

# すまうす：スマートフォンをまとったマウス

田中 智泰<sup>1</sup> 真鍋 宏幸<sup>1</sup>

**概要：**マウスは広く普及しているポインティングデバイスだが、2次元ポインティング以外の機能には乏しい。これまで、スイッチやタッチセンサなどを増設してマウスの機能を拡張させる試みがなされてきたが、比較的単純なセンサに限られていた。より複雑な入出力デバイスであるスマートフォンをマウスにまとわせることで、本来の2次元ポインティングだけでなく、別な多次元の入力を同時に行えるようになり、さらに入出力デバイスとしても機能することができる。提案手法である“すまうす”の実装および複数のデモへの適用を通じて、その有用性を示す。

## 1. はじめに

マウスはシンプルなポインティングデバイスであり、手軽かつ容易に操作できることから広く普及している。

従来のマウス操作では2D平面上でカーソルを移動させ、ボタンをクリックすることで様々なタスクを行う。

しかし、PCの性能向上に伴い、高い複雑性を持つソフトウェアが増えてきており、従来のマウスでは効率的な操作が難しい場面が生じている。また、近年ではARやVRのような3D環境が一般化してきており、2Dマウスだけでは入力が難しい状況も見られる。さらに、モーションやジェスチャーなどこれまで使われてこなかった情報を用いた、新しいインタラクションが模索されている。これらの理由から、スイッチやタッチセンサなどを増設してマウスの機能を拡張させる試みがなされてきた。

一方、これらの試みで用いられてきたセンサは、単一のタッチパネルやジャイロセンサなど、比較的単純なものに留まっていた。IMUやマルチタッチディスプレイなど複雑なセンサを用いることで、これまで以上に高度で多様なインタラクションが実現できると考えられる。

本研究では、スマートフォンがIMU、マルチタッチディスプレイだけでなく、圧力センサやGPS、カメラやスピーカなど非常に多くのセンサを内包したデバイスであることに着目し、スマートフォンを用いたマウスの機能拡張を提案する。全てのセンサの組み合わせを探ることは難しいため、スマートフォンのメインの入出力に用いられているタッチディスプレイに焦点を当てる。

タッチパネルを用いることで、タッチの2次元入力とタッチ圧の1次元入力、スワイプ入力が可能になる。つま

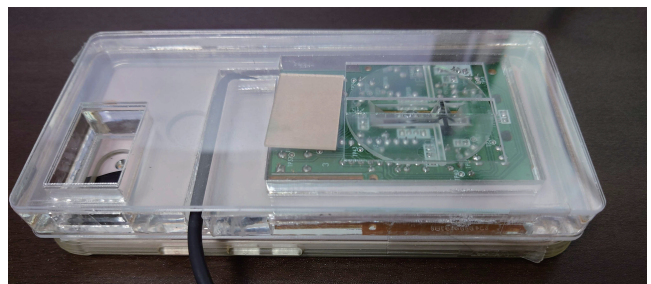


図1 高度なインタラクションが可能なマウスのプロトタイプ。Pixel 3の背面にはマウス基板を埋め込んだ合計14mm厚の亚克力板が装着されている。

り、マウスを用いた2次元の入力と、タッチパネルを用いた2あるいは3次元の入力をそれぞれ独立に行うことができるようになる。例えば、3Dのゲームなどにおいて、移動と同時に別方向への視点切り替えを行いたい場合があるが、マウスの入力とタッチスライドをそれぞれ振り分けることで実現できる。他にも作曲アプリで、マウスポインティングで楽器を選択しながらタッチ位置で音階を、タッチ圧でボリュームを調節するといった操作が同時に行える。それを確認するため、マウスの基板とスマートフォンを用いたプロトタイプ（デバイス）、ペイントデモアプリを作製し、提案手法が正常に動作することを確認した。

## 2. 関連研究

本手法はマウス入力の拡張を行うため、関連手法としてマウスにセンサを追加する手法、マウス以外にセンサを追加しマウス入力を拡張する手法が挙げられる。また、マウスの2次元入力に更なる多次元入力を追加する提案であるため、多次元入力同士を組み合わせる手法も関連する。さらに、市販のマウスや、スマートフォンをマウスとして扱

