

# タッチサーフェスにおける 押下圧と接触面積を組み合わせた直接操作技法

池松 香<sup>1,a)</sup> 椎尾 一郎<sup>1,b)</sup>

**概要:** 本研究は、携帯端末において内蔵のセンサを用いタッチ入力時の押下圧と指の接触面積を用いることでタッチ入力を拡張する手法を提案する。すなわち、片手の1点タッチ入力であっても豊富な操作語彙を提供可能な直接操作の技法である。本稿では親指で1点タッチ入力を行う場合の押下圧と接触面積の変化を観察する予備実験を実施し、その結果を元に、ペイントアプリケーション及び地図アプリケーションを提案手法の応用例として実装した。

## Direct Manipulation Technique Using 3D Touch and Contact Size for Mobile Touch Surfaces

IKEMATSU KAORI<sup>1,a)</sup> SHIO ITIRO<sup>1,b)</sup>

**Abstract:** We propose a novel direct manipulation technique for extending single touch gestures for mobile touch surfaces. Our technique utilizes pressure and contact size of the finger when a user is touching on a touch surface. In this paper, we have conducted a preliminary user study to observe the parameters changing with different pressure and parts of a thumb. Based on the study, we have developed prototype paint and map applications.

### 1. はじめに

近年、スマートフォンをはじめとしタッチ入力が可能な携帯端末（以下、タッチサーフェス）が一般に普及した。これらは、ディスプレイ上で複数本の指を開閉することでコンテンツの拡大縮小を行う、スワイプすることでアプリケーションの切替を行うというように、複数本の指を用いたマルチタッチ入力により豊富な入力語彙を提供する。しかし、片手で何かにつかまる/何かを持っている時など、片手が使用できない状況下でのマルチタッチ入力はユーザに困難を強いる可能性がある [15]。これに対して、普及しつつある端末内蔵のセンサによりタッチ入力時の押下圧の強

弱を取得する感圧タッチの利用を検討できる。すなわち、取得した値を連続値として用いアプリケーション内でのパラメータ調整や、閾値を導入し、取得値を離散的に扱うことでモードの切替を実現するため、片手であっても入力に無理のない操作方法が設計可能になったことを意味する。

しかし押下圧のみの利用では1パラメータの調整しか行えず、切替可能なモード数も制限される。例を挙げると、多くの地図アプリでは地図の拡大縮小と回転が異なるマルチタッチ入力により実装されているが、押下圧の値の変化のみでは、これら両方の操作への対応は困難である。また、押下圧の取得値の変化に対し多数のモードを割り当てると、押し分けによる入力の難易度が高くなり、操作が難しくなってしまう。

そこで、本論文では携帯端末のタッチサーフェスにおいて、タッチ入力時の押下圧に加え接触面積を用いることで、

<sup>1</sup> お茶の水女子大学人間文化創成科学研究科  
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 112-8610, Japan  
<sup>a)</sup> ikematsu.kaori@is.ocha.ac.jp  
<sup>b)</sup> siiio@acm.org

タッチ入力を拡張し、豊富な操作語彙を提供できる直接操作技法を提案する。提案手法は押下圧と接触面積の値を端末の内蔵センサを用いて同時に取得する。押下圧と接触面積を下記のように用いることで、新規なタッチ入力が設計可能であると考えた。

- (1) 取得値を連続値として用いパラメータを調整する
- (2) 取得値を離散値として用いモードの切替を行う

本論文では、片手(利き手)の親指でタッチ入力を行った際の押下圧と接触面積の値の変化を観察する予備調査を行い、それを元に、上記のアプローチでアプリケーションの実装を行った。

## 2. 関連研究

提案手法はタッチ入力時の押下圧と接触面積を取得し、シングルタッチ入力を拡張する手法である。そこで本章では、タッチサーフェス上での入力操作語彙を拡張する研究を挙げ本研究の位置づけを示す。

