MonoTouch：複数ジェスチャ認識が可能な単一電極からなるタッチセンサ

高田　崚介[*1]　　志築　文太郎[*2]　　田中　二郎[*2]

MonoTouch: Single capacitive touch sensor that detects touch gestures

Ryosuke Takada[*1], Buntarou Shizuki[*2] and Jiro Tanaka[*2]

Abstract – We show a capacitive touch sensor called MonoTouch, which detects tap and four directional swipe gestures. MonoTouch is composed of only one electrode and a cover. To detect the five gestures with a single electrode, we designed the electrode's pattern to satisfy the fallowing two requirements: (1) the number of response is different between tap, right-left swipes, and up-down swipes; (2) the response of the electrode is different between the swipe direction. This design allows us to detect the five touch gestures by measuring the electrode's capacitance. In addition, the design is so simple that the sensor can be 3D-printed with a conductive and a non-conductive filament. We conducted a user study to measure the accuracy of the detection. The result shows that the accuracy is 80%. In this paper, we also show MonoTouch's applications.

Keywords : gesture recognition, single electrode, 3D print, rapid prototyping.

1. はじめに

コンピュータの入力装置として多く用いられている静電容量方式のタッチパネルとタッチパッドは、多くのタッチセンサから構成される。これに伴って、個々のタッチセンサの静電容量を計測するために、多くの結線、およびマルチプレクサを用いた高速なスイッチングを要する。一方、単一電極のタッチセンサのみを用いて複数ジェスチャの判別が可能になれば、単一結線のみを要するため、柔軟な入力インタフェースの設計が可能になる。

単一電極を用いて作製された静電容量方式のタッチセンサを用いてタッチ、左右の 2 方向スワイプ、およびスワイプを行う際の指の本数を検出する手法はすでに真鍋らによって提案されている [1]。真鍋らはスワイプおよびスワイプの向きを判別するために、スワイプの向きによって非対称な感度を持つように面積の異なる 2 つの電極パターンを持つプリント基板を用いている。一方、本研究はタップおよび 4 方向スワイプを判別するために、スワイプの向きによって非対称なタッチの応答時間を持ち、かつタップ、左右スワイプ、および上下スワイプにおいてタッチの応答回数が異なる、図 1 に示す電極パターンを設計した。また、設計した電極パターンを導電素材および非導電素材を用いて 3D プリントし、タップや上下左右スワイプなどの複数ジェスチャ認識が可能な単一電極タッチセンサ「MonoTouch」を製作した。本稿においては、タッチセンサの設計、ジェスチャの判別、判別精度、およびセンサ形状の適用例を示す。

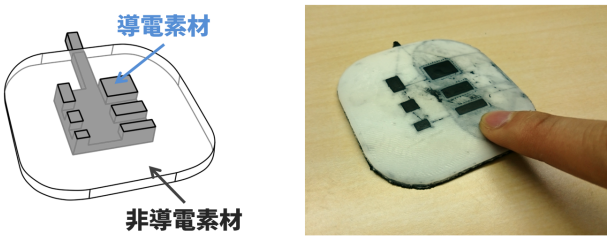

図 1　製作した MonoTouch
Fig. 1　Developed MonoTouch.

2. 関連研究

タッチセンサには、感圧方式 [2]、光学方式 [3] [4]、静電容量方式 [5] [6]、音響方式 [7] [8]、ならびに時間領域反射測定方式 [9] などがある。タッチセンサは指が触れていることを検出するセンサであるが、機械式のスイッチと異なり微小なタッチセンサを平面上に並べることにより、入力の自由度を上げ様々なタッチジェスチャの判別を行うことができる [5] [10]。しかし、多くのタッチセンサを用いる場合には、その分多くの結線が必要になるため、回路規模が増大になる、消費電力が増加するといった問題が生じる。

そこで上記の問題に対し、少数のタッチセンサの入

*1: 筑波大学 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻
*2: 筑波大学 システム情報系
*1: Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Enginerring, University of Tsukuba
*2: Division of Information Engineering, University of Tsukuba

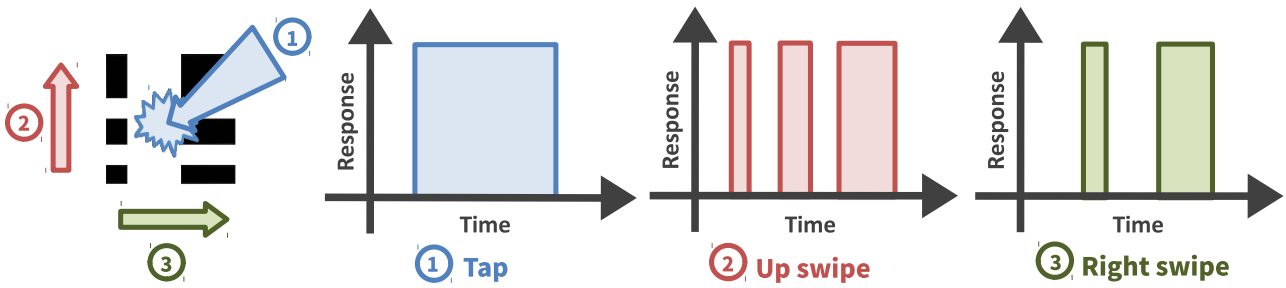

図 2　タッチセンサの応答イメージ
Fig. 2　Expected response of the touch sensor.

