

手袋着用時のスマートフォン操作改善手法の検討

阿部 愛海^{1,a)} 鈴木 優^{1,b)}

概要：身体特性や認知特性に関わらず、状況によってスマートフォンの操作が困難になるという問題がある。スマートフォンが広く普及している今、誰にでも起こり得る問題であり、手袋着用時におけるスマートフォン操作もその1つである。本研究の目的は手袋着用時の操作しづらさを改善することである。そこで、どのようなタッチジェスチャが操作しづらさの原因となっているのかを調査するために、数種類のタッチジェスチャの操作パフォーマンスを比較する実験を行った。その結果、手袋着用時は特にマルチタッチジェスチャとダブルタップのパフォーマンスが低下する傾向がみられた。この結果をもとに、拡大縮小の操作を対象にマルチタッチジェスチャとダブルタップ及びその他のジェスチャを比較する実験を行ったところ、手袋着用時はマルチタッチジェスチャとダブルタップを他の操作で代替することで操作しづらさが改善される可能性が示された。

1. はじめに

本人の身体特性や認知特性に関わらず、周囲の温度 [1]、振動、荷物の負荷等の状況によってスマートフォンの操作が困難になることがある [2]。このような事態はどの使用者にも起こりうることであり、スマートフォンを日常的に使用することが当たり前になった今、様々な状況を想定して対応していくことが快適な使用に繋がる。たとえば、手袋を着用して静電容量式タッチパネルを操作する場合、手袋がタッチパネル対応のものであっても素手と同様の細かい操作を行うことは困難になるため、対策が必要である。

本研究の目的は、手袋着用時のスマートフォンの操作しづらさを改善することである。本研究では、スマートフォンの操作に対する手袋着用の影響について調査し、その結果に基づいた操作改善手法の検討を行う。

2. 関連研究

手袋を着用してのスマートフォン操作やタッチパネル操作についての研究はあるが、一般的な操作を対象に詳しく調査したものはない。手袋着用の影響を受けにくい操作方法として、画面タッチをしない音声認識やジェスチャ認識がある。

山下ら [3] は、手袋着用時等のタッチ操作を容易に行えない状況に対応するため、照度センサを用いたジェスチャ認

識手法を提案した。これはジェスチャによりスマートフォン内蔵の照度センサ情報が変化することを利用し、各ジェスチャを認識するというものである。しかしながら、直感的に使用できる範囲での音声認識やジェスチャ認識では使える機能に限りがある。

Sun ら [4] は、手袋着用時の操作に最適なタッチ UI を明らかにするための実験を行った。実験の結果、タッチするアイコンのサイズが大きいほどタッチ精度及び反応速度が向上したが、手袋着用の有無によるパフォーマンスの差はほとんど見られなかったことが報告されている。この実験は人差し指 1 本での操作のみを対象としたため、一般的なスマートフォンの使い方である親指操作等のパフォーマンスについては明らかになっていない。

また、手袋で操作しづらいと感じる原因として、手袋の性能によっては思った通りにタッチが認識されないことが挙げられる。タッチパネル自体の感度を上げることで対処可能な場合があるが、意図しない箇所に触れる、ポケットなどに入れて使用していない時にも反応してしまう等、誤動作の可能性がある。新たな不便さが発生してしまう上、全ての使用者が使用可能な手法ではない。

3. 本研究のアプローチ

本研究では、学習が困難でないことを操作しやすさとし、直感的かつ複雑な指令を出すことが比較的容易であるタッチジェスチャを対象とする。また、どの使用者に対しても有効であることを目指すため、スマートフォン本体以外の装置の使用やタッチパネルの感度調節を必要としない手法による改善を試みる。

¹ 宮城大学
Miyagi University, 1-1 Gakuen, Taiwa-cho, Kurokawa-gun,
Miyagi 981-3298, Japan

a) p1720010@myu.ac.jp

b) suzu@myu.ac.jp

そこで、一般的なスマートフォンで採用されているタップやスワイプ等のタッチジェスチャの比較実験を行い、手袋着用時の操作中、精度や速度等のパフォーマンスが高いジェスチャを調査する。それらの結果から、手袋着用時に最適な手法を検討する。スマートフォンの把持方法や操作に使用する部位は使用者や使用する状況によって様々であるが、本研究では手袋を着用する外出時や移動時に手で持って操作することを想定する。