### 2.1 感圧/接触面積を用いる手法

本研究と同じく感圧/接触面積に着目した研究を下記にあげる。Haoらは圧力センサをスマートフォンに取付け、タッチ入力時の画面垂直方向・水平方向に加えらるる力を取得・利用した入力手法を提案した[9]。Fat Thumb[8]は指とタッチ入力面の接触面積の変化を利用し、マルチタッチジェスチャを1点タッチ入力で代替する手法である。提案手法はこれらの手法では個別に用いられていた押下圧と接触面積を同時に用いることで、より豊富なタッチ時の操作語彙拡張を実現する。また、感圧センサを搭載した携帯端末が一般的ではなかった頃には[8]のように、指の接触面積を取得し、擬似的な圧力を推定するという手法が提案されてきたが、現在、感圧センサは広く一般に普及しつつあり、接触面積から感圧を推定する必要は無くなった。提案手法は、押下圧と接触面積を別々に計測することで、よりユーザの動作に適した機能割当を目指すものである。

### 2.2 センサから付加情報を取得し用いる手法

タッチ入力時にセンサにより付加情報を取得し、入力操作語彙を拡張する研究を下記にあげる。GripSense[10]は端末に内蔵されたバイブレーションモータ及びジャイロセンサの値から、端末を保持している手の姿勢及びタッチ入力時の圧力を推定する手法である。TapSense[16]はマイクを用いてタッチした手の部位を判別する手法である。提案手法はタッチ入力時の接触面積を用いてタッチした指の部位の識別を行う。Harrisonらはタッチパネルの下に可動部を設け、タッチ後に可動部をスライドさせる方向により機

能を割り当てた[19]。他にも、タッチの際に各々の指を認識し、対応した機能の使い分けを実現するインタラクション手法[18]、指先に小型のIMUセンサを内蔵したデバイスを取り付け、タッチする指の部位を推定する手法[17]、爪装着型の磁石を用い、磁気センサにより指の位置・方向を推定する手法[11]や、スマートウォッチをスマートフォンと同時併用し操作語彙を拡張する手法[6]などがある。提案手法は一般的なスマートフォンに内蔵されているセンサのみを利用し、機能の切替・パラメータ調整の操作を実現している。そのため特殊なセンサやハードウェアが不要な実用性の高い手法である。

### 2.3 タッチ入力時の始終点座標/軌跡/タッチ点の数/タッチ回数をを用いる手法

特殊なセンサを用いず、タッチ入力時の座標や軌跡、タッチ点の数を用いる手法を下記にあげる。タッチジェスチャの始点や終点に、端末のベゼルを用いることで操作語彙を拡張するアプローチとして[1]、[3]、[4]、[13]や、タッチ入力時の親指の軌跡を利用しタッチジェスチャを拡張する手法[12]、タッチ入力時に指の向いている方向を用いる手法[5]、[7]、スワイプする方向を用いる手法[14]や、2点タッチのタイミングをわずかにずらし、同時タッチと逐次タッチに異なる機能を振り分ける手法[2]などがある。これらの手法はモードの切替においては一定の有用性を示しているが、パラメータ調整のような連続的な操作には不向きであると考えられる。提案手法はモード切替及びパラメータ調整の操作を1点タッチのみにてシームレスに行う。

また、スマートフォン用のGoogle Mapsのアプリケーションでは、ダブルタップを行い、2回目にタップした指を離さずそのまま上下へスライドさせることで、地図の拡大縮小を一本指による操作で実現している\*1。しかし、タッチする回数が増えると指の置き直しによりタッチ位置がずれるため、画面上のオブジェクト選択を兼ねている場合などに誤操作が発生するおそれがある。提案手法は指の置き直しの必要なく操作が可能である。

## 3. 押下圧と接触面積を組み合わせた直接操作技法

提案手法はタッチサーフェス上でのシングルタッチ時に、タッチ点の押下圧と接触面積を端末内蔵のセンサから取得する。その取得値を連続的に用いることでパラメータ調整を、離散的に用いることでモード切替を実行する。あるいは一方の取得値を連続的に、もう一方の取得値を離散

\*1 <https://itunes.apple.com/app/google-mappu-nabi-cheng-huan/id585027354>

的に用いることで、1パラメータの調整とモード切替を並行して実行できる手法である。

### 3.1 予備調査

タッチ入力時に同一指から取得する押下圧と接触面積は独立した値ではなく、相互に影響を与えると考えられる。なぜなら、強い力で画面を押下した際、指はわずかに形状を変えタッチサーフェスとの接触面積が大きくなるからである。この点を確認するために、親指による1点タッチ入力時の押下圧と接触面積の変化を観察し、識別可能な部位に関する予備調査を行った。

