

大形スマートフォンの片手操作のための カーソル設計に関する調査

八箇 恭平^{†1,a)} 志築 文太郎^{†2,b)}

概要: 大形スマートフォンを片手にて操作することは親指の届く領域が限られているため困難である。我々は、把持姿勢を変えずに画面全体の操作を可能にする操作手法として、カーソルを用いた片手操作手法を開発している。ただし、カーソルを用いた片手操作手法には様々な設計要素が存在する。今回、我々は設計要素の中でも、カーソル操作を起動するためのトリガとカーソルの始点を調査するためのユーザテストを行った。その結果、ベゼルスワイプをカーソル操作を起動するためのトリガ、タッチ領域の中心をカーソルの始点としたカーソル設計は、高速かつ高精度であり、さらにユーザ評価も高いことが分かった。

1. はじめに

多くのユーザはスマートフォンを把持した手の親指のみを用いた操作（以降、片手操作）を好んでいる [20,31] が、大きなタッチスクリーンを備えたスマートフォン（以降、大形スマートフォン）において片手操作は困難である。この原因の一つは片手操作時に親指の届く範囲が限られていること [7,27] である。このため、親指の届かない範囲を操作するには把持姿勢を変更する必要がある。しかし、片手のみを用いた把持姿勢の変更は煩雑であり、把持を不安定にするため、誤操作および端末落下の原因となる。ただし、傘や荷物を持っているために両手が使用できない状況は頻繁に発生する [32,33]。さらに iPhone XS (5.8 inch), Galaxy S9 (5.8 inch) 等の大形スマートフォンが普及している。そのため大形スマートフォンの片手操作を可能にする操作手法が求められている。

大形スマートフォンの片手操作を可能にするために、これまでも多くの片手操作手法が提案されている [1,6,12,18,21,22,24-26,28,35,39]。しかし、これらのうち Kim ら [22] を除く全ての研究は、横向きの状態のスマートフォンを片手操作することについて言及していない。また iPhone および Galaxy に組み込まれている片手操作手法 [1,6] は、横向きの状態においては使用できない。

我々は 27 人に対して、「横向きのスマートフォンを片手操作したいと思うか」というアンケート調査を行った。その結果 16 人 (59%) の回答者は横向きの状態のスマートフォンに対して片手操作を行いたいと回答した。この結果は、片手操作手法が横向きのスマートフォンに対しても使用可能であることが望まれていることを示している。また、Leらは、縦向きスマートフォンの把持位置がユーザごとに異なっていることを示している [27]。そのため片手操作手法は、ユーザの把持姿勢および把持位置に依らずに使える必要がある。

我々は、端末の向き、ユーザの把持姿勢および把持位置に依らずに画面全体の片手操作を可能にするために、カーソルを用いた片手操作手法を検討している。ただし、カーソルを用いた片手操作手法には、いくつか設計要素が存在する。例えば、タッチイベントをカーソル位置に発生させるためのトリガ、カーソル操作を起動するためのトリガ、カーソルの移動方法、カーソルの始点等が考えられる。今回、我々はこれらの設計要素のうち、カーソル操作を起動するためのトリガ（以降、起動トリガ）、およびカーソルの始点というふたつを調査するためのユーザテストを行ったので、その結果を報告する。

2. 関連研究

今回行ったユーザテストにおいて、我々はタッチイベントをカーソル位置に発生させるためのトリガとして押下圧を用いた。そのため、本節では、押下圧を利用したインタラクション手法および片手操作手法に関する研究を概説する。

^{†1} 筑波大学情報学群情報科学類
College of Information Science, University of Tsukuba,
Ibaraki 305-8573, Japan

^{†2} 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University
of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

a) hakka@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

b) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

2.1 押下圧を利用したインタラクション手法

押下圧は、タッチパネルを用いたインタラクションを拡張することが可能であり、Apple社はiPhoneにてタッチの押下圧を検出する機能である、3D Touch [2] を提案している。HeoらはForcetap [16] において、端末に内蔵されている加速度センサの値を利用して押下圧を推定する手法を提案し、強い押下と弱い押下を90%の精度にて識別可能であることを示しており、強い押下によってポップアップメニューが表示される手法を提案している。また、HeoらはForceDrag [17] において、強い押下によってドラッグモードに切り替える手法を示した。YongらはForceClick [40] において、押下圧を用いたクリック手法を提案しており、画面から指を離さずに連続して押すことが可能なボタンを示した。Corstenらは、BackXPress [13] において、スマートフォン背面に対するタッチの押下圧を取得することによって、スマートフォンを横向きかつ両手にて使用している際に、タブバーの切り替えやクイックメニューの表示を可能にした。Takadaら [38] は、気圧センサを用いて防水スマートフォンをタッチした際の押下圧を取得する手法を提案しており、85.5%の精度にて6段階の押下圧を識別可能であることを示した。またCorstenらは、Force Picker [14] において、ピッカーに押下圧を用いることによって、通常システムにて用いられているピッカーと比較してサイズを小さく、かつ高速に値の選択が可能であることを示した。Suzukiら [37] およびMiyakiら [30] は、押下圧を利用したズームイン、ズームアウト手法を提案している。Brewsterら [9] は、強く押下することによって大文字、弱く押下することによって小文字の入力が可能なキーボードを提案している。McCallumら [29] は、3段階、もしくは4段階の押下圧を識別することによって、1つのキーにて3、4種類の文字を入力することを可能にした。Zhongら [42] は、押下圧により移動するカーソルを用いることによって、1つのキーのみを用いて文字入力可能なキーボードを提案している。

