

方向提示を目的とした熱刺激を用いた首輪型デバイス

植田健斗^{1,a)} 真鍋宏幸¹

概要：

触覚によるフィードバックを用いることで、騒音下や画面に注視していない状態でも情報を受け取ることができる。このことから、触覚フィードバックを用いて、誘導や通知を行うデバイスが多く登場している。しかし、道案内などで方向を提示する場合、振動でのフィードバックや手や指に装着するデバイスでは、正確な方向をユーザーが認知できないことがある。本研究では、熱刺激を首に与えることで、歩いている状態でも正確な熱刺激の方向をデバイスの装着者に認知させることを目指す。そこで、熱刺激を与え方向を認知させる首輪型デバイスを提案し、実装を行った。首周りの認識精度の検証や、手首に熱刺激を与える場合の認識精度と比較をするため、提案したデバイスを用いて、座っている状態と歩いている状態の2つの条件で実験を行った。実験の結果、首輪型デバイスで、手首にデバイスを装着した場合と同等の認識精度を得られることが分かった。

1. はじめに

現在、誘導や通知を目的としたアプリケーションやデバイスが多く存在している。多くの車にはカーナビが搭載されており、音声や画面を用いて目的地への到着を補助している。また、スマートフォンにおいても、ポップアップやサウンドなどにより、必要な情報を通知する機能をもったアプリケーションが多くなっている。これらの多くは、視覚や聴覚に対する刺激を用いて、通知や誘導を行っている。しかし、視覚に対する提示は、画面を注視する必要があるため、周りの状況の変化に気づきにくくなってしまふ。また、聴覚に対する提示は、周囲の音によってかき消されたりしてしまうことがある。

これらの問題を解決する方法として、触覚を用いたフィードバックがある。触覚を用いたフィードバックには、振動を使ったものが多い [1], [2], [3]。例えば、スマートフォンでは、メールやメッセージの受信を振動を用いて通知することで、騒音下やスマートフォンを見ていない状態でも、ユーザーはその受信に気づきやすくなっている。

ここで、歩行ナビゲーションのための情報提示について考える。この場合、進むべき方向や注目すべき方向を提示する必要がある。すでに、複数の振動モーターを装着し、体に局所的な刺激を与え方向提示を行うデバイスが多く開発されている [2], [3]。しかし先行研究 [4] では、振動を使った場合、デバイスや服に振動が伝わってしまうことが

問題視されている。デバイスや服に振動が伝わってしまうと、正確な振動の位置や方向を認知するのが難しくなってしまうためである。

上記の問題を解決する方法として、熱刺激を用いたデバイスが研究されている [4], [5]。熱の伝達はデバイスの素材によっては抑えることができるため、局所的な刺激を与えやすい。これによりデバイスの装着者は、刺激の与えられた位置や方向を知覚・認知しやすくなる。その結果、より詳細な情報の通知や道案内に活用することができると期待されている。これらのデバイスは手 [4] や指 [5] に装着することが多い。道案内などの用途では、歩きながら熱刺激が与えられることになるが、これらの部位は歩行動作に伴い位置や向きが動的に変化する。位置や向きが頻繁に変わってしまうと、正確な熱刺激の位置や方向が分かりづらくなることが想定される。

そこで我々の提案手法では熱刺激を首に与える。首は歩いている状態であっても動きは少ないため、提示したい方向を正確に認知させることができると期待される。本稿では、製作したプロトタイプデバイスと、それを用いた実験結果について報告する。

2. 関連研究

体の複数箇所に熱刺激を与えることで、方向提示や誘導を行う研究が存在する。例えば、ThermalBracelet[4]では、手首の周りに複数の位置から熱刺激を与え、刺激位置の認識精度を検証している。熱と振動の刺激を比べた時、熱の方が刺激位置を正しく認識できることが示されている。し

