

「押しボタンマトリクス」の提案とその応用

田原 和真* 塚田 浩二*

概要. 押しボタンは日常の様々な場所で用いられている一般的な入力デバイスであり、広く使われている。これまで我々はユーザの好みに応じて、ボタンの重さやクリック感等の押し心地を調整できるデバイスを提案してきたが、単一のボタンを用いた事例に留まっており、活用場面が限定されていた。そこで本研究では、押し心地を変更できるボタン（押しボタン）をマトリクス状に配置した「押しボタンマトリクス」を提案する。各ボタンは、「押下圧」「クリック感」「ストローク」といった押し心地を調整できる。本デバイスを用いて「対戦ゲーム」「楽器」等の多彩な応用例を提案し、その効果や発展について議論する。

1 はじめに

押しボタンは、多様な家電や情報機器等で用いられている一般的な入力デバイスである。「押す」という動作のわかりやすさ・シンプルさや、省スペースで制御が容易という設計上の扱いやすさ等により、広く使われている。押しボタンの中にも多様な種類があり、押した時の感触（押し心地）が異なっている。

一方、こうしたボタン毎に異なる押し心地の変化を単一のデバイスで表現するために、我々は本研究の前身として、押し心地が動的に変化する押しボタンの開発 [9] を行ってきた。ここでは、「押下圧（ボタンを押すのに必要な力）」と「クリック感（接点が切り替わった際のフィードバック）」を場面に応じて動的に変化できるボタン型デバイスを試作・検証した。さらに、WISS2024 のデモ発表 [8] では、このデバイスを拡張して、「ストローク（ボタンを最大まで押した時の深さ）」を変更可能な装置を提案した。一方で、これまでは単一のボタンのみを対象としており、活用範囲が大幅に限定されていた。そこで本研究では、押し心地を変更できる押しボタン（押しボタン）をマトリクス状に配置した「押しボタンマトリクス」を提案し、幅広い応用例を実装する。

2 関連研究

Doerrera ら [1] や Liao ら [3] は、アクチュエータを用いて、任意のフォースカーブ（押し込み距離と重さの関係）の特性をシミュレートできる手法を開発している。これらの手法は押しボタンのシミュレータとして開発されたものであるため、押し心地の再現性が重視されているが、我々の試みは実環境に近い場面での活用を焦点を当てており、設計方針が大きく異なる。

小川ら [7] や Park ら [5] は物理的なボタンに振動子を取り付け、多様なクリック間を提示する手法を示した。本研究では、クリック感に加えて押下圧やストロークもインタラクション要素として活用できる点異なる。

inFORM[2] や inFORCE[4] は、大量の小型ピンディスプレイをマトリクス上に並べ、3D の形状表現ディスプレイを実現したり、各ピンで力の提示を実現している。本研究では、押し心地を変更できるボタンをマトリクス状に配置することで、主に入力を中心としたインタラクションに焦点を当て、有効な活用場面を探っていく。

TENORI-ON[6] は、小型の LED 付きボタンが 16×16 のマトリクス状に並んだ電子楽器である。全てのボタンに LED を内蔵しており、視覚的なフィードバックを行える。本研究では、ボタンの押し心地を変化させることで、触覚・力覚を中心としたフィードバックを行う。

3 押しボタンマトリクス

本研究では、押し心地を変更可能なボタン（押しボタン）を用いて、様々なインタラクションが可能な押しボタンマトリクスを提案する。

押しボタンを 9 個使い、 3×3 のマトリクス状に並べた筐体を製作した（図 1）。筐体の大きさは、幅 $212\text{mm} \times$ 奥行 $212\text{mm} \times$ 高さ 273mm となっている。ボタン同士の間隔は 40mm で、片手でも少し指を開くことで 1 列に並んだボタンを 3 つ同時に押せる程度の幅に設計した。ボタンは天板に開けた直径 30mm の穴にねじ止めする形で固定しており、容易に取り換えることができるように設計した。また、各ボタン毎の制御用マイコンと、全体を統括するホストマイコンがあり、PC 等の外部の機器からはホストマイコンを経由して押下状況の取得・押し心地要素の変更を行う。

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.

* 公立はこだて未来大学

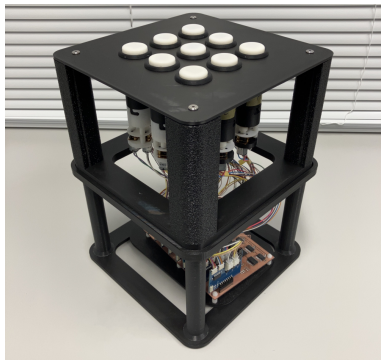


図 1. ボタンマトリクス筐体の外観

4 応用例

推しボタンマトリクスを使った応用例として、「対戦ゲーム」「楽器」「ボタンを連動させたフィードバック」の3つの観点から紹介する。

4.1 対戦ゲーム

推しボタンマトリクスを用いた連打ゲームについて紹介する。このゲームでは推しボタンマトリクスを挟んで、2人のプレイヤーが向かい合う配置で対戦する。図2のように、プレイヤーが押すボタンの順番には指定があり、各ボタンを一定回数押すと次のボタンに進める。そして4番目のボタンを連打し終わった後に、中央のボタンを相手より早く押すことで勝利となる。この時に、ボタンを浮き上がらせる／沈ませることにより、次のボタンに進めることをボタン本体で表現する。

