

携帯情報端末上のスワイプ方向に着目した タッチジェスチャ UI

黒澤 敏文¹ 志築 文太郎^{2,a)} 田中 二郎²

概要: タッチスクリーンを持つ携帯情報端末の操作時における、スワイプ方向の頻度に基づいたタッチジェスチャ UI を示す。我々はまずユーザが携帯情報端末の既存 UI を操作している際におけるスワイプ方向を調査した。その結果、一部の UI を除き、ユーザが右手操作を行っている際には左上方向スワイプの使用頻度が少ない事が分かった。この結果を基に、我々は左上方向スワイプを、他の方向のスワイプとは異なるタッチジェスチャとして用いるタッチジェスチャ UI を設計した。評価実験の結果、提案 UI において、ユーザは左上方向スワイプを他方向へのスワイプと区別して実行できる事、更に左上方向スワイプの性能が既存 UI のボタン操作より有意に高く Bezel Swipe と同等である事も分かった。

1. 序論

スマートフォン等の、タッチスクリーンを持つ携帯情報端末（以降、端末）には、入力語彙が少ないという問題点がある。特に、タッチパネルのみにより入力される入力語彙、即ちタッチジェスチャはタップ及びスワイプとその組み合わせに限られる。そのためコマンドによってはユーザはその実行に複数回のタッチジェスチャを強いられる。例えば Chrome ブラウザ^{*1} 上にて履歴の一覧を開くコマンドを実行したい場合、デスクトップ環境においては 1 回のキーボードショートカット (Ctrl+H) により実行できるが、端末においては 2 回のタッチジェスチャ、即ちメニューボタンのタップ及び履歴の項目のタップを要する。

この課題に対し、我々はユーザが端末の既存 UI を操作する際におけるスワイプ方向に着目し、使用頻度が少ないスワイプを用いてタッチジェスチャを拡張する。なお、ここで述べる「タッチジェスチャの拡張」とは、タッチジェスチャの種類を増やす事を意味する。端末を操作している際における指の動かしやすさを調査した研究がなされており [1-3]、これらによると、端末を右片手操作している際に、右上-左下間の指の移動が比較的容易であると結論付け

られている。この事から、我々は端末の画面端に平行な上下左右方向へのスワイプ操作がユーザが意識することなく右上-左下方向へ偏っており、左上-右下方向へのスワイプの使用頻度が少ない、という仮説を立てた。そこで、ユーザが端末を操作している際に使用頻度が少ないスワイプの方向を被験者実験により特定し、その方向へのスワイプを用いてタッチジェスチャを拡張する。この際、右片手操作を行っている場合のみならず、両手操作を行っている場合においても検証する。

2. 関連研究

端末に内蔵されたセンサを用いて端末への入力語彙を拡張する試みは数多くなされてきた。[4-7]。端末にマイクや圧力センサ等の追加センサを用いる手法も多く提案されてきた [8-13]。これらに対して本研究はユーザがタッチに用いる指の動きのみを用いて入力語彙の拡張を目指す。

また本研究と同様にタッチに用いる指の動きを用いてタッチジェスチャを拡張する研究が多くなされてきた。[5, 14-29]。これらに対して本研究は、ユーザが行うスワイプ操作の方向に着目し、端末におけるさらなるタッチジェスチャの拡張を目指す。

3. 予備実験

本予備実験では、ユーザが端末上にて様々な操作を行う際に発生するスワイプの方向を取得し、ユーザの使用頻度が少ないシングルスワイプ（以降、単にスワイプ）の方向を特定する。

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

^{a)} shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

^{*1} <https://www.google.co.jp/chrome/browser/desktop/index.html>



a single-portrait 条件, b double-portrait 条件, c double-landscape 条件.

図1 予備実験における実験端末の把持条件.

3.1 実験設計

実験環境

被験者は静音環境にて椅子に座り、タスクを行った。

実験機器

実験に使用する端末（以降、実験端末）として、SONY Xperia Z1 SO-02F（サイズ：127 mm × 65.0 mm × 9.40 mm，解像度：1280 px × 720 px，OS：Android 4.2.2）を用いた。また予備実験中に発生したタッチイベントを全て記録するために、実験端末とコンピュータを USB 接続し、ADB（Android Debug Bridge）を用いて実験端末のデバイスファイル（/dev/input/event1）の内容を記録した。

被験者

被験者は、コンピュータサイエンスを専攻している 22–24 歳の大学生・大学院生 12 名（男性 9 名，女性 3 名）であり，全員右利きだった。また，全員が日常的にスマートフォンを使用しておりその操作に習熟していた。各被験者には謝礼として一律 820 円が支払われた。

実験手順

被験者にタスクを説明した後，着座し，single-portrait 条件（図 1a），double-portrait 条件（図 1b），double-landscape 条件（図 1c）のうちのいずれかの把持条件にて実験端末を把持するよう指示した。その後，被験者には 4 種類のアプリケーション（Web ブラウザ（Google Chrome，バージョン：39.0.2171.93），メールクライアント（Gmail，バージョン：4.9(1271612)），SNS クライアント（Facebook，バージョン：23.0.0.22.14），地図アプリケーション（Google Map，バージョン：9.1.0））上にてそれぞれ指定されたタスクを行って貰った。各被験者は上記タスクを 4 把持条件全てにて行った。なお各アプリケーションを操作する順序はランダムとした。また，各把持条件にてタスクを行う順序はカウンターバランスを取った。全てのタスクが終了した後に被験者にはアンケートに回答して貰った。

タスク

被験者に各アプリケーションを操作する際に課したタスクを以下に示す。

Web ブラウザ

- (1) 1 分間自由に操作する。
- (2) Web 検索を用いて実験者が指定した都市^{*2}の天気を調べる。

^{*2} New York, Washington D. C., Los Angeles の中から 1 つ



図2 現在地と各市役所の位置関係.

- 1) 現在地, 2) 結城, 3) 小美玉, 4) 野田, 5) 稲敷.

