

# 抵抗膜方式の多重座標計測による布製タッチセンサの提案

青木 靖太<sup>1,a)</sup> 返町 周<sup>1</sup> 松下 光範<sup>1</sup>

**概要:** 本研究では、抵抗膜方式を応用した布製タッチセンサにおける座標認識の精度向上を図る手法として、複数点からの多重座標計測を用いた手法を提案する。提案手法ではセンサの複数の点で座標計測の基準点を切り替えながら繰り返し座標計測を行う。これらの基準点から得られる各ポイントの延長線の交点をポインティング位置とすることで、座標の歪みが少なく、押下圧力に影響されにくいポインティングが可能になる。また、計測基準点での電圧値に押下圧力が影響を及ぼすことを利用し、押下圧力の計測も同時に実現できる。さらに、提案手法の精度検証実験および提案手法を用いたプロトタイプアプリケーションについて述べる。

## 1. はじめに

近年、技術の発展によるコンピュータの小型化に伴い、ウェアラブルデバイスが急速に普及し始めている。これらのウェアラブルデバイスは常時身体に装着しての使用が主となるため、柔軟性や通気性を保つことが求められる。しかし既存のウェアラブルデバイスの多くは金属などの硬い素材で構成され、装着時に通気性がないことやデバイスの質感を意識させることが問題になる。

こうした問題を解決するために、テキスタイルインタフェースに関する研究が多く行われている [5]。テキスタイルインタフェースとは糸や布を用いて製造される入出力インタフェースのことである。インタフェースを柔軟な繊維素材で構成することにより、通常衣服に近い着用感を持つウェアラブルデバイスを実現できるようになる。例えば Google ATAP による Project Jacquard [6] では、衣服やぬいぐるみなどの日常的な布製品を用いてインタラクションを行うことを想定し、新たな高導電性糸の設計と、その製造技術の検討を行っている。この研究では、設計した高導電性糸を使用してタッチセンサを搭載した衣服を試作している。また、部屋全体の電気設備を統合的に制御できる布製インタフェースを制作し、テキスタイルインタフェースの応用例を示している。

しかし既存のテキスタイルインタフェースでは、精度の高い接触の検知と詳細な圧力検知を両立することは難しい。そこで、本研究ではこれらの両立が可能なテキスタイルインタフェースの実現を目指す。

## 2. 関連研究

テキスタイルインタフェースの入力手法には形状変化によるものと接触検知によるものの 2 種類が存在する。また接触検知による入力手法は静電容量方式と抵抗感圧方式の 2 種類に細分化される。以下で各入力手法を用いたテキスタイルインタフェースについて述べる。

### 2.1 形状変化による入力手法

布の形状変化により入力を行うテキスタイルインタフェースの研究として、Pinstripe [1] が挙げられる。Pinstripe は、複数の導電糸を等間隔で平行に縫い付けた衣服型インタフェースである。導電糸部分を指でつまんだ際に複数の導電糸が接触し、つまんだ指を動かすことで接触する導電糸の組み合わせが変化する。この導電糸の接触を機械的に検知することで布に対するつまみ量の変化を計測し、連続値の入力を行うことが可能になる。しかし、導電糸の縫製方向に沿わない方向に衣服をつまむと誤操作の原因になることが指摘されている。

SmartSleeve [5] は上腕から前腕にかけて装着するスリーブ型デバイスで、押下・スワイプ・つまみ・伸縮・曲げなど、表面に対するジェスチャと変形のジェスチャを認識できる。センサは縦方向に導電繊維が織り込まれた布と横方向に導電繊維が織り込まれた布の 2 枚の間に圧力を検知する導電布を挟んだ 3 層で構成される。縦方向の導電部と横方向の導電部の交差するセンサ領域から取得した圧力データをもとに、入力されたジェスチャを認識する。しかし、肘の動きや表面ジェスチャの一部で誤認識が発生すること、センサの大きさが着用者の腕の大きさと一致しない

<sup>1</sup> 関西大学総合情報学部  
Faculty of Informatics, Kansai University  
<sup>a)</sup> k651960@kansai-u.ac.jp

ときにセンサが腕の動きを取得できないことなどが問題として指摘されている。

高田らは、手袋に導電糸を編み込むことで指の曲げを計測するデータグローブの開発を行った [11]。このデータグローブでは、指を曲げた際、手袋の表面の導電糸同士が短絡することにより電気抵抗値が減少する性質を利用して手指の動きを計測する。しかし、指の曲げ始め・曲げ終わりの際に大きなノイズが発生する問題が指摘されている。

関らは形状の変化を検知するぬいぐるみ型のインタフェースを提案している [10]。ぬいぐるみにフォトリフレクタと 3 軸加速度センサを内蔵することで、フォトリフレクタによってぬいぐるみを「覆う」「握る」といったジェスチャを認識し、3 軸加速度センサによってぬいぐるみの手足を振るジェスチャを認識する。しかし、センサの部分が硬い質感になってしまう、また加速度を用いたジェスチャの認識率が安定しない、などの問題が指摘されている。

以上のように、形状の変化を検知するテキスタイルインタフェースは導電素材やフォトリフレクタ、加速度センサを用いて形状変化を検知する。この手法では布の柔軟性を活かした入力が可能になるものの、誤操作や認識率が問題として指摘されている。

