

# 静電気力を用いた触覚ディスプレイにおける複数電極上での柔らかさ提示の検討

○富田 洋文 (筑波大学), 嵯峨 智 (熊本大), 梶本 裕之 (電通大), 高橋 伸 (筑波大)

## An Investigation of Displaying Softness Feeling Using Multi-Electrodes-Based Electrostatic Tactile Display

○ Hirobumi TOMITA (University of Tsukuba), Satoshi SAGA (Kumamoto University), Hiroyuki KAJIMOTO (The University of Electro-Communications), and Shin TAKAHASHI (University of Tsukuba)

Abstract : Touchscreen interfaces have become increasingly popular worldwide. However, few commercial touchscreens enable reactive tactile signals. We use lateral-force-based tactile feedback devices that employ electrostatic force. In this research, we attempted to display softness feeling by using multi-electrodes and a pressure sensor. We conducted an evaluation experiment on whether our device could display softness feeling. We observed that the user could feel change of the tactile sensation on the fingertip according to the change of his/her pressure toward the surface.

### 1. 緒言

スマートフォンやタブレットをはじめとし、タッチスクリーンによるインタフェースは世界的にも多く使われている。多くのユーザが電子端末を選ぶ際にインタフェースとしてタッチスクリーンを選ぶことも多い。しかしながらこれらのタッチスクリーンの多くはスクリーン自体の摩擦感以外でユーザに触覚を提示することは少ない。そのため現在の端末では視覚や聴覚の情報をやり取りすることは可能であるが触覚情報をスクリーンを通して伝えることはほとんどできない。ユーザに触覚的な反応を返すにはデバイス自体に触覚ディスプレイが必要となる。触覚ディスプレイとは、ヒトに対して重さや感触といった触覚体験をユーザに提示するものであり、このディスプレイには人間に備わる感覚受容器への刺激が必要不可欠である。

我々は触覚ディスプレイの研究の中で近年注目されている静電気力を用いて触覚フィードバックを発生させる手法 (Senseg, Inc., Bau, et al. [1]) に着目し、これを用いた触覚ディスプレイの提示手法を検討する。この静電気力を用いた手法は高電圧発生装置、電極、そして絶縁膜のみで触覚提示を可能とする。高電圧発生装置と接続された電極上に絶縁膜を貼り、電極に電圧を印加し絶縁膜上に指を置くことで誘電分極が発生する。この誘電分極により電極と指に吸引力が働く。装置から印加する入力電圧が変化することでこの吸引力も変化する。指が絶縁膜上をなぞる際に吸引力によって生成される摩擦力が働くが、この摩擦力が一定であると指は装置による触覚を知覚できない。入力電圧値を変化させるとそれに伴って摩擦力も変化し、その力の変化によって指は触覚を知覚できる。この触覚ディスプレイの手法により、スクリーンのような平面上で触覚刺激

を容易に提示することが可能となる。また、透過率の高いITO電極と絶縁膜を用いることでスクリーン画像を映しながら触覚を提示することが可能となるので、タブレットやスマートフォンにも応用できる。この手法を用いた研究はいくつか実施されており [1, 2, 3, 4, 5], 我々も本手法において入力信号に対してどのような触覚が得られるのかを日本語のオノマトペを用いて調査してきた [6]。その調査では「ざらざら」や「ごつごつ」といった粗い表現や、「つるつる」や「さらさら」といった滑らかな表現の触覚提示が本手法において可能であるという結果が示された。その反面、柔らかい触覚の表現は困難であるという結果となった。

本研究では静電気力を用いた触覚ディスプレイにおいて柔らかい触覚を表現することを目的とする。本稿では、柔らかい触覚を表現する提示手法の提案と実装、そしてその装置を用いて柔らかい表現が可能かどうかの評価実験を実施した。

### 2. 柔らかい触覚表現の提示手法

これまでの我々の研究では単電極と絶縁膜、そして高電圧発生装置を用いて静電気力を用いた触覚ディスプレイについて調査を実施してきた。しかしこれらの装置だけでは柔らかい表現の触覚提示することは難しい。ここでは柔らかい触覚表現を提示するための手法の提案とその実装について述べる。

## 2.1 柔らかい表現の触覚提示の研究

これまでに、柔らかい触感を表現するのに指表面上の触覚提示領域を変化させる手法が提案されている [7, 8, 9, 10]. 指表面上の触覚提示領域を変化させる手法は、指を押し付ける力に対して指表面の接地面積を変えて硬いや柔らかいを提示することが可能となる [7, 8]. また、スクリーン上にある指に対して電気刺激による触覚提示の面積を変えて柔らかい触感を表現する手法も提案されている [9, 10]. これらの手法では硬い表現をする場合には、指の押し付け具合に関係なく接地面積または触覚提示面積を変化させない. 逆に柔らかい表現をしたい場合には、指の押し付け具合に応じて接地面積または触覚提示面積を変化させる. これによりヒトの指は硬いまたは柔らかいといった触感表現を知覚することが可能となる. しかしこれらの装置は装置自体が大きい、また指に触覚を提示するためのパッドを装着しなければならないため、スマートフォンやタブレットといった端末スクリーン上での応用は難しい.

