

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うための  
のベゼル端を起点とするタッチパッド操作

漆山 裕太

修士（工学）

（コンピュータサイエンス専攻）

指導教員 志築 文太郎

2021年3月

## 概要

タッチパッド上にてコマンドを実行できれば、ユーザはポインタによる操作を行った後に、続けてタッチパッド上から手指を移動させることなく様々な追加の操作ができる。ただし、ユーザがコンピュータを用いた作業を行う際には、単にコマンドを実行するのみならず、その後にコマンドに関連する値を制御する作業を伴う場合がある。本論文では、タッチパッドのベゼル端を起点とするスワイプをコマンドの実行に割り当て、その後のタッチパッド上における指の移動量に基づいて値の制御を行うタッチパッド操作手法を提案する。これにより、ユーザは音量や光量などの連続的な値の制御およびメニュー選択などのフィードバックを含む対話的な制御をアプリケーション上にてタッチパッド上から手指を移動させることなく実行できる。本論文では、本手法の利用可能性を調査すべく、日常的なラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の予備調査、統制下におけるラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の調査および意図したベゼル端を起点とするタッチパッド操作の調査を行った。これらの実験を通して、1) 識別アルゴリズムに適切なパラメータを設定すれば偶発的なベゼル端を起点とするタッチパッド操作の誤検出率を一定の割合未満に抑えられること、2) ラップトップコンピュータ使用時にはユーザがポインタを操作中のアプリケーション上に概ね留めること、および3) スワイプ中の2点のタッチイベントのみを用いる単純な識別方法でも意図して行われたベゼル端を起点とするスワイプを85%識別でき、かつ日常的なラップトップコンピュータ使用時の偶発的なベゼル端を起点とするスワイプの識別率を3.6%に抑えられることがわかった。したがって、本手法によるコマンドの実行と制御がユーザにより意図して起動可能であることが示された。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	タッチパッド操作の入力語彙を増やす試み . . . . .	1
1.2	タッチパッド操作の入力語彙における問題点 . . . . .	2
1.3	本研究の目的とアプローチ . . . . .	2
1.4	本論文の貢献 . . . . .	4
1.5	本論文の構成 . . . . .	4
<b>第2章</b>	<b>関連研究</b>	<b>5</b>
2.1	タッチパッド操作の拡張 . . . . .	5
2.2	コマンドの継ぎ目ない実行と制御 . . . . .	6
2.3	コンピュータ操作のショートカット . . . . .	7
2.4	タッチパネル操作におけるベゼル端の利用 . . . . .	8
2.5	関連研究に対する本研究の位置付け . . . . .	9
<b>第3章</b>	<b>コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチ パッド操作手法</b>	<b>10</b>
3.1	設計 . . . . .	10
3.2	実装 . . . . .	12
3.3	実用例 . . . . .	13
<b>第4章</b>	<b>日常的なラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の予備調 査</b>	<b>16</b>
4.1	実験設計 . . . . .	16
4.2	実験結果 . . . . .	17
4.3	実験における限界 . . . . .	19
<b>第5章</b>	<b>統制下におけるラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の 調査</b>	<b>20</b>
5.1	実験設計 . . . . .	20
5.1.1	実験参加者 . . . . .	20
5.1.2	実験機器 . . . . .	21
5.1.3	タスク . . . . .	21

5.1.4	実験手順 . . . . .	23
5.2	実験結果 . . . . .	25
5.2.1	ストロークの速度および経路長についての累積分布 . . . . .	25
5.2.2	ベゼル端を起点とするスワイプとして検出される割合 . . . . .	28
5.2.3	ポインタと操作中のアプリケーションウインドウとの位置関係 . . . . .	28
5.3	実験における限界 . . . . .	30
<b>第 6 章</b>	<b>意図したベゼル端を起点とするタッチパッド操作の調査</b>	<b>31</b>
6.1	実験設計 . . . . .	31
6.1.1	実験参加者 . . . . .	31
6.1.2	実験機器 . . . . .	31
6.1.3	タスク . . . . .	31
6.1.4	実験手順 . . . . .	33
6.2	実験結果 . . . . .	33
6.2.1	ストロークの速度および経路長についての累積分布 . . . . .	33
6.2.2	ベゼル端を起点とするスワイプとして検出される割合 . . . . .	37
6.2.3	実験参加者が難しいと感じたスワイプの方向 . . . . .	40
6.3	実験における限界 . . . . .	40
<b>第 7 章</b>	<b>議論</b>	<b>43</b>
7.1	異なる検出アルゴリズム . . . . .	43
7.2	未検証のパラメータ . . . . .	43
7.3	視覚的ヒント . . . . .	43
7.4	手法の使用感 . . . . .	44
7.5	手元を見ない場合の操作性 . . . . .	44
<b>第 8 章</b>	<b>まとめ</b>	<b>45</b>
	謝辞	46
	参考文献	47
<b>付 録 A</b>	<b>実験の際に用いた各種書類</b>	<b>56</b>
A.1	承諾書 . . . . .	57
A.2	実験同意書 . . . . .	58
A.3	ビデオ画像の公開についての同意書 . . . . .	61
A.4	タスクに関する説明書 . . . . .	62
A.5	第 5 章の実験にて用いたアンケート . . . . .	66
A.6	第 6 章の実験にて用いたアンケート . . . . .	72

# 目次

1.1	コンピュータを用いた作業におけるコマンドの実行とその後の値の制御の例. それぞれ a: 音楽の再生速度の調整, b: イコライザの調整, c: 画像に対する フィルタのパラメータ調整, および d: ペンツールのパラメータ調整および透 過度の調整 . . . . .	3
3.1	コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチ パッド操作の概要. a: タッチパッド 4 辺いずれかのベゼル端を起点とするス ワイプにより, コマンドの実行と制御を行うタッチジェスチャを開始する. b: タッチパッド上に指を触れたまま水平方向および垂直方向に指を動かすこと により, コマンドに関する対話的な制御を行う. c1: タッチパッド上から指を離 すことにより, (b) の対話的な制御による入力を確定する. c2: 起点となった ベゼル端へと指を戻すことにより, (b) の対話的な制御による入力を破棄する.	11
3.2	ジェスチャ識別器の状態遷移図. 緑色にて示した 3 状態 (Began, Changed お よび Ended) へと遷移した際に, 起点となったベゼル端の位置および起点から の垂直方向ならびに水平方向への移動量が算出される. . . . .	12
3.3	音量調整への応用例. この例では, アプリケーション上に配置された音の入出 力を制御するコンテキストメニューを表示するための既存のボタンに対して, 本手法によるスピーカおよびマイクの音量調整へのショートカットを追加して いる. . . . .	13
3.4	動画再生アプリケーションへの応用例. この例では, 早戻しまたは早送りする 速度を対話的に制御する機能を追加している. . . . .	14
3.5	描画アプリケーション上でのメニュー選択への応用例. この例では, ユーザに より編集可能なオブジェクト (図中央の星) に対して, ジオメトリに対する操 作 (図左側のメニュー) あるいはレイヤに対する操作 (図右側のメニュー) と いった, 特定の機能に関連するメニュー項目を個別のメニューに分類してユー ザに提示している. . . . .	15
4.1	タッチイベント発生点が 10 × 14 の縦横に分割した各領域に含まれる個数を示 したヒートマップ. 濃い色ほどタッチイベントが多かった領域を, 薄い色ほど タッチイベントが少なかった領域を示している. . . . .	18

4.2	平日3日間にユーザがタッチパッド上にて実行したストロークの分布. 矢印の始点は指が触れたタッチイベントの検出位置を, 終点は指が離されたタッチイベントの検出位置を示しており, 途中経路は線形にて補完されている. また, 矢印はユーザ毎に色づけされている. 図中にて赤色の四角形の枠により囲った箇所は, タッチイベントの始点がタッチイベントとして検出可能なタッチパッド上の位置の4辺端に位置している部分を示す. . . . .	19
5.1	統制下における実験に用いた機器. ラップトップコンピュータのインカメラに鏡固定具を取り付けている. . . . .	22
5.2	統制下における実験環境. 感染症等への対策のため, 実験者と実験参加者との間にはアクリル板によるパーティションを設置し, 適宜消毒液およびアルコールウェットタオルを用いた消毒を実施した. . . . .	24
5.3	実験にて記録されたストロークの速度に対する累積分布. 全スワイプ中の50%は27.28 mm/sよりも遅く, 95%は137.42 mm/sよりも遅かった. . . . .	26
5.4	実験にて記録されたストロークの経路長に対する累積分布. 全ストローク中の50%は17.44 mmよりも短く, 95%は59.39 mmよりも短かった. . . . .	27
5.5	式3.1のパラメータ $n$ および $\tau$ の組み合わせに対して, 実験より得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合. ここで, $n \in \{x x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$ および $\tau \in \{0.01x x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$ である. また, 図中の等高線は0.01刻みである. . . . .	29
6.1	タスク中の画面の概観. a: 指定されたターゲットが赤色にて表示される. b: ポインタを指定されたターゲットに重ねるとターゲットが黄色になり, ターゲット中心に上下左右いずれかの矢印が表示される. . . . .	32
6.2	実験にて記録されたストロークの速度に対する累積分布. 全ストローク中の50%は212.04 mm/sよりも遅く, 95%は561.69 mm/sよりも遅かった. . . . .	34
6.3	実験にて記録されたストロークの経路長に対する累積分布. 全ストローク中の50%は35.65 mmよりも短く, 95%は128.75 mmよりも短かった. . . . .	35
6.4	第5章(図中 <i>Scenario-Based</i> ) および第6章(図中 <i>Target-Acquisition</i> ) にて得られたストロークの持つ属性に対する比較. . . . .	36
6.5	式3.1のパラメータ $n$ および $\tau$ の組み合わせに対して, 意図して行われたストロークが実際にベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合. ここで, $n \in \{x x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$ および $\tau \in \{0.01x x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$ である. また, 図中の等高線は0.01刻みである. . . . .	38
6.6	ベゼル端を起点とするスワイプが意図して実行可能かつ意図しない誤判定を抑えられる割合. ここで, $n \in \{x x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$ および $\tau \in \{0.01x x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$ である. また, 図中の等高線は0.01刻みである. . . . .	39

- 6.7 ターゲットの出現位置毎に実験参加者が難しいと感じたベゼル端を起点とする  
 スワイプの方向および難しさの程度。図中の正方形は各ターゲットに対応し  
 ており，正方形の中心を起点とする上下左右の矢印は各ターゲットの上下左右  
 へのスワイプに対する点数の総和を示す。矢印の長さは，各実験参加者および  
 セッション毎のアンケートにて報告された難しいと感じたスワイプの方向と個  
 数に基づく点数の総和に比例する。 . . . . . 41
- 6.8 方向毎の点数の分布。箱ひげ図の上端は第三四分位数から第三四分位数と第一  
 四分位数との差の 1.5 倍を足した値までに含まれる値のうち最も大きい値を，  
 下端は第一四分位数から第三四分位数と第一四分位数との差の 1.5 倍を引いた  
 値までに含まれる値のうち最も小さい値を示す。また，ウィルコクソンの順位  
 和検定によるボンフェローニ補正を用いた多重比較にて，有意水準 1% に対し  
 て有意な差が示されたペアには  $p$  値を付記した。 . . . . . 42

# 表目次

4.1	予備調査における各実験参加者および実験参加者の用いた端末毎の内蔵タッチパッドの属性. . . . .	16
5.1	ラップトップコンピュータの用途のカテゴリとその説明の一覧. 各カテゴリは <b>Beauvisage</b> による日常生活におけるコンピュータの用途の調査 [Bea09] に基づいて決定した. . . . .	21
5.2	表 5.1 に示すコンピュータの用途のカテゴリに対応する, あらかじめインストールされたアプリケーションの一覧. . . . .	23
5.3	日常的なコンピュータの用途として利用率の高いカテゴリに対応する作業を網羅するように設計した計 12 のタスクを一連して行うシナリオ. . . . .	25

# 第1章 はじめに

ポインタの移動および選択操作を行うためにラップトップコンピュータに内蔵されるポインティングデバイスの代表例として、タッチパッドが挙げられる。タッチパッドを用いることにより、ユーザはラップトップコンピュータに外付けのポインティングデバイスを接続することなく、GUI 上に表示されるポインタを用いた操作を行うことができる。また、近年のラップトップコンピュータに内蔵されるタッチパッドは複数指を検出できるため、複数指を用いたマルチタッチジェスチャによるコマンドの実行が可能である。タッチパッド上にてコマンドを実行できれば、ユーザはポインタによる操作を行った後に、続けてタッチパッド上から手指を移動させることなく様々な追加の操作ができる。追加の操作のためにキーボードを併用する操作ではキーボードとタッチパッドとの間にて手指を移動させる必要があり、メニューバーやツールバーといったグラフィカルユーザインタフェース (GUI) を併用する操作では操作の対象と GUI との間にてポインタを移動させる必要がある。したがって、これらの操作と比較してタッチパッド上にてコマンドを実行する操作を実現することにより、効率よくコンピュータを用いた作業を進められる可能性がある。そのため、タッチパッド上にて多種多様なコマンドを実行できるようにする試みが数多くなされてきた。

本章では、まずタッチパッド上にて多種多様なコマンドを実行できるようにする先行の試みについて概説する。次に、それらの試みでは未解決であるタッチパッド上におけるコマンドの実行が抱える問題点を示す。その後、本研究の目的および問題解決のためのアプローチを示す。そして、本論文の貢献を記した後、本論文の構成を示す。

## 1.1 タッチパッド操作の入力語彙を増やす試み

本研究では、タッチパッド上にて実行可能な操作の種類を入力語彙と称する。タッチパッド操作の基本的な入力語彙にはシングルタッチジェスチャがある。1本の指を用いてタッチパッド上に触れるタップや指を軽く押し込むクリックによりポインタの選択操作が、1本の指をタッチパッド上に触れたまま上下左右に素早く滑らせるフリックや継続して移動させるスワイプによりポインタの移動操作がそれぞれ実行可能である。これらの入力語彙に加えてさらなる入力語彙を増やす試みは、複数指でのマルチタッチジェスチャをはじめとして数多くなされてきた。例えば、複数指でのマルチタッチジェスチャにおいては、タッチパッド上に触れた2本以上の指の間隔を開いたり閉じたりするジェスチャによりズーム操作が、タッチパッド上に触れた2本以上の指を特定の位置を中点として回転させるジェスチャにより回転操作がそれぞれ実行可能である。Apple 社はラップトップコンピュータのタッチパッドに、

タッチした際の押下圧を検出できる機能である感圧タッチ [App20c] を搭載することにより、強い押下圧による押し込みを用いて辞書の検索やファイルの内容閲覧を行う操作を実現した。Fruchard ら [FLC17] は、タッチパッドの4辺上のある位置から別のある位置まで指をスライドさせて多様なショートカットを実行する手法を提案した。Nakamura・Shizuki [NS20] は、機械学習により親指とそれ以外の指とを識別し、それぞれの指にて異なる操作を行う手法を示した。上記の例に限らない数多くの先行した試みにより、今日において、タッチパッド上にて多種多様なコマンドを実行することが可能となった。

## 1.2 タッチパッド操作の入力語彙における問題点

ユーザがコンピュータを用いた作業を行う際には、単にコマンドを実行するのみならず、その後コマンドに関連する値を制御する作業を伴う場合がある。例えば、音楽再生アプリケーションにおいて、ユーザは音楽を再生した後に再生速度を調整する (図 1.1a)、およびイコライザをかけた後に各音域のかかり具合を調整するといった操作 (図 1.1b) を行う。別の例では、画像編集アプリケーションにおいて、ユーザは画像にフィルタをかけた後にフィルタのかかり具合を調整する作業 (図 1.1c) や、ペンツールを選択した後にペンの太さ、色相、あるいは透過度を調整するといった作業 (図 1.1d) を行う。このような作業において、ユーザはメニューバーやボタンなどの GUI を操作する、タッチパッド上にてコマンドを実行する、あるいはキーボードショートカットを入力した後に、ポップアップや別ウインドウ上に表示されるスライダーやピッカーなどの GUI に再度ポインタを移動させて値を制御することが求められる。そのため、一連のコマンドの実行と制御のために複数の操作を行うことが要求される問題がある。特に、値の制御のためにポインタを移動させる必要がある場合、操作の対象と値の制御のための GUI との間のポインティング操作が余分に生じることとなり、タッチパッド上にてコマンドを実行できる優位性が損なわれてしまう。

一方で、既存のシステムでは、値の制御のために一定量ずつ値を増減させるコマンドを実行する方式が採られることがある。例えば、システムショートカットにおいて、ユーザは音量あるいは光量などの値に対応するキーボードのメディアキーを押下することにより調整できる。しかし、一定量ずつ値を増減させるコマンドを実行する方式では、一定量未満の細やかな増減や瞬時に多量の増減を行うことが困難である問題がある。

## 1.3 本研究の目的とアプローチ

本研究の目的は、前節にて述べた一連のコマンドの実行と制御に対するタッチパッド操作の入力語彙における問題を解決することである。これに対して、ユーザがコマンドの実行と値の制御をタッチパッド上から指を離さずに継ぎ目なく行えるようにすることを考えた。そこで、本論文では、タッチパッドのベゼル端を起点とするスワイプをコマンドの実行に割り当て、その後のタッチパッド上における指の移動量に基づいて値の制御を行うタッチパッド操作手法を提案する。このタッチパッド操作手法を用いることにより、ユーザはコマンドの

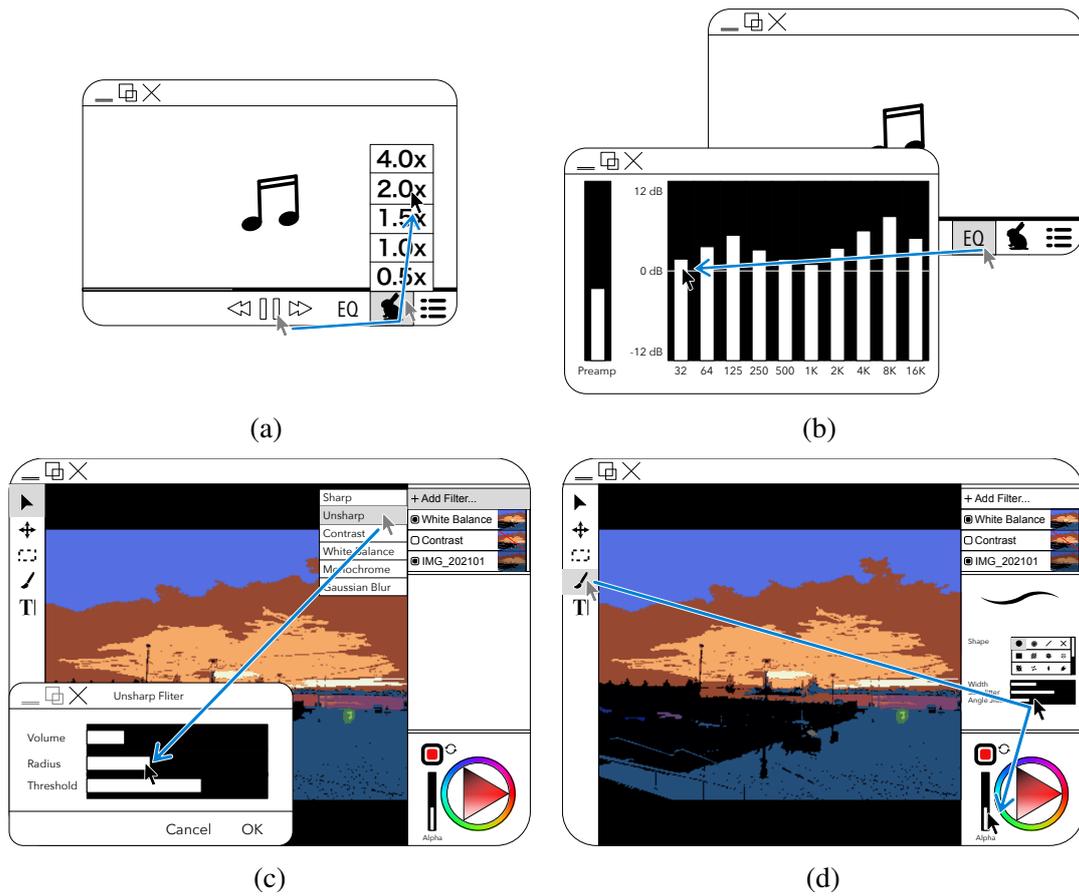


図 1.1: コンピュータを用いた作業におけるコマンドの実行とその後の値の制御の例。それぞれ a: 音楽の再生速度の調整, b: イコライザの調整, c: 画像に対するフィルタのパラメータ調整, および d: ペンツールのパラメータ調整および透過度の調整

