

スマートフォン内蔵磁気センサを用いた背面ジョイスティックアクセサリの提案

石川 和哉* 和田 優斗† 池松 香‡ 志築 文太郎§

概要. 本研究では、スマートフォン内蔵磁気センサを用いた背面操作ジョイスティックアクセサリを提案する。従来のスマートフォン操作は指による直接入力に依存しており、指により画面が隠れるという課題がある。これに対し、背面を操作空間とする手法が提案されてきたが、多くは外部センサを要し、また離散的入力に留まるなどの制約があった。本研究では、iPhone の MagSafe 機構を活用し、市販のスマートフォンアクセサリと同等の着脱性を備えたジョイスティック型の入力機器を製作した。また、ジョイスティック型入力機器の動作を確認するためのシステムを実装した。本システムでは、ジョイスティック可動部に埋め込まれた金属プレートの移動に伴う磁場変化を内蔵磁気センサにて取得し、環境磁気干渉を補正したのち、補正後の磁場データと対応する金属位置の座標から回帰モデルを学習する。磁場データから金属位置をリアルタイムに推定することで、スマートフォン背面における連続的なジョイスティック操作を実現する。

1 はじめに

スマートフォンの入力の多くは、画面に指で直接触れて操作する手法に依存している。しかし、この方式は指が主要なコンテンツを遮蔽してしまう課題がある。この課題を解決するため、スマートフォンの背面領域を活用した操作手法が提案されている。例として、スマートフォン内蔵のカメラ [4] やマイク [2] を用い、端末背面での指の位置や動きを検出して入力操作に利用する手法がある。しかし、これらの手法は入力語彙が限定的（タップやスワイプのみを検出可能）であることに加え、高消費電力のセンサを前提とする、あるいは外部センサを要するという課題がある。これらの課題に対処するために、スマートフォン内蔵磁気センサを利用し、磁石 [3] もしくは金属 [1] を用いた背面操作手法が提案されてきた。しかし、先行研究では、1) コンパス等の磁気を用いたスマートフォン機能に影響を与える [3]、2) 離散的な入力に限られる [1]、という課題を抱えており、これらのすべてを同時に解決する手法は存在しない。

そこで本研究では、iPhone 背面の MagSafe 機構の近傍の磁場を入力に利用するジョイスティック型の入力機器、ならびにその動作を確認するためのシステムを提案する。MagSafe は、交互極のリング磁石と整列磁石からなる磁力による位置合わせ機構であ

る。本システムでは、その近傍で小型の金属プレートを移動させると磁束がプレート側へ回り込み、局所磁場が変化する現象を利用する。具体的には、金属プレートを埋め込んだジョイスティック可動部をリング磁石近傍に位置するよう入力機器を装着し、指の動きに伴うプレート位置の変化を端末内蔵磁気センサで計測する。得られた磁場変動から連続的な二次元操作量を推定し、入力として扱う。本システムは磁石の代わりに小型の金属プレートを用いるため、追加の磁場源を導入せず、端末の磁気センサを用いる機能への恒常的なバイアスを生じにくい。

2 関連研究

これまでに、スマートフォン内蔵磁気センサを用いた入力手法が提案されてきた。TetraForce [3] では、磁石による磁場変化をスマートフォン内蔵磁気センサを用いて取得し、押し込みやスライド、およびひねりなどの多様な力覚入力を可能とした。しかし、磁石を使用することによりコンパス等の磁気を用いたスマートフォン機能に多大な影響を与える。MagPie [1] では、金属プレート、および iPhone 内蔵磁気センサを用いた力覚入力を可能とした。また MagPie では MagSafe を用いることで、デバイスの装着を容易にしている。しかし、MagPie の力覚入力は、ボタン操作またはレバー操作による離散的な入力に限られている。本システムは、金属プレートを用いることで MagPie と同様に磁気センサへの干渉を抑制しつつ、連続入力を実現する。

3 提案システム

本研究では、スマートフォン内蔵磁気センサを用いることにより、端末背面に装着したジョイスティック

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.

* 筑波大学 情報メディア創成学類

† 筑波大学 情報理工学位プログラム

‡ LINE ヤフー株式会社

§ 筑波大学 システム情報系

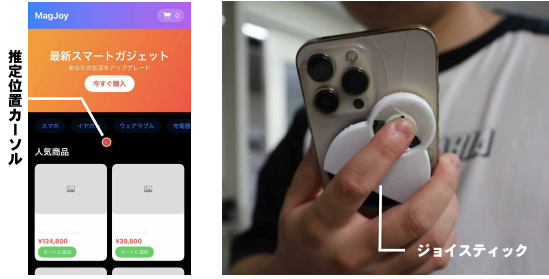


図 1. 実際のアプリケーション使用例。ジョイスティックの入力に基づいて、画面上のカーソルが動く。

ク型入力機器によるスマートフォン背面操作手法を提案する。本システムでは、iPhone 背面の MagSafe 用リング磁石の近傍で小型の金属プレートを移動させた際に生じる磁場変化を、内蔵磁気センサで取得する。取得したセンサデータと対応する金属の位置座標を教師データとして用い、位置推定モデルを学習する。補正済み三軸磁場データを回帰モデルに入力することにより、リアルタイムに金属プレートの二次元座標を推定する。本システムを用いることで、スマートフォン背面領域を用いた連続的な入力操作を可能にする（図 1）。

