

BaroTouch :

防水タッチパネル端末に内蔵された気圧センサを用いた押下圧力取得手法

高田 嶺介^{*} 林 威^{*} 安藤 宗孝[†] 志築 文太郎[‡] 高橋 伸[‡]

概要. 防水機能を有するタッチパネル端末（以下、防水端末）において、画面タッチ時の圧力を取得する手法を示す。本手法は気密性を有する防水端末にタッチした際に、端末表面がたわむことによって内部の気圧が変化し、内蔵された気圧センサの出力値が変化する現象を利用する。また同じ圧力にてタッチした際の防水端末の気圧の変化量は、押下位置および押下圧力によって異なる。我々は実験により、本手法における押下位置ごと、ならびに押下圧力ごとの感圧特性を調査した。さらに被験者実験により、ユーザが本手法を用いた際の押し分け精度を調査した。

1 はじめに

スマートフォンやタブレットのようなタッチパネル端末において、押下圧力はタッチ操作の拡張に役立つことが知られている[1, 13]。例えば、ソフトウェアキーボードとトラックパッドをタッチの圧力に応じて切り替える、ペイントアプリケーションの筆の太さを押下圧力に応じて変えるといった操作が利用可能である。仮に、専用の押下圧力取得機能を搭載していない端末においても、端末に内蔵されたセンサのみを用いて押下圧力を取得できれば、既存の端末にもこれらの操作を付与することができる。

我々が本稿にて示す「BaroTouch」は、防水性能を有するタッチパネル端末（以下、防水端末）に内蔵された気圧センサを用いて押下圧力を取得する手法である。BaroTouchは防水端末のタッチパネルを指を用いて押下した際に端末表面がたわみ、内蔵された気圧センサのセンサ値（以下、気圧値）が変動する現象を用いて押下圧力を取得する。なお押下した際の気圧値は防水端末の気密性によって特性が異なる。そこで気密性に依存せずにタッチ圧力の変化を取得する処理手法を示す。またBaroTouchにおける押下位置および押下圧力ごとの感圧特性、および被験者実験による押し分け精度を評価した結果および考察を述べる。

2 関連研究

本節にて押下圧力を取得する研究および押下圧力を用いてタッチ操作を拡張する研究について述べる。

Copyright is held by the author(s).

* 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

† 筑波大学情報学群情報メディア創成学類

‡ 筑波大学システム情報系

2.1 スマートフォンに外部装置を組み合わせる研究

スマートフォンに外部装置を組み合わせることで押下圧力を取得し、タッチ操作の拡張を行う手法が提案されている。Nakaiらはゲルを用いてスマートフォンとスマートフォンケースを接続し、タッチパネルを押下した際のゲルの張力および指のスライド量の関係性を用いて、押下圧力を検出している[9]。Acoustumrantsはスマートフォンのマイクおよびスピーカ間に管をつなげることにより、管を押下した際の圧力を認識可能な手法である[7]。Force Gesturesはスマートフォンに圧力センサを取り付けることにより、タッチパネルにタッチした際の圧力を計測する手法である[4]。Onoらはマイクおよびスピーカを貼り付けたカバーをスマートフォンに装着することで反響した音を計測し、押下圧力を認識している[11]。本手法はスマートフォンに内蔵された気圧センサのみを用いる点において、これらの研究と異なる。

2.2 スマートフォン内蔵のセンサを用いる研究

スマートフォンに内蔵されているセンサのみを用いて押下圧力を取得し、タッチ操作の拡張を行う手法が提案されている。ForcePhoneはスマートフォン内蔵のマイク、スピーカを用いた超音波音響センシングおよび機械学習により押下圧力を取得する手法である[14]。GripSenseはスマートフォンをタップした際の角速度を周波数解析することによりタッチの強弱を識別する手法である[3]。ForceTapはスマートフォンをタップした際の加速度を基にタップの強弱を識別する手法である[5]。PseudoButtonは端末内蔵のスピーカおよびマイクを用いて、端末のマイクが搭載されている穴を指で押下した際の押下圧力を取得する手法である[6]。本手法はスマートフォン内蔵のセンサのみを用いる点においてこれらの研究と同様であるが、気圧センサを用いて押下圧力を取得する点にてこれらの研究と異なる。また機械学習を必要としない点にて異なる。