我々は、タッチイベントをカーソル位置に発生させるためのトリガのひとつとして、押下圧を用いたものを調査対象とした。具体的には押下圧が高められた際に、タッチダウンイベント (図 1a)、低められた際にタッチアップイベント (図 1b) を発生させる。押下圧を用いてタッチイベントを発生させるアプローチは、MacBook Pro に搭載されているトラックパッドの Force Touch [4] と同じであり、我々はマウスやトラックパッドを用いたカーソルの操作に近づけるために押下圧を用いたトリガを選択した。

2.2 片手操作手法

片手操作手法は、カーソルを用いた手法、表示を動かすことによって操作対象を親指の届く範囲に移動させる手法、親指の届く範囲に表示を縮小させる手法の3種類に分

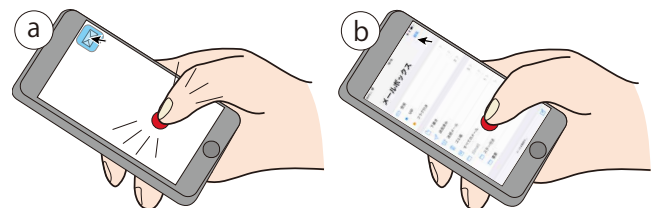


図 1 押下圧を用いたタッチイベントをカーソル位置に発生させるためのトリガ。a: 押下圧を高めることによってタッチダウンイベントを発生させアプリケーションを選択, b: 押下圧を弱めることによってタッチアップイベントを発生させ選択したアプリケーションを起動。

類できる。

2.2.1 カーソルを用いた手法

カーソルを用いて親指の届かない範囲を操作できるようにする手法がこれまでも提案されており、またこれらに用いられている起動トリガも様々である。Extendible Cursor [22] は、ラージタッチ [8] およびベゼルスワイプ [34] を起動トリガとしたカーソルである。Liらもまた、ベゼルスワイプを起動トリガに用いた BezelCursor [28] を提案している。CornerSpace [41] では、ベゼルスワイプを起動トリガとして画面を4領域に分割する円形ウィジェットが生成され、ユーザがその分割された領域をタッチにより選択すると、選択された領域の角にカーソルが生成される。TiltCursor [12] は、スマートフォンを傾けた状態にてドラッグを行うことを起動トリガとしたカーソルであるが、画面を傾ける手法は表示されているコンテンツが見にくくなり、さらに歩いているときに使用することが困難である [15, 19, 33]。LaiらのExtendedThumb [24] は、ダブルタップを起動トリガとしている。ユーザはドラッグによってカーソルを移動させた後、親指を画面から離すことによってカーソルの位置を決定し、その後行ったジェスチャをカーソルの位置に発生させられる。MagStick [35] は、オクルージョンや Fat finger problem [36] を避けるための手法として提案されており、全てのタッチを起動トリガとしてカーソルを表示する。このカーソルは、オブジェクトに近寄るとオブジェクトに引き寄せられる磁化カーソルとなっている。TouchOver [43] は端末が振られると画面を上下に2分割し、下半分の画面へのタッチ入力を上半分の画面に発生させる。しかし端末を振る動作は、頻繁に実行する起動トリガとしては煩雑なジェスチャである。

なお、これらの手法に起動トリガとして用いられたもののうち、ラージタッチおよびベゼルスワイプは、把持姿勢に依らず使用可能であり、これにともなって横向きの状態のスマートフォンにおいても使用できることがKimら [22] によって示されている。そこで我々はこのラージタッチとベゼルスワイプの2種類の起動トリガを今回の調査対象とした。なお、ダブルタップもまた、スマートフォンの向きや把持姿勢に依らず行えるトリガである。しかし、ダブル

タップはスマートフォンの操作に頻繁に用いられるタッチジェスチャ（例えば、画像の拡大、縮小や Youtube アプリのスキップ機能等）であるため起動トリガとして競合する。我々はカーソル操作とタッチ操作の共存が可能な起動トリガを調査対象とした。カーソルの始点については、CornerSpace [41] を除く全ての手法において、カーソル操作を起動した際にタッチ領域の中心にカーソルが生成される。一方、CornerSpace では、ユーザがウィジェットによって選択した角にカーソルが生成される。ただし、この手法ではカーソル操作毎にウィジェットを生成する必要がある。また、Android スマートフォンやデスクトップ環境では、カーソルは画面上に残り続け、前回カーソル操作を終了した位置から次のカーソル操作が始まる。今回、我々はカーソルの始点として、多くの先行研究において用いられている「タッチ領域の中心」とデスクトップ環境において一般的である「前回カーソル操作を終了した位置」のふたつを調査対象とした。