¹ 芝浦工業大学

^{a)} al18023@shibaura-it.ac.jp



図 1 デバイスを首に付けた様子

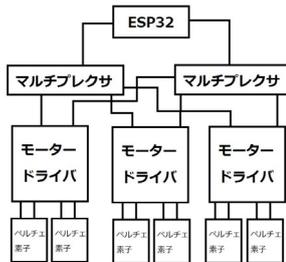


図 2 システムの概略図

かし、歩いている状態と座っている状態での認識精度を比較する実験では、歩いている状態での認識精度が、約 95% から約 89% に低下したことが示されている。原因として、歩行中に腕を振り手の向きが変わることで、刺激の方向が曖昧になってしまうことが推測されている。

また、首へ熱刺激を与える研究として小野らの研究がある [6]。VR 空間上にある熱源の位置に対応する方向から首に対して熱刺激を与えている。この研究では、VR 体験の臨場感の向上のために熱刺激による方向提示を利用している。そのため、方向の認識精度に関しては調査されておらず、被験者へのアンケートによる評価に留まっている。

首を冷却・加熱するデバイスとしては、Comodo gear^{*1}がある。Comodo gear は、ペルチェ素子を用いて首を冷却・加熱することで、暑い日や寒い日であっても快適に活動してもらおう事を目的としている。デバイス構成としては類似しているが、提案手法は方向提示を目的としている点で異なる。

3. 提案手法

本研究では、提示したい方向に対応する位置から首に熱刺激を与えることで、装着者に方向提示を行うデバイスを提案する (図 1)。熱源デバイスとしてはペルチェ素子を用いる。熱の伝達はデバイスの素材によって抑えることができ、より局所的な刺激を与えることができる。首は移動中や作業中でも動きが少ないため、装着者は状況によらず詳細な方向を認知することができるかと期待される。

^{*1} <https://www.fujitsu-general.com/jp/products/neck-gear/index.html>

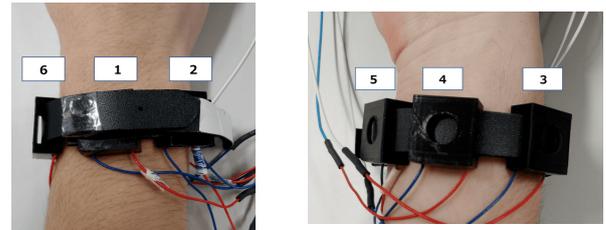


図 3 手首のペルチェ素子のレイアウト (左: 上部 右: 下部)

4. 実装

4.1 首輪型デバイスの形状

ペルチェ素子を 3D プリントで作成したケースに取り付け、市販のチョーカーに装着した。これにより、ペルチェ素子をスライドさせ、刺激位置を自由に変更することができる。また、チョーカーはマジックテープにより接合されており、着脱しやすくなっている。ペルチェ素子は 6 個使用し、6 方向の提示を想定している。

4.2 システム概要

図 2 はシステムの概略図である。ペルチェ素子の加熱・冷却の切り替えは ESP32 で行っている。モータードライバは、ペルチェ素子を加熱・冷却するために、必要な電流を制御している。1 個のモータードライバには、2 つのペルチェ素子が接続されている。3 個のモータードライバを使うことで、6 個のペルチェ素子を制御している。加熱・冷却を行うペルチェ素子はマルチプレクサを使うことで選択している。

また、ESP32 は Bluetooth 通信で Android OS のスマートフォンと接続されている。Bluetooth で接続することで、スマートフォンと ESP32 をケーブルで繋ぐ必要がなくなり、デバイスの持ち運びがしやすくなっている。主電源には、5V で最大 2.1A を出力することが出来るモバイルバッテリーを利用している。

5. 実験

実装したデバイスを用いて、首周りの認識精度について検証する。また、ThermalBracelet [4] を参考にし、実装したデバイスを手首に装着した場合との比較を行う。ペルチェ素子は、図 3 のように配置し、実験では、加熱による刺激と冷却による刺激の両方を用いた。ペルチェ素子の温度は、加熱による刺激では 1 秒間で約 1°C 上昇し、冷却による刺激では 1 秒間で約 1°C 下降する。熱刺激の提示は、1 回につき 3 秒間行った。