そこで我々は静電気力を用いた触覚フィードバックにおいて触覚を提示する面積を変化させることで柔らかいまたは硬い表現を提示することを試みる. アプローチとして透明な電極である ITO 電極の複数電極とその複数電極に高電圧を印加させる装置を使用し、指の押し付け力に対して触覚提示領域を変えることで柔らかいまたは硬いといった触感表現を可能とする触覚提示手法を検討する. これにより、指に特別な装置を指に取り付けることもなく、タブレットやスマートフォンといった端末のスクリーン上での触覚提示のような応用も可能となる.

## 2.2 提示装置

提案手法を実装するには、複数電極とそれらの電極にそれぞれ電圧を印加させる高電圧発生装置、そして指の押し付け力を計測するセンサーが必要となる. 複数電極について本稿では単電極である市販の ITO 電極にレーザー加工をすることで複数の電極に分割した. 複数電極の電極パターンは ITO 電極を Fig. 1 のように 3 本のライン状になるように加工し、幅が 2 mm の 3 本の電極を生成した. また、電極間の幅は 2 mm とした. この複数電極に絶縁膜を張り、その上から指で押し付けながらぞる.

触覚を提示する面積を変化させるには、提示したい電極のみ高電圧を印加させ、提示させない電極にはグラウンドに接地させる必要がある. そこで我々は高電圧発生装置として電気通信大学の梶本研究室で開発された装置を利用することで可能にした. この装置は、接続されているマイコン (mbed) へのプログラミングにより 600 V 電圧の ON/OFF を 16 ch の電極に対して容易に制御できる. こ

れにより指に対して触覚提示の面積を変化させることが可能となる. この提案手法では指の押し付け力を計測する必要がある. そこで今回はプロトタイプとして圧力センサー (FSR-406) を電極の下に設置し、高電圧発生装置に接続されているマイコンで AD 変換をすることで指の押し付け力を計測した. 提案手法を実装した装置全体を Fig. 2 の右に示す.

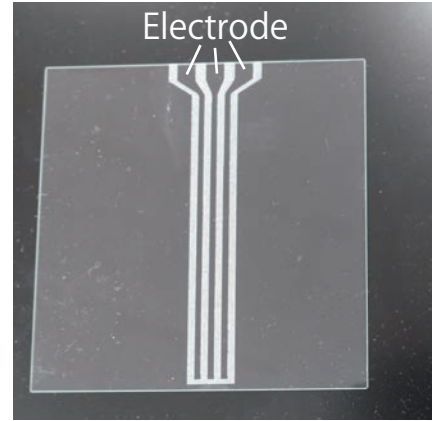


Fig. 1: The multi-electrodes are generated by dividing one ITO electrode into three lines.

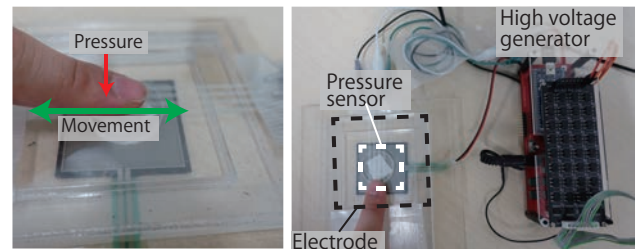


Fig. 2: Overview of the system (Right). It consists of electrodes, pressure sensor, and high-voltage generator. The user rubbed back and forth on the multi-electrodes (Left).

本稿において柔らかい表現をするために 3 本の複数電極を利用し、「押し付けない状態」、「軽く押し付ける状態」、「押し付ける状態」の 3 つの状態面で面積を変えていくよう設計した (Fig. 3). 「押し付けない状態」では触覚提示は行わず、「軽く押し付ける状態」では 3 つの電極のうち真ん中の電極のみで提示する. そして「押し付ける状態」では 3 つすべての電極が触覚を提示するようにする. そのため我々は指を押し付けていない時のセンサー値と指を押し付けた時のセンサー値の差を取得し、その値の差を 3 段階の閾値を設定することで、提示面積が変化するときのセンサー値を設定した. 本稿では、「押し付けない状態」と「軽く押し付ける状態」の押し付け力の閾値を 25 gf とし、「軽く押

