



パークスケールナビゲーションのための 触覚デバイスの基礎検討

Basic study of a Haptic Device for Park-Scale Navigation

前田 智祐¹⁾, 山本 絢之介²⁾, 吉村 貴克¹⁾, 堺 浩之¹⁾, 南澤 孝太²⁾

1) 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, 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 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, j.yamamoto, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 疑似力覚触覚デバイスは、ナビゲーションへの応用が期待される。我々はナビゲーション応用に向け、デバイスの可搬性を高めた自己完結型の触覚デバイスを提案する。本デバイスは、2つの振動アクチュエータと制御回路、バッテリーを片手に収まる筐体に内包し、重さは約 60 g である。従来研究と同様に、本デバイスは2つの振動アクチュエータに非対称振動を与えることで、並進・回転の疑似力覚を提示することができる。振動アクチュエータ間の距離が識別率や把持の強さに影響を与える可能性があるため、我々は評価実験を行った。結果、振動アクチュエータ間の距離による有意差は得られなかったが、識別率と持ちやすさの兼ね合いで 70 mm が妥当であることが示唆された。

キーワード: 触覚ナビゲーション、疑似力覚、自己完結型触覚デバイス

1. はじめに

スマートフォンの普及に伴い、歩行時におけるナビゲーションは、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、視覚と音声によって道案内を行う。ユーザは、情報にアクセスするたびに、スマートフォンに視聴覚を奪われ、「ながらスマホ」のような歩きスマートフォンが社会問題になっている。

これらの問題を解決するために、触覚研究では、振動刺激を用いた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 [1]。Apple Watch に搭載されているような振動パターン¹⁾の方法¹⁾や非対称振動による疑似力覚を提示する方法が提案されている [2, 3, 4, 5]。中でも、非対称振動による疑似力覚を提示する方法は、振動パターンによるナビゲーションに比べて、直感的な誘導が可能である。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ような説明や学習が少なくすむ誘導のことを指す。

これまでさまざまな触覚デバイスが提案されてきたが、そのほとんどは実験室や屋内環境での使用に限定されている。これらの触覚デバイスは、ユーザに強い疑似力覚を提示するために、電源や回路に有線接続され、自己完結型デバイスでない。実際、触覚デバイスがナビゲーションに使われることが提案されている場合でも、外部機器に有線で接続されていることが多く、実験室環境における知覚の評価実験に留まっており、公園規模 (パークスケール) のナビゲーションが実現できていない。

そこで本研究では、パークスケールナビゲーションのた



図 1: 試作した自己完結型疑似力覚触覚デバイス

めの自己完結型触覚デバイスを提案する (図 1)。また、本デバイスは、振動アクチュエータ間の距離が並進・回転の識別率や把持の強さに影響を与える可能性があったため、我々は並進・回転の評価実験よりその影響を調べた。以下、本デバイスの設計・実装と、評価実験結果について述べる。

2. 自己完結型疑似力覚触覚デバイス

2.1 触覚デバイスの設計と実装

触覚デバイスの重量は約 60 g で、2つの振動アクチュエータと回路、バッテリー、無線通信モジュールを含む制御ユニットから構成されている (図 2)。筐体は片手で把持できるほど小さく設計されている。非対称振動による疑似的な力は小さいため、制御ユニットを手のひらに接地させる方法を採用した。これによって、不必要な質量を指先に与え

¹⁾<https://www.apple.com/watch/>

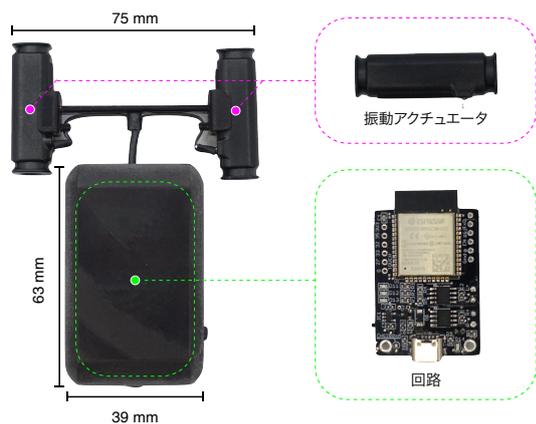


図 2: 試作機のハードウェア構成

ないように工夫した。

振動アクチュエータは、小型軽量のボイスコイルアクチュエータ (HapCoil-One, Tactile Labs.) でありながら、高出力の振動触覚刺激を与えることができる。不要なトルクの発生を避けるため、2つの振動触覚アクチュエータは薄い平板で平行に固定されている。

