

ラップトップコンピュータに対し タッチパッド操作を行う親指の左右識別手法

中村 拓人^{1,a)} 志築 文太郎^{2,b)}

概要：キーボードに手を置いたまま各種の操作が行えれば便利である。我々は、多くのラップトップコンピュータがキーボードの下に配置されるようタッチパッドを搭載していることに着目し、ユーザの手がキーボードのホームポジション上にある状態における、タッチパッド操作を行う手の親指の左右識別手法を提案する。提案手法は、親指の左右識別にタッチパッドのみから得られる特徴量を用いるため、追加のセンサや器具を必要としないという特徴を有する。提案手法の応用により、ユーザがキーボードのホームポジションから手を大きく移動させることなく実行可能なタッチパッド操作を拡張することができる。

1. はじめに

ラップトップコンピュータ（以降、ラップトップ）には入力インターフェースとしてキーボードおよびタッチパッドが搭載されることが多い。このようなラップトップにおいて、ユーザはタイピングとタッチパッド操作を行うために、必要に応じて手をキーボード上とタッチパッド上へ頻繁に往復させる。しかし、この手の頻繁な移動はユーザに煩わしさを感じさせる原因になりうる。そのため、ユーザがキーボードのホームポジション（以降、ホームポジション）に手を置いたまま、あるいはほとんど手を移動することなく、各種の操作を行うことができれば便利である。

我々は、多くのラップトップにおいてキーボードの中央真下にタッチパッドが配置されていることに着目し、ホームポジションに手を置いた状態における親指によるタッチパッド操作の拡張を試みている。これまでに我々は先行研究 [1]において、ラップトップのインカメラに鏡を取り付け、キーボードおよびタッチパッド周辺の画像（ユーザの手を含む）を取得し、画像処理を行うことによりタッチパッド操作に用いられている手（実際には親指）の左右を識別する手法を示した。この識別が可能であることの利点は、同じタッチパッド操作（例えば、タップ操作、クリック操作、あるいはドラッグ操作）であっても、操作に用いら

れる手の左右により異なるコマンドを割り当てられるという点である。さらに、複数の指を必要とするタッチパッド操作（例えば、二本指によるスクロール操作やピンチ操作）を一本の指に割り当てるにも可能なため、利き手の親指によるドラッグ操作を通常のドラッグ操作に割り当て、反対の手によるドラッグ操作画面のクロース操作に割り当てるなど、本来であれば一本指にて行う操作と二本指にて行う操作を、左右の親指それぞれに割り当てることが可能である。しかし、先行研究の手法はラップトップのインカメラを恒常的かつ独占的に使用するため、ビデオ会議と共存できないという問題を抱えていた。また、カメラを用いる手法は環境光の影響を強く受けるため、使用前に調整が必要となる。

そこで、我々はカメラ、あるいは追加のセンサや機材を用いず、また手にマーカをつけることなく、タッチパッドから取得可能なデータのみを用いてタッチパッド操作に用いられる手の識別を行うことを試みることにした。本稿において、我々はラップトップに対しタッチパッド操作を行う親指の左右識別手法を示す。また、提案手法の識別制度を調査するために行った予備実験の結果を報告する。

2. 関連研究

本研究は、ラップトップのホームポジションから手を大きく移動させずに行えるタッチパッド操作を拡張することを目的としている。そのため本研究と強く関連する研究として、ホームポジションから手を移動させずに実行可能な操作を検討した研究、タッチパッドの機能拡張に関する研究、タッチパッドやタッチパネルの操作に用いられる手の状態認識手法に関する研究が挙げられる。

