

スマートウォッチの傾きと筋電情報の 組合せによるポインティング手法

黒澤 紘生^{1,a)} 坂本 大介¹ 小野 哲雄¹

受付日 2018年4月20日, 採録日 2018年11月7日

概要: スマートウォッチ上のポインティング手法として, スマートウォッチのチルト操作を利用し, その操作量の決定に筋電情報を用いる手法を提案する. 本手法においては, ユーザはポインタの操作を行うために, まず動かしたい方向に腕を傾ける. 従来手法ではこの時点でポインタ操作が可能であったが, 本手法においてはこの移動のために筋電情報を用いる. たとえば, スマートウォッチを傾けた後, ぐっと腕に力を入れるなどしてポインタ操作が可能となる. 評価実験を行った結果, 提案手法は小さなターゲットを93%以上の精度で選択可能であり, 従来のチルト操作手法と比較して操作性が有意に改善されていることが確認された. また, ターゲットが小さくなるにつれて精度が落ちることで知られる Fat Finger Problem に対して, 本手法においてはその精度低下が確認されなかった.

キーワード: ウェアラブルコンピューティング, ユーザビリティ, スマートウォッチ, チルト操作, 筋電位

A Target Selection Method for Smartwatches Using the Tilting Operation and Electromyography

HIROKI KUROSAWA^{1,a)} DAISUKE SAKAMOTO¹ TETSUO ONO¹

Received: April 20, 2018, Accepted: November 7, 2018

Abstract: We present a target selection method for smartwatches, which employs a combination of a tilt operation and electromyography (EMG). First, a user tilts his/her arm to indicate the direction of cursor movement on the smartwatch; then s/he applies forces on the arm. EMG senses the force and moves the cursor to the direction where the user is tilting his/her arm to manipulate the cursor. In this way, the user can simply manipulate the cursor on the smartwatch with minimal effort, by tilting the arm and applying force to it. We conducted an experiment to investigate its performance and to understand its usability. Results showed that participants selected small targets with an accuracy greater than 93.89%. In addition, performance significantly improved compared to previous tilting operation methods. Likewise, its accuracy was stable as targets became smaller, indicating that the method is unaffected by the “fat finger problem”.

Keywords: wearable computing, usability, smartwatch, tilt-based interaction, electromyography

1. はじめに

日常生活の様々な場面で気軽に情報へのアクセスが可能なウェアラブルデバイスであるスマートウォッチは, SNS サービスの通知表示やセンシングデータを活用した健康管

理など様々な用途に利用することが可能である. 一方で, スマートウォッチはそのデバイス自体の小ささにより「インタラクション可能な領域が限定」されている. このため, スマートフォンやタブレット機器などのモバイルデバイスよりも可用性の観点で欠点があり, この改善のために様々なインタラクション手法が提案されてきている.

スマートウォッチにおける最も代表的なインタラクション手法はタッチ操作であるが, モバイルデバイスにおけるタッチ操作は, 指がディスプレイを隠してしまうオク

¹ 北海道大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Engineering, Hokkaido University,
Sapporo, Hokkaido 060-0814, Japan

^{a)} k.hiroki@complex.ist.hokudai.ac.jp

ルージョンの問題や、細かい操作が困難となってしまう Fat Finger Problem [1] の影響を受ける。特に、スマートウォッチはその画面の小ささから、これらの問題の影響が顕著であり、操作の困難さや入力における制限が存在する。

スマートウォッチにおいて、タッチ操作の代替案として加速度センサやジャイロセンサをはじめとする傾きセンサを利用したチルト操作に関する操作手法が数多く提案されてきている。チルト操作は特に画面の小さい端末の入力語彙を拡張する手法として有用性が示されており [2]、スマートウォッチにおいてもチルト操作の操作性の性能評価が行われている [3]。一方で、チルト操作を用いて大きな操作量を得るためには本体を大きく傾ける必要があり、その場合には視認性が低下してしまう。また、一定の方向に対する大きな傾け動作は身体的に困難であることが報告されている [4]。これらの問題は、チルト操作における操作方向と操作量の両方を同センサ（傾きセンサ）の値から決定していることが原因であると考えられる。

これに対して我々は従来のチルト操作に用いる傾き動作を操作方向の決定に適用することに加え、他センサの値を操作量の決定に適用する操作手法の提案を行ってきている [5]。具体的には、加速度センサと筋電センサを用いてスマートウォッチの操作を可能にする。本手法においてはまずユーザはスマートウォッチを小さく傾けることによって操作方向を決定する。この時点では操作の実行は行われないうが、スマートウォッチを傾けたまま任意の方法で腕に力を加えると、その力の大きさに比例した操作量を得る。以上の動作により得られた操作方向と操作量から操作を実行する。これにより、チルト操作における傾け動作は小さいままに、所望の操作を可能とする。我々は提案手法を実装した後、提案手法のパフォーマンス測定やユーザビリティ調査のための実験を実施した。実験においては、現在スマートウォッチで一般的に利用されているタッチ操作に加え、先行研究で利用されているチルト操作との比較を行った。本稿ではこれらについて詳述する。

2. 関連研究

2.1 スマートウォッチにおけるオクルージョンの問題

スマートウォッチはその画面の小ささからオクルージョンの影響が大きく、タッチ操作を行うと画面の約 60% が指によって隠されてしまい視認性が低下してしまうことが報告されている [6]。オクルージョンの対策として、Wenig らは透過ディスプレイを増設してビジュアル空間とインタラクション空間を両立させた [7]。また、スマートウォッチの入力として身体ジェスチャを利用する手法についても検討されている。Zhao ら [8] は、加速度センサとジャイロセンサを使用して 27 種のジェスチャ（13 種の指によるジェスチャと 14 種の手によるジェスチャ）を 96% の精度で分類する認識技術を開発した。ジェスチャによる

入力手法として、親指の連続した動きをセンシングする ThumSlide [9]、磁気追跡法を用いて指の動きをセンシングする DigitSpace [10] など、目視による画面の確認を必要としない入力を実現している。そのほかに、スマートウォッチを装着している腕をインタラクション領域に拡張する Skin Buttons [11]、SkinWatch [12]、SkinTrack [13] のようなスマートウォッチ本体の外部から入力する手法に加えて、ユーザが息を吹きかけるジェスチャを行うことによって操作を行う Blowwatch [14]、腕を屈伸させる動作で片手入力を行う ProxiWatch [15] など、本体の外から入力を行う手法も提案されている。

