

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

超小型タッチパネル端末のための
画面縁から画面縁へのスワイプジェスチャ

久保 勇貴

指導教員 志築 文太郎 田中 二郎

2016年1月

概要

超小型タッチパネル端末（以降、超小型端末）が備えるタッチパネル上において、1本指にて行うことができるタッチジェスチャ **Bezel to Bezel Swipe**（**B2B-Swipe**）を示す。**B2B-Swipe**は超小型端末のベゼルからベゼルへのスワイプである。超小型端末のタッチパネルは小さい、すなわちベゼル間の距離が短いため、ユーザは**B2B-Swipe**を容易に行うことができる。また、ユーザは指から得られる触覚によって各ベゼルを区別することができるため、**B2B-Swipe**をアイズフリーにて行うことができる。さらに**B2B-Swipe**は1本指にて行うシンプルなジェスチャであるため、新たなセンサを追加せず超小型端末上の入力語彙を増やすことが可能である。**B2B-Swipe**の実装アルゴリズムの正確性、そして**Bezel Swipe**およびフリックと併用可能であるかについてスマートウォッチ上にこれらのジェスチャを実装し2つの実験を行った。実験では、画面を見ながら行う **sighted** 条件、画面を見ずに行う **eyes-free** 条件の2条件を用意した。実験結果より、**B2B-Swipe**は、**Bezel Swipe**およびフリックといったタッチジェスチャとも併用可能であることが示された。さらに、**B2B-Swipe**単体のみを用いる場合、**B2B-Swipe**は他の**B2B-Swipe**と判定されることが限りなく少なく、高精度に行うことが可能である。

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的	2
1.3	アプローチ	2
1.4	貢献	2
1.5	本論文の構成	3
第2章	関連研究	4
2.1	スマートウォッチのための入力手法	4
2.1.1	追加センサおよび外部機器を用いた研究	4
2.1.2	タッチパネルのみを用いた入力手法	5
2.1.3	スマートウォッチへの文字入力手法	5
2.2	スマートウォッチにおけるアイズフリー入力	5
2.3	ベゼルを用いたジェスチャ	6
第3章	B2B-Swipe	7
3.1	提案手法	7
3.2	利点	8
3.3	実装方法	8
第4章	B2B-Swipe 入力精度実験	9
4.1	被験者	9
4.2	実験機器	9
4.3	タスク	9
4.4	実験手順	10
4.5	実験結果	11
4.6	考察	13
第5章	B2B-Swipe 併用実験	16
5.1	B2B-Swipe 併用実験時の実装	16
5.2	被験者	17
5.3	実験機器	17
5.4	実験設計	17

5.5	実験手順	17
5.6	実験結果	18
5.6.1	エラー率	18
5.6.2	試行時間	20
5.6.3	アンケート	20
5.7	考察	23
第 6 章	アプリケーション例	26
6.1	アプリケーションマネージャ	26
6.2	音楽プレーヤ	26
6.3	ショートカット	27
6.3.1	音量調節機能	27
6.3.2	定型文送信機能	28
6.3.3	スヌーズ設定機能	28
6.3.4	ウェブブラウジングにおけるホーム機能	28
第 7 章	議論	29
7.1	超小型端末におけるベゼルの有用性	29
7.2	さらなる入力語彙の拡張可能性	29
7.3	B2B-Swipe 利用機会の提示方法	29
第 8 章	今後の課題	31
8.1	B2B-Swipe の想起性	31
8.1.1	指を避け表示される GUI	31
8.1.2	B2B-Swipe 実施時の軌跡を用いたメタファーの一致	31
8.2	矩形ではない超小型端末における B2B-Swipe の使用感調査	33
第 9 章	結論	34
	謝辞	35
	参考文献	36
付 録 A	評価実験の際に用いた実験同意書およびアンケート用紙	40
A.1	B2B-Swipe 入力精度実験	41
A.1.1	同意書	41
A.1.2	実験説明書	42
A.1.3	アンケート	44
A.2	B2B-Swipe の他手法併用実験	45
A.2.1	同意書	45
A.2.2	実験説明書	46

A.2.3	アンケート	51
付録 B	試行回数にて表記した混同行列	56
B.1	B2B-Swipe 入力精度実験	56
B.1.1	被験者によるミスを考慮する前の混同行列	56
B.1.2	被験者によるミスを考慮した混同行列	56
B.2	B2B-Swipe 併用実験	59
B.2.1	フリックのエラー率変更前の混同行列	59
B.2.2	フリックのエラー率変更後の混同行列	59
付録 C	B2B-Swipe 併用実験におけるそれぞれのジェスチャの試行時間	62
C.1	B2B-Swipe の試行時間	62
C.2	Bezel Swipe の試行時間	62
C.3	フリックの試行時間	62

図目次

1.1	超小型端末上における指の大きさ.	2
3.1	B2B-Swipe の模式図.	7
4.1	B2B-Swipe 入力精度実験の実験姿勢および指示画面. (a) 実験風景, (b) 実験時の腕姿勢, (c) 実験指示例.	10
4.2	B2B-Swipe 入力精度実験の sighted 条件および eyes-free 条件における B2B-Swipe の成功率.	13
4.3	B2B-Swipe 入力精度実験のアンケート結果.	14
4.4	被験者ごとの B2B-Swipe 成功率 (前半: eyes-free 条件, 後半: sighted 条件).	15
4.5	被験者ごとの B2B-Swipe 成功率 (前半: sighted 条件, 後半: eyes-free 条件).	15
5.1	B2B-Swipes (#1–#16) および実験にて使用する Bezel Swipe およびフリック (#17–#24). オレンジ色の円が開始ベゼル, 青色の円が終了ベゼルを表す.	18
5.2	実験にて使用した 2 つの条件および実験姿勢. (a) sighted 条件, (b) eyes-free 条件, (c) 実験姿勢.	19
5.3	フリックエラー率変更前の各ジェスチャのエラー率. both: 両条件におけるエラー率.	20
5.4	各ジェスチャの試行時間. both: 両条件における試行時間.	22
5.5	それぞれのジェスチャへの 6 つの設問に対する回答. 設問: 1) 本ジェスチャは簡単でしたか. 2) 本ジェスチャは正確さが必要でしたか. 3) 本ジェスチャに慣れるのは早かったですか. 4) 本ジェスチャは疲れましたか. 5) 本ジェスチャをスマートウォッチ操作で使いたいですか. 6) 本ジェスチャは見て行うものに対して見ずに行うことによって難しくなったと感じましたか.	22
5.6	フリックエラー率変更後の各ジェスチャのエラー率.	23
6.1	音楽プレーヤ操作画面.	27
7.1	B2B-Swipe のさらなる入力語彙の拡張手法.	30
8.1	スマートウォッチ操作時の姿勢.	32

8.2	スマートウォッチへのタッチ時の指位置.	32
8.3	軌跡によるメタファーの一致. (a) 曲送り (右矢印), (b) 曲戻し (左矢印), (c) ヘルスケアアプリケーション呼び出し.	33
C.1	B2B-Swipe16 通りそれぞれの試行時間.	62
C.2	Bezel Swipe4 通りそれぞれの試行時間.	63
C.3	フリック 4 通りそれぞれの試行時間.	63

表 目 次

4.1	B2B-Swipe 入力精度実験の sighted 条件における混同行列.	12
4.2	B2B-Swipe 入力精度実験の eyes-free 条件における混同行列.	12
4.3	混同行列 ID.	13
5.1	B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列.	21
5.2	B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列.	21
5.3	アンケート設問 (Q1～Q6), 被験者, およびジェスチャ間の相関.	23
5.4	B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列 (Flick エラー修正版).	25
5.5	B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列 (Flick エラー修正版).	25
6.1	音楽プレーヤ機能一覧.	28
B.1	B2B-Swipe 入力精度実験の sighted 条件における混同行列 (試行回数).	57
B.2	B2B-Swipe 入力精度実験の eyes-free 条件における混同行列 (試行回数).	57
B.3	ヒューマンエラーを除いた sighted 条件における混同行列 (試行回数).	58
B.4	ヒューマンエラーを除いた eyes-free 条件における混同行列 (試行回数).	58
B.5	B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列.	60
B.6	B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列.	60
B.7	B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列 (Flick エラー修正版).	61
B.8	B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列 (Flick エラー修正版).	61

第1章 序論

本章において、まずスマートウォッチに代表される超小型タッチパネル端末における入力語彙の問題を述べる。次に本研究の目的を述べ、問題解決のためのアプローチを示す。その後、本研究の貢献を示し、本論文の構成を述べる。

1.1 背景

スマートウォッチなどの超小型タッチパネル端末（以降、超小型端末）の主な操作は、超小型端末に搭載されているタッチパネル上にて決まった指の動きを行う操作（以降、タッチジェスチャ）、および端末に最初から付属されているボタンを押す操作である。ただし、超小型端末上において複数本の指を用いるタッチジェスチャをユーザは行いにくい。その理由は、超小型端末のタッチパネルは小さく（例：SONY SmartWatch 3の画面サイズ：1.6インチ（約2.8cm 四方）、Apple Watch 38mmの画面サイズ：1.5インチ（縦：約3.0cm，横：約2.4cm））、複数本の指を超小型端末上において用いることが困難であるためである（図1.1）。すなわち、超小型端末上においてユーザが行いやすいタッチジェスチャは、複数の指を用いることのないスワイプおよびタップのような1本指にて行うことが可能なタッチジェスチャである。よって、超小型端末上において複数本の指を用いるタッチジェスチャを行うことが困難であるために、超小型端末における入力語彙はスマートフォンおよびタブレットに比べて少ない。

そのため、タッチジェスチャ以外の入力手法を提供する超小型端末も登場している。入力手法の例として、超小型端末を取り付けた腕を素早く回転させるという操作（例：SONY SmartWatch 3）および手首を振るシェイクという操作（例：モトローラ Moto 360）が挙げられる。また音声入力を提供する端末もある（例：Apple Apple Watch）。しかし、これらは環境によっては行うことができない場合がある。例として、腕を回転させるという動作を人混みの中にて行うことは困難であり、音声入力についても図書館など声を発せられない場所において用いることは困難である。また、Human Computer Interaction 分野においては、超小型端末への入力語彙を増やすことを目的として、端末外における操作を可能とする手法が多数提案されている [LXC⁺14, OI15, PLEG13]。しかし、これらの手法を用いるためには端末にセンサおよび外部機器を追加する必要がある。



図 1.1: 超小型端末上における指の大きさ.

1.2 目的

本研究は，超小型端末の入力語彙を増やすことを目的に行う．また，超小型端末の特長を生かした，および実装方法を工夫することにより現在市販されている超小型端末上でも行うことが可能である手法の提案を行うことを目的とする．

1.3 アプローチ

本研究のアプローチとして，現在市販されている超小型端末にセンサ類を追加せず入力語彙を増やす手法を提案する．そこで，私は超小型端末の特徴である端末の小ささに注目した．端末が小さい，すなわちベゼル間の距離が短いことを利用したジェスチャを提案する．さらに，ベゼルの用いることにより，ユーザは指の触覚より超小型端末を見ることなく各ベゼルの区別できることを活かし，アイズフリーにて行うことができる手法の提案を行う．

1.4 貢献

本研究の貢献を次に示す．

- 現在市販されているスマートウォッチなどの超小型端末に追加センサ類を必要とせずタッチパネルのみにて実装可能，かつ超小型端末の画面が小さいこと，すなわちベゼル間の距離が短いことを活かしたスワイプジェスチャである B2B-Swipe の提案を行い超小型端末の入力語彙の増加に貢献した．
- B2B-Swipe を判定するためにユーザが行ったスワイプがベゼルとクロッシングしたかどうか判定可能なアルゴリズムを開発した．

- B2B-Swipe 判定アルゴリズムが実際に B2B-Swipe を判定可能であるかどうか実験を行い使用可能であることを示した。

1.5 本論文の構成

本研究において、実装した B2B-Swipe の判定アルゴリズムが B2B-Swipe を正確に判定可能かおよび Bezel Swipe およびフリックと B2B-Swipe が併用可能か、SmartWatch 3 上に B2B-Swipe およびその他のジェスチャを実装し、被験者実験を行った。また、本研究の成果は第 23 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2015) にて登壇発表 [久保 15] し、The 34th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16) にて登壇発表予定 [KST16] である。

第 1 章では、本研究の背景と目的を述べた。第 2 章では、関連研究を示し本研究の位置づけを述べる。第 3 章では提案手法のアイデアおよび特長、実装方法を述べる。第 4 章では、B2B-Swipe 実装アルゴリズムの評価実験の設計、手順、結果および考察を述べる。第 5 章では、B2B-Swipe が Bezel Swipe およびフリックと併用する実験の設計、手順、結果および考察を述べる。第 6 章では、B2B-Swipe を用いたアプリケーション例としてショートカットおよびアプリケーションマネージャーを述べる。第 7 章では、B2B-Swipe に関する議論として、ベゼルの有用性、B2B-Swipe のユーザへの提示方法などを述べる。第 8 章では、今後の課題として、B2B-Swipe の想起性および異なる形状をもつ超小型端末における B2B-Swipe の使用感を述べる。最後に第 9 章では、本研究の結論を述べる。

第2章 関連研究

本研究と同様に，スマートウォッチのための入力手法，スマートウォッチにおけるアイズフリー入力，およびベゼルを用いたジェスチャを扱った先行研究は数多く存在する．

2.1 スマートウォッチのための入力手法

2.1.1 追加センサおよび外部機器を用いた研究

センサを追加することによりスマートウォッチの入力語彙を増やす研究が多く行われている．赤外線センサを用いた研究として，スマートウォッチ側面に赤外線センサを組み込み皮膚表面をボタンにした研究 [LXC⁺14]，スマートウォッチ背面に赤外線センサアレイを取り付けることにより，ユーザのスマートウォッチの押し込みおよび腕へのタッチを検知する研究 [OI15]，および端末に4つの赤外線センサを取り付け，端末上空での手の動きによる操作を可能とした研究 [KHL07] がある．磁力センサを用いたものとして，Harrison ら [HH09] は指先に磁石を取り付け超小型端末の操作を行うことを提案し，ジョイスティックセンサを用いた研究として，Xiao ら [WLB⁺15] は，ジョイスティックセンサをスマートウォッチの盤面下部に組み込むことにより，盤面を傾けて操作を行う手法を提案した．iSkin[XLH14] は伸縮可能なタッチセンサである．その応用例として，スマートウォッチ側面に iSkin を取り付けキーボードとして利用するものが提案されている．カメラを用いた研究として，端末のタッチパネル上空の指を検知し端末に触れず操作可能とした研究 [HAL15] およびタッチパネル上に描いた軌跡による操作を可能とした研究 [VVBVS15] がある．その他に，端末へ息を吹きかけたことをマイクを用いて検知し息の吹きかけによる操作を可能とした研究 [Che15]，電気インピーダンストモグラフィーを用いて手のジェスチャを認識し，超小型端末を片手操作可能とする研究 [ZH15] がある．また，外部機器を用いた入力手法の研究として，指先に極小のスタイラスを取り付け，指による画面の遮蔽を減らすことにより操作ミスを軽減した研究 [XGF15]，視線検出器を用いてユーザの視線を検出し視線による端末操作を実現することにより端末のハンズフリー操作を可能とした研究 [EVBG15] がある．