## 2.2 接触検知による入力手法

接触検知による入力を行うテキスタイルインタフェースとして静電容量方式と抵抗感圧方式を利用するインタフェースが開発されている。これらの方式はタッチパネルの接触検知などに多く利用される手法であるが、この手法を布製品に応用したテキスタイルインタフェースの開発が行われている。

静電容量方式のテキスタイルインタフェースを開発した研究として、Google ATAP による Project Jacquard が挙げられる [6]。この研究ではテキスタイルインタフェースに応用できる新たな高導電性糸の設計・開発と、それを応用したデバイスの実装を行っている。この高導電性糸は銅製の芯に非導電性の糸を巻きつけることで、糸の中を電流が流れるようになっている。この高導電性糸を布の経糸と緯糸に織り込み、その両端をコンピュータに接続することで、指の接触位置を二次元座標として検知できる。

Olwal らは静電容量の検知によって入力を行う紐状タッチセンサ I/O Braid を開発した [2]。I/O Braid は通常の糸と導電糸、光ファイバを編組することで構成されており、紐状センサに対するホバー・つまみ・捻り・握りの 4 種類の入力と接触時の圧力を検知できる。また光ファイバの発光や音声によってユーザの入力に対するフィードバックを行うことができる。しかしインタフェースに触れる動作が意図した動作であるか否かを判別できないことや、意図せず皮膚に触れた際の誤入力が問題として指摘されている。

これらの静電容量方式のテキスタイルインタフェースは

導電性糸が指の接触を検知することで入力を行うものである。しかし意図しない接触による誤入力が問題として指摘されているうえ、静電容量方式センサは他の手法と比較して多くの導電性繊維を要するため回路構造が複雑になる問題が生じる。

抵抗感圧方式を採用したテキスタイルインタフェースとして、小野らは柔軟な素材で構成されたタッチセンサである TEXTILE++ を開発した [3], [8], [9]。この研究では抵抗感圧方式のひとつである抵抗膜方式を応用し、導電膜に導電布、スペーサにメッシュ生地を用いることでセンサを実装している。2 枚の導電布の間に絶縁体のメッシュ生地を挟み、センサを押下した際に上下の導電膜に電気が導通する際の電圧値を座標値とすることで 2 次元座標とその押下圧力を計測する。しかし、タッチセンサから得られる電圧値をそのまま座標値へ変換すると座標値に大きな歪みが見られるため、複雑なキャリブレーションを要すること、センサに対する弱い押下でも取得する圧力値が最大になりやすいことなどの問題が指摘されている。

Parzer らは、抵抗感圧方式を応用したテキスタイルインタフェース RESi を開発している [4]。RESi は、金属繊維に導電性粒子をコーティングした専用の導電性糸を格子状に縫い付けたり、刺繍したりすることにより押下位置とその圧力を検知する。導電性糸の交差する点に圧力を加えることで導電性粒子同士の接触面積が増加し、導電性糸を流れる電流の抵抗が変化することで圧力を取得する。また抵抗変化を検知する導電性糸の組み合わせにより、圧力が加えられた座標を検知する。しかし、強い圧力をかけると導電性糸の構造が変化し、誤動作の原因となることや、センサの糸の本数によって解像度が左右されてしまうことなどが指摘されている。

## 2.3 本研究の位置付け

以上に述べたように、テキスタイルインタフェースの入力手法には形状変化の検知によるもの、静電容量方式の接触検知によるもの、抵抗感圧方式の接触検知によるものの 3 種類が存在する。この中で抵抗感圧方式の原理を応用した小野らの TEXTILE++ と Parzer らの RESi は、圧力を基に接触を検知するものである。しかし、小野らの研究では複雑なキャリブレーションが必要であることと弱い押下でも圧力値が最大になりやすいこと、Parzer らの研究では強い力をかけると導電性糸の構造が変化し、誤動作の原因となることが指摘されている。本研究では、これらの問題を解決する抵抗感圧方式のテキスタイルインタフェースの実現を目指す。

## 3. 抵抗膜方式を応用したテキスタイルインタフェース

本研究では、抵抗感圧方式のテキスタイルインタフェース

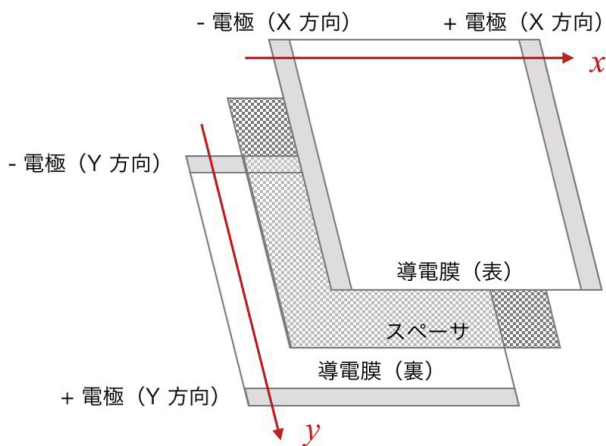


図1 抵抗膜方式タッチセンサの構造

スを実装するにあたり、TEXTILE++ [3], [8], [9] に用いられた抵抗膜方式を参考とした。これは、センサの解像度が導電性繊維の数に左右されてしまう RESi の構造 [4] よりも、解像度がセンサの構造に依存しない TEXTILE++ の構造がより詳細なポインティングが可能であると考えたためである。

