

構成変更が可能な柔らかいタッチインタフェースにおける インタラクション方式の拡張

岩崎 聖夜¹ 阪口 紗季² 松下 光範^{1,a)}

概要：本研究の目的は、衣服型のウェアラブルインタフェースにおいて機能や入力操作の柔軟な構成変更を可能にすることである。そのアプローチとして、布でできた衣服型のインタフェースと、そこに着脱可能な布製スイッチを実装した。布製スイッチにはアルミ箔や導電性の布が用いられており、そこにユーザの指が触れた際の静電容量の変化を計測することによって、入力操作の検出が可能になっている。この仕組みを利用し、タッチジェスチャやホイールジェスチャが認識可能な布製スイッチを実装した。これらの布製スイッチは衣服型のインタフェースに設けられた貼付位置に貼り付けることができ、その構成の仕方によって衣服型のインタフェースが持つ機能や入力操作方法を柔軟に変更することができる。本稿では、提案インタフェースの実装とそれを用いたインタラクションデザインについて述べる。

Extending Interaction Method on Configurable and Flexible Touch Interface

IWASAKI SEIYA¹ SAKAGUCHI SAKI² MATSUSHITA MITSUNORI^{1,a)}

1. はじめに

近年、Apple Watch [1] に代表されるような身体に装着して使用するコンピュータであるウェアラブルデバイスが注目を集めている [2]。ウェアラブルデバイスの一種として、布などの柔らかな素材で構成される衣服型ウェアラブルインタフェース（以下、衣服型インタフェース）がある。衣服型インタフェースには、生体情報をセンシングするもの [3] や衣服上の装飾を動的に変化させられるもの [4] があり、それらは普段の衣服に近い着用感を特徴としている。しかし、既存の衣服型インタフェースはユーザが使用できる機能が限定的であったり、操作に外部デバイスが必要であり、身に着けながら操作できるというウェアラブルデバイスの利点を損なうものがある。

この問題に対する解決策として、柔軟に機能を変更でき

る衣服型インタフェースが提案されている [5]。このインタフェースでは着脱可能な布製のタッチスイッチ（以下、布スイッチ）が用いられており、それぞれの布スイッチには「動物を表示する」や「アニメーションを再生する」などの機能が割り当てられている。布スイッチを衣服型インタフェースへ着脱することで、ユーザは柔軟な機能の付与・変更を行うことができる。また、衣服型インタフェースへ貼付した布スイッチに触れることで、付与した機能の ON/OFF の切り替えが可能である。ただし、現状の布スイッチでは機能の ON/OFF の切り替えという単純な操作しかできないため、割り当てられる機能が単純なものに限られてしまう。

本研究では、前述したインタフェースの布スイッチを用いたインタラクションの拡張を目的とする。これにより、衣服型インタフェースにおいてより多様な操作方法を可能とし高度な機能を適用できるようにする。

2. 関連研究

本章では、既存の柔らかい素材を用いたセンシング技術

¹ 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

² 関西大学大学院総合情報学専攻

Graduate School of Informatics, Kansai University

^{a)} mat @ res.kutc.kansai-u.ac.jp

に関する先行研究と、柔軟な構成変更が可能インタフェースに関する先行研究について説明し、本研究の位置づけを明らかにする。

2.1 柔らかい素材を用いたセンシング技術

まず柔らかい素材を用いてユーザの動作をセンシングする技術の先行研究について概観する。

Perner-Wilson らは DIY Wearable technology として、柔らかい素材を用いた手作り可能なセンシングデバイスを提案している [6]。このデバイスでは、導電性の糸や布を用いた曲げセンサ、ポテンショメータ、チルトセンサ、変位センサ、伸縮センサが簡便な回路設計で実現されている。

Karrer らは布に対するつまみ量をセンシングする手法を提案している [7]。この手法では、複数本の導電系をお互いに接触しないように等間隔で布に縫い付け、ユーザによってつままれた際に導通した位置でつまみ量を検知することが可能になっている。

Enokibori らは導電性の繊維を用いた圧力センサを提案している [8]。これは、加えられた圧力によって変化する、導電性繊維の縦糸と横糸の間に発生する静電容量を計測することで実現されている。