従来のゲームでは「入力：ボタン」「出力：ディスプレイやLED」のように入出力が分かれていたが、推しボタンマトリクスを用いることで、入出力の両方をボタンのみを用いて表現でき、異なる体験を提供できると考える。

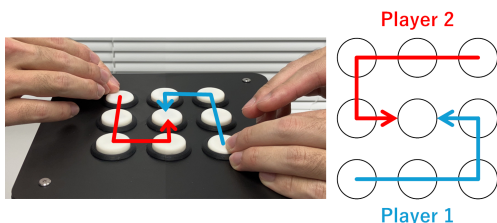


図 2. 連打ゲームの様子 (左) と押す順番 (右)

4.2 楽器

推しボタンマトリクスを用いた電子楽器について紹介する。推しボタンマトリクスをドラムパッドやMIDIパッドに見立て、ボタンを押すと特定の音が鳴るシステムを作成した。この時、鳴る音に合わせてボタンの押し心地を変更することで、演奏感や楽

しさの向上が期待される。例えばドラムセット (図3) では、「音の大きさと押下圧」「楽器の動きの大きさとストローク」「残響の長さをクリック感」を対応付ける。

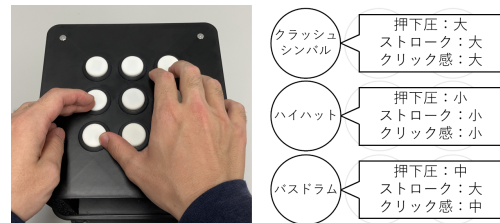


図 3. 演奏の様子 (左) と押し心地の割り当て例 (右)

4.3 ボタンを連動させたフィードバック

複数のボタンを連動させたフィードバック手法について紹介する。複数の攻撃方法があるゲームを想定する。いずれかのボタンを押すことで、そのボタンに対応した攻撃が出る。それと同時に、他のボタンを使ってフィードバックを行うことで、攻撃の種類や強さを視覚的に感じることができ、楽しさの向上が期待される。例えば「払い攻撃」では、押したボタンの左側にあるボタンが順番に押される。ボタン長押しで発動する強力な「回転攻撃」では、離れたボタンの周りが円状に順番に押される。このように、それぞれの攻撃をモチーフにしたボタンの動きを行う (図4)。

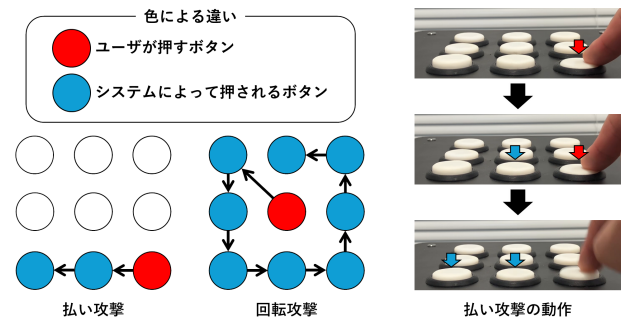


図 4. 各攻撃におけるボタンの動き方の違い (左) と、動作の様子 (右)

参考文献

- [1] C. Doerr and R. Werthschützky. Simulating push-buttons using a haptic display: requirements on force resolution and force-displacement curve. In *Proceedings of the EuroHaptics*, p. 41–46, 2002.
- [2] S. Follmer, D. Leithinger, A. Olwal, A. Hogge, and H. Ishii. inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. In *Proceedings of the 26th An-*

- nual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, p. 417–426, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [3] Y.-C. Liao, S. Kim, B. Lee, and A. Oulasvirta. Button Simulation and Design via FDVV Models. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, p. 1–14. Association for Computing Machinery, 2020.
- [4] K. Nakagaki, D. Fitzgerald, Z. J. Ma, L. Vink, D. Levine, and H. Ishii. inFORCE: Bi-directional 'Force' Shape Display for Haptic Interaction. In *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '19, p. 615–623, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [5] C. Park, J. Yoon, S. Oh, and S. Choi. Augmenting Physical Buttons with Vibrotactile Feedback for Programmable Feels. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 924–937. Association for Computing Machinery, 2020.
- [6] YAMAHA. TENORI-ON. https://www.yamaha.com/ja/tech-design/design/synapses/id_005. (2025-8-31 確認) .
- [7] 小川 大地, 蜂須 拓, 梶本 裕之. 2A1-B01 物理的なボタンへの触振動付与による多感触ボタンの設計. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2015: 2A1-B01_1–2A1-B01_3, 2015.
- [8] 田原 和真, 塚田 浩二. ボタン自体をさりげなく駆動させる情報提示手法の提案. WISS2024 予稿集, 2024. デモ発表 3-A09.
- [9] 田原 和真, 塚田 浩二. 動的に押し心地が変化する押しボタンの試作と評価. 情報処理学会論文誌, 66:354–365, Feb 2025.