

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

携帯端末背面における空中ジェスチャを用いた
ポインティング手法

阿達 拓也

指導教員 志築 文太郎 田中 二郎

2016年1月

概要

スマートフォン等の携帯情報端末において、画面内のターゲットの選択はタッチにより行われる。しかしタッチによる選択ではオクルージョン（ユーザの指により画面上のオブジェクトが隠れている状態）が発生するため、タッチするアイコンは大きくなければならない。そこで、私は携帯情報端末の背面空間において手を動かすことによるポインティング手法を示す。提案手法により、ユーザは小さなターゲットを選択することが容易になる。加えて、GUIの設計者はより小さなターゲットを設計することが可能となる。また、提案手法およびタッチのポインティング時間、精度および作業負荷を評価する実験を行った。結果、提案手法はエラー率が低く、タッチによる選択が困難なターゲットサイズにおいても提案手法は選択することが可能であった。よって、提案手法はタッチより高い精度にてポインティングを行えることが分かった。

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	2
1.4	本論文の構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	携帯端末におけるカメラを用いた操作手法	3
2.2	Web カメラを用いてポインティングを行う研究	3
2.3	大型ディスプレイに対する空中ポインティング	4
2.4	タッチジェスチャによる小さなターゲットの選択手法	4
第3章	提案手法	5
3.1	FistPointer	5
3.2	FistPointer の特徴	5
3.3	適用例	5
3.4	実験用アプリケーション	6
3.4.1	FistPointer の操作準備	6
3.4.2	FistPointer におけるターゲット拡大機能	7
第4章	実装	9
4.1	手の検出	9
4.2	ポインタの座標の決定	9
4.3	クリックの判定	12
第5章	実験	14
5.1	被験者	14
5.2	実験機器	14
5.3	NASA-TLX	14
5.4	比較する手法	17
5.5	実験手順	17
5.6	結果	19
5.7	考察	22

第 6 章	議論	26
6.1	さらなる精度の向上	26
6.2	腕の疲れ	26
6.3	ノイズ除去	26
第 7 章	まとめと今後の課題	27
	謝辞	28
	参考文献	29
付 録 A	評価実験に用いた書類	32
A.1	FistPointer の性能評価	33
A.1.1	同意書	33
A.1.2	事前アンケート	34
A.1.3	実験手順書	35
A.1.4	アンケート	38
付 録 B	アンケート結果	39

図目次

1.1	提案手法を用いた Web ブラウザの操作イメージ	2
3.1	本手法に用いられる手の姿勢	6
3.2	準備画面	7
3.3	評価実験におけるタスク画面	7
3.4	拡大されたセルの大きさ	8
4.1	肌の検出	10
4.2	手に対するポインタの位置	10
4.3	y 座標 i における回帰直線（赤線）	11
4.4	検出した手の形状，幅および回帰直線の傾きの大きさ	12
4.5	カメラプレビューと操作領域間のポインタの位置関係	13
4.6	親指の高さと手の幅	13
5.1	NASA-TLX の各要求の評価画面	16
5.2	NASA-TLX における一対比較の画面	17
5.3	実験の様子	18
5.4	ターゲットのサイズ条件	19
5.5	ポインティング時間	20
5.6	エラー率	21
5.7	ターゲット中心に対するタッチのポインティング位置の分布	22
5.8	ターゲット中心に対する FistPointer のポインティング位置の分布	23
5.9	作業負荷（WWL）	24
5.10	各項目の評価値	25

第1章 序論

本章において、ユーザの指により画面上のオブジェクトが隠れている状態（オクルージョン）の問題を述べる．次に本研究の目的を述べ、問題解決のためのアプローチを示す．その後、本研究の貢献を示す．最後に、本論文の構成を述べる．

また、本論文ではディスプレイ上の任意の座標を指し示すことを「ポインティング」と定義し、ポインティングを行う手段を「ポインティング手法」と定義した．

1.1 背景

オクルージョンの問題

スマートフォン等の携帯端末の操作には主にタッチが用いられている．タッチによる操作は、オクルージョンが発生するため、ユーザが小さなターゲットを正確に選択することは困難である [SRC05]. Google[Incc] は、タッチするターゲットの幅および高さを 48 dp 以上とし、かつターゲット間に 8 dp 以上の間隔を設けるべきであるとしている¹．同様に Apple[Inca] および Microsoft[Cor] も、タッチするターゲットの推奨サイズを定めている．よって、GUI の設計者は推奨サイズより小さなターゲットを設計することができない．

1.2 目的とアプローチ

本研究は、携帯端末におけるオクルージョンの問題を解決することにより、正確なポインティングを可能にすることを目的とする．そのための手段として、端末の背面空間を操作領域として利用する手法を考案した．本手法を用いるユーザは、図 1.1 に示すように、端末の背面の空間において手を動かすことによりポインティングを行う．端末の背面の空間を利用することにより、操作領域を拡張できるとともにオクルージョンの問題を回避することができる．本手法により、ユーザはより正確なポインティングを行うことができ、また、GUI の設計者は現在タッチで推奨されている最低のターゲットサイズより小さなターゲットを組み込んだレイアウトを設計できる．

¹dp(density-independent pixels) とは密度非依存ピクセルのことである．端末によって異なるが、48dp は物理サイズにおいておよそ 9mm となる．

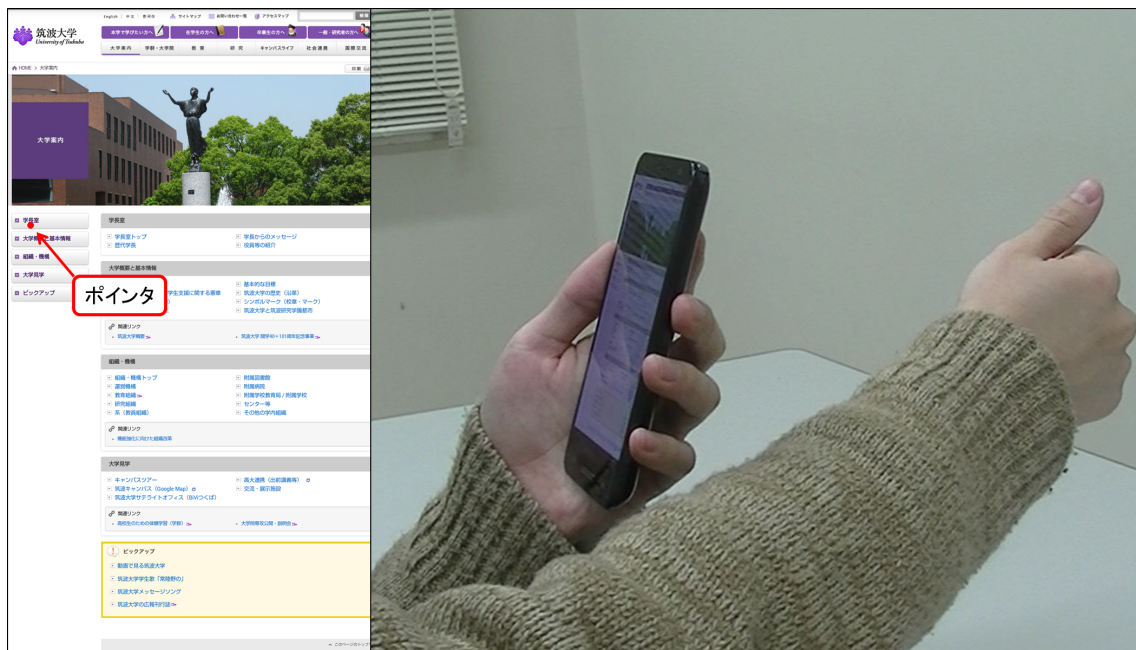


図 1.1: 提案手法を用いた Web ブラウザの操作イメージ

1.3 貢献

本研究の貢献を以下に記す.

- 携帯端末において空中における手の動きに基づくポインティング手法として **FistPointer** の設計および実装を行った.
- タッチおよび提案手法によるターゲット選択の速度, エラー率および作業負荷を評価実験により比較し, 本手法の有用性を示した.

1.4 本論文の構成

第 1 章では, 本研究の背景と目的を述べる. 第 2 章では, 関連研究と本研究の位置付けを述べる. 第 3 章では, 提案手法および実験用アプリケーションを述べる. 第 4 章では, 提案手法の実装方法を述べる. 第 5 章では, タッチと提案手法を比較した評価実験を述べる. 第 6 章では, 本手法の特性および適用例を示す. 第 7 章では, 本研究のまとめと今後の課題を示す.

第2章 関連研究

本研究では，端末の背面カメラを用いて空中ジェスチャを認識することにより正確なポインティングを可能にする．よって，関連する研究として，携帯端末をカメラを用いて操作する手法，Web カメラを用いてポインティングを行う研究，大型ディスプレイに対する空中ポインティング手法，タッチジェスチャによる小さなターゲットの選択手法が挙げられる．

2.1 携帯端末におけるカメラを用いた操作手法

これまでに携帯端末の内蔵カメラを用いて検出した手，指に基づく操作手法が研究されてきた．Baldauf ら [BZFR11] は，検出した指先の位置によりポインティングを行うインタフェースを提案した．この研究では，クリック動作の実装方法を述べていないが，我々はこの研究とは異なる手の姿勢にてポインティングを行いクリック動作も実装している．Lv ら [LHLK⁺13] は検出した指の方向により独自の GUI を操作する手法を示しているが，本研究は指の方向ではなく，手の2次元座標を取得することができる．Song ら [SSP⁺14] はカメラで検出した空中における手のジェスチャによる操作を提案した．この研究はジェスチャを主に特定の動作の起動および補助に用いているが，我々の研究ではポインティングおよびクリック動作の判定に用いる．

また，携帯端末に外部機器を取り付けてポインティングを行う研究もなされている．Niikura ら [NWKI14] はハイスピードカメラと赤外線 LED を用いて端末の前面において指を追跡している．一方我々の研究では外部機器をとりつけることなく，端末背面に内蔵されているカメラのみを用いている．

