

平成 30 年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

大型スマートフォン向けの
押下圧を用いた片手操作手法

主専攻 知能情報メディア主専攻

著者 八箇恭平

指導教員 志築文太郎 高橋伸

要 旨

片手にて、把持姿勢を変えずに画面全体を操作することを可能とする操作手法を示す。大型スマートフォンを把持した手の親指のみを用いた操作は、親指の届かない画面領域が多いため困難である。提案手法は、カーソルを用いて親指の届かない範囲を操作する手法である。ユーザはカーソルの操作中に押下圧を高めることによってタッチダウンイベント、低めることによってタッチアップイベントをカーソル位置に発生させる。このアプローチにより提案手法は、親指一本で行うジェスチャであるタップ、スワイプ、ドラッグ、ダブルタップなどのシングルタッチジェスチャをカーソルを用いて行うことが可能である。我々は、カーソル操作に切り替えるためのトリガとして、通常のタッチに比べてタッチ面積の大きなタッチであるラージタッチを用いたプロトタイプを実装した。本論文においては、プロトタイプ的设计、およびプロトタイプの性能を調査するために行った実験（カーソルを用いたシングルタッチジェスチャの実行実験、および既存の片手操作手法を用いた比較実験）を述べる。さらにプロトタイプの改善点を議論し、今後の課題を述べる。

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的とアプローチ	1
1.3	貢献	3
1.4	本論文の構成	3
第2章	関連研究	4
2.1	押下圧を用いたスマートフォン向け操作手法	4
2.2	片手操作手法	5
2.2.1	カーソルを用いた手法	5
2.2.2	タッチイベントを画面上の別の位置に転送する手法	5
2.2.3	表示移動手法	6
2.2.4	表示縮小手法	6
2.3	本研究の位置付け	7
第3章	ExCursor	8
3.1	起動トリガ	8
3.2	イベントトリガ	9
3.3	カーソルの設計	10
第4章	実験1：シングルタッチジェスチャ実行実験	11
4.1	実験参加者	11
4.2	実験タスク	11
4.3	実験手順	14
4.4	実験結果	15
4.5	議論	17
第5章	実験2：比較実験	20
5.1	実験参加者	20
5.2	実験タスク	20
5.3	実験に用いた手法	21
5.4	実験手順	22
5.5	実験結果	23

5.6	議論	26
第 6 章	議論と今後の課題	28
6.1	ExCursor の改善	28
6.2	押下圧の識別を用いた入力語彙の拡張可能性	28
6.3	年齢による影響	28
6.4	ジェスチャ入力可能なカーソルの利用可能性	29
6.4.1	ジェスチャキーボード	29
6.4.2	ウェアラブル端末の操作拡張	29
第 7 章	結論	30
	謝辞	31
	参考文献	32
	著者論文リスト	37
付録 A	実験の際に用いた各種書類	38
A.1	実験同意書	39
A.2	ビデオ画像公開についての承諾書・承諾変更書	42
A.3	実験前アンケート用紙	43
A.4	実験 1：実験後アンケート用紙	44
A.5	実験 1：実験手順書	46
A.6	実験 2：実験後アンケート用紙	48
A.7	実験 2：実験手順書	56

目次

1.1	押下圧を用いたイベントトリガ. 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: 押下圧を低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.	2
3.1	ExCursor におけるカーソル操作. a: ラージタッチによるカーソル操作への切り替え, b: 指をスライドさせることによるカーソルの移動, c: 指を画面から離すことによるタッチ操作への切り替え. タッチ操作時にはカーソルは枠だけが画面に残る.	9
3.2	キャリブレーション画面. ユーザは親指をタッチ面積が大きくなるように画面につけ軽く押し付けるという動作を 5 回行う.	10
4.1	実験 1 の時の実験端末の画面. 各セルのサイズが 1.1 cm × 1.1 cm となるように 7 × 12 のセルに分割した.	12
4.2	実験中のスマートフォンの把持. a: 縦向き, b: 横向き.	12
4.3	各タスク中の実験端末の画面. a: タップ, ダブルタップタスク, b: スワイプタスク, c: ドラッグタスク.	14
4.4	実験環境.	15
4.5	TASK および ORIENTATION 毎の TIME . TASK および ORIENTATION のそれぞれに対して有意な主効果が存在した. また, テューキーの HSD 検定の結果全ての TASK 間に有意な差が存在した. エラーバーは標準偏差を表している.	16
4.6	TASK および ORIENTATION 毎の ERROR . TASK に有意な主効果が存在した. テューキーの HSD 検定の結果, ドラッグとダブルタップ, スワイプとドラッグ, タップとドラッグ, タップとスワイプ間に有意な差が存在した. エラーバーは標準偏差を表している.	16
4.7	端末の向きが縦向きの時のセッションごとの TIME	18
4.8	端末の向きが横向きの時のセッションごとの TIME	18
4.9	2, 3 セッションの実験結果のみを用いた時の ORIENTATION 毎の TIME . 縦向きと横向きの間に有意な差は存在しなかった. エラーバーは標準偏差を表している.	19
4.10	参加者毎の SUS の得点とその平均値.	19
5.1	実験 2 の時の実験端末の画面. 各セルのサイズが 0.7 cm × 0.7 cm となるように 10 × 18 のセルに分割した. ターゲットとなったセルは赤くハイライトされる.	21

5.2	ORIENTATION 毎にグループ分けした METHOD 毎の <i>TIME</i> . それぞれに有意な主効果が存在した. ただし有意な交互作用も存在した. エラーバーは標準偏差を表している.	24
5.3	METHOD 毎にグループ分けした ORIENTATION 毎の <i>TIME</i> . 全ての手法において, 縦向きの際は横向きの時と比べて <i>TIME</i> が短かった. エラーバーは標準偏差を表している.	24
5.4	ORIENTATION 毎にグループ分けした METHOD 毎の <i>ERROR</i> . それぞれに有意な主効果が存在した. ただし有意な交互作用も存在した. エラーバーは標準偏差を表している.	25
5.5	METHOD 毎にグループ分けした ORIENTATION 毎の <i>ERROR</i> . <i>TR</i> のみが縦向きと横向き間に有意差が存在した. エラーバーは標準偏差を表している.	25
5.6	METHOD 毎の <i>SCORE</i> . <i>ExC</i> と他の 3 手法間に有意差が存在した. エラーバーは標準偏差を表している.	26

第1章 序論

本論文は、片手にて把持姿勢を変えずに大きなタッチスクリーンを備えたスマートフォン（以降、大型スマートフォン）の画面全体の操作を可能とする手法を示す。本章においては、まず背景としてスマートフォンの片手操作時の問題、および既存の片手操作手法の特徴を述べる。次に本研究の目的とアプローチを示す。その後、本研究の貢献を述べ、最後に本論文の構成を述べる。

1.1 背景

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 [NBW14]。しかし、大型スマートフォンにおいては片手操作は困難である。この原因のひとつは片手操作時に親指の届く範囲が限られていること [BLO14, LMBH18] である。このため、親指の届かない範囲を操作するためにはユーザはスマートフォンの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スマートフォンの落下の原因となる。

ただし大型スマートフォンの片手操作は困難であるにも関わらず、片手のみを用いて大型スマートフォンの操作を必要とする状況は頻繁に発生する [NBW14, RGIS09]（例：電車内で吊り革を握っている時、傘や荷物を持っている時、コーヒーカップを握っている時など）さらに iPhone XS (5.8 inch), Galaxy S9 (5.8 inch) 等の大型スマートフォンが普及している。そのため、大型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。

1.2 目的とアプローチ

大型スマートフォンの片手操作を可能にするために、これまでに多くの片手操作手法が提案されている。提案されている片手操作手法は、カーソルを用いた手法（例：[LFK16]）、タッチイベントを画面上の別の位置に転送する手法（例：[大西 14]）、表示を移動させる手法（例：[THH⁺16]）、表示を縮小させる手法（例：[CLKS15]）の4種類に分類できる。

これまでに提案されているカーソルを用いた手法においては、親指を画面から離れた際にタッチイベントをカーソル位置に発生させるという共通のアプローチが用いられている。しかし、このアプローチには以下のふたつの問題点が存在する。



図 1.1: 押下圧を用いたイベントトリガ. 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: 押下圧を低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.

1. カーソルを用いてスワイプやドラッグ, ダブルタップなどの, タップ以外の指一本にて行うタッチジェスチャ (シングルタッチジェスチャ) ができない.
2. 連続したカーソル操作ができないことである. 既存の手法は全て, 親指を画面から離す度にカーソル操作は終了するため, 親指の届かない範囲に対して連続で操作を行う際には再び片手操作手法を起動するためのトリガ (以降, 起動トリガ) を実行する必要がある.

スワイプやドラッグ, ダブルタップはスマートフォンの一般的な操作であり, 頻繁に利用される. また, 大型スマートフォンにおいては, 親指の届かない範囲が広いいため連続したカーソル操作ができれば便利である.

本論文においては, 新たなカーソルを用いた手法として **Extended Cursor (ExCursor)** を提案し, そのプロトタイプシステムを示す. **ExCursor** は, タッチイベントをカーソル位置に発生させるトリガ (以降, イベントトリガ) として押下圧を用いることによってこれらの問題点を解決する. **ExCursor** においては, ユーザが押下圧を高めた際に, タッチダウンイベント (図 1.1a), 低めた際にタッチアップイベント (図 1.1b) を発生させる. これにより, ユーザは押下圧を高めたまま指を動かすことによってスワイプやドラッグ, 押下圧の高低を素早く切り替えることによるダブルタップの実行が可能である. さらに, カーソルの位置にタッチイベントを発生させる度に指を画面から離す必要がなく, 指を画面に付けている間カーソルの操作が継続するためユーザは連続してカーソルの操作が可能である.

また, 我々はプロトタイプシステムとして, 起動トリガに通常のタッチに比べてタッチ面積の大きなタッチ (以降, ラージタッチ [Seba12]) を用いたシステムを実装した. ラージタッチは片手操作時に可能なジェスチャとして提案されており, またユーザはスマートフォンの向きによらずラージタッチを行えることがわかっている [KYL12]. そのため, 我々のプロトタイプシステムにおいてはスマートフォンが縦, 横のどちらの向きであってもカーソルを用いて片手操作が可能

である。なお、スマートフォンが横向きの時の片手操作に関して、我々は27人の学生（18-24歳、男性24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っただことがありますか」という文章のアンケート調査を行ったところ、16人（59%）が「はい」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できることが望まれていることを示している。我々は、スマートフォンの向きによらず行えるジェスチャであること、さらにスマートフォンの入力にあまり使用されないジェスチャであることから起動トリガとしてラージタッチを用いた。

1.3 貢献

本研究の貢献を以下に列挙する。

- イベントトリガとして押下圧を用いた片手操作手法（ExCursor）の提案およびそのプロトタイプシステムの実装を行った
- シングルタッチジェスチャ実行実験および既存片手手法との比較実験によるプロトタイプシステムの性能評価を行った

1.4 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。1章では、本研究の背景、目的とアプローチ、および貢献を示す。2章では、本研究に関連する研究および手法を述べ、本研究の位置づけを行う。3章では、ExCursorのプロトタイプシステムの設計を述べる。4章では、プロトタイプシステムを用いて行ったシングルタッチジェスチャの実行実験を述べる。5章では、プロトタイプシステムおよび既存の片手操作手法を用いて行った比較実験を述べる。6章では、プロトタイプシステムに対する議論と今後の課題を示す。7章では、本研究の結論を述べる。

第2章 関連研究

我々は、押下圧を用いることにより既存のカーソルを用いた片手操作手法の問題点を解決した。本章においては、スマートフォンの操作に押下圧を用いた操作手法および、これまでに提案されている片手操作手法を説明し本研究の位置付けを述べる。

2.1 押下圧を用いたスマートフォン向け操作手法

HeoらはForceTap [HL11]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ており、ユーザが強い押下と弱い押下を90%の精度にて識別可能であったことを示した。またHeoらはForceDrag [HL12]において、スマートフォンの操作時に強い押下によってドラッグモードに切り替える手法を提案している。この手法においては、強い押下をロングタップの代替手段として用いている。YongらはForceClick [YLP⁺17]において、押下圧を用いたクリック手法を提案しており、応用例として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提案している。CorstenらはBackXPress [CDVB17]において、ユーザがスマートフォン背面に対して行ったタッチの押下圧を取得する手法を提案した。ユーザはこの手法を用い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が可能である。Takadaら [TLA⁺17]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、ユーザが85.5%の精度にて6段階の押下圧を区別可能であることを示している。またCorstenらはForce Picker [CVLB18]において、押下圧を用いたピッカーを提案した。実験の結果から、押下圧を用いたピッカーは通常システムにて用いられているピッカーに比べて画面の専有面積を小さくでき、かつユーザが高速に値を選択できることを示している。Suzukiら [SSSO18]およびMiyakiら [MR09]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 [BH09]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 [MMIS09]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種類の文字の入力を可能にした。Zhongら [ZYW⁺18]は、押下圧により移動するカーソルによって、1つのキーのみを用いて文字入力が可能なキーボードを提案している。なおApple社はタッチの押下圧を検出する機能である3D Touch[20118a]を開発し、iPhoneに導入しており、Huawei社も同様に圧力センサを用いてタッチの圧力を検出する機能をMate Sに導入している。

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、タッチイベントを画面上の別の位置に転送する手法、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（以降、表示移動手法）、親指の届く範囲に表示を縮小させる手法（以降、表示縮小手法）の4種類に分類できる。本節では、それぞれに該当する手法について説明する。

2.2.1 カーソルを用いた手法

この手法は、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である。Extendible Cursor [KYL12] は、タッチ面積の大きなタッチであるラージタッチおよびベゼルスワイプ [RT09] を起動トリガとしたカーソルである。Li らも同様にベゼルスワイプを起動トリガに用いた BezelCursor [LFK16] を提案している。CornerSpace [YHHH13] 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、ユーザが円形ウィジェット中の分割された領域に対応するボタン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 [CLKS15] は、スマートフォンを傾けた状態にて指を画面上にてスライドすることを起動トリガとした手法である。MagStick [RHL08] は、オクルージョンや Fat Finger 問題 [SRC05] 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生成する。これらの手法 [KYL12, LFK16, YHHH13, CLKS15, RHL08] は全て、カーソル操作中に指をスライドすることによりカーソルを移動させ、カーソル操作中に親指を画面から離れた時に、カーソルの位置にタップイベントを発生させる。なおタップイベントを一度発生させる度に、カーソル操作が終了する。発生させるイベントがタップイベントであるため、これらの手法においてはタップ以外のシングルタッチジェスチャをカーソルを用いて行うことができない。

