

# MEMS 触覚センサを用いたスマートフォン向け 背面インタフェースの開発

三木克人<sup>†,1)</sup> 船橋佑<sup>†,2)</sup> 安藤潤人<sup>†,3)</sup> 寒川雅之<sup>††,4)</sup> 野間春生<sup>†,5)</sup>

**概要:** スマートフォンの大型化により、画面の視認性はあがり、動画や書籍などが見やすくなっている。しかし、指の可動領域を超えた画面の大型化により、片手操作性が低下している。また、指が選択対象を隠すオクルージョンによる問題も存在する。これらの問題の解消のために、ソフトウェアでの工夫の事例がいくつかあるが、操作が煩雑になる問題がある。一方でハードウェアでの工夫は、追加のデバイスが必要となる物の対象自体を操作するため、煩雑な操作を必要としない。そこで、我々は後者の手段として MEMS 触覚センサを使用した背面インタフェースの開発を行い、指の可動域に依存しない片手操作補助を可能にした。開発した背面インタフェースは、センサの垂直方向、剪断方向の加圧識別を行い、その方向に応じてカーソルの移動、クリックを行う。これにより、親指の可動領域外にカーソルを移動させ、その場所をクリックすることができるため、スマートフォンの片手操作を補えることが分かった。また、カーソルによる選択を行うため、指によるオクルージョンの問題が解消された。

## 1. はじめに

近年スマートフォンの大型化が進んでおり、視認性が上がり画面が見やすくなっている。そのため、動画や書籍などの閲覧のしやすさが向上している。一方で、親指の可動領域を超えてしまい、スマートフォンの片手での操作性を低下させている。スマートフォンはタッチスクリーンを指でタップする操作やなぞる操作で様々な機能を提供する端末であり、利便性に繋がってきた。そのため、スマートフォンの大型化による片手操作性の低下は端末の利便性の低下に繋がる。また、スマートフォン向けのゲームが普及しており、中には両手による操作が求められるゲームも存在する。さらに、タッチスクリーンを備えた端末には操作を行う指が選択対象を隠すオクルージョン問題もある。そこで我々は、スマートフォンの片手操作では難しい操作を補いつつ、オクルージョンの問題を解消することを目的とした。本論文では、前述の問題を解消するための MEMS 触覚センサを利用したスマートフォン向け背面インタフェースの開発について提案する。

## 2. 関連事例・研究

スマートフォンには片手操作を補うための機能がすでにある。たとえば、Android には片手モードという機能がある。これは、画面表示を縮小したり、ソフトウェアキーボードを左右に寄せる機能である。これにより、親指で届かない画面端や上部をタップしやすく、片手でのキーボード入力を容易にさせる。また、iOS には簡単アクセスという機能がある。これは、画面上部を下にスライドすることができ、画面上部にあるアプリの起動や、通知センター・コ

ントロールセンターの表示が容易になる。また、安藤[1]らはスマートフォンにおける傾きを利用した文字列操作手法を開発した。これは、文字列操作時のオクルージョンの問題の解消し、片手持持では難しい場所の選択を可能にした。しかし、いずれの機能もソフトウェアでの工夫であるため、機能を使うための何らかの操作が必要になってしまう。

ハードウェアによる片手操作性の向上を行っている研究例もある。IndexAccess2[2]は背面にタッチパネルを実装し、人差し指で操作をすることで、スマートフォンの画面を移動させ、片手操作性の向上を行っている。しかし、人差し指を動かしたい位置まで移動させなければいけないため、ユーザーの指の長さによる操作性の相違が出てきてしまう。TetraForce[3]では、磁気式インタフェースによって、スマートフォンの表裏両面に対する垂直・剪断方向の力の入力を可能にしたが、地磁気による影響が内在する。スマホリングに着目したデバイス[4]では指の長さによる操作の制約を受けないが、外部コンピュータでの計算処理が必要であり、操作している場所の制約を受ける。