2.3 スマートフォン以外の端末にて押下圧力を取得する研究

スマートフォン以外のタッチパネル端末や物体を押下した際に、圧力をセンシングする手法が提案されている。Expressive Touchは大画面タッチパネル端末にて、画面の四隅に取り付けたマイクを用いて測定したタップ時の音の大きさを用いて、タップの強弱を取得する手法である[12]。Dietzらはメンブレンキーボードのキー押下時に、内部の電極シートの接触面積が変わり、抵抗が小さくなることを利用してキー押下圧力を取得している[2]。Pressing the Fleshは指で押下した際の指の腹ならびに爪の色の変化をカメラを用いてセンシングすることにより押下圧力を認識する手法である[8]。Emoballoonは気圧センサを入れた風船に対するジェスチャ操作を認識する手法である[10]。本手法は圧力を取得する点においてこれらの研究と同様であるが、スマートフォン上にて圧力取得を可能にした点にてこれらの研究と異なる。

3 提案手法：BaroTouch

BaroTouchは防水端末のタッチパネルを指を用いて押下した際に端末表面がたわみ、内部の体積が変化することによって防水端末の気圧値が変動する現象を用いて押下圧力を取得する手法である。本手法は防水端末の気密性によって端末押下時の気圧の変化が異なる。そのため、端末の気密性に依存せずに押下圧力を取得するための処理手法を示す。

3.1 防水端末押下時の気圧値の変化

BaroTouchは端末押下時に端末内部の空気の密度が変化する現象を用いて押下圧力を取得するため、防水端末の気密性に依存する特徴を有する。この変化的特性を調査するために、我々は防水端末(Xperia Z5 Compact, 防水性能: IPX5/8)の気密性を変えるために図1に示すストラップ穴にテープを貼り付けたテープ有り状態と、テープを貼り付けていないテープ無し状態を用意し、指の押下圧力を計測するための圧力センサ(FSR402)を端末のタッチパネル上に貼り付け、BaroTouchにおける気圧変化特性を調査した。

テープ有り/無しの2状態において、タッチパネルの左上の端および中央を異なる圧力にて、指で押下した際の気圧値の波形を図2に示す。図2より、圧力の強さおよび位置に応じて気圧値が変化していることが分かる。図2aの気圧値の変化を見ると、一度大きく気圧値が増加した後、元の気圧値に戻っていく、指を離した際は気圧値が減少してから元の気圧値に戻ることが分かる。これは図3に示すように、端末押下直後は防水端末がたわむことによって変形し端末内部の気圧が上昇するが、その後僅かな隙間



図 1. ストラップ穴の状態 (左 : テープ無し, b : テープ有り).

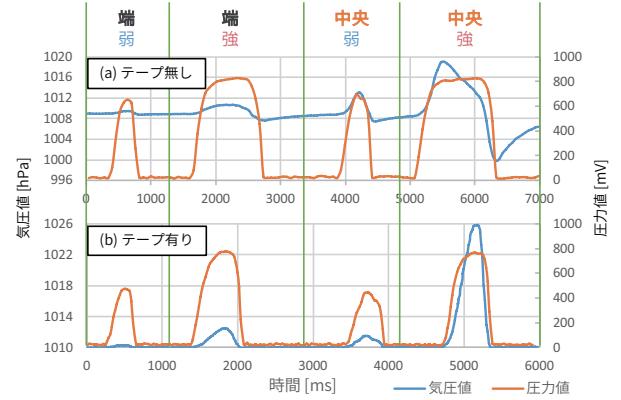


図 2. 異なる押下位置および押下圧力にて防水端末押下時の気圧値の波形 (a : テープ無し, b : テープ有り).

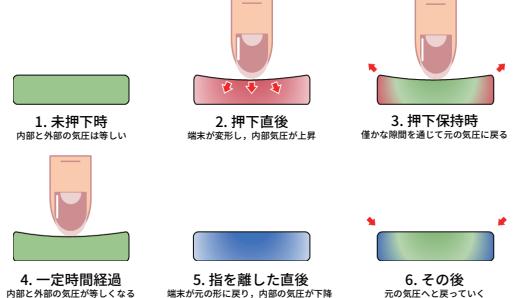


図 3. 防水端末押下時の端末内部気圧の変化.