実行と制御を一筆書きにて行うことができる。また、操作の対象にポインタを重ねる設計にすることにより、ユーザはコマンドの実行と制御を行う間にも操作の対象上にポインタを留められる。

## 1.4 本論文の貢献

本論文の貢献を以下に列挙する。

- コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチパッド操作手法を示した。
- ラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作を収集する実験を行い、ベゼル端を起点とするタッチパッド操作の利用可能性を示した。

## 1.5 本論文の構成

本論文の構成を述べる。第1章にて本論文の背景、研究の目的およびアプローチを述べた。第2章にて、本研究に関連する先行事例ならびに本研究の位置付けを述べる。第3章にて、コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチパッド操作手法を述べる。第4章では、日常的なラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作を収集する実験について議論する。続く第5章では、統制下におけるラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作を収集する実験について議論する。第6章では、意図的なベゼル端を起点とするタッチパッド操作を収集する実験について議論する。第7章では、前述する3つの実験結果を踏まえたタッチパッド操作手法の今後の課題を議論する。最後に第8章にて本研究のまとめを述べる。

## 第2章 関連研究

これまでに、ラップトップコンピュータのタッチパッド操作を拡張する手法およびコンピュータの操作時にコマンドの実行と制御を継ぎ目なく行うための操作手法が提案されている。また、コンピュータ操作において特定の機能呼び出すショートカットに関する先行研究が多数存在する。他にも、タッチパネル操作においてベゼル端を利用する事例が多数存在する。本章にて、これら先行事例の概要を示し、その後に関連研究に対する本研究の位置付けを述べる。

### 2.1 タッチパッド操作の拡張

複数指でのタッチを検出可能なタッチパッドを搭載する端末では、OS標準の3本あるいは4本の指でのタッチパッド操作により、デスクトップの表示、仮想デスクトップの切り替え、拡大縮小ならびに回転操作が可能である [App20a, Mic20b]。他にも、複数指を用いることにより入力語彙の拡張を行った研究がある。Masson ら [MGMC17] は、各指の先に取り付けた振動センサの値に基づいてタッチパッドに触れた指を識別する手法を提案した。Nakamura & Shizuki [NS20] は、相互容量方式のタッチパッドから取得したデータのみを用いて機械学習を行うことにより、親指とそれ以外の指とを識別する手法を示した。これらの手法を用いて、アプリケーション設計者は異なる指にて実行されるタッチジェスチャに対して、それぞれ異なるコマンドを割り当てることができる。Berthelley ら [BCA<sup>+</sup>15] は複数の指を用いる操作手法として SpotPad ならびに LociPad を提案した。これらは、モディファイアキーを押下した後にタッチパッド上の特定の位置を特定の本数の指を用いてタップすることによりショートカット操作を行う手法である。さらに、Berthelley ら [BCA<sup>+</sup>15] はタッチパッド上の複数の位置を複数の指にて触れることによるショートカット操作を行う手法である ChordPad を提案した。Ikematsu & Siio [IS17] は、タッチパッドの左端の領域に対するタッチをトリガとして、コンピュータ画面上のタッチパッドに対応する矩形領域に対して絶対座標での操作を可能にする手法を提案した。

一方で、指1本のタッチパッド操作を用いて入力語彙を拡張する手法も多数研究されている。Apple社が販売しているラップトップコンピュータおよび外付けのタッチパッドデバイスには、タッチした際の押下圧を検出できる機能である感圧タッチ [App20c] が搭載されている。この機能により、強い押下圧によるタッチパッド操作に対して通常の押下圧によるタッチパッド操作とは異なる処理を割り当てる事が可能である。Berthelley ら [BCA<sup>+</sup>15] は1本の指を用いる操作手法として InOutPad を提案した。これは、モディファイアキーの押下後にタッチパッドの特定の位置のベゼル端から別の位置のベゼル端へとスワイプ操作を行うこと

によりコマンド選択を行う手法である。Fruchardら [FLC17] はタッチパッド上におけるコマンドの実行手法として MarkPad を提案した。これは、タッチパッド4辺の特定の位置から別の位置まで指をスライドさせるジェスチャにより多様なショートカットを実行する手法である。Cuiら [CZL<sup>+</sup>19] はタッチパッド上におけるコマンドの実行手法として HotStrokes を提案した。これは、キーボードのモディファイアキーを押下しながらコマンド名の綴りに対応するキーをソフトウェアキーボード上にてなぞるように指を動かすことによりコマンドを実行する手法である。Ikematsu & Yamanaka [IY20] はタッチパッドの入力語彙を拡張する手法として ScraTouch を提案した。これは、相互容量方式のタッチパッドから取得できるシャント電流を用いて爪によるタッチパッド操作を識別することにより入力語彙を拡張する手法である。

この他にも、専用のハードウェアを用いて入力語彙を拡張する手法も研究されている。Choiら [CHK<sup>+</sup>11] は、赤外線測距センサレイによるタッチパッドを実装することにより空中の指をトラッキングし、タッチパッド上にて空中ジェスチャを入力可能にした。後に Choiら [CGHL12] は実装したタッチパッドを用いて、ホバージェスチャがユーザにとって既存のマルチタッチジェスチャと混同することなく簡単に実行できることを示した。Guら [GHH<sup>+</sup>13] は、光学測距センサレイを用いてキーボードの幅と同一の幅を持つタッチパッドを開発し、両手を用いたタッチパッド操作および左右方向へのスワイプ操作を容易にした。Ikematsu & Siio [IS18] は、導電性の物体を介した間接的なタッチパッド操作に対してインピーダンスを計測することにより、タッチパッド上に置かれた物体の識別および物体に実装した抵抗ならびにセンサを用いた光量、圧力あるいは温度の連続値としての取得を可能にした。また、Ikematsuら [IFS19] は、タッチパッド周辺に押下圧に応じて抵抗値が変化する回路を有するフィルムを貼り付け、フィルムの一部の電極をタッチパッド上に設置することにより、フィルムへの押下圧による追加の入力を可能にした。

## 2.2 コマンドの継ぎ目ない実行と制御

Pookら [PLVB00] はマウスやペン型デバイスを用いて継ぎ目なくコマンドの実行と制御が行えるメニューである Control Menus を提案した。この手法は、マウスやペン型デバイスをドラッグした方向に応じて項目を選択できるメニューである Marking Menu [Kur93] を拡張したものであり、メニュー項目の選択後にポインタの位置を動かすことにより対話的な制御を行えるようにした。Olafsdottir & Appert [OA14] は、複数指での操作時において連続した値の入力ができるマルチタッチジェスチャのデザインスペースを提案し、32種類のマルチタッチジェスチャに対する識別率およびユーザビリティをタブレット端末上にて検証した。

他にも、専用のハードウェアを用いる先行事例がある。Microsoft はディスプレイ上に置いて回すことにより音量、スクロール位置、ズームの拡大率などを対話的に制御できる円形デバイスである Surface Dial を開発した [Mic20a]。Apple 社は、使用中のアプリケーションに応じて継ぎ目なく値を制御するスライダを含むショートカットやコントロールボタンをユーザに提示する Touch Bar [App20b] を 2016 年以降のラップトップコンピュータの高性能モデルに搭載している。

## 2.3 コンピュータ操作のショートカット

視覚的表現を伴わないショートカットとして、単一あるいは複数のキーを打鍵することにより特定の機能呼び出すキーボードショートカットがある。例えば文書作成アプリケーションにおいてキーボードショートカットは熟練者にもほとんど活用されていないものの、アプリケーションのメニューやツールバーよりも効率よくタスクを実行できることが示されている [LNPS05]。

一方で、キーボードショートカットに対して、キーの組と割り当てられた機能との対応が覚えにくい点 [LNPS05, GDB07, CZL<sup>+</sup>19]、少数のキーの組により表現可能な語彙が限られる点 [FLC17] およびキーボード上に手指を移動させる必要がある点 [Kur93] が課題として指摘されている。そのため、これらの諸課題を解決するためのショートカット手法が多数提案されている。Grossman ら [GDB07] は、メニュー項目に対するキーボードショートカットを覚えやすくするためのメニュー設計を検討した。その結果、音声によるフィードバックあるいはキーボードショートカットのみのメニュー項目選択によりユーザがキーボードショートカットを早く学習することを明らかにした。Zheng ら [ZLAV18] は、キーボードの押下と余った指の姿勢に基づいてショートカット操作を行う FingerArc およびキーボードのキー1つを押下しながら他のキーを他の指にて押下することによりショートカット操作を行う FingerChord を提案した。Aceituno & Roussel [AR14] がドキュメントおよびアプリケーションのウィンドウを選択するためのインタフェースとして提案した HotKey Palette では、ディスプレイ上の仮想キーボードの各キーにドキュメントおよびアプリケーションのウィンドウへのショートカットが視覚的に表示される。Block ら [BGV10] は、キーボードのキートップを動的に変化させるシステムを提案し、プロジェクトによるプロトタイプを用いて使用中のアプリケーションに応じたメニューアイコンを表示することによりショートカットを視覚的に表示する方法を示した。Lewis ら [LdCV20] は、モディファイアキーを押下したときにディスプレイ上に対応するキーの位置にショートカットのコマンド名を表示する仮想キーボードを表示する視覚的インタフェースである KeyMap を提案した。これら4手法は、視覚的ヒントを見ながらショートカットの種類を実行以前に対話的に選択できる特長を持つ。Zheng & Vogel [ZV16] は、キーボード上のキーを押下する指の種類およびその他の指の形状を識別することにより多数の語彙を表現可能である Finger-Aware Shortcuts を提案した。Hopkins [Hop91] は、マウスをドラッグした方向に応じて項目を選択できるメニューである Pie Menu を提案した。Kurtenbach [Kur93] は、Pie Menu 同様にマウスやペン型デバイスをドラッグした方向に応じて項目を選択できることに加えて、それらの操作を都度メニュー項目を表示せずにドラッグした軌跡の形状のみにより実行可能なメニューである Marking Menu を提案した。Bau & Mackay [BM08] は、コマンドごとに異なる軌跡を対応させ、マウスをドラッグして軌跡をなぞることによりコマンドを実行する手法である OctoPocus を提案した。Appert & Zhai [AZ09] は、マウスをドラッグした軌跡の形状をメニュー選択のショートカットとして用いる方法を提示した。これら3手法ではマウスやペン型デバイスを把持したままメニュー選択ができるため、特定の機能呼び出すためにキーボード上に手指を移動させる必要がない利点がある。2.1 節にて前述したタッチパッド操作拡張手法の中にも、これらの課題を解決するショートカット手法が存在する。

Cui ら [CZL<sup>+</sup>19] はコマンド名の綴りをなぞるような指の動きをコマンドの実行に用いることにより、コマンドとキーボードショートカットとの対応を覚える必要をなくした。Fruchard ら [FLC17] はタッチパッド上のスワイプジェスチャの始点および終点の位置の組み合わせを用いることにより、多数の語彙を表現可能である。

タッチ検出が可能なテーブルトップインタフェースおよびタッチスクリーンを用いてショートカット操作を実現する手法も多数研究されている。Bailly ら [BLG10] は、メニュー選択を行うショートカット手法として、両手のタッチする指の本数の組み合わせを用いる *Finger-Count Shortcuts* および両手の指それぞれの単方向へのスワイプの組み合わせを用いるショートカット手法である *Radial-Stroke Shortcuts* を提案した。Go & Kasuga [GK12] は、左手の人差し指および中指にてタッチスクリーンに触れることをショートカットの開始操作として、右手にてタップした回数に応じてメニュー選択を行う *Multi-Tapping Shortcut* を提案した。Gutwin ら [GCS<sup>+</sup>14] は、親指にてタブレットのタッチスクリーン上に表示されるトリガボタンを押し下した後にタッチスクリーン上の別の位置を他の指にてタッチすることにより描画ツールや描画色の切り替えといった機能のショートカット操作を行う *FastTap* を開発した。Roudaut ら [RLG09] は、タッチスクリーン上にて指の位置を固定したままひねったり傾けたりするジェスチャである *MicroRolls* を提案した。Harrison ら [HSH11] は、接触時の音に基づいてタッチスクリーン上に触れた物体の種類および指の部位を識別するタッチインタラクション手法である *TapSense* を提案した。Huang ら [HTT<sup>+</sup>14] は、指先に装着した IMU から得られる指の姿勢に基づいて、タッチスクリーンに触れた指の腹の位置を推定することにより入力語彙を拡張する手法である *TouchSense* を提案した。Ghomi ら [GHB<sup>+</sup>13] は、複数の指の接触状態および伸縮の状態に基づいて動的に変化する視覚的ガイドを伴うマルチタッチ入力手法である *Arpège* を提案した。Heo ら [HGL14] は、タッチスクリーン上の異なる 2 点を短い時間に連続してタップする入力操作である *Ta-tap* を提案した。

この他にも、複数のデバイスを併用することによりショートカット操作を実現する手法も研究されている。Block & Gellersen [BG10] は、ラップトップコンピュータを利き手にて把持したマウスを用いて操作している際に、非利き手にてタッチパッドに触れる操作をショートカット入力として用いる手法を提案した。Baek ら [BJL<sup>+</sup>11] は、タッチスクリーン搭載のスマートフォンを用いて、ユーザによりカスタマイズ可能なコンピュータ操作のショートカット入力システムである *Fast Keypad* システムを提案した。

## 2.4 タッチパネル操作におけるベゼル端の利用

スマートフォンやスマートウォッチに代表されるモバイル端末には物理的な大きさの制約があるため、タッチスクリーン上に表示可能なボタンやスクロールバーといったグラフィカルユーザインタフェース (GUI) が限られる。そのため、小さなタッチスクリーン上での入力語彙を増加させるために、タッチパネル端からのスワイプを利用する研究がなされてきた。Roth & Turner [RT09] は、スマートフォン搭載のタッチスクリーンの 4 辺から操作対象へのスワイプにより複数選択、カット、コピー、ペーストなどの操作を行う操作手法である *Bezel*

Swipe を提案した。Roth & Turner はタッチスクリーン端からのスワイプを用いる理由として、ズーム操作やパン操作、タップなどの既存のタッチジェスチャと競合しないことを主張している。Bragdon ら [BNLH11] は Bezel Swipe を拡張し、スマートフォンのベゼル端を起点として途中にて上下左右に折れ曲がる Bezel Marks ジェスチャおよびスマートフォンのベゼル端を起点として自由な形状を描く Bezel Path ジェスチャを提案した。Bellino ら [BCDMDP16] が大画面ディスプレイをスマートフォンを用いて操作する手法として提案した Touch&Screen では、Bezel Swipe が大画面ディスプレイ上の操作対象の切り替えに利用されている。Jain & Balakrishnan [JB12] は、ベゼル端を起点とするタッチジェスチャに対して、モバイル端末上での手元を見ないアイズフリー操作への適用可能性を調査し、アイズフリー操作によるテキスト入力への実利用が可能であることを示した。Kubo ら [KST16b] は、スマートウォッチ搭載の矩形タッチスクリーンの4辺から4辺へのスワイプにより計16通りの入力語彙を追加する B2B-Swipe を提案し、後に B2B-Swipe を用いたコマンド実行手法として Watch Commander を提案した [KST16a]。Wong ら [WZYF20] は、スマートウォッチ搭載の円形タッチスクリーン端からのスワイプの利用可能性を調査し、機械学習モデルを用いた推定を行うことによりタッチスクリーン上のスワイプを開始した位置の検出精度を高められることを示した。Han ら [HLH<sup>+</sup>18] は、スマートウォッチ搭載のタッチスクリーンの4隅から中央へのスワイプによりフォントサイズや色の調整といったコマンドを選択し、続けて指を中央あるいはもとの4隅へと動かすことにより対話的にフォントサイズや色の調整を行う操作手法である PageFlip を提案した。

## 2.5 関連研究に対する本研究の位置付け

One-Stroke Control は指1本でのタッチジェスチャによる操作手法である。このため、先行のタッチパッド操作拡張手法のうち、One-Stroke Control 同様にタッチパッドのベゼル端を起点とするタッチパッド操作を用いる手法以外のすべての手法と併用可能であり、それらの手法が実現する多様な入力語彙に対して関連する値を制御する表現力を追加できる。また、One-Stroke Control はポインタ下にあるものに応じてタッチジェスチャに対するコマンドの割り当てが動的に変化する操作手法である。したがって、One-Stroke Control 同様にタッチパッドのベゼル端を起点とするタッチパッド操作を用いる手法とは併用不可能であるものの、ポインタ下にある操作対象に対して連続的な値の制御を要するか否かにより使用する操作手法を切り替えることが可能である。

他にも、One-Stroke Control はタッチパッドから取得される指の接触位置のみを用いて実装できる。そのため、特別なハードウェアを一切必要とせず、既存のタッチパッド搭載のラップトップコンピュータに適用できる利点を持つ。

## 第3章 コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチパッド操作手法

本章では，検討したコマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチパッド操作手法（One-Stroke Control）の設計および実装を示し，その後にシステムの実用例を述べる．

### 3.1 設計

Malacria らの研究 [MGBC16] により，日常的なラップトップコンピュータ使用時にユーザが行うタッチパッド操作はタッチパッドの中央付近およびその下部に分布すると報告されている．この報告に基づき，以下の仮説  $H_1$  を立てた：

$H_1$  ベゼル端を起点とするタッチパッド操作は偶発的に発生しにくい

仮説  $H_1$  に基づき，One-Stroke Control の設計にあたって既存のタッチジェスチャとの競合を避けるため，ベゼル端を起点とするスワイプをコマンドの実行と制御を行うタッチジェスチャの開始に用いることとした．ユーザは画面上に表示される操作の対象を見ながらラップトップコンピュータを操作するため，タッチパッドを操作する手元を見ずともタッチジェスチャを実行できることが望ましい．そこで，実行するコマンドの種類の識別のために，触覚により段差を感知できるタッチパッドの上下左右4辺のベゼル端を用いることにした．この場合，実行可能なコマンドの種類を5つ以上に増加させるには，操作の文脈に応じて動的に各辺に対するコマンドの割り当てを変更する必要がある．この課題を解決するにあたり，以下の仮説  $H_2$  を立てた：

$H_2$  ラップトップコンピュータ使用時にはユーザがポインタを操作中のアプリケーション上に概ね留める

仮説  $H_2$  に基づき，コマンドの実行と制御を行うタッチジェスチャの開始時に，ウインドウあるいはウインドウ上に配置されたボタン，または編集可能なオブジェクトにポインタが重なっている場合に，ポインタ下にあるものに応じてコマンドの割り当てを変更することとした．

One-Stroke Control の概要を図 3.1 に示す．ユーザはポインタがアプリケーションのウインドウ上，ウインドウ上に配置されたボタン上，または編集対象であるオブジェクト上に重なっ

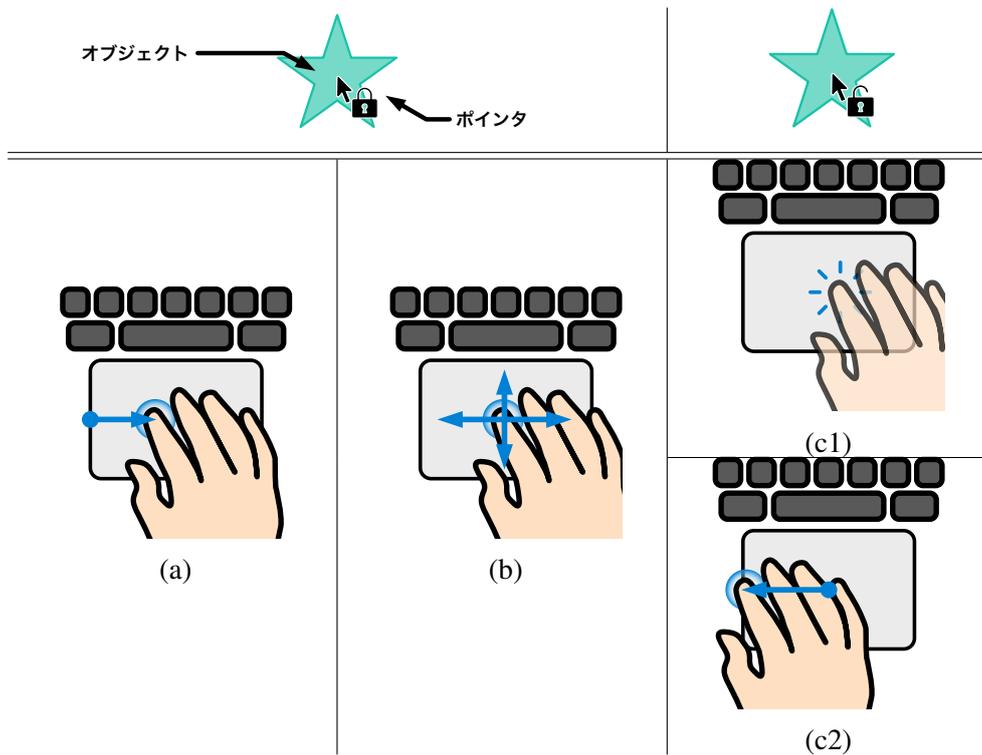


図 3.1: コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチパッド操作の概要. a: タッチパッド4辺いずれかのベゼル端を起点とするスワイプにより、コマンドの実行と制御を行うタッチジェスチャを開始する. b: タッチパッド上に指を触れたまま水平方向および垂直方向に指を動かすことにより、コマンドに関する対話的な制御を行う. c1: タッチパッド上から指を離すことにより、(b)の対話的な制御による入力を確定する. c2: 起点となったベゼル端へと指を戻すことにより、(b)の対話的な制御による入力を破棄する.