- (3) 新しいタブを開き，ブックマークの中から路線乗り換え案内サービスのページ [30] を選択する。その後，現在時刻における実験者が指定した都市間^{*3}の路線乗り換え案内を表示する。なお，[30] のページはコンピュータを用いて閲覧しているユーザ向けにレイアウトされたページであり，被験者はページの拡大縮小の操作を行う事が可能であった。

メールクライアント

- (1) 1 分間自由に操作する。
- (2) フォルダ内のメールの中から実験者が指定した人物^{*4}からのメールを一通探し，それに対する返信メールを送信する。

SNS

- (1) 3 分間自由に操作する。

地図

- (1) 1 分間自由に操作する。
- (2) ポインタが現在地に位置している状態にて，実験者が指定した市役所間^{*5}のルート案内を表示する。ただし，被験者が目的地を探す際には文字または音声による検索機能を用いずに，ポインティングによってのみ場所の探索及び指定を行う事とした。現在地と各目的地の位置関係を図 2 に示す。

3.2 実験結果

被験者が 3 把持条件にて各アプリケーションを操作している際に行われたスワイプの距離 (px) 及び角度の分布を図 3–5 に示す。なお，これらの図に出現するスワイプの角度は全て，被験者が 10px 以上のスワイプを行った際におけるタッチダウンを行った点とタッチアップを行った点を結ぶ直線が， x 軸の正方向となす角度を表す。なお，被験者が実験端末を把持している状態において向かって右方向を x 軸の正方向，上方向を y 軸の正方向としている。即ち，single-portrait 条件及び double-portrait 条件においては図 6a に，double-landscape 条件においては図 6b に示すよ

^{*3} Tokyo から Osaka, Nagoya から Hakata, Sendai から Sapporo の中から 1 経路

^{*4} 架空の人物である Jack, Emily, Ichiro の中から 1 人

^{*5} 結城, 小美玉, 野田, 稲敷の中から選ばれた異なる 2 つの市役所

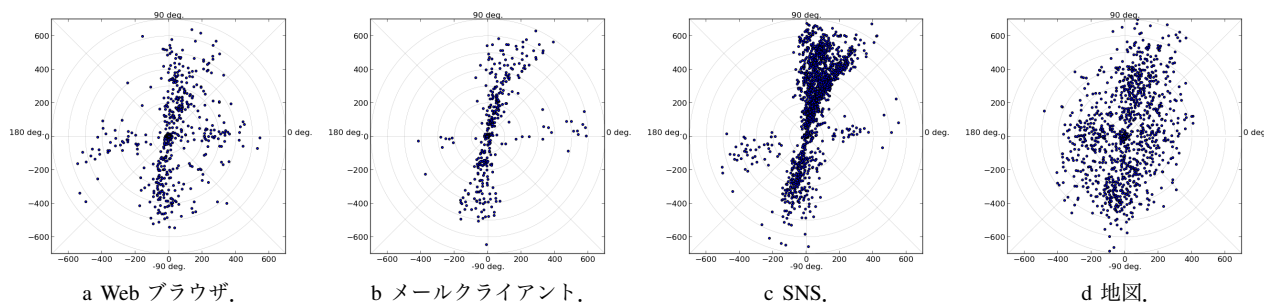


図3 被験者が single-portrait 条件にて行ったシングルスワイプの距離 (px) 及び角度の分布。

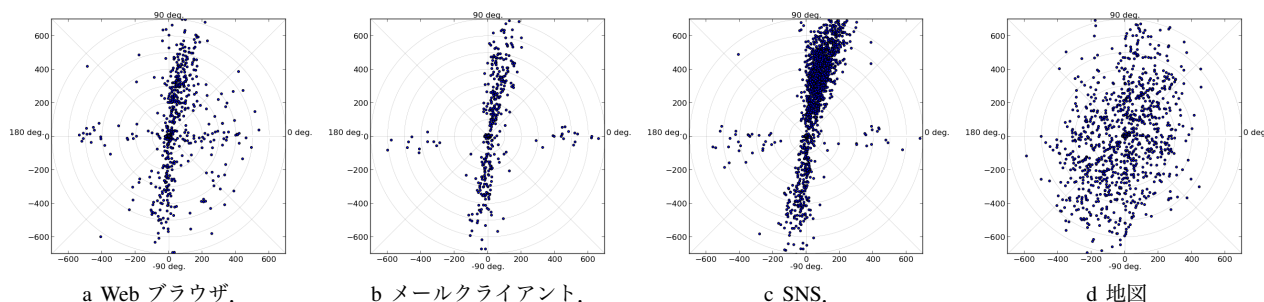


図4 被験者が double-portrait 条件にて行ったシングルスワイプの距離 (px) 及び角度の分布。

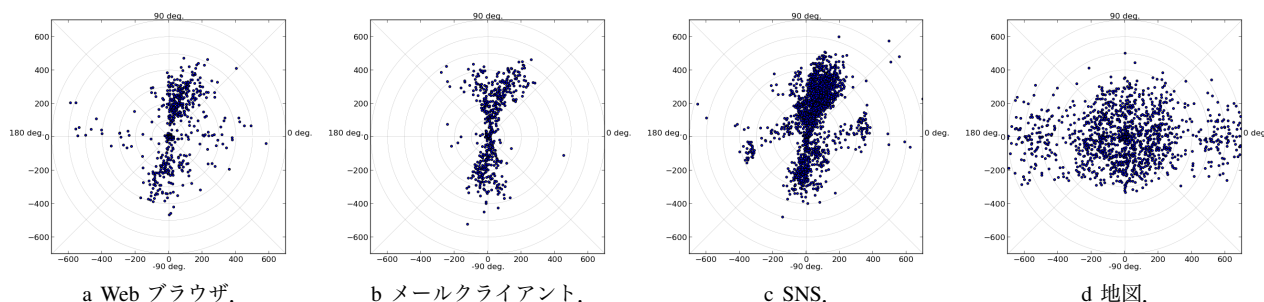
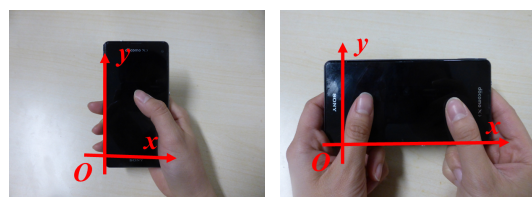


