



各指先接平面の動的な傾き操作による剛性・慣性提示

太田 裕紀¹⁾, 平尾 悠太郎¹⁾, ペルスキアエルナンデス モニカ¹⁾, 内山 英昭¹⁾, 清川 清¹⁾

Hiroki OTA, Yutaro HIRAO, Monica PERUSQUÍA-HERNÁNDEZ, Hideaki UCHIYAMA, and Kiyoshi KIYOKAWA

1) 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 (〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, {ota.hiroki.oc6, yutaro.hirao, m.perusquia, hideaki.uchiyama, kiyo}@is.naist.jp)

概要: 本研究では指先が触れる面の傾き (指先接平面) を動的に操作する触力覚提示システムを提案する。本システムは、3つのサーボモータと圧力センサを内蔵し、小型 (75x55x50 mm) かつ軽量 (125 g) なフォームファクタでありながら、把持した物体の剛性・重心位置の変化・慣性といった多彩な触力覚提示機能を実現した。さらに、本システムを用いて水の入ったボトルを把持・操作する VR 体験を実装した。提案システムはコンパクトな装置で豊かな力覚フィードバックを可能にする新たなアプローチとして期待される。

キーワード: 剛性, 慣性, 指先接平面

1. はじめに

物体を把持・操作するとき、手先動作に伴って知覚される「形状・剛性・重量」などの多彩な触力覚情報は、我々の日常生活においてありふれた情報である。しかし、こういった触力覚情報を伴ったバーチャルリアリティ (Virtual Reality, VR) 体験は未だ実現に至らず、複数のアプローチで研究開発が進められている。触力覚提示装置は、その装置形態から接地型と非接地型に大別できる [1]。非接地型の触力覚提示装置は接地型と比較して広いインタラクションスペースを提供できる利点がある。特に指先の皮膚感覚刺激については、近年の技術進展により高解像度のピンアレイや電気刺激手法、広周波数帯域の振動子が開発され、感覚提示手法が確立されつつある。一方で、深部感覚を伴う把持力覚の提示についてはデバイス容積と出力のトレードオフといった課題が残る、コンパクトなフォームファクタで多彩な触力覚を提示可能な手法が必要とされている。

この課題に対し本研究では、主に形状知覚においてその重要性が知られる [2]、指先接平面に着目した触覚提示システムを開発した。本システムの概略図を図 1 に示す。本システムでは、ユーザーの手先動作と指先に込める力に応じて各指先接平面の傾きを操作することで、把持物体の剛性・重心位置の変化・慣性を提示する。

2. 各指先接平面の傾き操作システム

図 2 に、開発した触力覚提示装置を示す。また、装置の基本情報を表 1 に示す。

まず、装置のハードウェア構成について述べる。本装置は各指先接平面の傾きを操作するため、3つのシリアルサーボモータ (XC330-M288-T, Dynamixel) を搭載する。各サーボモータとフィンにはギア比 1:1 のギアによって接続され、

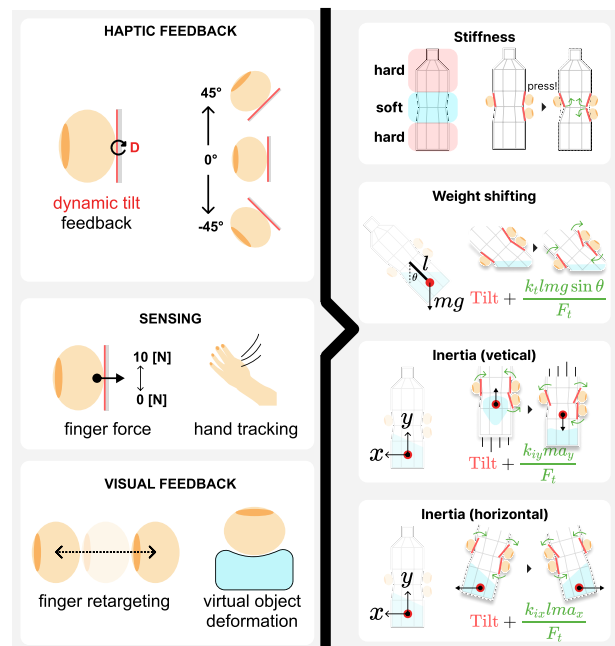


図 1: 提案手法の概略図。ユーザーの手先動作と把持力に合わせた動的な指先接平面の傾き操作によって剛性・重心位置の変化・増強された慣性を提示する。

サーボモータの回転角度と等しい角度でフィンが回転する。現在の設計において、フィンの稼働範囲は中立時を基準として $\pm 45^\circ$ である。フィンは幅 20 mm、長さ 36 mm とした。フィンと外殻部品は PLA 樹脂を使用した 3D プリント部品である。

電源として、標準電圧 3.7 V、電源容量 500 mAh のリチウムイオンポリマバッテリーを搭載する。バッテリーはマイクロコントローラと昇圧回路に電源電圧を供給する。サーボモータに電源を供給する昇圧回路には高効率ブーストコンバー