ている際に、タッチパッド4辺いずれかのベゼル端を起点とするスワイプにより、ポインタ下にあるものに応じたコマンドの実行と制御を開始する. ベゼル端を起点とするスワイプがシステムにより識別されると、ポインタはベゼル端を起点とするスワイプが開始されたときの位置に固定される. その状態にて、ユーザはタッチパッド上に指を触れたまま水平方向および垂直方向に指を動かすことにより、最大2つのコマンドに関する値の制御を行う. そして、タッチパッド上から指を離すことにより、制御した値を確定する. あるいは、起点となったベゼル端へと指を戻すことにより、制御した値を破棄する. これらの操作を終えると、ポインタは再び自由に移動可能となる.

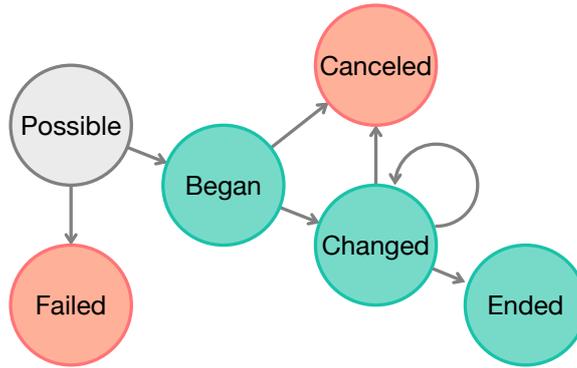


図 3.2: ジェスチャ識別器の状態遷移図. 緑色にて示した 3 状態 (Began, Changed および Ended) へと遷移した際に, 起点となったベゼル端の位置および起点からの垂直方向ならびに水平方向への移動量が算出される.

### 3.2 実装

One-Stroke Control によるアプリケーションの操作を実現するため, ジェスチャ識別器を実装した. ジェスチャ識別器の状態遷移図を図 3.2 に示す. ジェスチャ識別器のステート遷移は, macOS アプリケーションのユーザインタフェースを実装するための AppKit フレームワークに実装されているジェスチャ識別器の基底クラス NSGestureRecognizer [App21b] に基づく. ベゼル端を起点とするスワイプを識別するにあたり, B2B-Swipe [KST16b] を参考としてスワイプの始点から一定時間前の時点のタッチ位置を推定する方法を用いた. スワイプの始点となるタッチイベントの発生した位置  $L_1 = [x_1, y_1]^T$  と時刻  $t_1$  ならびに始点から数えて  $n$  番目のタッチイベントの発生した位置  $L_n = [x_n, y_n]^T$  と時刻  $t_n$  を用いて, 時間  $\tau$  以前の時点のタッチ位置  $L_0 = [x_0, y_0]^T$  を以下の式 3.1 より求める:

$$L_0 = L_1 + \frac{L_n - L_1}{t_n - t_1} \times \tau \quad (3.1)$$

ここで,  $n$  および  $\tau$  は後述する章にて実験に基づいて決定されるパラメータである. このとき  $L_0$  がタッチパッド外側に位置する場合にジェスチャ識別器はタッチパッドのベゼル端からのスワイプが発生したと判定し, 状態を Possible から Began に変化させる. その後, 指がタッチパッド上を移動するたびにジェスチャ識別器はそれを検出して状態を Changed に変化させる. そして, 指がタッチパッドから離されるとジェスチャ識別器は状態を Ended に変化させる. これら 3 状態へと遷移した際には, 起点となったベゼル端の位置および起点からの垂直方向ならびに水平方向への移動量がジェスチャ識別器により算出される. アプリケーションがこのジェスチャ識別器をウインドウ, ウインドウ上に配置されたボタン, または編集可能なオブジェクトに紐付け, 一連のジェスチャ識別器の状態変化を追跡することにより, One-Stroke Control によるコマンドの実行および連続した値の調整やメニュー項目の選択といった制御をアプリケーション毎に実装できる.

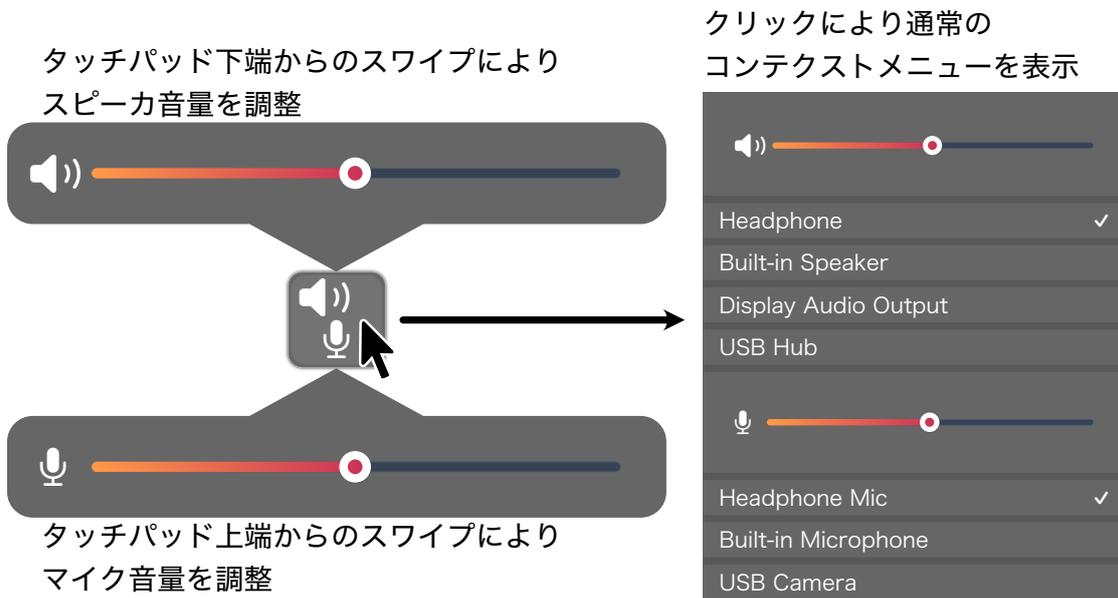


図 3.3: 音量調整への応用例. この例では, アプリケーション上に配置された音の入出力を制御するコンテキストメニューを表示するための既存のボタンに対して, 本手法によるスピーカおよびマイクの音量調整へのショートカットを追加している.

### 3.3 実用例

One-Stroke Control を用いた対話的な制御の実用例として, 音量や光量などの連続的な値を変更するショートカットへの応用が挙げられる. このうち音量調整への応用例を図 3.3 に示す. この例では, アプリケーション上に配置された音の入出力を制御するコンテキストメニューを表示するための既存のボタンに対して, 本手法によるスピーカおよびマイクの音量調整へのショートカットを追加する. また, 対話的な制御における視覚的フィードバックとして, ベゼル端を起点とするスワイプの識別後に, ポインタが重なっているボタンから現在の値を表現するスライダをポップアップ表示する. 別の例として, 動画再生アプリケーションへの応用例を図 3.4 に示す. この例では, 早戻しまたは早送りする速度を対話的に制御する機能を追加している. ポインタがアプリケーションのウィンドウ上にある場合にタッチパッドの左右のベゼル端を起点とするスワイプを行うことにより早戻しまたは早送り操作を開始する. その後続けて左右方向へ指を移動させることにより, 早戻しまたは早送りの速度を対話的に調整する.

このような連続的な値の制御に関して, 起動のためにベゼル端から指をスワイプさせる方向と値を制御するために指を移動させる方向の組み合わせを考慮する必要がある. 値に対して増加および減少の双方を制御する場合には, 両者を同一の方向とすると起動時のスワイプの方向はユーザが意図した値の増減のために指をスワイプさせる方向と必ずしも一致しない

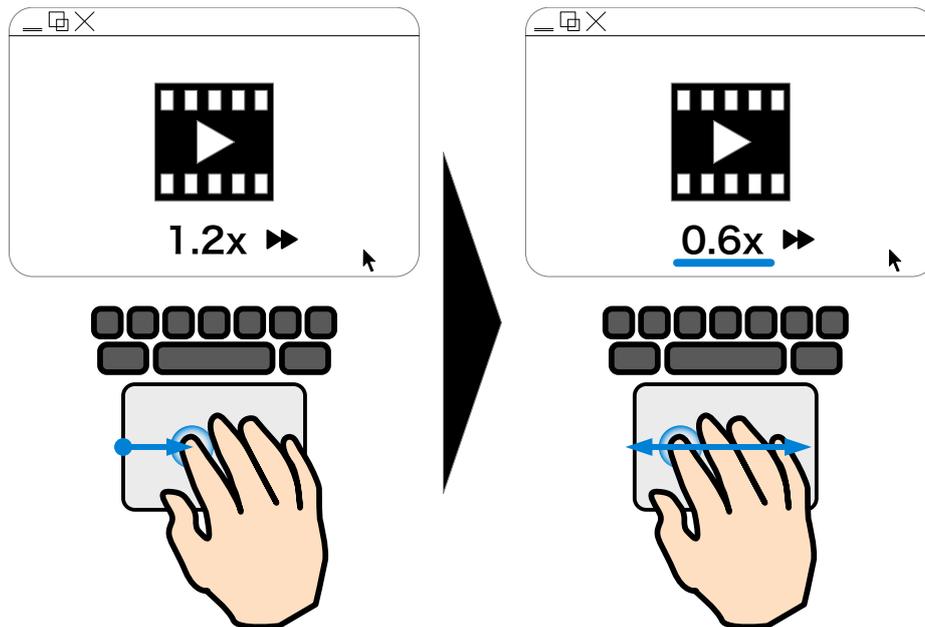


図 3.4: 動画再生アプリケーションへの応用例. この例では, 早戻しまたは早送りする速度を対話的に制御する機能を追加している.

め, ベゼル端から指をスワイプさせる方向に対して直交する方向への指の移動を値の制御のために用いるべきである. 一方で, 値に対して行う操作が増加あるいは減少の一方のみである場合には, 両者を同一の方向とすることが可能である. 上記 2 例においては, 増加および減少の双方の操作が想定される前者にて直交する設計を, 左右のベゼル端からのタッチジェスチャを用いて早戻しおよび早送りを個別に割り当てる後者にて同一方向となる設計を示した.

連続的な値の制御の他にも, フィードバックを含む対話的な制御としての応用が考えられる. その一例として, 描画アプリケーション上でのメニュー選択への応用例を図 3.5 に示す. この例では, ユーザにより編集可能なオブジェクトに対して, ジオメトリに対する操作あるいはレイヤに対する操作といった, 特定の機能に関連するメニュー項目を個別のメニューに分類してユーザに提示する. これにより, ユーザは指を離すまで視覚的ヒントを見ながら目的のメニューを選択でき, また, 起点となったベゼル端へと指を戻すことによりメニュー選択をキャンセルできる.

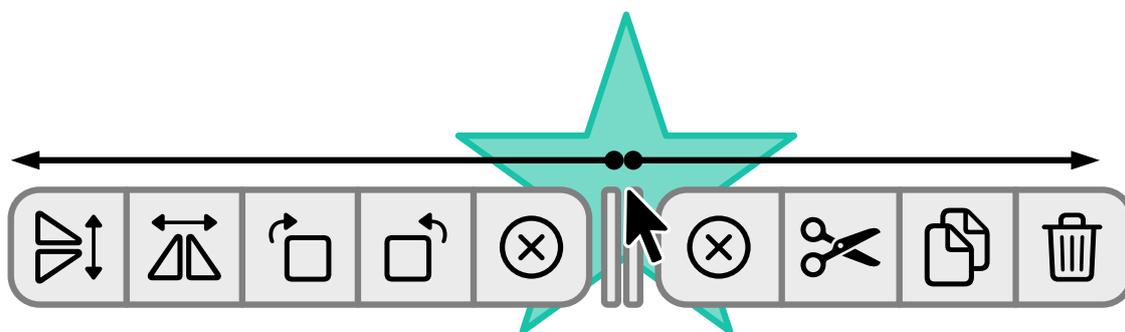


図 3.5: 描画アプリケーション上でのメニュー選択への応用例. この例では, ユーザにより編集可能なオブジェクト (図中央の星) に対して, ジオメトリに対する操作 (図左側のメニュー) あるいはレイヤに対する操作 (図右側のメニュー) といった, 特定の機能に関連するメニュー項目を個別のメニューに分類してユーザに提示している.

## 第4章 日常的なラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の予備調査

手始めに、One-Stroke Control 設計時に立てた仮説を検証するための実験を行うにあたり予備調査として日常的なラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の調査実験を実施した。本章では、予備調査に関して、実験設計、実験結果、および考察ならびにその限界を述べる。

### 4.1 実験設計

日常的に Apple 社製ラップトップコンピュータのタッチパッドを使用している研究室内の学生2名を実験参加者とした。実験は実験参加者の所有する Apple 社製ラップトップコンピュータを用いてオンラインにて実施した。各実験参加者および実験参加者の用いた端末の属性を表4.1に示す。

まず、実験参加者にタッチパッド上にて発生したタッチイベントを記録収集するアプリケーションをインストールしてもらった。その後、アプリケーションを起動した状態にて普段と同様にラップトップコンピュータを用いた作業を行ってもらおうよう指示した。このようにして収集したタッチイベントのデータのうち、実験参加者全員からデータが得られた平日の連続3日分を抽出して分析を行った。

表 4.1: 予備調査における各実験参加者および実験参加者の用いた端末毎の内蔵タッチパッドの属性.

年齢	性別	利き手	使用機器
22	男	右手	MacBook Pro (13-inch, 2017, Four Thunderbolt 3 Ports)
27	男	右手	MacBook Pro (Retina, 13-inch, Early 2015)

使用機器	横幅	縦幅
MacBook Pro (13-inch, 2017, Four Thunderbolt 3 Ports)	120 mm	82 mm
MacBook Pro (Retina, 13-inch, Early 2015)	105 mm	65 mm

データ収集アプリケーションは、アプリケーション起動中に生じたタッチパッド操作をログデータとして Google Cloud Firestore<sup>1</sup>上に記録する。データ収集アプリケーションの開発環境、開発言語、使用したフレームワークおよび対象となる環境は下記の通りである。

開発環境 Xcode Version 11.4.1 (11E503a)

開発言語 Swift 5.2.2

フレームワーク Cocoa, M5MultitouchSupport<sup>2</sup>, Firebase<sup>3</sup>

対象環境 インターネットに接続され、macOS 10.13 以上が動作するタッチパッド内蔵の Intel 製 CPU を搭載するラップトップ型 Mac

データ収集アプリケーションが収集するデータは以下の 3 種類である。

- 匿名ユーザデータ
- ストロークデータ
- 統計データ

匿名ユーザデータはストロークデータや統計データを実験参加者ごとに抽出するための匿名 ID を記録したデータである。ストロークデータはタッチパッド上に指が接触したことを示すイベント検出時から指が離れたことを示すイベント検出時までの一連のタッチ（ストローク）に関する情報を記録したデータである。タッチに関する情報として、タッチパッドの左端を 0 ならびに右端を 1 としたタッチ位置の X 座標、タッチパッドの下端を 0 ならびに上端を 1 としたタッチ位置の Y 座標、タッチ位置の移動速度、指が触れた面を楕円形にて近似したときの楕円の長径および短径、楕円の長径の傾き、静電容量の値に比例する面積、タッチイベントの種別（指がタッチパッド上に触れたとき、指がタッチパッド上を移動したときおよび指がタッチパッド上から離れたとき）、およびタッチイベントの発生時刻が記録される。統計データは 30 分ごとのタッチパッド上のタッチイベント発生回数、ストロークの個数、および 10 × 14 の縦横に分割した各領域におけるタッチイベント発生点のヒートマップを記録したデータである。

## 4.2 実験結果

10 × 14 の縦横に分割した各領域におけるタッチイベント発生点のヒートマップを図 4.1 に示す。ヒートマップから、タッチパッド中央付近の右上がりの線上にタッチイベントの発生点が集中していることがわかる。また、タッチパッド上端の中央付近とタッチパッド右下にタッチイベントの発生点が集中する領域があることが確認できる。タッチパッド中央付近の

<sup>1</sup><https://cloud.google.com/firestore?hl=ja>

<sup>2</sup><https://github.com/mhuusko5/M5MultitouchSupport>

<sup>3</sup><https://github.com/firebase/firebase-ios-sdk>

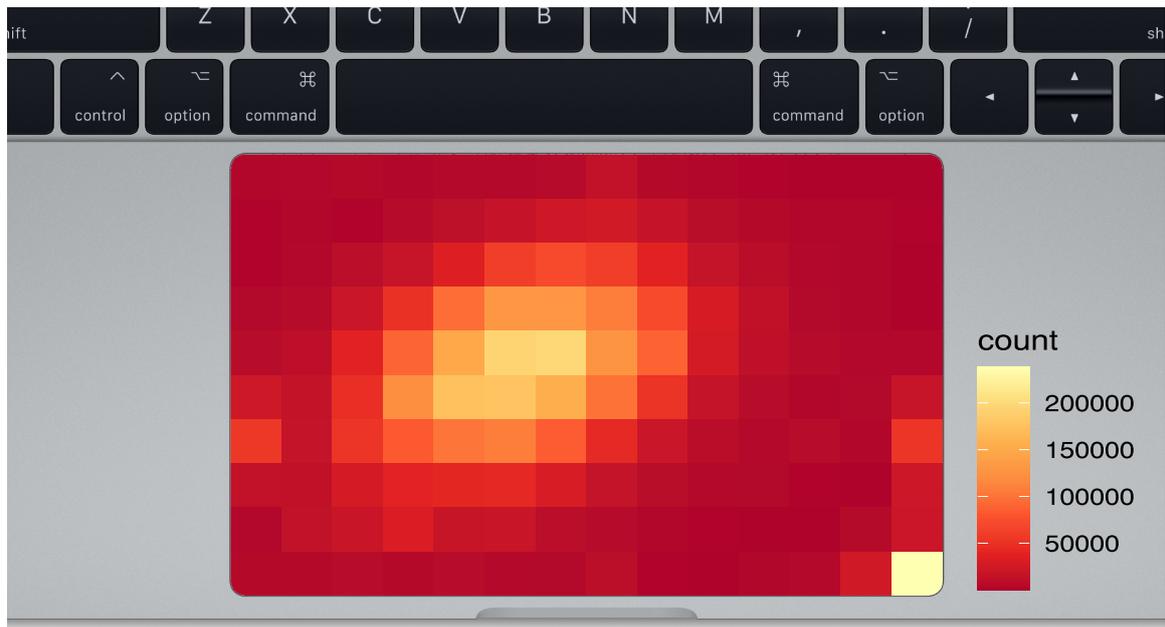


図 4.1: タッチイベント発生点が  $10 \times 14$  の縦横に分割した各領域に含まれる個数を示したヒートマップ。濃い色ほどタッチイベントが多かった領域を，薄い色ほどタッチイベントが少なかった領域を示している。

右上がりの線の上にタッチイベントの発生点が集中することに関して，実験参加者は全員が右利きであったため，タッチパッド右下を支点とする弧を描くような操作が多く発生した可能性がある。また，タッチパッド右下にタッチイベントの発生点が集中することに関して，タッチパッド操作中に手のひらがタッチパッドに触れたことに起因する可能性がある。