¹ 筑波大学コンピュータサイエンス専攻

Department of Computer Science, University of Tsukuba

² 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

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

b) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

2.1 ホームポジション上にて実行可能な操作手法

これまでにホームポジションから手を移動させずに実行可能な操作手法が提案されている。暦本のThumbSense [2] はタッチパッドに指が触れている間キーボードの特定のキーをマウスボタンやホイールキーとして機能させることにより、ユーザは手をキーボードのホームポジションに置いたままタッチパッドを用いてマウス操作を行うことが可能である。また、黒澤ら [3] は爪によるキーボードのキートップに対する引っ掻きを新たな操作手法として提案した。この手法は、爪による引っ掻きにて鳴る音を分析し、ユーザがキートップを上下左右どの方向へ引っ掻いたか、またどの程度強く引っ掻いたかを識別して操作に用いている。高田ら [4] は、キーボードの F キーおよび J キーの一連の操作を開始符号とし、キーボード上の左手が置かれる領域のキーを用いたなぞり操作にてポインティングが行える手法を提案した。Block らの Touch-Display Keyboards [5] はキーボードのキートップ表面にプロジェクターを用いてショートカットコマンドのメニューアイコンを表示する。これにより、使用中のアプリケーションのコンテキストに合わせて動的に各キーのコマンド割り当てを変更可能であり、また複数のキーを用いたスライダーを表示することも可能である。Zheng ら [6] はラップトップのインカメラに鏡を取り付けることにより取得したキーボード上の手の画像より、手、指、およびそれらの姿勢を識別し、キーボードショートカットを拡張した。また、Zheng ら [7] は特殊な手の姿勢にてキー操作を行うことでショートカットコマンドを実行可能とする手法 FingerArc と FingerChord を提案した。前者は、中指、薬指、および小指を折り曲げた状態にて人差し指で特定のキーを押し離した際に人差し指と親指の角度に基づいたコマンドが実行される手法である。後者は、薬指および小指を折り曲げた状態にて薬指で特定のキーを押した後、薬指で押しているキーの周囲のキーを人差し指にて押すことで二つのキーの相対位置に基づいたコマンドが実行される手法である。

これらの手法に対して、我々はホームポジション上に手を置いた状態における親指によるタッチパッド操作拡張を目的とし、タッチパッド操作に用いられる指の左右識別に焦点を当てた。

2.2 タッチパッドの機能拡張手法

タッチパッドの機能を拡張する手法がソフトウェアの側面とハードウェアの側面から数多く提案されてきている。Berthelemy ら [8] は、特定のキーを長押しすることにより画面上にコマンドメニュー群が格子状に表示され、任意のコマンドメニュー領域をタッチパッドにて選択することでコマンドを実行する手法、および特定のキーを長押しすることにより画面の 4 頂点および 4 辺にコマンドメニューが表示され、タッチパッドにてベゼルスワイプすること

でコマンドを実行する手法を提案している。Block ら [9] は、ラップトップへの入力デバイスとしてマウスとタッチパッドを兼用して用いる際、マウスを利き手で操作すると仮定し、左手によるタッチパッド操作をアプリケーションの特定の操作に割り当てた。池松ら [10] は、インピーダンス値が変化するオブジェクトを介した間接的なタッチ(Ohmic-Touch)を導入することにより、タッチ入力の状態をタッチ/非タッチの 2 状態の離散値としてではなく、連続値として取得することを可能とし、タッチ入力のモダリティを拡張した。また、阿部 [11] は、タッチパッドの表面上に格子状に突起や溝を設けることにより、タッチパッド上で指を滑らせる際に上下左右方向を指先で感知できるようにした。Choi らの ThickPad [12] は赤外線距離センサを格子状に並べたタッチパッドにより表面から 10 mm までのホバー操作を取得可能とした。Jung ら [13] は点字ディスプレイモジュールを格子状に並べることにより構成されたタッチパッド (PinPad) を開発し、タッチパッドへ高解像度な触覚フィードバックを付加した。Fruchard ら [14] は市松模様状に貼られたマーカにより領域が区分けされたタッチパッドを用いて、特定の領域の組にて開始終了する指のなぞり操作により特定のコマンドの実行やアプリケーションの起動を可能とする手法 MarkPad を提案した。