### 3.1 4 線式抵抗膜方式

抵抗膜方式は押下した圧力に反応するタッチセンサの仕組みであり、4 線式抵抗膜方式はその実装方法のひとつである。この方式では、2 枚の導電膜がスペーサで絶縁されており、これに圧力を加えることで上部の導電膜と下部の導電膜がスペーサを越えて接触・導通し、導通位置で分圧された電圧値を測定し押下座標を求める [7]。このとき  $x$  座標値の計測と  $y$  座標値の計測は個別に行われ、 $x$  座標値の計測と  $y$  座標値の計測を高速で繰り返すことによって二次元座標の計測を行う。

図1に示すセンサにおいて、 $x$  軸方向の座標値計測を行う場合には、表側の導電膜の左右に取り付けられた電極にそれぞれ  $- (0V)$  と  $+ (5V)$  を出力し、2 枚の導電膜が接触した際に接触点で分圧された電圧値を裏側の導電膜に接続された端子で読み取ることで  $x$  座標を取得する。同様に  $y$  座標値計測では裏側の導電膜の上下の端子にそれぞれ  $- (0V)$  と  $+ (5V)$  を出力し、導電膜の接触時に分圧された電圧値を表側の導電膜に接続された端子から読み取り  $y$  座標値を取得する。

この仕組みにおいて電圧を出力する端子と電圧を計測する端子は同一のものであり、 $x$  座標値の計測時と  $y$  座標値の計測時に入力と出力を切り替える。 $x$  座標値の計測に用いられる端子は  $x$  座標計測時には入力端子であるが、 $y$  座標の計測時には電圧を出力する端子に切り替えられる。同様に  $y$  座標の読み取りを行う端子は  $y$  座標の計測時には入力端子、 $x$  座標の計測時には出力端子に切り替えられる。

一般に、抵抗膜方式タッチセンサの導電膜は酸化インジ

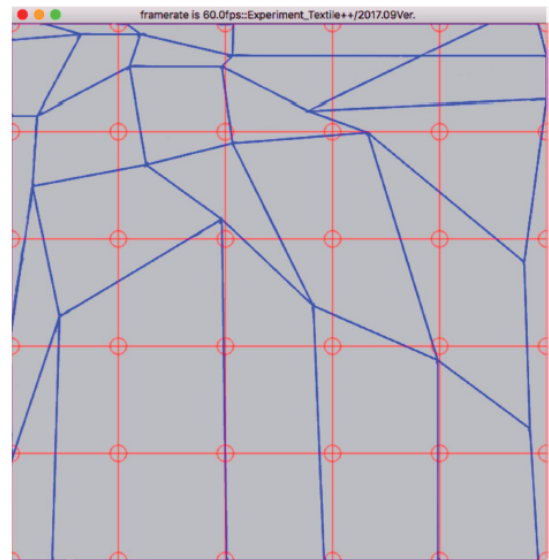


図2 歪んだ矩形領域 (文献 [8] より図引用)

ウムズ (ITO) で形成される。酸化インジウムズは均一に抵抗が分布するという特性を持つため、それぞれの導電膜の電極間に一定の電圧をかけた場合、導電膜上の位置と抵抗値・電圧値は線形の関係となる。

しかし、TEXTILE++ の手法において導電布を導電膜として代用する場合、導電布の抵抗値は均一ではないため、電極間に電圧をかけた場合に導電膜上の位置と抵抗値・電圧値が線形の関係にならない問題が発生する。このためタッチセンサから得られる座標値の歪みが大きく、キャリブレーションのために座標値から得られる複雑な矩形領域を補正しなければならない。文献 [8] で述べられた矩形領域の歪みを図2に示す。

### 3.2 TEXTILE++

布製の抵抗膜方式タッチセンサの動作を確認するために TEXTILE++ の実装を行った。使用する素材のうち TEXTILE++ で使用されていた導電布 (Sparkfun DEV-10070\*1) の製造が終了しており入手することができなかったため、代用部品として同じ綾織の導電布 (Sparkfun COM-14112\*2) を使用した。

予備実験で実装した TEXTILE++ では、(1) 歪んだ矩形領域、(2) 押下圧力の座標値への影響、の2点の課題が確認された。このうち課題 (2) は文献 [3], [8], [9] では述べられていなかった問題である。

課題 (1) について、布製タッチセンサを押下した際、電圧計測基準点に近い位置を押下した場合には計測基準点に近い位置が反応するが、押下する位置が計測基準点から離れるにつれて押下する位置に対し基準点側が反応すること

\*1 <https://www.sparkfun.com/products/retired/10070>  
 (2018/10/12 確認)

\*2 <https://www.sparkfun.com/products/retired/14112>  
 (2018/10/12 確認)

が確認された。これは導電布の抵抗値が均一でないためであると考えられ、文献 [3], [8], [9] で述べられていた補正前の矩形領域のように、基準点から離れた位置を押下するほど反応する矩形領域が基準点に近づくように歪んでいることが示唆された。

課題 (2) について、布製タッチセンサを押下する際、押下する力によってポインティング座標が変化する現象が確認された。タッチセンサ上の 1 点を押下した際、力を加えるにつれポインタは原点から押下した座標に向かって線形に離れ、力を弱めるにつれポインタが原点に近づくことが確認された。これは文献 [3], [8], [9] では述べられていなかった問題であるが、先行研究との実装上の相違点として、使用する導電布の変更に起因する問題であると推測される。