を通じて空気が内外にて交換され、元の気圧値に戻るためである。また防水端末から指を離した際も変形した防水端末が元の形へと戻るため内部の気圧が減少し、その後同様の現象が起きる。さらに図2bの気圧の変化から、テープ有り状態はテープ無し状態に比べ気密性が高く、空気が内外にてほとんど交換されないため、図3における2および5の変化のみが生じていると考えられる。

3.2 押下圧力の取得手法

BaroTouchにおける押下圧力の取得手法を述べる。前節にて述べた通り、テープ無し状態において防水端末を押下した際に押下圧力に応じて気圧値が変化するものの、端末の内外にて空気が交換され元の気圧に戻っていくため、同じ力で押下し続けた際に気圧値から押下圧力を取得できないという問題がある。この防水端末の気密性によって気圧変化特性が異なるという問題を解決するための手法として、

BaroTouch：防水タッチパネル端末に内蔵された気圧センサを用いた押下圧力取得手法

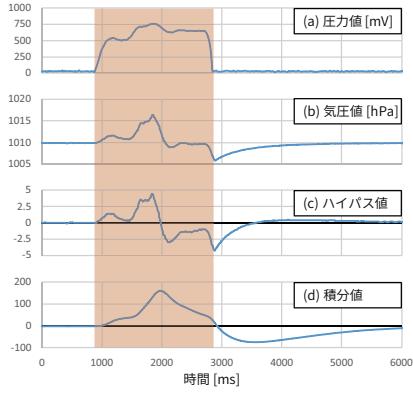


図 4. テープ無し状態における端末押下時の応答波形

気圧値にハイパスフィルタをかけ、積分することにより押下圧力の変化を取得する手法を示す。テープ無し/有り状態における端末押下時の気圧値および圧力値の応答波形を図 4 および図 5 に示す。

本手法における処理手法を述べる。テープ無し状態の場合、図 4b の様に端末押下時に一度気圧が上昇した後に徐々に元の気圧に戻ろうとし、押下中にさらに押下圧力を上げた場合は気圧値が上昇するものの、押下圧力を下げた場合は元の気圧に戻ろうとする性質と、端末の体積の増加が同時に起こるため、一時的に元の気圧以下に下がるといった変化が生じる。テープ有り状態の場合、図 5b の様に端末の内外で空気の交換が行われないため、圧力値に応じた気圧値の変化となる。ここで我々は周囲の環境の影響を除去するために、気圧センサの値が変化する度に、以下の式を用いて気圧値 b_{raw} にハイパスフィルタをかけたハイパス値 b_{hp} およびハイパス値を積分した積分値 b_{sum} を算出し、これをユーザの押下圧力とした。

$$\begin{aligned} b_{lp}[n] &= b_{lp}[n-1] \times (1 - \alpha) + b_{raw}[n] \times \alpha \\ b_{hp}[n] &= b_{raw}[n] - b_{lp}[n] \\ b_{sum}[n] &= \sum_{i=0}^n b_{hp}[i] \end{aligned}$$

なおセンサの取得間隔を 5ms, $\alpha = 0.015$ とした。

図 4d および図 5d より、押下中に押下圧力を変えた場合においても気密性に依らず圧力値に応じた積分値を取得できていることが分かる。さらに図 4d にて、端末から指を離した際に一時的に積分値が負となっているが、この現象は指がタッチパネルに触れているかどうかを取得し、指が触れている間のみ積分値を用いることにより無視することができる。

4 実験

BaroTouch の感圧特性を明らかにするため、押下位置および圧力と気圧値の関係を調査する実験を行った。さらに BaroTouch を用いるユーザが何段階

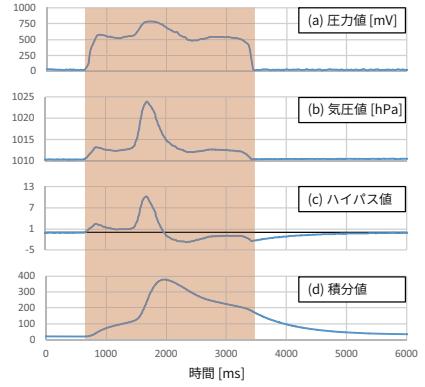


図 5. テープ有り状態における端末押下時の応答波形

の押し分けが可能であるかを評価するための被験者実験を行った。実験には実験端末としてテープの有り/無しという端末状態の異なる 2 台の Xperia Z5 Compact を用いた。