杉浦らはフォトリフレクタを用いて伸縮性のある薄い布の伸縮率を計測する手法を提案している [9]。編み目構造の伸縮布がその伸縮率に応じて光の透過率を変化させることを利用し、赤外光を投射した際の透過率をフォトリフレクタで計測することで、伸縮率の測定が可能になっている。

これらのデバイスは、ユーザがインタフェースから容易に着脱することができないため、利用シーンに合わせてインタフェースの持つ機能や操作方法を変更することができない。

2.2 柔軟な構成変更が可能なインタフェース

次に柔軟な構成変更が可能なインタフェースの先行研究について概観する。

little Bits は電源、音を出す、光る、モータ、スイッチなどの単機能を備えた小さなモジュールを磁石で繋げていくことで、電子回路を構築できる教育用キットである [10]。ハンダ付けや配線などの複雑な専門知識を必要とせずに電子工作を行うことが可能となっている。

Sakaguchi らによる Haconiwa は、電気工学初学者のための教育用電子玩具制作キットである [11]。電池や LED などの電子部品をフェルト生地で覆い、導線には導電糸を、接点にはスナップボタンを用いている。スナップボタンで各部品をつなげていくことで電子回路を構成することが可能である。電子回路の各パーツがフェルト生地によって装飾されているので、子どもにも親しみやすい電子工作を実現している。

既存の柔軟な構成変更が可能なインタフェースでは、イ

ンタフェースに組み込むパーツを着脱することでその位置や種類、組み合わせを変更し、異なる結果を導くことができる。しかし、文献 [5] で提案されたインタフェースでは、貼付している布スイッチの種類の変更という操作に限られている。本研究では、先行研究におけるパーツを着ける位置や組み合わせによる操作を参考に、布スイッチを用いたインタラクションの操作性の拡張を目指したものである。

3. デザイン指針

本研究では文献 [5] で提案されているインタフェースの構成を踏襲する。まず文献 [5] で提案されている衣服型インタフェースの布スイッチを用いた操作手法について整理する。このインタフェースでは、(1) 衣服への機能の付与、(2) 付与した機能の ON/OFF 操作、(3) 付与する機能の変更、の 3 つの操作手法が可能となっている (図 1 参照)。布スイッチと衣服型インタフェースの両方にスナップボタンを取り付けることで、布スイッチを衣服型インタフェースへ着脱できるようになっている。また、布スイッチの内部には個体を識別するための抵抗と、静電容量を検知するための導電糸が接続されている。布スイッチが衣服型インタフェースへ貼付された際は、その抵抗値に応じて異なる機能が割り当てられ、布スイッチの表面に露出させた導電糸によって、ユーザのタッチ操作が検出される。ユーザは布スイッチの貼付や貼替えにより、衣服型インタフェースへの機能の追加や変更を行うことができる。

本研究では前述したインタフェースの基本的な手法を踏まえつつ、より多様な操作を可能にするため、(1) 衣服型インタフェース上の着脱位置がそれぞれ固有の機能を持ち、そこに貼付された布スイッチの持つ機能と組み合わせることができるようにする。(2) 布スイッチを用いてタッチ以外のジェスチャ操作を可能にするので、衣服型インタフェース上の着脱位置が持つ機能に対し多様な操作を行えるようにする。(3) 機能を持った布スイッチ同士及びそれらとジェスチャ認識を行う布スイッチの連携を可能にし、衣服型インタフェース上の着脱位置に対して柔軟に機能を設定できるようにする、の 3 種類のインタラクション方式を提案する。(1) のインタラクション方式では、布スイッチの種類とそれを貼付する位置の組み合わせによって有効になる機能が決定される。すなわち、貼付する位置を変更することで異なる機能を利用することが可能になる。(2) のインタラクション方式では、衣服型インタフェース上の着脱位置に割り当てられた機能に多様な操作を行えるようにすることで、(1) と比べてより高度な機能を着脱位置に適用できるようになる。(3) のインタラクション方式では、ユーザが利用シーンに応じて衣服型インタフェース上の各着脱位置に機能を割り当てられるようになる。