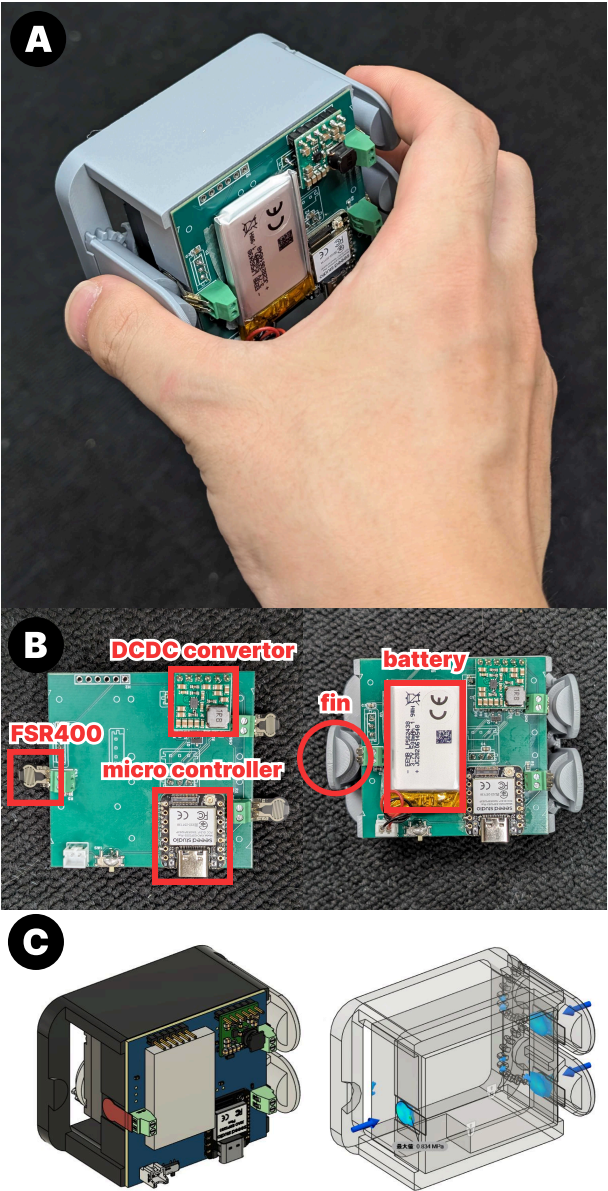


図 2: 開発した触力覚提示装置. (A) 本装置は母指・示指・第三指で対向把持して使用する. (B) 本装置は電源・センサ・駆動部品・制御装置を内包する. (C) 各指に込めた力をフィン下部に配置した圧力センサによって計測する.

タである U3V40F5 を搭載した 5V 昇圧レギュレータ (5V Step-Up Voltage Regulator U3V40F5, Pololu) を採用した. この昇圧レギュレータは, 瞬間最大入力 9.5 A, 安定入力 4 A の電力供給に対応する.

ユーザが各指先に込める力を計測するため, 各フィンの下部に圧力センサ (FSR400, Interlink Electronics) を配置している. 電源電圧として 3.3 V を供給し, 分圧抵抗として 3.3kohm を用いて, 0N to 10N のセンシングレンジを実現した. 設計時に Autodesk Fusion の静的応力解析を適用し, 指先に込めた力が圧力センサに働くように機構を設計した.

次に, システム全体の構成について述べる. マイクロコントローラでは, ユーザが指先に込めた力の計測・ホストコ

表 1: 提案装置の基本情報

Variable		Value
General	Dimensions	75 × 55 × 50 mm
	Weight	125 g
	Power Draw	5 V 3.6 A (max)
Rendering	Max motor speed	81 rpm
	Position Control	1000 Hz PID Loop
Input	Force Sensing Range	0.1 N to 10 N

ンピュータとの通信・指令角度へのサーボモータ制御指令を実行している. ユーザが指先に込めた力は, 圧力センサによって抵抗値として計測され, マイクロコントローラに搭載されている 12 bit 精度アナログデジタルコンバータによって 4096 段階の整数値に変換される. この数値は窓幅 5 の中央値フィルタと事前に計測した Unity へと送信される. ホストコンピュータ上で実行される Unity では, ユーザの手先位置・姿勢・加速度・指先に込めた力の強さに応じて各指先接平面の傾きを計算し, 触力覚提示装置へと送信する. また, Unity は VR 映像をレンダリングし, ユーザが装着するヘッドマウントディスプレイに表示する.

これらのシステムにより, 触力覚を伴って水の入ったボトルを把持・操作する VR 体験を実現する. 図 3 に VR 体験の様子を示す.



図 3: 触力覚を伴って水の入ったボトルを把持・操作する VR 体験.

3. おわりに

本論文では, 各指先接平面の方向操作によって多彩な力覚提示を実現する触力覚提示システムを提案した. 今後は各触力覚提示機能についてより詳細な調査を実施する. 謝辞本研究は, NAIST Granite Program の補助のもと実施された.

参考文献

[1] Adilzhan Adilkhanov, Matteo Rubagotti, and Zhanat Kappassov. Haptic devices: Wearability-based taxonomy and literature review. *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 91923–91947, 2022.

[2] Maarten WA Wijntjes, Akihiro Sato, Vincent Hayward, and Astrid ML Kappers. Local surface orientation dominates haptic curvature discrimination. *IEEE transactions on haptics*, Vol. 2, No. 2, pp. 94–102, 2009.