図5 被験者が double-landscape 条件にて行ったシングルスワイプの距離 (px) 及び角度の分布。



a single-portrait 条件 及び b double-landscape 条件
double-portrait 条件

図6 スワイプの角度を求める際における x 軸及び y 軸の設定。

うに, x 軸及び y 軸を定めた。

3.3 考察

まず, 被験者の使用頻度が高かったスワイプの方向を考察する。被験者は地図以外のアプリケーションにおいては 90 度付近, 即ち画面向かって上方向 (以降, 上方向) と, 次いで -90 度付近, 即ち画面向かって下方向 (以降, 下方向) へのスワイプの使用頻度が多い事が分かった。これは, 予備実験にて対象となった地図以外のアプリケーションにおける UI が縦長になっており, コンテンツをさらに閲覧するためには上から下へスクロールする必要があるからであ

表1 各把持条件における free space の範囲。

把持条件	free space の範囲 (度)
single-portrait	117.4 - 158.1
double-portrait	104.1 - 165.0
double-landscape	-164.0 - -118.8

る。さらに上方向へのスワイプは 90 度より右寄りに, 下方向へのスワイプは 90 度より左寄りに頻度のピークがある事が分かる。これは, [1, 3] にて述べられているようにユーザは端末を右手にて把持している際は, 右手親指を右上と左下間にて動かす事が比較的容易である事が理由として考えられる。

続いて, 被験者の使用頻度が少なかったスワイプの方向について考察する。各把持条件において, それぞれ総スワイプ数の 1% 以下のスワイプ数を含む最大の角度範囲 (以降 free space) を表 1 に示す。また, 地図以外の散布図に free space を重ねた図を図 7 に示す。散布図から, ユーザは端末を single-portrait 操作または double-portrait 操作する際に, 左上方向スワイプの使用頻度が少ない事が分かった。

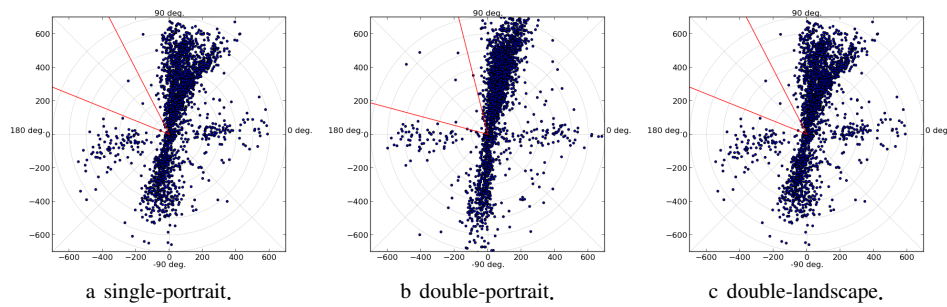


図7 距離と角度の分布, free space 付き.

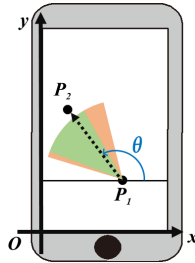


図8 d-swipe の定義域. 茶) single-portrait, 緑) double-portrait.

4. 左上方向スワイプを用いたタッチジェスチャ UI

予備実験より, ユーザが端末を single-portrait 操作または double-portrait 操作する際に, 左上方向スワイプの使用頻度が少ない事が分かった. そこで, 本研究においては以降, 左上方向スワイプを用いたタッチジェスチャ UI を提案する. なお, 以降この左上方向スワイプを, その軌跡が端末の対角線上に沿っているように見えることから diagonal swipe (d-swipe) と呼ぶ.

ここで d-swipe を数値的に定義する. まず, 図8に示すように端末のベゼルに平行な x 軸及び y 軸を定める. ユーザがスワイプを行っている際に, タッチダウンが発生した点 P_1 から見て現在指があるタッチ点 P_2 が位置する角度 θ を定める. この時, ユーザが現在行っているスワイプが d-swipe である条件は予備実験の結果を踏まえ, 以下とする.

$$117.4 \text{ deg.} < \theta < 158.1 \text{ deg.} \quad (\text{single - portrait})$$

$$104.1 \text{ deg.} < \theta < 165.0 \text{ deg.} \quad (\text{double - portrait})$$

$$\text{distance}(P_1, P_2) > 10 \text{ px}$$

ただし $\text{distance}(P_1, P_2)$ は P_1 と P_2 の距離である.

4.1 提案 UI の特長

提案 UI の特長として以下が挙げられる.

連続的なインタラクション

d-swipe はユーザが指を離す前に完了する, ストロークベースのジェスチャである. そのため, ユーザは d-swipe を行った後に指を画面から離す事なく異なる方向へスワイプする事により, 1 ストロークのジェスチャにて連続的に

複数のコマンドを実行できる.

任意の位置にて実行が可能

ユーザは左上方向へスワイプする余地がありさえすれば, d-swipe を画面上の任意の位置にて実行できる.

従来のタッチジェスチャとの共存

d-swipe は端末における既存 UI 上にてユーザの使用頻度が少ないスワイプであるため, 従来のタッチジェスチャと競合する事なく d-swipe を使える.

5. 実装

我々は, 提案 UI を用いてユーザが既存のアプリケーションを操作できるようにシステムを構築した. 端末上の既存のアプリケーションを操作できるようにするためには端末にて発生するタッチイベントを全て取得する必要がある. 我々はこの取得に ADB を用いた. なお ADB を用いるためには Android 端末をコンピュータと接続する必要がある. そこでシステムをコンピュータと Android 端末にて動作するソフトウェア (以降それぞれ PC 部と端末部) から構成した.