まず、iOS9のiPhone7 Plus上で押下圧と接触面積を取得し、取得値のログを記録するアプリケーションを作成し

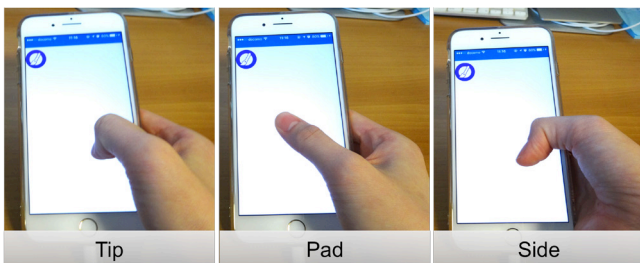


図1 親指の3部位(指先・指の腹・指の側面)により押下している様子。

Fig. 1 Pressing posture of a thumb (tip · pad · side) .

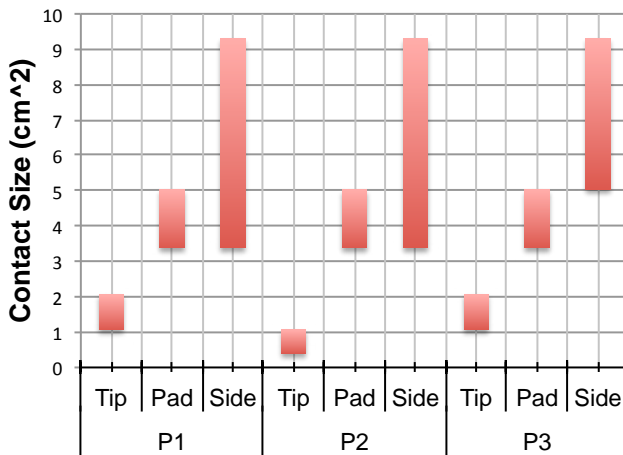


図2 被験者ごと・接触部位別の接触面積の範囲. iOS9において、タッチした際の接触面を円として扱い、その半径を返すAPIが提供されている。取得値の範囲は0-66.515mmであり、この図では取得値から算出される円の面積を表している。

Fig. 2 Contact area for each thumb part of each participant. iOS9 provides an API which returns radius of a contact area. The range of the acquired value is 0 - 66.515 mm, and the figure shows the area of the circle calculated from the acquired value.

た。被験者3名(20代女性、右利き2名、左利き1名)に協力してもらい、片手で端末を把持した状態にて、異なる押下圧(弱・中・強)・親指の部位(指先・指の腹・指の側面)でのタッチ入力を行った。ここで、押下圧(弱・中・強)は、押下圧センサにより取得される値が最大値に対して1-49%の場合を“弱の押下圧”、50%-99%の値を“中の押下圧”、最大値を“強の押下圧”と定義する。最大値の50%及び最大値が検出された時点で内蔵のハプティック・アクチュエーターによるフィードバックを行った。親指の部位(指先・指の腹・指の側面)は図1のような指先姿勢で入力を行った。指の側面での入力の際は、人差し指側の親指側面を第一関節まで接触させるように指示した。また、画面上のタッチする場所については画面境界部分(画面端から1cm)より内側へタッチするよう指示した。タスクは指先にて三段階の強さでの押下、指の腹にて三段階の強さでの押下、指の側面にて三段階の押下圧での押下の順に計9回のタッチ入力を行った。事前に筆者が入力方法を実演しつつ説明を行い、最大3分間のタスク練習時間を設け、被験者らは実際にアプリケーションを用いて練習及びハプティック・アクチュエーターによるフィードバックの確認を行った。