2.2.2 タッチイベントを画面上の別の位置に転送する手法

この手法はユーザが指にて行ったタッチ操作によって発生したタッチイベントを画面上の別の位置に転送することによって、親指の届かない範囲の操作を実現する。ExtendedThumb [LZ15] は、ダブルタップを起動トリガとしている。ダブルタップによってタッチ領域の中心に出現する親指の形を模したポインタをユーザは指をスライドさせることによって移動させる。その後ユーザは親指を画面から離すことによって、ポインタの位置を決定し、ポインタの位置に転送したいタッチジェスチャを画面上のどこかに入力すると、ポインタの位置にタッチイベントが転送される。しかし親指の届かない範囲に対して連続して操作を行うには、タッチイベントの転送を行う度に起動トリガを実行しポインタを移動させる必要がある。TouchOver [大西 14] 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操作にて発生したタッチイベントを上半分の画面に転送する。なおホバー検出を用いてタッチイベントの転送先となる位置にポインタを表示する。ただし、この手法にて画面全体に対する片手操作を実現するためには、下半分の画面全体に親指が届く必要がある。しかし Le ら [LMBH18] は、大型スマートフォンを右手にて片手操作した時に、スマートフォンの上下および左側に親指が届かない範囲が存在することを明らかにしている。

Gaze and Touch [PG16] は、タブレット向けの手法として提案されている。この手法においては、視線を検出し注視点の位置にタッチイベントを転送することにより親指の届かない領域に対する操作を可能にする。ただしスマートフォンに対してこの手法を用いる際には、オブジェクトが小さいため精度の高い注視点検出が必要となるうえに、スマートフォンが固定されていないため注視点の検出が難しい。特に、歩行中にスマートフォンを用いる際には前方とスマートフォン間にて視線を移動させながら操作を行う必要があるため、この手法は有効ではない可能性がある。なお、これらの手法 [LZ15, 大西 14, PG16] は、提案手法と同様にシングルタッチジェスチャの実行が可能である。

2.2.3 表示移動手法

この手法は表示を移動させ、操作対象を親指の届く範囲に移動させることによって片手操作を可能にする。Sliding Screen [KYL12] は起動トリガとしてベゼルスワイプを用いており、指をスライドさせると指の移動に対して逆向きに表示が移動する。MovingScreen [THH⁺16] においては、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、その後画面中央方向にスワイプすることによって指の移動に対して逆向きに表示が移動する。Le ら [LBKH16] および Hidaka ら [HBH16] は、端末背面の指の動きによって表示を移動させ、片手操作を可能にする手法を提案している。TiltSlide [CLKS15] は、スマートフォンを一定の閾値以上に傾けた状態にてユーザが指をスライドさせると指の移動に対して逆向きに表示が移動する。Le らは PalmTouch [LKB⁺18] において、手の母指球を画面につけることを起動トリガとして表示を半分下げ、片手操作を可能にする手法を提案している。また、Apple 社は iPhone の片手操作手法として Reachability [20114] を導入している。この手法は、ホームボタンがある iPhone においてはホームボタンのダブルタップ、ホームボタンの無い iPhone においては下側のベゼルを下方向にスワイプすることを起動トリガとして表示を半分下げる。ただしこれらの手法においては、表示が移動した時に画面外に押し出される表示が存在するため、操作対象の周辺の表示や操作対象に関連する表示が画面から消失する可能性がある。一方、LoopTouch [土佐 13] 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、また下に押し出された部分をループさせて上に表示する。このため操作対象以外の表示が画面から消失することを防ぐことが可能である。

2.2.4 表示縮小手法

この手法は表示全体を親指の届く範囲に縮小させることによって、片手操作を実現する。TiltReduction [CLKS15] は、スマートフォンを一定の閾値以上に傾けることを起動トリガとして表示を縮小させる手法である。なお、縮小後の表示の大きさはユーザごとに事前に設定する。ThumbSpace [KB07] は、指をスライドすることを起動トリガとしており、スライドによって指定された範囲に表示を縮小する。また、Samsung 社は Galaxy に One-Handed Mode [20118d] を導入している。この手法は、スマートフォンの右下または左下から画面中央方向へスワイプを行うことを起動トリガとして、表示を縮小させる。これらの手法 [CLKS15, KB07, 20118d] は、大型スマートフォンにおいては親指の届かない範囲が広いため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、オクルージョンや Fat Finger 問題 [SRC05] が発生する可能性がある。

2.3 本研究の位置付け

本研究にて提案する ExCursor は、カーソルを用いた片手操作手法である。起動トリガとしては、Kim らの手法と同様にラージタッチを用いるが、イベントトリガとして押下圧を用いている点において既存手法とは異なる。具体的にはユーザが押下圧を事前に決定した閾値以上に高めた時に、タッチダウンイベント (図 1.1a)，その後閾値以下に低めた時にタッチアップイベント (図 1.1b) を発生させる。我々はイベントトリガに押下圧を用いることによって、シングルタッチジェスチャをカーソルを用いて行うことを可能にした。

第3章 ExCursor

提案手法である ExCursor は、カーソルを用いた手法のひとつであり、大型スマートフォンの片手操作を可能にする。本章においては、タッチ操作モードとカーソル操作モードの切り替えとなる起動トリガ、タッチイベントを発生させるためのトリガであるイベントトリガ、およびカーソルの設計を述べる。なお、本研究においては、ExCursor のプロトタイプシステムを iPhone 8Plus にて動作するアプリケーションとして Swift4.0 を用いて実装した。

3.1 起動トリガ

ExCursor のプロトタイプシステムには、起動トリガとしてラージタッチを用いている。これにより、ユーザが画面にタッチした時に、そのタッチ面積が事前に決定した閾値より大きい場合カーソル操作モードに切り替わる (図 3.1a)。カーソル操作モード中に、指を画面上にてスライドすることによりカーソルは指の移動と同方向に移動する (図 3.1b)。この時のカーソルの移動量は「指の移動量 \times CD 比 (> 1.0)」である。またカーソル操作モードはユーザがラージタッチを行っている間継続し、親指が画面から離れるもしくはタッチ面積が閾値を下回ると終了する。カーソル操作モードが終了すると、カーソルは枠のみが画面に残り (図 3.1c)、再びカーソル操作モードに切り替わった時には画面に残っているカーソルの枠の位置にカーソルが生成される。なお、ユーザは横向きのスマートフォンの片手操作時においてもラージタッチが可能である [KYL12]。我々はスマートフォンの向きによらず行えるジェスチャであること、さらにスマートフォンの入力にあまり使用されないジェスチャであることから ExCursor の起動トリガとしてラージタッチを選択した。

ラージタッチを認識するためのタッチ面積の閾値は、ユーザごとにキャリブレーションを行って決定される。プロトタイプシステムにおいては、キャリブレーションとして図 3.2 の画面にて、ユーザに親指の腹を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。軽く指を押し付けることによってタッチ面積はより大きくなり、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平均値をラージタッチの閾値として用いた。

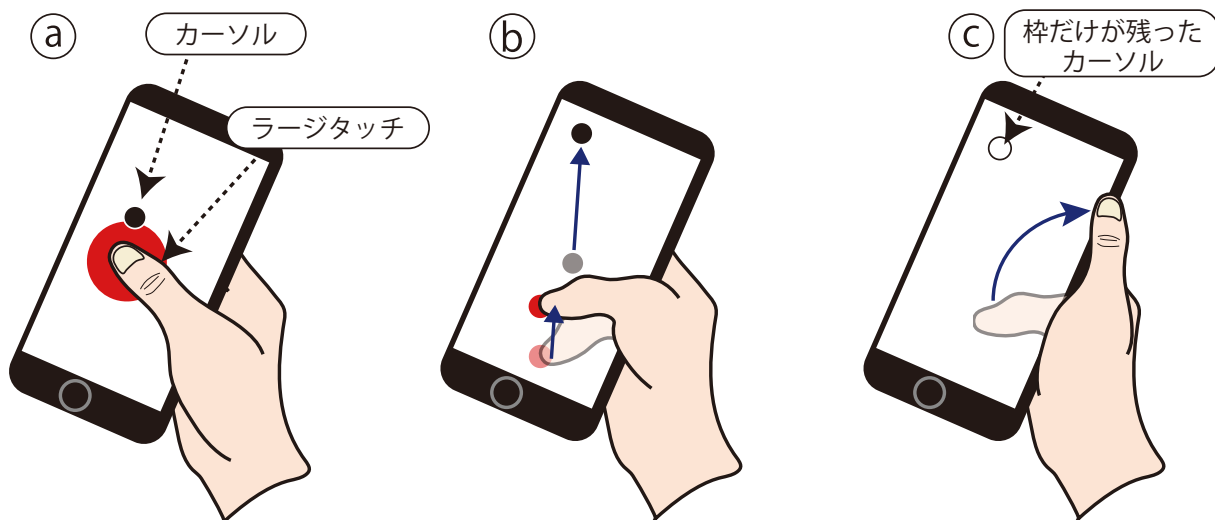


図 3.1: ExCursor におけるカーソル操作. a: ラージタッチによるカーソル操作への切り替え, b: 指をスライドさせることによるカーソルの移動, c: 指を画面から離すことによるタッチ操作への切り替え. タッチ操作時にはカーソルは枠だけが画面に残る.

3.2 イベントトリガ

ExCursor においては, ユーザはカーソル操作時に押下圧を事前に決定した閾値以上に高めることによってカーソルの位置にタッチダウンイベントを発生させる. また, ユーザはタッチダウンイベントを発生させた後, 押下圧を閾値未満に低めることによってカーソルの位置にタッチアップイベントを発生させる. 押下圧を用いてタッチダウン, タッチアップ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 [20118b] と同じである. ユーザはカーソルを用いて, 押下圧を高めた状態にて指をスライドすることによってドラッグやスワイプ, 押下圧の高低を素早く 2 回切り替えることによってダブルタップの実行が可能である.

プロトタイプシステムにおいては, この閾値として UITouch クラスの force プロパティにて検出可能な押下圧の最大値の 30% の値を用いた. iPhone の力センサの API は 0 から $\frac{400}{60} \simeq 6.67$ まで, 単位の無い値を返す. また Apple 社のガイドライン [20118c] によると, 日常的に用いられるタッチの押下圧は, 約 1.0 である. ExCursor のプロトタイプシステムにおいて閾値として用いた 2.0 (約 30%) は, カーソルの移動中に誤ってタッチダウンイベントが発生しないように実験的に求めた値である.

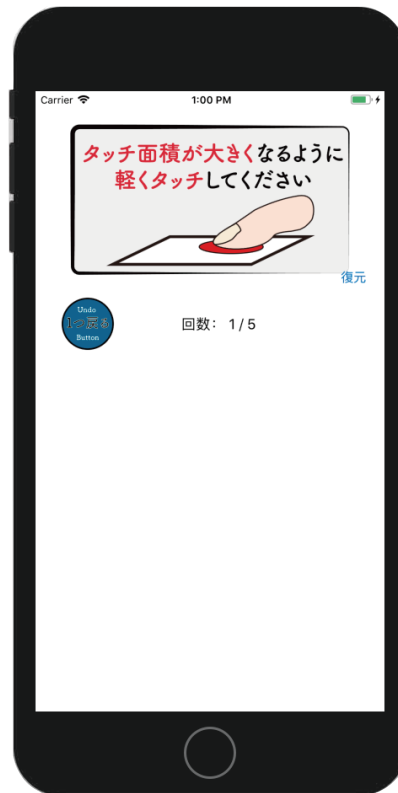


図 3.2: キャリブレーション画面. ユーザは親指をタッチ面積が大きくなるように画面につけ軽く押し付けるという動作を 5 回行う.

3.3 カーソルの設計

プロトタイプシステムにおいて、カーソルはカーソル操作モード時には中心が黒色、枠が白色に塗られた半径 13 mm の円である。一方、タッチ操作モード時には枠が黒色となり枠のみが画面に残る。これはユーザがカーソルの位置を見失わないための設計であり、また現在の操作がカーソル操作モードとタッチ操作モードのどちらであるかをユーザが認識しやすくするための設計である。

第4章 実験1：シングルタッチジェスチャ実行 実験

我々は ExCursor にてカーソルを用いたシングルタッチジェスチャの実行が可能か検証するために実験を行った。実験に用いた端末（以降、実験端末）は、iPhone 8Plus（158.4 mm×78.1 mm×7.5 mm；6.5 inch）である。

4.1 実験参加者

我々は、大学内の学生から 8 人の実験参加者を募った。参加者は全員が男性であり、年齢は 20 歳から 22 歳（ $M = 21.0$, $SD = 0.93$ ）であった。5 人の参加者が右利きであった。参加者の手の長さ（手首から中指の先まで）は 16.6 cm から 19.4 cm（ $M = 18.1$, $SD = 1.1$ ）であり、親指の長さは 6.0 cm から 7.1 cm（ $M = 6.4$, $SD = 1.1$ ）であった。全ての参加者は日常的にスマートフォンを使用していた。我々は全ての参加者に対して、謝金として 1640 円を支払った。

4.2 実験タスク

実験では、参加者は ExCursor を用いてタップ、スワイプ、ダブルタップおよびドラッグの 4 種類のタスクを行った。全てのタスクにて我々は実験端末の画面を、各セルのサイズが約 1.1 cm となるように、 7×12 のセルに分割した（図 4.1）。我々は iPhone のホーム画面上のアイコンの大きさとセルの大きさが等しくなるようにサイズを決定した。全てのタスクは、スマートフォンの縦向き（図 4.2a）および横向き（図 4.2b）の 2 つの向きにて行われた。参加者がターゲットとなったセルに対してカーソルを用いて正しくジェスチャ（タップ、スワイプ、ダブルタップ、ドラッグ）を実行することを 1 試行とし、21 試行を 1 セッションとした。ターゲット以外のセルに対してジェスチャを実行した場合、もしくはターゲットに対してタスクとは異なるジェスチャを実行した場合にはエラーとなる。各参加者にはジェスチャの実行が成功もしくは失敗したことをそれぞれ異なる音によって知らせた。参加者は全てのタスクにて、2 つの向きでそれぞれ 3 セッションずつ行った。参加者には、実験端末を利き手にて把持し、把持姿勢を変えずに片手操作を行い、可能な限り速く正確にジェスチャを実行してもらった。以下に各タスクの詳細を述べる。

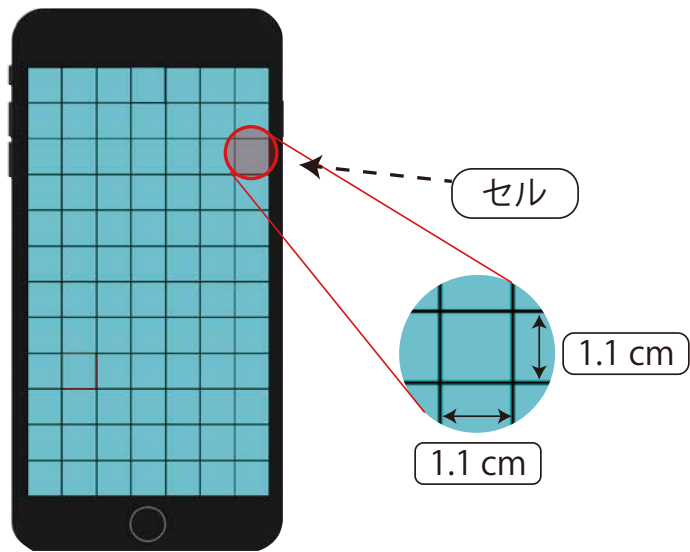


図 4.1: 実験 1 の時の実験端末の画面. 各セルのサイズが $1.1\text{ cm} \times 1.1\text{ cm}$ となるように 7×12 のセルに分割した.

