

両手で把持したタブレットのための 入力手法の提案と評価

長谷川 伸吾^{†1} 赤池 英夫^{†1} 角田 博保^{†1}

タブレットを使用する際、操作の安定性を高めるために両手で端末を把持する状況がある。しかし、画面サイズが大きいタブレットでは親指が届かない位置へのタッチ入力が困難になってしまう。この問題を解決するために本研究では、タブレットを両手で把持した状態で使用可能な 13 種類の操作と、それらの入力時に発生する固有の加速度と音の特徴を用いた判別方法とを持つ入力手法 “Taplet” の提案と評価をおこなった。評価実験の結果、音についてはおよそ 88.1%、加速度については 50.6% の分類精度を持つことがわかった。そのため、加速度によって入力を検出し、音によって入力を分類するという雑音環境でも利用可能な判別方法を実装し、そのテストをおこなった。

Taplet: Input method for the tablet gripped with both hands

SHINGO HASEGAWA,^{†1} HIDEO AKAIKE
and HIROYASU KAKUDA

For stable operation, tablet devices are often used by holding in both hands. But, in such situation, it is hard to touch screen positions where no finger can reach. To solve this problem, we proposed a set of interactions called “Taplet” and evaluated it. Taplet conveys user’s intentions to application softwares on a tablet using acoustic features obtained by doing specific behavior to the device. It can classify 13 different interactions (simply tapping, tapping with nail, scratching and so on) with about 88.1% accuracy. And, even under noisy environment, it can detect the timing of those interactions by catching change of acceleration as a trigger.

1. はじめに

近年、iPad を始めとしたタブレット端末のシェアが広まっており、その使用状況も様々である。端末を机に置いて操作したり、片手で支えて操作したりといった使い方があがるが、その中でも特に端末を両手で把持する使い方に着目した。一般的なタブレットはサイズが 10.1 インチ、重量が 700g 程度あるため、両手把持することで操作の安定性が高まり、歩行時や寝転がった体勢での使用も容易になる。また、腕にかかる負担も片手で支えるときと比べて軽減されるため、長時間の使用も快適におこなえる。

しかし一方で、画面中央付近や画面端などの親指が届かない位置へのタッチ操作が困難であるという問題が存在する。そのため、タッチ操作をする際には片手で支える持ち方に持ち直す必要があり、操作の安定性が損なわれてしまったり、持ち直しに時間がかかってしまったりする。本研究ではこの問題を解決するために、タブレットを両手で把持したまま可能な操作と、それらの操作による入力を判別するための方法とを持つ入力手法 “Taplet” を提案し、評価実験により有用性を評価した。

2. 関連研究

携帯端末やテーブルトップ型のタッチスクリーンでの想定された利用法を越えて拡張された入力手法として、ForceTap¹⁾、BezelTap²⁾、TapBack³⁾、ScratchInput⁴⁾、TapSense⁵⁾などが挙げられる。ForceTap と BezelTap は、タップ時に発生する加速度をスマートフォンまたはタブレットに内蔵されている加速度センサーで捉えることで、それぞれ力を込めておこなうタップ、タブレットのベゼル部分へのタップを判別している。TapBack と ScratchInput、TapSense では、操作時に発生する音を機器に内蔵されているマイクロフォンで捉えることで、それぞれ携帯電話の背面へのタップ、壁や机を爪で引っ掻くジェスチャー操作、指の腹や関節部などの異なる部位によるタップを判別している。これらの先行研究ではタブレットを両手で把持した状況は想定しておらず、本研究とはこの点で異なっている。

また、本研究の過程で提案した NailTap⁶⁾ は爪を立てて指先でタップする操作で、TapSense などと同様に音を用いて操作を判別している。実験から、98% の精度で通常のタップと区別

^{†1} 電気通信大学大学院情報理工学専攻
Graduate School of Informatics and Engineering
Department of Communication Engineering and Informatics
The University of Electro-Communications

できるという結果が得られており、操作に必要な学習や負担がほとんどないため有用な手法であることがわかっている。

本研究ではこれらの手法を踏襲した上で、タブレットを両手で把持した状況で使用できる一連の操作を提案する。そして、それらの操作を互いに識別するために加速度と音を用いた判別方法を設計し、実装に向けた調査をおこなう。