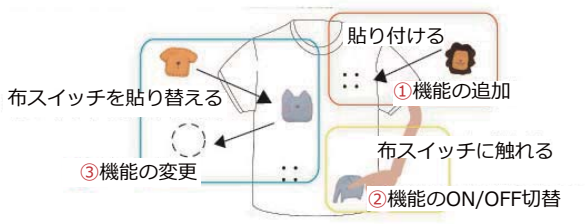


図 1 布スイッチ用いたインタラクション

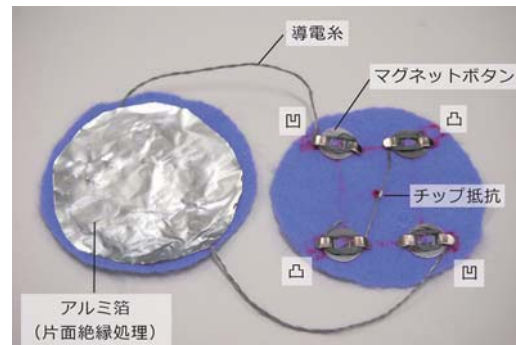


図 2 布スイッチ内部の構造

4. 実装

4.1 着脱位置が持つ機能と布スイッチが持つ機能の組み合わせ

前章で述べた(1)のインタラクション方式では、ユーザは衣服型インタフェース上の各着脱位置が持つ機能と組み合わせたい機能を持つ布スイッチを選択し、その着脱位置へ選択した布スイッチを貼付することで機能を組み合わせることができる。組み合わせた機能に対し、貼付した布スイッチに触れることで ON/OFF 操作が可能である。また、別の布スイッチに貼り替えることで組み合わせる機能を変更し、異なる機能を使用できる。

衣服型インタフェース上の布スイッチ着脱位置にはマグネットボタンを凸型2つと凹型2つの構成で取り付け、布スイッチの裏面にもそれに対応するようにマグネットボタンを取り付けた。これにより、布スイッチを衣服型インタフェースへ着脱できるようにした。また、布スイッチの個体識別は内蔵させた抵抗器の抵抗値を識別することでを行い、布スイッチへのタッチ検出は内包させたアルミ箔で静電容量の変化を計測することで行った(図2参照)。

本研究で制作した4つの着脱位置を備えた衣服型インタフェースの個体識別回路と接触検知回路をそれぞれ図3と図4に示す。個体識別回路のスイッチ部は各着脱位置に取り付けた凸型の2つのボタンに接続し、接触検知回路のスイッチ部は凹型の2つのボタンに接続する。個体識別回路に布スイッチが接続された際、回路に繋がれた10Kの抵抗と布スイッチ内の抵抗により分圧が発生する。その電圧値をArduinoのアナログ入力により取得することで、布スイッチの個体識別が可能である。さらに、それぞれの着脱位置に対し、異なるアナログ入力を用いることで、布スイッチがどの着脱位置に貼付されているものなのか認識できるようにする。また、静電容量の計測に用いるアルミ箔が布に覆われており、指がアルミ箔と直接触れないため、接触検知回路にはセンシングの感度を高く設定するために10Mの抵抗を接続した。

このインタフェースのプロトタイプとして、4つの布スイッチ着脱位置を備えた衣服型インタフェース(図5参照)と楽器型の布スイッチ4つ(図6参照)を制作した。各着脱位置には動物のイラストが描かれており、布スイッチが

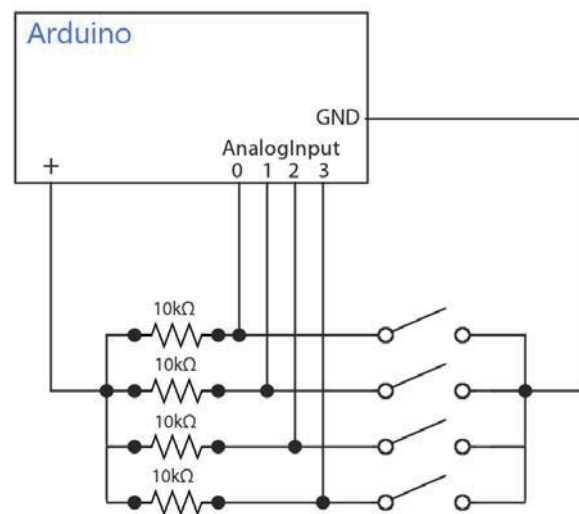


図 3 布スイッチの個体識別回路

貼付されると、その着脱位置に描かれた動物が貼付された布スイッチの楽器を演奏しているイメージがディスプレイに表示される。例えば、ゾウのイラストがある着脱位置にチェロの布スイッチを貼付すると、チェロを演奏するゾウが表示される(図7参照)。貼付した布スイッチに触れるとその楽器の音色でメロディが再生される。

