

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

携帯情報端末背面における操作認識手法の
比較検討

箱田 博之

修士（工学）

（コンピュータサイエンス専攻）

指導教員 志築 文太郎

2016年3月

概要

タッチスクリーンを備えた携帯情報端末は片手操作が望まれている一方、片手によって行うことができるタッチ入力に限られている。携帯情報端末背面における操作を導入することによって操作語彙を拡張することは、操作性の向上に大きく寄与する。近年、背面にタッチパッド、またはボタンのような入力装置を備えた端末が登場し、背面操作が普及しつつある。そこで本研究は、端末背面における操作認識手法を比較検討し、背面操作に適した操作認識手法を明らかにした。これに際し、本研究は、距離センサと気圧センサを用いた、2種類の携帯情報端末背面における片手操作の認識手法を開発した。本手法において、ユーザは端末背面にある穴を、端末を把持している手の人差し指によってふさぐことにより操作を行う。これらを、背面にタッチパネルを備えた端末と比較検討して、各認識手法の精度とユーザビリティを調査した。その結果、ユーザの目に見えない携帯情報端末背面における操作時に、穴の触覚フィードバックが良い手がかりになることが示された。また、提案認識手法を用いたアプリケーション例を示し、携帯情報端末背面における操作の可能性を示した。

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的	3
1.3	貢献	3
1.4	本論文の構成	3
第2章	関連研究	4
2.1	携帯情報端末背面における操作手法	4
2.2	追加ハードウェアによるインタラクションの拡張	5
2.3	気圧センサによるインタラクションの拡張	5
第3章	提案手法	7
3.1	プロトタイプ的设计	7
3.2	プロトタイプの実装	7
3.2.1	距離センサによる実装	7
3.2.2	気圧センサによる実装	8
3.3	タッチパネルによる実装	9
第4章	評価実験	15
4.1	被験者	15
4.2	実験機器	15
4.3	手順	16
4.4	結果と考察	17
第5章	アプリケーション例	21
5.1	大画面端末の片手操作支援アプリケーション	21
5.2	アプリケーションランチャ	22
5.3	ジェスチャマクロ	22
5.4	背面操作を活用したブラウザ	23
第6章	議論	25
6.1	穴の触覚フィードバック	25
6.2	穴の形状	25

6.3	距離センサと気圧センサの組み合わせ	25
6.4	その他の実装方法	25
6.4.1	静電容量センサによる実装	26
6.4.2	湿度センサによる実装	26
第7章	結論	27
	謝辞	28
	参考文献	29
付録A	実験：実験同意書	36
付録B	実験：アンケート	38
付録C	実験：説明	42
付録D	実験：SUS (System Usability Scale)	48

目次

1.1	背面操作の例 (LG G2 L-01F スマートフォン)	2
1.2	背面操作の例 (PlayStation Vita)	2
3.1	konashi[MWT13] とセンサからなるセンサモジュール.	9
3.2	スマートフォンケースとセンサモジュールからなるプロトタイプシステム.	10
3.3	距離センサ実装における COVER 操作 (青の範囲) と PUSH 操作 (オレンジの範囲) のセンサ値.	11
3.4	距離センサ実装における SLIDE 操作のセンサ値.	11
3.5	距離センサ実装における上 SLIDE 操作のセンサ値の波形.	12
3.6	距離センサ実装における下 SLIDE 操作のセンサ値の波形.	12
3.7	気圧センサによる実装におけるスマートフォンケース.	13
3.8	穴の押し込み (PUSH) と穴をなでる (RUBBING) に伴う気圧変化.	13
3.9	タッチパネルによる実装.	14
4.1	距離センサ実装. ケース内に埋め込まれたフォトリフレクタは, konashi に接続されている.	15
4.2	気圧センサ実装. ケース内に埋め込まれた気圧センサは, Arduino Uno に接続されている.	16
4.3	評価実験の様子.	17
4.4	各操作のエラー率.	19
4.5	各認識手法の SUS の評価値.	20
4.6	各操作の時間.	20
5.1	大画面端末の片手操作支援アプリケーション. (a) ターゲットが指の届かない領域にあるとき, (b) COVER 操作を行って画面全体を下方向へ移動させる.	21
5.2	アプリケーションランチャ. (a) あるアプリケーションを即座に起動したいとき, (b) PUSH 操作を行ってアプリケーションランチャを起動し, (c) SLIDE 操作, または RUBBING 操作によってアプリケーションの選択を行う.	22
5.3	ジェスチャマクロ. (a) PUSH 操作を 2 回行ってジェスチャ記録モードに移行し, (b) 記録したいタッチジェスチャを行い, (c) ジェスチャ記録モードを解除後, PUSH 操作を行うことによって記録したジェスチャを起動する.	23

- 5.4 背面操作を活用したブラウザ. (a) 指で押し分けにくい小さなターゲットが密集している時, (b) COVER 操作をしながらタッチを行うことによって拡大鏡を起動する. (c) 上下 SLIDE 操作によってページのスクロールを行う. . . . 24

第1章 序論

本章では，研究背景と目的，および本論文の構成を述べる．

1.1 背景

タッチスクリーンを備えた携帯情報端末（以降，端末）は，片手操作が望まれていることが報告されている [KB06, PKB06]．例えば，荷物を持っているとき，または電車に乗っているときのように，日常生活において片手を端末の操作以外に使いたい場面が少なからず存在するからである．その一方で，片手によるタッチ入力では，マルチタッチジェスチャ等のリッチな入力を行うことができないため，可能な操作に限られる．例えば，地図アプリケーションにおいて拡大，縮小を行うには，2本指を用いたピンチ操作が必要となるため，片手操作に適していない．つまり，片手による操作語彙を拡張することは，端末の操作性に大きく寄与する．その一つのアプローチとして，The fat thumb [BLC⁺12]，MicroRolls [RLG09]，または Bezel Swipe [RT09] のような新たなタッチジェスチャの提案が挙げられる．これらはそれぞれ，タッチ時の面積，タッチの仕方，またはタッチジェスチャの開始座標によって，通常のタッチと提案タッチジェスチャとを区別した研究である．このアプローチは，端末のタッチスクリーンのみで検出可能であり，追加ハードウェアを必要としないため，実装コストが低いという大きな利点がある．

追加ハードウェアを用いることにより，操作語彙を拡張する研究も数多く存在する．ForceTap [HL11]，ForceDrag [HL12] は，タッチスクリーンに対する圧力を操作語彙の拡張に用いている．Clip-on Gadgets [YTH⁺11]，および ExtentionSticker [KM15] は，端末のタッチスクリーン外にタッチ可能な導電物質を付与することにより，操作領域を拡張した研究である．これらは，片手親指操作の操作語彙を広げた研究でもある．

上記のアプローチは，既存のタッチパネル上における入力，またはそれを端末周辺に引き出して拡張を行っている．これらと同様に，端末背面における操作は，端末を把持した際に操作に使われない指があてがわれていることから，これを有効に活用することによって操作語彙を拡張することができる．これは，上記のアプローチのメリットに加え，ユーザが操作する指がスクリーン上のコンテンツを遮蔽しないため，端末の片手操作において有用な手法である．さらに，端末背面における操作のみの使用だけでなく，端末表面における従来のタッチ操作との併用も可能であるため，その組み合わせにより，さらに大きな操作語彙の拡張の可能性を秘めている．

端末背面における操作が可能な端末は，徐々に世の中に登場しつつある．PlayStation Vita



図 1.1: 背面操作の例 (LG G2 L-01F スマートフォン) .



図 1.2: 背面操作の例 (PlayStation Vita) .

(図 1.2), および Motorola Spice XT300 スマートフォンは, 背面にタッチパッドを備えた端末である. YOTAPHONE¹ は, 背面が E-ink (電子ペーパー) ディスプレイとなっており, 裏表両面にてタッチ操作が可能である. また, LG G2 L-01F スマートフォン (図 1.1) は, 背面に物理ボタンが備えられており, 電源の ON と OFF, および音量調節に用いられている.

1.2 目的

本研究の目的は, 端末背面における操作認識手法を比較検討することにより, 背面操作に適した手法を明らかにすることである. これに際し, 本研究では, 表面のタッチパネルとの併用が容易であり, かつユーザの目に見えない背面においても操作しやすい背面操作認識手法の開発を行った. 提案手法とタッチパネルによる操作認識手法を比較することにより, 背面操作におけるユーザビリティに寄与する要因を明らかにする. さらに, 提案手法を活用したアプリケーション例を提案することにより, 端末背面における操作の有効性, および可能性を示す.

1.3 貢献

本研究の貢献を以下に記す.

- 距離センサを用いた端末背面の穴への操作認識手法を開発した.
- 気圧センサを用いた端末背面の穴への操作認識手法を開発した.
- 上記 2 つのプロトタイプを実装し, 背面にタッチパネルを備えた端末との使用感の比較実験を行い, その特徴を明らかにした.
- 提案手法を用いたアプリケーション例を示すことによって, 背面操作の新たな応用の可能性を示唆した.

1.4 本論文の構成

第 1 章では, 研究背景と目的を述べた. 第 2 章では, 関連研究を述べる. 第 3 章では, 本研究が提案する端末背面における操作の認識手法と, そのプロトタイプ実装を述べる. 第 4 章では, 作成したプロトタイプの評価実験を述べる. 第 5 章では, 第 3 章で述べたプロトタイプを活用したアプリケーション例を述べる. 第 6 章では, 端末背面における操作の改善, および今後の展望について議論する. 第 7 章では, 本研究の結論を述べる.

なお, 付録 A に第 4 章の評価実験に用いた実験同意書を, 付録 B にアンケートを, 付録 C に被験者に実験について説明する際に用いた説明書を, 付録 D に SUS (System Usability Scale) の設問を載せた.

