

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

携帯情報端末上のスワイプ方向に着目した
タッチジェスチャの拡張

黒澤 敏文

修士（工学）

（コンピュータサイエンス専攻）

指導教員 志築 文太郎

2015年3月

概要

これまでに、携帯情報端末におけるタッチジェスチャを拡張する研究が多くなされてきた。本論文では、携帯情報端末の操作時におけるスワイプ方向を解析し、タッチジェスチャの新たなデザインスペースを模索する。本研究では、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する実験を行った。その結果一部の UI を除き、ユーザが右手操作を行なってい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。この結果を基に、左上方向スワイプを用いた新たなインタラクション手法を提案し、その応用例を実装した。また、ユーザが左上方向スワイプを従来の UI における操作として多く採用されている左方向スワイプ及び上方向スワイプと区別して実行可能であることを調査し、左上方向スワイプの実行可能性を示した。さらに、提案手法と既存手法であるボタン UI のタッチ操作及び Bezel Swipe との性能を比較する評価実験を行った。この結果、提案手法がボタン UI のタッチ操作より有意に高い性能を示し、また Bezel Swipe と同等の性能を示した。これらの結果から提案手法の実行可能性及び有用性を明らかにし、提案手法が携帯情報端末における新たなタッチジェスチャとして有効である事を示した。

目次

第1章 序論	1
1.1 携帯情報端末における入力の問題点	1
1.2 本研究の目的とアプローチ	1
1.3 本研究の貢献	2
1.4 本論文の構成	2
第2章 関連研究	4
2.1 端末における入力語彙を拡張する研究	4
2.2 タッチジェスチャを拡張する研究	4
2.3 本研究の位置付け	5
第3章 予備実験	6
3.1 実験目的	6
3.2 実験設計	6
3.3 実験結果	10
3.3.1 single-portrait 条件	10
3.3.2 double-portrait 条件	11
3.3.3 double-landscape 条件	16
3.4 考察	18
第4章 左上方向スワイプを用いたインタラクション手法	20
4.1 d-swipe：ユーザの使用頻度が少ない左上方向スワイプ	20
4.2 d-swipe を用いたインタラクション手法の特長	21
第5章 応用	23
5.1 コマンド実行のショートカット	23
5.2 メニュー展開	23
第6章 実装	27
6.1 システム構成	27
6.2 PC 部の実装	27
6.2.1 ADB を用いたタッチイベントの取得	27
6.2.2 ジェスチャ判定及びメニュー展開	29

6.2.3	コマンドの実行	30
	端末におけるキーイベントのソースデバイスファイルの作成	30
	発生するキーイベントの調査	32
6.3	端末部の実装	33
6.3.1	メニューの表示とスクロールのロック	33
第7章	評価実験	35
7.1	実験1：方向識別実験	35
7.1.1	実験目的	35
7.1.2	実験環境	35
7.1.3	被験者	36
7.1.4	実験設計	36
	スワイプ方向	36
	視条件	37
	把持条件	37
	タスク数	37
7.1.5	実験手順	38
7.1.6	実験結果	38
7.2	実験2:性能評価実験	40
7.2.1	実験目的	40
7.2.2	実験環境	40
7.2.3	被験者	41
7.2.4	実験設計	41
	タスク	41
	ボタンの表示位置	41
	メニュー項目	43
7.2.5	手法条件	43
	button 条件	43
	Bezel Swipe 条件	44
	d-swipe 条件	44
7.2.6	実験手順	46
7.2.7	実験結果	48
	タスク完了時間	48
	使用感の主観的評価	49
7.2.8	考察	50
7.3	実験3:誤起動率の調査	54
7.3.1	実験目的	54
7.3.2	実験設計	54
7.3.3	実験手順	54

7.3.4	実験結果及び考察	54
7.4	アンケートから得られた知見	55
第 8 章	議論	58
8.1	把持姿勢の検出	58
8.2	提案手法の適用範囲	58
第 9 章	結論	59
	謝辞	60
	参考文献	61
付録 A	予備実験の際に用いた実験同意書及びアンケート用紙	67
付録 B	評価実験の際に用いた実験同意書及びアンケート用紙	70
付録 C	評価実験のアンケートにて得られたコメント	76

目 次

1.1	端末の右片手操作.	2
1.2	右下-左下間の指の移動.	2
3.1	被験者が予備実験を行っている様子.	7
3.2	予備実験における実験端末の把持条件.	8
3.3	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.	10
3.4	各把持条件において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.	11
3.5	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.	12
3.6	被験者が single-portrait 条件にて行ったシングルスワイプの角度のヒストグラ ム.	13
3.7	single-portrait 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスワイプの 距離と角度の分布.	13
3.8	single-portrait 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスワイプ方 向のヒストグラム.	13
3.9	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.	14
3.10	被験者が double-portrait 条件にて行ったシングルスワイプの角度のヒストグラ ム.	15
3.11	double-portrait 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスワイプ の距離と角度の分布.	15
3.12	double-portrait 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスワイプ 方向のヒストグラム.	15
3.13	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.	16
3.14	被験者が double-landscape 条件にて行ったシングルスワイプの角度のヒストグ ラム.	17
3.15	double-landscape 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスワイ プの距離と角度の分布.	18
3.16	double-landscape 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスワイ プ方向のヒストグラム.	18

3.17	距離と角度の分布, free space 付き.	19
4.1	d-swipe の定義域. 茶) single-portrait. 緑) double-portrait.	21
4.2	各ジェスチャを開始する際における指の移動.	22
5.1	a) d-swipe によるブックマークのコマンドの実行. b) 起動時と異なる方向へのスワイプによる関心度合いの入力 (小). c) 関心度合いの入力 (大). . .	25
5.2	d-swipe によるパイメニュー展開. a) 全方位. b) 逆方向. c) 直角方向. . .	26
5.3	d-swipe による画面端へのメニュー展開. a) x 座標依存. b) y 座標依存. c) x-y 座標依存.	26
6.1	システム構成.	27
7.1	方向識別実験における各スワイプの方向の定義.	36
7.2	sighted 条件における実験の様子.	37
7.3	blind 条件における実験の様子.	37
7.4	ボタンの表示候補位置.	42
7.5	button 条件におけるメニューボタンの表示.	44
7.6	button 条件におけるメニューの展開.	44
7.7	button 条件における各 GUI 部品のサイズ及び位置関係.	45
7.8	Bezel Swipe 条件において展開されるパイメニュー.	46
7.9	d-swipe 条件において出現するパイメニュー.	47
7.10	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.	47
7.11	各把持条件及び手法条件における平均タスク完了時間.	49
7.12	各把持条件及び手法条件における主観的評価値の平均値.	50
7.13	d-swipe 条件における Bookmark コマンド選択.	51
7.14	d-swipe 条件における Bookmark コマンド選択.	51
7.15	各条件におけるそれぞれのセグメントに要する平均時間の積み上げグラフ. .	53

表 目 次

3.1	予備実験の際に使用したコンピュータの仕様.	6
3.2	予備実験に使用した具体的なアプリケーション及びそのバージョン.	8
3.3	各把持条件における free space の範囲.	19
6.1	予備実験の際に使用したコンピュータの仕様.	28
6.2	各 EV_ABS タイプのコードが示す値の対応.	29
6.3	Chrome におけるコマンドとショートカットキーの対応.	33
6.4	端末部に用いた端末の仕様.	34
7.1	各条件における外れ値の個数.	38
7.2	sighted 条件かつ single-portrait 条件における方向の識別率 (%).	39
7.3	sighted 条件かつ double-portrait 条件における方向の識別率 (%).	39
7.4	blind 条件かつ single-portrait 条件における方向の識別率 (%).	40
7.5	blind 条件かつ double-portrait 条件における方向の識別率 (%).	40
7.6	性能評価実験において使用されたメニュー内の表示項目と選択時に実行される コマンドの対応.	43
7.7	点 P_1 と点 P_2 の位置関係と選択されるメニュー項目の関係.	47
7.8	各条件における評価値の分布.	49
7.9	8つのセグメントに分割されたタスク.	52
7.10	メニュー展開及びコマンド実行を行う各セグメントの所要時間 (ms).	53
8.1	各アプリケーションにおける提案手法の適用可能性.	58

第1章 序論

本章においてはまず、本研究の対象となる携帯情報端末における入力の問題点を述べる。続いて、その問題点を解決するための本研究の目的及びアプローチを述べる。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 携帯情報端末における入力の問題点

スマートフォンをはじめとした携帯情報端末（以降、端末）が普及している。近年普及している端末の多くには、端末の小型化のために入力装置と表示装置が一体化されたタッチパネルが用いられている。ユーザはタッチパネル上においてタップやスワイプ等の操作を行う事により、端末に対して入力を行う事が可能となる。

しかしながら、端末には入力語彙が少ない、という問題点がある。入力語彙が比較的多いデスクトップ環境においては、複数の入力語彙を組合せる事により、膨大な種類のコマンドの実行をそれぞれ一度の操作に割り当てる事が可能となる。例として、物理キーボードの複数のキーを組み合わせたショートカットや、マウスとキーの組合せによる操作等が挙げられる。対して端末における入力においては、主な入力装置がタッチパネルであり、入力語彙がタップやスワイプ等の数種類のタッチジェスチャに限られている。そのため、一度の操作にて行う事が可能である入力の種類がデスクトップ環境に比べて非常に少なく、ユーザは端末において複数回の操作を行う事によってそのコマンドの多くを実行している。例として、ユーザが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一度のキーボードショートカット（Ctrl+H）により実行が可能であるが、端末においては二度の操作、即ちメニューボタンの押下及び履歴の項目の押下を行う必要がある。その結果、端末においてはデスクトップ環境に比べてコマンドの実行に多くの時間を要する傾向が見られる。

1.2 本研究の目的とアプローチ

本研究の目的は、端末に対する入力語彙を拡張する事である。そのためのアプローチとして、ユーザが端末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

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

やすさを調査した研究がなされており [KBCV06, 松浦 07, TUKD12], これらによると, 端末を図 1.1 に示すような右片手操作している際に, 図 1.2 に示すような右上-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. このことから, 著者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, 右片手操作を行なっている場合のみならず, 両手操作を行なっている場合においても検証する.



図 1.1: 端末の右片手操作.

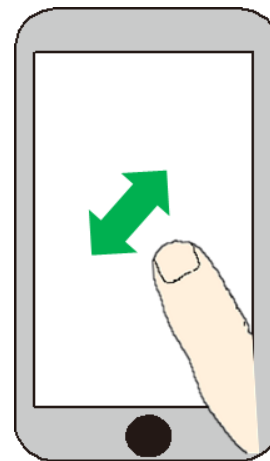


図 1.2: 右下-左上間の指の移動.

1.3 本研究の貢献

本研究の貢献は, ユーザが従来の端末を右手操作している際において左上方向スワイプの使用頻度が少ない事を被験者実験を通して明らかにした. また, 左上方向スワイプを用いた新たなインタラクション手法とその実行可能性及び有用性を示した. これにより, 端末における入力語彙を増やすために, ユーザのスワイプ方向に基づいたタッチジェスチャの拡張が可能である事を示した.

1.4 本論文の構成

本論文の構成を述べる. 本章においては本研究が対象としている端末における入力の問題点を述べ, 本研究の目的, アプローチ, 及び貢献を述べた. 2 章においては, 端末における入力語彙を拡張する既存研究を述べ, 本研究とそれらを対比する. 3 章においては, 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調査するために行った予備実験について述べ, ユーザの使用頻度が少ないスワイプの方向を特定する. 4 章においては, 予備実

験の結果に基づいて作成したインタラクション手法の指針を述べる．5章においては，4章において述べた提案手法の応用を述べる．6章においては，提案手法のプロトタイプシステムの実装を述べる．7章においては，提案手法の評価のために行った被験者実験について述べ，提案手法の有用性及び実行可能性を示す．8章においては，提案手法について議論する．9章においてまとめる．

第2章 関連研究

本章においては関連研究として、端末における入力語彙を拡張する研究及びタッチジェスチャを拡張する研究を挙げる。その後、関連研究に対する本研究の位置付けを述べる。

2.1 端末における入力語彙を拡張する研究

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。Heo らは、加速度センサの値からユーザの端末へのタッチの強さを推定する ForceTap を提案した [HL11c]。Serrano らは、ユーザがベゼルへタップした際に生じる加速度の変化を用いる事により、端末がスリープ状態である場合においても迅速にコマンドを実行できる入力手法、Bezel-Tap Gesture を提案した [SLG13]。Hinckley らは、端末に内蔵された加速度センサ及びジャイロセンサの値から端末の動きを読み取り、その動きとタッチジェスチャとを組み合わせる事により入力語彙の拡張を試みた [HS11]。Goel らは、端末に内蔵されたバイブレーションモータ及びジャイロセンサの値から、ユーザが端末を把持している姿勢及びタッチの圧力を推定する手法、GripSense を提案した [GWP12]。

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。Harrison らは、タッチパネルにピエゾマイクを装着してユーザのタッチ時に生じる個体音を取得する事により、ユーザがタッチした手の部位を推定する手法、TapSense を提案した [HSH11]。Ono らは、物体に一組のピエゾマイクと振動スピーカを装着し、ユーザの物体への触れ方を推定する手法、Touch & Activate を提案した [OST13]。Miyaki らは、端末に圧力センサを装着する事により端末を把持する圧力を検出する GraspZoom を提案した [MR09]。また、圧力センサにより端末にかかる剪断力を検出し、入力語彙を拡張する研究もある [HL11b, HL11a, HH12]。

2.2 タッチジェスチャを拡張する研究

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。例として、親指の回転を用いるもの [BWB06, RLG09, BABL13]、親指の接触面積を用いるもの [BLC⁺12] 指の向きを用いるもの [WR09, WCRI09] 等が挙げられる。Roth らは、ベゼルからのスワイプを用いた新たなタッチジェスチャである Bezel Swipe を提案した [RT09]。Bragdon らは、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述べており [BNLH11]、Bezel Swipe のようにベゼルを開始点とするジェスチャは多くの研究にて用いられている [ZBAK10, HYP⁺10, WHM12, KYL12, SLG13, YHHH13, CPZO14]。

また Heo らは，端末におけるタッチジェスチャのデザインスペースを調査し，ユーザが異なる 2 点間におけるダブルタップを行っていない事を明らかにした [HGL14,HL13].

2.3 本研究の位置付け

本研究は 2.1 節にて示した関連研究と同様に，端末における入力語彙の拡張を目的としている．本研究はこれらの研究とは異なり，端末の内蔵センサや追加センサを用いることなく，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，本研究は 2.2 節にて示した関連研究と同様に，タッチに用いる指の動きのみを用いてタッチジェスチャの拡張を目指している．本研究はこれらの研究とは異なり，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．

第3章 予備実験

本章においては予備実験を述べる．

3.1 実験目的

本予備実験の目的は，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の方向を特定する事である．なお本論文においては以降，シングルスワイプを単にスワイプと呼称する事とする．

3.2 実験設計

本節においては実験設計を述べる．

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．被験者が予備実験を行なっている様子を図 3.1 に示す．

実験に使用する端末として，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．以降，実験に使用した端末を実験端末と呼称する．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．予備実験において使用したコンピュータの仕様を表 3.1 に示す．

表 3.1: 予備実験の際に使用したコンピュータの仕様.

機種名	ThinkPad®X220i
OS	Ubuntu®12.04 Precise Pangolin ¹
CPU	Intel®Core i3-2350M 2.30 GHz



図 3.1: 被験者が予備実験を行っている様子.

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 歳 – 24 歳の大学生・大学院生 12 名であり、男性 9 名、女性 3 名、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。さらに、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

実験手順を述べる。

まず実験者は被験者にタスクを説明する。続いて被験者は着座し、実験者に指示された single-portrait 条件（図 3.2(a)）、double-portrait 条件（図 3.2(b)）、double-landscape 条件（図 3.2(c)）のうちのいずれかの把持条件にて実験端末を把持する。

その後、被験者は 4 種類の Android アプリケーション（Web ブラウザ、メールクライアント、SNS、地図）上にてそれぞれ指定されたタスクを行う。予備実験に使用した具体的なアプリケーション及びそのバージョンを表 3.2 に示す。

各被験者は上記タスクを前述した全ての把持条件にて行う。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



(a) single-portrait 条件.



(b) double-portrait 条件.



(c) double-landscape 条件.

図 3.2: 予備実験における実験端末の把持条件.

表 3.2: 予備実験に使用した具体的なアプリケーション及びそのバージョン.

	アプリケーション	バージョン
Web ブラウザ	Google Chrome	39.0.2171.93
メールクライアント	Gmail	4.9(1271612)
SNS	Facebook	23.0.0.22.14
地図	Google Map	9.1.0

考慮した。全てのタスクが終了した後に被験者はアンケートに回答した。

なお、予備実験に用いた実験同意書とアンケート用紙を本論文の末尾に付録 A として添付した。

タスク

被験者が各アプリケーションを操作する際に課されたタスクを述べる。

• 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。
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 [Jor] 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、[Jor] 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 3.3 に示す。

²New York, Washington D. C., Los Angeles の中から 1 つ

³Tokyo 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 3.3: 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.

3.3 実験結果

本節においては、予備実験により得られた結果を各把持条件に分けて述べる。

なお、以降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なった点 P_d とタッチアップを行なった点 P_u を結ぶ直線 l 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 3.4(a) に、double-landscape 条件においては図 3.4(b) にて示すように、 x 軸及び y 軸を定めている。

3.3.1 single-portrait 条件

被験者が single-portrait 条件にて行ったシングルタッチジェスチャの総数は、Web ブラウザにて 1298 回、メールクライアントにて 768 回、SNS にて 1737 回、地図にて 1529 回であった。そのうち、スワイプが行われた回数は Web ブラウザにて 520 回、メールクライアントにて



(a) single-portrait 条件及び double-portrait 条件

(b) double-landscape 条件

図 3.4: 各把持条件において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.