提案手法はタッチパッド操作に用いられる親指の左右により異なるコマンドが実行されるようなタッチパッドの機能拡張を行う。

2.3 手の状態認識手法

タッチパッドやタッチパネルの操作に用いられる手の状態認識を行う手法が複数提案されている。竹岡ら [15] は 3 層のラインレーザと高速カメラを用いて画像処理を行うことにより、タッチパネルの操作面近傍における手指の 3 次元姿勢を認識する手法 Z-touch を提案した。Tung らの FlickBoard [16] はキーボードカバーに静電容量を感知する導線を格子状に組み込み、キーボードに対するの指のタッチの検出を可能とした。これによりキーボードとタッチパッドを一つのインターフェースとして統合し、キーボード上におけるタッチパッド操作を可能とした。Zhang ら [17] はタッチパネルから取得したタッチ点、作業領域、指の向き、および指の位置の情報と人体解剖学に基づき、ユーザの手の左右を識別する手法を提案した。Walther-Franks ら [18] は赤外線カメラにてタッチパネル表面に映るユーザの腕から指先までの影をグレースケール画像として取得し、影の濃淡と人体解剖学に基づきユーザの手の左右を識別した。

提案手法は、ユーザの手がホームポジション上に置かれているという前提条件の下、タッチパッドから取得可能なデータのみを用いて、タッチパッド操作に用いられる親指の左右を識別する。

3. 提案手法

本節にてタッチパッドから取得可能なデータのみを用いて、タッチパッド操作に用いられる親指の左右を識別する手法の原理およびアルゴリズムについて述べる。なお、提案手法の親指の左右識別は、ユーザの手がホームポジション上に置かれている状態を前提条件としている。

3.1 親指の左右識別原理

図1に示すように、ホームポジションに手が置かれた状態では親指の動作が制限される。この親指の動作の制限により、タッチパッドに対する親指の角度や接触面の形状、面積はタッチパッド領域上の各座標に則する。また、この親指の動作の制限は、親指の付け根の位置や手首の位置、あるいは中指や薬指の指先の位置に依存するため、左右の手により線対称的に異なる。そのため、タッチパッドに対する親指の角度や接触面の情報を特徴量とした分類を行うことで、左右の親指の識別が可能である。なお、タッチパッドに対する親指の接触面は近似的に橈円として扱い、この橈円の長径の傾きをタッチパッドに対する親指の角度として扱う。特性上橈円の長径の傾きは0–180度の範囲となるため、タッチパッドに対する親指の角度もこの範囲内のものとなる。

3.2 親指の左右識別アルゴリズム

我々は親指の左右識別を実現するために機械学習を用いた。親指の左右識別アルゴリズムは学習フェーズおよび分類フェーズの2つの処理にて構成される。

3.2.1 学習フェーズ

学習フェーズでは、左右の親指にてタッチパッドが操作された際タッチパッドからデータを収集してデータセットを作成し、このデータセットを用いて機械学習モデルを生成する。まず、タッチパッド領域を縦横8×8=64の領域に分割し、各領域ごとに50データ分、左右の親指それぞれのデータを収集する。収集するデータは、タッチパッ

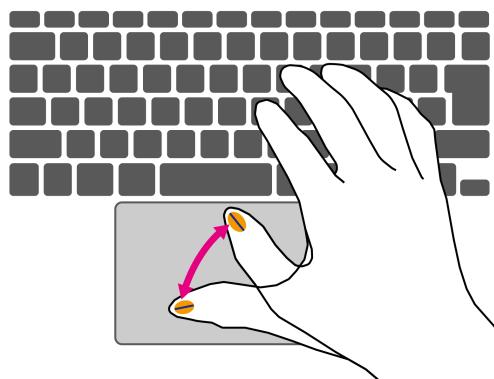


図1 ホームポジションに手が置かれた状態における親指の動作例。
親指の接触面の状態はタッチパッド上の各座標に則する。

ドに対する親指の接触面を橈円とした時、その橈円の中心座標、長径、短径、および長径の傾きである。収集の際、ユーザはホームポジション上に手を構え、なるべくホームポジションを崩さないよう心がけながら、各親指にてタッチパッド領域を横断的に満遍なくなぞる必要がある。左右の親指それぞれのデータを収集後、勾配ブースティング木を用いて学習モデルを生成する。この際、応答変数として親指の左右（左ならば-1、右ならば+1）を入力し、予測変数として接触面の中心のx座標およびy座標、長径、短径、直近5データにおける長径の傾きの平均値、および橈円率（短径と長径の比）を入力する。

