

ターゲット内に両端が存在するスワイプジェスチャの設計と評価

八箇 恭平 磯本 俊弥 志築 文太郎 高橋 伸

タッチ入力には、入力語彙が限られているという問題が存在する。この問題を解決するために、本研究では新たなジェスチャとしてターゲット内スワイプを設計した。本操作は、ターゲットに対するスワイプのうち、スワイプの両端がターゲット内となるジェスチャである。我々は、ターゲット内スワイプの実用可能性を調べるために3つの実験を行った。これらの結果から、ユーザがターゲットに対してスワイプを行った時に偶発的にターゲット内スワイプが発生する確率は0.8%であり、またターゲット内スワイプの成功率は96.7%であった。さらに、我々はターゲットに対するタップとターゲット内スワイプの識別可能性について調査した結果、97.4%の確率で両者を識別できることが分かった。

One of the drawbacks of the touch input is limited input vocabulary. To address this problem, we designed a new touch gesture: bounded swipe. Bounded swipe is a swipe gesture that has start and end points inside a target object. We conducted three experiments to test the feasibility of this gesture. The experimental results showed that, when the user swiped normally on a target object, the probability of the accidental occurrence of a bounded swipe was 0.8%. Moreover, the accuracy of bounded swipe was 96.7%. We also investigated the accuracy when distinguishing between a tap and a bounded swipe and found that the two gestures could be distinguished accurately 97.4% of the time.

1 はじめに

タッチ入力が可能なモバイル端末(以降、タッチ端末)を操作する時、ユーザは指を用いて入力を行う。しかし、このタッチ入力には入力語彙、すなわち、入力可能な操作の種類、が限られているという問題が存在する。特に、スマートフォンの片手操作時には複数本の指を用いたジェスチャであるマルチタッチジェスチャの実行が困難であるため、より入力語彙は限られる。入力語彙を拡張することができれば、ユーザが頻繁に利用する機能へのショートカットを設けることや、片手操作時には実行しにくいマルチタッチジェ

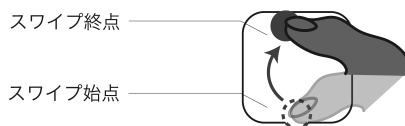


図1 ターゲット内スワイプ [5]. スワイプの始点と終点がターゲットの内側に存在する。

スチャの代替手段として利用することが可能となり便利である。

本研究においては、入力語彙が限られているという問題を解決するために、図1に示すような、スワイプの両端がターゲットの内側に存在するスワイプ(以降、ターゲット内スワイプ)を新しいジェスチャとした。従来のスワイプは、ユーザが画面をタッチしてから、続けて指をいずれかの方向に動かし、その後指を画面から離すことによって実行されるジェスチャと定義されていた。我々は、ユーザがターゲットに対してスワイプを行った時、その終点がターゲットの外側であれば従来のスワイプ、終点がターゲットの内側であればターゲット内スワイプとすることにより入力

Design and Evaluation of Swipe Gesture Inside a Target.

Kyohei Hakka, Toshiya Isomoto, Buntarou Shizuki and Shin Takahashi, 筑波大学コンピュータサイエンス専攻, Department of Computer Science, University of Tsukuba.

コンピュータソフトウェア, Vol.37, No.4(2020), pp.50-63. [研究論文] 2020年6月1日受付.

語彙を拡張する。この拡張は、ユーザが画面上のターゲットに対して、スワイプの終点を考慮せずにスワイプを行う時、そのスワイプの終点がほとんどターゲットの外側となることを利用している。また、タッチダウンイベントとタッチアップイベントの位置のみを利用してターゲット内スワイプと従来のスワイプとを識別することが可能であるため、タッチ端末に追加のハードウェアを導入することなく、本拡張を実装することが可能である。

ただし、ターゲット内スワイプを新たな入力語彙として利用するためには、既存のジェスチャと競合が発生しにくいこと、およびユーザがターゲット内スワイプを十分な成功率で実行できることが必要である。そのため、我々はまず、ユーザが終点を考慮せずにターゲットに対してスワイプを行った時に、スワイプの終点がターゲットの内側となる可能性(すなわち、偶発的にターゲット内スワイプが発生する確率)を調査した。その後、ユーザが意図した時に、ターゲット内スワイプを実行できるか調査した。また、現在スマートフォンやタブレット端末にて用いられている主要なOSであるiOSやAndroid OSにおいては、タッチダウンイベントとタッチアップイベントが同一のターゲット内にて発生した場合にはタップとして認識される。しかし、この認識方法は、ターゲット内スワイプの認識方法と同じであるため、競合が発生する。そのため、我々は実験にて、ユーザがターゲットに対して実行したタップの調査を行い、指の移動距離、およびジェスチャの所要時間を利用して、タップとターゲット内スワイプの識別可能性について調査した。本論文においては、我々はターゲット内スワイプに対して行った3つの実験の詳細を述べ、また実験結果からターゲット内スワイプが新しい入力語彙として有望であることを示す。さらに、ターゲット内スワイプによって実現可能となるアプリケーションの提案、およびターゲット内スワイプに関する議論を行う。

なお、本論文の内容は、[5] [6] に、各実験の詳細、およびターゲット内スワイプの角度やユーザビリティに関する議論を加えたものである。

2 関連研究

我々と同様に、タッチ入力における入力語彙が限られているという課題を背景として、これまでに多くの入力語彙を拡張するための手法が提案されている。我々は、これまでに提案された手法を、タッチに付随する情報を用いた手法、偶発的に発生することが少ない指の動作を用いた手法、タッチ部位や手の形状の識別を用いた手法、タッチ端末周辺における手指の動きを用いた手法、およびタッチダウンイベントとタッチアップイベントの位置を利用した手法に分類した上で、本操作を位置づける。

2.1 タッチに付随する情報を用いた手法

タッチ入力にて、一般的に利用される情報であるタッチ座標に加えて、タッチに付随する他の情報を用いた手法が提案されている。これらには、タッチ面積 [1]、タッチの強さ [11] [17]、タッチした指の角度 [25] [26]、タッチ時に発生する音 [7]、タッチ時に発生する振動 [13] が用いられている。タッチに付随する情報を用いた手法は、製品にも搭載されており、例えばiPhoneの3D TouchやHuawei Mate SのForce Touchはタッチの強さを用いて入力を拡張する。