実験は、手首にデバイスに装着した場合と首にデバイスを装着した場合に分かれている。それぞれの場合で、被験者は座っている状態と歩いている状態の 2 つの条件下でタスクを行った。実験には 20~24 歳の協力者 3 名 (女性



図 4 実験中の様子 (左: 着席時 右: 歩行時)

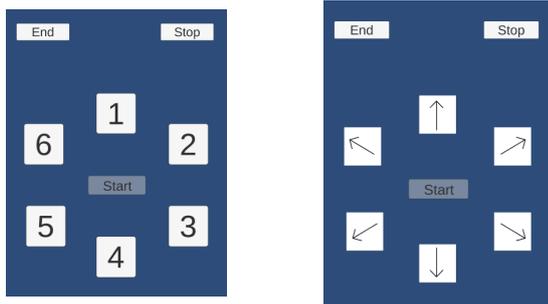


図 5 アプリケーションの画面 (左: 着席時 右: 歩行時)

1名)が参加した。実験協力者には、熱刺激の強さを予め確認してもらい、実験の参加に対する同意書に署名してもらった。実験は、手首にデバイスを装着した場合と首にデバイスを装着した場合に分けて2日間で行い、それぞれの日程の最後には識別の難しさや装着時の快適さなどについてのアンケートに回答してもらった。実験協力者には、謝礼として1500円分のAmazonギフト券を贈呈した。

5.1 座っている状態での実験

座っている状態の実験は、研究室内で座って行った(図4(左))。配置した6つのペルチェ素子の内、1つのペルチェ素子から熱刺激を提示する。被験者は、刺激の提示された位置を、スマートフォンを用いて回答する。各ペルチェ素子に番号を割り当て(図3)、被験者は刺激が与えられたと知覚した位置に対応する番号のボタンを押して回答する(図5(左))。これを、各装着位置(首・手首)・各熱刺激(加熱・冷却)毎に、18回(6箇所×3回)行った。熱刺激の与えられる間隔は15秒~30秒の間でランダムに決まり、刺激位置も6箇所の中からランダムに選択される。被験者には、3分間の練習の後に実験を開始した。座っている状態での実験の試行回数は72回(18×2熱刺激×2装着位置)で、約45分の実験時間を要した。

5.2 歩いている状態での実験

歩いている状態での実験は、大学の廊下を歩きながら行った(図4(右))。座っている状態での実験と同様に6つのペルチェ素子の内、1つのペルチェ素子から熱刺激を

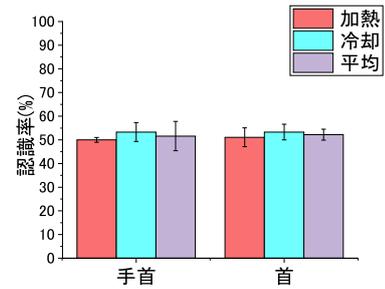


図 6 座っている状態での実験の認識率

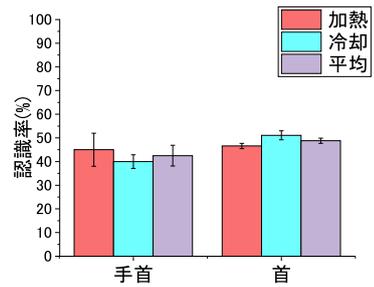


図 7 歩いている状態での実験の認識率

提示する。歩いている状態での実験では、道案内での利用を想定し、被験者は刺激位置ではなく、熱刺激によって提示される方向を回答する(図5(右))。回答する方向は、前・右前・右後ろ・後ろ・左後ろ・左前の6方向から選択する。被験者は熱刺激の強さと提示される方向を確認し、3分間の練習の後に実験を開始した。歩いている状態での実験の試行回数は72回(18×2熱刺激×2装着位置)で、約45分の実験時間を要した。