追加センサおよび外部機器を用いた入力語彙を増やす研究に対して，B2B-Swipe はスマートウォッチに搭載されているタッチパネルのみを用いて実装が可能であるため，スマートウォッチにセンサを追加する必要がない．また，B2B-Swipe はタッチパネルのみにて実装可能であるため追加センサおよび外部機器を用いる手法とは実装方法が異なるため同一端末にて共存可能である．

2.1.2 タッチパネルのみを用いた入力手法

本研究と同様に、センサを追加せずにタッチパネルのみを用いてスマートウォッチの入力語彙を増やす操作手法として Beats[OLIE15] がある。Beats[OLIE15] はスマートウォッチ上にて 2 本指によるタッチパネルへのタッピングのパターン（同時、もしくは逐次タッピング）およびタッピング後の指の離し方を組み合わせ、3 通り × 6 通り、すなわち 18 通りの入力語彙を実現した研究である。Beats の実装には 2 本指のタッピング及び指を画面から離したことを認識するためにマルチタッチパネルを必要とするが、B2B-Swipe は 1 本指のみを用いるスワイプジェスチャであるため、シングルタッチパネルのみにて実装が可能である。Ashbrook ら [ALS08] はタッチパネルを有した円形スマートウォッチにおいて、ベゼルに沿うように配置されたボタンの最適な大きさを調査した。Ashbrook らはベゼル上のボタンに関する調査を行ったが、B2B-Swipe は超小型端末のための入力ジェスチャである。

B2B-Swipe は Beats および Ashbrook らが調査したベゼル上のボタンの選択手法と併用可能である。B2B-Swipe はタッチパネル上を指にてなぞるジェスチャ、Beats はタッチパネル上を指にてタップするジェスチャ、Ashbrook らの手法はベゼル上におけるボタンをタッチパネル上にて選択する手法であり、B2B-Swipe とはユーザが行う動作が異なるために併用可能である。

2.1.3 スマートウォッチへの文字入力手法

スマートウォッチのためのテキスト入力手法として、タップした位置を中心にキーボードを拡大してから再度タップにて文字を選択可能とした研究 [OHOW13]、2 つに分割した QWERTY キーボードを左右スワイプにて切り替え使用可能とした研究 [HHIL15]、スワイプにてキー選択を行っている際、キーボード上部に拡大鏡として現在選択しているキー周辺を表示可能とする研究 [LSC⁺15] がある。これらの手法が用いるタッチジェスチャは既存のものであるが、本研究では新しいタッチジェスチャの提案を行っている。

2.2 スマートウォッチにおけるアイズフリー入力

B2B-Swipe はアイズフリーにて操作可能であるため、スマートウォッチにおけるアイズフリー入力に関する研究を示す Blaskó ら [BF04] は、ユーザが操作対象を知る手がかりとしてベゼルを用いた操作手法を提案した。WatchIt[PLEG13] は、センサを腕時計型端末のバンド部分に組み込むことにより、バンドをなぞる、タップする、および 2 本指により掴むというバンドを見ることなく行うことが可能なジェスチャを提案している。Pasquero ら [PSS11] は静電容量センサおよび圧力センサなどのセンサを組み込んだ腕時計型端末を手にて掴む、覆う、および端末表面にてスワイプを行うジェスチャの提案を行っている。これらと同様に、B2B-Swipe も操作対象を知る手がかりを端末の物理的特徴に求めた操作である。ただし [PSS11, PLEG13] とは異なり、その手がかりは追加デバイスではなく [BF04] と同様に端末本体としている。

2.3 ベゼルを用いたジェスチャ

ベゼルを活かした操作に関する研究は多数行われている [RT09, HPSH00, JB12, 黒澤 13]。まず、B2B-Swipe と特に関係のある研究を述べる。黒澤ら [KST15] はモバイル端末のベゼルを2度通過するダブルクロッシングジェスチャ Bezel Check を提案した。Bezel Check は1ストロークの動作にて、データをベゼル上に配置し保存することができる手法である。Bezel Check は同じベゼルに対して2度クロッシングを行うジェスチャであるが、B2B-Swipe は超小型端末のベゼル間の距離が短いことを利用し同じベゼルだけでなく異なるベゼルも用いることにより Bezel Check と比較し矩形の端末において入力語彙が12通り豊富である。Roth らが提案した Bezel Swipe [RT09] は端末のベゼルをタッチすることをジェスチャ開始の合図とする、画面内オブジェクトの選択を行うジェスチャである。ベゼルに設置された異なる色のバーをユーザが選択することによりテキストの範囲選択およびテキストの単語選択などの機能を使い分けることができる。Bezel Swipe と B2B-Swipe は併用可能であることが本研究にて行われた実験にて示された。Bezel Menus [JB12] は、モバイル端末におけるアイズフリー操作のための、ベゼルジェスチャのマーキングメニューレイアウトの評価を行った研究である。Bezel Menus は Bezel Swipe 後のスワイプの方向により入力語彙を増やした手法であり、B2B-Swipe は Bezel Siwipe 後どのベゼルとクロッシングするかにより入力語彙を増やした手法である。Bezel Menus および B2B-Swipe はそれぞれ Bezel Swipe 後の操作が異なるため B2B-Swipe および B2B-Swipe は併用可能であると考えている。

スマートフォンおよびタブレットなどにおいて、ベゼルを活用した研究が存在する。Bezel Copy [CPZO14] は、ベゼルジェスチャを用いたテキストのコピー手法を提案した。最初にコピーしたい文を含む段落をベゼルジェスチャによりユーザが選択する。選択後、画面下部に表示されるアイコンをユーザが選択しユーザの行いたい操作を行う手法である。Bezel-Tap Gestures [SLG13] は、ベゼルを用いたコマンド入力手法である。ベゼルをタップした後、即座にタッチパネルへタップを行うことをコマンドの入力としたものである。B2B-Swipe とこれらの手法は併用可能であると考えている。

スマートウォッチなど腕に取り付ける超小型端末にてベゼルを活用した研究も存在する。Interaction on the Edge [OL14] は、赤外線センサを端末のベゼルに組み込み、ベゼル上の指の検知を可能とし、ベゼル上における端末操作方法の検討を行った。Interaction on the Edge は端末にセンサ類を追加しなくてはならないが、B2B-Swipe はセンサ類を追加せずに実装可能である。

第3章 B2B-Swipe

3.1 提案手法

B2B-Swipe とは超小型端末のベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャである（図 3.1）。ユーザは超小型端末のいずれかのベゼル（開始ベゼル）へ触れ、そのままベゼルを通過しタッチパネル内へと指を動かす。続いて、タッチパネル内を指にて触れたままいずれかのベゼル（終了ベゼル）を通過した後に指を離す。このとき、ベゼルの横切るようにスワイプを行うことをクロッシングとする。

図 3.1a は下ベゼルから右ベゼルへの B2B-Swipe の模式図である。ユーザは超小型端末の下ベゼルの指にて触れ、そのままタッチパネル内を触れたまま通過し、右ベゼルへスワイプを行う。

また、B2B-Swipe には同じベゼルから同じベゼルへスワイプを行うジェスチャもある。図 3.1b は下ベゼルから下ベゼルへの B2B-Swipe の模式図である。ユーザは下ベゼルに触れ、タッチパネル内へ指を離すことなく動かす。指をタッチパネル中央付近まで動かし終わると、下ベゼルの方向へ U ターンするように指を動かし、下ベゼルへスワイプを行う。

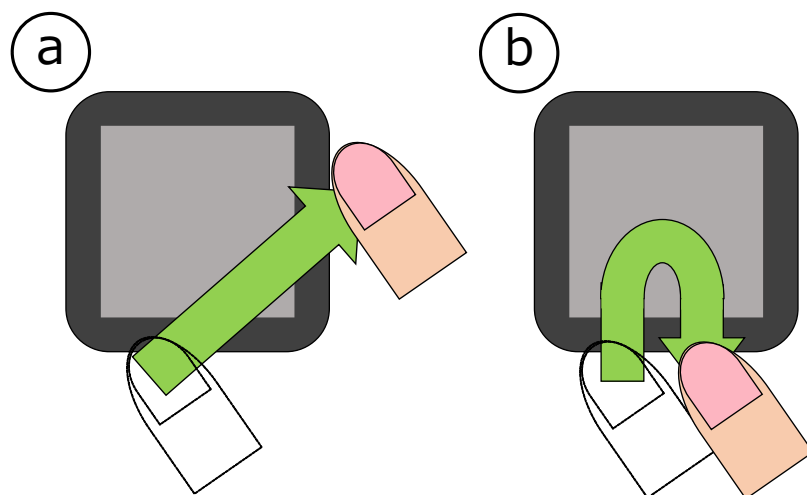


図 3.1: B2B-Swipe の模式図.

B2B-Swipe は開始ベゼル数 × 終了ベゼル数通り存在する。タッチパネルが矩形の端末はベゼルが4つあるため、4通り × 4通り、すなわち 16通り存在する。また、ユーザは B2B-Swipe を

行う際、各ベゼルを区別する必要があるため、B2B-Swipe はタッチパネルが多角形の超小型端末向けのジェスチャである。B2B-Swipe はスワイプがベゼルにクロッシングして始まり、ベゼルにクロッシングして終わるかどうかなどという判定アルゴリズムを用いている。B2B-Swipe は2度ベゼルとクロッシングしている点が他のタッチジェスチャと異なるため、Bezel Swipe[RT09],フリック, およびタップと併用可能である。したがって、B2B-Swipe は超小型端末の入力語彙を増やすことに貢献する。

3.2 利点

B2B-Swipe の利点として3点挙げることができる。次に箇条書きにして述べる。

- 1つ目はアイズフリーにて B2B-Swipe を行うことが可能である点である。ユーザは超小型端末に触れることにより、触覚フィードバックを得ることができる。この触覚フィードバックより、ユーザは端末を見ることなく各ベゼルを区別でき、アイズフリーにて B2B-Swipe を行うことが可能となる。
- 2つ目は、B2B-Swipe は容易に行うことが可能である点である。B2B-Swipe は超小型端末のベゼル間の距離が短いことを利用したジェスチャである。ベゼル間の距離が短いため、ベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャである B2B-Swipe を容易に行うことが可能となる。
- 3つ目は、B2B-Swipe を行う際、ユーザの指はタッチパネルの端を2回クロスすることになる。したがって、B2B-Swipe は一種のダブルクロッシングジェスチャと位置づけられる。中村ら[中村 13]の研究において、ダブルクロッシングジェスチャはシングルクロッシングに比べエラーが減少することが示されている。したがって、ユーザは B2B-Swipe を高精度に行うことができると考えられる。

3.3 実装方法

B2B-Swipe は、ユーザの指がクロッシングしたベゼルのタッチイベントから推定し、判定を行う。開始ベゼルについては、最初のタッチイベントが発生した後、5度目に発生したタッチイベントの座標および時刻を用いて、ユーザの指の速度を求める。この速度を用いて、タッチイベントが発生した 50ms 前のユーザの指の位置を求め、どのベゼルに対してクロッシングが行われたか判定する。同様に、終了ベゼルについても最後のイベントが発生した 50ms 後のユーザの指の位置を求め、どのベゼルに対してクロッシングが行われたか判定している。この結果、開始および終了ベゼルについてそれぞれクロッシングが行われたと推定される場合、B2B-Swipe が行われたとする。なお、上記の 50ms5 度目のタッチイベントを用いることは実験的に求めた値である。

第4章 B2B-Swipe 入力精度実験

B2B-Swipe の入力精度を測定するための被験者実験を行った。なお、本実験の内容は第 23 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ（WISS2015）[久保 15] において発表したものである。

4.1 被験者

ボランティアの大学生および大学院生 8 名（P1-P8, 男性 8 名, 年齢 21-23 歳）を被験者とした。全ての被験者がタッチパネル端末を日常的に使用し、その利用暦は 32-76 ヶ月, 平均 52.75 ヶ月であった。8 名のうち 2 名（P1, P8）にスマートウォッチの使用経験があった。

4.2 実験機器

実験に用いたスマートウォッチは SONY SmartWatch 3 SWR50（端末サイズ: 高さ 51 mm × 幅 36 mm × 厚さ 10 mm, 画面サイズ: 1.6 インチ, 解像度: 320 ピクセル × 320 ピクセル, OS: Android Wear 1.1.1）である。

4.3 タスク

被験者にはタスクを図 4.1a, b に示す姿勢にて行って貰った。1 回の B2B-Swipe の入力を 1 試行とし, 16 試行を 1 セッションとした。各セッションにおいて, 16 通りの B2B-Swipe をランダムに 1 回ずつ提示した。提示には三脚に固定されたスマートフォンを用いた（図 4.1a, c）。

被験者は練習タスクとして 4 セッション, 実験タスクとして 8 セッションの計 12 セッション行った。4 セッションある練習タスクの前半 2 セッションはスマートウォッチ画面を見ながら行う sighted 条件の練習, 後半 2 セッションはスマートウォッチ画面を見ずに行う eyes-free 条件の練習とした。練習タスク中 B2B-Swipe に失敗した場合, 被験者の習熟度を高くするために再度同じ B2B-Swipe を行うこととした。実験タスクは, 4 セッションを sighted 条件, 残り 4 セッションを eyes-free 条件とし, 2 つの条件をそれぞれ前半行うか後半行うかは順序効果を打ち消すため人数が半分になるようランダムに調整した。練習セッションを含んだ実験における総試行数は, $8 \text{ 被験者} \times 2 \text{ 条件} \times 6 \text{ セッション} \times 16 \text{ ジェスチャ} = 1536 \text{ 試行}$ である。ま

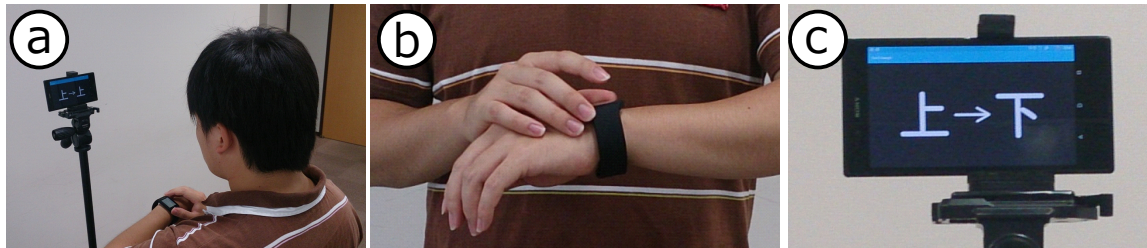


図 4.1: B2B-Swipe 入力精度実験の実験姿勢および指示画面. (a) 実験風景, (b) 実験時の腕姿勢, (c) 実験指示例.

