

指先の触覚を身体の他部位に転移させるデバイスの開発

— 人間の能力を拡張する触覚転移 —

1. 背景

近年 VR 環境中での触覚情報の提示を試みる研究が盛んに行われており、その主なターゲットは指である。しかし、指に対して多自由度の力触覚や温感等の触覚情報を提示した上で、指の動きを妨げないデバイスの開発が実現困難であるという問題がある。そのため、指に対する一般的に使用可能な触覚提示デバイスは開発されていない。

また、指は最も触覚受容器の密度が高い身体の一部であり、物体に触れた時の質感や形状、重さといった、作業の際に必要な情報に対する触知覚能力が非常に高い部位である。しかし、触覚知覚能力は加齢とともに劇的に低減されていく事が知られており、特に指先の触知覚能力の鈍化は顕著に表れる。そして、高齢化に伴う触知覚能力の低減が比較的穏やかな身体部位(例えば背中)に指先の感覚を転移させることで、この問題を解決するような試みは存在しない。

2. 目的

本プロジェクトでは、これらの問題を解消するために、144 個の振動子を用いて VR 環境中の物体に指先で触れた際に加わる力の情報を直接指先に提示せず、他部位に提示(触覚転移)する事を提案する。指先を背部にマッピングする事により、分散された触覚情報の提示が可能になり、物体の形状やエッジなどの触覚が提示できると考えられる。同時に、指のトラッキングの妨げになる事なく、指の触覚情報を背部に提示する事が可能になる。

更に、現実世界の指先の触覚を、振動子を用いて背中に転移するデバイスを提案し、指先の触知覚能力を背中で復元する事を試みる。指先から得ることができる微細な刺激を、背中などの別部位に転移する事で、指先の触知覚能力を強力に支援することができると考えられる。将来的には、現実世界での作業支援やリハビリ、教示やナビゲーションといった様々な分野への応用を想定する。

3. 開発の内容

本プロジェクトでは 2 つのベスト型のデバイスを開発した。2 つのベスト型デバイスは提示できる触覚情報の質に差がある。また、指先の圧点がセンシング可能なグローブ型センシングデバイスを用意し、ファームウェアを開発した(図 1)。

一つ目は“Simple is Vest”である。Simple is Vest は、偏心モータをベースに試作したデバイスである。偏心モータを使用しているため、常に一定の周波数でしか駆動する事ができず、振幅も一定である。しかしながら、偏心モータや、部品点数が少ないため安価に開発されており、記号的な触覚で十分に触覚転移が応用できるコンテンツには、Simple is Vest で十分だと考えられる。

二つ目は“HARVEST”である。HARVEST は Simple is Vest と比較すると高価である。アクチュエータを偏心モータからフォースリアクタに切り替えたためである。フォースリアクタは偏心モータと異なり、制御次第では周波数も振幅も自由自在に制御できる。つまり、よりリッチな触覚を情報として伝える事ができる。



図 1:開発した2つのベスト型デバイス

どちらのベストも、モータを 144 個使用しており、50mm の等間隔で設置した。背部の二点弁別閾は 50mm とされており、振動刺激を提示する部位をこの二点弁別閾と同等の間隔にした。このベストは 4 つのプロトタイプを経て出来上がったベストである。振動子はマクロコントローラ(ESP32)を通じて 18 個の 8bit-シフトレジスタ(TPIC6B595)に接続されており、144 個の振動子を独立して駆動する事が可能である(図 2)。

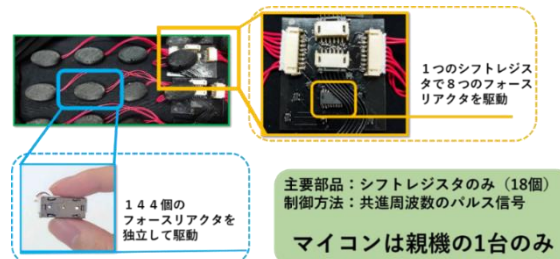


図 2:HARVEST のハードウェア構成

図 3 に試作使用したセンシンググローブの外観を示す。指の腹の位置に、超小型の圧力センサ(2mm×2mm)を 100 個組み込んでおり、親指と人差し指に対応している。指先の弁別閾は 2mm から 3mm であり、デバイスの圧力センサの個数は指先が弁別できる圧点数と同等、或いはそれ以上になる。この圧力センサはベスト型デバイスのフォースリアクタと空間的に対応している。また、圧点の解像度は 255 分解能である。圧力と同時に、温度も検知が可能であり、今後の予定として指先が知覚する温度情報も背部に提示予定である。これは日本メクトロン株式会社の協力の下、特注で作成した圧力センサを実装し、HARVEST と連動させたものである。