次に，平日 3 日間にユーザが実行したストロークの分布を図 4.2 に示す。期間中に記録されたストロークの総数は 316 件だった。図中の赤色の枠にて囲った箇所より，ストロークの開始位置がタッチパッドのベゼル端直近に分布している様子が伺える。実際に，ストロークの開始位置が左端になるケースが 6 件，右端になるケースが 4 件，下端になるケースが 20 件，および上端になるケースが 5 件存在した。すなわち，本実験により得られたストロークのうち 11.1% がタッチパッドのベゼル端直近に分布していた。したがって，仮説  $H_1$  が成立することは疑わしいと考えられる。特に，ストロークの開始位置の座標のみをベゼル端を起点とするスワイプの識別に用いると誤検出が生じる可能性がある。3 章にて示した識別方法では，実際にシステムが報告したタッチイベントの位置から，指が実際に触れたタッチイベント以前に指が存在する位置を推定する。そのため，One-Stroke Control は識別のためのパラメータを適切に設定することにより，ストロークの開始位置の座標のみをベゼル端を起点とするスワイプの識別に用いる場合よりも誤識別を少なくできる可能性がある。

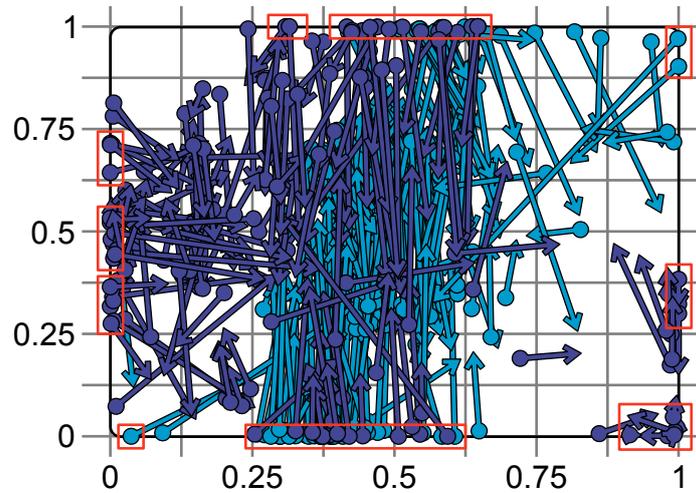


図 4.2: 平日 3 日間にユーザがタッチパッド上にて実行したストロークの分布。矢印の始点は指が触れたタッチイベントの検出位置を、終点は指が離されたタッチイベントの検出位置を示しており、途中経路は線形にて補完されている。また、矢印はユーザ毎に色づけされている。図中にて赤色の四角形の枠により囲った箇所は、タッチイベントの始点がタッチイベントとして検出可能なタッチパッド上の位置の 4 辺端に位置している部分を示す。

### 4.3 実験における限界

本実験にはデータの母集団に関する限界がある。実験参加者を収集できず、同研究室の学生 2 名のみを対象としてデータ収集を行ったため、得られたデータに偏りがある可能性が高い。

また、本実験には実験環境に関する限界がある。実験参加者 2 名はそれぞれ異なる大きさのタッチパッドを搭載する機種を用いたため、タッチパッドから得られる座標を同列に扱うことが難しい。また、タッチパッド操作を行う際の身体の姿勢や外付けのディスプレイの使用の有無に関する統制が取れていない。

加えて、本実験にはデータの性質に関する限界がある。実験により得られたストロークの総数は 316 件であり、1 人 1 日あたりそれぞれ 54.7 件および 50.7 件と少ない。そのため、得られたデータはタッチパッド操作が比較的少ない作業を行った際に得られたものである可能性がある。言い換えれば、日常的なラップトップコンピュータ使用時のうち、タッチパッド操作が多く発生する作業に関する分析が不十分である可能性がある。

別の課題として、本実験にはデータの粒度に関する限界がある。本実験ではクラウドデータベースの使用量を抑えるため、端末上にて発生したタッチイベントを集計した結果のみをクラウドデータベースに保存した。そのため、発生したタッチイベントの統計的傾向を調査することは可能であるものの、個々のタッチイベント単位での分析は未実施である。

## 第5章 統制下におけるラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の調査

One-Stroke Control 設計時に立てた仮説を検証するために、統制下におけるラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の調査実験を実施した。本章では、統制下におけるラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の調査実験に関して、実験設計、実験結果、および考察ならびにその限界を述べる。

### 5.1 実験設計

4章では、以下の諸課題が考察の限界となった：

- データの母集団が不足している
- 実験環境が実験参加者ごとに異なる
- タッチパッド操作が多く発生する作業に関する分析が不十分である可能性がある
- 個々のタッチイベント単位での分析が未実施である

これらの諸課題を踏まえて、実験環境の統制を施した条件にて実験参加者を雇用する方式での実験を設計した。

#### 5.1.1 実験参加者

大学生および大学院生 10 名（男性 8 名および女性 2 名， $P_1$ - $P_{10}$ ）を実験参加者として 860 円にて雇用した。実験参加者は 21-25 歳（平均 23.2 歳）であり，うち女性 2 名（ $P_7$ ,  $P_8$ ）は日常生活における利き手が左だった。また，うち女性 1 名（ $P_8$ ）は普段ラップトップコンピュータを操作する際における利き手も左だった。実験参加者のラップトップコンピュータ使用経験は 44-144 ヶ月（平均 81.4 ヶ月）であり，1 週間にラップトップコンピュータを用いる時間は 7-60 時間（平均 33 時間）だった。また，実験参加者のうち 8 名（ $P_1$ - $P_6$ ,  $P_8$ ,  $P_{10}$ ）が Apple 社製ラップトップコンピュータの操作に最も慣れていた。ラップトップコンピュータの用途に関して，表 5.1 のうち，実験参加者 6 名（ $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_4$ - $P_6$ ,  $P_9$ ）は Web ブラウジン

表 5.1: ラップトップコンピュータの用途のカテゴリとその説明の一覧. 各カテゴリは Beauvisage による日常生活におけるコンピュータの用途の調査 [Bea09] に基づいて決定した.

カテゴリ	説明
Web ブラウジング	Web の検索および閲覧に関するタスク
インスタントメッセージ	チャットツールを用いたメッセージの送受信に関するタスク
SNS	インターネット上にて社会的コミュニティを構築するサービスの利用に関するタスク
メール	電子メールの送受信に関するタスク
P2P	個人間でのファイル送受信に関するタスク
ゲーム	コンピュータゲームプレイに関するタスク
オフィスソフトの利用	オフィスソフトを利用した文書・図表作成に関するタスク
映像・音楽の視聴	オンラインでの視聴を含む, 映像または音楽の視聴に関するタスク
コンテンツ制作	コンピュータアートやコンピュータプログラムなどのコンテンツ制作に関するタスク
その他	上記カテゴリ以外に関するタスク

グ, 2名 ( $P_3, P_8$ ) は映像・音楽の視聴, および 2名 ( $P_7, P_{10}$ ) はオフィスソフトの利用を行う頻度が最も高いと回答した.

### 5.1.2 実験機器

実験に用いた機器を図 5.1 に示す. 実験には, MacBook Pro (13-inch, 2017, Four Thunderbolt 3 Ports) を用いた. このラップトップコンピュータに内蔵されたタッチパッドの大きさは, 縦 135 mm, 横 84 mm である. また, 実験時のタッチパッド操作における実験参加者の手指の動きを記録するため, ラップトップコンピュータのインカメラ上部に鏡固定具を取り付けた. ラップトップコンピュータには, 実験のタスクを行うために利用可能なアプリケーションを複数種類, 事前にインストールした (表 5.2). また, タッチパッド操作により発火されるタッチイベントおよび操作中のアプリケーションを記録するために実装したデータ収集アプリケーションをインストールした.

### 5.1.3 タスク

Beauvisage による日常生活におけるコンピュータの用途の調査 [Bea09] に基づいて, 日常的なコンピュータを用いるタスクを設計した. 具体的には, 日常的なコンピュータの用途として利用率の高いカテゴリに対応する作業を網羅するように, Web ブラウジング, オフィスソフトを利用した文書および図表の作成, メールを送信, 音楽の視聴およびゲームプレイ



図 5.1: 統制下における実験に用いた機器。ラップトップコンピュータのインカメラに鏡固定具を取り付けている。

表 5.2: 表 5.1 に示すコンピュータの用途のカテゴリに対応する、あらかじめインストールされたアプリケーションの一覧.

カテゴリ	アプリケーション
Web ブラウジング	Safari, Google Chrome, Firefox, Opera, Opera Neon, Brave, Vivaldi
オフィスソフトの利用	Word, Excel, Pages, Numbers, Google Docs, Google Spreadsheet, WPS Writer, WPS Spreadsheets, LibreOffice Writer, LibreOffice Calc, Apache OpenOffice
メール	Outlook, Apple メール, Gmail, Thunderbird, Spark, AirMail 4
映像・音楽の視聴	QuickTime Player, Apple Music, VLC media player, Pine Player, VOX MP3 & FLAC Player
ゲーム	Reversi!

グについての計 12 のタスクを一連して行うシナリオ (表 5.3) を作成した。そして、実験参加者に一連のシナリオを書類にて提示し (付録 A.4), 自身のペースにて一連のタスクを行ってもらった。実験参加者には、実験機器にあらかじめインストールされたアプリケーションのうち、自身が最も操作に慣れているあるいは使いやすいと感じたものを用いてタスクを行うよう指示した。また、どうしても行う方法がわからないタスクがあった場合にはそのタスクを飛ばして次のタスクを行うよう指示した。さらに、タスクを終えた際には実験者にその旨を報告するように指示した。

#### 5.1.4 実験手順

まず、実験参加者に実験の目的およびタスクの説明を行い、実験参加およびビデオ映像の公開に関して同意を得た (付録 A.1, A.2, A.3)。タスクの説明には印刷した書類を用いた (付録 A.4)。その後、実験参加者には図 5.2 に示す実験環境下に着座した状態にてタスクを行ってもらった。実験者は、実験参加者がタスクを開始してからタスクを終了したと報告するまでに行われたタッチパッド操作をデータ収集アプリケーションを用いて記録した。タスクの終了後には、実験参加者に実験参加者の特性、タスクに対する評価、およびラップトップコンピュータの利便性に関するアンケート (付録 A.5) に実験機器を用いて回答してもらい、実験を終えた。実験終了後には、実験参加者に 100 円程度の菓子 2-3 個および 100 円程度の飲料 1 本を支給した。実験時の説明およびアンケートへの回答を含めた実験の所要時間は 37-60 分 (平均 48.9 分) だった。仮説  $H_1$  を検証するにあたり通常どおりにタッチパッド操作を行ってもらったため、実験中には実験参加者にはベゼル端を起点とするタッチパッド操作に関して一切の情報を伝えなかった。



図 5.2: 統制下における実験環境. 感染症等への対策のため, 実験者と実験参加者との間にはアクリル板によるパーティションを設置し, 適宜消毒液およびアルコールウェットタオルを用いた消毒を実施した.

表 5.3: 日常的なコンピュータの用途として利用率の高いカテゴリに対応する作業を網羅するように設計した計 12 のタスクを一連して行うシナリオ。

番号	タスク
1	Web ブラウザを用いて、指定されたウェブサイトのトップページを開く
2	Web ブラウザを用いて、指定されたキーワードによる Web 検索を行い、検索結果の画像のうち任意の 3 枚を保存する
3	表計算ソフトウェアを用いて、指定された数表を作成する
4	表計算ソフトウェアを用いて、指定されたグラフを作成する
5	文書作成ソフトウェアを用いて、指定された文書を記述する
6	文書作成ソフトウェアを用いて、文書中に画像を配置する
7	文書作成ソフトウェアを用いて、文書中にグラフを配置する
8	メールクライアントソフトウェアを用いて、指定されたメールアドレス宛に文書ファイルを送付する
9	音楽再生ソフトウェアを用いて、指定された音楽ファイルのうち任意の 3 つを試聴する
10	メールクライアントソフトウェアを用いて、指定されたメールアドレス宛に試聴した音楽ファイルに関して印象に残った再生区間を報告する
11	ゲームソフトウェアを試遊する
12	メールクライアントソフトウェアを用いて、指定されたメールアドレス宛にゲームの勝敗結果を報告する

## 5.2 実験結果

実験にて、計 1,343,357 個のタッチイベントが記録された。タッチ開始から終了までの一連のタッチイベントをストロークとしてタッチイベントを集計した結果、計 9,429 個のストロークが記録されていた。また、ストロークの速度、経路長、継続時間および記録されたタッチイベントの発生回数はそれぞれ平均 37.5 mm/s ( $SD = 40.1$  mm/s), 19.7 mm ( $SD = 20.6$  mm), 37.0 s ( $SD = 3853$  s) および 106 回 ( $SD = 239$ ) だった。

### 5.2.1 ストロークの速度および経路長についての累積分布

実験にて記録されたストロークの速度に対する累積分布を図 5.3 に示す。グラフより、速度は記録された全ストロークのうち遅いものの割合が高いことがわかる。この傾向は、Malacria らがタスクを指定せずに 2 週間ラップトップコンピュータを用いた際に生じたストロークに対する先行研究 [MGBC16] にて報告された傾向と一致する。全ストローク中の 50% は 27.28 mm/s よりも遅く、95% は 137.42 mm/s よりも遅かった。一方で、Malacria らの先行研究 [MGBC16] では全ストローク中の 50% は 7.7 mm/s よりも遅く、95% は 192 mm/s よりも遅かったと報告

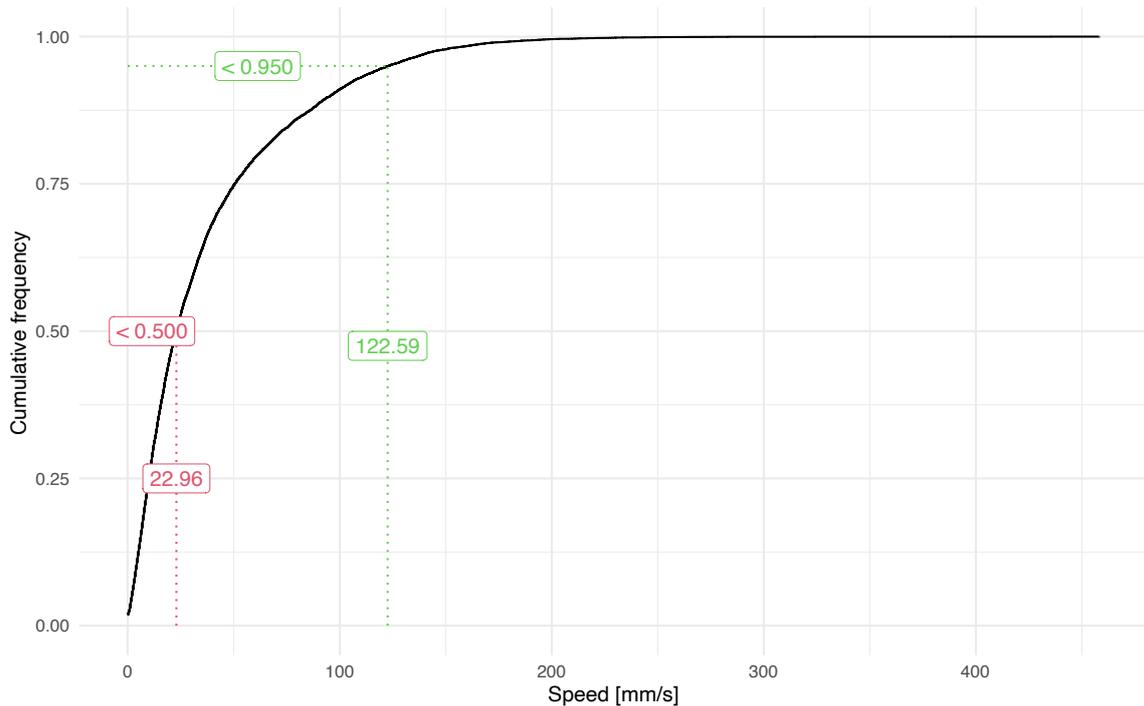


図 5.3: 実験にて記録されたストロークの速度に対する累積分布. 全スワイプ中の 50%は 27.28 mm/s よりも遅く, 95%は 137.42 mm/s よりも遅かった.

されている. この結果の差異は, Malacria らの実験がタスクを指定せずに行われたことに対して, 本実験が一連のタスクから成るシナリオを指定して行われたことに起因すると考えられる.

次に, 実験にて記録されたストロークの経路長に対する累積分布を図 5.4 に示す. グラフより, 経路長は記録された全ストロークのうち短いものの割合が高いことがわかる. 全ストローク中の 50%は 17.44 mm よりも短く, 95%は 59.39 mm よりも短かった. ストロークの速度に対する累積分布 (図 5.3) のグラフの傾きと経路長に対する累積分布のグラフの傾きとを比較すると, 後者のほうが比較的急峻な傾きである. したがって, 経路長は速度と比較してばらつきが少ないといえる. これは, タッチパッドの物理的大きさに限りがあるためであると考えられる.

ストロークの速度および経路長の累積分布より, One-Stroke Control の設計に関して考慮すべき点は以下の 2 点である:

- ユーザが通常行うタッチパッド操作では, ストロークの速度は遅い割合が高く, 経路長は短い割合が高い
- ユーザが通常行うタッチパッド操作では, ストロークの経路長と比較してスワイプの速度の変数が大きい

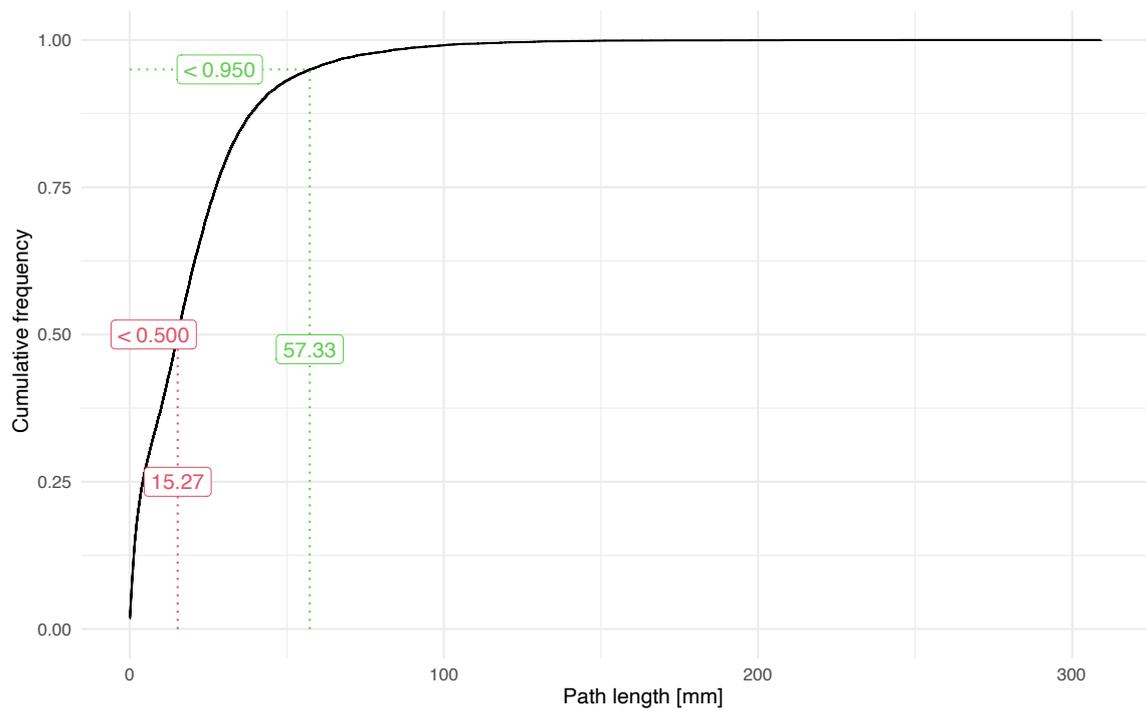


図 5.4: 実験にて記録されたストロークの経路長に対する累積分布. 全ストローク中の 50%は 17.44 mm よりも短く, 95%は 59.39 mm よりも短かった.