力の自由度を向上する手法が提案されている。たとえば、Sato らが提案した Touché [6] は、単一電極のみを用いた把持状態の識別が可能である。加えて、接触している指のユーザ判別が可能 [11] である。これは、タッチの状態によってインピーダンスや静電容量などの周波数特性が異なることを利用している。同様のことは振動を用いても可能である [8]。これらは、計測信号を周波数領域にて観測しており、静的な状態の判別を主としている。また、計測信号を時間領域にて観測することにより、動的な状態であるジェスチャ判別を行う手法 [12] も提案されており、2 つのフォトリフレクタを用いて 4 種類の動的なジェスチャの判別を行っていた。一方、提案手法は時間領域にて観測する点において同じであるが、単一電極を用いている点、タップおよび上下左右スワイプの計 5 種類の動的なジェスチャを判別する点において異なる。

3.　タッチセンサ MonoTouch の設計

我々は、タップおよび上下左右スワイプの判別が可能な単一電極タッチセンサ MonoTouch の設計および製作を行った。以下に電極パターンの設計方針、および電極の製作について述べる。

3.1　電極パターンの設計方針

タップ、スワイプおよびスワイプの向きを判別するために、我々は以下の 2 つの要件を満たす電極パターンを考案した。

要件 1　タップ、上下スワイプ、ならびに左右スワイプにおいてセンサの応答回数が異なる

要件 2　右スワイプと左スワイプ間、もしくは上スワイプと下スワイプ間のそれぞれにおいて、センサの応答時間が非対称である

以下にそれぞれの要件を説明する。

[要件 1] ユーザがタッチセンサにタップを行う際は、ユーザは指を電極に触れさせ、その後指を離す。つまり、1 回のタップにおける導電部に触れる回数は 1 回である。また、スワイプを行う際は電極パターン周囲の非導電部に触れ、導電部と非導電部に交互に触れるようにセンサに触れたまま任意の方向に指を移動させる。この時、1 回のスワイプにおける導電部に触れる回数を左右スワイプの場合は 2 回、上下スワイプの場合は 3 回となるように電極パターンを設計することにより、タップ、上下スワイプ、および左右スワイプの判別が可能となる。

[要件 2] 要件 1 において、左スワイプと右スワイプ間、および上スワイプと下スワイプ間において応答回数は同じである。この左右および上下の判別を行うために、スワイプを行う際に指が触れる導電部分の長さが、スワイプの向きによって非対称になるように設計を行う。たとえば、右から左スワイプにおいては、長い電極に触れた後に短い電極に触れ、左から右スワイプにおいては、短い電極に触れた後に長い電極に触れるように設計する。上記の 2 つの要件を満たすように電極パターンの設計を行った。図 2 に考案した電極パターンと、各タッチジェスチャを行った際に得られると予想される応答イメージを示す。

3.2　電極の製作

3.1 節にて述べた電極パターンの設計と製作を行った。設計した電極パターンを図 3a に、実際に 3D プリントした電極の写真を図 3b に示す。図 3b の電極は図 1 のように、内部の導電部分が全てつながるような構造になっている。電極パターンの製作には、印刷機として熱溶融積層方式の 3D プリンタ（FLASHFORGE 社製、DREAMER）を用い、素材として導電性 PLA フィラメントおよび非導電性 PLA フィラメントを用いた。

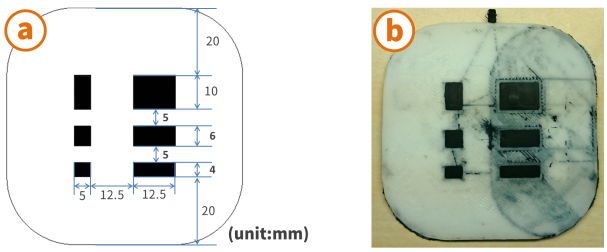

図 3　電極パターンの設計および製作した電極
Fig. 3　Design of electrode pattern and developed electrode.

