

# ベゼル間の距離の短さを利用した 超小型端末向けタッチジェスチャ

久保 勇貴<sup>1,a)</sup> 志築 文太郎<sup>2,b)</sup> 田中 二郎<sup>2,c)</sup>

受付日 2016年8月5日, 採録日 2017年2月9日

**概要:** 本論文において, 我々は超小型端末向けの新しいタッチジェスチャとして, ベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャ Bezel to Bezel-Swipe (以降, B2B-Swipe) を示す. ユーザは指の触覚から各ベゼルを見ることなく区別できるため, B2B-Swipe をアイズフリーで行える. また, 矩形の超小型端末の場合, B2B-Swipe は 16 通り存在する. さらに, B2B-Swipe は 1 本指による 1 回のスワイプであるため, 超小型端末が備えるタッチパネルのみを用いて実装可能である. これらにより, B2B-Swipe は端末にセンサを追加することなく, かつ既存のタッチジェスチャと共存しつつ超小型端末の入力語彙を増やすことができる. 本論文では, B2B-Swipe が Bezel Swipe およびフリックと共存できること, およびアイズフリー入力可能であることを検証するために行った性能評価実験の結果も示す.

**キーワード:** スマートウォッチ, クロッシング, タッチジェスチャ, アイズフリー, 入力手法

## Touch Gesture for Ultra-small Device Utilizing Short Distance between Bezels

YUKI KUBO<sup>1,a)</sup> BUNTAROU SHIZUKI<sup>2,b)</sup> JIRO TANAKA<sup>2,c)</sup>

Received: August 5, 2016, Accepted: February 9, 2017

**Abstract:** B2B-Swipe is a single-finger swipe gesture for a rectangular smartwatch which starts at a bezel and ends at a bezel. B2B-Swipe enriches input vocabulary by utilizing a bezel. There are 16 possible B2B-Swipes because a rectangular smartwatch has four bezels. Moreover, B2B-Swipe can be implemented with a single-touch screen with no additional hardware because B2B-Swipe only uses one finger and one swipe. Our study shows that B2B-Swipe can co-exist with Bezel Swipe and Flick and can be performed in eyes-free.

**Keywords:** smartwatch, crossing, touch gesture, eyes-free, input method

### 1. はじめに

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) におけるタッチジェスチャは主にタップ, スワイプ, およびフリックと, 主に 1 本指を用いたものに限

られる. この理由は, 超小型端末のタッチパネルは小さく (例: 1.6 インチ (約 28 mm 四方, SONY SmartWatch 3), 1.5 インチ (約 30 mm × 24 mm, Apple Watch 38 mm)), 複数本の指を用いることが困難なためである. このため, 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超小型端末向けの入力手法が提供されている. 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操作 (例: SONY SmartWatch 3) および手首を振るシェイク (例: モトローラ Moto 360) があげられる. また音声入力を提供する端末もある (例: Apple Apple Watch). しかし, これらの手法は行いにくい場合

<sup>1</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科  
Graduate School of Systems and Information Engineering,  
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

<sup>2</sup> 筑波大学システム情報系  
Faculty of Engineering, Information and Systems, University  
of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

a) kubo@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

b) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

c) jiro@cs.tsukuba.ac.jp

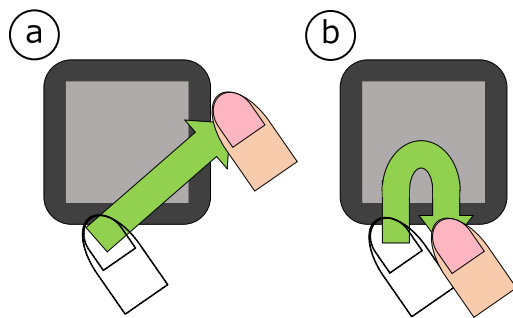


図 1 B2B-Swipe. 開始ベゼルおよび終了ベゼルが (a) 異なる B2B-Swipe, (b) 同一の B2B-Swipe の例

Fig. 1 B2B-Swipe. Example of B2B-Swipe that have (a) different or (b) same start and end bezels.

がある。たとえば、人混みの中で腕を回転させること、図書館など声を発せられない場所において音声入力を用いることは難しい。

また、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 (例: 文献 [13], [16], [18])。しかし、これらの手法を用いるためには端末にセンサを追加する必要がある。

本論文において、我々は超小型端末向けの新しいタッチジェスチャとして、ベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャ *Bezel to Bezel-Swipe* (以降、B2B-Swipe) を示す (図 1) [11], [32]。矩形の超小型端末の場合、B2B-Swipe は 16 通り存在する。また、B2B-Swipe を行う際、ユーザは指の触覚から各ベゼルを見ることなく区別できるため、B2B-Swipe をアイズフリーで行える。さらに、超小型端末のベゼル間の距離は短いため B2B-Swipe を素早く行える。加えて、B2B-Swipe は *Bezel Swipe* [19], フリック, およびタップと共存可能である。これらにより、超小型端末への入力語彙を増やすことが可能である。

## 2. 関連研究

本研究はベゼルを活用することによって超小型端末におけるアイズフリー入力可能な入力語彙を増やした研究である。本研究と同様に、超小型端末への入力手法、超小型端末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に関する先行研究は数多く存在する。

### 2.1 超小型端末への入力手法

センサ、外部機器、もしくは端末に備わったタッチパネルのみを用いて超小型端末への入力語彙を増やす試みについて述べる。

センサを用いて超小型端末への入力語彙を増やす研究がある。たとえば、赤外線センサ [9], [13], [16], [27], 磁力センサ [6], 加速度センサ [26], タッチセンサ [21], カメラ [5] などのセンサを用いた研究がある。そのほかに、超音波 [29], 電気インピーダンストモグラフィ [24], ジョイスティック

センサ [23], 電極 [25] を用いた研究もある。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た研究 [22], 視線検出器を用いた超小型端末への視線入力を可能とした研究 [4] がある。センサおよび外部機器を用いて入力語彙を増やす研究に対して、B2B-Swipe は超小型端末に備わったタッチパネルのみを用いて実装が可能である。また、B2B-Swipe は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おいて共存可能である。

本研究の B2B-Swipe と同様に、タッチパネルのみを用いて超小型端末への入力語彙を増やす操作手法として *Beats* [15] などがある。*Beats* は端末のタッチパネルへの 2 本指によるタッチダウンおよびタッチアップのパターンを組み合わせた 18 通りの入力である。ただし、*Beats* の実装には 2 本指のタッチダウンおよびタッチアップを認識するためにマルチタッチが検出可能なタッチパネルを必要とする。一方、B2B-Swipe は 1 本指で行えるため、マルチタッチ未対応のタッチパネルでも実装可能である。また、Lafreniere ら [12] は、画面に表示された 2 つのボタンを逐次的にタップする *TwoTap* と、2 つのソフトボタンを同時にタップする *WristTap* を提案した。B2B-Swipe はアイズフリーでも行えるタッチジェスチャであり、マルチタッチ未対応のタッチパネルでも実装可能である。Ashbrook ら [1] はタッチパネルを有した円形の超小型端末において、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。B2B-Swipe は *Beats*, Lafreniere らの手法、および Ashbrook らが調査したベゼル上のボタンの選択手法と共存可能である。