3.2.2 分類フェーズ

学習フェーズにて生成した機械学習モデルを利用してタッチパッド操作に用いられる親指の左右推定を行い、その推定結果を基に最終的な親指の左右分類結果を出力する。なお、親指の左右分類は、親指によるタッチパッド操作に伴いリアルタイムにて以下の処理を行う。まず、タッチパッドに接触している親指のデータ（接触面の中心座標、長径、短径、長径の傾き）を取得する。続いて、学習モデルに特徴量を入力し、親指の左右の推定結果 $hand$ ($hand = -1$ or $+1$) およびその確信度 p ($0 \leq p \leq 1$) を取得する。なお、この際入力に用いる特徴量は、接触面の中心のx座標およびy座標、長径、短径、直近5データにおける長径の傾きの平均値、および橈円率である。ここで、以下の式(1)に基づき直近15データにおける推定結果と確信度を掛け合わせた値の平均値 $majorHand$ を算出し、分類結果 $resultHand$ を出力する。

$$majorHand = \frac{\sum_{i=1}^{15} (hand_i \times p_i)}{15}$$

$$resultHand = \begin{cases} left & (majorHand < 0) \\ unknown & (majorHand = 0) \\ right & (majorHand > 0) \end{cases} \quad (1)$$

この式において $hand_i$ および p_i は直近15データにおける推定結果と確信度であり、最も古い値が $i = 1$ 、最も新しい値が $i = 15$ のものである。

4. プロトタイプシステム

提案手法を実現するプロトタイプシステムをmacOS向けのアプリケーションソフトウェアとして実装した。実装には、プログラミング言語Swift4.2、機械学習用にCoreML.frameworkおよびCreateML.framework、タッチパッドの生データ取得用にMultitouchSupport.frameworkを使用した。なお、3節にてタッチパッドから取得すると述べたデータ、接触面の中心座標、長径、短径、および長径の傾きは、MultitouchSupport.frameworkのposX, posY, majorAxis, minorAxis、およびangleプロパティより取得した。プロトタイプシステム実行時のスクリーンショット

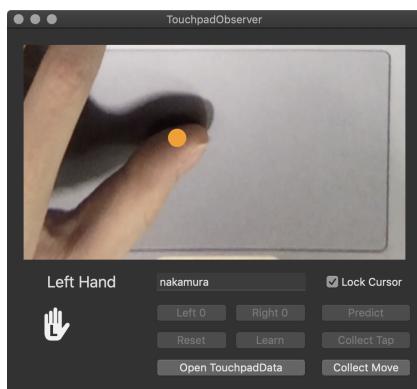


図 2 プロトタイプシステム実行時のスクリーンショット。タッチパッド操作に用いられる親指の左右識別の様子。

を図 2 に示す。

プロトタイプシステムには、タッチパッド上の親指の位置をユーザが視覚的に認識できるよう、リアルタイムのタッチパッド領域の映像を画面上に表示する機能を搭載した。この機能のため、図 3 に示すようにラップトップのインカメラに鏡固定具を用いて鏡を取り付け、キーボードおよびタッチパッド周辺の映像を取得した。また、タッチパッド領域を画像処理により抽出し、取得した映像に射影変換を行うことでタッチパッド領域の映像を画面上に表示した（図 4 参照）。なお、この機能は予備実験を円滑にするためのものであり、本実装には含まない予定である。