これらの手法は入力の所要時間を大きく増加させることなくタッチ入力の語彙の拡張が可能である。一方、タッチ座標以外のタッチに付随する情報を利用するため、既存のタッチジェスチャとは異なる操作をユーザに要求する。対して、ターゲット内スワイプは、一般的に利用されているタッチジェスチャであるスワイプと似たジェスチャでありながら、入力語彙の拡張が可能である。

2.2 偶発的に発生することが少ない指の動作を用いた手法

偶発的に発生することが少ない指の動作を、新たなジェスチャとして用いることによって、タッチ入力の語彙を拡張する研究も行われている。Bezel-Swipe [21] は、タッチ端末のベゼルからターゲットへのスワイプ、B2B-Swipe [14] は、タッチ端末のベゼルからベゼルへのスワイプである。Ta-Tap [10] は、離れた2点

に対する連続的なタップである。さらに, Beats [19] は, 2本の指を用いた, 同時, もしくは連続的なタップである。MicroRolls [22] は, 親指にて画面をタッチしながら, その親指を回転させるジェスチャである。

我々のターゲット内スワイプは, これらの手法にて用いられるジェスチャと同様に偶発的に発生することが少ない, すなわち, 既存のジェスチャとの競合が発生しにくいジェスチャである。また, Bezel-Swipe および B2B-Swipe と同様にスワイプの入力語彙を拡張する。ただし, Bezel-Swipe においてはスワイプの始点, B2B-Swipe においては始点もしくは終点をスクリーンのベゼルに限定した一方, ターゲット内スワイプは, 始点と終点をターゲット内に限定するという点で異なる。

2.3 タッチ部位や手の形状の識別を用いた手法

タッチに用いられた体の部位や手の形状を識別することによってタッチ入力語彙を拡張する研究も行われている。PalmTouch [15] は, タッチ面積とタッチ座標を用いてユーザが手のひらにて画面に触れたことを識別する手法であり, 手のひらを用いたタッチを新しいジェスチャとする。ScraTouch [12] は, 爪と指の電気的特性が異なることを利用して, 爪によるタッチを識別する手法であり, 爪を用いたジェスチャによって入力語彙を拡張する。TriTap [4] は, ユーザが親指, 人差し指, または中指にてスマートウォッチにタッチした時の画面と指の接触面積や接触部分の形状を利用して, タッチが行われた指を識別する手法であり, タッチが行われた指に応じて操作を切り替えることにより入力語彙を拡張する。また, Touch + Finger [16] は, 指に3軸加速度センサを取り付け, タッチ前, もしくはタッチ中の手指の形状を識別することによって, その形状に応じた操作を可能にしている。

これらの手法は, タッチが行われる部位や手の形状に応じて操作を切り替えることによってタッチ入力語彙を拡張できる。ターゲット内スワイプの実行時には, タッチを行う部位や手の形状が考慮されないため, これらの手法と共存する, あるいは組み合わせることが可能であると考えられる。

2.4 タッチ端末周辺における手指の動きを用いた手法

タッチ端末周辺における手指の動きを認識し, それらの動きとタッチを組み合わせたジェスチャによって入力語彙を拡張する手法も提案されている。AirPanels [8] は, ユーザがスマートフォンを把持している手の親指, あるいはスマートフォンを把持していない手による空中ジェスチャを用いた操作を可能にしている。また, Thumbs-Up [9] は, 画面上空の親指の動きを認識することによって, 画面上空におけるスワイプやスクロールを可能にし, 入力語彙を拡張する手法である。Seiら [23] は, 指輪型デバイスを用いてスマートフォン背面のユーザの人差し指の動きを認識させることによって入力語彙を拡張する手法を提案している。

これらの手法は, タッチ端末周辺における手指の動きを認識するために, 追加のハードウェアやセンサを利用する。一方, ターゲット内スワイプはタッチパネルから得られる情報のみを利用するため, ターゲット内スワイプは追加のハードウェアやセンサを必要としない。

2.5 タッチダウンイベントとタッチアップイベントの位置を利用した手法

ターゲット内スワイプと同様に, タッチダウンイベントとタッチアップイベントの位置を利用して, 入力語彙を拡張する手法も提案されている。Renら [20] は, スタイラスを用いて入力を行う時の, タッチしている状態とタッチしていない状態, およびターゲットとのクロッシングを組み合わせた6つのジェスチャを提案している。一方, ターゲット内スワイプはターゲットに対するスワイプのうち, クロッシングを伴わないジェスチャであり, Renら [20] が提案したジェスチャとは異なる。また, Fruchardら [3] はラップトップコンピュータのタッチパッドの領域を市松模様状に区分けし, タッチダウンイベントが発生した領域とタッチアップイベントが発生した領域の組み合わせによって様々なコマンドの実行を可能とする手法であるMarkPadを提案している。一方, ターゲット内スワイプは, 同一のターゲットにてタッチダウン

イベント、タッチアップイベントが発生した時に実行されるジェスチャである。

3 ターゲット内スワイプ

ターゲット内スワイプ(図1)は、ターゲットに対して行われたスワイプのうち、その両端がターゲット内に存在するジェスチャである。なお、ターゲットに対するスワイプは、日本語フリックキーボードやパイメニュー等に用いられている入力手法である。我々は、スワイプの終点がターゲットの内側か外側かを区別することによって、ターゲット内スワイプと従来のスワイプを識別し、これによってターゲットに対するスワイプの入力語彙を拡張する。

しかし、ターゲット内スワイプはユーザが終点を考慮せずにターゲットに対してスワイプを行った時に、その終点がターゲットの内側となる場合には誤って実行される。さらに、同一ターゲット上にてタッチダウンイベント、およびタッチアップイベントが発生するジェスチャとしてはタップが存在するため、タップとターゲット内スワイプは競合する可能性がある。そのため、本研究においては、ユーザのターゲットに対するスワイプ、および、タップとターゲット内スワイプとの識別可能性を調査する。

4 実験1:ターゲットに対するスワイプの調査

ターゲット内スワイプは、ユーザがスワイプの終点の位置を考慮せずに、ターゲットに対してスワイプを行った時に、その終点がターゲットの外側になるという前提のもと設計されている。そのため、我々はまず、ユーザがターゲットに対してスワイプを行った時の偶発的なターゲット内スワイプの発生率を調査するための実験を行った。

4.1 参加者と実験環境

参加者は、普段スマートフォンを右手にて操作している研究室外の大学生および大学院生の8人(21-23歳、平均22.3歳、男性7人、女性1人、右利き6人、左利き2人)であった。実験にはスマートフォンとしてiPhone 6s(iOS 12、138.3mm×67.1mm)を用いた。全ての参加者には、実験のタスクを行っている間