### 2.2 超小型端末におけるアイズフリー入力

Blaskó ら [2] は、ユーザが画面を見ずにタッチパネル上の指の位置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。Perrault ら [18] 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った端末を見ることなく行えるジェスチャを提案している。Pasquero ら [17] 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掴む、覆う、および端末表面で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。ただし文献 [17], [18] とは異なり、その手がかりは追加したデバイスではなく文献 [2] 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

ベゼルを用いた操作の研究は多数行われている [7], [8], [19], [28], [31]。まず、B2B-Swipe と特に関係のある研究を述べる。黒澤ら [31] 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 ストロークの動作で、データをベゼル上に配置し保存することができる。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、同じベゼルだけでなく異なるベゼル間のスワイプでも高速に行える。さらに、矩形の端末の場合 B2B-Swipe は Bezel Check よりも入力語彙が 12 通り豊富である。Bezel Swipe [19] 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し、スワイプすることにより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 および B2B-Swipe はそれぞれのジェスチャを区別しながら共存できることが本研究の実験において示された。Bezel Menus [8] 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 を起動ジェスチャとしたマーキングメニュー選択手法であり、B2B-Swipe は Bezel Swipe を行った後さらにベゼルをクロッシングするタッチジェスチャである。Bezel Menus および B2B-Swipe はそれぞれ Bezel Swipe を行った後の操作が異なるため共存可能であると考えられる。

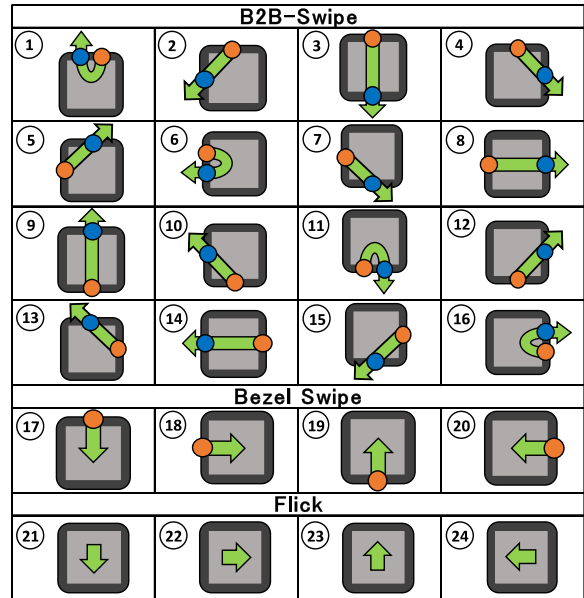
スマートフォンおよびタブレットなどのモバイル端末において、ベゼルを活用した研究が存在する。BezelCopy [3] は、ベゼルジェスチャを用いたテキストのコピー手法である。最初にコピーしたい文を含む段落を Bezel Swipe によりユーザが選択する。選択後、画面下部に表示されるアイコンをユーザが選択しユーザの行いたい操作を行う。Bezel-Tap Gestures [20] は、ベゼルを用いたコマンド入力手法である。ベゼルをタップした後、即座にタッチパネルへタップを行うことをコマンドの入力としたものである。なお、B2B-Swipe とこれらの手法は共存可能であると考えている。また、超小型端末でベゼルを活用した研究も存在する。Interaction on the Edge [14] 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 に対して、B2B-Swipe はセンサを追加せずに実装可能である。

### 3. B2B-Swipe

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。ここで、ターゲットを横切るようにスワイプを行うことをクロッシングと呼ぶこととする。B2B-Swipe を行うために、まずユーザは超小型端末のいずれかのベゼル（開始ベゼル）を画面外からクロッシングし、その後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で触れたままいずれかのベゼル（終了ベゼル）をクロッシングし、指を画面から離す。また、B2B-Swipe には

表 1 B2B-Swipe (#1-#16) および実験で使用する 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 [11]

Table 1 B2B-Swipes (#1-#16) and the touch gestures that we used in our experiment (#17-#24). The orange and blue circles show the start and end bezels for the gestures, respectively [11].



開始ベゼルと終了ベゼルが異なるもの (図 1 (a)) と、同一のもの (図 1 (b)) の 2 種類の B2B-Swipe がある。図 1 (b) のような開始および終了ベゼルが同一な B2B-Swipe は Bezel Check と同様なタッチジェスチャである。

#### 3.1 特徴

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にはベゼルが 4 辺あるため、4 × 4 通り、すなわち 16 通り存在する (表 1)。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 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 [19]、フリック、およびタップと共存可能である。

B2B-Swipe は 1 本指による 1 回のスワイプであるため、超小型端末が備えるタッチパネルのみを用いて実装可能である。したがって、B2B-Swipe は端末に何も追加することなく、既存のタッチジェスチャと共存しつつ超小型端末の入力語彙を増やすことができる。

#### 3.2 操作としての長所

B2B-Swipe は以下に示す長所を持つ操作である。

アイズフリー

ユーザは超小型端末に触れることにより端末を見る

ことなく各ベゼルを区別できるため、サイズフリーで B2B-Swipe を行える。

高速

超小型端末のベゼル間の距離は短い。このため、ベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャである B2B-Swipe をユーザは素早く行える。

高精度

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ため、B2B-Swipe は一種のダブルクロッシングジェスチャである。中村ら [30] 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操作誤りが少ないことが示されている。したがって、ユーザは B2B-Swipe を高精度に行えると考えられる。

3.3 実装

B2B-Swipe の検出にはいずれかのベゼルがクロッシングされたことを検出する必要がある。ただし通常の超小型端末にはその検出機能はない。そのため本実装では、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開始および終了ベゼルとクロッシングが行われたかを推定した (図 2)。まず、開始ベゼルを推定するために、最初および  $m$  番目のタッチイベント ( $p_1$  および  $p_m$ ) の座標および時刻を用いて、指の速度を推定する。次に、この速度と  $p_1$  を用いて、直線状に移動したと仮定したときの  $p_1$  より 30 ms 前の座標  $p_0(x_0, y_0)$  を求め、 $\overrightarrow{p_0p_1}$  がクロッシングしたベゼルを開始ベゼルとする。終了ベゼルも同様の方法で推定している。すなわち、最後および最後より 1 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タッチアップ時の指の速度を求め、この速度と  $p_n$  から  $p_n$  の 40 ms 後の座標  $p_{n+1}(x_{n+1}, y_{n+1})$  を求める。 $\overrightarrow{p_n p_{n+1}}$  がクロッシングしたベゼルを終了ベゼルとする。なお、上記の 30 ms および 40 ms は我々が実験的に求めた値である。