#### 4. 提案手法

本章では、前章で述べた課題 (1), (2) の改善を行うための座標計測手法を提案する。また圧力の座標値への影響を応用した押下圧力の計測についても提案する。

##### 4.1 複数の基準点からの多重座標計測

課題 (1) に述べた歪んだ矩形領域は、導電布の抵抗値が均一でないことに起因する問題であると考えられる。しかしタッチした点の座標に歪みは見られるものの、ポインタが動く際の  $x$  方向、 $y$  方向の変化量の比率はほぼ一定になる傾向が見られた。また課題 (2) に述べた圧力の座標値への影響についても、押下する力の強弱によってポインタは原点から押下位置に向かって線形に移動したため、 $x$  方向、 $y$  方向の比率は一定になる傾向が見られた。そのため座標計測基準点からのポインタの移動方向だけを用いた座標計測手法を提案することで、タッチ位置を正確に取得することが可能になる。そこで、図 3 に示すように TEXTILE++ [3], [8], [9] の座標計測の基準点を 1 点から複数点に変更し、各基準点から各ポインタに向かって描画した直線の交点を押下位置とする座標計測手法を提案する。

図 3 に示すセンサの場合、左上の計測基準点での座標計測後に右上の基準点、右下の基準点、左下の基準点の座標計測を高速で切り替えて行い、これらを繰り返すことで 4 点の基準点それぞれから座標計測を行う。この座標計測によって得られる各座標点と各基準点を結ぶ直線を描画することでその 4 本の直線の交点となる 6 点を得ることができる。それらの点の重心をポインティング座標とすることで、歪んだ矩形領域や圧力による座標値の変化に影響されないポインティングが実現できる。

複数の直線それぞれの交点となる点の重心をポインティング座標とする場合、他の交点に対して極端に離れた位置に交点が生成されたり、また向かい合う基準点からの直線が重なり合うことで交点を描画できないことがある。例え

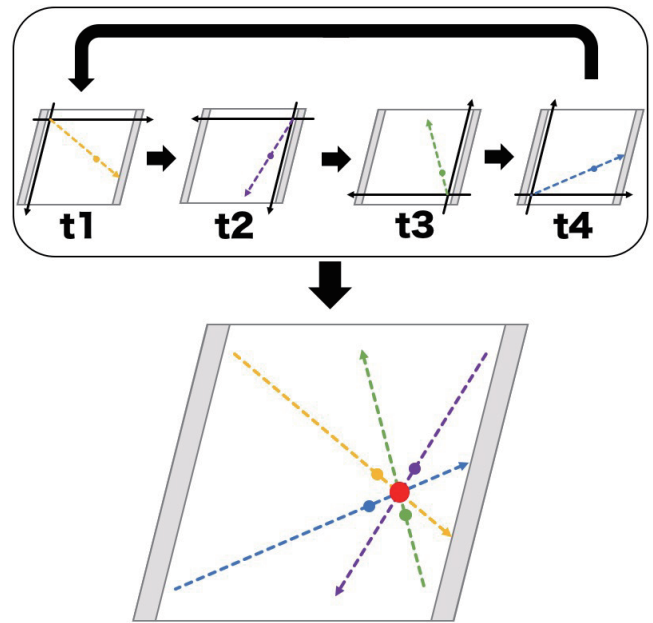


図 3 複数基準点からの多重座標計測

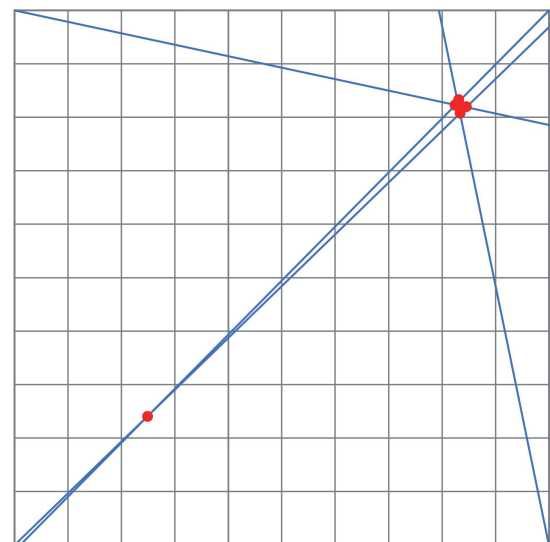


図 4 他の交点に対して極端に離れた位置に発生する交点

ば図 4 のような正方形のセンサにおいて、極端に離れた位置に交点が生成されている場合は重心の座標が離れている点の座標値に大きく影響されてしまうことが考えられる。このとき他の交点から一定以上離れている交点の座標を補正して重心計算を行う。また直線が重なり交点を描画できない場合は描画されている交点だけから重心を計算する。

##### 4.2 圧力の取得

圧力の変化が座標値に影響する性質を利用して、センサを押下した際の圧力を取得する方法を提案する。

課題 (2) にも述べたように、タッチセンサ上の 1 点を押下した際、力を加えるにつれポインタは基準点から押下した座標に向かって線形に移動する。各計測基準点からのポインタの動きを図 5 に示す。このとき圧力を強くかけるほ