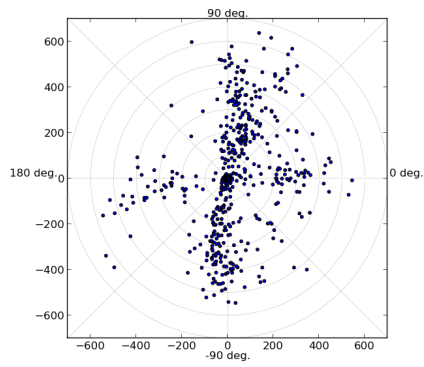
344 回, SNS にて 1580 回, 地図にて 1064 回であった. 被験者が各アプリケーションを操作している際に行われたスワイプの距離 (px) 及び角度の分布を, 図 3.5(a), 図 3.5(b), 図 3.5(c), 図 3.5(d) にそれぞれ示す. また, スワイプが行われた方向のみの分布を調べるために, 角度のヒストグラムを求めた. これを図 3.6 に示す.

図 3.5, 図 3.6 から, 地図を除く全てのアプリケーションにおいて, スワイプのうちの多くが右上または左下へ向けて行われている事が分かる. ここで, 地図以外のアプリケーションを使用している際の距離と角度の分布を図 3.7 に, 角度のヒストグラムを図 3.8 にそれぞれ示す.

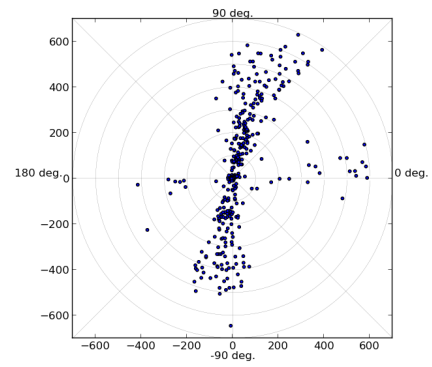
3.3.2 double-portrait 条件

被験者が double-portrait 条件にて行ったシングルタッチジェスチャの総数は, Web ブラウザにて 1373 回, メールクライアントにて 830 回, SNS にて 1795 回, 地図にて 1268 回であった. そのうち, スワイプが行われた回数は Web ブラウザにて 577 回, メールクライアントにて 376 回, SNS にて 1594 回, 地図にて 990 回であった. 被験者が各アプリケーションを操作している際に行われたシングルスワイプの距離 (px) 及び角度の分布を, 図 3.9(a), 図 3.9(b), 図 3.9(c), 図 3.9(d) にそれぞれ示す. 図 3.9, 図 3.10 から, 地図を除く全てのアプリケーションにおいて, スワイプのうちの多くが右上または左下方向へ行われている事が分かる. また, スワイプが行われた方向のみの分布を調べるために, 角度のヒストグラムを求めた. これを図 3.10 に示す.

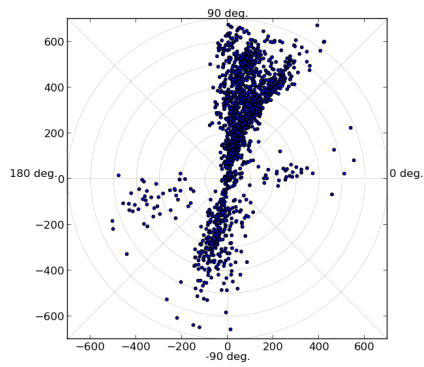
図 3.9, 図 3.10 から, 地図を除く全てのアプリケーションにおいて, スワイプのうちの多くが右上または左下へ向けて行われている事が分かる. ここで, 地図以外のアプリケーションを使用している際の距離と角度の分布を図 3.11 に, 角度のヒストグラムを図 3.12 にそれぞれ示す.



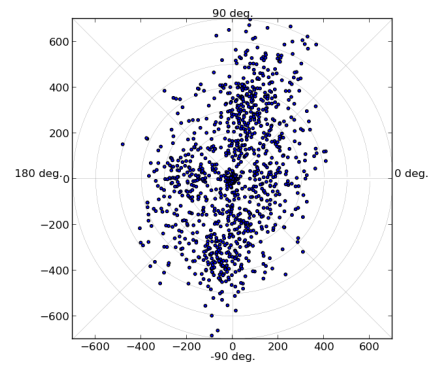
(a) Web ブラウザ.



(b) メールクライアント.

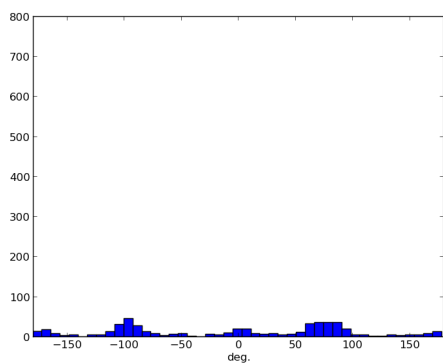


(c) SNS.

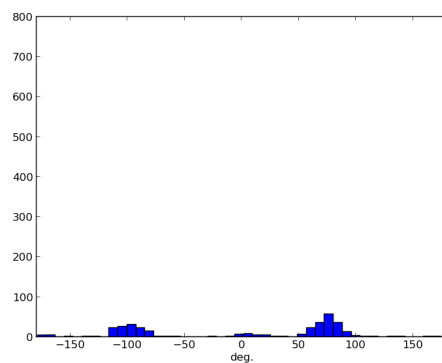


(d) 地図.

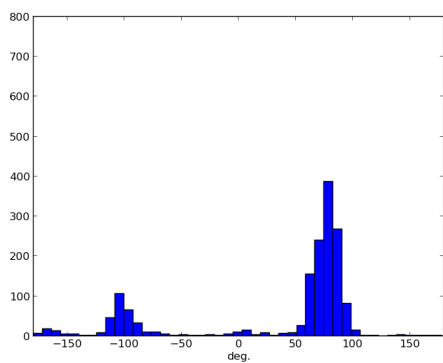
図 3.5: 被験者が single-portrait 条件にて行ったシングルスワイプの距離 (px) 及び角度の分布.



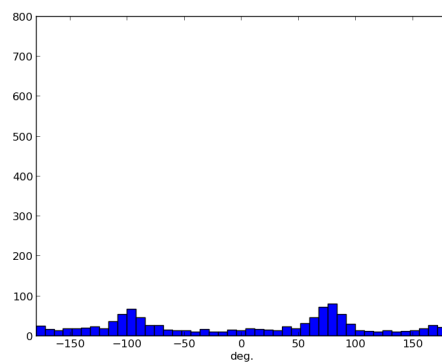
(a) Web ブラウザ.



(b) メールクライアント.



(c) SNS.



(d) 地図.

図 3.6: 被験者が single-portrait 条件にて行ったシングルスワイプの角度のヒストグラム.

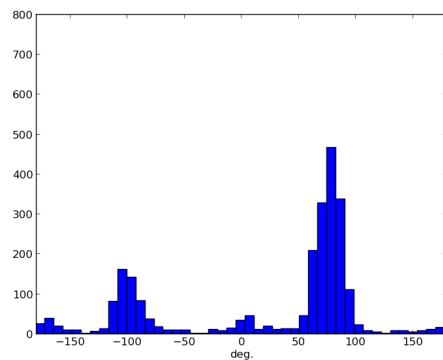
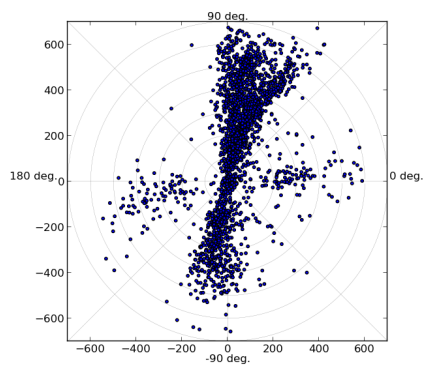
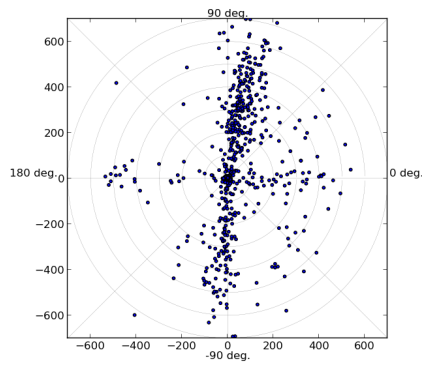
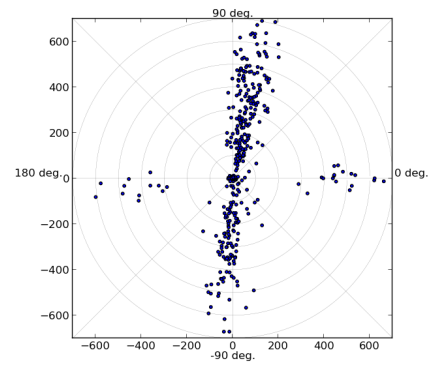


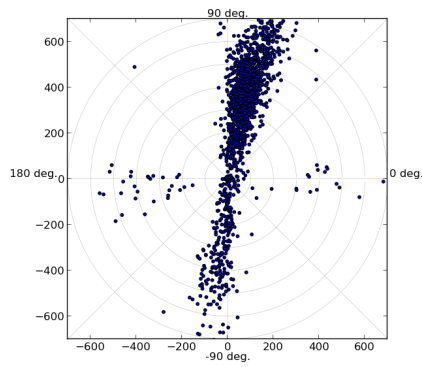
図 3.7: single-portrait 条件にて地図以外のアプリ
アプリケーション使用時におけるスワイプの距離と
図 3.8: single-portrait 条件にて地図以外のアプリ
アプリケーション使用時におけるスワイプ方向のヒ
ストグラム.



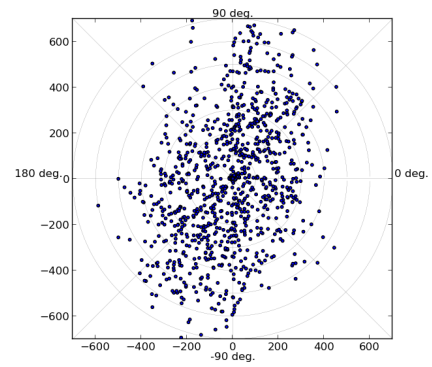
(a) Web ブラウザ.



(b) メールクライアント.

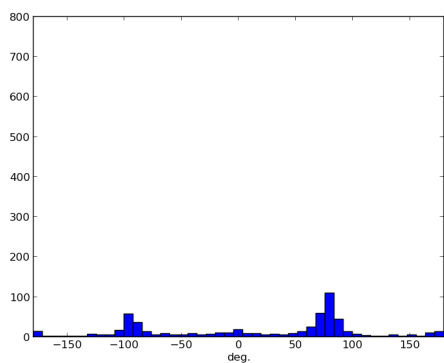


(c) SNS.

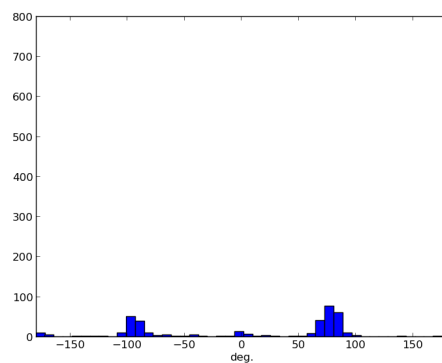


(d) 地図

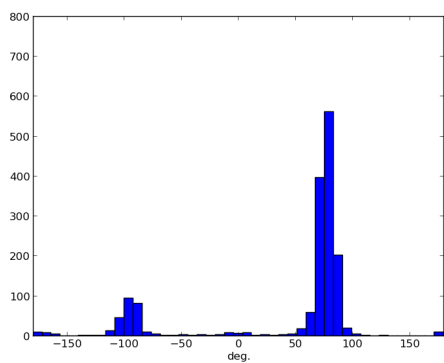
図 3.9: 被験者が double-portrait 条件にて行ったシングルスワイプの距離 (px) 及び角度の分布.



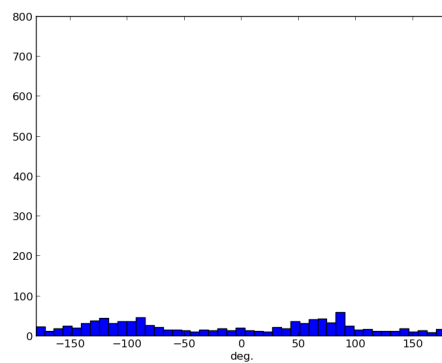
(a) Web ブラウザ.



(b) メールクライアント.



(c) SNS.



(d) 地図.

図 3.10: 被験者が double-portrait 条件にて行ったシングルスイプの角度のヒストグラム.

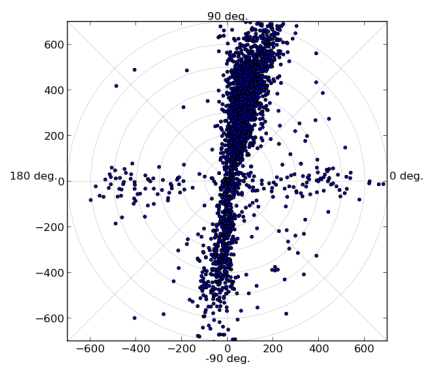


図 3.11: double-portrait 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスイプの距離と角度の分布.

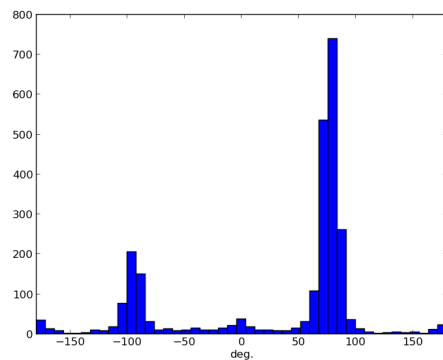
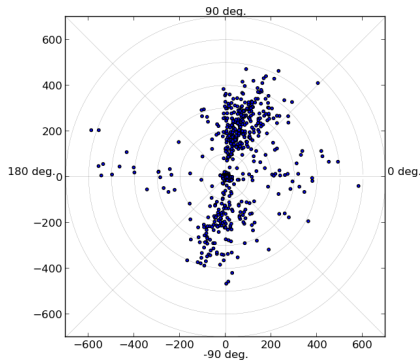


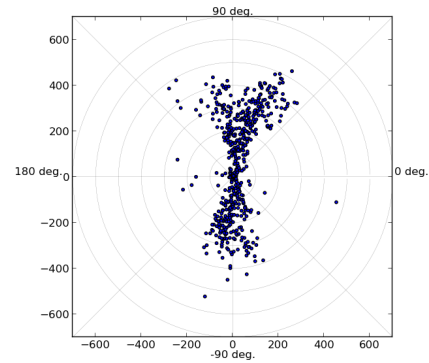
図 3.12: double-portrait 条件にて地図以外のアプリケーション使用時におけるスイプ方向のヒストグラム.

3.3.3 double-landscape 条件

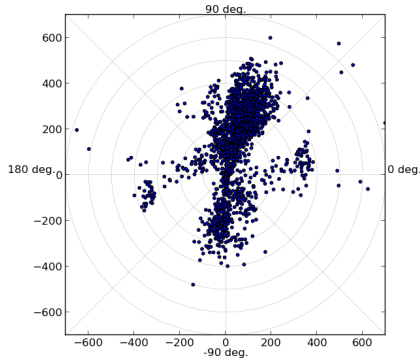
被験者が double-landscape 条件にて行ったシングルタッチジェスチャの総数は、Web ブラウザにて 1416 回、メールクライアントにて 973 回、SNS にて 2126 回、地図にて 1558 回であった。そのうち、シングルスワイプが行われた回数は Web ブラウザにて 552 回、メールクライアントにて 562 回、SNS にて 1943 回、地図にて 1332 回であった。被験者が各アプリケーションを操作している際に行われたシングルスワイプの距離 (px) 及び角度の分布を、図 3.13(a), 図 3.13(b), 図 3.13(c), 図 3.13(d) にそれぞれ示す。図 3.13, 図 3.14 から、地図を除く全てのアプリケーションにおいて、スワイプのうちの多くが右上または左下方向へ行われている事が分かる。また、スワイプが行われた方向のみの分布を調べるために、角度のヒストグラムを求めた。これを図 3.14 に示す。



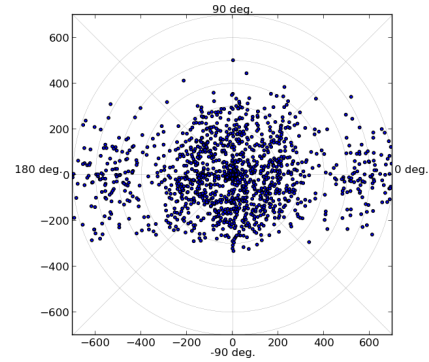
(a) Web ブラウザ.



(b) メールクライアント.



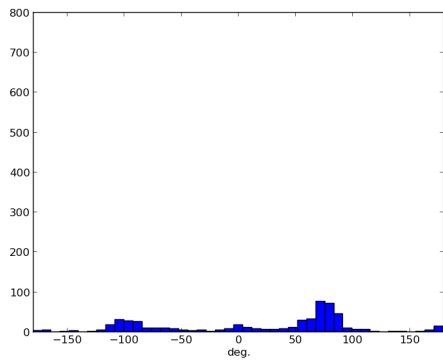
(c) SNS.



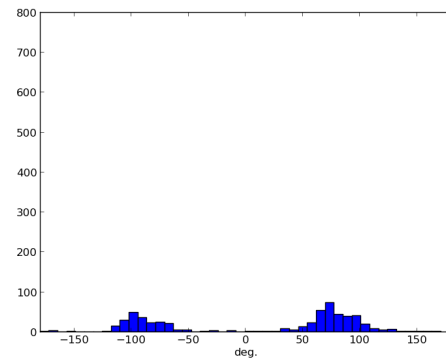
(d) 地図.