た, 被験者は2セッションごとに着席し, 少なくとも 30 秒の休憩を取った. 実験の所要時間は 1 人当たり 40–61 分であった.

4.4 実験手順

被験者は実験者からスマートウォッチを受け取り, スマートウォッチがぐらつかないように取り付けるよう指示を受けた. 1 名を除き, スマートウォッチを左手首に取り付け, 右手により操作を行っていた. 1 名はスマートウォッチを右手首に取り付け, 左手によって操作を行っていた. 被験者は三脚から 30 cm 手前の位置に立ち, 三脚に取り付けられたスマートフォンが目線の高さになるよう確認した. 実験中は直立した状態のまま, スマートウォッチを取り付けた腕を地面に対して水平になるよう構えるよう被験者に指示した (図 4.1b). 実験中はスマートウォッチの操作を行う手の親指をスマートウォッチの側面もしくはベルトに添え, 安定した状態にするよう被験者に指示した. スマートウォッチの操作には人差し指のみを用いるよう被験者に指示した. セッション終了時に B2B-Swipe に関して思ったことおよび感じたことを発言するよう被験者に指示した. また, B2B-Swipe をできる限り正確に行うよう被験者に指示した. 全セッション終了後, 被験者にアンケートの回答をしてもらった. 付録 A に, 実験に使用した同意書, 実験説明書, およびアンケートを示す.

被験者への B2B-Swipe の操作指示は図 4.1c のようにスマートフォン画面に表示される. 図 4.1c に示すように, スマートフォン画面には上, 下, 右, もしくは左の文字が画面中央の右方向の矢印を挟み 2 個表示される. これは左側に表示された文字が表す位置のベゼルから, 右側に表示された文字が表す位置のベゼルへの B2B-Swipe を行う指示である. 図 4.1c の指示は, 上ベゼルから下ベゼルへ B2B-Swipe を行う指示である. B2B-Swipe 行った後, 被験者が行った B2B-Swipe が成功もしくは失敗かどうかの表示をマルおよびバツの図形を用いて行う. マルもしくはバツの図形が表示されてから 1.5 秒後に次の指示が画面に表示される.

4.5 実験結果

sighted 条件および eyes-free 条件における B2B-Swipe の成功率を図 4.2 に示す。成功率は sighted 条件において 92.8% (SD = 4.00), eyes-free 条件において 92.4% (SD = 4.04) と, sighted 条件の方が高い成功率を示した。ただし, t 検定を行ったところ有意差は認められなかった ($t_7 = -.198$, $p = .849 > 0.05$)。これらの結果は, スマートウォッチの画面を見ないことによる B2B-Swipe の誤入力が少ないことを示唆している。

判定結果を詳しく分析するために, 両条件における B2B-Swipe の判定結果の混同行列を表 4.1, 4.2 に示す。なお, 混同行列内の ID を表 4.3 に示す。このうち 0 番は, B2B-Swipe を行ったつもりが, 16 通りの B2B-Swipe のいずれにも当てはまらない場合である。また, 0 番の判定結果には Bezel Swipe と判定された試行も含む。付録 B.1.1 に成功率ではなく試行数にて表記した混同行列を示す。

B2B-Swipe が異なる B2B-Swipe と判定されるという誤入力率は sighted 条件において表 4.1 より 0.98% ($5/512 = 0.0098$), eyes-free 条件において表 4.2 より 0.78% ($4/512 = 0.0078$) であった。また, 0 番と判定された試行の内, B2B-Swipe が Bezel Swipe と判定された誤入力率は sighted 条件において 1.95% ($10/512 = 0.0195$), eyes-free 条件において 0.39% ($2/512 = 0.0039$) であった。したがって, これらの結果は B2B-Swipe がアイズフリーにて行えるジェスチャである可能性を示している。

実験にて行った 8 セッションの内, 前半 4 セッションを eyes-free 条件, 後半 4 セッションを sighted 条件にて B2B-Swipe を行った被験者グループの各セッションにおける成功率を図 4.4 に示す。前半 4 セッションを sighted 条件, 後半 4 セッションを eyes-free 条件にて B2B-Swipe を行った被験者グループの各セッションごとの成功率を図 4.5 に示す。また, eyes-free 条件および sighted 条件に関係なく被験者全員における前半 4 セッションの成功率は 91.8%, 後半 4 セッションの平均成功率は 93.3% であった。前半および後半セッションの成功率に対して t 検定を行ったところ有意差は認められなかった ($t_7 = -.826$, $p = .436 > 0.05$)。

実験後, 「本ジェスチャは簡単でしたか?」および「本ジェスチャを行う際に精度を求められましたか?」という 2 つの設問について, 5 段階のリッカート尺度を用いてアンケートを行った。その結果, 前者に対しては 4.75 (SD = 0.46), 後者は 3.75 (SD = 0.71) という結果が得られた (図 4.3)。これらの結果も B2B-Swipe は被験者にとって簡単に理解できるジェスチャであることを示唆している。被験者にセッション終了時 B2B-Swipe に関して発言してもらった内容においても, 練習タスク実施時に B2B-Swipe に慣れたという発言が 4 人の被験者にあった。また, B2B-Swipe は 5 段階のリッカート尺度のアンケートにて, B2B-Swipe が簡単かという項目において 4.75 という高い数値を示した。これらの結果からも, B2B-Swipe は理解しやすい手法であると考えられる。

表 4.1: B2B-Swipe 入力精度実験の sighted 条件における混同行列.

判 定 結 果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0
1	93.8																6.3
2		90.6															9.4
3			87.5														12.5
4				84.4													15.6
5					93.8		3.1										3.1
6				3.1		93.8											3.1
7							96.9										3.1
8								96.9									3.1
9									93.8								6.3
10						3.1	3.1			90.6							3.1
11											93.8						6.3
12												93.8					6.3
13													93.8				6.3
14	3.1													96.9			0.0
15															84.4		15.6
16																93.8	6.3

表 4.2: B2B-Swipe 入力精度実験の eyes-free 条件における混同行列.

判 定 結 果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0
1	93.8																6.3
2		87.5	3.1	3.1													6.3
3			93.8														6.3
4				84.4													15.6
5					100.0												0.0
6						100.0											0.0
7							93.8										6.3
8								93.8									6.3
9									96.9								3.1
10										93.8							6.3
11											93.8						6.3
12												87.5					12.5
13													96.9				3.1
14		3.1												93.8			3.1
15															84.4		15.6
16														3.1		90.6	6.3

表 4.3: 混同行列 ID.

混同行列ID	B2B-Swipe方向	混同行列ID	B2B-Swipe方向
1	上から上	9	下から上
2	上から左	10	下から左
3	上から下	11	下から下
4	上から右	12	下から右
5	左から上	13	右から上
6	左から左	14	右から左
7	左から下	15	右から下
8	左から右	16	右から右
		0	いずれにも当てはまらない

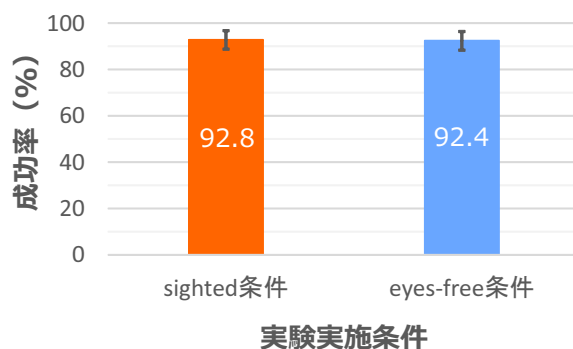


図 4.2: B2B-Swipe 入力精度実験の sighted 条件および eyes-free 条件における B2B-Swipe の成功率.

4.6 考察

セッション終了時に B2B-Swipe に関して思ったことおよび感じたことを発言してもらったところ、3 名の被験者 (P2, P3, P4) は eyes-free 条件のほうが楽だったと述べ、1 名の被験者 (P1) は eyes-free 条件と sighted 条件の差異はあまりないと述べた。1 名の被験者 (P7) は最初画面を見ないことに不安を感じていたが、画面を把握できるようになるとアイズフリーで操作したくなると述べた。これらの意見は、sighted 条件および eyes-free 条件にて B2B-Swipe の成功率に有意差が認められなかったことと一貫している。

また、B2B-Swipe が異なる B2B-Swipe と判定される誤入力率が 0.78% であることから、B2B-Swipe のみをタッチジェスチャとして採用すれば、eyes-free 条件においても、ユーザが意図とは異なる操作をほとんど実行せずに済むという安全な操作体系を作れる可能性が示唆される。具体的には、B2B-Swipe のみをタッチジェスチャとして採用し、かつユーザに B2B-Swipe の

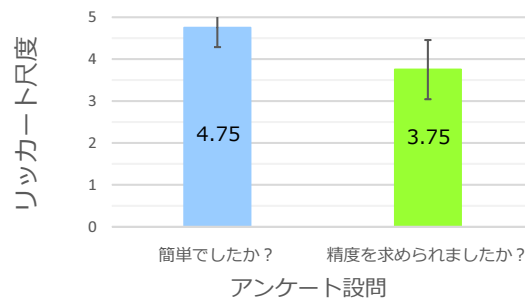


図 4.3: B2B-Swipe 入力精度実験のアンケート結果.

正否をフィードバックする（例：B2B-Swipe 成功時にスマートウォッチを振動させる）。これにより，ユーザは仮に一度 B2B-Swipe の入力に失敗した場合にも，再度同じ B2B-Swipe を入力すれば意図した B2B-Swipe を入力できる．ここで，1 度か 2 度の入力によって狙い通りの B2B-Swipe を入力できる成功率を求める．仮説として，ユーザは B2B-Swipe を他の B2B-Swipe に間違えないとする．図 4.2 より，eyes-free 条件における B2B-Swipe の成功率は 92.4%，失敗率は 7.6% である．よって，再度 B2B-Swipe を行う確率は 7.6% であり，B2B-Swipe を 2 回連続して行う場合の成功率は，

$$92.4 + 7.6 \times 0.924 \simeq 99.4$$

となる．したがって，2 度 B2B-Swipe を行うことにより，高い精度にてユーザの意図した操作が可能であると考えられる．

誤入力は実験タスク 1024 試行中 9 試行であった．ヒューマンエラーは，被験者にセッション終了時に思ったことを発言してもらう think-aloud 法を用いて通常のエラーと区別した．結果，同じ B2B-Swipe を繰り返し行ってしまったものが 3 試行，指示の見間違いなどによるエラーが 2 試行，計 5 試行被験者によるミスであった．よって，実際の誤入力は 4 試行（sighted 条件：1 試行，eyes-free 条件：3 試行）と誤入力が極めて少ないといえる．このことより，B2B-Swipe は誤入力が少ないジェスチャであるということが示唆された．付録 B.1.2 に成功率ではなく試行数にて表記した被験者によるミスを考慮した混同行列を示す．

なお，B2B-Swipe への意見として，「B2B-Swipe を行ったつもりだが失敗と表示された．」というものがあつた．また，「タッチパネルのベゼルに触れているつもりだが，スマートウォッチのベゼルに触れた反動により指が浮き，タッチがベゼルから離れた位置にタッチが発生しているのでは．」という意見もあつた．ユーザが失敗したときのデータを見ると B2B-Swipe が失敗した 76 試行中，開始ベゼルの指定に失敗している場合が 55 試行，終了ベゼルの指定に失敗している場合は 21 試行，開始ベゼルおよび終了ベゼル共に失敗している場合は 6 試行であった．すなわち，開始ベゼルを指定できず失敗した場合が失敗した試行の 63% を占めている．この問題は，B2B-Swipe の判定アルゴリズムを変更することによって軽減できると考えられる．

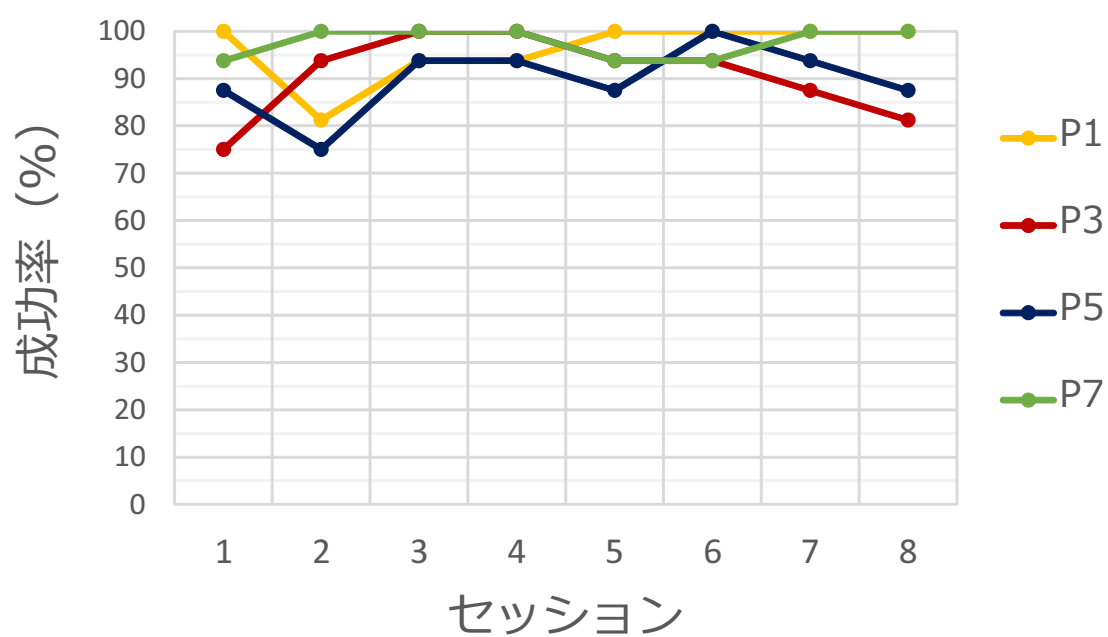


図 4.4: 被験者ごとの B2B-Swipe 成功率（前半：eyes-free 条件，後半：sighted 条件）.