4.1 押下位置および圧力ごとの感圧特性調査実験

BaroTouch は端末を押下した際に内部の空気が圧迫される現象を用いて押下圧力を取得する手法である。押下した位置によって端末表面のたわみ具合は異なる。例えば同圧力であっても、端末の端を押下した場合よりも中央を押下した場合の方が端末表面は大きくなれる。さらに同じ位置を押下した場合でも押下圧によってたわみ具合は異なる。この防水端末の押下位置および押下圧力と気圧値の関係性を調査するための感圧特性調査実験を行った。

4.1.1 実験手順

実験は窓や扉を締め切った屋内にて行われた。端末を用いて実験環境の気圧値を計測したところ、1008.02hPa であった。

我々は押下位置および圧力ごとの感圧特性を調査するために、実験端末のタッチパネル上に分銅を載せた際の気圧値を計測する実験を行った。押下位置ごとの感圧特性調査においては、実験端末のタッチパネル領域を縦 6 分割 × 横 3 分割し、分割した各領域の中心部に 50g の分銅（半径 1cm, 圧力 480 hPa）を置き、積分値が最大となった際の値を記録した。

押下圧力ごとの感圧特性調査においては、10g, 20g, 50g, 100g, 200g, 500g および 1000g の分銅を、押下面積を統一するために半径 1cm, 重さ 4.33g の円盤状の治具の上に載せ、2 台の実験端末のタッチパネルの中央および左上端に置き、積分値が最大となった際の値を記録した。それぞれの調査において 10 回ずつ分銅を置いたため、総試行回数は押下位置ごとの感圧特性調査にて計 360 回（2 端末状態 × 18 領域 × 10 回）、押下圧力ごとの感圧特性調査にて計 280 回（2 端末状態 × 2ヶ所 × 分銅 7 種類 × 10 回）であった。

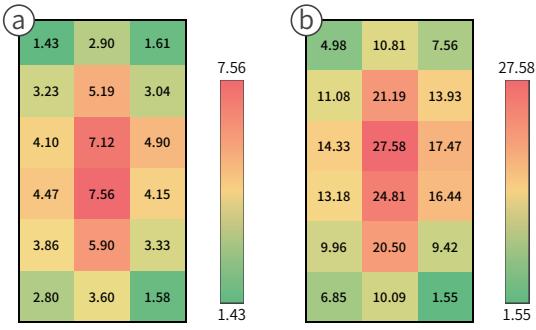


図 6. 押下位置ごとの感圧特性 (a: テープ無し, b: テープ有り)

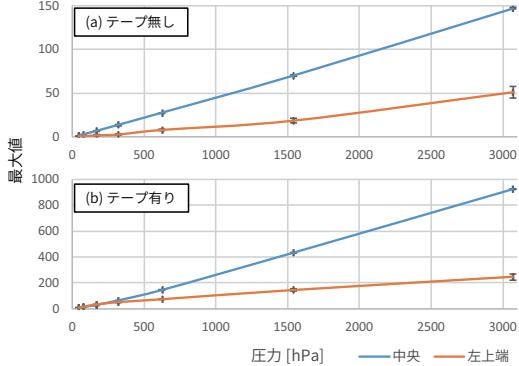


図 7. 押下圧力ごとの感圧特性 (a: テープ無し, b: テープ有り)

4.1.2 結果および考察

押下位置ごとの感圧特性調査の結果を図6に示す。実験結果よりテープの有り/無しに関わらず、端末中央の最大値が大きくなっていることが分かる。これは端末中央の方が端末端に比べ、より大きくなっているためと考えらえる。また押下圧力を取得する際に、この特性および押下位置を用いて補正を行うことにより、押下位置に依存しない圧力の取得が可能になると考えられる。