### 5.2.2 ベゼル端を起点とするスワイプとして検出される割合

実験にて得られたストロークは、実験参加者にベゼル端を起点とするタッチパッド操作を伝えずに収集した通常通りのタッチパッド操作から得られたものである。そのため、得られたストロークに対してベゼル端を起点とするスワイプとして検出される割合を算出することにより、どの程度ベゼル端を起点とするスワイプが偶発的に発生しうるかを推定できる。

ベゼル端を起点とするスワイプを検出する式 3.1 のパラメータ  $n$  および  $\tau$  の組み合わせに対して、実験より得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合を図 5.5 に示す。なお、パラメータ  $n$  および  $\tau$  の組み合わせは無限に存在するため、 $n \in \{x | x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$  および  $\tau \in \{0.01x | x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$  [s] に限定して割合を算出した。図 5.5 より、 $n < 17$  のとき、同一の  $\tau$  に対してベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合が最も低くなるような  $n$  が  $2 < n < 17$  の間にそれぞれ存在することがわかる。また、 $n \geq 17$  のとき、 $n$  が大きいほど同一の  $\tau$  に対してベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合は低まる。一方で同一の  $n$  に着目すると、 $\tau$  が大きいほどベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合は高まる。

これらの結果より、ベゼル端を起点とするタッチパッド操作の誤検出率が、十分に大きなある割合  $r_{th}$  を下回るようなパラメータ  $n$  および  $\tau$  が少なくとも 1 組以上存在するといえる。本実験で検証したパラメータの範囲においては、 $r_{th} \geq 0.00382$  のとき上記は成立する。したがって、仮説  $H_1$  に関して、適当なパラメータを設定すれば、偶発的なベゼル端を起点とするタッチパッド操作の誤検出率を一定の割合未満に抑えられると考えられる。

$n$  を増加させるほどベゼル端を起点とするスワイプであると判定するまでに必要となるタッチイベント数が増加するため、判定までにかかる時間が増大する。また、 $\tau$  を短くするほどベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合は低まる一方で、スワイプの始点となるタッチイベントの発生した位置  $L_1$  と時間  $\tau$  以前の時点のタッチ位置  $L_0$  との距離が近づくため、意図してベゼル端を起点とするスワイプを実行する難度が高まる。したがって、ユーザが意図してベゼル端からのスワイプを実行可能であるかを別の実験にて求め、本実験結果とのトレードオフを調査する必要がある。

### 5.2.3 ポインタと操作中のアプリケーションウィンドウとの位置関係

実験にて得られたタッチパッド操作および操作中のアプリケーションについてのデータより、フォーカスのあたっているアプリケーションウィンドウがポインタの下にある割合は 86.8%、ポインタの下にアプリケーションウィンドウがある場合にそれがフォーカスのあたっているものである割合は 95.6% だった。したがって、仮説  $H_2$  「ラップトップコンピュータ使用時にはユーザがポインタを操作中のアプリケーション上に概ね留める」は支持される。

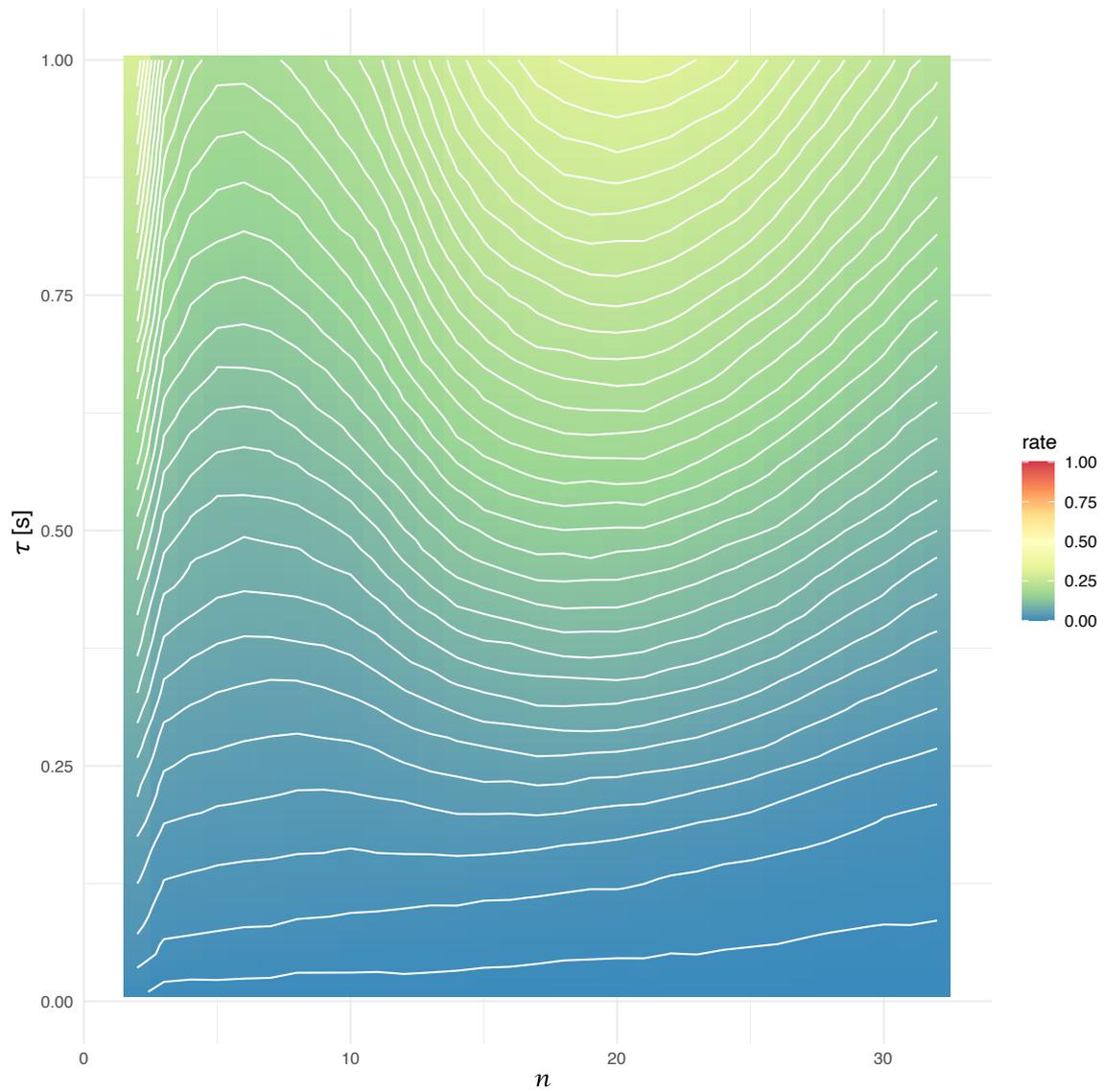


図 5.5: 式 3.1 のパラメータ  $n$  および  $\tau$  の組み合わせに対して、実験より得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合. ここで、 $n \in \{x|x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$  および  $\tau \in \{0.01x|x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$  である. また、図中の等高線は 0.01 刻みである.

### 5.3 実験における限界

5.2.1 節にて言及した通り，本実験にはタスクの設計に対する限界がある．本実験では実験参加者が一連のタスク完了を目標として比較的短時間にてタッチパッド操作を行ったため，日常的なラップトップコンピュータ使用時に生じうるタッチパッド操作のうち，発生頻度の高い非常に緩慢な操作および発生頻度の低い非常に高速な操作が観測できなかった可能性がある．

また，本実験には収集したタッチパッド操作に対する限界がある．本実験では実験参加者にベゼル端を起点とするタッチパッド操作に関して知らせずに通常どおりにラップトップコンピュータを使用してもらった際のタッチパッド操作を記録した．そのため，本実験にて得られたタッチパッド操作のデータは，ベゼル端を起点とするスワイプが偶発的に発生しうるかを検証するに足るデータであるものの，このデータに基づいてベゼル端を起点とするスワイプをユーザが意図して実行可能であるかを検証することはできない．

## 第6章 意図したベゼル端を起点とするタッチパッド操作の調査

第5章にて、ベゼル端を起点とするスワイプを実験参加者が意図して実行可能であるかは未検証である。本章では、意図してベゼル端を起点とするスワイプが実行可能である割合を検証するために実施した、実験参加者による意図的なベゼル端を起点とするタッチパッド操作の調査実験に関して、実験設計、実験結果、および考察ならびにその限界を述べる。

### 6.1 実験設計

第5章の実験参加者に対して意図してベゼル端を起点とするスワイプが実行可能である割合を検証するための実験を設計した。

#### 6.1.1 実験参加者

第5章の実験参加者10名（男性8名および女性2名、 $P_1$ - $P_{10}$ ）を1720円にて再度雇用した。

#### 6.1.2 実験機器

実験環境を統一するため、第5章の実験にて用いた実験機器を本実験にも用いた。また、実験参加者がタスクを行うため、およびその際のタッチパッド操作により発火されるタッチイベントを記録するための実験アプリケーションを実装し、ラップトップコンピュータにインストールした。

#### 6.1.3 タスク

第5章の実験にて記録されたタッチイベント数と同程度のデータを収集するため、1名あたり1000回のベゼル端を起点とするスワイプを意図して行ってもらうように実験を設計した。タスク中の画面の概観を図6.1に示す。画面上の $5 \times 5$ の格子上25箇所のうちいずれかがターゲットとして指定され、赤色にて表示される。ターゲットの大きさは、Apple社のHuman Interface Guidelines [App21a]に示されたツールバーの最小アイコンサイズ（ $32 \times 32$  pt、実験機器の画面上での実寸では $6.3 \times 6.3$  mm）とした。実験参加者がポインタを指定されたター

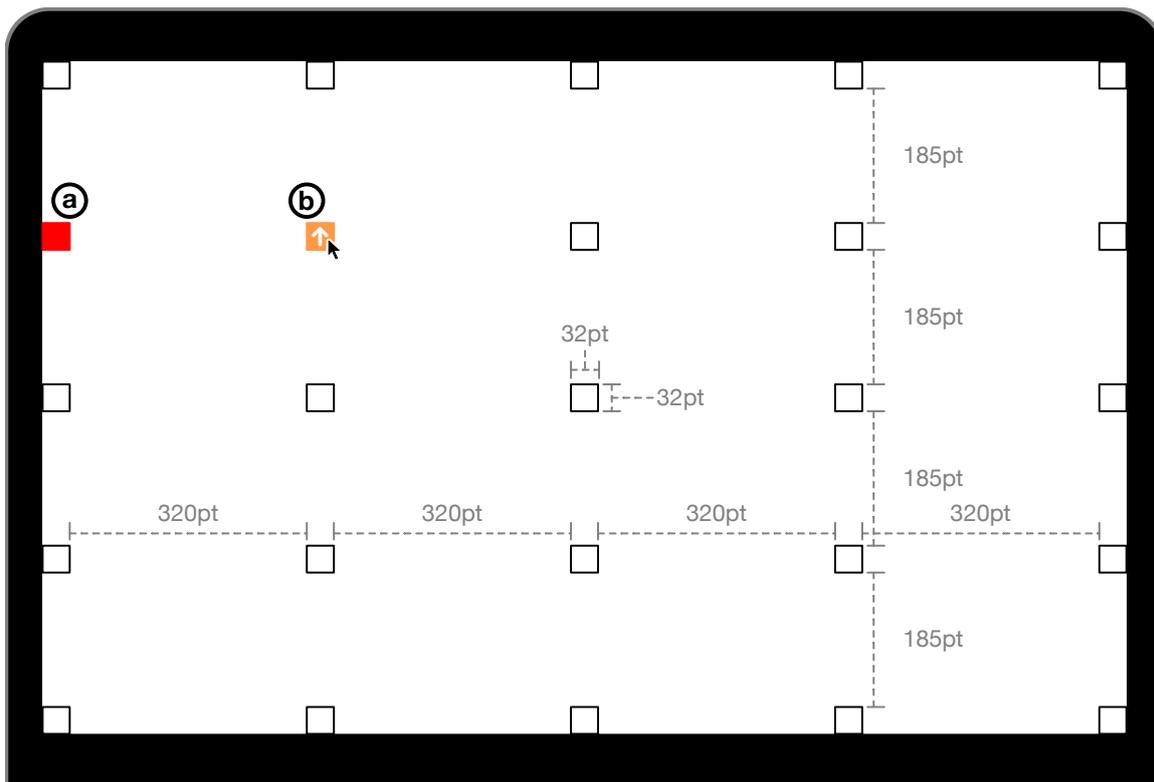


図 6.1: タスク中の画面の概観. a: 指定されたターゲットが赤色にて表示される. b: ポインタを指定されたターゲットに重ねるとターゲットが黄色になり, ターゲット中心に上下左右いずれかの矢印が表示される.

ゲット上に重ねるとターゲットが黄色になり，ターゲット中心に上下左右いずれかの矢印が表示される．実験参加者がポインタをターゲット上に重ねた後に一度タッチパッドから手指を離し，その後に表示された矢印の方向に指が移動するようにベゼル端からのスワイプを行うと，次のターゲットが指定される．ターゲットの指定時に既にポインタがターゲットに重なっている場合には，実験参加者は一度ターゲット上からポインタを重ねない位置まで移動させた後に，同様の操作を行う．この一連の操作を，25箇所ターゲット出現位置および4種の方向の組み合わせ計100パターンに対して行ってもらったことを1セッションとした．

#### 6.1.4 実験手順

まず，実験参加者に実験の目的およびタスクの説明を口頭にて行い，実験参加およびビデオ映像の公開に関して同意を得た．その後，実験参加者には第5章の実験同様に図5.2に示す実験環境下に着座した状態にてタスクを行ってもらい，計10セッションを実施した．実験者は，実験参加者が指定されたターゲットにポインタを重ねて指をタッチパッドから離れた直後から，一度指をタッチパッドに接触させて指を離すまでに行われた一連のタッチパッド操作を実験アプリケーションを用いて記録した．各セッション後にはターゲット出現位置毎のスワイプの難しさを調査するためのアンケート（付録A.6）に回答してもらった．また，セッション間には1分以上最大5分の休憩をとってもらった．実験終了後には，実験参加者に100円程度の菓子2-3個を支給した．実験時の説明およびアンケートへの回答を含めた実験の所要時間は61-83分（平均70.2分）だった．

## 6.2 実験結果

実験にて，計289,547個のタッチイベントが記録された．タッチ開始から終了までの一連のタッチイベントをストロークとしてタッチイベントを集計した結果，計10,083個のストロークが記録されていた．また，ストロークの速度，経路長，継続時間および記録されたタッチイベントの発生回数はそれぞれ平均244 mm/s ( $SD = 169$  mm/s)，45.7 mm ( $SD = 34.3$  mm)，0.266 s ( $SD = 1.33$  s) および26.4回 ( $SD = 21.9$ ) だった．

### 6.2.1 ストロークの速度および経路長についての累積分布

実験にて記録されたストロークの速度および経路長に対する累積分布を図6.2および図6.3に示す．グラフより，速度は記録された全ストロークのうち遅いものの割合が，経路長は記録された全ストロークのうち短いものの割合が高いことがわかる．これらの特徴は第5章の実験より得られたストロークの特徴と一致する．一方で，経路長の累積分布には80 mm および130 mm 付近に分布が集中する箇所がみられた．分布が集中する箇所の長さタッチパッドの物理的な幅（横135 mm および縦84 mm）とを比較すると近いいため，実験参加者がタッチパッドの一方の端から反対の端まで指を移動させた頻度が高かったと考えられる．実際に，

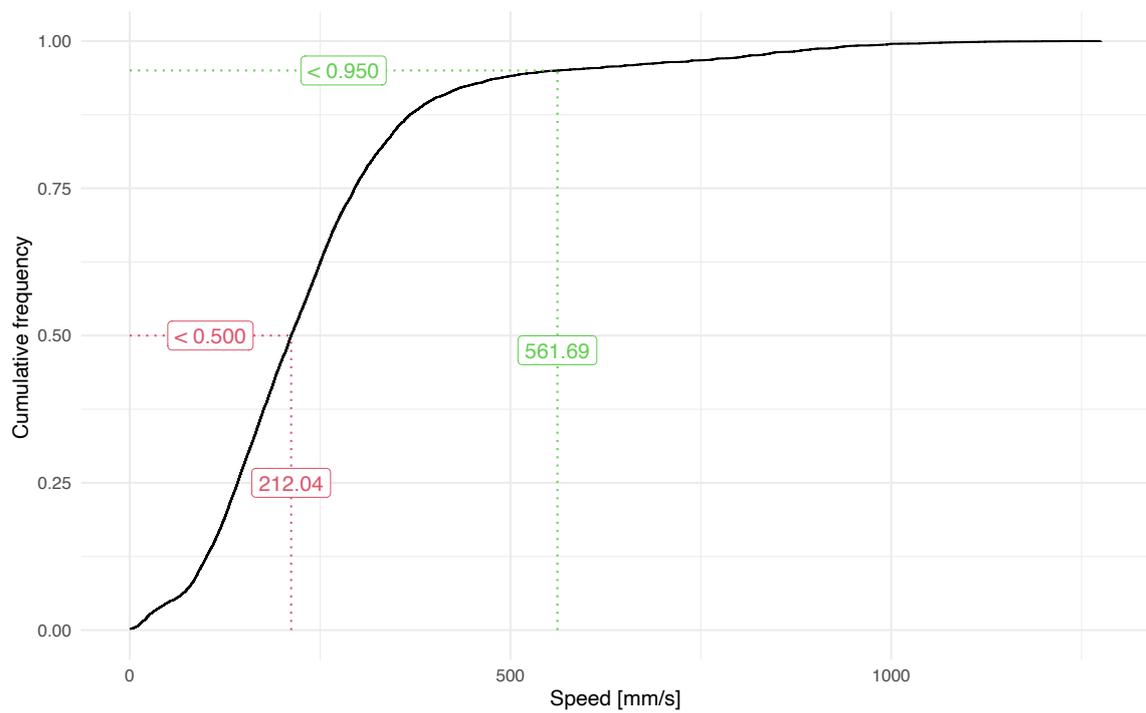


図 6.2: 実験にて記録されたストロークの速度に対する累積分布. 全ストローク中の 50%は 212.04 mm/s よりも遅く, 95%は 561.69 mm/s よりも遅かった.

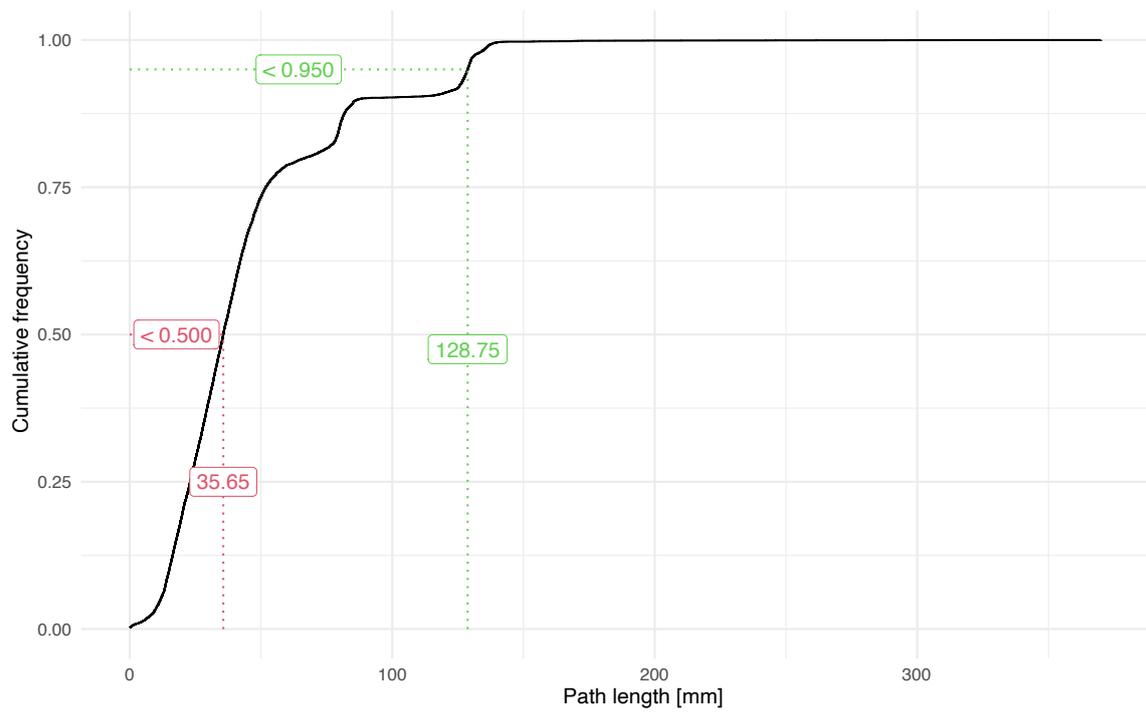


図 6.3: 実験にて記録されたストロークの経路長に対する累積分布. 全ストローク中の 50%は 35.65 mm よりも短く, 95%は 128.75 mm よりも短かった.