2.2.2 表示を移動させる手法

表示を移動させることによって、操作対象を親指の届く範囲に移動させる手法も提案されている。Sliding Screen [22] はベゼルスワイプによって表示を移動させる手法である。MovingScreen [39] では、ユーザはベゼルを縦方向にスワイプした長さにて Control-Display 比 (CD 比) を変化させ、画面中央へスワイプすることによって表示を移動させられる。Le ら [25] および Hidaka ら [18] は、端末背面の指の動きによって表示を移動させる手法を提案している。TiltSlide [12] は、スマートフォンを傾けた状態でのドラッグによって表示を移動させる手法である。また、PalmTouch [26] は、手のひらを画面につけることをトリガとして表示を半分下に下げる手法である。Reachability [1] は、ホームボタンがある iPhone ではホームボタンのダブルタップ、ベゼルレスの iPhone においてはスマートフォン下側のベゼル上の下方向スワイプによって表示を半分下に下げる。ただし、これらの手法では、移動時に画面外に押し出される表示が存在するため、操作対象のコンテキスト情報が消失する可能性がある。また、画面外に押し出される範囲はスマートフォンの画面が大きいほど大きくなる。一方、LoopTouch [44] は、親指と端末背面の人差し指を用いた特定のジェスチャによって表示を移動させる手法であり、下に押し出された部分をループさせて上に表示する。このためコンテキスト情報の消失を防ぐことが可能である。

しかしながら、これらの表示を移動させる手法では、画面上端から下端までのドラッグのための画面の二箇所に対する操作を片手によって行うことが困難である。

2.2.3 表示を縮小させる手法

表示を縮小する手法も提案されている。TiltReduction [12] は、スマートフォンを傾けることをトリガと

して表示が縮小する。ThumbSpace [21] は、ドラッグをトリガとしており、ドラッグによって指定された範囲に表示を縮小する。One-Handed Mode [6] は、スマートフォンの右下または左下から上へのスワイプをトリガとして表示を縮小する。

これらの手法は、大形スマートフォンにおいては、縮小率を大きくする必要がある。これに伴い表示されているオブジェクトが小さくなるため、Fat finger problem [36] やオクルージョンが発生する可能性がある。

3. 起動トリガとカーソルの始点に関する調査

我々は、カーソルを用いた片手操作手法の設計要素のうち、起動トリガと、カーソルの始点の特性を調査するために実験を行った。調査対象とした起動トリガは、端末の向きや把持姿勢に依らず実行できるものとして、Kim ら [22] が用いたトリガであるラージタッチ (LT) とベゼルスワイプ (BS) の 2 種類とした。また、カーソルの始点は、タッチ領域の中心 (D) と、前回カーソル操作を終了した位置 (S) の 2 種類とした。すなわち 2 種類の起動トリガと 2 種類のカーソルの始点の全ての組み合わせである 4 ($= 2 \times 2$) カーソルを用いて実験を行った。以降、起動トリガが BS かつカーソルの始点が D のカーソルを BS-D、BS かつ S のカーソルを BS-S、LT かつ D のカーソルを LT-D、LT かつ S のカーソルを LT-S とする。なお、実験に用いた端末 (以降、実験端末) は、iPhone XS Max (Apple 社; $157.5 \text{ mm} \times 77.4 \text{ mm} \times 7.7 \text{ mm}$; 6.5 inch) である。実験には平均 86 分かかり、参加者には 1660 円を謝金として支払った。

3.1 参加者

参加者は、8 人 (2 人が女性) であり、2 人が左利きであった。年齢は 20–22 歳 ($M = 21.0$, $SD = 0.93$) であった。手のサイズは $16.4\text{--}19.4 \text{ cm}$ ($M = 17.7$, $SD = 1.1$) であり、親指のサイズは $5.0\text{--}7.1 \text{ cm}$ ($M = 6.3$, $SD = 7.7$) であった。全員が日常的にスマートフォンを使用していた。

3.2 タスク

参加者にはタスクとしてターゲット選択を行って貰った。まず実験端末の画面を 18×10 のセルに分割した。各セルのサイズは $8.7 \text{ mm} \times 8.5 \text{ mm}$ である (図 2a)。このサイズは、Apple 社の公式ガイドライン [3] において述べられている、スマートフォンの最小ターゲットサイズである $0.84 \text{ mm} \times 0.84 \text{ mm}$ より大きくなるように、かつ最小ターゲットサイズに近い大きさとなるように決定した。なお、図 2a にて描かれている罫線は実際の画面では表示されず、セルが隙間なく敷き詰められている。ターゲットは、図 2a に示したノッチ部分を除く 175 個のセルからランダムに選択され、ターゲットとなったセルは赤くハイ

ライトされた。ターゲットの選択に成功すると、次のターゲットが表示される（成功するまでが一回のターゲット選択）。1セッションは35回のターゲット選択である。1タスクとして、参加者には2つの向きにて5セッション（計175回＝35回×5セッション）行って貰った。5セッションの中で全てのセルが1度ずつターゲットとなった。ターゲット以外のセルを選択した場合にはエラーとなり、各参加者には、それぞれ異なる音によってターゲットの選択に成功もしくは失敗したことを知らせた。

参加者には、実験端末を利き手に把持し、把持姿勢を変えずに片手操作を行い、可能な限り早く正確にターゲットの選択を行って貰った。各参加者には、スマートフォンを片手操作すること、またタスク中は肘を浮かせてかつ把持姿勢を変えないように依頼した。さらに、親指の届く範囲に存在するターゲットについては、可能な限り早く選択するという条件を前提に、カーソル、直接タッチのどちらを用いて選択を行っても良いと伝えた。

