

衣服のシワを用いた入力インタフェースにおける 装着位置や周辺環境の影響評価

上田 健太郎^{1,a)} 寺田 努^{1,2,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

概要: 本論文では、衣服のシワを用いた入力インタフェースの装着位置、周辺環境の影響を評価する。評価のためにタッチとピンチを検出するデバイスを実装し、Long press touch, Double touch, Narrowing-down selection, Pinch input の4入力方法を実装した。実装した入力インタフェースを用いて、ユーザの姿勢と環境、インタフェースの装着位置ごとに入力精度と入力時間を測定した。ユーザの姿勢は着席、起立、歩行の3種類、インタフェースの装着位置は前腕、上腕、肩、腹部、脇腹、太腿前面と側面の7カ所とした。評価の結果、すべての入力方法において腹部での入力はすべての姿勢で90%以上の精度となった。Pinch input は姿勢、装着位置にかかわらず95%以上の高い入力精度だったが、入力速度は他の入力方法より遅くなった。Double touch と Narrowing-down selection 歩行時の太腿での入力精度は他の姿勢より低かった。電車内での実験では、全入力方法で前腕での入力の精度が最も低かった。また、電車が走行中はターゲットのシワへの入力の失敗しやすく、特に、Double touch と Narrowing-down selection は入力の失敗が多かった。

Evaluation of Performance of Input Interface Using Wrinkles in Device Position and Operation Circumstance

UEDA KENTARO^{1,a)} TERADA TSUTOMU^{1,2,b)} TSUKAMOTO MASAHICO^{1,c)}

1. はじめに

ウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザはいつでもどこでもコンピュータを操作できる。このコンピューティングスタイルの変化に対応するために、ユーザインタフェースも変化している。様々なインタフェースが提案されている中、センサの小型化や導電糸や LilyPad [1] などのツールキットの登場により、テキスタイルインタフェースが提案されている。テキスタイルインタフェースは入力機能が布に統合されているので、デバイスを持ち運び、取り出す必要がなく、タッチ、ピンチ、ツイストなどの布特有のインタラクションを利用して操作できる。布と

のインタラクションの中でも、タッチとピンチを利用したインタフェースが多く提案されている [2], [8], [10]。

ユーザはテキスタイルインタフェースを身に付けて使用する。ユーザの姿勢や環境、操作位置などの様々な要因がその操作精度や時間に影響する可能性がある。そのため、ユーザの姿勢や操作位置によるタッチ入力やピンチ入力へのそれぞれの影響が調査されている [7], [13]。しかし、同じインタフェースを用いてタッチ入力とピンチ入力を評価した研究はない。

本論文では、衣服のシワを用いた入力インタフェースを評価する。このインタフェースは、アプリケーションの入力要求に応じて、衣服にシワを生成する。ユーザはシワを選択し、タッチして入力する。シワの生成パターンと生成数は入力を要求したアプリケーションと入力コマンド数に対応するので、ユーザはシワを触ることで入力に関する情報を得られ、頭部装着型ディスプレイや腕時計型デバイスなどの情報提示デバイスがなくても操作できる。

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO Japan Science and Technology Agency

a) ueda_kentaro@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tuka@kobe-u.ac.jp

本論文では、このインタフェースを再考した。シワの形状はピンチに適し、シワをつまむことは不自然な行動ではないのでタッチ入力に加えてピンチ入力を採用する。シワを用いた入力方法として、タッチ入力方法を3手法とピンチ入力方法を1手法を実装し、この4入力方法のユーザの姿勢、環境、装着位置の影響を調査する。

2. 関連研究

2.1 テキスタイルインタフェース

ウェアラブルコンピューティング環境における入力インタフェースとして、テキスタイルインタフェースが研究されている。テキスタイルインタフェースは刺繍や布の感触によってアイフリー操作ができ、布の柔軟性によって新しいインタラクションがあり、その中でもタッチとピンチが多くテキスタイルインタフェースの操作に使われている。

