

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

日高 詩織^{1,a)} 馬場 哲晃²

概要: 大画面タッチスクリーンを持つスマートフォン(以下,大画面スマートフォン)は,一度に多くの情報を表示でき,文字や画像の視認性が高いなどのメリットがある一方で,片手操作時において,画面上や左右端など,親指操作が困難な画面エリアが存在することが課題である.この背景を踏まえ,我々は,片手操作性を向上するための補助操作を行う背面入力装置 IndexAccess2 を提案する. IndexAccess2 は,端末背面に設置したタッチパネルにおける人差し指の操作によって画面表示全体を移動し,対象を親指が届く場所まで引き寄せることで操作を可能にする手法である.画面移動インタラクションの設計のため,実装したプロトタイプ1を用いて調査実験を実施した.実験結果から,本装置に相応しい画面移動倍率など操作性向上の必要条件について考察を行い,得られた知見に基づき,画面の複数回移動を可能にするプロトタイプ2を実装した.プロトタイプ2について,13人の実験参加者を対象とした評価実験を行なったところ,全画面にわたる平均ポインティングエラー率が10.2%,平均ポインティング時間が1889msであった.プロトタイプ1,2の実験結果を比べたところ,プロトタイプ2の方が,全画面においてポインティング時間を維持しながら,エラー率約8%減少する結果となった.

IndexAccess2 : An Assisting System by Back-of-Device Interaction for One-Handed Operation on a Large Screen Smartphone

HIDAKA SHIORI^{1,a)} BABA TETSUAKI²

Abstract: Large screens have many advantages in that they can display a lot of information at once. However, when people operate smartphones with one hand, several usability problems can occur due to the posture of the user's hand when holding the device. Among those problems, a significant one we have noticed was that it is difficult to reach the top of the screen with the thumb. In this paper, we propose "IndexAccess": a system to assist the one-handed operation of comparatively large smartphones by pulling down the GUI on the screen by back-of-device operation using one's finger (excluding the thumb).

1. はじめに

スマートフォンの操作において,ユーザは,片手親指のみを用いた操作と両手を用いた操作を場合によって選択し,把持方法を変更しながら操作を行なっている.例えば,片手で荷物を持っている際や電車でつり革を掴んでいる際は,多くのユーザは片手親指での操作を欲する[1].一方

で,スマートフォンを横向き,すなわち端末の長辺を地面と平行にして把持し,両手親指で操作されることを想定したゲームアプリケーションも存在する.従来のキーボード部と表示部が分かれた携帯端末に見られなかったこの多様性は,スマートフォンの,言わば画面そのものを把持して操作を行う操作特性に起因する.

この特性を踏まえれば,スマートフォンが市場に登場してから現在までの進化の傾向として挙げられるタッチスクリーンの大型化(以降,大画面化)は,その操作性に大きな影響を与えていると言える.大画面化には,文字や画像の視認性向上,一度に表示できる情報量の増加,GUIの拡

¹ 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科
インダストリアルアート学域

² 首都大学東京 システムデザイン学部
インダストリアルアートコース

^{a)} hidaka4103@gmail.com

大による誤操作の減少などメリットが上げられるが、それと同時に、特に片手操作時に親指が届かず操作が難しい範囲が拡大するというデメリットを生んでいる。本研究は、この「片手操作性」におけるデメリットに着目し、片手操作で画面全体に対して容易に操作を及ぼすためのシステムの開発を目的とする。

また、我々は2016年に、大画面スマートフォンの片手親指操作をターゲットとした背面インタフェース IndexAccess を提案した [2]。IndexAccess は、大画面スマートフォンの片手操作を補助する手法として、端末の片手操作時に操作に使われていない親指以外の指と、それらがそえられている端末背面の活用に着目した手法であり、主に人差し指を用いて、端末背面から画面上 GUI の場所を下方に引き下げる操作を行い、画面上部を親指で操作することを可能にする。IndexAccess の装置では、スマートフォンの背面上部に設置したフォトフレクタによって人差し指の位置を検出していたが、実施した評価実験の結果から、画面の上下移動だけではなく、画面の左右移動が有効である可能性があることがわかった。

本稿では、IndexAccess の端末背面を活用し片手操作性を向上するというコンセプトを維持し、スマートフォン背面のセンサをタッチスクリーンへ変更することで改善を試みた IndexAccess2 について述べる。