また、B2B-Swipe を Bezel Swipe およびフリックと共存させるための実装方法を述べる。B2B-Swipe および Bezel Swipe の区別は、開始および終了ベゼルともに存在する場合には B2B-Swipe、開始ベゼルのみ存在する場合には Bezel Swipe が行われたと判定した。これた以外の場合にはさら

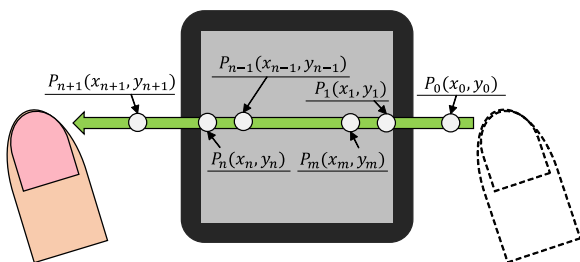


図 2 B2B-Swipe の実装  
Fig. 2 Implementation of B2B-Swipe.

に、Android SDK の GestureDetector クラスの Fling() メソッドを用いて、フリックの判定を行った。フリックの方向について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。

4. 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、アプリケーションマネージャ、アラーム、およびメッセージャを示す。

4.1 アプリケーションマネージャ

B2B-Swipe を用いたコマンド実行アプリケーションを提案する (図 3) [10]。スマートウォッチの操作は主に指を用いて行うが、Fat Finger Problem およびオクルージョンが発生する。そこで、B2B-Swipe を用いることにより、これらの問題が発生しないコマンド実行アプリケーションを示す。上および下ベゼルを開始ベゼルとする B2B-Swipe へどの画面でも実行可能な機能 (Global Functions) を、左および右ベゼルを開始ベゼルとする B2B-Swipe へアプリケーションごとに異なる機能 (Local Functions) を割り当てる。Global Functions は、ホームへ戻る、アプリケーションの切替え、通知の切替えなどの機能が割り当てられる (図 3)。Local Functions は、アプリケーションごとに割り当てられる機能が異なる。例として、アラームアプリケーションであればアラーム時刻の設定機能 (図 4)、メッセージャアプリケーションであれば定型文の入力機能を割り当てた (図 5)。

4.2 アラーム

画面を見ることなく時間設定可能なアラームアプリケーションを提案する。B2B-Swipe にあらかじめ何分後にア

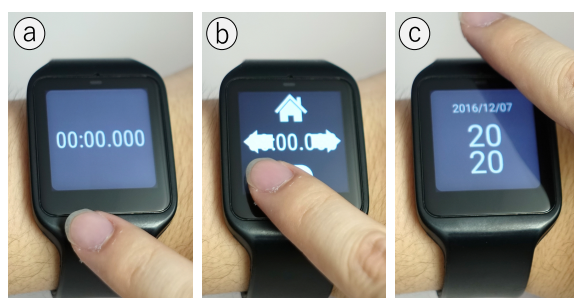


図 3 Global Functions. (a) アラームアプリケーションの画面. (b) 下ベゼルをクロスすると Global Functions の GUI が表示される. (c) 下ベゼルから上ベゼルへの B2B-Swipe を行うことにより、ホーム画面に戻ることができる

Fig. 3 Global Functions. (a) Alarm Application. (b) GUI when a user cross the bottom bezel with user's finger. (c) Return home when performed bottom-top B2B-Swipe.

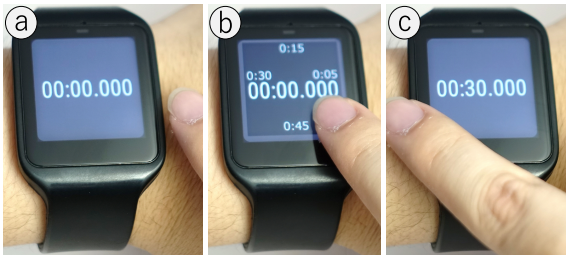


図 4 アラームアプリケーション. (a) アラームアプリ画面, (b) 右ベゼルをクロスさせると, Local Functions の GUI を表示. (c) アラームをセット

Fig. 4 Alarm application. (a) Screen of alarm application, (b) Displayed GUI of Local Functions on this application when a user cross right bezel. (c) Set an alarm.

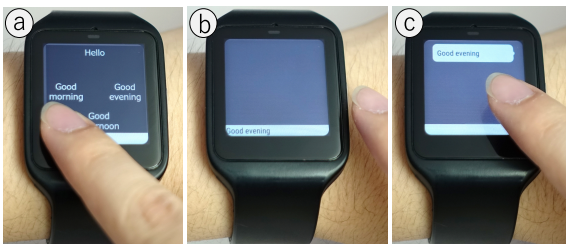


図 5 メッセージアプリケーション. (a) Local Functions に設定した定型文を GUI 表示. (b) B2B-Swipe による定型文の入力. (c) タップによってメッセージを送信

Fig. 5 Messenger application. (a) GUI that set typical messages on Local Functions. (b) Input typical messages by using B2B-Swipe. (c) Sent message with tap.

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 (図 4). また, B2B-Swipe はアイズフリー入力可能であるため, 顔を伏せたままアラームを設定することが可能である. Local Functions の割り当て方の例として, 右および左ベゼルを開始ベゼルとする B2B-Swipe にはそれぞれ, 何分かのアラームの設定, 何秒かのアラーム設定を割り当てている. 開始ベゼルごとに共通点を有する機能を割り当てることにより, ユーザの想起性を補助する.

#### 4.3 メッセージ

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上で文字を入力する必要がある. 返信が必要な場合, B2B-Swipe にあらかじめ登録しておいた定型文を B2B-Swipe で入力できる. ユーザは入力されたメッセージを確認した後に, 画面をタップすることにより相手にメッセージを送ることが可能である (図 5(c)).

### 5. B2B-Swipe の性能評価実験

B2B-Swipe の性能を評価するための実験を行った. 特に

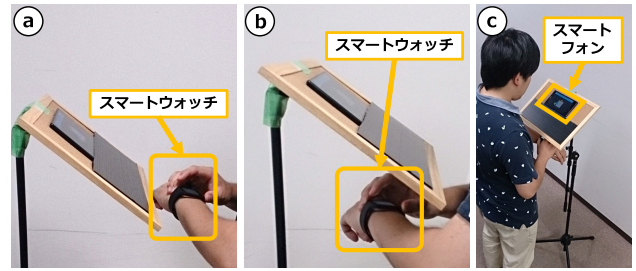


図 6 実験で使った 2 つの条件および実験姿勢. (a) sighted 条件, (b) eyes-free 条件. (c) 実験姿勢 [11]

Fig. 6 Two conditions and experiment posture. (a) Sighted and (b) eyes-free conditions. (c) Experiment posture [11].