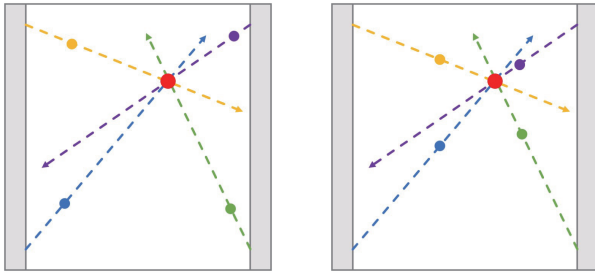


図 5 弱い力でセンサを押下した場合（左）と、センサの同じ位置を強い力で押下した場合（右）

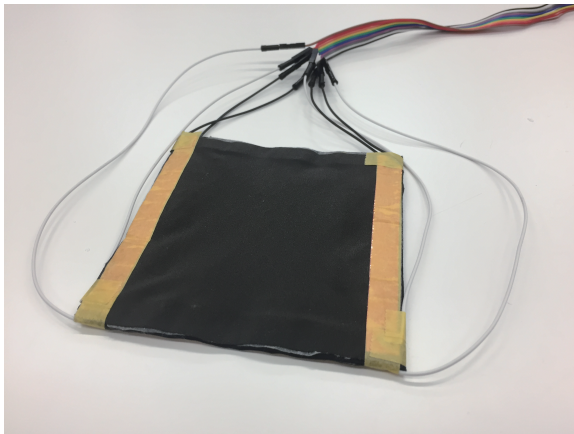


図 6 タッチセンサ本体

ど基準点から各ポイントまでの距離が増加するため、基準点から各ポイントまでの距離を計測することで擬似的に圧力を取得できる。

## 5. 実装

### 5.1 布製タッチパネル

提案手法の座標計測を行う正方形のセンサを実装する。このセンサでは座標計測の基準点を正方形のセンサの四隅とする。抵抗膜方式タッチパネルの抵抗膜には 3.2 節で使用した導電布と同一の導電布を使用し、スペーサ部分にも 3.2 節で使用したものと同一のメッシュ生地を用いて 3 層構造を実装した。またメッシュ生地の縁についても厚さ約 1mm のふちどり広巾を取り付けた。タッチセンサの完成図を図 6 に示す。

TEXTILE++ [3], [8], [9] では左上の基準点に対し横方向に 2 本、縦方向に 2 本の計 4 本の端子を接続して座標計測を行っていたが、この基準点を右上、右下、左下の点にも設けるために、元の基準点の対角の点に対しても横方向に 2 本、縦方向に 2 本の計 4 本の端子を追加し合計 8 本の端子を接続するように変更した (図 7, 8)。これらの 8 本の端子のうち使用する端子を基準となる点の切り替えに従って変更し、これを繰り返すことで 4 箇所からの座標の取得を可能にする (表 1, 2)。制作したタッチセンサは Arduino MEGA で制御した。

## 5.2 ソフトウェア

小野らによって、TEXTILE++ はオープンソースとして Web 上に制作方法・ソースコードが公開されている\*3。本研究ではこのソースコードを参考にソフトウェアの実装を行った。

Processing を用いて取得座標の可視化を行い、上下左右の 4 方向のスイープとタップ入力を判定するプログラムを実装した。可視化画面を図 9 に示す。

4 方向のスイープの判定については、まず縦方向のスイープと横方向のスイープを判定し、次に  $x$ ,  $y$  方向の座標値の増加・減少によって上下方向・左右方向のスイープを判定した。縦方向・横方向の判定には 500msec 間の入力座標の軌跡に外接する矩形領域を描画し、その縦横比によって縦方向であるか横方向であるかを判定した。その矩形領域の中で軌跡が増加方向に移動したか減少方向に移動したかによって上下・左右の合計 4 パターンのスイープを認識した。スイープの入力判定に用いた矩形領域を図 10 に示す。

タップ入力の判定では、スイープ入力の判定と同様に 500msec 間の入力の軌跡に外接する矩形領域を描画し、その長方形の縦および横の辺の長さがそれぞれ 50 ピクセル以下であるときにタップ入力と判定した。

## 6. 実験

提案手法の有効性を評価するため、

- (1) 押下領域判定精度の評価、
- (2) スワイプ入力判定精度の評価、
- (3) 押下圧力計測の評価、

の 3 種類の実験を行った。これらの実験はそれぞれ、3 章で述べた課題 (1), (2) に対する提案手法の有効性の確認、5.2 節で実装したスイープ入力判定の精度の評価、計測可能な押下圧力の範囲の調査、を目的として行った。

### 6.1 タッチセンサの準備

実験には縦 110mm × 横 110mm のタッチセンサを使用した。導電布を 110mm × 110mm に切り出し、それぞれの上下もしくは左右に幅 10mm × 長さ 100mm の導電テープを電極として取り付ける。メッシュ生地の上下左右それぞれの端には導電布の分離のため幅 11mm、厚さ約 1mm のふちどり広巾を取り付ける。そのためこの実験では導電テープとふちどり広巾を取り付けた部分を除いた縦 90mm × 横 90mm の範囲でセンシングが可能なセンサを使用する。このとき、導電布と電極、ふちどり広巾の取り付け部分を押下した場合に取得座標値が安定しない現象が確認されたため、実験では縦横それぞれ 90mm から上下左右 2.5mm を除外した 85mm × 85mm をセンシング領域として実験を行った。

\*3 <http://ideea.jp/project/textile++/diy.html>  
(2018/10/12 確認)