2. 関連事例・研究

大画面スマートフォンにおいて片手親指による画面全体の操作を可能にすることを目的とした研究は多く存在する。

まず、TouchOver[3] は、親指が届く画面下部をタッチパッドとして用い、画面上部に表示されたカーソルを用いて間接的に操作する手法である。機能の ON と OFF の切り替えは、端末のシェイク動作によって行う。この遠隔操作に対し、画面の一部を拡大することで細部の操作を可能にする手法を提案しているのが ThumbSpace[4] である。ThumbSpace は、画面表示全体の縮小画像を親指操作可能域に表示し、その縮小画像上で操作したい画面エリアを選択する。その後、選択エリアに表示されるカーソルの様な GUI フィードバックを用いて間接的に操作を行うことができる。

画面を移動することで親指が届くところまで対象を移動して操作する手法として LoopTouch[5] があげられる。LoopTouch は、画面を上下左右にずらしループして表示することで、画面上部の表示を画面下部に移動することができる手法である。この手法は、TouchOver の遠隔操作に対し、見たままで GUI を押すことができるため、スマートフォンのタッチスクリーンを用いた直感的な操作を活かしている。同様に画面移動による課題解決を図っている手法として、箱田らの背面入力手法 [6] があげられる。また、すでに市場のスマートフォンに実装されている事例と

して、iPhone の Reachability があげられる。Reachability は、ホームボタンを軽く 2 回タップすると画面が一定幅下方に移動し、画面上部にあった GUI の操作を可能にする機能である。この機能は画面移動による手法という点で LoopTouch と共通しているが、画面の移動幅があらかじめ決められており、変更ができないため、機能を用いても画面上部の操作が難しいユーザも存在する。

以上の事例はそれぞれ異なるアプローチで課題解決を試みているが、共通して、スマートフォン上のソフトウェアによる工夫によって課題解決を試みている。すなわち、全ての操作が画面上で親指によって行われるため、親指の動線の複雑化や、画面スクロールなど別の操作と混同しやすいという課題があると言える。画面移動操作をタッチスクリーンの親指操作によって行っている。この場合、画面を移動操作と GUI の選択操作を同時に行うことができず、画面を移動し終わった後に画面移動機能を終了しなければ画面操作を再開できない。

これに対し、IndexAccess[2] は、画面を移動することで対象の GUI を親指が届く領域まで移動し操作を可能にする手法という点で LoopTouch や Reachability と共通しているが、画面移動のための操作を全て端末背面における親指以外の指を用いているという点が特徴である。

一方で、携帯端末の背面において親指以外の指を用いて操作を行う手法の研究も数多く存在する。例えば、BehindTouch[8] は、スマートフォン以前の従来型携帯端末を対象としており、端末表面に設置されているキーボタンを端末背面に配置し人差し指で操作することで、端末表面における画面の面積を拡大することを目的としている。また、LiquidTouch[9] はタッチスクリーンを備える端末特有のオクルージョンの課題の解決を目的とした手法である。また、岡田らの背面タッチパッドにおける人差し指操作に関する研究 [10] は、背面に設置したタッチパネル上の操作を、端末表面側から透かして見たように画面上にフィードバックすることを目的としている。このように、端末背面の活用はこれまでも注目されていたが、IndexAccess では、

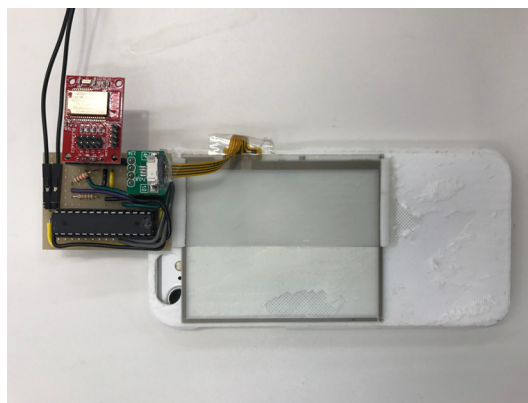


図 1 背面入力デバイス

端末の片手操作性向上を目的としてこの手法を用いる。

本稿で提案する IndexAccess2 は、画面移動を端末背面での親指以外の指を用いて行う IndexAccess の概念に準拠し、IndexAccess で実装された画面の上下移動に加え画面の左右移動を実現するため、端末背面にタッチパネルを設置した。本機能は、端末背面における操作と画面上の操作の両立が重要な課題であり、本稿では、この課題の解決を試みるプロトタイプ1の作成とその成果について述べる。