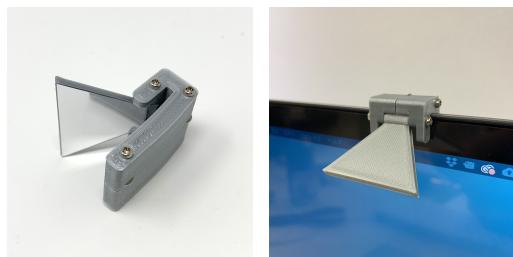


図 3 鏡固定具（左）。ラップトップのインカメラに鏡固定具を取り付けた様子（右）。



図 4 鏡を取り付けたインカメラから取得されるキーボードおよびタッチパッド周辺の映像（上）。射影変換により表示されたタッチパッド領域の映像（下）。

5. 予備実験

提案手法の識別性能を調査するため、4 節にて示したプロトタイプシステムを用いて予備実験を行った。

5.1 実験参加者および実験機器

大学生および大学院生のボランティア 4 名（全員男性、平均年齢 22.75 歳、左利き 1 名）を実験協力者とした。すべての実験協力者が日常的にラップトップを使用しており、タッチパッドの扱いに習熟していた。実験開始前に実験協力者の手長および親指第一関節の周囲を計測した。この結果、手長は平均 19.0 cm（最長 19.5 cm、最短 18.5 cm）、親指第一関節の周囲は平均 6.7 cm（最長 7.0 cm、最短 6.3 cm）であった。

また、実験にて使用するラップトップとして MacBook Pro (Apple 社、画面サイズ : 13-inch, OS : macOS 10.14.3, タッチパッドサイズ : 135.5 mm × 84.0 mm) を用いた。

5.2 実験内容

実験協力者には椅子に座った状態にて実験を行ってもらった。実験協力者は、実験全体を通して、なるべくホームポジションを崩さずにタスクを行うこと、タッチパッドを押し込まないこと、および体勢を大きく変化させないことを指示された。

まず、実験協力者は後述の学習タスクを行い、実験協力者用の機械学習モデルを生成した。続いて、タッチパッドに対し自由にタップ操作やなぞり操作を行い、生成した機械学習モデルを用いた親指の左右識別を試した。その後、実験監督者に指示された順番にて識別結果収集タスク（具体的には後述のタップタスクおよびムーブタスク）を続けて行った。ここで、実験協力者は一度立ち上がり、1 分ほど休憩をとった。最後に、再び椅子に座り、実験監督者に支持された順番にて識別結果収集タスクを続けて行った。本予備実験の 4 名の実験協力者の識別結果収集タスクの実行順序は表 1 の通りである。

表 1 4 名の実験協力者の識別結果収集タスクの実行順序

実験協力者	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4
P1	タップ	ムーブ	タップ	ムーブ
P2	タップ	ムーブ	ムーブ	タップ
P3	ムーブ	タップ	ムーブ	タップ
P4	ムーブ	タップ	タップ	ムーブ

本予備実験ではタッチパッド領域を縦横 $8 \times 8 = 64$ の領域に分割し、プロトタイプシステムの画面上に表示されるタッチパッド領域には格子模様を表示した。なお、タッチパッドの各領域のサイズは 16.9 mm × 10.5 mm である。

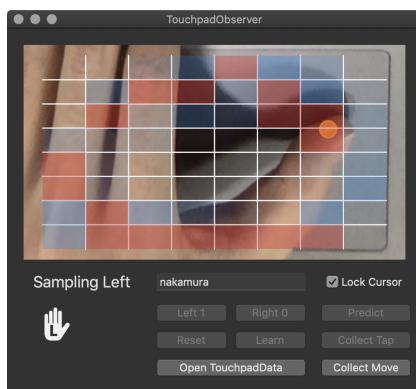


図 5 学習タスクにおけるサンプリングの様子.

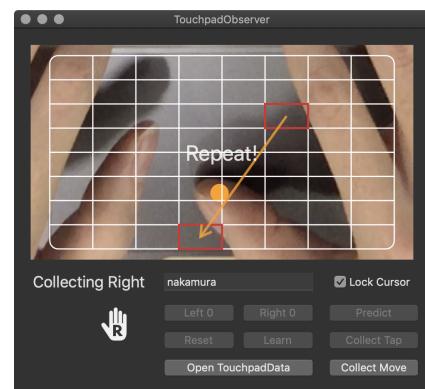


図 7 ムーブタスクの様子.