¹<https://yotaphone.com/gb-en/product/yotaphone2/>

第2章 関連研究

本研究は，端末背面における操作の認識手法の比較を行った．よって，本章ではまず，端末背面における操作手法とその応用を示した研究を述べる．次に，追加ハードウェアによってインタラクションを拡張した研究を述べる．最後に，携帯情報端末に組み込まれ始めた，本研究が提案する背面操作を認識するセンサである，気圧センサを用いた研究を述べる．

2.1 携帯情報端末背面における操作手法

タッチ入力を拡張，またはその代替手法となる数多くの端末背面における操作手法が提案されている．Wigdor ら [WFB⁺07] は端末背面をタッチすることによって操作するシースルー端末，Lucid Touch を開発した．これは，ユーザがタッチスクリーンをタッチする際に，コンテンツがタッチする指によって遮蔽されてしまうオクルージョン問題を解決している．Baudisch ら [BC09] は超小型端末におけるオクルージョン問題に注目し，超小型シースルー端末を提案した．超小型シースルー端末における背面タッチを可能とすることにより，画面が非常に小さい端末においても指がコンテンツを遮蔽することなく操作を行うことができる．

Kim ら [KRL12] は，キーボードがタッチスクリーン上を占有することを防ぐために，端末背面に物理キーボードを備えた端末における文字入力手法を提案した．Löchtfeld ら [LHG13] は，端末表面のタッチパネルと，裏面に備えたタッチパッドを併用したターゲット選択手法を提案し，評価を行った．その結果，表面のタッチパネルのみの操作と比べ，速度は遅いが正確に選択することができた．Schoenleben ら [SO13] は，背面にタッチパネルを組み込んだ端末において，両手持持したときに，裏表の10本指によって入力を行うキーボード，Sandwich Keyboard を提案した．Buschek ら [BSO14] は，機械学習を用いて，このキーボードの入力精度の向上を図った．手の構造，および指の可動領域を考慮した手法を用いた結果，40%の改善が見込まれた．

Tosa と Tanaka [TT13] は，ユーザの指が届かない位置の GUI を操作するために，端末の両面にタッチパネルを備えた端末，LoopTouch を提案した．ユーザは，表面と背面を同時にスワイプすることにより，ディスプレイ上の GUI をスクロールさせることができる．Xiao ら [XHW13] は人差し指を用いて端末のバックカメラをふさぐ操作手法を提案している．画像解析により，ふさぎ方，および上下左右のスワイプ操作を認識することができる．Seipp ら [SD14] は，端末に備えられているマイクとジャイロセンサを用いて，ユーザの人差し指，中指，および親指によって端末を叩く操作の認識を実現した．Gross ら [RBL09] は，加速度センサを用いて，人差し指によって背面を叩く操作を実現した．

De Luca ら [DLvZN⁺13] はショルダーサーフィン対策として、携帯端末背面において上下左右のスイープ操作を用いてパターン入力によって認証を行う手法を提案した。BoD Taps [LC14] は、端末背面におけるタップのパターンによって認証を行う手法である。

Wobbrock ら [WMA08] は、端末表面における親指による操作より、背面における人差し指による操作の方がより速く、正確であることを実験から明らかにした。Wolf ら [WSR14] は、端末表面と背面のタッチ特性に違いがあることを明らかにした。Yang ら [YMIB09] は、端末背面に備えたタッチパッドを用いてカーソルを操作する手法を提案した。Hasan ら [HYLI12] は、端末背面におけるカーソルコントロールの設計指針を実験的に示した。その結果、絶対座標より相対座標の入力の方が効果的かつ正確であることが判明した。

本研究は、端末背面にある穴をふさぐことによる操作手法を提案する。

2.2 追加ハードウェアによるインタラクションの拡張

シンプルなハードウェアを端末に装着することにより、様々な入力操作を可能にした研究がある。Yu ら [YTH⁺11] は導電ゴム性の物理ボタンをタッチスクリーンの外に取り付けることにより、物理ボタンを押す操作の認識を実現した。渡部ら [渡部 12] は、携帯端末のカメラ上にマーカが埋め込まれた弾性体をタッチスクリーン上に取り付け、optical measurement method [VMK⁺05] を用いることにより、押し込む操作、およびポインティングを可能にした。Spelmezan ら [SACP13] は、圧力センサと距離センサを組み合わせた物理ボタンを取り付けることにより、片手操作における親指の6種類のジェスチャの認識を行った。Yang ら [YHBI13] は、携帯端末のフロントカメラに全方位カメラを取り付けることにより、周辺環境、デバイスの周りにオブジェクト、ハンドジェスチャ、およびユーザの動きの認識を行った。Laput らの Acoustruments [LBHH15] は、既存のオーディオ機能を活用して、端末の入力語彙を拡張することができる受動素子である。zSense [WPSN15] は、赤外線センサと赤外線エミッタを用いて、深度情報を用いたジェスチャ検出を行った。

HaptiCase [CCKB15]、および Fukatsu ら [FOK⁺13, 深津 14] は、アイズフリー入力のために携帯情報端末背面に目印を付与した。Palm Touch Panel [FK11] は、端末背面においてユーザの手に電気刺激を与えることにより、タッチパネル操作における触覚フィードバックを実現した。

本研究は、背面に穴があるハードウェアを携帯端末にとりつけることにより、インタラクションを拡張する。

2.3 気圧センサによるインタラクションの拡張

Sankaran ら [SZG⁺14] は携帯情報端末に搭載されている気圧センサのみを用いて、待ち、歩行、乗り物の3通りのユーザの動作を認識する手法を提案した。Komeda ら [KMN14] は、ユーザが屋内、屋外のどちらにいるかを推測する手法を提案した。Wu ら [WPM15] は、ドアの開閉を検出する手法を提案した。これは、ユーザが階段を昇降中に限らず検出可能である。Liu

ら [LIT⁺14] や Muralidharan ら [MKM⁺14] は，屋内外問わず，ユーザのいる高さを検出する手法を開発した．Patel ら [PRA08] は，冷暖房空調設備に気圧センサを取り付け，ユーザの歩行，ドアの開閉，およびドアの通過を認識する手法を開発した．これらの研究は，ユーザの行動認識を行うために気圧センサを用いている．本研究は，気圧センサを入力インタフェースのセンサとして用いることによって，新たな操作手法の開発を行う．

Iwata ら [IYO05] は，風船内に組み込まれた気圧センサによって，ユーザが風船を押し込む操作を検出した．Kim らの Inflatable Mouse [KKL⁺08] は，風船を内蔵しており，その気圧変化を検出することにより，マウスの握りの強さを認識している．また，風船を膨張あるいは収縮させることによって力覚提示を行っている．Harrison ら [HH09] は，気圧制御を行うことにより風船の形状変化，およびタッチの位置と強さを検出可能なタッチパネルを開発した．中島ら [中島 13] は，気圧センサとマイクを用いて，風船型インタフェースへの加圧の強弱や触り方を認識した．これらの研究は，風船内の圧力変化を検出することによって，ユーザの操作を認識している．

本研究では，密閉空間をユーザが指を使って押し込む操作を認識する手法を提案する．

第3章 提案手法

本研究が提案する端末背面における操作の設計，背面操作の実装方法，認識方法，およびプロトタイプを述べる．距離センサによる実装，気圧センサによる実装，およびこれらとの比較対象となるタッチパネルによる実装の3種類を述べる．

3.1 プロトタイプの設計

端末背面における操作は，ユーザが視認することができない場所における操作であるため，適切なフィードバックが重要となる．本研究では，穴に触れることによる触覚フィードバックによって，操作を行いやすくなり，ユーザビリティが向上すると考えた．

3.2 プロトタイプの実装

本研究は，センサをスマートフォンケース背面の穴付近に設置することによって，穴への操作を検出する方針をとった．

距離センサ実装と気圧センサ実装に関しては，センサと，センサ値を読み込んでPCおよび端末に送信するマイコンからなるセンサ部と，スマートフォンケースからなる．スマートフォンケース（61.7 mm × 118.2 mm × 13.8 mm）には7 mmの穴が空いており，その直下に各センサが仕込まれている．この穴の位置は，以前に調査した人差し指によって操作しやすい端末背面の位置に基づいている [HFST15]．

3.2.1 距離センサによる実装

フォトリフレクタは，赤外線LEDとフォトダイオードからなるセンサであり，反射した赤外線の強さを読み取ることにより，物体との距離を測定することができる距離センサである．これを用いて，指が穴をどれだけふさいでいるかを検出する．大きなセンサを端末背面に仕込む場合，スマートフォンケースが厚くなるため，今回はサイズの小さなGENIXTEK社製のTPR-105（3.2 mm × 2.7 mm × 1.4 mm）を用いた．本プロトタイプは，センサを備えたスマートフォンケースと，konashi[MWT13]（図3.1）から成る．konashiは，Bluetooth LEモジュールとコインバッテリーを備えたフィジカルコンピューティングデバイスである．本プロトタイプシステムでは，konashiのBluetooth LEによってセンサからセンサ値を端末へ送信する．

端末のフロントカメラ周辺におけるタッチと空中ジェスチャを実現した Thumbs up[SHLRP13] と似た操作を設計した。ユーザは、穴をふさぐ (COVER), または押し込む (PUSH) 操作を行うことができる。これに加え、穴をなでるように指を通過させる SLIDE 操作を行うことができる。また、穴をふさぐ操作は、ボタンを押す操作等に比べて、端末表面のタッチパネル操作との併用を行いやすい。

本研究では、センサ値から背面操作の識別を行うソフトウェアを iPhone アプリケーションとして開発した。このソフトウェアは、以下の3種類の操作を、閾値判定によって識別する。

COVER

センサ値が基準値より 10% 大きく、閾値以下の時、ユーザが穴をふさいでいると判定される (図 3.3)。この操作は、表面のタッチパネル操作との併用が容易であるため、SHIFT キーのような修飾キーに適している。

PUSH

センサ値が閾値以上の時、ユーザが穴に指を押し込んでいると判定される (図 3.3)。この操作は、コマンドの実行に適している。

SLIDE

端末を片手把持しているという条件下であれば、センサ値の特徴を解析することにより、穴を撫でるように指を通過させる操作を認識することができる。COVER 操作と区別するために、今回は閾値を超えてから 300ms 以内に閾値を下回った場合に SLIDE 操作した。図 3.4 のように、上 SLIDE 時は右肩下がりの波形が得られる。これは、端末背面の穴を人差し指にて操作する場合、図 3.5、図 3.6 のように指の腹の部分とその他の部分の通過によって得られるセンサ値が異なるためである。上下 SLIDE の区別するために、まず、ある閾値以上のセンサ値が得られたとき、その時間を計測し、前半部と後半部に分ける。それぞれの平均値を算出し、前半部の方が大きければ上 SLIDE、そうでなければ下 SLIDE と認識する。左右 SLIDE に関しては、左右の波形に違いが見られないため、区別が困難である。

この実装方法の利点として、どれだけ穴がふさがれているかを検出することができる点が挙げられる。穴のふさぎ具合がユーザの直感と合致している。欠点として、距離センサを用いているため、穴を机等に向けて置くとセンサが反応してしまうため、加速度センサ等と併用して、ユーザが意図して穴をふさいでいるのか否かを判定しなくてはならない点が挙げられる。