本実験では B2B-Swipe が Bezel Swipe およびフリックと共存できること, および B2B-Swipe が超小型端末を見ることなく行えることを検証した. なお, Bezel Swipe およびフリックを選択した理由は, B2B-Swipe と同じスワイブジェスチャであるからである.

#### 5.1 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, すべ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 カ月, 平均 51.75 カ月 (SD = 14.8) であった. すべ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 円を支払った.

#### 5.2 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.

#### 5.3 実験設計

我々は被験者に表 1 に示す 24 通りのジェスチャを sighted 条件 (図 6(a)) および eyes-free 条件 (図 6(b)) の 2 条件で行ってもらった. あるジェスチャを 1 度行うことを 1 試行とし, 全 24 通りのジェスチャを 1 試行ずつ行うことを 1 セッションとした. 我々は 2 条件の順序効果を打ち消すために, 被験者をランダムに 2 つのグループに分けた. 1 つ目のグループには最初に sighted 条件で練習セッションを 1 セッションおよび実験セッションを 4 セッション行ってもらい, 次に eyes-free 条件で練習セッションを 1 セッションおよび実験セッションを 4 セッション行ってもらった. 2 つ目のグループについては 1 つ目のグループと条件の順番を逆にした. 各セッションでは, 24 通りのジェスチャを 1 回ずつランダムに提示した. 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 =

表 2 sighted 条件における判定結果の混同行列

Table 2 Confusion matrix of classified results under the sighted condition.

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
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
2	0	90.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.25	3.13	0
3	0	0	100	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	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13
5	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	100	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	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0
8	0	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13
9	0	0	0	0	0	0	0	0	84.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	0	3.13	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.8	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	3.13	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	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	93.8	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	3.13
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	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	96.9	0	0	0	3.13	0	0	0	0
17	0	0	6.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81.3	0	0	3.13	0	0	9.38	0
18	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.5	0	0	0	0	0	9.38
19	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90.6	0	6.25	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	93.8	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.25	0	0	0	0	0	0	0	93.8	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.25	0	0	0	0	0	93.8	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	100

指示したジェスチャ

1,536 試行であった。

5.4 実験手順

我々は被験者に図 6(c) に示すように、指示を表示するためのスマートフォンの前に立つよう指示した。そして、見やすい高さにスマートフォンがあるか被験者に確認し、その高さを調整した。その後、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手首に取り付けた。このとき、すべての被験者が左手にスマートウォッチを取り付け、右手を用いて操作した。我々は被験者に実験で行うジェスチャを説明し、実験の手順に関して実験手順書を見せながら説明を行った。また、実験中は操作をできる限り正確に行うよう被験者に指示した。

我々は被験者にスマートフォン画面に表示されるジェスチャをスマートウォッチ上で行うよう指示した。また、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を保ち、操作には人差し指のみを用いるよう被験者に指示した。ジェスチャが行われた後、被験者へのフィードバックとして、行われたジェスチャの正否をマルおよびバツの図形を用いて画面に表示した。また、これらの図形が表示されてから 1.5 秒後に次の指示を画面に表示した。被験者には 2 セッションごとに着席した状態で少なくとも 30 秒の休憩をとってもらった。各セッション終了後、行ったジェスチャに関して思ったことおよび感じたことを被験者に発言するよう指示した。

実験終了後、被験者にはそれぞれのジェスチャに関する

アンケートに回答してもらった。アンケートの回答にかかった時間を合わせて被験者 1 人あたりの所要時間は 51–91 分であった。

5.5 実験結果

エラー率、試行時間、およびアンケートの結果を述べる。

5.5.1 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 7)。図 7 のエラーバーは被験者間のエラー率の標準偏差を表す。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 4.7% (SD = 8.7) 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 3.1% (SD = 3.3) であった。なお、この結果はフリックのエラー率を補正したものである。この理由は、フリックの実装に用いた Fling() メソッドがスワイプの速度が遅いと呼び出されないため、被験者が指示どおりに行ったにもかかわらず誤りと判定された試行があったためである。誤りと判定された 40 試行について、データを分析し直した結果、30 試行が正しくフリックを行っていた。

表 2 および表 3 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 2 および表 3 の ID は表 1 に対応している。

各ジェスチャにおいて sighted 条件および eyes-free 条件間のエラー率の差があるかどうか調べるために、各ジェスチャの被験者 8 名の平均エラー率を用いて条件を因子とした Kruskal-Wallis 検定を行った。ノンパラメトリック検

表 3 eyes-free 条件における判定結果の混同行列

Table 3 Confusion matrix of classified results under the eyes-free condition.

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
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
2	0	100	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	87.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.38	0	0	0	0	0	0	3.13
4	0	0	0	93.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0	3.13
5	0	0	0	0	90.6	0	0	6.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13
6	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0
8	0	0	0	0	0	0	0	93.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.25	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0
10	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	96.9	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	96.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	12.5	0	12.5	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.8	0	0	0	0	0	0	3.13	3.13	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87.5	0	0	0	0	0	0	3.13	9.38	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84.4	0	0	0	0	3.13	6.25	6.25	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81.3	0	0	0	9.38	0	3.13	6.25	6.25
17	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.8	0	0	0	0	0	3.13
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.8	0	6.25	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	3.13	0	0	0	0	78.1	0	15.6	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	3.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.9	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.38	0	90.6	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	100	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	100

指示したジェスチャ

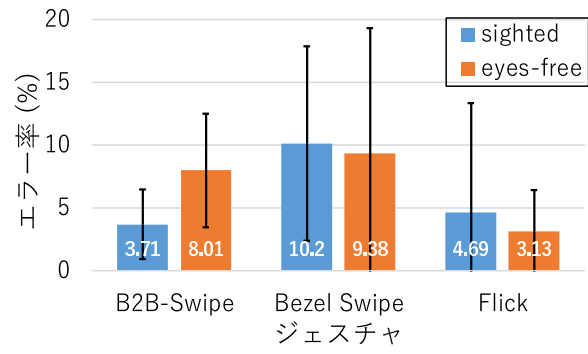


図 7 各ジェスチャのエラー率  
Fig. 7 Error rate of each gesture.