### 3.2 調査結果

図2に3名の被験者の接触面積の取得値の範囲を示す。これは、3段階の押下圧全ての取得値を対象としている。被験者ごとに取得値の個人差はあるものの、全ての被験者・押下圧の組合せにおいて指先-指の腹・側面間は取得値の範囲に重複はなかった。指先の接触面積最大値の3者平均値と指の腹・指の側面の接触面積最小値の3者平均値を比較すると、指先(最小値の3者平均)-指の腹(最大値の3者平均)間で1.652cm<sup>2</sup>の差異が、指先(最小値の3者平均)-指の側面(最大値の3者平均)間で2.200cm<sup>2</sup>の差異がある。一方、指の腹-指の側面は被験者1・2において範囲が重複している。被験者3においては、範囲の重複は無いものの、指の腹(最大値)と指の側面(最小値)にて境界値を共有している。このことから、親指の指先-指の腹・側面は入力識別可能であり、指の腹-指の側面は入力識別が困難であると推察される。

次に、図3に被験者1名の押下圧と接触面積の取得値の変化を示す。3段階の押下圧の変化に対し、指先での押下時には接触面積の変化は見られないが、指の腹・側面の場合、弱の押下圧時の接触面積の平均値より、強の押下圧時の接触面積は5-10%程度増加している。他2名の被験者にも同様の傾向が確認された。これにより、個人差はあるものの、強い押下圧が検出された際には、接触面積が5-10%程

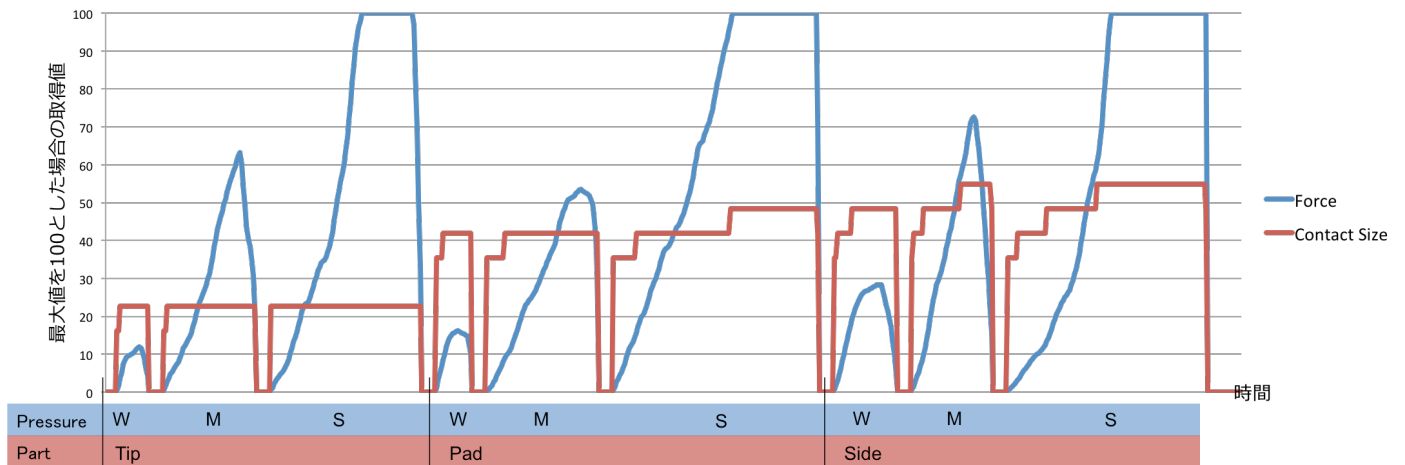


図3 異なる強さ・親指の接触部位でタッチした際の押下圧と接触面積。Pressure: W・M・S は押下圧(弱・中・強)を, Part: Tip・Side・Pad は親指の部位(指先・指の腹・指の側面)をそれぞれ表す。

Fig. 3 Changing of pressure and contact size by different force and thumb parts.

度増加することを前提に、指の部位を判定するための閾値を定めることが望ましいと考えられる。

また、図3に示すように iPhone7 Plus においては押下圧と接触面積の取得値の刻み幅を比較した際、押下圧の方がより細かい刻み幅で取得できることが分かった。よって、押下圧をパラメータ調整のための入力値として連続的に用いる場合には、接触面積を用いるよりも精密な操作が可能であることが分かった。

#### 4. 応用例

提案手法のコンセプトを示すために作成したアプリケーションの内容を以下に報告する。

- 2パラメータを調整するアプリケーション
- 1パラメータの調整とモード切替を行うアプリケーション

いずれも Objective-C・Swift を用いて実装し、iOS9 の iPhone7 Plus 上で動作する。押下圧・接触面積の取得はそれぞれ Apple の提供する API を利用した。後者のアプリケーションに関しては前節の予備調査の結果を元に実装を行った。