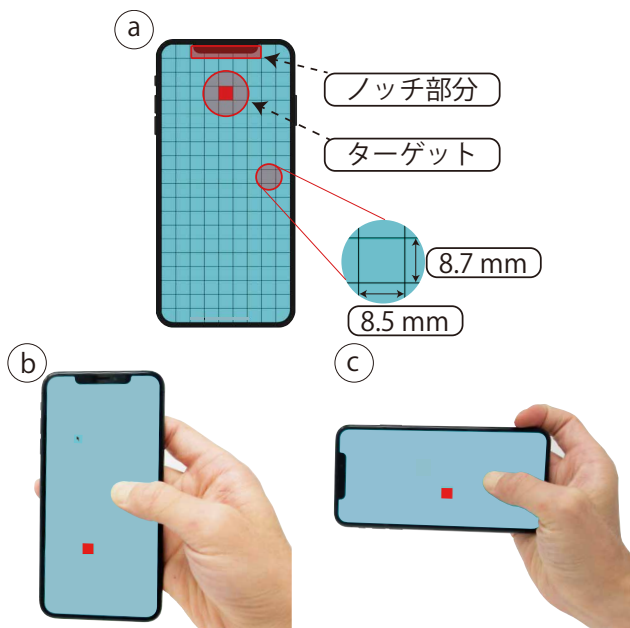


図2 実験条件。a: 実験中の表示画面, b: 縦向きの把持, c: 横向きの把持。なおaに描かれた罫線は実験中は表示されない。

3.3 キャリブレーション

ラージタッチとそれ以外のタッチを識別するためにタッチ面積の閾値が必要である。我々はこれを決定するためのキャリブレーション機能を実装した。キャリブレーションでは、ユーザに親指の画面に付け軽く押し付けるという動作を5回行ってもらうこととした。軽く押し付けることによってタッチ面積はより大きくなり、これによって起動トリガを誤って実行することを避けることができる。この5回のタッチから取得されたタッチ面積の中から、最頻値を閾値として用いた。iOSにおいては、タッチの面積を間隔

の広い離散値としてのみ取得することが可能であるため、最頻値を閾値として用いることとした。

3.4 手順

参加者には、実験参加に関する同意書を記入した後、キャリブレーションを行って貰った。参加者には1カーソルにつき1タスクを行って貰った。なお4カーソルの順序は、ラテン方格法を用いて決定した。まず参加者にはある1つのカーソルについて、使い方を説明し、カーソルの操作方法を理解するまで練習時間を与えた。なお参加者には、この練習時間中にCD比を自由に変更することが可能であることを伝えた。次にタスクを行って貰った。なお、端末の向きについては、我々は参加者を2群に分け、一方には縦向き、他方には横向きのセッションから行って貰った。縦向きの際には実験端末の中央部（図2b）、横向きの際には実験端末の側面（図2c）を把持して貰った。各セッションを終えた後には1分間の休憩を設けた。また各タスクの終了時には、System Usability Scale (SUS) [10]を用いてアンケートを行った。

3.5 カーソルの設計

今回の実験に用いたカーソルについて、起動トリガ、およびカーソルの始点以外の設計について概説する。カーソルの形状および大きさは、Androidスマートフォンにてマウスを用いた際に表示されるカーソルと同じである。なお、カーソルの始点が、前回のカーソル操作を終了した場所の場合、カーソルは枠のみが画面に残る。これは、参加者がカーソルを見失うことによって実験結果に影響を及ぼすことを避けるためである。タッチイベントをカーソル位置に発生させるためのトリガとして用いている押下圧は、iPhoneにて検出可能な押下圧の30%の力を閾値として用いた。なお、Apple社のガイドライン [5]によると、日常的に用いられるタッチの押下圧は、検出可能な値の約15%以下である。参加者は押下圧を閾値以上に高めた際にカーソルの位置にタッチダウンイベントを発生させ、その後閾値以下に低めた際にタッチアップイベントを発生させる。カーソル操作は、親指を画面から離すことによって終了するが、親指が画面から離れてから0.2秒以内に再びタッチを行うことによってカーソル操作を継続することができる。これにより、指を複数回スワイプすることによるカーソルの移動（クラッチング）が可能となる。なお、タッチイベントをカーソル位置に発生させるためのトリガに用いた押下圧、およびクラッチングの待機時間は予備実験の結果から決定した。