Holleis ら [2] は手袋やエプロンに埋め込まれたタッチコントローラを実装した。Textile++ [3] は2つの導電布とメッシュ生地からなるタッチインタフェースであり、タッチのXY座標と圧力を検出できる。GestureSleeve [4] はスワイプなどのストロークジェスチャやタップを検出できるテキスタイルインタフェースである。FabricID [5] は袖に統合されたスマートテキスタイルを用いてユーザの手を識別するシステムである。ユーザが袖に手を置くと、FabricIDはその圧力からユーザの手を検出する。Gilliland ら [6] は rocker switch, menu, electronic pleat の3つのテキスタイルインタフェースを実装した。rocker switch と menu は導電糸製の刺繍へのタッチを検出し、electronic pleat は指の位置とピンチジェスチャを検出できる。Pinstripe [7] は導電糸が平行に縫い付けられたテキスタイルインタフェースである。ユーザは服をつまみ、転がすことで連続値を入力できる。Grabrics [8] は30個の六角形の導電パッドを有するテキスタイルインタフェースである。ユーザは特定の角度でGrabricsをつまんでメニュー選択ができる。テキスタイルインタフェースにはタッチとピンチを両方認識できるインタフェースもある。Komor ら [9] は4つの刺繍ボタンがあるインタフェースを実装した。4つの刺繍ボタンをマルチタッチと2つのボタンの接触によりピンチジェスチャを検出できる。SmartSleeve [10] は手や指のタッチやねじれなどの布の変形ジェスチャを認識できるテキスタイルインタフェースである。しかし、ユーザはアプリケーションの状態やコマンド数のような入力に関する情報をこれらのインタフェースから得られず、操作には情報提示デバイスが必要になる。

上田ら [11] は衣服のシワを用いた入力インタフェースを提案した。このインタフェースはアプリケーションの入力要求時にシワを生成し、ユーザはシワをタッチして入力する。入力操作が完了すると、インタフェースはシワを消し、この操作シーケンスによって、ユーザはインタフェースか

ら入力に関する情報を得られる。本論文では、このインタフェースを再考し、シワを用いた入力方法を評価する。

2.2 インタフェースの評価

ウェアラブルコンピューティング環境における入力インタフェースはユーザの姿勢や操作環境、操作位置など操作に影響する様々な要因がある。Thomas ら [12] はウェアラブルコンピューティングの利用シーンとして、機械のメンテナンスを想定し、4姿勢と7装着位置でタッチパッドのユーザの操作精度を調査した。この評価の結果、うつ伏せの姿勢ではユーザの操作速度が落ち、太腿前面での操作はユーザのパフォーマンスが最も高かった。Wagner ら [13] はマルチサーフェイスインタラクションをユーザの体を中心に分類し、インタラクションのガイドラインを作成した。この研究の中で、身体上のターゲットへのタッチを評価している。非利き手で身体上の18カ所に配置したターゲットをそれぞれ5回ずつタッチする試行を行い、そのタッチ精度やタッチ完了までの時間などを評価した。この結果、下腿のターゲットへはタッチ動作が遅くなり、基本姿勢からターゲットをタッチするまでの時間は、胴上部で1.4秒以下、利き手と下腿では1.6秒以上となった。基本姿勢からターゲットをタッチするまでの時間は、利き手側の大腿のみ影響があり、特に利き手側の大腿上部は肩、胴より時間がかかった。タッチの精度は、ターゲットへの1回目のタッチでは92.4%であり、利き手上腕は他の部位よりエラーが多かった。また、社会受容性も検討されており、下腿より大腿が好まれ、胴は利き手より好まれた。Pinstripe [7] では、着席、起立、歩行の3姿勢で身体上の16カ所の装着位置の被験者の好み、つまむ角度や領域を調査し、その結果、下腿、太腿、腰は体を曲げることがあるのでつまむことに適さない位置と評価され、腹部はあまり公共の場で触れたくない位置と評価された。姿勢による好みと角度は様々であり、前腕は歩行時より着座、起立時の方がつまむ角度の偏差が小さかった。最も好まれた位置は非利き手上腕であった。しかし、これらの研究は同じインタフェースを用いてタッチとピンチを評価していない。本論文では、衣服のシワを用いた入力インタフェースを用いてタッチとピンチの特性を明確にする。

3. 入力方法

本論文では、衣服のシワを用いたタッチ入力とピンチ入力を評価するために、3種類のタッチ入力方法と1種類のピンチ入力方法を実装した。

3.1 タッチ入力

タッチ検出には導電糸と静電容量センサコントローラを用いた。静電容量センサコントローラによって、導電糸の静電容量を測定し、導電糸へのタッチを検出する。

ユーザはシワに触れて任意のシワ 1 本を選択し、入力を行うため、シワを用いたタッチ入力はシワの選択とタッチ入力を区別する必要がある。そこで、シワの選択方法を 2 つ想定した。シワを 1 本ずつ触って位置を確認し、その後 1 本のシワを選択するという方法とすべてのシワを同時に触れて位置を確認し、その後 1 本のシワを選択するという方法である。この 2 つの選択方法を基に、Long press touch, Double touch, Narrowing-down selection の 3 入力方法を実装した。Long press touch はシワに触れている時間によって選択と入力を区別し、ユーザが約 1 秒間シワに触れると入力と認識する。Double touch はシワに触れる回数によって選択と入力を区別し、ユーザがシワに 0.2 秒以内に 2 回触れると入力と認識する。この 2 入力方法は前者の選択方法を用いており、ユーザは 1 本ずつシワに触れて入力するシワを決定して入力する。Narrowing-down selection は後者の選択方法を用いており、選択フェーズと入力フェーズが分かれていて、ユーザが生成されたすべてのシワに同時に触れ、その後入力するシワのみに触れると入力と認識する。