押下圧力ごとの感圧特性調査の結果を図7に示す。実験結果より、押下圧力におよそ線形に比例して最大値が大きくなっていることが分かる。図7aおよび図7bより、テープ無しの方が最大値が小さい。これは分銅を載せた際に、テープ無しの場合は徐々に空気が抜け、気圧が大きく上がらなかったためである。またタッチパネル中央および左上端にて同様の特性が確認されたことから、タッチパネル全体にて同様の特性を有していると考えられる。

4.2 押し分け精度評価実験

BaroTouch を用いるユーザがどの程度の精度にて押し分けを行うことが可能か調査を行った。本実験において、テープ有り/無し状態の防水端末および図8に示すアプリケーションを用いて、2-6段階の押し分けを行った際の精度を調査した。

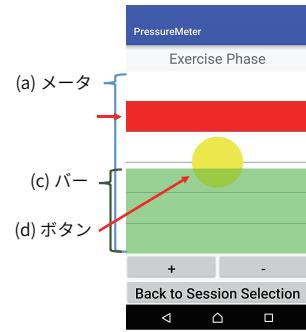


図 8. 押し分け精度評価用アプリケーション

4.2.1 被験者

大学生および大学院生 10 名 (21-24 歳, 男性 5 名, 女性 5 名) を被験者として雇用した。全ての被験者が日常的にスマートフォンを利用しておらず (利用歴: 36-96ヶ月, 平均: 55ヶ月), 利き手は右手であった。2名が感圧タッチの使用歴があった (利用歴: 6-7ヶ月)。実験終了後, 各被験者には実験への参加に対する謝礼として 820 円を支払った。

4.2.2 実験環境

実験環境の気圧は平均 996.84 hPa (976.08-1002.24 hPa) であった。実験用端末として 2 台の Xperia Z5 Compact を用い, 端末条件としてストラップ穴を塞いだテープ有り条件および塞いでいないテープ無し条件の端末を用意した。

4.2.3 実験手順

実験は窓や扉を締め切った屋内にて行われた。被験者は実験中, 常に着席しているように求められた。

まず実験者は実験内容の説明を行った。その後, アンケートに回答するように指示した。アンケート回答後, ピンチ力計 (Baseline 社製, ER HiRes hydraulic pinch gauge) を強く握ってもらい, 被験者の利き手である右手の親指の指圧を測定した。平均指圧は 7.25 kg (SD = 2.99 kg) であった。

実験者は被験者に対して図8に示す BaroTouch 評価用アプリケーションを提示し, 手法の説明を行った。その後, 実験端末のタッチパネル中央に表示されたボタンを弱く 5 回, 強く 5 回押下してもらい, 押下した際の積分値が最大となった際の値を記録した。このとき, 強く押下した際の積分値の平均を上限値, 弱く押下した際の積分値の平均を下限値とし, キャリブレーションした。

評価用アプリケーションの内容を述べる。アプリケーションにて画面に上限値および下限値の範囲を等分に 2-6 分割されたメータ (図8a) を表示し, メータ内の分割されたブロックの内の一つを赤色に着色しターゲットとした (図8b)。図8cに示す画面内の緑色の矩形は, 画面を押下した際の積分値に応じて上下するバーであり, 被験者の押下圧に応じてリアルタイムに上下する。被験者はこのバーの上辺を

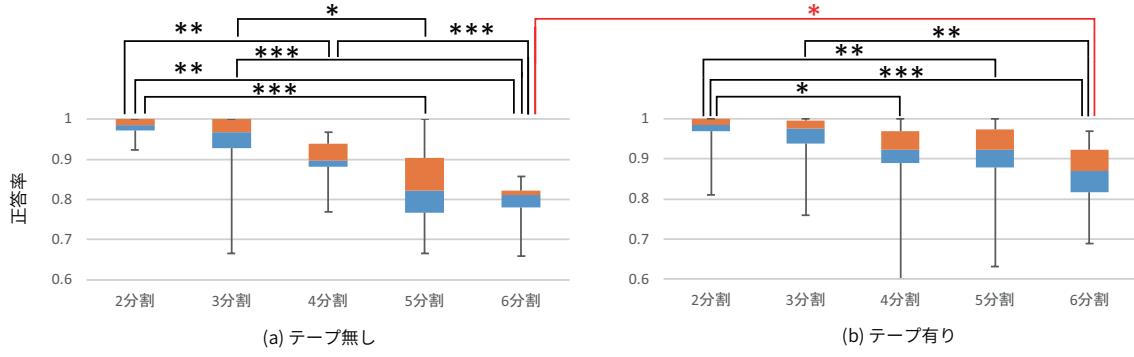


図 9. 端末および分割条件ごとの正答率 (*:p < 0.05, **:p < 0.01, ***:p < 0.001)