3. IndexAccess2 の背面入力デバイス

3.1 抵抗膜方式タッチパネルの採用

前バージョンである IndexAccess では、端末背面の上部に設置したフォトリフレクタを用いて人差し指の端末縦方向の位置をリアルタイムで認識していた。フォトリフレクタの特徴から、センサから人差し指までの距離が常に数値として得られるため、画面を固定する、すなわち画面移動機能を終了するためには、TouchOver のシェイク動作のように起動/終了のためのアクションが必要であった。そのアクションを省略するために、IndexAccess2 では、フォトリフレクタを抵抗膜方式タッチパネルへ変更し、操作性の改善を試みた。

抵抗膜方式のタッチパネルは、圧力を与えている間だけその点の座標を取得し、離すと座標取得を終了する。この特徴から、本研究の操作にふさわしいと考えられる。

3.2 デバイスの構成

本研究で実装した IndexAccess2 の背面入力デバイス（図1）は、主に以下の3つのパーツで構成される。

- (1) マイコン：ATmega328
- (2) BLE 通信デバイス：BLESerial3
- (3) タッチパネル：4線抵抗膜方式、3.5インチ

本装置では、マイコンによってタッチパネルとBluetooth通信デバイスを制御しており、タッチパネルから得たセンサデータを無線でスマートフォンへ送信している。また、このデータを用いてスマートフォンの画面上にインタラクションさせることで、本機能が動作する。

4. プロトタイプ1

4.1 インタラクション方法の設計

前節で述べたとおり、本機能の操作性は、端末背面におけるタッチパネル上の操作内容がソフトウェアによって画面上に如何にインタラクションするか依存する。まず、前項で説明した装置を用いて、人差し指の操作を直感的に画面上にフィードバックを行うためのソフトウェアをプロトタイプ1として実装した。プロトタイプ1は、端末背面のタッチパネル上において人差し指で線を描くように操作をすると、その移動と同距離同方向に画面が移動するよう設計した（図2参照）。ここでの移動距離及び方向は、

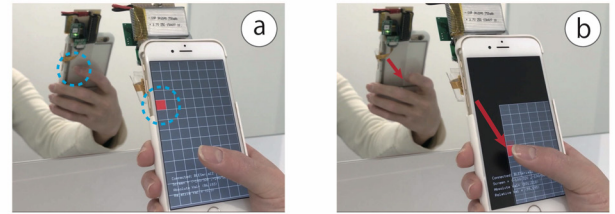


図2 プロトタイプ1を用いた画面移動操作

a: 操作始点に指を置き移動を開始する

b: 人差し指を右下へ滑らせると、画面も同時に同距離同方向へ移動する

タッチパネル上で人差し指がタッチし始めた点（以下、操作始点）と指を離れた点（以下、操作終点）の相対距離、方向のことを指す。また、移動した画面は、人差し指がタッチパネルを操作している最中のみその場に留まり、指がタッチパネルから離れた瞬間に元の場所に戻る。

4.2 実験1

背面タッチパネルと人差し指操作による画面移動について、相応しい画面のインタラクション方法を決定するための調査実験を実施した。本実験では、実験参加者に、プロトタイプ1を用いて画面上に表示されるターゲットをタップする、ターゲットポインティング操作を行ってもらい、以下のデータを取得する。

- (1) プロトタイプ1を用いた際の画面エリアごとのポインティング正誤
- (2) プロトタイプ1を用いた際の画面エリアごとのポインティング所用時間
- (3) 端末背面タッチパネルにおいて、操作を開始した点（以下、操作始点）の x,y 座標
- (4) 端末背面タッチパネルにおいて、操作を終了した点（以下、操作終点）の x,y 座標
- (5) 画面移動の有無に関わらず、ターゲットをポインティングした地点の x,y 座標

さらに、これらのデータを用いて分析、考察を行い、IndexAccess2 が持つ端末背面タッチパネル上の人差し指による操作と画面上の親指による操作の両立という特性に相応しい画面上インタラクション方法の再設計のための知見を得ることを本実験の目的とする。

