

NoseKnowsNorth: 鼻背側面への振動刺激を用いた方向提示デバイス

仲村 友杜^{1,a)} 西本 和貴^{1,b)} 由井 陽^{2,c)} 鳴海 拓志^{3,d)} 暦本 純一^{1,4,e)}

概要:

本研究では、装着時の負担が少ない方向提示インタフェースの実現を目指し、鼻背の側面の左右2点に振動刺激を与えることでユーザに方向を提示するデバイスを提案する。鼻は触覚刺激に対して鋭敏であり、弱い刺激で情報提示が可能であるため、直感的かつ不快感のない方向提示を実現できる可能性がある。また、デバイスは眼鏡の鼻パッド部分に容易に組み込めるため、スマートグラスなどのウェアラブルデバイスと組み合わせて日常生活で長時間装着することにも適していると考えられる。デバイスのプロトタイプを作成し、左右の識別精度および8方向の提示精度を評価する実験を行った。実験の結果、左右の識別はほぼ100%の精度で可能であり、45度以内の分解能において方向を提示できることが確認された。

1. はじめに

日常生活において方向を見失うことは不便である。例えば、街中を歩いている際に目的地への道順が分からなくなると、誤った方向に進んでしまい、到着までに余計な時間を要するだけでなく、体力も消耗する。このような方向感覚の欠如は、特に空間認識能力が重要な場面では生命の危険を伴う可能性がある。例えば、空間識失調は航空事故の原因の約33%を占め、そのうちのほぼ100%が死亡事故であると報告されている[1]。同様に、スキューバダイビングにおいても、水中で方向感覚を失うことで海面への浮上が困難となり、遭難や酸素不足、水圧の変化による重大な事故を引き起こす可能性がある。

これらの問題を解決する方法として、日常生活では、スマートフォンやスマートグラスなどを活用した地図アプリケーションが利用されている。これらは画面表示や音声案内によりユーザを誘導することで、目的地への到達を支援している。しかし、視覚による情報提示では、画面を注視することで周囲の状況への注意力が低下し、衝突や転倒を招く可能性が高まる。スマートグラスは比較的視界を遮ら

ずに情報を提示できるが、周囲の環境が干渉して視認性が低下する可能性や、情報過多によるユーザへの負荷が懸念される。また、聴覚による情報提示は、周囲が騒がしい環境では音声聞き取れないことがある。そのため、航空機では、地表面への衝突を防止するシステムに加えて、パイロットに対して視覚・聴覚・触覚を用いてマルチモーダルな警告を与えるシステムが導入されており、空間識失調への対策が行われている[2]。このことから、視覚や聴覚による情報提示以外の手段として、触覚刺激が注目されていることが分かる。先行研究[3-12]では、触覚を利用して方向提示を行う手法が提案されている。しかし、視覚や聴覚を妨げず、日常生活において長時間装着しても負担が少ないような手法は実現されていない。

そこで本研究では、装着時の負担が少ない部位として鼻に着目し、鼻背の側面を活用した方向提示手法を提案する。鼻への触覚提示が方向提示の手段として有効であるか、作成したプロトタイプのデバイスを用いて検証する。

2. 関連研究

2.1 触覚を用いた方向提示

触覚提示を用いて方向提示や誘導を行う手法については、首[3,4]や腰[5]に装着して振動により方向を提示するデバイス、首の筋肉に電氣的筋肉刺激(EMS)を与えて頭部の向きを制御する手法[6]、頭部に装着したデバイスによって牽引感覚を生成し、ユーザに方向を提示する方法[7]、首に熱刺激を与えて方向を提示するデバイス[8]など、多様なアプローチが研究されている。また、腰に巻くベルト型