2.2 Web カメラを用いてポインティングを行う研究

Web カメラを用いてポインティングを行う手法が提案されてきた．例えば，Sugiura ら [STM14] は，指先の動きにより仮想ボタンをクリックする方法を提案した．Kato ら [KY13] は，指によるポインティングとワイヤレスマウスによるポインティングのターゲット選択の速さを比較する実験を行った．我々の研究では，携帯端末の内蔵カメラを用いてポインティングを行う．

2.3 大型ディスプレイに対する空中ポインティング

大型ディスプレイに対して空中ポインティングを行う手法が提案されてきた。Vogel ら [VB05] は、Vicon のモーションキャプチャを用いて手の位置および姿勢を検出することにより、大型ディスプレイに対する空中ポインティングを実現している。同様に Banerjee ら [BBGV11] も、Vicon のモーションキャプチャを用いることによりテーブルトップに対する空中ポインティングを実現している。一方我々はモーションキャプチャではなく、携帯端末内蔵の RGB カメラを用いて空中ポインティングを行う。

2.4 タッチジェスチャによる小さなターゲットの選択手法

タッチジェスチャにより小さなターゲットの選択を行う手法が提案されてきた。Vogel ら [VB07] は小さなターゲット付近をタッチするとその指により隠れている領域がポインタとともに指の脇に表示され、そのポインタをタッチ操作で動かすことによりターゲットを選択する手法を提案している。Roudaut ら [RHL08] は、一度目のタップにより領域の拡大、二度目のタップによりターゲットの選択を行う手法、および画面に触れている指の動きによりポインタを操作しターゲットを選択を行う手法を提案している。Au ら [ASL14] らは、触れた指周辺の領域に対して、左右へ指を動かすことによりその領域内のターゲットを選択する手法を提案している。これらの手法はターゲットの選択のために、画面に触れた状態で指を動かすことになるため、選択しているターゲットをドラッグする操作には適していない。一方我々の手法は、2 種類のハンドジェスチャ（クリック、非クリック）を検出できるため、ドラッグ操作への応用が可能である。また、Song ら [SSP⁺14] や Ismair ら [IWSB15] が提案しているハンドポーズによるジェスチャと組み合わせることにより、スムーズな操作が可能となる。

第3章 提案手法

本章において、まず、携帯端末の背面空間におけるハンドジェスチャによるポインティング手法「FistPointer」を示す。次に、本手法の選択速度、精度および作業負荷を調べるための3種類の実験用アプリケーションを説明する。

3.1 FistPointer

提案手法「FistPointer」によるターゲットの選択方法を示す。本手法は、内蔵カメラにより検出した手の位置に応じて画面上にポインタを表示する。ユーザはこのポインタを操作することによりポインティングを行う。ユーザはポインタにより選択対象が明確にわかるため、複数の小さなアイコンを選択し分けることが容易となる。ポインティングに用いられる手の姿勢を図 3.1 に示す。ユーザは図 3.1a に示される姿勢にてポインタを動かし、図 3.1b に示されるように親指を下げることでクリック（選択）を行う。

3.2 FistPointer の特徴

本手法の特徴として、次のものが挙げられる。

- 端末背面の空間を利用するため、操作領域を拡張している
- タッチによらないポインティングを行うことができる
- オクルージョンが発生しない

3.3 適用例

本手法はポインティング精度を重視するアプリケーションにおいて有用であると考えられる。例えば、ファイルマネージャにおいては、アイコンを小さくすることによってより多くのファイルを一度に表示できるため、本手法が有用である。また、ペイントアプリケーションにおいては、様々な機能を1つの画面に一度に表示し、色の選択および筆の太さの選択などの機能の切り替えが素早く行える。

加えて、Google Cardboard[Inc]などのスマートフォンをディスプレイとするヘッドマウントディスプレイへの応用が可能である。Google Cardboard を装着すると、タッチパネルの利用

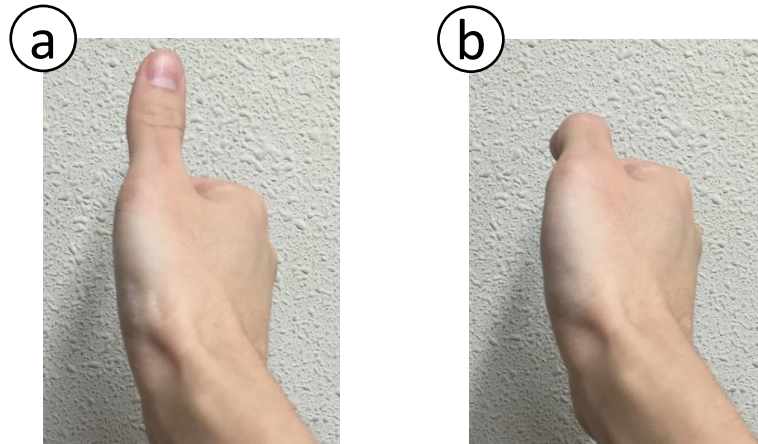


図 3.1: 本手法に用いられる手の姿勢

が制限されるため，入力方法は磁気センサや加速度センサを用いた方法に限られる．しかし，**FistPointer** を用いることにより，バーチャルリアリティにおいて見ているものをハンドジェスチャによりポインティングすることが可能である．

3.4 実験用アプリケーション

評価実験における **FistPointer** の操作について述べる．図 3.2, 3.3 に示すような，Android 端末上にて動作するターゲット選択アプリケーションを実装した．以下に本アプリケーションの使用方法を述べる．

3.4.1 **FistPointer** の操作準備

FistPointer は，携帯端末の背面で手を動かすことによりポインティングを行う手法である．手を認識する際に行う事前準備を説明する．画面構成は図 3.2 に示すようになっている．

1. スマートフォンを左手にて把持し，右手をスマートフォンの背面に構える．このとき，手を握り親指を立てた右手全体がカメラプレビューに映るようにする．
2. カメラプレビューに手が表示されない場合，または手以外のものが多く表示されている場合，シークバーを左右に調整することにより手のみが映るようにする．
3. 右手を動かし，ポインタがその手の動きに対応して動くことを確認する．
4. 右手親指を下げたとき，クリックが認識される（スマートフォンが振動する）ことを確認する．

正常に動作することを確認したら，画面上部（シークバーより上の領域）の任意の位置をタップすることにより，図 3.3 に示すタスク画面に切り替える．実利用においては，利用環境ごとに閾値をあらかじめ登録しておくことにより，事前準備を簡易化することを想定している．

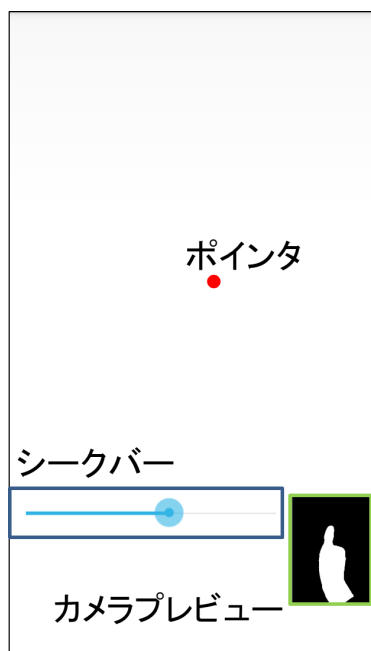


図 3.2: 準備画面

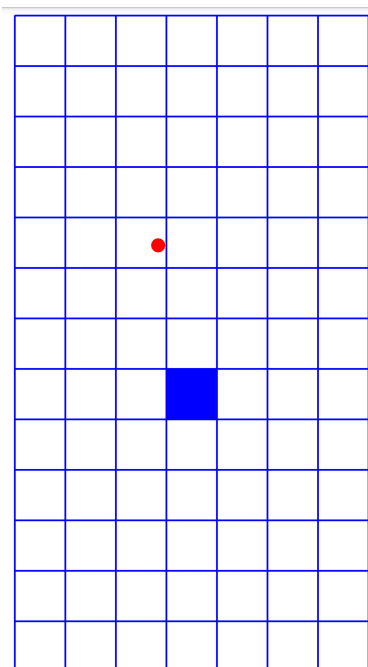


図 3.3: 評価実験におけるタスク画面

3.4.2 FistPointer におけるターゲット拡大機能

FistPointer を用いるユーザが，ポインタを特定の場所にとどめることは，空中にて手の位置を維持しなければならないため，困難である．また，クリック動作時親指を下げると同時に手全体が動いてポインタがぶれるという問題も考えられる．そこで，セルにポインタを重ねると，そのセルが拡大される機能を実装した．これにより，ターゲットとなっているセルに一度入ればそこから多少動いてもそのセルの領域からポインタが外れることがないため，前述の問題を解決できる．図 3.4 に示すようにポインタがセルの上に乗っているとき，そのターゲットが拡大され，選択可能な領域も大きくなる．今回はもとのセルのサイズの $1/3$ の長さが上下左右に拡張されるようにした．以降，この手法を **FistPointer**（拡大）と呼称する．**FistPointer** はタッチ操作と異なりホバー状態（ポインタがセルの上に乗っているだけの状態）が存在するため，この機能を実装することができる．この機能は実際利用するアプリケーションにおいて，選択可能なオブジェクトが隙間なく並べてある状態を想定している．

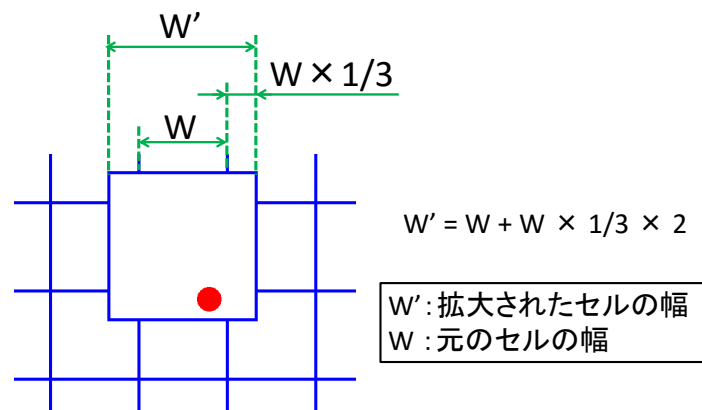


図 3.4: 拡大されたセルの大きさ

第4章 実装

本手法は、内蔵カメラから得た RGB 画像（今回は 320×240 ピクセル）を用いる．本章において、RGB 画像中の手の検出、ポインタ座標の決定、およびクリックの判定方法を述べる．