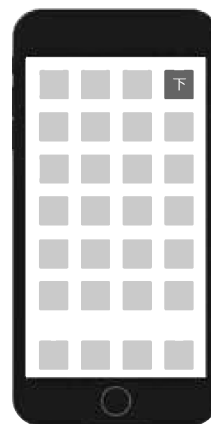


図2 実験に用いたアプリケーションの画面 [5]。アイコンは4列×7行に配置されている。実験時にはターゲットとなっているアイコンのみが表示され、スワイプすべき方向が表示される。

椅子に深く腰掛けてもらった。

実験に用いたアプリケーションの画面を図2に示す。実験画面には28個(4列×7行)のアイコンを配置した。我々は、このアイコンのサイズと位置を、通常設定時のiPhone 6sのホーム画面に表示されるアイコンのサイズ(9.3mm×9.3mm)と位置と同じにした。我々は、本操作の適用対象としてパイメニューおよび日本語フリックキーボードを考えており、そのターゲットサイズはアイコンと同程度であると考えたためこのサイズとした。なお、この画面において最下段のみベゼルとアイコンの間隔が狭いが、我々はホーム画面におけるアイコン上にて行うショートカットを本操作の適用対象の1つとして考えたため、その間隔もiPhone 6sのホーム画面と同じにした。

4.2 タスクと実験手順

タスクは、ターゲットに対するスワイプである。図2に示した実験画面のように、28個のアイコンのうち1個がターゲットとして表示された。ターゲットとなったアイコンは濃い青色で塗りつぶされ、スワイプすべき方向(上下左右のいずれか)が文字にて表示される。なお、ターゲット以外のアイコンは表示されない。参加者には、ターゲットに対して、ターゲットに表示されている方向にスワイプを行ってもらった。我々は参加者に、スワイプの速度や距離について

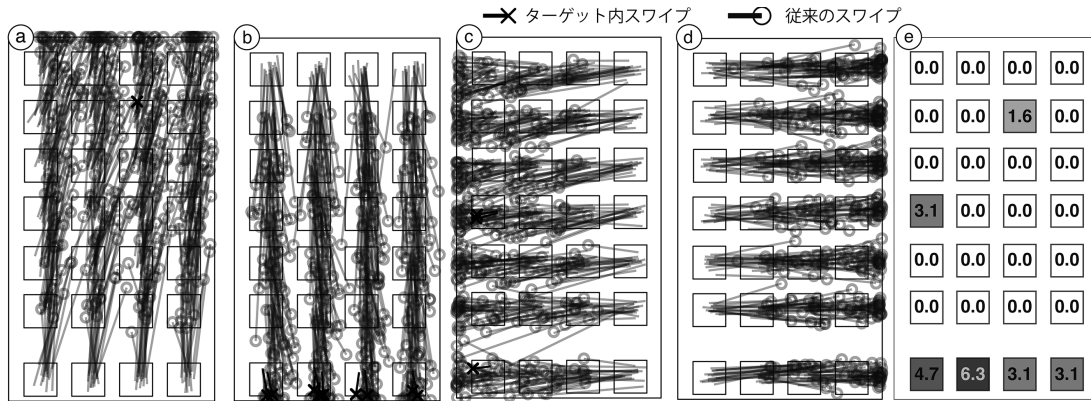


図3 実験1の結果。a：上向き，b：下向き，c：左向き，d：右向きのスワイプの軌跡。○は従来のスワイプの終点，×はターゲット内スワイプの終点である。終点から伸びる直線は，各スワイプの始点と終点を結ぶ直線である。
e：ターゲットの位置ごとのターゲット内スワイプの発生率(%) [5]。外側の矩形は iPhone 6s の画面を，内側の矩形はターゲットを表す。

は何も伝えず，ターゲットに表示される方向にスワイプを行うことのみを伝えた。これは，参加者が日常的に行っているスワイプを調査するためである。

全てのターゲット(4×7=28個)に対して1度ずつスワイプを行うことを1セッションとした。参加者は，2つの把持姿勢(両手操作：左手にスマートフォンを把持し右手の人差し指にてスワイプ，片手操作：右手にスマートフォンを把持し右手の親指にてスワイプ)にて，それぞれ4セッションずつスワイプを行った。なお，我々は参加者を2群に分け，把持姿勢の順序を入れ替えた。ターゲットは各セッションにてランダムな順に選択され，スワイプの方向は上下左右の4方向から4セッションにてランダムな順に選択される。つまり，参加者は各把持姿勢ごとに4セッションを通じて，全てのターゲットに対し4方向全てのスワイプを1度ずつ行った。また，我々は各セッションの後に1分間の休憩を設けた。実験の所要時間は1人につき約30分であった。実験終了後，参加者は830円を謝金として受け取った。

4.3 結果

我々は，計1,792回(8人×28回×4セッション×2把持姿勢)のターゲットに対するスワイプを収集した。ターゲットごとの全てのスワイプの軌跡を図3a-dに，ターゲットごとのターゲット内スワイプの発生

率(すなわち，スワイプの両端がターゲットの内側となった率)を図3eに示す。

全スワイプのうち，ターゲット内スワイプとなったのは0.8%(14回)であった。この結果から，ユーザがターゲットに対してスワイプを行った時に多くのスワイプの終点はターゲットの外側となることがわかる。また，今回発生したターゲット内スワイプは，上方向では両手操作時に1回，下方向では片手操作時に3回，両手操作時に7回，左方向では片手操作時に2回，両手操作時に1回であった。独立変数を把持姿勢およびスワイプの方向とし，従属変数をターゲット内スワイプの発生率として反復測定二元配置分散分析を行った結果，スワイプの方向に主効果が存在した($F_{3,48} = 4.30, p < .01$)。しかし，事後多重比較として行った Tukey の HSD 検定によると有意な差は存在しなかった(全て $p > .05$)。

なお，図3eからわかるように，最下段のターゲットに対しては，意図せずターゲット内スワイプが発生しやすいことがわかる。本実験において最下段のターゲットに対しては，計11回のターゲット内スワイプが発生していたが，そのうち10回は下方向のスワイプを行った時に，残り1回は左方向のスワイプを行った時に発生した。つまり，最下段のターゲットに対する下方向のスワイプは，64回行われており，そのうち10回(15.6%)が意図せずターゲット内スワイ

