

念力 UI：暗黙的な身体微動を用いた意図ベースインタラクションの設計

秋元 源希* 高下 修聡† 齊藤 寛人‡ 稲見 昌彦‡

概要. 本研究は、ユーザが対象の動きを「念じる」際に無意識に表出される微小な身体動作（表情筋の微動）を検出し、その意図を推定することでコンピュータを操作する新たなインターフェースの枠組み「念力 UI」を提案する。従来のマウスやマイクロジェスチャによる操作と異なり、本手法では明示的な身体動作による入力を行わずにユーザの意図を読み取り、出力に変換することを目指す。初期実装では、カメラによる顔特徴点検出から得られる表情の微小変化を特徴量として抽出し、線型回帰モデルにより学習を行いカーソルの操作を行った。これにより、ユーザが「念じる」だけで意図方向への操作を行えるような主観的体験が得られる可能性が示唆される。本稿では、念力 UI の設計思想と初期実装の概要、および意図ベースの操作の拡張可能性について今後の展望を述べる。

1 はじめに

近年、ヒトとコンピュータのインタラクションは、マウスやジョイスティックなどを用いて直接システムを操作する明示的な操作から、視線・筋電・脳波といった末梢動作や内在的信号をシステムへの命令として AI が意図を解釈し調停する、暗黙的な操作へと進化しつつある。最初のヒトとコンピュータの身体的なインタラクションは、マウスを用いた GUI 操作に代表され、キーボードによる CUI 操作に比べてより直観的な命令を可能にした。その後、タッチパネルやタンジブル UI、バーチャルリアリティ技術などの発展により、身体的接続は一層強化された。これは現実世界と同様の方法でシステムを操作するというパラダイムの上にあったように思われる。ところが近年では、末梢動作や内在信号の計測技術の発展、そして AI による意図推定・解釈能力の向上によって、周囲の人にとってもシステムへの命令としても明示的な入力から離れた、暗黙的な操作という新たなパラダイムが生まれつつある (図 1)。周囲の人にとって暗黙的な操作としては、Brain-Computer Interface (BCI) [9] による脳活動を利用した (システムへの命令としても暗黙的な) 操作や、視線をジョイスティック替わりに使用した (システムへの命令としては明示的な) 操作がその典型であり、これらは身体的疲労の軽減や秘匿的な操作の実現といった利点をもたらす可能性を持つと考えられる。

暗黙的な操作技術の究極の目標は、軽く「念じる」だけで操作できる、すなわち操作の意図が結果に接続される UI であると考えられるが、現状の関連技

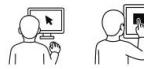
	周囲にとって明示的	周囲にとって暗黙的
システムへの明示的な命令	マウス タッチパネル タンジブル UI 	視線ジョイスティック マイクロジェスチャ 
システムへの暗黙的な命令	つもり制御 	BCI 念力 

図 1. 既存の操作システムの分類と本研究の位置付け

術には装置の簡便性、非直観的なマッピング、個人差によるノイズなどの課題が残っている。例えば従来の BCI は、脳活動計測装置の高いコストや侵襲性、煩雑な装着性、またノイズ耐性の問題から、一般利用には未だ課題が多い [6]。また、手や口などの末梢部位のマイクロジェスチャを用いた入力も注目を集めているものの、誤作動や非直感的なマッピングの習得負荷が課題となっている [2]。また、Meta 社の EMG リストバンドに代表されるように、ヒト内部の筋活動から意図を推定するインターフェースも注目を集めている [3]。しかし、現状の EMG デバイスには個人差の統制や電氣的もしくは生理学的要因に基づくノイズなどの課題が残る [1]。

本研究では、これらの課題に対応するものとして、ユーザが意図した操作を念じた際の無意識的な微動をセンシングし、それを機械学習することによって、意図された操作を判別し出力する新たなフレームワーク「念力 UI」を提案する (図 2)。人はある対象の操作を念じるときに完全に静止しているわけではなく、表情筋や視線、姿勢に微小な変化が生じる