4.1 手の検出

まず RGB 画像の各画素が手に相当するか否かを決定する．以降、手に相当する画素を肌画素と呼称する．肌画素の決定には各画素に対して Song ら [SSP⁺14] の式 (4.1) を適用した．

$$S(u) = \begin{cases} 1 & (\min(R(u) - G(u), R(u) - B(u)) > \tau) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (4.1)$$

$R(u)$, $G(u)$, $B(u)$ はそれぞれ座標 u にある画素の RGB 値であり、 τ は閾値である．結果として $S(u)$ は、座標 u が手に相当する場合には 1、それ以外の場合には 0 となる．

次に各 y 座標において $S(u) = 1$ となる画素群のうちもっとも幅のあるものを手とする．これにより、手の幅よりも小さなノイズを除去することが可能である (図 4.1)．なおユーザは肌の色や環境光に応じてシークバーで τ を調整する必要がある．ただし閾値は 1 つのみであるため、調整は容易である．

4.2 ポインタの座標の決定

本節において手の形状からポインタの座標を決定する方法を述べる．本手法ではクリック動作の際にポインタが動かないようにするために、親指の動きに影響を受けにくい位置である手の右上 (図 4.2 に赤丸で示されている位置) をポインタとした．このポインタの座標を (x_p, y_p) とし、以下にポインタの座標の決定方法を示す．

まず、 y_p を先に求め、次に y_p を基に x_p を求める． y_p の求め方を説明する． y_p を求めるために、肌画素の幅の変化に着目した．上から下へ肌画素の幅を走査していったとき、親指から手の甲へ移行するため、親指の付け根から急激に肌画素の幅が増える．この急激に肌画素の幅が増える y 座標を求めるための手段として、肌画素の幅群から得られる回帰直線の傾きを利用することとした． y 座標 i において、 i 以前のいくつか¹の連続する y 座標における手の幅の回帰直線の傾きを求める (図 4.3)．この回帰直線の傾きを指先以降のすべての y 座標に対して求める．

¹今回は 9 つ．カメラの解像度に依存する．

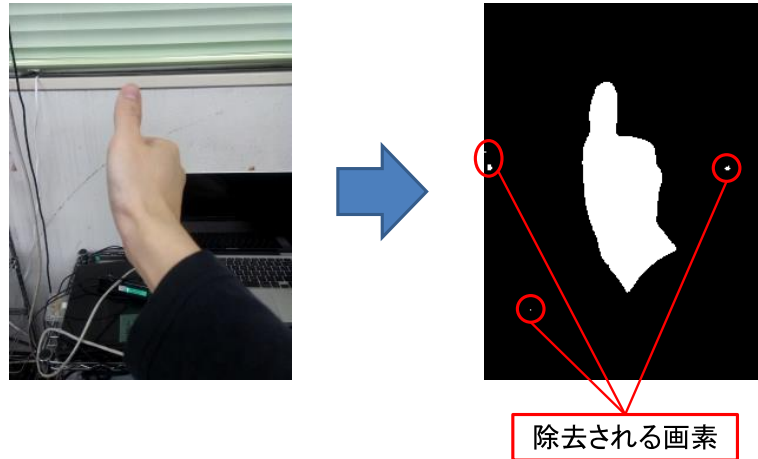


図 4.1: 肌の検出



図 4.2: 手に対するポインタの位置

ノイズがなければ，この回帰直線の傾きが最大になったところを y_p としてよいが，服の袖によりノイズが発生し，手ではないところが傾きの最大になってしまう場合がある．そのため，回帰直線の傾き群がなす波形において，上から走査して，閾値以上かつ最初に見つかったピークを y_p とした．加えて，この傾き群に式 (4.2) ローパスフィルタを適用することにより，波形を安定させ，ピークを見つけやすくした．式 (4.2) において， s_i は y 座標 i における傾きの値， s'_i はローパスフィルタ後の傾きの値である．

$$s'_i = 0.9 \times s'_{i-1} + 0.1 \times s_i \quad (4.2)$$

ローパスフィルタ後の回帰直線の傾きがなす波形および手として検出された画素を重畳表示したものを図 4.4 に示す．

ポインタの座標を決めるために手の幅を利用すること，およびクリックの判定のために親指を検出する必要があることから，カメラ画像には手全体が映る必要がある．このことから手が移動できる範囲が限られるため，ポインタの座標の取りうる値の範囲は実際のカメラ画像のサイズより狭くなる．そこで，図 4.5 の黄色の矩形領域内のポインタの座標が操作領域に

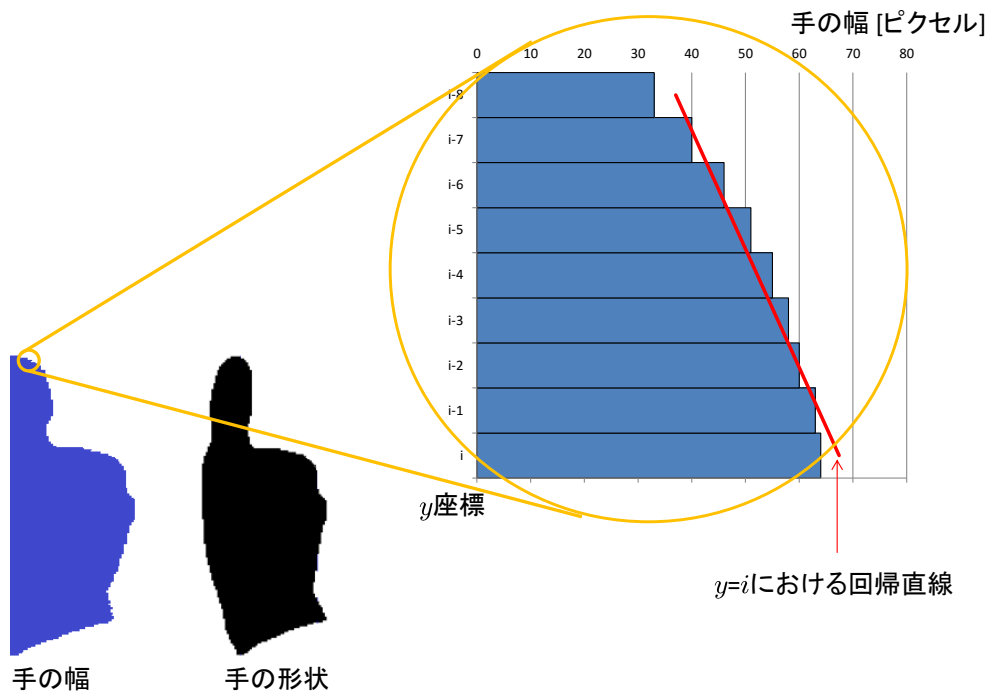


図 4.3: y 座標 i における回帰直線（赤線）

写像されるようにした．写像後の座標 (x'_p, y'_p) はそれぞれ式 (4.3), (4.4) と表される．

$$x'_p = \begin{cases} 0 & (x_p < 81) \\ (x_p - 81) \times 8 & (81 \leq x_p \leq 216) \\ 1080 & (x_p > 216) \end{cases} \quad (4.3)$$

$$y'_p = \begin{cases} 0 & (y_p < 48) \\ (y_p - 48) \times 8 & (48 \leq y_p \leq 288) \\ 1920 & (y_p > 288) \end{cases} \quad (4.4)$$

また，ポインタのブレを抑えるために以下に示すローパスフィルタを適用した．

$$(\text{ローパスフィルタによる座標}) = (\text{現在の座標}) \times 0.5 + (1 \text{ フレーム前の座標}) \times 0.5$$

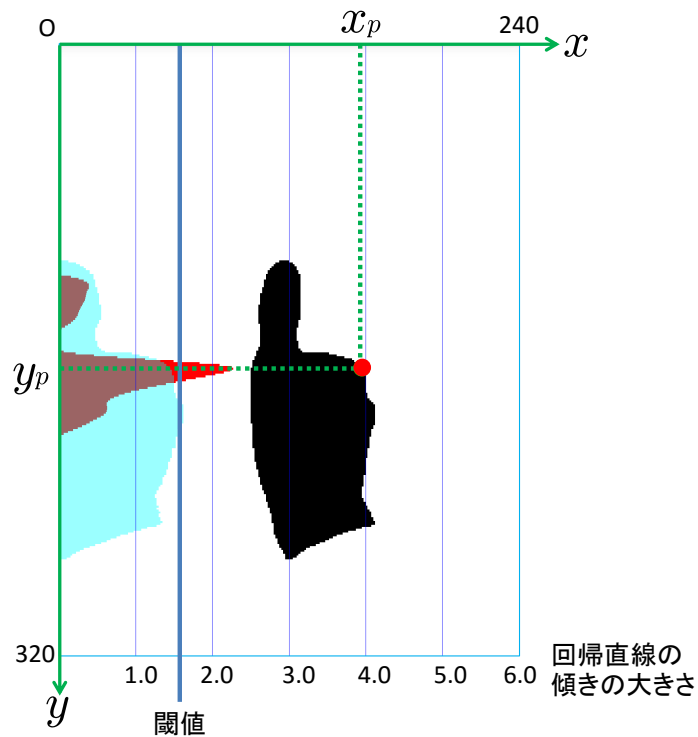


図 4.4: 検出した手の形状，幅および回帰直線の傾きの大きさ

4.3 クリックの判定

親指の座標がポインタの座標に近づいたとき，それをクリックと判定する．親指の座標は，最も上にある手の中央とした．手の大きさ，およびカメラと手の距離の変化に対応できるように， y_p における手の幅を親指の高さ（親指の y 座標から y_p までの長さ）で割った値を用いる．手の幅と親指の高さを図 4.6 に示す．この値が閾値²を超えたとき，クリックと判定する．