3.2.2 気圧センサによる実装

穴をふさぐことによる、穴内の気圧の変化は非常に微小であるため、より精度の高い気圧センサが求められる。また、距離センサ実装と同様に、サイズの小さなセンサであることも必要である。そこで、気圧センサとして、高い精度にて気圧計測が可能な、スマートフォンに標準搭載されている Bosch 社製の BMP280 (2.0 mm × 2.5 mm × 0.95 mm) を用いた。

本プロトタイプは、センサを備えたスマートフォンケースと、Arduino Uno からなる。Arduino Uno と気圧センサ間で I²C 通信を行い、気圧値を取得する。konashi による I²C 通信を試みた



図 3.1: konashi[MWT13] とセンサからなるセンサモジュール。

が、通信速度の低さから、今回は Arduino Uno による実装を選択した。本プロトタイプのスマートフォンケース背面には、直方体の空洞があり（図 3.7）、その内部に気圧センサが埋め込まれている。この空洞は、穴を通じて外気と触れているが、ユーザーがこの穴をふさぐことによって、密閉される仕組みである。

本研究では、センサ値から背面操作の識別を行うソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、以下の 2 種類の操作を、閾値判定によって識別する。

PUSH

穴を完全に指でふさいで押し込まれた時、穴の内部の空気が圧縮されて気圧が一瞬上昇する（図 3.8）。これを読み取り、押し込まれたと認識する。また、指を離す際に気圧が一瞬下降する。

RUBBING

穴を完全にふさぎながら、指で穴を繰り返しなでると、図 3.8 のようにセンサ値が上下する。これを検出し、ユーザーが穴をなでている操作であると認識する。

この実装方法の利点としては、穴を机等に向けて置いても反応しない点が挙げられる。一方で、PUSH 操作時は、穴を完全にふさがなければ、スマートフォンケース内の空気が圧縮されず、気圧センサが反応しないため、距離センサ実装のように穴のふさぎ具合を取得することはできない。

3.3 タッチパネルによる実装

背面にタッチパネルが備えられている端末を想定したプロトタイプである。本研究では、iPhone 4S を裏表逆にしてその使用感を確認した（図 3.9）。タッチの仕方から、以下の 3 種類



図 3.2: スマートフォンケースとセンサモジュールからなるプロトタイプシステム.

の操作を識別する.

PUSH

背面のタッチパネルをタッチする操作.

SLIDE

背面のタッチパネルに対して, 上下左右の4方向に指をスライドさせる操作.

RUBBING

背面のタッチパネルに対して, 指を繰り返しこする操作. 認識アルゴリズムに関しては, Olwal ら [OFH08] の研究に倣った.

この実装方法の利点としては, タッチジェスチャの数だけ入力語彙が増加することである. 一方で, タッチするだけで入力が行われるため, 意図しない入力が発生する.

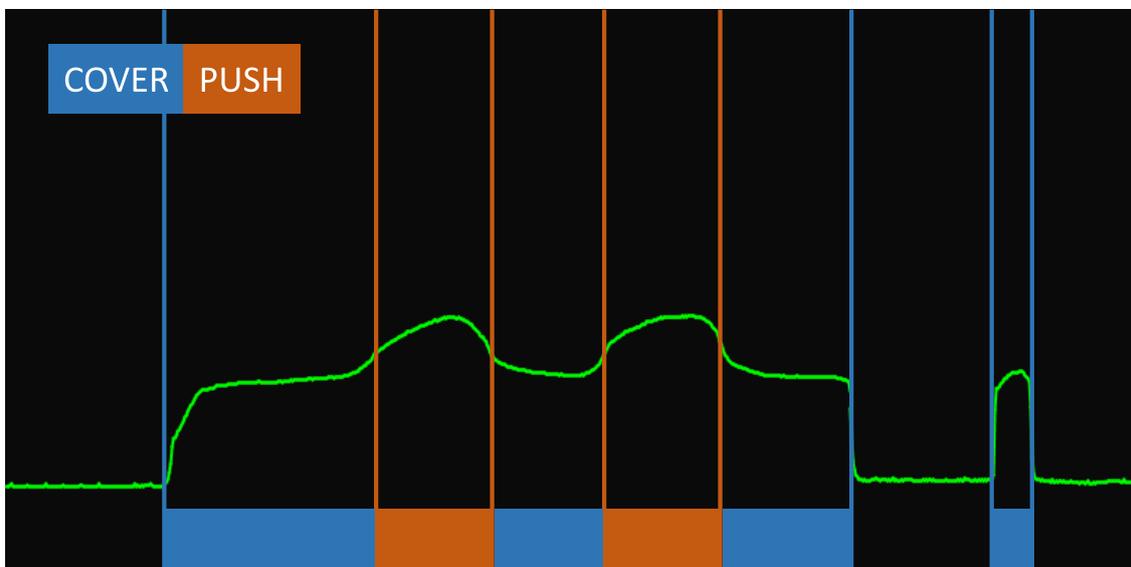


図 3.3: 距離センサ実装における COVER 操作（青の範囲）と PUSH 操作（オレンジの範囲）のセンサ値.



図 3.4: 距離センサ実装における SLIDE 操作のセンサ値.

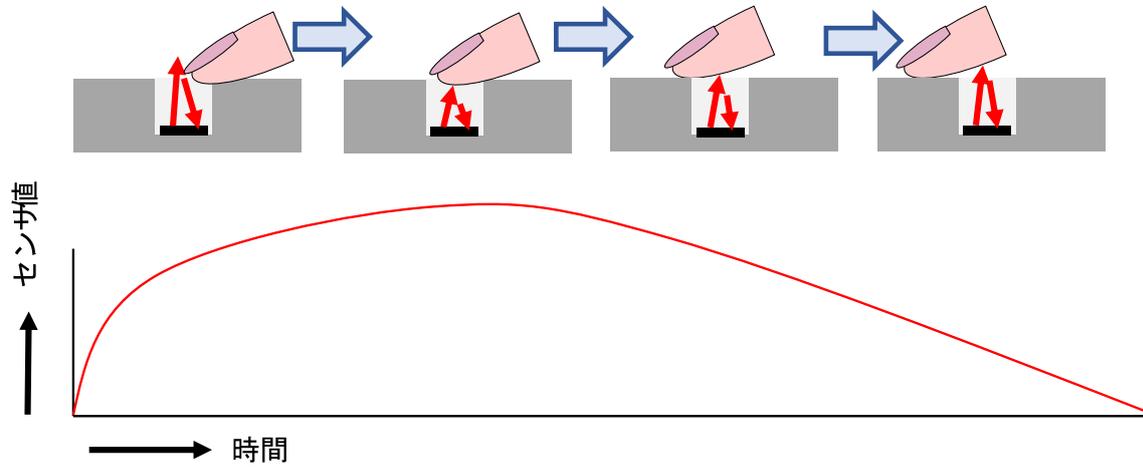


図 3.5: 距離センサ実装における上 SLIDE 操作のセンサ値の波形.

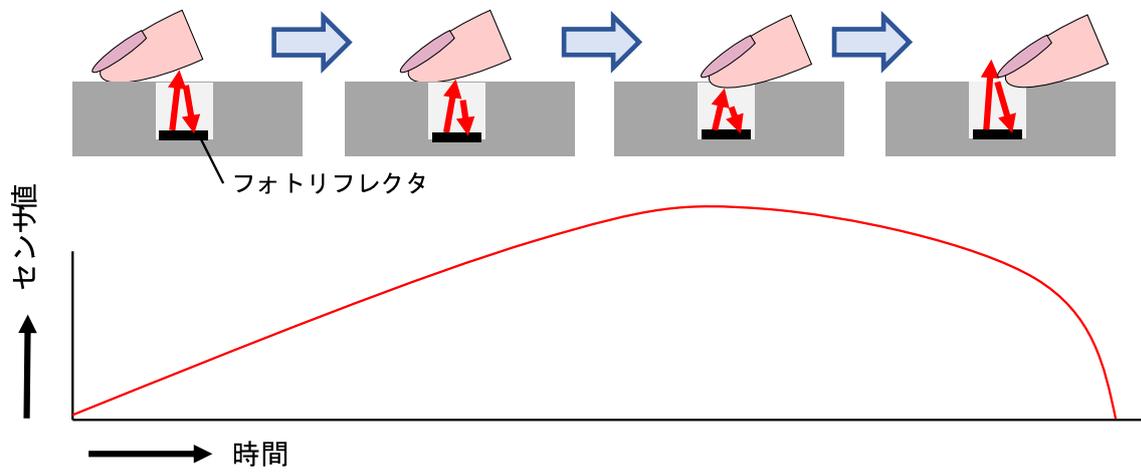


図 3.6: 距離センサ実装における下 SLIDE 操作のセンサ値の波形.

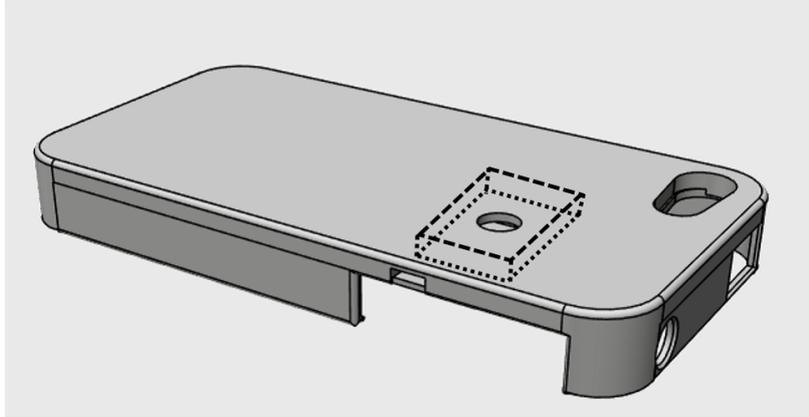


図 3.7: 気圧センサによる実装におけるスマートフォンケース.