##### 4.1 2パラメータを調整するアプリケーション

押下圧と接触面積の変化により、2パラメータを調整操作するアプリケーションとして、ペイントのアプリケーションを試作した。ペン描画時の色の濃淡(アルファ値)に押下圧を、ペン幅に接触面積の取得値を連続的に用いており、軽く触れるようなタッチでは薄く細い線を、強く押し付けるようなタッチでは濃く太い線を描画することが可

能である(図4)。さらに、接触面積の変化が比較的小さい指先であれば、強く押し付けるようにタッチしても線幅は細いままで濃い線を、接触面積が大きい指の腹で軽くなぞるようにタッチをすることで、幅は太く薄い色の線を描画が可能である。

従来の押下圧/接触面積のいずれか一つのみを用いて実現されていたアプリケーションと比較し、提案手法はシングルタッチの拡張以外に、実世界での物理法則を、より忠実に反映できるという側面がある。圧力をかけずに指の腹でなぞるようにして接触面積のみを増やす操作や、指の先で押し込むようにして接触面積を増やさずに圧力のみを増すことも可能である。例えば、実世界で筆を使い文字を

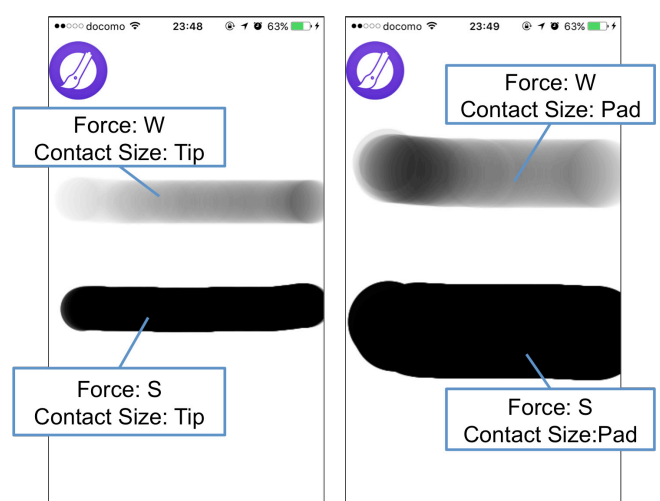


図4 異なる強さ・接触面積でタッチした際の描画される線  
Fig. 4 Lines which were drawn with different pressure and contact area.