2.2 スマートウォッチにおける Fat Finger Problem

スマートウォッチは画面が小さいために細かいタッチ操作が困難となってしまう Fat Finger Problem の影響を大きく受け、指による正確な操作が困難となる。この問題に対し、Kubo らはベゼルからベゼルへのスワイプジェスチャを提案し、既存のタッチ操作を共存させつつ入力語彙を拡張した [16]、[17]。Xia らは指に装着するタッチ用デバイス NanoStylus を開発し、指よりも正確なポインティングを可能にした [6]。また、ベゼルの回転させて文字を選択する COMPASS も提案されており、手袋を利用した際などタッチ操作が利用できないときにテキスト入力する代替手段も存在する [18]。DualKey [19] は文字を選択する際にタッチした指を識別することで超小型スクリーンにおけるテキスト入力を実現した。Darbar らはスマートウォッチの側面に圧力センサを装着した PressTact [20] により、ズーム・スクロール・回転といった操作を可能とした。また、Kerber らはスマートウォッチのインタラクション技術を比較し、適切なアプリケーションへの使用に関するガイドラインを提示した [21]。

2.3 スマートウォッチのチルト操作

最近ではスマートウォッチにおけるチルト操作に関する研究も多くなされている。Guo らはチルト操作のみで階層メニューの選択を可能にする Angle Point および Object Point を提案した [22]。また、Sun らは内蔵センサのみを用いてチルト操作と空中指タップジェスチャの認識を実現し、スマートウォッチを装着している側の手だけで完結する Float を提案している [4]。チルト操作を用いたテキスト入力手法についても研究されており、Portridge らの傾斜の角度に依存して入力する文字を決定する手法などがあげられる [23]。これらの方法は画面を隠すことなく、かつ、タッチ操作と比較して正確な操作を可能とするため、オクルージョンの問題と Fat Finger Problem を同時に解決する有効な手法であると考えられる。

2.4 チルト操作の問題点と提案手法

一方で、スマートウォッチで用いられているような一般的なチルト操作手法では、傾きセンサの値から操作方向と操作量の両方を決定している。すなわち、大きな操作量を得るためにはスマートウォッチを大きく傾ける必要があり、その場合には画面がユーザと正面にはならないことから、視認性が低下する。また、操作性に関して、手首をひねる方向には容易に動かすことが可能だが、肘を動かす方向には動かすにくいという報告もされている [4]。以上の問題は、スマートウォッチのチルト操作において、傾斜の角度を小さくすることができれば解決できると考えられる。そこで本研究では、チルト操作における操作量の決定を他センサの値から決定する手法を検討する。また、先行研究 [24], [25] にない、実験参加者に起立姿勢を維持させる静止条件に加え、実験室内を歩行しながら操作を行う歩行条件も観察することとした。

2.5 筋電情報による操作量の決定

Serendipity [26] のように、スマートウォッチを装着した手でジェスチャを行うインタラクションが研究されている。このようなアイデアは片手で完結する方法であるため非常に有用である。これに加えて、ジェスチャを行った際に発揮された筋力の値を取得することができれば、「腕に力を入れる」という直感的な操作で操作量を決定することができると考えられる。筋電のセンシング技術とその応用例として、Myo Gesture Control Armband [27] を使用してジェスチャを認識しモバイルデバイスを操作する MyoShare [28] があげられる。また、Kerber らの研究では、Myo を用いてジェスチャの認識を行い、スマートウォッチ上の片手でのインタラクションを提案した [29]。そこで、本研究では筋電を操作量に用いる方法を検討する。

3. 提案手法

提案手法での操作方法と手順について概要を示す。まず、ユーザはスマートウォッチを傾けることによって操作方向を指定する (図 1 ①)。従来のチルト操作ではスマートウォッチの傾斜角度から操作方向と操作量を決定して操作の実行を行っていたが、提案手法においてはこの時点では操作は実行されない。操作方向の指定は Shima ら [3] の手法と同様に、上下左右の 4 方向だけでなく斜め方向を加えた連続的な角度で任意方向への指定が可能である。操作方向を指定した後、ユーザは本体を装着した側の腕に任意の方法で力を加えると、その力の大きさに比例した操作量を得る (図 1 ③)。たとえば、ユーザがある方向にポイントを移動させたいと思った場合、まずその方向に少しだけ腕を傾ける。提案手法の実装では、本体を 1° 以上傾けるとその姿勢から操作方向を求める。その後「ぐっ」と腕に力を入れ、その力が閾値を超えたことがトリガとなり操作

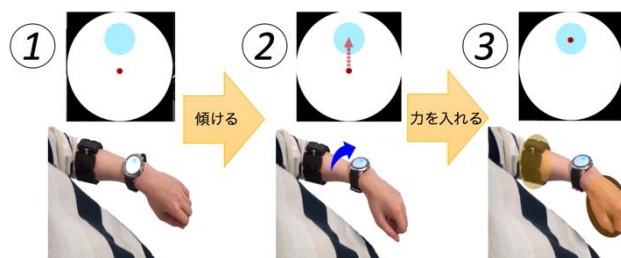


図 1 提案手法における操作イメージ

Fig. 1 Operation image of proposed method.

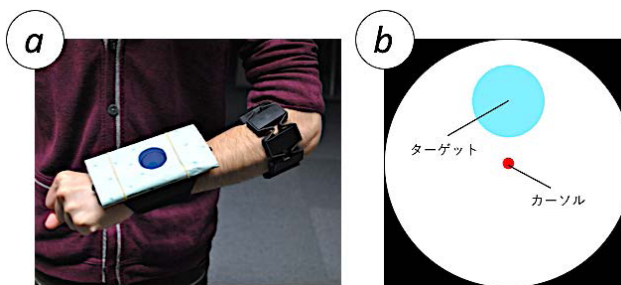


図 2 実験の様子 (a) とスクリーンショット (b)

Fig. 2 Experimental situation (a) and screenshot (b).