¹ 東京大学大学院 情報学環・学際情報学府

² 東京大学大学院 工学系研究科

³ 東京大学大学院 情報理工学系研究科

⁴ ソニーコンピュータサイエンス研究所

^{a)} yuto-nakamura@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

^{b)} nishimoto@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

^{c)} yui-akira0525@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

^{d)} narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp

^{e)} rekimoto@acm.org

デバイス [9] や、皮膚に直接装着する NorthSense^{*1} は、振動を用いて北の方角を伝えることで、方向感覚を身につけることを目指している。さらに、方角を感じるという、人間が持たない感覚を提供することで、新たな知覚体験を追求することを目的としている。しかし、方向を確認するには顔を動かすため、顔の感覚を活用することで直感的な方向提示を実現できる可能性がある。また、顔は他の部位に比べて非常に感度が高く、弱い刺激でも十分に知覚可能である [13]。そこで本研究では、方向を向く動作と直感的に結びつく部位である顔に着目する。

2.2 顔への刺激による感覚提示

顔に触覚刺激を与えて方向を提示する研究として、頬への触覚刺激によるナビゲーション手法が提案されている [10]。しかし、装着と位置合わせが容易ではない点や、デバイスの重さによる疲労が課題となっている。また、唇に空中超音波を照射して非接触の情報伝達を行う手法 [11] は、外部にデバイスを設置する必要があるため、ウェアラブルデバイスとしての利用は難しい。

その他の顔における情報提示部位として、鼻が考えられる。鼻は圧力に対して頬や唇と並んで全身の中で最も高い感度を持ち、振動感度も指、唇、頬に次いで高いことが知られている [13]。そのため、弱い刺激でも十分に方向を提示できる。また、多くの人が日常的に眼鏡を装着していることを考えると、頬や唇に比べてデバイスを取り付けやすい。鼻を対象とした感覚提示手法としては、鼻中隔の三叉神経を電気刺激することで匂いの方向を示す手法が提案されている [12]。しかし、方向感覚の提示において鼻への触覚刺激を利用することはあまり検討されておらず、さらなる研究の余地があると考えられる。そこで本研究では、着脱が容易であり、長時間使用しても気にならないデバイスを実現するために鼻に着目する。

3. 提案手法

3.1 コンセプト

本研究では、鼻に振動刺激を与えることで方向を提示する手法を提案する (図 1)。これは、鼻腔に磁気を受容器を持つ、うなぎなどの一部の魚類に着想を得たものである。人間は顕在意識下において地磁気を感じる能力がない [14] ため、代わりに触覚を用いることで方向感覚を獲得することを試みる。また、鼻への触覚刺激がこれまであまり検討されてこなかったことや、鼻の触覚が刺激に対して鋭敏であることも、この研究を動機付ける要素である。触覚が鋭敏な身体部位としては手指も考えられるが、手指は動きの自由度が高く、顔や胴体部分との位置関係が日常生活の中で大きく変化するため、方向提示には不向きであると考え