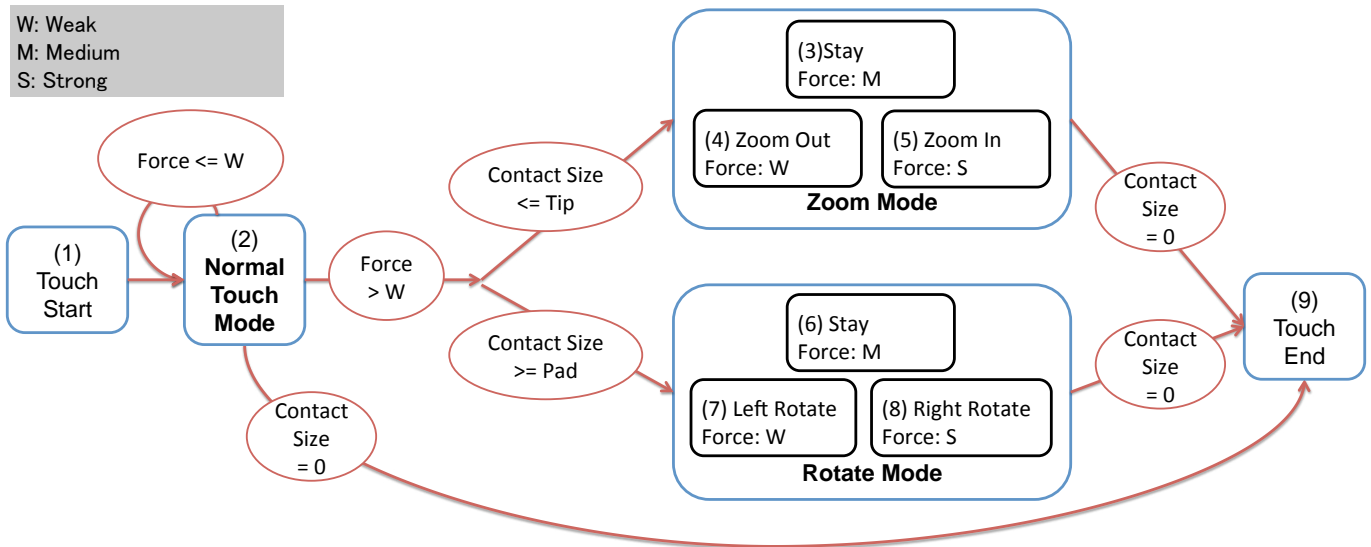


図 5 地図アプリケーションにおけるタッチ入力による状態遷移図。  
Fig. 5 State transition diagram of the map application.

書く際、筆を寝かせつつ弱い力で半紙をなぞればかすれが表れる。これは筆へ伝える力の強弱と、筆と半紙の接触面積・接触部位を巧みに操ることで表現している。提案手法はこれらのパラメータを入力時に取得するものであり、実世界の道具や物の動きをよりリアルに再現できると考えられる。本アプリケーションは、このコンセプトを実現するための初期段階のアプリケーションである。

#### 4.2 1 パラメータの調整とモード切替を行うアプリケーション

押下圧の変化をパラメータの調整に用い、親指の2つの接触部位（指先・腹）の接触面積の違いによりモードを切替えるアプリケーションとして、地図アプリケーションを試作した。先の予備実験から、接触面積の値により指先-指の腹間の識別及び、指先-側面間は識別可能であること、また、被験者から親指の側面よりも腹での押下のほうが操作しやすいとのフィードバックを受け、使用する親指の部位は指先と指の腹の2部位を選定した。この2部位は、アプリケーション使用前にキャリブレーションを行い、2部位に対し3段階の押下圧でのタッチ入力を3回ずつ実施し、強の押下圧かつ指先タッチ時及び、弱の押下圧かつ指の腹タッチ時の接触面積平均値を閾値として用いた。すなわち、強の押下圧かつ指先タッチ時の接触面積平均値以下の入力を指先でのタッチとし、弱の押下圧かつ指の腹タッチ時の接触面積平均値以上の入力を指の腹でのタッチとして識別することを意味する。

状態遷移に関して図5のように設計を行った。以下は操作方法について説明する。丸括弧内の数字は図5の状態と

対応している。まず、タッチ入力を開始すると押下圧及び接触面積をアプリケーションが取得し始める（状態:1）。押下圧の段階（弱・中・強）は予備調査で用いた値と同じ設定とし、ハプティック・アクチュエーターによるフィードバックも同様に実装した。押下圧が弱以下の場合には従来のタッチ入力を行う（状態:2）。指先で触れている状態で押下圧が中以上を検出し（状態:3）、その後に指を接触させた状態のまま押下圧が弱を検出した場合（状態:4）に地図のズームアウトを、中以上を検出した後に、指を接触させた状態のまま強の押下圧を検出した場合（状態:5）に地図のズームインを行う。また、指の腹で触れている状態で押下圧が中以上を検出し（状態:6）、その後に指を接触させた状態のまま押下圧が弱を検出した場合（状態:7）に地図の左回転を、中以上を検出した後に、指を接触させた状態のまま強の押下圧を検出した場合（状態:8）に地図の右回転を行う。通常のスクロールや選択の操作を行うために、タッチ開始（状態:1）から終了（状態:9）までの間押下圧が中に達しない場合には、これらの機能を動作させない設計とした。

本アプリケーションの操作方法は、従来多くの地図アプリケーションで採用されている、2点のマルチタッチジェスチャによる操作をシングルタッチで代替するものである。

## 5. まとめと今後の課題

本論文では、タッチ入力時の押下圧と接触面積を用い、パラメータ調整及びモード切替を、片手操作であっても容易に実行可能なシングルタッチで行う手法を提案した。提案手法はシングルタッチを豊富な操作語彙に拡張し、マルチタッチ入力との代替を可能とする。また、被験者3名を