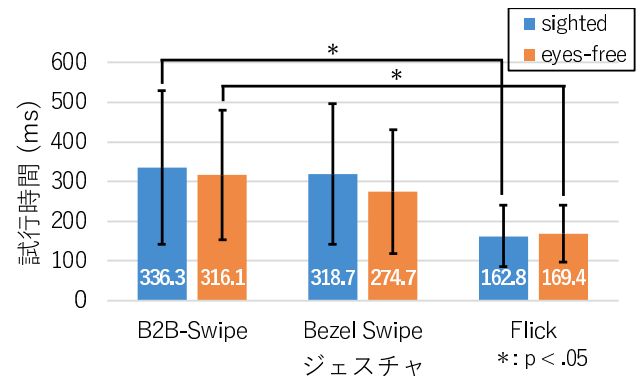


図 8 各ジェスチャの試行時間  
Fig. 8 Trial time of each gesture.

定である Kruskal-Wallis 検定を検定方法とした理由は、今回用いたデータが Shapiro-Wilk 検定の結果、正規性が無いと判定されたためである。Kruskal-Wallis 検定の結果、B2B-Swipe ( $p = .064 > .05$ ), Bezel Swipe ( $p = .663 > .05$ ), およびフリック ( $p = .811 > .05$ ) のすべてのジェスチャにおいて有意な差はなかった。したがって、端末を見る見ないにかかわらず、これらのジェスチャのエラー率は変わらないことが示唆された。続いて、同一条件下における各ジェスチャ間のエラー率の差を調べるために、各ジェスチャの被験者 8 名の平均エラー率を用いてジェスチャを因子とした Kruskal-Wallis 検定を行った。その結果、sighted 条件 ( $p = .222 > .05$ ) および eyes-free 条件 ( $p = .164 > .05$ ) において、有意な差はなかった。したがって、これら 3 つのジェスチャを共存させ使用する際、どれかのジェスチャが特にエラー率が低くならないことが示唆された。

5.5.2 試行時間

それぞれのジェスチャの試行時間を求めた (図 8)。図 8

のエラー率は各ジェスチャにおいて成功した全試行の試行時間の標準偏差を表す。sighted 条件における試行時間は、B2B-Swipe が 336.3 ms (SD = 193.6), Bezel Swipe が 318.7 ms (SD = 176.8), フリックが 162.8 ms (SD = 77.3) であった。eyes-free 条件における試行時間は、B2B-Swipe が 316.1 ms (SD = 163.2), Bezel Swipe が 274.7 ms (SD = 168.5), フリックが 169.4 ms (SD = 70.9) であった。

条件によって、各ジェスチャの試行時間に差が生じるか調べるために、成功したジェスチャの試行時間を用いて条件を因子とした、Kruskal-Wallis 検定を行った。ノンパラメトリック検定である Kruskal-Wallis 検定を検定方法とした理由は、今回用いたデータが Shapiro-Wilk 検定の結果、正規性が無いと判定されたためである。Kruskal-Wallis 検定の結果、sighted 条件 ( $p = .030 < .05$ ) および eyes-free 条件 ( $p = .020 < .05$ ) においてジェスチャ間の試行時間に有意な差が見られた。そこで、sighted

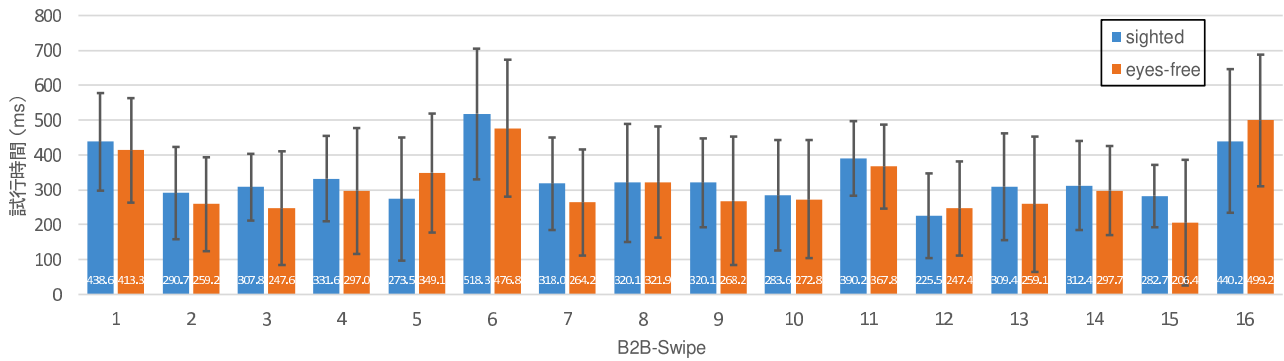


図 9 16 通りの B2B-Swipe の試行時間  
Fig. 9 Trial time of each B2B-Swipe.

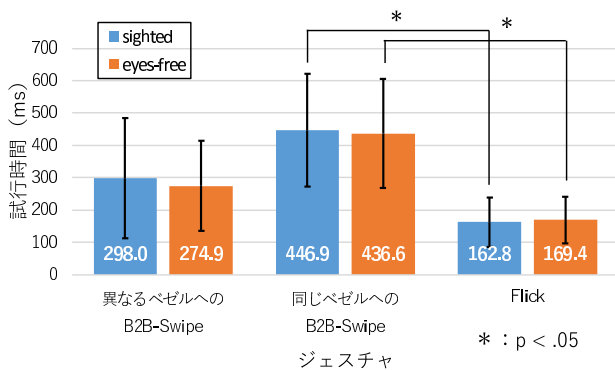


図 10 2 種類の B2B-Swipe およびフリックの試行時間の比較  
Fig. 10 Comparing trial times among two types of B2B-Swipes and flick.

条件において Turkey 法による多重比較を行うと、B2B-Swipe-Bezel Swipe 間 ( $p = .033 < .05$ ) に有意な差があり、B2B-Swipe-Bezel Swipe 間 ( $p = .169 > .05$ ) および Bezel Swipe-フリック間 ( $p = 1.000 > .05$ ) に有意な差はなかった。同様に、eyes-free 条件でも B2B-Swipe-Bezel Swipe 間 ( $p = .033 < .05$ ) に有意な差があり、B2B-Swipe-Bezel Swipe 間 ( $p = .214 > .05$ ) および Bezel Swipe-フリック間 ( $p = 1.000 > .05$ ) に有意な差はなかった。すなわち、フリックは B2B-Swipe よりも両条件において有意に速いことが示唆された。続いて、同一条件において各ジェスチャの試行時間に差があるか調べるために、成功したジェスチャの試行時間を用いた、ジェスチャを因子とする Kruskal-Wallis 検定を行った。その結果、B2B-Swipe ( $p = 1.000 > .05$ )、Bezel Swipe ( $p = .600 > .05$ )、およびフリック ( $p = .834 > .05$ ) のすべてのジェスチャにおいて有意な差はなかった。したがって、これらのジェスチャは末端を見る見ないにかかわらず、これらのジェスチャの試行時間は変わらないことが示唆された。

