



触覚ナビゲーションを可能にする バンド型ウェアラブル触覚デバイスの基礎検討

A Preliminary Study on a Wearable Band-type Haptic Device for Haptic Navigation

前田 智祐^{1),2)}, 千嶋 広恵²⁾, 鞠 玉蘭²⁾, 堺 浩之¹⁾, 南澤 孝太²⁾

Tomosuke Maeda, Hiroe Chishima, Yulan Ju, Hiroyuki Sakai, and Kouta Minamiawa

1) 豊田中央研究所 (〒 113-0033 東京都文京区後楽 1-4-14, tmaeda, sakai@mosk.tytlabs.co.jp)

2) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, h.chishima, yulan-ju, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 歩行時におけるナビゲーションは、スマートフォンの普及に伴い身近なサービスになっている。触覚研究では、ウェアラブル触覚デバイスによる触覚刺激によるナビゲーションが数多く提案されているが、スタンドアロンで動作するデバイスは少ない。そこで本研究では、せん断刺激によって歩行の方向を提示するスタンドアロンなウェアラブル触覚デバイスを提案する。

キーワード: 触覚, ウェアラブル, ナビゲーション

1. はじめに

歩行時におけるナビゲーションは、スマートフォンの普及に伴い身近なサービスになっている。一般的に使用されるナビゲーションサービスは、地図を模したインターフェースを採用しており、視覚と音声による道案内を行う。そうした既存のサービスは便利であるものの、主に視覚に頼った情報提示であるため、歩きスマートフォンのような社会問題を引き起こすという負の側面もある。また、歩きながら景色を楽しむことのような歩行体験を低下させてしまう。

これらの問題を解決するために、触覚研究では、ウェアラブル触覚デバイスによるナビゲーションが数多く提案されている。特に、振動、圧やせん断刺激を提示する方法が目されている。振動刺激を提示する方法は、手首に多点振動刺激を提示することで振動パターンにより誘導を行う方法 [8] が提案されている。こうした振動パターンによるナビゲーションは、Apple Watch¹⁾や Wayband²⁾ といった製品に応用されている。しかしながら、この方式では、ユーザーが、振動パターンを学習・認識・解釈する必要があるため、直感的な誘導が困難であった。ここでの直感的な誘導とは、例えば、盲導犬に手を引かれるときのような、説明や学習の不必要な誘導のことを示す。このような観点から、触覚ナビゲーションはせん断刺激が適切であるとされている [7]。事実、マイクロニアサーボモータを用いて、2次元の皮膚せん断刺激によるナビゲーションを提示する方法 [2] や、3次元の皮膚せん断を発生させる GuideBand [6] が提案されている。しかし、これらの触覚デバイスは、ウェアラブルではあるものの、スタンドアロン（無線で駆動すること）



図 1: 開発したバンド型触覚デバイス。

にはなっておらず、実空間におけるナビゲーションに用いることは困難である。

そこで本研究では、せん断刺激可能なスタンドアロンのウェアラブル触覚デバイスを提案する。我々は、アクチュエータの数が少なく、締め付け、圧、振動といった幅広い触覚モダリティを提示できる Gravity Grabber [4] や hRing [5] の機構を参考に、バンド型触覚デバイスを開発した。この触覚デバイスの特徴は、スタンドアロンで動作するため、身体運動の制約がなく、圧やせん断刺激に基づいた触覚ナビゲーションに応用が可能な点にある。

2. バンド型ウェアラブル触覚デバイス

我々の触覚デバイスは、バッテリーが搭載された制御回路、ベルト付きの2つのモータ、筐体でから成る。デバイスの大きさは $52 \times 35 \times 20$ mm で、重さは約 40 g であり、デバイスは Bluetooth か WiFi によって制御される。