5.1 PC 部

PC 部は端末におけるタッチダウンイベントの座標, 及び, その後のいずれかのタッチイベントの座標が4節に示した条件を満たせば, d-swipe が行われたと判定する. この判定のために PC 部は端末にて発生したタッチイベントの時刻情報付きのログをターミナル上にて「adb shell getevent -lt /dev/input/event1」を実行する事により得ている. なお /dev/input/event1 は実装に用いた端末 (SONY Xperia Z1 SO-02F, OS : Android 4.2.2) にてタッチイベントが記録されているデバイスファイルである.

PC 部は d-swipe が行われたと判定した場合, d-swipe に割り当てられたアクションを実行する. 例えばメニューを展開する場合, アクションとして端末上にてメニューを展開するアプリケーションを ADB を用いて実行する. 現実装では端末にてコマンドを実行するために PC 部は ADB を用いてショートカットキーイベントを発生させている. なお ADB を用いてキーイベントを発生させるためには, キーイベントのソースデバイスファイルへアクセスする

必要がある。しかしながら、実装に用いた端末では当初このデバイスファイルが存在しなかった。そこで、我々は端末に物理キーボード^{*6}を接続する事により新たにデバイスファイル(/dev/input/event9)を作成した。これにより、PC部は「adb shell sendevent /dev/input/event9 [type] [code] [value]」を実行する事により端末にてキーイベントを発生させる事が可能となった。

なお、今回我々はPC部をPython 2.7.3を用いて実装した。

5.2 端末部

端末部がPC部からメニューを展開するコマンドを受け取った場合、端末部はd-swipeの開始点を基準にパイメニューを展開する。その後、ユーザの指の位置に従ってパイメニュー中の選択されている項目が移行する。またこの際、以降のd-swipe操作により画面のスクロールが行われないように、端末部は透明ウィンドウを最前面に表示してそこにユーザのタッチイベントのフォーカスを移す。なお、今回我々は端末部をJavaを用いて実装した。

6. 評価実験

提案UIを評価するために方向識別実験、性能評価実験、及び誤起動率の調査を行った。

6.1 実験1：方向識別実験

本実験ではユーザがd-swipe、上方向スワイプ、及び、左方向スワイプを使い分けられるかを確認する。

6.1.1 実験環境

室内にて行った。また、被験者が操作する携帯情報端末(以降、実験端末)として予備実験と同じものを用いた。

6.1.2 被験者

被験者として3節にて述べた予備実験の被験者12名のうち6名(男性4名、女性2名)を採用した。被験者は22歳~24歳であり、全員が右利きだった。

6.1.3 実験設計

方向識別実験において被験者は、指示された方向に対するスワイプ操作を行う。

スワイプ方向

各方向へのスワイプを以下のように定義した(図9)。

- d-swipe：4節にて述べた定義。
- 上方向スワイプ： y 軸の正方向となす角度が -45 度から 45 度以内、かつ、d-swipeの条件を満たさないスワイプ。
- 左方向スワイプ： x 軸の負方向となす角度が -45 度から 45 度以内、かつ、d-swipeの条件を満たさないスワイプ。

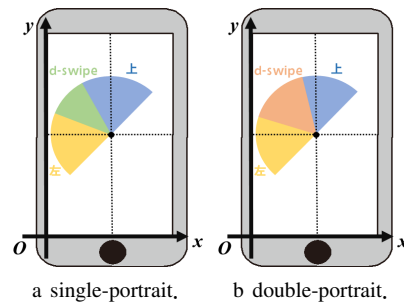


図9 方向識別実験における各スワイプの方向の定義。

視条件

方向識別実験において被験者は、実験端末の画面を見る sighted 条件と、実験端末の画面を見ない blind 条件の2つの視条件にてタスクを行う。sighted 条件において被験者は、着座姿勢にて実験端末に表示された指示を見ながらタスクを行う。一方 blind 条件においては、着座姿勢にて手を机の下に移動させ、実験端末が接続されたコンピュータの画面に表示された指示を見ながらタスクを行う。blind 条件を設ける意図は、ユーザが歩行時、自動車の運転時、または、その他何かしらのタスクを行っている最中に端末を操作したい際に、d-swipeの実行可能性を確かめるためである。

把持条件

被験者は single-portrait 条件と double-portrait 条件の両方にてタスクを行った。

タスク数

各方向へのスワイプを各把持条件にて5回ずつ行う事を1セットとして、被験者は各視条件にて6セットのタスクを行った。

6.1.4 実験手順

実験者は、まず被験者へタスクの手順を説明した。その後、被験者は実験の手順を確認するために、被験者が操作に慣れたと判断するまで練習を行った。続いて、被験者は single-portrait 条件または double-portrait 条件のいずれかの把持姿勢にて、sighted 条件または blind 条件のいずれかの視条件にて1セットのタスクを行った。1セットのタスクが終了すると、sighted 条件においては実験端末上に、blind 条件においてはコンピュータ上にそれぞれ把持姿勢を変更する指示が表示される。被験者はその指示に従い把持姿勢を変更し、実験端末の画面をタップするとタスクが開始される。被験者はこれを6セット繰り返す。その後被験者は視条件を変更し、再び6セット分のタスクを行った。なお、練習時及び初めの1セットを行っている際、被験者が現在スワイプしている方向が視覚フィードバックとして実験端末に表示された。

方向識別実験においては合計3(方向)×2(把持条件)×5(試行)×6(セット)×2(視条件)×6(人)=2160(回)のタスクが行われた。方向識別実験が完了するまで

^{*6} Bluetooth Silicone Keyboard TD-0001-009 (<http://www.transaction-ma.jp/keyboard.html>)

表 2 各条件における外れ値の個数.

条件	方向		
	d-swipe	上	左
sighted 条件かつ single-portrait 条件	1	1	1
sighted 条件かつ double-portrait 条件	1	6	6
blind 条件かつ single-portrait 条件	3	3	3
blind 条件かつ double-portrait 条件	4	1	2

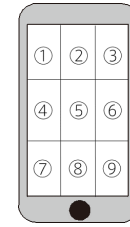


図 10 ボタンの表示候補位置.