図 3.13: 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。

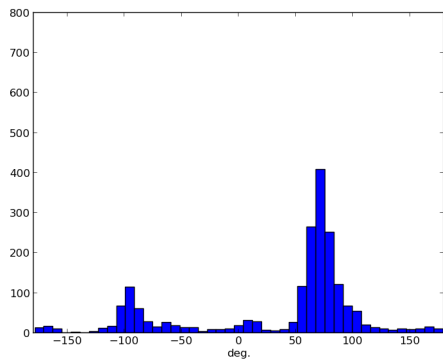
図 3.13, 図 3.14 から、地図を除く全てのアプリケーションにおいて、スワイプのうちの多くが右上または左下へ向けて行われている事が分かる。ここで、地図以外のアプリケーション



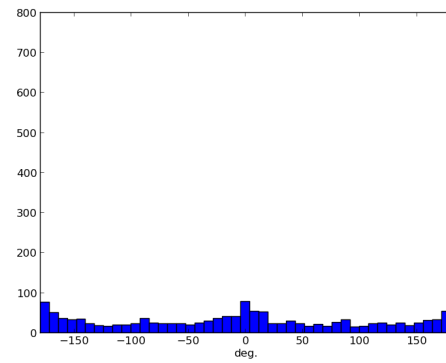
(a) Web ブラウザ



(b) メールクライアント



(c) SNS



(d) 地図

図 3.14: 被験者が double-landscape 条件にて行ったシングルスワイプの角度のヒストグラム.

ンを使用している際の距離と角度の分布を図 3.15 に、角度のヒストグラムを図 3.16 にそれぞれ示す。

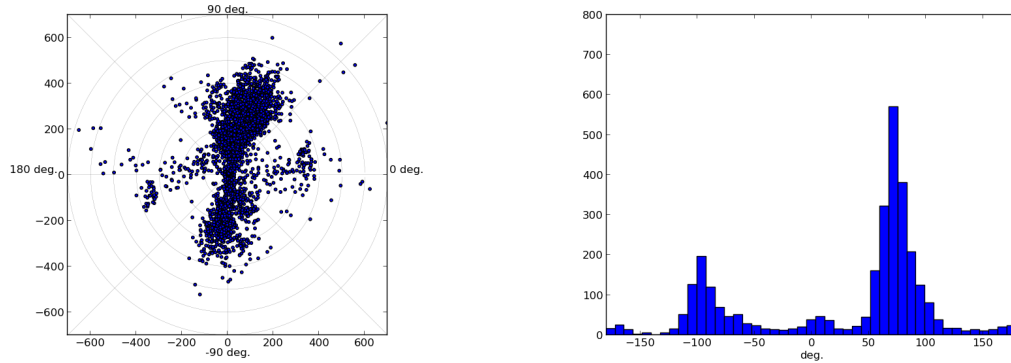


図 3.15: double-landscape 条件にて地図以外の アプリケーション使用時におけるスワイプの距離と角度の分布. 図 3.16: double-landscape 条件にて地図以外の アプリケーション使用時におけるスワイプ方向のヒストグラム.

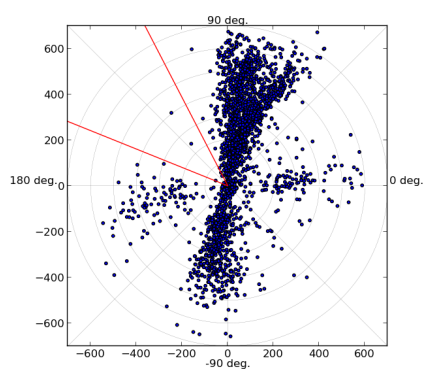
3.4 考察

まず、被験者の使用頻度が高かったスワイプの方向について考察する。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る。この UI 設計は、ユーザが平面に表示されたコンテンツ（e.g., 本, Web ページ）を閲覧する際に、上から下へ向かって読むことが多い事に起因しており、端末における従来の多くのアプリケーションにおいて共通する設計となっている。さらにヒストグラムと分布図から、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、[KBCV06, TUKD12] 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。

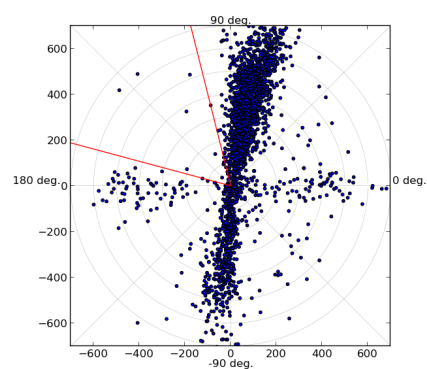
続いて、被験者の使用頻度が少なかったスワイプの方向について考察する。各把持条件において、それぞれ総スワイプ数の 1% 以下のスワイプ数を含む最大の角度範囲（以降 free space と呼称する）を表 3.3 に示す。また、図 3.17 に示した散布図に free space を重ねあわせた図をそれぞれ、図 3.17(a), 図 3.17(b), 図 3.17(c) に示す。散布図から、ユーザは端末を single-portrait 操作または double-portrait 操作する際に、左上方向スワイプの使用頻度が少ない事が分かった。

表 3.3: 各把持条件における free space の範囲.

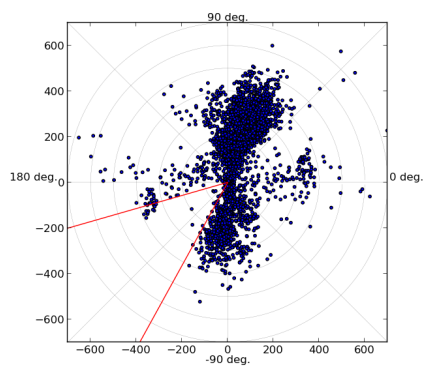
把持条件	free space の範囲 (度)
single-portrait	117.4 - 158.1
double-portrait	104.1 - 165.0
double-landscape	-164.0 - -118.8



(a) single-portrait.



(b) double-portrait.



(c) double-landscape.

図 3.17: 距離と角度の分布, free space 付き.

第4章 左上方向スワイプを用いたインタラクション手法

本章においては3章にて述べた予備実験の結果を受け、左上方向スワイプを用いたインタラクション手法を提案する。

4.1 d-swipe：ユーザの使用頻度が少ない左上方向スワイプ

3章にて述べた予備実験より、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。この事から、著者は左上方向スワイプに新たなタッチジェスチャのデザインスペースがあると考えた。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インタラクション手法を提案する。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事から diagonal swipe (d-swipe) と呼称する。

d-swipe の定量的定義

ここで、d-swipe を定量的に定義する。まず、図 4.1 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なっている際に、タッチダウンが発生した点 $P_1(x_1, y_1)$ から見て現在指があるタッチ点 $P_2(x_2, y_2)$ が位置する角度 θ を定める。この時、ユーザが現在行な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、

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

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

$$distance(P_1, P_2) > 10px$$

とする。ただし、 $distance(P_1, P_2)$ は点 P_1 と点 P_2 の間の距離を返す関数とする。

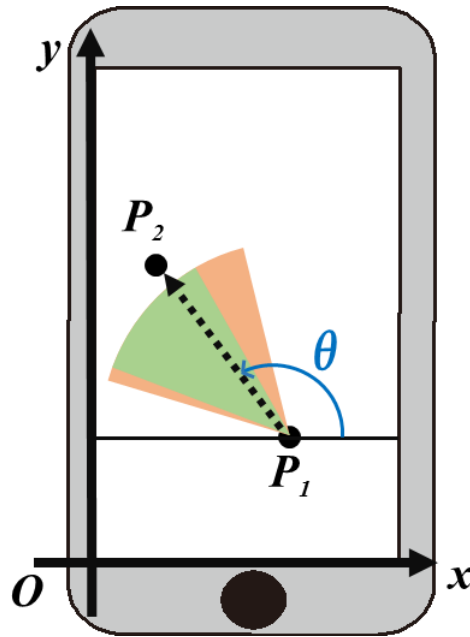


図 4.1: d-swipe の定義域. 茶) single-portrait. 緑) double-portrait.

4.2 d-swipe を用いたインタラクション手法の特長

d-swipe を用いたインタラクションの特長として，以下の事が挙げられる．

- 連続的なインタラクションが可能
- 任意の位置にて実行が可能
- 従来のタッチジェスチャと共存が可能

以降，本節においてはこれらの特長を述べる．

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する事が可能となる．例えば，5 章にて述べるメニュー展開の例においては，ユーザは d-swipe によりマーキングメニューを展開する事により，1 ストロークにてメニューの展開とコマンドの実行が可能となる．このようなストロークベースのコマンド実行方法は，[RB03,GW00,GSW01,KC10,RB05,LR09] 等にて用いられている．

任意の位置にて実行が可能

d-swipe は、画面上の任意の位置にて実行が可能であるジェスチャである。ストロークベースのコマンド実行方法の例として、Bezel Swipe [RT09] がある。Bezel Swipe は端末のベゼルを開始点とするジェスチャであり、かつ d-swipe と同様にユーザが画面から指を離す前に完了する。Bragdon らは、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述べており [BNLH11], Bezel Swipe は多くの研究にて用いられている [ZBAK10, HYP⁺10, KYL12, YHHH13]。ユーザが1本の指にて画面上を操作している際に Bezel Swipe を行うためには、図 4.2(a) 青矢印に示すように、画面内にて操作を行う際に使用した指を一度画面外へ移動させる必要がある。これに対し、ユーザが d-swipe を使用する際には、図 4.2(b) に示すように画面内にて操作を行う際に使用した指を移動させる事なくその場にてジェスチャを開始する事が可能となる。

d-swipe の他に、画面の任意の位置にて実行が可能であるジェスチャには MicroRolls [RLG09], Fat Thumb [BLC⁺12], Ta-Tap [HGL14, HL13] 等がある。

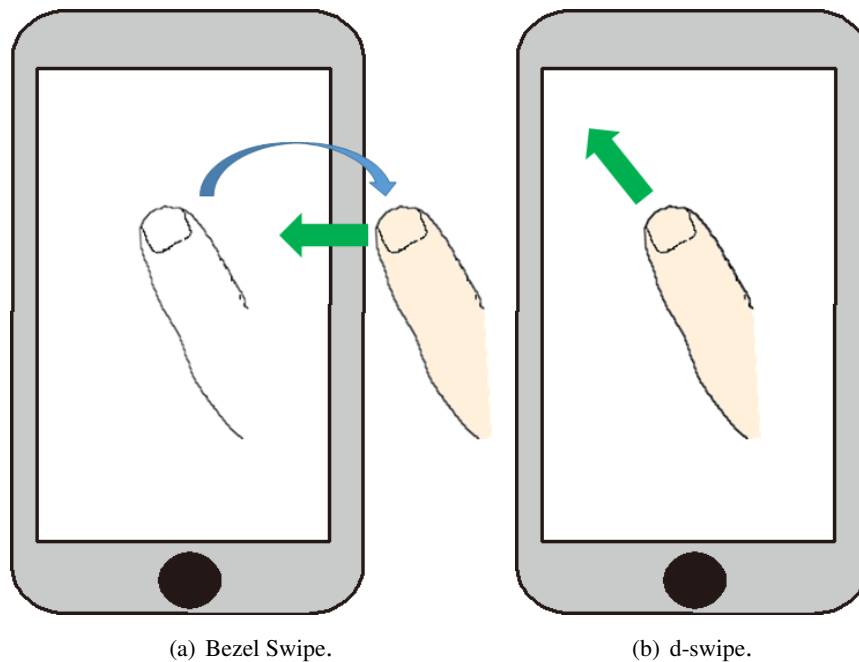


図 4.2: 各ジェスチャを開始する際における指の移動.

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ジェスチャであるので、ユーザは従来のタッチジェスチャと競合する事なく d-swipe を使用する事が可能である。

第5章 応用

本章においては d-swipe の応用例を示す。

5.1 コマンド実行のショートカット

d-swipe の応用例として、まずコマンドを実行するためのショートカットに用いる事が挙げられる。例えば、ユーザが d-swipe をブックマーク操作に割り当てた場合、ユーザは Web ブラウジング中に任意の場所における 1 ストロークのジェスチャのみを用いて、素早く閲覧中のページをブックマークする事が可能となる。

端末における従来のアプリケーションにおいては、ジェスチャのみによるコマンドの実行が可能であるものが少なかった（ジェスチャのみによるコマンドの実行が出来る例としては、Chrome for iOS における左右スワイプによるページ遷移が挙げられる）。この要因として、片手操作時において可能なタッチジェスチャが限られている事が挙げられる。このため、多くのキーボードショートカットが使用可能であるデスクトップ環境とは異なり、モバイル環境においては端末における GUI 上のメニューを表示して、その中からコマンドを選択する必要がある場面が多い。d-swipe によりユーザはより多くのコマンドをタッチジェスチャのみにて素早く行う事が可能となる。

さらに、提案手法においてはスワイプ操作によりコマンドを実行するため、スワイプの移動量によって量を伴った入力を行う事が可能となる。上記のブックマークの例を挙げて説明する。ユーザは d-swipe によりブックマークのコマンドを実行した後（図 5.1a, 5.1b）に、指を離さずに異なる方向へスワイプする（図 5.1c）。この時 2 回目のスワイプ量を、ブックマークしたいページの関心度合いとして入力する事が出来る。この場合、ユーザは関心度合いが高い順にページの一覧を表示する事や、関心度合いが低いページを一括にて削除する事等の操作を行う事が可能となる。

5.2 メニュー展開

5.1 節にて示した応用例に加え、d-swipe によりメニューを展開する事も考えられる。表示するメニューの例として、以下のものが挙げられる。

- 通常のメニュー

従来、ユーザはメニューボタンを押す事によりメニューを表示していた。メニューの表

示に d-swipe を用いる事により、ユーザはポインティングではなく任意の位置におけるスワイプにてメニューを表示する事が可能となる。

- **マーキングメニュー**

d-swipe により、ユーザはマーキングメニュー [KB93] を表示する事が可能となる。この場合、ユーザは画面から指を離すことなくメニューの表示を完了させる事が出来るため、マーキングメニューを用いる事によりメニューの展開と項目の選択を連続的に行う事が可能となる。表示するマーキングメニューとして、指の位置を中心に全方位（図 5.2a）、（d-swipe の方向に対して）逆方向（図 5.2b）、（d-swipe の方向に対して）直角方向（図 5.2c）、等のパターンが考えられる。

マーキングメニューの表示方法として指の位置を中心とした全方位への展開が一般的であるが、ユーザが d-swipe を行った方向に存在するメニューを誤選択するおそれがある。そこで、ユーザがメニューの展開と項目の選択を明確に出来るように、d-swipe を行った方向に対して逆方向に表示する事が考えられる。この際、図 5.2b 左に示すように、左上スワイプを行った際に逆方向に表示すると、ユーザの指によってメニューの内容が隠れる問題が生じる。そこで代替案として、図 5.2c に示すように d-swipe の方向に対して直角方向に表示する事が考えられる。

- **画面端への表示**

ユーザは d-swipe を用いてメニューを画面端に表示し、タッチ点の x 座標または y 座標に依存して項目を選択する事が可能となる。即ち、ユーザは図 5.3a（x 座標依存）、図 5.3b（y 座標依存）、図 5.3c（x-y 座標依存）に示すように、メニューを展開する事が可能となる。

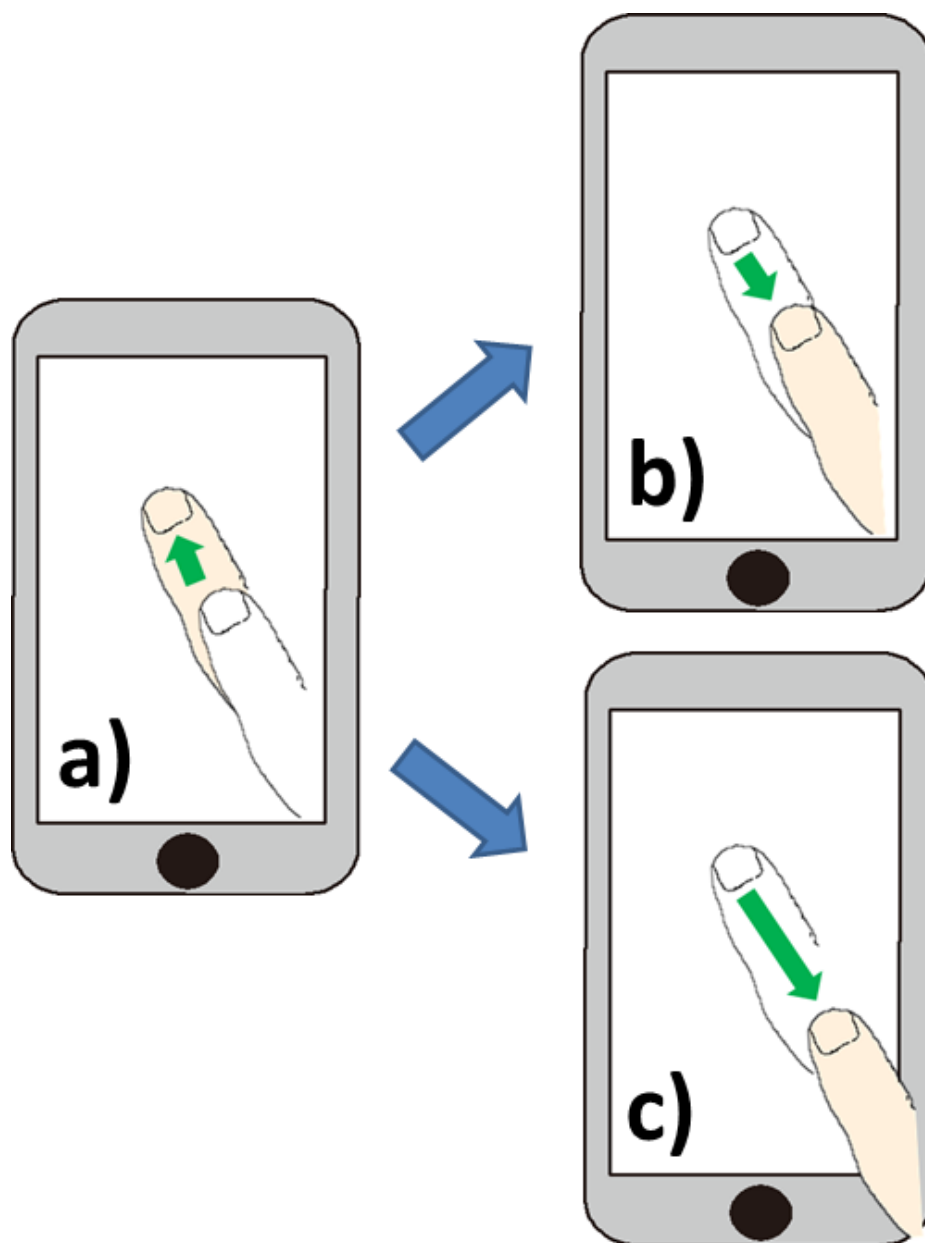


図 5.1: a) d-swipe によるブックマークのコマンドの実行. b) 起動時と異なる方向へのスワイプによる関心度合いの入力 (小). c) 関心度合いの入力 (大).