4.2.1 実験参加者及び実験機器

本実験では、大学生、大学院生、合計8名（男性4名、女性4名、年齢22-25）を実験参加者とした。

実験対象となる大画面スマートフォンとして、iPhone7（画面サイズ：4.7インチ）を使用した。スマートフォンに、3節で記述した背面入力デバイスを装着し、実験を実施した。

4.2.2 実験内容

実験時は、実験用に作成したアプリケーションを用いた。実験時の画面上の表示を図 3、図 4 に示す。赤色のターゲットボタンは、片手親指操作時のポインティング精度に影響がない一辺 7mm 以上とし [7]、今回実験に用いた iPhone7 の画面上に横 8 個 × 縦 14 個、ほぼ無駄なく敷き詰めることが可能な一辺 7.3 mm の正方形として設計した。ターゲットは 112 個（横 8 × 縦 14）の全てのマスに一度ずつランダムに表示されるため、実験参加者に課すタスクは、112 試行を 1 セッションとする。

また、ターゲットが出現してからポインティングを終えるまでの時間を測るため、一回ごとターゲットを出現させるスイッチとして緑色のスタートボタンを表示する（図 3）。よって実験参加者は、(1) スタートボタンをタップしターゲットを出現させ、(2) ターゲットをポインティングする、の二段階の動作を繰り返し、実験を進める。スタートボタンがタップされ、ターゲットが出現してからポインティングを終える時間までの時間を計測した。

実験時は、実験参加者に椅子に座ってもらい、背面装置を取り付けたスマートフォン端末を右手に把持してもらった（図 5）。実験参加者全員の端末把持姿勢をできるだけ統一するため、実験開始前に、手のひら、薬指、小指を用いて端末両側を挟み、人差し指と親指を自由に動かせる持ち方を教示した。また、実験中はターゲットそれぞれのポ

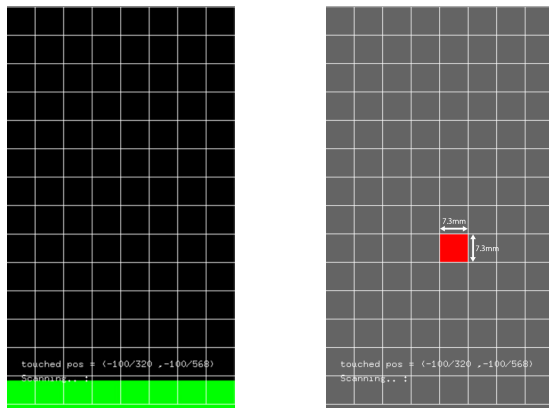


図 3 スタートボタン（緑色） 図 4 実験時に画面上に表示されるターゲット（赤色）

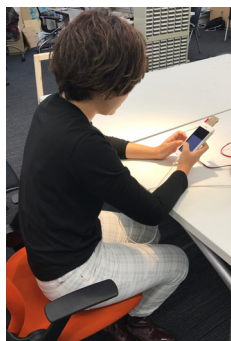


図 5 実験中の様子

インティングの正誤とポインティング時間のデータを記録していることを伝え、指が届かないなどの理由でポインティングが難しいターゲットは、できるだけ近い場所をポインティングするよう指示した。その後、装置の操作に慣れてもらうため、数分間自由に操作を行ってもらい、本実験に移った。本実験では、画面上の全マスに表示されるターゲットをポインティングするセッションを 3 回行ってもらった。各セッションの間には 2 分間程度の休憩時間を設けており、実験の所要時間は一人 25 分～35 分であった。また、実験中や実験後に操作感についてヒアリングも行った。