²今回は 1.8. 実験的に求めた

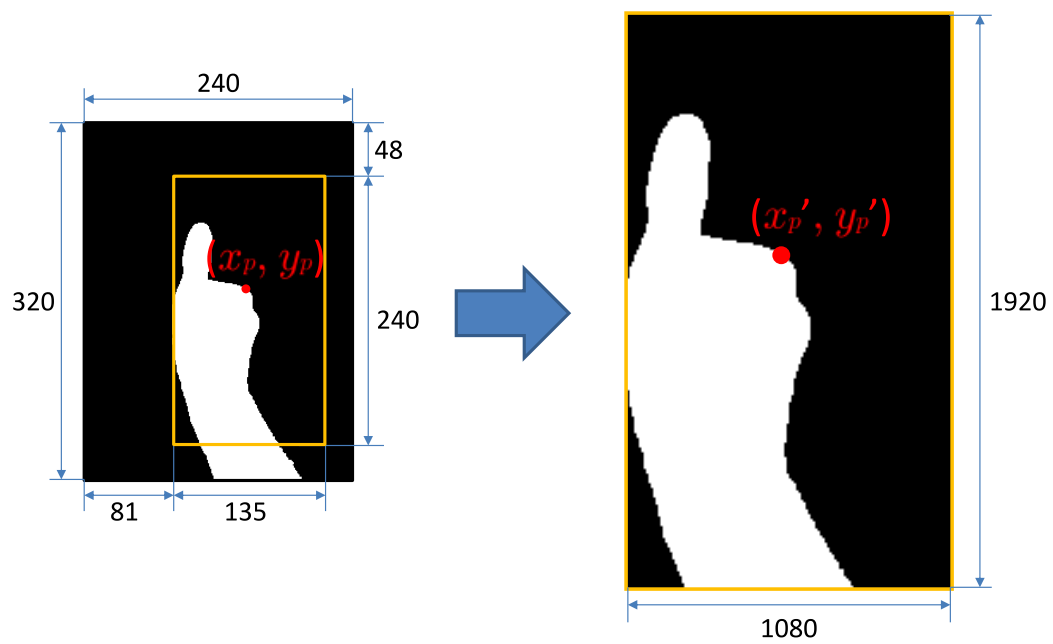


図 4.5: カメラプレビューと操作領域間のポインタの位置関係

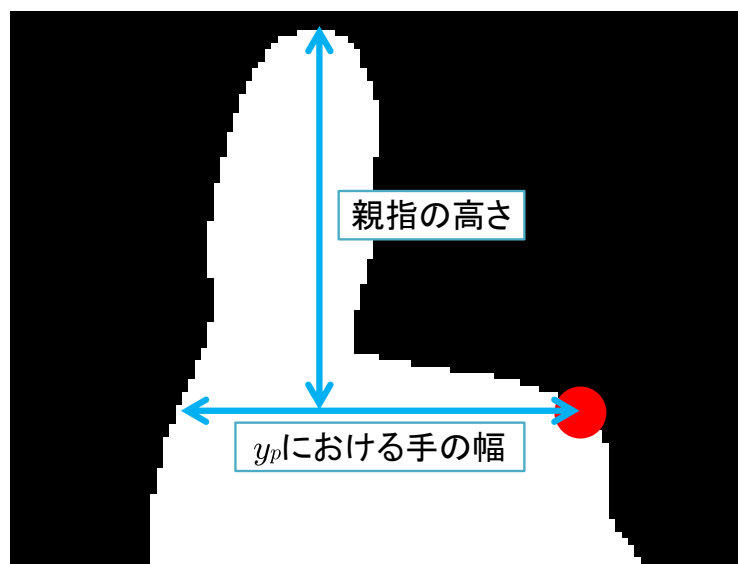


図 4.6: 親指の高さと手の幅

第5章 実験

FistPointer のポインティング速度、精度および作業負荷を調べるために、評価実験を行ったことを示す。本評価実験において、タッチ、FistPointer、FistPointer（拡大）の3手法によるターゲット選択タスクを行った。

5.1 被験者

被験者として大学生および大学院生6名（男性5名、女性1名、年齢22–23歳、平均22.3歳）を雇用した。すべての被験者が日常的にスマートフォンを使用しており、右利きであった。また、スマートフォンの利用歴は36–63ヶ月、平均50.8ヶ月であった。実験終了後、各被験者に実験への参加に対する謝礼として1640円を支払った。

5.2 実験機器

実験には、Android 端末（ELUGA P-03E、端末サイズ：高さ132mm×幅65mm×厚さ10.9mm、画面サイズ：4.7インチ、解像度：1920×1080ピクセル、OS：Android 4.2.2）を用いた。

5.3 NASA-TLX

本実験ではNASA-TLX（National Aeronautics and Space Administration Task Load Index）[HAR88]による評価も行った。NASA-TLXは、米国のNASAにて開発されたメンタルワークロード（精神的作業負荷）評価手法である。NASA-TLXは6つの尺度項目（精神的要求、身体的要求、時間的圧迫感、作業達成度、努力、不満）から構成され、それらの評価の平均値を算出する手法である。原文[HAR88]は英語であるため、今回は三宅ら[三宅93]により日本語に翻訳された説明を用いた。日本語に翻訳された各項目の定義を表5.1に示す。被験者は各項目についての評価を、12cmの線分上に印を記入することにより行う。線分の両端点は、良いおよび悪い、もしくは高いおよび低いとなっている、実験者は線分上に印された位置を0～100の数値として読み取り素点とする。

6つの評価値から1つの平均値を算出するにあたって、個人ごとに重みづけ係数を算出し用いる。この重みづけ係数は、6つの項目のすべての組み合わせ（ ${}_6C_2 = 15$ 通り）について、どちらの項目がよりメンタルワークロードへの寄与が高いと思うかを、被験者自身に判断さ

表 5.1: NASA-TLX の評定尺度の定義

項目	端点	説明
精神的要求	低い/高い	どの程度、精神的かつ知覚的活動が要求されましたか？（例. 試行、意思決定、計算、記憶、観察、検索など） 作業は容易でしたか、それとも困難でしたか、単純でしたか、それとも複雑でしたか. 過酷でしたか、それとも寛大でしたか.
身体的要求	低い/高い	どの程度、身体的活動が必要でしたか？（例. 押す、引く、回す、操作、活動するなど） 作業は容易でしたか、それとも困難でしたか、ゆっくりしていましたが、それともきびきびしていましたが、緩やかでしたか、それとも努力を要するものでしたか、落ち着いたものでしたか、それとも骨の折れるものでしたか.
時間的圧迫感	低い/高い	作業や要素作業の頻度や速さにどの程度、時間的圧迫感を感じましたか？ 作業ペースやゆっくりしていて暇でしたか、それとも急速でたいへんでしたか.
作業達成度	良い/悪い	実験者（あるいは、あなた自身）によって設定された作業の達成目標の遂行について、どの程度成功したと思いますか？ この目標達成における作業成績にどのくらい満足していますか？
努力	低い/高い	あなたの作業達成レベルに到達するのにどのくらい一所懸命（精神的および身体的に）作業を行わなければなりませんでしたか？
不満	低い/高い	作業中、どのくらい不安、落胆、いらいら、ストレス、不快感、あるいは安心、喜び、満足、リラックス、自己満足を感じましたか？

The image shows the NASA-TLX evaluation interface. At the top, it says "NASA_TLX". Below that is a text input field for the name, labeled "名前:". There are six horizontal sliders, each with a label on the left and a scale on the right. The sliders are: 1. "精神的要求" (Mental Demand) with "低い" (Low) on the left and "高い" (High) on the right. 2. "身体的要求" (Physical Demand) with "低い" (Low) on the left and "高い" (High) on the right. 3. "時間的圧迫感" (Temporal Pressure) with "低い" (Low) on the left and "高い" (High) on the right. 4. "作業達成度" (Performance) with "良い" (Good) on the left and "悪い" (Bad) on the right. 5. "努力" (Effort) with "低い" (Low) on the left and "高い" (High) on the right. 6. "不満" (Dissatisfaction) with "低い" (Low) on the left and "高い" (High) on the right. Each slider has a small vertical bar indicating the current value. At the bottom left is a button labeled "送信" (Send).

図 5.1: NASA-TLX の各要求の評価画面

せることによって得られる (一対比較法). この一対比較は被験者が 6 つの項目に回答した後に行う.

一対比較の結果は, 各項目ごとに, よりメンタルワークロードへの寄与が高いと判断された回数をそのまま重み付け係数とする. その後, この重み付け係数を各素点にかけたものの総和をとり, 最後に重み付け係数の総和 15 で割ることにより, 重み付けされたワークロードの平均値 (weighted workload, WWL) が得られる. この WWL が NASA-TLX における作業負荷の主な指標となる.

本実験においては図 5.1 に示すように, PC ディスプレイ上に表示されるシークバーを被験者に操作してもらうことにより, 各項目の素点を得た. また, 図 5.2 に示すように画面上に表示された項目をクリックすることにより一対比較を行った. 被験者は表 5.1 の説明文を読みながらこれらの評価を行った.