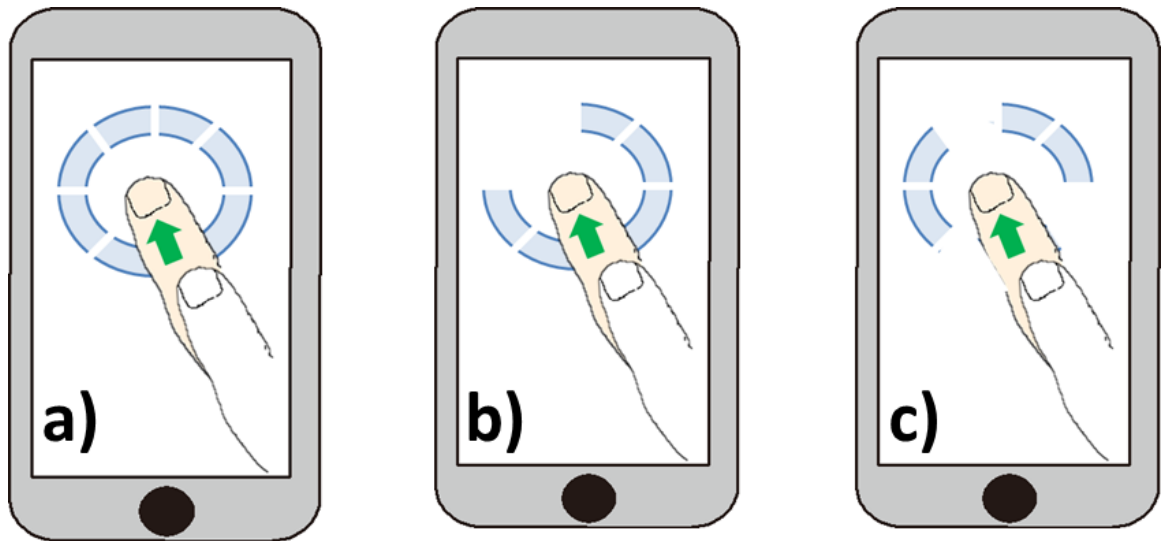


図 5.2: d-swipe によるパイメニュー展開. a) 全方位. b) 逆方向. c) 直角方向.

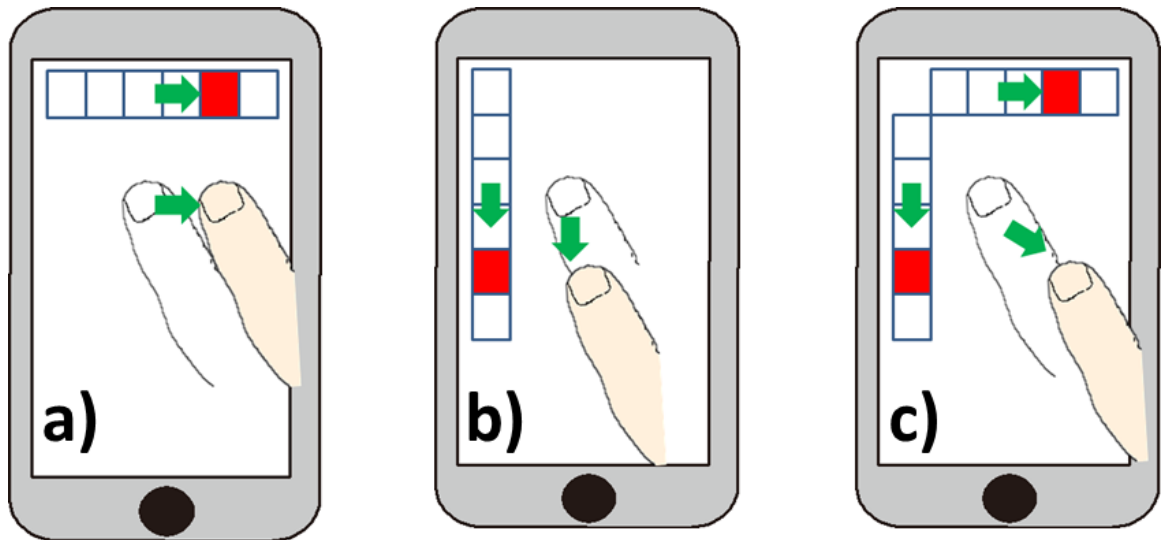


図 5.3: d-swipe による画面端へのメニュー展開. a) x 座標依存. b) y 座標依存. c) x-y 座標依存.

第6章 実装

本章においては提案手法 d-swipe を用いたインタラクション手法を提供するプロトタイプシステムの実装を、5 章にて述べたメニュー展開の応用を例に述べる。

6.1 システム構成

プロトタイプシステムを実装するにあたり、システムは端末上にて発生するタッチイベントをグローバルに取得する必要がある。その手段として ADB を用いる事とした。ADB を使用するためには、著者は Android 端末とコンピュータを接続する必要がある。そのため、本システムはコンピュータサイド（以降 PC 部）と Android サイド（以降端末部）に分かれる。システム構成図を図 6.1 に示す。以降、PC 部及び端末部に分けてシステムの実装を説明する。

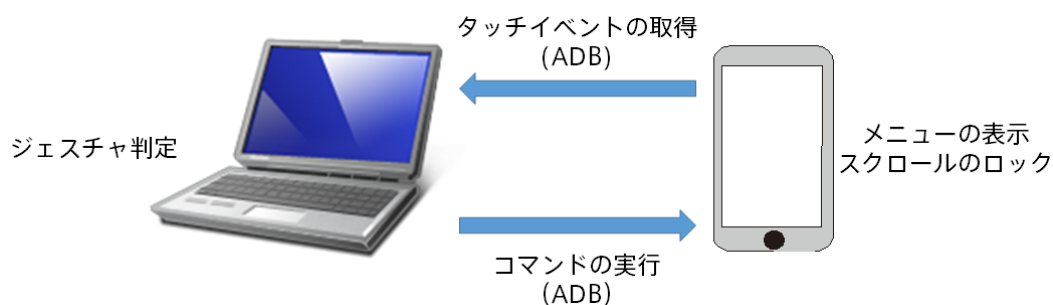


図 6.1: システム構成。

6.2 PC 部の実装

PC 部の実装を説明する。PC 部の実装に際し用いたコンピュータの仕様を表 6.1 に示す。PC 部は ADB を用いて端末上におけるタッチジェスチャを全て取得し、d-swipe を検出した際に定められたコマンドを実行するキーボードショートカットを端末部へ送信する。PC 部を実装する言語として、Python 2.7.3 を用いた。

6.2.1 ADB を用いたタッチイベントの取得

本節においては、ADB を用いたタッチイベントの取得方法を述べる。

表 6.1: 予備実験の際に使用したコンピュータの仕様.

機種名	ThinkPad®X220i
OS	Ubuntu®12.04 Precise Pangolin ¹
CPU	Intel®Core i3-2350M 2.30 GHz

前述の通り, 本システムは端末上にて発生するタッチイベントをグローバルに取得する必要がある, その手段として ADB を用いている. 実装に用いた端末 (SONY Xperia Z1 SO-02f, OS: Android 4.2.2) 上にて発生するタッチイベントは, 端末のデバイスファイル (/dev/input/event1) にて記録されおり, ログはターミナル上にてリスト 6.1 に示すコマンドを実行する事により得られる. なお, l オプションをログの可読性を高めるために, t オプションをイベントの発生時刻も同時に取得するために用いた. このとき得られるログの例をリスト 6.2 に示す.

実装に用いた端末においては, EV_SYN タイプのイベントの間にある EV_ABS タイプのイベントのシーケンスが単一のタッチ操作に対応している. また, 各行は左からイベントが発生した時刻, イベントのタイプ, コード, 値を表しており, 値は 16 進数にて取得される. 各 EV_ABS タイプのコードが示す値の対応を表 6.2 に示す. EV_SYN タイプのイベントに挟まれた EV_ABS のシーケンスにおいて, 各コードが直前の EV_ABS のシーケンスと同じ値を取った場合, そのコードは出力されない. 即ち, リスト 6.2 の 6 行目と 8 行目の EV_SYN タイプのイベントに挟まれたタッチ操作におけるタッチ点の x-y 座標, 面積, 及びトラッキング ID は, 1 行目と 6 行目の EV_SYN タイプのイベントに挟まれたタッチ操作におけるそれと同じ値である. またタッチアップが発生した場合, リスト 6.2 の 15 行目及び 30 行目のように, コード ABS_MT_TRACKING_ID の値が ffffffff となる. 本システムにおいてはこれらのイベント情報を用いる事により, ユーザのタッチ点を取得している.

リスト 6.1: 端末の /dev/input/event1 の内容を取得するコマンド.

```
1 $ adb shell getevent -lt /dev/input/event1
```

リスト 6.2: 出力されるタッチイベントのログの例.

```
1 [ 222445.120152] EV_SYN      SYN_REPORT      00000000
2 [ 222448.145086] EV_ABS      ABS_MT_TRACKING_ID 0000fc19
3 [ 222448.145137] EV_ABS      ABS_MT_POSITION_X  0000006f
4 [ 222448.145151] EV_ABS      ABS_MT_POSITION_Y  00000141
5 [ 222448.145164] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE    0000004f
6 [ 222448.145181] EV_SYN      SYN_REPORT      00000000
7 [ 222448.165019] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE    0000004e
8 [ 222448.165028] EV_SYN      SYN_REPORT      00000000
9 [ 222448.175649] EV_ABS      ABS_MT_POSITION_X  0000006e
10 [ 222448.175657] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE    00000047
11 [ 222448.175662] EV_SYN      SYN_REPORT      00000000
12 [ 222448.186252] EV_ABS      ABS_MT_POSITION_X  0000006d
13 [ 222448.186260] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE    00000021
14 [ 222448.186265] EV_SYN      SYN_REPORT      00000000
15 [ 222448.196644] EV_ABS      ABS_MT_TRACKING_ID ffffffff
16 [ 222448.196653] EV_SYN      SYN_REPORT      00000000
17 [ 222451.247146] EV_ABS      ABS_MT_TRACKING_ID 0000fc1a
```


表 6.2: 各 EV_ABS タイプのコードが示す値の対応.

コード名	意味
ABS_MT_TRACKING_ID	タッチした指のトラッキング ID
ABS_MT_POSITION_X	タッチ点の x 座標
ABS_MT_POSITION_Y	タッチ点の y 座標
ABS_MT_PRESSURE	タッチ点の面積

```

18 [ 222451.247195] EV_ABS      ABS_MT_POSITION_X    00000101
19 [ 222451.247209] EV_ABS      ABS_MT_POSITION_Y    00000258
20 [ 222451.247222] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE      0000003e
21 [ 222451.247238] EV_SYN      SYN_REPORT           00000000
22 [ 222451.256573] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE      00000040
23 [ 222451.256582] EV_SYN      SYN_REPORT           00000000
24 [ 222451.267515] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE      00000041
25 [ 222451.267524] EV_SYN      SYN_REPORT           00000000
26 [ 222451.298974] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE      0000003e
27 [ 222451.298980] EV_SYN      SYN_REPORT           00000000
28 [ 222451.309603] EV_ABS      ABS_MT_PRESSURE      00000034
29 [ 222451.309609] EV_SYN      SYN_REPORT           00000000
30 [ 222451.320051] EV_ABS      ABS_MT_TRACKING_ID   ffffffff
31 [ 222451.320056] EV_SYN      SYN_REPORT           00000000

```

6.2.2 ジェスチャ判定及びメニュー展開

本節においてはシステムのジェスチャ判定方法及び d-swipe 実行時におけるメニュー展開方法を述べる.

ユーザがスワイプを行なっている際に, システムはユーザがタッチダウンを行った点の座標 P_d と, 現在ユーザがタッチしている点の座標 P_m が, 4.1 節にて示した定義の条件を満たしていれば, ユーザが d-swipe を行なっていると見なす.

ユーザが d-swipe を行なっているとシステムが判定した場合, システムは ADB を用いて端末上にてメニューを展開するコマンドを実行する. 具体的には, メニューを展開する Android アプリケーション (即ち端末部, パッケージ名: `jp.ac.tsukuba.cs.iplab.dswipe.menu`) をリスト 6.3 に示すコマンドにより起動する. なお, システムは `n` オプションを明示的 Intent により Activity を呼び出すために, `es` オプションをユーザが d-swipe を実行した際における開始点の x 座標及び y 座標の値を MainActivity に渡すために用いている.

リスト 6.3: 端末部を起動するコマンド.

```

1 $ adb shell am start -n jp.ac.tsukuba.cs.iplab.dswipe.menu/.MainActivity\
2   --es X [x] --es Y [y]

```

また, ユーザがタッチアップを行うと同時に, システムはリスト 6.4 に示すコマンドにより端末部を終了させる.

リスト 6.4: 端末部を終了させるコマンド.

```
1 $ adb shell am force-stop jp.ac.tsukuba.cs.iplab.dswipe_menu
```

6.2.3 コマンドの実行

本節においては d-swipe により展開されたメニューから選択されたコマンドの実行方法を述べる.

端末におけるキーイベントのソースデバイスファイルの作成

システムは ADB を用いてショートカットキーイベントを発生させる事により, 端末にてコマンドを実行する. ここで, システムが 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. そのため, 著者はリスト 6.5 に示すように端末のデバイスファイルの一覧を取得した. しかしながら, キーイベントを発生させるためのデバイスファイルは見られなかった. そこで, 著者は端末に物理キーボード²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, システムはリスト 6.6 に示すコマンドにより端末へキーイベントを送信する事が可能となった.

リスト 6.5: デバイスファイルの一覧の取得.

```
1 $ adb shell getevent -i
2 add device 1: /dev/input/event8
3   bus:      0000
4   vendor    0000
5   product   0000
6   version   0000
7   name:      "system_als"
8   location:  ""
9   id:        ""
10  version:   1.0.1
11  events:
12    MSC (0004): 0003
13    input props:
14      <none>
15 add device 2: /dev/input/event7
16   bus:      0000
17   vendor    0000
18   product   0000
19   version   0000
20   name:      "msm8974-taiko-mtp-snd-card Headset Jack"
21   location:  "ALSA"
22   id:        ""
23   version:   1.0.1
24   events:
25     SW (0005): 0002 0004 0006 000e 000f 0010
26   input props:
27     <none>
```

²Bluetooth Silicone Keyboard TD-0001-009 (<http://www.transaction-ma.jp/keyboard.html>)

```

28 add device 3: /dev/input/event6
29     bus:      0000
30     vendor    0000
31     product   0000
32     version   0000
33     name:      "msm8974-taiko-mtp-snd-card Button Jack"
34     location:  "ALSA"
35     id:        ""
36     version:   1.0.1
37     events:
38         KEY (0001): 00e2 0101 0102 0103 0104 0105 0106 0107
39     input props:
40         <none>
41 add device 4: /dev/input/event3
42     bus:      0000
43     vendor    0000
44     product   0000
45     version   0000
46     name:      "qpn_pon"
47     location:  "qpn_pon/input0"
48     id:        ""
49     version:   1.0.1
50     events:
51         KEY (0001): 0074
52     input props:
53         0004
54 add device 5: /dev/input/event2
55     bus:      0000
56     vendor    0000
57     product   0000
58     version   0000
59     name:      "clearpad_pen"
60     location:  ""
61     id:        ""
62     version:   1.0.1
63     events:
64         ABS (0003): 002f : value 0, min 0, max 9, fuzz 0, flat 0, resolution 0
65                     0035 : value 0, min 0, max 719, fuzz 0, flat 0, resolution 0
66                     0036 : value 0, min 0, max 1279, fuzz 0, flat 0, resolution 0
67                     0037 : value 0, min 0, max 1, fuzz 0, flat 0, resolution 0
68                     0039 : value 0, min 0, max 65535, fuzz 0, flat 0, resolution 0
69                     003a : value 0, min 0, max 255, fuzz 0, flat 0, resolution 0
70     input props:
71         <none>
72 add device 6: /dev/input/event1
73     bus:      0018
74     vendor    0001
75     product   0001
76     version   0001
77     name:      "clearpad"
78     location:  ""
79     id:        ""
80     version:   1.0.1
81     events:
82         ABS (0003): 002f : value 0, min 0, max 9, fuzz 0, flat 0, resolution 0
83                     0035 : value 0, min 0, max 719, fuzz 0, flat 0, resolution 0
84                     0036 : value 0, min 0, max 1279, fuzz 0, flat 0, resolution 0
85                     0037 : value 0, min 0, max 0, fuzz 0, flat 0, resolution 0
86                     0039 : value 0, min 0, max 65535, fuzz 0, flat 0, resolution 0
87                     003a : value 0, min 0, max 255, fuzz 0, flat 0, resolution 0
88     input props:
89         <none>

```

```

90 could not get driver version for /dev/input/mouse0, Not a typewriter
91 add device 7: /dev/input/event0
92   bus:      0006
93   vendor    1095
94   product   8334
95   version   000a
96   name:     "mhl-rcp"
97   location:  "cbus/input0"
98   id:       ""
99   version:   1.0.1
100  events:
101    KEY (0001): 001c 0034 0067 0069 006a 006c 0071 0072
102                0073 0077 0080 008b 009e 009f 00a4 00a8
103                00ae 00cf 00d0 00f0 0110 0165 0168 018e
104                018f 0190 0191 0200 0201 0202 0203 0204
105                0205 0206 0207 0208 0209
106    REL (0002): 0000 0001
107  input props:
108    <none>
109 could not get driver version for /dev/input/mice, Not a typewriter
110 add device 8: /dev/input/event4
111   bus:      0019
112   vendor    0001
113   product   0001
114   version   0100
115   name:     "gpio-keys"
116   location:  "gpio-keys/input0"
117   id:       ""
118   version:   1.0.1
119  events:
120    KEY (0001): 0072 0073 0210 02fe
121    SW  (0005): 0007*
122  input props:
123    <none>
124 add device 9: /dev/input/event5
125   bus:      0000
126   vendor    0000
127   product   0000
128   version   0000
129   name:     "qpnp_chg_unplug_key"
130   location:  ""
131   id:       ""
132   version:   1.0.1
133  events:
134    KEY (0001): 00c2
135  input props:
136    <none>
137 $

```

リスト 6.6: 端末へキーイベントを送信するコマンド.

```

1 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 [type] [code] [value]

```

発生するキーイベントの調査

続いて著者は, [Incb] を参考に Chrome のいくつかのキーボードショートカットを物理キーボードを用いて実行し, デバイスファイル (/dev/input/event9) を観察した. これにより, 著

表 6.3: Chrome におけるコマンドとショートカットキーの対応.