の所要時間は一人あたり 10 分程度だった。

6.1.5 実験結果

実験結果の分析においては、各条件における初めの 1 セットのタスクを練習タスクとして、分析対象から除外した。なお、4 名の被験者が実験中に指示とは異なった方向へ誤ってスワイプしたと自己申告したため、全てのデータから各方向へのスワイプの角度がその方向へのスワイプの角度の平均値から 3σ 以上離れた角度であった場合、そのスワイプを外れ値として分析対象から除外する事とした。我々は、外れ値が検出されなくなるまで繰り返し外れ値検出を行った。結果として各条件において検出された外れ値の個数を表 2 に示す。また、角度及び標準偏差を計算する際に、左方向スワイプの定義域の連続性を保つために角度の値域を予備実験で採用した -180 度 ~ 180 度ではなく 0 度 ~ 360 度とする事とした。

sighted 条件かつ single-portrait 条件においては、d-swipe が 1 度のみ左方向スワイプと認識された事を除き、被験者は全てのスワイプを指示通りの方向へ行う事ができた。結果として、被験者は 99.8% の精度にて各方向へのスワイプを行う事ができた。sighted 条件かつ double-portrait 条件においては、 2.78% の上方向スワイプ及び 2.08% の左方向スワイプが d-swipe と認識されたが、被験者は 98.2% の精度にて各方向へのスワイプを行う事ができた。blind 条件かつ single-portrait 条件においては、他条件と比べて d-swipe が左方向スワイプと認識される割合が 3.40% と高かった。それ以外のスワイプについては sighted 条件と同程度の識別率であり、被験者は平均 98.4% の精度にて各方向へのスワイプを行う事ができた。blind 条件かつ double-portrait 条件においては、他条件と比べて上方向スワイプが d-swipe と認識される割合が 3.36% と高かった。それ以外のスワイプについては sighted 条件と同程度の識別率であり、被験者は平均 98.6% の精度にて各方向へのスワイプを行う事ができた。

結果としていずれの条件においても被験者は 98% を超える精度にて各方向へのスワイプを区別して実行できた。即ち、既存の UI における操作に d-swipe による操作が追加された場合においても、ユーザが上方向及び左方向スワイプと区別して d-swipe を実行できる事が明らかになった。

6.2 実験 2：性能評価実験

本実験では d-swipe を用いたタッチジェスチャ UI の性

能を評価する。そのために、Web ブラウザを使用している場面を想定し、d-swipe と他手法との間にてメニュー展開及びコマンド実行の速度及び使用感を比較調査する。

6.2.1 実験環境

室内にて性能評価実験を行った。また実験端末として予備実験と同じ端末を用いた。

6.2.2 被験者

被験者として 3 節にて述べた予備実験の被験者 12 名を採用した。また、被験者は誤起動率の調査実験 (6.3 節) にも参加し、820 円の謝金を得る事とした。

6.2.3 実験設計

タスク

- (1) 被験者は、画面をタップする事によりタスクを開始する。
- (2) 被験者は、画面に表示された Start ボタンをタップする。この操作は、被験者が閲覧中の Web ページのコンテンツを操作している場面を想定している。
- (3) 被験者は、6.2.4 節にて後述する手法を用いてメニューを開き、新しいタブを開くコマンドを実行する。
- (4) 被験者は、6.2.4 節にて後述する手法を用いてメニューを開き、ブックマークの一覧を開くコマンドを実行する。
- (5) 被験者は、画面に表示された URL ボタンをタップする。この操作は、被験者がブックマークの一覧の中から特定のページにアクセスする場面を想定している。
- (6) 被験者は、画面に表示された Finish ボタンをタップする。この操作は、アクセスした URL にある Web ページのコンテンツを操作する場面を想定している。
- (7) 1-6 を繰り返す。

ボタンの表示位置

タスク中に出現する Start ボタン及び URL ボタン及び Finish ボタンは、図 10 に示すように、実験端末の画面を 9 分割した領域のいずれか一つの領域に出現する。実験端末の画面が $780\text{ px} \times 1280\text{ px}$ であるので、ボタンのサイズは $260\text{ px} \times 426\text{ px}$ となる。

メニュー項目

後述する各手法を用いて展開されるメニューには、多くの Web ブラウザにて標準的に備わっている「新しいタブを開く」、「ブックマークの一覧を開く」、「履歴の一覧を開く」の 3 つのコマンドをそれぞれ実行する項目が表示される。



図 11 button 条件におけるメニューボタンの表示.

図 12 button 条件における各 GUI 部品のサイズ及び位置関係.

6.2.4 手法条件

メニューの出現及びコマンドの実行を行うための手法として, button, Bezel Swipe, 及び d-swipe を用いる事とした. なお, ベゼルを開始点とするジェスチャはモバイル環境において最も好まれるジェスチャであるとされており [21], その一つが Bezel Swipe である. そのため, 我々は提案手法を評価するにあたり, Bezel Swipe を比較対象とした.

button 条件

button 条件において被験者は, GUI のボタン操作によりメニューの展開及びコマンドの実行を行う. 実験中, 実験端末の画面上には図 11 に示すようにメニューボタンが表示される. 被験者がメニューボタンをタップすると, 図 12 に示すようにメニューが展開される. メニューが展開された後に被験者が項目をタップすると, 対応するコマンドが実行される.

button 条件における各 GUI 部品のサイズ及び位置関係を図 12 に示す. メニューボタンの幅, 高さ, 項目の高さは全て $7mm$ であり, この大きさは Android, iOS, Windows Phone, Nokia のユーザインタフェースガイドラインにてユーザがタップしやすい最低のアイコンサイズの 1 辺の長さに等しい [31–34]. さらに, メニュー項目の幅は $38mm$ である. これらの長さは実験端末上にて Chrome を実行させた際に表示されるメニューボタンとメニュー項目の幅及び高さである.