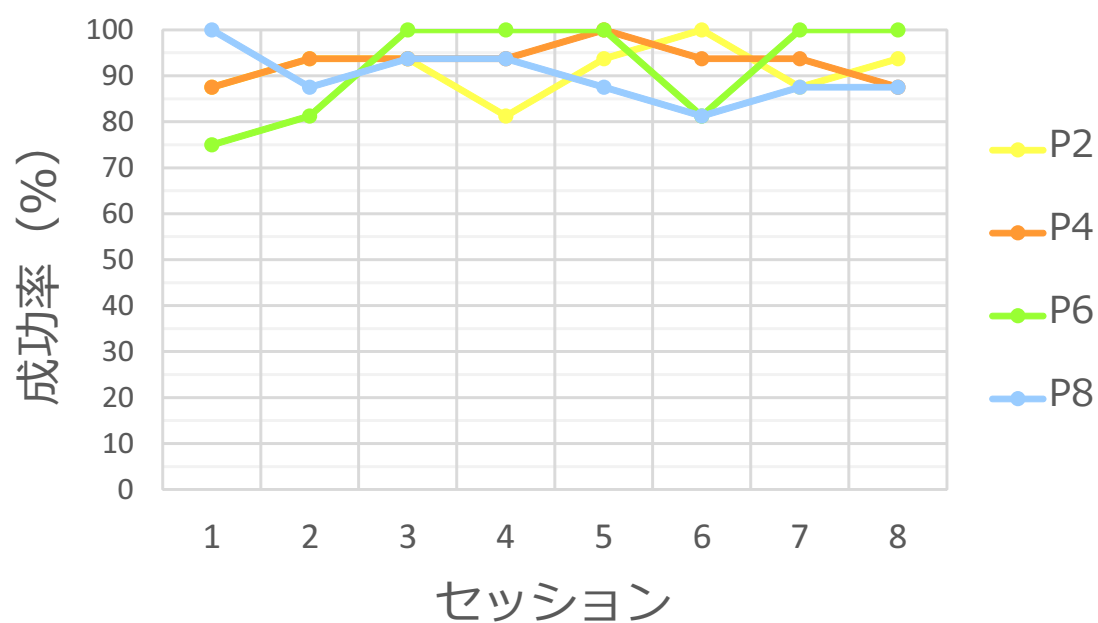


図 4.5: 被験者ごとの B2B-Swipe 成功率（前半：sighted 条件，後半：eyes-free 条件）.

第5章 B2B-Swipe 併用実験

B2B-Swipe を Bezel Swipe およびフリックと共に使用した場合の性能およびそれら他のタッチジェスチャと併用できるかどうかの評価実験を行った。Bezel Swipe およびフリックを選択した理由は、B2B-Swipe と似ているためである。また、B2B-Swipe が超小型端末を見ることなく行うことができるかどうか、sighted 条件および eyes-free 条件にて実験を実施し、比較を行った。なお、本実験の内容は The 34th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16) に採択され発表予定である [KST16]。

5.1 B2B-Swipe 併用実験時の実装

第5章の実験結果より、B2B-Swipe の判定方法の改善を行った。これは、第5章の実験において、B2B-Swipe が開始ベゼルの指定に失敗しエラーと判定されることが多く見られたためである。本節では、B2B-Swipe の実装方法のみでなく、第6章の併用実験にて用いる Bezel Swipe [RT09]、フリックの実装方法も述べる。

実装には、タッチパネルに触れた際に生じるタッチイベントを用いてその開始および終了ベゼルとクロッシングが行われたか推定を行った。開始ベゼルの推定するために、最初および6番目のタッチイベント (p_1 および p_6) の座標および時刻を用いて、指の速度を推定を行う。この指の速度および最初のタッチイベントの座標を用いて、最初のタッチイベントより 30 ms 前の座標 p_0 (x_0, y_0) を求める。そして、その座標よりどの開始ベゼルとクロッシングが行われたか推定を行う。終了ベゼルも同様の方法にて推定を行っている。終了ベゼルの推定するために、最後および最後よりひとつ前のタッチイベント (p_n および p_{n-1}) の座標および時刻より指の速度を求める。その指の速度および最後のタッチイベントが発生した座標より、最後のタッチイベントより 40 ms 後の座標 p_{n+1} (x_{n+1}, y_{n+1}) を求める。この p_{n+1} の座標より、指をタッチパネルより離れた際に、どのベゼルとクロッシングが行われたか推定を行う。

B2B-Swie および Bezel Swipe の区別は、開始および終了ベゼルともにクロッシングが行われたと判定された場合は B2B-Swipe、開始ベゼルのみクロッシングが行われたと判定された場合は Bezel Swipe が行われたと判定するようにした。また、Flick の実装には Android の GestureDetector クラスの Fling() メソッドを用いた。フリックの方向はタッチパネル上にて検出された指の x, y 座標、それぞれの変位量が多い方向にフリックが行われたとし、上下左右方向の推定を行った。

5.2 被験者

大学生および大学院生 8 名（男性 7 名，女性 1 名）を被験者とした．被験者の年齢は 21–24 歳であり，全ての被験者がタッチパネル端末を日常的に使用し，その利用暦は 29–72 ヶ月，平均 51.75 ヶ月（SD = 14.8）であった．全ての被験者においてスマートウォッチの使用経験はなかった．被験者には報酬として 1,640 円支払った．

5.3 実験機器

実験に用いたスマートウォッチは SONY SmartWatch 3 SWR50（端末サイズ：高さ 51 mm × 幅 36 mm × 厚さ 10 mm，画面サイズ：1.6 インチ，解像度：320 ピクセル × 320 ピクセル，OS：Android Wear 1.1.1）である．

5.4 実験設計

被験者は表 5.1 に示す 24 通りのジェスチャを sighted 条件（図 5.2a）および eyes-free 条件（図 5.2b）の 2 つの姿勢条件にて行う．被験者は実験統制のためにランダムに 2 つのグループに分類された．1 つ目のグループは最初に sighted 条件にて練習セッションを 1 セッションおよび実験セッションを 4 セッション行い，次に eyes-free 条件にて練習セッションを 1 セッションおよび実験セッションを 4 セッション行った．2 つ目のグループは 1 つ目のグループと条件の順番を逆にし実験を行った．被験者には sighted 条件および eyes-free 条件にて練習セッション 1 回および実験セッション 4 回行うよう指示した．1 つのセッションは，24 通りのジェスチャを 1 回ずつ行うものであり，その実施順はランダムに指定された．よって，本実験の総試行数は，

2 条件 × 8 被験者 × 4 セッション × 24 ジェスチャ = 1536 試行であった．

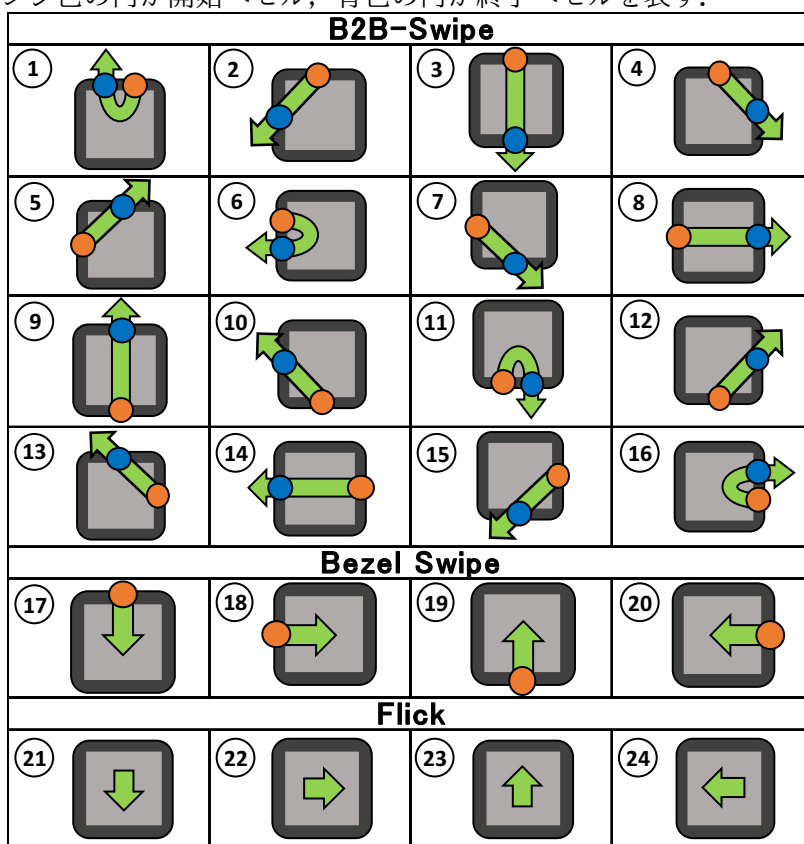
5.5 実験手順

被験者に図 5.2c に示すように実験指示の提示を行うスマートフォンの前に立つよう指示した．被験者にスマートフォンの高さが見やすい高さにあるか確認した．被験者は実験者からスマートウォッチを受け取り，スマートウォッチがぐらつかないように取り付けた．全ての被験者が左手にスマートウォッチを取り付け，右手にて操作を行っていた．被験者に実験にて行うジェスチャを説明し実験の手順に関しては書類を見せながら説明を行った．また，B2B-Swipe をできる限り正確に行うよう指示した．実験にて使用した同意書，実験説明書，およびアンケートを付録 A.2 に示す．

被験者はスマートフォン画面に表示される指示に従い，スマートウォッチ上においてジェスチャを行うよう指示した．実験中はスマートウォッチの操作を行う手の親指をスマートウォッチの側面もしくはベルトに添え，安定した状態にするよう被験者に指示した．スマートウォッ

チの操作には人差し指のみを用いるよう被験者に指示した。B2B-Swipe 実施後，成功もしくは失敗の表示をマルおよびバツの図形を用いて行う。マルもしくはバツの図形が表示されてから 1.5 秒後に次の指示が画面に表示される。また，被験者はセッションごとに着席し，少なくとも 30 秒の休憩を取った。セッション終了時，実施したジェスチャに関して思ったことおよび感じたことを発言してもらった。実験終了後，被験者に 5 段階のリッカード尺度のアンケートをそれぞれのジェスチャについて 6 問ずつ回答してもらった。実験の所要時間は 1 人当たり 51–91 分であった。

図 5.1: B2B-Swipes (#1–#16) および実験にて使用する Bezel Swipe およびフリック (#17–#24)。オレンジ色の円が開始ベゼル，青色の円が終了ベゼルを表す。



5.6 実験結果

5.6.1 エラー率

それぞれのジェスチャについてエラー率を求めた (図 5.3)。結果，sighted 条件におけるエラー率は，B2B-Swipe が 3.7% (SD = 2.8)，Bezel Swipe が 10.2% (SD = 10.0)，フリックが

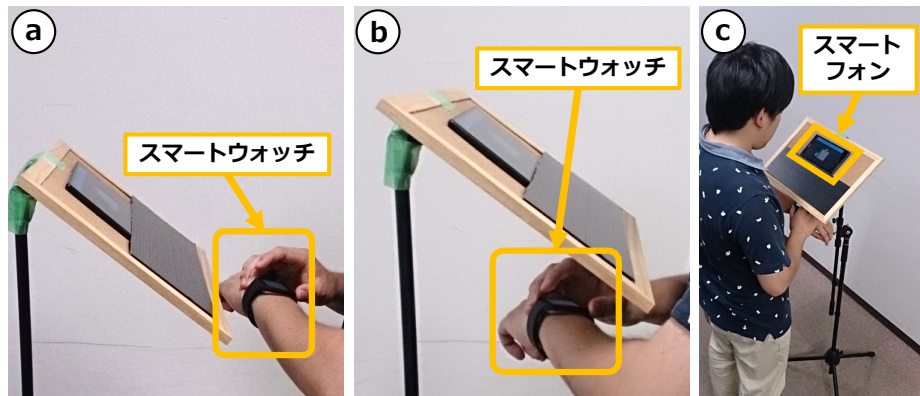


図 5.2: 実験にて使用した 2 つの条件および実験姿勢. (a) sighted 条件, (b) eyes-free 条件, (c) 実験姿勢.

18.8% (SD = 23.1) であった. eyes-free 条件におけるエラー率は, B2B-Swipe が 8.0% (SD = 4.5), Bezel Swipe が 9.4% (SD = 12.5), フリックが 12.5% (SD = 12.5) であった.

sighted 条件および eyes-free 条件間において差があるかどうか調べるために対応のある t 検定を行った. 結果, B2B-Swipe においては有意な差はなかった ($p = .066 > .05$). Bezel Swipe およびフリックは, Kolmogorov-Smirnov 検定の結果, Bezel Swipe の eyes-free 条件 ($p = .021 < .05$) およびフリックの sighted 条件 ($p = .032 < .05$) において等分散性が認められなかったため, Wilcoxon の符号順位検定にて差があるかどうか検定を行った. Wilcoxon の符号順位検定の結果, Bezel Swipe ($p = .731 > .05$) およびフリック ($p = .674 > .05$) に sighted 条件および eyes-free 条件間における有意な差はなかった.

表 5.1 および表 5.2 に sighted 条件および eyes-free 条件におけるエラー率の混同行列を示す. 表 5.1 および表 5.2 の ID は表 5.1 に対応しており, 0 番は B2B-SwipeBezel Swipe, およびフリックのどれにも分類されなかったジェスチャ, すなわちいずれのジェスチャに判定されなかったジェスチャである. また, 表 5.1 および表 5.2 を成功率ではなく, 試行回数にて表記した混同行列を付録 B.2.1 に示す.

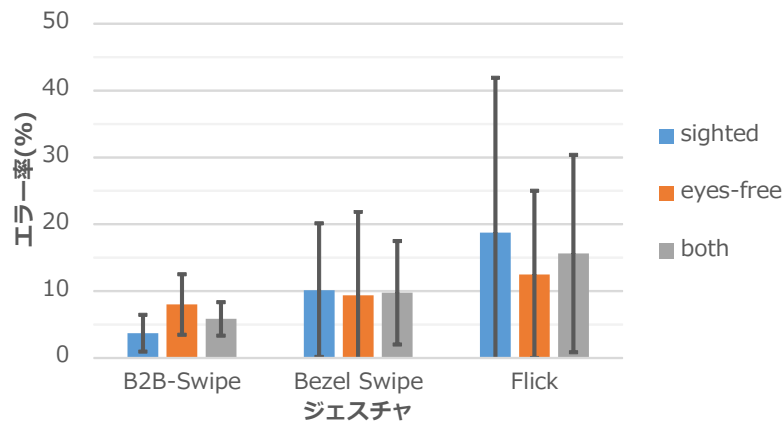


図 5.3: フリックエラー率変更前の各ジェスチャのエラー率. both : 両条件におけるエラー率.

5.6.2 試行時間

それぞれのジェスチャの試行時間を求めた(図 5.4). sighted 条件における試行時間は, B2B-Swipe が 336.3 ms (SD = 193.6), Bezel Swipe が 317.1 ms (SD = 176.8), フリックが 150.7 ms (SD = 66.9) であった. eyes-free 条件における試行時間は, B2B-Swipe が 316.3 ms (SD = 163.2), Bezel Swipe が 274.7 ms (SD = 155.9), フリックが 158.6 ms (SD = 57.3) であった. また, B2B-Swipe, Bezel Swipe, およびフリックを合わせた 24 通りそれぞれの試行時間の試行時間に関しては付録 C に示す. ジェスチャ間における Kruskal-Wallis 検定の結果, sighted 条件においてフリックが B2B-Swipe に比べて 185.5 ms 有意に早く ($p = .030 < .05$), eyes-free 条件においては有意な差はなかった ($p = .088 > .05$). sighted 条件における対応のある t 検定の結果, B2B-Swipe およびフリックにおいて有意な差があった ($p = .033 < .05$).