5.3 学習タスク

学習タスクにおいて、実験協力者は手をホームポジション上に構えた状態にて、左右それぞれの親指を用いてタッチパッド領域を満遍なくなぞるタスクを行った。実験協力者は、64 の領域それぞれにつき 50 データをサンプリング完了するまでタッチパッド領域をなぞった。このサンプリング時、画面上のタッチパッドの各領域は 50 データ分サンプリング完了し次第赤く表示されるようにした。そのため、実験協力者には全ての領域が赤くなるまでタッチパッドをなぞるよう指示した。左右それぞれの親指について 64 領域のそれぞれにつき 50 データ分サンプリングしたため、実験協力者 1 人あたりの総サンプリングデータ数は $2 \times 64 \times 50 = 6400$ である。

5.4 タップタスク

図 6 に示すように画面上に提示された領域を左右それぞれの親指にてタップするタスクをタップタスクとした。左右の親指につき 64 領域のタップを取得するため、タップタスクにて提示される領域数は $2 \times 64 = 128$ 領域である。なお、タップタスクにて提示される領域の順番は、親指の左右および各領域についてランダムとした。実験協力者が提示されたタップ領域内にてタップできなかった場合、画面上に Repeat が表示され、提示されたタップ領域内におけるタップができるまでタップをやり直したものとした。

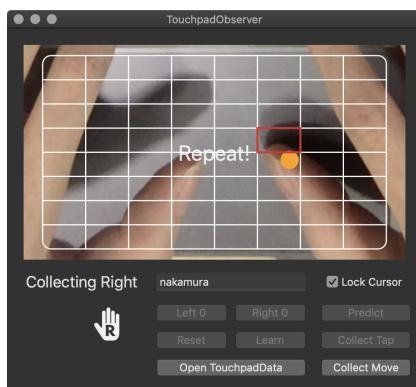


図 6 タップタスクの様子.

5.5 ムーブタスク

図 7 に示すように画面上に提示された領域の片方を親指にてタッチし、タッチ状態を維持したままもう一方の領域まで移動させた後に指を離すタスクをムーブタスクとした。なお、画面内に表示される矢印の基点が含まれる領域をタッチの開始領域とし、矢印の矛先が含まれる領域をタッチ終了領域とした。ムーブタスクにおいては、左右の親指それぞれに対し、タッチ開始領域をタッチパッドの 64 領域に割り当て、タッチ終了領域をタッチ開始領域ではないランダムな領域に割り当てた。したがって、ムーブタスクにて提示される領域の組の総数は $2 \times 64 = 128$ 領域である。なお、ムーブタスクにて提示される領域の組の順番は、親指の左右および各領域の組についてランダムとした。実験協力者が提示された開始領域内にてタッチを開始できなかった場合、あるいは提示された終了領域内にてタッチを終了できなかった場合、画面上に Repeat が表示され、正しくタッチの開始終了ができるまでタッチをやり直したものとした。

5.6 実験結果

実験結果を図 8 に示す。タップタスクの平均認識精度は 78.1%，ムーブタスクの平均認識精度は 83.9% であった。最も認識率が低かった P4 は実験中ホームポジションが崩れている傾向があった。

6. おわりに

我々は、ユーザの手がホームポジションに置かれた状態における、タッチパッド操作に用いられる親指の左右識別手法を示した。提案手法は、カメラや追加のセンサを用いず、タッチパッドから取得可能なデータのみを用いて親指の左右識別を行う。また、提案手法を実現するプロトタイプシステムを実装した。予備実験の結果、タップタスクの平均認識率が 78.1%，ムーブタスクの平均認識率が 83.9% であることがわかった。