4 システム設計

4.1 ジョイスティック

プロトタイプのジョイスティックは、TPU 製の 3D プリント筐体を用い、筐体内に MagSafe 取り付け用の金属リングと、ジョイスティック可動部の中心に小型の金属プレートを組み込んだ構成とした（図 2）。金属プレートによる磁場変化は微小なものであるため、磁場変化を高感度に検出する必要がある。そこで、iPhone 内蔵磁気センサが位置している端末の右上付近、具体的には、端末上部から 46 mm、右から 19 mm に、定常状態のジョイスティック可動部の中心が位置するように設計した。なお、この設計は、MagSafe のアクセサリガイドライン¹に則った設計である。

4.2 キャリブレーション

未処理のセンサデータをそのまま学習に用いると、地磁気やスマートフォン筐体によるノイズの影響を受けてしまう。その結果、環境が変わるたびに新たな機械学習モデルを作成する必要がある。この問題を防ぐために、環境磁気干渉に対するキャリブレーションを行う。具体的なキャリブレーションの手順として、まず、端末を固定し、端末にジョイスティックを装着した状態にて、三軸 (x, y, z) の磁気データを 5 秒間取得する。この間、端末の姿勢や周囲

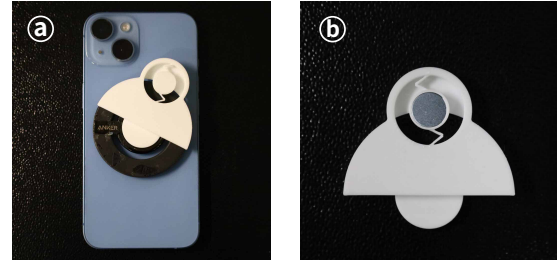


図 2. ジョイスティック（a：iPhone にジョイスティックを装着した状態、b：ジョイスティックに内蔵されている金属プレート）

の磁性体の配置は変化させない。取得した各軸の平均を環境磁場のベースラインとして保存する。各軸 $i \in \{x, y, z\}$ に対して、静止状態で取得した各軸の N サンプルの磁場データを $B_{i,1}, B_{i,2}, \dots, B_{i,N}$ とすると、ベースライン $\bar{B}_i$ は、 $\bar{B}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N B_{i,k}$ と定義される。各サンプルから装着前に求めたベースラインを減算して環境起因のオフセットを補正する。例として、ある時刻 t における補正済み x 軸磁場データを $\tilde{B}_x(t)$ 、補正されていない生の x 軸磁場データを $B_x(t)$ とすると、 $\tilde{B}_x(t)$ は、 $\tilde{B}_x(t) = B_x(t) - \bar{B}_x$ と表せる。

4.3 回帰モデル

補正済み三軸磁場データ $(\tilde{B}_x, \tilde{B}_y, \tilde{B}_z)$ を特徴量として、金属プレートの位置を推定する回帰モデルを構築した。磁場データは、前節にて述べたキャリブレーションによって地磁気、およびスマートフォン筐体磁場の影響を除去した後、60 Hz のサンプリングレートで取得した。各サンプルには、データ取得時の金属プレート座標情報を付与し、入力-出力ペアとしてデータセットを構築した。その後、構築したものを CreateML (Apple) を用いて回帰モデルを学習させた。学習アルゴリズムには非線形性の高い磁場分布の回帰に適していることから、Boosted Tree Regression を採用した。

5 おわりに

本研究では、スマートフォン内蔵磁気センサを用いた新たな背面操作ジョイスティックアクセサリを示した。本研究において製作したジョイスティック型の入力機器は、iPhone の MagSafe 機構を活用することにより、容易な着脱が可能である。また、金属プレートの移動に伴う磁場変化を活用することにより、端末の磁気センサを用いる機能への恒常的なバイアスの発生を抑えつつ、連続入力を実現した。今後は、推定精度のさらなる向上と評価実験の実施を進める。

参考文献

¹ <https://developer.apple.com/jp/accessories/>

- [1] I. Kim, S. Shin, J. Choi, J. Kim, J. Lee, S. Oh, E. Park, and H. Kim. MagPie: Extending a Smartphone's Interaction Space via a Customizable Magnetic Back-of-Device Input Accessory. In *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '25, pp. 1–16, New York, NY, USA, 2025. Association for Computing Machinery.
- [2] K. Sun, T. Zhao, W. Wang, and L. Xie. VSkin: Sensing Touch Gestures on Surfaces of Mobile Devices Using Acoustic Signals. In *Proceedings of the 24th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, MobiCom '18, p. 591–605, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [3] T. Tsuchida, K. Fujita, K. Ikematsu, S. Sarcara, K. Takashima, and Y. Kitamura. TetraForce: A Magnetic-Based Interface Enabling Pressure Force and Shear Force Input Applied to Front and Back of a Smartphone. In *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 6, pp. 185–206, New York, NY, USA, Nov. 2022. Association for Computing Machinery.
- [4] W. Yamada, H. Manabe, and D. Ikeda. CamTrackPoint: Camera-Based Pointing Stick Using Transmitted Light through Finger. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, p. 313–320, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.