

マルチタッチを生成する電極アレイを搭載した 指サックの設計と実装

岡本 真梨菜^{1,a)} 村尾 和哉^{1,2,b)}

概要: スマートフォンやノートパソコンなど静電容量式タッチパネルを搭載した機器が広く普及し、ユーザは指やタッチペンで画面に触れることで直接的な入力ができるようになった。スマートフォンなどのタッチパネルの入力方法として、1本の指を使うシングルタッチと複数の指を使うマルチタッチがある。現状、マルチタッチを行うには指を2本使う必要がある。本研究では、片手でスマートフォンを持っている状況でもマルチタッチを親指だけで行うために、指サック型のマルチタッチを生成するデバイスを構築する。提案デバイスは、Arduino Uno、メカニカルリレーから成る回路、電極アレイ、圧力センサ、電源で構成される。各電極を個別のリレーに接続し、リレーがオンのとき、対応する電極がGNDに接続される。マルチタッチは、複数の電極を連続的に接地させ、静電容量変化の重心点を移動させることで生成する。電極アレイをタッチパネルに接触させることで指でタッチパネルに触れたかのように認識し、タッチが生成される。プロトタイプデバイスを作成し、予備実験でタッチインタラクションを生成するうえで適切な電極の間隔を調査した後、デバイスを実装した。

1. はじめに

スマートフォンやノートパソコンなど静電容量式タッチパネルを搭載した機器が広く普及している。これらの機器では、ユーザは指やタッチペンで画面に触れることで直接的な入力ができる。タッチパネルの入力方法として、1本の指を使うシングルタッチと複数の指を使うマルチタッチがある。マルチタッチの種類として、ピンチイン（縮小）、ピンチアウト（拡大）、プレスアンドタッチ、回転などが挙げられる。ピンチインとは、タッチパネルを2本の指で同時にホールドしたまま、2本の指先をつまむように動かす操作であり、ピンチアウトはタッチパネルを2本の指でホールドしたまま、2本の指先を開くように動かす操作である。プレスアンドタッチはタッチパネルを1本の指で触れたまま、もう1本の指でタッチする操作であり、回転は2本の指でホールドしたまま、円を描くように動かす操作である。

右利きの人が指でスマートフォンの画面を操作するとき、主に左手に持ったスマートフォンを右手の人差し指で操作する方法と、右手に持ったスマートフォンを右手の親指で操作する方法がある。前者の場合はマルチタッチを難な

く行えるが、後者の場合はマルチタッチを行うにはスマートフォン裏面を支えている人差し指を使う必要があり、本体の持ち方を変え、持ち方が不安定になり、指に負担がかかったり、端末を落とす危険性が高まる。歩行中や左手に荷物を持っているときや、電車でつり革を握っているときなど、片手でスマートフォンを操作する場面は多い。本研究では、片手でスマートフォンを持っている状況でも親指だけでマルチタッチを行うことができる指サックを提案する。

筆者らの所属する研究グループでは、導電性のインクで印刷した回路をタッチパネル上に固定してタッチインタラクションを生成する手法を提案した [1]。しかし、この手法はタッチを生成する場所がパネル上の回路を置いた場所に制限される。本研究では、複数電極を搭載した指サックを親指に装着し、スマートフォンを保持している片手の親指だけでマルチタッチを生成する手法を提案する。タッチを生成するデバイスを親指に装着するため、タッチパネル上の任意の場所にタッチを生成できる。

2. 関連研究

Rekimoto[2] は、SmartSkin でタッチパネルの基本原則について説明している。静電容量式タッチパネルは、静電容量式センシングと格子状のアンテナを用いて人の手などの導電性物体の接近を検知することでタッチ認識を行って