コマンド	ショートカットキー
Open a new tab	Ctrl + N
See bookmarks	Ctrl + Shift + B
Go to History	Ctrl + H

者はデバイスファイルへの入力とキーボードショートカットの対応を調査した. Chrome におけるコマンドとキーボードショートカットの対応の例を表 6.3 に示す. また, “Open a new tab” を実行するキーボードショートカットを例に, ADB を用いたキーイベントを発生させるコマンドをリスト 6.7 に示す.

リスト 6.7: 端末へキーイベントを送信するコマンド.

```

1 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0004 0004 000700e4
2 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0001 0061 00000001
3 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0000 0000 00000000
4 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0004 0004 00070017
5 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0001 0014 00000001
6 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0000 0000 00000000
7 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0004 0004 00070017
8 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0001 0014 00000000
9 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0000 0000 00000000
10 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0004 0004 000700e4
11 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0001 0061 00000000
12 $ adb shell sendevent /dev/input/event9 0000 0000 00000000

```

6.3 端末部の実装

端末部の実装を説明する. 端末部に用いた機種の仕様を表 6.4 に示す.

端末部は, メニューの表示を行う. 端末部を実装する言語として Java を用い, 開発環境として Android Studio 0.4.6 を用いた.

6.3.1 メニューの表示とスクロールのロック

6.2.2 節にて述べたように端末部が 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, 端末部はユーザが d-swipe を行った際のタッチ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, 端末部のシステム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.

表 6.4: 端末部に用いた端末の仕様.

機種	Sony®Xperia Z1 SO-02F
OS	Android®4.2.2
画面サイズ	127 mm × 65.0 mm × 9.40 mm
画素数	1280 x 720

第7章 評価実験

d-swipe を用いたインタラクション手法を評価するために、著者は次に示す 3 つの実験を行った。

1. 方向識別実験
2. 性能評価実験
3. 誤起動率の調査

本章においては、これらの評価実験を述べる。

7.1 実験 1：方向識別実験

本節においては方向識別実験を述べる。

7.1.1 実験目的

方向識別実験の目的は、被験者が d-swipe、上方向スワイプ、及び、左方向スワイプを使い分ける事が可能であるかを確認する事である。端末上における既存の UI において、上方向及び左方向スワイプによる操作が多く実装されている。例として、上方向スワイプによる上方向へのスクロール、左方向スワイプによる左方向へのスクロールやページ遷移等が挙げられる。本節にて述べる方向識別実験により、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明らかにする。

7.1.2 実験環境

著者は、室内にて方向識別実験を行った。また、被験者が操作する携帯情報端末として、予備実験と同様に SONY XperiaTMSO-02F を採用した。以降、実験に使用した携帯情報端末を実験端末と呼称する。また、実験中に得られるデータを ADB にて記録する際に用いるコンピュータとして、予備実験と同様に ThinkPad®X220i を用いた。

7.1.3 被験者

評価実験の被験者として、3章にて述べた予備実験の被験者12名のうち6名を採用した。被験者は22歳–24歳の男性4名、女性2名であり、全員が右利きだった。さらに、全員が日常的にスマートフォンを使用していた。

7.1.4 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

著者は各方向へのスワイプを以下のように定義した。

- d-swipe: 4.1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。

各把持条件における各方向へのスワイプの角度関係を、それぞれ図7.1(a)、図7.1(b)に示す。

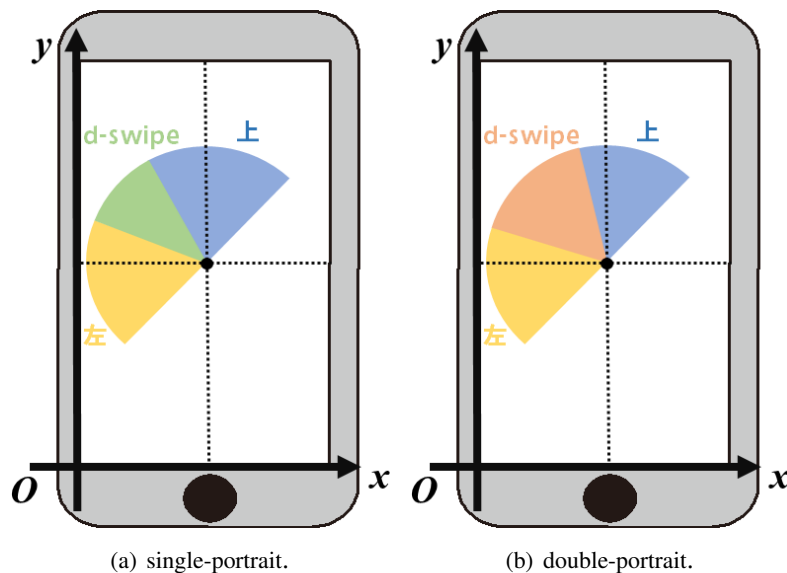


図 7.1: 方向識別実験における各スワイプの方向の定義。

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、図 7.2 に示すように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、図 7.3 に示すように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、アイズフリー環境における d-swipe の実行可能性を確認するためである。ユーザには、アイズフリー環境において端末を操作する欲求がある場面が存在する。例えば、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なっている最中に端末を操作したい際に、視覚的注意を端末に向ける事が制約になる状況が存在する [PRM00,Bre02,YCFZ12]。また、環境光の影響により端末から視覚フィードバックを受領する事が困難である場合も存在する [FLG00,Bre02,BLB⁺03]。一方で、タッチパネル上にて従来多く行われている GUI のポインティングによる入力とは異なり、ユーザは多くのジェスチャ操作を視覚フィードバックを必要とせず、即ちアイズフリー環境において実行する事が可能である [Kur93,KB93,RBLN09,PSSH⁺14]。方向識別実験により、d-swipe もこれらのジェスチャと同様にアイズフリー環境にて実行する事が可能である事を確認する。



図 7.2: sighted 条件における実験の様子。

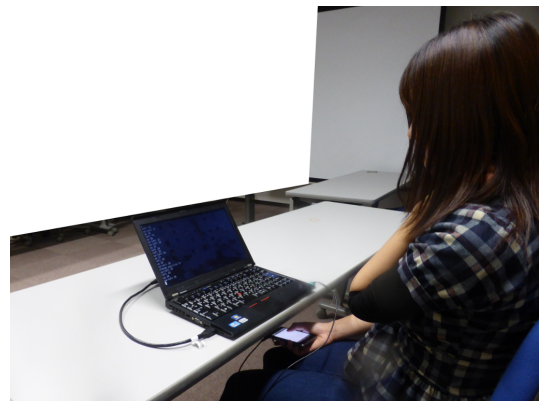


図 7.3: blind 条件における実験の様子。

把持条件

方向識別実験において被験者は、3 節にて示した2つの把持条件、すなわち 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。

7.1.5 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 セットを行なっている際、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) $\times$ 2 (把持条件) $\times$ 5 (試行) $\times$ 6 (セット) $\times$ 2 (視条件) $\times$ 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の所要時間は一人あたり 10 分程度だった。

7.1.6 実験結果

本節においては実験結果を述べる。今回の分析においては、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。著者は、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 7.1 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 $\sim$ 180 度ではなく 0 度 $\sim$ 360 度とする事とした。

表 7.1: 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

sighted 条件かつ single-portrait 条件における方向の識別率を表 7.2 に、sighted 条件かつ double-portrait 条件における方向の識別率を表 7.3 に、blind 条件かつ single-portrait 条件における方向の識別率を表 7.4 に、blind 条件かつ double-portrait 条件における方向の識別率を表 7.5 にそ

れぞれ示す。なお、それぞれの条件における各方向へのスワイプ数は、外れ値を考慮に入れない場合 5（試行）× 5（セット）× 6（人）= 150（回）である。

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。

以上の結果より、どの条件においても被験者は 98%を超える高い精度にて各方向へのスワイプを区別して実行する事ができた。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。

表 7.2: sighted 条件かつ single-portrait 条件における方向の識別率（%）。

指示 \ 入力	d-swipe	上	左	他	識別率
d-swipe	99.3	0.00	0.700	0.00	99.3
上	0.00	100.0	0.00	0.00	100.0
左	0.00	0.00	100.0	0.00	100.0
平均	-	-	-	-	99.8

表 7.3: sighted 条件かつ double-portrait 条件における方向の識別率（%）。

指示 \ 入力	d-swipe	上	左	他	識別率
d-swipe	99.3	0.700	0.00	0.00	99.3
上	2.78	97.2	0.00	0.00	97.2
左	2.08	0.00	97.9	0.00	97.9
平均	-	-	-	-	98.2

表 7.4: blind 条件かつ single-portrait 条件における方向の識別率（％）.

指示 \ 入力	d-swipe	上	左	他	識別率
d-swipe	96.6	0.00	3.40	0.00	96.6
上	1.36	98.6	0.00	0.00	98.6
左	0.00	0.00	100.0	0.00	100.0
平均	-	-	-	-	98.4

表 7.5: blind 条件かつ double-portrait 条件における方向の識別率（％）.

指示 \ 入力	d-swipe	上	左	他	識別率
d-swipe	99.3	0.00	0.684	0.00	99.3
上	3.36	96.6	0.00	0.00	96.6
左	0.00	0.00	100.0	0.00	100.0
平均	-	-	-	-	98.6

7.2 実験 2:性能評価実験

本節においては性能評価実験を述べる.

7.2.1 実験目的

性能評価実験の目的は, d-swipe を用いたインタラクション手法の性能を評価する事である. より具体的には, 被験者が Web ブラウザを使用している際に様々な操作を行う場面を想定する. この想定のもと, 著者が 5 章にて述べた応用例の一つである d-swipe によるメニュー展開及びコマンド実行を被験者が行い, 他の手法を用いた場合との間にて実行速度及び使用感の違いを調査する.

7.2.2 実験環境

著者は, 室内にて性能評価実験を行った. また実験端末として, 予備実験と同様に SONY Xperia™SO-02F を採用した. また, 実験中に得られるデータを ADB にて記録する際に用いるコンピュータとして, 予備実験と同様に ThinkPad®X220i を用いた.

7.2.3 被験者

評価実験の被験者として、3章にて述べた予備実験の被験者12名を採用した。被験者は22歳–24歳の男性9名、女性3名であり、全員が右利きだった。さらに、全員が日常的にスマートフォンを使用していた。また、性能評価実験の被験者は7.3節にて後述する誤起動率の調査実験にも参加し、820円の謝金を得る事とした。

7.2.4 実験設計

本節においては性能評価実験の実験設計を述べる。

タスク

性能評価実験において被験者は、携帯情報端末上にてWebブラウジングを行なっている際に様々な操作を行う場面を想定してタスクを行う。タスクの手順を以下に示す。

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、7.2.5 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、7.2.5 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 7.4 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。

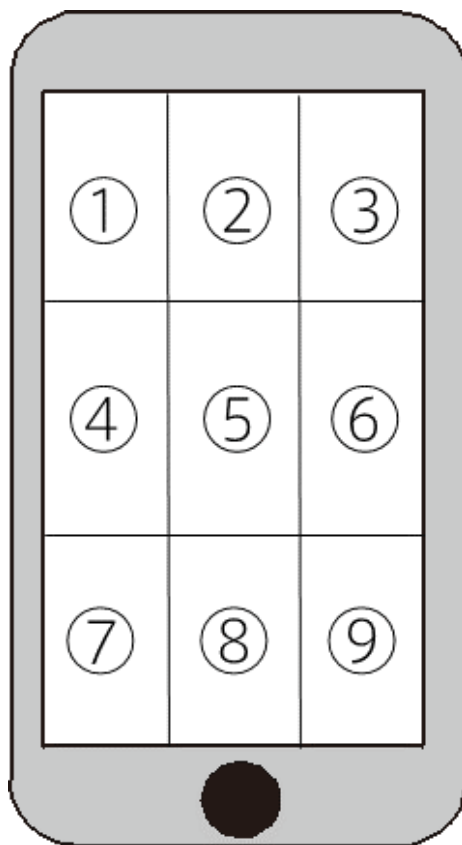


図 7.4: ボタンの表示候補位置.

表 7.6: 性能評価実験において使用されたメニュー内の表示項目と選択時に実行されるコマンドの対応.

表示	コマンド
Tab	新しいタブを開く
Bookmark	ブックマークの一覧を開く
History	履歴の一覧を開く

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. 表 7.6 に、性能評価実験において使用されたメニュー内の表示項目と選択時に実行されるコマンドの対応を示す.

7.2.5 手法条件

性能評価実験においては、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、次に示す3つの手法を用いる事とした.

- button
- Bezel Swipe
- d-swipe

本節においては、これらの手法条件について詳説する.

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. ボタン操作によるメニューの展開及びコマンドの実行は、従来の携帯情報端末上におけるアプリケーションにおいて多く採用されている.

実験中、実験端末の画面上には図 7.5 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 7.6 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 7.7 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 [Incc, Inca, Hel, Oy]. 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 (version 39.0.2171.93) 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の実測値と一致する．なお，実験端末は $341ppi$ (pixel per inch) である．これをピクセル数に直すと，以下のようになる．

$$\begin{aligned} 7(mm) &= 7(mm) \times 1/25.4(inch/mm) \times 341(ppi) \\ &= 93.9(px) \approx 94px \\ 38(mm) &= 38(mm) \times 1/25.4(inch/mm) \times 341(ppi) \\ &= 510.1(px) \approx 510px \end{aligned}$$

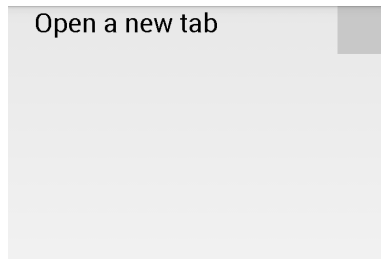


図 7.5: button 条件におけるメニューボタンの表示.

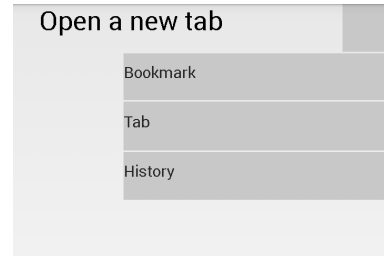


図 7.6: button 条件におけるメニューの展開.

Bezel Swipe 条件

Bezel Swipe 条件において被験者は，Bezel Swipe [RT09] 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 7.8 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 θ_b 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，選択されているメニュー項目に応じたコマンドが実行される．

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 [BNLH11]，その例の一つが Bezel Swipe である．そのため，著者は提案手法を評価するにあたり，Bezel Swipe を比較対象とする事が有効であると考えた．

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 7.9 に示すようにパイメニューとして展開される．

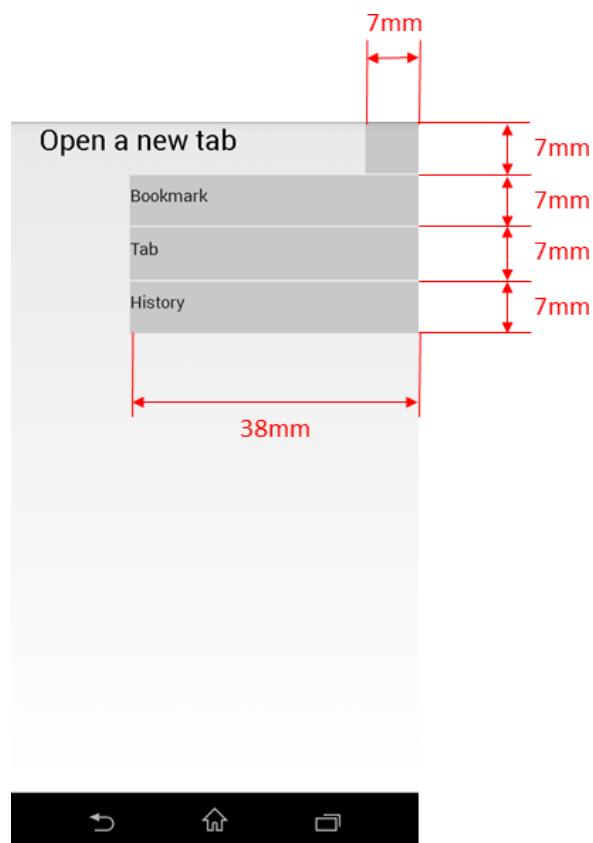


図 7.7: button 条件における各 GUI 部品のサイズ及び位置関係.