4. ジェスチャと操作対象の大きさの影響についての実験

4.1 実験の目的

本実験の目的は、手袋着用時のスマートフォンの操作に適するタッチジェスチャと、操作対象となるアイコンの大きさについて明らかにすることである。

4.2 実験のタスク

被験者は、スマートフォンの画面に表示されるアイコン(図1)にしたがって操作する。表1に示す12種類のジェスチャと4段階の大きさを組み合わせた48種類のアイコンが1つずつ提示される。比較するジェスチャは、iPhone ユーザガイド [5] の“基本のジェスチャについて”の項を参考にして決定した。

タップ アイコンの内側を1回タップする。

ダブルタップ アイコンの内側を2回素早くタップする。

スワイプ アイコン内に示される矢印の方向に、アイコンの上を通るように素早く指を滑らせる。

スライド アイコンの内側をタッチしたまま指を移動させ、四角形の内側で離す。

ピンチイン 2つのアイコンの内側を同時にタッチし、指を離さずに2本の指を狭める。指の幅に対応して大きさが変化する真円を、線で示された真円よりも小さくした状態で指を離す。

ピンチアウト 2つのアイコンの内側を同時にタッチし、指を離さずに2本の指を広げる。指の幅に対応して大きさが変化する真円を、線で示された真円よりも大きくした状態で指を離す。

アイコンの形状は真円で、提示位置は画面の中央に固定する。たとえば、図1の(a)のアイコンが表示されている場合、そのアイコン内を1回タップすることで成功となる。成功すると新しいアイコンが提示される。図1の(a)~(f)のアイコンは直径100px(約0.78cm)である。

表1: 実験で提示されるアイコンの種類

ジェスチャ	タップ / ダブルタップ / スワイプ (4方向) / スライド (4方向) / ピンチイン / ピンチアウト
大きさ (直径)	50px / 100px / 200px / 300px

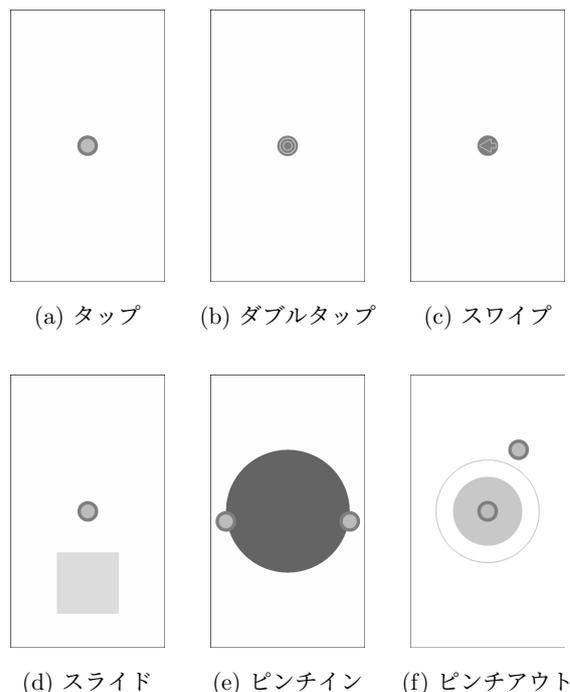


図1: 実験で提示されるアイコン

4.3 実験の方法

被験者は大学生6名である。スマートフォンはiPhone8 (縦138.4mm × 横67.3mm × 厚さ7.3mm, 326ppi), 手袋は市販のスマートフォン対応ニット手袋を使用する(図2)。



図2: 実験に使用するスマートフォンと手袋

実験中の被験者の操作は被験者の手とスマートフォンの画面全体が映るよう設置したカメラと、iPhoneの画面録画機能を使用して記録する。

比較のため、同様のタスクを素手の状態と手袋を着用した状態で1回ずつ行う。被験者には、実験前に極端に体を温めたり冷やしたりすることのないようあらかじめ伝える。タスク実行中は椅子に座ったまま自然な姿勢で、片手操作の場合は利き手で行ってもらう。このとき、リアルタイムに操作のログを取得するため、スマートフォンはPCと長さに十分な余裕があるUSBケーブルで接続されている。被験者の普段のデバイスの把持方法の違いの影響を考慮し、片手持ち・持ち手操作、片手持ち・持ち手と逆の手操作、両手持ち・持ち手操作の3つを調査する(図3)。