4.3 実験結果と考察

本実験で得られた、4.2 節で述べた (1)～(5) のデータを図に可視化し、考察を行った。

(1)(2) のデータの集計結果から、マスごとの平均ポイン

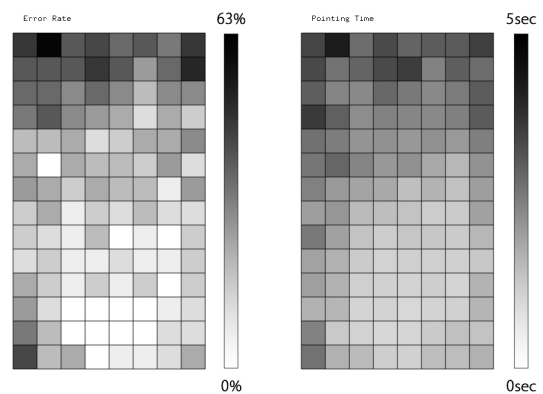


図 6 実験 1 の結果：(左) マスごとのポインティングエラー率 (右) マスごとのポインティング時間

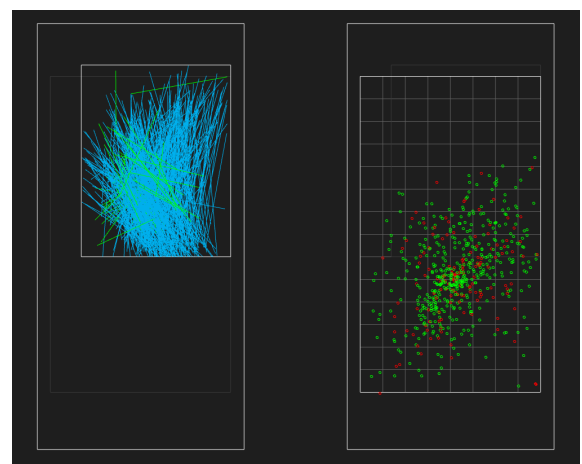


図 7 (左) 背面タッチパネル上での人差し指の操作始点と操作終点を結んだ線分、青色：引き下げ移動、緑色：引き上げ移動 (右) 画面上の親指がターゲットをポインティングした点、緑色：正、赤色：誤

ティングエラー率を図 6 左に、平均ポインティング時間を図 6 右に示す。図 6 左ではマスの色が濃いほどエラー率が高く、図 6 右では、マスの色が濃いほどポインティング時間がよりかかっていることを示している。全試行を通した平均エラー率は 18%，平均ポインティング時間は 1930ms(SD= 892.8) であった。

次に (3)(4)(5) のデータから、画面移動を行なってターゲットをポインティングした際の、背面タッチスクリーン上の人差し指の操作の様子を図 7 左に、画面上で親指がターゲットをポインティングした場所を図 7 右に示す。図 7 左は、端末背面タッチスクリーンの様子を端末表面の側から見透かした図である。図 7 左において小さい四角は、端末背面に設置したタッチパネルの操作可能域である。四角の中に描画された線は、人差し指の操作始点の座標と操作終点の座標を結んだものであり、青色の線は画面を下方方向に移動した操作、緑色の線は画面を上方向に移動した操作を示している。また、図 7 右において緑色の丸はターゲットを正しくポインティングできた場所、赤色は正しく押下できなかった場所を示す。

図 6 左において、左上及び左下のマスの色濃度が高いエリアは、エラーの理由として、装置を用いて画面を移動しても親指が届かなかったか、人差し指による画面移動操作と親指によるポインティング操作の両立が難しかったことによる誤操作が考えられる。実験参加者へのヒアリングからも、人差し指を引き下げたままのターゲットの押下が難しい試行があったという意見が得られた。

図 7 左から、タッチパネルの下端で移動操作を表す線がタッチパネル外まで及んでいることが見受けられる。このことから、人差し指の移動と同距離同方向への画面が移動するプロトタイプ 1 の条件では、背面タッチパネルの面積の拡大の必要性、または人差し指による移動操作をコンパクトにする必要性があると推測できる。加えて図 ??において、人差し指による 30-40mm の画面移動操作が必要であった時のエラー率が比較的高いことから、画面移動操作を 30mm より小さくなるようにすることでエラー率が減る可能性があると考えられる。

5. プロトタイプ 2

5.1 インタクション方法の再設計：複数回移動手法

プロトタイプの評価実験の結果から、人差し指の移動と同距離同方向への画面移動では親指で画面上部のエリアへ操作を及ぼすには不十分であることがわかった。この課題を解決する手法として、(1) 背面タッチパネルでの人差し指の移動に対する画面の移動倍率を増やす、(2) 画面移動を複数回に分ける、などが考えられるが、本研究では (2) の手法をプロトタイプ 2 として実装した。