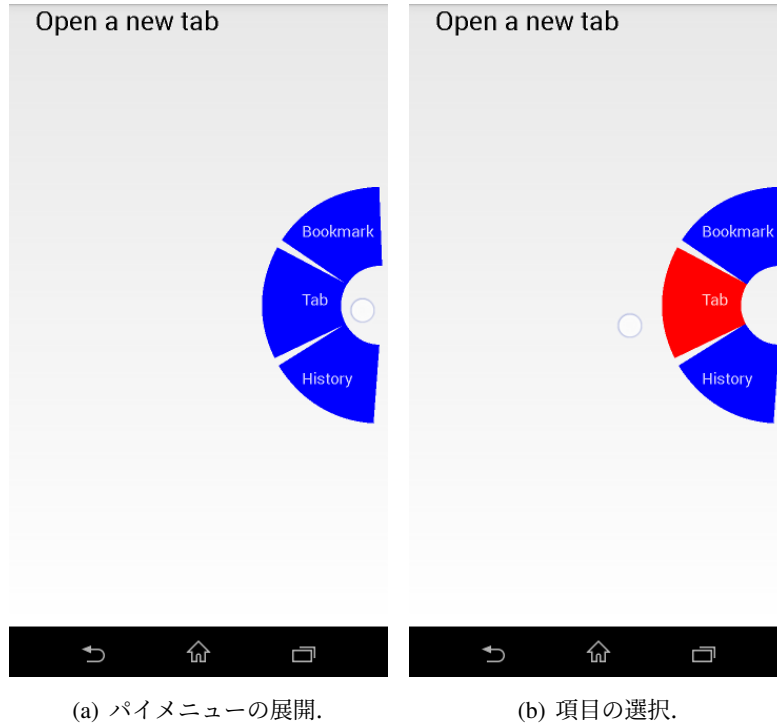


図 7.8: Bezel Swipe 条件において展開されるパイメニュー.

この時、被験者が d-swipe を行う際にタッチダウンした座標 (td_x, td_y) を中心にパイメニューを出現させた場合、図 7.10 に示すように d-swipe のオクルージョンの問題が発生する。そのため、d-swipe 条件におけるパイメニューの中心座標 (dc_x, dc_y) を、著者の経験則から以下の式により定めた。

$$\begin{aligned} dc_x &= td_x - 50 \\ dc_y &= td_y - 150 \end{aligned}$$

d-swipe 条件においては、被験者が d-swipe を行う際にタッチダウンした点 P_1 の座標 (x_1, y_1) と現在タッチしている点 P_2 の座標 (x_2, y_2) との位置関係により、選択されるメニュー項目が決定される（表 7.7）。

7.2.6 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

表 7.7: 点 P_1 と点 P_2 の位置関係と選択されるメニュー項目の関係.

条件	選択されるメニュー項目
$x_1 > x_2 \ \&\& \ y_1 > y_2$	Bookmark
$x_1 < x_2 \ \&\& \ y_1 > y_2$	Tab
$x_1 > x_2 \ \&\& \ y_1 < y_2$	History
$x_1 < x_2 \ \&\& \ y_1 < y_2$	無し

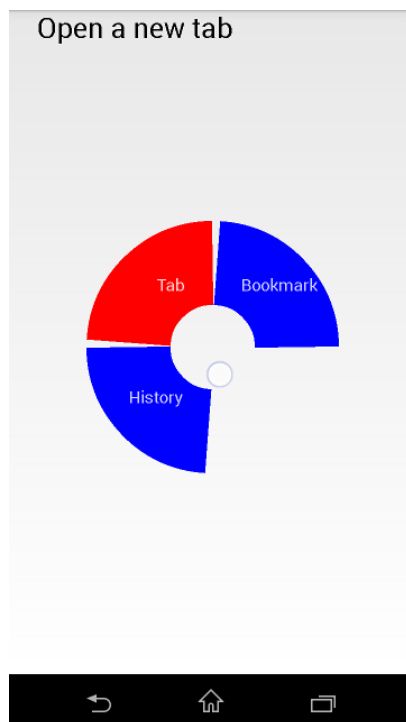


図 7.9: d-swipe 条件において出現するパイメ
ジヨン. (白色) タッチ開始時の指. (肌色) d-
swipe 実行後の指.

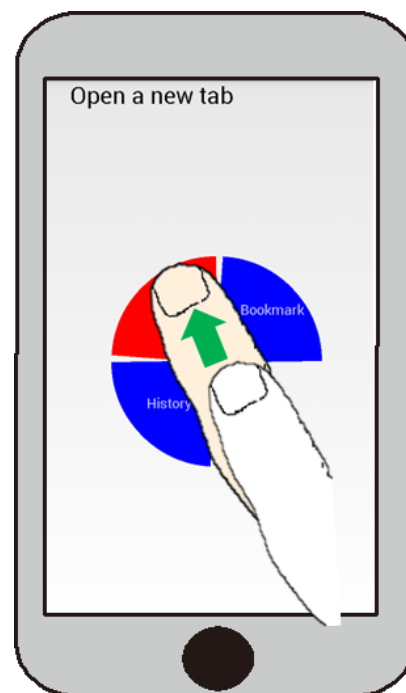


図 7.10: d-swipe 実行の際に発生するオクルー
ジヨン. (白色) タッチ開始時の指. (肌色) d-
swipe 実行後の指.

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7.3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。なお、本実験に用いた実験同意書とアンケート用紙、及びアンケートにて得られたコメントの一覧を本論文の末尾に付録Bとして添付する。また、性能評価実験が完了するまでの所要時間は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。

7.2.7 実験結果

本節においては実験結果を述べる。

タスク完了時間

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7.11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 ($t = 0.224, p > 0.1$)。

加えて、各手法条件において把持条件間における主観的評価値の対応のないt検定を行った結果、button条件、Bezel Swipe条件、及び、d-swipe条件全てにおいて有意差が見られた ($t = 2.06, p < 0.05$, $t = 2.70, p < 0.01$, $t = 2.05, p > 0.05$)。

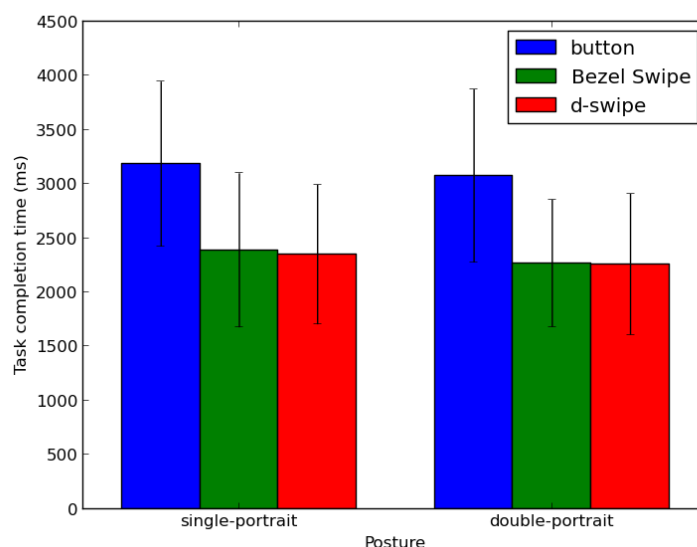


図 7.11: 各把持条件及び手法条件における平均タスク完了時間.

使用感の主観的評価

アンケートによる使用感の主観的評価を述べる. 全てのタスク終了後に行った5段階のリッカート尺度を用いた, 使用感の主観的評価の分布を表 7.8 に示す. また, 各条件における評価値の平均値を図 7.12 に示す.

表 7.8: 各条件における評価値の分布.

条件	評価値				
	5	4	3	2	1
single-portrait かつ button	0	2	3	5	2
single-portrait かつ Bezel Swipe	3	6	2	1	0
single-portrait かつ d-swipe	9	2	1	0	0
double-portrait かつ button	0	5	5	2	0
double-portrait かつ Bezel Swipe	3	7	1	1	0
double-portrait かつ d-swipe	5	6	0	1	0

single-portrait 条件における, button 条件, Bezel Swipe 条件, d-swipe 条件の主観的評価値の平均値はそれぞれ, 2.42, 3.92, 4.67 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 ($t = 3.87, p < 0.001$, $t = 6.55, p < 0.001$). 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 ($t = 2.33, p > 0.1$).

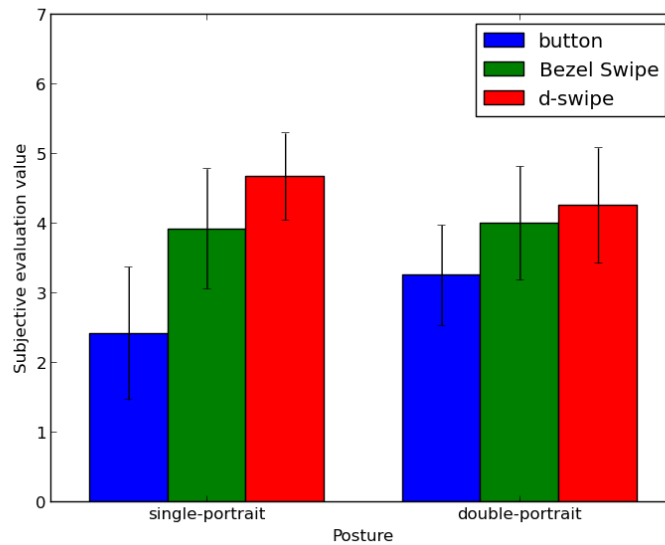


図 7.12: 各把持条件及び手法条件における主観的評価値の平均値.

さらに, double-portrait 条件における, button 条件, Bezel Swipe 条件, d-swipe 条件の主観的評価値の平均値はそれぞれ, 3.25, 4.00, 4.25 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 d-swipe 条件及び, button 条件と Bezel Swipe 条件の間において有意差が見られた ($t = 3.02, p < 0.01$, $t = 2.28, p < 0.05$). 一方で, Bezel Swipe 条件と d-swipe 条件の間においてはそれぞれ有意差は見られなかった ($t = 0.713, p > 0.1$).

加えて, 各手法条件において把持条件間における主観的評価値の対応のない t 検定を行った結果, button 条件においては有意差が見られた ($t = 2.31, p < 0.05$). 一方で, Bezel Swipe 条件及び d-swipe 条件においては有意差が見られなかった ($t = 0.233, p > 0.1$, $t = 1.33, p > 0.1$).

7.2.8 考察

各把持条件において, 平均タスク完了時間及び主観的評価値の平均値は共に, 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, [BNLH11] にて最もユーザに好まれるジェスチャであるとされたベゼルジェスチャの一種である 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 条件においては図 7.13 に

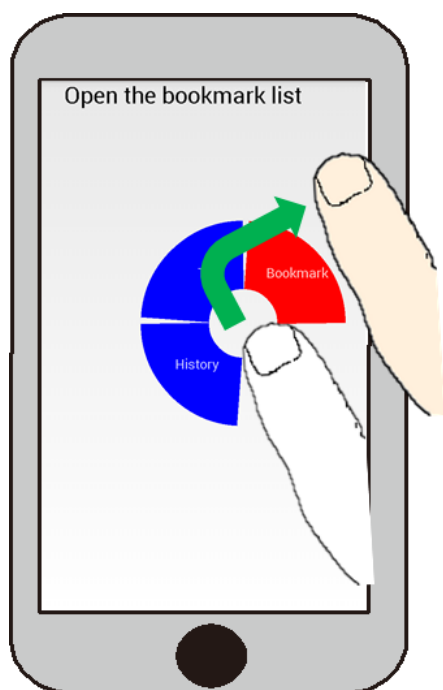


図 7.13: d-swipe 条件における Bookmark コマンド選択.

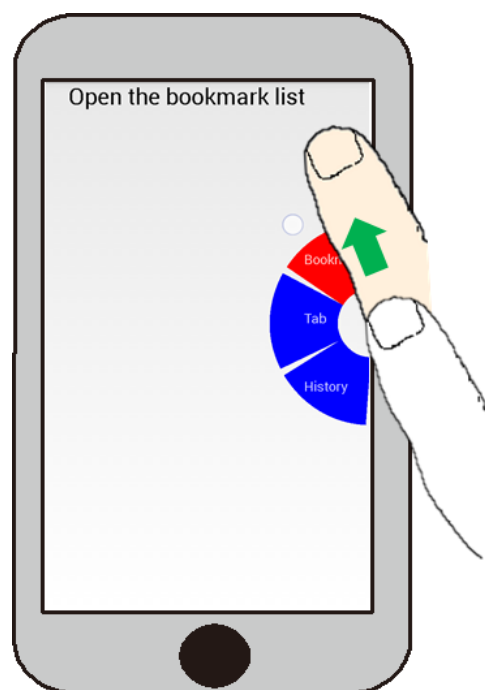


図 7.14: d-swipe 条件における Bookmark コマンド選択.

示すように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 条件においては図 7.14 に示すように、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 つの段階のみにて行っている。これにも関わらず、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 を行う際において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。これを示すために、タスクを表 7.9 に示す 8 つのセグメントに分割し、それぞれのセグメントにおける平均所要時間を求めた。各条件における、それぞれのセグメントにおける平均所要時間の積み上げグラフを図 7.15 に示す。また、Bezel Swipe 条件及び d-swipe 条件における、タッチアップが発生してからメニューを展開するまで、即ちメニュー展開のセグメント (segment 2 及び segment 4) 及び、メニューを展開してからコマンドの実行が終了するまで、即ちコマンド実行のセグメント (segment 3 及び segment 5) の所要時間を表 7.10 に示す。メニュー展開のセグメント (segment 2) に関して、Bezel Swipe 条件における所要時間は single-portrait 条件にて 510.12 (ms)、double-portrait 条件にて 513.94 (ms) であった。対して d-swipe 条件における所要時間は single-portrait 条件にて 405.75 (ms)、double-portrait 条件にて 419.71 (ms) であり、Bezel Swipe 条件に比べてそれぞれの把持条件において 104.37 (ms)、94.230 (ms) 速かった。一方、コマンド実行のセグメント (segment 5) に関して、Bezel Swipe 条件における所要時間は single-portrait 条件にて 282.02 (ms)、double-portrait 条件にて 241.08 (ms) であった。対して d-swipe 条件における所要時間は single-portrait 条件にて 359.11 (ms)、double-portrait 条件にて 342.95 (ms) であり、Bezel Swipe 条件に比べてそれぞれの把持条件において 77.090 (ms)、101.87 (ms) 遅かった。

以上の結果から、ユーザは d-swipe を用いたインタラクション手法を任意の点から実行する事が可能であるため、Bezel Swipe を用いた場合に比べてメニューの展開を素早く行う事が可能である。一方で、ユーザは d-swipe を用いたインタラクション手法にてコマンドを選択する際に、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つの段階がある事に対し、Bezel Swipe を用いた場合においてはメニューの展開とコマンドの選択を同時に行う事が可能であるため、Bezel Swipe に比べてコマンドの実行に要する時間を多く必要とする。

表 7.9: 8 つのセグメントに分割されたタスク。

segment 1	Start ボタンをタッチダウンしてから Start ボタンをタッチアップするまで
segment 2	segment 1 の終了時からメニューを展開するためにタッチダウンするまで
segment 3	segment 2 の終了時から新しいタブを開くコマンドを実行するまで
segment 4	segment 3 の終了時からメニューを展開するためにタッチダウンするまで
segment 5	segment 4 の終了時からブックマークの一覧を開くコマンドを実行するまで
segment 6	segment 5 の終了時から URL ボタンをタッチダウンするまで
segment 7	segment 6 の終了時から URL ボタンをタッチアップするまで
segment 8	segment 7 の終了時から Finish ボタンをタッチダウンするまで

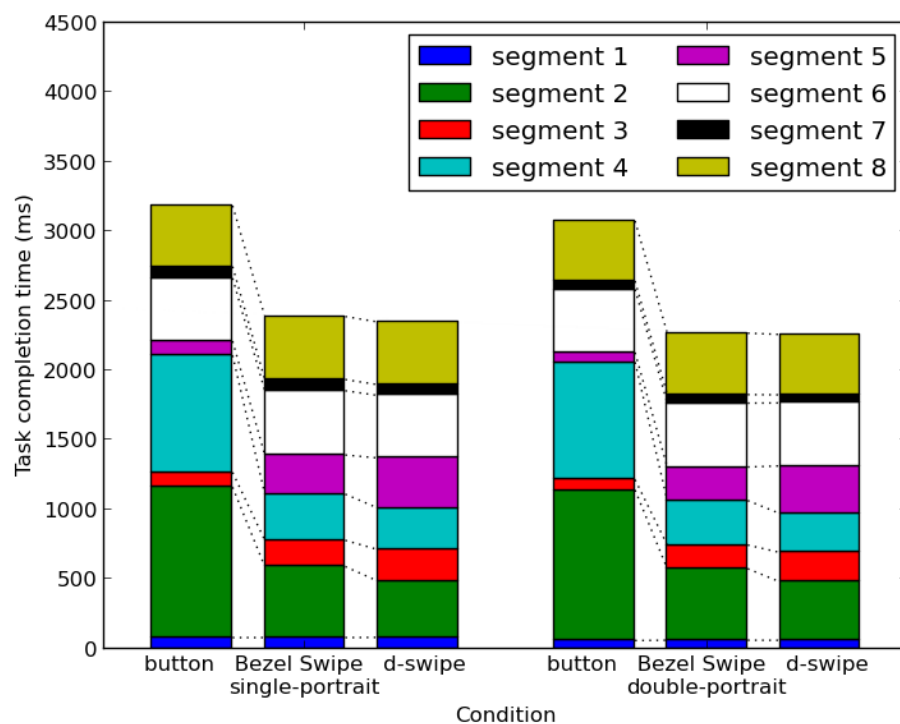


図 7.15: 各条件におけるそれぞれのセグメントに要する平均時間の積み上げグラフ.