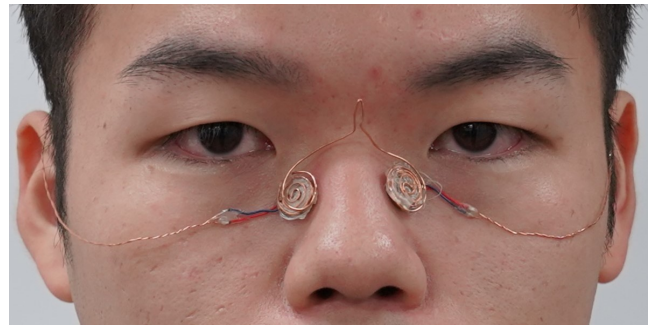


図 1 デバイスを装着した様子

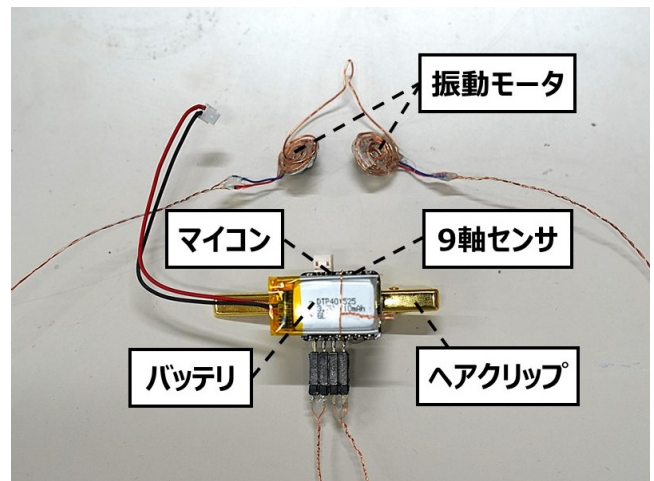


図 2 デバイス構成

られる。一方で、鼻という部位に着目した理由として眼鏡が挙げられる。眼鏡は鼻と耳で支えられており、日常的に長時間着用されているため、鼻へのデバイス装着は負担が小さいと考えられる。さらに、鼻の上で眼鏡を固定するパーツである鼻パッドにデバイスを組み込むことは容易であり、装着が目立たないため、日常的に使用しやすいと考えられる。これにより、装着を意識しなくなるだけでなく、新たな感覚器を得たかのような感覚拡張が期待される。例えば、スマートグラスにデバイスを組み込むことで、ナビゲーションや通知機能として活用できる。

3.2 実装

作成したプロトタイプデバイスを図 2 に示す。デバイスは、加速度・角速度・地磁気の 9 軸センサ (CEVA 製 BNO085)、制御用のマイコンボード (Seeed Studio 製 XIAO ESP32C6)、左右 2 つのコイン型振動モータ、バッテリー、ヘアクリップから構成されている。ユーザは、眼鏡の鼻パッドが当たる位置に振動モータを装着する。このとき、振動モータは鼻をつまむようにして鼻の上に乗っており、固定のためのテープは使用していない。また、9 軸センサを含むマイコンボードを、ヘアクリップを用いて後頭部の髪に取り付けることで、ウェアラブルデバイスとして利用できる。振動モータは定格電圧 3 [V] であり、最大で

^{*1} <https://www.northsense.com/>

振動させる場合は 2 [V] を印加した。

提示する振動は、例えば、北の方向を提示するアプリケーションでは、9 軸センサのデータから北を 0 度とした方位角を算出し、その値に応じて 2 つの振動モータに PWM 信号を出力することでモータを駆動し触覚の提示を行う。北を基準に -90 度から 90 度の範囲で振動を発生させた。振動の強度は角度に応じて線形に変化させた。例えば、方位角が 0 度の場合、左右両方のモータが最大で振動し、90 度の場合、左右どちらかのモータのみが最大で振動し、もう片方は振動しない。また、右に 45 度の方向を向いている場合は、左のモータが最大で振動し、右のモータは半分の強さで振動するという設計である。2 つのモータの振動の組み合わせを変えることで、目的の方向を提示することが可能である。デバイスは、実験時に PC と有線で接続して制御を行った。

4. 実験

本稿では提案手法の方向提示能力について確認を行うため 2 つの実験を行った。いずれの実験においても、実験参加者には識別結果の正誤を伝えていない。実験後にはアンケートを実施した。実験参加者は、左右の識別のしやすさ、刺激の快適さ、装着の快適さの 3 項目について 5 段階で評価し、気になった点などを自由記述で回答した。

4.1 実験 1: 鼻背の側面における左右の振動刺激の識別

鼻背の側面にデバイスを装着すると、振動が伝播し、左右どちらの振動モータが振動しているか分からなくなる可能性がある。そのため、左右どちらが振動しているかを識別可能かについて検証を行った。実験参加者は 23-24 歳の男性 3 名であった。実験参加者にはデバイスを装着した状態で椅子に座ってもらい、刺激を提示した後に、左右どちらの振動モータが振動しているかを回答してもらった。どちらが振動しているか判断できない場合は「分からない」と回答してもらった。左右の振動の提示順は、それぞれ 5 回、合計 10 回の刺激をランダムな順で提示し、この 10 回の刺激提示を 1 セッションとした。最初に事前練習を行い、その後に行った 2 セッションの結果を実験結果とした。

