

# VRにおける視線インタフェースへのファントムセンセーションを用いた触覚フィードバックの提示

平井 李音\* 志築 文太郎†

**概要.** 近年, VR および AR 用の Head Mounted Display (以下, HMD) に視線トラッキング機能が実装されるようになり, コントローラや手指を用いずとも視線によって仮想オブジェクトとインタラクション (例えば, 仮想オブジェクトを注視することによるポインティング) を行えるようになった. しかし, そのインタラクションにおいて触覚フィードバックは提示されない. そこで, 我々は HMD とユーザ前頭部の密着部分に 4 つのリニア共鳴アクチュエータを装着し, ユーザが仮想オブジェクトを注視した際にアクチュエータを振動させることによって触覚フィードバックを提示する手法を提案した. さらに, ファントムセンセーションを用いることにより, 少数のアクチュエータにて注視している仮想オブジェクトの状態 (例えば, ユーザとの距離, およびオブジェクトの重要度) に応じた多様な触覚フィードバックを提示できる.

## 1 はじめに

Virtual Reality (以降,VR) および Augmented Reality (以降,AR) 環境において, ユーザは専用の Head Mounted Display (以下, HMD) からディスプレイによって視覚, 内蔵スピーカによって聴覚に対してフィードバックを得ることができ, 専用のコントローラを用いることにより振動による触覚フィードバックを得ることもできる. しかし, こうした触覚フィードバックは, コントローラと VR 環境内の仮想オブジェクトのインタラクションによるものに限定されることが多い.

近年, VR および AR 用の HMD に視線トラッキング機能が実装されるようになり, コントローラや手指を用いずとも視線によって仮想オブジェクトとインタラクション (例えば, 仮想オブジェクトを注視することによるポインティング) を行えるようになった. しかし, このようなインタラクションにおいて提示されるフィードバックは HMD による視覚および聴覚へのフィードバックに限定される.

この問題を解決するために我々は, HMD とユーザ前頭部の密着部分へリニア共鳴アクチュエータ (以降, LRA) を装着し, LRA を振動させることによりユーザが仮想オブジェクトを注視した際に, ユーザに対して触覚フィードバックを提示する手法を提案する. さらに, ファントムセンセーション (以降, PhS) を用いることにより, 少数の LRA にて注視した仮想オブジェクトの状態に応じた多様な触覚フィードバックを提示できるようにした.

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

\* 筑波大学 情報理工学位プログラム

† 筑波大学 システム情報系

## 2 関連研究

本節では, 視線インタフェースを用いた入力に対して触覚フィードバックを提示する研究, および VR 環境における振動による触覚フィードバックを提示する研究について述べる.

### 2.1 視線インタフェースを用いた入力に対する触覚フィードバック

Kangas らは, 視線ジェスチャとモバイルデバイスの振動による触覚フィードバックを組み合わせる手法を提案し, 視線ジェスチャによる入力が高速かつ快適になることを示した [2]. 同じく Kangas らは, 視線トラッキング可能なスマートグラスを用いた視線ジェスチャと振動による触覚フィードバックを組み合わせることにより, 視線ジェスチャを高速化する手法を提案した [3].

これらの研究では, 振動による触覚フィードバックが単一的であり, 視線インタフェースによりインタラクションを行った仮想オブジェクトの状態 (例えば, 仮想オブジェクトとユーザ間の距離, 仮想オブジェクトの重要度など) に基づいた触覚フィードバックを提示しない. 我々の手法は, 視線インタフェースによりユーザが注視している仮想オブジェクトの状態に基づいた多様な触覚フィードバックを提示する.

### 2.2 VR における振動による触覚フィードバック

これまでに, VR および AR 環境において振動による触覚フィードバックを提示する研究は数多く行われており, 専用のコントローラにも振動による触覚フィードバックを提示する機能が搭載されている. 田辺らは, LRA を用いて手全体に触覚フィードバックを提示するグローブを開発した [4]. また, Preechayasomboon らは, VR および AR 環境のハ

ンドトラッキングアプリケーションに対して振動による触覚フィードバックを提示する、指へ装着するウェアラブルかつワイヤレスな触覚デバイスを提案した [5].