プとなった。このため、下方向のターゲット内スワイプを端末下部のターゲットに対して用いることは避けるべきであると言える。

また、スワイプの平均距離は、上方向のスワイプにて 22.0 mm, 下方向にて 20.9 mm, 左方向にて 19.2 mm, 右方向にて 18.4 mm であった。従属変数をスワイプの距離として、反復測定二元配置分散分析を行った結果、スワイプの方向に主効果が存在した ($F_{3,18} = 23.28, p < .001$)。Tukey の HSD 検定の結果、下方向と右方向 ($p < .05$)、上方向と左方向 ($p < .001$)、上方向と右方向 ($p < .001$) の間に有意差が存在した。この結果から、上下方向のスワイプは左右方向のスワイプに比べてスワイプの距離が長いことがわかる。これは、スマートフォンの画面比が影響していると考えられる。

5 実験 2：ターゲット内スワイプの性能調査

実験 1 の結果から、ユーザがターゲットに対してスワイプを行った時には、偶発的なターゲット内スワイプが発生しにくいことがわかった。一方、ユーザがターゲット内スワイプを実行した時の成功率は明らかとなっていない。そこで、我々はユーザがターゲット内スワイプを実行した時の成功率を調査するために実験を行った。

5.1 参加者と実験環境

参加者は、普段スマートフォンを右手にて操作している研究室外の大学生および大学院生の 8 人 (20–23 歳, 平均 21.0 歳, 全員が男性, 全員が右利き) であった。我々は、実験端末として実験 1 と同様に iPhone 6s (iOS 12, 138.3 mm × 67.1 mm) を用いた。全ての参加者には、実験のタスクを行っている間椅子に深く腰掛けてもらった。実験に用いられたターゲットのサイズ、位置は実験 1 と同じである。

5.2 タスクと実験手順

タスクは、ターゲット内スワイプの実行である。ターゲットとなったアイコンにはスワイプすべき方向 (上下左右のいずれか) が文字にて表示される。我々は参加者に、画面に表示されたターゲットに対して、

スワイプの両端がターゲットの内側となるような短いスワイプ (ターゲット内スワイプ) を実行するように伝えた。

全てのターゲット (4 × 7 = 28 個) に対して 1 度ずつターゲット内スワイプを行うことを 1 セッションとした。参加者は、実験 1 と同じ 2 つの把持姿勢 (片手操作, および両手操作) にてタスクを行った。各把持姿勢の最初のセッションの前に練習として 1 セッションを行った後、本番として 4 セッションを行った。なお、我々は参加者を 2 群に分け、把持姿勢の順序を入れ替えた。ターゲットはランダムな順にて表示され、スワイプの方向も同様に上下左右の 4 方向からランダムな順にて表示される。なお、参加者は各把持姿勢ごとに本番の 4 セッションを通じて、全てのターゲットに対し 4 方向全てのスワイプを 1 度ずつ行った。参加者はスワイプを実行した後、ターゲット内スワイプが成功または失敗したことをそれぞれ異なる音によってフィードバックを得た。また、我々は各セッションの後に 1 分間の休憩を設けた。実験の所要時間は 1 人につき約 30 分であった。実験終了後、参加者は 830 円を謝金として受け取った。

5.3 結果

全スワイプ 1,792 回 (8 人 × 28 回 × 4 セッション × 2 把持姿勢) の軌跡を図 4a–d に、ターゲット内スワイプの成功率を図 4e に示す。収集したスワイプのうち、成功したターゲット内スワイプは 1,733 回であり、成功率は 96.7% であった。成功率は、上方向のスワイプでは片手操作時に 96.9%、両手操作時に 94.6%、下方向では片手操作時に 93.3%、両手操作時に 91.1%、左方向では片手操作時に 99.1%、両手操作時に 100%、また右方向では片手操作時に 99.6%、両手操作時に 99.1% であった。成功率に対して、把持姿勢とスワイプ方向を独立変数として反復測定二元配置分散分析を行った結果、有意な主効果は存在しなかった (全て $p > .05$)。この結果から、ターゲット内スワイプは片手操作、および両手操作のどちらにおいても、また上下左右のスワイプの方向によらず実行可能なジェスチャであることがわかる。

成功したターゲット内スワイプの平均距離は、

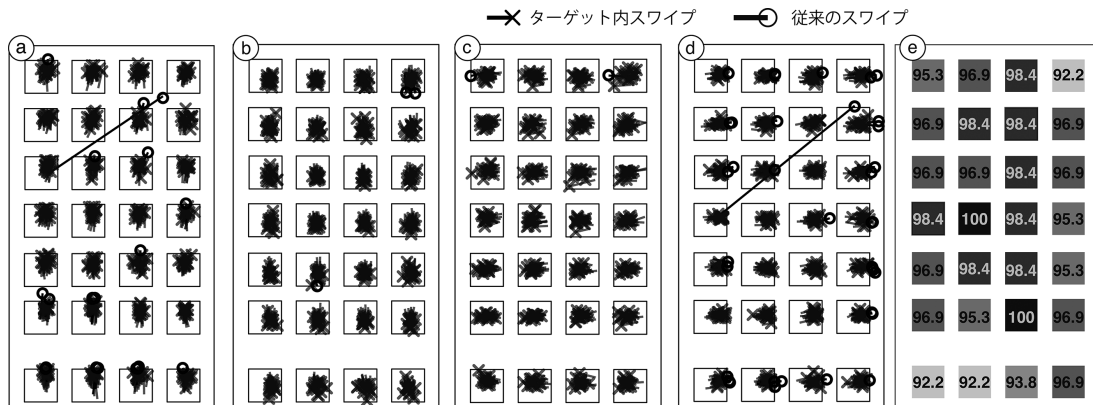


図4 実験2の結果. a: 上向き, b: 下向き, c: 左向き, d: 右向きのスワイプの軌跡. ○は従来のスワイプの終点, ×はターゲット内スワイプの終点である. 終点から伸びる直線は, 各スワイプの始点と終点を結ぶ直線である. e: ターゲットの位置ごとのターゲット内スワイプの成功率 (%) [5]. 外側の矩形は iPhone 6s の画面を, 内側の矩形はターゲットを表す.

3.2 mm (SD = 1.0 mm) であり, この距離はターゲットサイズの 33.8% である. ターゲット内スワイプの平均距離に対して, 把持姿勢とスワイプ方向を独立変数として反復測定二元配置分散分析を行った結果, スワイプ方向に有意な主効果が存在した ($F_{3,18} = 8.18, p < .01$). Tukey の HSD 検定の結果は, 上方向と下方向 ($p < .001$) および上方向と左方向 ($p < .05$) に有意な差が存在した. つまり, 上方向のターゲット内スワイプ (3.3 mm) は, 下方向 (3.0 mm) および左方向 (3.1 mm) のターゲット内スワイプに比べて指の移動距離が長いことがわかる. しかし, これらの差は, 0.3 mm 以下であり, 僅かである. そのため, ターゲット内スワイプはスワイプ方向によらず, スワイプの距離が同程度となるジェスチャである. ただし, ターゲット内スワイプの距離は, ターゲットサイズによって影響を受ける可能性があるため, 今後調査する必要がある.