4.2 結果

左右の識別に関する実験の結果、ある実験参加者において「分からない」という回答が 2 回得られた以外は正答率が 100 % であった。この「分からない」という回答についても今回使用している振動モータを定格電圧以下で駆動しているため、モータが振動しなかった可能性が考えられる。以上の結果より今回の振動刺激により 2 点の弁別が可能であるということが分かった。Weinstein ら [13] の実験においても鼻における 2 点弁別閾は 8mm 程度であり、鼻背の側面に装着するという配置では左右の振動を識別すること

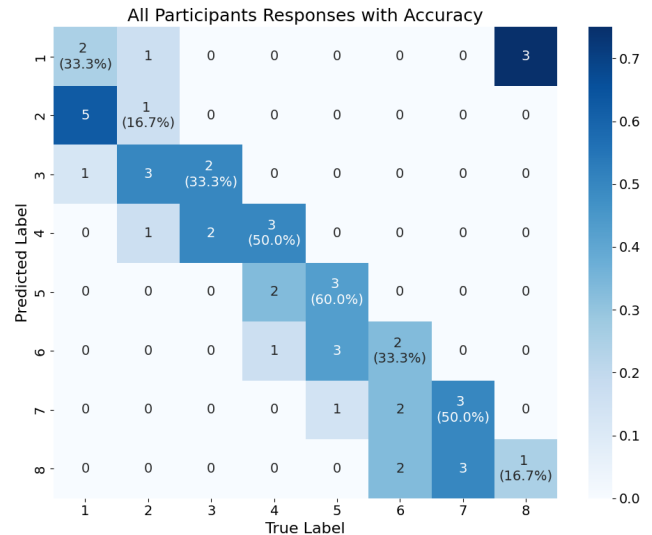


図 3 全実験参加者の方向識別実験における回答

が可能であると考えられる。

4.3 実験 2: 8 方向の識別

続いて、本デバイスによって 8 方向の識別が可能であるかどうかの実験を行った。実験参加者の足下を中心とした半径 50cm の円周上に、45 度間隔で 1 から 8 の番号が書かれた 8 方向の目印を設置した。9 軸センサのデータを用いて、提示したい方向を向いたときに最も振動強度が高くなるように刺激を提示した。実験参加者はその場で向く方向を変えながら、どの方向が提示されているかを判別し、足元の目印を指差して回答した。8 方向それぞれ 2 回、合計 16 回の方向が提示されるようにランダムな順で提示した。事前練習の後に行った上記の 16 回を実験結果とした。

4.4 結果

8 方向の識別が可能であることを確認した実験結果をまとめる。図 3 に全実験参加者 (N=3) の回答を示す。横軸が正解の方向ラベル (45 度間隔で分けた 8 方向に時計回りにつけた 1 から 8 の番号)、縦軸は参加者が回答した推定方向、セル内は回答数である。1 名につき最大 2 回回答、被験者は 3 名のため 6 が最大、カッコ内は正解率である。全体の正解率をラベルごとに見ると約 36 % で、個別に正解率を見ると最低 16.7 % (ラベル 2, 8)、最高 60 % (ラベル 5) であった。

4.4.1 各方向における誤差の解析

方向ごとの正確性についてさらに評価するために、回答方向と正解方向の角度差を計算し、正解方向を基準として誤差の平均を算出した。図 4 に、各正解方向における平均誤差を示す。横軸が方向ラベル、縦軸が各ラベルにおける平均角度誤差である。その結果、最も正確な方向は 1 (-10 度程度) で、誤差が最小であった。一方で、方向 8 では誤差が約 -50 度と大きく、特に隣接方向に誤認されやすい傾