方向と操作量を決定し、ポイントを移動させる。これにより、操作方向の決定に必要な最低限の傾斜角度より傾けることなく、スマートウォッチの操作が可能になることが期待される。

3.1 使用機器

提案手法には、筋電を取得するセンサとして筋電センサ Myo Gesture Control Armband を用いた。Myo は腕輪型のウェアラブルデバイスであり、スマートウォッチを装着した腕に同時に装着することができる。筋電の値は $-128 \sim 127$ の 256 段階を 8 ch 分取得可能である。また、本研究の目的は操作手法の評価であるため、Gil ら [30] の方法にならない、スマートフォン (SONY Xperia Z4, 端末サイズ: 高さ 146 mm × 幅 72 mm × 厚さ 6.9 mm, 画面サイズ: 5.2 インチ, 解像度: 1,920 px × 1,080 px) を、スマートウォッチ (LG Watch Urbane 2nd Edition, 端末サイズ: 直径 44.5 mm, 厚さ 14.2 mm, 画面サイズ: 1.38 インチ, 解像度 480 px × 480 px) の画面サイズに合わせて隠し、スマートウォッチの代替品 (以下、デバイス) として用いた (図 2 (a))。

3.2 実装

提案手法ではデバイスを傾けることで操作方向を決定する。Shima らの手法 [3] を参考に、傾きセンサとして加速度センサを用いてデバイスの姿勢を求め、操作方向の単位ベクトルを計算する。この状態で腕に力を入れることで、発揮された筋電量に応じてカーソル (4 章参照) を移動させる。筋電は、Myo から得られた筋電信号を 100 Hz で取得

し、その間の RMS (Root mean square) 値を用いる。これを 8ch 分取得し、その合計値を筋電量とする。誤動作防止のため、事前にキャリブレーションを行い、最低筋電量の閾値を設定する。キャリブレーションはユーザが力を入れていない状態を 10 秒間続けた際の筋電量の平均値を閾値とし、個人に適した閾値を設定する。閾値以下の筋電量では操作量は 0px となり、最大筋電量 ($127 \times 8 = 1,016$) では操作量は 240px (画面中央から画面端へ移動) となる。この範囲で、発揮された筋電量に応じた操作量を適用する。

4. 評価実験

提案手法の操作パフォーマンス測定のためタスクを用いた参加者実験を行う。また、提案手法のユーザビリティ調査のため、アンケート調査を行う。さらに、インタビューを実施し、提案手法全般に関するフィードバック収集を行う。なお、実験参加者の承諾が得られた場合、確認用として実験風景を映像として記録した。実験全体の拘束時間は約 90 分であり、タスクごとに十分に休憩をとってもらった。

4.1 実験参加者

実験参加者として、モバイルデバイスを利用したことがあり、スマートウォッチを認知している大学生および大学院生 10 名 (男性 6 名, 女性 4 名, 年齢 21~28 歳, 平均 23.4 歳) が実験に参加した。モバイルデバイスの利用歴は 30~216 カ月, 平均 83.7 カ月 ($SD = 51.11$) であった。スマートウォッチを使用したことがある実験参加者は 2 名であった。全員がデバイスを左手首に取り付け、タスクを行っていた。

4.2 実験タスク

本実験では、Sun ら [4] にならってポインティングタスクを実施した。具体的には、あるタスクにおいて実験参加者には、デバイスの画面に表示されたターゲットをポインティングしてもらった。実験時の様子およびデバイスの画面を図 2 ⑥に示す。実験条件として、以下に示す 3 種類の手法の比較を行った。

- 提案手法

傾け動作と筋電センサの値を組み合わせるカーソルを動かす方法である。決定操作として画面のどこかをタッチすることでポインティングを完了させる。

- チルト操作手法

傾け動作によりカーソルを移動して画面のどこかをタッチすることでポインティングを行う方法である。傾け動作の挙動は、Shima ら [3] の手法を参考に、デバイスを 90° 傾けたときに画面端へと移動するように実装した。なお、操作性を調整するために感度を変更する機能は実装していない。

- 直接タッチ手法

画面を直接タッチしてターゲットのポインティングを行う方法である。この方法では傾け動作は用いない。

ターゲットのサイズは基準となる mid, mid の 2 倍の大きさである big, mid の 1/2 の大きさである small の 3 種類とし、20 回試行する。mid のサイズは、Google 社のガイドライン [31] に従って、推奨されている 48 dp (約 9.72 mm) となるよう設計した。よって、big, mid の 2 サイズがガイドラインを満たしたサイズ、small がガイドラインを満たさないサイズとなる。以上を、その場に直立する静止条件と実験室内を歩行する歩行条件の 2 条件行う。すなわち、3 手法 $\times$ 3 サイズ $\times$ 20 試行 $\times$ 2 条件 $\times$ 10 名 = 3,600 データ (タスクの成否, 経過時間) を収集し、分析に用いる。

4.3 実験手順

本実験のポインティングタスクでは、事前に実験参加者に「できるだけ早くかつ正確にポインティングを行う」よう教示を行った。タスクは、実験参加者が「開始」画面をタップすることによって開始し、画面内のランダムな位置にターゲットが配置される。タスクは直接タッチ手法、チルト操作手法、提案手法の順で行った。各操作手法で開始方法は共通であり、各操作手法のタスク終了ごとに休憩を要するか尋ねた。操作手法の順序に関して、タッチ操作では指の移動、チルト操作手法では加速度センサの感度、提案手法では筋電量に依存して操作量を決定するため、各操作手法間で操作感の慣れの影響は生じず、順序効果に影響は生じないことから、10 名の実験参加者全員に同手順を提示した。タスク開始後、画面にターゲットが表示され、実験参加者は指定された操作手法でポインティングを行った。これを 1 試行とし、1 試行が終わった瞬間に次のターゲットが画面内のランダムな位置に配置される (カーソルの位置はそのままとなる)。最初の 20 試行はターゲットサイズが big であり、次の 20 試行は mid, その次の 20 試行は small となる。評価に用いるデータとしてターゲットサイズごとに、各試行でポインティングが成功した割合を操作精度、各試行でポインティングにかかった時間を作業実行時間として記録した。ポインティングの成否は、決定操作を行った際にカーソルがターゲット内にあるかどうかを指標とした。作業実行時間は、最初の試行は「開始」画面をタップしてから 1 試行目のポインティングが完了するまでの時間とし、以降の試行では前試行のポインティング完了時間から現試行のポインティング完了までの時間とした。操作手法と実験条件の提示順は、静止条件の直接タッチ手法、歩行条件の直接タッチ手法、静止条件のチルト操作手法…といったように、各手法で両条件を行った後次の手法に進むという順番で 10 名の実験参加者全員に示した。歩行条件を行う際には、実験参加者に対して「室内を自由に歩き回り、タスク中には立ち止まらない」よう指示した。なお、各セット前には実験参加者に、十分操作可能である