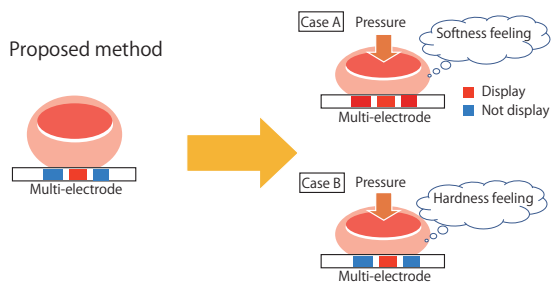


Fig. 3: Our proposed method is to display the softness feeling by changing the presentation area to be widened on the electrostatic force display.

し付ける状態」と「押し付ける状態」の押し付ける力の閾値を 50 gf とした。また硬い表現をするために、「軽く押し付ける状態」と「押し付ける状態」において 3 つの電極のうち真ん中の電極のみで提示する。なお、本装置においてはユーザは指を「押し付ける」動作に加えて、「電極方向に沿って移動する」ことで静電気による吸引力を発生させる (Fig. 2 の左)。

### 3. 提案手法の評価実験

提案手法を実装した装置を評価するために、実験協力者に本装置を触れてもらい、得られるテクスチャが柔らかいまたは硬い触感が表現されているのかについて調査した。実験協力者に評価してもらう方法として 5 段階のリッカート尺度を用いたアンケート調査により本装置を評価してもらう。評価してもらう際に、Fig. 3 のように柔らかい表現をする場合を “Case A” とし、硬い表現をする場合を “Case B” とし、この 2 つのケースにおいて実験協力者に提示装置に触れてもらったあとに以下の項目についてアンケートを取った。

- ・ “Case A” と “Case B” で触感の違いが分かるか
- ・ “Case B” では柔らかさまたは硬さのどちらが提示されていたか
- ・ “Case B” では柔らかさまたは硬さのどちらが提示されていたか

アンケートは 5 段階評価となっており、実験の最後にはこれらのアンケート以外でも自由記述でコメントをもらった。「“Case A” と “Case B” で触感の違いが分かるか」についての 5 段階評価は「1」を「違いが分からない」とし、「5」を「違いが分かる」と設定した。「“Case A” では柔らかさまたは硬さのどちらが提示されていたか」についての 5 段階評価は「1」を「硬く感じた」とし、「2」を「どちらかという硬く感じた」、「3」を「硬いか柔らかいか分

からない」、「4」を「どちらかという柔らかく感じた」、そして「5」を「柔らかく感じた」と設定した。「“Case B” では柔らかさまたは硬さのどちらが提示されていたか」についての 5 段階評価も同様である。この 5 段階評価のアンケートを各実験協力者に答えてもらった。

この評価実験では実験協力者として 22 歳から 24 歳までの 4 名の男性に本装置を評価してもらった。実験協力者には指で装置に触れる前に本実験についての説明をした。説明の際には指の押し力に対して提示面積を変えていることは説明せず、実験手順や評価方法、指のなぞり方や押し付け力について説明した。指のなぞり方は「実験協力者の人差し指を装置に押し付けながら電極方向に沿って移動する」と説明し、その後練習をもらった。押し付け力は実験協力者全員で統一するために練習時と実験時に、装置付近に置いたディスプレイに指の押下力を視覚的に示した。このディスプレイには押し付ける力に応じて上下に動く指の絵が表示されており、装置が「押し付ける状態」と認識すると指の絵は止まり、実験協力者には、画像が停止した場合はそれ以上強く押しつけないように指示した。なお、今回の実験では実験協力者には利き腕に関係なく右手の人差し指の腹で装置に触れてもらい評価してもらった。

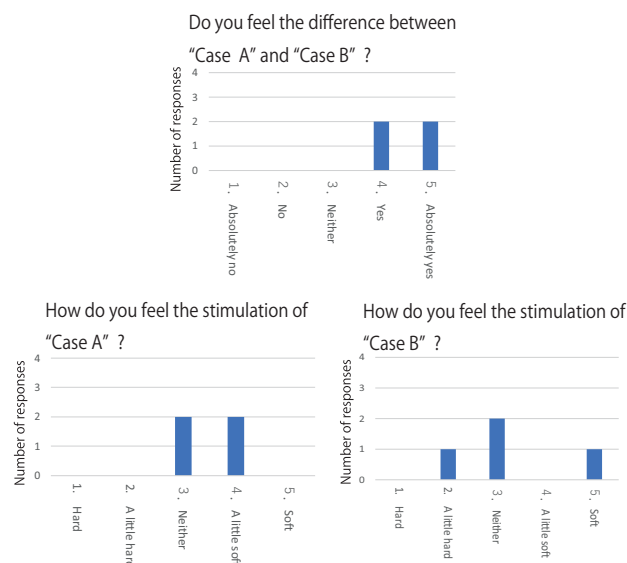


Fig. 4: The result of each questionnaire; our proposed method can make user feel difference of tactile sensation between two cases, however, it is difficult to make the user perceive the softness or hardness feeling.