<sup>1</sup> 芝浦工業大学

うアプリも存在するため、考慮する必要がある。

## 2.1 マウスにセンサを追加する手法

Nicolas らの手法 [10] では、マウスにマルチタッチを組み込んでおり、数多くのインタラクションの可能性が示された。Xing-Dong らはマウスにタッチディスプレイを装着し、ツールバーや通知ウィンドウを表示することで効率的な入力が可能であることを示した [11]。Xing-Dong らの手法は、本手法と実装において似通っているが、本手法はスマートフォンの内蔵センサを活用することによる高度なインタラクションを提案するものであり、タッチディスプレイは主張の 1 例にすぎないという点で異なっている。半球状のポインティングデバイスの提案 [7] では、マウスの持つ通常のポインティングに加え、回転入力が可能であり、最大 6 次元の入力が可能になっている。

これらの手法は場所を選ばずに使え、片手で扱え、デバイスを持ち替える必要がないというメリットがある一方、マウス自体の操作感が変わってしまうというデメリットがある。

## 2.2 マウス以外にセンサを追加する手法

マウスにセンサを追加せずにマウス入力を拡張する手法もある。Kuribara らは弾性素材で作られたマウスパッドを用い、パッドにマウスを沈める、沈めたまま動かす、パッドの中で傾けるというインタラクションを実現した [3]。Pranav らの Mouseless[6] は、IR レーザーと IR カメラを用いて、仮想マウスを握ることで通常のマウスインタラクションと、ジェスチャ入力を実現している。Taing らは家具にタッチディスプレイを固定し、仮想マウスの実装を行い、離れた位置にあるコンピュータの操作を試みた [9]。

これらの手法は空間や物質の特性を生かした入力ができるという利点があるが、入力位置が制限されるという欠点がある。

## 2.3 多次元入力同士の複手法

多次元入りに多次元入力を組み合わせることで高度なインタラクションを得る試みは、マウスに限らず行われている。Fabrice らのタッチペンに魚眼カメラを付ける手法 [5] は、通常のタッチ入力に、もう片方の手を使ったジェスチャ入力を追加している。Sangyoon らは、PC の画面をミラーリングしたタッチディスプレイにペン入力を追加し、タッチ入力との併用を可能にした [4]。Kyeongun らは頭付近につけた深度カメラを用いて、両手を使ったピアノ演奏ジェスチャを実現した [8]。

これらの手法は自由度の高い入力が可能になるが、多くの場合両手を占有してしまう。

## 2.4 既製品

全てのアイデアが論文になっているとは限らないため、既製品についても目を向ける必要がある。実際に製品となっているマウスにディスプレイを組み込んだ製品\*1も存在するが、バッテリー残量やカーソルのカウント数などマウスの情報を表示するに留まっている。他にもスマートフォンをマウス化するアプリケーション\*2があるものの、タッチパネルか加速度とジャイロを用いたポインティング、仮想キーボードなどに限られており、通常のマウスから機能を大きく拡張しているわけではない。コンピュータへのタッチ入力としてノートパソコンのタッチパネルや、モニターがタッチディスプレイとなっているものもあるが、これらもポインティングがメインの機能である。

## 3. 提案手法

マウスに複雑なセンサを追加することで、高度なインタラクションが可能なポインティングデバイスを実現できる。一方で大きすぎるセンサを付けてしまうとマウスとしての体験を損ねてしまうため、片手に収まる程度の大きさに留める必要がある。

そのようなセンサとして活用できるデバイスの一つにスマートフォンがある。スマートフォンはタッチディスプレイや IMU、カメラなど様々な入出力機能を持っている。これにより、タッチによる二次元ポインティングやジェスチャー入力、モーション入力などの入力や、GUI を直接タッチすることによる直感的な操作などの複雑なインタラクションが実現されている。スマートフォンをマウスと組み合わせることであれば、その豊富な入出力機能を活かして、多様なインタラクションが可能になる。

提案手法は、スマートフォンをマウスにまわらせることで高度なインタラクションが可能になることだ。

## 4. 実装

マウス基板をアクリル板に埋め込み、スマートフォンの背面に装着することで、スマートフォンをマウスにまわせた状態で扱うことができる。通常のポインティングをマウスで行いながら、スマートフォンを用いたインタラクションを行う。

スマートフォンを用いることで可能になるインタラクションを調査するため、プロトタイプとデモを用いた検証を行う。今回は特にスマートフォンのタッチパネルを用いた入力について検証する。

実際に作成したプロトタイプを図 1 に示す。スマートフォンは一般に入手しやすい機体として Pixel 3 を採用し、

\*1 エルゴマウス 400-MA130

<https://direct.sanwa.co.jp/ItemPage/400-MA130>

\*2 Bluetooth Keyboard & Mouse

<https://play.google.com/store/apps/details?id=io.appground.blek&hl=ja&gl=US&pli=1>

