。

- 仮説 1: 本提示手法ではなぞり運動方向及び回転方向によるリアリティの差は小さい。
- 仮説 2: 人は指先での回転刺激の方向を識別できない。

#### 3.2 条件

実験参加者は男性 9 名、女性 1 名の計 10 名 (21 歳～27 歳) とした。参加者にはヘッドホン (QuietComfort30, Bose) および再帰性反射マーカ (OptiTrack, Acuity Inc.) が搭載された指抜きグローブを右手に装着するよう指示した。刺激提示時、実験担当者は参加者が装着したヘッドホンにホワイトノイズを提示し、目を閉じるよう指示した。実験の様子を図 3 に示す。

参加者はあらかじめ、押下力を 50g 程度に統制するために計量器で練習を行った。押下力は、事前に著者 1 名を含む 3 名のなぞり運動時の押下力を基に設定した。

押下力の練習後、参加者は指定された方向で 100mm × 30mm のデバイスの円板と同素材の板を指でなぞり、その感触をもっともリアルな刺激として記憶した。次に、参加者はデバイスを把持してなぞり運動を行った。なぞり運動中に指の移動速度と円板の円周上の速度が一致するように円板が回転し、なぞり感が提示された。このときの指の移動速度は、光学式モーションキャプチャ (OptiTrack Duo, Natural Point Inc.) によってトラッキングした手の位置変化より算出した。参加者は提示されたなぞり感のリアリティを 7 段階のリッカート尺度 (1: 全くリアルでない～7: 実物と同程度) で回答した。実験はなぞり運動方向 (前後左右) 4 条件 × 回転刺激 (無回転, 時計回転, 反時計回転) 3 条件の計 12 条件について行った。なぞり運動は右左前後の順で行い、回転刺激の方向はランダムに提示した。実験終了後、参加者は全体として提示された回転刺激の方向を識別できたかどうかについて回答し、加えて実験に対して自由にコメントした。



図 3 実験の様子

#### 3.3 結果

図 4 に実験結果を示す。どのなぞり方向においても、刺激の無い条件が最も低いリアリティとなった。

このデータに対して整列ランク変換分散分析 [7] を行ったところ、交互作用は見られなかった。回転刺激に関しては、無回転条件と有回転条件 (時計回転・反時計回転) 間に

有意差( $p < 0.001$ )が見られた。またなぞり方向に関しては前なぞり・後なぞり間にのみ有意差( $p < 0.05$ )が見られた。

また、被験者のコメントから、回転方向をほぼ識別できた参加者は4名、方向によっては識別できた参加者は5名、まったく識別できなかった参加者は1名だった。しかし、多くの参加者は識別できたかどうかはリアリティ評価にそこまで影響していないと回答した。

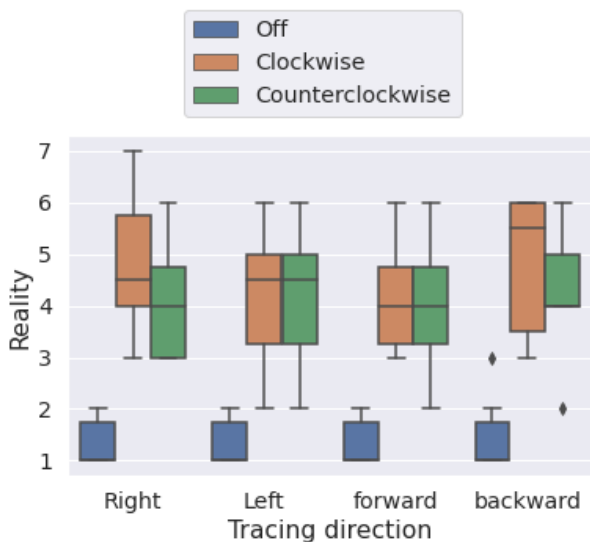


図 4 条件ごとのリアリティ評価結果

#### 4. 考察

実験結果から、個人差は大きいものの本手法はあらゆる方向に対して同程度のリアリティのなぞり感を提示可能であることが示唆され、仮説 1 が支持された。これは円板の接触があらゆる方向への皮膚せん断変形を引き起こすためであると考えられる。