表 1 先行研究 [3], [8], [9] での使用端子の切り替え

	xLow	yLow	xHigh	yHigh
左上基準	端子 A	端子 B	端子 C	端子 D

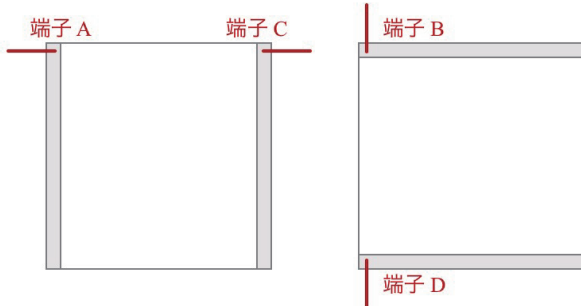


図 7 従来の抵抗膜方式の端子図 (表面・裏面)

表 2 提案手法での使用端子の切り替え

	xLow	yLow	xHigh	yHigh
左上基準	端子 A	端子 B	端子 C	端子 D
右上基準	端子 H	端子 C	端子 F	端子 A
右下基準	端子 E	端子 F	端子 G	端子 H
左下基準	端子 D	端子 G	端子 B	端子 E

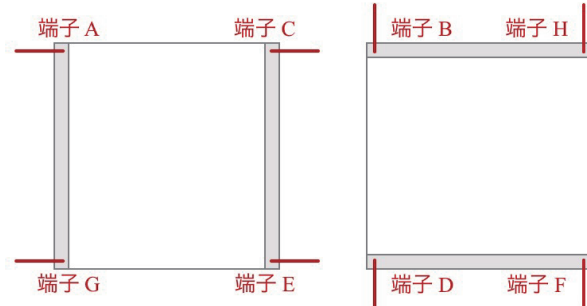


図 8 提案手法の端子図 (表面・裏面)

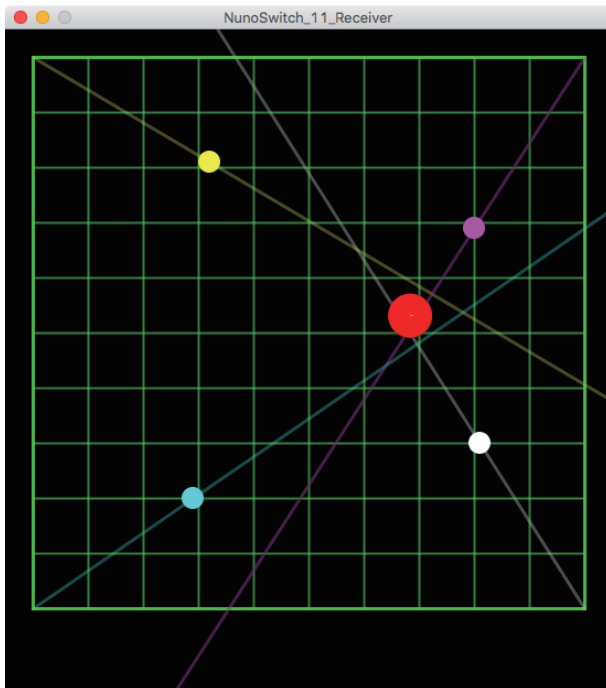


図 9 可視化の実行画面

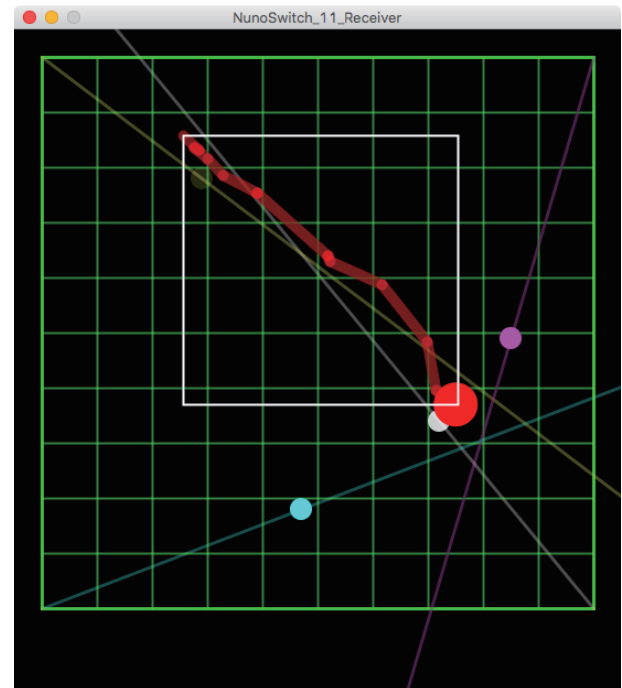


図 10 500msec 間の入力座標の軌跡と外接する矩形領域

## 6.2 押下領域判定精度の評価

前節で述べたセンサのセンシング領域を 5 × 5 の縦 17mm × 横 17mm の領域に分割し、それぞれに 1 ~ 25 の番号を割り当てて数字をセンサに印字した。

実験において実験者が指示した番号が印字されている領域を実験参加者が押下し、その入力値に対応した座標が出力されるかどうかを記録することで押下座標の認識精度を評価した。実験には、本手法で実装するタッチセンサに初めて触れる 21 歳から 24 歳の大学生の男女 15 名が参加した。