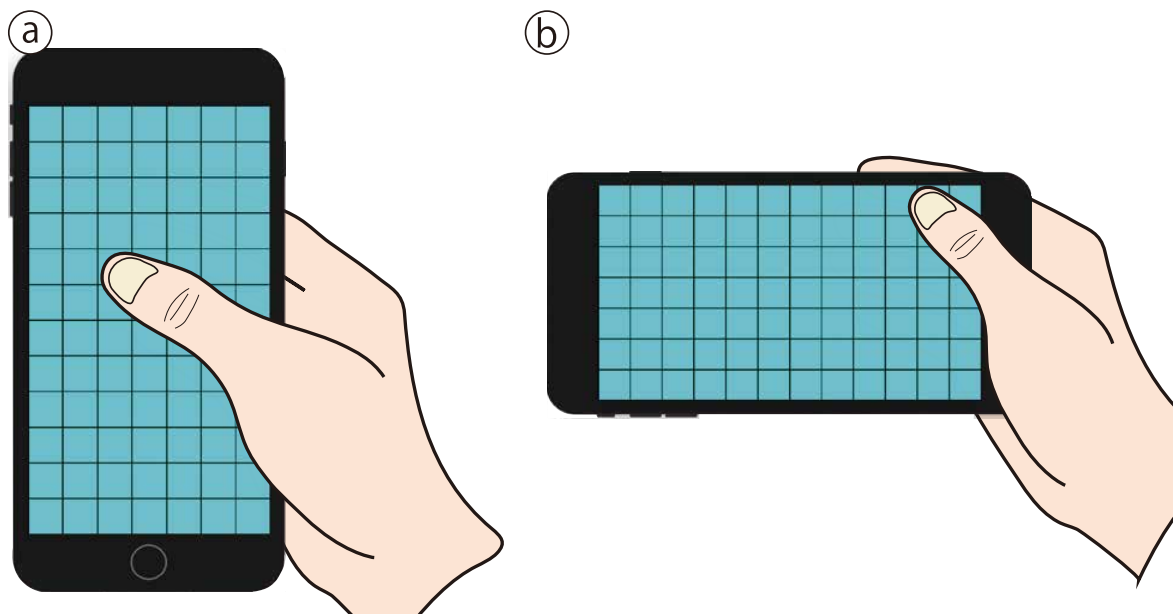


図 4.2: 実験中のスマートフォンの把持. a: 縦向き, b: 横向き.

タップタスク タップタスクでは、スマートフォンが縦向きの際には上から3行、横向きの際には把持している側から反対側の3列の21セルからランダムな順にてターゲットが選択される。ターゲットとなったセルは赤くハイライトされる（図4.3a）。参加者には、ターゲットに対してカーソルを用いてタップを行ってもらった。

スワイプタスク スワイプタスクでは、スマートフォンが縦向きの際には上から3行、横向きの際には把持している側から反対側の3列の21セルからランダムな順にてターゲットが選択される。ターゲットとなったセルは、赤くハイライトされ、スワイプ方向の矢印が表示される（図4.3b）。なお、スワイプ方向は上、下、左、右の4方向からランダムに選択される。参加者には、ターゲット上にて矢印の方向にカーソルを用いてスワイプを行ってもらった。なお、今回の実験においてはカーソルにてタッチダウンイベントを発生させた状態にて、セルの1辺の長さである1.1 cm以上カーソルを移動させることをスワイプとした（例えば、上方向に1.1 cm移動させると上方向へのスワイプと認識される）。

ドラッグタスク ドラッグタスクでは、システムはふたつのターゲットを選択する。そのうち一方がドラッグターゲット、もう一方はドロップターゲットである。参加者には、カーソルを用いてドラッグターゲットとなったセルをドラッグし、ドロップターゲットとなったセルの位置にドロップしてもらった。ドラッグターゲットとなったセルは赤くハイライトされ「A」と表示される。一方、ドロップターゲットとなったセルは青くハイライトされ「B」と表示される（図4.3c）。これらのターゲットは画面上の全てのセルからランダムに選択されるが、少なくとも片方が縦向きにおいては上から3行、横向きにおいては実験端末の把持している側から反対側の3列の21セルから選択される。これはユーザがカーソルを用いてドラッグを行う状況として、親指の届く範囲から届かない範囲、届かない範囲から届く範囲、届かない範囲から届かない範囲へのドラッグという3つの状況が考えられるからである。今回の実験においては、この3つの状況のドラッグを参加者が必ずタスク中に行うように実験を設計した。

ダブルタップ ダブルタップタスクでは、スマートフォンが縦向きの際には上から3行、横向きの際には把持している側から反対側の3列の21セルからランダムな順にてターゲットが選択される。ターゲットとなったセルは赤くハイライトされる（図4.3a）。参加者には、ターゲットに対してカーソルを用いてダブルタップを行ってもらった。

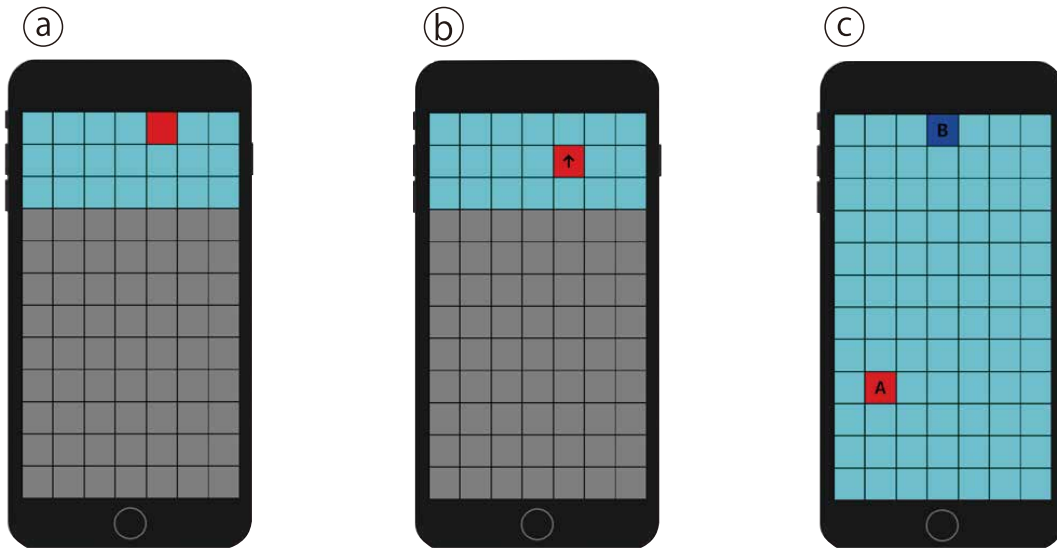


図 4.3: 各タスク中の実験端末の画面. a: タップ, ダブルタップタスク, b: スワイプタスク, c: ドラッグタスク.

4.3 実験手順

実験に使用した実験同意書, ビデオ画像の公開についての承諾書・承諾変更書, 実験前アンケート用紙, 実験後アンケート用紙, および実験手順書を付録 A.1 – A.5 に示す. 参加者には, タスクを行っている間は常に着席し, 片手のみを用いて実験端末を操作するように指示した. 実験環境を図 4.4 に示す. はじめに, 参加者に対して研究の概要, 実験の目的, および個人情報の保護について等の説明を行った. また, 実験中いつでも実験を中断できることを説明した. 続いて, 実験前アンケートに回答するように指示した. このアンケートにおいては, 利き手と普段スマートフォンを操作する手, 普段使用しているスマートフォンの機種, 横向きのスマートフォンの片手操作に関する調査などについて回答してもらった. さらに, アンケート後に参加者の親指と手の長さをデジタルノギスを用いて計測した. 次に, 実験手順書を用いて参加者に対して実験タスクについての説明を行った. その後, 実験の各タスクを開始する前に, ExCursor の操作方法について説明を行い, 参加者は ExCursor について理解するために最大 5 分間の練習を行った. なお, 練習の間に参加者はカーソルの CD 比をスライダを用いて自由に設定した. 平均して参加者は 3.9 分間 (SD = 1.0 分) の練習を行った.

我々は順序効果を消すために, タスクの順をラテン方格法を用いて決定した. 全ての参加者は, 縦向きの実験端末にて全てのタスクを順に行った後, 横向きの実験端末にて全てのタスクを順に行った. それぞれのタスクにて, 参加者は 3 セッションずつ行う. なお, 我々は各セッション間に 1 分間の休憩を設けた. 2 つの向きにて, 全てのタスクを終えた後, ExCursor について日本語に翻訳した System Usability Scale (SUS) [Bro96] および自由記述のアンケートを行った. 実験には約 90 分かかった.



図 4.4: 実験環境.

4.4 実験結果

独立変数は、**TASK** (タップ, スワイプ, ドラッグ, およびダブルタップ), **ORIENTATION** (縦向き, 横向き) のふたつである. 従属変数は, 1 試行にかかった時間 ($TIME$ [秒]), および 1 セッション毎のエラー率 ($ERROR$ [%]) のふたつである. 分析には, 反復測定 2 元配置分散分析を用いており, 事後分析にはテューキーの HSD 検定を用いた. なお検定に用いた有意水準は 5% である.

まず, $TIME$ に関する結果を述べる. **TASK** には, $TIME$ に対して有意な主効果が存在した ($F_{3,4032} = 377.1, p < .001$) (図 4.5). タップの $TIME$ が最も短く (1.309 秒), 続いてダブルタップ (1.561 秒), スワイプ (2.033 秒), ドラッグ (5.538 秒) であった. 事後多重比較として行ったテューキーの HSD 検定によると, 全ての **TASK** 間に有意な差が存在した (タップとダブルタップ間: $p < .01$, その他: $p < .001$). **ORIENTATION** にも同様に $TIME$ に対して有意な主効果が存在した ($F_{1,4032} = 11.07, p < .05$) (図 4.5). 参加者は, 横向きの時 (2.727 秒) に, 縦向きの時 (2.493 秒) と比べて速くジェスチャの実行が可能であった. なお, **TASK** × **ORIENTATION** の交互作用は存在しなかった ($F_{3,4032} = 1.512, p = .241$).

次に, $ERROR$ に関する結果を述べる. **TASK** には, $ERROR$ に対して有意な主効果が存在した ($F_{3,48} = 64.27, p < .001$) (図 4.6). $ERROR$ は, タップの時に最も低く (4.7%), 続いてダブルタップ (6.5%), スワイプ (10.3%), ドラッグ (25.6%) であった. 事後多重比較として行ったテューキーの HSD 検定によると, ドラッグとダブルタップ ($p < .001$), スワイプとドラッグ ($p < .001$), タップとドラッグ ($p < .001$), タップとスワイプ間 ($p = .010$) に有意な差が存在した. **ORIENTATION** は, $ERROR$ に対して有意な主効果が存在しなかった ($F_{1,48} = 4.178, p = .080$). 同様に **TASK** × **ORIENTATION** の交互作用も存在しなかった ($F_{3,48} = 0.57, p = .641$).