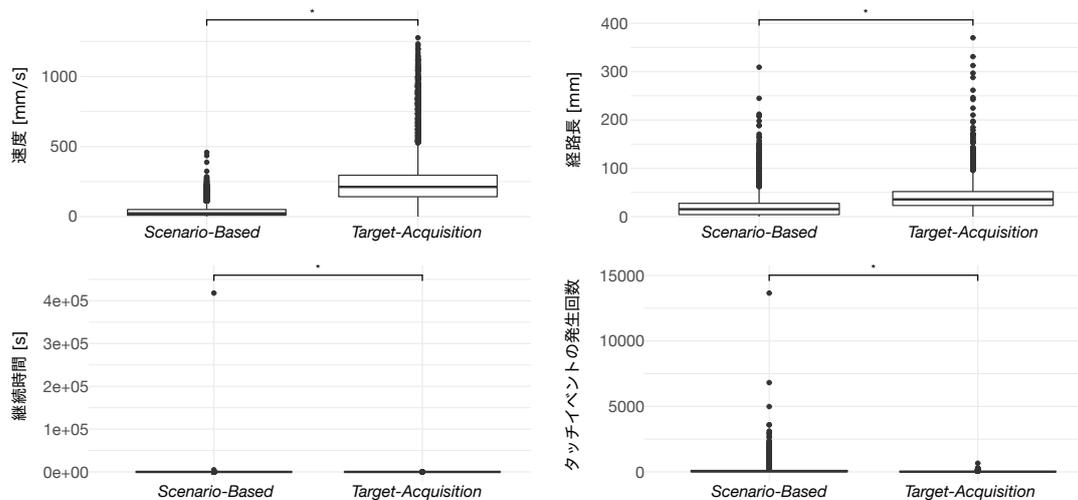


図 6.4: 第 5 章 (図中 *Scenario-Based*) および第 6 章 (図中 *Target-Acquisition*) にて得られたストロークの持つ属性に対する比較.

84 mm よりも長い経路長を持つストロークは、上方向が指示された際に行われたストロークのうち 109 個および下方向が指示された際に行われたストロークのうち 56 個だった一方で、左方向が指示された際に行われたストロークのうち 481 個および右方向が指示された際に行われたストロークのうち 484 個と比較的多かった. 指示された方向と経路長との関係をより詳細に把握するため、指示された上下左右の矢印の方向毎の経路長の分布を比較した. 上方向へのストロークの経路長は平均 39.3 mm ( $SD = 24.9$  mm), 下方向への経路長は平均 41.4 mm ( $SD = 25.4$  mm), 左方向への経路長は平均 51.6 mm ( $SD = 40.0$  mm) および右方向への経路長は平均 50.4 mm ( $SD = 41.4$  mm) だった. ウィルコクソンの順位和検定によるボンフェローニ補正を用いた多重比較の結果, 上方向へのストロークの経路長には下方向, 左方向ならびに右方向へのストロークの経路長との有意な差がみられ (それぞれ  $p = 0.00018 < 0.01$ ,  $p < 2.2 \times 10^{-16} < 0.01$ ,  $p = 5.0 \times 10^{-8} < 0.01$ ), 下方向へのストロークの経路長には左方向へのストロークの経路長との有意な差がみられた ( $p = 0.00015 < 0.01$ ).

次に, 第 5 章にて得られたストロークと本実験にて得られたストロークの速度, 経路長, 継続時間およびタッチイベントの発生回数を比較した (図 6.4). ウィルコクソンの順位和検定により, 第 5 章および第 6 章にて得られたストロークの速度, 経路長, 継続時間およびタッチイベントの発生回数すべての対において有意な差が示された (すべて  $p < 2.2 \times 10^{-16} < 0.01$ ). すなわち, 意図して実行されたベゼル端を起点とするスワイプは, 通常のストロークよりも速度が大きく, 経路長が長く, 継続時間が短く, タッチイベントの発生回数が少なかったといえる. ここで, これらの属性のうち速度および経路長はユーザが指を移動させる間に算出できる. そのため, ベゼル端を起点とするスワイプの識別時に速度および経路長に基づく判定を加えることにより, ジェスチャ識別器の検出精度を高められる可能性がある.

## 6.2.2 ベゼル端を起点とするスワイプとして検出される割合

ベゼル端を起点とするスワイプを検出する式 3.1 のパラメータ  $n$  および  $\tau$  の組み合わせに対して、実験より得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合を図 6.5 に示す。なお、パラメータ  $n$  および  $\tau$  の組み合わせは、第 5 章の実験と同様に、 $n \in \{x|x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$  および  $\tau \in \{0.01x|x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$  [s] に限定して割合を算出した。図 6.5 より、 $n = 7$  のとき、同一の  $\tau$  に対してベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合が最も高くなることがわかる。また、 $n < 7$  では  $n$  が大きいほど同一の  $\tau$  に対してベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合が高まり、 $n > 7$  では  $n$  が大きいほど同一の  $\tau$  に対してベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合が低まる傾向がみられた。一方で同一の  $n$  に着目すると、第 5 章の実験と同様に、 $\tau$  が大きいほどベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合は高まる傾向がみられた。

次に、パラメータ  $n$  および  $\tau$  の組み合わせに対して、ユーザがベゼル端を起点とするスワイプを意図して実行可能である割合と偶発的にベゼル端を起点とするスワイプとして判定されてしまう割合とのトレードオフを調査した。第 5 章では実験参加者にベゼル端を起点とするタッチパッド操作を知らせずに実験を行ったため、第 5 章の実験にて得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合（図 5.5）は One-Stroke Control が偶発的に発生する確率として近似できる。一方で、本章では実験参加者が意図してベゼル端を起点とするタッチパッド操作を行ったため、本章の実験より得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合（図 6.5）は One-Stroke Control が意図的に実行できる確率として近似できる。そこで、本章の実験より得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合に対する、第 5 章の実験にて得られたストロークがベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合の補数との積を、ベゼル端を起点とするスワイプが意図して実行可能かつ意図しない誤判定を抑えられる割合として求めた（図 6.6）。図 6.6 より、積が最大となるときのパラメータの組み合わせは  $n = 6$  および  $\tau = 0.19$  であり、そのときのユーザがベゼル端を起点とするスワイプを意図して実行可能である割合は 85%、偶発的にベゼル端を起点とするスワイプとして判定されてしまう割合は 3.6% だった。また、ベゼル端を起点とするスワイプを意図して実行可能である割合が最大となるときのパラメータの組み合わせは  $n = 5$  および  $\tau = 1$  であり、そのときのベゼル端を起点とするスワイプを意図して実行可能である割合は 89%、偶発的にベゼル端を起点とするスワイプとして判定されてしまう割合は 19% だった。他にも、偶発的にベゼル端を起点とするスワイプとして判定されてしまう割合が最小となるときのパラメータの組み合わせは  $n = \{29, 30\}$  および  $\tau = 0.01$  であり、そのときのベゼル端を起点とするスワイプを意図して実行可能である割合はそれぞれ 24% および 22%、偶発的にベゼル端を起点とするスワイプとして判定されてしまう割合は 0.58% だった。

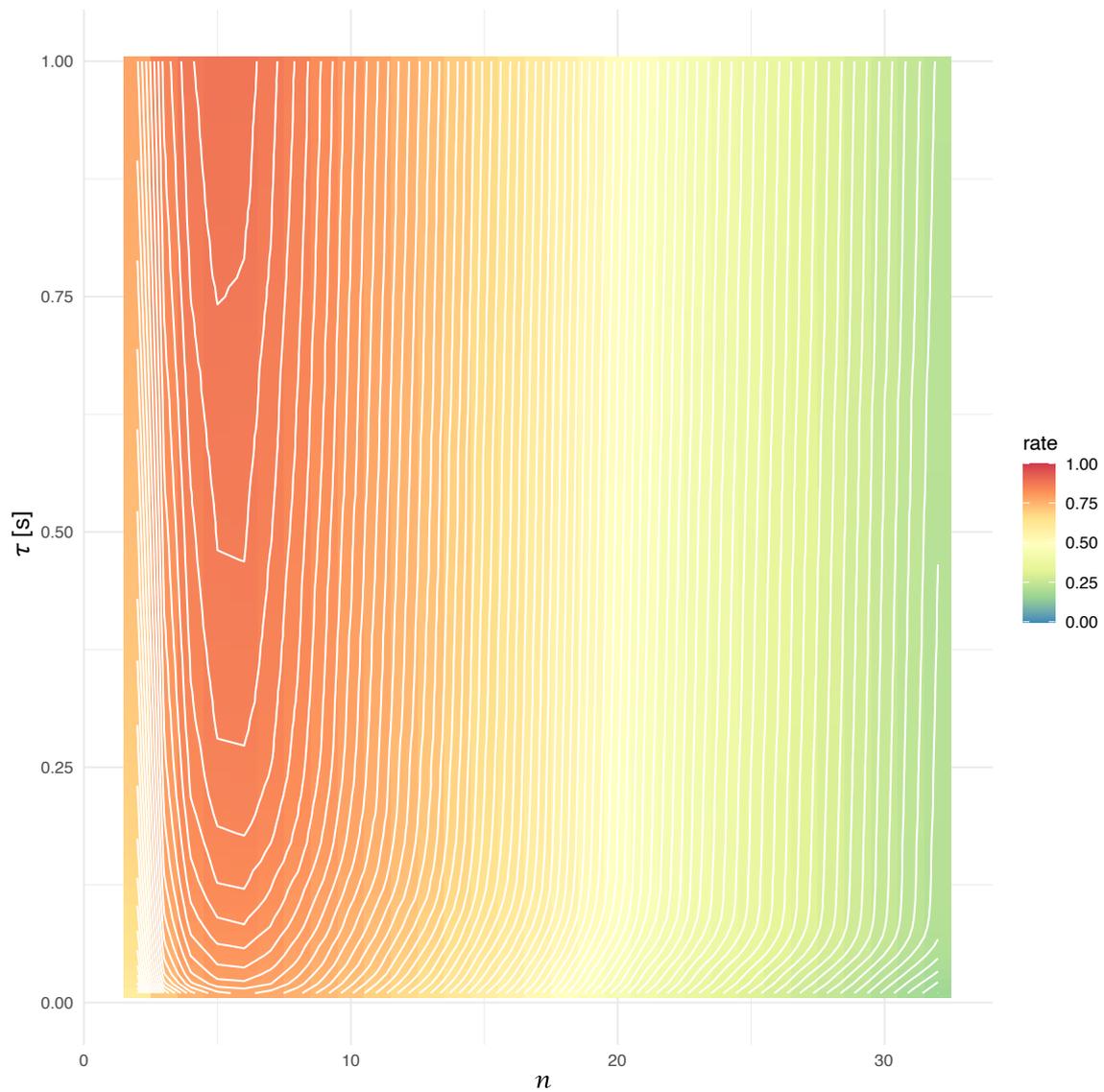


図 6.5: 式 3.1 のパラメータ  $n$  および  $\tau$  の組み合わせに対して、意図して行われたストロークが実際にベゼル端を起点とするスワイプであると判定される割合. ここで,  $n \in \{x|x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$  および  $\tau \in \{0.01x|x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$  である. また, 図中の等高線は 0.01 刻みである.

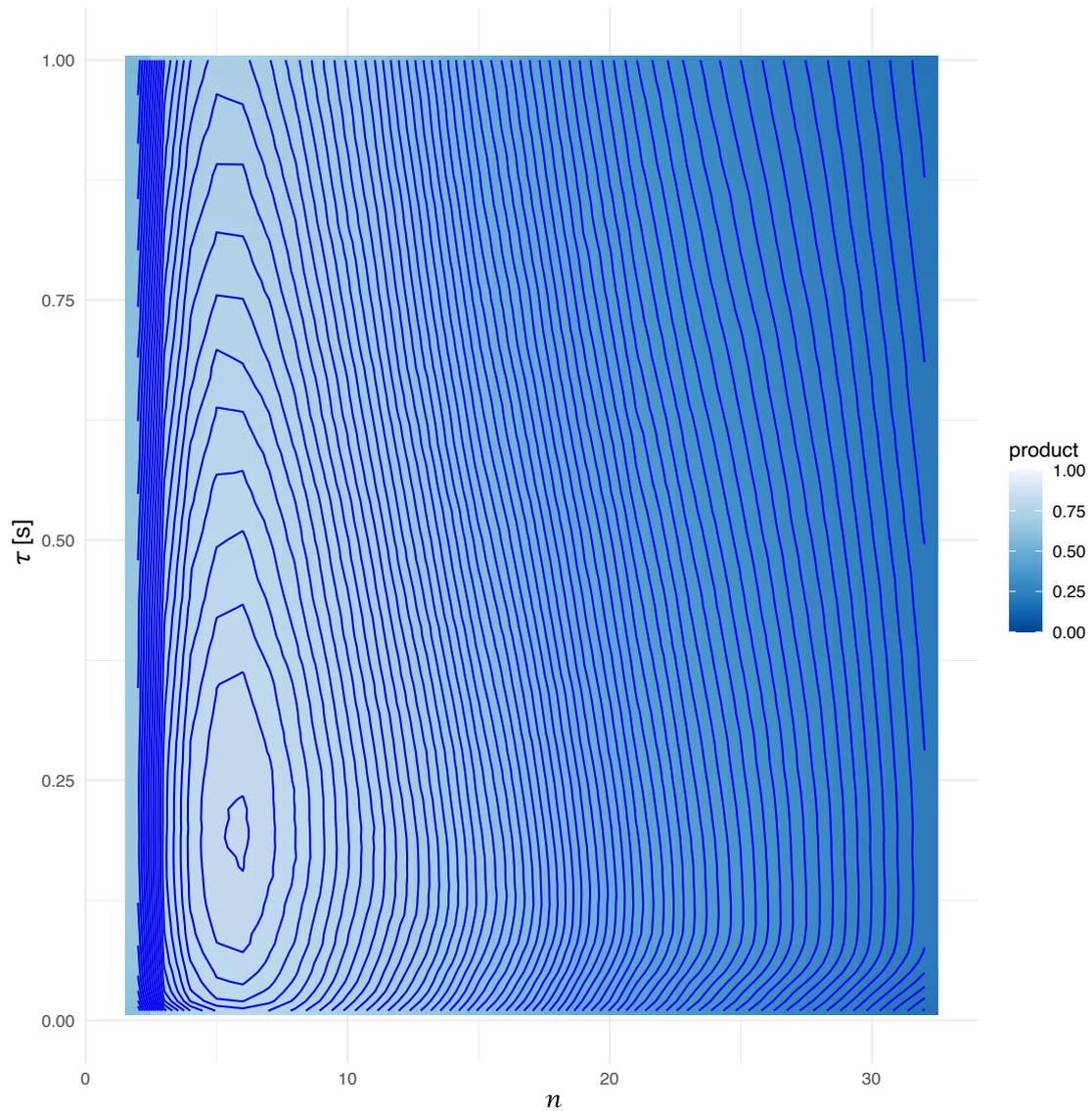


図 6.6: ベゼル端を起点とするスワイプが意図して実行可能かつ意図しない誤判定を抑えられる割合. ここで,  $n \in \{x | x \in \mathbb{N}, 2 \leq x \leq 32\}$  および  $\tau \in \{0.01x | x \in \mathbb{N}, 1 \leq x \leq 100\}$  である. また, 図中の等高線は 0.01 刻みである.

### 6.2.3 実験参加者が難しいと感じたスワイプの方向

アンケートにて得られたターゲットの出現位置毎に実験参加者が難しいと感じたスワイプの方向に対して、スワイプの方向毎の難しさの程度を求めた (図 6.7). ここで、難しさの程度は実験参加者、セッションおよびスワイプの方向毎に矢印が記入された場合には 1 を同セッション中に記入された矢印の総数にて割った点数を加算することにより算出された. 図 6.7 より、上端に表示されるターゲットに対してタッチパッドの下端を起点とするスワイプが、左端に表示されるターゲットに対してタッチパッドの右端を起点とするスワイプが、および右端に表示されるターゲットに対してタッチパッドの左端を起点とするスワイプが難しいと感じた割合がそれぞれ高いことがわかった. これに関して、セッション間の休憩中に実験参加者  $P_2$  から「前のポインタの位置に依存して難しさが変わると思った」、 $P_{10}$  から「例えば右上のターゲットだと、ポインタを動かすときに指を右上に動かすので、上端や右端からのスワイプのほうがやりやすいと感じた」との意見が得られた. そのため、One-Stroke Control をアプリケーションに実装する際には、アプリケーション上のボタンが表示される位置に応じてコマンドの実行に割り当てるベゼル端の起点を調整することにより、操作性を向上できると考えられる.

次に、スワイプの方向別に点数の分布を比較した (図 6.8). ウィルコクソンの順位和検定によるボンフェローニ補正を用いた多重比較の結果、上方向へのスワイプは下方向および左方向へのスワイプに対して点数に有意な差が示された ( $p_{up,down} = 0.00062 < 0.01, p_{up,left} = 0.0061 < 0.01$ ). これに関して、 $P_6$  は「タッチパッド下端がラップトップの縁と近いため、下端からのスワイプが難しいと感じた」と報告している. 実験に用いたラップトップコンピュータはタッチパッドの下端とラップトップコンピュータ自身の下端との距離が実寸にて 5.1 mm と短い. このようなタッチパッドのフォームファクタがベゼル端を起点とするスワイプを実行する難易度に影響を与える可能性がある.

## 6.3 実験における限界

本実験では One-Stroke Control の起動に用いたベゼル端を起点とするスワイプに対して、ユーザが意図して実行可能であるかを調査した. しかし、ベゼル端を起点とするスワイプが実行可能であることは One-Stroke Control が実行可能であることの必要条件であり、十分条件ではない. そのため、本実験にて明らかになったパラメータの組み合わせを用いてアプリケーションに実装した One-Stroke Control による操作をユーザに行ってもらった実験を通して、One-Stroke Control によりユーザが意図したコマンドの実行と制御を行えるか検証する必要がある.

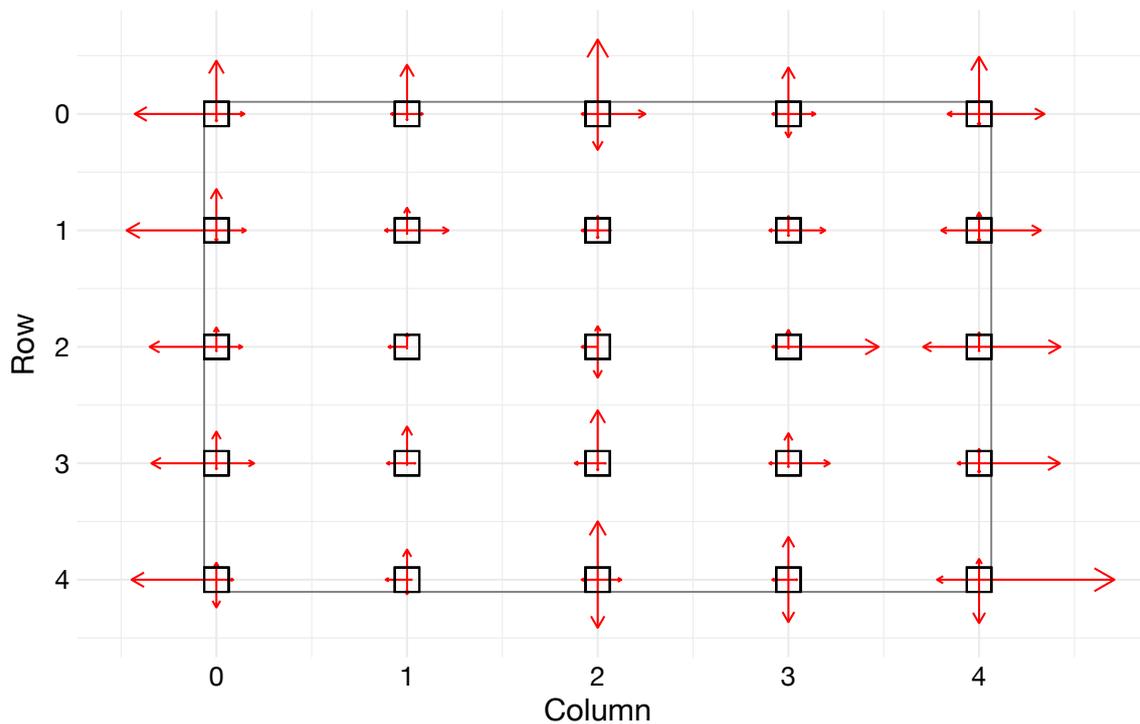


図 6.7: ターゲットの出現位置毎に実験参加者が難しいと感じたベゼル端を起点とするSwipeの方向および難しさの程度. 図中の正方形は各ターゲットに対応しており, 正方形の中心を起点とする上下左右の矢印は各ターゲットの上下左右へのSwipeに対する点数の総和を示す. 矢印の長さは, 各実験参加者およびセッション毎のアンケートにて報告された難しいと感じたSwipeの方向と個数に基づく点数の総和に比例する.