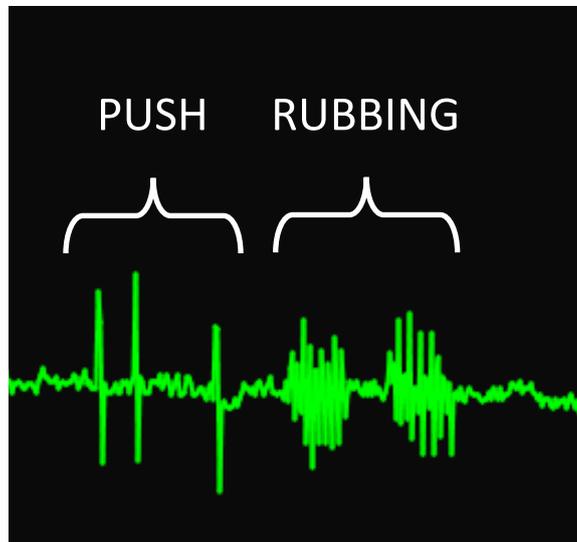


図 3.8: 穴の押し込み (PUSH) と穴をなでる (RUBBING) に伴う気圧変化.

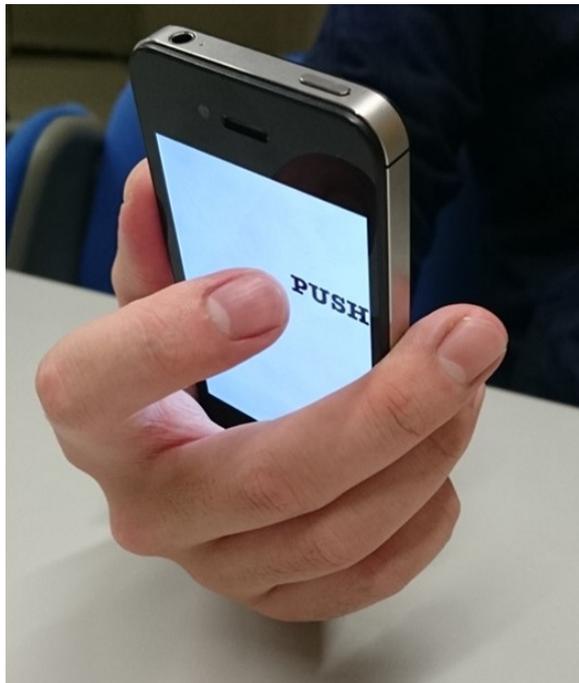


図 3.9: タッチパネルによる実装.

第4章 評価実験

第3章にて提案した3種類の操作認識手法について、精度およびユーザビリティの面から評価を行った。

4.1 被験者

大学生、大学院生のボランティア6名（男性6名，年齢22.7歳）を被験者とした。すべての被験者が背面操作を使用したことが無かった。また，すべての被験者が日常的に端末を右手にて操作を行っていた。

4.2 実験機器

実験用端末として iPhone 4S を使用した。センサ値を得て PC に送信するためのマイコンとして konashi[MWT13] と Arduino Uno を使用した。



図 4.1: 距離センサ実装。ケース内に埋め込まれたフォトリフレクタは，konashi に接続されている。

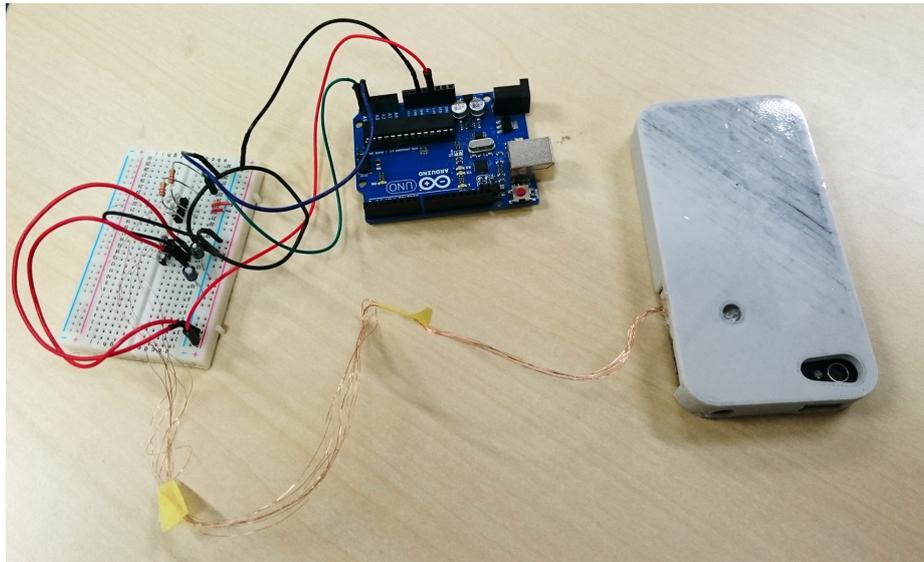


図 4.2: 気圧センサ実装. ケース内に埋め込まれた気圧センサは, Arduino Uno に接続されている.

4.3 手順

実験者はまず, 被験者に本実験の目的を説明した. その後, 本研究が提案する 3 種類の認識手法とそのプロトタイプに関する説明を行った.

被験者には, 図 4.3 のように椅子に着座して実験を行ってもらった. 練習タスクとして, 各手法それぞれの操作を, 慣れるまで行ってもらった. 十分に練習を行った後, 本番タスクを開始した. 本番タスクでは, 図 4.3 のように PC の画面上にランダムに提示される操作を行ってもらった. 各操作につき 10 回ずつ行うように設計した. タスクを行う手法の順番に関しては, 学習効果による影響が結果に反映されないようにカウンターバランスを取った. なお, COVER 操作は, 他の操作につながる予備操作であると考えられるため, 今回の実験では, 第 3 章にて述べた操作から COVER 操作を除いた以下の操作について評価を行った.

- 距離センサによる実装
 - PUSH
 - 上 SLIDE
 - 下 SLIDE
- 気圧センサによる実装
 - PUSH
 - RUBBING

- タッチパネルによる実装

- PUSH
- 上 SLIDE
- 下 SLIDE
- 左 SLIDE
- 右 SLIDE
- RUBBING

各試行につき、成功するまで繰り返し行ってもらった。試行が成功したときは正解音を、失敗したときは失敗音をフィードバックとして被験者に与えた。実験中は、端末を右手にて把持し、その人差し指を用いて操作を行ってもらった。また、タスクを正確に行うよう指示した。

それぞれの手法のタスクが終了後、ユーザビリティについての主観的満足度を測定するために、System Usability Scale (SUS)[Bro96, Bro13]を用いた。これは、10個の設問に対して、それぞれ同意の強さを5段階で回答してもらい、重みづけをして評価値を算出する手法である。この設問は元々英語で書かれているため、古井ら[古井14]が評価実験の際に日本語訳したものをを用いた。使用した設問文を付録Dに示す。

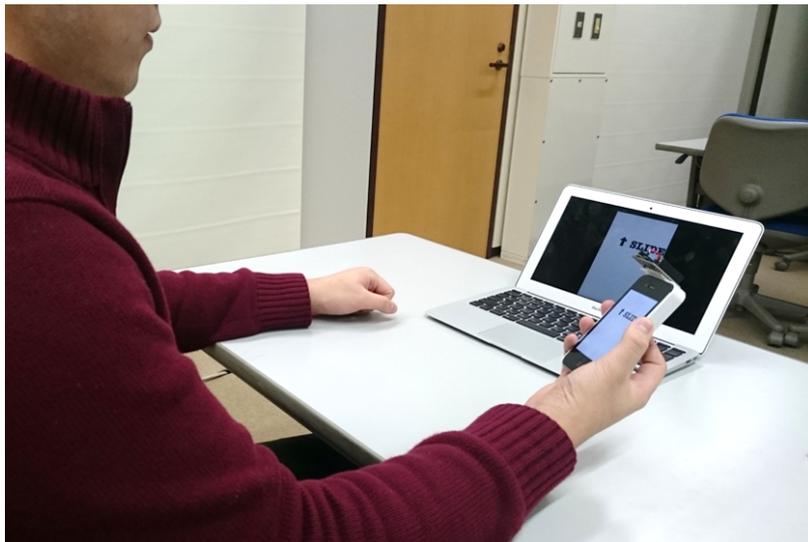


図 4.3: 評価実験の様子。

4.4 結果と考察

各認識手法の操作毎にエラー率を算出したものを図 4.4 に示す。距離センサによる実装においては、上 SLIDE のエラー率が非常に高い結果となった。分散分析を行ったところ、手法

間に有意差が認められた ($F_{2,10} = 4.446, p = .0305 < .05$)。また、上 SLIDE と下 SLIDE ($t_5 = 2.582, p = .02 < .05$)、および上 SLIDE と PUSH 間 ($t_5 = 2.582, p = .02 < .05$) に有意差が認められた。この理由として、アンケートにおいて、3人の被験者が上 SLIDE 時に指が穴に引っかかると回答していたことから、図 3.5、図 3.6 のような理想的なセンサ値が得られなかったためと考えられる。また、2人の被験者が穴の改良を求めたことから、容易にふさぐことができ、かつ SLIDE 操作をなめらかに行える穴への改良が必要である。気圧センサによる実装においては、RUBBING 操作が PUSH 操作と認識されてしまうことが多かった。これは、RUBBING 操作中に穴と指の間に隙間ができてしまい、気圧変化が起こらなくなってしまうためだと考えられる。このことから、ふさぎやすい穴の設計が必須であることがわかる。タッチパネル実装においては、1人の被験者が RUBBING 操作を連続で失敗したため、エラー率と標準偏差が高い。それ以外はいずれの操作も安定した入力が行われていた。

また、SUS の評価値を算出した結果を図 4.5 に示す。タッチパネルの平均値が最も高かったものの、SUS の評価値に関して分散分析を行ったところ、有意な差は見られなかった ($F_{2,10} = 2.588, p = .1083$)。

各操作の時間を図 4.6 に示す。これは、エラー率に依存しない純粋な時間のみを示すために、成功した試行のみを抽出した結果である。距離センサ実装に関して、上 SLIDE が下 SLIDE より時間がかかっている理由として、穴に指が引っかかっていることが考えられる。距離センサ実装とタッチパネル実装の上 SLIDE に関して、タッチパネル実装の方が有意に速かった理由も同様であると考えられる ($F_{2,10} = 12.326, p = .0056 < .01$)。PUSH 操作に関しては、タッチパネル実装が距離センサ ($t_5 = 2.852, p = .0121 < .05$)、および気圧センサ実装 ($t_5 = 3.227, p = .0056 < .01$) に比べて有意に速かった。その理由として、距離センサ、および気圧センサにおける PUSH 操作では、穴を押し込む操作が必要であることに対し、タッチパネル実装においてはタッチパネル面をタップするのみであることが挙げられる。また、気圧センサ実装が他の手法に比べて時間がかかっている理由として、穴を押し込む操作が必要なが挙げられる。