また, それぞれのジェスチャの sighted 条件および eyes-free 条件間において有意な差があるかどうか対応のある t 検定を行い調べた. 結果, Bezel Swipe は sighted 条件が eyes-free 条件に比べて有意に 42.2 ms 早いことを示した ($p = .019 < .05$). B2B-Swipe ($p = .618 > .05$) およびフリック ($p = .252 > .05$) は, sighted 条件および eyes-free 条件間において有意な差を示さなかった.

5.6.3 アンケート

被験者に行った 5 段階リッカード尺度のアンケート結果をジェスチャごとに図 5.5 に示す. Kruskal-Wallis 検定の結果, Q1 ($p = .813 > .05$) および Q2 ($p = .801 > .05$), Q3 ($p = .392 > .05$), Q4 ($p = .461 > .05$), Q5 ($p = .418 > .05$), Q6 ($p = .878 > .05$) の全ての設問においてジェスチャ間に有意な差はなかった.

表 5.1: B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列.
判定結果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	90.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	6.3
3	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
5	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	3.1	0.0	6.3
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	6.3	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	75.0	0.0	0.0	0.0	18.8
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4	0.0	0.0	9.4
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	0.0	12.5
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4	15.6

表 5.2: B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列.
判定結果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	90.6	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	6.3
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	6.3
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	6.3	0.0	3.1
17	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	78.1	0.0	6.3	0.0	0.0	9.4
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	0.0	0.0	0.0	15.6
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	81.3	0.0	0.0	9.4
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	3.1
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.6	9.4

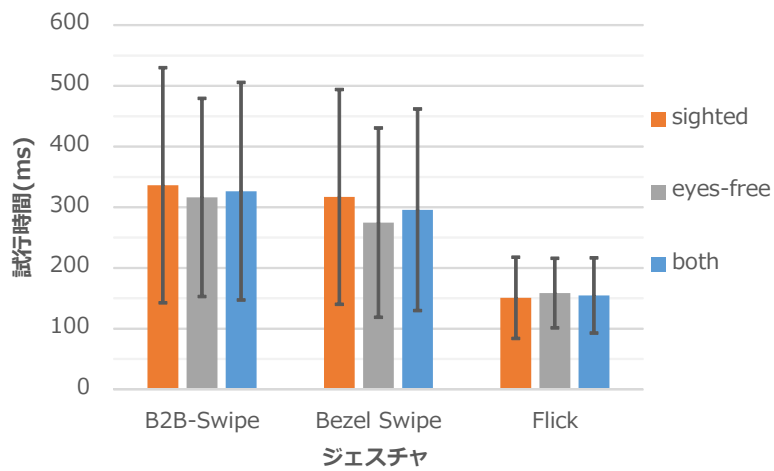


図 5.4: 各ジェスチャの試行時間. both : 両条件における試行時間.

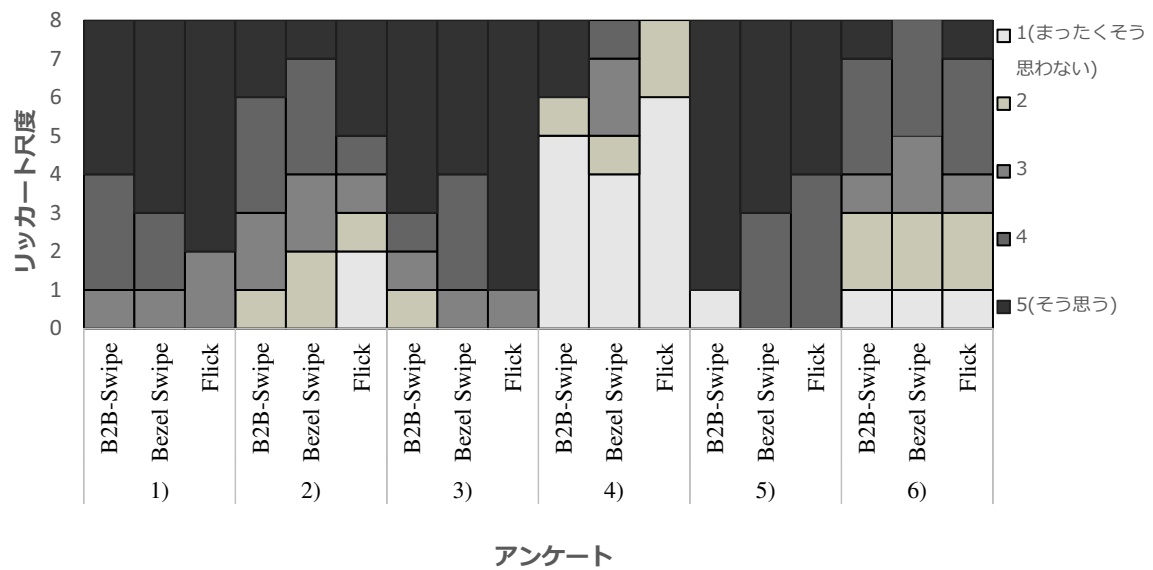


図 5.5: それぞれのジェスチャへの 6 つの設問に対する回答. 設問: 1) 本ジェスチャは簡単でしたか. 2) 本ジェスチャは正確さが必要でしたか. 3) 本ジェスチャに慣れるのは早かったですか. 4) 本ジェスチャは疲れましたか. 5) 本ジェスチャをスマートウォッチ操作で使いたいですか. 6) 本ジェスチャは見て行うものに対して見ずに行うことによって難しくなったと感じましたか.

表 5.3: アンケート設問 (Q1~Q6), 被験者, およびジェスチャ間の相関.

	ジェスチャ	被験者	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
ジェスチャ	1.000	0.000	0.067	-0.162	0.236	-0.284	0.000	0.000
被験者	0.000	1.000	0.060	0.108	-0.158	0.296	-0.179	0.143
Q1	0.756	0.060	1.000	-0.393	0.376	-0.291	0.066	-0.202
Q2	-0.162	0.108	-0.393	1.000	-.423*	0.350	-0.343	.482*
Q3	0.236	-0.158	0.376	-.423*	1.000	-.755**	.671**	-.497*
Q4	-0.284	0.296	-0.291	0.350	-.755**	1.000	-.509*	0.335
Q5	0.000	-0.179	0.066	-0.343	.671**	-.509*	1.000	-.461*
Q6	0.000	0.143	-0.202	.482*	-.497*	0.335	-.461*	1.000

*. 相関係数は 5% 水準で有意 (両側)

**. 相関係数は 1% 水準で有意 (両側)

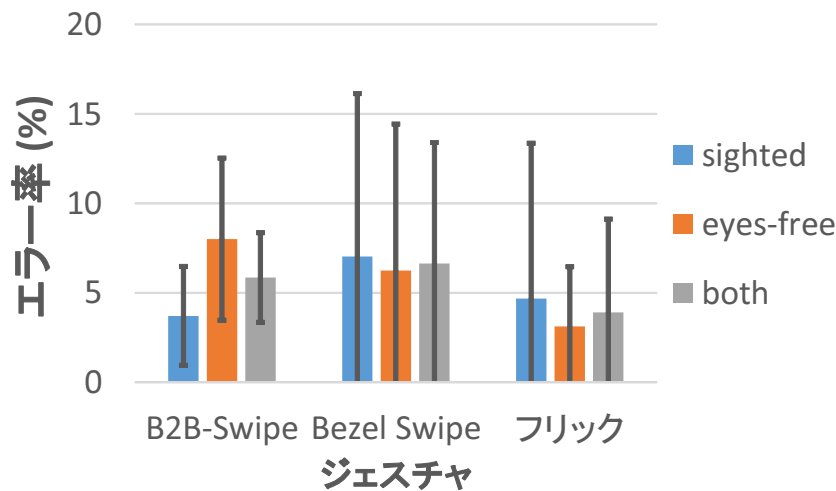


図 5.6: フリックエラー率変更後の各ジェスチャのエラー率.

5.7 考察

全体的に, エラー率および試行時間において Bezel Swipe と有意な差がなくかつエラー率 B2B-Swipe のほうが低いことより, B2B-Swipe は Bezel Swipe と同等に使用することが可能であることが示された. さらに, B2B-Swipe は sighted 条件および eyes-free 条件においてその性能に差がなかったことより, B2B-Swipe が画面を見ることなく, 操作可能であることが示唆された.

実験結果より, sighted 条件において B2B-Swipe が他の B2B-Swipe と分類されることがなかったこと (B2B-Swipe が他の B2B-Swipe と分類されたエラー率:0%) および eyes-free 条件において B2B-Swipe が他の B2B-Swipe と分類されることが限りなく少なかったこと (B2B-Swipe が他の B2B-Swipe と分類されたエラー率: $0.6\% = 3 / (8 \text{ 被験者} \times 4 \text{ セッション} \times 16 \text{ ジェス}$

チャ)) より、タッチジェスチャとして B2B-Swipe のみを用いる場合、高精度に行えることが示唆された。ジェスチャをひとつのみ用いれば他に分類されないことは他の Bezel Swipe およびフリックに関しても同様のことが示唆された。Bezel Swipe は sighted 条件において 1 回のみ他の Bezel Swipe に分類されたが、eyes-free 条件においては他の Bezel Swipe に分類されることはなかった。フリックについては両条件において他のフリックに分類されることはなかった。したがって、これらのジェスチャはそれぞれ単独にて用いる場合、高精度にて行うことが可能であることが示唆された。

被験者に think-aloud 法を用いていたため、被験者によるミスを記録していた。エラーが発生した 121 試行中 4 試行は被験者によるミスであることが確認された。

続いて、単純なジェスチャであるフリックのエラー率が高い理由を考察する。エラーと判定されたフリックの内多くが判定アルゴリズムが原因であることが分かった。エラーと判定された原因として、フリックを行う速度が遅い場合において、Android の Fling() メソッドが呼び出されないためにエラーと判定されていた。エラーと判定されたフリック 30 試行について記録されていた行われたジェスチャのログを確認すると、全てフリックの方向が一致しており、全て正しく行われていたことがわかった。したがって、これら 30 試行のエラーが成功していたとすると、フリックのエラー率は sighted 条件においては 4.7% (SD = 8.7), eyes-free 条件においては 3.1% (SD = 3.3) となる。この結果を反映したエラー率の図を図 5.6, 混同行列を表 5.4, 表 5.5 に示す。また、表 5.4, 表 5.5 を成功率ではなく試行回数にて表記した混同行列を付録 B.2.2 に示す。

混同行列 (表 5.4, 5.5) を分析し、それら 3 つのジェスチャがどれほど併用可能であるか考察する。表 5.4, 5.5 より、B2B-Swipe が Bezel Swipe と判定されたものは、同じ開始ベゼルをもつジェスチャであることが分かる。また、これは Bezel Swipe が B2B-Swipe と判定されたものに対しても言える。例として、9 番の (12.5%, 4/32) は 9 番と同様に上ベゼルを開始ベゼルとする 19 番の Bezel Swipe に分類されている。別の例だと、19 番 (3.1%, 1/32) は 9 番と判定されている。したがって、B2B-Swipe および Bezel Swipe を併用する場合、システムにおいて同様の機能を割り当てることによって、ユーザが予期しないエラーが発生することを防ぐことが可能である。B2B-Swipe およびフリックを併用する場合にも同様のことが言える。

それに加え、被験者にスマートウォッチの使用経験がないにもかかわらずエラー率の標準偏差が低いことより、B2B-Swipe はそれらのジェスチャの中では安定して行えことが可能であることが示唆された。したがって、B2B-Swipe は誰でも行うことが可能であるタッチジェスチャであると言える。

表 5.4: B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列 (Flick エラー修正版) .
判定 結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	90.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	6.3
3	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
5	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	3.1	0.0	6.3
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	6.3
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0

表 5.5: B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列 (Flick エラー修正版) .
判定 結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	90.6	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	6.3
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	6.3
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	6.3	3.1
17	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	3.1
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	78.1	0.0	6.3	0.0	0.0	9.4
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.6	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100

第6章 アプリケーション例

B2B-Swipe を用いたアプリケーション例として、実装を行ったアプリケーションマネージャおよび音楽プレーヤを示す。また、B2B-Swipe を用いた機能としてショートカットを示す。

6.1 アプリケーションマネージャ

ホーム画面およびアプリケーションの切り替えを行うことができるアプリケーションマネージャを示す。スマートウォッチにてアプリケーションを切り替える際には、現在のアプリケーションを終了し別のアプリケーションを起動しなくてはならない。アプリケーションの切り替えをジェスチャに割り当てる場合、既存のフリックおよびスワイプなどはアプリケーションにて使用するためこれらの機能を割り当てることができない。

B2B-Swipe にこれらの機能を割り当てることにより、他ジェスチャと区別しアプリケーションの切り替えを行うことが可能となる。切り替えには右ベゼルから上もしくは下ベゼルへの B2B-Swipe によって切り替えることができる。また、右ベゼルから右ベゼルへの B2B-Swipe には戻る機能を割り当てた。

6.2 音楽プレーヤ

B2B-Swipe を入力手法として用いた音楽プレーヤを示す（図 6.1）。ユーザが音楽を聴くシーンを想定すると、スマートフォンにイヤホンをつなぎ聞く場面が考えられる。このとき、ユーザのスマートフォンは衣類のポケットやかばんの中にある場合が多く、スマートフォンを取り出しアプリケーションを操作することは面倒である。そこで、スマートウォッチによるスマートフォンの操作が考えられる。既存のアプリケーションにおいて、スマートウォッチ上に GUI を配置されており、ユーザが GUI をタップすることにより音楽プレーヤーアプリケーションの操作を行うことができる。しかし、GUI をタップする方法であれば、スマートウォッチ画面を見る必要があり、見てない場合であれば誤操作の可能性が高まる。B2B-Swipe を操作手法として用いることにより、誤操作されることが少なくなり、スマートウォッチ画面を見なくとも操作を行うことができる。

ユーザはこの音楽プレーヤを B2B-Swipe を使ってアイズフリーにて操作することが可能である。音楽プレーヤは曲リスト選択画面および曲操作画面という 2 つの画面により構成されている。B2B-Swipe と実装した機能との対応を表 6.1 に示す。



図 6.1: 音楽プレーヤ操作画面.