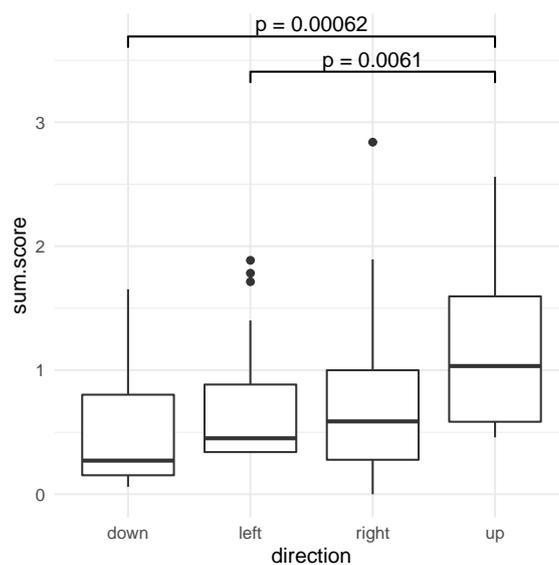


図 6.8: 方向毎の点数の分布. 箱ひげ図の上端は第三四分位数から第三四分位数と第一四分位数との差の 1.5 倍を足した値までに含まれる値のうち最も大きい値を, 下端は第一四分位数から第三四分位数と第一四分位数との差の 1.5 倍を引いた値までに含まれる値のうち最も小さい値を示す. また, ウィルコクソンの順位和検定によるボンフェローニ補正を用いた多重比較にて, 有意水準 1% に対して有意な差が示されたペアには  $p$  値を付記した.

## 第7章 議論

本章では，コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチパッド操作手法に関して今後の課題を述べる．

### 7.1 異なる検出アルゴリズム

本手法の実装に用いたベゼル端を起点とするスワイプを検出する式 3.1 は，1 番目から  $n$  番目までのタッチイベントが短時間のうちに発生し，等速運動として近似できることを仮定している．また，1 番目から  $n$  番目までの間にあるタッチイベントの情報は検出に用いていない．例えば，1 番目から  $n$  番目までの間にあるタッチイベントの情報から算出されるストロークの速度および経路長を用いる検出アルゴリズムを導入することにより，意図して実行されるベゼル端を起点とするスワイプの検出率を高め，意図しないタッチパッド操作に対する誤検出率をさらに低められる可能性がある．

### 7.2 未検証のパラメータ

本手法をアプリケーションに実装する際には，検出アルゴリズムにおけるパラメータの他にも，指の動きと値の増減との比率を定める必要がある．しかし，本論文においてアプリケーションへの実装に対する調査は未実施である．したがって，多様なアプリケーションに対して本手法によるコマンドの実行と制御を実装し，アプリケーションあるいは制御対象である値の種別に最適な比率を決定する必要がある．

### 7.3 視覚的ヒント

本論文において，本手法をアプリケーションに実装する際に用いる視覚的ヒントについて未検証である．3.3 節にて示した実用例では，視覚的ヒントの実装例として，ベゼル端を起点とするスワイプの識別時にオブジェクトから値の制御に応じて変動するスライダを表示する方法および制御中の値を直接ウインドウ中央に表示する方法を示した．これらの表示方法に対して，長期実験に基づく学習コストの調査およびユーザビリティに関する定性評価を行う必要がある．

## 7.4 手法の使用感

本論文において、手法を実装したアプリケーションを用いた使用感調査は未実施である。未検証のパラメータの決定と同様に、多様なアプリケーションに対して本手法によるコマンドの実行と制御を実装し、コマンドの実行と制御の速度ならびにエラー率に基づく定量評価および作業負荷ならびにユーザビリティに関する定性評価を行うべきである。

また、第6章の実験にて、タッチパッドのフォームファクタがベゼル端を起点とするスワイプの実行難易度に与える影響を議論した。異なるフォームファクタのタッチパッドを搭載するラップトップコンピュータを用いて、本手法によるコマンドの実行と制御の使用感を調査する必要がある。

## 7.5 手元を見ない場合の操作性

本手法ではタッチパッドを操作する手元を見ずともタッチジェスチャを実行できることを期待して、実行するコマンドの種類を識別のために、触覚により段差を感知できるタッチパッドの上下左右4辺のベゼル端を用いることにした。しかし、本論文において、実際に本手法が手元を見ずとも操作できるかに関しては未検証である。また、タッチジェスチャの始点となるベゼル端の位置をどの程度ユーザが区別できるかに関しても未検証である。これらの検証を実験を通して行うことにより、タッチパッドのベゼル端を4辺よりも細かく区分して実行可能なコマンドの種類を増加させられる可能性がある。

## 第8章 まとめ

本論文において、コマンドの実行と制御を一筆書きにて行うためのベゼル端を起点とするタッチパッド操作手法を示した。この手法をアプリケーションに実装することにより、ユーザがコマンドの実行と値の制御をタッチパッド上から指を離さずに継ぎ目なく行うことが可能となる。これにより、ユーザは音量や光量などの連続的な値の制御およびメニュー選択などのフィードバックを含む対話的な制御をアプリケーション上にてタッチパッド上から手指を移動させることなく実行することができる。また、本論文では、本手法の利用可能性を調査すべく、日常的なラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の予備調査、統制下におけるラップトップコンピュータ使用時のタッチパッドに対する操作の調査および意図したベゼル端を起点とするタッチパッド操作の調査を行った。手始めに行った予備調査にて、スワイプの開始位置の座標のみをベゼル端を起点とするスワイプの識別に用いると誤検出が生じる可能性があることがわかった。次に、予備調査の課題に基づいて設計した、日常的なラップトップコンピュータ使用時のタッチパッド操作を収集する実験を通して、タスク実行時のスワイプの速度には記録された全スワイプのうち遅いものの割合が高く、経路長には記録された全スワイプのうち短いものの割合が高いことがわかった。また、適当なパラメータを設定することにより、これらのスワイプがベゼル端を起点とするスワイプであると誤検出される割合を抑えられることがわかった。最後に、ベゼル端を起点とするスワイプをユーザが意図して実行可能であるかを検証するための実験を行うことにより、スワイプ中の2点のタッチイベントのみを用いる単純な識別方法でも意図して行われたベゼル端を起点とするスワイプを85%識別でき、かつ日常的なラップトップコンピュータ使用時の偶発的なベゼル端を起点とするスワイプの識別率を3.6%に抑えられることがわかった。したがって、本手法によるコマンドの実行と制御がユーザにより意図して起動可能であることが示された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、志築文太郎先生、高橋伸先生には多くのご意見とご指導をいただきました。心から感謝いたします。特に、主旨導教員である志築文太郎先生には、研究の進め方や論文の執筆方法のみならず、研究に対する心構えなど多岐にわたるご指導をいただきました。本論文を執筆することができたのは、志築文太郎先生の懇切丁寧なご指導があったことです。重ねて感謝いたします。

また、インタラクティブプログラミング研究室の先輩方、同期ならびに後輩たちには、3年間の研究生生活において大変お世話になりました。なかでも WAVE チームの皆様には、チームゼミをはじめ研究生生活での様々な場面にて、自身の研究がよりよいものとなるような多くの助言や意見、研究のアイデアをいただきました。また、就職活動においても多くの励ましや助言をいただき、心の支えとなりました。深く感謝いたします。

最後に、私を育て支えてくださった家族と大学院生活においてお世話になった全ての方々に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- [App20a] Apple Inc. Mac で Multi-Touch ジェスチャを使う. <https://support.apple.com/ja-jp/HT204895>, 2020. (2020 年 12 月 1 日閲覧).
- [App20b] Apple Inc. MacBook Pro で Touch Bar を使う方法. <https://support.apple.com/ja-jp/HT207055>, 2020. (2020 年 11 月 30 日閲覧).
- [App20c] Apple Inc. 感圧タッチトラックパッドの使い方. <https://support.apple.com/ja-jp/HT204352>, 2020. (2020 年 12 月 8 日閲覧).
- [App21a] Apple Inc. Custom Icons - Icons and Images - macOS - Human Interface Guidelines - Apple Developer. <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/macos/icons-and-images/custom-icons/>, 2021. (2021 年 1 月 5 日閲覧).
- [App21b] Apple Inc. NSGestureRecognizer — Apple Developer Documentation. <https://developer.apple.com/documentation/appkit/nsgesturerecognizer>, 2021. (2021 年 1 月 5 日閲覧).
- [AR14] Jonathan Aceituno and Nicolas Roussel. The Hotkey Palette: Flexible Contextual Retrieval of Chosen Documents and Windows. In *Proceedings of the 26th Conference on l'Interaction Homme-Machine, IHM '14*, pp. 55–59, Villeneuve d'Ascq, France, October 2014. Association for Computing Machinery.
- [AZ09] Caroline Appert and Shumin Zhai. Using Strokes as Command Shortcuts: Cognitive Benefits and Toolkit Support. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09*, pp. 2289–2298, Boston, MA, USA, April 2009. Association for Computing Machinery.
- [BCA<sup>+</sup>15] Mathieu Berthelley, Elodie Cayez, Marwan Ajem, Gilles Bailly, Sylvain Malacria, and Eric Lecolinet. SpotPad, LociPad, ChordPad and InOutPad: Investigating Gesture-Based Input on Touchpad. In *Proceedings of the 27th Conference on l'Interaction Homme-Machine, IHM '15*, pp. 1–8, Toulouse, France, October 2015. Association for Computing Machinery.
- [BCDMDP16] Alessio Bellino, Federico Cabitza, Giorgio De Michelis, and Flavio De Paoli. Touch&Screen: Widget Collection for Large Screens Controlled through Smart-

- phones. In *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, MUM '16, pp. 25–35, Rovaniemi, Finland, December 2016. Association for Computing Machinery.
- [Bea09] Thomas Beauvisage. Computer Usage in Daily Life. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 575–584, New York, NY, USA, April 2009. Association for Computing Machinery.
- [BG10] Florian Block and Hans Gellersen. Two-Handed Input in a Standard Configuration of Notebook with External Mouse. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, NordiCHI '10, pp. 62–71, New York, NY, USA, October 2010. Association for Computing Machinery.
- [BGV10] Florian Block, Hans Gellersen, and Nicolas Villar. Touch-Display Keyboards: Transforming Keyboards into Interactive Surfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, pp. 1145–1154, New York, NY, USA, April 2010. Association for Computing Machinery.
- [BJL<sup>+</sup>11] Sungwook Baek, Soohyun Jo, Haekwang Lee, Soryoung Kim, and Jangseok Kim. A New Input Device Putting Together Merits of Shortcut Key and Toolbar: Fast Keypad System. In *Proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '11, pp. 549–550, Beijing, China, September 2011. Association for Computing Machinery.
- [BLG10] Gilles Bailly, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. Finger-Count & Radial-Stroke Shortcuts: 2 Techniques for Augmenting Linear Menus on Multi-Touch Surfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, pp. 591–594, Atlanta, Georgia, USA, April 2010. Association for Computing Machinery.
- [BM08] Olivier Bau and Wendy E. Mackay. OctoPocus: A Dynamic Guide for Learning Gesture-Based Command Sets. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '08, pp. 37–46, Monterey, CA, USA, October 2008. Association for Computing Machinery.
- [BNLH11] Andrew Bragdon, Eugene Nelson, Yang Li, and Ken Hinckley. Experimental Analysis of Touch-Screen Gesture Designs in Mobile Environments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 403–412, Vancouver, BC, Canada, May 2011. Association for Computing Machinery.
- [CGHL12] Sangwon Choi, Jiseong Gu, Jaehyun Han, and Geehyuk Lee. Area Gestures for a Laptop Computer Enabled by a Hover-Tracking Touchpad. In *Proceedings of*

*the 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction, APCHI '12*, pp. 119–124, New York, NY, USA, August 2012. Association for Computing Machinery.

- [CHK<sup>+</sup>11] Sangwon Choi, Jaehyun Han, Sunjun Kim, Seongkook Heo, and Geehyuk Lee. ThickPad: A Hover-Tracking Touchpad for a Laptop. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium Adjunct on User Interface Software and Technology, UIST '11 Adjunct*, pp. 15–16, Santa Barbara, California, USA, October 2011. Association for Computing Machinery.
- [CZL<sup>+</sup>19] Wenzhe Cui, Jingjie Zheng, Blaine Lewis, Daniel Vogel, and Xiaojun Bi. HotStrokes: Word-Gesture Shortcuts on a Trackpad. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '19*, pp. 1–13, Glasgow, Scotland UK, May 2019. Association for Computing Machinery.
- [FLC17] Bruno Fruchard, Eric Lecolinet, and Olivier Chapuis. MarkPad: Augmenting Touchpads for Command Selection. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '17*, pp. 5630–5642, Denver, Colorado, USA, May 2017. Association for Computing Machinery.
- [GCS<sup>+</sup>14] Carl Gutwin, Andy Cockburn, Joey Scarr, Sylvain Malacria, and Scott C. Olson. Faster Command Selection on Tablets with FastTap. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, pp. 2617–2626, Toronto, Ontario, Canada, April 2014. Association for Computing Machinery.
- [GDB07] Tovi Grossman, Pierre Dragicevic, and Ravin Balakrishnan. Strategies for Accelerating On-Line Learning of Hotkeys. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '07*, pp. 1591–1600, San Jose, California, USA, April 2007. Association for Computing Machinery.
- [GHB<sup>+</sup>13] Emilien Ghomi, Stéphane Huot, Olivier Bau, Michel Beaudouin-Lafon, and Wendy E. Mackay. Arpège: Learning Multitouch Chord Gestures Vocabularies. In *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '13*, pp. 209–218, St. Andrews, Scotland, United Kingdom, October 2013. Association for Computing Machinery.
- [GHH<sup>+</sup>13] Jiseong Gu, Seongkook Heo, Jaehyun Han, Sunjun Kim, and Geehyuk Lee. LongPad: A Touchpad Using the Entire Area below the Keyboard of a Laptop Computer. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, pp. 1421–1430, New York, NY, USA, April 2013. Association for Computing Machinery.

- [GK12] Kentaro Go and Hiroki Kasuga. Multi-Tapping Shortcut: A Technique for Augmenting Linear Menus on Multi-Touch Surface. In *Proceedings of the 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, APCHI '12, pp. 209–218, Matsue-city, Shimane, Japan, August 2012. Association for Computing Machinery.
- [HGL14] Seongkook Heo, Jiseong Gu, and Geehyuk Lee. Expanding Touch Input Vocabulary by Using Consecutive Distant Taps. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 2597–2606, Toronto, Ontario, Canada, April 2014. Association for Computing Machinery.
- [HLH<sup>+</sup>18] Teng Han, Jiannan Li, Khalad Hasan, Keisuke Nakamura, Randy Gomez, Ravin Balakrishnan, and Pourang Irani. PageFlip: Leveraging Page-Flipping Gestures for Efficient Command and Value Selection on Smartwatches. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 1–12, Montreal QC, Canada, April 2018. Association for Computing Machinery.
- [Hop91] Don Hopkins. The Design and Implementation of Pie Menus. *Dr. Dobb's Journal*, Vol. 16, No. 12, pp. 16–26, December 1991.
- [HSH11] Chris Harrison, Julia Schwarz, and Scott E. Hudson. TapSense: Enhancing Finger Interaction on Touch Surfaces. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 627–636, Santa Barbara, California, USA, October 2011. Association for Computing Machinery.
- [HTT<sup>+</sup>14] Da-Yuan Huang, Ming-Chang Tsai, Ying-Chao Tung, Min-Lun Tsai, Yen-Ting Yeh, Liwei Chan, Yi-Ping Hung, and Mike Y. Chen. TouchSense: Expanding Touchscreen Input Vocabulary Using Different Areas of Users' Finger Pads. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 189–192, Toronto, Ontario, Canada, April 2014. Association for Computing Machinery.
- [IFS19] Kaori Ikematsu, Masaaki Fukumoto, and Itiro Siio. Ohmic-Sticker: Force-to-Motion Type Input Device That Extends Capacitive Touch Surface. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '19, pp. 1021–1030, New York, NY, USA, October 2019. Association for Computing Machinery.
- [IS17] Kaori Ikematsu and Itiro Siio. Carbon Copy Metaphor: Combining Absolute and Relative Coordinates Inputs for Trackpad. In *Proceedings of the 29th Australian Conference on Computer-Human Interaction*, OzCHI '17, pp. 492–496, Brisbane, Queensland, Australia, November 2017. Association for Computing Machinery.

- [IS18] Kaori Ikematsu and Itiro Siio. Ohmic-Touch: Extending Touch Interaction by Indirect Touch through Resistive Objects. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 1–8, New York, NY, USA, April 2018. Association for Computing Machinery.
- [IY20] Kaori Ikematsu and Shota Yamanaka. ScraTouch: Extending Interaction Technique Using Fingernail on Unmodified Capacitive Touch Surfaces. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 4, No. 3, pp. 81:1–81:19, September 2020.
- [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, Austin, Texas, USA, May 2012. Association for Computing Machinery.
- [KST16a] Yuki Kubo, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi. Watch Commander: A Gesture-Based Invocation System for Rectangular Smartwatches Using B2B-Swipe. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16 Adjunct, pp. 37–39, Tokyo, Japan, October 2016. Association for Computing Machinery.
- [KST16b] Yuki Kubo, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. 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, pp. 3852–3856, San Jose, California, USA, May 2016. Association for Computing Machinery.
- [Kur93] Gordon Paul Kurtenbach. *The Design and Evaluation of Marking Menus*. PhD thesis, University of Toronto, CAN, 1993.
- [LdCV20] Blaine Lewis, Greg d'Eon, Andy Cockburn, and Daniel Vogel. KeyMap: Improving Keyboard Shortcut Vocabulary Using Norman's Mapping. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, pp. 1–10, Honolulu, HI, USA, April 2020. Association for Computing Machinery.
- [LNPS05] David M. Lane, H. Albert Napier, S. Camille Peres, and Aniko Sandor. Hidden Costs of Graphical User Interfaces: Failure to Make the Transition from Menus and Icon Toolbars to Keyboard Shortcuts. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 18, No. 2, pp. 133–144, May 2005.
- [MGBC16] Sylvain Malacria, Alix Goguey, Gilles Bailly, and Géry Casiez. Multi-Touch Trackpads in the Wild. In *Actes de La 28ième Conférence Francophone Sur l'Interaction Homme-Machine*, IHM '16, pp. 19–24, New York, NY, USA, October 2016. Association for Computing Machinery.

- [MGMC17] Damien Masson, Alix Goguy, Sylvain Malacria, and Géry Casiez. WhichFingers: Identifying Fingers on Touch Surfaces and Keyboards Using Vibration Sensors. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, pp. 41–48, Québec City, QC, Canada, October 2017. Association for Computing Machinery.
- [Mic20a] Microsoft Corporation. Surface Dial のご紹介. <https://support.microsoft.com/ja-jp/surface/surface-dial-のご紹介-1e58a0e6-4d4a-6303-afcd-ef0234047628>, 2020. (2020年11月30日閲覧) .
- [Mic20b] Microsoft Corporation. Windows 10 のタッチパッド ジェスチャ. <https://support.microsoft.com/ja-jp/help/4027871/windows-10-touchpad-gestures>, 2020. (2020年12月1日閲覧) .
- [NS20] Takuto Nakamura and Buntarou Shizuki. Identification Method of Digits for Expanding Touchpad Input. In Masaaki Kurosu, editor, *Human-Computer Interaction. Multimodal and Natural Interaction*, Lecture Notes in Computer Science, pp. 463–474, Cham, 2020. Springer International Publishing.
- [OA14] Halla Olafsdottir and Caroline Appert. Multi-Touch Gestures for Discrete and Continuous Control. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '14, pp. 177–184, Como, Italy, May 2014. Association for Computing Machinery.
- [PLVB00] Stuart Pook, Eric Lecolinet, Guy Vaysseix, and Emmanuel Barillot. Control Menus: Execution and Control in a Single Interactor. In *CHI '00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '00, pp. 263–264, The Hague, The Netherlands, April 2000. Association for Computing Machinery.
- [RLG09] Anne Roudaut, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. MicroRolls: Expanding Touch-Screen Input Vocabulary by Distinguishing Rolls vs. Slides of the Thumb. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 927–936, Boston, MA, USA, April 2009. Association for Computing Machinery.
- [RT09] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-Free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1523–1526, Boston, MA, USA, April 2009. Association for Computing Machinery.
- [WZYF20] Pui Chung Wong, Kening Zhu, Xing-Dong Yang, and Hongbo Fu. Exploring Eyes-Free Bezel-Initiated Swipe on Round Smartwatches. In *Proceedings of the 2020*

*CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, pp. 1–11, Honolulu, HI, USA, April 2020. Association for Computing Machinery.

[ZLAV18] Jingjie Zheng, Blaine Lewis, Jeff Avery, and Daniel Vogel. FingerArc and FingerChord: Supporting Novice to Expert Transitions with Guided Finger-Aware Shortcuts. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, pp. 347–363, Berlin, Germany, October 2018. Association for Computing Machinery.