実験後のアンケートにおいて、それぞれの操作に対して、実装毎にどちらが使いやすかったかを回答してもらった。PUSH 操作に関して、距離センサと気圧センサ間では6人中6人が距離センサと回答していた。その理由として、気圧センサ実装において、すべての被験者が PUSH 操作を行うために、強く押さなくては認識されないことを挙げていた。このことから、気圧センサ実装において、押し込んだ時に気圧変化が大きくなるよう穴の形状を改善する必要性が示唆された。また、PUSH が認識される閾値も見直す必要がある。距離センサとタッチパネル間では、6人中3人が距離センサと回答していた。このうち2人は、背面におけるタッチ入力では誤ってタッチしてしまう危険性を示唆していた。また、1人は穴の引っかかりがあるために PUSH 操作を行いやすかったと述べていた。

SLIDE 操作に関しては、6人中1人が距離センサと回答していた。この被験者は、気圧センサ実装において失敗なしに安定して操作を行っていた。また、速度においても平均して最も速かった。アンケートにおいて、今後も使いたいと述べていた。

RUBBING 操作に関しては、6人中3人が気圧センサと回答していた。その理由として、指

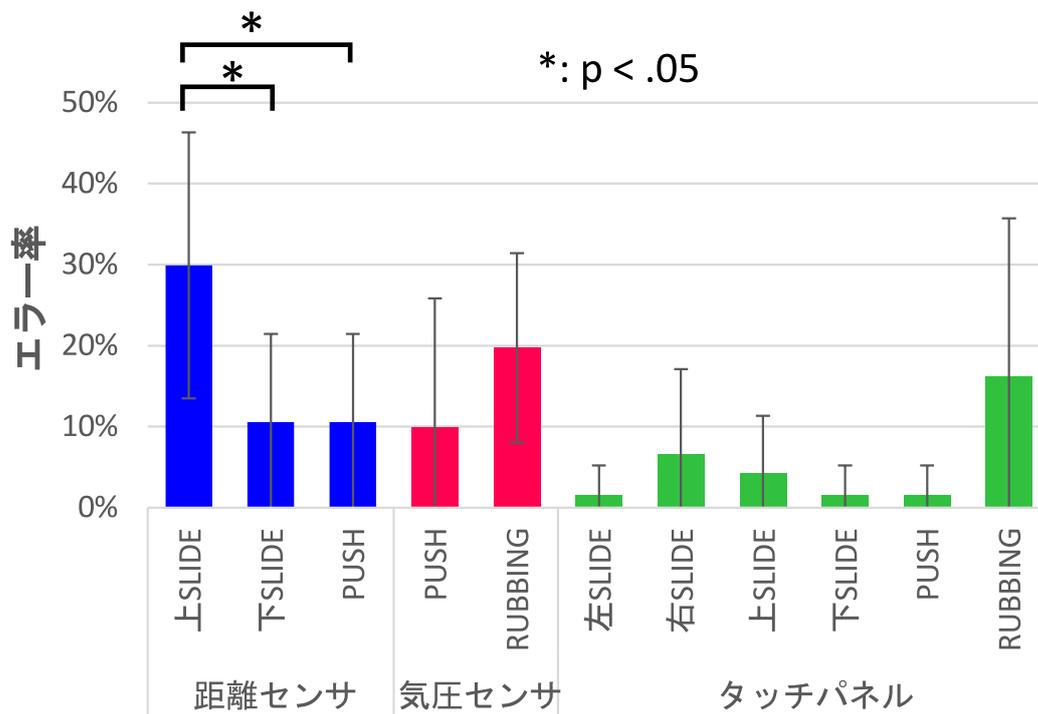


図 4.4: 各操作のエラー率.

がひっかかる感触があるため、RUBBING 操作を行いやすいことが挙げられた。一方で、気圧センサ実装は手が疲れるとのコメントがあった。

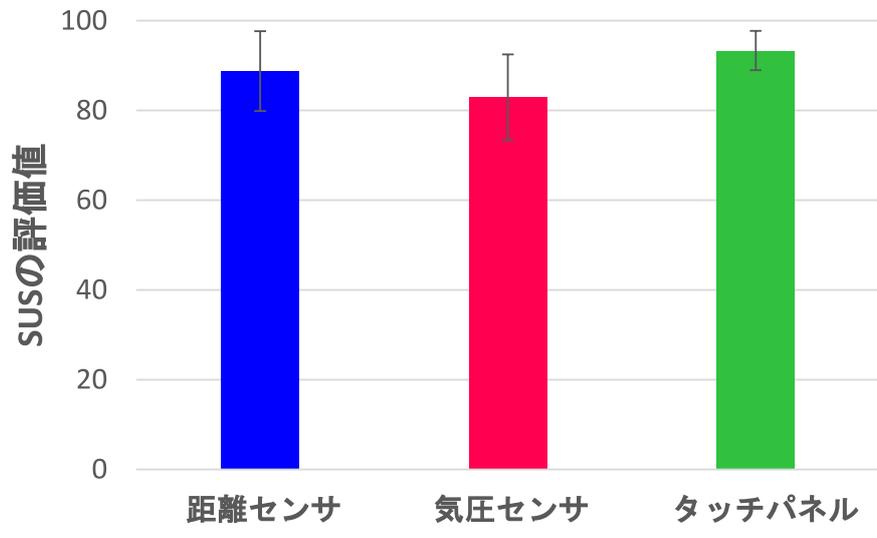


図 4.5: 各認識手法の SUS の評価値.

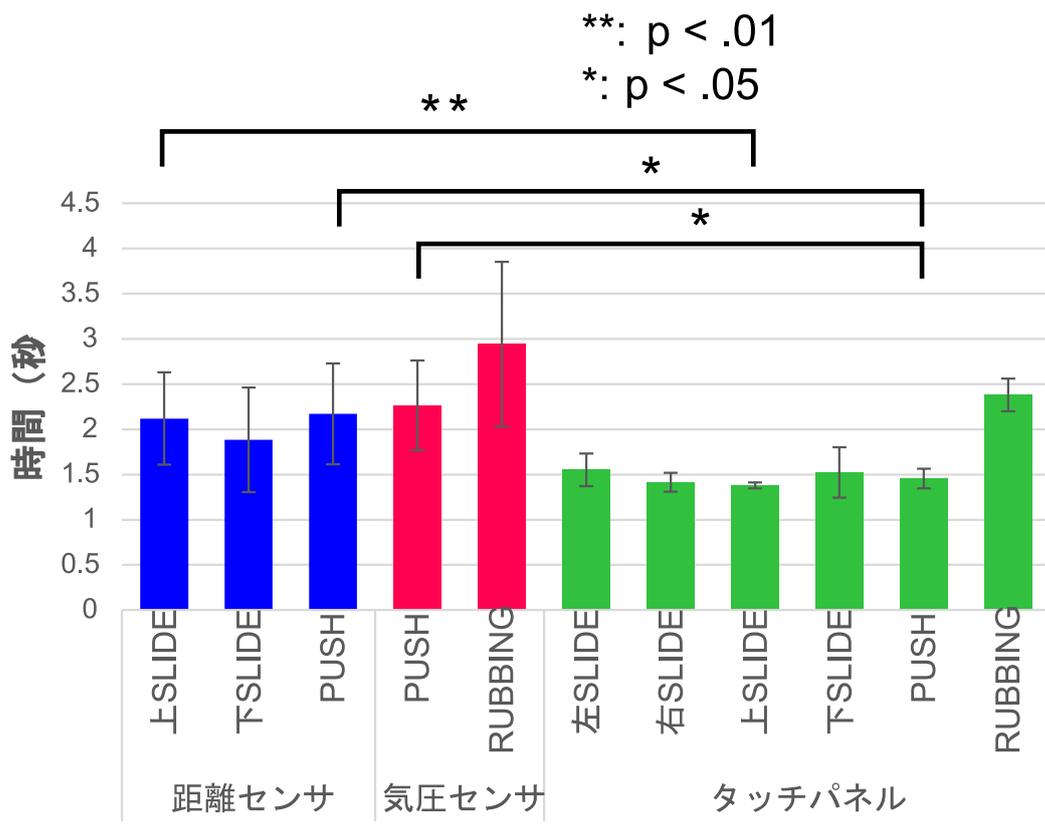


図 4.6: 各操作の時間.

第5章 アプリケーション例

本研究にて提案した認識手法を活用したアプリケーション例を述べる。

5.1 大画面端末の片手操作支援アプリケーション

iPhone 6, iPhone 6 Plus に搭載されている Reachability¹ のように、大画面端末における片手操作時に親指が届かない領域を操作することができるように支援するシステムが開発されている。距離センサ実装における COVER 操作は、端末表面におけるタッチ操作との併用が可能であるため、修飾キーに適している。そこで、COVER 操作を行っている間、画面全体が下方方向へ移動するアプリケーションを作成した（図 5.1）。Reachability を起動する際は、ホームボタンを 2 回タッチしなくてはならず、タッチパネル操作を一度中断することになる。本アプリケーションにおいては、この機能を使いたいときに背面の穴をふさぐことによって起動できるため、表面のタッチパネル操作を中断することなく使用することができる。

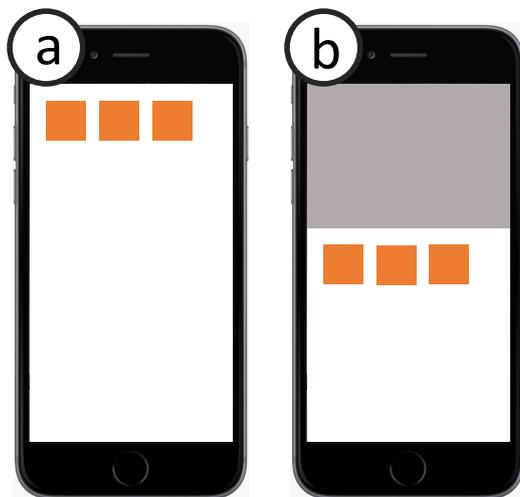


図 5.1: 大画面端末の片手操作支援アプリケーション。(a) ターゲットが指の届かない領域にあるとき、(b) COVER 操作を行って画面全体を下方方向へ移動させる。