¹ 立命館大学大学院情報理工学研究科

² 科学技術振興さがけ

^{a)} is0401kp@ed.ritsumeai.ac.jp

^{b)} murao@cs.ritsumeai.ac.jp

いる。

Kato ら [3] は、タッチパネルに貼り付けるだけで外部からのタッチ入力を転送できる ExtensionSticker と呼ばれる縞模様のステッカを提案している。タッチパネルに直接触れることなく、導電性インクをストライプ上に印刷したステッカに指で触れることで、タッチ入力や連続スクロール動作を生成する。Voelker ら [4] は、バッテリーを必要とせず、非接触でタッチを検出できるマルチタッチ用の有形ウィジェットである PUCs を提案している。送信電極と交差するように配置された受信電極との交点に指などの導体を近づけると 2 つの電極間の静電容量が減少し、タッチが検出される。これにより、指などの導体の接触を必要としないマルチタッチ生成デバイスを実現した。Yu ら [5] は、マルチタッチデバイスのインタラクション領域を物理的なコントローラで拡張する Clip-on gadgets を提案している。物理的なボタンとスイッチを取り付けたクリップをスマートフォンなどのデバイスの端に取り付けてインタラクションを生成している。ボタンを押すと、クリップの内側に取り付けられた導電性ゴムの静電容量が変化し、タッチ入力を生成する。これらの研究では、静電容量式タッチパネルに対して事前に決められたタッチパターンを認識させたり、オブジェクトに対するインタラクションをタッチパネルに検出させる手法が提案されているが、一つのオブジェクトで複数のタッチインタラクションを生成する手法はこれまでに提案されていない。

これに対して筆者らの所属する研究グループでは、多様なマルチタッチ入力を自動生成するデバイス [1] を提案した。この研究では、タッチパネルにおけるタッチ入力を高速、連続、ハンズフリーで実現するために、電極シートをタッチパネルに接触させ、操作用端末のキー入力でタッチを生成するデバイスを構築した。電極シートに導電性インクを用いて対辺距離が 7mm の正六角形を 9 個配置したハニカム構造を印刷している。各電極は個別のメカニカルリレーに接続されており、リレーがオンのとき、対応する電極が GND に接続され、タッチパネル上の静電容量が変化し、指でタッチパネルに触れているかのように認識させることでタッチを生成する。デバイスは押されたボタンに応じたリレー制御を行い、さまざまなタッチインタラクションを生成する。タッチパネル上で複数の指を使って行うマルチタッチは、複数の電極を連続的に接地させ、静電容量変化の重心点を移動させることで生成した。しかし、このデバイスでは、電極シートをタッチパネルに接触させたままにする必要があり、タッチパネル上のタッチを生成する場所が固定されてしまう。対して本研究では、タッチ生成するデバイスを指に装着した状態でタッチパネルに触れるため、任意の位置にタッチを生成できる点で異なる。本研究では、この研究を応用し、タッチパネルに電極シートを直接固定するのではなく、指に装着することで、指の動き

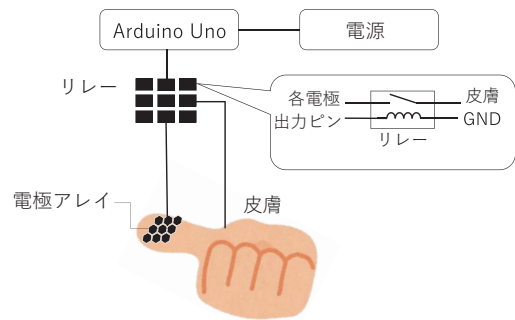


図 1 提案デバイスの構成

に合わせて任意の位置にマルチタッチを生成できる。

3. 提案手法

3.1 静電容量式タッチパネルの基本原理

静電容量式タッチパネルの基本原理については Smart-Skin[2] にて説明されている。タッチパネルは送信電極と受信電極の銅線を格子状にして表面に敷き詰めることで構成されている。送信機的一方が波動信号で励起されると、各交差点がコンデンサとして機能し、受信機はこの波動信号を受信する。導電性で接地された物体が交差点に近づくと電極と静電容量的に統合し、電極間の静電容量が変化する。この静電容量の変化量を測定することでタッチ検出を行っている。