また、B2B-Swipe 16 通りのそれぞれの試行時間を示す (図 9)。B2B-Swipe を開始ベゼルおよび終了ベゼルが異なるもしくは同一なものに分け、試行時間を求めた。これを図 10 に示す。図 9 および図 10 のエラーバーは各ジェスチャにおいて成功した全試行の試行時間の標準偏差を

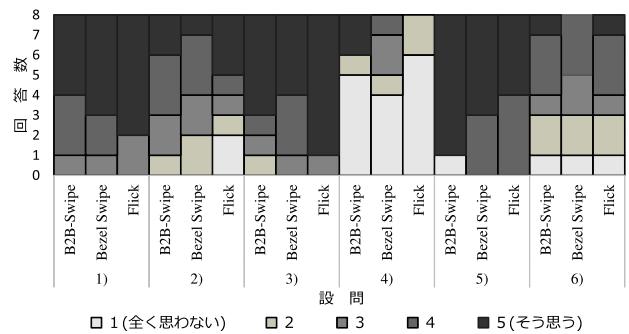


図 11 アンケートの回答結果 [11]  
Fig. 11 Response to the questionnaire [11].

表す。sighted 条件および eyes-free 条件において、前者は 298.0 ms (SD = 185.3), 274.9 ms (SD = 139.3) であり、後者は 446.9 ms (SD = 174.0), 436.6 ms (SD = 168.5) であった。よって、図 9 より、同じベゼルへの B2B-Swipe は異なるベゼルへの B2B-Swipe と比較すると、約 100 ms 試行時間が長いことが分かる。

### 5.5.3 アンケート

被験者に行った 5 段階リッカート尺度のアンケート結果をジェスチャごとに図 11 に示す。なお、アンケートの設問は次に示すとおりである。

- 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。

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 ( $p = .878 > .05$ ) のすべての設問においてジェスチャ間に有意な差はなかった。

### 5.6 考察

エラー率および試行時間において B2B-Swipe および



表 4 各ジェスチャのスイープ距離  
Table 4 Relationship between gesture and swipe distance.

sighted 条件		
ジェスチャ	スイープ距離 (px)	試行時間 (ms)
異なるベゼルへの B2B-Swipe	71.4	298.0
同じベゼルへの B2B-Swipe	75.4	446.9
Bezel Swipe	50.0	318.7
フリック	53.6	162.8
eyes-free 条件		
ジェスチャ	スイープ距離 (px)	試行時間 (ms)
異なるベゼルへの B2B-Swipe	69.8	274.9
同じベゼルへの B2B-Swipe	72.6	436.6
Bezel Swipe	45.9	274.7
フリック	53.8	169.4

表 5 各ジェスチャ間におけるスイープ距離および試行時間の比較  
Table 5 Comparing swipe distance and trial time between gestures.

ジェスチャ	sighted 条件			eyes-free 条件		
	同じベゼルへの B2B-Swipe	Bezel Swipe	フリック	同じベゼルへの B2B-Swipe	Bezel Swipe	フリック
異なるベゼルへの B2B-Swipe	-3.9/-148.9 (px/ms)	21.4/-20.7	17.8/135.1	-2.9/-161.6	23.9/0.2	16.0/105.6
同じベゼルへの B2B-Swipe	-	25.3/128.2	21.7/284.1	-	26.8/161.9	18.8/267.2
Bezel Swipe	-	-	-3.6/155.8	-	-	-7.9/105.3

Bezel Swipe 間に有意な差がないことから、B2B-Swipe は Bezel Swipe と同様な試行時間およびエラー率で使用できることが示された。これは、ユーザが終了ベゼルまでスイープを行うか否かを意識し使い分けることが可能であるためだと考えられる。

フリックが B2B-Swipe よりも有意に速い原因として、開始ベゼルおよび終了ベゼルが同一な B2B-Swipe (以降、同じベゼルへの B2B-Swipe) の試行時間が長いことが考えられる (図 10)。同じベゼルへの B2B-Swipe の試行時間が異なるベゼルへの B2B-Swipe よりも長い理由は、前者を行う際、ユーザは開始ベゼルとクロッシングした後、画面内にある指を U 字を描くように開始ベゼルへと方向転換させる必要があるためである。一方、後者のジェスチャの軌跡は一直線であるため試行時間が短いと考えられる。そのため、同じベゼルへの B2B-Swipe、異なるベゼルへの B2B-Swipe、およびフリックにおいてそれらの試行時間の平均に差があるかどうか調べるために、成功したジェスチャの試行時間を用いた、ジェスチャを因子とする Kruskal-Wallis 検定を行った。検定方法をノンパラメトリック検定である Kruskal-Wallis 検定にした理由は、検定に用いた試行時間に関するデータに正規性が認められなかったためである。Kruskal-Wallis 検定の結果、sighted 条件 ( $p = .002 < .05$ ) および eyes-free 条件 ( $p = .001 < .05$ ) において、有意な差が見られた。そのため、sighted 条件および eyes-free 条件においてそれぞれ Turkey 法による

多重比較を行うと、フリック-同じベゼルへの B2B-Swipe 間 ( $p = .002 < .05$ ,  $p = .000 < .05$ ) に有意な差があり、フリック-異なるベゼルへの B2B-Swipe 間 ( $p = .121 > .05$ ,  $p = .155 > .05$ ) および同一なベゼルへの B2B-Swipe-異なるベゼルへの B2B-Swipe 間 ( $p = .472 > .05$ ,  $p = .155 > .05$ ) においては有意な差は見られなかった。よって、フリックが同じベゼルへの B2B-Swipe よりも有意に速く、また異なるベゼルへの B2B-Swipe とは有意な差がないことが示された。したがって、同じベゼルへの B2B-Swipe の試行時間が遅いために、B2B-Swipe-フリック間の試行時間に有意な差が見られたと考えられる。

ジェスチャのスイープ距離-試行時間の関係を考察する。各ジェスチャの平均スイープ距離および試行時間を表 4 に示す。表 4 のスイープ距離および試行時間を各ジェスチャ間において比較したものを表 5 に示す。まず、Bezel Swipe および異なるベゼルへの B2B-Swipe を比較すると、両条件においてスイープ距離の差は約 20 px であり、試行時間の差は sighted 条件のとき約 20 ms、eyes-free 条件のとき約 0 ms である。このことから、ベゼルの終端を指定することは試行時間およびスイープ距離に影響を与えないと考えられる。次に、2 種類の B2B-Swipe を比較すると、スイープ距離は、両条件において約 3 px 異なるが、試行時間は sighted 条件のとき約 150 ms、eyes-free 条件のとき、約 160 ms 異なる。これより、あるベゼルから異なるベゼルへのスイープと同じベゼルへ 2 度クロッシングさせるスイ