制御回路はマイクロコントローラとモータドライバとバッテリーで構成される (図 2)。マイクロコントローラに

¹<https://www.apple.com/apple-watch-series-7/>

²<https://www.wayband.co/>

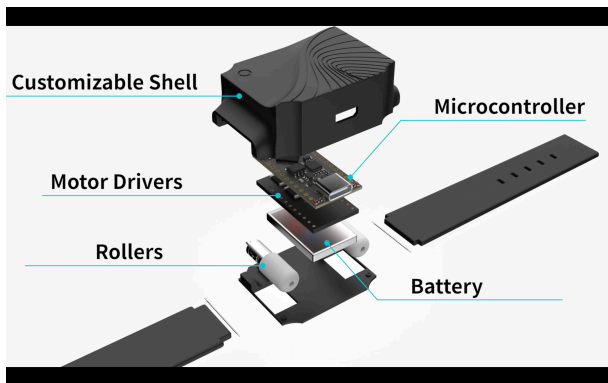


図 2: 開発したバンド型触覚デバイスの内部構造図。バッテリー、モータ、制御回路がケース内部に搭載されており、無線で駆動が可能である。

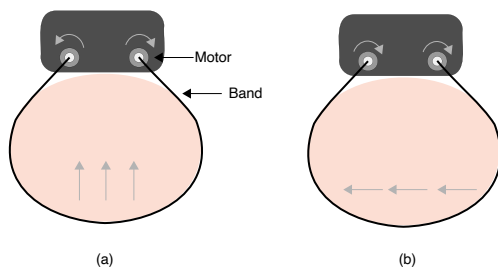


図 3: 提示する触覚モダリティの種類。(a) 両モータを内回転した場合、(b) 両モータを同方向に回転させた場合の触覚刺激の模式図。

ESP32 を用いた TinyPICO (Unexpected Maker) を使用した。マイクロコントローラは USB 経由でバッテリーを充電できる。モータドライバは、定電流 PWM (Pulse Width Modulation) 制御可能なモータドライバ (TB67H451FNG, 東芝) を使用した。定電流 PWM 制御によって電流制御 (トルク制御) を実現した。バッテリーはリチウムイオン電池 (110 mAh, Data Power Technology) を使用した。バッテリーの最大出力は 110 mA である。展示等で使用した場合、駆動時間は 30 分程度であった。

モータに 136:1 プラネタリギヤモータ (Pololu) を使用した。モータに 3D プリンタでつくられたプーリーを搭載し、ベルトを巻きつけた (図 1)。モータを回転させることで、ベルトを巻き取ることで触覚刺激を提示する。モータの最大ストール電流が 400 mA であるため、リファレンス電圧 V_{ref} を 3.3 V, 最大出力 I_{out} を 330 mA と仮定し、電流検出用の抵抗値は以下で計算される。このとき、モータドライバのゲイン $V_{ref(gain)}$ は 0.1 であった。

$$\begin{aligned} R_{ss} &= V_{ref(gain)} \times \frac{V_{ref}(V)}{I_{out}(A)} \\ &= 0.1 \times \frac{3.3}{0.33} \\ &= 1[\Omega] \end{aligned} \quad (1)$$

開発したバンド型触覚デバイスは、締め付ける刺激、せん断刺激、振動刺激を提示することができる。締め付ける刺激を提示する場合、2つのモータを内回転あるいは外回転させる (図 3)(a)。せん断刺激を提示する場合、2つのモータを同一の方向に回転させる (図 3)(b)。振動刺激を提示する場合、2つのモータを内回転と外回転を交互に行う。

3. まとめ

本研究では、締め付け、圧、振動といった幅広い触覚モダリティの提示のと身体動作可能なウェアラブル触覚デバイスを試作した。ナビゲーションのための刺激デザインや装着性の試行錯誤、知覚実験は今後の課題である。

参考文献

- [1] Dunkelberger, Nathan, et al. "A multisensory approach to present phonemes as language through a wearable haptic device." *IEEE Transactions on Haptics* 14.1 (2020): 188-199.
- [2] Kuang, Lisheng, et al. "Wearable cutaneous device for applying position/location haptic feedback in navigation applications." *2022 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*. IEEE, 2022.
- [3] Pezent, Evan, et al. "Design, Control, and Psychophysics of Tasbi: A Force-Controlled Multimodal Haptic Bracelet." *IEEE Transactions on Robotics* (2022).
- [4] Minamizawa, Kouta, et al. "Gravity grabber: wearable haptic display to present virtual mass sensation." *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*. 2007. 8-es.
- [5] Pacchierotti, Claudio, et al. "The hRing: A wearable haptic device to avoid occlusions in hand tracking." *2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*. IEEE, 2016.
- [6] Tsai, Hsin-Ruey, et al. "GuideBand: Intuitive 3D Multilevel Force Guidance on a Wristband in Virtual Reality." *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2021.
- [7] Stanley, Andrew A., and Katherine J. Kuchenbecker. "Evaluation of tactile feedback methods for wrist rotation guidance." *IEEE Transactions on Haptics* 5.3 (2012): 240-251.
- [8] Weber, Bernhard, et al. "Evaluation of a vibrotactile feedback device for spatial guidance." *2011 IEEE World Haptics Conference*. IEEE, 2011.