3.2 提案デバイス

本研究では、親指に装着可能な指サックに導電性の糸を用いて電極アレイを縫い付け、マルチタッチを生成するデバイスを構築する。提案デバイスの構成を図 1 に示す。提案デバイスは Arduino Uno、メカニカルリレーから成る回路、電極アレイ、圧力センサ、電源で構成される。指サックに搭載する電極アレイは、指サックの形状の布に導電性の糸を用いて正六角形の電極をミシンでハニカム構造に 9 個縫い付けたものを作成する。各電極を個別のリレーに接続し、リレーがオンのとき、対応する電極が GND に接続される。このとき、電極アレイをタッチパネルに接触させることで指でタッチパネルに触れたかのように認識し、タッチが生成される。提案デバイスは複数の電極を連続的に切り替えて接地させ、静電容量変化の重心点を移動させることでマルチタッチを生成する。

3.3 マルチタッチ生成手法

各マルチタッチの生成は図 2 に示すように接地させる電極を切り替えて実現する。図中の ● は GND に接地している電極を示す。スワイプの生成手順は次のとおりである。

- (1) 1 個の電極を接地させて、静電容量変化の重心点をその電極の位置に生成する
- (2) 隣接している電極を接地させることで、静電容量変化

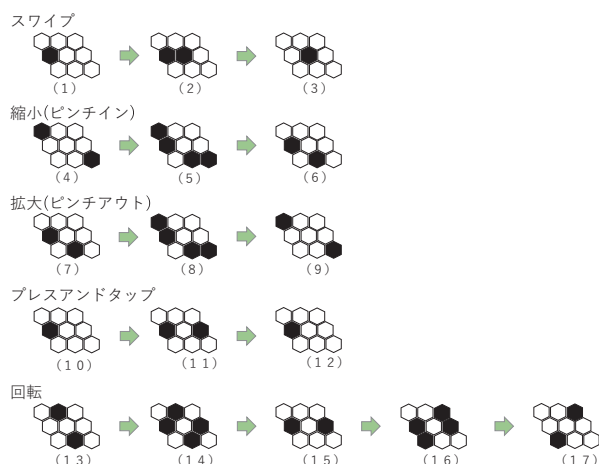


図2 マルチタッチ生成

の重心点を2つの電極の midpoint に移動させる

(3) 最初に接地していた電極を解放して、静電容量変化の重心点を2つ目に接地させた電極の位置に移動させる以上の手順をスワイプしたい方向の隣接する2個の電極で行うことで、スワイプを生成する。縮小（ピンチイン）は4個の電極を使い、2個のスワイプが内側に向かうように生成する。拡大（ピンチアウト）はピンチインと同じように4個の電極を使い、2個のスワイプが外側に向かうように生成する。プレスアンドタップは、1個の電極を接地させたまま、隣接しない別の電極を接地させることで生成する。また、回転は6個の電極を使い、隣接する3個の電極で弧を描くように接地させることで生成する。

4. 実装

4.1 予備実験

提案デバイスを実装するために適切な電極の間隔を調査する予備実験を実施した。2個の電極の間隔を変えてスワイプの成功率を計測した。市販の布（綿100%）に導電性の糸（FUJIX社製#50 smart-x）を用いて電極をミシン（brother社製 EMM1901）で縫い付けたものを用意した。刺しゅう PRO 11 にて正六角形の刺しゅうデータを作成し、そのデータをミシンに転送することで電極アレイを作成した。実験に使用したタッチパネルは Lenovo ThinkPad X1 Yoga である。

図3に示すように、2つの電極の間隔が1mm, 2mm, 3mmの3種類の布を縫製し、それぞれの布においてスワイプを100回ずつ生成した。電極は対辺距離が5mmの正六角形である。電極を接地させる時間と電極を非接地にする時間は100msに設定した。1つのタッチインタラクション終了から次のタッチインタラクション開始まで1000msの間隔を設けた。成功率は成功回数を試行回数で除することで計測した。