プはスワイプ距離の差が小さいことが分かる。したがって、同じベゼルへの B2B-Swipe はスワイプの方向転換を行うために試行時間が遅くなっていると考えられる。最後に、フリックとその他のジェスチャに関して考察する。フリックは Bezel Swipe とスワイプ距離が両条件とも 10 px 以内とほぼ変わらないが、試行時間は sighted 条件, eyes-free 条件において、それぞれ 155.8 ms および 105.3 ms と大きく異なっている。これはジェスチャを行う際の初速が影響していると思われる。Bezel Swipe および B2B-Swipe では、最初にベゼルの触れるときスワイプの速度が遅く、フリックは初速が速いためその差が試行時間に現れたと考えられる。

各ジェスチャの誤判定について考察する。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わずかだったこと (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、他の B2B-Swipe に誤判定されることが少なく行えることが示唆された。これは 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 条件では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。仮にどれかのジェスチャを 1 つのみ用いる場合、入力語彙を重視する場合においては B2B-Swipe を用いると、他と比べ 12 通り多くジェスチャを使い分けすることができる。

Bezel Swipe のエラー率について述べる。3 種類のジェスチャのうち Bezel Swipe のエラー率が高い理由は、開始ベゼルの推定がうまくできていないためである。実験データを分析すると、エラーと判定されていた 25 試行中 16 試行が、開始ベゼルの推定に失敗しジェスチャ開始時ベゼルとのクロッシングが検出されていなかった。これは、今回のベゼルとクロッシングしていたかを推定し選択していたことが原因と考えられる。この問題は、スマートウォッチのタッチ検出可能領域が画面の際までとなれば、クロッシングされたベゼルの推定しなくてもタッチ検出によって可能となるため、解決できると考える。この解決案により、B2B-Swipe のエラー率も改善されると考えられる。また、Bezel Swipe として行われたジェスチャのいくつかは B2B-Swipe に判定されていることもエラー率が高くなった原因と考えられる。エラーと判定された 25 試行中 8 試行が終了ベゼルまでスワイプし誤って終了ベゼルが選択されたために、B2B-Swipe と判定されていた。これらを補正した Bezel Swipe のエラー率を求めると、sighted 条件および

eyes-free 条件においてそれぞれ 7.03%, 6.25% となる。

3 種類のジェスチャがどのように共存可能であるか混同行列 (表 2, 表 3) を用いて考察する。混同行列より、Bezel Swipe と判定された B2B-Swipe は、同じ開始ベゼルを持ちかつ同方向の Bezel Swipe に判定されていることが分かる。また、これは B2B-Swipe と判定された Bezel Swipe に対してもいえる。たとえば表 2 は 9 番の B2B-Swipe が 19 番の Bezel Swipe に多く分類されていることを示している (12.5%, 4/32)。また、19 番は 9 番と判定されている (3.1%, 1/32)。したがって、B2B-Swipe および Bezel Swipe を併用する場合、互いに間違えやすいジェスチャに類似した機能 (例: 音量を 1 上げる, 3 上げる) を割り当てることにより、ユーザの予想とは大きくかけ離れた誤動作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も同様である。

上記に加え、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 B2B-Swipe のエラー率の標準偏差が他のジェスチャより小さい。このため、ユーザは B2B-Swipe を 3 種類のジェスチャの中では最も安定して行え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いえる。

## 6. 議論および今後の課題

現在の B2B-Swipe の実装方法では、クロッシングされたベゼルのタッチイベントから推定している。ただし、モバイル端末において画面サイズは拡大する一方、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。さらにはベゼルのタッチ可能とした端末も現れている (例: Samsung Galaxy Note Edge)。これらのことから、今後はより直接的にクロッシングされたベゼルの検出することが可能になると考えられる。

超小型端末には、スマートウォッチだけでなく小型のスマートフォンなども存在する。その中でも、スマートウォッチは手首に装着するという使用上の特徴を有するために、端末を操作する際に端末自体が動くことが抑制されている。よって、他の超小型端末に B2B-Swipe を用いる際には、端末の固定が十分でない場合、今回の実験で示した精度よりも低くなると考えられる。

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すべて記憶し使い分けることは困難である。16 通りを  $4 \times 4$  通りと開始および終了ベゼルに分類し、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 の想起性を補うために、現実装では、開始ベゼルのクロッシングした後に指を止めると、その開始ベゼルに割り当てられた機能を表示している。図 3 (b) に示したアイコン、および図 4 (b) に示した 0:05, 0:15 などの文

字列が表示の例である。なお、ユーザは学習により機能を覚えると表示による補助を必要としなくなる。このため、今後はクロッシングする指の速度が閾値より速い場合にはこの表示を行わずに、ユーザの操作を妨げないように実装することを考えている。この閾値として適切な値を調査することは今後の課題である。また、B2B-Swipe を Bezel Swipe およびフリックと併用した際の想起性およびユーザへの負荷に関しては、実際のアプリケーションを用いた評価実験を今後行う必要がある。さらに、これらの調査時に B2B-Swipe の語彙の選定に関しても B2B-Swipe の想起性との関係を検討し、どのように選定を行えばよいか調査を行う予定である。

今回の実験において、被験者には実験中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触れるよう指示した。これは、操作する指が操作対象に触れていることによって、画面を見なくても操作対象をある程度把握できるようにする意図があった。今回の実験結果では、条件間において3つのジェスチャに有意な差は見られなかった。今後は操作対象に最初から指に触れているかどうかにより、精度に差が出るのか調査を行いたいと考えている。

また、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が存在する。円形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。

## 7. まとめ

本論文において、我々は超小型端末向けの新しいタッチジェスチャとして、ベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャ Bezel to Bezel-Swipe (B2B-Swipe) を提案した。また、B2B-Swipe の特徴、操作としての長所、および具体的な実装方法について報告した。さらに、実験の結果として、エラー率および試行時間において B2B-Swipe および Bezel Swipe 間の性能に有意な差がないこと、および B2B-Swipe は画面を見なくても見ている際と同等の性能にて行えることを示した。

今後はまず円形のスマートウォッチにおいても B2B-Swipe が使用可能であるか検証する計画である。可能であることが分かった場合には、円形の超小型端末上においてユーザが区別可能なベゼルの分割数を調査する計画である。

## 参考文献

[1] Ashbrook, D., Lyons, K. and Starner, T.: An Investigation into Round Touchscreen Wristwatch Interaction,

