

### 1. 担当 PM

稲見 昌彦（東京大学 先端科学技術研究センター 教授）

### 2. クリエータ氏名

森山 多霸（電気通信大学）

### 3. 委託金支払額

1,888,000 円

### 4. テーマ名

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

### 5. 関連 Web サイト

なし

### 6. テーマ概要

近年 VR は低価格な頭部搭載ディスプレイ等が入手可能になったことから、広く普及しつつある。特に VR 環境中での触覚情報の提示を試みる研究は数多く存在し、その主なターゲットは指である。そのため、指先に触覚情報を提示するデバイスが数多く発表・発売された。しかしながら、これらのデバイスは幅広く社会に浸透しきれていない。これは、指に対して多自由度の力触覚や温感等の様々な触覚情報を提示した上で、指の動きを妨げないデバイスが実現困難なことが一因である。これは主にデバイスどうしの干渉など、アクチュエータによって生じる制約が大きいため、未だに一般的に使用できる触覚提示デバイスは開発されていない。

そこで本プロジェクトでは、VR 空間内においては、指先で触れた触覚情報は必ずしも指先に提示する必要は無いのではないかと仮定する。指先の触覚提示位置を指先に限定しないことで、アクチュエータの問題が解決でき、提示できる触覚情報が限定されずに済む。同時に、初めは不自然で違和感が生じたとしても、トレーニングを行うことによって違和感が軽減でき、触覚提示デバイスとしての納得感が得られるのではないかと考える。

本プロジェクトでは、指先への触覚提示手法の問題点に対し、指先への触覚を身体の他部位、特に背中に転移させる手法を実現し、これが有効であるという仮説を検証した。また、その有効性を証明するための VR コンテンツを併せて制作した。

## 7. 採択理由

現在バーチャルリアリティの分野では触覚提示技術が大きなトピックスになっている。本提案は実際に VR 物体と相互作用する部位と、触覚を提示する部位を分離している点に独自性があり、そのことにより設計の自由度を高め、装着性の向上や安価な実装に資することが想定される。物体に触れた情報の単なるフィードバックにとどまらない、新たな感覚呈示技術に繋がることを期待した。

## 8. 開発目標

本プロジェクトでは、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、指先の触覚能力を強力に支援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。

## 9. 進捗概要

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。

1 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。

2 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）。

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。このベストは四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 1 : (左) Simple is Vest、(右) HARVEST

試作使用したセンシンググローブの外観を図 2 に示す。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に協力していただき、特注で圧力センサを作成して頂いたものをインプリし、HARVEST と連動させたものである。



図 2 : センシンググローブ

## Simple is Vest

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一分以内で、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。

## HARVEST

HARVEST の最大の特徴は、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。

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、指先の触知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。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。

以上の実験結果から、指先から得ることができ微細な振動刺激を、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した。

## 10. プロジェクト評価

現在 VR の分野では触覚提示技術が大きなトピックスとなっている。本提案は指先など VR 物体と相互作用する部位と、その触覚を提示する部位を分離している点に独自性があり、プロトタイプの試作を繰り返すことにより、設計の自由度を高め、装着性を向上し、安価に実装することに成功した。

本プロジェクトは物体に触れた情報の単なるフィードバックにとどまらない、新たな感覚提示技術に繋がる事が期待できる。

## 11. 今後の課題

本プロジェクトは、触覚転移という新たな手法を開発し、複数の試作品とともに従来の触覚提示では困難なタスクを達成し、論文化も行っている。つまり、研究課題としては大いに成功している。しかしながら、このシステムをクリエイターが目指しているリハビリやアクセシビリティ分野などに適用するためにはさらなるハードルを越える必要があると考えられる。