4.2 着脱位置が持つ機能に対するジェスチャ操作

3章で述べた(2)のインタラクション方式では、固有の機能が設定されている衣服型インタフェース上の各着脱位置に対し、ジェスチャ操作が可能な布スイッチ(以下、ジェスチャ布スイッチ)を貼付することで、その機能に対しジェスチャ操作を行うことができる。また、異なるジェスチャ布スイッチに貼り替えることで、同じ機能に対し多様な操作を行うことが可能である。

布スイッチを多様なジェスチャ操作が可能なものにするため、4つのマグネットボタン全てをそれぞれ異なる静電容量センサとして利用する。また、認識したいジェスチャ操作に応じて、それら4つのセンサに繋がる電極を布スイッチ表面に異なるパターンで配置する。ジェスチャ布スイッチ表面の電極は導電布で制作し、その電極とマグネッ

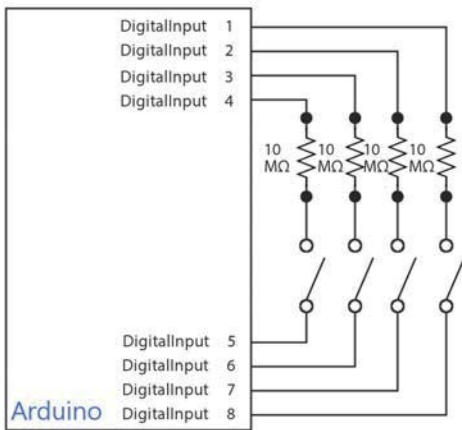


図 4 布スイッチの接触検知回路

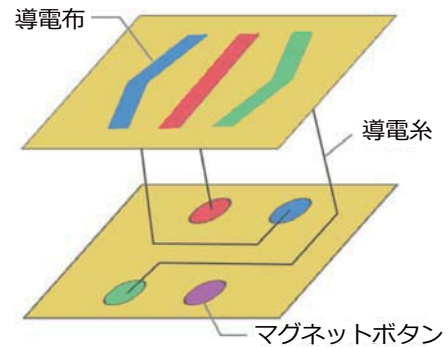


図 8 ジェスチャ布スイッチの構造の一例



図 9 ジェスチャ布スイッチ



図 5 インタラクション方式(1)のプロトタイプ



図 6 楽器型の布スイッチ



図 7 プロトタイプシステムのアプリケーション

トボタンは導電糸を用いて接続した(図 8 参照). 本研究では一般的なタッチインターフェースを参考に, タッチジェスチャ, 左右方向のスライドジェスチャ, 上下方向のスライドジェスチャ, ホイールジェスチャ, の 4 種類のジェスチャ布スイッチを制作した(図 9 参照).

本研究で制作した 3 つの着脱位置を備えた衣服型インターフェースのジェスチャ布スイッチ認識回路を図 10 に示す. 静電容量センサとなる電極が表面に露出しているため, センサの感度が低くなるように回路には 1M の抵抗器を接続した. また, 各着脱位置にある 4 つの静電容量センサには固有の ID を割り当てておく. これにより, ユーザがジェスチャ操作を行った際に, タッチが検知された静電容量センサの ID を連続的に取得し, その ID の組み合わせを読み取ることでジェスチャの識別が可能になる. この仕組みを利用し, ジェスチャ操作が行われた際に取得される ID の組み合わせが重複しないように, 電極の配置や静電容量センサとの接続状態を変化させたジェスチャ布スイッチを制作することで, 複数のジェスチャ操作の認識を実現した.

このインターフェースのプロトタイプとして固有の機能が割り当てられた 3 つの着脱位置を持つインターフェースを制作した(図 11 参照). それらの着脱位置の一つにミュージックプレイヤーの機能が割り当てられており, タッチジェスチャを行えるジェスチャ布スイッチを貼付し, タッチすることで音楽の再生と一時停止を切り替えられる. 他のジェスチャ布スイッチに貼り替えることにより, 左右方向のスライドジェスチャで曲の変更, 上下方向のスライドジェスチャでプレイリストの変更, ホイールジェスチャで音量の変更が可能である. 他の 2 つの着脱位置に対しても以上のようなジェスチャ操作が可能である.