3. 提案手法 Taplet

両手で把持したタブレットのための入力手法 “Taplet” で提案する操作、およびそれらを判別するための判別方法について述べる。

3.1 13 種類の操作

Taplet で扱う操作として、以下の設計方針を立てた。

- 端末を両手で把持したままで無理なく使用できる。
- 端末の画面、前面（ベゼル）、側面、背面の 4 面を入力面として使用する。
- 指の腹でおこなうタップ（Tap）、爪を立てて指先でおこなうタップ（NailTap）、手全体でおこなう擦る操作（Scratch）の 3 種類の操作方法を用いる。
- 右手（Right）と左手（Left）とで操作を使い分ける。

これより、全 13 種類の操作を考案した。表 1 に操作の一覧を示す。例えば、Left-Bezel-NailTap は左手の親指でベゼル部分を爪を立ててタップし（図 1）、Right-Side-Tap は右手の人差し指で側面を指の腹でタップする（図 2）。Left-Back-NailTap は左手の中指で背面を爪を立ててタップし（図 3）、Back-Scratch は利き手を使って背面を上下に擦る操作である（図 4）。なお、Scratch に関しては左右の区別をなくし利き手のみの操作とした。

表 1 13 種類の操作 一覧表

	左手 (Left)	右手 (Right)
画面	Left-NailTap	Right-NailTap
ベゼル (Bezel)	Left-Bezel-NailTap	Right-Bezel-NailTap
側面 (Side)	Left-Side-Tap	Right-Side-Tap
	Left-Side-NailTap	Right-Side-NailTap
背面 (Back)	Left-Back-Tap	Right-Back-Tap
	Left-Back-NailTap	Right-Back-NailTap
	Back-Scratch	



図 1 Left-Bezel-NailTap



図 2 Right-Side-Tap

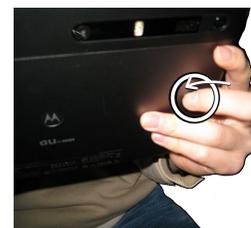


図 3 Left-Back-NailTap



図 4 Back-Scratch

3.2 加速度と音を用いた判別方法

2 節の先行研究で用いられているように、各操作で発生する加速度と音をデータとして取得し、これを用いて判別する。データの取得には端末に内蔵されている加速度センサーとマイクロフォンを使用し、常時センシングする。操作の分類には機械学習（Weka^{*1}）を用いた。

4. 入力実験

各操作で発生する加速度と音の特徴で、どれだけ互いを区別できるか調べるため、被験者による入力実験をおこなった。実験は静音環境にて、イスに座り、タブレットを両手で把持した状態でおこなった。全 13 種類の操作を 10 回ずつおこなうタスクを 10 セッション実施し、各操作で発生する加速度と音のデータ（以下、入力データと表記）を収集した。また、何も操作しない状態も判別する必要があるため、動かさず、静かに把持しただけの状況のデータも記録した。被験者は 20 代の男性 6 人、いずれも右利きであった。実験装置には

*1 <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

Android タブレット XOOM^{*1}を用いた。

5. 解析

各操作で得られた入力データから特徴量を抽出し、それらを教師あり学習として、J48 アルゴリズムによって生成した決定木で分類した。分類精度については 10-fold cross-validation によって得られた、正しく分類された割合（以下、分類正答率と表記）の中央値を使用した。なお、Right-NailTap と Left-NailTap については、もともとソフトウェアによる接触検出が可能であり、他の操作と区別できるため、分類調査からは除外した。

5.1 分類正答率（全操作の平均）

収集される入力データをセッションが進むにつれてインクリメンタルに機械学習の学習データとして追加していったときの分類正答率を図 5 に示す。図では全操作方法の分類正答率を平均した値を示している。全 10 セッションの学習データによる分類正答率は、加速度を用いた場合が 50.6%、音を用いた場合が 88.1%であった。この段階で、加速度を単独で用いた場合には判別能力が低く実用性がないことがわかったため、以下では音による分類の解析を中心に述べていく。

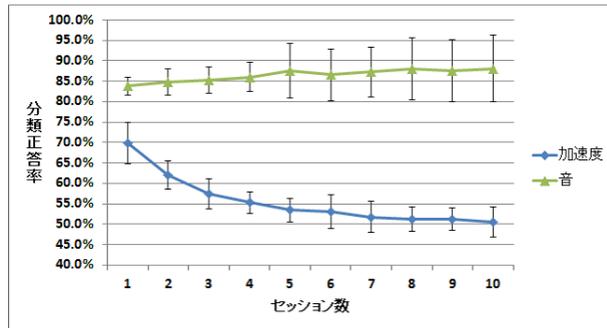


図 5 セッション経過ごとの分類正答率の推移（全操作の平均）

5.2 分類正答率（操作ごと）

全 10 セッションの学習データによる操作ごとの分類正答率を図 6 に示す。音による分類で

は、Right-Side-Tap と Left-Side-Tap の 2 つの操作を除いて分類正答率は 85%以上となった。加速度による分類では、Back-Scratch を除いて分類正答率は 40%以上となったが、最大でも Right-Bezel-NailTap の 56.3%であった。

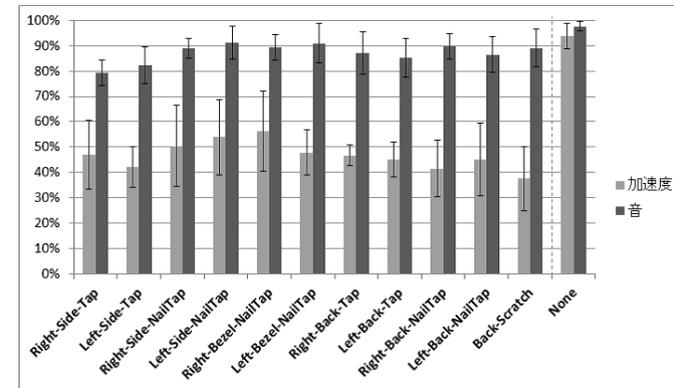


図 6 全 10 セッションの学習データによる分類正答率（操作ごと）

5.3 分類の内訳

音による操作の分類結果を詳細に観察するため、操作ごとに分類の内訳を調査したところ、図 7 に示すようになった。Right-Side-Tap と Left-Side-Tap や、Right-Back-Tap と Left-Back-Tap のような、手の左右だけが異なる操作間での誤分類の割合が高く、全体の誤分類の割合に対して平均 29.8%に達した。

分類の内訳 (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Right-Side-Tap	79.3	7.7	0.7	0.0	0.5	3.5	2.3	1.2	2.5	1.0	0.7	0.7
2 Left-Side-Tap	8.5	82.3	0.5	1.7	1.0	1.3	0.3	1.5	0.3	1.3	0.7	0.5
3 Right-Side-NailTap	1.7	0.8	89.0	1.8	1.7	0.3	0.3	0.7	1.2	1.3	1.0	0.2
4 Left-Side-NailTap	0.3	1.3	2.5	91.2	0.8	0.7	0.3	0.3	0.2	2.0	0.3	0.0
5 Right-Bezel-NailTap	2.0	1.3	1.8	1.0	89.3	2.8	0.2	0.0	0.8	0.2	0.5	0.0
6 Left-Bezel-NailTap	2.3	2.5	0.7	1.0	2.2	91.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
7 Right-Back-Tap	2.2	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	87.2	7.3	1.2	0.0	1.2	0.2
8 Left-Back-Tap	2.3	1.8	1.3	0.5	0.7	0.3	4.2	85.2	0.7	1.2	1.7	0.2
9 Right-Back-NailTap	2.8	0.7	1.7	0.5	0.5	0.0	1.3	0.7	89.7	1.7	0.5	0.0
10 Left-Back-NailTap	2.0	1.7	2.0	3.0	0.3	0.8	0.2	0.5	2.2	86.5	0.8	0.0
11 Back-Scratch	1.0	0.8	1.3	1.0	1.7	0.3	1.7	1.8	0.2	0.3	89.2	0.7
12 none	0.0	0.3	0.0	0.2	0.3	0.2	0.3	0.0	0.3	0.0	0.7	97.7

図 7 分類の内訳（色が濃いほどその内訳が大きいことを表す）

*1 <http://www.motorola.com/Consumers/JP-JA/Consumer-Products-and-Services/Tablets/MOTOROLA-XOOM-JP-JA>