[ZV16] Jingjie Zheng and Daniel Vogel. Finger-Aware Shortcuts. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 4274–4285, San Jose, California, USA, May 2016. Association for Computing Machinery.

# 著者論文リスト

## 本論文に関する論文および発表

- (2021年1月11日現在, 未発表)

## その他の論文

- 査読あり国際会議論文

1. Yuta Urushiyama, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi. Preliminary Study of Screen Extension for Smartphone Using External Display. In Symposium on Spatial User Interaction (SUI '19). Association for Computing Machinery, October 2019, Article 29, 2 pages.
2. Yuta Urushiyama, Takuto Nakamura, and Buntarou Shizuki. A Design of Eyes-Free Kana Entry Method Utilizing Single Stroke for Mobile Devices. In Proceedings of the 2019 ACM CHI symposia on ASIAN CHI SYMPOSIUM: EMERGING HCI RESEARCH COLLECTION (Asian CHI Symposium 2019), Association for Computing Machinery, May 2019, 8 pages.

- 査読なし国内会議論文

1. 池田凌, 漆山裕太, 志築文太郎. スマートフォンにおける押下圧によるタップの拡張のための予備調査. 情報処理学会研究報告, Vol.2019-HCI-185, 情報処理学会, 2019年12月, 7ページ.
2. 漆山裕太, 志築文太郎, 高橋伸. 画面拡張時におけるミラーリング領域の表示方法に関する比較調査. 情報処理学会研究報告, Vol.2019-HCI-185, 情報処理学会, 2019年12月, 8ページ.
3. 漆山裕太, 志築文太郎, 高橋伸. 外部ディスプレイを用いたスマートフォンの画面拡張手法の予備調査. 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年9月, 2ページ.
4. 漆山裕太, 志築文太郎, 高橋伸. 異なる手形状に対する周波数応答の予備調査. 情報処理学会研究報告, Vol.2019-HCI-184, 情報処理学会, 2019年7月, 8ページ.

5. 漆山裕太, 中村拓人, 志築文太郎. 指の軌跡に基づくモバイル端末向けアイズフリーかな文字入力の提案. 情報処理学会研究報告, Vol.2019-HCI-181, 情報処理学会, 2019年1月, 8ページ.
6. 漆山裕太, 中村拓人, 志築文太郎. 指の軌跡に基づく手元の視認が不要なスマートフォン向けかな文字入力手法. 第26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 2018), 日本ソフトウェア科学会, 2018年9月, 2ページ.

## 付録A 実験の際に用いた各種書類

本研究における第5-6章の実験にて用いた、承諾書、実験同意書、タスクに関する説明書、および各章の実験におけるアンケートを以下に示す。

## A.1 承諾書

### 承 諾 書

令和 年 月 日

研究代表者  
志築 文太郎 殿

氏 名  
name

印  
signature

令和 2 年 10 月 15 日付けで依頼のありましたことについて、承諾します。

基盤研究 (A)

18H04104

## A.2 実験同意書

### 同 意 書

筑波大学システム情報系長 殿

私は、「課題名：ラップトップ PC に対する操作手法の評価」について、研究概要、方法、研究対象者の必要性、研究対象者に対するリスクと安全性、研究に参加する上で想定される危険の回避、ビデオ録画を含めた個人情報の保護について十分な説明を受けました。

説明の際、本研究に協力することに同意しなくても何ら不利益を受けないこと、さらに、同意後も私自身の自由意思により不利益を受けず、参加の同意を撤回できることも理解しました。また、研究や実験の終了後であっても、枠下に指定の期日迄であれば、データ提供の同意を撤回できることも理解しました。私は、このことを理解した上で研究対象者になることに同意します。

令和 年 月 日

氏 名 \_\_\_\_\_ (署名)

「課題名：ラップトップ PC に対する操作手法の評価」の研究について、次の内容について  
令和 年 月 日に説明を行い、上記のとおり同意を得ました。

実施責任者 所 属 \_\_\_\_\_

氏 名 \_\_\_\_\_ (署名又記名押印)

データ提供の同意撤回の期限は同意書署名の日から 30 日後までとさせていただきます。

研究や実験に協力した結果、不都合があった場合の連絡先

実施責任者 (所属:筑波大学 システム情報系 氏名:志築文太郎 TEL:029-853-5520 )

筑波大学 システム情報系 研究倫理委員会 事務局

(システム情報エリア支援室 TEL:029-853-4989 )

① 研究の概要について

私たちはラップトップPCに対するタッチパッドを利用した操作手法を開発し、ラップトップPCのタッチパッドに対するラップトップPC使用者の操作の特性を調査しています。また、調査した特性に基づいて操作手法の性能や使用感の評価を行っています。操作手法は、ラップトップPCのタッチパッドに対するタッチ、スワイプまたはドラッグといったジェスチャ入力を応用することによって操作性の向上を図って提案されたものです。

**拘束時間**

実験の1回当たりの所要時間は、休憩やアンケート記入に要する時間も含めて最大120分となります。

**謝金の対応**

実験参加者には、実験へ参加した時間に対する報酬として、筑波大学の謝金規定に基づいた時給を支払います。報酬の支給方法は口座振り込みまたはアマゾンギフト券等の提供とします。実験を途中で止めた場合も、実験参加者が実験に参加した時間から時給を算出し、支払うこととします。

[研究の期間]

研究倫理委員会承認後 ～ 2024年 3月 31日

② 研究対象者の必要性、研究への参加におけるリスクと安全性、危険回避の方法について

本実験の参加は任意であり、参加に同意しないことによる影響は一切ありません。また、実験参加者が与えたインフォームド・コンセントについて、いつでも不利益を受けることなく撤回することができます。

本実験では、私たちが設計・開発した提案手法によってラップトップPCへ意図した操作が可能かどうか、その使い勝手はどうかを調査するために、設計・開発中の提案手法のプロトタイプシステムを実験参加者に使用していただき、その後アンケートにご回答頂きます。回答したくない項目に関しては空欄としてください。

本実験にて用いるラップトップPCは、ハードウェア改造を施していない市販品のため、安全上の問題はありません。また、ラップトップPCは実験開始前および実験終了後にアルコールウェットタオルを用いて消毒し、実験参加者に清潔な状態にて提供します。

その他実験に伴う必然的な心身上の苦痛及び不快な状態として、長時間の実験による拘束、およびそこから生じる疲労が考えられます。ただし、ご協力いただいた時間の対価として謝金を支払い、実験中は十分な休憩を取られるように最大限配慮いたします。

研究成果公表の際、実験参加者から得られたデータは個人を特定できないように加工して使用いたします。

研究に関する問い合わせは同意書署名欄下部に記載された連絡先(志築文太郎教授)までお願いします。

**<新型コロナウイルス感染症への対策>**

令和2年5月4日付け新型コロナウイルス感染症対策専門家会議にて示された「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」を参考に、下記の対策を実施します。

実験実施者および実験参加者は、実験日前14日間の健康状況観察を行い、発熱、風邪症状(咳・鼻水・のどの痛み・強い倦怠感・息苦しさ等)、ならびに明らかな誘因(舌の火

傷・花粉症等)のない味覚・嗅覚障害等が無いことを確認します。

□ 実験参加者が入室する前に、実験室への入退室ならびに実験の際に参加者が触れ得る箇所をアルコール等の消毒液にて消毒します。また、実験中は実験室の換気を行います。

□ 実験を実施するにあたって、実験実施者および実験参加者のマスクの着用ならびに手指の消毒を徹底します。また、手指の消毒のために、実験室の入口付近に消毒設備を設置します。

□ 実験実施者と実験参加者の接触を最大限に抑えるため、実施者と参加者間にはパーティションを設置します。実験実施者がパーティションを超えて実験参加者に指示を行う必要が生じた場合には、マスクおよび使い捨て手袋を着用した上で指示を行います。指示が完了次第、速やかに実施者と参加者間に 2メートル以上の距離を確保することを徹底します。

### ③ 個人情報の保護について

□ 実験中に写真やビデオの撮影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を行います。その写真やビデオ、音声データを発表において利用する場合は、別途承諾書にて実験参加者の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。

□ 実験への参加は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。参加の拒否・撤回によって被る不利益は一切ありません。

□ 学会・論文などでデータを発表する際は、データおよびそれを統計的に処理したものだけを用います。実験参加者を表現するためには記号・数字を用います。個人を特定できる情報は公表しません。ただし、実験参加者全体については、性別、年齢の範囲、ラップトップPCの使用経験等の属性を公表することがあります。

□ 実験において得たデータは全て暗号化された状態で研究成果公表後 10年間保存されます。暗号化に用いられるパスワードは本研究に関わる研究者のみが知っているものを使用します。なお、さらに安全を期すため、実験データは対応表を用いて個人を特定可能な情報と分離した上で保存します。個人名が記入された書類は研究期間の終了後シュレッダーにて粉碎されます。

□ 上記以外のいかなる場合においても実験協力者のプライバシーは保全されます。

### A.3 ビデオ画像の公開についての同意書

#### ビデオ画像の公開についての

承諾書・承諾変更書 (どちらかに○を付けてください)

筑波大学システム情報系  
志築文太郎 殿

私は、「研究課題：ラップトップ PC に対する操作手法の評価」におけるビデオ画像が公開されることについて

(該当する選択肢の□にチェックを付けてください)

- 承諾します。(どちらかにチェックを付けてください。)
- 顔が特定される形式のまま、画像が論文発表、Web への掲載、テレビ放映などで公開されることに異存ありません。
- モザイク処理等をして個人が特定されない形式にした上で、画像が論文発表、Web への掲載、テレビ放映などで公開されることに異存ありません。
- 以下の条件付きで公開を承諾します。  
条件：(具体的に記述してください)
- 承諾しません。

令和\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 氏名\_\_\_\_\_

## A.4 タスクに関する説明書

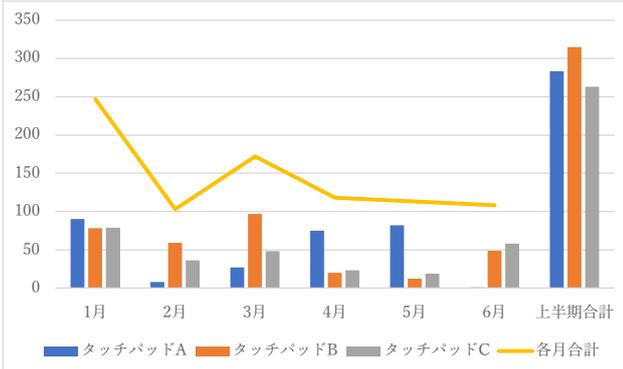
### タスク

文責：漆山 裕太

#### はじめに

- 次のページに記載されているすべてのタスクを、1つずつ、上から順番に行ってください。
- 各タスクを行うために用いるソフトウェアには、特に指定のない場合には実験用コンピュータにインストール済みのものから最も操作に慣れているものを選択してください。インストール済みのソフトウェア一覧はこの書類の末尾に記載されています。
- 行ったタスクには、タスク横のチェック欄にレ点を入れてください。
- どうしても操作がわからない、何をすればよいかわからない場合には、次のタスクに進んでください。スキップしたタスク横のチェック欄にはレ点を入れてはいけません。
- この実験はタスク実行の速度や正確さを測るものではありません。そのため、制限時間を特に設けておりません。落ち着いて、個人のペースに合わせてタスクを行ってください。
- すべてのタスクを終えたら、コンピュータから手を離して実験者にお知らせください。

タスク一覧

		タスク																																																						
1	<input type="checkbox"/>	Web ブラウザを用いて、IPLAB 公式ウェブサイトのトップページ ( <a href="https://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/">https://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/</a> ) を開いてください。																																																						
2	<input type="checkbox"/>	Web ブラウザを用いて、「タッチパッド 画像」というキーワードによる Web 検索を行い、見つけた画像の中から任意の画像 3 枚をデスクトップに保存してください。																																																						
3	<input type="checkbox"/>	表計算ソフトを用いて、以下の画像同様の表を作成してください。 <table border="1" data-bbox="518 795 1141 884"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1月</td> <td>2月</td> <td>3月</td> <td>4月</td> <td>5月</td> <td>6月</td> <td colspan="2">上半期合計</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>タッチパッドA</td> <td>90</td> <td>8</td> <td>27</td> <td>75</td> <td>82</td> <td>1</td> <td>283</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>タッチパッドB</td> <td>78</td> <td>59</td> <td>97</td> <td>20</td> <td>12</td> <td>49</td> <td>315</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>タッチパッドC</td> <td>79</td> <td>36</td> <td>48</td> <td>23</td> <td>19</td> <td>58</td> <td>263</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>各月合計</td> <td>247</td> <td>103</td> <td>172</td> <td>118</td> <td>113</td> <td>108</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C	D	E	F	G	H	1	1月	2月	3月	4月	5月	6月	上半期合計		2	タッチパッドA	90	8	27	75	82	1	283	3	タッチパッドB	78	59	97	20	12	49	315	4	タッチパッドC	79	36	48	23	19	58	263	5	各月合計	247	103	172	118	113	108	
	A	B	C	D	E	F	G	H																																																
1	1月	2月	3月	4月	5月	6月	上半期合計																																																	
2	タッチパッドA	90	8	27	75	82	1	283																																																
3	タッチパッドB	78	59	97	20	12	49	315																																																
4	タッチパッドC	79	36	48	23	19	58	263																																																
5	各月合計	247	103	172	118	113	108																																																	
4	<input type="checkbox"/>	表計算ソフトを用いて、タスク 3 にて作成した表をもとに以下のようなグラフを作成してください。  <table border="1" data-bbox="518 963 1141 1332"> <caption>グラフのデータ</caption> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> <th>4月</th> <th>5月</th> <th>6月</th> <th>上半期合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>タッチパッドA</td> <td>90</td> <td>8</td> <td>27</td> <td>75</td> <td>82</td> <td>1</td> <td>283</td> </tr> <tr> <td>タッチパッドB</td> <td>78</td> <td>59</td> <td>97</td> <td>20</td> <td>12</td> <td>49</td> <td>315</td> </tr> <tr> <td>タッチパッドC</td> <td>79</td> <td>36</td> <td>48</td> <td>23</td> <td>19</td> <td>58</td> <td>263</td> </tr> <tr> <td>各月合計</td> <td>247</td> <td>103</td> <td>172</td> <td>118</td> <td>113</td> <td>108</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	上半期合計	タッチパッドA	90	8	27	75	82	1	283	タッチパッドB	78	59	97	20	12	49	315	タッチパッドC	79	36	48	23	19	58	263	各月合計	247	103	172	118	113	108															
項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	上半期合計																																																	
タッチパッドA	90	8	27	75	82	1	283																																																	
タッチパッドB	78	59	97	20	12	49	315																																																	
タッチパッドC	79	36	48	23	19	58	263																																																	
各月合計	247	103	172	118	113	108																																																		
5	<input type="checkbox"/>	文書作成ソフトを用いて、以下3つの見出しを記述してください。 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. タッチパッド A (上半期合計 283)</li> <li>2. タッチパッド B (上半期合計 315)</li> <li>3. タッチパッド C (上半期合計 263)</li> </ol>																																																						

6	<input type="checkbox"/>	文書作成ソフトを用いて、タスク 5 にて作成した各見出しの下に、タスク 2 にてデスクトップに保存した画像を 1 枚ずつ配置してください。
7	<input type="checkbox"/>	文書作成ソフトを用いて、タスク 5 にて作成した 1 つ目の見出しの上部に、タスク 4 にて作成したグラフを配置してください。
8	<input type="checkbox"/>	メールソフトを用いて、以下のメールアドレス宛にタスク 7 にて作成した文書ファイルを添付して送信してください。 Mail : urushiyama@iplab.cs.tsukuba.ac.jp 件名 : 実験タスクのファイル送付
9	<input type="checkbox"/>	音楽再生ソフトを用いて、デスクトップの「Music」フォルダ内にある音楽ファイルのうち、任意の 3 つを試聴してください。
10	<input type="checkbox"/>	メールソフトを用いて、以下のメールアドレス宛にタスク 9 にて試聴した音楽ファイル名と最も印象に残った箇所の再生位置（始点—終点）を記述して送信してください。 Mail : urushiyama@iplab.cs.tsukuba.ac.jp 件名 : 実験タスクの音楽再生 本文の例： 1. Sample01.mp3 (01:40-02:12) 2. Sample04.mp3 (03:10-03:12) 3. Sample06.mp3 (02:15-02:42)
11	<input type="checkbox"/>	ゲームソフト「Reversi!」を用いて、リバーシを 1 局遊んでください。 ※次のタスクにて勝敗結果を記録するので、勝敗結果の表示から先へは進まないでおいってください。
12	<input type="checkbox"/>	メールソフトを用いて、以下のメールアドレス宛にタスク 11 にて遊んだリバーシの勝敗結果を記述して送信してください。 Mail : urushiyama@iplab.cs.tsukuba.ac.jp 件名 : 実験タスクのリバーシ勝敗結果 本文の例： 敗北（白 13—黒 51）

以上ですべてのタスクは終了となります。お疲れさまでした。

インストール済みのソフトウェア一覧

種類	ソフトウェアの名称
Web ブラウザ	Safari、Google Chrome、Firefox、Opera、Opera Neon、Brave、Vivaldi
表計算ソフト	Excel、Numbers、Google Spreadsheet、WPS Spreadsheets、LibreOffice Calc、Apache OpenOffice
文書作成ソフト	Word、Pages、Google Docs、WPS Writer、LibreOffice Writer、Apache OpenOffice
メールソフト	Outlook、メール (Apple)、Gmail、Thunderbird、Spark、AirMail 4
音楽再生ソフト	QuickTime Player、Apple Music、VLC media player、Pine Player、VOX MP3 & FLAC Music Player
ゲーム	Reversi!

## A.5 第5章の実験にて用いたアンケート

本アンケートはオンラインのフォームにて回答してもらった。付録としてフォームの印刷版を掲載する。

## 実験に関するアンケート

文責：漆山裕太

\*必須

1. お名前（アンケートの結果は匿名化した上で利用します）\*

\_\_\_\_\_

2. 性別\*

1つだけマークしてください。

男

女

その他: \_\_\_\_\_

3. 年齢（○歳）\*

\_\_\_\_\_

4. 日常生活における利き手\*

1つだけマークしてください。

左手

右手

5. ラップトップPCのタッチパッド操作に主に用いる手\*

1つだけマークしてください。

左手

右手

6. ラップトップPCの使用経験（○年○ヶ月）\*

\_\_\_\_\_

7. 最も操作に慣れているラップトップPCの機種\*

\_\_\_\_\_

8. 1週間のうち、どのくらいラップトップPCを操作することがありますか？（○時間程度）\*

\_\_\_\_\_

9. 普段ラップトップPCを用いて行う作業について、使用頻度の高いカテゴリ順に以下の選択肢から最大5つを選んで記述してください。

1行につき1つだけマークしてください。

	Webブラウザ	インスタントメッセージ (LINEやFacebook Messengerなど)	SNS (TwitterやFacebookなど)	メール	P2P	ゲーム	オフィスソフトの利用	映像・音楽の視聴 (YouTube等のオンライン視聴含む)	コンテンツ制作	その他
1番目	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2番目	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3番目	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4番目	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5番目	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

各タスクに関するアンケート

各質問に対して思う度合いを回答してください。  
(そう思う) 5 - 4 - 3 - 2 - 1 (まったく思わない)

10. 1番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

11. 2番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

12. 3番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

13. 4番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

14. 5番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

15. 6番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

16. 7番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

17. 8番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

18. 9番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

19. 10番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

20. 11番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

21. 12番目のタスクを行うことについて：\*

1行につき1つだけマークしてください。

	5	4	3	2	1
簡単だと感じた	<input type="radio"/>				
疲れを感じた	<input type="radio"/>				

あともう少しです

特に難しかったタスクや不便を感じたタスクがあれば、そのタスクの番号と合わせて難しかった / 不便を感じた理由をご記入ください。

22. タスク番号

---

23. 難しかった / 不便を感じた理由

---

---

---

---

24. ラップトップPCを用いて作業する際に、どのような機能を素早く実行できると便利だと思いますか。

---

---

---

---

---

---

このコンテンツは Google が作成または承認したものではありません。

Google フォーム

## A.6 第6章の実験にて用いたアンケート

### タスクの難しさに関するアンケート

文責：漆山裕太

- 各ターゲット上で指をベゼル端から動かすことに関して、特に難しいと感じた指を動かす方向を記入してください。
- 凡例はタッチパッドの左端から右に指を動かすことが難しい場合の記入例です。
- 1つのターゲットに複数の難しいと感じた方向を記入しても構いません。
- 特に難しいと感じなかった場合、ターゲットに方向を記入する必要はありません。

セッション番号： \_\_\_\_\_