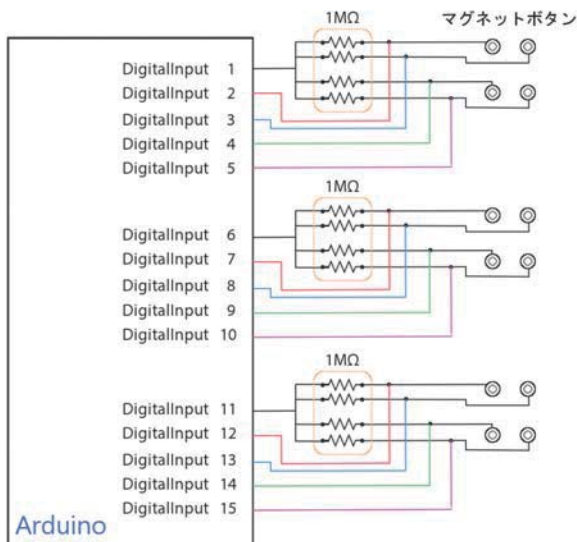


図 10 ジェスチャ布スイッチの認識回路



図 11 インタラクション方式(2)のプロトタイプ

4.3 布スイッチが持つ機能同士の連携

3章で述べた(3)のインタラクション方式では、ユーザは衣服型インタフェース上の各着脱位置に自由に機能を割り当て、その機能に対しジェスチャ布スイッチを用いた各種ジェスチャ操作が可能である。また、一度機能を割り当てた着脱位置に対しても後から機能を変更することができる。

衣服型インタフェース上の各着脱位置に機能を割り当てるための布スイッチとして、個体識別用の抵抗のみを内蔵した布スイッチ(以下、ウィジェット布スイッチ)を制作した。布スイッチの構造は図2で示しているものから、静電容量を検知するためのアルミ箔とそれに接続された凹型のマグネットボタンを除いた構造とした。

衣服型インタフェース上には、ウィジェット布スイッチの着脱位置が2個と、ジェスチャ布スイッチの着脱位置が1つあるエリアを設ける。これにより、ユーザは衣服型インタフェース上のあるエリアにウィジェット布スイッチを貼付することでそのエリアの機能を設定し、任意のジェスチャ布スイッチを貼付することでそのエリアに設定されている機能をジェスチャ操作できる。また、ウィジェット布スイッチを貼り替えることで、そのエリアに設定された機能を変更できる。加えて、同じエリアに対しウィジェット

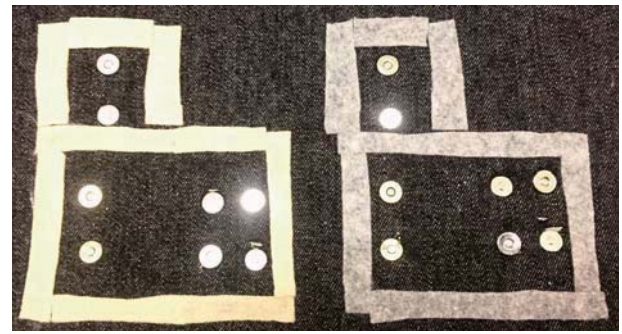


図 12 インタラクション方式(3)のプロトタイプ



図 13 ウィジェット布スイッチ

布スイッチを複数個貼付することで、それらの機能を組み合わせられる。ここで用いているウィジェット布スイッチの個体識別回路は図3で示した回路に等しく、ジェスチャ布スイッチの認識回路は図10で示した回路と同様である。

このインタフェースのプロトタイプとして、2つのウィジェット布スイッチ着脱位置と、1つのジェスチャ布スイッチ着脱位置で構成されるエリアを備えたインタフェースを制作した(図12参照)。また、ウィジェット布スイッチとして、「ミュージックプレイヤー」、「ブックプレイヤー」、「ユーザ設定<太郎>」、「ユーザ設定<クロエ>」の機能をそれぞれ持った4つのウィジェット布スイッチを制作した(図13参照)。ユーザ設定の機能を持つものはプレイヤーの機能を持つものと組み合わせることができる。例えば、「ミュージックプレイヤー」のウィジェット布スイッチを貼付した状態で「ユーザ設定<太郎>」のウィジェット布スイッチを貼付すると、太郎というユーザが好きな楽曲で構成されるプレイリストが選択された状態となる。ウィジェット布スイッチの貼替えにより、ユーザ設定を適用する機能や選択しているユーザ設定を変更することができる。ジェスチャ布スイッチによる操作は4.2節で述べたものと同様の操作が可能である。