我々が開発した背面インタフェースは、スマートフォンを保持する指先によって触覚センサを操作し、ジョイスティックの様な操作感を実現する。指を大きく動かす必要が無いため、指の長さによる操作感の差異がなく、どんな状況でも扱える事が利点である。

## 3. システムの設計

### 3.1 MEMS 触覚センサ

本提案では我々の開発した MEMS 触覚センサを使用している。MEMS 触覚センサは、図 1 上に示す通り 3 つのカンチレバーをシリコンゴムで覆っており、頂部に外力が加わるとシリコンゴムと同時にカンチレバーが変形し、カンチレバーに組み込んだ NiCr の電気抵抗が変化する。これを電氣的に計測して加えられた力を計測できる。

† 立命館大学

†† 新潟大学

1) is0580ke@ed.ritsumei.ac.jp

2) is0473pk@ed.ritsumei.ac.jp

3) anmitsu@fc.ritsumei.ac.jp

4) sohgawa@eng.niigata-u.ac.jp

5) hanoma@fc.ritsumei.ac.jp

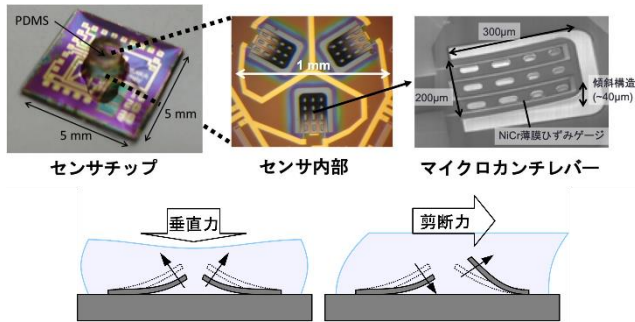


図1 MEMS 触覚センサの構造

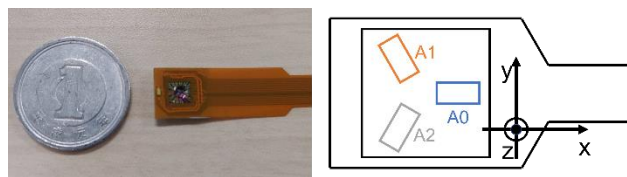


図2 加圧方向とカンチレバーの名称の定義

### 3.2 センサの値による座標軸変換

前述した通り、MEMS 触覚センサは加圧の仕方によりカンチレバー上の NiCr の電気抵抗が変わる。3つのカンチレバーはそれぞれ 120 度毎に搭載されている。そのため、図 1 下のように、外力の加わり方によりそれぞれのカンチレバーの曲がり方が変わるため、電気抵抗の変化量もそれぞれで異なる。そこで、それぞれの出力について分析し、センサの値による座標軸変換を行った。

3つのカンチレバーの配置と以下の議論で用いる座標軸を図2のように定義する。図3はセンサに各軸方向から加圧した時の各カンチレバーからの出力をプロットしたものである。センサを z 軸負方向、つまり垂直方向に加圧した時は、全ての値が正方向に変位していることが分かる。また、剪断力として x 軸正方向に加圧した時はカンチレバー A1, A2 からの出力は負方向に変位しており、カンチレバー A0 からの出力は正方向に変位していることが分かる。逆に、x 軸負方向に加圧した時はカンチレバー A1, A2 からの出力は正方向に変位し、カンチレバー A0 からの出力は負方向に変位している。y 軸正方向に加圧した時はカンチレバー A0, A1 からの出力は正方向に変位しており、カンチレバー A2 は負方向に変位している。逆に、y 軸負方向に加圧した時はカンチレバー A0, A2 は正方向に変位しており、カンチレバー A1 は負方向に変位している。このように、加圧方向によって3つのカンチレバーが特徴のある出力をするため、センサの値による座標軸変換が可能である。