表 7.10: メニュー展開及びコマンド実行を行う各セグメントの所要時間 (ms).

条件	メニュー展開のセグメント		コマンド実行のセグメント	
	segment 2	segment 4	segment 3	segment 5
single-portrait かつ Bezel Swipe	510.12	331.53	188.72	282.02
single-portrait かつ d-swipe	405.75	299.04	225.98	359.11
double-portrait かつ Bezel Swipe	513.94	319.60	170.26	241.08
double-portrait かつ d-swipe	419.71	279.56	211.24	342.95

7.3 実験 3:誤起動率の調査

本節においては、d-swipe の誤起動率を調査する実験を述べる。

7.3.1 実験目的

本調査を行う目的は、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 の誤起動率を調査する事である。

7.3.2 実験設計

被験者は、各把持条件にて自由に Web ブラウザを使用する。使用する Web ブラウザとして、予備実験にて使用した Chrome (version 39.0.2171.93) を用いる事とした。また、被験者に使用させる d-swipe の応用例として、実験 2 と同様にメニュー展開及びコマンド実行を採用した。

7.3.3 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。

7.3.4 実験結果及び考察

本節においては実験結果及び考察を述べる。

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な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。

7.4 アンケートから得られた知見

本節においては、実験後に被験者に対して行ったアンケートより得られた知見を述べる

使用感

アンケートより得られた、d-swipe の使用感を述べる。d-swipe の利点として挙げられていた点を以下に列挙する。

- 画面上の任意の位置にて実行できる (P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11)
- (ベゼルメニューに比べて) メニュー展開後の領域が広く操作性が良い (P3, P4, P9)
- 左上スワイプは普段行わない操作だが、無理なく行う事が出来る (P9, P11)
- メニューの展開から項目の選択まで動作に連続性を感じる (P2)
- コマンドの実行を高速に行う事ができる (P8)
- 右上に表示されるメニュー項目の選択が容易 (P12)

12名の被験者のうち10名が、d-swipe の利点として画面上の任意の位置にて実行出来る点を挙げていた。また、Bezel Swipe によるパイメニュー展開時においてはメニューの表示領域を半円のみ確保できる事に対し、d-swipe を用いた場合メニューを円状に表示する事が可能である。この点を利点として挙げた被験者が3名いた。さらに、左上スワイプが普段行わない操作であるのにも関わらず、無理なく行う事が出来ると回答した被験者が2名いた。他のコメントとして、連続的なコマンドの実行 (1名)、高速なコマンド実行 (1名)、右上に表示されるメニュー項目の選択が容易 (1名) が挙げられる。

また、d-swipe の欠点または改善点として挙げられていた点を以下に列挙する。

- 左下に表示されるメニュー項目が操作に用いる指にて遮蔽される (P1)
- 片手操作時には指の屈伸を行う事に疲れる (P4)
- 左上の領域をタッチする際に誤起動する事がある (P6)
- 両手操作時に誤起動する (P7)
- 実際に Web ブラウザ上にて使用すると、d-swipe 実行時に若干 Web ページがスクロールされる (P10)
- 左上に表示されるメニュー項目を実行しにくい (P12)

左下に表示されるメニュー項目が操作に用いる指にて遮蔽される問題を指摘した被験者が1名いた。これは、d-swipeの実行時に表示されるパイメニューの表示位置を変更する事により解決可能である。ただし、d-swipeを実行する際におけるスワイプの距離が個人によって異なるという点を考慮する必要がある。そのため、ユーザがd-swipeを実行した際におけるスワイプの距離を学習する事により、表示するメニューの位置を最適化する事が解決法として考えられる。他の解決案として、表示するメニューの形状を変更する事が挙げられる。メニューの形状の例として、5.2節にて述べたように画面端へ表示する事が挙げられる。また、片手操作時において指の屈伸を行う事に疲れると回答した被験者が1名いた。この被験者はBezel Swipe条件においても同様であると述べており、d-swipeではなくスワイプ操作そのものの問題であると考えられる。さらに、d-swipeが誤起動する場合がある旨を述べた被験者が2名いた。d-swipeの誤起動については7.3節にて述べたためここにおいては言及しない。また、実際にWebブラウザ上にてd-swipeを実行した際に若干Webページがスクロールされる点を指摘した被験者が1名いた。この問題は、今回の実装においては現在ユーザが使用しているアプリケーションの外部からADBを用いているために、ユーザがd-swipeを実行してから6.3.1節にて述べたスクロールのロックが実行されるまでの間に遅延が生じる事に起因する。そのため、Webブラウザ等のユーザが使用しているアプリケーション自体にd-swipeの応用例を実装する事により、この問題は解決する。他のコメントとして、左上に表示されるメニュー項目を実行しにくいと回答した被験者が1名いた。

使用したい場面

被験者が回答した、d-swipeを用いたインタラクション手法を使用したい場面を以下に列挙する。

- ブラウジング中 (P3, P5, P7, P8, P10, P11)
- 片手操作中 (P2, P8, P12)
- コピー、切り取り、及びペースト等のテキスト操作 (P3)
- タブの切り替え及びタブの新規作成 (P7)
- ホーム画面におけるフォルダ内アプリケーション選択 (P9)
- 通知呼び出し (P10)
- 地図アプリケーション使用時 (P11)
- 動画再生中におけるチャプタ送り (P11)

12名の被験者のうち、ブラウジング中にd-swipeを用いたインタラクション手法を使用したいと回答した被験者が最も多く6名であった。また、片手操作時に使用したいと回答した

被験者が3名いた。実際に、性能評価実験における double-portrait 条件において、d-swipe 条件は Bezel Swipe 条件と使用感の点において有意差が見られなかったものの、single-portrait 条件においては他の手法条件に比べて d-swipe 条件が有意に良い結果が出ていた。これらのことから、操作に用いる指の自由度がより小さい片手操作時の方が d-swipe を用いたインタラクション手法の有効性が高いと思われる。他の使用したい場面として、テキスト操作、タブ切り替え及びタブの新規作成、フォルダ内アプリケーション選択、通知呼び出し、地図アプリケーション、動画再生中におけるチャプタ送りと様々な場面が挙げられ、被験者が d-swipe を使用したいと思う場面が多岐に渡っている事が示された。

第8章 議論

本章においては d-swipe を用いたインタラクション手法及び d-swipe について議論する。

8.1 把持姿勢の検出

本論文においては，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，提案手法を使用する事が出来ると述べている．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 d-swipe を用いたインタラクション手法を実用するためには，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 [TB09, CHLC12, SPH12, 大野 13, OST13, 上島 12] と組み合わせる事により実現可能であると思われる．

8.2 提案手法の適用範囲

今回の予備実験の結果は，ユーザが Gmail, Facebook, Chrome の3つのアプリケーションにおいて左上方向へのスワイプをあまり行わない事を示した．これらの3つのアプリケーションにおいてユーザは主にドキュメントの閲覧を行っており，比較的多様な入力を行う事が可能な地図アプリケーション等のインタフェースにおいて d-swipe を用いる事が出来ない．ここで，表 8.1 に，提案手法の適用範囲をまとめた．

表 8.1: 各アプリケーションにおける提案手法の適用可能性．

アプリケーション	適用可能性
Web ブラウザ	○
メール	○
文書ビューア	○
画像ビューア	×
SNS	○
地図	×
ドローイングツール	×
ゲーム	×
ホーム画面	○

第9章 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．

謝辞

本研究を遂行するにあたり，先生方，同期，先輩方，後輩と多くの方からご助力を頂きました．今こうして謝辞の筆をとるにあたり，私の3年間の研究生生活は皆様の支えなしには成り立たなかったと感じております．ご協力下さった皆様に感謝を申し上げます．

指導教員である志築文太郎先生には，具体的な研究の進め方から論文執筆，そして研究者としての姿勢まで，きめ細かいご指導を頂きました．深く感謝申し上げます．また，田中二郎先生，三末和男先生，高橋伸先生，嵯峨智先生，Simona Vasilache 先生には，直接の指導教員ではないのにも関わらず，研究発表について多くの助言を頂きました．チーム内とは異なる角度からの様々な意見は研究を進める上で大変参考になりました．ありがとうございます．

インタラクティブプログラミング研究室の皆様には研究生生活のみならず日常生活においても大変お世話になりました．特に WAVE チームの同期である大野誠氏，栗原拓郎氏，深津佳智氏から受ける影響は強く，彼らは私が研究に対するモチベーションを保つ上で大変大きな存在でした．また，酒井紗季氏は精神的な支えとなっておりました．このような恵まれた環境にて研究を行えた事は大変幸せであったとひしひしと感じております．ありがとうございます．

最後に，私の大学院生活を精神面及び金銭面において支えて下さった両親に深く感謝致します．

参考文献

- [BABL13] David Bonnet, Caroline Appert, and Michel Beaudouin-Lafon. Extending the vocabulary of touch events with thumbrock. In *Proceedings of Graphics Interface 2013*, GI '13, pp. 221–228, Toronto, Ont., Canada, Canada, 2013. Canadian Information Processing Society.
- [BLB⁺03] Stephen Brewster, Joanna Lumsden, Marek Bell, Malcolm Hall, and Stuart Tasker. Multimodal 'eyes-free' interaction techniques for wearable devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 473–480, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [BLC⁺12] Sebastian Boring, David Ledo, Xiang 'Anthony' Chen, Nicolai Marquardt, Anthony Tang, and Saul Greenberg. The Fat Thumb: Using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction. In *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services Companion*, Mobile-HCI '12, pp. 207–208, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [BNLH11] Andrew Bragdon, Eugene Nelson, Yang Li, and Ken Hinckley. Experimental analysis of touch-screen gesture designs in mobile environments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 403–412, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [Bre02] Stephen Brewster. Overcoming the lack of screen space on mobile computers. *Personal Ubiquitous Comput.*, Vol. 6, No. 3, pp. 188–205, January 2002.
- [BWB06] Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, and Patrick Baudisch. Precise selection techniques for multi-touch screens. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '06, pp. 1263–1272, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [CHLC12] Lung-Pan Cheng, Fang-I Hsiao, Yen-Ting Liu, and Mike Y. Chen. iRotate Grasp: Automatic screen rotation based on grasp of mobile devices. In *Adjunct Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST Adjunct Proceedings '12, pp. 15–16, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [CPZO14] Chen Chen, Simon T. Perrault, Shengdong Zhao, and Wei Tsang Ooi. BezelCopy: An efficient cross-application copy-paste technique for touchscreen smartphones. In *Pro-*

ceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '14, pp. 185–192, New York, NY, USA, 2014. ACM.

- [FLG00] Marie Falahee, Kezzy Latham, and Erik Geelhoed. Safety and comfort of eyeglass displays. In Peter Thomas and Hans-W. Gellersen, editors, *Handheld and Ubiquitous Computing*, Vol. 1927 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 236–247. Springer Berlin Heidelberg, 2000.
- [GSW01] François Guimbreti re, Maureen Stone, and Terry Winograd. Fluid interaction with high-resolution wall-size displays. In *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '01, pp. 21–30, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [GW00] Fran ois Guimbreti re and Terry Winograd. Flowmenu: Combining command, text, and data entry. In *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '00, pp. 213–216, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [GWP12] Mayank Goel, Jacob Wobbrock, and Shwetak Patel. Gripsense: Using built-in sensors to detect hand posture and pressure on commodity mobile phones. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, pp. 545–554, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [Hel] Dina Helmy. Ux/ui guidelines for windows phone 8 - africaapps - site home - msdn blogs. <http://blogs.msdn.com/b/africaapps/archive/2014/03/08/ux-guidelines-for-windows-phone-8.aspx>.
- [HGL14] Seongkook Heo, Jiseong Gu, and Geehyuk Lee. Expanding touch input vocabulary by using consecutive distant taps. In *Proceedings of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 2597–2606, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [HH12] Chris Harrison and Scott Hudson. Using shear as a supplemental two-dimensional input channel for rich touchscreen interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 3149–3152, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [HL11a] Seongkook Heo and Geehyuk Lee. Force Gestures: Augmented touch screen gestures using normal and tangential force. In *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, pp. 1909–1914, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [HL11b] Seongkook Heo and Geehyuk Lee. Force gestures: Augmenting touch screen gestures with normal and tangential forces. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium*

on User Interface Software and Technology, UIST '11, pp. 621–626, New York, NY, USA, 2011. ACM.

- [HL11c] 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.
- [HL13] Seongkook Heo and Geehyuk Lee. Ta-Tap: Consecutive distant tap operations for one-handed touch screen use. In *Proceedings of the Adjunct Publication of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13 Adjunct, pp. 91–92, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [HS11] Ken Hinckley and Hyunyoung Song. Sensor synaesthesia: Touch in motion, and motion in touch. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 801–810, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [HSH11] Chris Harrison, Julia Schwarz, and Scott E. Hudson. TapSense: enhancing finger interaction on touch surfaces. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, October 2011.
- [HYP⁺10] Ken Hinckley, Koji Yatani, Michel Pahud, Nicole Coddington, Jenny Rodenhouse, Andy Wilson, Hrvoje Benko, and Bill Buxton. Pen + touch = new tools. In *Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, pp. 27–36, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [Inca] Apple Inc. ios human interface guidelines: Designing for ios. <https://developer.apple.com/library/ios/documentation/UserExperience/Conceptual/MobileHIG/index.html>.
- [Incb] Google. Inc. Keyboard shortcuts in chrome for android - chrome help. <https://support.google.com/chrome/answer/6098315?hl=en>.
- [Incc] Google Inc. Metrics and grids — android developers. <http://developer.android.com/design/style/metrics-grids.html>.
- [Jor] Jorudan.Co.Ltd. Welcome to jorudan co.,ltd. <http://www.jorudan.co.jp/english/>.
- [KB93] Gordon Kurtenbach and William Buxton. The limits of expert performance using hierarchic marking menus. In *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '93, pp. 482–487, New York, NY, USA, 1993. ACM.

- [KBCV06] Amy K. Karlson, Benjamin. B. Bederson, and Jose L. Contreras-Vidal. Understanding single-handed mobile device interaction. Technical Report HCIL-2006-02, 2006.
- [KC10] F. Z. Kaghat and P. Cubaud. Fluid interaction in audio-guided museum visit: Authoring tool and visitor device. In *Proceedings of the 11th International Conference on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, VAST'10, pp. 163–170, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2010. Eurographics Association.
- [Kur93] Gordon Paul Kurtenbach. The design and evaluation of marking menus. Technical report, University of Toronto, 1993.
- [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.
- [LR09] Chuanyi Liu and Xiangshi Ren. Making pen-based operation more seamless and continuous. In *Proceedings of the 12th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction: Part I*, INTERACT '09, pp. 261–273, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.
- [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.
- [OST13] Makoto Ono, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Touch&Activate: Adding interactivity to existing objects using active acoustic sensing. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 31–40, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [Oy] Microsoft Mobile Oy. Nokia x design guidelines - nokia x design guidelines. <http://developer.nokia.com/resources/library/nokia-x-ui/>.
- [PRM00] Jason Pascoe, Nick Ryan, and David Morse. Using while moving: Hci issues in fieldwork environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interactions*, Vol. 7, No. 3, pp. 417–437, September 2000.
- [PSSH⁺14] Benjamin Poppinga, Alireza Sahami Shirazi, Niels Henze, Wilko Heuten, and Susanne Boll. Understanding shortcut gestures on mobile touch devices. In *Proceedings of the 16th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices & Services*, MobileHCI '14, pp. 173–182, New York, NY, USA, 2014. ACM.

- [RB03] Gonzalo Ramos and Ravin Balakrishnan. Fluid interaction techniques for the control and annotation of digital video. In *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '03, pp. 105–114, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [RB05] Gonzalo Ramos and Ravin Balakrishnan. Zliding: Fluid zooming and sliding for high precision parameter manipulation. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '05, pp. 143–152, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [RBLN09] Anne Roudaut, Gilles Bailly, Eric Lecolinet, and Laurence Nigay. Leaf menus: Linear menus with stroke shortcuts for small handheld devices. Vol. 5726 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 616–619. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [RLG09] Anne Roudaut, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. MicroRolls: Expanding touch-screen input vocabulary by distinguishing rolls vs. slides of the thumb. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 927–936, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [RT09] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-free scrolling and multiple selection on mobile touch screen devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1523–1526, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [SLG13] Marcos Serrano, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. Bezel-tap gestures: Quick activation of commands from sleep mode on tablets. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 3027–3036, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [SPH12] Munehiko Sato, Ivan Poupyrev, and Chris Harrison. Touché: Enhancing touch interaction on humans, screens, liquids, and everyday objects. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 483–492, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [TB09] Brandon T. Taylor and V. Michael Bove, Jr. Graspables: Grasp-recognition as a user interface. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 917–926, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [TUKD12] Matthieu Trudeau, Tawan Udtamadilok, Amy K. Karlson, and Jack Tigh Dennerlein. 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.