¹<https://www.apple.com/iphone-6/design/>

5.2 アプリケーションランチャ

距離センサ実装における PUSH 操作，気圧センサ実装における PUSH 操作は，ある特定の機能の起動に適している．また，これらはユーザが意図的に操作しなければ認識されないため，誤起動する可能性が低い．そこで，ユーザが PUSH 操作を行ったときにアプリケーションランチャが起動するアプリケーションを作成した（図 5.2）．これによって，タッチパネル面において特殊なタッチジェスチャを行うことなく，素早くアプリケーションランチャを起動することができる．また，距離センサ実装における SLIDE，または気圧センサ実装における RUBBING 操作を用いて，アプリケーションランチャ内のアイコンを選択する手法も考えられる（図 5.2c）．

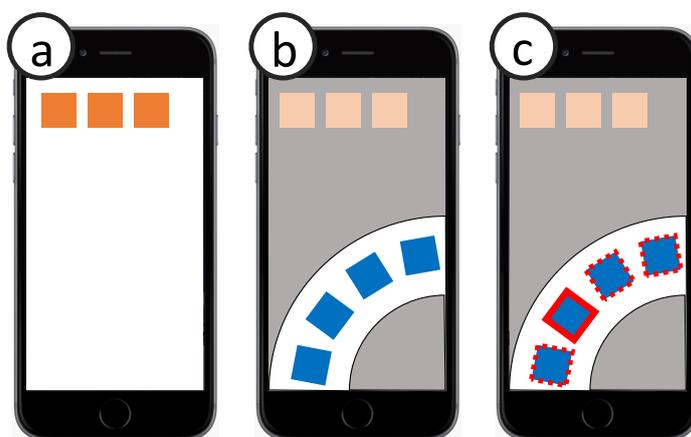


図 5.2: アプリケーションランチャ. (a) あるアプリケーションを即座に起動したいとき，(b) PUSH 操作を行ってアプリケーションランチャを起動し，(c) SLIDE 操作，または RUBBING 操作によってアプリケーションの選択を行う．

5.3 ジェスチャマクロ

ユーザが行ったタッチジェスチャを記録し，それをユーザが任意のタイミングで起動させることができるアプリケーションを作成した．ユーザは，まず PUSH 操作を 2 回行うことによって「ジェスチャ記録モード」に移行させる．その後，ユーザは任意のタッチジェスチャを行う（図 5.3b）．もう一度 PUSH 操作を 2 回行って「ジェスチャ記録モード」を解除した後，再び PUSH 操作を行うことによって，記録したジェスチャを起動することができる（図 5.3c）．例として，スクロール操作を記録しておくとし，指を使って何度もスクロール操作を行わずに背面の PUSH 操作を繰り返すだけで画面のスクロールを容易に繰り返すことができる．また，単一のジェスチャだけでなく，タップやドラッグ操作を混在させることができるため，複雑なタッチ操作をマクロ化して作業効率を上げることができる．

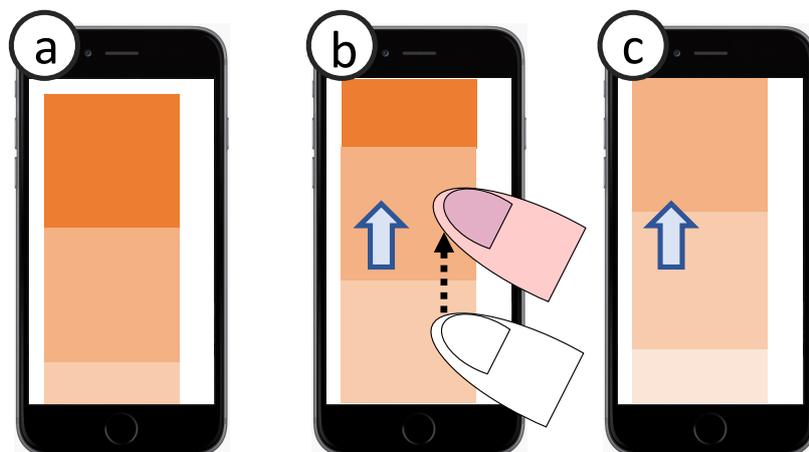


図 5.3: ジェスチャマクロ. (a) PUSH 操作を 2 回行ってジェスチャ記録モードに移行し, (b) 記録したいタッチジェスチャを行い, (c) ジェスチャ記録モードを解除後, PUSH 操作を行うことによって記録したジェスチャを起動する.

5.4 背面操作を活用したブラウザ

距離センサ実装のプロトタイプを用いて, 背面操作を活用したブラウザを作成した. 携帯端末におけるブラウジングでは, その画面サイズの小ささから, 小さなターゲットの押し分けが必要となることがある. そのため, ターゲットが密集した領域へのタッチを行う際は, 一度おおまかにタッチした後, 拡大されたその領域をもう一度タッチすることによって意図したターゲットを正確に選択できるように実装されたブラウザも存在する. そこで, COVER 操作を拡大鏡の起動に割り当てた (図 5.4a, b). これにより, シームレスに細かいターゲットを選択することができ, 快適なブラウジングを行うことができる. SLIDE 操作を上下のスクロール操作に割り当てることにより, 画面のコンテンツを遮蔽することなくスクロール操作を行うことができる (図 5.4c).

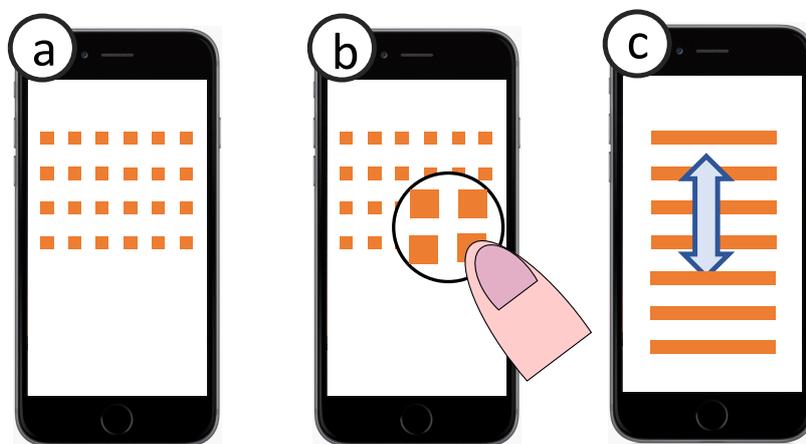


図 5.4: 背面操作を活用したブラウザ. (a) 指で押し分けにくい小さなターゲットが密集している時, (b) COVER 操作をしながらタッチを行うことによって拡大鏡を起動する. (c) 上下 SLIDE 操作によってページのスクロールを行う.

第6章 議論

本章では，端末背面における操作の改善，および今後の展望について議論する．

6.1 穴の触覚フィードバック

本研究が端末背面における穴をふさぐ操作を採用している理由として，穴の触覚フィードバックによって操作を行いやすくなり，ユーザビリティが向上すると考えられるからである．実際に，第4章の実験において，3人の被験者が穴の触覚フィードバックを好んでいた．うち1人は，気圧センサ実装における RUBBING 操作で，指がひっかかることによって行いやすかったと述べていた．結果として，穴の触覚フィードバックは背面操作において，操作性を向上させる要因のひとつになると考えられる．

6.2 穴の形状

本研究にて実装したスマートフォンケースの穴は，真円である．しかし，第4章の評価実験において，気圧センサ実装の PUSH 操作を行う際に，強く押し込まなくてはならない問題が挙げられた．また，6人中2人の被験者が，穴をなめらかにするよう改良することを求めている．したがって，押し込みやすい，かつふさぎやすいように穴の形状を改善することにより，気圧センサによる実装の操作性が向上すると考えられる．例として，楕円の穴が考えられる．

6.3 距離センサと気圧センサの組み合わせ

1人の被験者が，距離センサと気圧センサを組み合わせたらどうなるか気になる，とコメントをしていた．例えば，穴の直下に距離センサと気圧センサを備えることによって，操作の精度改善が見込めるとともに，新たな入力語彙の拡張の可能性もある．

6.4 その他の実装方法

第3章にて述べた3種類の実装の他にも様々な実装方法があり得る．

6.4.1 静電容量センサによる実装

センサから指までの距離を検出することができれば、距離センサの代わりになると考えられる。そこで、静電容量センサを用いて、指の接近を検出することを試みた。静電容量センサ（Azoteq 社、IQS127D）は、ユーザのタッチ入力だけでなく、指を近づける操作も検出することができる。これを穴の直下に置くことにより、穴をふさぐ操作を検出することができる。また、さらにリッチな静電容量センサを用いることによって、入力語彙を増やすことができる。また、距離センサによる実装と比較すると、穴を机等に向けて置いても反応しないメリットがある。

6.4.2 湿度センサによる実装

TEXAS INSTRUMENTS 社の HDC1000 という温湿度センサをスマートフォンケースの穴の部分に埋め込んだところ、湿度センサの値から、指の接近を検出することができた。人間の皮膚から汗が蒸発しているため、これを検出したものと考えられる。湿度センサ単体では、指の近接が検出できるのみであるため、操作語彙の拡張には不向きである。しかし、ユーザの緊張度合いによって手汗の発汗量が変化するため、これを検出してインタラクションに活用することができる。また、日常的に穴をふさぐ背面操作を行う環境を想定したとき、1日を通した発汗量を記録することができるため、ヘルスケアの分野への応用が期待される。

第7章 結論

本研究は、端末背面における操作認識手法を比較検討し、背面操作に適した操作認識手法を明らかにした。これに際し、本研究は、距離センサと気圧センサを用いた、2種類の携帯情報端末背面における片手操作の認識手法を開発した。本手法において、ユーザは端末背面にある穴を、端末を把持している手の人差し指によってふさぐことにより操作を行う。これらを、背面にタッチパネルを備えた端末と比較検討して、各認識手法の精度とユーザビリティを調査した。その結果、ユーザの目に見えない携帯情報端末背面における操作時に、穴の触覚フィードバックが良い手がかりになることが示された。また、提案認識手法を用いたアプリケーション例を示し、携帯情報端末背面における操作の可能性を示した。

謝辞

本研究を進めるにあたり，志築文太郎先生，田中二郎先生，高橋伸先生，嵯峨智先生には多くのご意見とご指導をして頂きました。特に志築文太郎先生には，日頃から研究の相談や論文執筆に関して多くのご助言を頂きました。深く感謝致します。