ターゲット内に収めた状態にて、指をタッチパネルから離すことによりターゲット選択を行った。実験中、このターゲットが表示されてから、ターゲット選択が成功するまでを1試行とした。

実験では練習タスクおよび実験タスクを被験者に行ってもらった。練習タスクでは、2–6の各分割条件にてランダムにターゲットを表示した。実験タスクでは、試行回数が各ブロックにおいて等しくなるようにランダムにターゲットを表示した。各分割条件にて練習タスク12試行および実験タスク60試行を被験者に行ってもらい、全ての分割条件が完了するまでを1セッションとした。実験は端末条件ごとに1セッションずつ行い、セッション間において3分以上の休憩を被験者に取ってもらった。結果として、被験者には実験タスクにて合計600試行(=2セッション×5分割条件×60試行)を行ってもらった。

実験終了後に、被験者には使用感に関するアンケートに答えてもらった。実験は各被験者ごとに、事前説明からアンケート回答まで40分程度の時間を要した。なおカウンターバランスをとるために、被験者を二つのグループに分け、片方のグループはテープ無し条件から、もう片方のグループはテープ有り条件から行い、被験者ごとに各分割条件をどの順序で行うかはラテン方格法を用いて決定した。

4.2.4 結果および考察

図9に各端末条件、分割条件ごとの正答率および対応のあるt検定の結果を示す。6分割条件におけるテープ無し条件の平均正答率は78.02%であり、テープ有り条件の平均正答率は84.51%であった。さらに図9より、6分割条件にてテープ有り条件の方が有意に正答率が高いことが示された。2分割条件におけるテープ無し条件の平均正答率は97.72%であり、テープ有り条件の平均正答率は95.39%であり、4以上の分割条件より有意に正答率が高かった。

図10にターゲットが表示されてから正答するまでの選択時間および対応のあるt検定の結果を示す。図10より、分割数が多いほど選択時間を多く要することが分かる。また端末状態間において有意差は見られなかった。

アンケート結果より、10名中8名の被験者がテープ有り条件の方が押し分けが容易であったという回答を得た。また2名の被験者がテープ無し条件において感度が良すぎると感じたと述べていた。これはテープ無し条件の場合、テープ有り条件に比べて押下時の気圧値の変化量が小さく、上限値および下限値の間のレンジが狭くなってしまったことが原因として考えられる。

5 議論

一部のスマートフォンにて提供されている押下圧力取得機能は、指が端末のタッチパネルにタッチした際に押下圧力に応じて先端が変形し、タッチ面積が変わる現象を用いている。しかし、タッチ面積は指の角度によって異なる。図11に異なる角度(指を立てた状態および寝かせた状態)，異なる圧力にて端末を押下した際の気圧値とタッチ面積のグラフを示す。図11から気圧値およびタッチ面積は押下圧力に応じて変化していることが分かる。しかし、タッチ面積に基づく手法は押下圧力以上に指の角度によって大きく変化していることが分かる。一方でBaroTouchは指の角度に関係なく押下圧力を取得することができることが分かる。

またタッチ面積は指の角度および押下圧力によって変化するため、ここから押下圧力成分を除去することにより指の角度成分のみを抽出できる。そこでBaroTouchを用いて取得した押下圧力を用いてタッチ面積から指の角度のみを抽出する手法が考えられる。