これらの研究では、ハンドトラッキングされた手指と仮想のオブジェクトのインタラクションに対して触覚フィードバックを提示するものであり、近年 VR 用 HMD に内蔵されるようになった視線インタフェースに対して触覚フィードバックを提示するものではない。また、触覚フィードバックのためにグローブないしウェアラブルデバイスといった専用の追加デバイスを必要とする。一方、我々の手法は、VR 環境における視線ポインティングに対して触覚フィードバックを提示するものであり、実装したシステムは HMD へ内蔵することが検討可能なため、将来的には追加のデバイスを使うことなくユーザへ触覚フィードバックを提示することができる。

### 3 実装

本節では、今回、我々が実装した VR 環境において視線インタフェースに触覚フィードバックを付与する手法を述べる。

#### 3.1 システム構成

本研究において用いた HMD はアイトラッカを標準で内蔵している HTC VIVE Pro Eye であり、コンピュータは HP OMEN by HP 16-c0161AX である。アプリケーションは Unity にて C# を用いて実装した。また、振動の提示には LRA (LD14-002, 日本電産コバル電子株式会社製) を、LRA の振動の制御には Arduino Uno を用いている (図 1)。計 4 つの LRA を HMD および頭部が接触する額部分へ図 2 の通りに貼り付けることにより、ユーザの額に対して触覚フィードバックを提示する。

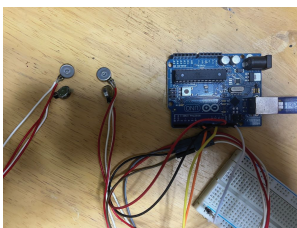


図 1. Arduino Uno および LRA.



図 2. HMD に LRA を貼り付けた様子。

#### 3.2 アプリケーション

以下に、多様な触覚フィードバックを提示するために用いる、および PhS を用いた触覚フィードバックの提示例を述べる。

##### 3.2.1 ファントムセンセーション

少数の LRA によって多様な触覚フィードバックを提示するために、振動の錯覚現象である PhS [1] を用いる。PhS とは、皮膚上の 2 点に対して同時に同じ強度の振動を提示した際に、ユーザは 2 点の間における単一の振動として知覚する錯覚現象である (図 3 A)。なお、振動を提示する 2 点において提示する振動の強度を変えた場合、ユーザは強い振動を提示した点に近い場所に対して単一の振動を感じる (図 3 B)。これを用いることにより、少数の LRA によって注視している仮想オブジェクトの状態に応じた多様な触覚フィードバックを提示できると考える。

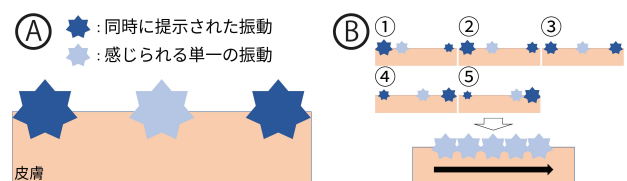


図 3. A : PhS のメカニズム. B : 提示する振動の強度を変化させ知覚される振動の場所を制御する様子。

##### 3.2.2 触覚フィードバックの提示例

PhS を用いた仮想オブジェクトの状態に応じた多様な触覚フィードバックの提示例を以下に示す。

- ユーザと仮想オブジェクト間の距離  
仮想オブジェクトを注視している間、その仮想オブジェクトとユーザ間の距離が近いほど側頭骨に近い方の LRA の振動を大きくする。
- 視線と仮想オブジェクト中心間の距離  
仮想オブジェクトを注視している間、その視線と仮想オブジェクト中心間の距離が近いほど眉間に近い方の LRA の振動を大きくする。

### 4 おわりに

本稿では、VR 環境下の視線ポインティングにおいて、少数の LRA によって注視した仮想オブジェクトの状態に応じた多様な触覚フィードバックを提示する手法を提案した。また、この手法のために実装したシステムは LRA の制御を HMD で行うことが可能となれば HMD へ内蔵できるため、将来的には追加のデバイスを使うことなくユーザへ触覚フィードバックを提示することができる。

今後は、今回実装したシステムを用いて、提示される触覚フィードバックからユーザが注視している仮想オブジェクトの状態を正確に判別可能かを調査する。その後、より最適な触覚フィードバックを模索および議論し、それを用いることにより視線インタフェースを用いたポインティングタスクにおける影響を調査する。

## 謝辞

本研究は科学研究費助成事業 21H03472 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] D. S. Alles. Information Transmission by Phantom Sensations. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11(1):85–91, 1970.
- [2] J. Kangas, D. Akkil, J. Rantala, P. Isokoski, P. Majaranta, and R. Raisamo. Gaze Gestures and Haptic Feedback in Mobile Devices. 04 2014.
- [3] J. Kangas, J. Rantala, D. Akkil, P. Isokoski, P. Majaranta, and R. Raisamo. Vibrotactile stimulation of the head enables faster gaze gestures. *International Journal of Human-Computer Studies*, 98:62–71, 2017.
- [4] P. Preechayasomboon and E. Rombokas. Haplets: Finger-Worn Wireless and Low-Encumbrance Vibrotactile Haptic Feedback for Virtual and Augmented Reality. In *Frontiers in Virtual Reality*, 2021.
- [5] K. TANABE, S. TAKEI, and H. KAJIMOTO. Development of the Whole Hand Haptic Feedback Glove Using Numerous Linear Resonant Actuators (II) : 3D shape discrimination with vibration feedback. *The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)*, 2015, 2015.