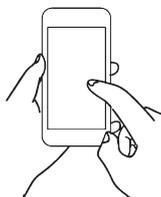
被験者が手袋を初めて着用する際には着用感を尋ねて記録する。タスクはアプリケーションを起動させた状態で始まり、途中で閉じてしまった場合は実験者がスマートフォ

ンを操作して復帰させる。

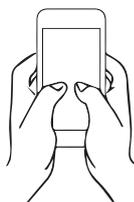
なお、実験順序の影響を相殺するため、48種類のアイコンの提示順をランダムにし、素手・手袋着用で実験するグループと手袋着用・素手の順で実験するグループに被験者を分け、3つの把持方法の実験順序を被験者ごとに異なるようにした。



(a) 片手・持ち手操作



(b) 片手・持ち手と逆の手操作



(c) 両手・持ち手操作

図 3: 実験する把持方法

4.4 実験の手順

被験者は着席した後、実験用アプリを用いて次のタスクを順に行う。

- (1) 各操作の方法とそれぞれを提示するアイコンについて実験者が説明する。
- (2) 1つ目の持ち方で、画面に現れるアイコンに従ってできるだけ速く正確に操作を行う。48種類のアイコンの操作に成功したら、次に進む。
- (3) 2つ目の持ち方で、画面に現れるアイコンに従ってできるだけ速く正確に操作を行う。48種類のアイコンの操作に成功したら、次に進む。
- (4) 3つ目の持ち方で、画面に現れるアイコンに従ってできるだけ速く正確に操作を行う。48種類のアイコンの操作に成功したら次に進む。
- (5) 手袋を着けていた場合は手袋を外し、素手であった場合は手袋を着ける。
- (6) 2~4と同様のタスクを行う。

4.5 実験結果と考察

4.5.1 ジェスチャ

実験結果を表2に示す。各ジェスチャの平均タスク完了時間(行)とその他のジェスチャの平均タスク完了時間(列)の差を示しており、有意差($p < 0.05$)のある結果には色を付けている。アンケートで手袋着用時にやりやすかった操作を回答してもらったところ(複数選択可能)、ピ

ンチインとピンチアウトがそれぞれ6件、ダブルタップが3件であった。手袋着用時にやりやすかった操作については、タップが2件、ダブルタップが1件、スワイプが4件、スライドが2件、特にないという回答が1件であった。

操作に使うジェスチャについては、手袋着用時、ピンチアウトの平均完了時間は他の全てのジェスチャに対して有意に長く、ピンチインの平均タスク完了時間はダブルタップを除く他の操作に対して有意に長い。そのため、手袋着用時はピンチイン、ピンチアウト、ダブルタップに時間がかかると言える。しかし、今回の予備実験におけるピンチインとピンチアウトは操作の始点をアイコンによって制限するものであった。実験者による観察では2本の指を使うこと自体は困難であるようにみえたが、操作する被験者自身が操作の始点を決定できるかどうかによって異なる結果になると考えられる。

4.5.2 アイコンの大きさ

手袋着用時、素手の状態ともにアイコンの大きさによる平均タスク完了時間に有意差は見られなかったが、アンケートで最も操作しやすかったアイコンについて4段階で回答してらったところ、もっとも大きいアイコンという回答が2件、2番目に大きいアイコンという回答が3件であった。

アイコンの大きさは、手袋の着用有無に関係なく、大きいほどタスク完了までの時間が短い傾向があると考えられる。

5. 拡大縮小操作におけるジェスチャのパフォーマンスについての実験

5.1 実験の目的

ジェスチャと操作対象の大きさについての実験より、手袋着用時はピンチイン、ピンチアウトのような複数の指を使用するジェスチャとダブルタップが困難であると推測した。本実験の目的は、手袋着用時の操作について複数の指でのジェスチャとダブルタップを他の操作に置き換えることで操作パフォーマンスが向上するか調査することである。ダブルタップ、ピンチイン、ピンチアウトがよく用いられる拡大縮小操作を対象にし、一般的な拡大縮小操作の種類を7つ選定して、比較を行う。

5.2 実験のタスク

スマートフォンには6つの四角形を含む背景画像が表示される。四角形にはAからFまでのアルファベットが割り当てられている。一定倍率拡大したとき、真円のターゲットアイコンが出現する。ターゲットアイコンの大きさは直径100px(約0.78cm)、タッチが有効となる領域が直径120px(約0.94cm)である。これは、ジェスチャと操作対象の大きさの実験時、直径100pxより小さいアイコンでは操作しづらい様子が観察できたことと、Parhiら[6]の片手親