その背面にマウス基板を埋め込んだアクリル板を装着した。マウスは市販のものを分解して利用しており、また、板の厚みをできる限り薄くするためにクリックやホイールなど嵩のある部品は取り除いている。最終的なアクリル板の厚みは 14mm であった。

スマートフォン側の表層アプリを Unity と C# で実装し、Bluetooth LE 通信を行うネイティブプラグインを Java で実装した。スマートフォンアプリには 3 つのモード (A, B, C) があり、それぞれ異なる種類の入力が可能になっている。またマウス入力を受け取る PC 側のデモアプリを web ブラウザアプリとして実装した。

#### 4.1 ソフトウェア構成

スマートフォンのデモアプリは Unity で作成された表層アプリと bluetooth 通信を行うネイティブプラグインによって構成されている。表層アプリではタッチ入力の検出を常に行っており、それを基にイベントを呼び出している。

基本のタッチ検出については Unity に実装されているものを利用したが、フリック検出と圧力検出については Unity のタッチ検出機能を基に実装を行った。フリック入力は弾くように入力することから、通常のタッチや長押し入力と異なり、短時間で長い距離を移動する。これを利用し、時間当たりの移動距離が大きければフリック、小さければタッチか長押しという方針でフリック検出を実装した。圧力検出は unity に機能があるものの、実機でテストした結果、精度が十分でなかったため指の半径を推定する機能と組み合わせる形で実装した。

タッチ入力により呼び出されたイベント情報はネイティブプラグインによって bluetooth 信号に変換され、PC サイドに送られる。本来 bluetooth においてスマートフォンも PC もセントラルデバイスとされているため接続できないが、スマートフォンサイドに GATT サーバを作成することでペリフェラル化し、接続している。

PC 側のデモアプリは web ブラウザアプリとして、Web Bluetooth API を利用し作成した。bluetooth 接続可能なデバイスを検出し、接続を行う。この際、特定の UUID を指定することで 1 つのデバイスのみが検出・接続されるよう制限している。デバイスが接続されたあとは常にイベントを受け取れる状態になり、スマートフォンからの信号を適宜受け取る。

### 5. デモ

本手法の応用例として様々なアプリケーションが考えられるが、今回は具体的なデモとして絵描きアプリを実装した。本デモはスマートフォンサイドのアプリと PC サイドの web アプリで構成されており、スマートフォン側から送られた入力を bluetooth LE で送信し、それを基に PC の web ブラウザ上で線や図形を描画する。4 章で作成したデ

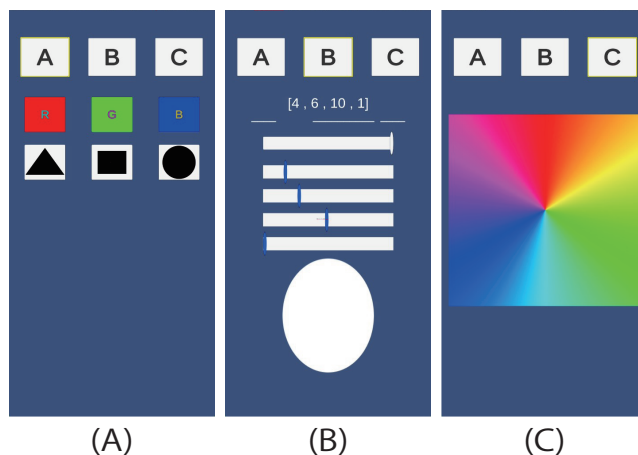


図 2 スマートフォン側のデモアプリ。A, B, C の 3 つのモードがあり、それぞれ異なるインタラクションが実行できる。A には色を変化させるボタンと、図形を表示するボタン入力が、B には破線のパターンを選んで入力する機能が、C にはタッチした位置の色をリアルタイムで反映する機能がそれぞれ実装されている。

バイスを用いて、本デモが正常に動作することを確認した。

#### 5.1 スマートフォンサイド

図 2 にスマートフォンアプリの画面を示す。

スマートフォンサイドではタッチで可能な入力が実際にできることを示す必要がある。そのため単発のタッチを用いた入力が可能なモード A、長押しを用いた入力が可能なモード B、タッチ位置情報とタッチ圧力を用いた入力が可能なモード C の 3 種類を作成した。また、スワイプを用いた入力が可能な、モードを跨いで使える機能を作成した。これらの入力自体は単独のタッチパネルでも可能だが、今回のデモのように異なる表現を使い分けようとした場合、PC 上に現在のモードを表示するなどの工夫が必要になる。本手法であれば、タッチディスプレイ上でモードを表示し、適宜切り替えることで、いくらでも異なる表現を増やすことができる。