4. ジェスチャの判別

4.1 静電容量の検出

タップおよび上下左右スワイプを、電極の静電容量の変化に基づき判別するシステムを構築した。図4に、作製した電極を組み込んだ判別システムの構成を示す。本システムにおいては静電容量の計測を行うために、Arduino 用の静電容量計測ライブラリである CapSense [13] を用いた。これは、送信ピンの状態を変化させた際に、受信ピンの状態が変化するまでの遅延時間を用いて静電容量を計測している。この遅延時間はユーザの指が電極に触れた際に形成されるキャパシタンス C と、10kΩ の抵抗 R によって決まる時定数 R×C に依存しており、タッチした際に C が大きくなることにより遅延時間が長くなるため、この遅延時間を計測することにより電極に触れたことを検出する。

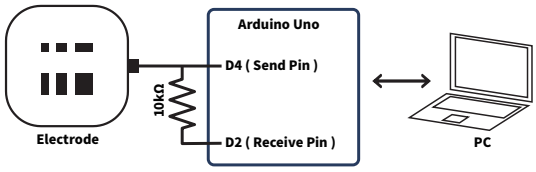

図 4　判別システムの構成
Fig. 4　Structure of our gesture detection system.

4.2 ジェスチャの判別方法

電極上にてタッチジェスチャを行った際に、観測された波形を図5に示す。図5中の下側は一つ前の静電容量との差分値の波形である。差分値が正の区間を橙色、負の区間を紫色、零の区間を緑色を用いて波形を着色している。この差分値に関して、1回のジェスチャを行った際に正の符号の区間が何回出現したかという情報と、さらに先頭の正の符号の連続区間と、末尾の正の符号の連続区間のどちらの方が時間が長かったかという情報を用いてジェスチャの判別を行った。

4.3 判別実験

作成したタッチセンサの判別精度を確かめるために被験者実験を行った。被験者は著者を含む大学院生3名（22〜23歳、男性）であり、被験者ははじめに数分間システムを用いてジェスチャ入力を行う練習を行い、その後実験者の指示に従ってジェスチャ入力を行った。各被験者は1ジェスチャにつき10回のジェスチャ入力を行い、実験者は各ジェスチャ入力ごとに判別正否の記録を行った。実験の様子を図6に、判別結果を表1に示す。

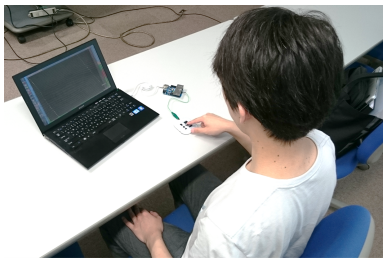

図 6　実験の様子
Fig. 6　Set-up of our experiment.

表 1　ジェスチャ判別の Confusion Matrix
Table 1　Confusion matrix of gesture discrimination.

実際のジェスチャ ＼ 判別結果	Tap	Right	Left	Up	Down
Tap	93.33%	6.67%	-	-	-
Right	16.67%	80.00%	3.33%	-	-
Left	33.33%	-	66.67%	-	-
Up	20.00%	-	3.33%	70.00%	6.67%
Down	3.33%	-	16.67%	-	80.00%

判別精度は80%であった。表1に示されるように、右から左スワイプ（Left）の判別精度が最も低いことが分かった。その誤判別の内訳として最も多かったのはタップとの誤判別である。これは電極表面にて指を

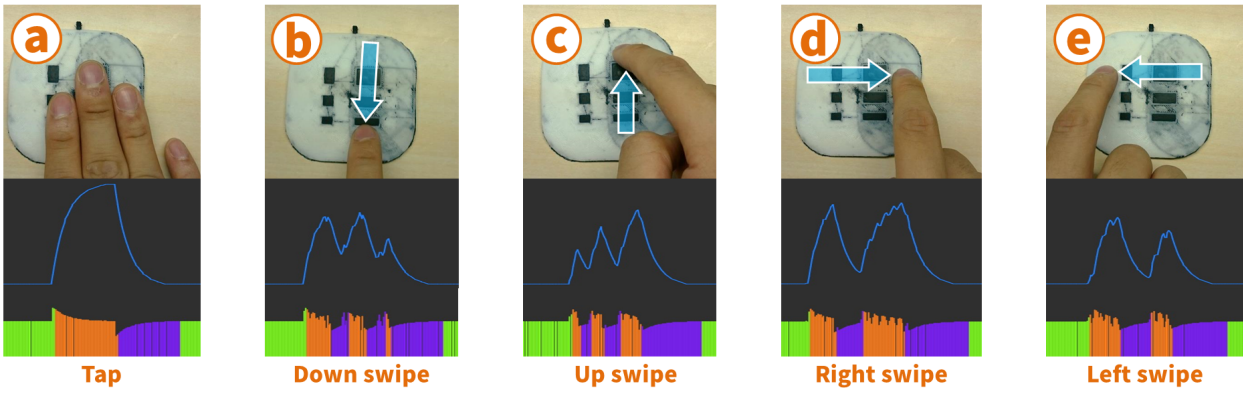

図 5　それぞれのタッチジェスチャを行った際に得られる波形
Fig. 5　Waveforms measured for each touch gesture.