3.6 結果

各向きにおける5セッションのターゲット選択時間を、図3に示す。全ての手法においてセッションを重ねる毎にター

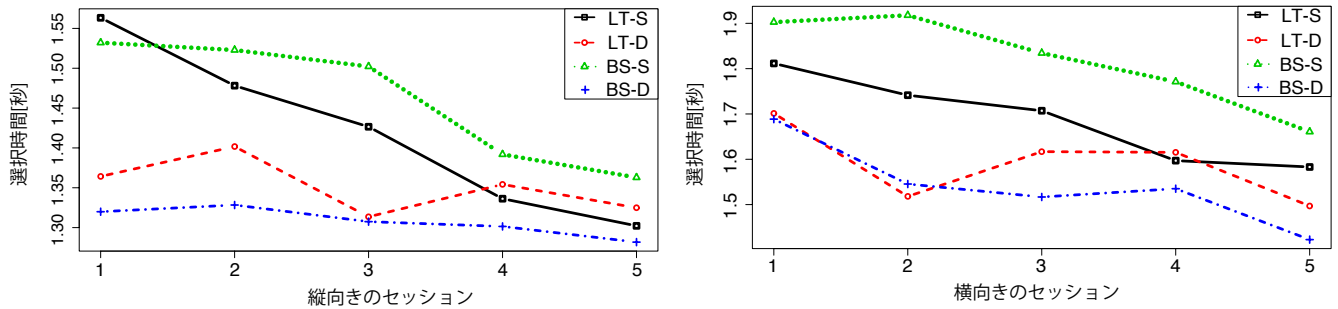


図 3 各セッションのターゲット選択時間。左：縦向きの時，右：横向きの時。

ゲット選択時間は短くなっている。我々は各カーソルについて、操作に慣れた状態の参加者が使用した際の性能を確認するために、4, 5 回目のセッションに対して解析を行った。セッション 4, 5 にて、参加者は縦向きおよび横向きにおいてそれぞれ 2240 回 (35 回 × 2 セッション × 4 カーソル × 8 人) の選択を行った。解析には、ANOVA および事後検定として Tukey の HSD 検定を用いた。有意水準は 5% である。

3.6.1 縦向きの状態における結果

縦向きの条件において、ターゲット選択時間は、BS-D ($M = 1.29$ sec, $SD = 0.57$) が最も短く、続いて LT-S ($M = 1.32$ sec, $SD = 0.72$), LT-D ($M = 1.34$ sec, $SD = 0.63$), BS-S ($M = 1.38$ sec, $SD = 0.79$) であった。しかしターゲット選択時間には、有意な差は存在しなかった ($p = 0.19$)。

参加者は、LT-D を用いた時に最も低い平均エラー率 ($M = 4.4\%$, $SD = 3.2$) を達成し、続いて BS-D ($M = 5.0\%$, $SD = 3.6$), LT-S ($M = 5.6\%$, $SD = 3.7$), BS-S ($M = 7.9\%$, $SD = 4.5$) であった。エラー率には、有意な差 ($p < 0.001$) が存在し、Tukey の HSD 検定によると、BS-D と BS-S ($p = 0.003$), LT-D と BS-S ($p < 0.001$), LT-S と BS-S ($p = 0.035$) 間に有意な差が存在した。これは、BS-S のエラー率が高いことを示している。BS-S では、参加者が起動トリガとしてベゼルスワイプを行った直後に、カーソルを手元の方向に移動することが困難となっており、この移動の際にエラーが発生していた。

我々は、カーソルの始点による選択時間の差を確認するために、行われた全てのターゲット選択のうち、起動トリガを実行した時の選択 (470 回) を抽出した。起動トリガを実行した時の選択時間は、BS-D ($M = 1.98$ sec, $SD = 0.62$) が最も短く、続いて LT-D ($M = 2.17$ sec, $SD = 0.53$), LT-S ($M = 2.48$ sec, $SD = 0.69$), BS-S ($M = 2.52$ sec, $SD = 0.53$) となった。起動トリガを実行した時の選択時間には有意差 ($p < 0.001$) が存在し、Tukey の HSD 検定によると、BS-D と BS-S ($p < 0.001$), BS-D と LT-S ($p < 0.001$), LT-D と BS-S ($p = 0.003$), LT-D と LT-S ($p = 0.007$) に有意な差が存在した。この結果はカーソルの始点として、タッチ領域の中心を用いたカーソルが前回カーソル操作終了位置を用いたカーソルに比べて、起動ト

リガを実行した時の選択時間が短いことを示している。これは、カーソルの位置を確認する時間が影響していると考えられる。カーソルの始点がタッチ領域の中心の場合、参加者は起動トリガを実行した時にカーソルの位置を確認する必要がない。一方、カーソルの始点が前回のカーソル操作終了位置の場合、参加者は起動トリガを実行した時にカーソルの位置を一度確認する必要がある。

3.6.2 横向きの状態における結果

ターゲットの選択時間は BS-D の時最も短く ($M = 1.48$ sec, $SD = 0.67$)、続いて LT-D ($M = 1.56$ sec, $SD = 0.79$), LT-S ($M = 1.59$ sec, $SD = 0.87$), BS-S ($M = 1.72$ sec, $SD = 0.79$) となった。ターゲットの選択時間には有意な差 ($p < 0.001$) が存在し、Tukey の HSD 検定によると、BS-D と BS-S ($p < 0.001$)、および LT-D と BS-S ($p = 0.01$) の間に有意な差が存在した。この結果は BS-S を用いた場合、選択時間が長いことを示している。BS-S は、ベゼルスワイプをトリガとしているため、カーソルを手元の方向に移動させることが困難であるが、横向きの状態においては、このような移動を頻繁に使用する。そのため、参加者は BS-S を用いた際の選択に時間がかかった。

参加者は、BS-D を用いた時に最も低い平均エラー率 ($M = 6.8\%$, $SD = 5.4$) を達成し、続いて LT-D ($M = 7.0\%$, $SD = 4.0$), LT-S ($M = 9.3\%$, $SD = 3.8$), BS-S ($M = 11\%$, $SD = 6.1$) であった。ANOVA はエラー率に有意な差 ($p = 0.04$) が存在することを明らかにした。しかし、Tukey の HSD 検定によると、有意な差は存在しなかった (全て、 $p > 0.05$)。