図 3:グローブ型センシングデバイスの外観

3.1. Simple is Vest の特徴

Simple is Vest は偏心モータを使用しているため振幅は HARVEST より大きく、振動感覚が知覚しやすい。また、VR 空間内での新たな触覚提示手法の提案として開発しているため、提示できる触覚の質やアクチュエータ特有の遅延もあまり気にならない。実際に様々な場所でのデモ展示を通じ、新たな触覚提示手法の一つとして、受け入れられるとの回答を得た。また、指先と背部の対応付けも困難ではなく、トレーニングを行う時間も 1 分以内で、体験に慣れていく様子が見て取れた。このベストは力の大きさは提示する事はできないが、VR 空間内での物体を把持、作業するというコンテキストでは有効である事が示唆された。

3.2. HARVEST の特徴

HARVEST の最大の成果は、知覚しにくい繊細な作業にベストを用いる事で、その作業ができるようになることである。これはアクチュエータの振動の強さと、周波数を可変にしたことに起因する。ここでは、被験者 4 人に、「目を閉じた状態から利き腕で箸を使用し、絹ごし豆腐をつまみ、持ち上げてもらう」動作が可能かどうか実験した(図 4)。



図 4: 目を閉じた状態から利き腕で箸を使用し、絹ごし豆腐を持ち上げる実験

まず、HARVEST とセンシンググローブ(以下、実験装置という)を使用していない状態で実験した。その結果、全員が絹ごし豆腐を持ち上げる事ができなかった。絹ごし豆腐はとても柔らかく、目を閉じた状態だと持ち上げることは困難であった。次に、実験装置を使用した状態で実験した。HARVEST の特徴は、微細な触覚情報でも拡大拡張して背部に提示できる事である。4 人中 3 人が、目を閉じた状態で絹ごし豆腐を持ち上げる事ができた。これは、HARVEST の目標とする、指先の触覚能力の引き上げが達成できたといえる。

最後に、「目を閉じた状態から利き腕とは逆の手で箸を使用し、絹ごし豆腐をつまみ、持ち上げてもらう」動作が可能かどうか実験した(図 5)。当初、利き腕とは逆の手で箸を使うため、絹ごし豆腐を持ち上げる事はできなかった。しかし、実験装置を使用することで、絹ごし豆腐を崩さず持ち上げる事ができた。



図 5: 目を閉じた状態から利き腕とは逆の手で箸を使用し、絹ごし豆腐を持ち上げる実験

以上の実験結果から、指先から得ることができる微細な振動刺激を、背中などの別部位に転移する事で、指先の触知覚能力を強力に支援できる事を実証することができた。

4. 従来の技術(または機能)との相違

従来の触覚転移の研究、デバイスは、他部位よりも指先の二点弁別閾が低いため、空間解像度が低いものであった。本プロジェクトでは、背中の大面積に振動子を大量に配置する事で、手掌部の触覚情報を十分に高い解像度で提示できる。また、VR 空間内でのコンテンツ体験中に指や身体の動作を妨げない。さらに、手先の触知覚能力を「本来よりも引き上げる」という人間能力の拡張も可能である。

5. 期待される効果

本システムにより、シースルー型の頭部搭載型ディスプレイでは、指のトラッキングロスがなく、指先の触覚提示が可能になり、一層豊かなコンテンツの体験が実現できる。

また、リハビリやアクセシビリティ分野での効果が期待できる。指先の触覚知覚能力は加齢とともに劇的に低減されていく。器用な作業の実施が高齢者は困難である原因の一つと考えられる。本システムにより、指先から得ることができる微細な振動刺激を、背中などの別部位に転移する事で、指先の触知覚能力を支援する事ができれば、高齢化社会の課題に対する一つのアプローチになりうると考えられる。

6. 普及(または活用)の見通し

本システムの利用シーンとして、VR エンタテインメント施設、またはイベント展示の利用を考えている。また、触覚転移技術の普及をリードするにあたり、論文発表やデモ展示、開発者用キットなどを製作し、頒布する事で、活用を見出していく。

7. クリエータ名(所属)

森山 多霸(電気通信大学)