



屋外空間におけるインタラクションを可能とする 装着型触覚デバイスの基礎検討

Basic Study of a Wearable Haptic Device for Interaction in Outdoor Spaces

山本絢之介¹⁾, 前田智祐²⁾, 吉村貴克²⁾, 中西悟²⁾, 堺浩之²⁾, 堀江新¹⁾, 南澤孝太¹⁾
Junnosuke YAMAMOTO, Tomosuke MAEDA, Takayoshi YOSHIMURA, Satoru NAKANISHI,
Hiroyuki SAKAI, Arata HORIE, and Kouta MINAMIZAWA

- 1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, j.yamamoto, a.horie, kouta@kmd.keio.ac.jp)
- 2) 株式会社豊田中央研究所 (〒 480-1192 愛知県長久手市横道 41-1, tmaeda, yoshimura, nakanishi, sakai@mosk.tytlabs.co.jp)

概要: 近年, 視覚・聴覚に関するデバイスは, ユーザの場所に依存せずに使用可能な軽量かつウェアラブルな形へと変化している. 例えば, HMD は VR 空間と実空間のシームレスなインタラクションを実現しつつある. 一方で, 触覚デバイスについては可搬性や装着性を考慮した開発は未成熟である. 多くの触覚デバイスは, 豊かな触覚フィードバックを提供することと引き換えに, 屋内・実験室環境に限定されている. そこで本研究では, 屋外空間での利用を前提とした触覚デバイスとして, GPS・GNSS による位置情報の取得を行う装着型の触覚デバイスを提案する.

キーワード: 触覚、ウェアラブル、拡張・複合現実

1. はじめに

近年, 視覚・聴覚に関するデバイスは, ユーザの場所に依存せずに使用可能な軽量かつウェアラブルな形へと変化している. 例えば, スマートフォンは, AR (Augmented reality) 技術と位置情報を活用することで現実世界をゲームの舞台として楽しむことができるアプリケーションが提供されている. また, より視覚的な没入感の高いコンテンツを提供する持ち運びが可能な HMD (Head-mounted display) は, Meta Quest Pro¹⁾や Apple Vision Pro²⁾によって, VR (Virtual reality) 空間と実空間のシームレスなインタラクションを実現しつつある.

一方で, 触覚デバイスについては可搬性や装着性を考慮した開発は未成熟である. 多くの触覚デバイスは, 豊かな触覚フィードバックを提供することと引き換えに, 屋内・実験室環境に限定されている [1]. つまり, スマートフォンや HMD 等のモバイル・ウェアラブルデバイスが移動しながら使用可能になった一方で, 未だ触覚デバイスは, 屋内・実験室環境に制限されている. したがって, 位置情報を活用した MR (Mixed reality) 空間上での触覚フィードバックが実現すれば, 空間的な制限を受けることなく, 屋外空間において数十メートル規模の物体の形状知覚などの触覚的なインタラクションが可能となるため, 屋外空間において触



図 1: 触覚デバイスと GPS モジュール

覚的なインタラクションを伴う VR アクションゲームなどへの応用が考えられる. また, 触覚デバイス基準での位置情報取得を行うことで, HMD の位置情報取得機能の有無に依存せず, 触覚デバイスのみを使用したナビゲーションなどへの応用も可能となる.

そこで本研究では, 屋外空間での利用を前提とした触覚デバイスとして, GPS (Global positioning system)・GNSS (Global navigation satellite system) による位置情報の取得を行う装着型の触覚デバイスを提案する. ここで

¹⁾<https://www.meta.com/jp/quest/quest-pro/>

²⁾<https://www.apple.com/apple-vision-pro/>

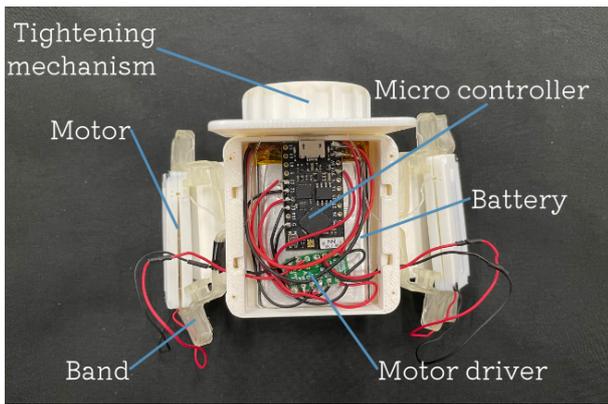


図 2: 掌装着型触覚デバイス

の触覚デバイスは、指先への繊細な触覚再現を目的とするものではなく、屋外での触覚インタラクションとして、把持や形状の知覚など、手全体を使用することに焦点を当てる。以下、本デバイスの設計と実装について報告する。

2. デバイス設計と実装

試作した触覚デバイスは屋外空間での使用を実現するため、モバイル仕様の GPS・GNSS モジュールと組み合わせることで位置情報の取得を行う。また、手全体でのインタラクションに対し掌へ外骨格パーツを締め付けることで触覚フィードバックを行う。

2.1 掌装着型触覚デバイス

本デバイスは 2 つのモータがついたベルト、モータドライバ、マイクロコントローラ、バッテリー、巻き取り機構、掌接触部、GPS・GNSS モジュール、筐体によって構成される (図 1)。デバイスの大きさは $78 \times 52 \times 32$ mm であり、重量は 84g である。デバイスは Bluetooth または WiFi 通信によって制御される。また、GPS・GNSS による位置情報をもとに VR 空間におけるトラッキングを行う。