一方、刺激がある条件でのリアリティの中央値はおおよそ 4~5 の範囲にとどまり、仮説 2 に反して回転方向を識別できた参加者が多かったが、これはデバイスの把持状態に起因する可能性がある。今回の実験では円板の上に指先が固定されておらず、比較的自由的な状態だった。加えて閉眼状態で実験を行ったため、多くの参加者は指先が円板の中心からずれてしまっていた。このことが皮膚歪みの偏りを生じさせ、結果として不自然な方向の条件でリアリティを下げたしまい、さらには回転方向の識別を容易にしてしまったと考えられる。また、アーム部の長さを大半の被験者の人差し指の長さと比較して大きく設計してしまっていたことから、接触箇所が円板の手前側

に偏ってしまい、こちらも同様に皮膚歪みの偏りを生じさせてしまったと考えられる。

加えて前なぞり・後なぞり間には有意差( $p < 0.05$ )が見られたが、これは日常的な慣れ及びデバイスへの慣れに起因する可能性がある。参加者からは、感覚的に後なぞりの方がリアルに感じた、デバイスへの慣れによる、といったコメントが寄せられた。前者に関しては、日常的ななぞり動作としては前なぞりよりも後なぞりの方が多い傾向にあることが影響していると考えられる。後者に関しては、実験の順序が右左前後に固定されていたことに起因しており、今後の実験では順序をランダムにするなどの対応をすべきであると考えられる。

我々は本実験結果よりデバイスの設計による皮膚の偏りがリアリティ低下の要因であると考察した。今後は指先が円板の中心上に固定されるようなデバイスを設計することで皮膚の偏りを無くすことを目標とする。これによりリアリティの高いなぞり感を提示可能になることが期待できる。また、今回は円板の回転方向を視覚情報として実験参加者に与えないために閉眼を指示したが、手の運動方向を視覚情報として得ることで触覚の重要度を下げ、なぞり感に関する違和感を軽減できる可能性があり [5]、その点についても検証を行う必要があると考えられる。

#### 5. おわりに

本稿では、なぞり感提示を目的とした回転板による指先触覚提示手法を提案し、その有効性を検証するための実験を行った。実験結果及び参加者コメントから、本手法を用いることであらゆる方向に対してリアリティのあるなぞり感を提示できることが示唆された。今回使用したデバイスの機構上の問題点を改善することでリアリティが向上する可能性がある。今後は本実験で明らかになったデバイスの問題点を改善するとともに、回転速度や触覚テクスチャ、視覚情報といった他の要素による影響についての検証を進めていく。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP18H04110 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

[1] V. Yem, R. Okazaki, H. Kajimoto, "FinGAR: Combination

- of Electrical and Mechanical Stimulation for High-Fidelity Tactile Presentation” Proc. SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies, 2016
- [2] E. Whitmire, H. Benko, C. Holz, E. Ofek, and M. Sinclair, “Haptic Revolver: Touch, Shear, Texture, and Shape Rendering on a Reconfigurable Virtual Reality Controller,” Proc. CHI '18, 2018
- [3] J.-Y. Lo, D.-Y. Huang, C.-K. Sun, C.-E. Hou, and B.-Y. Chen, “RollingStone: Using Single Slip Taxel for Enhancing Active Finger Exploration with a Virtual Reality Controller,” Proc. the 31st Annual ACM Symposium, 2018
- [4] M. J. Kim, N. Ryu, W. Chang, M. Pahud, M. Sinclair, and A. Bianchi, “SpinOcchio: Understanding Haptic-Visual Congruency of Skin-Slip in VR with a Dynamic Grip Controller,” Proc. CHI '22, 2022
- [5] V. Yem, M. Shibahara, K. Sato, and H. Kajimoto, “Expression of 2DOF Fingertip Traction with 1DOF Lateral Skin Stretch,” in AsiaHaptics conference, 2018
- [6] 堀江新, 稲見昌彦, “背部にひずみ分布を提示する回転接触子アレイの基礎的検討”, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019
- [7] J. O. Wobbrock, L. Findlater, D. Gergle, and J. J. Higgins, “The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures,” Proc. CHI '11, 2011