3.2 ピンチ入力

ピンチ検出には導電糸とマイコンを用いた。2 本の導電糸の一方に電圧を加え、もう一方を接地する。電圧を加えている導電糸の電圧を測定することで導電糸同士の接触を検出し、ピンチを検出する。

Pinch input はシワの選択と入力する際のユーザの行動が異なるため、選択と入力の区別は不要である。入力の誤認識を防ぐために、ピンチ入力は 2 本の導電糸が 0.5 秒以上接触すると入力と認識する。

4. 実装

本論文で評価に使用する入力デバイスを図 1 に示す。布デバイスの大きさは成人男性が手で覆うことができるように、 27×7.5 cm とした。本論文では、あらかじめ布を隆起させて 5 本のシワを形成して入力の評価するため、シワを生成する機構は布デバイスに装着しない。幅 3 cm の各シワ部分に導電糸を平行に 3 本縫い付けた。導電糸の縫付には JANOME Monaze E2000 のミシンを使用し、非導電性の糸を上糸、導電糸を下糸にして縫い付けた。このミシンを使用してジグザグに糸を縫い付けると、導電糸が浮いてしまうので、直線に糸を縫い付けた。タッチ検出用の導電糸をシワ部分の表側の中央に縫い付け、裏側のその両側に約 0.7 cm 離してピンチ検出用の糸を縫い付けた。布と回路との接続のために、各導電糸の一端に金属のスナップボタンを縫い付け、回路につながる導線の一端対になるスナップボタンをはんだ付けした。タッチの誤認識を防ぐために、タッチ検出用の糸と回路の接続にはシールド線を用いた。シワの間隔は回路接続用のスナップボタンを縫い



図 1 Input device

付けるために約 1 cm とした。布製のアタッチメントと回路とバッテリーを持ち運ぶためのポケットを作製し、布を隆起させシワを形成した状態でアタッチメントにスナップボタンを用いて布デバイスを取り付けた。

制御回路はマイコン、静電容量センサコントローラ、無線モジュールから構成される。マイコンには Arduino Nano を用いて MPR121 搭載静電容量タッチセンサコントローラの制御とピンチの検出を行う。ピンチの検出には Arduino Nano の内部抵抗を用いた。無線モジュールには Xbee を用いて PC と通信し、PC で入力を認識する。

5. 評価

ウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザは様々な姿勢や環境、装着位置でコンピュータを操作し、優れた操作性を有する入力方法はそれらに応じて変化する。そのため、様々なユーザの姿勢、環境、装着位置における入力精度と入力時間を評価する。

Wagner ら [13] の研究によると、下腿のターゲットへのタッチは遅く、社会受容性が低く、利き腕へのタッチは失敗しやすい。この結果に基づいてデバイスの装着位置は着席時、起立時でもユーザが姿勢を変えずに触れられる部位かつ公共の場で触れても周囲の人に不快感を与えない部位を選択した。また、入力操作は利き手での操作を想定し、利き手で触ることができない部位を除いた。よって、装着位置は前腕、上腕、肩、腹部、脇腹、太腿前面と側面の 7 か所とした (図 2)。

5.1 姿勢と装着位置の影響

ウェアラブルコンピューティング環境には歩行中のような情報提示デバイスの使用が困難な状況や会議中などのような周囲の人に操作が気付かれたくない状況などがある。このような状況でもユーザはシワを用いた入力インタフェースを用いてコンピュータを操作する。想定環境での操作性を確認するためにユーザの姿勢は着席、起立、歩行の 3 種類とした。