- [WCRI09] Feng Wang, Xiang Cao, Xiangshi Ren, and Pourang Irani. Detecting and leveraging finger orientation for interaction with direct-touch surfaces. In *Proceedings of the 22Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, pp. 23–32, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [WHM12] Julie Wagner, Stéphane Huot, and Wendy Mackay. BiTouch and BiPad: Designing bimanual interaction for hand-held tablets. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2317–2326, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [WR09] Feng Wang and Xiangshi Ren. Empirical evaluation for finger input properties in multi-touch interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1063–1072, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [YCFZ12] Bo Yi, Xiang Cao, Morten Fjeld, and Shengdong Zhao. Exploring user motivations for eyes-free interaction on mobile devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2789–2792, New York, NY, USA, 2012. 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.
- [ZBAK10] Robert Zeleznik, Andrew Bragdon, Ferdi Adeptura, and Hsu-Sheng Ko. Hands-on Math: A page-based multi-touch and pen desktop for technical work and problem solving. In *Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, pp. 17–26, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [松浦 07] 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, feb 2007.
- [上島 12] 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, 第 2012 巻, pp. 9–14, March 2012.
- [大野 13] 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. インタラクション 2013, pp. 56–63, 2013.

付録A 予備実験の際に用いた実験同意書及びアンケート用紙

次ページに，予備実験の際に用いた実験同意書及びアンケート用紙を示す．

スマートフォン上における操作のデータ収集へのご協力のお願い

文責：黒澤敏文

この度は実験にご協力頂き、ありがとうございます。本実験の目的は、スマートフォン上における操作のデータを収集する事です。所要時間は1時間程度となります。

実験中の様子は随時写真を撮らせて頂く可能性があります。また、実験への参加は被験者の自由意志によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。

データの取り扱いに関して

本実験において得られた入力データ及び画像は、実験の分析、論文、学内外の発表において使用する可能性があります。その際は個人が特定できないように処理します。

調査に関して、上記内容を理解・同意した上で実験に参加していただける場合は、下部の署名欄に署名をお願い致します。

平成 年 月 日

所属 _____ 署名 _____

説明者：所属 コンピュータサイエンス専攻 _____ 署名 _____

アンケート

以下のアンケートにご協力下さい(いずれかの項目に○をつけてください)

1 性別

1. 男 2. 女

2 年齢

() 歳

3 利き手

1. 右 2. 左 3. 両方

4 普段スマートフォンを使用していますか

1. はい 2. いいえ

5 (4で「はい」と答えた方) 使用している機種の種類、OS、及び使用期間を教えてください

- 型番 ()
- OS ()
- 使用期間 (年 ケ月)

6 (4で「はい」と答えた方) スマートフォンを片手操作する場合、どちらの手で持つ事が多いですか

1. 右 2. 左 3. 半々 4. 片手操作をしない

7 (4で「はい」と答えた方) スマートフォンを両手操作する場合、どちらの手で持つ事が多いですか

1. 右 2. 左 3. 半々 4. 両手操作をしない

8 (4で「はい」と答えた方) スマートフォンを操作する場合、両手操作と片手操作をどのように使い分けますか。また、その使用頻度の割合を教えてください

ご協力ありがとうございました。

付録B 評価実験の際に用いた実験同意書及びアンケート用紙

次ページに，評価実験の際に用いた実験同意書及びアンケート用紙を示す．

スマートフォン上における操作のデータ収集へのご協力のお願い

文責：黒澤敏文

この度は実験にご協力頂き、ありがとうございます。本実験の目的は、スマートフォン上における操作のデータを収集する事です。所要時間は1時間程度となります。

実験中の様子は随時写真を撮らせて頂く可能性があります。また、実験への参加は被験者の自由意志によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。

データの取り扱いに関して

本実験において得られた入力データ及び画像は、実験の分析、論文、学内外の発表において使用する可能性があります。その際は個人が特定できないように処理します。

調査に関して、上記内容を理解・同意した上で実験に参加していただける場合は、下部の署名欄に署名をお願い致します。

平成 年 月 日

所属 _____ 署名 _____

説明者：所属 コンピュータサイエンス専攻 署名 _____

アンケート

以下のアンケートにご協力下さい(いずれかの項目に○をつけてください)

片手操作時における **d-swipe** の使用感はどうでしたか

1. 非常に使いやすい 2. 使いやすい 3. 普通 4. 使いにくい 5. 非常に使いにくい

両手操作時における **d-swipe** の使用感はどうでしたか

1. 非常に使いやすい 2. 使いやすい 3. 普通 4. 使いにくい 5. 非常に使いにくい

d-swipe を使用して良かった点を教えてください

--

d-swipe を使用して悪かった点を教えてください

--

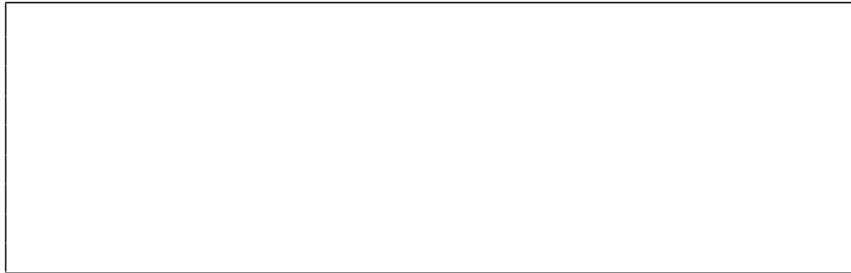
片手操作時における **Bezel Swipe** の使用感はどうでしたか

1. 非常に使いやすい 2. 使いやすい 3. 普通 4. 使いにくい 5. 非常に使いにくい

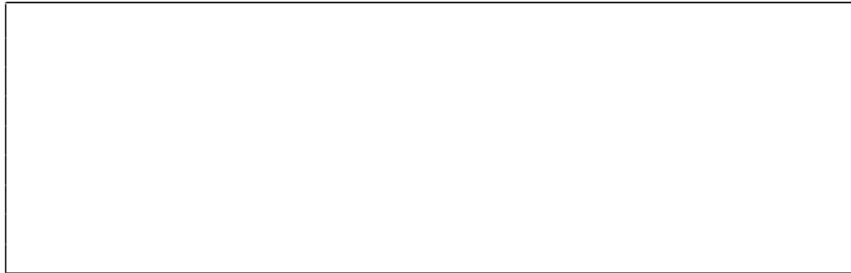
両手操作時における **Bezel Swipe** の使用感はどうでしたか

1. 非常に使いやすい 2. 使いやすい 3. 普通 4. 使いにくい 5. 非常に使いにくい

Bezel Swipe を使用していて良かった点を教えてください



Bezel Swipe を使用していて悪かった点を教えてください



片手操作時におけるボタン操作の使用感はどうでしたか

1. 非常に使いやすい 2. 使いやすい 3. 普通 4. 使いにくい 5. 非常に使いにくい

両手操作時におけるボタン操作の使用感はどうでしたか

1. 非常に使いやすい 2. 使いやすい 3. 普通 4. 使いにくい 5. 非常に使いにくい

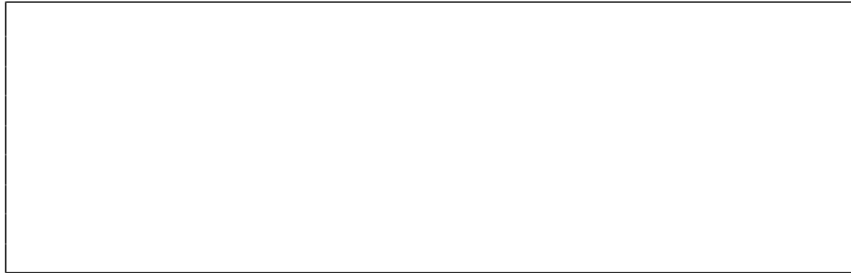
ボタン操作を使用していて良かった点を教えてください



ボタン操作を使用していて悪かった点を教えてください



d-swipe を使用したい場面がございましたら教えて下さい



その他、**d-swipe** や実験について何かご意見や要望がございましたら教えて下さい



ご協力ありがとうございました。

付録C 評価実験のアンケートにて得られたコメント

評価実験のアンケートにて得られたコメントを以下に示す。

d-swipe を使用して良かった点を教えてください

- メニューを表示するために手の位置を特に変えなくてよい点良かった。
- ボタンやベゼルを使用する操作と違って動作に連続性があるように感じた。ディスプレイが大きいために、スマホを傾けることがあったが、それでも d-swipe の操作はやりやすかった。
- メニュー表示部（タッチ可能な領域）が広いため操作しやすいところ。どこでもメニューを出せるところ。
- どこでもメニューが出せる。どこでもメニューが出せるので、右クリックの代用とかに使えそう。しかし長押しとどちらが良いか微妙。
- ベゼルスワイプとかボタンだと特定の位置に指を持ってこないといけないが、d-swipeだと現在の指の位置から移動できるので簡単だった。
- どんなタッチポイントからでも操作できて良かった。
- 片手操作時に親指を画面の中心に置いたまま色々な操作が出来るのが便利だと感じました。（ベゼルスワイプ等を使っているとスマホを持ち直す必要がある場合がある）
- 片手操作時の誤作動がほとんどなくて良かったです。
- 高速でタブなどを開ける（他の2種に比べて速くできた）。
- 自分の性に合っている、どこでも d-swipe ができるため、手の移動が少ない。
- 思ったより操作に難がないし誤作動も起こりにくかったように思う
- 他の手法に比べてタップする位置が固定されないのが楽に感じた
- ベゼルに比べて使える円の広さが大きいので、メニューの選択しにも幅が出ていいと思う。

- ベゼルスワイプの時は、画面端に指を持っていかなければならず、片手持ちの時に持ちにくく、苦勞していたが、d-swipe はどこでも起動でき、使いやすかった。
- 任意の点からコマンドを呼び出せるのが便利だと思った。
- あまり行われない左上方向の操作だが、特に無理なく行えたと思う。
- 右上の項目を選択するのが楽でした。

d-swipe を使用していて悪かった点を教えて下さい

- メニューの History が指で隠れてしまっていた。
- ななめ上にスワイプした後に出てくるメニューが大きすぎると思った。もう少し小さい角度で操作出来ると良かった。
- 斜め上に指を出すので指で生じるオクルージョン領域が多かったかも（慣れればどの方向にどのメニューがあるかはすぐに分かると思うが）。
- 片手操作時は指の屈伸が少し疲れる。（ベゼルもだけど）スクリーンの滑り具合に左右される？
- 特になし。
- 画面の左上をタッチする時に誤って起動してしまう点。
- 両手で使った際に誤作動が多かった。多分下から円弧を描くようにスワイプしているせい。
- 実験3の正方形のメニューより、2の円形のメニューの方が指を動かした時の感覚にマッチしていて良かった。
- しきい値の問題なのか、誤入力が心配。長押しでも表示されるイメージだったので気を付ける部分が多かった。
- 実際にブラウザ上で使用すると、画面を拡大した後のスクロールと混ざってしまった。
- 若干ページのスクロールも同時に行われてしまうのが気になる。
- 慣れればもっと使いこなせれると思うので特にはないです。
- 左上の入力がやりづらい点。

Bezel Swipe を使用して良かった点を教えてください

- 慣れている操作なのでサクサクできました。
- 特になし。
- 左右両方からメニューを引き出せる。
- 失敗がほとんどなかった点。
- 左右どちらでも出せるので、コンテンツのオクルージョンが少なくなりそう。
- 片手でも非常に楽。
- 端の方にメニューが表示されるから、余りじゃまにならなさそう。
- 手の近くで起動できる点
- 両手操作時にも誤作動なく使用出来る。
- 一番誤入力が少なくて良かった
- ボタン操作に比べると操作が少なくてすむので入力が楽。
- 操作が画面端に限定されているので画面上のスクロールと区別できているのは誤作動がなくて良い。
- 操作が速く行える。
- 他の操作と混在しない。
- 真横方向が一番動かしやすいので、そこに一番よく使うコマンドがあると良いかも
- d-swipe と比較してストロークが 1 本で良いのが楽だった。

Bezel Swipe を使用して悪かった点を教えてください

- d-swipe と比べ指の移動が多い。
- ページ遷移と同じなのでブラウザで使えない。
- 右端、左端のボタンを押す動作がベゼルスワイプと誤認識されることが多かった。
- 右側のベゼルからメニューを引き出した場合は遮蔽で表示が見えづらくなる。逆に言うと、そのような場合でも左側からスワイプすることで多少それが解消されることが利点だと思う。
- 片手操作時にはちょっと疲れる。

- (iPhone の) Chrome だとタブの切り替えにベゼルスワイプが当てられているので使えない？他のアプリも同様。
- 左上にスワイプするやつと比べると、画面端まで指を動かさないといけないのが面倒だと思った
- 片手操作時にたまにスマホを持ち直す必要が出てくる
- 一々左または右に手を動かす必要有。
- ブラウザで、拡大した後、左右にスワイプするときに心配（自分がよくやるので）。
- 微妙に指の移動が多いのでつかれる。
- 感度の問題でもあるが画面端をタップしたときにメニューが出てしまう時がある。
- 片手持ちの時は、少し無理をする持ち方になってしまう。
- メニューを呼び出した時点で操作している手に隠れて見えない部分が多い気がした。
- 片手操作時は左右両端、両手操作時は把持している手の指の都合上片側（自分の場合左端のみ）を使用した。
- 個人的には左右どちらを使うか迷うより片側で決まっていた方が使い易かった。
- 少しむずかしかった。
- 直感的でない

ボタン操作を使用していて良かった点を教えて下さい

- 項目がたくさんあっても使える。
- 慣れていて使いやすい。
- 間違えにくい
- 古典的(?)なのでわかりやすい、使いやすい。
- 説明なしでも使える点。
- 視覚的に表現されているため、初心者には分かりやすそう。
- メニューの要素数が増えた時には便利そう。
- インタフェースとしてはわかりやすかった。

- 特に説明なしでも使える。
- 他の手法に比べて使用できるスペースが大きいので、階層上のメニューや、量の多いメニューでは分かり易いと思う。
- メニューを開くのと選択が二回のタップなので、誤って新しいタブを開く等の操作が起こりにくいと思う。
- 誤作動が少ない。
- 最も慣れているので最初は一番スムーズだったと思う。
- 操作の単位がタップに統一されているのでステップが把握し易かった。
- 直感的だった。
- いつも通り

ボタン操作を使用していて悪かった点を教えて下さい

- 正確に押せない。
- 片手操作時にはボタンの位置によって押しにくいところがある。右下や左上は特に押しにくい。
- いちいち特定の位置まで指を移動させるのが面倒。
- ボタンの領域が狭いためタップしづらい。
- 他2つの操作と比べて操作量が多くて面倒。
- 片手だとボタンの位置まで指を伸ばさないといけなかったのが、やりにくかった。
- 右上に毎回指を移動しなければならない点。
- 押しミスが多発した（押したと思ったのに押せていない、違うボタンを押している等）。
- ベゼルスワイプよりも手を動かす量、回数が多い。
- 誤入力が一番多いし機能をアイコン別にして、一つ一つにしたらまた違うかも。
- タップする回数が多くて面倒。
- メニューの大きさの都合でタップ位置がずれ、高速に操作しにくい。
- 操作速度が遅くなってしまう。

- スワイプに慣れてくると、右上の決まった位置へ毎回移動するのがわずらわしくなってくる。
- 誤タッチがとても多かった。
- ボタンが小さい。

d-swipe を使用したい場面がございましたら教えて下さい

- 地図以外のスワイプする方向が限定されているアプリならだいたい使いたい。
- 片手操作しかできないとき。
- ブラウザは便利だと思うがジェスチャ入力と同じようなものになってしまうかも。
- テキストのコピー、切り取り、ペーストがちょうど3つなので配置しやすいと思った。
- 思いつかない …。
- ブラウジング。
- 基本的に縦横の操作が多く誤認識とかあるので、ななめとかだと操作もかぶらず便利に使える。
- タブ切り替えや新規タブの追加を d-swipe で出来たら便利そうだと思います。
- 片手でネットサーフィンしているとき。
- ホーム画面のフォルダでまとめたアプリの選択に。
- 文字入力の大文字、小文字変換や英和切り替えに利用すると文字入力が高速になると思う。
- Web ページのえつらん時。
- スマホのホーム画面での操作（通知画面呼び出し等）。
- ブラウザでも地図アプリでも、色々と利用できると思うし、あれば便利だと思う。
- 動画再生中のチャプター送りとか？
- 片手しか使えない場合に両手で行うような操作ができると良い。

その他，d-swipe や実験について何かご意見や要望がございましたら教えて下さい

- メニューの数が増えた場合どうなるか気になる．
- chrome のメニューは多くの項目を表示するためにあのサイズだと思うため．
- 面白かったです．
- ご意見や要望ではないのですが，途中とても眠かったのでかなり外れ値的なデータを出してしまっていると思います．すみません．
- そもそも左上方向のスワイプの使用率が低いのは単に使いにくいからなのか，それとも本当に使うシーンがほとんどないのか，どちらだろうかということが実験前の話を聞いていて気になった．
- ベゼルと違って 8 方向にメニュー出すとかできそう．
- 特になし．
- d-swipe の起動には少し起動時間をもうけた方がいいと感じた．
- スクロールと交ざる場面は出てくるので，拡大・縮小のようにダブルタップしてからの操作や，長押ししてからスワイプ等，差をつけた方が利用し易いのではと思う．
- d-swipe が意図せず起動したことはなかったが，d-swipe を起動する際に背景のブラウザ等と一緒にスクロールしてしまうのは若干気になった．