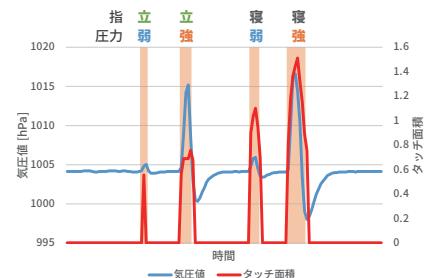
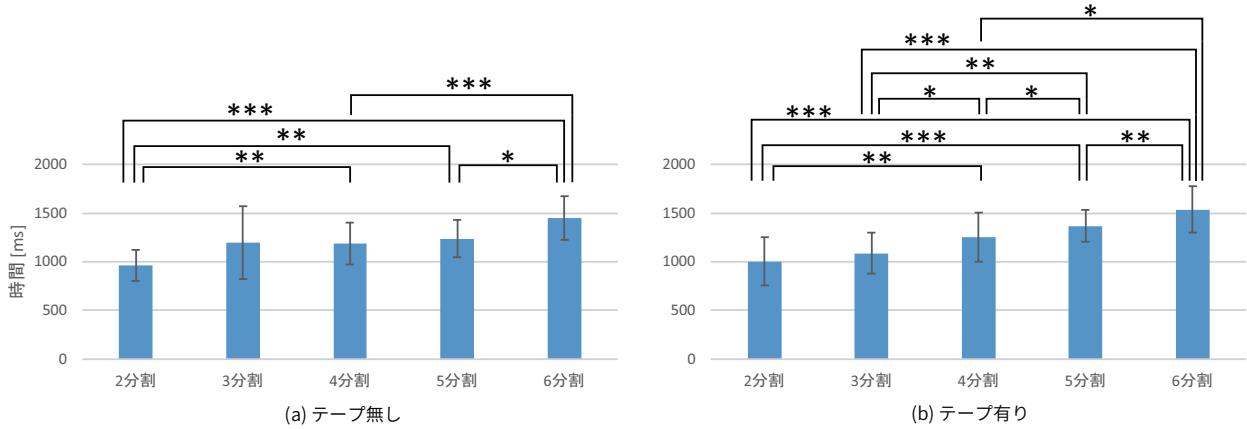


図 11. 端末を押下した際の気圧値とタッチ面積

図 10. 端末および分割条件ごとの回答時間 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$)

6 まとめと今後の課題

本稿にて防水端末に内蔵された気圧センサを用いて押下圧力を取得する手法である BaroTouch を示した。さらに防水端末において、端末の気密性が高い状態および低い状態のどちらにおいてもタッチ圧力を取得するための処理手法を示した。

また BaroTouchにおいて、タッチする位置や圧力によってどのような感圧特性を有するか実験により明らかにした。実験結果より端末を押下した際のたわみが大きくなる中央部付近が最も感度が高く、さらに積分値は押下圧力に線形に比例することが明らかになった。ユーザの押し分け精度評価実験を行ったところ、2段階の分割条件において、気密性の高いテープ有り条件時 95.39%，気密性の低いテープ無し条件時 97.72% の精度、6段階の分割条件において、テープ有り条件時 84.51%，テープ無し条件時 78.02% の精度にて押し分けることが可能であった。

今後はドアの開閉を行った場合や屋内外等の異なる環境において同様の実験を行い、BaroTouch がどのような環境において使用可能であるか調査を行う。また BaroTouch は今回実験に使用した端末以外の防水端末にて、気圧センサの位置が異なった場合においても同様に使用可能であるか調査を行う。さらに LG 社製の G Watch R 等のスマートウォッチは防水性能を有しており、かつ気圧センサが搭載されているため、BaroTouch がスマートウォッチ上でも同様に使用できるかどうか調査を行う。