図 2 各装着位置のデバイス

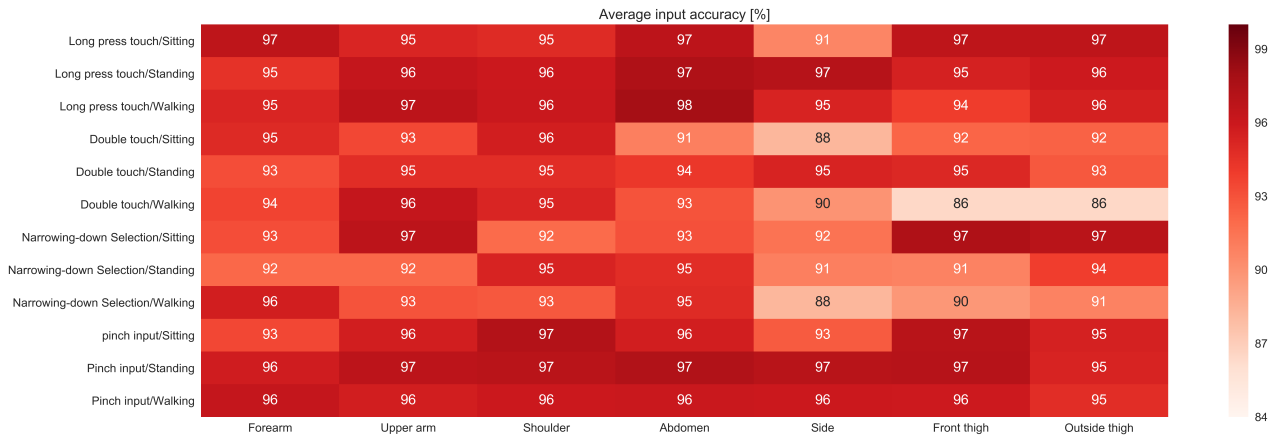


図 3 各姿勢，装着位置の平均入力精度

実験内容

被験者は入力デバイスが装着された服を着用して着席，起立，歩行の姿勢の順に実験を行った。着席時では，被験者は PC の置かれた机の前の椅子に座り，起立時は着席時と同じ机の前に立つ。歩行時では，トレッドミルを用いて被験者は平均歩行速度である時速 4 km の速度で歩行する。着席，起立時では PC のディスプレイ上に，歩行時では音声により入力方法とターゲットのシワを被験者に提示し，被験者はその指示に従い入力する。被験者は各装着位置のデバイスに各入力方法で 60 回 (シワ 5 本 × 12 回) ずつの入力を 3 セット行い，3 セットの入力を終わると装着位置を変更した。入力方法を 60 回ごとに切り替え，入力方法，ターゲットのシワ，装着位置の順序はランダムとした。姿勢は全装着位置で 3 セットの試行を終えると変更した。被験者は操作に習熟した右利きの男性 5 名である。

実験結果

各姿勢と装着位置の組合せの平均入力精度を図 3 に示す。入力インタフェースが認識したすべての入力を用いて，各入力方法でのターゲットのシワへの入力の 3 セットの総成功回数から各被験者の入力精度を算出した。Long press touch はすべての姿勢と装着位置の組合せで平均精度 90% 以上となった。上腕，腹部，太腿側面の装着位置で

は，すべての姿勢で 95% 以上の高い平均精度を達成した。特に，腹部は姿勢が変わっても動きが少なく，安定した部位なのですべての姿勢で入力精度の分散が小さかった。しかし，着席時の脇腹では，最低の平均約 90% の精度と最大の分散となった。Double touch はすべての姿勢で前腕，上腕，肩，腹部での入力精度が平均 90% 以上となった。しかし，着席時の脇腹，太腿前面と歩行時の太腿側面での平均精度は 90% 未満となった。前腕，上腕，肩での入力は他の装着位置より姿勢が変化した場合の入力精度の変化が小さかった。Narrowing-down selection は前腕，上腕，肩，腹部，および太腿側面での入力精度はすべての姿勢で 90% 以上の平均精度となった。歩行中の脇腹と太腿前面での入力は平均精度が 90% 未満となった。腹部での入力がすべての装着位置の中で姿勢が変化した場合の入力精度の変化が最小であった。しかし，脇腹での入力はすべての姿勢で他の装着位置と比べて低い精度であった。Pinch input はすべての装着位置と姿勢の組合せで 90% 以上の平均精度となった。特に，上腕，肩，腹部，太腿前面および側面での入力はすべての姿勢で 95% 以上の平均精度となった。しかし，着席時の前腕と脇腹での入力は他の位置よりも入力精度の分散が大きかった。