起動トリガを実行した時の選択は 510 回存在した。起動トリガを実行した時の選択時間は、BS-D ($M = 2.22$ sec, $SD = 0.83$) が最も短く、続いて LT-D ($M = 2.64$ sec, $SD = 0.96$), LT-S ($M = 2.74$ sec, $SD = 0.88$), BS-S ($M = 2.91$ sec, $SD = 0.83$) であった。起動トリガを実行した時の選択時間には有意な差 ($p < 0.001$) が存在し、Tukey の HSD 検定によると、BS-S と BS-D ($p < 0.001$), LT-D と BS-D ($p = 0.008$), LT-S と BS-D ($p < 0.001$) に有意な差が存在した。これは、BS-D が他のカーソルに比べて起動トリガを実行した時の選択時間が短いことを示して

いる。横向きの状態では、親指は常にベゼル付近に存在するため、ベゼルスワイプはラージタッチに比べて瞬時に行えるジェスチャであり、BS-DがLT-Dに比べて選択時間が有意に短くなったと考えられる。また、縦向き状態と同様にタッチ領域の中心をカーソルの始点として用いたカーソルは、前回カーソル操作終了位置を始点としたカーソルに比べて起動トリガを実行した時の選択時間が短い。

3.6.3 ユーザ評価

各カーソルにおける、SUSの得点を図4に示す。SUSの得点は、BS-D ($M = 87.5$, $SD = 8.45$)が最も高く、続いてLT-D ($M = 80.0$, $SD = 6.81$), LT-S ($M = 79.4$, $SD = 11.9$), BS-S ($M = 67.8$, $SD = 16.0$)となった。しかし、BS-Sを除くカーソルは全て、SUSの平均得点である68 [11]を上回っており、BS-Sも平均得点を僅かに下回る程度であった。SUSの得点には有意な差 ($p = 0.016$)が存在し、TukeyのHSD検定によるとBS-SとBS-Dの間に有意な差 ($p < 0.01$)が存在した。この結果は、BS-SはBS-Dに比べてユーザビリティが高いことを示している。これは、選択時間やエラー率にも表れており、縦向きおよび横向きどちらの状態においても、参加者がBS-Sを用いた際の速度、精度ともにBS-Dと比較して優れている。実験後のアンケートでは、参加者はベゼルスワイプを行った時にタッチ領域の中心にカーソルが出現するBS-Dは、他のカーソルに比べて自然なジェスチャによってカーソルの操作が可能であったと答えた。一方、BS-Sを用いた際には、カーソルを自由に動かすことが困難であったと答えており、これらの点から、BS-DのSUSの得点が最も高くなったと考えられる。

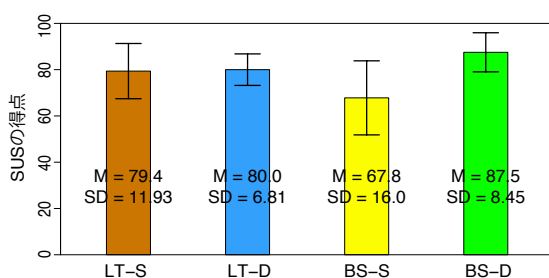


図4 各カーソルのSUS得点。BS-Sを除く3つのカーソルは、SUSの平均得点である68を上回っていた。

4. 議論と今後の課題

我々は、参加者に対して把持姿勢を変えずにタスクを行うように伝えたが、できる限り早く正確に選択することを前提として、ターゲットを直接タッチできる場合においてもカーソルを使用することを認めた。これは、参加者がターゲットをタッチできるか考える時間を無くすことを目的としている。しかし、カーソルを用いた選択の回数には、縦向き ($p = 0.14$) および横向き ($p = 0.18$) のどちらにお

いても有意な差は存在しなかった。起動トリガの実行回数も同様に、縦向き ($p = 0.18$), 横向き ($p = 0.62$) 共に有意な差は存在しなかった。

多くの参加者はタッチ領域の中心がカーソルの始点であるカーソルは、より使いやすかったと述べた。これは、起動トリガを実行した時の選択時間にも反映されている。常に同じ位置から、カーソルが移動することによって、参加者はカーソルの位置を確認することなくカーソルをターゲットに向かって移動させることができる。

Kimら [22]の行った実験では、多くの実験参加者がタッチを行う位置によってタッチ面積が変わるのでラージタッチは信頼できないジェスチャであると述べていた。我々は指の腹を画面につけ、面積が大きくなるように軽く押し付けた際の面積をラージタッチの閾値として用いており、さらにカーソルモードに切り替わった時に参加者は振動によるフィードバックを受けた。指を伸ばして遠くのターゲットを選択する時に比べて、より大きなタッチ面積を用いているため、実験中に意図せずカーソル操作が起動することはなく、ラージタッチを信頼できないジェスチャであると述べた参加者はいなかった。

今回行った調査の結果から、スマートフォンにてカーソルを用いた片手操作手法に適したカーソルとしては、BS-D (起動トリガとしてベゼルスワイプ、始点としてタッチ領域の中心) が最良であることがわかる。BS-Dは、速度、精度およびSUSの得点において他のカーソルと比較して優れていた。しかし、ベゼルスワイプのジェスチャを他の機能に用いる場合には、LT-SまたはLT-Dのカーソルを利用することを勧める。ただし、ラージタッチのジェスチャを用いる場合には、遠くのターゲットをタッチにて選択する際のタッチ面積に比べて、大きなタッチ面積を閾値として使うべきである。