スマートフォンの入力モードが A の場合、色を変化させるボタンと、図形を表示するボタン入力を実装している。これは離散的な入力が可能であることを示すためである。モード B では、実線と破線を切り替える機能と破線パターンを選べる機能を実装している。モード C では、連続的な入力が可能であることと、2 次元のタッチ座標が活かせることを示すため、カラーピッカーを表示し、タッチした位置の色をリアルタイムで反映する機能を実装した。さらに、タッチの圧力に応じて線の太さが変化する機能も実装されている。また、ジェスチャ入力が可能であることを示すため、全モード共通の機能として、フリック入力を上下左右方向で実装した。左右方向のフリックはそれぞれのモードの切り替え、上方向は画面クリア、下方向は絵を画像として保存する機能をそれぞれ割り振った。

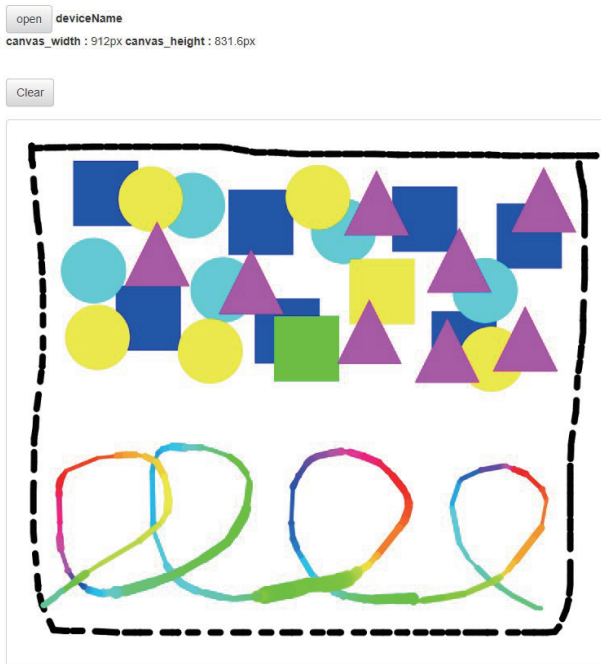


図 3 PC 側のデモアプリ。スマートフォン側から送られた情報に基づき、線や図形を描画する。

## 5.2 PC サイド

図 3 に PC サイドのデモアプリの画面を示す。スマートフォンと bluetooth 接続するためのボタンと描画のためのキャンバスで構成されている。キャンバス上でマウスカーソルを動かしながらスマートフォン側の入力を行うことで線や図形が描画できる。

このデモにより、通常のマウスのポインティングに加え、タッチディスプレイを用いた 2 次元入力と圧力を用いた入力、ジェスチャ入力が可能になることが明らかとなった。

## 6. 議論

今回の実装は、マウスの 2 次元入力にタッチ位置を用いた 2 次元入力やボタンを用いた 1 次元入力、ジェスチャ入力の機能を追加している。今回は提案手法の具体的な応用例として絵描きアプリを実装したが、他にも様々な応用例が考えられる。例えばタッチディスプレイに立体のオブジェクトを表示し、オブジェクトを回して動かすことで 3D マウスが実現できる。他にも今回は単独のタッチ入力しか扱っていないが、マルチタッチを活用することで、より複雑なジェスチャ入力が実現できる。例えばピンチイン、ピンチアウトで PC 画面やオブジェクトの拡大縮小を行ったり、複数本の指を使ったスワイプや、画面上の全く異なるポイントを同時にタップするなどが考えられる。さらにスマートフォンにはジャイロや加速度センサ、カメラ、マイクなど様々なセンサが搭載されているため、これらを用いることで、例えばスマートフォンの傾きやマーカ情報、音声などを入力とすることも可能となる。

また、タッチ入力とマウス入力を比較し評価する試み [2][1] では、シンプルなポインティングにおいて、タッチ入力よりもマウスの方が適していると指摘されている。これらの指摘は、ポインティングをマウスに任せ、複雑なインタラクションをスマートフォンで行う本手法の有用性を示唆していると言える。シンプルなポインティングをマウスで行いながら別なインタラクションを行う方法として、本手法の他に、マウスでポインティングしタッチディスプレイを補助的に利用することで効率的な入力を行う方法も考えられるが、両手が塞がるという欠点があるため本手法と比べ実用性に劣る。

また、今回はスマートフォンから PC への入力について調査したが、PC からスマートフォンへ情報を送ることもできる。例えばスマートフォンのディスプレイに下書きの線画を表示したり、スピーカーを利用してマウスの動きをガイドすることなどが考えられる。