3 要因分散分析の結果，入力方法，姿勢および装着位置の相互作用に有意差があった ($p < .10$)。そこで，各装着

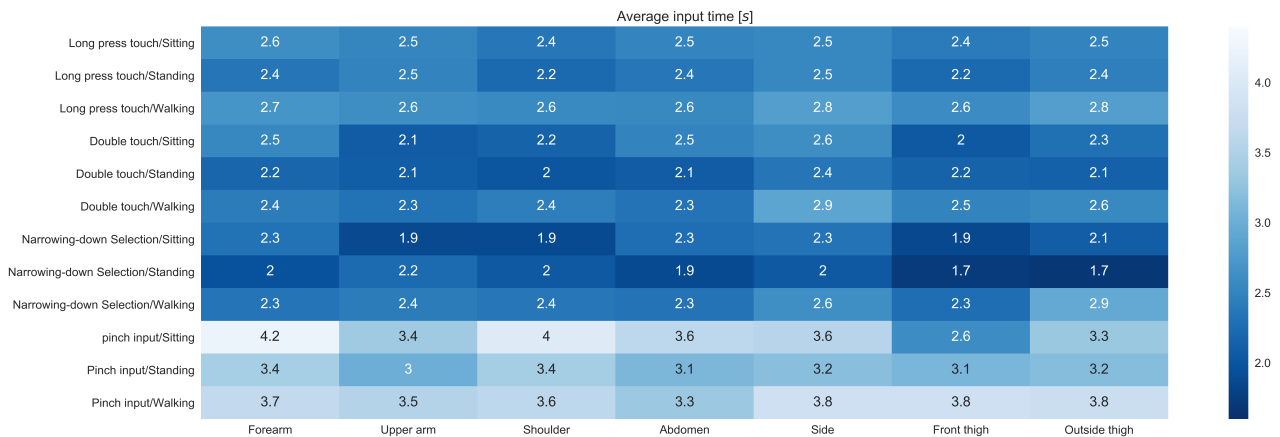


図 4 各姿勢、装着位置の平均入力時間

位置において 2 要因分散分析を行った。その結果、腹部、脇腹、太腿前面と側面において入力方法の主効果に有意差を確認した (すべて $p < .05$)。フィッシャーの最小有意差法の結果、Long press touch は腹部、太腿前面と側面では Double touch より精度が高く、脇腹では Narrowing-down selection より精度が高い。また、Pinch input は腹部、太腿側面では Double touch より精度が高く、脇腹と太腿前面では Double touch と Narrowing-down selection より精度が高い。

各姿勢と装着位置の組合せの平均入力時間を図 4 に示す。各被験者の入力時間は 3 セットの試行のターゲットのシワの提示から入力完了までの平均時間である。Long press touch の各姿勢の最速の平均入力時間は着席時の肩 2.35 秒、起立時の太腿前面 2.21 秒、歩行時の腹部 2.55 秒であった。歩行時の前腕と太腿側面での入力は他の組合せより入力時間の分散が大きかった。この方法は姿勢による入力時間の変化が他の入力方法より小さかった。Double touch は着席時の太腿前面 2.04 秒、起立時の肩 2.01 秒、歩行時の上腕 2.31 秒が各姿勢の最速平均入力時間であった。脇腹を除くすべての装着位置で Double touch は Long press touch より入力時間が速かった。右手で右脇腹の上部を触ることは困難なので、脇腹での入力時間は遅かった。着席時の前腕と太腿側面は他の組合せより入力時間の分散が大きく、太腿側面は他の姿勢からの歩行時の入力時間の変化が大きかった。Narrowing-down selection は着席時の太腿前面 1.85 秒、起立時の太腿側面 1.69 秒、歩行時の太腿前面 2.28 秒が各姿勢の最速平均入力時間であった。着席時と起立時では、他の入力方法より速い入力時間となり、歩行時は Double touch と同程度の入力時間となった。Pinch input は着席時の太腿前面 2.6 秒、起立時の上腕 3.01 秒、歩行時の腹部 3.34 秒が各姿勢の最速平均入力時間であった。姿勢と装着位置の全組合せですべての入力方法の中で最も大

きな入力時間の分散でした。これらの結果から、すべての入力方法の中で Narrowing-down selection は最速の入力であり、Pinch input は最遅の入力である。Narrowing-down selection は時間による制約がなく、一度ですべてのシワの位置を確認できるので入力方法の中で最速の入力となった。一方、Pinch input は選択と入力の行動が分かれており、さらにピンチを検出する導電糸の接触面が細いので遅い入力となった。また、歩行時の太腿側面でのタッチ入力は太腿前面よりも入力時間の分散が大きかったことから歩行時の太腿は側面より前面の方が触りやすい。