参考文献

- [1] Apple. iPhone 6s - 3D Touch. <http://www.apple.com/jp/iphone-6s/3d-touch/> (2016年9月4日閲覧).
- [2] P. H. Dietz et al. A Practical Pressure Sensitive Computer Keyboard. In Proc. of UIST '09, pp. 55–58, 2009.
- [3] M. Goel, J. Wobbrock, S. Patel. GripSense: Using Built-in Sensors to Detect Hand Posture and Pressure on Commodity Mobile Phones. In Proc. of UIST '12, pp. 545–554, 2012.
- [4] S. Heo, G. Lee. Force Gestures: Augmented Touch Screen Gestures using Normal and Tangential Force. In Proc. of CHI EA '11, pp. 1909–1914, 2011.
- [5] S. Heo, G. Lee. ForceTap: Extending the Input Vocabulary of Mobile Touch Screens by Adding Tap Gestures. In Proc. of MobileHCI '11, pp. 113–122, 2011.
- [6] S. Hwang, K. Y. Wohn. PseudoButton: Enabling Pressure-sensitive Interaction by Repurposing Microphone on Mobile Device. In Proc. of CHI EA '12, pp. 1565–1570, 2012.
- [7] G. Laput et al. Acoustumruments: Passive, Acoustically-driven, Interactive Controls for Handheld Devices. In Proc. of SIGGRAPH '15, pp. 3:1–3:1, 2015.
- [8] J. Marshall et al. Pressing the Flesh: Sensing Multiple Touch and Finger Pressure on Arbitrary Surfaces, pp. 38–55. Springer, Berlin, Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [9] Y. Nakai et al. Tangential Force Input for Touch Panels using Bezel-aligned Elastic Pillars and a Transparent Sheet. In Proc. of UIST'14 Adjunct, pp. 111–112, 2014.
- [10] K. Nakajima et al. Emoballoon. In Proc. of ACE 2013, pp. 182–197, 2013.
- [11] M. Ono, B. Shizuki, J. Tanaka. Sensing Touch Force using Active Acoustic Sensing. In Proc. of TEI '15, pp. 355–358, 2015.
- [12] E. W. Pedersen, K. Hornbæk. Expressive Touch: Studying Tapping Force on Tabletops. In Proc. of CHI '14, pp. 421–430, 2014.
- [13] J. Rekimoto, C. Schwesig. PreSenseII: Bi-directional Touch and Pressure Sensing Interactions with Tactile Feedback. In Proc. of CHI EA '06, pp. 1253–1258, 2006.
- [14] Y.-C. Tung, K. G. Shin. Expansion of Human-Phone Interface By Sensing Structure-Borne Sound Propagation. In Proc. of MobiSys '16, pp. 277–289, 2016.

WISS2016採録判定時のコメント

採録区分：ロング採録

判断理由：

気密性の高い防水型のタッチパネルにおいて、ユーザがパネルを押下する際の力を、内蔵の気圧センサを用いて計測する手法の提案です。押下力を検知可能なタッチパネル自体は既にありますが、特別なセンサを追加せずに同様の機能が安価に実現可能であることが評価されました。加えて、提案手法における押下位置・押下力の特性に関しても、詳細な実験が行われています。これらの点を評価し、ロング採録となりました。

レビューサマリ：

全体の構成：

防水型のスマートフォンに搭載されている気圧センサを利用して、タッチパネルへの押下によって発生する内部圧力変動を計測する手法を提案しています。詳細な実験により、押下力と内部圧力変動の関係を明らかにし、内蔵気圧センサによる押下力計測が、入力手段の一つとして利用可能であることを示しました。

改良のためのコメント等：

- 提案技術を応用した角度推定の可能性について、実現を期待します。またタッチ検出以外に、「握る」などの動作検出、あるいは「ポケットの中にある」、「手の中にある」などの状態識別はできないものでしょうか。
- 計測手法改善に関する提案：画面の端の部分での押下力測定精度の低下問題に関して、例えばタッチパネルでの指の位置情報をパラメータにした、押下力計測アルゴリズムの構築という対策の可能性はありませんでしょうか。
- 図の単位系について：図2,4,5のグラフに関して、「圧力値」の単位がmVになっています。これでは具体的な物理量がわからないので、単位の修正が必要です。
- 使用されている数式について：3ページ目左カラムにある数式に関して、使用されている用語の説明をお願いします。
- 使用される単位について：3ページ目の右カラム、4.1.1 実験手順で、圧力 480 hPa という記述があります。分銅により生起される押下圧であれば、単位は N/m² などのほうが適切と考えます (hPa は気象・空気圧に関して使用されますが、それ以外の分野ではほとんど使われません)。そもそもここで圧力表現が妥当かどうかは、要検討であると考えます。

本論文に対する各査読者の詳しいコメントは以下のページを参照のこと：

<http://www.wiss.org/WISS2016Proceedings/oral/02.html>

*本ページは論文本体ではありません

【BaroTouch：防水タッチパネル端末に内蔵された気圧センサを用いた押下圧力取得手法】