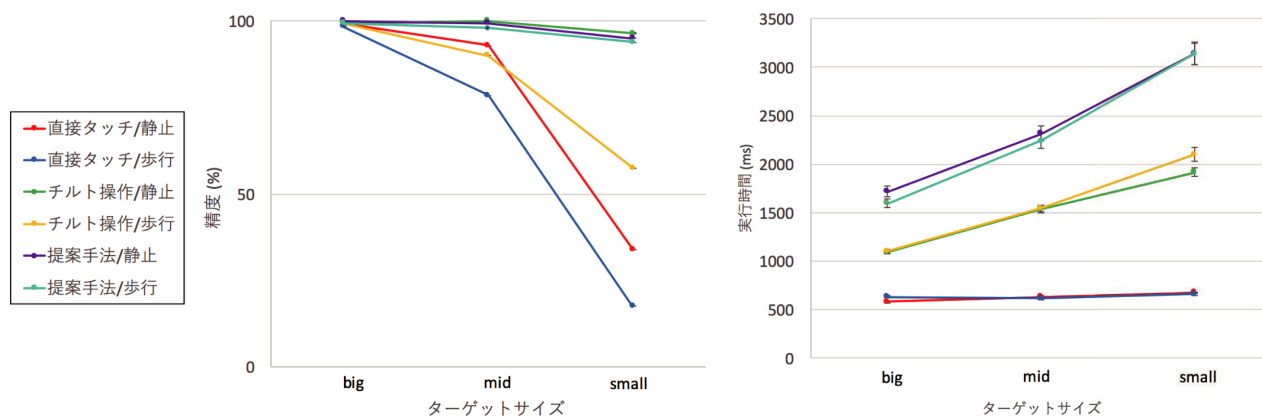


図3 ポインティングタスクの平均精度（左）と平均完了時間（右）

Fig. 3 Average accuracy (left) and average task completion time (right) of pointing task.

と思うまで練習を行う時間を与えた。

4.4 アンケートおよびインタビューの実施

実験タスクで用いられる3種類の手法それぞれについて、タスクが終了した後実験参加者にアンケートの回答を依頼した。ここでは、System Usability Scale (SUS) [32] をもとに、本実験用に微修正したアンケートを実施した。同時に、NASA-TLX [33] をもとにしたアンケートを実施し、実験参加者が各タスクで経験した作業負荷についても調べた。最後に、実験全体を通して、各手法に関して気付いた点をインタビューで尋ねた。

5. 実験結果

5.1 操作精度

ポインティングタスクの操作精度 [%] の平均について、ターゲットサイズごとにまとめたものを図3（左）に示す。サイズ big においてはすべての条件で98%以上の精度が確認された。サイズ mid では歩行条件時の直接タッチが78.5%の精度となったことを除いて、他のすべての条件と手法の組合せで90%以上の精度が確認され、提案手法では98%以上の精度を維持できた。サイズ small において、直接タッチは両条件で精度が40%を下回り、チルト操作も歩行条件では57.5%と落ち込んでしまった。一方で、チルト操作の静止条件では96.5%と高い精度を維持しており、提案手法は両条件で93%以上の精度であった。これらではガイドラインを満たさないサイズでも十分なポインティングが可能であることが示された。

これに対して3要因分散分析（参加者内計画；独立変数としてターゲットサイズ、実験条件、操作手法、従属変数として精度）を実施した。その結果、有意な2次の交互作用（（ターゲットサイズ × 実験条件 × 操作手法） $[F(4, 36) = 7.07, p < .01]$ ）と、1次の交互作用（（ターゲットサイズ × 実験条件） $[F(2, 18) = 33.65, p < .01]$ 、（実験条件 × 操作手法） $[F(2, 18) = 7.97, p < .01]$ および（ターゲットサイズ ×

操作手法） $[F(4, 36) = 50.23, p < .01]$ ）が確認された。また、単純主効果のターゲットサイズ $[F(2, 18) = 197.64, p < .01]$ と実験条件 $[F(1, 9) = 57.36, p < .01]$ および操作手法 $[F(2, 18) = 51.15, p < .01]$ に有意差が確認された。

2次の交互作用について、ターゲットサイズと実験条件、実験条件と操作手法、ターゲットサイズと操作手法にそれぞれ注目して2要因分散分析（参加者内計画）を実施した。結果のすべてのデータについては付録の表A-1を参照されたい。実験条件と操作手法に注目したとき、ターゲットサイズが small の場合に交互作用が有意であった $[F(2, 18) = 3.65, p < .05]$ 。各要因の単純主効果を分析した結果、実験条件 × 操作手法（直接タッチ） $[F(1, 9) = 8.16, p < .05]$ 、実験条件 × 操作手法（チルト操作） $[F(1, 9) = 43.60, p < .01]$ 、操作手法 × 実験条件（静止） $[F(2, 18) = 66.65, p < .01]$ 、操作手法 × 実験条件（歩行） $[F(2, 18) = 47.09, p < .01]$ について有意差が確認された。

実験条件と操作手法に注目したとき、ターゲットサイズが small の場合に、操作手法と両実験条件との間に有意差が確認されたことから、利用条件にかかわらず提案手法は既存手法の精度を有意に改善している可能性があると考えられる。また、実験条件と直接タッチおよび実験条件とチルト操作の間には有意差が確認された、すなわち、実験条件が歩行の場合に精度が有意に低くなってしまった一方で、実験条件と提案手法の間には有意差が確認されなかった。これらの結果から、提案手法は静止や歩行の利用条件に影響されない可能性があると考えられる。以上より、提案手法は既存手法の精度を有意に改善し、ターゲットサイズが小さくなったとしても利用条件にかかわらず、一定の精度を維持できることが示唆された。

5.2 作業実行時間

作業実行時間 [ms] の平均について、ターゲットサイズごとにまとめたものを図3（右）に示す。まず、チルト

操作と提案手法においては、静止条件と歩行条件の両条件で、サイズが大きいほど実行時間が短く、サイズが小さいほど実行時間が長くなった。直接タッチではすべての条件で実行時間が 700 ms 未満となった。提案手法は直接タッチ、チルト操作どちらの手法よりも実行時間が長くなっていた。具体的には、直接タッチと比べて約 3.7 倍、チルト操作と比べて約 1.5 倍の時間を要していた。

これに対して 3 要因分散分析（参加者内計画；独立変数としてターゲットサイズ、実験条件、操作手法、従属変数として精度）を実施した。その結果、有意な 2 次の交互作用（（ターゲットサイズ × 実験条件 × 操作手法） $[F(4, 36) = 5.56, p < .01]$ ）と、1 次の交互作用（（ターゲットサイズ × 実験条件） $[F(2, 18) = 67.04, p < .01]$ 、（実験条件 × 操作手法） $[F(2, 18) = 34.94, p < .01]$ および（ターゲットサイズ × 操作手法） $[F(4, 36) = 16.71, p < .01]$ ）が確認された。また、単純主効果のターゲットサイズ $[F(2, 18) = 108.10, p < .01]$ と実験条件 $[F(1, 9) = 192.18, p < .01]$ および操作手法 $[F(2, 18) = 85.90, p < .01]$ に有意差が確認された。