今回実験を行なった設計要素である、カーソル操作を起動するためのトリガおよびカーソル操作の始点以外の設計要素に対して追加の実験を行うことは今後の課題である。例えば、[22]のカーソルは親指の移動に対して点対称に移動する。また、[35]のカーソルはオブジェクトに引き寄せられるカーソルである。これらの設計要素のうち、最も性能の優れた組み合わせを調査する必要がある。さらに、今回の我々の実験は、20歳から22歳の参加者によって行われているため、より広い年齢の参加者による調査を行う必要がある。特に、高齢者には押下圧を用いたコントロールが困難であることがわかっている [23]。

5. おわりに

本稿において、我々はカーソルを用いた片手操作手法の設計要素の中でも、カーソル操作を起動するためのトリガとカーソルの始点に関する調査のためのユーザテストを行った。ユーザテストにはトリガとしてラージタッチとベ

ゼルスワイプ, カーソルの始点としてタッチ領域の中心と前回カーソル操作終了位置を用いた. ユーザテストの結果, トリガとしてベゼルスワイプ, カーソルの始点としてタッチ領域の中心を用いたカーソルは, 縦向き及び横向きのどちらの状態においても速度, 精度および SUS の得点, 他のカーソルに比べて優れていることが分かった.

参考文献

- [1] Apple Inc. 2014. Reachability - iphone user guide, 2014. <https://help.apple.com/iphone/11/?lang=en#/iph66e10a71c> (2018 年 11 月 8 日閲覧).
- [2] Apple Inc. 2018. 3D Touch - iOS - Apple Developer, 2018. <https://developer.apple.com/ios/3d-touch/> (2018 年 11 月 8 日).
- [3] Apple Inc. 2018. Adaptivity and layout - visual design - ios - human interface guidelines - apple developer, 2018. <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/visual-design/adaptivity-and-layout/> (2018 年 11 月 8 日閲覧).
- [4] Apple Inc. 2018. Force Touch - Apple Developer, 2018. <https://developer.apple.com/macos/force-touch/> (2018 年 11 月 8 日閲覧).
- [5] Apple Inc. 2018. UITouch-UIKit — Apple Developer Documentation, 2018. <https://developer.apple.com/documentation/uikit/uitouch> (2018 年 11 月 8 日閲覧).
- [6] Samsung Inc. 2018. Galaxy smartphone - one handed mode - samsung australia, 2018. <https://www.samsung.com/au/getstarted/advanced/one-handed-mode/> (2018 年 11 月 8 日閲覧).
- [7] Joanna Bergstrom-Lehtovirta and Antti Oulasvirta. Modeling the Functional Area of the Thumb on Mobile Touchscreen Surfaces. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 1991–2000, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [8] Sebastian Boring, David Ledo, Xiang ‘Anthony’ Chen, Nicolai Marquardt, Anthony Tang, Saul Greenberg. The Fat Thumb: Using the Thumb’s Contact Size for Single-handed Mobile Interaction. In *Proceedings of the 14th Interactional Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '12, pp. 39–48, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [9] Stephen A. Brewster and Michael Hughes. Pressure-based Text Entry for Mobile Devices. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, pp. 9:1–9:4, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [10] John Brooke. SUS : A Quick and Dirty Usability Scale. *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194, 1996. Taylor and Francis.
- [11] John Brooke. SUS: A Retrospective. *Journal of Usability Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 29–40, 2013. Usability Professionals’ Association.
- [12] Youli Chang, Sehi L’Yi, Kyle Koh, and Jinwook Seo. Understanding Users’ Touch Behavior on Large Mobile Touch-Screens and Assisted Targeting by Tilting Gesture. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1499–1508, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [13] Christian Corsten, Bjoern Daehlmann, Simon Voelker, and Jan Borchers. BackXPRESS: Using Back-of-Device Finger Pressure to Augment Touchscreen Input on Smartphones. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pp. 4654–4666, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [14] Christian Corsten, Simon Voelker, Andreas Link, and Jan Borchers. Use the Force Picker, Luke: Space-Efficient Value Input on Force-Sensitive Mobile Touchscreens. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 661:1–661:12, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [15] Beverly L. Harrison, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar, Carlos Mochon, and Roy Want. Squeeze Me, Hold Me, Tilt Me! An Exploration of Manipulative User Interfaces. In *Proceedings of the 16th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '98, pp. 17–24, New York, NY, USA, 1998. ACM.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Shiori Hidaka, Tetsuaki Baba, and Paul Haimes. Index-Access: A GUI Movement System by Back-of-Device Interaction for One-Handed Operation on a Large Screen Smartphone. *International Journal of Asia Digital Art and Design Association*, Vol. 20, No. 2, pp. 41–47, 2016. Asia Digital Art and Design Association.
- [19] Ken Hinckley and Mike Sinclair. Touch-sensing Input Devices. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, pp. 223–230, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [20] Amy K. Karlson and Benjamin B. Bederson. Studies in One-Handed Mobile Design: Habit, Desire and Agility. Technical report, Proceedings of the 4th ERCIM Workshop on User Interfaces for All (UI4ALL '98), 2006, ERCIM.
- [21] Amy K. Karlson and Benjamin B. Bederson. Thumb-Space: Generalized One-handed Input for Touchscreen-based Mobile Devices. In *Proceedings of the 11th IFIP TC 13 International Conference on Human-computer Interaction*, INTERACT'07, pp. 324–338, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer-Verlag.
- [22] Sunjun Kim, Jihyun Yu, and Geehyuk Lee. Interaction Techniques for Unreachable Objects on the Touchscreen. In *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, OzCHI '12, pp. 295–298, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [23] Hiroshi Kinoshita and Peter R. Francis. A Comparison of Prehension Force Control in Young and Elderly Individuals. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Vol. 74, No. 5, pp. 450–460, Nov 1996. Springer.
- [24] Jianwei Lai and Dongsong Zhang. ExtendedThumb: A Target Acquisition Approach for One-Handed Interaction With Touch-Screen Mobile Phones. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 45, No. 3, pp. 362–370, 2015. IEEE.
- [25] Huy Viet Le, Patrick Bader, Thomas Kosch, and Niels