図 5.2: NASA-TLX における一対比較の画面

5.4 比較する手法

タッチ

ターゲットに右手人差し指で触れることにより選択を行う。選択の判定は画面に指が触れた瞬間に行われる。

FistPointer

ターゲットの領域内にポインタの中心を重ねた後、クリック動作により選択を行う。クリックが判定されるとスマートフォンが振動する。ターゲットの領域内にポインタの中心が重なっている間、ターゲットの色が青色から緑色に変わる。

FistPointer（拡大）

FistPointer と同様にターゲットの領域内のポインタの中心を重ね、クリック動作により選択を行う。ただし、ポインタが重なっているセルの領域が拡大され、選択可能な領域が広がる。

5.5 実験手順

実験条件をそろえるため、実験者は被験者に図 5.3 に示すように椅子に深く腰掛け、左脇をしめ端末を左手にて把持し、右手（タッチの場合右手人差し指）を用いて選択を行うよう指示した。このとき肘より先は体や机などにて支えることがないよう指示した。また、ターゲットをできるだけ速く、できるだけ正確に選択するよう指示した。



図 5.3: 実験の様子

FistPointer を操作する場合，被験者はポインティングおよびクリックが正常に動作するかどうかを，画面中央および四隅に出現するターゲットをクリックすることにより確認した．正常に動作しなかった場合は，閾値を調整してから再度動作確認を行うこととした．正常に動作することを確認したら画面上部を左手親指にてタップし，表示内容を切り替え，タスクを開始した．

ターゲットは，図 5.4 に示されるように画面上に青色で塗りつぶされたセルとして表示される．1 つ目のターゲットの選択に成功した直後から，タスクが開始される．ターゲットの選択に成功すると，ターゲットは別のランダムな位置に移動する．タスクが開始されてから 20 回選択に成功すると格子が赤色になりタスクが終了する．

ターゲットは格子内の正方形のセルである．Google が推奨している最低のターゲットの幅 48 dp が，今回使用した端末において 144 ピクセルであり，この幅を最大として，1/2 ずつ小さくしたサイズ条件を 3 つ用意した．つまり，ターゲットの幅は 144, 72, 36 ピクセル (7.7, 3.8, 1.9mm) の 3 条件である．以降，それぞれ large, medium, small 条件と呼称する．図 5.4 に示すように，各条件における格子の列数および行数は 7×13 , 15×26 , 30×53 となる．

ターゲットの選択に 1 回成功することを 1 試行とし，20 試行を 1 セッションとする．各手法，条件においてそれぞれ 2 セッションずつ行ってもらった．よって被験者は，合計 360 試行 (20 試行 $\times$ 2 セッション $\times$ 3 条件 $\times$ 3 手法) を行った．各手法のタスク開始前に large 条件において，操作に慣れるまで練習タスクを行わせた．

セッション間には 1 分以上の休憩をとってもらった．1 手法 1 条件のタスクが終わるごと (2 セッションごと) に NASA-TLX に回答してもらった．またすべてのセッション終了後に FistPointer に関するアンケートに回答してもらった．本実験は，実験説明からすべてのセッ

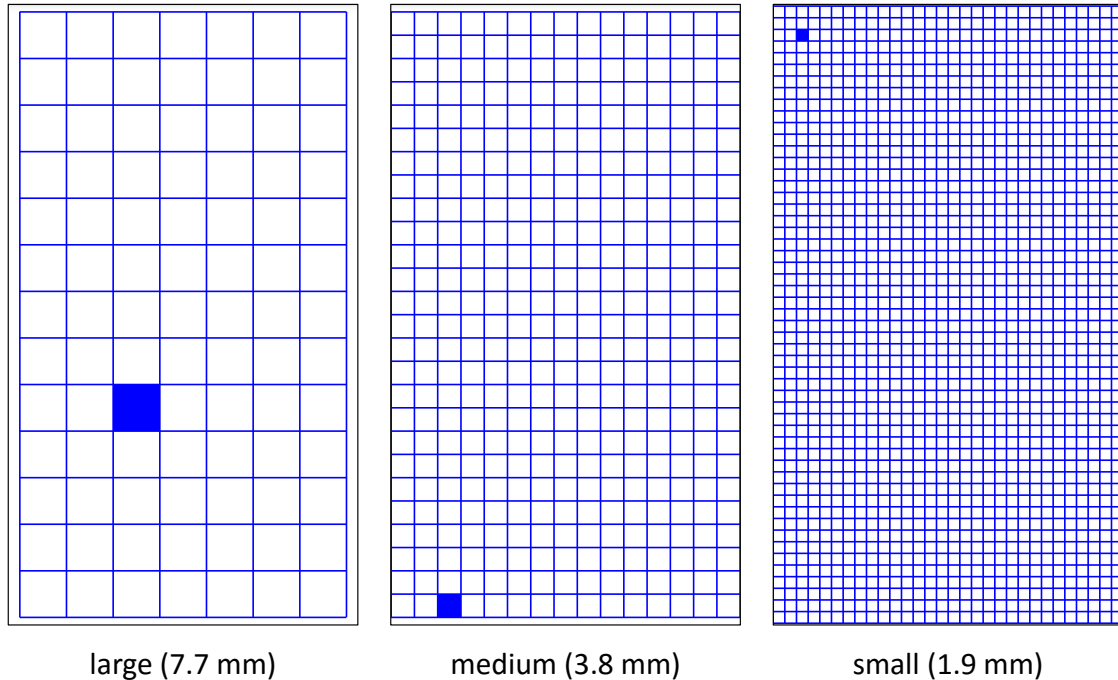


図 5.4: ターゲットのサイズ条件

セッションおよびアンケートへの回答が終了するまでに 90 分程度の時間を要した。条件は large, medium, small の順番で 2 セッションずつ行った。手法間のカウンタバランスをとるため、被験者ごとに手法を行う順番を変えた。

5.6 結果

実験の結果を示す。Kruskal-Wallis の検定により各条件の手法間の有意差の有無を検定した後、有意差が認められた条件に対して Dunn の方法を用いて多重比較を行った。主に、この多重比較により有意差が認められた手法を述べる。有意水準は.05 と定めた。

なお、medium 条件、small 条件におけるタッチ、全条件における FistPointer、FistPointer (拡大) に関して、ターゲットの中心の座標と選択した座標の x または y の差が $\mu \pm 3 \times \sigma$ (μ : 平均値, σ : 標準偏差) の範囲を外れる選択を外れ値とした除外した。これは、タッチでは medium 条件、small 条件において、ターゲットの選択に成功したあと誤って再びそのターゲットをタップすることがあったため、また、FistPointer、FistPointer (拡大) では、被験者の意

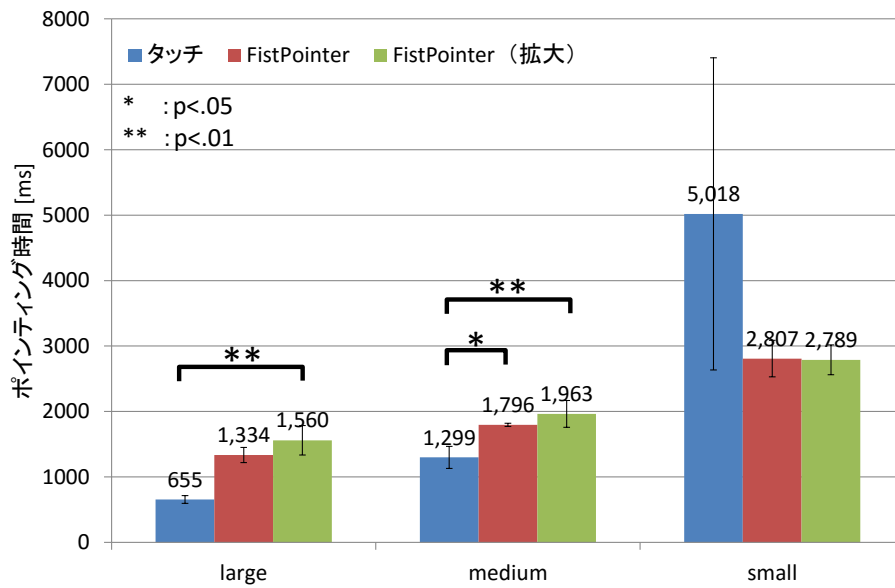


図 5.5: ポインティング時間

図しないクリック判定があったためである．提案手法 2 種の全選択数における外れ値の割合は 1.11% である．

ポインティング時間

ポインティング時間（1 試行に要した時間）を図 5.5 に示す．large 条件において，タッチのポインティング時間は FistPointer（拡大）より有意に短かった（ $p < .01$ ）．medium 条件において，タッチのポインティング時間は FistPointer および FistPointer（拡大）より有意に短かった（ $p < .05$ および $p < .01$ ）．

エラー率

ターゲットの領域外を選択した場合をエラーとした．エラー率を次のように定義した．

$$\text{エラー率} = \frac{\text{エラー回数}}{\text{総選択回数}}$$

エラー率を図 5.6 に示す．large 条件において，FistPointer（拡大）のエラー率はタッチより有意に低かった（ $p < .01$ ）．small 条件において，FistPointer および FistPointer（拡大）のエラー率はタッチより有意に低かった（ $p < .05$ および $p < .01$ ）．medium 条件では，Shapiro-Wilk の検定および Levene の検定の結果から，正規性と等分散性が認められたため，Tukey 法を用いて多重比較を行った．その結果，FistPointer および FistPointer（拡大）のエラー率はタッチ

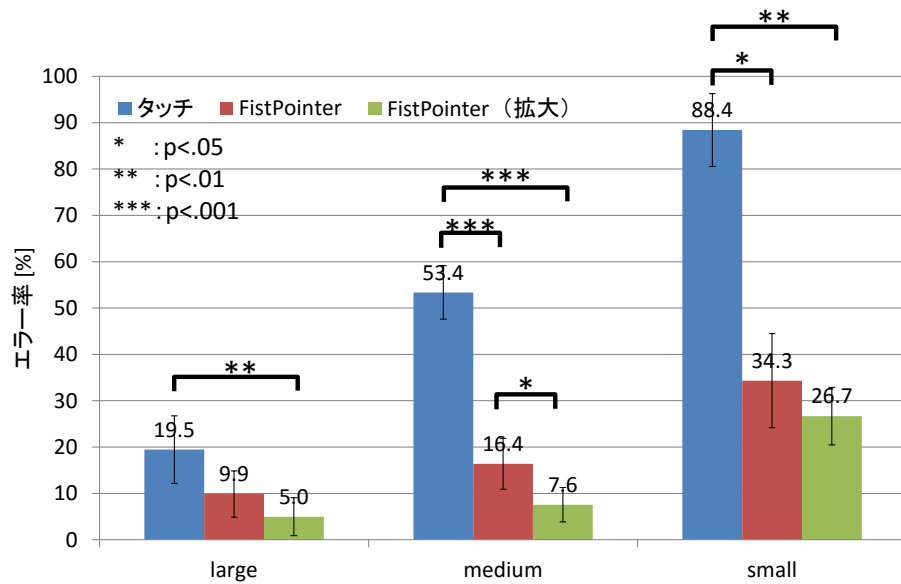


図 5.6: エラー率

より有意に低かった ($p < .001$)。また、FistPointer (拡大) のエラー率は FistPointer より有意に低かった ($p < .05$)。