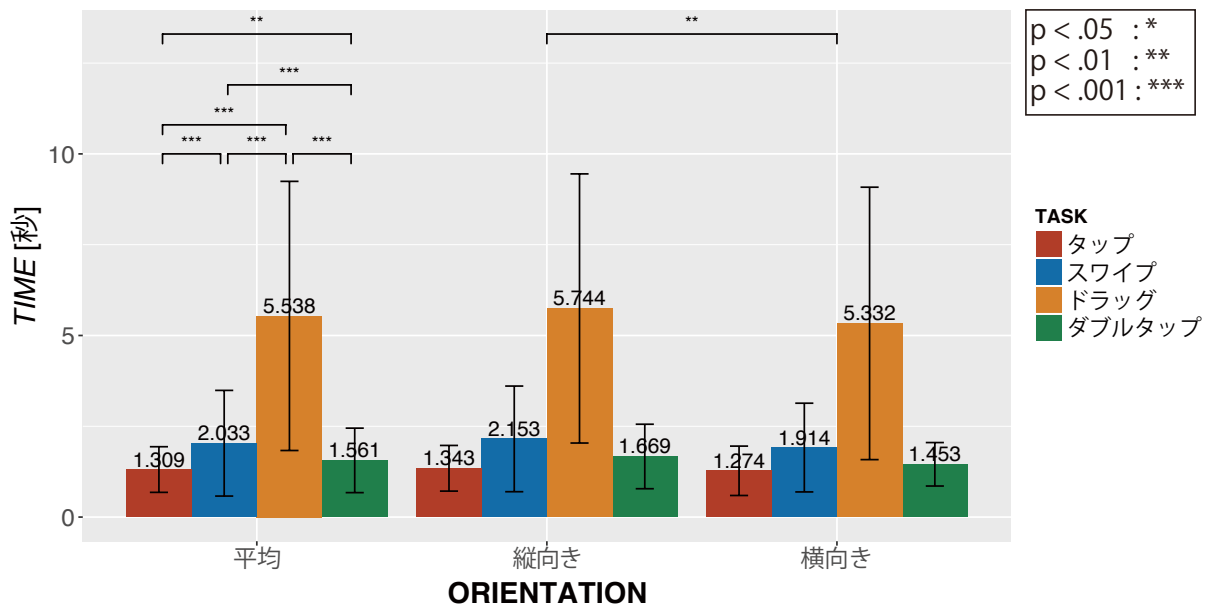


図 4.5: **TASK** および **ORIENTATION** 毎の **TIME**. **TASK** および **ORIENTATION** のそれぞれに対して有意な主効果が存在した。また、テューキーの HSD 検定の結果全ての **TASK** 間に有意な差が存在した。エラーバーは標準偏差を表している。

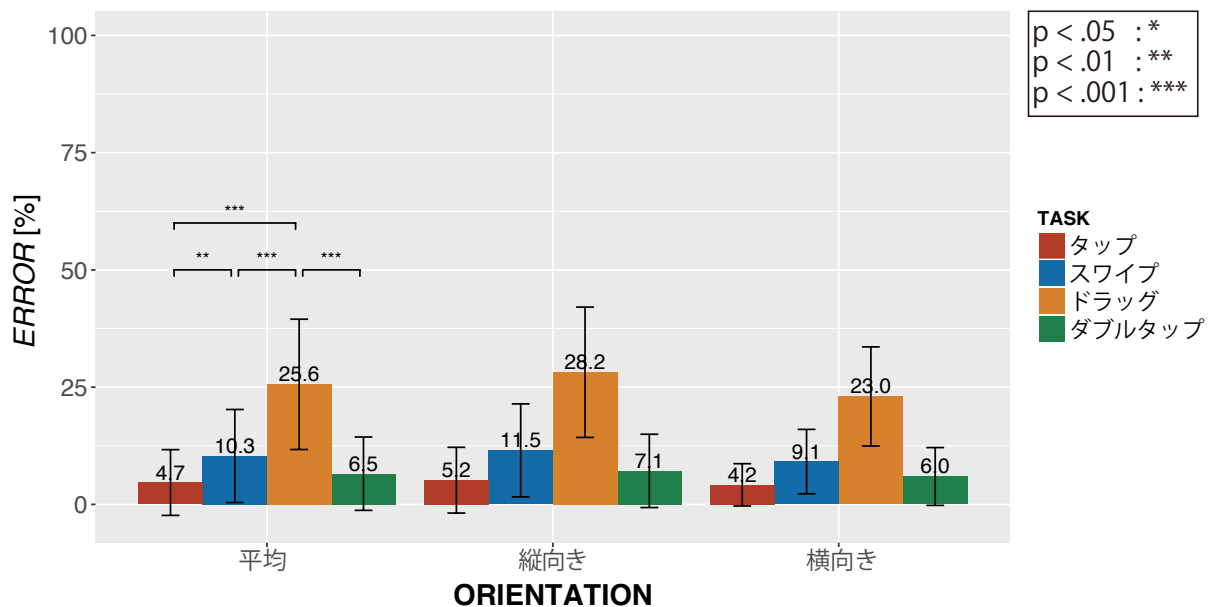


図 4.6: **TASK** および **ORIENTATION** 毎の **ERROR**. **TASK** に有意な主効果が存在した。テューキーの HSD 検定の結果、ドラッグとダブルタップ、スワイプとドラッグ、タップとドラッグ、タップとスワイプ間に有意な差が存在した。エラーバーは標準偏差を表している。

4.5 議論

スワイプおよびドラッグの **TASK** においては、タップおよびダブルタップに比べて **TIME** が長く、また **ERROR** も高かった。検定の結果では、スワイプは、タップ、ダブルタップに比べて有意に遅く (2.033 秒)、タップに比べてエラー率も有意に高く (エラー率: 10.3%)、さらにドラッグは他の 3 つに比べて非常に遅く (5.538 秒)、最もエラー率が高かった (エラー率: 25.6%)。この結果から、ユーザは、タッチダウンイベントを発生させながらカーソルを移動させることが困難であったと考えられる。スワイプ、およびドラッグはタッチダウンイベントを発生させた状態にてカーソルを移動させる必要があるジェスチャである。しかし ExCursor においてはタッチダウンイベントを発生させた状態にてカーソルを移動させることが困難であった。これは、カーソル操作のためにラージタッチを行いながら押下圧を高めた状態にて指を動かす必要があるため摩擦力が大きくなることが原因である。その結果、参加者はスワイプおよびドラッグには時間がかかり、またエラー率も高くなったと考えられる。なおドラッグは、スワイプに比べてより長い距離の移動が必要であったため、より時間がかかり、またエラー率もより高くなったと考えられる。

今回の実験結果では、**TIME** に関して端末が横向きの時 (2.727 秒) は、縦向きの時 (2.493 秒) に比べて有意に優れていた。しかし今回の実験は、全ての参加者が縦向きのタスクの後、横向きのタスクを行っている。そのため、順序効果の影響が大きいと考えられる。各 **TASK** の、セッションごとの **TIME** (図 4.7, 図 4.8) を比較すると、縦向きの 1 セッション目は 2, 3 セッションに比べて時間がかかっていることがわかる。縦向き、及び横向きの 2, 3 セッションのみの実験結果を用いると、**ORIENTATION** は **TIME** に対して有意な主効果が存在しなかった ($F_{1,3696} = 0.80, p = .40$)。縦向き、及び横向きの 2, 3 セッションのみの結果を用いた時のそれぞれの **TIME** を図 4.9 に示す。この結果から、提案手法の性能は縦向き、および横向きにて大きな違いがないことが予想される。なお、この検証のために縦向きおよび横向きのタスクの順を入れ替えた実験を追加で行う必要がある。

ユーザ評価を調査するために行った SUS の得点について述べる。得られた SUS の得点を図 4.10 に示す。得られた SUS の平均得点は、74.06 (SD = 13.49) であった。この点数は、SUS の平均得点である 68 [Bro13] を超えている。また、Bangor ら [BKM09] の研究によると、ExCursor のユーザビリティは「Good」に分類される。そのため、平均得点から考えると参加者は ExCursor のユーザビリティを高く評価したことがわかる。一方で、P4, P8 は SUS の得点が低かった。彼らはラージタッチ中に親指をスライドさせることが、非常に困難であると実験中に述べていたため、その結果 SUS の得点が低くなっているのだと考えられる。この要因を調べるために、今回取得したデータである、親指の長さ、手の大きさ、およびスマートフォンの利用歴などを他の参加者のデータと比較したが SUS の得点との相関関係は見られなかった。そのため、参加者を増やした実験を追加で行い、プロトタイプの操作が不得意な人の特徴を調べる必要がある。

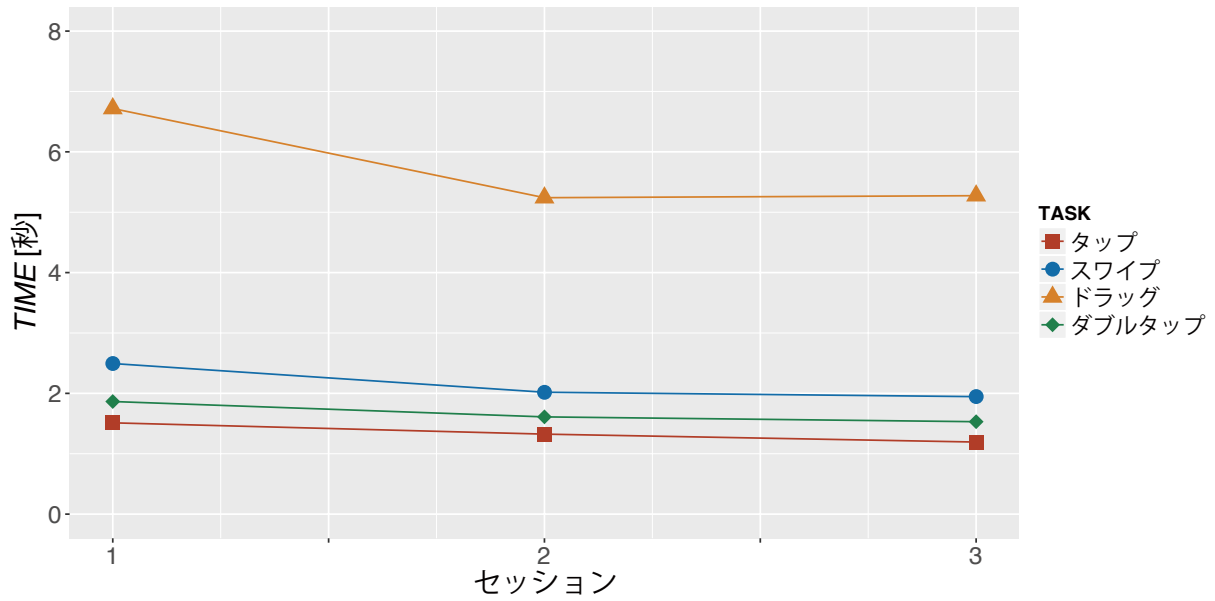


図 4.7: 端末の向きが縦向きの際のセッションごとの *TIME*.

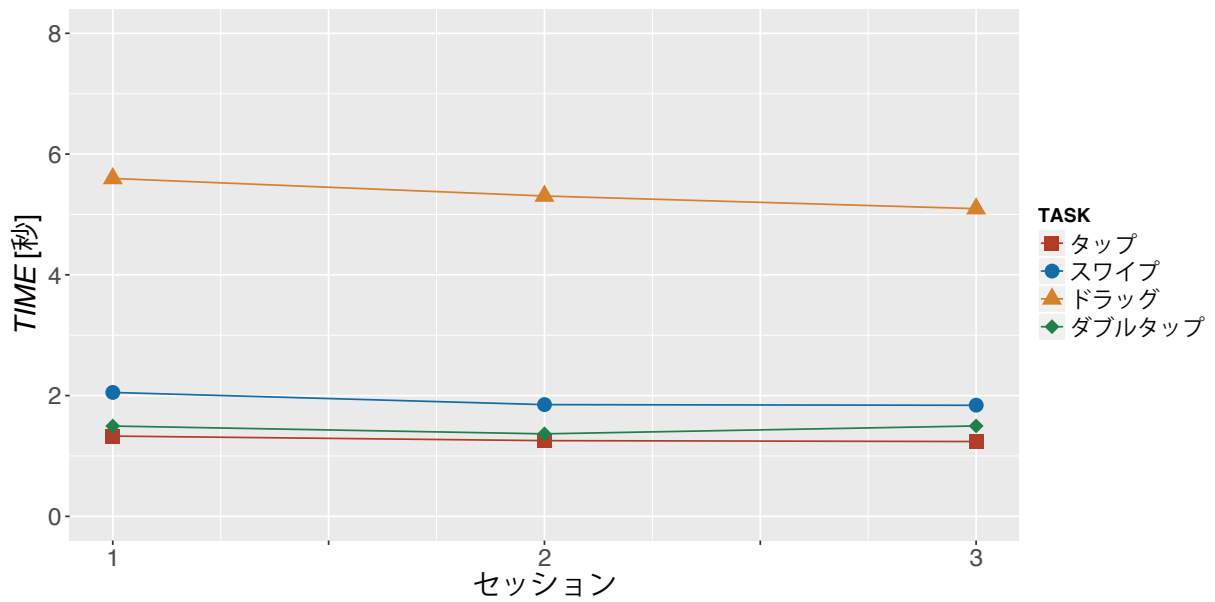


図 4.8: 端末の向きが横向きの際のセッションごとの *TIME*.

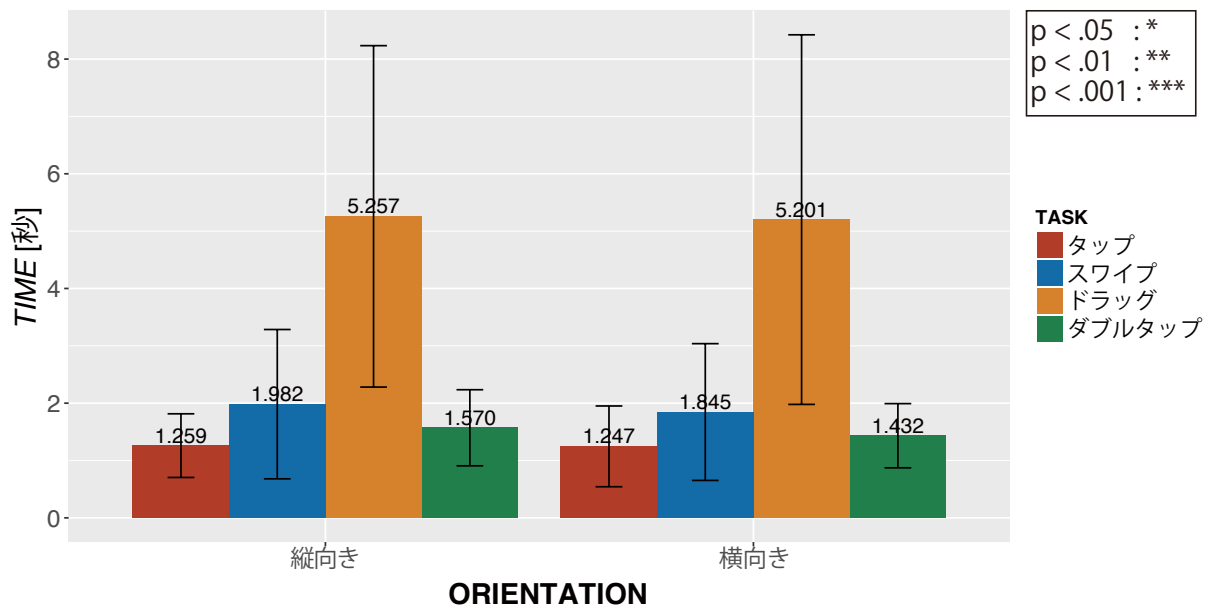


図 4.9: 2, 3セッションの実験結果のみを用いた時の **ORIENTATION** 毎の *TIME*. 縦向きと横向きに有意な差は存在しなかった. エラーバーは標準偏差を表している.