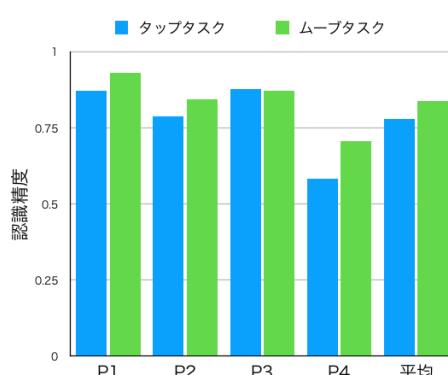


図 8 タップタスクおよびムーブタスクの認識精度。

参考文献

- [1] Nakamura, T. and Shizuki, B.: Distinction System of Left and Right Hands Placed on a Keyboard of Laptop Computers, *Proceedings of the 30th Australian Conference on Computer-Human Interaction*, OzCHI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 587–589 (2018).
- [2] Rekimoto, J.: ThumbSense: Automatic Input Mode Sensing for Touchpad-based Interactions, *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '03, New York, NY, USA, ACM, pp. 852–853 (2003).
- [3] Kurosawa, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Keyboard Clawing: Input Method by Clawing Key Tops, *Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction: Interaction Modalities and Techniques - Volume Part IV*, HCI'13, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 272–280 (2013).
- [4] 高田峻介, 志築文太郎, 高橋 伸: キーボード上における2つのキーの連続押下を開始符号とする操作手法, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-HCI-168, No. 5, 情報処理学会, pp. 1–6 (2016).
- [5] Block, F., Gellersen, H. and Villar, N.: Touch-display Keyboards: Transforming Keyboards into Interactive Surfaces, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 1145–1154 (2010).
- [6] Zheng, J. and Vogel, D.: Finger-Aware Shortcuts, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 4274–4285 (2016).
- [7] Zheng, J., Lewis, B., Avery, J. and Vogel, D.: FingerArc and FingerChord: Supporting Novice to Expert Transitions with Guided Finger-Aware Shortcuts, *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 347–363 (2018).
- [8] Berthelemy, M., Cayez, E., Ajem, M., Bailly, G., Malacria, S. and Lecolinet, E.: SpotPad, LociPad, ChordPad and InOutPad: Investigating Gesture-based Input on Touchpad, *Proceedings of the 27th Conference on L'Interaction Homme-Machine*, IHM '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 4:1–4:8 (2015).
- [9] Block, F. and Gellersen, H.: Two-handed Input in a Standard Configuration of Notebook with External Mouse, *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, NordiCHI '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 62–71 (2010).
- [10] Ikematsu, K. and Sii, I.: Ohmic-Touch: Extending Touch Interaction by Indirect Touch Through Resistive Objects, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 521:1–521:8 (2018).
- [11] 直哉阿部: タッチパッド入力の可能性, 技術報告 76(2002-HI-099), 大阪学院大学情報学部 (2002).
- [12] Choi, S., Han, J., Kim, S., Heo, S. and Lee, G.: ThickPad: A Hover-tracking Touchpad for a Laptop, *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium Adjunct on User Interface Software and Technology*, UIST '11 Adjunct, New York, NY, USA, ACM, pp. 15–16 (2011).
- [13] Jung, J., Youn, E. and Lee, G.: PinPad: Touchpad Interaction with Fast and High-Resolution Tactile Output, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 2416–2425 (2017).
- [14] Fruchard, B., Lecolinet, E. and Chapuis, O.: MarkPad: Augmenting Touchpads for Command Selection, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 5630–5642 (2017).
- [15] 義樹竹岡, 崇味八木, 曙本純一: 指先の3次元姿勢を検出する3次元マルチタッチZ-touch, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 4, pp. 1338–1348 (2012).
- [16] Tung, Y.-C., Cheng, T. Y., Yu, N.-H., Wang, C. and Chen, M. Y.: FlickBoard: Enabling Trackpad Interaction with Automatic Mode Switching on a Capacitive-sensing Keyboard, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 1847–1850 (2015).
- [17] Zhang, Z., Zhang, F., Chen, H., Liu, J., Wang, H. and Dai, G.: Left and Right Hand Distinction for Multi-touch Tabletop Interactions, *Proceedings of the 19th International Conference on Intelligent User Interfaces*, IUI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 47–56 (2014).
- [18] Walther-Franks, B., Herrlich, M., Aust, M. and Malaka, R.: Left and Right Hand Distinction for Multi-touch Displays, *Proceedings of the 11th International Symposium on Smart Graphics*, SG '11, Vol. 6815, Berlin, Heidelberg, Springer, pp. 155–158 (2011).