スワイプした際に、指が 2 つの電極にまたぐようにして触れた場合に、常にセンサが応答することにより応答回数が 2 回にならず、1 回になったためである。この問題は左から右スワイプ（Right）がタップに誤判別されていることにも表れている。よって、今後はこれを防ぐために導電部分の間隔をより広げる、あるいは形状を工夫する改良を行っていくことを考えている。

5. 適用例

本研究が提案するタッチセンサの適用例を図 7 に示す。図 7 左のヘッドホン例は、曲送り（右スワイプ）、曲戻し（左スワイプ）、音量上げ（上スワイプ）、音量下げ（下スワイプ）、再生/一時停止（タップ）操作をヘッドホン側面に付与する案である。また、図 7 右のスマートフォンケース例は、電極を 3D プリントできるという特徴を活かし、端末形状に沿ったセンサ搭載のケースを製作できるという案である。端末背面にブラウザの戻る、進むなどを割り当てることにより、Back-of-Device 操作 [14] に利用することができる。

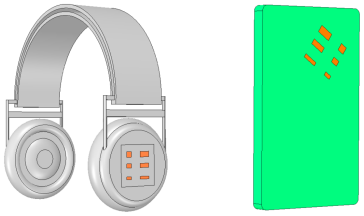

図 7　MonoTouch の適用例（左:ヘッドホン、右:スマートフォンケース）
Fig. 7　MonoTouch application (left: headphones, right: smartphone case).

6. まとめ

単一電極を用いた複数タッチジェスチャの判別手法、およびその実装である単一電極タッチセンサ MonoTouch を示した。判別可能なジェスチャは、タップおよび上下左右スワイプである。これらのジェスチャの判別を行うために、(1) タップ、上下スワイプおよび左右スワイプにおいて、それぞれセンサの応答回数が異なる。(2) 右スワイプと左スワイプ、もしくは上スワイプと下スワイプのそれぞれにおいて、センサの応答時間が非対称である。以上の 2 つの要件を満たす様な電極パターンの設計を行った。また、電極パターンを 3D プリントして製作し、ユーザが電極パターン上でジェスチャを行った際の静電容量の変化をもとにジェスチャの判別を行うシステムを構築した。被験者を用いた判別実験によりジェスチャの判別が可能であることが示された。今後、判別精度の向上、センサの小型化、およびセンサを用いた適用例の設計、製作に取り組む予定である。

参考文献

[1] 真鍋, 稲村: 1 つのタッチセンサを用いたマルチタッチジェスチャ認識手法; 情報処理学会論文誌, **Vol. 56**, No. 4, pp. 1193–1202 (2015).

[2] Rosenberg,I,. Perlin K.: The UnMousePad: An Interpolating Multi-touch Force-sensing Input Pad. In *ACM SIGGRAPH 2009 Papers*, SIGGRAPH '09, pp. 65:1–65:9 (2009).

[3] Han,J.: Low-cost Multi-touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection. In *Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '05, pp. 115–118 (2005).

[4] Harrison,C., Benko,H., Wilson,A.: OmniTouch: Wearable Multitouch Interaction Everywhere. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 441–450 (2011).

[5] Rekimoto,J.: SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '02, pp. 113–120 (2002).

[6] Sato,M,. Poupyrev,I,. Harrison,C.: Touché: Enhancing Touch Interaction on Humans, Screens, Liquids, and Everyday Objects. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 483–492 (2012).

[7] Harrison,C,. Tan,D. Morris,D.: Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, pp. 453–462 (2010).

[8] Ono,M,. Shizuki,B,. Tanaka,J.: Touch & Activate: Adding Interactivity to Existing Objects using Active Acoustic Sensing. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 31–40 (2013).

[9] Wimmer,R,. Baudisch,P.: Modular and Deformable Touch-sensitive Surfaces Based on Time Domain Reflectometry. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 517–526 (2011).

[10] Dietz,P,. Leigh,D.: DiamondTouch: A Multi-user Touch Technology. In *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '01, pp. 219–226 (2001).

[11] Harrison,C,. Sato,M,. Poupyrev,I.: Capacitive Fingerprinting: Exploring User Differentiation by Sensing Electrical Properties of the Human Body. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, pp. 537–544 (2012).

[12] Spelmezan,D,. Appert,C,. Chapuis,O,. Pietriga,E.: Controlling Widgets with One Power-up Button. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 71–74 (2013).

[13] Paul,B.: Capacitive sensing library. `http://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor`.

[14] Baudisch, P,. Chu, G.: Back-of-Device Interaction Allows Creating Very Small Touch Devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference of Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1923–1932 (2009).