3 要因分散分析の結果は入力方法、姿勢、装着位置の相互効果が有意であった ($p < .05$)。各デバイス位置においての 2 要因分散分析の結果、すべてのデバイス位置で入力方法の主効果 (すべて $p < .01$) と太腿前面と側面での姿勢の主効果 (どちらも $p < .10$) が有意であった。フィッシャーの最小有意差法の結果、Pinch input はすべての装着位置で最遅の入力である。太腿前面での入力は歩行時より着席時の方が速く、太腿側面は起立時より歩行時の方が速い。

5.2 電車内の影響

ウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザの環境もコンピュータの操作に影響を与える。例えば、交通機関での移動中は揺れや混雑状況がユーザの操作に影響を与える。そこで、電車乗車中の影響を調査するために、電車内でのシワを用いた入力の精度と時間を評価する。

実験内容

被験者は 5.1 の実験と同じ各装着位置で同じ入力試行を 3 セット行った。入力方法とターゲットのシワの指示は iPod touch から音声で提示した。そのため、入力インタフェースの通信モジュールを Xbee から BLE Nano に変更した。さらに、BLE の通信回数を減らすために各入力方法の入力

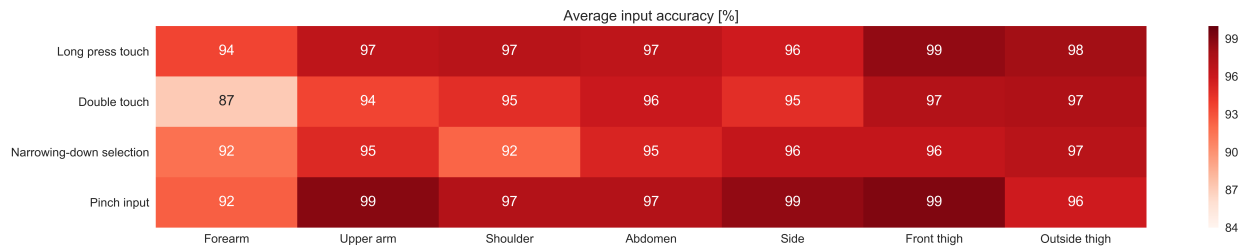


図 5 電車内の各装着位置の平均入力精度

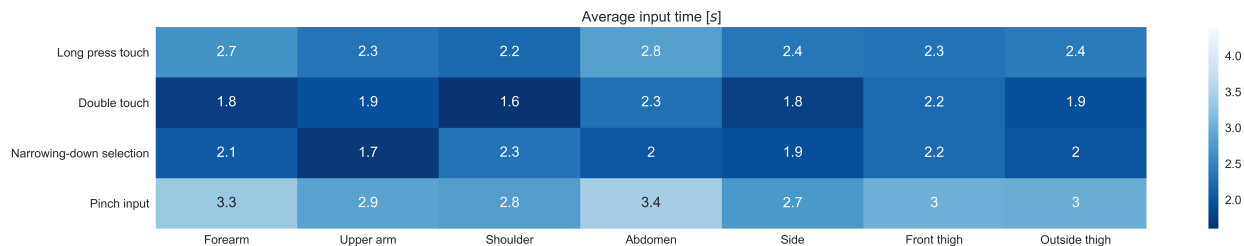


図 6 電車内の各装着位置の平均入力時間

判定は Arduino Nano が行い、入力結果を iPod touch に送信してターゲットのシワへの入力かを判定した。実験は電車に乗車して電車が動き出してから開始し、1セットの試行が終了するまで電車に乗り、実験を続けた。電車内では、被験者は左手でつり革を持ちながら立ち、iPod touch をパンツのポケットに入れ、音声指示を聞くためのイヤホンをして実験を行った。iPod touch のアプリでは、入力方法とターゲットのシワの音声提示と入力結果と実験中の加速度データを記録した。被験者は 5.1 の実験を終えた 2 名である。

実験結果

入力精度、入力時間は 5.1 の実験と同様に算出した。各装着位置の平均入力精度を図 5 に示す。入力精度については、Long press touch はすべての装着位置で平均 90% 以上の精度となり、前腕を除くすべての装着位置で平均 95% 以上の精度となった。Double touch は前腕を除くすべての装着位置で平均 90% 以上、腹部、太腿前面と側面での入力は平均 95% 以上の精度となった。Narrowing-down selection はすべての装着位置で平均 90% 以上、前腕と肩を除くすべての装着位置で平均 95% 以上の精度となった。Pinch input はすべての装着位置で平均 90% 以上、前腕を除くすべての装着位置で平均 95% 以上の精度となった。