Bezel Swipe 条件

Bezel Swipe 条件において被験者は, Bezel Swipe [20] によりメニューの展開を行う. 被験者が左右の画面端から $7.45mm = 100px$ 以内の点にてタッチを行うと, メニューが図 13 に示すようにパイメニューとして展開される. なお, 以降の図における白丸はタッチ点を表す. その後被験者が $0.74mm = 10px$ 以上スワイプすると, タッチ開始点から現在のタッチ位置を通過する直線と, 左右どちらか近い方の画面端とのなす角に応じてメニュー項目が選択状態になる. この状態にて被験者が指を離すと, 選択されている

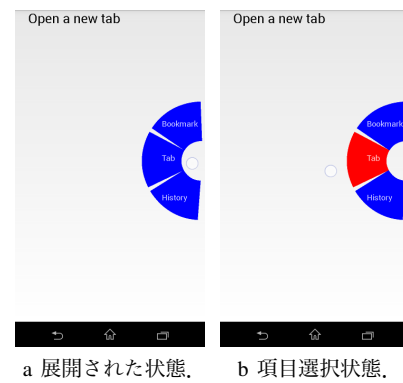


図 13 Bezel Swipe 条件において展開されるパイメニュー.

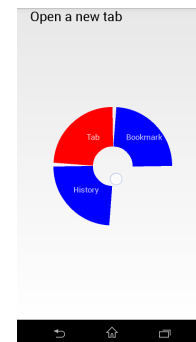


図 14 d-swipe 条件において出現するパイメニュー.

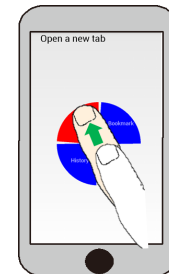


図 15 d-swipe 実行の際に発生するオクルージョン. (白色) タッチ開始時の指, (肌色) d-swipe 実行後の指.

メニュー項目に応じたコマンドが実行される.

d-swipe 条件

d-swipe 条件において被験者は, d-swipe によりメニューの展開を行う. この条件において被験者が d-swipe を行うと, メニューが図 14 に示すようにパイメニューとして展開される. ただし, タッチダウンされた点 (td_x, td_y) を中心にパイメニューを出現させた場合, 図 15 に示すように被験者の親指によるオクルージョンが発生する. そのため, d-swipe 条件におけるパイメニューの中心座標を我々の経験則から $(td_x - 50, td_y - 150)$ とした.

6.2.5 実験手順

実験者はまず被験者に実験同意書を渡し, 性能評価実験の目的及び d-swipe の説明を行った. 続いて, 実験者は被験者へタスクの手順を説明した. その後, 被験者は操作手順を覚えるまで 1 分程度の練習を行った. 続いて, 被験者はいずれかの把持条件及び手法条件にて, 18 回のタスク

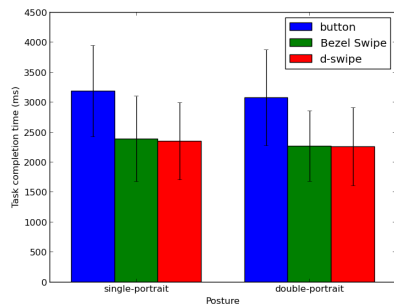


図 16 各把持条件及び手法条件における平均タスク完了時間。

を行った。また、18回のタスクにて Start ボタン、URL ボタン、Finish ボタンはそれぞれ9箇所の出現候補から必ず2回ずつ出現する事とした。これを各手法条件にて行う事を1セットとし、各把持条件にて3セットずつのタスクを行った。なお、各把持条件及び各手法条件にてタスクを行う順序はカウンターバランスを考慮した。また被験者の集中力を保つために、タスク開始前の画面を表示している間において自由に休憩を取ってよいものとした。全てのタスクが完了した後、被験者は6.3節にて後述する誤起動率の調査実験に参加し、その後アンケートに回答した。また、性能評価実験の所要時間は1人あたり40分程度であった。

性能評価実験においては合計2(把持条件)×3(手法条件)×18(試行)×3(セット)×12(人)=3888(回)のタスクが行われた。

6.2.6 実験結果

被験者が Start ボタンをタッチダウンしてから Finish ボタンをタッチダウンするまでの時間をタスク完了時間 (Task completion time) とし、各把持条件及び手法条件における平均タスク完了時間を図 16 に示す。なお、各条件における最初の1セットは練習タスクとし、データを分析する際には除外した。

single-portrait 条件における、button 条件、Bezel Swipe 条件、d-swipe 条件の平均タスク完了時間はそれぞれ、3183.7 (ms)、2387.8 (ms)、2348.9 (ms) であった。また、それぞれの手法条件間において対応のない t 検定を行った結果、button 条件と Bezel Swipe 条件及び、button 条件と d-swipe 条件の間において、それぞれ有意差が見られた ($t=15.9$, $p<0.001$, $t=17.4$, $p<0.001$)。一方で、Bezel Swipe 条件と d-swipe 条件の間においては有意差は見られなかった ($t=0.841$, $p>0.1$)。

さらに、double-portrait 条件における、button 条件、Bezel Swipe 条件、d-swipe 条件の平均タスク完了時間はそれぞれ、3074.0 (ms)、2268.1 (ms)、2258.7 (ms) であった。また、それぞれの手法条件間において対応のない t 検定を行った結果、button 条件と Bezel Swipe 条件及び、button 条件と d-swipe 条件の間において、それぞれ有意差が見られた ($t=16.9$, $p<0.001$, $t=16.4$, $p<0.001$)。一方で、Bezel

Swipe 条件と d-swipe 条件の間においては有意差は見られなかった ($t=0.224$, $p>0.1$)。

6.2.7 考察

各把持条件において、平均タスク完了時間 Bezel Swipe 条件及び d-swipe 条件は button 条件より有意に良い結果となった。また、Bezel Swipe 条件と d-swipe 条件の間には有意差が無かった。これらの事から、d-swipe を用いたインタラクション手法はパフォーマンス及び使用感において、端末における従来の UI において多く用いられているボタンによる操作よりも高い性能を示した。さらに、最もユーザーに好まれるジェスチャであるとされている Bezel Swipe と同程度の性能を示す事が分かった。