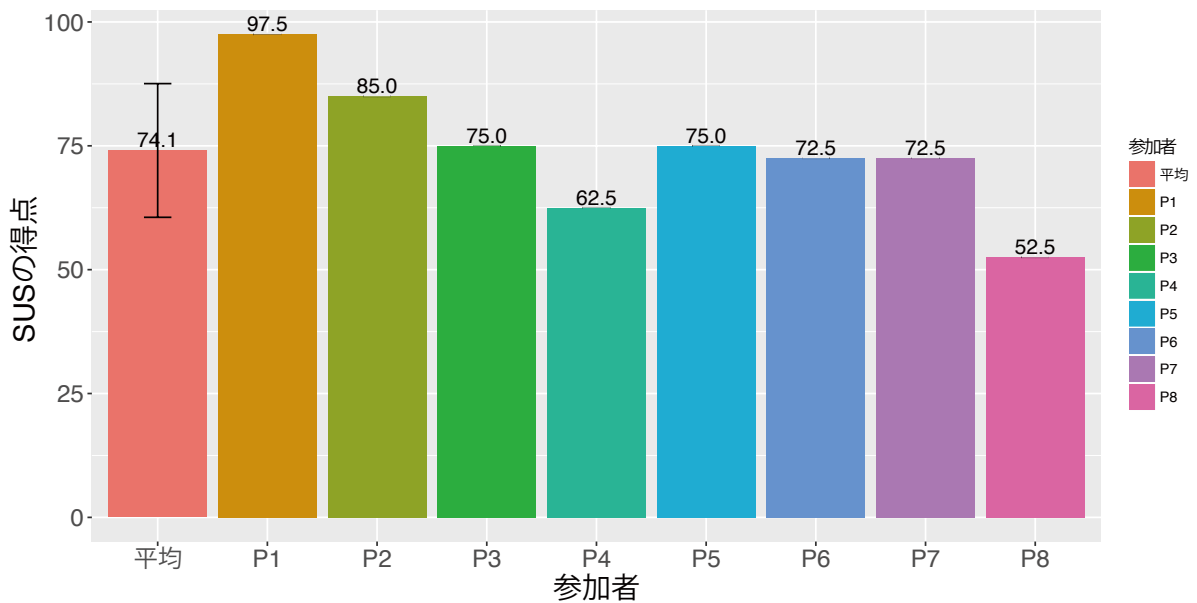


図 4.10: 参加者毎の SUS の得点とその平均値.

第5章 実験2：比較実験

ExCursor のターゲット選択に関する性能を調査するために、我々は3つの既存手法（Sliding Screen [KYL12], Extendible Cursor [KYL12] および TiltReduction [CLKS15]）と ExCursor）を用いて比較実験を行った。これらの手法は、縦向きおよび横向きのスマートフォンを片手操作する際に、把持姿勢を変えずに画面全体の操作が可能な手法から選択した。実験端末は、実験1と同様に、iPhone 8Plus（158.4mm × 78.1 mm × 7.5 mm ; 6.5 inch）である。

5.1 実験参加者

我々は、大学内の学生から実験1に参加していない16人の実験参加者を募った。参加者は13人が男性であり、3人が女性であった。年齢は18歳から24歳（ $M = 20.9$, $SD = 1.61$ ）であり、すべての参加者が右利きであった。手の長さ（手首から中指の先まで）は、16.4 cm から 22.4 cm（ $M = 19.0$, $SD = 1.5$ ）であり、親指の長さは5.0 cm から 7.6 cm（ $M = 6.4$, $SD = 0.7$ ）であった。全ての参加者は日常的にスマートフォンを使用していた。我々は全ての参加者に対して、謝金として1640円を支払った。

5.2 実験タスク

参加者にはタスクとしてターゲット選択を行ってもらった。我々は実験端末の画面を、各セルのサイズが約0.7 cmとなるように、 10×18 のセルに分割した。我々は、Chang ら [CLKS15] の実験にて用いられたセルのサイズと同じになるようにセルのサイズを設定した。ターゲットは、全てのセルの中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る（図5.1）。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1試行である）。1セッションは36試行であり、1タスクとして、参加者には縦向きおよび横向きの双方にてそれぞれ5セッション（計180試行 = 36試行 × 5セッション）ずつ行ってもらった。5セッションの中で全てのセルが一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、以下の内容をタスク中に守るように依頼した。

- 実験端末を利き手に把持すること。
- 片手のみを用いて操作すること。

- 肘を浮かせて操作すること。
- 把持姿勢を変えないこと。
- 可能な限り速く正確にターゲットの選択を行うこと。

また、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、手法を使用して選択、手法を使用せずに選択のどちらでも良いと伝えた。

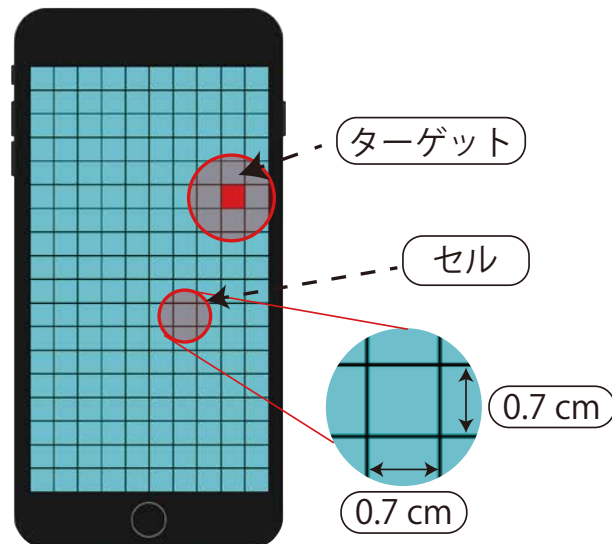


図 5.1: 実験 2 の時の実験端末の画面。各セルのサイズが $0.7\text{ cm} \times 0.7\text{ cm}$ となるように 10×18 のセルに分割した。ターゲットとなったセルは赤くハイライトされる。

5.3 実験に用いた手法

実験にて用いた、ExCursor (ExC) を除く 3 手法を概説する。我々は、これらの手法を以下の条件を満たすものの中から選択した。

- 起動トリガの実行が縦向きおよび横向きのスマートフォンにて可能である。
- スマートフォンの大きさ、手の大きさによらず把持姿勢を変えずに片手操作が可能である (Reachability [20114] のように固定量画面を移動させるものは除外した)。
- 通常のタッチ操作と共存している (MagStick [RHL08] や Gaze and Touch [PG16] は常時動作させる手法であるため除外した)。

また、今回の実験はターゲット選択タスクであるため、タップを行うために必要な操作が少ないものを選択した。例えば、ExtendedThumb [LZ14] はタップを行うために毎回二段階 (ポインタの移動, タッチジェスチャの実行) の操作が必要であり、ExtendibleCursor [KYL12] に比べて操作が多い。以下に、実験に用いた手法を示す。

Sliding Screen [KYL12] Sliding Screen (SS) は、起動トリガとしてベゼルスワイプを用いており、ユーザはベゼルスワイプを行った後、指を画面から離さずに続けて指をスライドすることによって、指の移動に対して逆方向に表示全体を移動させることができる。ユーザは、表示を移動させることによってターゲットを親指の届く範囲に移動させ、親指にてターゲットをタップすることによってターゲット選択を行う。

Extendible Cursor [KYL12] Extendible Cursor (EC) は、起動トリガとしてベゼルスワイプを用いており、ユーザはベゼルスワイプを行った後、指を画面から離さずに続けて指をスライドすることによって、指の移動と同じ方向にカーソルを移動させることができる。カーソル操作モード中に指を画面から離すと、カーソルの位置にタップイベントが発生する。ユーザはカーソルをターゲットの位置に移動させてから親指を画面から離しターゲット選択を行う。

TiltReduction [CLKS15] TiltReduction (TR) は、起動トリガとして端末の傾きを用いている。端末が35度以上傾くと、表示全体が事前に設定した範囲に縮小される。端末の傾きが35度未満になると、表示は元の大きさに戻る。ユーザは、端末を傾けて表示を縮小し親指にてターゲットをタップすることによってターゲット選択を行う。なお、Changら [CLKS15] は横向きのスマートフォンに提案手法を用いることについては言及していない。そのため、我々は比較を行うために横向きにおいても使用できるように TiltReduction を、横向きの時にも同様に端末の傾きが35度未満になると事前に設定した範囲に縮小されるように拡張した。

5.4 実験手順

実験に使用した実験同意書、ビデオ画像の公開についての承諾書・承諾変更書、実験前アンケート用紙、実験後アンケート用紙、および実験手順書を付録 A.1 – A.3, A.6 – A.7 に示す。はじめに、参加者に対して研究の概要、実験の目的、および個人情報の保護について等の説明を行った。また、実験中いつでも実験を中断できることを説明した。続いて、実験前アンケートに回答するように指示した。このアンケートにおいては、利き手と普段スマートフォンを操作する手、普段使用しているスマートフォンの機種、横向きのスマートフォンの片手操作に関する調査などについて回答してもらった。次に、実験手順書を用いて参加者に対して実験の説明を行った。実験の説明後、最初に用いる手法の説明を行い、その手法について理解するために参加者は最大5分間の練習を行った。参加者は、この練習時間中に ExC, EC においてはカーソルの CD 比, SS においては表示の移動の CD 比, TR においては縮小後の表示の場所と大きさを決定した。なお、それぞれ把持姿勢を変更することなく全てのターゲットが選択可能となるように決定してもらった。練習後、縦向き、もしくは横向きのスマートフォンを利き手にて把持しタスクを行った。一方の向きにて5回のセッションを終えた後、もう一方の向きにて5回のセッションを行う。両方の向きにて全てのセッションを終えた後、その手法について、日本語に翻訳した System Usability Scale (SUS) [Bro96] を用いたアンケートと自由記述のアンケートを行った。順序効果を打ち消すために、用いる手法の順はラテン方格法を用いて決定した。また参加者を2群に分け、一方は縦向き、もう一方は横向きのセッションから行った。参加者には、タスクを行っている間は常に着席して

いるように指示し、各セッションを終えた後、我々は1分間の休憩を設けた。実験には、平均して98分かかった。

5.5 実験結果

独立変数は、**METHOD** (*ExC*, *SS*, *EC*, *TR*)、**ORIENTATION** (縦向き, 横向き) であり、従属変数は、ターゲット選択にかかった時間 (*TIME* [秒])、1セッション毎のエラー率 (*ERROR* [%])、ユーザビリティの指標である *SUS* の得点 (*SCORE*) である。*TIME* および *ERROR* の分析には、反復測定2元配置分散分析を用いており、事後検定にはテューキーのHSD検定を用いた。*SCORE* の分析には、反復測定1元配置分散分析を用いており、事後検定にはテューキーのHSD検定を用いた。検定に用いた有意水準は全て5%である。

まず、*TIME* に関する結果を述べる。**METHOD** には、*TIME* に対して有意な主効果が存在した ($F_{3,23040} = 29.88, p < .001$) (図 5.2)。事後多重比較として行ったテューキーのHSD検定によると、*SS* と *EC* 間 ($p = .697$) を除く全ての手法間に有意な差が存在した (全て $p < .001$)。**ORIENTATION** にも同様に *TIME* に対して有意な主効果が存在した ($F_{1,23040} = 18.63, p < .001$) (図 5.2)。参加者は、縦向きの時 (1.43 秒) に、横向きの時 (1.75 秒) と比べて有意に速くターゲット選択が可能であった。ただし、**METHOD** × **ORIENTATION** の有意な交互作用も存在した ($F_{3,23040} = 11.81, p < .001$) (図 5.2, 図 5.3)。事後多重比較として行ったテューキーのHSD検定によると、**METHOD** に対しては全ての手法にて縦向きが横向きに比べて有意に *TIME* が短くなった (全て $p < .001$) (図 5.3)。これは予想された結果であり、参加者は、親指の届かない範囲が大きい横向きの片手操作の時により時間がかかった。**ORIENTATION** に対しては、縦向きの時には *SS* と *EC* ($p = .91$) を除く全ての手法間に有意差が存在した (*TR* と *SS* 間: $p < .01$, *ExC* と *EC* 間, *TR* と *EC* 間, *SS* と *ExC* 間, *TR* と *ExC* 間: $p < .001$) (図 5.2)。一方、横向きの時には、*ExC* と *EC* 間, *SS* と *ExC* 間, *TR* と *ExC* 間に有意差が存在した (全て $p < .001$)。

ERROR に関する結果を述べる。**METHOD** には *ERROR* に対して有意な主効果が存在した ($F_{3,640} = 42.81, p < .001$) (図 5.4)。事後多重比較として行ったテューキーのHSD検定によると、*SS* と *EC* 間を除く全ての手法間に有意な差が存在した (*ExC* と *EC* 間: $p < .05$, その他: $p < .001$)。**ORIENTATION** にも同様に *ERROR* に対して有意な主効果が存在した ($F_{1,640} = 13.46, p < .01$) (図 5.4)。縦向きの時 (7.8%) は、横向きの時 (10.4%) と比べて有意に *ERROR* が低くなった。ただし、**METHOD** × **ORIENTATION** の有意な交互作用も存在した ($F_{3,640} = 8.835, p < .001$) (図 5.4, 図 5.5)。事後多重比較として行ったテューキーのHSD検定によると、**METHOD** に対しては *TR* の時に縦向きが横向きに比べて有意に *ERROR* が低くなった ($p < .001$)。一方 **ORIENTATION** に対しては、縦向きの時、*TR* と *EC* 間, *TR* と *ExC* 間, *TR* と *SS* 間, *SS* と *ExC* 間に有意な差が存在した (*SS* と *ExC*: $p < .01$, その他: $p < .001$)。横向きの時にも、縦向きの時と同様に *TR* と *EC* 間, *TR* と *ExC* 間, *TR* と *SS* 間, *SS* と *ExC* 間に有意な差が存在した (全て $p < .001$)。