2 要因分散分析の結果、装着位置の主効果が有意であった ($p < .05$)。フィッシャーの最小有意差法の結果、装着位置の中で前腕での入力が最も精度が低い。

各装着位置の入力時間を図 6 に示す。入力時間は、Long press touch では、肩での入力が最も速く平均 2.22 秒、腹部

での入力が最も遅く 2.82 秒であった。Double touch も肩での入力が最も速く 1.65 秒、腹部での入力が最も遅く 2.29 秒であった。Narrowing-down selection は上腕での入力が最も速く 1.71 秒、肩での入力が最も遅く 2.33 秒であった。Pinch input は肩での入力が最も速く 2.79 秒、腹部での入力が最も遅く 3.41 秒であった。Narrowing-down selection 以外の入力方法では、肩での入力が最も速く、腹部での入力が最も遅かった。

2 要因分散分析の結果、入力方法の主効果が有意であった ($p < .05$)。フィッシャーの最小有意差法の結果、Pinch input が入力方法の中で入力時間が最も遅い。

入力結果と加速度データ (図 7) から電車が走行中の方が電車が停車中よりターゲットのシワへの入力の失敗が多い。特に、Double touch と Narrowing-down selection は入力までに一度手を布から離すので入力の失敗が多い。また、前腕、上腕などは腹部、太腿より電車の揺れによって入力の失敗が起こりやすい。

6. 議論

6.1 姿勢と装着位置

5.1 の実験結果より、すべての入力方法において腹部での入力はすべての姿勢で 90% 以上の精度となった。これは腹部は安定した部位であり、姿勢によって手からの距離が変わらないためである。Pinch input は姿勢、装着位置にかかわらず 95% 以上の高い入力精度であり、これはシワの選択と入力の動作が異なるためと考えられる。しかし、この動作の切替とシワの構造がつまみにくい構造だったので、Pinch input の入力速度は他の入力方法より遅くなっ

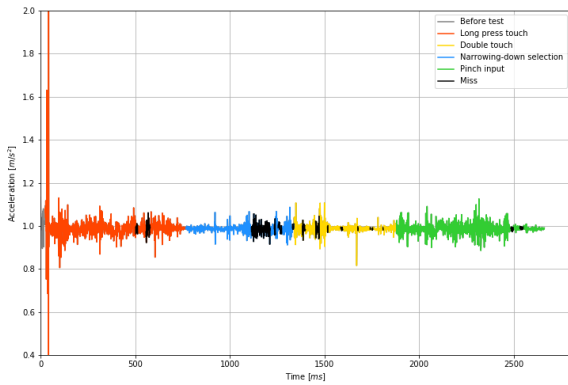


図 7 被験者 1 名の前腕での入力結果と加速度

た。Double touch と Narrowing-down selection は入力するために一度布から手を離さなければならないので、歩行時の太腿での入力精度は他の姿勢より低かった。しかし、Narrowing-down selection のシワの選択方法は一度にすべてのシワの位置を確認でき、これは入力速度を速くできる。このことから、腹部は姿勢が変わっても高い精度で入力できる装着位置である。また、シワの位置を 1 本ずつ確認する選択方法は入力精度を高め、すべてのシワの位置を同時に確認する選択方法は入力速度を速める。Pinch input はすべての姿勢、装着位置の組合せで高い入力精度で入力できるが、入力速度が遅く、入力速度を上げるためには導電糸の接触面積を増やすなどのピンチしやすいシワの構造にする必要がある。

6.2 電車の揺れ

5.2 の実験結果より、すべての入力方法で前腕での入力の精度は他の装着位置と比べて低く、Long press touch と Pinch input は、入力精度の分散も大きかった。これは左腕前腕はつり革を持つ際にユーザは手を伸ばして操作するため、他の装着位置よりもシワに入力する手が不安定だったためと考えられる。また、電車が走行中はターゲットのシワへの入力の失敗しやすく、特に、入力時に一度手を布から離す Double touch と Narrowing-down selection は入力の失敗が多い。腹部や太腿は電車が揺れていてもあまり動かないため、腕より電車の揺れによって入力の失敗が起こりにくい装着位置である。このことから、電車内でシワの選択から入力の完了まで手が布から離れない Long press touch と Pinch input は電車の揺れによって誤入力が起こりにくい入力方法である。また、電車内でつり革を持って操作するときは前腕、上腕などの部位より肩、腹部、太腿などの電車が揺れに対してあまり動かない部位にデバイスを装着するべきである。