2 次の交互作用について、ターゲットサイズと実験条件に注目して 3 つの操作手法ごとに 2 要因分散分析（参加者内計画）を実施した。その結果、直接タッチ $[F(2, 18) = 36.50, p < .01]$ とチルト操作 $[F(2, 18) = 53.96, p < .01]$ および提案手法 $[F(2, 18) = 17.07, p < .01]$ において交互作用が有意であった。また、実験条件と操作手法に注目して 3 つのターゲットサイズごとに 2 要因分散分析（参加者内計画）を実施した結果、ターゲットサイズが big の場合に交互作用が有意であった $[F(2, 18) = 3.65, p < .01]$ 。さらに、ターゲットサイズと操作手法に注目して 2 つの実験条件ごとに 2 要因分散分析（参加者内計画）を実施した結果、静止条件 $[F(4, 36) = 67.36, p < .01]$ と歩行条件 $[F(4, 36) = 3.88, p < .05]$ 両水準において交互作用が有意であった。

交互作用が確認された結果について各要因の単純主効果を分析した。結果の全データについては付録の表 A・2 を参照されたい。

5.3 ユーザビリティ

SUS アンケートの結果を図 4 に示す。本実験で用いた SUS アンケートは 5 段階のリッカート尺度の質問 10 項目で構成されており、最終的に 100 点満点のスコアを求められる。SUS アンケートの結果、直接タッチは 79.25 ± 10.93 点、チルト操作は 42.25 ± 14.59 点、提案手法は 58.5 ± 14.68 点となり、提案手法は従来のチルト操作よりは使いやすく、直接タッチよりは使いにくいと評価された。これらについて 1 要因分散分析（参加者内計画）を実施したところ、有意な差が確認された $[F(2, 18) = 6.95, p < .05]$ 。Holm 法を用いた多重比較を実施したところ、チルト操作と提案手法

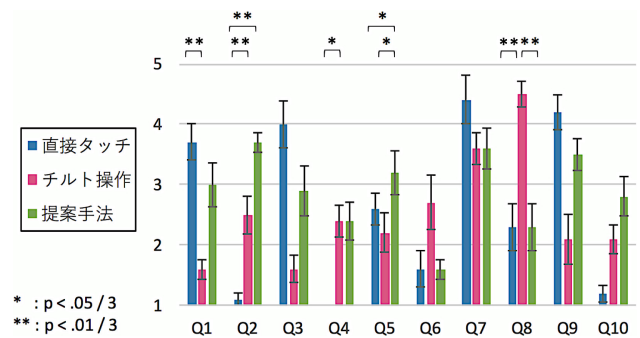


図 4 SUS アンケートの結果

Fig. 4 Results of SUS questionnaire.

の間で有意な差が確認され ($MSe = 124.5602, p < .05$), 筋電を用いることでユーザビリティを改善できたことが示唆された。

また、各問に対して Friedman 検定を実施した結果、Q1, Q2, Q3, Q4, Q8, Q9, Q10 の項目において有意差が認められ (Q1: $\chi^2(2) = 14$, Q2: $\chi^2(2) = 18.167$, Q3: $\chi^2(2) = 13.351$, Q4: $\chi^2(2) = 15.677$, Q8: $\chi^2(2) = 16.938$, Q9: $\chi^2(2) = 14.812$, Q10: $\chi^2(2) = 10.606$, $p < .01$), Q5, Q6 の項目においても有意差が認められた (Q5: $\chi^2(2) = 6.7407$, Q6: $\chi^2(2) = 8$, $p < .05$)。これらの項目に対し Wilcoxon の符号付き順位検定（有意水準は Holm 法で補正）を用いて多重比較を実施したところ、Q5「この操作手法では様々な機能がよくまとまっていると感じた」、Q8「この操作手法はとても操作しづらいと感じた」の項目でチルト操作と提案手法間に有意差が見られた。このことから、提案手法は機能としては充足しており、従来のチルト操作と比較して操作の難易度が改善されていることが分かった。一方で、Q2「この操作手法を利用するには説明が必要となるほど複雑であると感じた」、Q4「この操作手法を利用するのに専門家のサポートが必要だと感じる」、Q5 の項目では、直接タッチと提案手法間に有意差 (Q5 の項目は 5% 水準での有意差) が見られた。このことから、提案手法は機能としてはまとまっているが、直接タッチと比較して複雑であるため、事前に十分な説明が必要であることが分かった。まとめると、提案手法は事前に学習することが多く複雑な手法であると評価された反面、より明快なインタラクションをデザインすることで、多くのユーザに受け入れられる可能性があると考えられる。

5.4 作業負荷

NASA-TLX アンケートの結果を図 5 に示す。6 つの項目のそれぞれについて Friedman 検定を実施した結果、“Mental”, “Phys.”, “Efforts”, “Frustr.” の項目において有意差が確認され ($p < .01$), “Time”, “Perf.” の項目においても有意差が確認された ($p < .05$)。これらの項目に対し Holm 法を用いた多重比較を実施したところ、“Mental”,

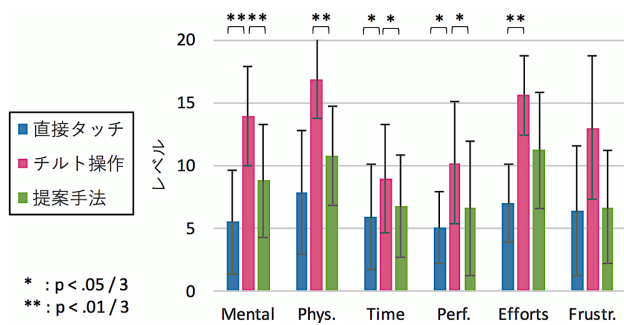


図 5 NASA-TLX アンケートの結果

Fig. 5 Results of NASA-TLX questionnaire.

“Phys.”, “Time”, “Perf” の項目でチルト操作と提案手法間に有意差が確認された。このことから、提案手法は従来のチルト操作よりも精神的・身体的疲労が少ない手法であり、ユーザがタイムプレッシャを感じることなく自信を持って利用できる手法であると考えられる。また、“Frustr.”の項目については、 $p = .0039$ となり、Holm 法で補正した p 値 (= .0033, 第 1 順位の値) と比較すると有意傾向にあると考えられる。よって、提案手法を適切に改良することでユーザに十分受け入れられる可能性が示唆された。

6. 議論

実験参加者に対して実験後にインタビューを実施した結果、「チルト操作と比較して提案手法は筋力を使うため労力がかかると思ったが、あまりつらく感じなかった」という意見を得た。また、従来のチルト操作について「傾け動作が大きいため身体も一緒に動いてしまい、より疲れる」という意見もあった。これらの意見から、大きな操作量を得たい場合には、傾け動作を大きくするよりも筋力を用いた方が、労力が小さいと考えられる。そのため、提案手法のように、傾斜の角度を小さくする方法は煩わしさを軽減する可能性があることが示唆された。