スワイプの成功率を表1に示す。結果より、電極の間隔は2mmのときに100%の成功率を得た。3mm以上の間隔

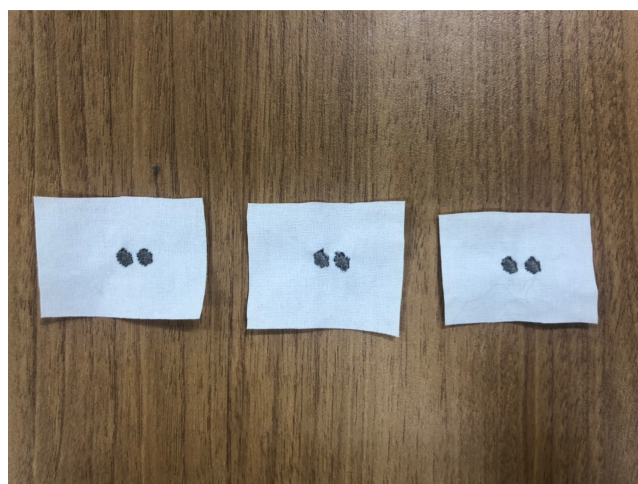


図3 2個の電極の間隔を変えて縫製した布（左：1mm，中央：2mm，右：3mm）

表1 電極の間隔を変えたときのスワイプの成功率

電極の間隔	1mm	2mm	3mm
成功率	34%	100%	0%

をあけるとスワイプは1回も認識されず、シングルタッチと誤認識された。これは、電極どうしの間隔が大きいと2つの電極を同時に接地させたときに分離したタッチであると誤認識されたことが原因であると考えられる。また、間隔が1mmのときは34%の成功率を得た。電極同士の間隔が小さいと、糸に厚みがあるため、隣接している電極どうしがわずかに接触してしまい、どちらか片方の電極を接地させるともう一方の電極も接地してしまうことが原因と考えられる。

4.2 プロトタイプデバイス

実装したデバイスを図4に示す。シングルタッチは1個の電極で生成できるが、スワイプ、プレスアンドタッチは2個の電極が必要であり、スワイプは2つが隣接していて、プレスアンドタッチは2つの電極が隣接していない必要がある。また、ピンチインとピンチアウトはスワイプを2個組み合わせて生成するため、隣接する2個の電極が間隔をあけて2組必要であり、合計で4個の電極が必要である。回転は、3個の隣接する電極が間隔をあけて2組必要であり、合計で6個の電極が必要である。

そのため、対辺距離が5mmの正六角形を導電性の糸を用いてハニカム構造にミシンで9個縫い付けた。また、予備実験の結果より、電極どうしの間隔は2mmとした。各電極をリレーに接続し、リレーがオンのとき、対応する電極がGNDに接続される。実装デバイスは、押されたボタンに応じたリレー制御を行い、さまざまなタッチインタラクションを生成する。