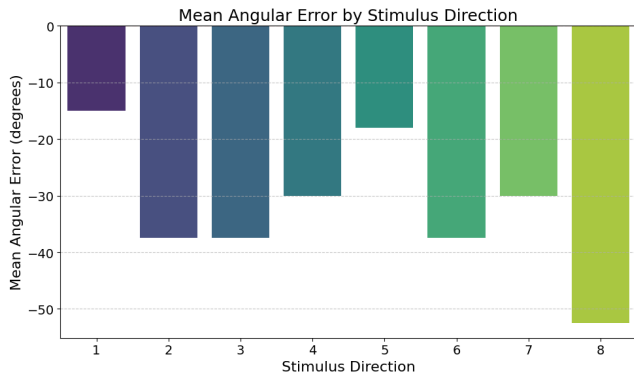


図 4 各方向における誤差
横軸: 8 方向を表す方向ラベル
縦軸: ある方向ラベルにおける回答誤差角度の平均

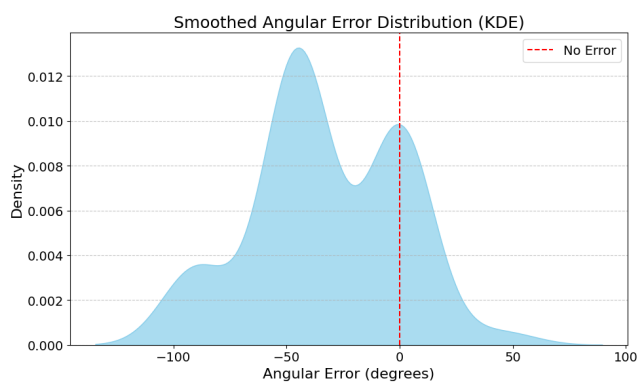


図 5 回答方向と正解方向の角度誤差分布
横軸: 角度誤差 縦軸: 回答の確率密度

向が確認された。また、方向 2, 3 でも約-30 度の誤差が確認され、特定の方向に対して識別性能が低い可能性が示唆される。

4.4.2 誤差分布解析

さらに回答方向と正解方向の角度誤差分布を解析した。図 5 はカーネル密度推定 (KDE) [15] を用いて得た誤差分布である。横軸が正解方向と回答方向の角度誤差を表し、縦軸が回答の確率密度を表している。平均角度誤差は-32.55 度であり、回答が全体として正解方向よりも反時計回りに偏る傾向があると分かった。また、標準偏差は 32.10 度であり、誤差のばらつきが大きいことを示している。次に誤差の分布には 2 つの主要なピーク (0 度および-45 度付近) が見られ、隣接方向 (± 45 度) への誤認が多いことが示唆される。この結果は、デバイスが方向提示に一定の精度を持つ一方で、隣接方向への誤認が発生しやすいことを示している。

4.4.3 誤差および分解能を考慮した正解率の算出

誤差分布および各方向における誤差の解析から-45 度 (1 ラベル分) ずれた角度を許容した場合、各方向の正解率がどうなるのか解析を行った。まず、-45 度のズレを許容した場合、データをどの程度説明できるのかを求めた。その結果、全データの 85.11 % を説明できることが分かった (図