SCORE に関する結果を述べる。**METHOD** 毎の *SCORE* を図 5.6 に示す。*SCORE* には有意差が存在した ($F_{3,64} = 17.87, p < .001$)。テューキーのHSD検定によると、*ExC* と他の3手法の間に有意差が存在した (*ExC* と *TR* 間: $p < .01$, その他: $p < .001$)。

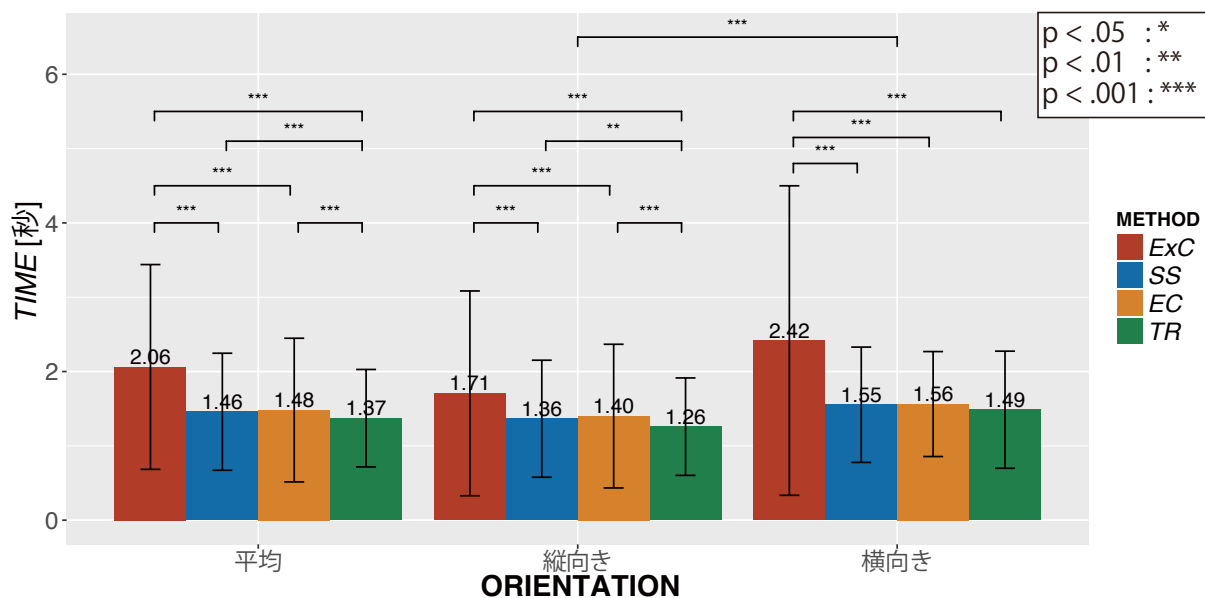


図 5.2: **ORIENTATION** 毎にグループ分けした **METHOD** 毎の *TIME*. それぞれに有意な主効果が存在した. ただし有意な交互作用も存在した. エラーバーは標準偏差を表している.

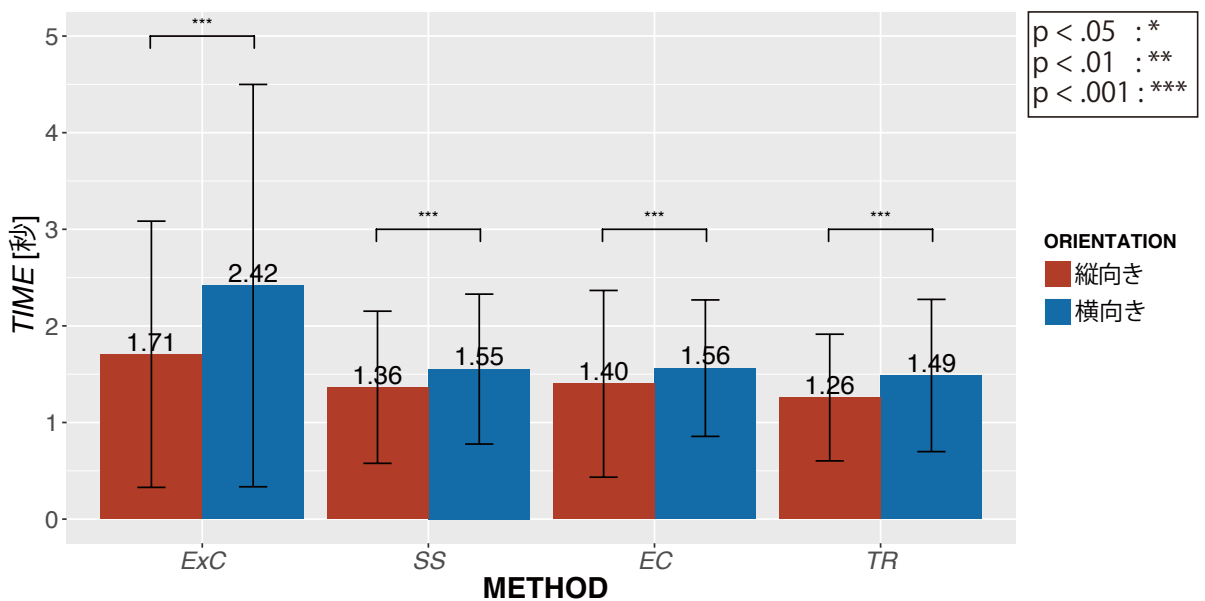


図 5.3: **METHOD** 毎にグループ分けした **ORIENTATION** 毎の *TIME*. 全ての手法において, 縦向きの時は横向きの時と比べて *TIME* が短かった. エラーバーは標準偏差を表している.

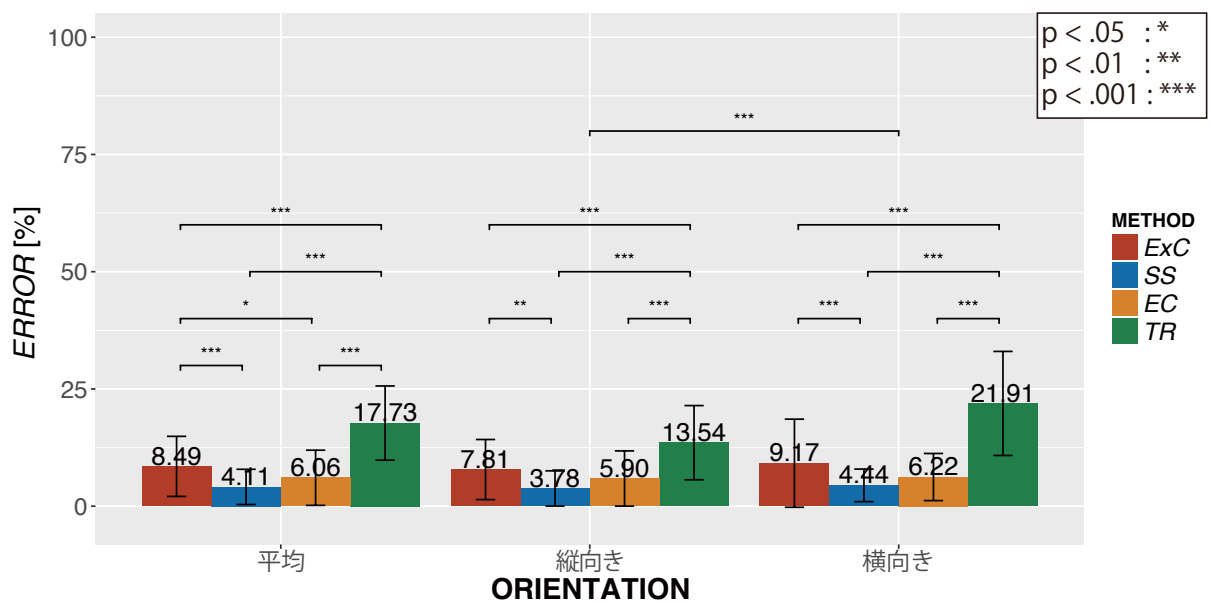


図 5.4: **ORIENTATION** 毎にグループ分けした **METHOD** 毎の **ERROR**. それぞれに有意な主効果が存在した. ただし有意な交互作用も存在した. エラーバーは標準偏差を表している.

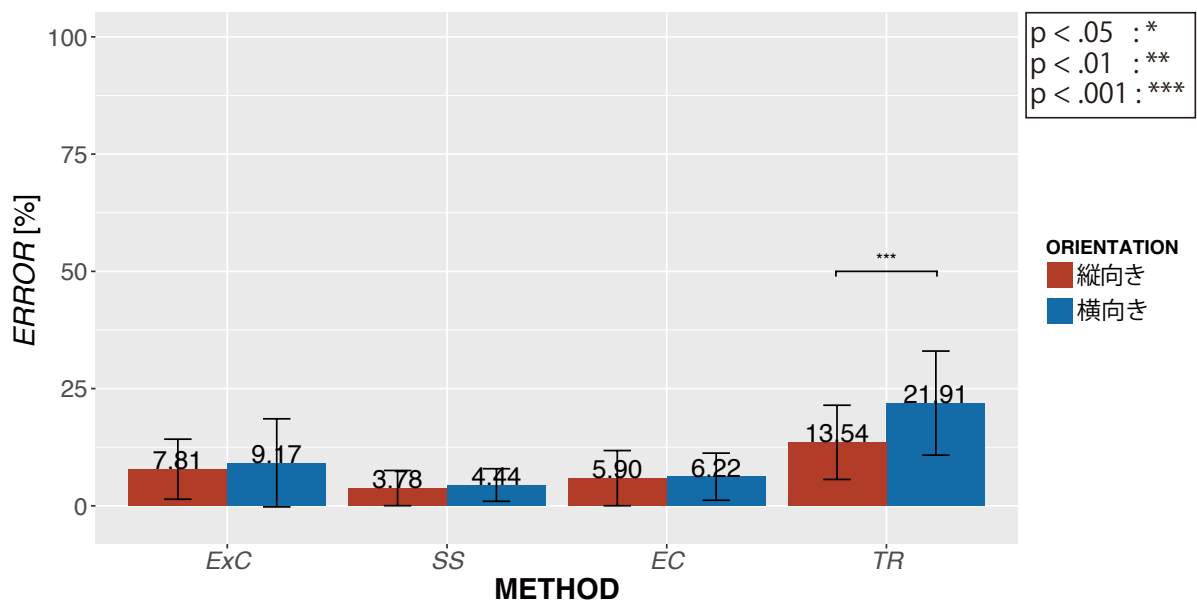


図 5.5: **METHOD** 毎にグループ分けした **ORIENTATION** 毎の **ERROR**. **TR** のみが縦向きと横向きの間有意差が存在した. エラーバーは標準偏差を表している.

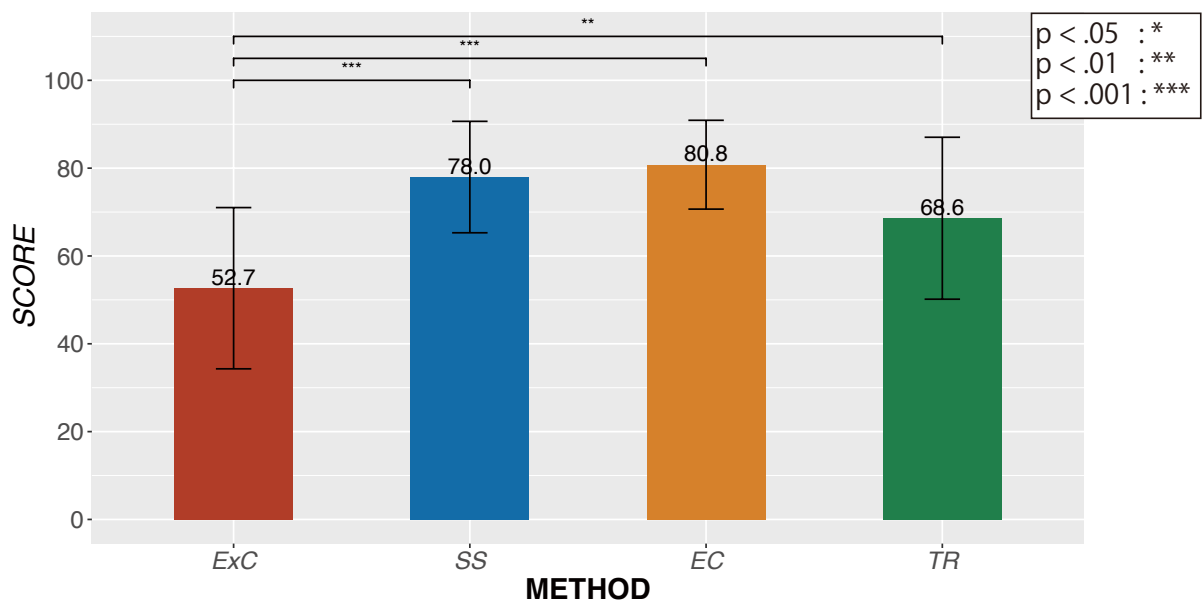


図 5.6: **METHOD** 毎の **SCORE**. *ExC* と他の 3 手法間に有意差が存在した。エラーバーは標準偏差を表している。

5.6 議論

TR は、縦向きおよび横向きのどちらにおいても 4 つの手法の中で最も速くターゲットの選択が可能であったが、エラー率も最も高かった。*TR* は表示が縮小される手法であり、表示を縮小させたまま連続して操作が可能であるためターゲット選択にかかった時間が短かったのだと考えられる。しかし表示が縮小されるため、ターゲットが小さくなり *Fat Finger* 問題が発生してエラー率も高くなった。特に横向きにおいては、参加者は片手操作のために縮小率を高くする必要がありエラー率が高くなった (21.9%)。また参加者は *TR* の手法に対して、意図せず表示が縮小されることが何度かあったことを報告している。*TR* は傾きを起動トリガとしているため参加者が普段から端末を傾けて使用している場合、誤起動する可能性がある。

ExC は、*TIME* が最も長く、また *ERROR* も *TR* に次いで 2 番目に高かった。さらに *SCORE* も最も低かった。これは、*ExC* においては参加者はカーソルの移動が困難であったことが原因であると考えられる。全ての参加者は、*ExC* に対してラージタッチを行った状態にて指をスライドすることが難しかったと述べており、カーソルの移動が困難であったことがわかる。実験 1 と実験 2 では、ターゲットサイズが異なるため単純に比較することはできないのだが、実験 1 の時のタップにかかった時間 (1.31 秒) に対して、実験 2 の時のターゲット選択にかかった時間 (2.06 秒) は 1.57 倍となっている。実験 1 では限られた狭い範囲内のみにてカーソルを動かしていたが、実験 2 では画面全体にカーソルを動かす必要がある。このため、カーソルの移動に時間がかかりタップにかかった時間に差ができたのだと考えられる。*EC* もカーソルを用いた手法であるが、*TIME*, *ERROR*, *SCORE* の全てにおいて *ExC* に比べて有意に優れていた。*EC* は、ベゼルスワイプによ