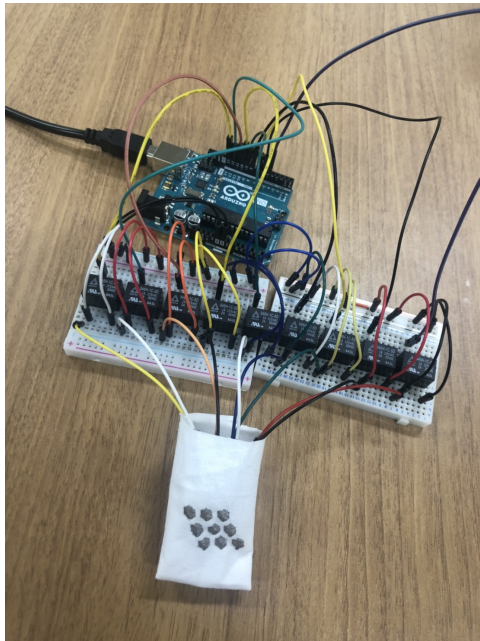


図4 プロトタイプデバイス

5. 評価

5.1 評価環境

実験では、シングルタッチ、スワイプ、ピンチイン、ピンチアウト、プレスアンドタッチ、回転の6つのタッチインタラクションについて、電極を接地させる時間と電極を非接地にする時間を変えてそれぞれのタッチインタラクション生成の成功率を計測した。シングルタッチは、電極の接地と非接地の時間間隔を 0ms から 60ms まで 10ms 刻みで変化させて各 100 回生成した。スワイプは、時間間隔を 0ms から 120ms まで 20ms 刻みで変化させて各 100 回生成した。ピンチインとピンチアウトは時間間隔を 0ms から 200ms まで 20ms 刻みで変化させて各 50 回生成した。プレスアンドタッチと回転は時間間隔を 0ms から 100ms まで 20ms 刻みで変化させて各 100 回生成した。シングルタッチは接地 1 回と非接地 1 回で 1 回のシングルタッチを生成する開始するため、連続生成して成功率を評価した。シングルタッチ以外のタッチインタラクションは終了から次のタッチインタラクション開始まで 1000ms の間隔を設けた。

使用したタッチパネルは Lenovo ThinkPad X1 Yoga である。成功率は成功回数を試行回数で除することで計測した。スワイプ、ピンチイン、ピンチアウト、回転は GoogleEarth においてタッチインタラクションが生成されるか筆者らが目視で確認し、正しいインタラクションが生成されれば成功とした。ただし、スワイプの移動量、ズームインとズームアウト、回転の量に関しては考慮していない。

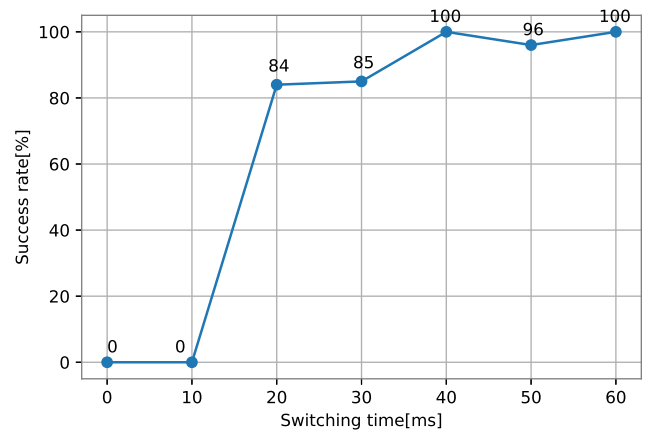


図5 シングルタッチ生成の成功率

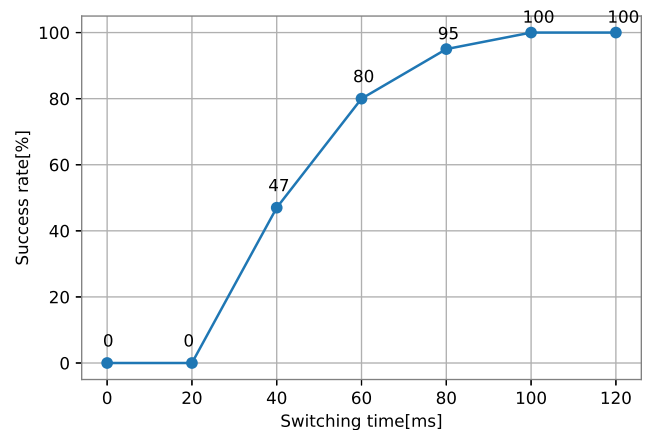


図6 スワイプ生成の成功率

5.2 結果

各マルチタッチの成功率を示す。その後、考察を行う。

5.2.1 シングルタッチ

シングルタッチの成功率を図5に示す。シングルタッチは時間間隔が 40ms 以上のときに 96%以上の成功率で生成でき、時間間隔が 30ms 以下では成功率が低下し、時間間隔が 10ms 以下ではリレーは正しく動作したが、シングルタッチは 1 回も認識されなかった。