評価実験の結果を Fig. 4 に示す。“Case A” と “Case B” で触感に違いがあると実験協力者が全員答えたに対して、それぞれのケースで柔らかさや硬さの回答が違う結果となった。このことから提示面積を変える場合と変えない場合で触感に違いが現れるが、その違いから実験協力者に

柔らかいや硬いといった触感を表現するには難しいことが分かった。

実験終了後、実験協力者に本手法についての説明をすると、実験協力者はいくつかのコメントを答えた。その中には、面積が変化したことが分からなく、どちらかというところ強さが変化したのが分かった、というコメントがあった。このコメントから、今回用意した複数電極の幅や間隔距離の関係から、3つの電極のうち1つのみを提示しても3つすべてで提示しても実験協力者にとっては面積の変化ではなく触覚を提示する強さとして認識していたと考えられる。この認識について、我々は複数電極の幅や間隔距離が狭すぎることによって触覚が1点からのみ出力されていると錯覚したのではないかと思われる。

このことを踏まえて、今後は複数電極の配置や間隔といった形状を変え、本稿と同じ手法でさらなる柔らかさや硬さの表現の可能性を探っていく。

## 4. 結言

本論文では静電気力を用いた触覚ディスプレイに関して柔らかい触感表現を実現するための手法の提案と実装し、実験協力者による柔らかい触感表現が可能かどうかの評価実験を実施した。柔らかい触感を表現するために、複数電極や圧力センサーを用いることで指の押しつける力に対して触覚提示面積を変化させた。実験協力者からの回答では、柔らかい触感を表現する場合と硬い触感を表現する場合で「得られる触感に違いがある」と全員が答えたが、それぞれの場合で柔らかさや硬さについての回答がばらつく結果になった。このことから提示面積を変える場合と変えない場合で触感に違いが現れるが、その違いで柔らかいや硬いといった触感表現と知覚することが難しいことが分かった。今後は複数電極の配置や間隔といった形状を変え、本稿と同じ手法でさらなる柔らかさや硬さの表現の可能性を探っていく。

## 参考文献

- [1] Olivier Bau, Ivan Poupyrev, Ali Israr, and Chris Harrison. Teslatouch: Electrovibration for touch surfaces. In *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, pp. 283–292, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [2] Edward Mallinckrodt, AL Hughes, and William Sleator Jr. Perception by the skin of electrically induced vibrations. *Science*, 1953.
- [3] Robert M. Strong and Donald E. Troxel. An electrotactile display. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, Vol. 11, No. 1, pp. 72–79, 1970.
- [4] Eric Vezzoli, Michel Amberg, Frédéric Giraud, and Betty Lemaire-Semail. Electrovibration modeling analysis. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, pp. 369–376. Springer, 2014.
- [5] Yasemin Vardar, Burak Güçlü, and Cagatay Basdogan. Effect of waveform in haptic perception of electrovibration on touchscreens. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, pp. 190–203. Springer, 2016.
- [6] Hirobumi Tomita, Satoshi Saga, Hiroyuki Kajimoto, Simona Vasilache, and Shin Takahashi. A study of tactile sensation and magnitude on electrostatic tactile display. In *Haptics Symposium (HAPTICS), 2018 IEEE*, pp. 158–162. IEEE, 2018.
- [7] Antonio Bicchi, Enzo Pasquale Scilingo, and Danilo De Rossi. Haptic discrimination of softness in teleoperation: the role of the contact area spread rate. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 16, No. 5, pp. 496–504, 2000.
- [8] Kinya Fujita and Hisayuki Ohmori. A new softness display interface by dynamic fingertip contact area control. In *5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, pp. 78–82, 2001.
- [9] Taku Nakamura and Akio Yamamoto. Extension of an electrostatic visuo-haptic display to provide softness sensation. In *Haptics Symposium (HAPTICS), 2016 IEEE*, pp. 78–83. IEEE, 2016.
- [10] Vibol Yem, Kevin Vu, Yuki Kon, and Hiroyuki Kajimoto. Effect of electrical stimulation haptic feedback on perceptions of softness-hardness and stickiness while touching a virtual object. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 89–96. IEEE, 2018.