成功したターゲット内スワイプの所要時間, すなわち, タッチダウンイベントが発生してからタッチアップイベントが発生するまでの時間は, 0.33 秒 (SD = 0.17 秒) であった. 所要時間に対して, 反復測定二元配置分散分析を行った結果, 把持姿勢, スワイプ方向のいずれにも有意な主効果は存在しなかった (全て $p > .05$). 一方, 実験 1 にて取得した従来のスワイプの所要時間である 0.17 秒 (SD = 0.09 秒) と,

Welch の t 検定を用いて比較した結果, 有意な差が存在した ($t_{2860.6} = 33.496, p < .001$). この結果から, 従来のスワイプは, ターゲット内スワイプに比べて速いジェスチャであると考えられる. なお, 他のジェスチャと比較すると, 一般的に用いられているジェスチャであるロングタップおよびダブルタップの認識には, 例えば iPhone においてはそれぞれ 0.5 秒という閾値, および 0.25 秒という入力待機時間が用いられる. つまり, ターゲット内スワイプは, 従来のスワイプよりも遅いジェスチャであるが, ロングタップよりも速く, ダブルタップと同程度に速いジェスチャであると考えられる.

6 実験 3: タップの調査

実験 1 および実験 2 の結果から, ターゲット内スワイプは, 従来のスワイプとの競合が発生しにくく, さらに実行した時の成功率が高いジェスチャであることがわかった. ただし, タッチダウンイベントとタッチアップイベントが同一のターゲット内にて発生するジェスチャとしては, ターゲット内スワイプの他にタップが存在する. そのため, ターゲット内スワイプとタップは, 互いに競合するジェスチャとなり得る. そこで, 我々はユーザがターゲットに対して実行したタップのデータを収集することにより, タップとターゲット内スワイプの識別可能性を調査する.

6.1 参加者と実験環境

我々は、実験端末として、実験1および実験2と同じく iPhone 6s (iOS 12, 138.3 mm × 67.1 mm) を用いた。普段スマートフォンを右手にて操作している研究室内の大学生および大学院生の8人 (22–24歳, 平均22.6歳, 全員が男性, 全員が右利き) がボランティアとして参加した。全ての参加者には、実験のタスクを行っている間椅子に深く腰掛けてもらった。実験にて用いられたターゲットのサイズおよび位置は実験1および実験2と同じである。

6.2 タスクと実験手順

タスクは、ターゲットに対するタップの実行である。ターゲットとなったアイコンは、濃い青色にハイライトされた。我々は参加者に、画面に表示されたターゲットに対してタップを行うように伝えた。

参加者は、実験1および実験2と同じ2つの把持姿勢 (片手操作, および両手操作) にて、それぞれ全てのターゲット ($4 \times 7 = 28$ 個) に対して1度ずつタップを行った。なお、我々は参加者を2群に分け、把持姿勢の順序を入れ替えた。実験の所要時間は1人につき約5分であった。

6.3 結果

我々は、合計448回のタップ (8人 × 28回 × 2把持姿勢) を収集した。各ターゲットごとの全てのタップを図5aに示す。また、ターゲット内スワイプは指の移動を伴うジェスチャであるため、タップのうち、指の移動距離が0.0 mmであるものとは容易に識別可能であると考えられる。そのため、指の移動距離が0.0 mmではなかったタップを抽出し図5bに示す。なお、指の移動距離が0.0 mmではなかったタップは44回 (9.82%) であった。

指が移動した44回のタップにおける指の移動距離は1.7 mm (SD = 0.7 mm) であり、実験2において収集したターゲット内スワイプにおける指の移動距離3.2 mm (SD = 1.0 mm) よりも短い。さらに、指が移動した44回のタップの所要時間は0.09秒 (SD = 0.03秒) であり、実験2において収集したターゲット内スワイプの所要時間0.33秒 (SD = 0.17秒) よりも短

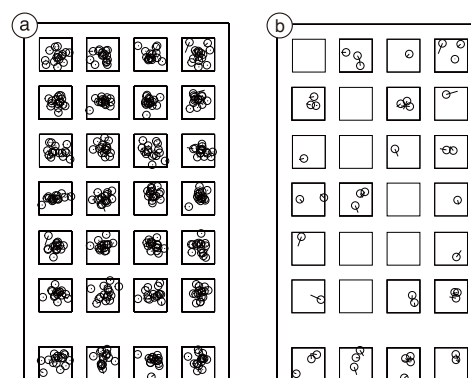


図5 実験3にて収集したタップ。a: 全てのタップ, b: 指の移動距離が0.0 mmではなかったタップ (44回) がプロットされている。円は最後に触れていた点であり、円から伸びる直線は、指が最初に触れた点と最後に触れた点を結ぶ直線である。

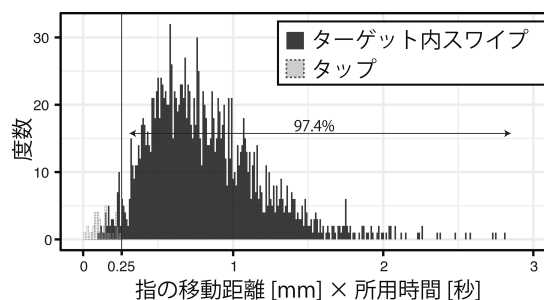


図6 横軸を指の移動距離 × ジェスチャの所用時間としたヒストグラム。横軸の値は0.01刻みである。ターゲット内スワイプのデータは実験2, タップのデータは実験3の結果である。

い。ただし、指の移動距離あるいは所要時間のみを利用してタップとターゲット内スワイプを識別することは、両者ともSDが大きいため困難である。そこで、我々は指の移動距離 × 所要時間を利用して、タップとターゲット内スワイプの識別可能性を調査した。図6に横軸を指の移動距離 × 所要時間としたヒストグラムを示す。指の移動距離が0.0 mmではなかったタップにおいては、指の移動距離 × 所要時間の最大値は0.25であった。一方、指の移動距離 × 所要時間が0.25以下であったターゲット内スワイプは、実験2にて成功したターゲット内スワイプ (1,733回) のうち2.6% (45回) であった。つまり、指の移動距離と所要時間を用いることによって、97.4%のターゲット

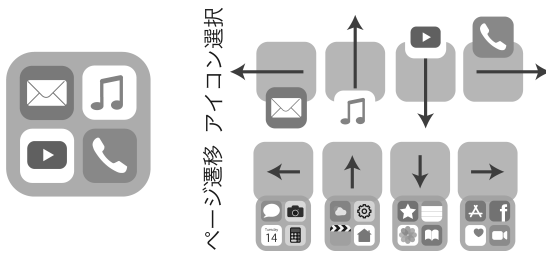


図7 アイコンフォルダに対するショートカット [5].
従来のスワイプによってアイコン選択, ターゲット内スワイプによってフォルダのページ遷移が可能である.