- Proc. MobileHCI '08*, pp.311–314 (2008).
- [2] Blaskó, G. and Feiner, S.: An Interaction System for Watch Computers using Tactile Guidance and Bidirectional Segmented Strokes, *Proc. ISWC '04*, pp.120–123 (2004).
- [3] Chen, C., Perrault, S.T., Zhao, S. and Ooi, W.T.: BezelCopy: An Efficient Cross-application Copy-paste Technique for Touchscreen Smartphones, *Proc. AVI '14*, pp.185–192 (2014).
- [4] Esteves, A., Velloso, E., Bulling, A. and Gellersen, H.: Orbits: Gaze Interaction for Smart Watches Using Smooth Pursuit Eye Movements, *Proc. UIST '15*, pp.457–466 (2015).
- [5] Han, J., Ahn, S. and Lee, G.: Transture: Continuing a Touch Gesture on a Small Screen into the Air, *Proc. CHI EA '15*, pp.1295–1300 (2015).
- [6] Harrison, C. and Hudson, S.E.: Abracadabra: Wireless, High-precision, and Unpowered Finger Input for Very Small Mobile Devices, *Proc. UIST '09*, pp.121–124 (2009).
- [7] Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M. and Horvitz, E.: Sensing Techniques for Mobile Interaction, *Proc. UIST '00*, pp.91–100 (2000).
- [8] Jain, M. and Balakrishnan, R.: User Learning and Performance with Bezel Menus, *Proc. CHI '12*, pp.2221–2230 (2012).
- [9] Kim, J., He, J., Lyons, K. and Starner, T.: The Gesture Watch: A Wireless Contact-free Gesture Based Wrist Interface, *Proc. ISWC '07*, pp.1–8 (2007).
- [10] Kubo, Y., Shizuki, B. and Takahashi, S.: Watch Commander: A Gesture-based Invocation System for Rectangular Smartwatches using B2B-Swipe, *Proc. UIST '16 Adjunct*, pp.37–39 (2016).
- [11] Kubo, Y., Shizuki, B. and Tanaka, J.: B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel, *Proc. CHI '16*, pp.3852–3856 (2016).
- [12] Lafreniere, B., Gutwin, C., Cockburn, A. and Grossman, T.: Faster Command Selection on Touchscreen Watches, *Proc. CHI '16*, pp.4663–4674 (2016).
- [13] Laput, G., Xiao, R., Chen, X.A., Hudson, S.E. and Harrison, C.: Skin Buttons: Cheap, Small, Low-powered and Clickable Fixed-icon Laser Projectors, *Proc. UIST '14*, pp.389–394 (2014).
- [14] Oakley, I. and Lee, D.: Interaction on the Edge: Offset Sensing for Small Devices, *Proc. CHI '14*, pp.169–178 (2014).
- [15] Oakley, I., Lee, D., Islam, M.R. and Esteves, A.: Beats: Tapping Gestures for Smart Watches, *Proc. CHI '15*, pp.1237–1246 (2015).
- [16] Ogata, M. and Imai, M.: SkinWatch: Skin Gesture Interaction for Smart Watch, *Proc. AH '15*, pp.21–24 (2015).
- [17] Pasquero, J., Stobbe, S.J. and Stonehouse, N.: A Haptic Wristwatch for Eyes-free Interactions, *Proc. CHI '11*, pp.3257–3266 (2011).
- [18] Perrault, S.T., Lecolinet, E., Eagan, J. and Guiard, Y.: WatchIt: Simple Gestures and Eyes-free Interaction for Wristwatches and Bracelets, *Proc. CHI '13*, pp.1451–1460 (2013).
- [19] Roth, V. and Turner, T.: Bezel Swipe: Conflict-free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices, *Proc. CHI '09*, pp.1523–1526 (2009).
- [20] Serrano, M., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: Bezel-Tap Gestures: Quick Activation of Commands from Sleep Mode on Tablets, *Proc. CHI '13*, pp.3027–3036 (2013).
- [21] Weigel, M., Lu, T., Bailly, G., Oulasvirta, A., Majidi,

- C. and Steimle, J.: iSkin: Flexible, Stretchable and Visually Customizable On-Body Touch Sensors for Mobile Computing, *Proc. CHI '15*, pp.2991-3000 (2015).
- [22] Xia, H., Grossman, T. and Fitzmaurice, G.: NanoStylus: Enhancing Input on Ultra-Small Displays with a Finger-Mounted Stylus, *Proc. UIST '15*, pp.447-456 (2015).
- [23] Xiao, R., Laput, G. and Harrison, C.: Expanding the Input Expressivity of Smartwatches with Mechanical Pan, Twist, Tilt and Click, *Proc. CHI '14*, pp.193-196 (2014).
- [24] Zhang, Y. and Harrison, C.: Tomo: Wearable, Low-Cost Electrical Impedance Tomography for Hand Gesture Recognition, *Proc. UIST '15*, pp.167-173 (2015).
- [25] Zhang, Y., Zhou, J., Laput, G. and Harrison, C.: Skin-Track: Using the Body As an Electrical Waveguide for Continuous Finger Tracking on the Skin, *Proc. CHI '16*, pp.1491-1503 (2016).
- [26] 福本雅朗, 外村佳伸: 指鉤: 手首装着型コマンド入力機構, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.389-398 (1999).
- [27] 青山周平, 阿部哲也, 志築文太郎, 田中二郎: ThumbSlide: 親指スライドジェスチャによるスマートウォッチ操作手法, 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.79-84 (2015).
- [28] 中島崇之, 三浦元喜: フレームタップ操作によるタブレット入力拡張方式の検討, インタラクシオン2012, 一般社団法人情報処理学会, pp.361-366 (2012).
- [29] 横田智大, 橋田朋子: 肌を介した超音波伝送によるハンドジェスチャ及びタッチの認識, インタラクシオン2016, 一般社団法人情報処理学会, pp.893-894 (2016).
- [30] 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, 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).
- [31] 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).
- [32] 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).



久保 勇貴 (学生会員)

2016年筑波大学情報学群情報メディア創成学類卒業。現在, 同大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻博士前期課程在学中。2016年より科学技術振興機構(JST) ACT-I 研究者。ヒューマンインタフェースに関する研究に興味を持つ。



志築 文太郎 (正会員)

1994年東京工業大学理学部情報学科卒業。2000年同大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻博士課程単位取得退学。博士(理学)。現在, 筑波大学大学院システム情報系准教授。ヒューマンインタフェースに関する研究に興味を持つ。日本ソフトウェア科学会, ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会各会員。



田中 二郎 (正会員)

1975年東京大学理学部卒業。1977年同大学大学院理学系研究科修士課程修了。1984年米国ユタ大学大学院計算機科学科博士課程修了。ユタ大学では関数型プログラミング言語の並列実装に関する研究に従事。Ph.D. in Computer Science。1985年から1988年に(財)新世代コンピュータ技術開発機構にて並列論理型プログラミング言語の研究開発に従事。1993年から2016年まで筑波大学に勤務。2016年から早稲田大学情報生産システム研究科教授。ヒューマンインタフェース全般, プログラミング言語の設計や実装, 未来の情報環境の構築に興味を持つ。ACM, IEEE, 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会各会員。