以下、d-swipe と Bezel Swipe がタスク完了時間の点において同程度の性能を示した理由を考察する。被験者が Bookmark のコマンドを選択する際に、d-swipe 条件においては操作に用いる指の方向を転換する必要がある。即ち、被験者の操作はメニューを展開する段階とコマンドを選択する段階の2つの段階が存在する。これに対し、Bezel Swipe 条件においては被験者は操作に用いる指の方向を転換する必要が無く、メニューの展開とコマンドの選択を同時に、即ち1つの段階のみに行っている。これに関わらず、d-swipe 条件が Bezel Swipe 条件と同程度の性能を示した理由の一つに、被験者は d-swipe を任意の点から開始する事が出来る事に対して、Bezel Swipe を行う際には画面端に一度指を移動させる必要があるため、d-swipe 条件に比べてメニュー展開の所要時間が長い事が挙げられる。

6.3 実験3：誤起動率の調査

我々は、端末における実際のアプリケーション上にて被験者に d-swipe の応用例を自由に使用させる事により、実際の使用場面における d-swipe の誤起動率を調査した。

6.3.1 実験設計

被験者には各把持条件にて自由に Web ブラウザを使用して貰った。また、実験2と同様に d-swipe を用いてメニュー展開及びコマンド実行を行って貰った。なお Web ブラウザとして予備実験と同じ Chrome を用いた。

6.3.2 実験手順

実験者は、まず被験者に Chrome 上において実際に d-swipe を使用している場面を見せる。続いて、被験者は各把持条件にて Web ブラウザを2分間自由に使用するタスクを行う。タスク終了後、実験者は被験者に d-swipe をトリガとしたメニュー展開がどの程度誤起動したかを聞き取り調査した。誤起動率の調査実験が完了するまでの所要時間は1人あたり5分程度であった。

6.3.3 実験結果及び考察

12名の被験者のうち、d-swipe をトリガとしたメニュー展開が誤起動したと答えた被験者は3名 (P7, P9, P12) で

あった。P7は、single-portrait条件においては誤起動する事があったが、double-portrait条件においては誤起動しなかったと答えた。また、P9はPC向けのページを拡大表示している際に誤起動する事があったが、それ以外の場面において誤起動する事は無かったと答えた。さらに、P12は両把持条件において誤起動する事があり、特にsingle-portrait条件の場合に多く誤起動したと答えた。上述以外の被験者9名は、誤起動する事が無かったと述べた。

d-swipeの誤起動が発生した理由として、現状の実装においてはユーザがタッチダウンを行った点の座標及び現在タッチしている点の座標のみを用いてジェスチャ判定を行っている事が挙げられる。改善策として、予備実験により得られたデータからユーザがスワイプに用いる指の軌跡をジェスチャ判定のパラメータに加える事が考えられる。

7. 議論

ユーザが端末を右手の指を用いて操作している場合においてのみ、提案UIを使用する事が出来る。さらに、d-swipeの定義域は片手操作時と両手操作時において異なっている。そのため提案UIを実用化するには、端末の把持姿勢の検出を行う必要がある。これは、近年盛んに行われている把持姿勢検出の研究[9,35–39]と組み合わせる事により実現可能であると考えられる。

8. 結論

本論文においては、端末の操作時におけるスワイプ方向を調査し、ユーザが右手操作を行っている際に左上方向スワイプの使用頻度が少ない事を示した。この調査結果を基に、ユーザの使用頻度が少ない左上方向スワイプをd-swipeと名付け、端末に対する入力語彙を拡張するためにd-swipeを用いた新たなインタラクション手法を提案し、その応用例を示した。また、評価実験の結果、端末の既存UIにおける操作にd-swipeによる操作が追加された場合においても、ユーザが上方向スワイプ及び左方向スワイプと区別してd-swipeを実行する事が可能である事を示した。さらに、提案手法はパフォーマンス及び使用感において、端末における従来のUIにおいて多く用いられているボタンによる操作より高い性能を示し、またBezel Swipeと同程度の性能を示した。今後の課題として、d-swipeの誤起動率の減少が挙げられる。

参考文献

- [1] Karlson, A. K., Bederson, B. B. and Contreras-Vidal, J. L.: Understanding Single-Handed Mobile Device Interaction, Technical Report HCIL-2006-02 (2006).
- [2] 松浦吉祐, 郷健太郎: 小型タッチ画面における片手親指の操作特性 (ITS2, ITS 画像処理, 映像メディア, 一般), 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学, Vol. 106, No. 537, pp. 61–66 (2007).
- [3] Trudeau, M., Udtamadilok, T., Karlson, A. K. and Dennerlein, J. T.: Thumb Motor Performance Varies by Movement Orientation, Direction, and Device Size During Single-Handed Mobile Phone Use, *Human Factors*, Vol. 54, No. 1, pp. 52–59 (2012).
- [4] Heo, S. and Lee, G.: Forcetap: Extending the Input Vocabulary of Mobile Touch Screens by Adding Tap Gestures, *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '11*, New York, NY, USA, ACM, pp. 113–122 (2011).
- [5] Serrano, M., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: Bezel-Tap Gestures: Quick Activation of Commands from Sleep Mode on Tablets, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, New York, NY, USA, ACM, pp. 3027–3036 (2013).
- [6] Hinckley, K. and Song, H.: Sensor Synaesthesia: Touch in Motion, and Motion in Touch, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11*, New York, NY, USA, ACM, pp. 801–810 (2011).
- [7] Goel, M., Wobbrock, J. and Patel, S.: GripSense: Using Built-in Sensors to Detect Hand Posture and Pressure on Commodity Mobile Phones, *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '12*, New York, NY, USA, ACM, pp. 545–554 (2012).
- [8] Harrison, C., Schwarz, J. and Hudson, S. E.: TapSense: enhancing finger interaction on touch surfaces, *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '11* (2011).
- [9] Ono, M., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Touch & Activate: Adding Interactivity to Existing Objects Using Active Acoustic Sensing, *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13*, New York, NY, USA, ACM, pp. 31–40 (2013).
- [10] Miyaki, T. and Rekimoto, J.: GraspZoom: Zooming and Scrolling Control Model for Single-handed Mobile Interaction, *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '09*, New York, NY, USA, ACM, pp. 11:1–11:4 (2009).
- [11] Heo, S. and Lee, G.: Force Gestures: Augmenting Touch Screen Gestures with Normal and Tangential Forces, *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '11*, New York, NY, USA, ACM, pp. 621–626 (2011).
- [12] Heo, S. and Lee, G.: Force Gestures: Augmented Touch Screen Gestures Using Normal and Tangential Force, *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '11*, New York, NY, USA, ACM, pp. 1909–1914 (2011).
- [13] Harrison, C. and Hudson, S.: Using Shear As a Supplemental Two-dimensional Input Channel for Rich Touchscreen Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12*, New York, NY, USA, ACM, pp. 3149–3152 (2012).
- [14] Benko, H., Wilson, A. D. and Baudisch, P.: Precise Selection Techniques for Multi-touch Screens, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '06*, New York, NY, USA, ACM, pp. 1263–1272 (2006).
- [15] Roudaut, A., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: MicroRolls: Expanding Touch-screen Input Vocabulary by Distinguishing Rolls vs. Slides of the Thumb, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09*, New York, NY, USA, ACM, pp. 927–936 (2009).