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 東京大学 大学院情報理工学系研究科

† 東京大学 大学院情報学環・学際情報学府

‡ 東京大学 先端科学技術研究センター

と考えられる。このようなユーザにとって無意識的な身体末梢部の微動を取得することで、操作のための身体動作を積極的に行わずとも、意図の潜在空間を結果に接続したかのような操作が実現できると考える。また、これにより操作の意図と結果との一致性だけでなく、装置の簡便性や周囲への情報の秘匿性をも同時に満たす新しい操作体験の実現を目指す。

2 関連研究と位置付け

本研究は、Neural Manifolds、つもり制御、DecNef (Decoded Neurofeedback) といった先行研究と関連する。

Neural Manifolds の研究では、脳の運動皮質における大規模な神経活動が多数のニューロンの個別発火ではなく少数のモードの活性化として捉えられるということを示しており、運動意図が脳内の少数の潜在変数を用いて表現できることを示唆している[4]。本研究はこの概念を身体微動に応用し、異なる意図が異なる身体微動のパターンとして観測されることを仮定する。

一方、つもり制御[10]は、はヒトの離散的な行動意図を、ヒトが直観的に出力した連続的な動作から抽出することで、直観的にロボットを操縦する手法である。本研究は意図レベルの操作という点でつもり制御と一致しているものの、意図の抽出を無意識的な身体微動から行っている点が異なる。

また、Decoded Neurofeedback (DecNef) [7] に関連する一連の研究は、ある刺激に対する脳活動パターンと似た脳活動パターンに報酬を与えることで、その刺激に対する学習をその刺激を与えることなく進められる、もしくはその刺激に対する信念を変化させられることを示した。本研究では、初期は不安定であろう特定の意図に紐づく身体微動のパターンの表出を、DecNefを参考にした学習方法を用いて、安定化させることを狙う。本研究はこれらの知見を統合し、ユーザの意図を反映した対象提示に対する微小動作を通じて、最終的に無意識的な対象制御を実現することを目指すものである。

3 提案手法と実装

3.1 システム構成

システムはPCとWebカメラのみで構成される。まずは画像解析ツールMediaPipe[5]を用いてユーザの顔の特徴点を検出する。検出点は左眉頭・右眉頭・眉間・鼻先・顎の5点である。システムの構成を図2に示す。

3.2 特徴量抽出

以下の3次元の特徴量を設計した。検出された5つの特徴点からこれらの特徴量を抽出する。

- f_1 : 眉の高さ

$$f_1 = (\text{眉中央 Y 座標} / \text{顔高さ}) + (\text{眉間 Y 座標} / \text{顔高さ})$$
- f_2 : 左右非対称度

$$f_2 = (\text{左眉-眉間距離} - \text{右眉-眉間距離}) / \text{眉間距離}$$
- f_3 : 顔の傾き

$$f_3 = (\text{顎 X 座標} - \text{鼻 X 座標}) / \text{眉頭間距離}$$

設計者が解釈可能なように、今回の設計では主成分分析を用いず、事前に設計した特徴量を使用した。これにより、少数データでの安定的な学習も可能となる。

3.3 学習モデル

学習には Ridge 回帰を用い、入力ベクトル $X = [1, f_1, f_2, f_3]$ から出力 $Y = [x, y]$ (カーソル座標) を学習する。モデルは以下の線型写像

$$Y = WX$$

に基づくが、 2×4 の重み行列 W は L2 正則化項 $\lambda = 0.001$ を加えた最小二乗法により求めた。制御においては微小な閾値を設けてノイズを除去した。

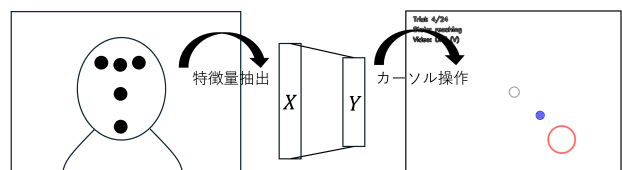


図 2. 提案システムの構成。

4 考察

提案システムは、BCIや筋電計のような器具の装着を必要とせず、カメラのみで念じた方向を動作出力に変換する点で、周囲に対して暗黙的な入力システムの中で新規性を持つ。更に、顔の変化から得られる特徴量と動作出力の関係をユーザ側が(気づかないままに)学習・安定化するため、ユーザに明示的な操作方法の習得を強制することがない。このため、主観的には「念じるだけで動く」という体験を提供できる可能性がある。