対象に押下圧と接触面積の取得値に関し初期的な調査を実施し、その結果を元に、プロトタイプのアプリケーションを実装した。今後はより多くの被験者を対象とした評価実験を行い、識別可能な部位や押下圧段階を適切にチューニングすることを課題とする。

提案手法は、携帯端末の片手操作時のためのインタフェースとして提案するものであるが、押下圧及び接触面積は両手インタフェースやマルチタッチジェスチャ利用の際にも取得可能な情報である。すなわち、片手インタフェースに限らず、両手で扱う大型のタブレットPCやテーブルトップサーフェスにおいても提案手法は導入可能である。今後はさらに多様な応用例を検討したい。

## 6. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP26330219 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Kubo, Y., Shizuki, B. and Tanaka, J.: B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM.
- [2] Oakley, I., Lee, D., Islam, M. R. and Esteves, A.: Beats: Tapping Gestures for Smart Watches, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM.
- [3] Roth, V. and Turner, T.: Bezel Swipe: Conflict-free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM.
- [4] Serrano, M., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: Bezel-Tap Gestures: Quick Activation of Commands from Sleep Mode on Tablets, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, New York, NY, USA, ACM.
- [5] Wang, F., Cao, X., Ren, X. and Irani, P.: Detecting and Leveraging Finger Orientation for Interaction with Direct-touch Surfaces, *Proceedings of the 22Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, New York, NY, USA, ACM.
- [6] Chen, X. A., Grossman, T., Wigdor, D. J. and Fitzmaurice, G.: Duet: Exploring Joint Interactions on a Smart Phone and a Smart Watch, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM.
- [7] Wang, F. and Ren, X.: Empirical Evaluation for Finger Input Properties in Multi-touch Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM.
- [8] Boring, S., Ledo, D., Chen, X. A., Marquardt, N., Tang, A. and Greenberg, S.: The fat thumb: using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction, *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*, MobileHCI '12, New York, NY, USA, ACM.
- [9] Heo, S. and Lee, G.: Force Gestures: Augmented Touch Screen Gestures Using Normal and Tangential Force, *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '11, New York, NY, USA, ACM.
- [10] Goel, M., Wobbrock, J. and Patel, S.: GripSense: Using Built-in Sensors to Detect Hand Posture and Pressure on Commodity Mobile Phones, *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, New York, NY, USA, ACM.
- [11] Kadomura, A. and Siiio, I.: MagNail: Augmenting Nails with a Magnet to Detect User Actions Using a Smart Device, *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '14, New York, NY, USA, ACM.
- [12] Roudaut, A., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: MicroRolls: Expanding Touch-screen Input Vocabulary by Distinguishing Rolls vs. Slides of the Thumb, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, ACM.
- [13] Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M. and Horvitz, E.: Sensing Techniques for Mobile Interaction, *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '00, New York, NY, USA, ACM.
- [14] Toshifumi Kurosawa, B. S. and Tanaka, J.: Spatial Arrangement of Data and Commands at Bezels of Mobile Touchscreen Devices, *Human-Computer Interaction: Interaction Technologies - 17th International Conference, HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015, Proceedings, Part II*.
- [15] Karlson, A. K. and Bederson, B. B.: Studies in One-Handed Mobile Design: Habit, Desire and Agility, Technical report, Proceedings of the 4th ERCIM Workshop on User Interfaces for All (UI4ALL '98).
- [16] Harrison, C., Schwarz, J. and Hudson, S. E.: TapSense: enhancing finger interaction on touch surfaces, *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '11, New York, NY, USA, ACM.
- [17] Huang, D.-Y., Tsai, M.-C., Tung, Y.-C., Tsai, M.-L., Yeh, Y.-T., Chan, L., Hung, Y.-P. and Chen, M. Y.: TouchSense: Expanding Touchscreen Input Vocabulary Using Different Areas of Users' Finger Pads, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM.
- [18] Sugiura, A. and Koseki, Y.: A user interface using fingerprint recognition: holding commands and data objects on fingers, *Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '98, New York, NY, USA, ACM.
- [19] Harrison, C. and Hudson, S.: Using Shear As a Supplemental Two-dimensional Input Channel for Rich Touchscreen Interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM.