

## 触覚フィードバックタッチパネルにおける人間の触知覚に関する基礎研究 Fundamental study on human tactile cognition through haptic touchscreen

大西 淳児<sup>†</sup>  
Junji Onishi

坂尻 正次<sup>‡</sup>  
Masatsugu Sakajiri

三浦 貴大<sup>‡</sup>  
Hirotaka Miura

小野 束<sup>†</sup>  
Tsukasa Ono

### 1. はじめに

スマートフォンなど、近年、急激にソフトウェアによるスイッチ制御を行うタッチスクリーン式のインタフェースが普及してきた。この普及は、スイッチをソフトウェアで制御できるために、物理スイッチと比べて、安価なコストで実装が可能であること、および、スクリーンによる映像提示と組み合わせることで、直感操作を生み出すメリットがあることが背景にある。そのため、今後、従来のスイッチに代わって、タッチスクリーンスイッチを利用する機器が爆発的に増大すると見込まれている。

ところで、タッチスクリーンは多くの利点と普及が見込まれるデバイスではあるものの、いくつかの問題も指摘されている[1][2]。

第一に、タッチスクリーン式のスイッチでは、全面がガラス表面のように様な触感であり、スイッチは映像で表現するため、特に、映像情報を取得しにくい視覚障がい者が利用するには多くの障壁となっている。従来のスイッチは、物理的な形と触感を伴ったもので、手探りで探し、スイッチを操作することが可能であった。このことは、スイッチそのものを注視する必要の無い操作場面において、非常に大きなメリットがあった。

第2に、スイッチを押したときに感じる触感を伴わないことから、スイッチを押した実感がなく、スイッチが機能したかどうかは、映像によるレスポンスを眼で確認するしかない。たとえば、スクリーンキーボードによる文字入力においても、スクリーン上のキーを注視する必要があり、物理キーボードを使った場合と比べて、直感的な操作が可能で便利を感じる反面、文字入力などの作業内容によっては、人間が感じる負担が大きくなる[3]、もしくは、ブラインド入力がより困難になることから作業効率が低下するなどの欠点も存在する。これは、iPadなどのタッチデバイスで画面上のフルキーボードを操作すると非常に違和感を感じ、文字入力に抵抗を感じる理由の一つであると考えられる。

ところで、2012年12月にIBMが、今後5カ年で人々の生活を一変させる5つのイノベーションを発表した。この発表では、人間の五感をコンピュータ処理する能力について、次のように述べている。

- ・触覚：電話を通じて触れることができる
- ・視覚：1ピクセルが一千語に値する
- ・聴覚：重要なことをコンピューターが聞く
- ・味覚：デジタル味蕾でスマートに食べる
- ・嗅覚：コンピューターが嗅覚を持つ

従来から、この5つの感覚については、様々な用途を目的として数多くの研究がなされているが、触覚に関する

部分に注目すると、たとえば、遠隔地にいる人に、画面を触ることで、実際の質感などの触覚をシュミレートすることができるという。最近、この目的を目指した製品として、senseg社の「The Senseg Tixel」やImmersion社の「Touch sense」といったが登場し、タッチスクリーンに数100種類の触感生成を実現している。Immersion社の技術を実装したタブレット端末が昨年ごろから登場した、仮想現実を実現するまでには到達していない。また、これらの仮想触感をユーザ補助へ生かすための具体的な指針も定まっておらず、まだまだ、バリアフリーの確立には至っていない。

そこで、この報告では、これらのタッチスクリーンに組込可能な触覚フィードバック技術によって、より柔軟に人間がスイッチ操作をできる環境を提供することを目的として、疑似触感フィードバック情報に対する人間の判別精度に関しての調査を行う。まず、タッチスクリーンのアクセシビリティに関する現状と問題について第2節で述べる。第3節では、疑似触感に対する人間の判別精度を測定するための実験ソフトウェアについて述べる。その後、触覚フィードバックタッチスクリーンに実験ソフトウェアを実装し、実際に、被験者を使って、判別試験を行った結果と考察について述べる。最後に、まとめと今後の展望について総括する。

### 2. 関連研究

近年、触覚フィードバックの機能をもつタッチスクリーンを使ったアクセシビリティの研究が盛んになっている。これらの触覚フィードバックの研究は、呈示する触覚フィードバックの観点からいくつかに分類できる[4][5]。

まず、第1に、振動によってクリック感などを呈示する方法である。これは、端末に振動子を追加することによって触覚フィードバックを付加するもので、既に、実用化されているものもある。これらの基本原理は、触覚の錯覚を巧みに利用したものである。触覚の錯覚については、古くから研究がされており、触覚でも視覚と同様な錯覚が見られると言われている。このメカニズムを巧みに利用することで、テクスチャーや形状の再現の精度を上げるための研究も進められており、今後、より精度の高い触覚フィードバックシステムが登場すると期待できる[6]。

第2の方法は、senseg社が実用化しているTixel E-Sense技術である[8]。この技術は、味気ないタッチスクリーン入力をダイナミックな手触り入力に変えることができる画期的な技術で、タッチパネル上に貼ったフィルムの電荷を制御することで機械的な振動を使わずに利用者に触感を与えることができるものである。その原理は、電荷の強さ（電圧）と幅（周波数）をいろいろなパターンで組み合わせることで、表現したい触感を再現し、それをコントロールモジュールに送り込んで、フィルム上に帯電させる仕組みになっている。この状態で帯電フィルムに触ると、指先に微弱な静電気の力が働いて、それが凹凸となって指先に伝わ

<sup>†</sup> 国立大学法人筑波技術大学 Tsukuba University of Technology

<sup>‡</sup> 国立大学法人東京大学 The University of Tokyo

ることになる。この技術を搭載した市販デバイスは今のところ登場していないが、近い将来に搭載されたタブレット端末などが登場すると見られる。この技術の最大のメリットは振動によるノイズが発生しないことが上げられる。

このように、近年、急速に疑似触覚再現技術の発達と普及が見込まれるが、活用するにあたっては、これらの疑似触覚をタッチスクリーン上で利用する際の共通したガイドラインと人間の触覚認知のメカニズムの解明が重要となる。つまり、触覚と視覚や触覚情報の記憶など、触覚を利用するには、人間の触覚処理機構の解明が重要となる。この論文では、触覚を今後応用する上で重要となる最新の触覚フィードバックによって作られる疑似触覚の判別精度および記憶の指標を得ることを目的とした。

### 3. 調査方法

#### 3.1 実験システム

触覚フィードバック機能のあるタッチスクリーンでの触覚判別の調査するため、図1に示す NEC 製タブレット MEDIAS TAB UL N-08D を用いた。このデバイスは、商用機種としては、初めて immersion 社の HD Reverb ソフトウェアを搭載した端末で、immersion TouchSense 5000 ソフトウェア[7]と組み合わせることで高精度で繊細な触覚を実現する機能を持っている。この論文では、このタブレットに、10種類のランダムな触覚を提示し、あらかじめ画面に用意されている10個のアイコンから同一の触覚を選択させるソフトウェアを作成し、疑似触覚の知覚精度を調査することにした。画面のインタフェースを図2に示しておく。この10種類の触覚コードは、immersion 社のソフトウェアに組み込まれたテンプレートを利用した。表1に、システムで使った immersion 社の触覚コードを示す。図2に、この論文で作成したソフトウェアの画面デザインを示す。図2の(a)の領域は、ランダムな疑似触覚を提示する領域で、(b)は、選択肢として、10種類の触覚をアイコン上に並べたものである。(c)は、(b)で最後にタッチしたものを最終回答として提出するためのボタンである。このソフトウェアでは、外部データベースと連携して、被験者に提示した触覚コードおよび被験者が回答した触覚コード並びに、提示から回答までに要した時間を記録する処理を行う。

#### 3.2 被験者

実験では、1人の女性と9人の男性で弱視者を含む10人の被験者を用いた。被験者の年齢は、おおよそ20歳から54歳である。すべての被験者は、普段からコンピュータやスマートフォンを1日に2～8時間ほど利用している。8人の被験者は弱視者であり、そのうちの3名は、点字使用者で画面の確認は非常に困難ではあるが、図2の(a)、(b)、(c)の3領域の識別がcaろうじてできる。また、すべての被験者の実験システムのタブレット端末操作経験はなく、今回の実験が初めての操作であった。

#### 3.3 実験手順

実験は、以下の手順で行った。

1. 実験の内容説明とソフトウェアの操作方法
2. アプリケーションの操作方法を理解するため、10回の触覚当ての試験を行う。

3. 実験アプリケーションの30回の触覚当て試験を行い、その記録をデータベースで確認する。  
ステップ2から3の操作は、休憩を入れずに試験を行った。



図1 実験端末

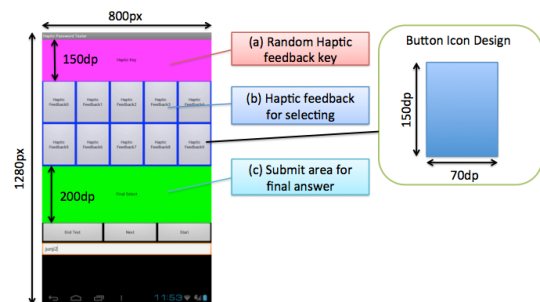


図2 実験ソフトウェア

### 4. 実験結果と考察

#### 4.1 判別率

図3に、被験者の触覚判別の結果を示す。この図の横軸は各被験者を表し、青色の棒は正解を、赤色の棒は不正解をそれぞれ表し、縦軸はその数量を表したものである。この図から、ほとんどの被験者が問題で提示した触覚と同じ者を選択することが分かる。また、被験者 A, C, E, F, I, J は、いくつか間違った触覚を選択したが、その主な理由は、以下のとおりである。

1. アイコン位置が正確に読み取れずに、回答用のアイコンに間違って触れてしまった。
2. アプリケーション操作を間違えた。
3. 触覚の正確さより短時間回答を重視した操作を行った。

以上の結果から、おおよそ、仮想触覚の判別精度は非常に高いと見られることが分かった。そのため、アイコン選択操作に固有の触覚を加えることで、スクリーンタッチ操作の確認に役立つと考えられる。また、触覚判別式パスワード入力システムなどへの応用も期待できると考えられる。

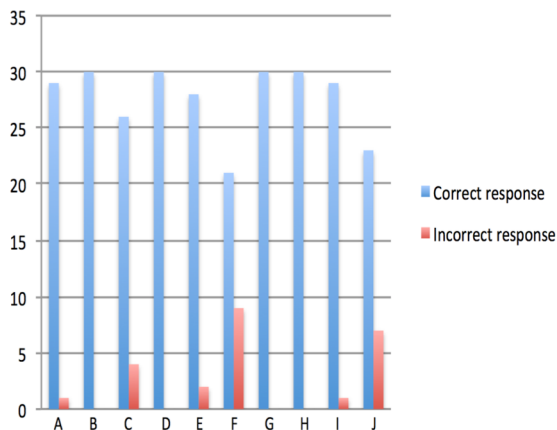


図3 判別結果

#### 4.2 判別時間

図4に、各被験者の回数別の回答時間を示す。また、図5に、その平均時間を示す。この二つの図から、回答時間のレンジは、ここの被験者で差はあるものの、おおよそ3秒から15秒程度であり、回数を重ねるごとに、回答に要する時間が徐々に短くなっていることが分かる。特徴的なところは、10回目付近から、徐々に回答時間が短くなり、15回から30回の間で安定に入るところである。これは、おそらく、選択アイコンに割り当てた触感の一部または全部が記憶されて、問題で呈示された触感と同じものを選択するのがより容易になったと考えられる。つまり、触感が人間の短期記憶に記録されていると思われる。一方、図6に、実験で利用した10種類の仮想触感のパターンとその平均回答時間を示す。この結果から、比較的短期記憶しやすい触感であれば、短時間で回答を可能とし、逆に、難しいものでは、時間を要したと見られる。

このことから、触覚記憶を要するような用途で使用する場合には、仮想触覚のパターンの選別が重要になると考えられる。Immersion社のAPIから提供されている触覚パターンは100種類以上あり、また、独自のパターンを作成することも可能である。そのため、今後は、人間の記憶に残りやすいパターンについて、更に多くの検討が必要であることが示唆される。

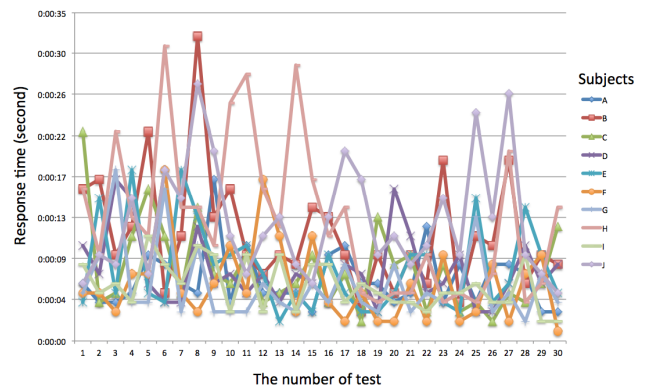
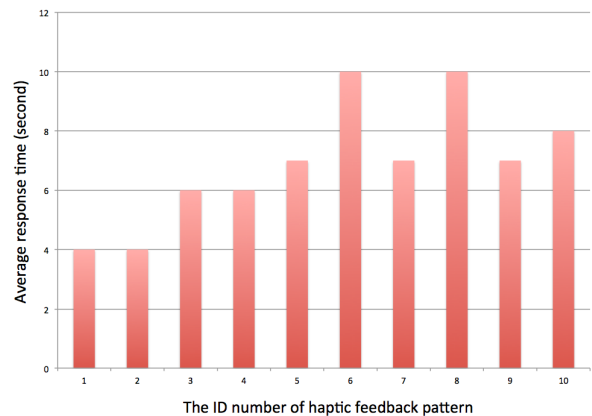
図4 各被験者の回数ごとのパターン判別  
応答時間

図5 パターンごとの判別応答時間

#### 5. まとめ

この報告では、今後、より高度に技術発達すると見込まれる仮想触覚フィードバックをタッチスクリーンスイッチに適用し、視覚障がい者やEye-Free操作のを実現する際のガイドラインの指標を得るため、人間の仮想触覚判別精度とその特徴について調査を行った。その結果、人間によって仮想触覚を正しく判別することが可能であることが、実験により明らかになった。また、仮想触覚のパターンによって、人間の記憶への残りやすさに差があることが分かった。触覚情報の記憶過程のメカニズムには、未だ、解明されていないことが多く存在するが、もし、仮想触覚情報の記憶が視覚情報の記憶と同様に行えると仮定すると、視覚障がい者への映像情報提供における感覚代行の一つとして、多くの応用が期待できる。たとえば、言葉で表現しようがない映像の見た目情報の代行呈示などへ適用することも可能となる。また、映像に依存しないタッチスクリーン操作への適用や、セキュリティの分野においては、言葉や映像などの盗聴盗撮によるリスクを避けた触覚パスワード装置などへの応用も期待できるなど、数多くの分野での応用が期待できる。

今後は、より多くの仮想触覚について、人間の知覚との関係の調査を進め、タッチスクリーンのバリアフリー化

や新たな活用方法を開発するための基盤的なガイドラインに関する研究を更に進める予定である。

#### 謝辞

本研究は**科研費基盤研究 (C)** (24531231) および国立大学法人筑波技術大学平成 25 年度教育研究等高度化推進事業 A 競争的教育研究プロジェクト事業の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] McGookin, D., Brewster, S. and Jiang, W., Investigating touchscreen accessibility for people with visual impairments, Proceedings of the 5th Nordic Conference on Human-Computer Interaction - NordiCHI 2008, pp.298-307, 2008.
- [2] Miura, T.; Matsuzaka, H.; Sakajiri, M.; Ono, T., ``Usages and demands to touchscreen interface: A questionnaire survey in Japanese visually impaired people," Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2012 IEEE International Conference on , vol., no., pp.2933,2938, 14-17 Oct. 2012.
- [3] Chubb, E.C.; Colgate, J.E.; Peshkin, M.A., "ShiverPaD: A Glass Haptic Surface That Produces Shear Force on a Bare Finger," Haptics, IEEE Transactions on , vol.3, no.3, pp.189,198, July-Sept. 2010.
- [4] Banter, B.: Touch Screens and Touch Surfaces are enriched by Haptic Force-Feedback  
<http://www.walkermobile.com/March\ 2010\ ID\ Haptic\ Force\ Feedback.pdf>  
(last viewed:2013/05/12)
- [5] Levin, B. and Woo, A.: Tactile-Feedback Solutions for an Enhanced User Experience  
<http://www.pbinterfaces.com/documents/Tactile\ Feedback\ Solutions.pdf>  
(last viewed:2013/05/12)
- [6] Pathak, A.; Kumazawa, I., ``Usability evaluation of touch panel-based mobile device on user interface with multimodal feedback," Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), 2012 International Conference on , vol., no., pp.703,708, 30-31 March 2012
- [7] Immersion Corporation., TouchSense,  
<http://www.immersion.com/products/touchsense-tactile-feedback/5000-series/index.html>  
(last viewed:2013/05/12)
- [8] Senseg, The Senseg Tixel,  
<http://senseg.com/technology/senseg-technology>  
(last viewed:2013/05/12)