この対応においては、関連する機能がある1つのベゼルから行うよう配置することによって、操作に対する機能の割り当てを覚えやすくする狙いがある。そのため、上ベゼルを開始ベゼルとする B2B-Swipe はリスト，左ベゼルは音量，下ベゼルは曲に関する機能を割り当てた。音量調節については終了ベゼルが音量を上げるとき上ベゼル，音量を下げるときは下ベゼルとすることにより，ユーザの持つイメージと機能のイメージが一致するよう工夫した。曲送りおよび曲戻しについても，終了ベゼルを曲送りのときは右ベゼル，曲戻しのときは左ベゼルとした。

6.3 ショートカット

B2B-Swipe は他のジェスチャと併用できるため，超小型端末上においてあらかじめ機能を登録し呼び出すショートカット機能として用いることが可能である。その例を以下に述べる。

6.3.1 音量調節機能

B2B-Swipe にあらかじめ，超小型端末の音の ON/OFF 機能を割り当てることにより，素早く切り替えることが可能となる。例えば，図書館などの公共の場においてマナーモードの設定を忘れており，突然音が鳴ったとしても素早く設定を変更することが可能である。

表 6.1: 音楽プレーヤ機能一覧.

曲リスト画面					
ジェスチャ	機能	ジェスチャ	機能	ジェスチャ	機能
	リスト送り		曲選択1		曲選択3
	リスト戻し		曲選択2		曲選択4
曲操作画面					
ジェスチャ	機能	ジェスチャ	機能	ジェスチャ	機能
	リスト送り		曲送り		音量上げ
	リスト戻し		曲戻し		音量下げ
ジェスチャ	機能	ジェスチャ	機能		
	消音	タップ	再生 ・ 停止		
	戻る				

6.3.2 定型文送信機能

超小型端末にメールが届いた際、一言だけ返信すればよい場合であってもモバイル端末を取り出すもしくは超小型端末において文字を入力する必要がある。一言返信が必要な場合、B2B-Swipe にあらかじめ定型文を登録しておくことにより、モバイル端末を取り出すことなく、B2B-Swipe のみで返信が可能となる。

6.3.3 スヌーズ設定機能

目覚ましとして超小型端末を用いた場合、寝起き時に何分後にアラームを再度鳴らすか入力することはユーザにとって煩雑な操作である。そこで、B2B-Swipe にあらかじめ何分後にアラームがもう一度鳴るか、スヌーズの時間を設定しておくことにより、ユーザは寝起き時に B2B-Swipe を行うだけでスヌーズを設定することが可能となる。また、B2B-Swipe はアイズフリー入力可能であるため、目を瞑ったままスヌーズを設定することが可能である。

6.3.4 ウェブブラウジングにおけるホーム機能

超小型端末においてウェブブラウジングを行う際、超小型端末の画面が小さいためにホームボタンおよび戻るボタンなどブラウザのメニューバーに設置されている機能の配置が困難である。このため、ユーザは超小型端末におけるウェブブラウジングが不便である。B2B-Swipe にホーム画面に戻る、戻る、および進む機能を割り当てることにより、従来よりも快適にウェブブラウジングを行うことが可能になる。

第7章 議論

7.1 超小型端末におけるベゼルの有用性

現在、モバイル端末において画面サイズは拡大する一方、画面縁とタッチパネル縁の間隔であるベゼルは狭くなる傾向にある。この結果、タッチ可能領域は拡大し端末の画面端付近までタッチ可能となっている。さらにはベゼルをタッチ可能とした端末も現れている（例：Samsung Galaxy Note Edge）。

この結果、B2B-Swipeの現実装では、ユーザの指がクロスしたベゼルのタッチイベントから推定しているが、今後はより直接的にクロスしたベゼルの取得することが可能になると考えられる。また、スマートウォッチにおいても Samsung の Gear S2 というベゼルの回転させる操作にて入力語彙を増やすものが登場している。このことから、スマートフォンおよびスマートウォッチにおいても本研究が示した B2B-Swipe 同様にベゼルを活用する技術がより活発に導入され、入力語彙を増やすことに貢献すると考えられる。

7.2 さらなる入力語彙の拡張可能性

B2B-Swipe の判定に指の軌跡を考慮することにより、入力語彙をさらに拡張できると考えられる。B2B-Swipe は現仕様において開始および終了ベゼルとクロッシングしたかどうかのみを用いて判定を行われる。そのため、スワイプの軌跡がどのようなものを描いていても B2B-Swipe の判定には影響しない。B2B-Swipe の判定に指がどう動いたかを用いることにより、B2B-Swipe の種類をさらに増やすことが可能である。例として、軌跡が直線であるものおよび円を1つ描いたものを区別することにより、B2B-Swipe を16通りから32通りに増やすことが可能となる（図7.1）。しかし、軌跡を用いることにより B2B-Swipe が複雑になる問題が生じる。ただ超小型端末の入力語彙を増やすのではなく、実際のアプリケーションにおいて入力語彙がいくつであればユーザが快適に操作できるかを調査し、その必要なジェスチャに応じて入力語彙を増やすことが求められる。

7.3 B2B-Swipe 利用機会の提示方法

ユーザに B2B-Swipe を使用してもらうために、B2B-Swipe により操作が行えることを提示する必要がある。これまで提案されたジェスチャには、トリプルタップのようにユーザが知らないために多く用いられないジェスチャもある。この問題を B2B-Swipe が回避するために

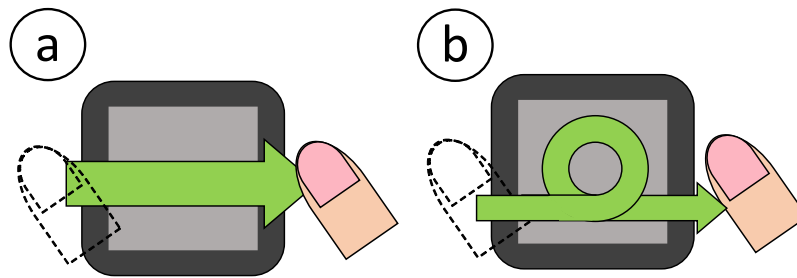


図 7.1: B2B-Swipe のさらなる入力語彙の拡張手法.

は、ユーザに B2B-Swipe にて操作が行うことが可能であることを提示する必要がある。その提示方法のひとつとして GUI を用いることが考えられる。例えば、ベゼル上に表示されたアイコンを小刻みに挙動させることにより、ベゼルをタッチすることによって操作が行えることを示すことが考えられる。

入力語彙を増やしたとしても、ユーザが使うことがなければユーザにとっては入力語彙が増加したことにはならない。手法を提案すると共に、その手法が使用されるようにユーザに利用機会を提示することも重要である。

第8章 今後の課題

B2B-Swipe の今後の課題を述べる。

8.1 B2B-Swipe の想起性

矩形の超小型端末において B2B-Swipe は 16 通りのジェスチャであるが、これらのジェスチャに割り当てられた機能を最初から全て記憶し使い分けることは困難である。16 通りを 4 通り $\times$ 4 通りと開始および終了ベゼルに分類することにより、想起性を向上させることは可能であるが限界がある。そこで、B2B-Swipe の想起性を補う手法として、GUI を用いる手法および軌跡に意味を持たせる手法の 2 つを提案する。

8.1.1 指を避け表示される GUI

機能の割り当てがユーザに分かるよう GUI を用いた提示法を提案する。GUI の問題として、超小型端末の画面の大きさは小さいために指による画面の遮蔽が発生することである。そこで、指を避けるように機能提示を行う GUI を用いる。ユーザが超小型端末を見ながら操作を行う際の姿勢は、図 8.1 に示すように、体に対してスマートウォッチを取り付けた腕を水平に構え、操作を行う姿勢となると考えられる。図 8.1 の姿勢時の端末へのタッチを 3 つの指の角度にて行った図 8.2 を示す。図 8.2 より、図 8.2a はユーザにとって不自然であるため図 8.2a の指の角度にてタッチは行われないと考えられる。続いて、図 8.2b および図 8.2c の場合は自然であると考えられるため、図 8.2b の指の角度から図 8.2c の指の角度までに遮蔽が発生すると考えられる。よって、この姿勢時にタッチを行う指の角度は姿勢が一意であることより推定可能である。したがって、超小型端末の画面のどの場所に指による遮蔽が発生するかが推定可能となる。また、ユーザは徐々に機能を覚え、GUI を必要としなくなり画面を見ることなく B2B-Swipe を行うことが可能になる。

8.1.2 B2B-Swipe 実施時の軌跡を用いたメタファーの一致

B2B-Swipe の想起性向上のためには B2B-Swipe と実際の操作のメタファーの一致が重要である。そのために、B2B-Swipe 実施中の軌跡に意味を持たせることにより、メタファーの一致を図る手法を提案する。つまり、B2B-Swipe 実施中に描いた軌跡に対応した機能が実行されるものである。例として、音楽アプリケーションにおいて曲送りをしたい場合は右矢印（図



図 8.1: スマートウォッチ操作時の姿勢.

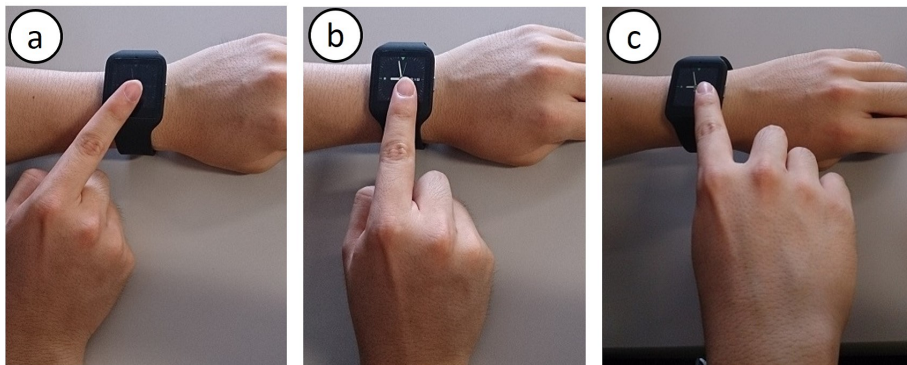


図 8.2: スマートウォッチへのタッチ時の指位置.

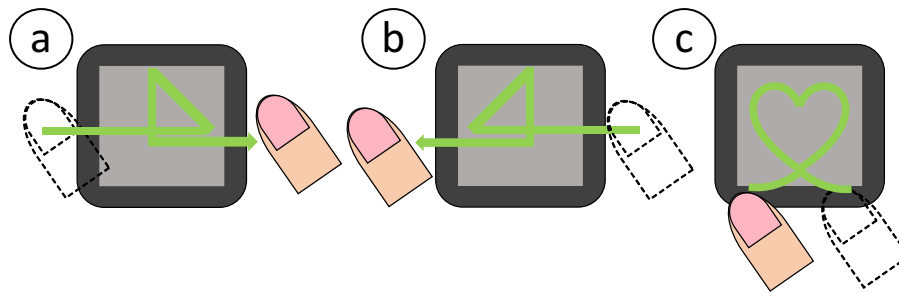


図 8.3: 軌跡によるメタファーの一致. (a) 曲送り (右矢印), (b) 曲戻し (左矢印), (c) ヘルスケアアプリケーション呼び出し.

8.3a), 曲戻しをしたい場合は左矢印 (図 8.3b) の軌跡を描く. また, ヘルスケアアプリケーションを呼び出したい場合はハート型の軌跡を描くなどの例が考えられる (図 8.3c). 実際のアプリケーションに用いる場合, どのような軌跡であれば想起しやすいかを調査し, 調査結果を反映したアプリケーションを実装し評価を行えばよいと考える.

B2B-Swipe 実施時の軌跡を用いることにより, B2B-Swipe は他ジェスチャと競合しないため, どの画面においても使用できる手法であると考えられる. この仮説を証明するためには, B2B-Swipe がどのような画面であっても (例: アプリケーション選択画面), 他の操作と競合しないか実験を行う実験が必要である.

8.2 矩形ではない超小型端末における B2B-Swipe の使用感調査

今回行った評価では, 矩形の超小型端末のみを対象としたため, 形状が異なる超小型端末上において B2B-Swipe を使用することが可能か検証する必要がある. 超小型端末の形状には矩形のほかに円形などが存在する. 丸型のスマートウォッチにおいてもベゼルを何分割かすることにより B2B-Swipe を行えるものと考えられる. ただし, ユーザが区別可能な B2B-Swipe を行うことができるベゼルの分割数については実験を行い検証する必要がある.

第9章 結論

超小型端末が備えるタッチパネル上において、1本指によるタッチジェスチャB2B-Swipeを示した。B2B-Swipeは超小型端末のベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャである。超小型端末のタッチパネルは小さい、すなわちベゼル間の距離が短いため、ユーザはB2B-Swipeを容易に行うことができる。また、ユーザは指から得られる触覚によって各ベゼルを区別することができるため、B2B-Swipeをアイズフリーにて行うことができる。さらにB2B-Swipeは1本指によるシンプルなジェスチャであるため、センサを追加せず超小型端末の入力語彙を増やすことが可能である。また、B2B-Swipeは、Bezel Swipeおよびフリック等のタッチジェスチャとも併用可能である。さらに、B2B-Swipe単体のみにて用いる場合、他のB2B-Swipeと判定されることが限りなく少なく高精度に行うことが可能である。

謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である志築文太郎准教授，田中二郎教授には多大なご助力を賜り，感謝致します．特に，志築文太郎准教授には論文の執筆方法だけでなく，研究生活においても丁寧かつ熱心なご指導を賜りました．ここに深い感謝の意を表します．

また，田中研究室の皆様には，研究における様々なご支援を頂きました．特に WAVE チームの皆様にはチームゼミをはじめ，論文執筆を行った際には多くのご助言や添削など，多くのご支援を頂きました．深く感謝いたします．また，被験者実験を快く引き受けてくださった被験者の皆様にも，感謝致します．

最後に，私の生活を支えてくださった家族や友人，研究においてお世話になった方々に深く感謝いたします．

参考文献

- [ALS08] Daniel Ashbrook, Kent Lyons, and Thad Starner. An investigation into round touch-screen wristwatch interaction. In *Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '08, pp. 311–314, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [BF04] Gábor Blaskó and Steven Feiner. An interaction system for watch computers using tactile guidance and bidirectional segmented strokes. In *Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '04, pp. 120–123, Los Alamitos, CA, USA, 2004. IEEE Computer Society.
- [Che15] Wei-Hung Chen. Blowatch: Blowable and hands-free interaction for smartwatches. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '15, pp. 103–108, New York, NY, USA, 2015. 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 *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '14, pp. 185–192, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [EVBG15] Augusto Esteves, Eduardo Velloso, Andreas Bulling, and Hans Gellersen. Orbits: Gaze interaction for smart watches using smooth pursuit eye movements. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '15, pp. 457–466, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [HAL15] Jaehyun Han, Sunggeun Ahn, and Geehyuk Lee. Transture: Continuing a touch gesture on a small screen into the air. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '15, pp. 1295–1300, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [HH09] Chris Harrison and Scott E. Hudson. Abracadabra: Wireless, high-precision, and unpowered finger input for very small mobile devices. In *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, pp. 121–124, New York, NY, USA, 2009. ACM.