田中研究室の皆様には，研究活動において様々なご助言を頂きました。同期の方々とは，互いに切磋琢磨し合って研究を進めることが出来たことを大変嬉しく思います。WAVE チームの皆様には，チームゼミをはじめ，様々な場面で研究のアドバイスを頂きました。特に，ハードウェアの技術に関しては大変お世話になりました。また，被験者実験の被験者としてご協力頂いた皆様に，感謝申し上げます。

最後に，筆者の生活面を支えてくださった家族と友人，研究生生活においてお世話になった全ての方々に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [BC09] Patrick Baudisch and Gerry Chu. Back-of-device interaction allows creating very small touch devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1923–1932, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [BLC⁺12] Sebastian Boring, David Ledo, Xiang 'Anthony' Chen, Nicolai Marquardt, Anthony Tang, and Saul Greenberg. The Fat Thumb: Using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction. In *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services companion*, MobileHCI '12, pp. 207–208, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [Bro96] John. Brooke. SUS: A quick and dirty usability scale. In *Usability evaluation in industry*. Taylor and Francis, London, 1996.
- [Bro13] John Brooke. SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 29–40, February 2013.
- [BSO14] Daniel Buschek, Oliver Schoenleben, and Antti Oulasvirta. Improving accuracy in back-of-device multitouch typing: A clustering-based approach to keyboard updating. In *Proceedings of the 19th International Conference on Intelligent User Interfaces*, IUI '14, pp. 57–66, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [CCKB15] Christian Corsten, Christian Cherek, Thorsten Karrer, and Jan Borchers. HaptiCase: Back-of-device tactile landmarks for eyes-free absolute indirect touch. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 2171–2180, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [DLvZN⁺13] Alexander De Luca, Emanuel von Zezschwitz, Ngo Dieu Huong Nguyen, Max-Emanuel Maurer, Elisa Rubegni, Marcello Paolo Scipioni, and Marc Langheinrich. Back-of-device authentication on smartphones. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 2389–2398, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [FK11] Shogo Fukushima and Hiroyuki Kajimoto. Palm Touch Panel: Providing touch sensation through the device. In *Proceedings of the ACM International Conference on*

Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '11, pp. 79–82, New York, NY, USA, 2011. ACM.

- [FOK⁺13] Yoshitomo Fukatsu, Tatsuhito Oe, Yuki Kuno, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Evaluation of effects of textures attached to mobile devices on pointing accuracy. In *Proceedings of the 15th international conference on Human-computer interaction*, HCII '13, pp. 255–263, Berlin, Heidelberg, 2013. Springer-Verlag.
- [HFST15] Hiroyuki Hakoda, Yoshitomo Fukatsu, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Back-of-device interaction based on the range of motion of the index finger. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction*, OzCHI '15, pp. 202–206, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [HH09] Chris Harrison and Scott E. Hudson. Providing dynamically changeable physical buttons on a visual display. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 299–308, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [HL11] Seongkook Heo and Geehyuk Lee. ForceTap: Extending the input vocabulary of mobile touch screens by adding tap gestures. In *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '11, pp. 113–122, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [HL12] Seongkook Heo and Geehyuk Lee. ForceDrag: Using pressure as a touch input modifier. In *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, OzCHI '12, pp. 204–207, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [HYLI12] Khalad Hasan, Xing-Dong Yang, Hai-Ning Liang, and Pourang Irani. How to position the cursor?: An exploration of absolute and relative cursor positioning for back-of-device input. In *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '12, pp. 103–112, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [IYO05] Hiroo Iwata, Hiroaki Yano, and Naoto Ono. Volflex. In *ACM SIGGRAPH 2005 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '05, p. 31, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [KB06] Amy K. Karlson and Benjamin B. Bederson. Understanding single-handed mobile device interaction. Technical report, Department of Computer Science, University of Maryland, 2006.
- [KKL⁺08] Seoktae Kim, Hyunjung Kim, Boram Lee, Tek-Jin Nam, and Woohun Lee. Inflatable Mouse: Volume-adjustable mouse with air-pressure-sensitive input and haptic feed-

- back. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, pp. 211–224, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [KM15] Kunihiro Kato and Homei Miyashita. ExtensionSticker: A proposal for a striped pattern sticker to extend touch interfaces and its assessment. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1851–1854, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [KMN14] Keisuke Komeda, Masahiro Mochizuki, and Nobuhiko Nishiko. User activity recognition method based on atmospheric pressure sensing. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, UbiComp '14 Adjunct, pp. 737–746, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [KRL12] Hwan Kim, Yea-kyung Row, and Geehyuk Lee. Back Keyboard: A physical keyboard on backside of mobile phone using qwerty. In *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, pp. 1583–1588, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [LBHH15] Gierad Laput, Eric Brockmeyer, Scott E. Hudson, and Chris Harrison. Acoustruments: Passive, acoustically-driven, interactive controls for handheld devices. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 2161–2170, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [LC14] Luis A. Leiva and Alejandro Català. BoD Taps: An improved back-of-device authentication technique on smartphones. In *Proceedings of the 16th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '14, pp. 63–66, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [LHG13] Markus Löchtefeld, Christoph Hirtz, and Sven Gehring. Evaluation of hybrid front- and back-of-device interaction on mobile devices. In *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '13, pp. 17:1–17:4, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [LIT⁺14] Guangwen Liu, Masayuki Iwai, Yoshito Tobe, Dunstan Matekenya, Khan Muhammad Asif Hossain, Masaki Ito, and Kaoru Sezaki. Beyond horizontal location context: Measuring elevation using smartphone's barometer. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, UbiComp '14 Adjunct, pp. 459–468, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [MKM⁺14] Kartik Muralidharan, Azeem Javed Khan, Archan Misra, Rajesh Krishna Balan, and Sharad Agarwal. Barometric phone sensors: More hype than hope! In *Proceedings*

of the 15th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, HotMobile '14, pp. 12:1–12:6, New York, NY, USA, 2014. ACM.

- [MWT13] Reo Matsumura, Takao Watanabe, and Yuichi Tadokoro. konashi: A physical computing toolkit for smartphones and tablets. In *SIGGRAPH Asia 2013 Symposium on Mobile Graphics and Interactive Applications*, SA '13, pp. 118:1–118:5, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [OFH08] Alex Olwal, Steven Feiner, and Susanna Heyman. Rubbing and tapping for precise and rapid selection on touch-screen displays. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, pp. 295–304, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [PKB06] Pekka Parhi, Amy K. Karlson, and Benjamin B. Bederson. Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Mobile-HCI '06, pp. 203–210, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [PRA08] ShwetakN. Patel, MatthewS. Reynolds, and GregoryD. Abowd. Detecting human movement by differential air pressure sensing in hvac system ductwork: An exploration in infrastructure mediated sensing. In Jadwiga Indulska, DonaldJ. Patterson, Tom Rodden, and Max Ott, editors, *Pervasive Computing*, Vol. 5013 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 1–18. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [RBL09] Anne Roudaut, Mathias Baglioni, and Eric Lecolinet. TimeTilt: Using sensor-based gestures to travel through multiple applications on a mobile device. In Tom Gross, Jan Gulliksen, Paula Kotz, Lars Oestreicher, Philippe Palanque, RaquelOliveira Prates, and Marco Winckler, editors, *Human-Computer Interaction INTERACT 2009*, Vol. 5726 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 830–834. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [RLG09] Anne Roudaut, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. MicroRolls: Expanding touch-screen input vocabulary by distinguishing rolls vs. slides of the thumb. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 927–936, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [RT09] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-free scrolling and multiple selection on mobile touch screen devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1523–1526, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [SACP13] Daniel Spelmezan, Caroline Appert, Olivier Chapuis, and Emmanuel Pietriga. Controlling widgets with one power-up button. In *Proceedings of the 26th annual ACM*

symposium on User interface software and technology, UIST '13, pp. 71–74, New York, NY, USA, 2013. ACM.

- [SD14] Karsten Seipp and Kate Devlin. BackPat: One-handed off-screen patting gestures. In *Proceedings of the 16th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '14, pp. 77–80, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [SHLRP13] Paul Schmieder, John Hosking, Andrew Luxton-Reilly, and Beryl Plimmer. Thumbs up: 3d gesture input on mobile phones using the front facing camera. In Paula Kotz, Gary Marsden, Gitte Lindgaard, Janet Wesson, and Marco Winckler, editors, *Human-Computer Interaction INTERACT 2013*, Vol. 8118 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 318–336. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [SO13] Oliver Schoenleben and Antti Oulasvirta. Sandwich Keyboard: Fast ten-finger typing on a mobile device with adaptive touch sensing on the back side. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, pp. 175–178, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [SZG⁺14] Kartik Sankaran, Minhui Zhu, Xiang Fa Guo, Akkihebbal L. Ananda, Mun Choon Chan, and Li-Shiuan Peh. Using mobile phone barometer for low-power transportation context detection. In *Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*, SenSys '14, pp. 191–205, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [TT13] Shinichirou Tosa and Jiro Tanaka. LoopTouch: One-handed operation technique using the screen looping on mobile devices. In *Interaction2013*, pp. 175–182. IPSJ, 2013. (in Japanese).
- [VMK⁺05] Kevin Vlack, Terukazu Mizota, Naoki Kawakami, Kazuto Kamiyama, Hiroyuki Kajimoto, and Susumu Tachi. GelForce: A vision-based traction field computer interface. In *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '05, pp. 1154–1155, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [WFB⁺07] Daniel Wigdor, Clifton Forlines, Patrick Baudisch, John Barnwell, and Chia Shen. Lucid Touch: A see-through mobile device. In *Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '07, pp. 269–278, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [WMA08] Jacob O. Wobbrock, Brad A. Myers, and Htet Htet Aung. The performance of hand postures in front- and back-of-device interaction for mobile computing. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 66, No. 12, pp. 857–875, December 2008.