実験手順は以下の (1) から (4) の順で行った。タッチ

センサは机に置き、実験参加者は椅子に座った状態で入力した。

- (1) タッチセンサの動作確認や、実験参加者の入力への順応のため、数分間タッチセンサに指で触れてもらう。
- (2) 実験者は実験参加者に押下してもらう領域の番号 (1 ~ 25) をランダムに指示する。
- (3) 実験参加者は実験者から伝えられた番号が印字されているタッチセンサの領域を押下する。
- (4) センサの押下後 500msec その状態で待機し、実験者の合図で実験参加者は指を離す。  
上記の行程を全ての領域に対して行う。

1 (60.0%)	2 (93.3%)	3 (100.0%)	4 (100.0%)	5 (86.7%)
6 (86.7%)	7 (93.3%)	8 (100.0%)	9 (100.0%)	10 (66.7%)
11 (86.7%)	12 (100.0%)	13 (93.3%)	14 (100.0%)	15 (100.0%)
16 (100.0%)	17 (100.0%)	18 (100.0%)	19 (80.0%)	20 (93.3%)
21 (80.0%)	22 (93.3%)	23 (80.0%)	24 (80.0%)	25 (80.0%)

図 11 各領域の認識精度

参考にした文献 [8] の実験において、タッチパネルに対する入力開始時に飛び値が出てしまうことがあり、値が安定した時点での記録を行うために 500msec の待機を行っていたため、本実験においても手順 (4) において同様に 500msec 待機することとした。

各領域の認識精度を図 11 に示す。センシング領域の中心部に近い領域において認識精度が高い結果となったが、センシング領域の角に近い領域において低い認識精度となった。これは、センサの角を押下したときに 2 本の直線の組が重なることで離れた位置に交点が発生し、各交点の重心座標の計算方法を切り替える際に重心位置にブレが生じたことが原因と考えられる。この問題は、重心座標算出の際に座標の修正を加える閾値を設定するのではなく、各交点の距離ごとに座標値に重み付けした重心座標をポイントング位置とするなどの手法により解決できると考えている。

### 6.3 スワイプ入力判定精度の評価

5.2 節で述べたスワイプ入力判定の精度を評価する実験を行った。

実験参加者は、実験者が指示する方向のスワイプをセンサに対して入力する。この入力に対して指示通りのスワイプが判定され出力されるかどうかを記録することで判定精度を評価した。実験には前節の実験の参加者と同一の男女 15 名が参加した。

実験手順は以下の (1) から (4) の順で行った。前節の実験と同様にタッチセンサは机に置き、実験参加者は椅子に座った状態で入力した。

- (1) タッチセンサの動作確認や、実験参加者の入力への順応のため、数分間タッチセンサに指で触れてもらう。
- (2) 実験者は実験参加者に押下してもらうジェスチャ（上と左右のスワイプの合計 4 種類）をランダムに指

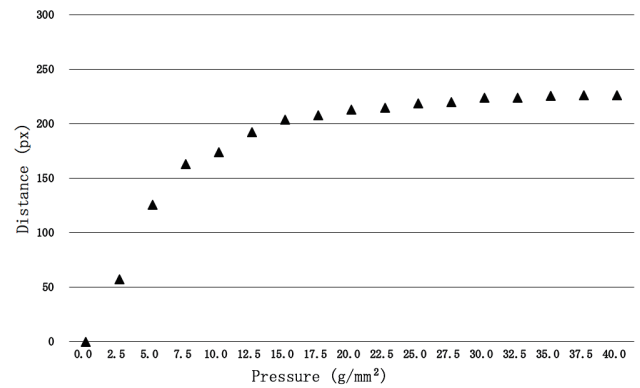


図 12 圧力計測の評価結果

示す。

- (3) 実験参加者は実験者から伝えられたジェスチャをタッチセンサに対して入力する。
- (4) 実験参加者は入力終了後、自由なタイミングで入力をやめることができる。

上記の行程を 4 種類のジェスチャすべてに行い、これを各参加者ごとに 1 回繰り返す。

得られた各入力の精度は、上スワイプが 100.0%、下スワイプが 93.3%、左スワイプが 86.7%、右スワイプが 100.0%、であった。4 種類のスワイプ全てで 80% を超える認識率があり、スワイプ入力を認識するインタフェースとして利用可能であることが示唆された。

### 6.4 押下圧力計測の評価

4.2 節に述べた押下圧力計測が可能な圧力範囲を評価する実験を行う。センサに対する押下圧力を増加させ、各基準点からのポイントの距離の平均を計測する。

センサの押下には接地面が縦 10mm × 横 10mm のゴム製の直方体を用い、タッチセンサ中央に対して非押下状態から 2.5g/mm<sup>2</sup> ずつ万力で押下圧力を増加させた。実験ではタッチセンサをデジタルスケールの中央に置き圧力を計測した。実験で得られた結果を図 12 に示す。2.5g/mm<sup>2</sup> から 37.5g/mm<sup>2</sup> まで各基準点からのポイントの移動が確認された。このとき、低い圧力では 4 箇所の計測基準点からの各ポイントの距離の増加量が大きい、大きい圧力をかけるにつれ各ポイントの距離の増加量が小さくなることを確認された。これは、圧力をかけるにつれ 2 枚の導電布の接触面積が増していき、接触面積が大きくなるにつれその増加割合が小さくなることの原因であると考えられる。そのため、このセンサを用いて線形の圧力計測を行う場合は、各基準点からのポイントの距離を補正した値を圧力として用いることが必要であると考えている。