- [16] Bonnet, D., Appert, C. and Beaudouin-Lafon, M.: Extending the Vocabulary of Touch Events with ThumbRock, *Proceedings of Graphics Interface 2013*, GI '13, Toronto, Ont., Canada, Canada, Canadian Information Processing Society, pp. 221–228 (2013).
- [17] Boring, S., Ledo, D., Chen, X. A., Marquardt, N., Tang, A. and Greenberg, S.: The Fat Thumb: Using the Thumb's Contact Size for Single-handed Mobile Interaction, *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services Companion*, MobileHCI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 207–208 (2012).
- [18] Wang, F. and Ren, X.: Empirical Evaluation for Finger Input Properties in Multi-touch Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 1063–1072 (2009).
- [19] Wang, F., Cao, X., Ren, X. and Irani, P.: Detecting and Leveraging Finger Orientation for Interaction with Direct-touch Surfaces, *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 23–32 (2009).
- [20] Roth, V. and Turner, T.: Bezel Swipe: Conflict-free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 1523–1526 (2009).
- [21] Bragdon, A., Nelson, E., Li, Y. and Hinckley, K.: Experimental Analysis of Touch-screen Gesture Designs in Mobile Environments, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, New York, NY, USA, ACM, pp. 403–412 (2011).
- [22] Zeleznik, R., Bragdon, A., Adeputra, F. and Ko, H.-S.: Hands-on Math: A Page-based Multi-touch and Pen Desktop for Technical Work and Problem Solving, *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 17–26 (2010).
- [23] Hinckley, K., Yatani, K., Pahud, M., Coddington, N., Rodenhouse, J., Wilson, A., Benko, H. and Buxton, B.: Pen + Touch = New Tools, *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 27–36 (2010).
- [24] Wagner, J., Huot, S. and Mackay, W.: BiTouch and BiPad: Designing Bimanual Interaction for Hand-held Tablets, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 2317–2326 (2012).
- [25] Kim, S., Yu, J. and Lee, G.: Interaction Techniques for Unreachable Objects on the Touchscreen, *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, OzCHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 295–298 (2012).
- [26] Yu, N.-H., Huang, D.-Y., Hsu, J.-J. and Hung, Y.-P.: Rapid Selection of Hard-to-access Targets by Thumb on Mobile Touch-screens, *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 400–403 (2013).
- [27] Chen, C., Perrault, S. T., Zhao, S. and Ooi, W. T.: Bezel-Copy: An Efficient Cross-application Copy-paste Technique for Touchscreen Smartphones, *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 185–192 (2014).
- [28] Heo, S., Gu, J. and Lee, G.: Expanding Touch Input Vocabulary by Using Consecutive Distant Taps, *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 2597–2606 (2014).
- [29] Heo, S. and Lee, G.: Ta-Tap: Consecutive Distant Tap Operations for One-handed Touch Screen Use, *Proceedings of the Adjunct Publication of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13 Adjunct, New York, NY, USA, ACM, pp. 91–92 (2013).
- [30] Jorudan Co. Ltd.: Welcome to Jorudan Co.,Ltd. available from (<http://www.jorudan.co.jp/english/>).
- [31] Google Inc.: Metrics and Grids — Android Developers. available from (<http://developer.android.com/design/style/metrics-grids.html>).
- [32] Apple Inc.: iOS Human Interface Guidelines: Designing for iOS. available from (<https://developer.apple.com/library/ios/documentation/UserExperience/Conceptual/MobileHIG/index.html>).
- [33] Helmy, D.: UX/UI Guidelines for Windows Phone 8 - AfricaApps - Site Home - MSDN Blogs. available from (<http://blogs.msdn.com/b/africaapps/archive/2014/03/08/ux-guidelines-for-windows-phone-8.aspx>).
- [34] Microsoft Mobile Oy: Nokia X Design Guidelines. available from (<http://developer.nokia.com/resources/library/nokia-x-ui/>).
- [35] Taylor, B. T. and Bove, Jr., V. M.: Graspables: Grasp-recognition As a User Interface, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 917–926 (2009).
- [36] Cheng, L.-P., Hsiao, F.-I., Liu, Y.-T. and Chen, M. Y.: iRotate Grasp: Automatic Screen Rotation Based on Grasp of Mobile Devices, *Adjunct Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST Adjunct Proceedings '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 15–16 (2012).
- [37] Sato, M., Poupyrev, I. and Harrison, C.: Touché: Enhancing Touch Interaction on Humans, Screens, Liquids, and Everyday Objects, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 483–492 (2012).
- [38] 大野 誠, 志築文太郎, 田中二郎: アクティブ音響センシングを用いた把持状態認識, インタクション 2013, pp. 56–63 (2013).
- [39] 上島佳佑, 上野秀剛: スマートフォンにおける片手操作と両手操作の判別, モバイル学会シンポジウムモバイル'12, Vol. 2012, pp. 9–14 (2012).