一方で、提案手法では「精密な操作をしようとすると逆に力が入りすぎる」、「強い力に対してもっと動いてほしい」、「大雑把な操作は楽だが微調整が少し難しい」という意見があった。今回実装したものでは、最低筋電量から Myo で取得できる筋電量の最大値までの範囲を、操作量に線形に割り当てたため、ユーザによって使いやすさが異なると考えられる。また、ある実験参加者からは「微調整がうまくできなかったためカーソルがターゲットを通り越してしまい、何度か往復してしまった」とコメントを受けた。このコメントから、提案手法における操作量の決定動作に必要な筋電量に関してメンタルモデルの差があったことが、提案手法の作業実行時間がその他の手法の数倍かかっていた 1 つの原因としてあげられる。そのため、ユーザが筋力を発揮した際の振舞いを考慮した操作量の決定アルゴリズムを検討する必要があると思われる。

今回我々が実施した実験においては、スマートフォンを

スマートウォッチの代替として利用したため、スマートウォッチを使用する場合には結果が異なる可能性がある。一方で、実験参加者に口頭で疲労について尋ねたところ、デバイスの大きさや重さによって疲れが生じたと回答する実験参加者はいなかったため、スマートウォッチを使用する場合においても本研究で実施した実験と結果が大幅に異なることはないと考えている。また、提案手法は最終的には両手を使わないと操作できない手法である。このため、将来の実用化に向けて非利き手でタッチ操作をするときの精度を向上させる手法である視覚フィードバックの付加を利用した手法 [34] や、ユーザごとに機械学習を用いて精度を向上させる手法 [35] などとも比較する必要があると考えている。

最後に、提案手法におけるキャンセル操作について述べる。今回実験で用いた提案手法には決定操作は実装されているがキャンセル操作は実装されていない。一方で、ポインティングを行う際にいったん決めた方向を訂正したい場合や、重い物を持ち上げたりドアを開けたりする動作など日常的な動作で誤入力してしまう場合には、キャンセル操作が必要であると考えられる。前者の場合には、たとえば、決定操作とキャンセル操作に別の 2 種類のハンドジェスチャを利用し、カーソルを移動させた後にポインティングを確定するかどうかを指定する機能などが考えられる。また、後者の場合には、たとえば、先行研究 [4] のようにスマートウォッチの画面がユーザの視線に向くような姿勢になった際に提案手法の入力を可能にする機能などが考えられる。

7. 考えられるアプリケーション

本研究で得られた知見から提案手法の応用可能性として考えられるアプリケーションの例を示す。

他の作業中におけるデバイスの操作

提案手法はスマートウォッチにおける片手でのカーソル移動を可能にする。たとえば、ペイントソフトウェアを利用する際に、ユーザは片手でカラーピッカーツールのカーソル移動の操作をすることができる (図 6 ④)。また、ジョギングを行いながら音楽アプリケーションを操作することも可能である。

片手での情報アクセス

提案手法は、スマートウォッチを装着していない側の手で物を把持している際にも利用できる。たとえば、旅行中に乗換案内アプリケーション (図 6 ⑤) や地図アプリケーションのスクロール操作を行ったり、料理中にレシピアプリケーションの画面遷移操作を行うことができる。

機密性の高い操作

提案手法は小さな傾きを使用するため、他者に傾きの方向を悟られにくいという特長がある。加えて、腕に力を入れているかどうかについて、他者には理解が困難であると

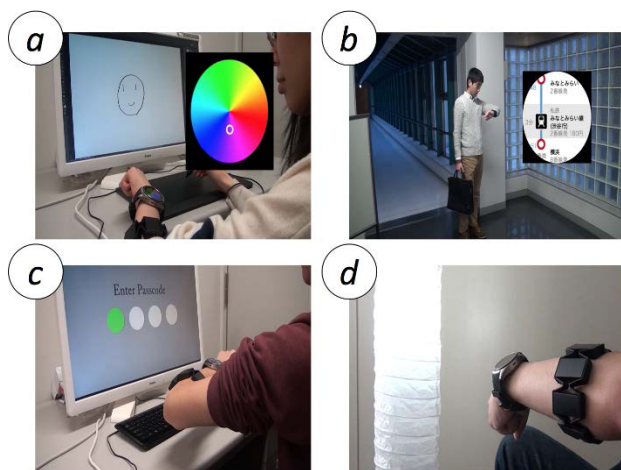


図 6 応用アプリケーションの例

Fig. 6 Example applications of proposed method.

いう特長もある。そのため、機密性の高い操作が可能であり、簡単なパスワード入力に利用することもできる (図 6 ©)。

他のデバイスとの連携

提案手法は、スマートウォッチ上のアプリケーションの操作は当然のこと、他のデバイスとの連携を想定した活用方法も考えられる。たとえば、スマートウォッチを用いて Philips' Hue のようなスマート照明を間接的に制御することが可能である (図 6 ©)。傾きの方向を用いることにより、複数のパラメータを有するデバイスを操作することが可能であり、ある特定のパラメータを任意の量だけ操作することもできる。