表 2: ジェスチャごとの平均タスク完了時間の差

単位：ミリ秒	タップ	ダブルタップ	スワイプ右	スワイプ上	スワイプ下	スワイプ左	スライド上	スライド右	スライド下	スライド左	ピンチイン	ピンチアウト
タップ		1108	-253	-306	163	-374	32	29	106	58	4873	5234
ダブルタップ			-1361	-1414	-945	-1482	-1077	-1079	-1003	-1050	3765	4126
フリック右				-53	416	-122	284	282	358	310	5125	5486
フリック上					469	-68	337	335	411	364	5179	5539
フリック下						-537	-132	-134	-58	-105	4710	5071
フリック左							406	403	480	432	5247	5608
スライド上								-2	74	26	4841	5202
スライド右									76	29	4844	5204
スライド下										-48	4767	5128
スライド左											4815	5176
ピンチイン												361
ピンチアウト												

(a) 手袋着用

単位：ミリ秒	タップ	ダブルタップ	スワイプ右	スワイプ上	スワイプ下	スワイプ左	スライド上	スライド右	スライド下	スライド左	ピンチイン	ピンチアウト
タップ		166	-2	-41	52	93	261	250	262	227	2809	2287
ダブルタップ			-168	-206	-113	-72	96	85	96	61	2644	2121
フリック右				-38	55	95	264	253	264	229	2812	2289
フリック上					93	134	302	291	302	267	2850	2327
フリック下						41	209	198	209	174	2757	2234
フリック左							168	157	169	134	2716	2194
スライド上								-11	1	-34	2548	2026
スライド右									11	-23	2559	2037
スライド下										-35	2548	2025
スライド左											2583	2060
ピンチイン												-523
ピンチアウト												

(b) 素手

指操作時ターゲットサイズに関する調査結果を参考に決定した。操作ターゲットアイコンは四角形の内側のランダムな位置に出現する。画面上部にはターゲットアイコンが出現している領域に対応したアルファベットが提示されるため、被験者はそれを手がかりにターゲットアイコンを探索し、タップする。本実験で拡大縮小操作に使用するジェスチャは次の7種類とした。

ピンチ ピンチイン（縮小）、ピンチアウト（拡大）を行う。2本の指の幅に対応した倍率に変化する。

タップ 画面を1回タップする。1回タップするごとに0.5倍、1.0倍、2.0倍、1.0倍の順に変化する。

ダブルタップ 画面を2回素早くタップする。1回ダブルタップするごとに0.5倍、1.0倍、2.0倍、1.0倍の順に変化する。

長押し 画面に触れている間縮小し続ける。一度指を離してからもう一度画面に触れ続けると拡大し続ける。

長押しスライド 画面の一か所をしばらくタッチし続けてから画面上部に向けてスライドするとその間1.05倍ずつ拡大する。画面下部に向けてスライドするとその

間0.95倍ずつ縮小する。

ダブルタップスライド 画面をダブルタップして押さえたまま画面上部に向けてスライドするとその間1.05倍ずつ拡大する。画面下部に向けてスライドするとその間0.95倍ずつ縮小する。

2本指タップ 画面を2本の指で同時に1回タップする。1回タップするごとに0.5倍、1.0倍、2.0倍、1.0倍の順に変化する。

図4は実際のアプリの画面を示しており、(b)はターゲットアイコンが出現している状態である。

5.3 実験方法

被験者は大学生14名である。使用したスマートフォンと手袋は前実験と同様である。実験の様子はiPhoneの画面録画機能を使用して記録する。このとき、リアルタイムに操作のログを取得するため、スマートフォンはPCと長さに十分な余裕があるUSBケーブルで接続されている。実験は異なる2つの把持方法で行う。はじめに自然な持ち方で操作してもらうように指示する。そのとき、被験者が