ト内スワイプをタップとは異なるものとして識別可能である. この結果から, タップとターゲット内スワイプは, 指の移動距離と所用時間を利用することにより, ほとんど競合することなく共存できる可能性がわかった.

7 応用例

本節にて, ターゲット内スワイプの応用例を示す.

7.1 アイコンフォルダに対するショートカット

スマートフォンにおいて頻繁に用いるアプリケーションを起動しやすくするために, ユーザは, 各アプリケーションに対応するアイコンをホーム画面に配置する. また, 多くのアイコンをホーム画面に配置する場合には, 1つのフォルダにいくつかのアイコンをまとめる(図7左). ただし, このフォルダに含まれるアイコンの数が増えると, フォルダのページ数が増える. この場合, フォルダ内のアプリケーションを起動するには, ユーザはフォルダをタップして開いた後, 再び対象のアイコンを探してタップする必要がある. この時, 選択対象となるアイコンが別のページに存在する場合には, フォルダのページをスワイプによって遷移させ, その後にアイコンをタップする必要がある. 一方, ターゲット内スワイプをアイコンフォルダに対して適用すると, フォルダを開くことなく, 1回の従来のスワイプまたはターゲット内スワイプにてフォルダ内のアイコンの選択(図7右上), またはページ遷移(図7右下)が可能となる.



図8 日本語フリックキーボードの拡張. ターゲット内スワイプによって特殊文字の入力が可能である.

7.2 日本語フリックキーボードの拡張

日本語フリックキーボードでは, ユーザが選択したキーの上下左右に各母音に対応した文字が表示され, ユーザはスワイプを行うことによって各文字を入力する. しかし, 濁音, 半濁音, および小文字の入力をする時には文字を入力した後, 特殊文字に変換するためのキーを押す必要がある. これに対して, 我々は図8に示す形状のキーボードとターゲット内スワイプを用いることにした. このキーボードにおいては, 従来のスワイプにて清音文字が, 同方向のターゲット内スワイプにてその濁音文字等の特殊文字が入力される. また, 指を移動させた後, もう一度キーの中央に指を戻してから再びスワイプを行うと半濁音等の特殊文字が入力されるようにした. このキーボードによって, ユーザは特殊文字を一度のジェスチャにて入力することが可能となる. ただし, このキーボードの性能については, 今後調査を行う必要がある.

7.3 英語キーボードの拡張

iPhoneに内蔵されている英語キーボードにおいては, ユーザはキーをロングタップすることによって, そのキーに関連する文字のリストを表示することが可能である. 例えば, ユーザが「i」キーをロングタップすると, 「i», 「j», 「i̇», 「i̇», 「i̇», および「i」キーがリストとして表示される. そのため, これらのキーを入力するためには, ユーザはキーをロングタップした後, リストとして表示された文字の中から対象のキーをタップによって選択する必要がある. しかし, この入力方法はロングタップに加えてタップの入力が必要となるため, 時間がかかる. これに対して, 我々は図9に示すようなキーボードを設計した. こ



図9 英語キーボードの拡張 [5]. 1度のタップもしくはスワイプによる文字入力が可能である。

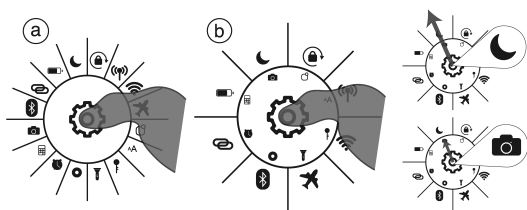


図10 パイメニューの拡張. a: パイメニューに対して16種のコマンドを追加した例. b: ターゲット内スワイプを組み合わせると16種のコマンドを追加した例.

のキーボードにおいては、ユーザはターゲット内スワイプと従来のスワイプによってそれぞれ異なる文字を入力することが可能である。

7.4 パイメニューの拡張

パイメニューは、複数のメニュー項目を高速に選択可能とする点において有用である [2]。しかし、多くの項目を一つのパイメニューに表示させるには、個々の項目の角度を小さくする必要があるので、操作が困難となる (図 10a)。一方、ターゲット内スワイプに別の項目を割り当てることによって角度に関する分割数を増やすことなく項目を追加することが可能となる (図 10b)。

8 議論と今後の課題

本節では実験結果を今後の課題を含めて議論する。

8.1 ユーザの状態の影響

今回我々が行った実験は、全てユーザが椅子に座っている状態にて行われた。しかし、タッチ端末はユーザが立っている、あるいは歩行している時にも利用される。そのため、ユーザの状態によるターゲット内スワイプへの影響を調査する必要がある。例えば、Ng

ら [18] は、歩行時におけるタップの性能を調査し、歩行時にはエラー率が上昇することを明らかにしている。この実験においては、タップ時の指の移動距離は調査されていないが、歩行時には、タップ時の指の移動距離も長くなると考えられる。さらに、ターゲット内スワイプもタップと同様に、ターゲットに対するジェスチャであるため、ユーザの状態による成功率への影響が存在すると考えられる。

また、今回我々が行った実験において、参加者の全員が若かった。しかし、特に、高齢のユーザにおいては、スワイプやタップ時の指の移動距離が異なることが考えられる。そのため、高齢のユーザに対してもターゲット内スワイプのユーザビリティを調査する必要がある。