プロトタイプ 2 を用いた画面移動の様子を図 8 に示す。本手法では、移動した画面の場所を 1 秒間維持し、引き続

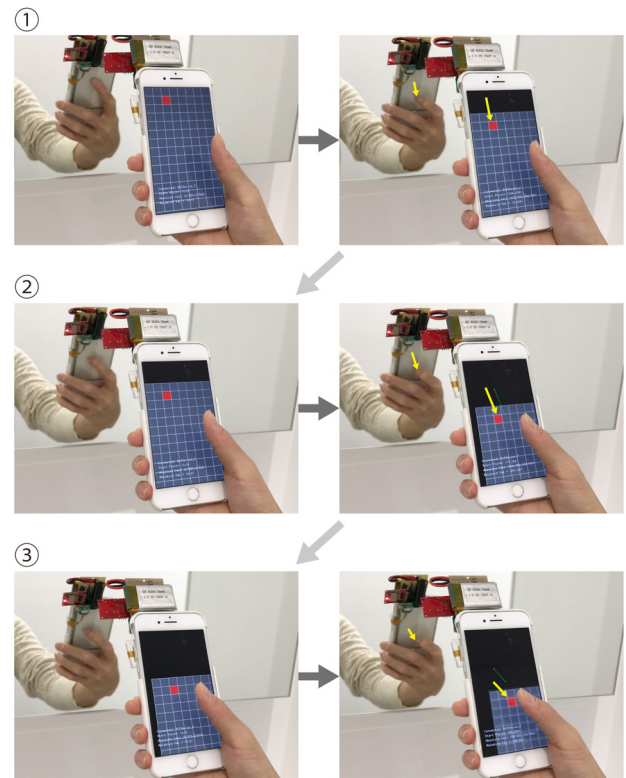


図 8 プロトタイプ 2 を用いた画面移動操作

- ①：移動 1 回目、移動後の画面の座標は維持される
- ②：移動 2 回目、1 回目終了時の座標から移動を開始
- ③：移動 3 回目以降、2 回目と同様に前回終了時の座標から移動を開始

き 2 回目、3 回目と、前回移動後の場所から続けて次の移動を始められるよう設計した。移動回数に制限は無く、何回でも続けて画面移動ができる。この操作は、PC の操作において、マウスを用いてウインドウを移動する時の操作感に近いと言える。この手法を用いることで、プロトタイプ 1 では 1 回の操作で移動していた画面移動を数回に分けることができ、人差し指の操作をコンパクトにできるという点で有効な手法であると推測する。

5.2 実験 2

実験 1 で得られたデータに基づき改善を行ったプロトタイプ 2 について、実験を実施した。実験 2 では、実験 1 の実験参加者の 8 名とは異なる大学生、大学院生、合計 13 名（男性 6 名、女性 7 名、年齢 24-25）を実験参加者とした。実験内容は、実験 1 と全く同一の作業を同一の流れで行った。実験参加者に対する事前の指示も実験 1 を同一である。実験装置として使用した大画面のスマートフォンと背面入力デバイスにおいても、実験 1 と同じものを使用した。

また、プロトタイプ 2 は画面の複数回移動を行うことができるため、取得データは、4.2 節で述べた実験 1 実施時の (1) ~ (5) のデータに、マスごとの画面移動回数を加えて

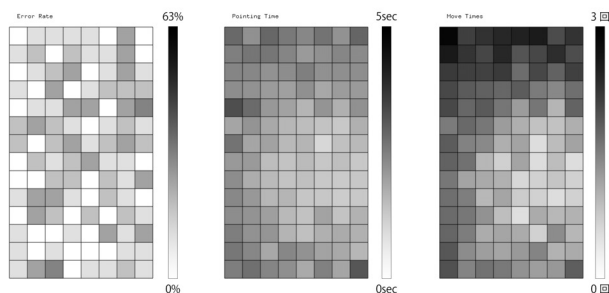


図 9 実験 2 の結果：(左) マスごとのポインティングエラー率
(中央) マスごとのポインティング時間
(右) マスごとの画面移動回数

取得した。

5.3 実験結果と考察

実験結果を図 9 に示す。図 9 左及び図 9 中央は、図 6 と全く同様の濃度でマスごとの平均ポインティングエラー率と平均ポインティング時間の結果を表したものである。また図 9 右は、マスごとの平均画面移動回数を表した図である。全試行を通した平均エラー率は 10.2%，平均ポインティング時間は 1889ms(SD= 570)，平均画面移動回数は 1.45 回であった。