モータは DCX06, ギアヘッド GPX06 221:1 (Maxon) を使用し、モータに 3D プリンタで作られたプーリを装着することでバンドを巻き取る。これにより掌接触部を締め付け、掌への触覚提示を行った。モータドライバはデュアルモータードライバ DRV8835 (Pololu) を使用し、マイクロコントローラは TinyPICO (Unexpected Maker) を使用し、電圧制御によるモータの巻き取りトルクの調整を行った。バッテリーはリチウムイオンポリマー電池 (3.7V, 860mAh, Data Power) を使用した。また、GPS・GNSS モジュールは DG-PRO1RWS (BizStation) を使用した。

巻き取り機構は Syntacts[4] を参考に製作し、つまみを回転させることにより締め付け力の調節を可能としている。これにより、装着者ごとの装着性の差異の低減を行っている。

2.2 システム構成

本研究では屋外空間での触覚的なインタラクションを実現するために図 2 に示すシステムを構築した。

デバイスの位置情報を取得するための GPS・GNSS システムは、デバイスに取り付けられる移動局と、固定設置さ

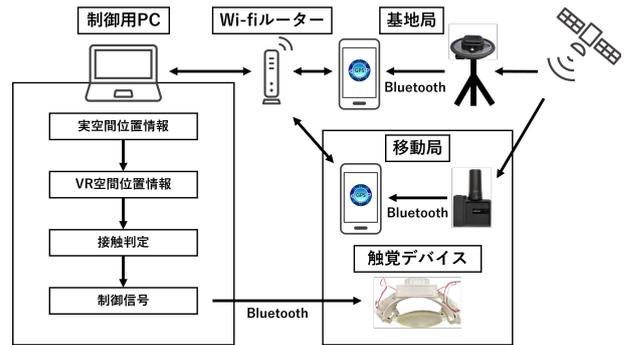


図 3: システム構成

れる基地局を併用するものであり、数十 mm 程度の精度の位置情報を約 10Hz で取得可能である。

また、スマートフォンの専用アプリ (Drogger GPS) を用いてスマートフォンの位置情報を移動局と基地局の物にそれぞれ上書きし、Google Chrome を介して移動局と基地局の位置情報を制御用 PC に送信した。この際、スマートフォンと制御用 PC の通信のために WiFi ルーターを設置し、電源供給としてポータブル電源 (400Wh, Jackery Japan) を使用した。

制御用 PC では、ゲームエンジン (Unity) を用いて受信した位置情報をもとに VR 空間上に触覚デバイスの位置を反映し、VR 空間上の壁などのオブジェクトに触れた際に、触覚デバイスへ制御信号を送信するという処理を行った。

このシステムにより、屋外空間においてもワイヤレスなデバイスでありながら、広範囲の位置情報の取得が可能となる。

試作した触覚デバイスにより、現実空間の位置情報に基づいて配置した VR 空間の壁に触れた際に、掌への締め付けによる接触感覚の提示を行った。この際、20cm 程度の精度での位置情報の取得が可能であり、これにより平面状の障害物が存在するといった感覚を提示することができた。

3. デバイスの制限

デバイスの制限としては、GPS・GNSS の精度、触覚フィードバック速度がある。

本研究では、GPS・GNSS による位置情報取得を行っているため、使用場所や天候に影響を受ける。そのため、屋内空間、住宅密集地、地下空間などの通信が阻害される場所や悪天候時には位置情報の精度が低下する。

また、試作した触覚デバイスでは締め付け力を向上させるためにプラネタリギヤ機構を搭載したモータを採用しているため、締め付け力と引き換えに締め付け速度が低下している。これにより、締め付け力が最大となるまでの時間差が発生している。

4. まとめ

本研究では、モータの締め付けによる掌への触覚フィードバックを行う装着型のデバイスを試作し、GPS・GNSS

を使用することで本デバイスを屋外空間で利用可能とするシステムを構築した。

今後の課題としては、ヘッドマウントディスプレイを装着した状態でのインタラクションのデザインや、触覚デバイスの装着性の向上、知覚実験による評価などが求められる。

参考文献

- [1] Pacchierotti, Claudio and Sinclair, Stephen and Solazzi, Massimiliano and Frisoli, Antonio and Hayward, Vincent and Prattichizzo, Domenico : Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives, IEEE Transactions on Haptics, vol. 10, no. 4, pp. 580–600, 2017.
- [2] Kouta Minamizawa, Sho Kamuro, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi : A Palm-Worn Haptic Display for Bimanual Operations in Virtual Environments, EuroHaptics 2008, LNCS 5024, pp. 458–463, 2008.
- [3] Bouzbib, Elodie and Teysier, Marc and Howard, Thomas and Pacchierotti, Claudio and Lécuyer, Anatole : PalmEx: Adding Palmar Force-Feedback for 3D Manipulation with Haptic Exoskeleton Gloves, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp. 1–8, 2023.
- [4] Pezent, Evan and Cambio, Brandon and O’Malley, Marcia K. : Syntacts: Open-Source Software and Hardware for Audio-Controlled Haptics, IEEE Transactions on Haptics, Vol. 14, No. 1, pp. 225–233, 2021.