7. まとめ

本論文では、衣服のシワを用いた入力インタフェースにおける装着位置や周辺環境の影響評価を行った。Long press touch, Double touch, Narrowing-down selection, Pinch input の 4 入力方法と入力インタフェースを実装し、姿勢と装着位置、電車の影響を調査した。姿勢と装着位置の影響評価の結果、腹部での入力はどの入力方法でもすべての姿勢で 90%以上の精度となった。Pinch input はすべての姿勢、装着位置で 95%以上の高い精度で入力できたが、入力速度は最も遅かった。Double touch と Narrowing-down selection は歩行時の太腿での入力は他の姿勢に比べ精度が落ちた。電車の影響評価の結果、すべての入力方法で前腕での入力は精度が最も低く、Long press touch と Pinch input は入力精度の分散も大きかった。また、電車の走行中の揺れによってシワへの入力は失敗しやすく、特に Double touch と Narrowing-down selection はその影響が大きかった。

今後は、評価実験の被験者を増やし、シワを用いた入力への各要素の影響を分析し、その結果を用いて、シワを用いた入力のガイドラインを作成する。

参考文献

- [1] L. Buechley, M. Eisenberg, J. Catchen, and A. Crockett: The LilyPad Arduino: Using Computational Textiles to Investigate Engagement, Aesthetics, and Diversity in Computer Science Education *Proc. of the 26th ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008)*, pp. 423–432 (Apr. 2008).
- [2] P. Holleis, S. Paasovaara, and J. Häkkinen: Evaluating Capacitive Touch Input on Clothes, *Proc. of the 10th international conference on Human Computer Interaction with Mobile devices and services (MobileHCI' 08)*, pp. 81–90 (Sep. 2008).
- [3] K. Ono, S. Iwamura, A. Ogie, T. Baba, P. Haimes: Textile++: Low Cost Textile Interface Using the Principle of Resistive Touch Sensing, *Proc. of the 44th ACM International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2017)*, Article No. 8 (July. 2017)
- [4] S. Schneegass and A. Voit: GestureSleeve: Using Touch Sensitive Fabrics for Gestural Input on the Forearm for Controlling Smart Watches, *Proc. of the 20th ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2016)*, pp. 108–115 (Sep. 2016).
- [5] A. Voit and S. Schneegass: FabricID: Using Smart Textiles to Access Wearable Devices, *Proc. of the 16th ACM International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM 2017)*, pp. 379–385 (Nov. 2017).
- [6] S. Gilliland, N. Komor, T. Starner, and C. Zeagler: The textile Interfaces Swatchbook: Creating Graphical User Interface-like Widgets with Conductive Embroidery, *Proc. of the 14th ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2010)*, pp. 1–8 (Oct. 2010).
- [7] T. Karrer, M. Wittenhagen, L. Lichtschlag, F. Heller, and J. Borchers: Pinstripe: Eyes-free Continuous Input

- on Interactive Clothing, *Proc. of the 29th ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011)*, pp. 1313–1322 (May. 2011).
- [8] N. A. Hamdan, J. Thar, F. Heller, J. Borchers, and C. Wacharamanotham: Grabrics: A Foldable Two-Dimensional Textile input Controller, *Proc. of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA 2016)*, pp. 2497–2503 (May. 2016).
- [9] N. Komor, S. Gilliland, J. Clawson, M. Bhardwai, M. Carg, C. Zeagler, and T. Starner: Is It Gropable?-Assessing the Impact of Mobility on Textile Interfaces, *Proc. of the 13th ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2009)*, pp. 71–74 (Jan. 2009).
- [10] P. Parzer, A. Sharma, A. Vogl, J. Steimle, A. Olwal, and M. Haller: SmartSleeve: Real-time Sensing of Surface and Deformation Gestures on Flexible, Interactive Textiles, using hybrid Gesture Detection Pipeline, *Proc. of the 30th ACM User interface Software and technology Symposium (UIST 2017)*, pp. 565–577 (Oct. 2017).
- [11] K. Ueda, T. Terada, and M. Tsukamoto: Input Interface Using Wrinkles on Clothes, *Proc. of the 20th ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2016)*, pp. 56–57 (Sep. 2016).
- [12] B. Thomas, K. Grimmer, J. Zucco, and S. Milanese: Where Does the Mouse Go? An Investigation into the Placement of a Body-Attached TouchPad Mouse for Wearable Computers, *Journal of Personal and ubiquitous Computing*, Vol. 6, Issue 2, pp. 97–112 (Apr. 2002).
- [13] J. Wagner, M. Nancel, S. Gustafson, S. Hout, and W. E. Macckey: Body-centric Design Space for Multi-surface Interaction, *Proc. of the 31st ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2013)*, pp. 1299–1308 (Apr. 2013).