制御ユニットは主にマイクロコントローラ (Espressif Systems (Shanghai) Pte. Ltd.) と無線通信モジュール、デジタルオーディオアンプ (NS4168, Shenzhenshi YONG-FUKANG Technology co.,LTD.) で構成される。マイクロコントローラ内のデジタル・アナログ・コンバータ (DAC) が非対称振動を生成する。

2.2 触覚フィードバックの設計

2つの振動アクチュエータに入力される非対称振動波形を制御することで、並進と回転の疑似力覚が誘発される (図 3)。上向きの非対称振動をアクチュエータに入力すると、アクチュエータは前方 (順方向: 赤色) の疑似力覚を発生し、下向きの非対称振動をアクチュエータに入力すると、後方 (逆方向: 青色) の疑似力覚が発生する。本触覚デバイスは、振動アクチュエータの疑似力覚の向きを組み合わせることで、回転力を提示することができる。

3. 並進・回転の識別評価実験

3.1 実験目的

本デバイスは、振動アクチュエータ間の距離が疑似力覚の強さや、把持のしやすさに影響を与える可能性があったため、我々は並進・回転の識別評価を目的とした評価実験を実施した。具体的には、3種類の振動アクチュエータ間の距離の異なる触覚デバイスを開発し、各振動アクチュエータ間の距離に応じて識別結果が異なるか評価した。従来研究 [6] では、振動アクチュエータ間の距離が長いと回転知覚の識別率が高くなる可能性が示唆された。そこで我々は、振動アクチュエータ間の距離が長くなるほど、回転知覚の識別率が高くなり、逆に短くなるほど低くなるという仮説を立てた。また、実験参加者にはデバイスの把持のしやすさ

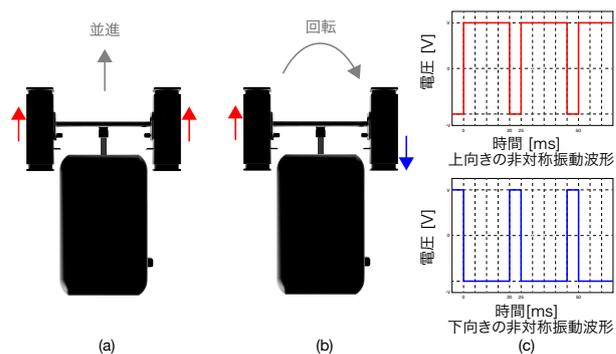


図 3: 並進・回転の疑似力覚の方向。(a) 並進 (b) 回転 (c) 非対称振動波形

を回答してもらった。以上によって、識別率と把持のしやすさの観点からナビゲーションに適した振動アクチュエータ間の距離を決定する。本実験プロトコルは倫理審査委員会の承認を得ている。

3.2 実験参加者

健康な成人男性 16 名 (平均年齢 29.4 ± 7.1 、全員男性) が、この研究に自発的に参加した。参加者の自己申告によれば、1 人が左利きで、残りの参加者は右利きだった。各参加者は、書面によるインフォームド Consent を行った。実験参加者の内 1 名は、予備実験の段階で非対称振動による疑似力覚の全く知覚することができなかつたため、解析から除外した。

3.3 実験条件

3種類の触覚デバイスは、それぞれ振動アクチュエータの端の距離が 35 mm、70 mm、105 mm になるように作られた。各参加者は 3種類の触覚デバイスいずれかに割り当てられた。

予備検討に基づいて、振動刺激は Rekimoto が提案した波形 [3]、周波数は Cullbertson et al. [7] らの研究で用いられた 40 Hz、刺激強度は Tanabe et al らの研究 [5] に基づいてピークツーピーク値で約 70 m/s^2 とした。2つの振動アクチュエータが誘発する疑似力覚の方向を変更することで、前進、後退、左回転、右回転、力覚なし (対称振動) の刺激を設計した。

3.4 実験手続き

参加者は椅子に座り、触覚デバイスを把持した。参加者は、聴覚的な手がかりが得られないようにノイズキャンセリングヘッドフォンを着用した。実験中、参加者はデバイスを把持し、手のひらを下に向けて、体の側面に手を配置した。参加者は、各試行で手を自然な状態にしたまま開始したが、試行中に手を動かすことが許された。回答は 5 肢強制選択法 (前進、後退、左回転、右回転、力覚なし)

参加者は、15 回の練習試行 (各条件 3 回) を行い、正しく反応できたかのフィードバックを受けた。練習試行後、参加者は、各 100 回のランダム試行 (各刺激につき 20 回) を行った。各試行では、3 秒間の刺激が 1 回提示された。自身の解答を口頭で実験者に伝え、実験者はその解答を PC に