今回のプロトタイプでは、スマートフォンをマウスに装着して、マウスのポインティング機能にインタラクションを追加した。一方、スマートフォンは背面に高性能なカメラを持っていることが多い。そのため、このカメラを利用して、至近距離かつ高速なオプティカルフローなどを使った高精度なトラッキングが可能ならば、スマートフォン単体での実現も考えられる。通常、至近距離ではカメラのボケが生じるため、高精度のオプティカルフローの実現は難しい。しかし、ピンホールをカメラに貼付する手法 [12] を用いることで、至近距離でもオプティカルフローを利用した高精度なトラッキングが可能となる。これにより、高精度なトラッキングの見通しが立ったため、スマートフォン単体での実装も可能であると考えられる。

## 7. まとめ

スマートフォンをマウスにまよわせることで、マウス本来のポインティング機能に加え、高度なインタラクションが可能になる手法である“すまうす”を提案した。

市販のマウス基板を用いたプロトタイプの実装を行った。また、複数のイラストアプリデモを作成した。実装したプロトタイプとデモを通じて、離散的な入力と連続的な入力が可能であることを確認し、通常のポインティング機能に加え、タッチディスプレイの 2 次元入力と圧力を用いた 1 次元入力、ジェスチャ入力が可能になることを明らかにした。また 6 章にて示したように、他にも様々なインタラクションが実現可能だと考えられる。

## 参考文献

- [1] Faizan, S., Mian, T. and Muzammil, M.: *A Comparative Analysis of a Mouse and Touchpad Based on Throughput and Locations for a Laptop Computer*, pp. 219–225 (online), DOI: 10.1007/978-981-15-9054-2.25 (2021).



- [2] Forlines, *et al.*: Direct-Touch vs. Mouse Input for Tabletop Displays, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '07, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 647–656 (online), DOI: 10.1145/1240624.1240726 (2007).
- [3] Kuribara, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Mouse Augmentation Using a Malleable Mouse Pad, *Human-Computer Interaction: Interaction Technologies* (Kurosu, M., ed.), Cham, Springer International Publishing, pp. 217–226 (2015).
- [4] Lee, S., Lim, Y.-k. and Lee, G.: MirrorPad: Mirror on Touchpad for Direct Pen Interaction in the Laptop Environment, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–9 (online), DOI: 10.1145/3313831.3376212 (2020).
- [5] Matulic, F., Arakawa, R., Vogel, B. and Vogel, D.: PenSight: Enhanced Interaction with a Pen-Top Camera, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–14 (online), DOI: 10.1145/3313831.3376147 (2020).
- [6] Mistry, P. and Maes, P.: Mouseless: A Computer Mouse as Small as Invisible, *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1099–1104 (online), DOI: 10.1145/1979742.1979715 (2011).
- [7] Perelman, G., Serrano, M., Raynal, M., Picard, C., Derras, M. and Dubois, E.: The Roly-Poly Mouse: Designing a Rolling Input Device Unifying 2D and 3D Interaction, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 327–336 (online), DOI: 10.1145/2702123.2702244 (2015).
- [8] Seo, K., Cho, H., Choi, D., Lee, S., Lee, J. and Ko, J.: TwohandsMusic: Multitask Learning-Based Egocentric Piano-Playing Gesture Recognition System for Two Hands, *2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 4614–4618 (online), DOI: 10.1109/ICIP.2019.8803568 (2019).
- [9] Taing, C.-M., Rau, P.-L. P. and Huang, H.: Handpad: a virtual mouse for controlling laptops in a smart home, *Human-centric Computing and Information Sciences*, Vol. 7, No. 1, p. 27 (online), DOI: 10.1186/s13673-017-0108-3 (2017).
- [10] Villar, N., Izadi, S., Rosenfeld, D., Benko, H., Helmes, J., Westhues, J., Hodges, S., Ofek, E., Butler, A., Cao, X. and Chen, B.: Mouse 2.0: Multi-Touch Meets the Mouse, *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 33–42 (online), DOI: 10.1145/1622176.1622184 (2009).
- [11] Yang, X.-D., Mak, E., McCallum, D., Irani, P., Cao, X. and Izadi, S.: LensMouse: Augmenting the Mouse with an Interactive Touch Display, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 2431–2440 (online), DOI: 10.1145/1753326.1753695 (2010).
- [12] 田中智泰, 山田 渉, 真鍋宏幸: スマートフォンカメラと

ピンホールを用いた3次元入力の実装と評価, 技術報告 18, 芝浦工業大学, NTT ドコモ, 芝浦工業大学 (2020).