5. 実験

提案システムを用いて以下の2つの実験を行った。

5.1 アルミ箔を内包した布スイッチにおける指の接触検知の実験

本実験では、アルミ箔を内包させた布スイッチにおいて、布スイッチ表面のどのような位置に指が触れた場合でも、静電容量の変化を計測することで指の接触検知が可能であるかの確認を行った。静電容量の計測は、Arduinoの

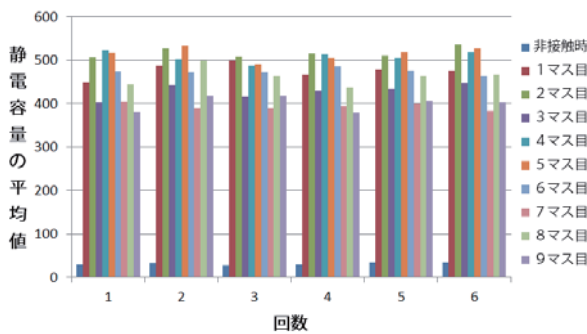


図 14 各回における静電容量の計測値の平均

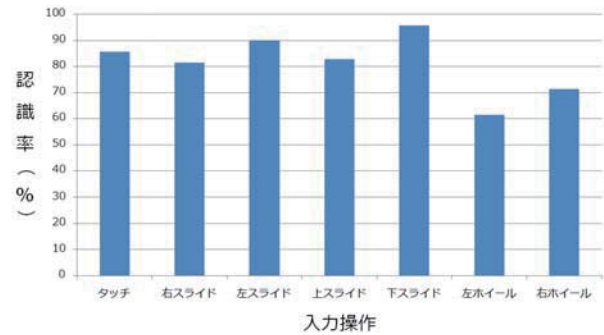


図 15 ジェスチャ操作の認識精度

CapSense ライブラリ^{*3}を使用し, capacitiveSensor 関数の出力値を記録することで行った. 実験では布スイッチの表面に 3 × 3 のマス目状に接触箇所を設定し, 各マスに指が触れている状態とどこにも指が触れていない状態で, それぞれ各 3 秒ずつ計 6 回計測した. 但し, 実験参加者に触れてもらうマス目の順序は毎回ランダムとした. 実験参加者には, 情報系学部に通う大学生 5 名を対象に行った.

実験の結果, 図 14 に示す結果が得られた. 非接触時の静電容量の計測値は 0 ±123, 接触時の計測値は 236 ±750 となり, 指の接触による静電容量の増加が見られた. 従って, 非接触時と接触時において, それらの計測値が重なっていない範囲である 124 ±235 の間にしきい値を設定することで, 指の接触検知が可能であることが確認された. 但し, 接触時の静電容量の計測値において, 他と比べて非常に大きい値をとった 4 つの計測値に関しては, スミルノフ グラブス検定に基づき外れ値として棄却した.

5.2 ジェスチャ布スイッチを用いたジェスチャの認識精度の検証

本実験では, ジェスチャ布スイッチを用いて正しくジェスチャが認識可能であるかの確認を行った. 実験参加者には実験開始前に正しい操作が行われている動画を視聴してもらい, 習熟のため 3 分間各ジェスチャを行ってもらった. 実験では, それぞれのジェスチャ操作を 10 回ずつ実行してもらい, 認識されたジェスチャを記録した. 実験参加者には, 情報系学部に通う大学生 7 名を対象に行った.

実験の結果, 各ジェスチャ操作において平均 81.2 % の精度で認識できることが確認された (図 15 参照). 認識精度の低かったホイールジェスチャの操作を精査したところ, タッチジェスチャとして誤認識される割合が平均 15.6 %, スライドジェスチャとして誤認識される割合が平均 4.7 % であることが分かった. それ以外のジェスチャ操作については, 異なるジェスチャとして誤認識される割合が平均 2.8 %, 何も認識されない割合が平均 13.6 % であった.

6. 議論

5 章で述べた実験の結果に基づき, 提案インタフェースの考察について述べる.