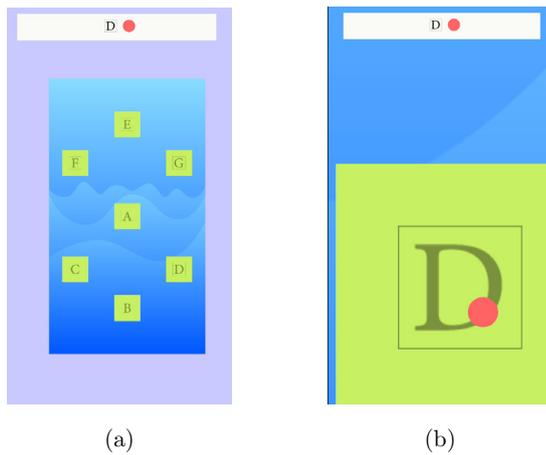


図 4: アプリ画面

両手を使った場合は片手のみ、片手のみを使った場合は両手を使って同様のタスクを繰り返す。実験順序の影響を相殺するため、ジェスチャの実験順序は被験者ごとに異なるようにする。

5.4 実験の手順

被験者は実験用アプリを用いて次のタスクを順に行う。

- (1) 各操作について実験者から説明を受け、1つの操作につき1つのターゲットアイコンを探索する練習タスクを行う。
- (2) 手袋を着用し、いつも通りの自然な持ち方で、指示された操作方法で画面に現れるターゲットアイコンを探索しタップする。6つのターゲットアイコンをタップできたら、実験者に伝える。
- (3) 実験者に新たに指示された操作方法で画面に現れるターゲットアイコンを探索しタップする。6つのターゲットアイコンをタップできたら、実験者に伝える。これを全ての操作方法を終えるまで繰り返す。

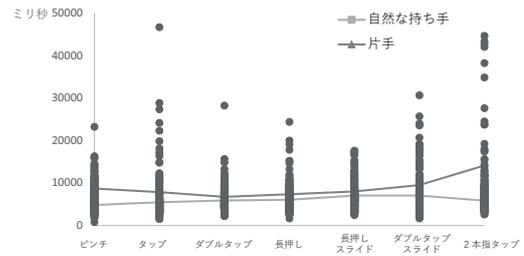
5.5 実験結果と考察

5.5.1 把持方法と操作に使用する指

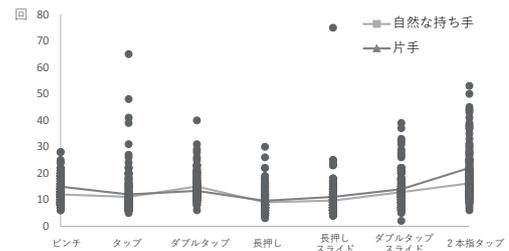
被験者にいつも通りの自然な持ち方で操作してもらうように指示したとき、13名が片手でスマートフォンを持ち、もう一方の手の人差し指と親指を使って操作した。1名のみ、机にスマートフォンを置いて、片方の手の人差し指と親指を使って操作した。

5.5.2 タスク完了時間

図 5a は、それぞれのタスク完了にかかった時間と、自然な持ち方での操作を指示した場合と片手親指操作を指示した場合の平均タスク完了時間を示している。表 3 (a) は、各ジェスチャの平均タスク完了時間 (行) とその他のジェスチャの平均タスク完了時間 (列) の差を示しており、有意差 ($p < 0.05$) のある結果には色を付けている。2本指タップがタップ、ダブルタップ、長押し、長押しスライドに対



(a) タスク完了時間分布



(b) タッチダウン回数分布

図 5: ジェスチャごとのタスク完了時間・タッチダウン回数の分布

して、ダブルタップスライドがタップ、ダブルタップ、長押しに対しての平均タスク完了時間は有意に差があった。

5.5.3 タッチダウンの回数

図 5b は、それぞれのタスクを完了するまでのタッチダウンの回数と、自然な持ち方での操作を指示した場合と片手親指操作を指示した場合の平均タッチダウン回数を示している。表 3 (b) は、各ジェスチャの平均タッチダウン回数 (行) とその他のジェスチャの平均タッチダウン回数 (列) の差を示しており、有意差 ($p < 0.05$) のある結果には色を付けている。(行) > (列) の場合には黄色、(列) > (行) の場合は青色にしている。

5.5.4 考察

2本指タップはタスク完了時間・タッチダウン回数ともに有意に大きかったことから、手袋着用時最も操作しづらいジェスチャだと考えられる。しかしながら、同様に2本の指を使用するピンチインとピンチアウトについて有意に時間がかかっているという結果は得られなかった。これは、本実験の2本指タップは同時に2か所をずれがないようにタップしなければならず、手袋によって狙いが定まりにくくなっていることから2本指タップが認識されにくかったことが原因と考えられる。