### 3.3 実装

今回開発したインターフェースは図4で示す通り、触覚センサ、アンプ、マイコンの3つのパーツで構成されている。触覚センサからの出力値は微量であるため、ホイーストン

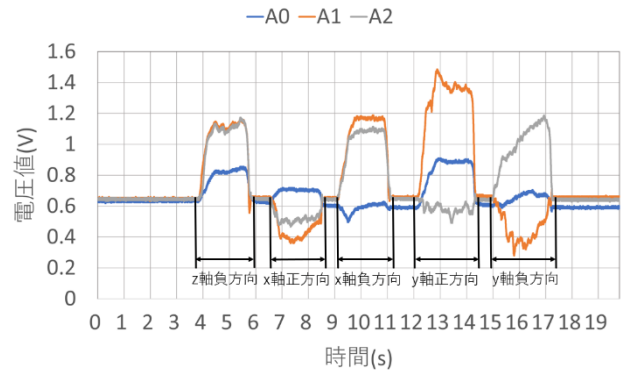


図3 各軸方向に加圧した時の電圧値



図4 作成した背面インターフェースとシステム構成

ブリッジ回路と計装アンプで増幅している。マイコンは、HID デバイスとして機能する SparkFun 社の Atmega32U4 搭載ボードである ProMicro を採用し、スマートフォンにマウスとして接続する。ProMicro の A/D コンバータで触覚センサからの出力を受け取る。ProMicro には、加圧方向でセンサからの出力値の閾値を決めることで加圧方向を認識し、加圧方向にカーソルが移動するコードを組み込んでいる。

### 3.4 動作のメリットと制約

今回開発したインターフェースでは、触覚センサを x, y 軸方向に加圧するとカーソルが移動する仕組みになっており、選択したい位置にカーソルを動かすことが出来る。また、z 軸方向に加圧することで選択が可能である。そのため、触覚センサの利用のみでカーソル移動、クリックの操作ができる。また、触覚センサの加圧による操作のため、指の可動領域による制約を受けない。これにより、片手操作の補助が可能になり、指によるオクルージョンの問題も解消される。しかし、現在のプログラムでは x 軸方向、y 軸方向、z 軸方向の 3 軸の変換を、出力値の閾値のみで行っているため、斜め方向の入力に対応出来ない。そのため、カーソル操作の自由度が低い。

今後、座標軸変換をセンサの出力値ではなく、センサの校正行列による 3 軸力変換を行うことにより、x 軸、y 軸方向にとどまらないカーソル移動を実現する。また、加圧力

によるカーソル速度の変更やダブルクリックなども実装し、操作性と正確性を向上させる。

#### 4. まとめ

本研究では、片手操作が難しい操作を補助する MEMS 触覚センサを使用した背面デバイスの開発を行った。センサの加圧方向を識別し、垂直方向の加圧によるクリック操作、剪断方向の加圧によるカーソル移動によって、親指の可動領域外の操作を可能にした。また、カーソルによる選択を行うため、指によるオクルージョンの問題を解消することができた。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22H00542 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] 安藤宗孝, 磯本俊弥, 志築文太郎, 高橋伸. スマートフォンにおける傾きを利用した文字列操作手法. 情報処理学会研究報告, Vol.2018-HCI-179 No.11, 2018-8-21.
- [2] 日高詩織, 馬場哲晃. IndexAccess2:大画面スマートフォンにおける片手操作性を向上する背面インタフェース. インタラクシオン 2018, pp.496-501, 2018.
- [3] 土田太一, 藤田和之, 池松香, SayanSarcac, 高嶋和毅, 北村喜文. TetraForce:スマートフォンの表裏両面に対する垂直・剪断方向の力を入力可能な磁気式インタフェース. 第 30 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集, pp.1-7, 2022.
- [4] 日下部完, 坂本大介, 小野哲雄. スマートフォン背面のジェスチャ入力を実現するスマホリング型デバイスの設計と実装. 第 30 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集, pp.8-14, 2022.