ジェスチャ布スイッチを用いた操作において, ジェスチャ操作完了後に何もジェスチャが認識されない原因として, ジェスチャ布スイッチ表面の電極のサイズが小さいことが考えられる. これにより, 指が電極と接触している時間が短く, 静電容量を計測するための十分な時間が得られないため, 正しく接触検知が行われていない可能性がある. 特に, ホイールジェスチャは他のジェスチャと比べて電極が多く, それらが短い間隔で配置されているため, 指と電極の接触時間が短くなりやすい. そのため, ホイールジェスチャでは誤認識が顕著に現れたと考えられる. 今後は電極の大きさや形, 配置を再検討し, 操作が行われる際に指と電極が十分な時間触れ続けるようにする必要がある.

本稿では 4 種類のジェスチャ布スイッチを制作したが, 提案システムを改良することにより他のジェスチャ操作を認識する布スイッチも制作可能である. 方法の一つとして, 衣服型インタフェース上の 1 つの着脱位置における静電容量センサの数を増やすことが挙げられる. これにより, 静電容量センサに割り当てられた ID の組み合わせの種類が増加し, より多くの種類のジェスチャ布スイッチが制作できると考えられる. しかし, 静電容量センサを増やすために単純にマグネットボタンを増やしてしまうと, 布の持つ柔らかさを損なう懸念がある. そのため, 静電容量センサを増やす場合は, 着脱部分の機構について再検討する必要がある.

7. おわりに

本稿では文献 [5] で提案された衣服型インタフェースを改善し, より多様な操作が可能なインタフェースに拡張した. 提案インタフェースでは, 衣服型インタフェース上の布スイッチの各着脱位置に固有の機能を割り当て, それらの機能に対し布スイッチの持つ機能との組み合わせやジェスチャ布スイッチによるジェスチャ操作を可能にした. 加

*3 <http://playground.arduino.cc/Main/CapSense>

えて、ユーザが自由に衣服型インタフェース上の各着脱位置に機能を設定し、それに対してジェスチャ操作を行えるインタフェースも提案した。今後はこれらのインタフェースを用いて、日常生活に存在するクッションなどの柔らかい素材の物体を入力装置として活用する方法を検討していく。

参考文献

- [1] Apple Inc.: Apple Watch, <http://www.apple.com/jp/watch/> (2016/1/21 確認)。
- [2] 賀川 勝: ウェアラブルデバイスの市場規模と今後の展開, *エレクトロニクス実装学会誌*, Vol. 18, No. 6, pp. 390–395 (2015).
- [3] 桑原 啓, 高河原和彦: 「hitoe」生体情報計測ウェアと超小型血流センサの技術と応用展開, *エレクトロニクス実装学会誌*, Vol. 18, No. 6, pp. 417–421 (2015).
- [4] Jorge & Esther: Lume, <http://jorgeandesther.com/lume/> (2016/1/21 確認)。
- [5] 阪口紗季, 阿部 誠, 松下光範: 柔軟な構成変更が可能な柔らかいタッチインタフェース, *情報処理学会研究報告*, Vol. 2015-HCI-163, No. 8, pp. 1–6 (2015).
- [6] Perner-Wilson, H. and Buechley, L.: Making textile sensors from scratch, *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 349–352 (2010).
- [7] Karrer, T., Wittenhagen, M., Lichtschlag, L., Heller, F. and Borchers, J.: Pinstripe: Eyes-free Continuous Input on Interactive Clothing, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1313–1322 (2011).
- [8] Enokibori, Y., Suzuki, A., Mizuno, H., Shimakami, Y. and Mase, K.: E-textile Pressure Sensor Based on Conductive Fiber and Its Structure, *Proceedings of the 2013 ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication*, pp. 207–210 (2013).
- [9] 杉浦裕太, 五十嵐健夫, 稲見昌彦: 光透過性を利用した薄い布の伸縮の計測とその応用, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 20, No. 2, pp. 115–121 (2015).
- [10] littleBits Electronics Inc.: little Bits, <http://jp.littlebits.com> (2016/1/21 確認)。
- [11] Sakaguchi, S., Shimada, S., Shirozu, N. and Matsushita, M.: Haconiwa: A Toolkit for Introducing Novice Users to Electronic Circuits, *Proceedings of 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics*, pp. 531–532 (2015).