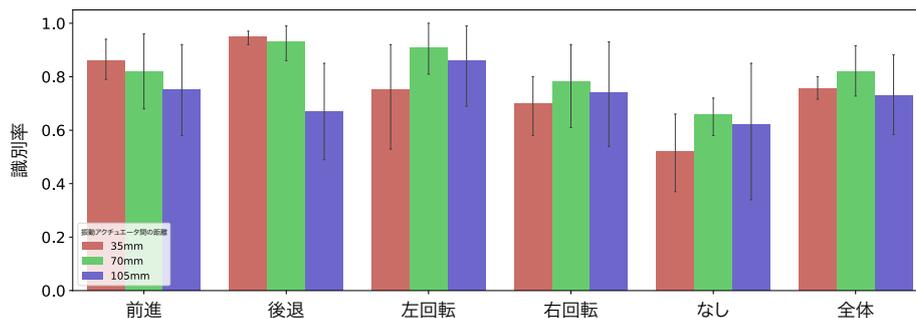


図 4: 並進・回転の識別評価実験の結果

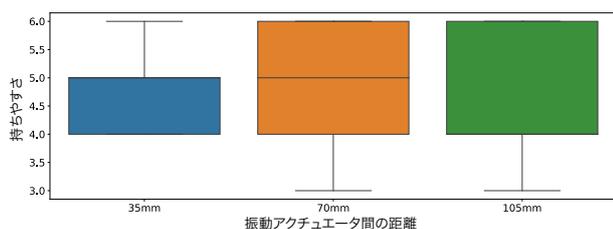


図 5: 持ちやすさの主観評価結果

記録した。

3.5 実験結果

触覚の識別率を Two-way repeated measures ANOVA 検定で比較した (図 4)。統計的有意水準は $\alpha < 0.05$ とした。その結果、刺激の種類の主効果のみ有意 ($p = 0.001$) で、振動アクチュエータ間の距離の主効果 ($p = 0.5686$) とそれらの相互作用 ($p = 0.1314$) 有意ではなかった。刺激種類の主効果に対して、Holm の方法で多重比較をした結果、力覚なし条件の正答率は、前進 ($p = 0.0053$)、後退 ($p = 0.0013$)、そして左回転 ($p = 0.0054$) 条件より有意に低かった。全体平均では、70 mm の識別率が高い傾向にあった。

同様に持ちやすさについて、One-way repeated measures ANOVA 検定で比較した (図 5)。統計的有意水準は $\alpha < 0.05$ とした。その結果、持ちやすさの主効果は ($p = 0.91$) 有意でなかった。

4. まとめ

本研究では、実空間の触覚ナビゲーションのための自己完結型触覚デバイスを提案し、識別評価実験について報告した。今回の実験では、有意差が得られなかったが、105 mm では、持ちにくいと回答する人が多く感じ方のばらつきが大きいため、識別率と持ちやすさの兼ね合いで 70 mm が妥当であることが示唆された。実空間での歩行ナビゲーション実験は、今後の課題である。

参考文献

[1] Kappers, A. M. L., Oen, M. F. S., Jungberth, T. J. W. and Plaisier, M. A.: Hand-Held Haptic Navigation Devices for Actual Walking, *IEEE*

Transactions on Haptics, Vol. 15, No. 4, pp. 655–666 (2022).

[2] Amemiya, T., Ando, H. and Maeda, T.: Lead-Me Interface for a Pulling Sensation from Hand-Held Devices, *ACM Trans. Appl. Percept.*, Vol. 5, No. 3 (2008).

[3] Rekimoto, J.: Traxion: A Tactile Interaction Device with Virtual Force Sensation, in *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, p. 427–432, New York, NY, USA (2013), Association for Computing Machinery.

[4] Amemiya, T. and Gomi, H.: Buru-Navi3: Behavioral Navigations Using Illusory Pulled Sensation Created by Thumb-Sized Vibrator, in *ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '14, New York, NY, USA (2014), Association for Computing Machinery.

[5] Tanabe, T., Yano, H., Endo, H., Ino, S. and Iwata, H.: Motion Guidance Using Translational Force and Torque Feedback by Induced Pulling Illusion, in Nisky, I., Hartcher-O'Brien, J., Wiertelowski, M. and Smeets, J. eds., *Haptics: Science, Technology, Applications*, pp. 471–479, Cham (2020), Springer International Publishing.

[6] Culbertson, H., Walker, J. M., Raitor, M. and Okamura, A. M.: WAVES: A Wearable Asymmetric Vibration Excitation System for Presenting Three-Dimensional Translation and Rotation Cues, in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, p. 4972–4982, New York, NY, USA (2017), Association for Computing Machinery.

[7] Culbertson, H., Walker, J. M. and Okamura, A. M.: Modeling and design of asymmetric vibrations to induce ungrounded pulling sensation through asymmetric skin displacement, in *2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 27–33 (2016).