図 9 左から、画面上部や左下エリアのエラー率が低下していることがわかる。このことから、複数回移動手法を用いることで移動距離不十分だったプロトタイプ 1 の課題が改善され、片手親指操作が届くようになったと考えられる。一方で、特別にエラー率が高いエリアはあげられないものの、色の濃いマスがまばらに存在する。実験中の観察や実験参加者から得られた感想から、このミスタップは、プロトタイプ 2 で実装した画面移動後の座標を 1 秒間維持する機能に頼った際の操作ミスや、事前の操作練習不足、または背面入力デバイス(図 1)を装着し重くなった実験装置を把持し続けたことによる手の疲労が原因で生じた操作ミスであると推測できる。以上のことから、プロトタイプ 2 は、画面全体に対する操作を可能にする手法と言えるが、ミスタップを減らし安定した操作を行うためには、ある程度の操作練習や、ハードウェアの軽量化を行う必要があると言える。

6. まとめ

本稿では、大画面スマートフォンにおける、片手操作時に親指が届かない画面エリアの操作を及ぼすための補助機能として、IndexAccess2 を提案した。プロトタイプ 1 として、端末背面のタッチパネルにおいて人差し指で線を描くように操作すると、その動きと同距離同方向に画面が移動する機能を実装した。その後、プロトタイプ 1 を用いて、

の必要条件を調査する実験(実験 1)を実施した。実験 1 で得られたデータに基づく考察から、人差し指の移動と同距離同方向の移動を 1 回行うだけでは、画面上部の操作には不十分であることがわかった。加えて、背面タッチパネル上の人差し指の移動と画面上の親指の操作を無理なく両立させるためには、画面の移動倍率を上げる、あるいは複数回に分けた移動を可能にすることが有効であるという知見を得た。この考察に基づき、プロトタイプ 2 として、後者の複数回移動手法を採用し、実装した。その後、プロトタイプ 2 についても実験 1 と同内容の実験(実験 2)を行った。その結果から、プロトタイプ 2 は画面全体に対する片手親指操作を可能にするが、操作ミスを減らすためにハードウェアなどの改善が必要であることがわかった。

今後は、5.1 節で述べた人差し指の移動距離に対する画面の移動倍率を大きくする移動手法を実装し、評価実験を実施する。その結果と考察を用いて、本稿で提案した複数回移動手法との比較を行い、端末背面を活かした片手操作手法においてより有効な手法を検証する。

参考文献

- [1] Karlson, A. K., and Bederson, B. B. Understanding single-handed mobile device interaction. Tech. rep., Department of Computer Science, University of Maryland, 2006.
- [2] Hidaka S., Baba T., IndexAccess : A GUI Movement System by Back-of-Device Interaction for One-Handed Operation on a Large Screen Smartphone, International Journal of ADADA Vol.20 No.02, pp.41-47, 2016.
- [3] 大西主紗, 志築文太郎, 田中二郎, TouchOver : 大画面を備える携帯情報端末を楽に操作するための片手親指操作手法, WISS2014, ソフトウェア科学会シンポジウム, 2014.
- [4] A. K. Karlson and B. B. Bederson. One-handed Touchscreen Input for Legacy Applications. In Proc. of CHI '08, pp.1399-1408, 2008.
- [5] 土佐伸一郎, 田中二郎. LoopTouch : 画面ループを用いたモバイル端末片手操作手法. インタラクション 2013, 8 pages, 2013.
- [6] Hakoda, H., Fukatsu, Y., Shizuki, B., Tanaka, J., Back-of-Device Interaction based on the Range of Motion of the Index Finger, Proc. OzCHI '15, pp.202-206, 2015.
- [7] 松浦吉祐, 郷健太郎 : 小型タッチ画面における片手親指の操作特性, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.9, No.4, pp.455-461, 2007.
- [8] 平岡茂夫, 宮本一輝, 富松潔 : Behind Touch:携帯電話のための背面・触覚操作インターフェースによる文字入力, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2520-2527, 2003.
- [9] Wigdor, D., Forlines, C., Baudisch, P., Barnwell, J., Shen, C., LucidTouch : A see-through mobile device, Proc. UIST '07, pp.269-278, 2007.
- [10] 岡田直之, 佐野涉二, 寺田努, 塚本昌彦 : 背面タッチパッドを用いた片手ポインティング, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2009-HCI-132, 2009-03-06.