8.2 ターゲットサイズの影響

ターゲット内スワイプの入力には、ターゲットの縁を横切らないような短いスワイプが必要とされるため、ターゲットのサイズによってはターゲット内スワイプを実行できない可能性がある。今回実験にて使用したターゲットのサイズは、スマートフォンのホーム画面に表示されるアイコンと同じサイズである。我々はターゲット内スワイプの適用対象に合わせてこのサイズにて実験を行った。しかし、今後は Apple のガイドライン^{†1}に示されている推奨最小ターゲットサイズ (6.9 mm × 6.9 mm) のような小さなターゲットに対してターゲット内スワイプの実行が可能であるか調査する必要がある。なお、実験2にて収集したターゲット内スワイプの平均スワイプ距離は 3.2 mm であったことから、最小ターゲットサイズのターゲットにおいてもターゲット内スワイプの実行は可能であるとされるものの、成功率に影響があると考えられる。

^{†1} <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/visual-design/adaptivity-and-layout/>

8.3 スマートウォッチにおけるターゲット内 スワイプの利用

今回の実験は、いずれもスマートフォンを用いて行われている。しかし、スマートフォンと同様にタッチ入力可能な端末として、スマートウォッチがある。スマートフォンと比べてスマートウォッチの表示領域は狭く、さらにユーザはスマートフォンとは異なり、スマートウォッチを手首に装着して用いる。この様な場合に、ターゲット内スワイプの実行が可能であるか、調査を行う必要がある。

8.4 画面のベゼルに接するターゲットに対する ターゲット内スワイプ

現実装では従来のスワイプとターゲット内スワイプとの識別を、ターゲットの縁をスワイプがクロッシングするかのみによって行っている。しかしタッチ端末において、画面の外側にて発生したタッチを検出することはできないため、ターゲットが画面のベゼルと接している場合、スワイプの終点がターゲットの内側であるか、あるいはターゲットの外側(すなわち、画面の外側)であるか区別することができない。そのため、この実装では、画面のベゼルに接するターゲットにおいては、ターゲット内スワイプの識別が不可能である。

この問題を解決するために、我々は B2B-Swipe の識別器の実装 [14] と同様にスワイプの速度も識別に利用することを考えている。例えば、図 11a-d に示すように、実験 2 において、ユーザがターゲット内スワイプを実行した時にはスワイプの終点とターゲットの縁との間には、上方向のターゲット内スワイプでは平均 2.7 mm、下方向では平均 3.7 mm、左方向では平均 4.2 mm、および右方向では平均 2.3 mm の距離があった。この結果から、ターゲット内スワイプを実行した際にはユーザはターゲットの縁より手前で指を止めていることがわかる。一方、図 3a-d から分かるように、画面のベゼルに近いターゲットに対して従来のスワイプを行う時には、スワイプは画面のベゼルまで続く。これらから、ターゲット内スワイプ実行時には、スワイプは減速し、一方従来のスワイプ実行時にはスワイプは減速しないと考えられるため、スワ

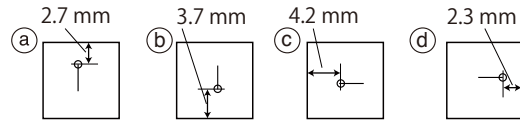


図 11 各方向のターゲット内スワイプの終点とターゲットの縁との平均距離. a: 上, b: 下, c: 左, d: 右方向のターゲット内スワイプ.

イプの速度を利用して、画面のベゼルと接するターゲットに対するスワイプを識別できると考えられる。

8.5 ターゲット内スワイプの角度の影響

我々は、上下左右の 4 方向のターゲット内スワイプの成功率を実験 2 にて調査した。この結果、ターゲット内スワイプの成功率は 96.7% となり、高い成功率にて実行可能なジェスチャであることが示された。しかし、上下左右の 4 方向以外、例えば斜め方向へのターゲット内スワイプを実行した時の成功率は明らかとなっていない。そのため、我々が応用例として示した、日本語フリックキーボードやパイメニューにて利用しているような斜め方向のターゲット内スワイプの成功率を今後調査する必要がある。

一方、我々はワークショップ^{†2}にて図 8 に示す日本語フリックキーボードのデモを行った。約 30 人の参加者が、このデモアプリケーションにて文字入力を行ったが、全員が斜め方向へのターゲット内スワイプを実行でき、かつ従来のスワイプとターゲット内スワイプを使い分けて文字を入力した。このことから、斜め方向に対してもターゲット内スワイプの実行が可能であると考えられる。また、デモの際に複数の参加者が、斜め方向のターゲット内スワイプは上下方向に比べて実行しやすいと述べていたことから、スワイプの角度によってユーザビリティが異なる可能性が示唆される。

8.6 ターゲット内スワイプのユーザビリティ

今回我々は、ターゲット内スワイプは、ユーザが高い成功率で実行可能なジェスチャであることを示した。しかし、ターゲット内スワイプと従来のスワイプ

^{†2} [6] の発表時

を組み合わせることによる、ユーザビリティへの影響は明らかとなっていない。ターゲット内スワイプを実行する際には、ユーザはスワイプの終点を調整する必要があるため、従来のスワイプに比べて繊細な操作が必要となる。それにより、ターゲット内スワイプを導入することによりユーザビリティが低下する可能性がある。特に、ユーザの指が太い場合 [24] や指の爪が長い場合には、ポインティング性能が低下し、ターゲット内スワイプの成功率が低下する可能性がある。そのため、実際にターゲット内スワイプと従来のスワイプを組み合わせたアプリケーションを用いて、ユーザビリティの調査を行う必要がある。

9 おわりに

本論文にて、我々が示したターゲット内スワイプは、ターゲットに対するスワイプのうち、その両端がターゲットの内側に存在するという新しいジェスチャである。ターゲットに対するスワイプの調査を行った結果、ターゲット内スワイプは、偶発的な発生率が0.8%であり、さらに、ユーザはターゲット内スワイプを96.7%の成功率にて実行可能であった。また、タップとターゲット内スワイプの識別可能性を調査した結果、指の移動距離とジェスチャの所要時間を利用して、97.4%の確率で識別可能であった。これらの結果から、ターゲット内スワイプは偶発的には発生しにくく、また高い成功率で実行可能なジェスチャである可能性が示されている。そのため、ターゲット内スワイプは、既存のジェスチャとの競合が発生しにくく、タッチ入力の語彙を拡張できる可能性がある。