5.4 アンケート結果

各操作の使いやすさについて 5 段階のリッカート尺度で評価したアンケート結果を表 2 に

示す。もっとも評価の高い操作が Right-Back-Tap、Right-Back-NailTap で、どちらも背面をタップする操作であった。逆にもっとも評価の低いものは Left-Bezel-NailTap で、6人中4人がもっとも使いづらいとコメントしていた。また、「非利き手であるため力が入れづらかった」というコメントも多く、全体的に非利き手であった左手を使う操作の評価が低くなっている。被験者6については深爪をしていたため、爪を立ててタップする必要がある側面への NailTap と画面への NailTap がうまく実行できず、これらの評価が最低であった。Back-Scratch については6人中4人が最高評価の5をつけている一方で、被験者5は「予備動作が必要になる」、「誤まって操作した時に認識されてしまう」という理由から低めの評価である2をつけていた。

表2 各操作に対する使いやすさの5段階評価 (1: 使いにくい < > 5: 使いやすい)

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	被験者 5	被験者 6	平均 (標準偏差)
Right-Side-Tap	3	4	5	5	3	5	4.2(1.0)
Left-Side-Tap	3	2	4	4	2	4	3.2(1.0)
Right-Side-NailTap	2	5	4	5	4	5	4.2(1.2)
Left-Side-NailTap	2	3	4	4	3	2	3.0(0.9)
Right-Bezel-NailTap	2	5	2	4	4	1	3.0(1.5)
Left-Bezel-NailTap	2	4	1	3	3	1	2.3(1.2)
Right-Back-Tap	5	5	4	5	3	5	4.5(0.8)
Left-Back-Tap	5	2	3	4	1	3	3.0(1.4)
Right-Back-NailTap	4	5	4	5	4	5	4.5(0.5)
Left-Back-NailTap	4	4	3	4	1	3	3.2(1.2)
Right-NailTap	3	5	4	5	4	1	3.7(1.5)
Left-NailTap	3	4	3	3	3	1	2.8(1.0)
Back-Scratch	5	4	5	5	2	5	4.3(1.2)

5.5 左右の区別をなくした場合の分類精度

分類の内訳結果から左右が異なる操作の使い分けで誤分類が多いこと、またアンケート結果から非利き手による操作がしづらいということから、左右の区別をなくした場合の分類正答率を調査した。その結果、加速度については13.6%上昇し、音については最大4.1%上昇するという結果が得られた。このため、応用先のインタラクションが必要とする操作の種類数によっては、左右の区別をなくすことでより精度の良い判別が可能になる。

6. 判別方法の決定と検証

5節の解析結果から、加速度と音を用いた判別方法を見直し、その検証をおこなった。

6.1 判別方法の決定

加速度による分類は、左右の区別をなくした場合でも分類正答率が8割弱であったため、

操作を分類するには適さないと判断した。一方で、音による分類正答率は平均が88.1%と高い値で、被験者によっては9割を超えていた者もいたため、操作の分類には音を用いることにした。ただし、加速度については、入力の有無だけであれば99%の精度で分類できたため、操作の検出として利用することにした。操作の検出を実装することで、雑音環境に居る状況でも加速度の瞬間的な変化がなければ判別処理をせずに済む。同時に、操作の発生時刻を特定できるため、雑音環境で操作が起こった場合でも判別に使う音データの範囲をある程度絞ることができ、より正確な判別が可能になると考えられる。

最終的な判別手順は以下ようになる。まず、常に加速度を監視しておき、その変化によって操作を検出する。次に、操作が検出された場合には、音の特徴を解析して分類をおこない、操作を特定する。最後に、応用先のインタラクションに応じたアクションを実行する。なお、加速度による操作の検出と音による操作の特定は、あらかじめ取得した入力データを学習データとして機械学習させ、その結果生成される決定木を使用する。

6.2 判別方法の検証

以上の判別手順を実装した上で、被験者1と被験者4の2人に各操作を50回ずつおこなわせ、これをテストデータとして使用して判別率の調査をおこなった。ここで判別率とは、被験者ごとに作成した決定木を用いて、その被験者の未知の操作を正しく分類した割合を呼ぶことにする。判別に使用する決定木は4節の入力実験でそれぞれの被験者から得た入力データを学習データとして得たものを使用した。