ダブルタップのタスク完了時間はタップ、長押し、長押しスライドと比べて有意な差がみられなかったが、ダブルタップスライドはタップ、長押しよりも有意に時間がかかっていた。ダブルタップそのものによる操作パフォーマンス

表 3: ジェスチャごとの平均タスク完了時間・平均タッチダウン回数の差

単位:ミリ秒	ピンチ	タップ	ダブルタップ	長押し	長押しスライド	ダブルタップスライド	二本指タップ
ピンチ		62	-247	164	727	1460	3273
タップ			-309	102	665	1398	3211
ダブルタップ				411	974	1707	3520
長押し					563	1296	3109
長押しスライド						733	2546
ダブルタップスライド							1813
二本指タップ							

(a) 平均タスク完了時間

単位:回	ピンチ	タップ	ダブルタップ	長押し	長押しスライド	ダブルタップスライド	二本指タップ
ピンチ		-1.9075	0.8302	-4.11733	-3.0433	0.0177	5.4641
タップ			2.7377	-2.20983	-1.1358	1.9252	7.3716
ダブルタップ				-4.94753	-3.8735	-0.8125	4.6339
長押し					1.07403	4.13503	9.58143
長押しスライド						3.061	8.5074
ダブルタップスライド							5.4464
二本指タップ							

(b) 平均タッチダウン回数

ンスの違いはあまり現れないと考えられる。しかしながら、ダブルタップのタスク完了時間とタッチダウン回数の相関関係は他のジェスチャと比べて弱い ($r=0.41$) といえる。これは、余計なタッチダウン、もしくは認識されていないタッチダウンが多く発生していることを示していると考えられる。

タップと長押しはダブルタップスライドと二本指タップに対してタスク完了時間が有意に短かった上、タスク完了時間とタッチダウン回数に強い相関関係がみられる ($r=0.86$, $r=0.88$)。他のジェスチャとほぼ変わらない時間で、ほとんど意図どおりの操作が可能であるといえる。

これらのことから、二本指での精密な操作やダブルタップをタップや長押し等のジェスチャに置き換えることで手袋着用時の操作しづらさを緩和できる可能性が考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では手袋着用によるスマートフォン操作への悪影響に着目し、操作しづらさを改善する手法を検討するため、タッチジェスチャのパフォーマンスについて調査した。手袋着用時と素手の状態でのジェスチャ及びターゲットアイコンの大きさを比較する実験と、手袋着用時の拡大縮小操作についてジェスチャを比較する実験を行った。

本研究では操作パフォーマンスを主にタスクの完了時間

で評価したが、この時間は、手をどれだけ思い通りに動かせるかといった身体能力、ターゲットを捉え、どのように操作すればよいかを判断する認知能力の2つによって変動する。手袋着用時の操作しづらさの原因をより具体的に解明するため、身体的要因と認知的要因がそれぞれどのような影響を持つか調査することを今後の課題とする。

参考文献

- [1] Z. Sarsenbayeva, J. Goncalves, J. García, S. Klakegg, S. Rissanen, H. Rintamäki, J. Hamu, and V. Kostakos. Situational impairments to mobile interaction in cold environments. In *UbiComp'16*, pp. 85–96, 2016.
- [2] Z. Sarsenbayeva, N. van Berkel, C. Luo, V. Kostakos, and J. Goncalves. Challenges of situational impairments during interaction with mobile devices. In *OZCHI'17*, pp. 477–281, 2017.
- [3] 山下大輔, 間博人, 山本泰士, 三木光範. スマートフォンの片手操作時における照度センサを用いたジェスチャ認識. 同志社大学ハリス理化学研究報告第58巻, 第4号, pp. 196–201, 2018年.
- [4] Xianghong Sun, Tom Plocher, and Weina Qu. An empirical study on the smallest comfortable button/icon size on touchscreen. In *Usability and Internationalization. HCI and Culture. UI-HCII 2007*, pp. 615–621, 2007.
- [5] iphone ユーザガイド-apple サポート. <https://support.apple.com/ja-jp/guide/iphone/welcome/ios>.
- [6] Pekka Parhi, A. Karlson, and Benjamin B. Bederson. Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices. In *MobileHCI'06*, pp. 203–210, 2006.