- [HHIL15] Jonggi Hong, Seongkook Heo, Poika Isokoski, and Geehyuk Lee. SplitBoard: A simple split soft keyboard for wristwatch-sized touch screens. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1233–1236, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [HPSH00] Ken Hinckley, Jeff Pierce, Mike Sinclair, and Eric Horvitz. Sensing techniques for mobile interaction. In *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '00, pp. 91–100, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [JB12] Mohit Jain and Ravin Balakrishnan. User learning and performance with bezel menus. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2221–2230, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [KHL07] Jungsoo Kim, Jiasheng He, Kent Lyons, and Thad Starner. The Gesture Watch: A wireless contact-free gesture based wrist interface. In *Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '07, pp. 1–8, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer Society.
- [KST15] Toshifumi Kurosawa, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. Spatial arrangement of data and commands at bezels of mobile touchscreen devices. In *Human-Computer Interaction: Interaction Technologies*, pp. 227–237. Springer, 2015.
- [KST16] Yuki Kubo, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. B2B-Swipe: Swipe gesture for rectangular smartwatches from a bezel to a bezel. In *Proceedings of the 34th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, 2016. ACM. (to appear).
- [LSC⁺15] Luis A. Leiva, Alireza Sahami, Alejandro Catala, Niels Henze, and Albrecht Schmidt. Text entry on tiny qwerty soft keyboards. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 669–678, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [LXC⁺14] Gierad Laput, Robert Xiao, Xiang ‘Anthony’ Chen, Scott E. Hudson, and Chris Harrison. Skin Buttons: Cheap, small, low-powered and clickable fixed-icon laser projectors. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, pp. 389–394, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [OHOW13] Stephen Oney, Chris Harrison, Amy Ogan, and Jason Wiese. ZoomBoard: A diminutive qwerty soft keyboard using iterative zooming for ultra-small devices. In *Proceedings of the 32nd SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 2799–2802, New York, NY, USA, 2013. ACM.

- [OI15] Masa Ogata and Michita Imai. SkinWatch: Skin gesture interaction for smart watch. In *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference*, AH '15, pp. 21–24, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [OL14] Ian Oakley and Doyoung Lee. Interaction on the Edge: Offset sensing for small devices. In *Proceedings of the 32nd SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 169–178, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [OLIE15] Ian Oakley, DoYoung Lee, MD. Rasel Islam, and Augusto Esteves. Beats: Tapping gestures for smart watches. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1237–1246, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [PLEG13] Simon T. Perrault, Eric Lecolinet, James Eagan, and Yves Guiard. WatchIt: Simple gestures and eyes-free interaction for wristwatches and bracelets. In *Proceedings of the 32nd SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 1451–1460, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [PSS11] Jerome Pasquero, Scott J. Stobbe, and Noel Stonehouse. A haptic wristwatch for eyes-free interactions. In *Proceedings of the 29th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 3257–3266, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [RT09] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-free scrolling and multiple selection on mobile touch screen devices. In *Proceedings of the 27th 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 31st SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 3027–3036, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [VVBVS15] Wouter Van Vlaenderen, Jens Brulmans, Jo Vermeulen, and Johannes Schöning. WatchMe: A novel input method combining a smartwatch and bimanual interaction. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '15, pp. 2091–2095, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [WLB⁺15] Martin Weigel, Tong Lu, Gilles Bailly, Antti Oulasvirta, Carmel Majidi, and Jürgen Steimle. iSkin: Flexible, stretchable and visually customizable on-body touch sensors for mobile computing. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 2991–3000, New York, NY, USA, 2015. ACM.

- [XGF15] Haijun Xia, Tovi Grossman, and George Fitzmaurice. Nanostylus: Enhancing input on ultra-small displays with a finger-mounted stylus. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '15, pp. 447–456, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [XLH14] Robert Xiao, Gierad Laput, and Chris Harrison. Expanding the input expressivity of smartwatches with mechanical pan, twist, tilt and click. In *Proceedings of the 32nd SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 193–196, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [ZH15] Yang Zhang and Chris Harrison. Tomo: Wearable, low-cost electrical impedance tomography for hand gesture recognition. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '15, pp. 167–173, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [久保 15] 久保勇貴, 志築文太郎, 田中二郎. B2B-Swipe: 超小型タッチパネル端末のためのベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャ. 第 23 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集, pp. 85–90, 2015.
- [黒澤 13] 黒澤敏文, 志築文太郎, 田中二郎. Bezel Check: ベゼル上におけるダブルクロッシングジェスチャ. 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集, pp. 171–172, 2013.
- [中村 13] 中村卓, 高橋伸, 田中二郎. 大画面環境におけるハンドジェスチャの選択手法: ダブルクロッシングの提案と他の選択手法との比較 (ヒューマンコンピュータインタラクション). 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol. 96, No. 4, pp. 978–988, 2013.

付 録 A 評価実験の際に用いた実験同意書およびアンケート用紙

第 4 章および第 5 章における評価実験の際に使用した実験同意書，実験手順書，およびアンケート 2 種類の用紙を以下に示す．

A.1 B2B-Swipe 入力精度実験

A.1.1 同意書

B2B-Swipe 性能評価実験のお願い

文責：久保 勇貴

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- ☐ 本実験の目的は、入力ジェスチャ「B2B-Swipe」の性能を評価することです。
- ☐ 実験中に、写真および動画の撮影、音声の録音を行う場合がありますが、これらは実験の様子を記録するために行います。その写真、動画および音声を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- ☐ この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。
- ☐ 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。
- ☐ 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。

平成 年 月 日

被験者	所属	署名
説明者	所属 情報学群 情報メディア創成学類	署名

A.1.2 実験説明書

実験に関する説明

- スマートウォッチ上にて、提示した方向の B2B-Swipe（後述）を行っていただきます。
- 実験はスマートウォッチの画面を見ながらやるものと、見ずにやるものの 2 通りの条件において、B2B-Swipe を行っていただきます。
- まず、B2B-Swipe について説明します。

B2B-Swipe 操作について

- B2B-Swipe とはスマートウォッチ画面にて、画面縁から画面縁へのスワイプを行うジェスチャ操作のことです。
- 以下に、B2B-Swipe を行う際の手順を示します。
 1. スマートウォッチの画面縁へ指で触れそのまま画面縁を通過し画面内へ指を動かす
 2. 画面内の指を画面から離さず画面縁（上、左、下、右縁のいずれか）に移動させ、スマートウォッチの縁へスワイプし指を離す。

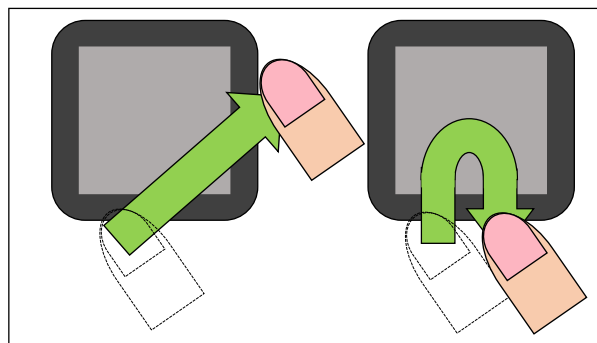


図 1. B2B-Swipe 操作説明図

□ 以下に実験のタスクを示します。

実験タスク

1. 実験者からスマートウォッチを受け取り、腕に取り付けてください。
 2. 床の目印の位置に立ってください。
 3. 三脚に取り付けているスマートフォンの位置が目線の高さにあるか確認してください。
 4. スマートフォンに表示された指示を確認してください。
 5. スマートフォンに表示されている B2B-Swipe(指示例：右→下)を行ってください。
 6. B2B-Swipe 実施後、操作があていれれば「○」、間違っていれば「×」が表示されます。その後、次の指示が表示されるので、その指示に従い B2B-Swipe を行ってください。
練習タスクでは間違いだった場合、「×」表示後も間違えた指示が表示されるのでもう一度同様の B2B-Swipe を行ってください。
 7. セッション終了時、「実験時に思ったこと、感じたこと」についてたずねるので答えてください。
 8. 以降、この繰り返しとなります。
- B2B-Swipe1 回を 1 試行とし、B2B-Swipe 全通りである 16 通り実施した 16 試行を 1 セッションとします。
 - 練習タスクにて 4 セッション(計 64 試行)、本番タスクにて 8 セッション(計 108 試行)行っていただきます(計 172 試行)。
 - 2 セッションごとに椅子に着席し最低 30 秒間の休憩をとるものとします。
 - また、タスク終了後にアンケートに回答してください。

実験中の注意

- 本番タスクの半分である 4 セッションは指示を見た後スマートウォッチを見ながら行い、残り半分の 4 セッションはスマートウォッチを見ずに行ってください。
- 各タスク中はスマートウォッチを取り付けた腕を地面に対して水平になるようにして、タスクを行ってください。
- B2B-Swipe を行う側の親指はスマートウォッチに添えるようにし、安定した状態にて人差し指のみを用いて操作を行ってください。
- タスクはできるだけ正確に行うようにしてください。

A.1.3 アンケート

実験に関するアンケート

文責：久保 勇貴

1. 年齢，性別，利き手，腕時計をつける手についてお答えください。

年齢：____歳 性別：（ 男・女 ）

利き手：（ 右・左 ） 腕時計をつける手：（ 右・左・両方 ）

2. 腕時計を普段つけますか

いつもしている・ときどきしている・つけない

3. 普段使用しているスマートフォンの機種は何ですか？

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

4. スマートフォンの利用歴はどのくらいですか？

____年 ____ヵ月

5. スマートウォッチはどちらの腕に取り付けましたか？

右・左

6. スマートウォッチを使用したことはありますか？

普段から使用している・使用したことがある・ない

7. 普段使用している方・使用したことがある方に質問です。スマートウォッチの利用歴は

どのくらいで，使用機種は何ですか？

利用歴：____年 ____ヵ月 使用機種：_____

A.2 B2B-Swipe の他手法併用実験

A.2.1 同意書

B2B-Swipe 性能評価実験のお願い

文責：久保 勇貴

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- ☐ 本実験の目的は、入力ジェスチャ「B2B-Swipe」の性能を評価することです。
- ☐ 実験中に、写真および動画の撮影、音声の録音を行う場合がありますが、これらは実験の様子を記録するために行います。その写真、動画および音声を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- ☐ この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。
- ☐ 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。
- ☐ 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。

平成 年 月 日

被験者 所属	署名
説明者 所属 情報学群 情報メディア創成学類	署名

A.2.2 実験説明書

実験に関する説明

- スマートウォッチ上にて、フリック、Bezel Swipe（後述）、B2B-Swipe（後述）を行っていただきます。
- 実験はスマートウォッチの画面を見ながらやるもの（以下、sighted 条件）と、見ずにやるもの（以下、eyes-free 条件）の2通りの条件において、行っていただきます。
- 続いて、フリック、Bezel Swipe および、B2B-Swipe について説明します。

フリック操作について

- フリックとはスマートウォッチ画面にて、指を払うようにスワイプを行うジェスチャ操作のことです。

Bezel Swipe 操作について

- Bezel Swipe とはスマートウォッチ画面にて、画面縁からスワイプを行うジェスチャ操作のことです。
- 以下に、Bezel Swipe を行う際の手順を示します。（図 1）
 1. スマートウォッチの縁へ指で触れ、そのまま画面縁を通過し画面内へ指を動かす。
 2. 画面内にて指を離す。

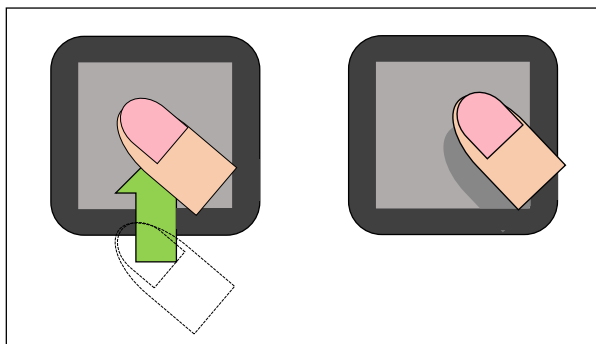


図 1. Bezel Swipe 操作説明図

B2B-Swipe 操作について

- B2B-Swipe とはスマートウォッチ画面にて、画面縁から画面縁へのスワイプを行うジェスチャ操作のことです。
- 以下に、B2B-Swipe を行う際の手順を示します。(図 2)
 1. スマートウォッチの画面縁へ指で触れそのまま画面縁を通過し画面内へ指を動かす
 2. 画面内の指を画面から離さず画面縁(上, 左, 下, 右縁のいずれか)に移動させ、スマートウォッチの縁へスワイプし指を離す。

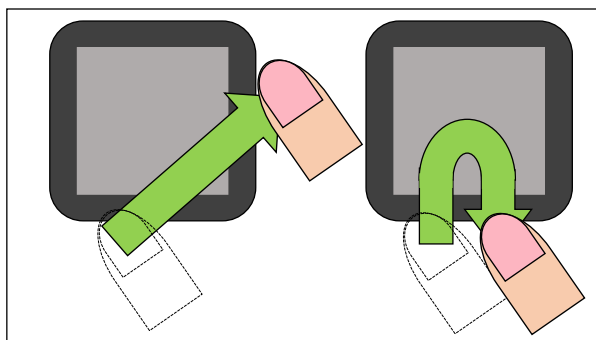


図 2. B2B-Swipe 操作説明図

□ 以下に実験のタスクを示します。

実験タスク

1. 実験者からスマートウォッチを受け取り、腕に取り付けてください。
 2. 床の目印の位置に立ってください。
 3. スマートフォンがちょうどよい位置にあるか確認してください。
 4. 最初に sighted 条件もしくは eyes-free 条件を行うか確認を行ってください。
 5. スマートフォンに表示された指示を確認してください。
 6. スマートフォンに表示されている指示（詳細は後述）に従い操作を行ってください。
 7. 操作後、指示と操作があていれば「○」、間違っていれば「×」が表示されます。その後、次の指示が表示されるので、その指示に従い操作を行ってください。
 8. 練習を 1 セッション、実験を 4 セッション行ってください。
 9. セッション終了時、「実験時に思ったこと、感じたこと」についてたずねるので答えてください。
 10. 実験終了後、行っていない条件（sighted 条件もしくは eyes-free 条件）にて練習および実験を行ってください。
- 操作 1 回を 1 試行とし、B2B-Swipe, Bezel Swipe, フリックの全通りをあわせて 24 通り、24 試行を 1 セッションとします。
 - 条件ごとに練習タスク 1 セッション(24 試行)、実験タスクにて 4 セッション(96 試行、練習あわせ計 120 試行)、これを 2 条件分（計 240 試行）行っていただきます。
 - 2 セッションごとに椅子に着席し最低 30 秒間の休憩をとるものとします。
 - また、タスク終了後にアンケートに回答してください。