5.2.2 スワイプ

スワイプ生成の成功率を図6に示す。スワイプは時間間隔が 80ms 以上のときに 95%以上の成功率で生成でき、時間間隔が 100ms 以上で 100%の成功率で生成できた。時間間隔が 60ms では成功率は 80%に低下し、時間間隔が 20ms 以下ではスワイプは 1 回も認識されなかった。スワイプ生成に失敗したとき、ほぼすべての試行がシングルタッチと誤認識され、時間間隔が短くなるほどシングルタッチとしても認識されなくなった。

5.2.3 ピンチイン

ピンチイン生成の成功率を図7に示す。ピンチインは時間間隔が 160ms 以上のときに 95%以上の成功率で生成でき、時間間隔が 180ms 以上で 100%の成功率で生成できた。時間間隔が 140ms では成功率は 76%に低下し、時間間隔

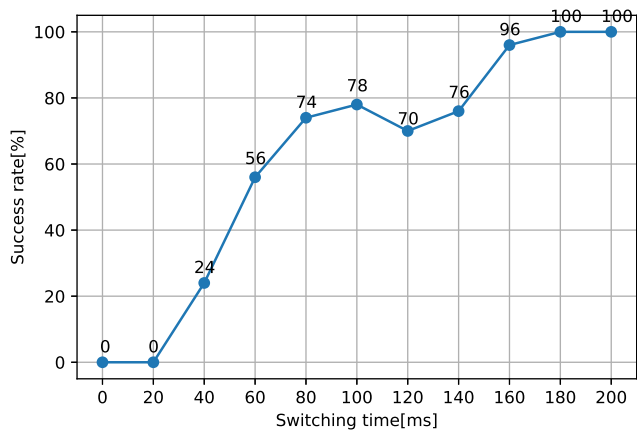


図7 ピンチイン生成の成功率

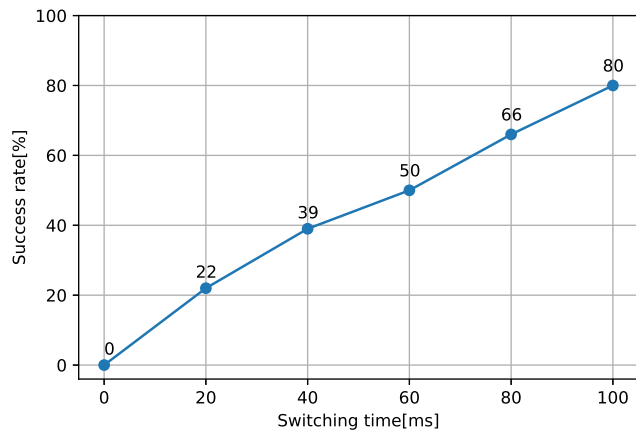


図9 プレスアンドタッチ生成の成功率

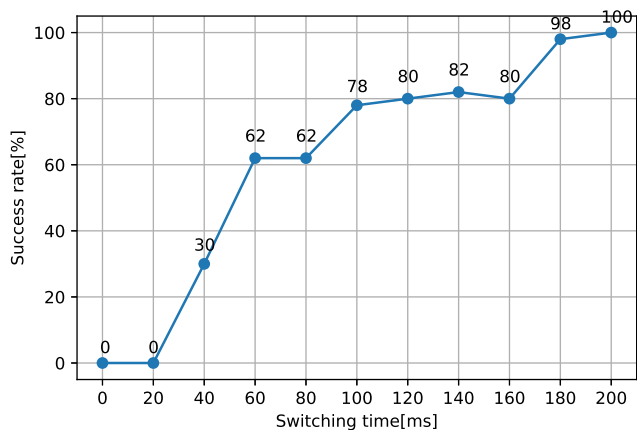


図8 ピンチアウト生成の成功率

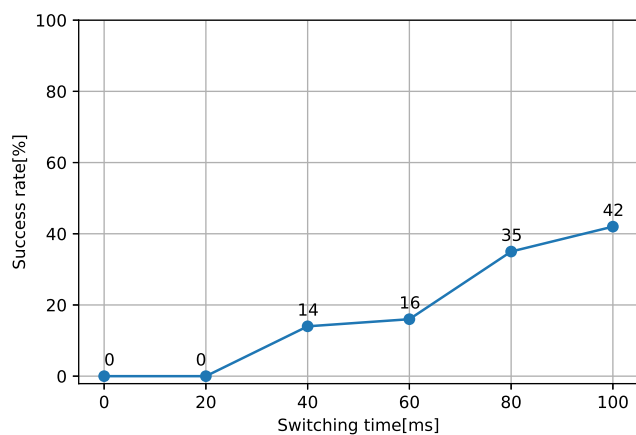


図10 回転生成の成功率

が 60ms では成功率は 56% に低下した。また、時間間隔が 20ms 以下ではピンチインは 1 回も認識されなかった。ピンチイン生成に失敗したとき、ほぼすべての試行がスワイプと誤認識され、シングルタッチと誤認識されることもあり、時間間隔が短くなるほどシングルタッチとしても認識されなくなった。

5.2.4 ピンチアウト