ターゲットの中心からのずれ

ポインティング座標がターゲットの中心からどれだけ離れているか調べた。よりターゲットの中心に近づく必要がある small 条件においてタッチと FistPointer の選択した座標の分布を図 5.7 および 5.8 にそれぞれ示す。これらの図はターゲットの中心から、選択した座標がどれだけずれているかを表している。矩形で示されているのが small ターゲットのサイズであり、破線の楕円で示されているのが外れ値をのぞいたうえで求めた $\mu \pm \sigma$ の範囲である。

NASA-TLX の結果

WWL を図 5.9 に示す。WWL が低いほど作業負荷が少なく良い結果であるといえる。large 条件において、タッチの WWL は FistPointer より有意に低かった。NASA-TLX の各要求の結果を図 5.10 に示す。これらの値も低いほど作業負荷が少なく良い結果であるといえる。large 条件において、タッチの作業達成度は FistPointer より有意に低かった ($p < .05$)。large 条件において、タッチの努力は FistPointer より有意に低かった ($p < .05$)。large 条件において、タッチの不満は FistPointer より有意に低かった ($p < .05$)。

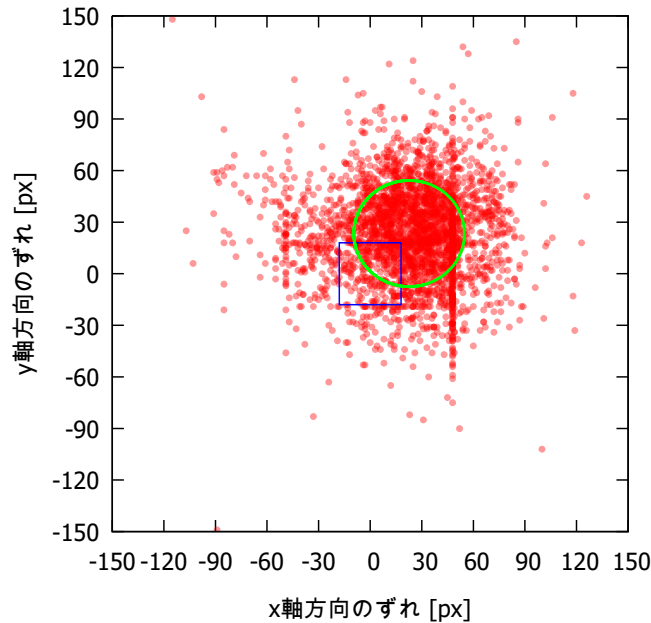


図 5.7: ターゲット中心に対するタッチのポインティング位置の分布

5.7 考察

large 条件, medium 条件においてタッチのほうが提案手法よりポインティング時間が短い, small 条件において有意差はないものの提案手法のポインティング時間のほうがタッチよりも短かった. エラー率の高さからもわかるように, small 条件のターゲットをタッチにて選択することは極めて困難である. small 条件におけるタッチでは, 何度も画面をタッチし, ようやく選択が成功するという様子が観察された.

図 5.7, 5.8 から, タッチより **FistPointer** のほうが選択した座標のばらつきが少なく, かつターゲット中心に多く分布していることがわかる. よって, **FistPointer** はタッチより精度の高いポインティングを行えるといえる. タッチの座標はターゲット中心に対して右上に多く分布している. これは, 右手人差し指で画面に触れる際, 指が画面に触れターゲットが完全に隠れる直前までターゲットを見ようとしたためであると考えられる. 一方, **FistPointer** は y 方向のずれが大きい. これは, クリック動作の際, ポインタは親指の動きに影響を受けないが手自体が上下してしまいポインタがずれてしまっていると考えられる. 実験中に, 被験者の一人から「ポインタをターゲットに合わせたあとクリック動作により手自体がぶれる」という意見も得られた.

すべての条件においてタッチのエラー率は提案手法より高かった. よって, 提案手法はタッチより正確なポインティングを行うことができることがわかる. medium 条件においては **FistPointer** (拡大) のほうが **FistPointer** より有意にエラー率が低かった. このことから, ある程度ターゲットサイズが小さい条件において, ターゲットの拡大が有効であることが示唆される.

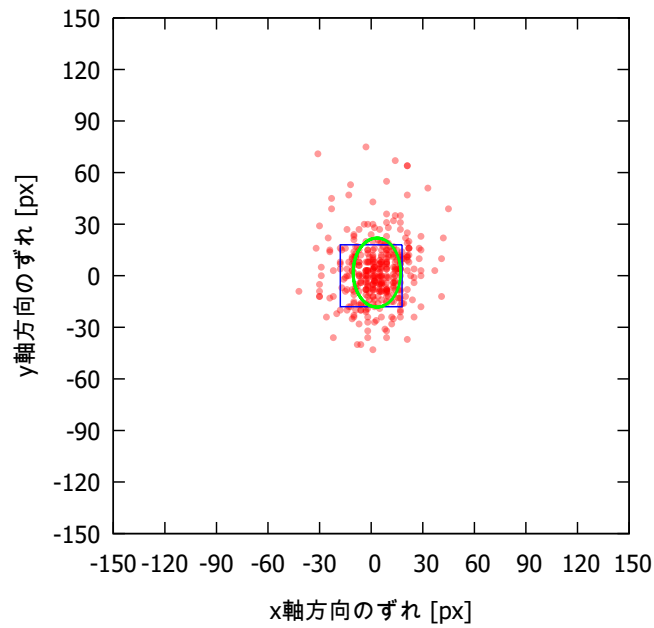


図 5.8: ターゲット中心に対する FistPointer のポインティング位置の分布

NASA-TLX の結果は, large 条件においてのみ, タッチのほうが FistPointer より有意に WWL が低かった. medium 条件, small 条件においては手法間に WWL の有意差は見られなかった. よって, ある程度小さいターゲットの選択における提案手法の作業負荷はタッチとあまりかわらないものといえる. しかし, large 条件, medium 条件においてタッチと比較して FistPointer の身体的要求が高くなっていることから, 手を一定の高さに保つことは身体的な疲れを伴うことが示唆される.

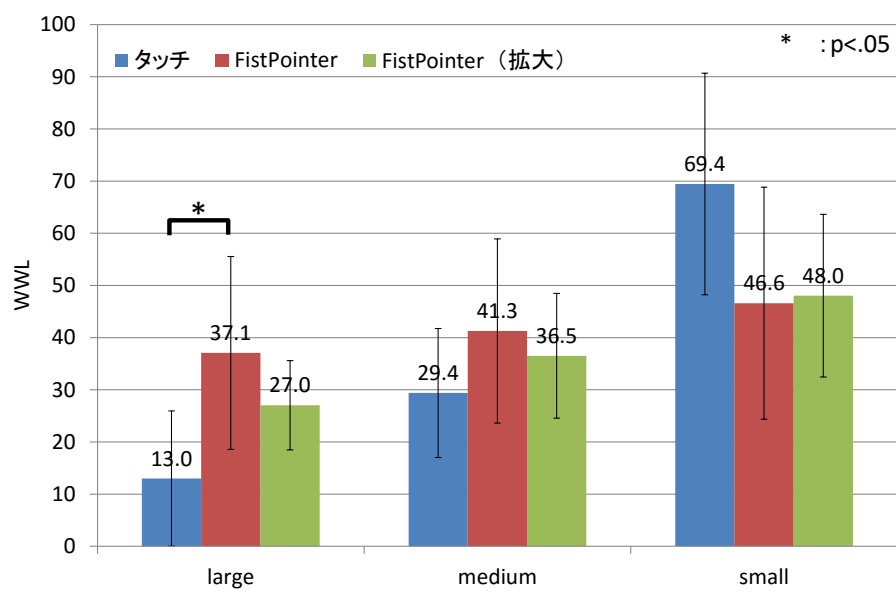


図 5.9: 作業負荷 (WWL)