## 7. アプリケーション

本手法で実装したタッチパネルを用いたウェアラブルデバイスを作成し、そのデバイスを通じて制御する音楽プレ



図 13 左胸部分にタッチセンサを内蔵したジャケット型インタフェース

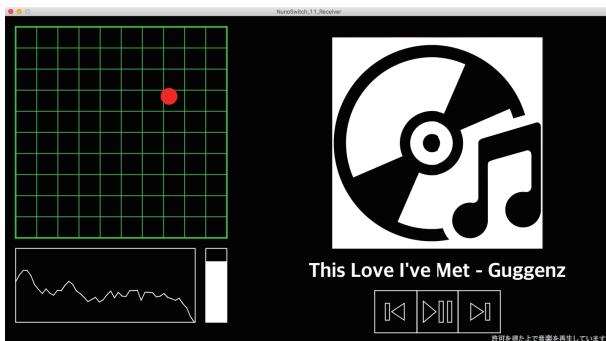


図 14 ジャケット型インタフェースから操作する音楽プレイヤー

イヤを実装した。MA-1 ジャケットの左胸部内側にタッチパネルを取り付け、タッチパネルから Arduino MEGA を通して Processing で制作したアプリケーションを制御する。ジャケット型デバイスを図 13、アプリケーション画面を図 14 に示す。

タッチパネルをタップすることで音楽を再生・一時停止し、左右にスワイプすることで再生するトラックの変更、上下にスワイプすることで音量の変更を行う。

ジャケットの内側にタッチセンサを取り付けたことにより、ジャケットのどの部分にタッチセンサが搭載されているか視覚的に認識できなくなることを防ぐために、タッチセンサを縫い付けた場所に衣類用スプレーでステンシル塗装を行った。

## 8. おわりに

本稿では、抵抗膜方式を応用した布製タッチセンサに対する座標認識の手法として、複数点からの多重座標計測の手法を述べた。この手法を用いることで、先行研究で述べられていた矩形領域の歪みと、予備実験で明らかになった圧力による座標値の変化を解決し、押下圧力を検知することができた。この手法を評価するための実験を行い、従来手法よりも高い精度の接触領域の検知、また高い精度のスワイプ入力に対応すること、一定の押下圧力を検知するこ

とを明らかにした。またこのタッチセンサを搭載したジャケット型ウェアラブルデバイスを制作し、そのデバイスを通じて制御する音楽プレイヤーを実装して応用例を示した。今後は、導電布の取り付け部分を押し下した際の動作の改善や、異なる種類の導電布での実装方法の検討が必要である。

## 参考文献

- [1] Thorsten Karrer, Moritz Wittenhagen, Leonhard Lichtschlag, Florian Heller, Jan Borchers: Pinstripe: Eyes-free Continuous Input on Interactive Clothing, *Adjunct Proc. 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 429-430 (2010).
- [2] Alex Olwal, Jon Moeller, Greg Priest-Dorman, Thad Starner, Ben Carroll: I/O Braid: Scalable Touch-Sensitive Lighted Cords Using Spiraling, Repeating Sensing Textiles and Fiber Optics, *Proc. 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 485-497 (2018).
- [3] Keisuke Ono, Shinichiro Iwamura, Akira Ogie, Tetsuaki Baba, Paul Haimes: Textile++: Low Cost Textile Interface Using the Principle of Resistive Touch Sensing, *ACM SIGGRAPH 2017*, No. 8, pp. 1-2 (2017).
- [4] Patrick Parzer, Florian Perteneder, Kathrin Probst, Christian Rendl, Joanne Leong, Sarah Schutz, Anita Vogl, Reinhard Schwodiauer, Martin Kaltenbrunner, Siegfried Bauer, Michael Haller: RESi: A Highly Flexible, Pressure-Sensitive, Imperceptible Textile Interface Based on Resistive Yarns, *Proc. 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 745-456 (2018).
- [5] Patrick Parzer, Adwait Sharma, Anita Vogl, Jurgen Steimle, Alex Olwal, Michael Haller: SmartSleeve: Real-time Sensing of Surface and Deformation Gestures on Flexible, Interactive Textiles, using a Hybrid Gesture Detection Pipeline, *Proc. 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 565-577 (2017).
- [6] Ivan Poupyrev, Nan-Wei Gong, Shiho Fukuhara, M. Emre Karagozler, Carsten Schwesig, Karen E. Robinson: Project Jacquard: Interactive Digital Textiles at Scale, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 4216-4227 (2016).
- [7] 岡野 祐一, 宮原 景泰: タッチパネルの最新技術動向, 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 8, pp. 1101-1106 (2009).
- [8] 小野 圭介: TEXTILE++: 抵抗皮膜方式を用いたテキスタイルインタフェースの開発と応用, 修士論文, 首都大学東京 (2018).
- [9] 小野 圭介, 馬場 哲晃: 抵抗被膜方式を用いたテキスタイルインタフェース, *WISS2016*, 日本ソフトウェア科学会, 3-A10 (2016).
- [10] 関 恵美, 杉山 希, 須藤 敦仁, 中野 亜希人, 羽田 久一: スマートハウスのためのぬいぐるみ型インターフェイスの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2014 論文集, pp. 214-217 (2014).
- [11] 高田 峻介, 志築 文太郎, 高橋 伸: 導電繊維編み込み手袋を用いた指の曲げ計測手法, 情報処理学会研究報告 (HCI), Vol. 2017-HCI-171, No. 25, pp. 1-6 (2017).