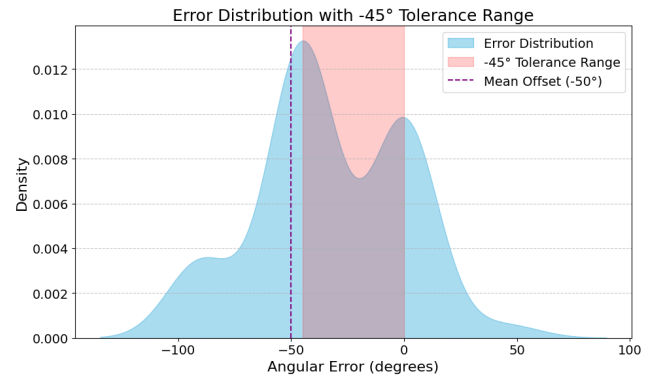


図 6 誤差分布と 0 から-45 度の範囲におけるデータ説明率

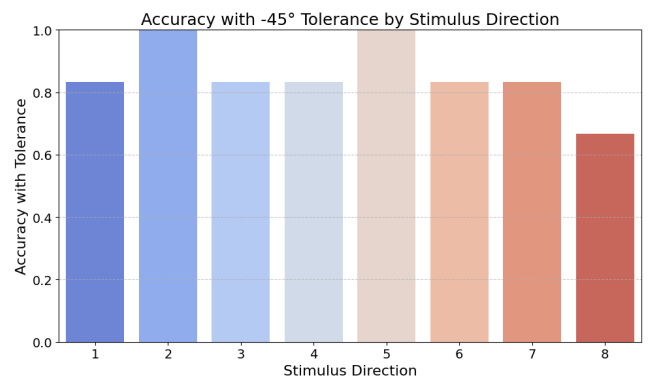


図 7 0 から-45 度の誤差を許容した際の各方向における正解率
横軸: 各方向ラベル 縦軸: 正解率

6)。図では 0 から-45 度の横軸における部分をハイライトしているだけであり、単純に重なっている部分がデータの説明度を表しているわけではない。0 度と-45 度の回答データの確立分布を合わせたものが実際の許容範囲であり、青色で示される全てのデータの確立分布の面積の 85.11 % を占めることになる。このことから、本システムにおける方向提示の分解能は 45 度程度であると考えられる。

次に、-45 度のズレを許容した場合の各方向の正解率を求めた。その結果、全体の正解率は 85.11 % になり、誤差を許容しなかった場合の全体の正解率 36 % と比較して高い値になった。また、 ± 45 度のズレを許容した場合の全体の正解率は 87.23 % であった。

この結果は、デバイスが 45 度以内の分解能を有していることを示唆しており、誤差を許容すれば高い方向提示能力を持つことを示している。ただしこの結果は現在の刺激提示手法における結果であり、実験参加者数が少ないことや実験デバイスの実装の問題によりズレが起きている可能性は考慮しなければならない。

4.5 アンケート結果

実験後のアンケートでは、振動の提示方法について、正しい方向に近づくほど振動を弱め、正しい方向では振動しないようにすると分かりやすいのではないかという意見が得られた。また、使い続けていると鼻が少し痒くなった、

圧迫感を覚えたという感想も得られた。今回の実験では、正しい方向に近づくほど強い振動刺激を提示し、かつ実験中は連続的に振動を提示していたため、実験参加者に負担を感じさせたと考えられる。そのため、どの方向を向いているときにどのような振動を提示するのかは工夫する余地があり、振動にリズムを持たせるなど、連続で提示しないようにする必要がある。また、「鼻の当たり具合で感じ方がかなり変化した」という回答も得られた。特に、今回のデバイスは鼻をつまむようにして乗せているだけであり、装着中に振動によって位置がずれる場合がある。刺激の認識しやすさや装着の快適さを改善するために、デバイスを装着する位置や鼻と密着させる方法を模索し、刺激を提示する最適な位置を求める必要がある。

5. まとめ

本研究では、鼻に振動刺激を与えることで方向を提示するという新たなコンセプトを提示し、プロトタイプを作成した。また、プロトタイプの方向提示能力について評価するため2つの実験を行った。1つ目の実験では、鼻背部の左右につけた2つの振動モータの振動を左右で識別できることを確認した。2つ目の実験では、目標の方向を向くと振動が強くなるような振動提示手法を用いて、より詳細な方向提示能力の確認を行なった。2つ目の実験結果から実装したデバイスと振動提示手法により45度以内の分解能で方向を提示できることが確認された。さらに、自由回答のアンケートの結果などからデバイスの設計や振動のさせ方など改良の余地があることが明らかになった。

今後は、デバイスの改良を進めるとともに、鼻に装着した2つの振動子を活用したより良い方向提示手法の調査を進める。さらに、デバイスを長時間装着することによって方向感覚を身につけることが可能かどうかといった仮説の検証を行い、本デバイスを通じた身体感覚の拡張の可能性についても検討を進める予定である。