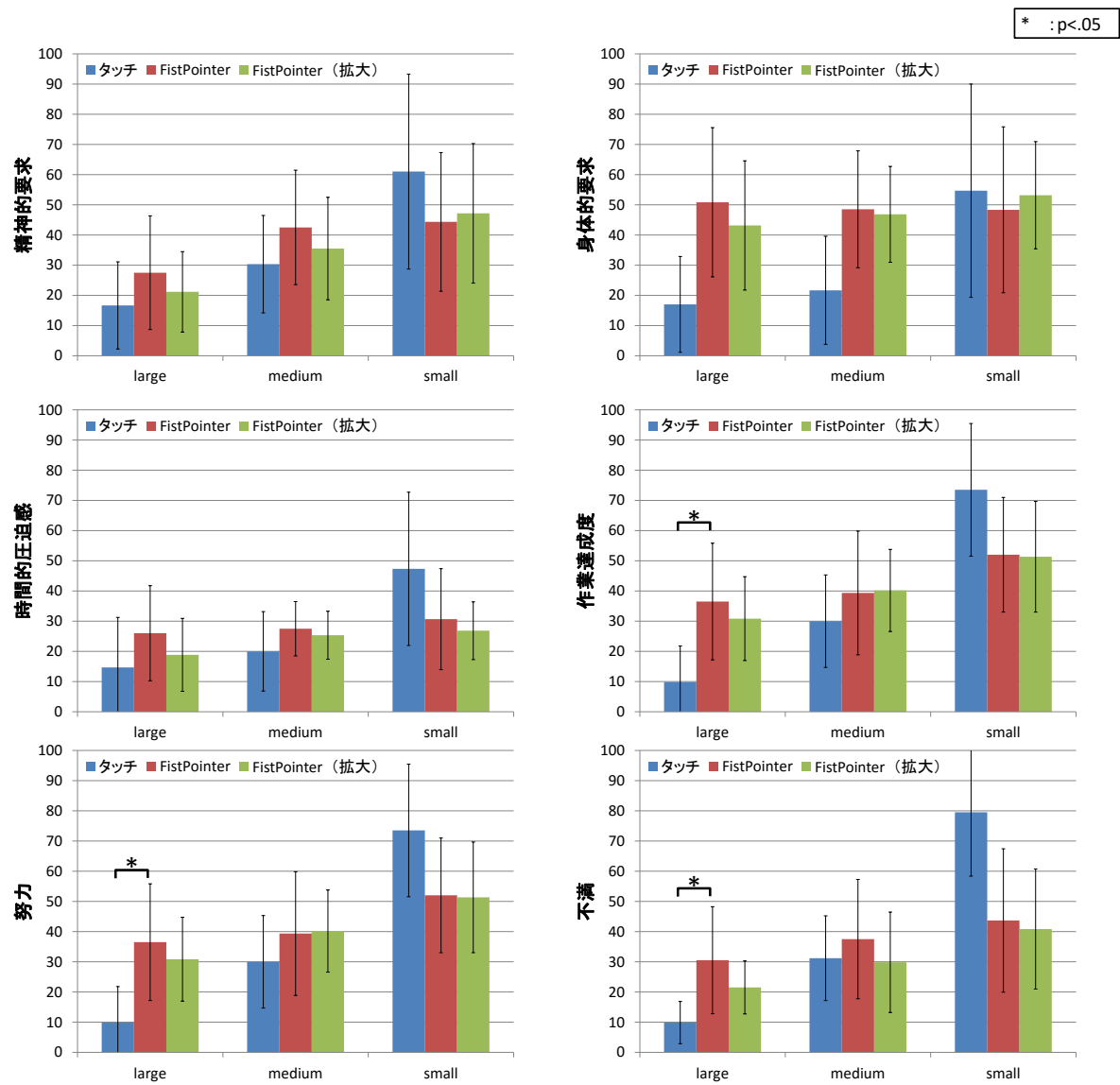


図 5.10: 各項目の評価値

第6章 議論

6.1 さらなる精度の向上

実験中のコメントにおいて「クリック動作の際手のブレによりポインタがぶれないように親指を曲げ始めたらポインタを固定すればよいのでは」という意見が得られた．完全に固定するのではなく，親指の曲げ具合に応じて手の移動量当たりのポインタの移動量を小さくすれば，より精度の高いポインティングを行うことができると考えられる．

6.2 腕の疲れ

NASA-TLX の結果および実験後のアンケートから，空中ジェスチャの長時間の利用は腕が疲れることが示唆される．空中ではなく，端末に手を添えカメラの前で指を動かすことによりポインティングする等，改善策を検討する必要がある．また，長時間利用する際は，机に手をのせて移動することによりポインティングを行い，腕が疲れる問題を解決するという方法も考えられる．

6.3 ノイズ除去

本研究における実験の目的は，携帯端末における空中ジェスチャによるポインティングの性能を評価することにあつた．ゆえに今回の実装は実験時の環境のみを想定しており，多様な環境で利用するためには，より頑強なノイズ除去を実装する必要がある．色ベースの手法により，ノイズを除去し手を検出している研究は Sugiura ら [STM14] らおよび Song ら [SSP⁺14] らにより行われている．

また，より高い精度で手の位置を検出する方法として特徴点を抽出する方法もある [KT04]．この方法は計算コストが高いため，精度とのトレードオフを考慮して適切な方法を検討する必要がある．

第7章 まとめと今後の課題

携帯端末向けのポインティング手法として、FistPointer の設計、実装を行った。本手法の有用性を示すために、ターゲット選択タスクによる評価実験を行った。実験タスクは FistPointer, FistPointer (拡大), タッチの3手法を用いて large, medium, small の3つのターゲットサイズ条件のもと行われた。実験の結果, large, medium 条件においては, タッチのほうが FistPointer および FistPointer (拡大) よりポインティング時間が短かったが, すべてのサイズ条件において FistPointer および FistPointer のエラー率はタッチより低かった。加えて, medium 条件において FistPointer (拡大) のエラー率は FistPointer より低かったことから, ターゲットの拡大はある程度小さいサイズ条件において有効であることが示唆された。また, small 条件のタスクにおける, タッチと FistPointer のポインティング位置の分布を調べた。その結果, FistPointer のポインティング位置の分布はタッチと比べてターゲットの中心近くに多く分布しており, 分布の範囲は狭かった。このことから, FistPointer はタッチより精度の高いポインティングをできることが分かった。

本実装においてノイズ除去は簡易的に行ったため, 今後, ノイズ除去を頑強にし, かつ実際のアプリケーションに実装する。

謝辞

本研究を進めるにあたり，志築文太郎先生，田中二郎先生，高橋伸先生には多くのご意見とご指導を頂きました．深く感謝いたします．特に，志築文太郎先生には，研究内容の検討，アプリケーションの実装および評価実験の設計に関する相談など，論文執筆に至るまで手厚いご指導，ご助力を賜りました．心より感謝申し上げます．

研究室の皆様には，研究生活において様々なご支援をいただきました．研究のご指導，ご助言および論文の添削を熱心にしてくださった先輩方，ともに協力し合い研究生活を共にした同期の皆様には深く感謝いたします．また，評価実験の被験者としてご協力頂いた皆様には，感謝申し上げます．

最後に，私の生活を支えてくださった家族と友人，研究においてお世話になった全ての方々に心より感謝致します．

参考文献

- [ASL14] Oscar Kin-Chung Au, Xiaojun Su, and Rynson W.H. Lau. LinearDragger: A Linear Selector for Target Acquisition on Touch Screens. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, pp. 2607–2616, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [BBGV11] Amartya Banerjee, Jesse Burstyn, Audrey Girouard, and Roel Vertegaal. Pointable: An In-air Pointing Technique to Manipulate Out-of-reach Targets on Tabletops. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '11*, pp. 11–20, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [BZFR11] Matthias Baldauf, Sebastian Zambanini, Peter Fröhlich, and Peter Reichl. Markerless Visual Fingertip Detection for Natural Mobile Device Interaction. In *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '11*, pp. 539–544, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [Cor] Microsoft Corporation. ターゲットの設定のガイドライン - Windows app development. <https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/apps/hh465326.aspx>, 2016 年 1 月 18 日閲覧.
- [HAR88] Sandra G. HART. Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of Empirical and Theoretical Research. *Human Mental Workload*, 1988.
- [Inca] Apple Inc. iOS ヒューマンインターフェイスガイドライン: アダプティビティとレイアウト. <https://developer.apple.com/jp/documentation/UserExperience/Conceptual/MobileHIG/LayoutandAppearance/LayoutandAppearance.html>, 2016 年 1 月 18 日閲覧.
- [Incb] Google Inc. Google Cardboard Google. <https://www.google.com/get/cardboard/>, 2016 年 1 月 日閲覧.
- [Incc] Google Inc. Metrics & keylines - Layout - Google design guidelines. <https://www.google.com/design/spec/layout/metrics-keylines.html>, 2016 年 1 月 14 日閲覧.
- [IWSB15] Simon Ismail, Julie Wagner, Ted Selker, and Andreas Butz. MIME: Teaching Mid-Air Pose-Command Mappings. In *Proceedings of the 17th International Conference on*

Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '15, pp. 199–206, New York, NY, USA, 2015. ACM.

- [KT04] Mathias Kölsch and Matthew Turk. Fast 2D Hand Tracking with Flocks of Features and Multi-Cue Integration. In *Proceedings of the 2004 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, CVPRW '04, Washington, DC, USA, 2004. IEEE Computer Society.
- [KY13] Haruhisa Kato and Hiromasa Yanagihara. PACMAN UI: Vision-based Finger Detection for Positioning and Clicking Manipulations. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, pp. 464–467, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [LHLK⁺13] Zhihan Lv, Alaa Halawani, Muhammad Sikandar Lal Khan, Shafiq Ur Réhman, and Haibo Li. Finger in Air: Touch-less Interaction on Smartphone. In *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '13, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [NWKI14] Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa. In-air finger motion interface for mobile devices with vibration feedback. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 9, No. 4, pp. 375–383, 2014.
- [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.
- [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 2005 IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT '05, pp. 267–280, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag.
- [SSP⁺14] Jie Song, Gábor Sörös, Fabrizio Pece, Sean Ryan Fanello, Shahram Izadi, Cem Keskin, and Otmar Hilliges. In-air Gestures Around Unmodified Mobile Devices. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, pp. 319–329, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [STM14] Atsushi Sugiura, Masahiro Toyoura, and Xiaoyang Mao. A Natural Click Interface for AR Systems with a Single Camera. In *Proceedings of Graphics Interface 2014*, GI '14, pp. 67–75, Toronto, Ont., Canada, Canada, 2014. Canadian Information Processing Society.

- [VB05] Daniel Vogel and Ravin Balakrishnan. Distant Freehand Pointing and Clicking on Very Large, High Resolution Displays. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '05, pp. 33–42, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [VB07] Daniel Vogel and Patrick Baudisch. Shift: A Technique for Operating Pen-based Interfaces Using Touch. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '07, pp. 657–666, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [三宅 93] 三宅晋司, 神代雅晴. メンタルワークロードの主観的評価法. 人間工学, Vol. 29, No. 6, pp. 399–408, 1993.

付 録 A 評価実験に用いた書類

第 5 章における評価実験に使用した実験同意書，実験手順書， およびアンケート用紙を以下に示す．

A.1 FistPointer の性能評価

A.1.1 同意書

FistPointer 性能評価実験のお願い

文責：阿達 拓也

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- ☐ 本実験の目的は、田中研究室にて研究中の選択手法「FistPointer」の性能を評価することです。
- ☐ 実験中に、写真および動画の撮影、音声の録音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、動画および音声を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- ☐ この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。
- ☐ 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。
- ☐ 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。

平成 年 月 日

被験者	所属	署名
説明者	所属 情報学群 情報メディア創成学類	署名

A.1.2 事前アンケート

実験に関する事前アンケート

文責：阿達 拓也

1. 年齢，性別，利き手についてお答えください。

年齢： 歳 性別： 男・女 利き手： 右・左

2. 普段使用しているスマートフォンの機種は何ですか？

(例：iPhone4S, docomo Galaxy S II, docomo AQUOS PHONE ZETA SH-01F)