テストの結果、全操作で平均した判別率は被験者1が76.5%、被験者4が68.0%となった。4節の入力実験で得た入力データを機械学習させたときの分類正答率は、被験者1が90.4%、被験者4が91.2%であったため、14%から24%も下落している。考えられる要因としては、テストデータを取得した時期と学習データを取得した時期とに数日の間が開いたため、被験者のコンディションが変わったということが挙げられる。特に爪の長さが変わっていたため、NailTap入力への影響が大きかったと考えられる。実際、NailTapをおこなう操作の、全エラー数に対する判別エラー率は両被験者とも62%程度にのぼっていた。直近の数十回分の学習データとして使用するなどして、使用時に適した決定木を用いる必要があるだろう。

操作ごとの判別率を図8に示す。Left-Bezel-NailTapやRight-Back-NailTapでは、被験者1が95%を超える高い値であるのに対し、被験者4は80%を切る低い値となっていた。Back-Scratchについては両被験者共に高い判別率で、どちらも9割を超えていた。Back-ScratchはTapやNailTapを使う操作に比べてユニークで安定した操作であったため、被

験者間でも動作にバラつきが少なく、高い判別率を達成したのではないかと考えられる。

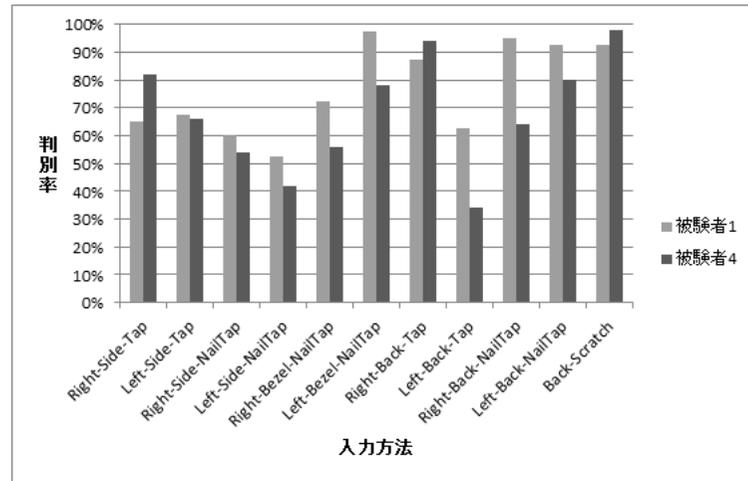


図 8 操作ごとの判別率

7. おわりに

本研究では、タブレットを両手で把持して使用する際のインタラクションを改善するために、入力手法 Taplet の提案と、その実装に向けた調査をおこなった。まず、タブレットを両手で把持したまま使用できる 13 種類の操作を考案し、それらを互いに区別するための判別方法を設計した。機械学習を用いて各操作の分類精度を調査したところ、加速度による分類精度は平均 50.6%、音による分類精度は平均 88.1%に達するという結果が得られた。この結果を受けて、まず加速度によって入力を検出をおこない、そのあと音によって分類をおこなうといった手順に変更した。しかし、判別方法を検証したところ、使用時の被験者のコンディションによっては十分な判別率が得られない場合があるため、機械学習に用いる学習データの取捨選択などによる、判別方法の改善の余地が残っている。

さらに、今回は静音環境と静止状態での調査のみだったため、歩行状態や騒音環境など様々な使用状況について対応するために、入力データの収集と分類調査をおこない、より多様な状況への対応をおこなう。最終的に、ウェブブラウザやゲームなどのアプリケーション

に導入し、そのユーザビリティを評価する。

参考文献

- 1) Seongkook Heo and Geehyuk Lee: ForceTap: Extending the Input Vocabulary of Mobile Touch Screens by adding Tap Gestures; MobileHCI 2011.
- 2) Frank Chun Yat Li, Richard T. Guy, Koji Yatani, Khai N. Truong: The 1line keyboard: a QWERTY layout in a single line; UIST2011.
- 3) Simon Robinson, Nitendra Rajput et al: Tap Back: Towards Richer Mobile Interfaces in Impoverished Contexts; CHI2011.
- 4) Chris Harrison, Scott E. Hudson: Scratch Input: Creating Large, Inexpensive, Unpowered and Mobile Finger Input Surfaces UIST2008.
- 5) Chris Harrison, Julia Schwarz, Scott E. Hudson: TapSense: Enhancing Finger Interaction on Touch Surfaces; UIST2011.
- 6) 長谷川伸吾, 角田博保, 赤池英夫: タップ音を利用したタッチインタラクションの拡張; HIS2011.