実験中の注意

- 実験タスクは半分 4 セッションが指示を見た後スマートウォッチを見ながら行う sighted 条件、残り半分 4 セッションが見ずに行う eyes-free 条件で行ってください。
- 練習タスクでは間違いだった場合、成功するまで同じものを繰り返し行ってください。本番タスクは、間違いだった場合でも同じ指示でなく次の指示が表示されるので注意してください。
- 実験中スマートウォッチを装着した腕が地面に対して水平になるように維持してください。
- 操作を行う側の親指はスマートウォッチに添え安定した状態にてしてください。また、タッチパネルへの操作は人差し指のみを用いて行ってください。
- タスクはできるだけ正確に行うようにしてください。
- Eyes-free 条件は、腕がスマートフォン設置台で隠れるようにして行ってください。

操作指示例

1. フリック

フリックの指示例を図 3 に示します。図 3 は「**右フリック**」の指示例です。

右フリックとは左から右へと指を払う操作をさします。全通り 4 種あるので、指示に従い各フリックを行ってください。

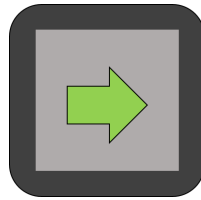


図 3 フリック指示例（右フリック）

2. Bezel Swipe

Bezel Swipe の指示例を図 4 に示します。図 4 は「**下 BezelSwipe**」の指示例です。

下 Bezel Swipe とは下画面縁に最初に触れ開始点とし、対辺方向（今回は上方向）へと指をスワイプする操作のことです。開始点となる画面縁はオレンジ色の円で表示を行っています。図 4 の場合、下画面縁より Bezel Swipe を行う。

全通り 4 種あるので、指示に従い各 Bezel Swipe を行ってください。

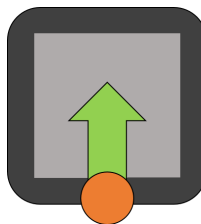


図 4 Bezel Swipe 指示例（下 Bezel Swipe）

3. B2B-Swipe

B2B-Swipe の指示例を図 5,6 に示します。図 5 は「左縁から上縁への B2B-Swipe」、図 6 は「右縁から右縁への同じ縁への B2B-Swipe」の指示例です。

左縁から上縁への B2B-Swipe とは左画面縁に最初に触れ左縁を開始点とし、上縁へと指をスワイプする操作のことです。開始点となる画面縁はオレンジ色、終了点となる画面縁を青色の円で表示を行っています。

全通り 16 種あるので、指示に従い各 Bezel Swipe を行ってください。

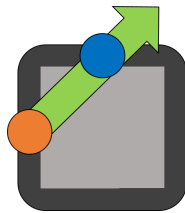


図 5 B2B-Swipe 操作例 1
(左縁から上縁への B2B-Swipe)

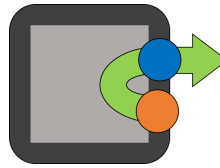


図 6 B2B-Swipe 操作例 2
(右縁から右縁への同じ縁への B2B-Swipe)

A.2.3 アンケート

実験に関するアンケート

文責：久保 勇貴

1. 年齢，性別，利き手，腕時計をつける手についてお答えください。

年齢：____ 歳 性別：（ 男・女 ）

利き手：（ 右・左 ） 腕時計をつける手：（ 右・左・両方 ）

2. 腕時計を普段つけますか

いつもしている・ときどきしている・つけない

3. 普段使用しているスマートフォンの機種は何ですか？

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

4. スマートフォンの利用歴はどのくらいですか？

____ 年 ____ カ月

5. スマートウォッチはどちらの腕に取り付けましたか？

右・左

6. スマートウォッチを使用したことはありますか？

普段から使用している・使用したことがある・ない

7. 普段使用している方・使用したことがある方に質問です。スマートウォッチの利用歴は

どのくらいで，使用機種は何ですか？

利用歴：____ 年 ____ カ月 使用機種：_____

各ジェスチャについてお答えください

8. フリックについて

・本ジェスチャは簡単でしたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは正確さが必要でしたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャに慣れるのは早かったですか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは疲れましたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャをスマートウォッチ操作で使いたいですか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは見てやるものに対して見ずにやることによって難しくなったと感じ

たか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

9. Bezel Swipe について

・本ジェスチャは簡単でしたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは正確さが必要でしたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャに慣れるのは早かったですか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは疲れましたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャをスマートウォッチ操作で使いたいですか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは見てもやるものに対して見ずにやることによって難しくなったと感じましたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

10. B2B Swipe

・本ジェスチャは簡単でしたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは正確さが必要でしたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャに慣れるのは早かったですか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは疲れましたか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャをスマートウォッチ操作で使いたいですか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

・本ジェスチャは見てもやるものに対して見ずにやることによって難しくなったと感じし

たか？

(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由・コメントなど

11. 本実験および本実験にて行った操作（フリック, Bezel Swipe, B2B-Swipe）について、
改善すべき点、感想をご記入ください。

改善すべき点・気になった点

その他・感想など

アンケートは以上になります。ご協力ありがとうございました。

付 録 B 試行回数にて表記した混同行列

第 5 章および第 6 章における評価実験にて示した混同行列を百分率ではなく，試行回数にて表記したものを以下に示す．

B.1 B2B-Swipe 入力精度実験

B.1.1 被験者によるミスを考慮する前の混同行列

被験者によるミスを考慮する前の試行回数にて表記した混同行列を表 B.1，B.2 に示す．

B.1.2 被験者によるミスを考慮した混同行列

被験者によるミスを考慮した，試行回数にて表記した混同行列を表 B.3，B.4 に示す．表 B.3，B.4 中に青色にて被験者によるミスを除いた箇所を示す．

表 B.1: B2B-Swipe 入力精度実験の sighted 条件における混同行列（試行回数）.

判 定 結 果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0
1	30																2
2		29															3
3			28														4
4				27													5
5					30		1										1
6				1		30											1
7							31										1
8								31									1
9									30								2
10						1	1			29							1
11											30						2
12												30					2
13													30				2
14	1													31			0
15															27		5
16																30	2

表 B.2: B2B-Swipe 入力精度実験の eyes-free 条件における混同行列（試行回数）.

判 定 結 果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0
1	30																2
2		28	1	1													2
3			30														2
4				27													5
5					32												0
6						32											0
7							30										2
8								30									2
9									31								1
10										30							2
11											30						2
12												28					4
13													31				1
14		1												30			1
15															27		5
16														1		29	2

表 B.3: ヒューマンエラーを除いた sighted 条件における混同行列（試行回数）.

判 定 結 果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0
1	30																2
2		29															3
3			28														4
4				27													5
5					30												1
6						30											1
7							31										1
8								31									1
9									30								2
10						1				29							1
11											30						2
12												30					2
13													30				2
14														31			0
15															27		5
16																30	2

指示したジェスチャ

表 B.4: ヒューマンエラーを除いた eyes-free 条件における混同行列（試行回数）.

判 定 結 果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0
1	30																2
2		28	1	1													2
3			30														2
4				27													5
5					32												0
6						32											0
7							30										2
8								30									2
9									31								1
10										30							2
11											30						2
12												28					4
13													31				1
14		1												30			1
15															27		5
16																29	2

指示したジェスチャ

B.2 B2B-Swipe 併用実験

B.2.1 フリックのエラー率変更前の混同行列

フリックのエラー率変更前の試行回数にて表記した混同行列を表 B.5, B.6 に示す.

B.2.2 フリックのエラー率変更後の混同行列

フリックのエラー率変更後の試行回数にて表記した混同行列を表 B.7, B.8 に示す.

表 B.5: B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列.

判定結果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
3	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0
17	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	1	0	0	1	0	2
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	1	2
19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	24	0	0	0	6
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	3
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	26	0	4
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	5

表 B.6: B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列.

判定結果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	29	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	3	0	0	0	2	1
17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	1	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	25	0	2	0	0	3
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	5
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	26	0	0	3
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	3

表 B.7: B2B-Swipe 併用実験の sighted 条件における混同行列 (Flick エラー修正版).

判定結果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
3	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	1	0	0	0	0	0
17	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	1	0	0	1	0	2
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	1	2
19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	30	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	30	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0

表 B.8: B2B-Swipe 併用実験の eyes-free 条件における混同行列 (Flick エラー修正版).

判定結果

指示したジェスチャ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
1	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	29	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	3	0	0	2	1	0
17	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	1	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	25	0	2	0	0	3
21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	29	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0

付 録 C B2B-Swipe 併用実験におけるそれぞれのジェスチャの試行時間

第 6 章における B2B-Swipe 併用実験におけるそれぞれのジェスチャの試行時間のグラフを以下に示す。なお，グラフの横軸の数字は表 5.1 に対応するジェスチャの ID を示している。

C.1 B2B-Swipe の試行時間

B2B-Swipe16 通りそれぞれの試行時間を図 C.1 に示す。

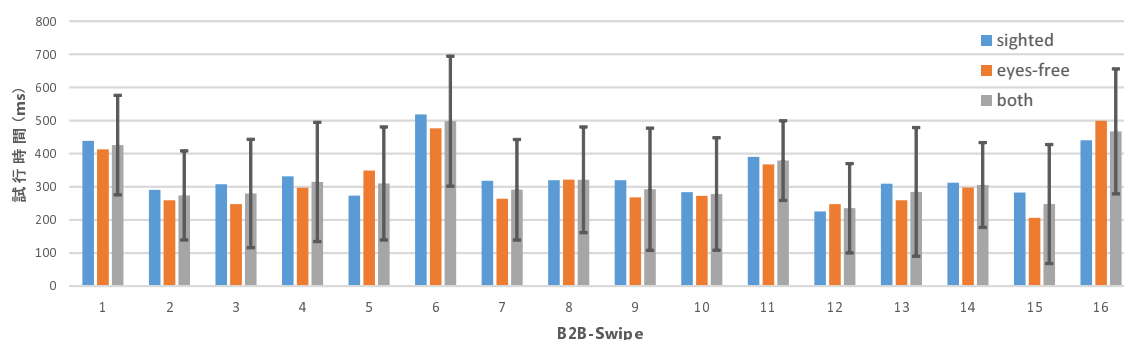


図 C.1: B2B-Swipe16 通りそれぞれの試行時間。

C.2 Bezel Swipe の試行時間

Bezel Swipe4 通りそれぞれの試行時間を図 C.2 に示す。

C.3 フリックの試行時間

フリック 4 通りそれぞれの試行時間を図 C.3 に示す。

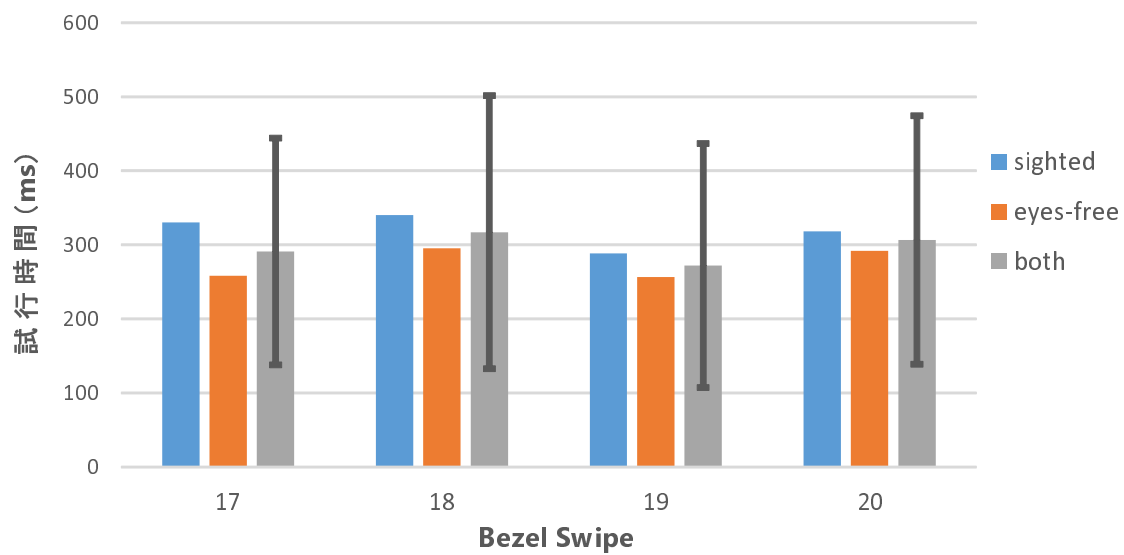


図 C.2: Bezel Swipe4 通りそれぞれの試行時間.

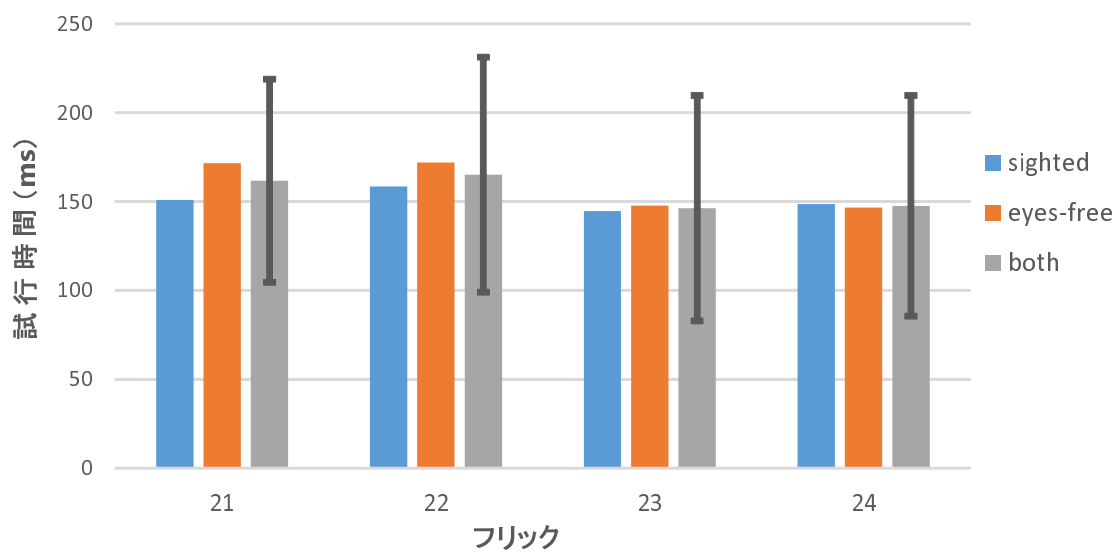


図 C.3: フリック 4 通りそれぞれの試行時間.