- Henze. Investigating Screen Shifting Techniques to Improve One-Handed Smartphone Usage. In *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, NordiCHI '16, pp. 27:1–27:10, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [26] Huy Viet Le, Thomas Kosch, Patrick Bader, Sven Mayer, and Niels Henze. PalmTouch: Using the Palm As an Additional Input Modality on Commodity Smartphones. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 360:1–360:13, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [27] Huy Viet Le, Sven Mayer, Patrick Bader, and Niels Henze. Fingers' Range and Comfortable Area for One-Handed Smartphone Interaction Beyond the Touchscreen. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 31:1–31:12, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [28] Andy Li, Hongbo Fu, and Zhu Kening. BezelCursor: Bezel-Initiated Cursor for One-Handed Target Acquisition on Mobile Touch Screens. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*, Vol. 8, pp. 1–22, 2016. IGI Global.
- [29] David C. McCallum, Edward Mak, Pourang Irani, and Sriram Subramanian. PressureText: Pressure Input for Mobile Phone Text Entry. In *Proceedings of the 2009 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, pp. 4519–4524, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [30] Takashi Miyaki and Jun Rekimoto. GraspZoom: Zooming and Scrolling Control Model for Single-handed Mobile Interaction. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, pp. 11:1–11:4, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [31] Alexander Ng, Stephen A. Brewster, and John Williamson. The Impact of Encumbrance on Mobile Interactions. In *Proceedings of the 17th IFIP TC 13 International Conference on Human-computer Interaction*, Vol. LNCS-8119 of *INTERACT '13*, pp. 92–109, Cape Town, South Africa, 2013. Springer.
- [32] Alexander Ng, Stephen A. Brewster, and John H. Williamson. Investigating the Effects of Encumbrance on One- and Two-Handed Interactions with Mobile Devices. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 1981–1990, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [33] Mahfuz Rahman, Sean Gustafson, Pourang Irani, and Sriram Subramanian. Tilt Techniques: Investigating the Dexterity of Wrist-based Input. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1943–1952, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [34] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-Free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1523–1526, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [35] Anne Roudaut, Stéphane Huot, and Eric Lecolinet. Tap-Tap and MagStick: Improving One-handed Target Acquisition on Small Touch-screens. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '08, pp. 146–153, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [36] Katie A. Siek, Yvonne Rogers, and Kay H. Connelly. Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs. In *Proceedings of the 9th IFIP TC 13 International Conference on Human-computer Interaction*, INTERACT' 05, pp. 267–280, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag.
- [37] Kenji Suzuki, Ryuuki Sakamoto, Daisuke Sakamoto, and Tetsuo Ono. Pressure-sensitive Zooming-out Interfaces for One-handed Mobile Interaction. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, pp. 30:1–30:8, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [38] Ryosuke Takada, Wei Lin, Toshiyuki Ando, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi. A Technique for Touch Force Sensing Using a Waterproof Device's Built-in Barometer. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '17, pp. 2140–2146, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [39] Hsin-Ruey Tsai, Da-Yuan Huang, Chen-Hsin Hsieh, Lee-Ting Huang, and Yi-Ping Hung. MovingScreen: Selecting Hard-To-Reach Targets with Automatic Comfort Zone Calibration on Mobile Devices. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '16, pp. 651–658, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [40] Sangeon Yong, Edward Jangwon Lee, Roshan Peiris, Liwei Chan, and Juhan Nam. ForceClicks: Enabling Efficient Button Interaction with Single Finger Touch. In *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '17, pp. 489–493, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [41] Neng-Hao Yu, Da-Yuan Huang, Jia-Jyun Hsu, and Yi-Ping Hung. Rapid Selection of Hard-To-Access Targets by Thumb on Mobile Touch-screens. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, pp. 400–403, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [42] Mingyuan Zhong, Chun Yu, Qian Wang, Xuhai Xu, and Yuanchun Shi. ForceBoard: Subtle Text Entry Leveraging Pressure. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 528:1–528:10, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [43] 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. 第22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論文集, pp. 85–90, 2014. 日本ソフトウェア科学会.
- [44] 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. インタラクシオン 2013, pp. 175–182, 2013. 情報処理学会.