ピンチアウト生成の成功率を図 8 に示す。ピンチアウトは時間間隔が 180ms 以上のときに 98% 以上の成功率で生成でき、時間間隔が 200ms 以上で 100% の成功率で生成できた。時間間隔が 160ms では成功率は 80% に低下し、時間間隔が 80ms では成功率は 62% に低下した。また、時間間隔が 20ms 以下ではピンチアウトは 1 回も認識されなかった。ピンチアウト生成に失敗したとき、ほぼすべての試行がスワイプと誤認識され、シングルタッチと誤認識されることもあり、時間間隔が短くなるほどシングルタッチとしても認識されなくなった。

5.2.5 プレスアンドタッチ

プレスアンドタッチ生成の成功率を図 9 に示す。プレスアンドタッチはどの時間間隔においても 90% 以上の成功率を得られなかった。時間間隔が 100ms のときに 80% の成功率で生成でき、時間間隔が 80ms では成功率は 66% に低

下し、時間間隔が 60ms では成功率は 50% に低下した。また、時間間隔が 0ms ではプレスアンドタッチは 1 回も認識されなかった。プレスアンドタッチ生成に失敗したとき、ほぼすべての試行がシングルタッチやスワイプと誤認識され、時間間隔が短くなるほどシングルタッチとしても認識されなくなった。

5.2.6 回転

回転生成の成功率を図 10 に示す。回転はどの時間間隔においても 90% 以上の成功率を得られなかった。時間間隔が 100ms のときに 42% の成功率で生成でき、時間間隔が 60ms では成功率は 16% に低下し、時間間隔が 20ms 以下では回転は 1 回も認識されなかった。回転生成に失敗したとき、ほぼすべての試行がスワイプやシングルタッチと誤認識され、ピンチインやピンチアウトと誤認識されることもあり、時間間隔が短くなるほどシングルタッチとしても認識されなくなった。

5.3 考察

評価実験の結果より、提案デバイスは回転以外のタッチインタラクションを高精度で生成することができた。シングルタッチ、スワイプ、ピンチイン、ピンチアウトでは、

電極を接地させる時間と電極を非接地にする時間を一定の長さ以上にすることで 100%の成功率で生成でき、プレスアンドタッチは 80%の成功率で生成できた。しかし、回転の成功率は 42%までしか達成しなかった。