てカーソル操作に切り替わる手法であり、タッチ面積が小さなタッチにてカーソルを操作することが可能である。そのため、ExCにおいても起動トリガをベゼルスワイプに変更することや、カーソルの操作をタッチ面積によらず行えるようにすることで性能が向上する可能性がある。なお、多くの参加者がラージタッチ中に押下圧を高めた時にカーソルが意図せず移動してしまい、ターゲットの選択ができないことがあったと述べていたことから、カーソルの操作をタッチ面積によらず行えるようにすることが必要であると考えられる。

実験1と実験2では、ExCのSUSの得点は大きく異なる結果となった。この要因として実験1では、ドラッグタスク以外のタスクにおいてターゲットが限られた狭い範囲から選択されていたため、カーソルを大きく移動させる機会が少なかったことが原因であると考えられる。実験2では、画面全体のうちランダムな位置にターゲットが表示されるため実験1と比べてターゲットまでの移動距離が長い。参加者は、前述のようにExCを用いた際のラージタッチを行った状態にて指をスライドすることが困難であったと報告しており、長い距離を移動させる機会が多かった実験2のSUSの得点が低くなったと考えられる。

第6章 議論と今後の課題

本章にて、ExCursorに関する議論および今後の課題を述べる。

6.1 ExCursorの改善

今回行った2つの実験の結果から、現在のExCursorにおいてはカーソルの移動が困難であることがわかった。実験1においては、参加者は長い距離のカーソル移動が必要なドラッグタスクに長い時間がかかり、またエラーも多かった。また実験2のタスクにおいては実験1と比べて参加者は長い距離のカーソル移動が必要であり、その結果SUSの得点が実験1と比べて低くなっている。ExCursorにおいては、ラージタッチを行っている間カーソル操作に切り替わる。しかしラージタッチを行った状態にて指をスライドすることは摩擦力が大きくなり指が滑りにくいため困難であった。そのため、タッチ面積によらずカーソルの操作ができるように改善する必要がある。例えばラージタッチを起動トリガとした場合、親指が画面から離れるまでタッチ面積によらずカーソル操作が継続されるようにするという仕様変更が考えられる。

6.2 押下圧の識別を用いた入力語彙の拡張可能性

ExCursorは、イベントトリガとして押下圧を用いている。現在の設計においては押下圧が強い状態と弱い状態の2状態の識別のみを用いているが、識別する状態を増やすことによってカーソルを用いた入力の語彙を拡張できる可能性がある。Wilsonら[WSB10]は、フィードバックを与えることによってユーザが最大10段階の押下圧を正確に区別することが可能であることを報告しており、ExCursorにおいても識別する押下圧の状態数を増やすことができると考えられる。例えば、片手操作時には複数の指を用いて行うタッチジェスチャ（マルチタッチジェスチャ）の実行が困難である。マルチタッチジェスチャは、例えば、画像や地図の一部分を拡大縮小する時や、回転させる時に行う。ExCursorにて識別する状態を増やすことによって、これらのマルチタッチジェスチャにて行う操作をカーソルを用いて代替できる可能性がある。

6.3 年齢による影響

今回行った2つの実験においては、参加者は18歳から22歳であり全員が大学生であった。ExCursorのより一般的な性能を評価するため、より年齢の低いユーザや高いユーザがExCursorを用いた時の性能を調査する必要がある。特にExCursorはイベントトリガとして押下圧を用いている

が、Kinoshita ら [KF96] によると高齢者には押下圧を用いた操作が困難であるため、高齢者を含む幅広い年齢層の参加者を募る必要がある。

6.4 ジェスチャ入力可能なカーソルの利用可能性

提案手法は大型スマートフォンのための片手操作手法であるが、ジェスチャ入力が可能なカーソルは以下の用途に利用できる可能性がある。そのため、今後の課題としてこれらの応用可能性について調査を行う必要がある。

6.4.1 ジェスチャキーボード

ジェスチャキーボード [KZ04] はタッチ端末にて高速に文字の入力が可能な手法である。この手法では、ユーザは1文字ずつキーをタップする代わりに入力する単語の綴り順にキーを指にてなぞり文字入力を行う。ただし、片手操作時にこの手法を用いて高速に文字を入力するためにはキーボード全体に指が届く必要がある。しかし大画面スマートフォンにおいては、スマートフォンの把持した反対側は指が届かないことがわかっている [BLO14]。提案手法は、カーソルを用いたジェスチャ入力が可能であるためカーソルを用いてジェスチャキーボードの入力が可能である。そのため提案手法を組み合わせることによって、大画面スマートフォンや、より大きな画面を持つタブレット端末の片手操作時にもジェスチャキーボードを用いることが可能となる。

6.4.2 ウェアラブル端末の操作拡張

近年、スマートウォッチやスマートグラスといったウェアラブル端末が普及している。提案手法において、カーソルをスマートフォンの画面のみに留まらず、スマートグラスの画面上やスマートウォッチの画面上にまで移動可能にすることによってこれらのウェアラブル端末に対する入力端末としてスマートフォンを用いることができる。これによりユーザはカーソルを用いて、スマートウォッチやスマートグラスに対するシングルタッチジェスチャの実行が可能となる。カーソルを用いることによって、スマートウォッチではオクルージョンや Fat Finger 問題を避けることが可能であり、スマートグラスにおいてはタッチジェスチャを入力に用いることが可能となるため入力語彙が拡張される。

第7章 結論

本論文において、押下圧を用いた片手操作手法を提案した。提案手法を実現するために、iOS 上にて動作するプロトタイプシステムを実装した。実装した手法は、タッチ面積の大きなタッチを行っている間カーソル操作に切り替わる。また、ユーザは押下圧を事前に決定した閾値以上に高めることによって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ることによってタッチアップイベントをカーソルの位置に発生させる。押下圧を用いて、タッチダウンとタッチアップイベントを分けて入力することが可能であるためカーソルを用いたスワイプやドラッグ、ダブルタップなどのシングルタッチジェスチャの実行が可能となる。また、提案手法にてカーソルを用いたシングルタッチジェスチャの実行実験および既存の片手操作手法と比較するための比較実験を行った。その結果、提案手法はスワイプおよびドラッグを行った際の精度が低く、かつ既存の片手操作手法に比べてターゲットの選択に時間がかかった。また、実験の結果およびユーザの意見から、タッチ面積の大きなタッチを行いながら指をスライドすることが困難であるということがわかった。そのため、今後は ExCursor におけるカーソルの移動方法を検討し提案手法を改善する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり，志築文太郎先生，高橋伸先生には多くのご意見とご指導を頂きました。心から感謝いたします。特に志築文太郎先生には，研究の進め方，論文執筆をはじめとして研究に関することを基礎からご指導いただきました。また，研究に関する相談にも乗っていただき，多くのご助言を頂きました。重ねて感謝いたします。

インタラクティブプログラミング研究室の同期，先輩方には様々な面において多くのご助言を頂きました。特に WAVE チームの皆様にはチームゼミにおけるご意見だけでなく，研究室にて相談に乗っていただき多くのご意見，アドバイスを頂きました。深く感謝いたします。

また，研究生生活に限らず，多くの面において支えて頂いた友人，大学生活にてお世話になった皆様に感謝申し上げます。最後に，私を育て，様々な面において大学生活を支えてくださった両親に深く感謝いたします。

参考文献

- [20114] Apple Inc. 2014. Reachability - iPhone User Guide, 2014. <https://help.apple.com/iphone/11/?lang=en#/iph66e10a71c> (2019年1月25日閲覧) .
- [20118a] Apple Inc. 2018. 3D Touch - iOS - Apple Developer, 2018. <https://developer.apple.com/ios/3d-touch/> (2019年1月25日閲覧) .
- [20118b] Apple Inc. 2018. Force Touch - Apple Developer, 2018. <https://developer.apple.com/macos/force-touch/> (2019年1月25日閲覧) .
- [20118c] Apple Inc. 2018. UITouch-UIKit — Apple Developer Documentation, 2018. <https://developer.apple.com/documentation/uikit/uitouch> (2019年1月25日閲覧) .
- [20118d] Samsung Inc. 2018. Galaxy Smartphone - One handed mode - Samsung Australia, 2018. <https://www.samsung.com/au/getstarted/advanced/one-handed-mode/> (2019年1月25日閲覧) .
- [BH09] 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.
- [BKM09] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J. Usability Studies*, Vol. 4, No. 3, pp. 114–123, May 2009. Usability Professionals' Association.
- [BLO14] 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.
- [Bro96] John Brooke. SUS : A Quick and Dirty Usability Scale. *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194, 1996. Taylor and Francis.
- [Bro13] John Brooke. SUS: A Retrospective. *Journal of Usability Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 29–40, 2013. Usability Professionals' Association.

- [CDVB17] 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.
- [CLKS15] 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.
- [CVLB18] 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.
- [HBH16] Shiori Hidaka, Tetsuaki Baba, and Paul Haimes. IndexAccess: 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.
- [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.
- [KB07] Amy K. Karlson and Benjamin B. Bederson. ThumbSpace: 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.
- [KF96] 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.
- [KYL12] 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.

- [KZ04] Per-Ola Kristensson and Shumin Zhai. SHARK²: A Large Vocabulary Shorthand Writing System for Pen-based Computers. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '04, pp. 43–52, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [LBKH16] 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.
- [LFK16] 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.
- [LKB⁺18] 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.
- [LMBH18] 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.
- [LZ14] Jianwei Lai and Dongsong Zhang. ExtendedThumb: A Motion-Based Virtual Thumb for Improving One-handed Target Acquisition on Touch-screen Mobile Devices. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstract '14*, CHI EA '14, pp. 1825–1830, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [LZ15] 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.
- [MMIS09] 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.
- [MR09] 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.

- [NBW14] 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.
- [PG16] Ken Pfeuffer and Hans Gellersen. Gaze and Touch Interaction on Tablets. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, pp. 301–311, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [RGIS09] 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.
- [RHL08] Anne Roudaut, Stéphane Huot, and Eric Lecolinet. TapTap 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.
- [RT09] 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.
- [Seba12] 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.
- [SRC05] 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.
- [SSSO18] 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.
- [THH⁺16] 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 Interactional Conference on Human-*

Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '16, pp. 651–658, New York, NY, USA, 2016. ACM.

- [TLA⁺17] 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.
- [WSB10] Graham Wilson, Craig Stewart, and Stephen A. Brewster. Pressure-based Menu Selection for Mobile Devices. In *Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '10, pp. 181–190, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [YHHH13] 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.
- [YLP⁺17] 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.
- [ZYW⁺18] 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.
- [大西 14] 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. 日本ソフトウェア科学会, 2014.
- [土佐 13] 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. 情報処理学会, 2013.

著者論文リスト

参考論文

本論文の主内容は，下記にて公表済みである．

- 公表済み査読付き論文

1. 八箇 恭平, 志築 文太郎, 高橋 伸. 大画面スマートフォンの片手操作を可能にする押下圧およびタッチ面積を用いたカーソル. 第26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, WISS2018, 日本ソフトウェア科学会, 2018年9月, 2 pages.

- 公表済み査読無し論文

1. 八箇 恭平, 志築 文太郎. 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. 情報処理学会研究報告, Vol.2018-HCI-180, 情報処理学会, 2018年12月, 8 pages.

付録A 実験の際に用いた各種書類

実験の際に使用した，実験同意書，ビデオ画像の公開についての承諾書・承諾変更書，実験前アンケート用紙，実験後アンケート用紙，および実験手順書を以下に示す．なお，実験同意書，ビデオ画像の公開についての承諾書・承諾変更書，および実験前アンケート用紙は実験1と実験2にて共通である．

A.1 実験同意書

同 意 書

筑波大学システム情報系長 殿

私は、「課題名：タッチパネル搭載端末に対する操作手法の評価」について、研究概要、方法、研究対象者の必要性、研究対象者に対するリスクと安全性、研究に参加する上で想定される危険の回避、ビデオ録画を含めた個人情報の保護について十分な説明を受けました。

説明の際、本研究に協力することに同意しなくても何ら不利益を受けないこと、さらに、同意後も私自身の自由意思により不利益を受けず、参加の同意を撤回できることも理解しました。また、研究や実験の終了後であっても、枠下に指定の期日迄であれば、データ提供の同意を撤回できることも理解しました。私は、このことを理解した上で研究対象者になることに同意します。

平成 年 月 日

氏 名 _____ (署名)

「課題名：タッチパネル搭載端末に対する操作手法の評価」の研究について、次の内容について平成 年 月 日に説明を行い、上記のとおり同意を得ました。

実施責任者 所 属 _____ 情報学群 情報科学類

氏 名 _____ (署名又記名押印)

データ提供の同意撤回の期限は同意書署名の日から30日後までとさせていただきます。

研究や実験に協力した結果、不都合があった場合の連絡先

実施分担者 (所属：情報学群 情報科学類 氏名：八箇 恭平 TEL：029-853-5165)

(実施分担者が学生の場合、研究室の電話番号を記入してください。)

実施責任者 (所属：筑波大学 システム情報系 氏名：志築文太郎 TEL：029-853-5520)

筑波大学 システム情報系 研究倫理委員会 事務局

(システム情報エリア支援室 TEL：029-853-4989)

(裏面)

① 研究の概要について

私たちはスマートフォンやタブレット端末などのタッチパネルを搭載した端末に対する操作手法を開発し、その手法の性能や使用感の調査を行っています。操作手法は、タッチ、スワイプまたはドラッグといったジェスチャ入力を応用することによって、タッチパネル搭載端末の操作性の向上を狙って提案されたものです。

拘束時間

実験の1日当たりの所要時間は、休憩やアンケートの記入も含めて最大120分程度となります。

謝金の対応

実験協力者には、実験へ参加した時間に対する報酬として、筑波大学の謝金規定に基づいた時給(820円)を支払います。報酬の支給方法は口座振り込みまたはアマゾンギフト券等の提供とします。実験を途中で止めた場合も、実験協力者が実験に参加した時間から時給を算出し、支払うこととします。