8. まとめ

本稿では、スマートウォッチにおける従来のチルト操作に用いる傾け動作を操作方向の決定に適用することに加え、筋電センサの値を操作量の決定に適用する操作手法の提案を行った。提案手法と、既存の手法であるタッチ操作とチルト操作との比較実験を行った結果、静止時だけでなく歩行時にも操作精度が有意に高かった。また、ユーザビリティの観点では、提案手法は事前に学習することが多く複雑な操作手法であるが、より明快な操作方法をデザインすることで多くのユーザに受け入れられる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] Siek, K.A., Rogers, Y. and Connelly, K.H.: Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs, *Proc. 10th International conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'05)*, pp.267–280, ACM (2005).
- [2] Rekimoto, J.: Tilting Operations for Small Screen Interfaces, *Proc. 9th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'96)*, pp.167–168, ACM (1996).
- [3] Shima, K., Onishi, K., Takeda, R., Adachi, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Investigating Accuracy of Operation on Wrist-worn Devices with Touchscreens, *Proc. 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA'16)*, pp.2705–2711, ACM (2016).
- [4] Sun, K., Wang, Y., Yu, C., Yan, Y., Wen, H. and Shi, Y.: Float: One-Handed and Touch-Free Target Selection on Smartwatches, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'17)*, pp.692–704, ACM (2017).
- [5] Kurosawa, H., Sakamoto, D. and Ono, T.: MyoTilt: A Target Selection Method for Smartwatches using the Tilting Operation and Electromyography, *Proc. 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI'18)*, Article 43, ACM (2018).
- [6] Xia, H., Grossman, T. and Fitzmaurice, G.: NanoStylus: Enhancing Input on Ultra-Small Displays with a Finger-Mounted Stylus, *Proc. 28th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'15)*, pp.447–456, ACM (2015).
- [7] Wenig, D., Schoning, J., Olwal, A., Oben, M. and Malaka, R.: WatchThru: Expanding Smartwatch Displays with Mid-air Visuals and Wrist-worn Augmented Reality, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'17)*, pp.716–721, ACM (2017).
- [8] Zhao, Y., Pathak, P.H., Xu, C. and Mohapatra, P.: Demo: Finger and Hand Gesture Recognition using Smartwatch, *Proc. 13th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobileSys'15)*, pp.471–471 (2015).
- [9] Aoyama, S., Shizuki, B. and Tanaka, J.: ThumbSlide: An Interaction Technique for Smartwatches using a Thumb Slide Movement, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.2403–2409, ACM (2016).
- [10] Huang, D.-Y., Chan, L., Yang, S., Wang, F., Liang, R.-H., Yang, D.-N., Hung, Y.-P. and Chen B.-Y.: DigitSpace: Designing Thumb-to Fingers Touch Interfaces for One-Handed and Eyes-Free Interactions, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.1526–1537, ACM (2016).
- [11] Laput, G., Xiao, R., Chen, X., Hudson, S.E. and Harrison, C.: Skin Buttons: Cheap, Small, Low-Power and Clickable Fixed-Icon Laser Projections, *Proc. 27th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'14)*, pp.389–394, ACM (2014).
- [12] Ogata, M. and Imai, M.: SkinWatch: Skin Gesture Interaction for Smart Watch, *Proc. 6th Augmented Human International Conference (AH'15)*, pp.21–24 (2015).
- [13] Zhang, Y., Zhou J., Laput, G. and Harrison, C.: Skin-Track: Using the Body as an Electrical Waveguide for Continuous Finger Tracking on the Skin, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.1491–1503, ACM (2016).
- [14] Chen, W.-H.: Blowwatch: Blowable and Hands-free Interaction for Smartwatches, *Proc. 2015 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'15)*, pp.103–108, ACM (2015).
- [15] Muller, F., Gunther, S., Dezfili, N., Khalilbeigi, M. and Muhlhauser, M.: ProxiWatch: Enhancing Smartwatch Interaction through Proximity-based Hand Input, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.2617–2624, ACM (2016).

- [16] Kubo, Y., Shizuki, B. and Takahashi, S.: Watch Commander: A Gesture-based Invocation System for Rectangular Smartwatches using B2B-Swipe, *UIST '16 Adjunct Proc. 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.37–39, ACM (2016).
- [17] Kubo, Y., Shizuki, B. and Tanaka, J.: B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.3852–3856, ACM (2016).
- [18] Yi, X., Yu, C., Xu, W., Bi, X. and Shi, Y.: COM-PASS: Rotational Keyboard on Non-Touch Smartwatches, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'17)*, pp.705–715, ACM (2017).
- [19] Gupta, A. and Balakrishnan, R.: DualKey: Miniature Screen Text Entry via Finger Identification, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.59–70, ACM (2016).
- [20] Darbar, R., Sen, P.K. and Smanta, D.: PressTact: Side Pressure-Based Input for Smartwatch Interaction, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.2431–2438, ACM (2016).
- [21] Kerber, F., Kiefer, T., Lochtefeld, M. and Kruger, A.: Investigating Current Techniques for Opposite-Hand Smartwatch Interaction, *Proc. 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI'17)*, Article No.24, ACM (2017).
- [22] Guo, A. and Paek, T.: Exploring Tilt for No-Touch, Wrist-Only Interactions on Smartwatches, *Proc. 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI'16)*, pp.17–28, ACM (2016).
- [23] Partridge, K., Chatterjee, S. and Want, R.: TiltType: Accelerometer-Suported Text Entry for Very Small Devices, *Proc. 15th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'02)*, pp.201–204, ACM (2002).
- [24] Fitton, D., MacKenzie, I.S., Read, J.C. and Horton, M.: Exploring Tilt-Based Text Input For Mobile Devices With Teenagers, *Proc. 27th International BCS Human Computer Interaction Conference (BCS-HCI'13)*, Article No.25 (2013).
- [25] Butcher, M., Read, J.C., Fitton, D. and Sim, G.: Interaction On The Move: Exploring Tilt-Based Text Input For Smartphones When Walking, *Proc. 31st International BCS Human Computer Interaction Conference (HCI'17)*, Article No.20 (2017).
- [26] Wen, H., Rojas, J.R. and Dey, A.K.: Serendipity: Finger Gesture Recognition using an Off-the-Shelf Smartwatch, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.3847–3851, ACM (2016).
- [27] Labs, T.: Myo Store – Thalmic Labs, available from <https://store.myo.com/> (accessed 2017-12-01).
- [28] Di Geronimo, L., Bertarini, M., Baderscher, J., Husmann, M. and Norrie, M.C.: MyoShare: Sharing Data Among Devices via Mid-Air Gestures, *Proc. 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI'17)*, Article No.48 (2017).
- [29] Kerber, F., Lessel, P. and Krüger, A.: Same-Side Hand Interactions with Arm-placed Devices Using EMG, *Proc. 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA'15)*, pp.1367–1372, ACM (2015).
- [30] Gil, H., Lee, D.Y., Im, S. and Oakley, I.: TriTap: Identifying Finger Touches on Smartwatches, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'17)*, ACM, pp.3879–3890 (2017).
- [31] Layout – Metrics & Keylines, available from <https://material.io/guidelines/layout/metrics-keylines.html> (accessed 2017-12-01).
- [32] Brooke, J.: SUS–A quick and dirty usability scale, *Usability evaluation in industry*, pp.189–194 (1996).
- [33] Hart, S.G. and Staveland, L.E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Human Mental Workload*, Hancock, P.A. and Meshikati, N. (Eds.), North Holland Press, Amsterdam, p.46 (1988).
- [34] Yu, C., Wen, H., Xiong, W., Bi, X. and Shi, Y.: Investigating Effects of Post-Selection Feedback for Acquiring Ultra-Small Targets on Touchscreen, *Proc. 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16)*, pp.4699–4710, ACM (2016).
- [35] Weir, D., Rogers, S., Murray-Smith, R. and Löchtefeld, M.: A User-Specific Machine Learning Approach for Improving Touch Accuracy on Mobile Devices, *Proc. 25th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'12)*, pp.465–476, ACM (2012).