すべての種類のタッチインタラクションにおいて、タッチインタラクションが認識されなかった試行の要因として、電極とタッチパネルの接触面が安定しなかったことが挙げられる。タッチパネルから浮いていてタッチが検出されなかったり、導電性の糸が微量の静電気を帯電していて非接地であることが認識されなかったことが考えられる。特に、成功率の低かった回転は、電極を 6 個使う必要があり、他のインタラクションと比べて電極の数が多いため、タッチパネルとの接触面がより安定しなかったことが考えられる。

6. おわりに

本研究では、片手親指のみでスマートフォンのタッチパネル上にマルチタッチを生成する指サックを提案した。予備実験の結果をもとに最適な 2mm の間隔の電極を導電性の糸を用いてミシンでハニカム構造に 9 個縫い付けたデバイスを作成し、シングルタッチ、スワイプ、ピンチイン、ピンチアウト、プレスアンドタッチ、回転の 6 種類のタッチインタラクション生成の成功率を評価した。シングルタッチ、スワイプ、ピンチイン、ピンチアウトは 100%の成功率で生成でき、プレスアンドタッチは 80%の成功率で生成できた。しかし、回転の成功率は 42%までしか達成しなかった。

今後はデバイス圧力センサを取り付け指の動きを認識し、それに対応したマルチタッチの生成を実現し、その評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 岡本雅弘, 村尾和哉: 多様なタッチインタラクションを自動生成するデバイスの構築, 第 27 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2019), pp. 73–78 (2019).
- [2] Rekimoto, Jun: SmartSkin: An Infrastructure for Free-hand Manipulation on Interactive Surfaces, In Proceedings of the 20th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2002), pp. 113–120 (2002).
- [3] Kato Kunihiro, Miyashita Homei: Extensionsticker: A proposal for a striped pattern sticker to extend touch interfaces and its assessment, In Proceedings of the 33rd Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2015), pp. 1851–1854 (2015).
- [4] Simon Voelker, Kosuke Nakajima, Christian Thoresen, Yuichi Itoh, Kjell Ivar Øvergård, Jan Borchers: PUCs: Detecting Transparent, Passive Untouched Capacitive Widgets on Unmodified Multi-touch Displays, In Proceedings of the 2013 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces (ITS 2013), pp. 101–104 (2013).
- [5] Neng-Hao Yu, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Meng-Han Lee, Mike Y. Chen, Yi-Ping Hung: Clip-on Gadgets: Expanding Multi-touch Interaction Area with Unpowered Tactile Controls, In Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2011), pp. 367–372 (2011).
- [6] Sven Kratz, Tilo Westermann, Michael Rohs, Georg Essl: CapWidgets: Tangible Widgets versus Multi-Touch Controls on Mobile Devices, In Extended Abstracts of CHI 2011, pp. 1351–1356 (2011).
- [7] Alexander Wiethoff, Hanna Schneider, Michael Rohs, Andreas Butz, Saul Greenberg: Sketch-a-TUI: low cost prototyping of tangible interactions using cardboard and conductive ink, In Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI 2012), pp. 3091–312 (2012).
- [8] Jukka Linjama, Ville Mäkinen: E-Sense screen: Novel haptic display with Capacitive Electrosensory Interface, In Proceedings of the 4th Workshop for Haptic and Audio Interaction Design (HAID 2009) (2009).
- [9] Malte Weiss, Julie Wagner, Yvonne Jansen, Roger Jennings, Ramsin Khoshabeh, James Hollan, Jan Borchers: SLAP Widgets: Bridging the Gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops, In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2009), pp. 481–490 (2009).
- [10] Neng-Hao Yu, Li-Wei Chan, Seng-Yong Lau, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Lung-Pan Cheng, Fang-I Hsiao, Mike Y. Chen, Polly Huang, Yi-Ping Hung: TUIC: enabling tangible interaction on capacitive multi-touch displays, In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011), pp. 2995–3004 (2011).