5 結論

本研究では、ユーザが操作を念じる際の無意識な微動を入力信号として利用する念力 UI を提案し、その初期実装を報告した。今後は、リーチングタスク[8]を用いた操作精度および主観的な操作感や行為主体感の検証を行い、マウスや表情マッピングとの比較実験を通して、意図ベースのUIの有効性を定量的に評価する予定である。

謝辞

本研究の一部は、JST ACT-X(JPMJAX24CF)の支援を受けました。また、本研究の一部は、セコム科学技術振興財団の支援を受けて実施されました。

参考文献

- [1] L. Bi, A. G. Feleke, and C. Guan. A review on EMG-based motor intention prediction of continuous human upper limb motion for human-robot collaboration. *Biomedical Signal Processing and Control*, 51:113–127, 2019.
- [2] V. Chen, X. Xu, R. Li, Y. Shi, S. Patel, and Y. Wang. Understanding the Design Space of Mouth Microgestures. In *Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '21, p. 1068–1081, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [3] Facebook Reality Labs. Inside Facebook Reality Labs: Wrist-based Interaction for the Next Computing Platform. <https://about.fb.com/news/2021/03/inside-facebook-reality-labs-wrist-based-interaction/>, 2021. Accessed: 2025-10-22.
- [4] J. A. Gallego, M. G. Perich, L. E. Miller, and S. A. Solla. Neural Manifolds for the Control of Movement. *Neuron*, 94(5):978–984, 2017.
- [5] F. Lugaresi, J. Tang, H. Nash, and et al. Me-diaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp. 165–166, 2019.
- [6] L. F. Nicolas-Alonso and J. Gomez-Gil. Brain Computer Interfaces, a Review. *Sensors*, 12(2):1211–1279, 2012.
- [7] K. Shibata, T. Watanabe, Y. Sasaki, and M. Kawato. Perceptual learning incepted by decoded fMRI neurofeedback without stimulus presentation. *Science*, 334(6061):1413–1415, Dec. 2011.
- [8] W. Soukoreff and I. S. MacKenzie. Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, Perspectives on 27 Years of Fitts' Law Research in HCI. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61(6):751–789, 2004.
- [9] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113(6):767–791, 2002.
- [10] 真隆 丹羽, 博幸 飯塚, 英由樹 安藤, 太郎 前田. つもり制御：人間の行動意図の検出と伝送によるロボット操縦(テレグジスタンスのためのロボティクス・グラフィクス・インタフェース). *VR学会論文誌*, 17(1):3–10, Feb. 2012.

未来ビジョン

本研究は、末梢的な身体動作や生体信号に「漏れ出る」意図を読み取ることで、意図とシステムの操作を最短で結びつける、新しいヒューマンコンピュータインターフェースの枠組みを提案するものである。これは、BCIなどが目指してきた意図レベルでの操作を、脳信号の代わりに身体微動を用いることで実現しようとする試みである。現時点では、「念じる」ことによるマウスカーソルの制御に成功している。応用の観点では、本手法は入力源を顔の表情の微動に限定することなく、念じた際の際の手の汗や重心の微動、耳の上に載せたメガネフレームの側面に加わる圧力など、意図による身体微動が現れうる様々なチャンネルを用いて同様のシステムを設計できる可能性がある。つまり、カメラすら用いずに念力 UI を実現できるかもしれない。また、本システムは BCI

と同様、義手・拡張肢・余剰指の制御にも応用され得る。また、周囲への秘匿性があるため、プライバシーが保護された入力も可能となる。さらには、明示的な対応関係をシステム設計者が設定する必要がないため、様々な身体特性を持つ人々の支援や、各人にとって直観的な操作の実現にも期待できる。

本研究の成果は、HCI (Human-Computer Interaction) 分野における新たな方向性を示唆している。本報告では、上下左右といった単純な動作意図の分類にとどまるが、今後さらに多様な意図を高精度に識別できるようになれば、人は文字通り「念じる」だけで様々な対象を操作できるようになるだろう。しかも、その操作は従来のような複雑な学習や訓練をほとんど必要としない。本研究で提示した「漏れ出る」意図の推定に基づく操作原理は、AI が人の意図を「察して」行動するための新たなインタラクション設計の方向性を示すものである。