研究等を行う期間

研究倫理委員会承認後 ～ 2024年 3月31日

② 研究対象者の必要性、研究への参加におけるリスクと安全性、危険回避の方法について

私たちが設計・開発したシステムによってスマートフォンやタブレットへ意図した操作が可能かどうか、そして、その使い勝手はどうかを知る必要があります。そのために、この実験では、設計・開発中のシステムを実験協力者に使用していただき、その後アンケートにご回答頂きます。回答したくない項目に関しては空欄としてください。

本実験の参加は、任意であり、参加に同意しないことによる影響は一切ありません。また、実験協力者が与えたインフォームド・コンセントについて、いつでも不利益を受けることなく撤回することができます。

本実験で用いるタッチパネル端末は、ハードウェア改造を施していない市販品のため、安全上の問題はありません。また、タッチパネル端末は実験開始前に株式会社コーヨー化成製「NB 天然アルコール除菌ウェットタオル」にて拭くことにより除菌し、実験協力者に清潔な状態にて提供します。その他実験に伴う必然的な心身の苦痛及び不快な状態として、長時間の実験による拘束、及びそこから生じる疲労が考えられます。但し、ご協力いただいた時間の対価として謝金を支払い、実験中は十分な休憩を取られるようにして、それぞれ最大限の配慮を致します。

研究成果公表の際、実験協力者から得られたビデオ画像以外のデータは個人を特定できないように加工して使用させていただきます。ビデオ画像に関してはビデオ画像の公開についての承諾書の内容に従います。

研究に関する問い合わせは同意書署名欄下部に記載された連絡先(志築文太郎准教授)までお願いいたします。

③ 個人情報の保護について

- 実験中に、写真やビデオの撮影を行う場合がありますが、これらは実験の様子を記録するために行います。その写真やビデオを発表において利用する場合は、実験協力者の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- 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。
- 学会・論文などでデータを発表する際は、データおよびそれを統計的に処理したものだけを用います。実験参加者を表現するためには、記号・数字を用います。個人を特定できる情報は公表しません。ただし、実験参加者全体については、性別の実験参加者数、年齢の範囲、所属を公表することがあります。
- 実験において得たデータは全て暗号化された状態で論文発表後 10 年間保存されます。暗号化に用いられるパスワードは本研究に関わる研究者のみが知っているものを使用します。なお、さらに安全を期すため、データに個人名が入ることはありません。個人名が記入された書類は研究期間の終了後シュレッダーにて粉碎されます。
- 上記以外のいかなる場合においても実験協力者のプライバシーは保全されます。

A.2 ビデオ画像公開についての承諾書・承諾変更書

ビデオ画像の公開についての
承諾書・承諾変更書 (どちらかに○を付けてください。)

筑波大学システム情報系
(実施責任者) 志築文太郎 殿

私は、「研究課題：タッチパネル搭載端末に対する操作手法の評価」におけるビデオ画像が公開されることについて

(該当する選択肢の□にチェックを付けてください)

- 承諾します。(どちらかにチェックを付けてください。)
- 顔が特定される形式のまま、画像が論文発表、Web への掲載、テレビ放映などで公開されることに異存ありません。
- モザイク処理等をして個人が特定されない形式にした上で、画像が論文発表、Web への掲載、テレビ放映などで公開されることに異存ありません。
- 以下の条件付きで公開を承諾します。
条件：(具体的に記述してください。)
- 承諾しません。

平成__年__月__日 氏名_____

A.3 実験前アンケート用紙

実験に関する事前アンケート

文責：八箇 恭平

1. 年齢，性別，利き手を教えてください。

年齢： 歳 性別： 男・女 利き手： 右・左

2. 親指と手のサイズを測定します。（アンケートの最後に測定するので飛ばしてください）



3. 普段スマートフォンの画面を操作する際に用いる手を教えてください。

右 ・ 左 ・ 両手 ・ その他（ ）

4. 普段使用しているスマートフォンの機種を教えてください。

（例：iPhone8, Xperia XZ1）

機種名 _____.

5. 今までのスマートフォンの利用歴はどのくらいですか？

_____ 年 ヶ月

6. 普段スマートフォンを，横向きで使用する機会がありますか？ はい・いいえ

7. （6. で，「はい」と答えた方）どのような時に横向きで使用しますか？

_____.

8. 横向きの状態で片手のみを用いた操作がしたいと思ったことがありますか？

はい・いいえ

実験者使用欄

A.4 実験1：実験後アンケート用紙

文責：八箇 恭平

System Usability Scale

1. このシステムをしばしば使いたいと思う
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは不必要なほど複雑であると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは容易に使えると思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使うのに技術専門家のサポートが必要とするかもしれない
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. たいていのユーザは、このシステムの仕様方法について、素早く学べるだろう
(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. 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)

1. カーソルについて、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
感想等

2. 自由記述欄

--

実験は以上になります。ご協力ありがとうございました。

A.5 実験1：実験手順書

実験に関する説明

- スマートフォン上で、カーソルを用いたジェスチャ 入力を行ってまいります。
- 実験は、縦持ち、横持ちのそれぞれで、(1)タップ、(2)ドラッグ、(3)スワイプ、(4)ダブルタップの入力をカーソルで入力してまいります。
- カーソルについて、説明します。



図 1. 使用例

図1のように、スクリーンにタッチした指の接触面積（以降、タッチ面積）が大きい場合にカーソルの操作を行うことができます。クリックは、タッチ面積が大きい状態で画面を強く押下することによって行うことができます（図2）。強く押下し続けると、選択され続けるので、強く押下しながら指を動かすことによるドラッグ、スワイプ、もしくは押下圧の強弱を素早く切り替えることによるダブルタップの入力が可能です。

実験手順

1. 椅子に深く腰掛けて、肘を机から離して片手でスマートフォンを持ってください。
2. はじめに、実験者が指定したジェスチャの練習を行ってください。
3. 練習は、全てのタスクを一通り行います、練習中に CD 比の設定をおこなってください。
4. ジェスチャは**全てカーソルを用いて**入力してください。
5. 練習が終わり、手法の使い方が分かり次第、本番のタスクを行います。
6. タップ、スワイプ、ダブルタップのタスクでは、図2のように赤くなったパネルに対して、ジェスチャを行ってください。タスクは、できる限り早く正確に行ってください。
7. 赤色になるパネルは、水色のパネルのうち一枚が選択されます。
なお、灰色になっているパネルは使用しないパネルとなっています。
8. ドラッグのタスクでは、図3のように A と書かれたパネルから B と書かれたパネルへドラッグアンドドロップを行ってまいります。
9. タスク終了後、手の疲労が取れるまで休憩を取ってください。

10. 実験者が指示した順で、全てのタスクを3セッションずつ行ってもらいます。
11. 縦向きでの実験が終わり次第、同様の手順で横向きの実験を行います。
12. 実験終了後、アンケートに回答してください。

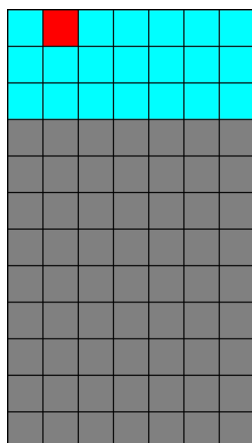


図4.タップ, スワイプ, ダブルタップ
実験中の画面

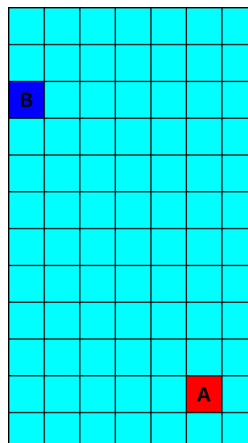


図5. ドラッグ実験中の画面

実験中の注意

- 実験中は椅子に深く腰掛けた状態で、片手のみを用いて肘を浮かせて操作を行ってください。
- タスク中のジェスチャ入力は、全てカーソルを操作して行ってください。
- スマートフォンの持ち替えはしないでください。

A.6 実験2：実験後アンケート用紙

文責：八箇 恭平

System Usability Scale (ExCursor)

1. このシステムをしばしば使いたいと思う
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは不必要なほど複雑であると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは容易に使えると思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使うのに技術専門家のサポートが必要とするかもしれない
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. たいていのユーザは、このシステムの仕様方法について、素早く学べるだろう
(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. 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)

System Usability Scale (Extendible Cursor)

1. このシステムをしばしば使いたいと思う
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは不必要なほど複雑であると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは容易に使えると思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使うのに技術専門家のサポートが必要とするかもしれない
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. たいていのユーザは、このシステムの仕様方法について、素早く学べるだろう
(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. 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)

System Usability Scale (Slide Screen)

1. このシステムをしばしば使いたいと思う
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは不必要なほど複雑であると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは容易に使えると思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使うのに技術専門家のサポートが必要とするかもしれない
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. たいていのユーザは、このシステムの仕様方法について、素早く学べるだろう
(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. 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)

System Usability Scale (Tilt Reduction)

1. このシステムをしばしば使いたいと思う
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは不必要なほど複雑であると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは容易に使えると思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. このシステムを使うのに技術専門家のサポートが必要とするかもしれない
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. たいていのユーザは、このシステムの仕様方法について、素早く学べるだろう
(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. 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)

1. ExCursor 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
感想等

2. 自由記述欄

--

1. Extendible Cursor 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
感想等

2. 自由記述欄

--

1. Slide Screen 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
感想等

2. 自由記述欄

--

1. Tilt Reduction 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
感想等

2. 自由記述欄

--

A.7 実験2：実験手順書

実験に関する説明

- スマートフォン上で、カーソルを用いたジェスチャ 入力を行ってもらいます。
- 実験は、縦持ち、横持ちのそれぞれで、4つの片手操作手法を使用してもらいます。手法は、(1)ExCursor, (2)Extendible Cursor, (3)Slide Screen, (4)Tilt Reduction を用いてもらいます。
- それぞれの手法について簡単な説明を行います。
 - ExCursor

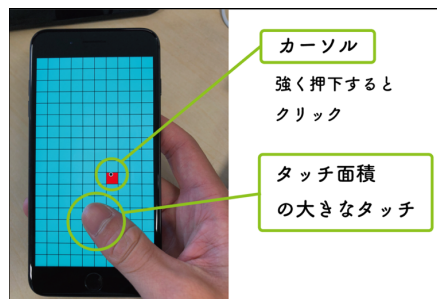


図 1. ExCursor 使用図

図 1 のように、スクリーンにタッチした指の接触面積（以降、タッチ面積）が大きい場合にカーソルの操作を行うことができます。クリックは、タッチ面積が大きい状態で画面を強く押下することによって行うことができます。

- Extendible Cursor

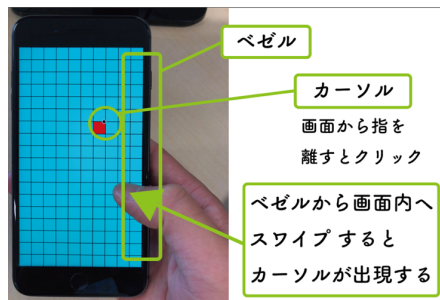


図 2. Extendible Cursor 使用図

Extendible Cursor は、べゼル（スマートフォンの淵）から画面内にスワイプを行うことでカーソルを出現させる手法です。カーソル出現後にドラッグを行うことでカーソルを動かすことができます。カーソル位置への決定は指を画面から離すことによって行います。

➤ Slide Screen

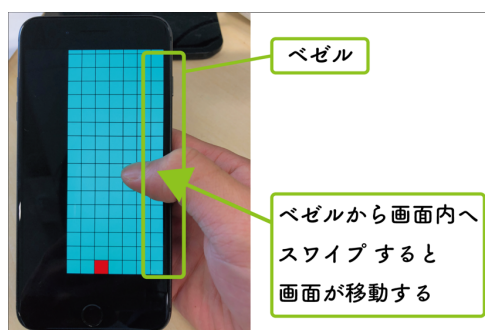


図 3. Slide Screen 使用図

Slide Screen は、べゼル（スマートフォンの淵）から画面内へスワイプを行うことで表示画面を移動させる手法です。スワイプ後にドラッグを行うことで画面を自由に移動させることができます。移動した表示画面は、タップを行うことで元に戻ります。そのため画面を移動し、次にタップを行うまでは、移動した表示画面はそのまま移動後の位置に残ります。

➤ Tilt Reduction



図 4. Tilt Reduction 使用図

Tilt Reduction は、スマートフォンを傾けることによって表示画面を縮小する手法です。縮小した画面はスマートフォンの傾きを元に戻すことによって元の大きさに戻すことが可能です。

実験手順

1. 椅子に深く腰掛けて、肘を机から離して片手でスマートフォンを持ってください。
2. はじめに、実験者が指定した片手操作手法の練習を行ってください。

3. 練習が終わり次第、練習した片手操作手法を用いた本番のセッションを行います。
4. **指を無理に伸ばさないうで届く領域は、直接、それ以外の領域は片手操作手法を用いてタップを行なってください。**
5. タスクでは、図5のように赤くなったパネルに対して、タップを行ってください。タスクは、**できる限り早く正確**に行ってください。
6. 赤色になるパネルは、水色のパネルのうち一枚が選択されます。
7. タスク終了後、手の疲労が取れるまで休憩を取ってください。
8. 実験者が指示した順で、全てのタスクを3セッションずつ行ってもらいます。
9. 縦向きでの実験が終わり次第、同様の手順で横向きの実験を行います。
10. 横向き終了後、アンケートに回答してください。
11. 全ての手法について同様のタスクを行なった後、実験は終了となります。

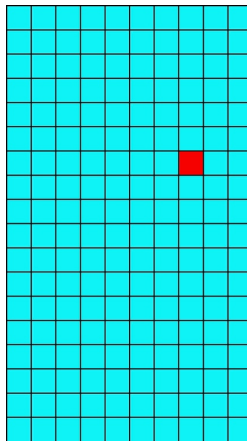


図5. 実験中の画面

実験中の注意

- 実験中は椅子に深く腰掛けた状態で、**片手のみ**を用いて**肘を浮かせて**操作を行ってください。
- スマートフォンの持ち替えはしないでください。