参考文献

- [1] Boring, S., Ledo, D., Chen, X. A., Marquardt, N., Tang, A., and Greenberg, S.: The Fat Thumb: Using the Thumb's Contact Size for Single-handed Mobile Interaction, in *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '12, New York, NY, USA, ACM, 2012, pp. 39–48.
- [2] Callahan, J., Hopkins, D., Weiser, M., and Shneiderman, B.: An Empirical Comparison of Pie vs. Linear Menus, in *Proceedings of the 1988 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '88, New York, NY, USA, ACM, 1988, pp. 95–100.
- [3] Fruchard, B., Lecolinet, E., and Chapuis, O.: MarkPad: Augmenting Touchpads for Command Selection, in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, 2017, pp. 5630–5642.
- [4] Gil, H., Lee, D., Im, S., and Oakley, I.: Tri-Tap: Identifying Finger Touches on Smartwatches, in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, 2017, pp. 3879–3890.
- [5] Hakka, K., Isomoto, T., Shizuki, B., and Takahashi, S.: Bounded Swipe: Swipe Gesture Inside a Target, in *Proceedings of the 31st Australian Conference on Human-Computer-Interaction*, OzCHI '19, New York, NY, USA, ACM, 2019, pp. 312–316.
- [6] 八箇恭平, 磯本俊弥, 志築文太郎: ターゲット内に両端が存在するスワイプジェスチャ, 第27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, WISS 2019, 日本ソフトウェア科学会, 2019, pp. 61–66.
- [7] Harrison, C., Schwarz, J., and Hudson, S. E.: TapSense: Enhancing Finger Interaction on Touch Surfaces, in *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, New York, NY, USA, ACM, 2011, pp. 627–636.
- [8] Hasan, K., Ahlström, D., Kim, J., and Irani, P.: AirPanels: Two-Handed Around-Device Interaction for Pane Switching on Smartphones, in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, 2017, pp. 679–691.
- [9] Hasan, K., Kim, J., Ahlström, D., and Irani, P.: Thumbs-Up: 3D Spatial Thumb-Reachable Space for One-Handed Thumb Interaction on Smartphones, in *Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction*, SUI '16, New York, NY, USA, ACM, 2016, pp. 103–106.
- [10] Heo, S., Gu, J., and Lee, G.: Expanding Touch Input Vocabulary by Using Consecutive Distant Taps, in *Proceedings of the 2014 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, 2014, pp. 2597–2606.
- [11] Heo, S. and Lee, G.: ForceDrag: Using Pressure As a Touch Input Modifier, in *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, OzCHI '12, New York, NY, USA, ACM, 2012, pp. 204–207.
- [12] 池松香, 山中祥太: ScraTouch: 静電容量方式タッチサーフェスにおける手指の爪を使用したタッチ入力拡張技法, 第27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, WISS 2019, 日本ソフトウェア科学会, 2019, pp. 85–90.
- [13] 池松香, 山中祥太, 坪内考太, 椎尾一郎: Copernican-Touch: タッチサーフェスを指へ向けて動かし接触させるタッチ入力拡張技法, コンピュータ ソフトウェア, Vol. 36, No. 3 (2019), pp. 20–32.

- [14] Kubo, Y., Shizuki, B., and Tanaka, J.: B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel, in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM, 2016, pp. 3852–3856.
- [15] Le, H. V., Kosch, T., Bader, P., Mayer, S., and Henze, N.: PalmTouch: Using the Palm As an Additional Input Modality on Commodity Smartphones, in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, ACM, 2018, pp. 360:1–360:13.
- [16] Lim, H., Chung, J., Oh, C., Park, S., Lee, J., and Suh, B.: Touch+Finger: Extending Touch-based User Interface Capabilities with “Idle” Finger Gestures in the Air, in *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, New York, NY, USA, ACM, 2018, pp. 335–346.
- [17] McCallum, D. C., Mak, E., Irani, P., and Subramanian, S.: PressureText: Pressure Input for Mobile Phone Text Entry, in *Proceedings of the 2009 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 4519–4524.
- [18] Ng, A., Brewster, S. A., and Williamson, J. H.: Investigating the Effects of Encumbrance on One- and Two- Handed Interactions with Mobile Devices, in *Proceedings of the 2014 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, 2014, pp. 1981–1990.
- [19] Oakley, I., Lee, D., Islam, M. R., and Esteves, A.: Beats: Tapping Gestures for Smart Watches, in *Proceedings of the 2015 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, 2015, pp. 1237–1246.
- [20] Ren, X. and Moriya, S.: Improving Selection Performance on Pen-Based Systems: A Study of Pen-Based Interaction for Selection Tasks, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 7, No. 3 (2000), pp. 384–416.
- [21] Roth, V. and Turner, T.: Bezel Swipe: Conflict-free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices, in *Proceedings of the 2009 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 1523–1526.
- [22] Roudaut, A., Lecolinet, E., and Guiard, Y.: MicroRolls: Expanding Touch-screen Input Vocabulary by Distinguishing Rolls vs. Slides of the Thumb, in *Proceedings of the 2009 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 927–936.
- [23] Sei, Y., Funakoshi, M., and Shizuki, B.: Expanding One-Handed Touch Input Vocabulary Using Index Finger on and Above Back-of-Device, in *Proceedings of the 31st Australian Computer-Human Interaction Conference*, OzCHI '19, New York, NY, USA, ACM, 2019, pp. 585–589.
- [24] Siek, K. A., Rogers, Y., and Connelly, K. H.: Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs, in *Proceedings of the 2005 IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT '05, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2005, pp. 267–280.
- [25] Wang, F., Cao, X., Ren, X., and Irani, P.: Detecting and Leveraging Finger Orientation for Interaction with Direct-touch Surfaces, in *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 23–32.
- [26] Wang, F. and Ren, X.: Empirical Evaluation for Finger Input Properties in Multi-touch Interaction, in *Proceedings of the 2009 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 1063–1072.



八箇 恭平

1996年生。2019年筑波大学情報学
群情報科学類卒業。2019年より同大
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。ヒューマンインタフェースに関する興
味を持ち、現在はスマートフォンの操作手法に関する
研究を行う。情報処理学会、ACM各学生会員。



磯本 俊弥

1995年生。2018年筑波大学情報学
群情報メディア創成学類卒業。2020
年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

士前期課程修了。同年同大学院システム情報工学研
究群情報理工学位プログラム博士後期課程在学中。
ヒューマンインタフェースに関する興味を持ち、現在
は視線に基づく操作手法に関する研究を行う。情報
処理学会、ACM各学生会員。



志築文太郎

1971年生。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、筑波大学システム情報系教授。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, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会各会員。



高橋 伸

1991年東京大学理学部情報科学科卒業。1993年同大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。1995年同博士課程中退。博士(理学)。1995年東京工業大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻助手。2004年筑波大学大学院システム情報理工学研究科コンピュータサイエンス専攻講師。現在、同大学システム情報系准教授。ユーザインタフェース・ユビキタスコンピューティングに興味を持つ。ACM, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。