付 録

A.1 単純主効果の分析結果について

実験で得られたデータの分析として、操作精度と完了時間のデータに対して3要因分散分析を実施した。2次の交互作用が確認された要因について2要因分散分析を実施した結果交互作用が確認された要因について、単純主効果の分析を行った。表 A・1 および表 A・2 ではその結果について示す。

表 A.1 単純主効果の分析結果 (操作精度)

Table A.1 Result of post-hoc analysis (Accuracy).

交互作用の あった項目	注目要因	F 値	p 値
操作手法 (チルト操作)	ターゲットサイズ×実験条件(静止)	$F(2, 18) = 36.67$	$p < .05$
	ターゲットサイズ×実験条件(歩行)	$F(2, 18) = 45.00$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(big)	$F(1, 9) = 1.98$	(n.s.)
	実験条件×ターゲットサイズ(mid)	$F(1, 9) = 16.36$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(small)	$F(1, 9) = 43.60$	$p < .01$
	実験条件×操作手法(直接タッチ)	$F(1, 9) = 8.16$	$p < .05$
ターゲットサイズ (small)	実験条件×操作手法(チルト操作)	$F(1, 9) = 43.60$	$p < .01$
	実験条件×操作手法(提案手法)	$F(1, 9) = 1.98$	(n.s.)
	操作手法×実験条件(静止)	$F(2, 18) = 66.65$	$p < .01$
	操作手法×実験条件(歩行)	$F(2, 18) = 47.09$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(直接タッチ)	$F(2, 18) = 102.43$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(チルト操作)	$F(2, 18) = 4.56$	$p < .05$
実験条件 (静止条件)	ターゲットサイズ×操作手法(提案手法)	$F(2, 18) = 3.86$	$p < .05$
	操作手法×ターゲットサイズ(big)	$F(2, 18) = 0.55$	(n.s.)
	操作手法×ターゲットサイズ(mid)	$F(2, 18) = 10.49$	$p < .01$
	操作手法×ターゲットサイズ(small)	$F(2, 18) = 66.65$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(直接タッチ)	$F(2, 18) = 114.04$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(チルト操作)	$F(2, 18) = 45.00$	$p < .01$
実験条件 (歩行条件)	ターゲットサイズ×操作手法(提案手法)	$F(2, 18) = 3.46$	(n.s.)
	操作手法×ターゲットサイズ(big)	$F(2, 18) = 0.00$	(n.s.)
	操作手法×ターゲットサイズ(mid)	$F(2, 18) = 3.85$	$p < .05$
	操作手法×ターゲットサイズ(small)	$F(2, 18) = 47.09$	$p < .01$

表 A・2 単純主効果の分析結果 (完了時間)

Table A・2 Result of post-hoc analysis (Completion time).

交互作用の あった項目	注目要因	F 値	p 値
操作手法 (直接タッチ)	ターゲットサイズ×実験条件(静止)	$F(2, 18) = 18.33$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×実験条件(歩行)	$F(2, 18) = 43.96$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(big)	$F(1, 9) = 353.40$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(mid)	$F(1, 9) = 246.16$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(small)	$F(1, 9) = 117.23$	$p < .01$
操作手法 (チルト操作)	ターゲットサイズ×実験条件(静止)	$F(2, 18) = 2.12$	(n.s.)
	ターゲットサイズ×実験条件(歩行)	$F(2, 18) = 60.11$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(big)	$F(1, 9) = 93.51$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(mid)	$F(1, 9) = 110.72$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(small)	$F(1, 9) = 100.39$	$p < .01$
操作手法 (提案手法)	ターゲットサイズ×実験条件(静止)	$F(2, 18) = 89.20$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×実験条件(歩行)	$F(1, 9) = 55.67$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(big)	$F(1, 9) = 52.91$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(mid)	$F(1, 9) = 58.02$	$p < .01$
	実験条件×ターゲットサイズ(small)	$F(1, 9) = 75.59$	$p < .01$
ターゲットサイズ (big)	実験条件×操作手法(直接タッチ)	$F(1, 9) = 5.48$	$p < .05$
	実験条件×操作手法(チルト操作)	$F(1, 9) = 43.60$	$p < .01$
	実験条件×操作手法(提案手法)	$F(1, 9) = 43.96$	$p < .01$
	操作手法×実験条件(静止)	$F(2, 18) = 65.74$	$p < .01$
	操作手法×実験条件(歩行)	$F(2, 18) = 157.78$	$p < .05$
実験条件 (静止条件)	ターゲットサイズ×操作手法(直接タッチ)	$F(2, 18) = 18.33$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(チルト操作)	$F(2, 18) = 2.12$	(n.s.)
	ターゲットサイズ×操作手法(提案手法)	$F(2, 18) = 89.20$	$p < .01$
	操作手法×ターゲットサイズ(big)	$F(2, 18) = 99.71$	$p < .01$
	操作手法×ターゲットサイズ(mid)	$F(2, 18) = 108.33$	$p < .01$
実験条件 (歩行条件)	操作手法×ターゲットサイズ(small)	$F(2, 18) = 223.53$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(直接タッチ)	$F(2, 18) = 43.96$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(チルト操作)	$F(2, 18) = 60.11$	$p < .01$
	ターゲットサイズ×操作手法(提案手法)	$F(2, 18) = 55.67$	$p < .01$
	操作手法×ターゲットサイズ(big)	$F(2, 18) = 38.64$	$p < .01$
	操作手法×ターゲットサイズ(mid)	$F(2, 18) = 23.17$	$p < .01$
	操作手法×ターゲットサイズ(small)	$F(2, 18) = 19.27$	$p < .01$



黒澤 紘生

2017 年北海道大学工学部情報エレクトロニクス学科卒業。現在、北海道大学大学院情報科学研究科修士課程在学中。現在、生体信号を用いたインタラクションに関する研究に従事。



坂本 大介 (正会員)

2008 年公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士（後期）課程修了。博士（システム情報科学）。国際電気通信基礎技術研究所（ATR）にてインターン，東京大学にて日本学術振興会特別研究員 PD，JST ER-

ATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究員，東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻助教，特任講師を経て，現在，北海道大学大学院情報科学研究科准教授。人とロボットを含む情報環境とのインタラクション設計に関する研究に従事。



小野 哲雄 (正会員)

1997 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年（株）ATR 知能映像通信研究所客員研究員。2001 年公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科助教授，2005 年同学科教授。2009 年北海道大

学大学院情報科学研究科教授，現在に至る。博士（情報科学）。ヒューマンエージェント/ロボットインタラクション（HAI/HRI），インタラクティブシステムに関する研究に従事。電子情報通信学会，ヒューマンインタフェース学会，日本ロボット学会，ACM 各会員。