3. スマートフォンの利用歴はどのくらいですか？

 年 カ月

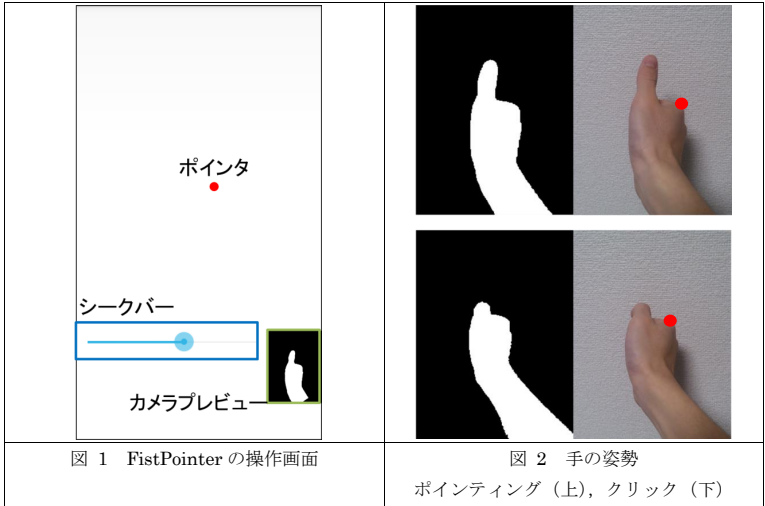
A.1.3 実験手順書

FistPointer 実験に関する説明

- スマートフォンの画面上に表示されるターゲットを選択していただきます。
- FistPointer による選択と、タッチによる選択を行っていただきます。

FistPointer 操作について

- FistPointer とは、スマートフォンの背面で手を動かすことによりポインティングを行う手法のことです。画面構成は図 1 のようになっています。
- 以下に、FistPointer の操作手順を示します。
 1. スマートフォンを左手で持ち、右手をスマートフォンの背面に突き出します。このとき、図 2 上側に示すように手を握り親指を立てた右手が図 1 右下のカメラプレビューに映るようにします。
 2. カメラプレビューに手が表示されない場合、または手以外のものが多く表示されている場合、シークバーを左右に調整することにより手のみが映るようにします。
 3. 右手を動かし、ポインタがその手の動きに対応して動くことを確認します。人差し指付け根付近（図 2 の赤丸）がポインタの位置と対応しています。
 4. 右手親指をおろしたとき（図 2 下側）、スマートフォンが振動してクリックが認識されることを確認します。



□ 次に、今回使用していただく手法について説明します。

タッチ

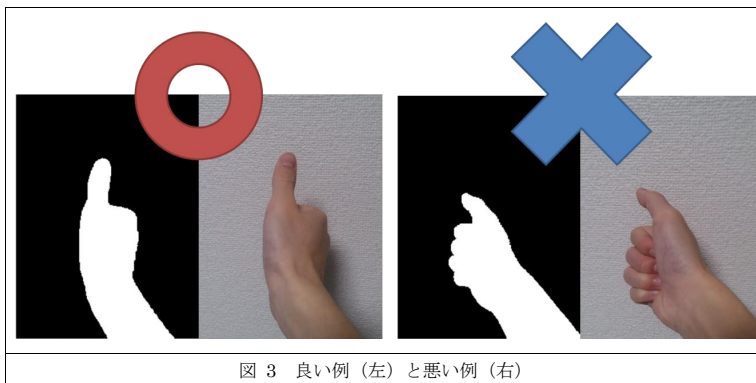
- ターゲットを右手人差し指で触れることにより選択を行うことができます。
- 選択の判定は画面に指が触れた瞬間行われます（指を画面から離れた瞬間ではありません）。

FistPointer

- ターゲットの領域内にポインタの中心を重ね、クリック動作により選択を行うことができます。
- 選択の判定は親指をおろした瞬間行われます。
- クリックが判定されるとスマートフォンが振動します。
- ターゲットの領域内にポインタの中心が重なっている間、ターゲットの色が青色から緑色に代わります。
- スマートフォンから右手を離して操作するほど、細かく操作がすることができます。
（手の移動量当たりのポインタの移動量が少なくなります。）
- ターゲットが小さい場合、肘を伸ばして、肩から手を動かすと操作しやすいです。
- 右手を構えるときはカメラプレビューに図 3 左のように映るようにしてください。
図 3 右のようになるとうまくポインティングが行えません。
また、スマートフォンはできるだけ机に対して垂直に持ってください。

FistPointer（拡大あり）

- 上記の FistPointer と操作方法は変わりませんが、ポインタが重なっている矩形の領域が拡大され選択可能な領域が大きくなります。



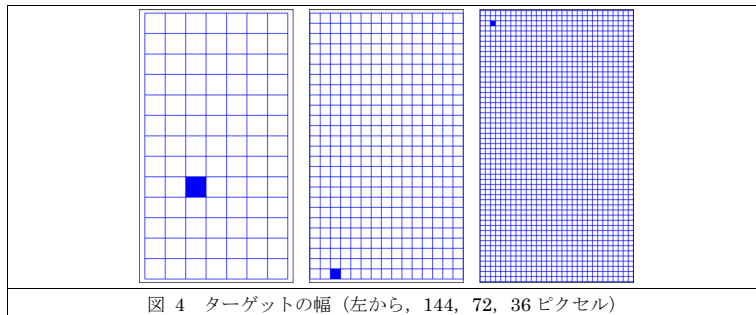
□ 以下に実験のタスクを示します。

実験タスク

1. 実験者からスマートフォンを受け取ってください。
 2. FistPointer を操作する場合は、ポインティング・クリックが正常に動作するか、画面中央および四隅に出現するターゲットをクリックすることにより確認してください。正常に動作することを確認したら画面上部(シークバーより上の領域)を左手親指にてタップし、表示内容を切り替えてください。
 3. 画面に格子が表示されます。青色で塗りつぶされている矩形がターゲットです。
 4. 一つ目のターゲットの選択に成功した直後から、タスクが開始されます。
 5. 選択に成功すると、ターゲットは別の位置に移動します。
 6. タスクが開始されてから 20 回選択に成功すると終了です。格子が赤色になります。
-
- ターゲットの幅は 144, 72, 36 ピクセル (7.7, 3.8, 1.9mm) の 3 条件あります (図 4)。
 - 本番タスク前に 3 手法それぞれターゲット幅 144 ピクセルの条件において操作に慣れるまで練習タスクを行います。
 - 20 回の選択を 1 セッションとし、3 手法、3 条件それぞれで 2 セッションずつ行っていただきます (計 360 試行)。
 - FistPointer を操作する場合、クリックをしようとしたのにクリック判定が行われなかった場合および意図せずクリック判定が起こった場合、口頭で教えてください。
 - ターゲットの選択はできるだけ速くできるだけ正確に行ってください
 - セッションごとに最低 1 分間の休憩をとるものとします。
 - また、2 セッションごとにアンケートに回答していただきます。

実験中の注意

- 各試行中は椅子に深く腰掛けた状態で左脇をしめスマートフォンを左手に持ち、
右手を用いて操作を行ってください。
- 肘より先は机で支えないようにしてください。



A.1.4 アンケート

実験に関するアンケート

文責：阿達 拓也

1. FistPointer による操作について良かった点、改善すべき点を教えてください

良かった点

改善すべき点

2. FistPointer を使用した感想を教えてください

アンケートは以上になります。ご協力ありがとうございました。

付 録 B アンケート結果

第 5 章における評価実験の被験者 6 人分のアンケート結果を示す.

Q1. **FistPointer** による操作について良かった点, 改善すべき点を教えてください

良かった点

1. 小さいターゲットの操作では, 操作位置がわかりやすくターゲットも見えていて操作しやすかった.
2. タッチではかなり困難だった細かい領域のタッチが比較的スムーズにできてよかった.
3. タッチの場合, 画面端に矩形が表示された際になかなか自分の思った通りにタッチができず不満だったが, **FistPointer** の場合, 表示位置に依存せず操作ができたので, どの場所にオブジェクトが表示されても思った通りの動作ができてよい. 細かく分割されたオブジェクトを選択するタスクでは, タッチと比較して指でターゲットが隠れないので, 思った通りに操作できた.
4. 通常のタッチだと小さな物体をタッチするのが非常に難しいが, **FistPointer** だと少ないミスで対象物をタッチできたので, そこが良かったと思いました.
5. 操作に納得感がある (**small** のタッチは押したつもりで反応しないが, こっちは照準のずれが見えるので)
6. 新しい. スマホに付属しているカメラを使って背面で操作するアイデアはユニーク.

改善すべき点

1. 長時間使用すると普通のタッチ操作より疲労がたまる. 入力しようと親指を曲げ始めてから入力が完了するまでに腕がぶれて操作位置がずれてしまうことがある.
2. 左手に持って右手を突き出して操作するので, どうしてもぶれてしまう点をうまく改善できたらよいと思う. どうしても右手がつかれるのもよくなればもっと良い.
3. 肩が少し疲れるので, 長時間スマホを使うことを考えるとタッチのほうが良い. **Pointer** を用いる操作のため, パソコンで **Pointer** を使うことに慣れている人にとっては, 使いや

すいかもしれないが、パソコンを使ったことのない（Pointerを使ったことのない）ユーザはどう感じるのか疑問。

4. 右手を前にずっと出しているので、長時間の動作には向いていないと感じました。
5. 左手にスマートフォンを持つのに右手を右から見るようなカメラ支店を要求されるのはつらい。手ブレで狙いがずれることがある。
6. たまにクリックの反応が悪かったが親指をきちんと意識して立てると改善できた。

Q2. **FistPointer** を使用した感想を教えてください

1. ターゲットが小さい場合はタッチ入力よりも圧倒的に入力しやすいと思う。ただタッチ入力でも問題ないくらいターゲットが大きければ、精度・疲労度・慣れなど多くの点でタッチ入力に負けていると思う
2. よくトラッキングできていると感じた。ブレの補正などがうまくできるようならもっと良いと思う。
3. 肩が疲れました。背面のカメラによる操作は面白いと思いました。スマホの弾幕シューティングゲームでは、指で自機（自分が操作したいオブジェクト）が隠れてしまうので、**FistPointer** で操作することができれば、より快適にアプリを楽しめそうです
4. 親指を動かしたときの誤作動が少なく、とても使いやすかったと思います。現在触れている対象を色を変化させて表すより、拡大させた方が操作しやすかったと思います。
5. スマートグラスの操作手法とかに見えそうな気はする。ウォッチも、カメラ付きウォッチとかが出ればあるいは...
6. スマホ画面直接ではなくわざわざ背面で操作するシーンが思いつかなかった。スペースもとるので電車の中では見えなさそう。（私がよく利用するのは電車の中なので）