- [WPM15] Muchen Wu, Parth H. Pathak, and Prasant Mohapatra. Monitoring building door events using barometer sensor in smartphones. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, pp. 319–323, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [WPSN15] Anusha Withana, Roshan Peiris, Nipuna Samarasekara, and Suranga Nanayakkara. zSense: Enabling shallow depth gesture recognition for greater input expressivity on smart wearables. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 3661–3670, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [WSR14] Katrin Wolf, Robert Schleicher, and Michael Rohs. Ergonomic characteristics of gestures for front- and back-of-tablets interaction with grasping hands. In *Proceedings of the 16th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '14, pp. 453–458, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [XHW13] Xiang Xiao, Teng Han, and Jingtao Wang. LensGesture: Augmenting mobile interactions with back-of-device finger gestures. In *Proceedings of the 15th ACM on International Conference on Multimodal Interaction*, ICMI '13, pp. 287–294, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [YHBI13] Xing-Dong Yang, Khalad Hasan, Neil Bruce, and Pourang Irani. Surround-See: Enabling peripheral vision on smartphones during active use. In *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '13, pp. 291–300, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [YMIB09] Xing-Dong Yang, Edward Mak, Pourang Irani, and Walter F. Bischof. Dual-Surface Input: Augmenting one-handed interaction with coordinated front and behind-the-screen input. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, pp. 5:1–5:10, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [YTH⁺11] Neng-Hao Yu, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Meng-Han Lee, Mike Y. Chen, and Yi-Ping Hung. Clip-on Gadgets: expanding multi-touch interaction area with unpowered tactile controls. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, pp. 367–372, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [古井 14] 古井陽之助, 前田環貴, 松本誠義. 講義画面の自動連続キャプチャによる講義・学習支援. pp. 1–8. 一般社団法人情報処理学会, 2014.

- [深津 14] 深津佳智, 箱田博之, 野口杏奈, 志築文太郎, 田中二郎. 凹凸付きスマートフォンケースにおけるタッチ精度の評価. コンピュータ ソフトウェア, Vol. 31, No. 3, pp. 325–335, 2014.
- [中島 13] 中島康祐, 伊藤雄一, 林勇介, 池田和章, 藤田和之, 尾上孝雄. Emoballoon : ソーシャルタッチインタラクションのための柔らかな風船型インタフェース. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 3, pp. 255–265, September 2013.
- [渡部 12] 渡部陽一, 佐藤克成, 牧野泰才, 前野隆司. 光学式力測定手法を用いた携帯型タッチパネル端末用入力デバイスの提案. インタラクション 2012, pp. 521–526. 一般社団法人情報処理学会, 2012.

付録A 実験：実験同意書

携帯情報端末背面における操作認識手法の性能評価実験のお願い

文責：箱田博之

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- 本実験の目的は、**携帯情報端末背面における操作認識手法**の性能を評価することです。
- 実験中に、写真および動画の撮影を行う場合がありますが、これは実験の様子を撮影するために、その写真および動画を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。
- 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。
- 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。

平成 年 月 日

所属

署名

説明者 所属 システム情報工学研究科 CS 専攻

署名

付録B 実験：アンケート

実験に関するアンケート

文責：箱田博之

1. 年齢, 性別, 利き手についてお答えください.

年齢：__歳 性別： 男・女 利き手：右・左

2. 普段使用している携帯情報端末の機種は何ですか？

(例：iPhone4S, docomo Galaxy S II)

3. 普段, 携帯情報端末操作を行う際に用いる手についてお答えください. (複数回答可)

右・左・両手

4. 普段, 上記の携帯情報端末の操作に用いる手についてお答えください (複数回答可).

1

2

3

4



その他

5. 携帯情報端末の利用歴はどのくらいですか？

_____年 月

6. 携帯情報端末の背面を用いた操作手法を使ったことがありますか？

ある ない

アンケートは以上になります. ご協力ありがとうございました.

実験に関するアンケート

文責：箱田博之

該当する方を○で囲んでください。また、理由等があれば記述してください。

1. **PUSH** 操作に関して、距離センサ実装と気圧センサ実装のどちらの方が使いやすいと思
いましたか？

距離センサ ・ 気圧センサ

理由

2. **PUSH** 操作に関して、距離センサ実装とタッチパネル実装のどちらの方が使いやすいと
思いましたか？

距離センサ ・ タッチパネル

理由

3. **PUSH** 操作に関して、気圧センサ実装とタッチパネル実装のどちらの方が使いやすいと
思いましたか？

気圧センサ ・ タッチパネル

理由

4. **SLIDE** 操作に関して、距離センサ実装とタッチパネル実装のどちらの方が使いやすい
と思われましたか？

距離センサ ・ タッチパネル

理由

5. **RUBBING** 操作に関して、気圧センサ実装とタッチパネル実装のどちらの方が使いや
すいと思われましたか？

気圧センサ ・ タッチパネル

理由

6. 認識手法について、良かった点、改善すべき点、感想をご記入ください。

良かった点

改善すべき点

その他・感想

アンケートは以上になります。ご協力ありがとうございました。

付録C 実験：説明

実験に関する説明

- 3種類の, 端末背面における操作認識手法について評価を行っていただきます.
- まず各手法について説明を行います. その後練習を行っていただき本番タスクを行っていただきます.

本番タスク

- ランダムに提示された操作を未正確に行ってください.
- 各操作につき 10 回ずつ行っていただきます.
 - 各試行につき未成功するまで繰り返し行っていただきます.
- 各手法のタスクが終了後未SUS (システムユーザビリティスケール) の設問に回答していただきます.
- すべてのタスク終了後, アンケートにお答えいただきます設

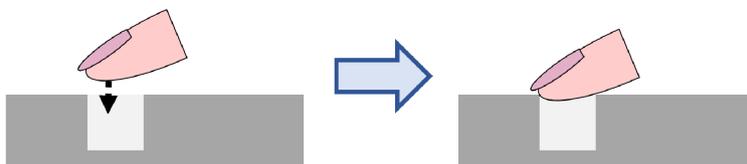
認識手法の説明

片手で端末を持ち、人差し指で操作を行ってください。

1. 距離センサによる認識手法

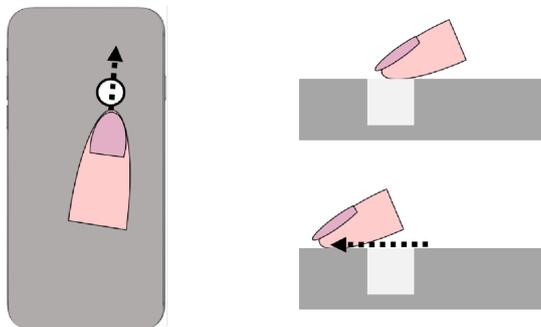
以下の3種類の操作を行っていただきます。

- PUSH…穴に指を押し込む操作

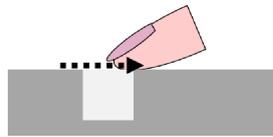
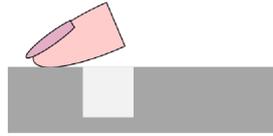
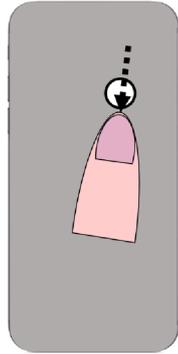


- SLIDE…穴を横切るように指でなでる操作

➤ 上 SLIDE



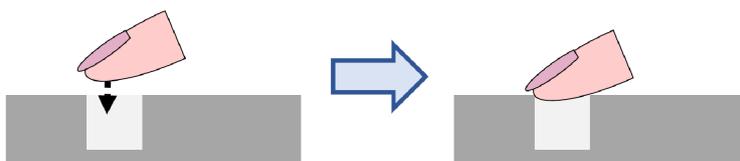
➤ F SLIDE



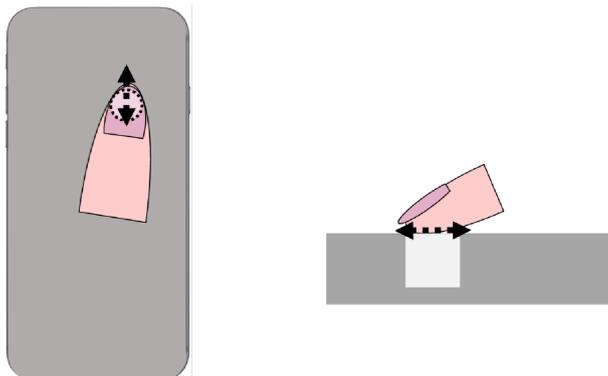
2. 気圧センサによる認識手法

以下の2種類の操作を行っていただきます。

- PUSH…穴に指を押し込む操作



- RUBBING…穴をふさぎながら、指でなでる操作



3. タッチパネルによる認識手法

以下の6種類の操作を行っていただきます。

なお、これらの操作は、人差し指で操作しやすい場所で行ってください。

- PUSH…タッチパネル面をタッチする操作
- SLIDE（上下左右）…タッチパネル面をスライドさせる操作
- RUBBING…タッチパネル面に指をこすりつける操作

付録D 実験：SUS (System Usability Scale)

SUS (System Usability Scale)

- これは、ユーザビリティについての主観的満足度を測定する手法です。
- 各手法につき、10 項目の設問に回答していただきます。
- それぞれの設問に対し、同意の強さを 5 段階で回答していただきます。
- 設問に関して質問があれば、随時受け付けます。

距離センサ実装について

1. わたしはこのシステムを頻繁に使いたいと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは無駄に複雑であると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは簡単に使えると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使えるようになるにはわたしは技術者の支援を必要とするだろうと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムでは様々な機能がよくまとまっていると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムにはあまりにも多くの矛盾があると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. ほとんどの人々はこのシステムの使い方をすぐに覚えるだろうと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

8. このシステムはとても扱いにくいと思った.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

9. このシステムを使うのにとても自信があると感じた.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

10. わたしはこのシステムを使い始める前に多くのことを学ぶ必要があった.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

気圧センサ実装について

1. わたしはこのシステムを頻繁に使用したいと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは無駄に複雑であると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは簡単に使えると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使えるようになるにはわたしは技術者の支援を必要とするだろうと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムでは様々な機能がよくまとまっていると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムにはあまりにも多くの矛盾があると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. ほとんどの人々はこのシステムの使い方をすぐに覚えるだろうと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

8. このシステムはとても扱いにくいと思った.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

9. このシステムを使うのにとても自信があると感じた.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

10. わたしはこのシステムを使い始める前に多くのことを学ぶ必要があった.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

タッチパネル実装について

1. わたしはこのシステムを頻繁に使いたいと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは無駄に複雑であると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは簡単に使えると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使えるようになるにはわたしは技術者の支援を必要とするだろうと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムでは様々な機能がよくまとまっていると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムにはあまりにも多くの矛盾があると思った。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. ほとんどの人々はこのシステムの使い方をすぐに覚えるだろうと思う。
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

8. このシステムはとても扱いにくいと思った.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

9. このシステムを使うのにとても自信があると感じた.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

10. わたしはこのシステムを使い始める前に多くのことを学ぶ必要があった.

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)