謝辞 本研究はJSTムーンショット型研究開発事業(JP-MJMS2012)、JSPS科研費基盤研究(B)(JP23K24884)の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Gibb, R., Ercoline, B. and Scharff, L.: Spatial Disorientation: Decades of Pilot Fatalities, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 82, No. 7, pp. 717–724 (2011).
- [2] 溝端 裕亮, 藤田 真敬, 大類 伸浩, 菊川 あずさ, 小林 朝夫, 高田 邦夫, 立花 正一, 岩本 鉄也, 山口 大介, 木村 幹彦, 別宮 慎也: Spatial Disorientation and Countermeasure, *Aeromedical Laboratory Reports*, Vol. 56, No. 4, pp. 79–93 (2016).
- [3] Schaack, S., Chernyshov, G., Ragozin, K., Tag, B., Peiris, R. and Kunze, K.: Haptic Collar: Vibrotactile Feedback around the Neck for Guidance Applications, *Proceedings of the 10th Augmented Human Interna-*

- tional Conference 2019*, AH2019, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2019).
- [4] Matsuda, A., Nozawa, K., Takata, K., Izumihara, A. and Rekimoto, J.: HapticPointer: A Neck-worn Device that Presents Direction by Vibrotactile Feedback for Remote Collaboration Tasks, *Proceedings of the Augmented Humans International Conference*, AHs '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2020).
- [5] Tsukada, K. and Yasumura, M.: ActiveBelt: Belt-Type Wearable Tactile Display for Directional Navigation, *UbiComp 2004: Ubiquitous Computing* (Davies, N., Mynatt, E. D. and Siio, I., eds.), Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, pp. 384–399 (2004).
- [6] Tanaka, Y., Nishida, J. and Lopes, P.: Electrical Head Actuation: Enabling Interactive Systems to Directly Manipulate Head Orientation, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2022).
- [7] Li, W., Nakamura, T. and Rekimoto, J.: Remocon-Hanger: Making Head Rotation in Remote Person using the Hanger Reflex, *Adjunct Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '22 Adjunct, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2022).
- [8] 植田 健斗, 真鍋 宏幸: 方向提示を目的とした熱刺激を用いた首輪型デバイス, *インタラクシオン 2022 論文集*, pp. 446–449 (2022).
- [9] Nagel, S., Carl, C., Kringe, T., Martin, R. and König, P.: Beyond sensory substitution – Learning the sixth sense, *Journal of neural engineering*, Vol. 2, pp. R13–26 (2006).
- [10] Nakamura, F., Verhulst, A., Sakurada, K. and Sugimoto, M.: Virtual Whiskers: Spatial Directional Guidance using Cheek Haptic Stimulation in a Virtual Environment, *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2021*, AHs '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 141–151 (2021).
- [11] Jingu, A., Kamigaki, T., Fujiwara, M., Makino, Y. and Shinoda, H.: LipNotif: Use of Lips as a Non-Contact Tactile Notification Interface Based on Ultrasonic Tactile Presentation, *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 13–23 (2021).
- [12] Brooks, J., Teng, S.-Y., Wen, J., Nith, R., Nishida, J. and Lopes, P.: Stereo-Smell via Electrical Trigeminal Stimulation, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2021).
- [13] Weinstein, S.: Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex and laterality, *The skin senses*, pp. 223–261 (1968).
- [14] Wang, C. X., Hilburn, I. A., Wu, D.-A., Mizuhara, Y., Cousté, C. P., Abrahams, J. N. H., Bernstein, S. E., Matani, A., Shimojo, S. and Kirschvink, J. L.: Transduction of the Geomagnetic Field as Evidenced from alpha-Band Activity in the Human Brain, *eNeuro*, Vol. 6, No. 2 (2019).
- [15] Silverman, B. W.: *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Monographs on Statistics and Applied Probability, Chapman and Hall, London (1986).