5.3 実験結果

座っている状態での認識率の結果を図6に示す。グラフから、手首にデバイスを装着した場合の認識率と首にデバイスを装着した場合の認識率との間には、大きな差はないことが示唆された。

歩いている状態での認識率の結果を図7に示す。グラフから、手首に冷却刺激を与えた場合の認識率が、首に冷却刺激を与えた場合の認識率よりも、低くなる可能性が示唆された。

6. 議論

今回の実験結果からは、首にデバイスを装着した場合の認識率と手首にデバイスを装着した場合の認識率に大きな差が見られなかった。このことから、提案した首輪型デバイスを用いることで、手首にデバイスを装着する場合と同様に、誘導や通知を行うことができる可能性があると考えられる。また、ThermalBlacelet[4]でも示唆されているように、手首にデバイスを装着する場合、歩いている状態での認識率が座っている状態の認識率よりも低下してしまう

可能性が示された。

実験後のアンケートでは、手首への熱刺激の識別に関して、「4箇所での識別であれば、楽にできたと思う」や「斜め方向の識別が難しかった」といった意見があった。手首の太さは首の太さと比較すると細いため、刺激位置間の距離が短くなる。そのため、被験者は手首にデバイスを装着した場合に、刺激の位置や方向の識別が難しいと感じたと推測される。

装着時の快適性については、手首の方が首よりも快適であるという意見が多かった。熱刺激を知覚させるためには、ペルチェ素子と肌を密着させる必要がある。そのため、提案したデバイスでは、首をある程度締めつけていた。その結果、首を絞めつけることに抵抗感がある被験者に、ストレスを与えてしまったと考えられる。

また、今回の実験では被験者は3人のみだったため、十分な検証を行うことができなかった。今後、被験者を増やし、詳細な分析を行っていく必要がある。

7. まとめ

本研究では、熱刺激を与えることで方向を知覚させる首輪型デバイスを提案した。首は移動中や作業中であっても動作は少ないため、歩いている状態であっても、装着者に正確な刺激位置や方向を知覚させることができると期待される。

提案した首輪型デバイスを開発し、首周りの認知精度の検証や手首の認知精度との比較を行った。実験の結果、首輪型デバイスで、手首にデバイスを装着した場合と同等の認識精度を得られることが分かった。

参考文献

- [1] Martin Pielot, Benjamin Poppinga, and Susanne Boll. Pocketnavigator: vibro-tactile waypoint navigation for everyday mobile devices. In *Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services*, pp. 423–426, 2010.
- [2] Stefanie Schaack, George Chernyshov, Kirill Ragozin, Benjamin Tag, Roshan Peiris, and Kai Kunze. Haptic collar: Vibrotactile feedback around the neck for guidance applications. In *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, pp. 1–4, 2019.
- [3] Jonggi Hong, Alisha Pradhan, Jon E Froehlich, and Leah Findlater. Evaluating wrist-based haptic feedback for non-visual target finding and path tracing on a 2d surface. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 210–219, 2017.
- [4] Roshan Lalitha Peiris, Yuan-Ling Feng, Liwei Chan, and Kouta Minamizawa. Thermalbracelet: Exploring thermal haptic feedback around the wrist. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–11, 2019.
- [5] Kening Zhu, Simon Perrault, Taizhou Chen, Shaoyu Cai, and Roshan Lalitha Peiris. A sense of ice and fire: Exploring thermal feedback with multiple thermoelectric-

cooling elements on a smart ring. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 130, pp. 234–247, 2019.

- [6] 小野龍一, 伊藤亘輝, 羽田久一ほか. 首への熱刺激によるvr体験者への方向提示の提案. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2018 論文集, Vol. 2018, pp. 220–223, 2018.